

Zajištění bezpečnosti v silničních tunelech

Safety of road tunnels

Bc. Jiří Kocfelda

Diplomová práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří KOCFELDA**
Osobní číslo: **A09372**
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Zajištění bezpečnosti v silničních tunelech**

Zásady pro vypracování:

1. Stanovte bezpečnostní rizika tunelů a jejich okolí.
2. Seznamte se s již existujícími bezpečnostními systémy používanými v těchto typech staveb.
3. Zaměřte se na možnosti prevence dopravních kolizí a na postup v případě dopravních nehod.
4. Vypracujte modelový projekt zabezpečení tunelu včetně všech souvisejících zařízení.
5. Navrhněte způsob komunikace se záchrannou službou, policií atd.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **PŘIBIL, Pavel; JANOTA, Aleš; SPALEK, Juraj.** Analýza a řízení rizik v dopravě. Praha: BEN – technická literatura, 2008. 527 s. ISBN 987-80-7300-2140-0.
2. **KLEPSATEL, František.** Městské podzemní stavby. Praha : Jaga Media, s.r.o. , 2005. 285 s. ISBN 80-8076-021-7.
3. **RACEK, Stanislav.** Řešení mimořádné události v silničním tunelu. Brno, 2009. 59 s. Bakalářská práce. VUT v Brně.
4. **STREJČEK, Vít; ROBEK, Michal ; ŠMÍDA, Petr.** Technologické vybavení tunelu Klimkovice. Tunel 2008, 17 (3), 26-32. Dostupné z WWW: http://www.ita-aitec.cz/files/tunel/komplet/tunel_3_08.pdf.
5. **Risk-management.cz [online].** 2001. Analýza a řízení rizik tunelů pozemních komunikací. Dostupné z WWW: [http://www.risk-management.cz/index.php?clanek=116&cat2=1?=\[](http://www.risk-management.cz/index.php?clanek=116&cat2=1?).
6. **BAŠÍK, Petr.** Mmspektrum.com [online]. 14. března 2007 [cit. 2001]. Technika pro bezpečnost silničních tunelů. Dostupné z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/technika-pro-bezpecnost-silnicnich-tunelu>.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Lubomír Macků, Ph.D.

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání diplomové práce:

25. února 2011

Termín odevzdání diplomové práce:

27. května 2011

Ve Zlíně dne 25. února 2011


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan

L.S.


doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá celkovým zabezpečením silničního tunelu. Popisuje stavební prvky používané uvnitř a v okolí silničních tunelů a technická zařízení, kterými jsou v dnešní době silniční tunelové stavby vybaveny. Čtenáře tato práce seznamuje s možnostmi prevence dopravních nehod a popisem celého komplexu silničního tunelu v situaci vzniku a průběhu dopravní nehody nebo požáru. Dále jsou v této práci uvedena pravidla, která by měl člověk dodržovat při vzniku určitých situací uvnitř tunelu. V praktické části je vypracován modelový návrh silničního tunelu včetně všech souvisejících zařízení a jsou stanoveny možnosti spojení účastníka nehody se složkami integrovaného záchranného systému.

Klíčová slova: silniční tunel, bezpečnost, riziko, prevence, senzor, dopravní systém, řídicí systém

ABSTRACT

The diploma thesis deals with complex security of road tunnels. It describes building elements used inside and around the area of road tunnels and also technical devices which are used as parts of the present-day road tunnel equipment. The thesis furthermore informs the reader about possibilities of prevention of traffic accidents and depicts the whole structure of a road tunnel complex at its formation, or during a car crash or a fire/conflagration. Moreover this section of the thesis presents rules which should be respected by persons during an emergence of particular situations inside a tunnel. The practical part of the thesis shows a model design of a road tunnel including all related devices, and specifies possibilities of connection between participants of a traffic accident and organs of "Integrated Safety System".

Keywords: road tunnel, safety, risk, prevention, sensor, system of transport, control unit

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu své diplomové práce panu Ing. Lubomírovi Macků, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi poskytoval při řešení této práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině, především rodičům, kteří mě ve studiu podporovali. Velké poděkování zasluhuje také můj dobrý kamarád a zároveň zkušený stavební projektant Ondřej Kuba, který mi velkou měrou pomohl při tvorbě stavebního projektu v praktické části této diplomové práce.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

| | |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| ÚVOD | 10 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 12 |
| 1 BEZPEČNOSTNÍ RIZIKA TUNELŮ | 13 |
| 1.1 Hlavní faktory bezpečnosti | 13 |
| 2 BEZPEČNOSTNÍ STAVEBNÍ ÚPRAVY | 18 |
| 2.1 Nouzové pruhy | 18 |
| 2.2 Nouzové zálivy | 18 |
| 2.3 Otáčecí zálivy | 18 |
| 2.4 Únikové cesty | 19 |
| 2.4.1 Záchrané cesty a záchrané šachty pro osoby..... | 20 |
| 2.4.2 Záchrané cesty pro osoby a vozidla IZS | 20 |
| 2.5 Bezpečnostní plochy a záchytná zařízení..... | 21 |
| 2.6 Přístupová komunikace | 21 |
| 3 TECHNICKÉ VYBAVENÍ TUNELU | 22 |
| 3.1 Zařízení bezpečnostního systému | 22 |
| 3.1.1 Hlášky pro tísňové volání..... | 22 |
| 3.1.1.1 Hláška SOS | 22 |
| 3.1.1.2 Kabina SOS..... | 22 |
| 3.1.2 Ústředna hlásek pro tísňové volání | 23 |
| 3.1.3 Povětrnostní senzory | 23 |
| 3.1.3.1 Měřiče námrazy | 23 |
| 3.1.3.2 Měření výšky vody na vozovce | 24 |
| 3.1.3.3 Měření směru a síly větru | 24 |
| 3.1.3.4 Senzory pro měření viditelnosti..... | 24 |
| 3.1.4 Systém videodohledu | 25 |
| 3.2 DOPRAVNÍ SYSTÉM..... | 25 |
| 3.2.1 Subsystem detekce vozidel a sledování dopravních situací..... | 25 |
| 3.2.2 Subsystem řízení dopravy | 26 |
| 3.2.2.1 Proměnné dopravní značky..... | 26 |
| 3.2.2.2 Proměnné informační tabule..... | 26 |
| 3.2.2.3 Světelné signály pro jízdu v pruzích..... | 26 |
| 3.2.2.4 Světelné signály | 27 |
| 3.2.2.5 Měření výšky vozidel..... | 27 |
| 3.2.2.6 Mechanické zábrany (závory)..... | 27 |
| 3.2.2.7 Reflexní elementy | 27 |
| 3.3 SPOJOVACÍ A DOROZUMÍVACÍ VYBAVENÍ | 28 |
| 3.3.1 Rádiové spojení | 28 |
| 3.3.2 Ozvučovací zařízení | 28 |
| 3.4 EVAKUAČNÍ VYBAVENÍ | 29 |
| 3.4.1 Nouzové únikové osvětlení tunelu | 29 |
| 3.4.2 Bezpečnostní značení | 30 |
| 3.5 POŽÁRNÍ ZAŘÍZENÍ | 30 |
| 3.5.1 Tlačítkové hlásiče požáru..... | 30 |

| | | |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.5.2 | Automatické hlásiče požáru | 30 |
| 3.5.3 | Automatické hlásiče kouře | 31 |
| 3.5.4 | Přenosné hasicí přístroje | 31 |
| 3.5.5 | Požární vodovod..... | 31 |
| 3.6 | OSVĚTLENÍ TUNELŮ | 32 |
| 3.6.1 | Normální osvětlení | 33 |
| 3.6.2 | Náhradní osvětlení | 34 |
| 3.7 | VĚTRÁNÍ | 35 |
| 3.7.1 | Podélné větrání..... | 36 |
| 3.7.2 | Polopříčné větrání | 36 |
| 3.7.3 | Příčné větrání | 37 |
| 3.7.4 | Měření škodlivin a zakouření..... | 37 |
| 3.8 | ŘÍDICÍ SYSTÉM | 38 |
| 4 | PREVENCE DOPRAVNÍCH KOLIZÍ A POSTUP V PŘÍPADĚ DOPRAVNÍCH NEHOD..... | 40 |
| 4.1 | BEZPEČNOSTNÍ KRUH | 41 |
| 4.2 | VÝVOJ UDÁLOSTI | 42 |
| 4.3 | DEFINICE SCÉNÁŘE NEHODY | 43 |
| 4.4 | POSTUP V PŘÍPADĚ NEHODY | 45 |
| 4.4.1 | Stavový model pro případ požáru | 45 |
| 4.4.2 | Stavový model pro případ dopravní nehody | 46 |
| 4.5 | EVAKUACE..... | 47 |
| 4.5.1 | Procedura evakuace..... | 48 |
| 4.5.1.1 | Doba zjištění události..... | 48 |
| 4.5.1.2 | Doba reakce | 49 |
| 4.5.1.3 | Doba pro únik | 49 |
| 4.6 | PRAVIDLA SPRÁVNÉHO CHOVÁNÍ ŘIDIČŮ V TUNELECH ZA NORMÁLNÍCH PODMÍNEK | 50 |
| 4.7 | PRAVIDLA SPRÁVNÉHO CHOVÁNÍ ŘIDIČŮ PŘI KONGESCI (DOPRAVNÍ ZÁCPĚ) | 50 |
| 4.8 | PRAVIDLA SPRÁVNÉHO CHOVÁNÍ ŘIDIČŮ V PŘÍPADĚ NEHODY | 51 |
| 4.9 | PRAVIDLA CHOVÁNÍ ŘIDIČŮ V PŘÍPADĚ POŽÁRU..... | 51 |
| II | PRAKTICKÁ ČÁST | 52 |
| 5 | MODELOVÝ PROJEKT ZABEZPEČENÍ TUNELU..... | 53 |
| 5.1 | BEZPEČNOSTNĚ STAVEBNÍ ÚPRAVY | 53 |
| 5.1.1 | Nouzové pruhy | 54 |
| 5.1.2 | Úniková cesta | 54 |
| 5.1.3 | Nouzový chodník | 54 |
| 5.2 | TECHNICKÉ VYBAVENÍ TUNELU..... | 55 |
| 5.2.1 | Zařízení bezpečnostního systému | 55 |
| 5.2.1.1 | Kabiny SOS | 55 |
| 5.2.1.2 | Silniční meteorologická stanice | 56 |
| 5.2.1.3 | Měření opacity a viditelnosti | 58 |
| 5.2.1.4 | Inteligentní kamerový systém..... | 60 |
| 5.2.2 | Dopravní systém..... | 62 |
| 5.2.2.1 | Stálé dopravní značky..... | 62 |

| | | |
|----------|---------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.2.2.2 | Proměnné dopravní značky (PDZ) | 62 |
| 5.2.2.3 | Světelné signály pro jízdu v pruzích..... | 63 |
| 5.2.2.4 | Detektor měření výšky vozidel | 63 |
| 5.2.3 | Bezpečnostní zábrany (závory) | 64 |
| 5.2.4 | Provozně technický objekt (PTO) / Lokální velín tunelu | 65 |
| 5.3 | SPOJOVACÍ A DOROZUMÍVACÍ VYBAVENÍ | 65 |
| 5.3.1 | Rádiové spojení | 65 |
| 5.3.2 | Ozvučovací zařízení | 66 |
| 5.4 | EVAKUAČNÍ VYBAVENÍ | 66 |
| 5.4.1 | Bezpečnostní značení | 66 |
| 5.5 | PROTIPOŽÁRNÍ ZAŘÍZENÍ | 67 |
| 5.5.1 | Lineární teplotní hlásič požáru..... | 67 |
| 5.5.2 | Automatická detekce kouře..... | 69 |
| 5.5.3 | Požární vodovod..... | 71 |
| 5.6 | OSVĚTLENÍ..... | 72 |
| 5.6.1 | Normální osvětlení | 72 |
| 5.6.2 | Orientační (nouzové) osvětlení | 73 |
| 5.6.3 | Přídavné osvětlení | 73 |
| 5.6.4 | Osvětlení záchranné cesty | 74 |
| 5.6.5 | Jasoměr..... | 74 |
| 5.7 | VĚTRÁNÍ | 74 |
| 5.7.1 | Měření rychlosti proudění vzduchu | 76 |
| 5.8 | ŘÍDICÍ SYSTÉM | 77 |
| 5.9 | FYZICKÁ ARCHITEKTURA ŘÍZENÍ TUNELU..... | 79 |
| 6 | MOŽNOSTI SPOJENÍ UŽIVATELE TUNELU SE SLOŽKAMI IZS..... | 81 |
| 6.1 | KOMUNIKACE PROSTŘEDNICTVÍM MOBILNÍHO TELEFONU | 81 |
| 6.2 | KOMUNIKACE PROSTŘEDNICTVÍM SOS KABINY | 81 |
| 6.2.1 | Komunikace telefonem | 81 |
| 6.2.2 | Komunikace nouzovým tlačítkem..... | 82 |
| | ZÁVĚR | 83 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY..... | 87 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 90 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ | 91 |
| | SEZNAM TABULEK..... | 92 |
| | SEZNAM PŘÍLOH..... | 93 |

ÚVOD

Budování silničních tunelů má velký význam, který se projevuje hned v několika ukazatelích. V případě tunelů budovaných ve městech dochází ke snížení produkce škodlivin do ovzduší, snížení hladiny hluku, snížení stavebních úprav na povrchu a zvýšení bezpečnosti. V případě městských i mimoměstských tunelů dochází k urychlení dopravy. V opačném případě tunely nepříznivě působí na psychiku lidí, kteří se nacházejí uvnitř tunelu. Nevýhodou jsou kromě náročnosti výstavby i vysoké pořizovací náklady a náklady na provoz a údržbu.

Silniční tunely se staví v místech, kde dochází ke křížení frekventovaných dopravních tras. Dále se budují v případech, kdy to vyžadují topografické poměry na povrchu země, tj. pokud optimální trasu povrchové komunikace protíná terénní vyvýšenina nebo řeka a tunelová varianta je výhodnější než mostní.

Silniční tunel je specifickým místem a z hlediska provozování a výstavby je jednou z nejnáročnějších staveb na pozemních komunikacích. Řešení silničních tunelových staveb představuje zohlednění požadavků jednotlivých oborů a jejich disciplín jako je stavebnictví, architektura, ekologie, geologie, životní prostředí a bezpečnost. Každý z těchto oborů musí pro tunelové stavby přizpůsobit své požadavky a ve výsledku nastává velmi náročná práce projektanta při koordinaci projektu.

Silniční tunel je z bezpečnostního hlediska velice rizikovým místem pozemní komunikace. V případě nehody v tunelu má účastník této události podstatně horší podmínky na záchranu než při nehodě na volné komunikaci. Jedna kapitola této práce se proto přímo věnuje rizikům, která v tunelu hrozí a možnostem, jak tyto rizika eliminovat.

V případě nehody je podstatné, aby byly vytvořeny co nejlepší podmínky účastníkům nehody na záchranu. Z tohoto důvodu jsou v silničním tunelu provedeny bezpečnostní stavební úpravy a tunel je vybaven technickými zařízeními zvyšující bezpečnost. Velká část této práce pojednává o těchto bezpečnostních prvcích využívaných v silničních tunelech a pro praktické využití těchto prvků je vytvořen model silničního tunelu, kde je jejich využití demonstrováno. [7, 3]

INTRODUCTION

The construction of road tunnels is of a great importance which can be demonstrated with many indicators. In the case of tunnels built within city limits there is a decrease of production of harmful substances into the atmosphere, reduction of noise levels, reduction of construction adjustments of the terrain, and increase of safety. Concerning both urban and outside-city-area tunnels there is a clear speed-up of traffic. When occurring otherwise, the tunnels negatively affect the minds of people who are located inside a tunnel. High acquisition costs and cost of operation and maintenance are, among costly demands of the construction, considered a disadvantage.

Road tunnels are built in areas where crossings of frequent traffic routes occur. Furthermore, they are constructed in cases when the topographical proportions of landscape require it, i.e. when an optimal route of overground roads is intersected by a terrain/natural elevation, or a river and the tunnel variant is more convenient than a bridge one.

A road tunnel is a specific place and from the construction and operation point of view it is one of the most exacting buildings within the overground roads. The solution of road tunnel constructions represents consideration of demands of individual professions and their fields, such as building industry, architecture, ecology, geology, natural environment and safety. Every one of these fields must adapt its requirements for the tunnel constructions and thus the coordination of the project by a designer becomes a very exacting task in the end.

From the safety point of view the road tunnel is a highly perilous road location. In case of any accident in a tunnel the participant of such event experiences significantly worse conditions for rescue than within an accident on a free road. Hence one chapter of the thesis is directly dedicated to the risks which can occur inside a tunnel, and how to eliminate such dangers.

During an accident it is necessary to create the best possible conditions for the rescue of participants of any accident. Therefore, precautionary construction modifications are executed within the road tunnels and the tunnels are equipped with technical devices which increase safety. Great deal of the thesis concerns these safety elements which are used within the road tunnels and for practical reasons there was created a model of a road tunnel, so the readers might observe the usage of these elements.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 BEZPEČNOSTNÍ RIZIKA TUNELŮ

Nehody v silničních tunelech se opakují a nelze jim zcela zabránit. Důležité ale je poskytnout účastníkům takovéto mimořádné události co nejlepší možnost úniku do bezpečí a následně umožnit záchranným týmům, aby vykonávaly svoji činnost. K tomu, aby se omezily následky, slouží právě analýza rizik, která by měla být trvalým procesem, neboť už se mnohokrát prokázalo, že i malá, mnohdy banální nehoda může způsobit nedozírné následky. [1]

1.1 Hlavní faktory bezpečnosti

Určování vhodné úrovně bezpečnostních prostředků a technicko-organizačního vybavení k zajištění bezpečnosti provozu v tunelech je velmi složitou otázkou, řešenou v současné době s větším, či menším úspěchem na celém světě.

Příčinou obtíží daného řešení je jednak stochastický charakter nehod, jejich průběhu a následků a hlavně vysoký počet obtížně definovatelných parametrů a náhodnost jejich váhy v průběhu katastrofy (proměnlivá důležitost jejich rolí při nehodě).

Strategie bezpečnosti v tunelech spočívá zásadně na dvou hlavních faktorech:

- Bezpečnostním systému tunelu (komplexní technické vybavení včetně organizačního zajištění).
- Lidském činiteli (tj. na činnosti všech účastníků provozu v tunelu v době nehody včetně operátorů a záchranných týmů). [5]

Jak ukazuje statistika nehod v tunelech, rozhodující rizikový činitel nehod (90-95 %) v tunelech je chybná, nebo neuvážená činnost člověka, který v daném případě působí jako člen záchranného či servisního týmu nebo jako uživatel tunelu.

Lze tedy říci, že i když daný tunelový systém vykazuje větší bezpečnostní přínos ve srovnání s ostatními systémy, činnost operátorů, záchranných týmů a uživatelů tunelu může nečekaně zvýšit riziko tak, že vývoj nehody přeroste do katastrofálních rozměrů s oběťmi na lidských životech. Je tedy zřejmé, že veškeré tunelové zabezpečovací systémy mohou být oprávněně instalovány tehdy, kdy opravdu přinášejí zvýšení bezpečnosti a

nepovedou svojí zvětšenou komplexností ke zvýšení možných lidských chyb a tudíž ke zvýšení provozních rizik tunelu.

K určení vlivu alespoň hlavních faktorů ovlivňujících velikost rizik provozu v tunelech se v současnosti používá počítačová simulace dějů pomocí různých matematických modelů. Pro jejich sestavení je však nutno znát alespoň hlavní parametry ovlivňující průběh simulovaných dějů s dostatečnou přesností. [5]

Riziko lze z hlediska velikosti hrozícího nebezpečí rozdělit do třech úrovní. Jedná se o riziko přijatelné, vysoké a nebezpečné. U jednotlivých úrovní hrozícího rizika jsou v následující tabulce uvedeny faktory, které mohou být důvodem ke vzniku nějaké mimořádné události (viz. druhý sloupec tabulky). Ve třetím sloupci tabulky jsou uvedeny prostředky, kterými lze monitorovat parametry uvnitř tunelu a před tunelem a tím pádem předejít těmto mimořádným stavům. V posledním čtvrtém sloupci jsou uvedena opatření, pomocí nichž dochází k omezení rizika a která přispívají ke zvýšení prevence.

Tabulka 1 - Úrovně rizik v aktuálním čase [1]

| Úroveň rizika | Přispívající faktory | Monitoring | Opatření |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NEBEZPEČNÉ | <p>Překročení povolené rychlosti</p> <p>Nadměrný počet velkých vozidel (kamionů atd.)</p> <p>Krátké rozestupy mezi vozidly</p> <p>Nadměrné předjíždění</p> <p>Nadměrné změny jízdních pruhů</p> <p>Dočasný obousměrný provoz</p> <p>Rozlité palivo</p> <p>Nepříznivé povětrnostní podmínky u portálu</p> <p>Přehřátí motoru nebo brzd</p> <p>Porucha bezpečnostních systémů tunelu (větrání, osvětlení, kamery atd.)</p> | <p>V tunelu:</p> <p>Detekce zastavených vozidel</p> <p>Překročení povolené rychlosti</p> <p>Vzdálenosti mezi příliš rychle jedoucími vozidly</p> <p>Údržby na místě</p> <p>Uzavření jízdních pruhů</p> <p>Nadměrného předjíždění a změn jízdních pruhů</p> <p>Ve vstupním portálu:</p> <p>Nepříznivých povětrnostních podmínek</p> <p>Výšky vozidel</p> <p>Poruch bezpečnostního zařízení tunelu</p> | <p>V tunelu:</p> <p>Vypravení pomocných zásahových vozidel</p> <p>Omezení povolené rychlosti</p> <p>Varování o zastavení dopravy</p> <p>Zákaz předjíždění</p> <p>Ve vstupním portálu:</p> <p>Omezení dovolené rychlosti</p> <p>Zamezení vjezdu do tunelu vozidlům nesplňující dovolenou výšku</p> <p>Zajištění správných rozestupů mezi vozidly</p> <p>Dopravní varování o zvýšeném riziku</p> |

| | | | |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| VYSOKÉ | <p>Navýšení dopravní intenzity pro kterou byl tunel navržen</p> <p>Překročení povolené rychlosti</p> <p>Nadměrné změny jízdních pruhů během dopravní špičky</p> <p>Nadměrný počet velkých vozidel (kamionů atd.)</p> <p>Velké rozdíly v rychlosti vozidel</p> <p>Nepříznivých povětrnostních podmínky u portálu</p> <p>Přehřátí motoru nebo brzd</p> | <p>V tunelu:</p> <p>Kamerový dohled s analýzou obrazu</p> <p>Rychlosti dopravy</p> <p>Rozestupů mezi vozidly</p> <p>Teploty brzd vozidel</p> <p>Ve vstupním portálu:</p> <p>Vysoké intenzity dopravy</p> <p>Nepříznivých povětrnostních podmínek</p> <p>Nebezpečného nákladu</p> | <p>V tunelu:</p> <p>Využití výstražných značek omezující dovolenou rychlost a upravují rozestupy mezi vozidly</p> <p>Zákaz předjíždění</p> <p>Ve vstupním portálu:</p> <p>Odhalení přehřátého vozidla a jeho navedení na nouzové parkování před vjezdem do tunelu</p> <p>Omezení přístupu vysoké intenzity dopravy do tunelu</p> |
| PŘIJATELNÉ | <p>Nepřekročení intenzity dopravy přes den a v dopravní špičce, pro kterou byl tunel navržen</p> <p>Přijatelný počet vozidel s těžkým nákladem</p> <p>Dodržení dovolené rychlosti</p> <p>Správné rozestupy mezi vozidly</p> <p>Žádné předjíždění</p> <p>Žádné změny jízdních pruhů</p> <p>Normální podmínky prostředí (teplota, viditelnost)</p> | <p>Ve vstupním portálu:</p> <p>Viditelnosti</p> <p>Nepříznivých povětrnostních podmínek</p> <p>Intenzity dopravy</p> <p>Výfukových plynů, teploty brzd</p> | <p>Ve vstupním portálu:</p> <p>Zamezení vjezdu do tunelu vozidlům nespĺňující dovolenou výšku</p> |
| Úroveň rizika | Přispívající faktory | Monitoring | Opatření |

Tabulka 1 - Pokračování

Události uvnitř tunelu lze rozdělit na tři nežádoucí situace, uvedené v prvním sloupci následující tabulky. Ve druhém sloupci tabulky jsou těmto situacím přiřazeny určité typy událostí, které mohou v tunelu nastat. Tomu odpovídají události, jejichž důsledky jsou popsány dále ve třetím sloupci. Ve čtvrtém sloupci nazvaném „Riziko“ nalezneme související hrozící nebezpečí. Odpovídající odezvu bezpečnostního systému zobrazuje poslední sloupec „Bezpečnostní zařízení a funkce“.

Tabulka 2 - Dělení událostí [1]

| Kategorie | Název události | Důsledky | Riziko | Bezpečnostní zařízení a funkce |
|-----------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NEHODA | Zastavení vozidla | | Ohrožení dalších účastníků Vyvolání nehody s možností poškození zdraví | Rychlá identifikace události (senzory atd.) Informování řidičů (RDS-TMC, inf. tabule atd.) Omezení/zastavení provozu (dopr. systém) Zajištění spolupráce při odtahu |
| | Kolize bez zranění | Materiální škody: a) pro účastníka b) pro stavbu, zařízení | Vyvolání nehody Riziko vzniku požáru při nehodě Zastavení/omezení provozu | Rychlá identifikace události (senzory atd.) Informování řidičů (RDS-TMC, inf. tabule atd.) Omezení/zastavení provozu (dopr. systém) |
| | Kolize se zraněním nebo úmrtím | Škody na zdraví Materiální škody: a) pro účastníka b) pro stavbu, zařízení | Vyvolání nehody Riziko vzniku požáru při nehodě Zastavení/omezení provozu | Zajištění spolupráce při likvidaci nehody |
| POŽÁR | Požár malého rozsahu | Ohrožení zdraví účastníka Materiální škody: a) pro účastníka b) pro stavbu, zařízení | Vyvolání nehody Riziko rozšíření požáru Zastavení/omezení provozu | Rychlá identifikace požáru (videodetekce, senzory kouře atd.) Zásah ručním hasicím přístrojem Zajištění úniku osob (únikové cesty, označení atd.) Informování řidičů (RDS-TMC, inf. tabule atd.) Zastavení provozu (dopr. systém) Zajištění spolupráce při likvidaci nehody |
| | Požár do 5 MW | Škody na zdraví | Riziko rozšíření | Rychlá identifikace požáru |

| | | | | |
|---------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Požár do 20 MW | (teplem, kouřem) Úmrtí vlivem požáru a zplodin Materiální škody na stavbě a zařízení | požáru Vyvolání nehody Zastavení provozu na delší dobu | (videodetekce, senzory kouře atd.) Zásah ručním hasicím přístrojem Zajištění úniku osob (únikové cesty, označení atd.) |
| | Požár do 100 MW | Velké škody na zdraví (teplem, kouřem) Velký rozsah úmrtí vlivem požáru Rozsáhlé materiální škody na stavbě a zařízení Dlouhodobé omezení provozu | Vyvolání nehody | Využití větracího systému |
| | Velká exploze | | Riziko rozšíření požáru | Informování řidičů (RDS-TMC, inf. tabule atd.) |
| | Velmi velká exploze | | Zastavení/omezení provozu | Zastavení provozu (dopr.systém) Zajištění spolupráce při likvidaci nehody |
| TOXICKÉ LÁTKY | Únik toxických a nebezpečných látek v malém rozsahu | Škody na zdraví účastníků v místě události | Rozšíření ohrožení i mimo tunel | Rychlá identifikace (především přepravovaného nákladu) Zajištění úniku osob (únikové cesty, označení atd.) |
| | Únik toxických a nebezpečných látek ve velkém rozsahu | Velké škody na zdraví účastníků tunelu | | Využití větracího systému Informování řidičů (RDS-TMC, inf. tabule atd.) Zastavení provozu (dopr.systém) Zajištění spolupráce při likvidaci nehody |
| Kategorie | Název události | Důsledky | Riziko | Bezpečnostní zařízení a funkce |

Tabulka 2 - Pokračování

2 BEZPEČNOSTNÍ STAVEBNÍ ÚPRAVY

2.1 Nouzové pruhy

Jedná se o přídružný pruh, umístěný vpravo ve směru jízdy, který umožňuje úplné nebo částečné nouzové odstavení vozidel. Navrhují se u krátkých a středních tunelů podle šířkové kategorie tunelu. U dlouhých tunelů se nouzové pruhy zpravidla nenavrhují a jejich návrh musí být podložen závěry hodnocení rizik. [6]

2.2 Nouzové zálivy

Jedná se o rozšířený prostor pro nouzové odstavení vozidel, který se zřizuje po určitých vzdálenostech. Nouzové zálivy se budují v tunelech, kde nejsou zřízeny nouzové pruhy a délka tunelu je větší než 1 000 metrů ve vzdálenosti od portálu a ve vzájemných vzdálenostech 500 m až 750m. V tunelech delších než 1 000 m se nouzové zálivy navrhují na základě hodnocení rizik a technicko-ekonomického posouzení. Umisťují se ve vzájemných vzdálenostech 350 m až 500 m. Nouzové zálivy uvnitř tunelů se umísťují vpravo od jednosměrného jízdního pásu, v šířce jednoho jízdního pruhu. Šířka zálivu je nejméně 2,5 m. V případě obousměrného jízdního pásu se umísťují nouzové zálivy naproti sobě. Délka nouzového zálivu se navrhuje 40 m. Volná výška nad nouzovým zálivem musí umožnit odstavení nákladního vozidla a navrhuje se nejméně 4,2 m. V tunelech o dvou a více tunelových troubách se zřizuje přibližně uprostřed každého nouzového zálivu záchranná cesta (vstup/výstup) do sousední tunelové trouby.

V nouzovém zálivu, výjimečně v jeho bezprostřední blízkosti, se umístí kabina SOS, případně prostor pro technologické vybavení; zpravidla naproti kabině SOS nebo v její blízkosti se zřídí výklenek s požárním hydrantem požárního vodovodu. [6]

2.3 Otáčecí zálivy

Otáčecí záliv je rozšířený prostor tunelu, který umožňuje v tunelu nouzové otočení vozidel do protisměru. Pokud je jednou tunelovou troubou delší než 1 000 m veden obousměrný provoz, navrhují se v ní otáčecí zálivy, které jsou tvořeny dvěma nouzovými zálivy, které jsou umístěny proti sobě. Maximální vzájemná vzdálenost otáčecích zálivů se smí pohybovat v rozmezí 1000 až 1500 m. V tunelech o dvou a více tunelových troubách se

navrhuje místo otáčecího zálivu propojení trub záchrannou cestou pro vozidla. V tunelech, kde jsou navrženy záchranné cesty pro vozidla, se otáčecí zálivy nezřizují. [6]

2.4 Únikové cesty

Jedná se o komunikační prostor pro chodce a/nebo vozidla, který umožňuje evakuaci osob a/nebo vozidel z místa ohrožení v tunelové trubě na volné prostranství, případně přístup pro záchranné jednotky do míst ohrožení.

Z hlediska požární bezpečnosti dělíme únikové cesty na:

- Nechráněné únikové cesty
- Částečně chráněné únikové cesty
- Chráněné únikové cesty
- Záchranné cesty [6]

Koncepce únikových cest každého tunelu je řešena v požárně bezpečnostním řešení stavby a vychází z předpokládaných stavebních úprav, bezpečnostního vybavení tunelu a zvláště z hodnocení účinnosti větrání v tunelové trubě.

Únik (evakuace) osob a vozidel z ohroženého prostoru tunelové trouby je řešen nechráněnou únikovou cestou, ústící na volné prostranství nebo ke vstupu/vjezdu do chráněné cesty v tunelové trubě. Záchranné cesty se vstupy/výjezdy v tunelové trubě umožňují únik evakuovaných osob na volné prostranství (chráněné únikové cesty) nebo do sousední tunelové trouby. Od ostatních prostorů (požárních úseků) jsou záchranné cesty chráněny požárně-dělicími konstrukcemi. Nechráněné únikové cesty v tunelových troubách tvoří nouzové chodníky a/nebo veřejné chodníky, které se zřizují průběžně po obou stranách tunelových trub a ústí na volné prostranství nebo je možno je opustit uvnitř tunelové trouby vstupem/ vjezdem do záchranné cesty.

Záchranné cesty v tunelu zahrnují:

- záchranné cesty a záchranné šachty pro osoby
- záchranné cesty pro osoby a pro vozidla IZS

U tunelů se dvěma a více tunelovými troubami je záchranná cesta tvořena propojkou mezi dvěma tunelovými troubami. [6]

2.4.1 Záchranné cesty a záchranné šachty pro osoby

Záchranné cesty a záchranné šachty pro osoby jsou určeny pro pěší evakuaci osob a pro zásah záchranných jednotek složek IZS bez zásahových vozidel. Záchranné cesty pro osoby se navrhují s minimální šířkou průchozího prostoru 2,0 m, výška průchozího prostoru chodby je 2,4 m. Navrhují se ve vzájemných vzdálenostech přibližně 250 m tak, aby nechráněné únikové cesty v tunelech nepřesáhly v žádném případě délku 300 m.

Požární uzávěry s určením pro otevření ve směru úniku jsou opatřeny panikovým kováním s madlem na straně příchozích unikajících osob. Požární uzávěr, který není určen ke vstupu do záchranné cesty, nesmí být opatřen ze strany tunelového tubusu žádným značením ani kováním a musí být barevně proveden jako stěna tunelu v okolí vstupu/výjezdu do záchranné cesty. Současně únikový uzávěr, určený ke vstupu do záchranné cesty musí být barevně odlišen a vybaven panikovým kováním a bezpečnostním značením. Pokud záchranná cesta pro osoby ústí do záchranné šachty, obě se oddělí požárním uzávěrem a těsnými dveřmi tak, aby vytvořily přepouštěcí požární předsíň. [6]

2.4.2 Záchranné cesty pro osoby a vozidla IZS

V tunelech se dvěma a více tunelovými troubami, délky větší než 1 500 m, se rozšíří zpravidla každá druhá záchranná cesta pro osoby (tunelová spojka) tak, aby byl touto chodbou možný průjezd vybraných vozidel složek IZS. Vzdálenost mezi možnými průjezdy zásahových vozidel smí být nejvýše 750 m. Záchranné cesty pro osoby a vybraná vozidla IZS musí být vybaveny požárními uzávěry s průjezdným prostorem šířky nejméně 3,80 m a výšky alespoň 3,60 m, s vestavěnými požárními uzávěry. Požární uzávěry a únikové uzávěry jsou řešeny stejně jako u záchranných cest a šachet.

Pokud je v tunelu s jednou tunelovou troubou navržená záchranná cesta pro osoby a vybraná vozidla IZS pouze s jedním vjezdem z volného prostranství, je nutno v blízkosti nejvzdálenějšího vstupu/výjezdu do záchranné cesty z tunelové trouby od vjezdu z volného prostranství navrhnout stavební úpravu, umožňující otáčení vozidla celkové délky 5 m (obratíště, točna). [6]

2.5 Bezpečnostní plochy a záchytná zařízení

Zpravidla u portálů tunelů se zřizují zpevněné nástupní plochy pro nástup záchranných jednotek složek IZS. Nástupní plochy se navrhuje s plochou od 100 m² do 350 m². Nástupní plocha s plánovaným využitím jako nouzová přistávací plocha pro primární zásah vrtulníku se navrhuje o rozměrech cca 40 x 25 m, přičemž lze využít plochu jízdnic pruhů a přejezdu středního dělicího pásu. Nouzovou přistávací plochu je nutno osvětlit a doporučuje se vybavit ukazatelem směru a síly větru (větrným rukávem). [6]

2.6 Přístupová komunikace

K portálům tunelu se zřizují přístupové komunikace pro zásahová vozidla složek IZS, pokud to místní poměry umožňují. V případě využití stávajících komunikací je třeba prověřit, zda potřebný příjezd po těchto komunikacích je kategorií alespoň P7 (2 x 3 m zpevněné vozovky), výška průjezdového průřezu 4,2 m a únosnost 80 kN na nápravu vozidla. [6]

3 TECHNICKÉ VYBAVENÍ TUNELU

3.1 Zařízení bezpečnostního systému

3.1.1 Hlásky pro tísňové volání

Hlásky pro tísňové volání mohou být ve dvou provedeních. Jedná se o hlásku SOS a kabinu SOS. Označení hlásek je zobrazeno na obr. 1. [6]



Obr. 1 – Označení hlásek nouzového volání [24]

3.1.1.1 Hláška SOS

Jedná se o stojan nebo nástěnnou skříňku s nouzovým telefonem, která se umísťuje mimo dosah provozního hluku tunelu. [6]

3.1.1.2 Kabina SOS

Jde o uzavřený prostor hlásky nouzového volání, určený rovněž k umístění dalšího bezpečnostního vybavení. Rozmísťují se v tunelech delších než 300 m všech bezpečnostních kategorií tunelů. Jsou navrženy v odstupech přibližně 125 m až 150 m a v blízkosti portálů vně tunelové trouby. Zpravidla se umísťují u vstupů/vjezdů do záchranných cest, např. tunelových propojek, nouzových zálivů a v polovině vzdálenosti vstupů/vjezdů záchranných cest. Kabiny se umísťují v jednosměrně provozovaných tunelech v pravé stěně tunelu ve směru jízdy a vpravo od vozovky u portálů tunelové trouby. V obousměrně provozovaných tunelech se kabiny umísťují v obou stěnách tunelové trouby.

Na kabině SOS musí být číselné označení a dvojjazyčný (čeština, angličtina) varovný text, že kabina nesmí být použita jako úkryt před požárem.

Kabina SOS musí umožňovat:

- Telefonické (verbální) spojení (nouzový telefon) s operátorem policie
- Umístění poplachových tlačítek pro rychlé předání základních informací operátorovi provozovatele
- Umístění signalizačního tlačítka hlásiče elektrické požární signalizace (EPS)
- Umístění přenosných hasicích přístrojů
- Umístění základních vyprošťovacích nástrojů [6]

3.1.2 Ústředna hlásek pro tísňové volání

Ústředna hlásek pro tísňové volání a její příslušenství musí umožňovat:

- Spojení účastníka provozu s operátory dopravy a technologie
- Propojení účastníka provozu operátorem provozovatele se stanoveným operátorem IZS
- Identifikaci místa volajícího
- Zpětné volání operátora do hlásky pro tísňové volání
- Záznam hovoru spolu se záznamem místní a časové identifikace hovoru [6]

3.1.3 Povětrnostní senzory

Patří do kategorie systémů, které mají za úkol předcházet vzniku mimořádné události, způsobené povětrnostními vlivy. Tyto senzory pracují na různých fyzikálních principech. Jsou schopny odhalit, zda je námraza na vozovce, voda na vozovce, jaký je směr a síla větru nebo jaká je viditelnost v okolí a uvnitř tunelu. [1]

3.1.3.1 Měřiče námrazy

Měří stav vozovky z hlediska námrazy a k tomu využívají měření následujících parametrů:

- Teplota vzduchu

- Teplota povrchu vozovky
- Teplota vozovky pod povrchem
- Relativní vlhkost
- Stav povrchu vozovky (mokrý, suchá)

Jedním ze základních požadavků na systém je věrohodná předpověď, zda dojde ke vzniku námrazy. Současné systémy umožňují předpovědět námrazu i 3 hodiny před jejím vznikem, což umožňuje zimní údržbě provádět zásahy v předstihu. [1]

3.1.3.2 Měření výšky vody na vozovce

Má význam jako součást bezpečnostních systémů, které mohou před těmito nebezpečnými místy snižovat rychlost vozidel proměnnými značkami. [1]

3.1.3.3 Měření směru a síly větru

Některé nehody na pozemních komunikacích vznikají po výjezdu z tunelu díky silným poryvům větru. Těmto nehodám je možno předejít omezením rychlosti nebo jiným varováním řidičů. [1]

3.1.3.4 Senzory pro měření viditelnosti

Jsou často přímo spojeny s řídicím systémem, který aktivuje proměnné dopravní značky upozorňující na zhoršení viditelnosti díky mlze, dešti nebo sněžení. Princip těchto senzorů je založen na reflexi světla od částic vody nebo mlhy. Využívá se vysílač využívající infračervené záření a přijímač, který je integrovaný ve stejném pouzdře. Pokud není mlha, neprší ani nesněží, není žádný podíl vysílaného světla reflektován k přijímači. V opačném případě, dle hustoty srážek, přijímač přijme určitou intenzitu odraženého světla. Potom je možno určit jaké podmínky panují v okolí tunelu. [1]

3.1.4 Systém videodohledu

Umožňuje operátorovi 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. Kamery se rozmisťují tak, aby pokrývaly tunelovou troubu v celé délce a předpolí tunelu včetně portálu. Dále se umisťují především v okolí SOS výklenků, vstupů do záchranných cest (tunelových propojek), šachet, nouzových zálivů a monitorují přídatné jízdní pruhy.

Řídicí systém kamerového systému umožňuje přenos obrazu v následujících situacích:

- Otevření dveří SOS kabiny
- Aktivace požárního hlásiče EPS (tlačítko)
- Aktivace automatického hlásiče EPS
- Detekce stojícího vozidla
- Detekce vozidla v protisměru
- Detekce objektu nebo člověka na vozovce
- Detekce dopravní nehody
- Detekce dopravní kongesce

Doporučuje se aktivace také v případě manipulace s hasicím zařízením. [6]

3.2 Dopravní systém

Představuje komplexní řešení řízení a ovlivňování silniční dopravy v tunelu a v oblastech pozemních komunikací mimo tunelové trouby, kde bezpečnost a plynulost provozu na pozemních komunikacích jsou ovlivňovány možnými dopravními režimy tunelu. [6]

3.2.1 Subsystém detekce vozidel a sledování dopravních situací

Jsou to převážně dopravní detektory, jejichž úkolem je sběr dat, určených pro aktuální nebo dodatečné vyhodnocení situace, která panuje v tunelu. Jako detektory se obvykle používají smyčky zabudované do povrchu komunikace. V současné době se doporučuje používat neinvazních systémů, které nenarušují povrch vozovky.

Doporučené neinvazní dopravní detektory:

- mikrovlnné detektory
- infradetektory, laserové detektory

- videodetektory [3]

Detektory slouží pro:

- Včasnou identifikaci mimořádné a havarijní situace
- Včasnou identifikaci dopravních kongescí a stojících vozidel
- Včasnou identifikaci výškově nadměrného vozidla
- Sběru a vyhodnocování dopravních dat
- Identifikaci a záznamu přestupků pro penalizační účely [6]

3.2.2 Subsystém řízení dopravy

3.2.2.1 *Proměnné dopravní značky*

Na rozdíl od stálých dopravních značek mohou měnit svůj informativní stav podle podmínek, které panují v tunelu nebo v jeho okolí. Omezují rychlost, usměrňují dopravu v jízdních pruzích, zabraňují předjíždění apod. [2]

3.2.2.2 *Proměnné informační tabule*

Poskytují účastníkům provozu aktuální informace o zvláštních, mimořádných a havarijních stavech v tunelu a jeho okolních komunikacích. Umisťují se před tunelem nebo uvnitř tunelu. Přispívají ke zvětšení bezpečnosti a plynulosti provozu. [2]

3.2.2.3 *Světelné signály pro jízdu v pruzích*

Signály jsou trvale v aktivním stavu, neboť se tak přispívá k bezpečnosti provozu. Signály jsou rozmístovány 150 až 300 m, vyžádá-li si to tvar tunelu, je možné tyto signály umístit i v kratších intervalech. Platí zásada, že by vždy měly být viditelné z pozice řidiče nejméně dva signály. Možnosti zobrazení symbolů jsou znázorněny na obr.2. [3]



Obr. 2 – Symboly pro jízdu v pruzích [8]

3.2.2.4 Světelné signály

Světelné signály jsou důležité z hlediska dopravního i z hlediska bezpečnostního. U tunelu všech bezpečnostních kategorií jsou světelné signály součástí trojbarevné soustavy, přičemž červená barva „stůj“ zastaví vozidla v daném místě tunelu nebo před tunelem, zatímco signál se žlutým světlem „Pozor“ předchází červenému signálu a varuje, že je aktivována SOS hláska nebo systém upozoroval, že se děje něco mimořádného.

V tunelech kategorie TA a TB by vzdálenost světelných signálů neměla přesahovat 500 m. Světelné zařízení před vjezdem do tunelu má o jeden světelný bod navíc a to červenou barvu, ta slouží jako náhradní pro případ poruchy jedné žárovky pro zastavení provozu v tunelu. [1, 3]

3.2.2.5 Měření výšky vozidel

Měření výšky vozidel se provádí v dostatečné vzdálenosti od portálu tunelu, aby bylo možné nadměrné vozidlo zastavit. Pro snímání se využívají detektory na principu infrazávory v kombinaci s indukčním dopravním detektorem. Signál z infrazávory je přenášený do procesních stanic řídicím systémem (ŘS), který aktivuje proměnné dopravní značení před tunelem. ŘS zároveň předá zprávu na dispečink. [7]

3.2.2.6 Mechanické zábrany (závory)

Zábrany lze užít pro uzavírku jednotlivých jízdních pruhů a směrování vozidel do volných jízdních pruhů. Zábranu je nutné doplnit světelnými signály, aktivovanými při změně stavů zábrany a v její aktivní poloze. Při úplné uzavírce se používá režim současného blikání. Zábrany nesmějí bránit vjezdu složek IZS. [3]

3.2.2.7 Reflexní elementy

Jsou světelná zařízení vedoucí řidiče na silnici uvnitř tunelu. Jedná se o dopravní knoflík se zabudovanými LED diodami vyčnívající asi 10 mm na povrch vozovky. Umísťují se pro doplnění podélných a vodicích čar. [1]

3.3 Spojovací a dorozumívací vybavení

3.3.1 Rádiové spojení

Rádiová komunikace umožňuje spojení mezi servisními složkami a v případě zásahu spojení mezi složkami IZS. Tunely delší než 1 km se vybavují vyzařovacím kabelem (anténou) a před vjezdem do tunelu se umísťují značky, které informují řidiče, na jakou vlnovou délku mají naladit své rádiové přijímače. Prostřednictvím naladěné radio stanice je umožněno operátorovi dopravy pomocí služby RDS-TMC (Radio Data System - Traffic Message Channel) poskytovat řidičům dopravní informace a v případě mimořádné události dávat instrukce řidičům jak se zachovat. Pokrytí signálem je nutné zabezpečit uvnitř tunelu, v technických a pomocných prostorách a budovách, únikových cestách a na velínu. Instalace rádiového zařízení zajišťuje kromě přenosu rozhlasové stanice a signálu mobilní sítě i duplexní spojení pro záchranné a servisní složky. [3]

Minimálně je nutné zabezpečit přenosy:

- jedné rozhlasové stanice s dopravními informacemi, kde přednost mají stanice s kanálem RDS – TMC
- kanálu složek IZS
- alespoň jednoho kanálu pro provozní a servisní účely
- alespoň jednoho operátora mobilní telefonní sítě pro krizovou mobilní komunikaci [6]

3.3.2 Ozvučovací zařízení

Ozvučovací zařízení je důležitou součástí bezpečnostního systému. Toto zařízení se instaluje v tunelech dle tabulky bezpečnostní vybavení. 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/hod) s otevřeným okénkem.

Základní hlášení jsou připravena na magnetickém médiu nebo v paměti počítače. Reproductory jsou umístěny i u portálů a u vstupu záchranných cest. Ozvučovací zařízení plní funkci evakuačního rozhlasu při mimořádných událostech, hlavně při požáru. Velitel

zásahu má možnost ovládat reproduktory přímo z velínu tunelu, a tak přímo vstupovat a řídit činnost v tunelu. [3, 6]

3.4 Evakuační vybavení

3.4.1 Nouzové únikové osvětlení tunelu

Je instalováno v tunelech pro případ evakuace při vzniku mimořádné události. Obzvláště v případě požáru, kdy jsou sníženy účinky normálního osvětlení, je nutné spolehlivé vedení účastníků dopravy po únikových komunikacích. K tomu slouží bodové osvětlení, napájené ze záložního zdroje, jehož svítidla jsou umístěna v úrovni 0,8 až 1,0 m nad povrchem únikové komunikace. Funkčnost nouzového osvětlení musí být minimálně 120 min. Nouzovým osvětlením se vybavují jen tunely delší než 200 m. [2]

Místa, která musí být tímto osvětlením zdůrazněna, jsou zvláště:

- každé dveře určené pro nouzový východ (vstup/vjezd do záchranné cesty)
- bezpečnostní značky
- v blízkosti každé jiné změny výškové úrovně nechráněné únikové cesty
- nechráněné únikové cesty v blízkosti nouzových východů
- při každé změně směru nechráněné únikové cesty
- každý nouzový, otáčecí záliv
- nechráněné únikové cesty v blízkosti každé hlásky nouzového volání
- v blízkosti každého hasícího prostředku (hydrantu požárního vodovodu) a požárního hlásiče [6]

Osvětlení záchranných cest, osvětlení ostatních únikových cest v komplexu silničního tunelu (provozních a technologických prostorů) se provádí zpravidla normálním osvětlením. Osvětlení záchranných cest a ostatních únikových cest 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. [3]

3.4.2 Bezpečnostní značení

Mezi bezpečnostní značení se počítají bezpečnostní značky, týkající se podmínek bezpečí a požární značky. Mohou být provedeny prosvětlené nebo světloemitující. Napájení světelného zdroje svítidla musí být zajištěno shodně s nouzovým únikovým osvětlením. Bezpečnostní značky pro označení vstupů/vjezdů do záchranných cest a kabin SOS se umísťují v jejich bezprostřední blízkosti.

Bezpečnostní značení s vyznačením směru úniku (a vzdálenosti ke vstupu do záchranné cesty) se umísťují na stěny únikových cest ve vzdálenosti max. 15 m. Před výjezdem z tunelové trouby se v některých případech mohou umístit proměnné výstražné značky, upozorňující na vznik námrazy. [6]

3.5 Požární zařízení

3.5.1 Tlačítkové hlásiče požáru

V každé SOS kabině nebo vně na její stěně je umístěno tlačítko pro manuální hlášení požáru. Tlačítka jsou propojená s řídicím systémem tunelu a s dispečinkem prostřednictvím ústředny elektrické požární signalizace (dále už jen EPS). Zvukový signál upoutá pozornost operátora a světelný signál na displeji mu umožní snadno identifikovat stanoviště, ze kterého byl nouzový signál vyslán. Datum, čas a místo aktivace tlačítek musí být zaznamenán automaticky. Tlačítkové hlásiče jsou umístěny i v technologických prostorách tunelu dle požárně bezpečnostního řešení a jsou připojeny na ústřednu EPS. [8]

3.5.2 Automatické hlásiče požáru

V tunelu délky 400 a více metrů jsou používány liniové hlásiče požáru, které reagují na absolutní hodnotu teploty a její vzestup v závislosti na čase. Hlasič je umístěn nad průjezdovým prostorem pod stropem tunelové roury. Rozlišení místa vzniku požáru v tunelové troubě by mělo být takové, aby operátor dopravy mohl v daném úseku ovlivnit řízení dopravy pomocí proměnných značek.

Doporučená délka úseku pro rozlišení požáru je 50 metrů. Liniový hlasič 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 metrů. Liniový

hlásič je teplotní kabel, který je natažen po celé délce tunelu. Spolu s vyhodnocovací jednotkou je schopen detekovat požár s přesností do 6 m metrů na délce 4 kilometrů, maximálně do 60 sekund. Pokud propojíme kamerový systém s liniovým hlásičem, je okamžitě ukázáno místo požáru v řídicím velínu tunelů. Počet kabelů závisí na počtu jízdních pruhů. Pro dva jízdní pruhy se používá jeden hlásič, pro tři jízdní pruhy dva hlásiče a pro čtyři jízdní pruhy dva hlásiče. [8]

3.5.3 Automatické hlásiče 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 zareagují senzory teploty. Údaje o překročení prahových hodnot opacity jsou zahrnuty do algoritmů řídicího systému tunelu. Vzdálenost senzorů pro měření opacity má být do 300 metrů, pokud slouží i jako detektory požárů. Opacita zjednodušeně řečeno je znečištění vzduchu zplodinami z výfuků, požárů atd. Čím větší znečištění, tím hůře prochází světlo. Senzory umístěné v tunelu maximálně na vzdálenost 300 m jsou mezi sebou spojeny paprsky. Při překročení nastavené hodnoty znečištění vzduchu v tunelu je průchodnost paprsku přerušena, a tím je detekován požár nebo překročení emisí zplodin v tunelu. [8]

3.5.4 Přenosné hasicí přístroje

Pokud jsou v tunelu navrženy SOS kabiny, musí být každá z nich vybavena 2 ks přenosných práškových hasicích přístrojů s hmotností 6 kg. Vyjmutí hasicího přístroje je signalizováno dispečerovi a vrácení zpět je možné pouze za použití speciálního klíče provozního personálu. Tím je zabráněno navrácení nefunkčního přístroje. [6]

3.5.5 Požární vodovod

Požární vodovod se zřizuje u tunelů delších než 400 m. Tunelové trouby musejí být vybaveny nadzemními hydranty B 75, které jsou napojeny na tlakové potrubí požárního vodovodu, zajišťující dodávky požární vody. Hydranty B 75 se navrhuje do výklenků v ostění vlevo ve směru jízdy u vstupů/vjezdů do záchranných cest a ve středu mezi nimi, zpravidla v blízkosti SOS kabin. Vzdálenost mezi těmito hydranty je 60 až 125 m. U

tunelů s jednou tunelovou troubou se hydranty umísťují na stranu, kde jsou situovány vstupy/vjezdy do záchranných cest.

Tunely musí být vybaveny potrubím tlakové vody (dle bezpečnostního vybavení), které musí být pro zimní období zajištěné proti zamrznutí. Pro tunely do délky 1000 m se požaduje pro vedení hasebního zásahu ze dvou stran tunelové trouby zajistit průtok nejméně $2 \times 20 \text{ l s}^{-1}$. Zásoba vody musí vydržet na dobu nejméně 60 min. V tunelech delších než 1000 m se požaduje zajistit průtok nejméně $2 \times 20 \text{ l s}^{-1}$ a zásoba vody musí pokrýt potřebu na dobu 120 min. Požadovaný přetlak ve výtocích hydrantové sítě požárního vodovodu je zpravidla v rozmezí 0,6 MPa až 0,8 MPa a nesmí překročit hodnotu 1,2 MPa. Musí ho být dosaženo do 80 s od spuštění čerpadel.

Zdrojem požární vody může být:

- Voda z tlakového vodovodního řádu
- Voda z přírodního zdroje
- Voda z požární nádrže [6]

3.6 Osvětlení tunelů

Cílem osvětlení tunelů je zajistit bezpečnost a plynulost jízdy a zrakovou pohodu účastníků provozu při zohlednění návrhové rychlosti.

Pro osvětlení v tunelu jsou důležité tyto světelně-technické charakteristiky:

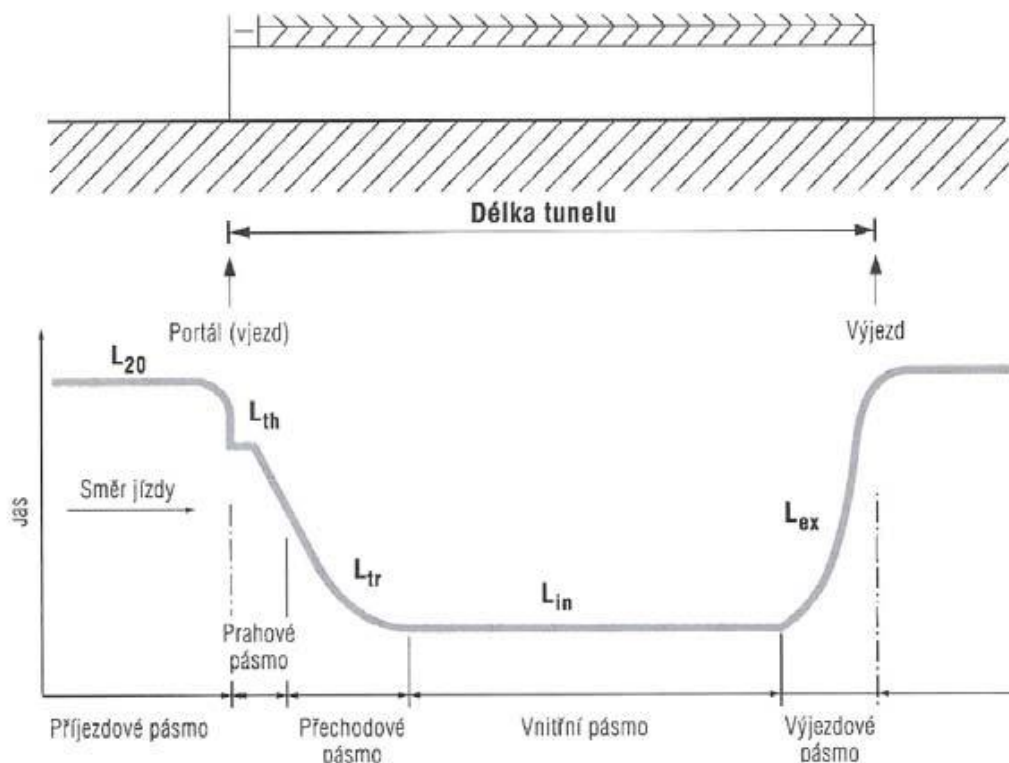
- Úroveň jasu vozovky a spodní části stěn tunelu a jejich rovnoměrnost
- Omezení oslnění
- Omezení kmitání světla

Osvětlením se má zajistit srovnatelná viditelnost venku a v tunelu. Vzhledem ke zrakové adaptaci řidiče je nejkritičtější stav během slunečných dní, kdy řidič z prostředí s vysokou úrovní jasu vjíždí do tunelu, kde je úroveň jasu nízká. Čím větší je tento rozdíl, tím déle se zrak adaptuje a tím delší dráhu za tuto dobu vozidlo ujede. Z hlediska bezpečnosti jízdy je důležité, aby adaptační dráha nebyla delší než brzdná dráha vozidla. Projekt osvětlení tunelu zahrnuje návrh normálního, náhradního a nouzového osvětlení. [2]

3.6.1 Normální osvětlení

Zajišťuje účastníkům provozu při vjezdu do tunelu, při pohybu v něm a při výjezdu z něj takové podmínky, které se co nejvíce přibližují zrakové pohodě řidiče a umožňují mu rozeznávat překážky na vozovce.

Ze světelně-technického hlediska v podélném směru tunelu rozeznáváme pět pásem osvětlení, která jsou znázorněna na obrázku č. 3. [2]



Obr. 3 – Pásma osvětlení [8]

- Příjezdové pásmo L_{20} – je bezprostředně před portálem tunelu, odkud řidič vidí do tunelu. Při jeho nedostatečném osvětlení řidič nevidí překážky v tunelu. Vzniká tzv. efekt černé díry. Tento jev je nejmarkantnější za slunečných dnů. Před portálem je proto nutné realizovat některá stavebnětechnická opatření, aby se jas za slunečných dnů oslabil na hodnotu 4000 až 6000 cd/m^2 . Zrak řidiče se na snížené hodnoty tunelu adaptuje za 12 až 15 s, což při rychlosti jízdy $v = 80 \text{ km/h}$ představuje délku dráhy $L_{20} = 270$ až 330 m.
- Prahové (mezní) pásmo L_{th} – zde je třeba intenzitu osvětlení snížit oproti jasu v příjezdovém pásmu v poměru 1:10 (15), tj. na přibližně 300 až 500 m. Délka

tohoto úseku se má rovnat délce brzdné dráhy při dané návrhové rychlosti, aby vozidlo mohlo v případě potřeby spolehlivě zastavit.

- Přechodové pásmo L_{tr} – intenzita osvětlení z mezního pásma se postupně snižuje na intenzitu vnitřního pásma, která se pro tunely kratší než 1500 m navrhuje obvykle 8 cd/m^2 , pro delší tunely 4 cd/m^2 . Protože se zrak řidiče adaptuje 12 až 15 s, při rychlosti vozidla 80 km/h má být $L_{tr} = 270$ až 330 m.
- Vnitřní pásmo L_{in} – zde se jas udržuje na konstantní úrovni, přičemž ve dne je tato úroveň vyšší než v noci, kdy se volí zpravidla jen intenzita přibližně na úrovni 50% denního osvětlení. Intenzita nočního osvětlení má být vyšší než na navazujících úsecích povrchových komunikací.
- Výjezdové pásmo L_{ex} – v tomto pásmu se má intenzita osvětlení postupně zvyšovat, aby se oko přizpůsobilo stavu za tunelem. Zde není situace tak kritická jako ve vjezdovém pásmu, protože řidič případné překážky vidí proti jasnému otvoru výjezdu. Délka výjezdového L_{ex} pásma má být větší než je brzdná dráha vozidla při dané návrhové rychlosti. [2]

3.6.2 Náhradní osvětlení

Náhradní osvětlení uvnitř tunelu se uvádí do provozu v případě výpadku elektrického proudu. Navrhuje se u tunelů delších než 300 m. V případě výpadku elektrického proudu bude náhradní osvětlení napájeno elektrickou energií ze záložního zdroje. Náhradní osvětlení má sníženou intenzitu, což se řeší snížením počtu svítidel, která zůstanou v provozu, a omezením rychlosti vozidel v tunelu pomocí proměnných značek. Kapacita náhradního zdroje musí umožnit, aby všechna vozidla mohla opustit tunel s dostatečnou časovou rezervou. Vjezdu dalších vozidel do tunelu se zabrání světelnou signalizací. Náhradní zdroj musí mít dostatek elektrické energie, který postačí na napájení na dobu nejméně 30 min. [2]

Z hlediska požární bezpečnosti je součástí náhradního osvětlení tunelu osvětlení příslušných volných prostranství (nástupních ploch, nouzových přistávacích ploch pro vrtulníky, přístupy k požárním nádržím apod.). [6]

3.7 Větrání

Větrání v tunelech musí zajišťovat:

- Snížení koncentrace škodlivin v ovzduší na přípustnou míru ve smyslu hygienických předpisů
- Dobrou viditelnost pro průjezd vozidel
- Snížení účinků teploty a kouře způsobené požárem na osoby v tunelu
- Řízený rozptyl škodlivin z tunelu a tím i snížení imisního zatížení jeho okolí [2]

Při zpracování projektu větracího systému je třeba zohlednit požadavky na větrání během normálního provozu, při požáru v tunelu a rozptyl škodlivin na povrchu.

- Větrání během normálního provozu – kromě navyšování koncentrace CO způsobené produkcí osob v tunelu jsou škodlivé látky v tunelu tvořeny především spalovacími motory automobilů. Jedná se o CO, NO, NO₂, nespálené uhlovodíky CH_x, oxid siřičitý SO₂, cyklické uhlovodíky a aldehydy. Množství škodlivin uvnitř tunelu je ovlivněno několika faktory. Jsou to např. délka tunelu, hustota dopravního proudu, druh motoru vozidel nebo rychlost jízdy v tunelu.
- Větrání během požáru - v prvních minutách po vypuknutí požáru je z hlediska bezpečnosti osob rozhodující optimální řízení ventilace, aby bylo udrženo co nejmenšího podílu vzduchu v kouři. Proto se musí v tunelech s podélnou ventilací udržet podélné proudění vzduchu ve stejném směru jako před vznikem požáru, avšak s omezenou rychlostí. Při příčném větrání je třeba co nejrychleji zvýšit množství odsávaného horkého vzduchu a kouře z místa požáru na maximum. Teplý kouř se šíří rychlostí až několik metrů za sekundu nejdříve v horní části průřezu tunelu, proto zůstává prostor do výšky přibližně 2 m nad vozovkou prvních 5 až 10 minut volný pro únik osob. V tomto případě je nutno kouř odstraňovat bodovým odsáváním přes strop, resp. liniově uspořádanými otvory v malých rozestupech. Kouř, který není pohlcen, v dalších minutách klesá směrem k vozovce. Odsávací ventilátory musejí mít teplotní odolnost minimálně 400 °C po dobu 90 minut. Proudové ventilátory včetně přívodních kabelů musejí odolávat teplotě 250 °C také nejméně 90 minut. Důležitý je rovněž správný návrh větrání záchranných cest. Zde musí být zajištěn přetlak vzduchu ve srovnání s tunelovou troubou, aby při otevření únikových dveří proudil vzduch ze záchranné cesty směrem do tunelové trouby.

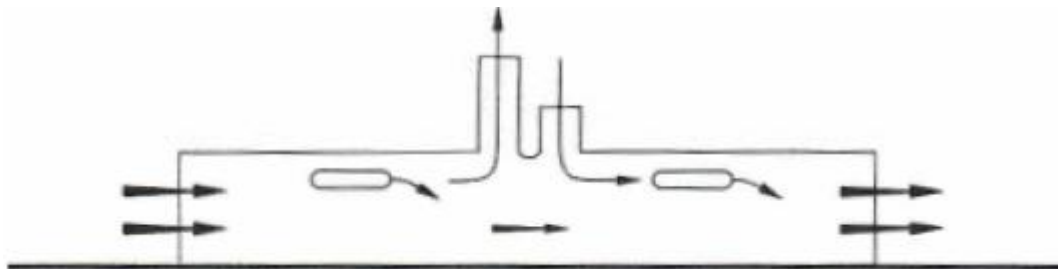
System větrání musí také zajistit odpovídající výměnu vzduchu v záchranných cestách. Místo požáru je důležité co nejdříve identifikovat pomocí hlásiče požáru. Pro různé varianty požáru mají být vytvořeny optimální protipožární programy, které se automaticky aktivují. Větrání se však v žádném případě nesmí odpojit před příjezdem hasičů, jimž je třeba umožnit řízení ventilace. Optimalizaci řízení ventilace v případě požáru je nutno posoudit vždy v souladu s místními podmínkami a musí být řešená v projektové dokumentaci a v dokumentaci pro zdolávání požárů.

- Rozptyl škodlivin na povrch – se týká především tunelů budovaných ve městech. V tomto případě je důležité zachytit znečištěný vzduch vycházející přes portály a usměrnit jej tak, aby koncentrace škodlivin nepřevyšovaly povolené limity. [2]

Způsoby větrání silničních tunelů

3.7.1 Podélné větrání

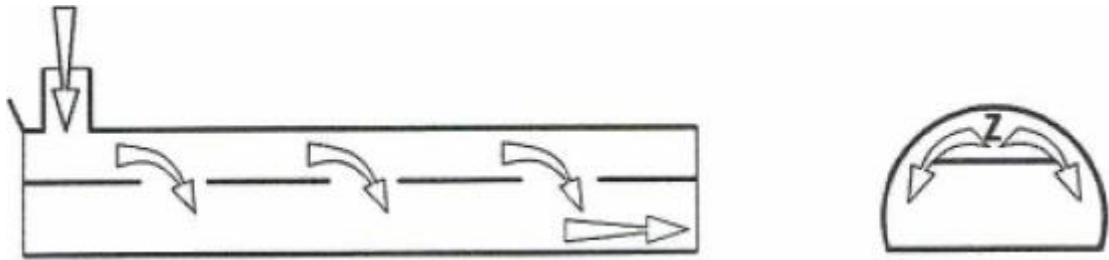
Podélné proudění vzduchu, znázorněné na obr. 4, je realizováno obvykle proudovými ventilátory. Tento způsob větrání se s výhodou používá při jednosměrném dopravním provozu. Pro snížení hodnot škodlivin může být ve středním úseku pomocný komín. [8]



Obr. 4 – Podélné větrání [8]

3.7.2 Polopříčné větrání

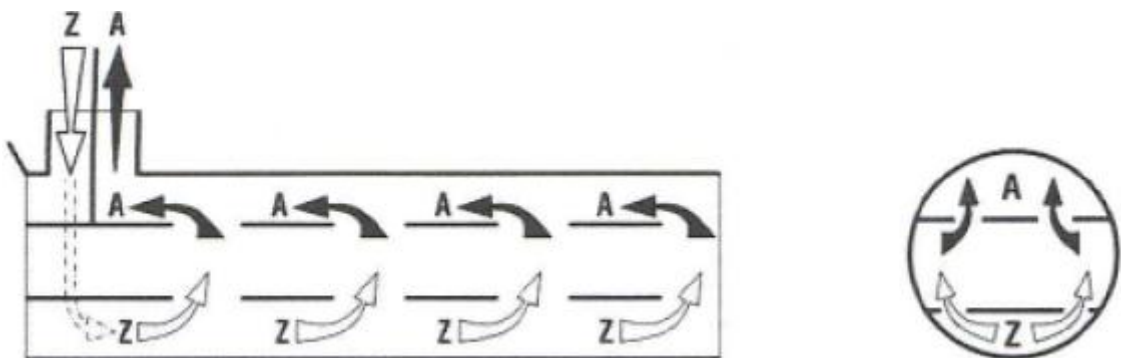
Při polopříčném větrání tunelu bude při požáru použit přívodní vzduchový kanál opačně – pro odsávání kouřových zplodin pomocí reverzního chodu ventilátorů. Na větracích otvorech jsou osazeny dálkově ovládané požární klapky, které zajišťují bodový odvod kouřových zplodin při požáru. Tento způsob větrání je znázorněn na obr.5. [8]



Obr. 5 - Polopříčné větrání [8]

3.7.3 Příčné větrání

Při požáru je čerstvý vzduch přiváděn spodem nebo je vypnut přívod čerstvého vzduchu shora a kouřové zplodiny jsou odsávány u stropu z jízdního prostoru. Princip je znázorněn na obr.6. [8]



Obr. 6 - Příčné větrání [8]

3.7.4 Měření škodlivin a zakouření

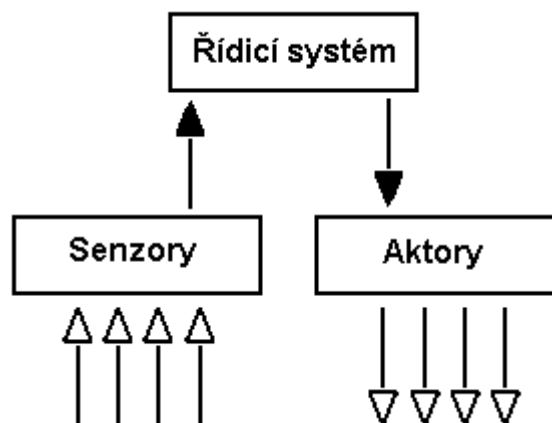
Měření škodlivin v tunelech je nedílnou součástí systému identifikace požáru. Měřicí aparatury, které jsou poměrně složité, jsou vyráběny pro měření oxidu uhelnatého produkovaného spalovacími motory (ale také NO, NO₂, SO₂, nespálených uhlovodíků CH_x) a měření opacity, která je dána zplodinami z motorů, ale i kouřem při požáru.

Moderní senzory pro měření CO i opacity většinou využívají měření v infračerveném pásmu. Vysílač vysílá přímočarý paprsek, který je absorbován molekulami CO. Stupeň absorpce je přímo měřítkem koncentrace oxidu uhelnatého a opacity. Pro měření CO je délka měřicí trasy cca 2 až 3 m, zatímco při měření opacity je měřicí trasa okolo 10 až 20

m. Přístroje mají možnost samokalibrace při znečištění optických částí, což snižuje nároky na četnost servisu. [1]

3.8 Řídicí systém

Tunely, které jsou vybaveny řízeným osvětlením nebo ventilací, jsou vybaveny řídicím systémem. Kromě ventilace a osvětlení integruje řídicí systém další provozní, bezpečnostní a kontrolní zařízení, která umožňují kontrolu a řízení provozu v tunelu. Řídicí systém tunelu musí zajistit jako primární úkol kontinuitu dopravy v tunelu při dodržení daných bezpečnostních pravidel a zajištění ekologických požadavků, přičemž je nutno minimalizovat provozní náklady a maximalizovat spolehlivost systému. Řídicí systém (viz obr. 7) je regulovanou soustavou tvořenou senzory jednotlivých funkčních celků, které snímají vstupní parametry a aktory, což jsou výstupní členy zprostředkovávající styk s řídiči jednotlivých systémů a zajišťují příslušné chování dané technologie. [8]



Obr. 7 – Znárodnění řídicího systému [8]

Senzory:

- Dopravní parametry (intenzita a rychlost vozidel, 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 (identifikace dopravní nehody, zpozorování osoby na vozovce atd.)
- Technologické proměnné (stavy čerpadel, klappek atd.) [8]

Aktory:

- Dopravní (proměnné) značky zákazové, příkazové, výstražné a informační
- Proměnná světelná signalizace pro jízdu v pruzích
- Zařízení pro provozní informace (informační tabule)
- Speciální dopravní rozhlasové vysílání se vstupy do vysílání z centra řízení tunelů
- Ovládání kamer videodohledu
- Ozvučovací zařízení
- Řízené prvky rozvodů (elektro, voda atd.)
- Větrání
- Osvětlení [8]

4 PREVENCE DOPRAVNÍCH KOLIZÍ A POSTUP V PŘÍPADĚ DOPRAVNÍCH NEHOD

Základní cíl, který se snaží investoři, projektanti a provozovatelé tunelu zajistit, je předcházet kritickým událostem, které mohou v tunelu nastat. Jsou to události, které ohrožují lidské životy, způsobují škody na majetku nebo mají ekologické dopady.

Předcházení vzniku události se dá zajistit již ve stádiu návrhu, kdy se tunel navrhuje tak, aby splňoval nejvyšší nároky na bezpečnost. Velký význam má i správné provozování tunelu a údržba tunelu.

Vzhledem k tomu, že statistika ukazuje, že 90 až 95 % veškerých nehod, které vzniknou uvnitř tunelu, je způsobeno selháním lidského faktoru, měla by být co největší pozornost zaměřena právě na prevenci chování lidí. Tato prevence by měla být především soustředěována na:

- členy řídicího, nebo záchranného týmu zasahujících při nehodě: jejich rizikovitost lze výrazně ovlivnit jejich pečlivým výběrem (psychotesty), výcvikem a poplachovými cvičeními, což by měly určovat i předpisy těchto profesionálních složek.
- uživatele tunelu, ať aktivní (řidiče) nebo pasivní (dopravované osoby): jejich rizikovitost lze ovlivňovat velice obtížně. I přesto však existují opatření, které vedou ke zvyšování bezpečnosti. [5]

Preventivní opatření musí v první řadě vést ke snížení možnosti lidského selhání a v druhé řadě musí zabezpečit, aby lidská chybná činnost (rozhodnutí) měla minimální nebo žádné přitěžující okolnosti.

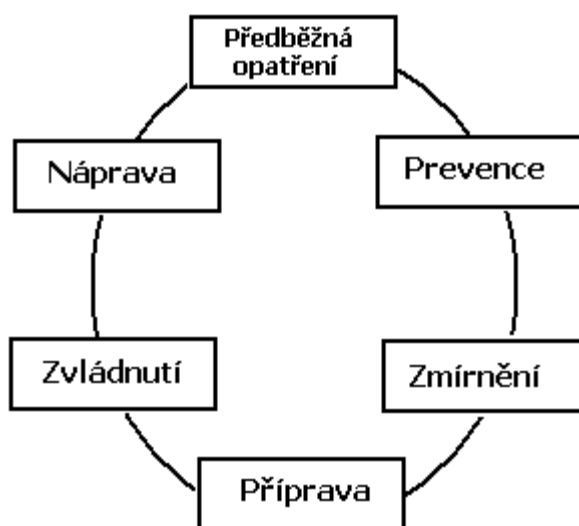
Lidské chování lze do určité míry ovlivnit různými prostředky. Mezi tyto prostředky řadíme:

- informace
- dozor
- kontrola
- sankce

Zkušenosti ukazují, že jedním z nejúčinnějších opatření je opakovaná informační kampaň zveřejňující správné chování účastníků při nehodách v tunelu (texty na billboardech, kampaň „Nemyslíš, zaplatíš“ apod.). [5]

4.1 Bezpečnostní kruh

Zajištění bezpečnosti v tunelech představuje zabývat se celým bezpečnostním kruhem (viz obr. 8). Každý z jednotlivých článků kruhu je neméně důležitý než kterýkoliv jiný článek. [1]



Obr. 8 – Bezpečnostní kruh [1]

Bezpečnostní kruh je obecně tvořen těmito články:

- Předběžná opatření: vyvarování se situací v tunelu, které nejsou bezpečné, vyloučením všech primárních příčin – patří sem strukturální i provozní bezpečnostní opatření během fáze plánování před stavbou nebo opravou už používaného tunelu.
- Prevence: snižuje pravděpodobnost vzniku nehody v tunelu
- Zmírňení: maximální možné zmírňení důsledků v tunelu přijetím opatření, která umožní ohroženým osobám uniknout z místa nehody ještě před příchodem zasahujících složek

- Příprava: připravenost záchranných složek (např. výcvik členů zásahových jednotek)
- Zvládnutí nehody: zajištění toho, že v případě závažných důsledků bude po vzniku nehody poskytnuta přiměřená pomoc ze strany veřejných zásahových složek
- Náprava: realizace všeho, co je potřebné k návratu do normálního stavu (např. poskytnutí pomoci obětem a úhrada škod) [1]

Bezpečnostní opatření by měla být přijímána co nejdříve na začátku bezpečnostního kruhu, protože lepší je událostem předcházet, než řešit následky těchto událostí. Proto má největší význam v kruhu prevence. Nelze však předejít všem událostem. Pokud dojde k nehodě nebo požáru, nejúčinnější odezvou je záchrana uživatelů vlastními silami (a tím zmírnění možných následků), neboť rychle se rozvíjející požár může znemožnit jakýkoliv zásah např. už po 10 minutách, přičemž záchranné jednotky se do té doby nemusejí dostat do inkriminovaného místa. [1]

4.2 Vývoj události

Ve většině případů je událost detekována náhlou změnou standardních podmínek, jinými slovy přerušением normálního provozu. Událost začíná jejím vznikem (např. nehodou) a prochází několika fázemi (malý požár, silný vývoj kouře apod.). Průběh vývoje fází události právě určuje její důsledky. Pozornost je nutno věnovat jak předcházení událostí (např. přehřátí brzd nákladních vozidel), tak i zmírnění či omezení události (zabránění přechodu z malého požáru do velkého), stejně jako omezení následků požárů (větrání). Jednotlivé fáze události jsou popsány v tabulce č. 3. [1]

Tabulka 3 - Vývojové fáze události [1]

| Fáze události | Popis |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Počáteční fáze | <ul style="list-style-type: none"> Narušení normálního provozu |
| 2. Událost | <ul style="list-style-type: none"> Aktuální start události (nehoda) Rozvíjení události Vývoj nebezpečné události pro ostatní cestující |
| 3. Detekce a varování | <ul style="list-style-type: none"> Detekce, varování, verifikace, zpráva o události |
| 4. Samo-záchrana | <ul style="list-style-type: none"> Únik cestujících vlastními silami |
| 5. Odezva bezpečnostního systému | <ul style="list-style-type: none"> Příjezd bezpečnostních složek Komplex bezpečnostních opatření |

4.3 Definice scénáře nehody

V principu lze definovat nekonečné množství různých scénářů nehod, což by ovšem vedlo k neřešitelnému problému. Systematicky lze nehody v tunelech rozdělit do tří základních tříd škod způsobených nehodou (viz tabulka 4) a počet scénářů nehod lze pak omezit (podle švýcarských zkušeností) asi na osmnáct, rozdělených celkem na pět základních typů scénářů (viz tabulka 5). [5]

Tabulka 4 - Třídy škod nehod [5]

| Třídy škod nehod | |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Primární škody nehod | Jsou škody způsobené samotnou nehodou |
| Sekundární škody nehod | Škody vzniklé po nehodě, které mohly být způsobeny např. v rámci záchranných prací |
| Přerušování služeb tunelu | Úplné přerušování služeb tunelu (Uzavření tunelu) |

Tabulka 5 - Typy scénářů nehod [5]

| Typ scénáře | | |
|--------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------|
| Název | Číslo scénáře | Předmět |
| Technická závada | 1. | Auto (osobní, dodávka, lehký nákladní) |
| | 2. | Kamion |
| | 3. | Autobus |
| Srážka | 4. | Auto (osobní, dodávka, lehký nákladní) |
| | 5. | Kamion |
| | 6. | Autobus |
| | 7. | Hromadná srážka |
| Požár v tunelu | 8. | Auto (osobní, dodávka, lehký nákladní) |
| | 9. | Kamion |
| | 10. | Autobus |
| | 11. | Hromadná srážka |
| | 12. | Kamion/nebezpečný náklad |
| Znečištění nebezpečným nákladem při nehodě | 13. | Hořlavé tekutiny |
| | 14. | Hořlavý plyn |
| | 15. | Toxické výpary |
| | 16. | Toxické tekutiny |
| | 17. | Radioaktivní látky |
| Únik látek bez nehody | 18. | Únik nebezpečného nákladu (kapalin, plynů) |

4.4 Postup v případě nehody

Pokud vznikne událost typu nehoda, je nutné zajistit, aby do místa nehody nevjížděla další vozidla a aby byli účastníci nehody co nejrychleji ošetřeni. Pokud vznikne požár, je situace mnohem komplikovanější a je nutné učinit minimálně následující opatření:

- Zajistit co nejlepší možnost sebezáchrany účastníků události
- Umožnit účastníkům události okamžitý zásah pro její likvidaci
- Zabezpečit účinný zásah záchranných týmů
- Zabezpečit ochranu životního prostředí
- Omezit materiální škody [1]

4.4.1 Stavový model pro případ požáru

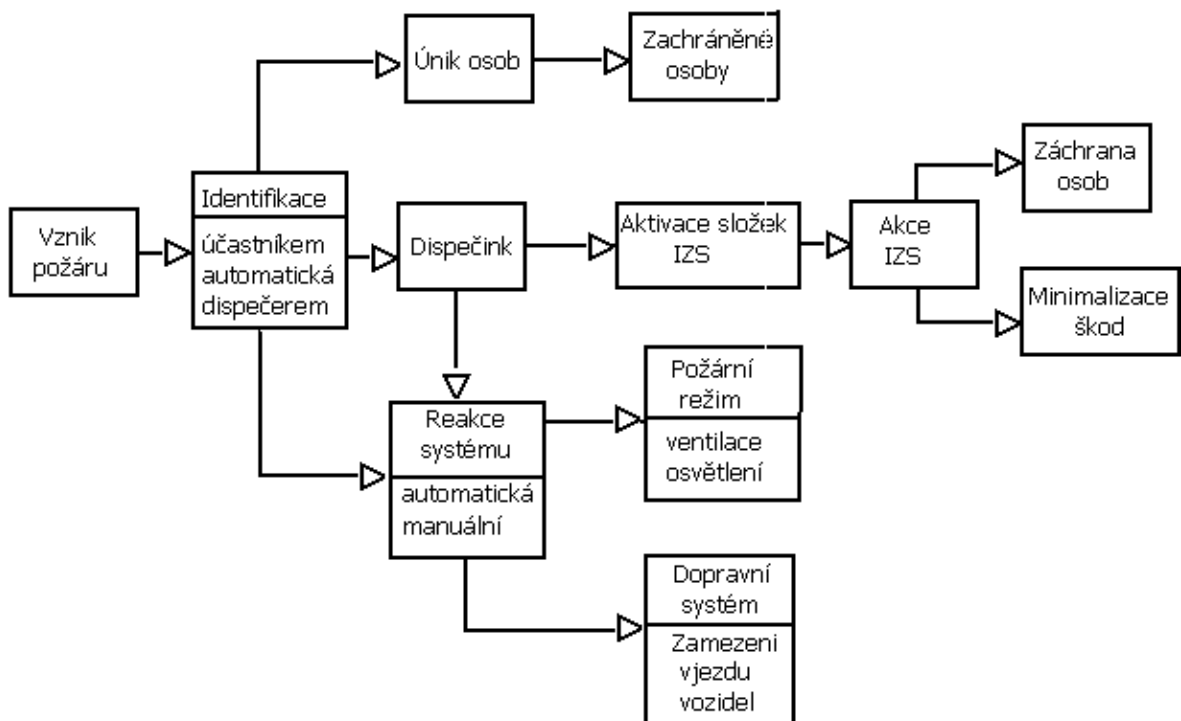
Pro základní kategorii události typu požáru je zpracován stavový model (viz obr. 9), který popisuje stavy celého komplexního systému tunelu od vzniku události, přes její identifikaci až po reakci systému.

Pokud již k události dojde, je potřeba ji co možná v nejkratším čase identifikovat. Identifikace může být provedena účastníkem události, při které vznikl požár, může být identifikována automaticky (senzory, videodetekce) nebo může být zjištěna dispečerem. V české republice se pro hlášení události s oblibou využívají mobilní telefony, podstatně méně se využívají SOS kabiny. Spolehlivost a rychlost automatické identifikace ovlivňuje technické řešení a druhy senzorů (liniový hlásič, detektory kouře apod.). Na zjištění požáru dispečerem má vliv rozsah řízeného systému jednoho nebo více tunelů, školení a tréninky dispečerů, způsob organizace práce, jejich psychický stav, zda je zrovna den/noc nebo jaká je hustota dopravy atd.

Po identifikaci musí nastat reakce. Obvykle se prakticky současně rozebíhají aktivity složek IZS, řídicí systém startuje automatické reakce a dispečer provádí činnosti dané předpisy pro činnost v mimořádných situacích. Reakce řídicího systému spočívají hlavně v řízení ventilace, osvětlení, dopravního systému popř. dalších subsystémů. Cílem požárního režimu je minimalizovat důsledky teploty a kouřových zplodin na účastníky události a vytvořit optimální světelné podmínky pro osoby uvnitř tunelu. Řídicí systém dále ovlivňuje dopravní systém, který zamezí vjezdu dalších vozidel do tunelu a ovládá proměnné značení a informační tabule, které upozorňují řidiče na vzniklé nebezpečí, popř. informují přímo účastníky nehody a poskytují rady pro evakuaci.

Zásadní význam pro počet zachráněných mají činnosti a zařízení, které umožňují evakuaci vlastními silami. Je prokázáno, že osoby se zachrání v maximální míře, pokud jsou schopny chůze a tunel je vybaven únikovými cestami a dobrým značením a osvětlením únikových cest. Výzkumy prokazují, že pro záchranu osob je kritických prvních 6 až 8 minut po vzniku požáru. Proto je velmi důležitá reakce účastníka, který si uvědomí vážnost situace a volí únik z ohrožení.

Po příjezdu složek IZS začínají činnosti, které vedou především k záchraně lidí, organizaci jejich evakuace a zabránění zvětšování materiálních škod hašením a likvidací požáru. [1]



Obr. 9 - Stavový model pro případ požáru [1]

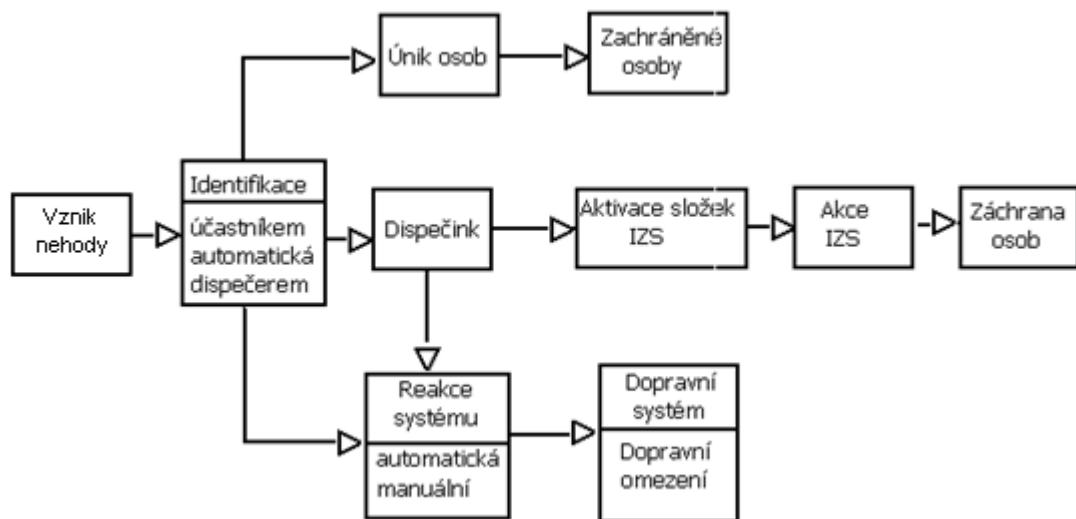
4.4.2 Stavový model pro případ dopravní nehody

V tomto případě se jedná o stavový model dopravní nehody (viz obr. 10), která není doprovázena požárem. Tyto dopravní nehody jsou na rozdíl od požáru poměrně časté a jsou potenciálním zdrojem nebezpečné situace požáru nebo řetězové srážky více vozidel.

Stejně jako v situaci požáru může být identifikace provedena třemi způsoby. Je to buď účastníkem, dispečerem nebo je provedena automaticky. Na identifikaci se však podílejí jiné senzory než v případě požáru.

Po zjištění události následuje reakce řídicího systému, která obvykle vyžaduje přímé dispečerské řízení. Podle rozsahu nehody se buď zabrání vjezdu dalších vozidel do tunelu, nebo se aktivuje dopravně-informační a varovný systém upozorňující na nehodu. Prostřednictvím dopravně-informačního systému se řidiči sděluje, jakým způsobem má reagovat na vzniklou situaci. Součástí procesu je i činnost složek IZS, popř. pouze jeho potřebných složek (např. pouze policie).

V případě události typu dopravní nehoda je zjištění události a reakce systému v podobě předání pokynů účastníkům provozu. [1]



Obr. 10 - Stavový model pro případ dopravní nehody [1]

4.5 Evakuace

V případě, že v tunelu dojde k větší události, je nutné, aby se všechny ohrožené osoby dostaly do bezpečného místa v co nejkratším čase. Proces evakuace ohrožených osob lze rozdělit na dva základní případy.

- Záchrana vlastními silami - tento druh záchrany se jeví jako primární zdroj snížení počtu raněných. Jedná se o dosažení bezpečného místa uvnitř tunelu nebo v jeho okolí vlastními silami.
- Organizovaná evakuace - k řízené evakuaci může dojít až poté, co na místo nehody dorazí některá ze zásahových složek. V případě městských tunelů se odhaduje doba

dojezdu na cca 8 minut. U tunelů, které se nachází mimo město, může být doba dojezdu až několikanásobně větší. Ke skutečné záchraně osob, které jsou uvězněny uvnitř dopravních prostředků, nedochází zpravidla dřív jak 20 - 30 minut po nehodě. [1]

4.5.1 Procedura evakuace

Proceduru evakuace lze definovat jako čas, který uplyne od doby, kdy lidé událost identifikují, do doby, kdy se dostanou na bezpečné místo. Za bezpečné místo považujeme vnitřní část tunelu nebo jeho okolí, kde už nehrozí aktuální nebezpečí (únikové cesty, předportály apod.). Evakuační proces lze rozdělit na několik časových úseků, které mohou být analyzovány zvlášť, protože jsou specifické z hlediska chování lidí i akcí, které jsou vykonávány:

- Dobu zjištění události
- Dobu reakce
- Dobu pro únik [1]

4.5.1.1 Doba zjištění události

Lze charakterizovat jako čas, kdy si jedinec uvědomí, že se něco konkrétního stalo. V tunelu, se informování může podstatně vylepšit, pokud je tunel vybaven vhodnými informačními nebo alarmovými zařízeními. Je také nutné, aby si obsluha tunelu byla jistá událostí a uměla tato zařízení optimálně využívat.

Tento čas samozřejmě souvisí s charakterem události. Lidé, kteří jsou konfrontováni s kouřem nebo plameny, si tuto událost uvědomí téměř okamžitě. Platí zde, že čím jsou větší vizuální události, tím je doba zjištění menší.

Účastníky události lze rozlišit na dvě kategorie podle reakce na danou událost. Jsou to:

- Lidé, kteří jsou v kontaktu s místem události – ti reagují díky fyzikálnímu charakteru události (kouř, plameny) velmi rychle.
- Lidé, kteří jsou informováni nepřímou – ti jsou informováni o události např. pomocí informačních tabulí nebo rozhlasem. Tito lidé si přímé nebezpečí neuvědomují,

protože nevnímají tabule nebo neposlouchají rozhlas. Proto by měla být snaha vybavit tunel jasným a přehledným varovným a informačním systémem a hlavně by měli být uživatelé tunelu trvale seznamováni s těmito prostředky a měli by vědět, jak se mají chovat.

Z uvedených úvah je patrné, že doba zjištění události je velice individuální, závisí na druhu události a jejich projevech a je dána i charakterem vybavení tunelu. [1]

4.5.1.2 Doba reakce

Doba reakce je čas, který se počítá od doby zjištění události, do doby kdy začne evakuace. Znamená to, že je jedinec vědom události a hledá vhodné řešení. Obvykle jedinec následuje chování ostatních lidí, kteří se rozhodují rychleji.

Podle rozsáhlých evakuačních testů bylo prokázáno, že čas potřebný pro vyhodnocení hrozícího nebezpečí byl 5 – 10 minut i přesto, že hrozící nebezpečí bylo evidentní už od první minuty.

Přestože je tato doba také silně individuální, jsou zde jisté faktory, které ji ovlivňují. Jedná se o chování jedinců uvnitř tunelu, viditelnost únikových východů apod. Všechny tyto faktory ovlivní čas, který je potřebný pro rozhodnutí jakou evakuační cestu zvolit. [1]

4.5.1.3 Doba pro únik

To je časový úsek, kde při rozbořech pomáhá evakuační model, aby se zjistilo, kde jsou potenciálně slabá místa. Při výpočtech se bere v úvahu rychlost pohybu osob, která je ovlivněna hustotou unikajících osob (počet osob/m²), viditelnost (např. snížená kouřem), pozice orientačních značek a označení únikových východů a také vliv starších a handikepovaných osob.

V první fázi evakuace se jedná o opuštění vozidla. Opuštění osobního vozidla trvá zlomek času ve srovnání s opuštěním plně obsazeného autobusu, kde navíc hraje roli, zda lidé spí nebo jak jsou unaveni.

Znamená to, že rozptyl rychlostí unikajících osob je značný a závisí na mnoha okolnostech. Rychlost unikajících osob stanovuje americký standart NFPA na 0,7 m·s⁻¹,

příčemž se míní rychlost osob, které se pohybují volně a nejsou ovlivněné zástupem či frontou. [1]

4.6 Pravidla správného chování řidičů v tunelech za normálních podmínek

Aby se předešlo případným dopravním nehodám, měl by každý řidič vědět, jak se má chovat před vjezdem do tunelu nebo při jízdě tunelem.

Měly by se dodržovat tyto body:

- před vjezdem do tunelu je třeba ověřit, zda je v automobilu dostatek pohonných hmot
- věnovat pozornost dopravním značkám a dopravním světlům, které jsou na portále
- naladit dopravní rozhlasovou stanici
- rozsvítit světla
- odložit sluneční brýle
- v tunelu dodržovat bezpečnou vzdálenost
- nepřekračovat předepsanou rychlost
- sledovat, kde jsou umístěny únikové východy, odpočívadla, hasicí přístroje [9]

4.7 Pravidla správného chování řidičů při kongesci (dopravní zácpě)

Měly by se dodržovat tyto body:

- při přiblížení k dopravní zácpě rozsvítit varovná světla
- zajet k pravému okraji a zastavit
- při zastavení kolony vypnout motor
- zůstat ve vozidle než bude udělen další pokyn
- naslouchat oznámení dopravního rádia, respektovat informace či instrukce obdržené od tunelové služby [9]

4.8 Pravidla správného chování řidičů v případě nehody

Měly by se dodržovat tyto body:

- zapnout varovná světla
- zajet k pravému okraji a zastavit
- vypnout motor
- kontaktovat velín tunelu (IZS, dopravní servis)
- pokud je to možné, poskytnout první pomoc zraněným [9]

4.9 Pravidla chování řidičů v případě požáru

V případě, požáru vlastního:

- pokud je to možné, vyjet z tunelu, pokud to není možné, snažit se zajet na pravou stranu

V případě, požáru jiného vozidla:

- zajet na odstavné místo na pravé straně a zastavit

V obou případech:

- zapnout varovná světla, vypnout motor
- najít nejbližší místo pro nouzovou komunikaci a kontaktovat velín tunelu; při použití nouzového telefonu se většinou ihned zapne kamerová aktivace;
- pokud možno zlikvidovat oheň co nejdříve, hasicí přístroje jsou v lokalitách u SOS kabin
- pokud je to možné, poskytnout první pomoc zraněným

Platí pravidlo: pokud je v tunelu viditelný kouř nebo oheň, je důležité se dostat co nejdříve k nouzovým východům nebo vjezdu/výjezdu do/z tunelu. [9]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 MODELOVÝ PROJEKT ZABEZPEČENÍ TUNELU

V modelovém projektu zabezpečení tunelu je navržen fiktivní silniční tunel "Jirka". Obsahuje bezpečnostní stavební úpravy a technologické vybavení, kterými je zajištěna bezpečnost za normálního provozu i v případě vzniku nějaké mimořádné události.

Charakteristika tunelu Jirka

Umístění tunelu: pod povrchem chráněné krajiny

Způsob výstavby: ražba štítem

Provoz: obousměrný provoz v jedné tunelové troubě

Délka: 500m – střední tunel

Průjezdový profil tunelu:

- výška 4,8 m
- celková šířka 12,5
 - šířka jízdního pruhu 3,5 m
 - vodící pruh 0,25 m
 - nouzový pruh 1,5 m
 - nouzový chodník 1 m

Intenzita dopravy: 1000 vozidel/24 hod, výhledově až 2000 vozidel/24 hod

Bezpečnostní kategorie tunelu: TB (posuzuje se podle délky tunelu a intenzity dopravy)

Uvažovaná rychlost větru uvnitř tunelu: 3 m/s

Návrhová rychlost: 80 km/h

Druh vozidel: osobní a kamionová doprava

5.1 Bezpečnostně stavební úpravy

Všechny bezpečnostní stavební úpravy byly navrženy podle platné normy ČSN 73 7507 a technologického předpisu TP 98 - Technologické vybavení tunelů pozemních komunikací.

5.1.1 Nouzové pruhy

V tunelu Jirka je nouzový pruh umístěn po celé délce tunelu, po obou stranách tunelové trouby. Slouží k nouzovému odstavení vozidel. Nouzový chodník je znázorněn ve výkresové dokumentaci (viz situace 1-4).

5.1.2 Úniková cesta

Úniková cesta je v našem tunelu určena pro nouzovou evakuaci osob. Vstup je umístěn na pravé straně tunelové trouby ve vzdálenosti 250 m od západního vjezdu do tunelu (viz výkr. dokumentace – situace 3) a vede do prostoru před portálem tunelu. Podle aktuální situace je možno zvolit únik před západní nebo východní portál tunelu. Celá úniková cesta je znázorněna ve výkresové dokumentaci (situace 1-4). Vstup do únikové cesty je označen osvětleným nápisem EXIT. Tento osvětlený nápis je umístěn i u východu únikové cesty ven z tunelu.



Obr. 11 - Záchránná cesta v tunelu Horelica u Čadce [25]

5.1.3 Nouzový chodník

Nouzový chodník (situace 1-4) je umístěn po celé délce tunelu Jirka, po obou stranách tunelové trouby. Je určen pro pěší využití uživatelů tunelu a vede ven z tunelu nebo do

únikové cesty. Má šířku 1 m a z toho je možno 0,5 m využít pro nouzové odstavení vozidla.

5.2 Technické vybavení tunelu

5.2.1 Zařízení bezpečnostního systému

5.2.1.1 Kabiny SOS

V našem tunelu budou využity kabiny SOS od firmy Eltodo (viz obr. 12). Kabiny vyráběné touto firmou jsou osvědčené a jsou instalovány v několika tunelech v České republice i v zahraničí. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl tyto kabiny zakomponovat do návrhu tunelu. V tunelu Jirka budou tyto SOS kabiny sloužit pro nouzovou komunikaci účastníků mimořádných událostí pomocí nouzového telefonu nebo poplachových tlačítek. Kabina je vybavena ručním hasicím přístrojem a základním protipožárním vybavením. Zásuvky 230 V a 400 V jsou umístěny po obou stranách tunelové trouby. V tunelu je umístěno celkem 6 SOS kabin (výkresová dokumentace – situace 2,3,4) ve vzájemné vzdálenosti nepřesahující 150 m. Kabiny jsou opatřeny značkou znázorňující nouzovou komunikaci (značka telefonu). [10]



Obr. 12 – Vlevo SOS kabina Eltodo, vpravo vnitřní provedení kabiny Eltodo [10]

5.2.1.2 Silniční meteorologická stanice

CrossMet

Ve většině případů jsou povětrnostní vlivy v tunelu a jeho okolí měřeny senzory, které jsou obvykle schopny měřit pouze jednu veličinu. V tomto návrhu tunelu bylo zvoleno zařízení, ve kterém je do jednoho řídicího systému integrováno hned několik senzorů detekující stav vozovky a povětrnostní vlivy. Konkrétně se jedná o silniční meteorologickou stanici CrossMet (viz obr. 13). Tato zařízení jsou instalována na mnohých místech českých silničních komunikacích.

V našem návrhu tunelu tato meteorologická stanice poskytuje včasná varování před nebezpečnými jevy na vozovce a v blízkém okolí tunelu jako jsou námraza, led, mlha, silný vítr a mokrý nebo sněhem pokrytý povrch vozovky. V případě, kdy dojde ke zhoršení povětrnostních podmínek nad hranicí, která by mohla způsobit pro řidiče nebezpečí v okolí nebo uvnitř tunelu, řídicí jednotka meteorologické stanice vyšle signál do řídicího systému tunelu, který přizpůsobí proměnné informační značení stavu vozovky nebo nastalým povětrnostním stavům. Meteorologická stanice je schopna detekovat sníh a s určitým předstihem předpovědět vznik námrazy. V tomto případě může údržba silnic zakročit dříve, než dojde ke vzniku námrazy a tím nastane ohrožení bezpečného provozu. Meteorologická stanice CrossMet je umístěna v prostoru před oběma vjezdy do tunelu Jirka. [11]



Obr. 13 - Silniční meteorologická stanice CrossMet [11]

Doplňující technické údaje:**Řídicí jednotka**

- Napájecí napětí: 230 V stř. 50Hz nebo 12-15 V ss
- Krytí stanice: IP 55
- Krytí modulu řídicí jednotky: IP 44
- Provozní teplota: -40 až +80 ° C
- Uživatelské rozhraní: 2x RS 232, 3x RS 485

Vozovkový senzor

- Rozsah měření teploty povrchu vozovky: -40 až +70 °C $\pm 0,2$ °C
- Měření stavu povrchu vozovky: 7 stavů (suchý, vlhký, mokrý, zbytkové chemikálie, sníh, možnost namrzání, námraza)
- Měření výšky vody na vozovce: 0 až 4 mm ($\pm 0,1$ mm)
- Měření koncentrace soli: 0 až 100 %
- Provozní teplota: -40 až +70 ° C

Senzor viditelnosti a srážek

- Měření viditelnosti: 10 až 2000 m $\pm 10\%$ (mlha, kouř)
- Měření intenzity srážek: 0 až 99,99 mm/h
- Určení typu srážek: mrholení, déšť, déšť se sněhem, sníh
- Provozní teplota: - 40 až +60 ° C $\pm 0,2$ °C

Měření teploty a vlhkosti vzduchu

- Měření teploty vzduchu: -40 až +60 ° C $\pm 0,2$ °C
- Měření relativní vlhkosti vzduchu: 0,8 až 100 % $\pm 0,2$ %

Další měřené parametry

- Rychlost a směr vzduchu
- Barometrický tlak [11]

5.2.1.3 Měření opacity a viditelnosti

SIGRIST VisGuard

Pomocí snímače zařízení SIGRIST VisGuard (viz obr. 14) bude možné v modelovém návrhu tunelu měřit viditelnost a koncentraci CO, NO a dalších škodlivých látek. Výsledky tohoto měření určují, jak bude nastavena pomocí větracího systému rychlost proudění vzduchu v tunelu nebo zda bude muset dojít k uzavření tunelu. Pro zařazení tohoto systému do návrhu tunelu bylo rozhodnuto, protože je s úspěšností používán v tunelech po celé Evropě. Dokonce bude instalován v tunelu Blanka v Praze, který bude nejdelším městským tunelem v Evropě. V České republice se prodejem a instalací tohoto systému zabývá firma Technoprocur. [12]

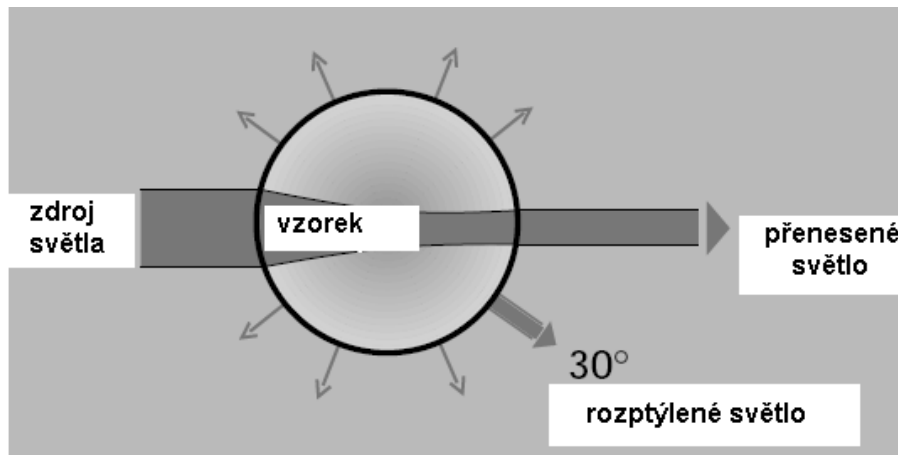


Obr. 14 - Snímač pro měření opacity a viditelnosti SIGRIST VisGuard [12]

Princip měření:

Viditelnost se uvádí ve formě extinkčního koeficientu, tzv. koeficientu stanovující absorpci světla, který odpovídá útlumu způsobenému nečistotami ve vzduchu. Míra viditelnosti se vyjadřuje v jednotkách E/m (extinkce na vzdálenost 1m), případně mE/m (miliextinkce na vzdálenost 1m). Jako základ měření se použije množství procházejícího nebo rozptýleného světla, protože většina útlumu je způsobena rozptylem (odrazy paprsků od nečistot). Intenzita rozptylu světla je násobena koeficientem, abychom dostali koeficient extinkce. VisGuard bude měřit intenzitu rozptýleného světla ve vzorku nasátém větráčkem ve stanoveném místě detekce a potrubím dopravován do místa měření. Přístroj je vybaven topením pro ohřev vzorku na vstupu do přístroje, tím se eliminují jakékoliv problémy při výskytu mlhy. VisGuard využívá princip dlouhodobě ověřené dvoupaprskové metody

firmy SIGRIST (viz obr. 15). Tato metoda vypočítává poměr mezi světlem rozptýleným ve směru 30° a světlem procházejícím v přímém směru. [12]



Obr. 15 - Princip dvoupráskové metody firmy SIGRIST pro měření opacitu a viditelnosti [12]

Rozmístění:

Při zvážení parametrů modelu tunelu, kterými je hlavně uvažovaná hustota dopravy a rychlost proudění vzduchu, byla s doporučením pana Ing. Pišana využita extraktivní metoda, která umožňuje natažení vzorkovacího potrubí až z 8 vzorkovacích míst a přes přepínací ventilovou jednotku je připojit k jednomu senzoru VisGuard. Maximální délka vzorkovacího potrubí je 200 m. V návrhu tunelu jsou umístěny dva měřicí senzory VisGuard a ke každému z nich je zajištěn přívod vzorků vzduchu ze třech míst v tunelu. Místa, kde dochází k odběru vzorků, jsou vyznačena ve výkresové dokumentaci (situace 1-4). Odebírače vzorků jsou umístěny ve výšce 2 m a vzdálenost mezi jednotlivými místy odběru vzorků nepřevyšuje 88 m, což zajišťuje spolehlivou detekci.

Doplňující technické údaje

- Měřicí rozsahy: 0 - 15 mE/m a dalších 7 volně konfigurovatelných rozsahů
- Rozlišení: $\pm 0,25\%$ z hodnoty plného měřicího rozsahu
- Měřicí vlnová délka: 880 nm
- Provozní teplota: -20°C až $+50^\circ\text{C}$
- Průtok vzduchu: 30 l/min.
- Materiál pláště: nerez

- Mechanické krytí: IP 65
- Volitelné vyhřívání pro eliminaci mlhy
- Napájení: 230/400/440 V / 50 nebo 60Hz
- Relativní vlhkost: 0 až 100%
- Instalace přímo na stěně tunelu [12]

5.2.1.4 Inteligentní kamerový systém

Autoscope Terra system

Jedná se o inteligentní kamerový systém, vyvinutý přímo pro aplikace v silničních tunelech, který využívá automatické softwarové analýzy obrazu. Situace, které nastanou v tunelu, vyhodnocuje systém automaticky a v případě zjištění mimořádné události dojde k upozornění obsluhy zvukovou a vizuální signalizací. Obsluha má možnost sledovat tuto situaci na monitorech dispečerského stanoviště a reagovat způsobem odpovídajícím vážnosti situace.

Tento systém umožňuje detekovat:

- Nehodu
- Zastavení vozidla
- Dopravní zácpu
- Pohyb osob na vozovce
- Výskyt kouře při požáru
- Cizí předmět na vozovce
- Jízdu v protisměru
- Počet vozidel
- Rychlost vozidel
- Aktivaci SOS kabiny [13]

Kamery Autoscope AIS

Pro zajištění videodohledu v celém prostoru tunelu Jirka byly zvoleny barevné kamery Autoscope AIS (viz obr.16), které jsou speciálně optimalizované pro kamerové systémy Autoscope. Tyto kamery mají široký záběr snímaného prostředí, což je ideální pro využití v tunelu. Kamery Autoscope AIS jsou vybaveny objektivy s proměnnou ohniskovou vzdáleností (zoom) a je možné je libovolně směřovat do zvoleného prostoru před tunelem

nebo uvnitř tunelu. Jsou odolné i vůči vysoce agresivnímu prostředí a díky tomu je jejich provoz téměř bezúdržbový. [13]



Obr. 16 - Kamera Autoscope AIS [13]

Rozmístění:

Návrh tunelu Jirka obsahuje celkem 36 kamer (výkr. dokumentace – situace 1-6). Kamery snímají prostor tunelové trouby, každou SOS kabinu, vstup do únikové cesty, prostor únikové cesty a předportálí tunelu. Za normálních podmínek se na monitorech ve velínu tunelu zobrazuje především provoz v tunelové troubě. V okamžiku, kdy dojde k detekci nějaké mimořádné události kamerovým systémem Autoscope Terra, dochází k upozornění dispečera a na monitory se přepnou kamery snímající tuto situaci.

Doplňující technické údaje:

- Vysoká citlivost i při sníženém osvětlení
- Napájení: 110 .. 240 V
- Provozní teplota: -34° C až +74° C
- Relativní vlhkost: funkce až do 95%
- Čip: 1/4" CCD
- Krytí: IP 66
- Rozlišení: PAL/CCIR 752 x 582 px, NTSC/RS170 768 x 494 px [13]

5.2.2 Dopravní systém

5.2.2.1 Stálé dopravní značky

V našem návrhu tunelu je umístěno před vjezdem do tunelu šest stálých dopravních značek. Po výjezdu z tunelu jsou umístěny další dvě. Uvnitř tunelové trouby je provoz řízen pouze za pomoci proměnných dopravních značek. Stálé dopravní značky jsou znázorněny ve výkresové dokumentaci (situace 1, 4, 5).

5.2.2.2 Proměnné dopravní značky (PDZ)

Pomocí proměnných dopravních značek (dále jen PDZ) umístěných v tunelu Jirka je zajištěno řízení dopravy. V tunelu je celkem 18 proměnných dopravních značek. V jednom jízdním směru jsou umístěny tři trojice PDZ. Z hlediska přehlednosti jsou ve výkresové dokumentaci zobrazeny PDZ uvnitř tunelu pouze v jednom jízdním směru (situace 1-4). Jedna trojice je umístěna na vjezdu do tunelové trouby, druhá dvojice je umístěna po 167 m a třetí po 334 m po vjezdu do tunelové trouby. Každá trojice obsahuje dvě PDZ umístěné po stranách tunelové trouby a jednu PDZ, která je umístěna v bezpečné výšce ve středu tunelové trouby. První trojice, z nichž krajní dvě PDZ (ve výkresové dokumentaci označeny jako PDZ A) za normálních okolností znázorňují dovolenou rychlost, a středová PDZ (ve výkresové dokumentaci označena jako PDZ A1) je vypnuta. V případě vzniku situace, která by mohla vést k ohrožení účastníků provozu v tunelu, mohou PDZ A upravovat dovolenou rychlost nebo provoz úplně zastavit. PDZ A1 nás v tomto případě informuje o druhu hrozícího nebezpečí. Druhou trojici PDZ (2 x PDZ B, PDZ B1) a třetí trojici PDZ (2 x PDZ C, PDZ C1) lze přepnout do stejných stavů jako PDZ A a PDZ A1 s tím rozdílem, že v případě vzniku nějaké mimořádné události mohou být PDZ B a PDZ C navíc přepnuty do stavu příkazující řidičům vypnout motor nebo příkazují posádce opustit vozidlo a zahájit evakuaci. Pro přehlednost výkresové dokumentace jsou znázorněny PDZ pouze v jednom jízdním směru. Kromě PDZ umístěných v tunelu, je dopravní systém opatřen v každém jízdním pruhu dvěma PDZ ve vzdálenosti 700 a 350 m před vjezdem do tunelu. Tyto PDZ mají za úkol zastavit vozidlo, které bylo zaznamenáno senzorem pro měření povolené výšky vozidel. Tyto dvě PDZ nebylo z hlediska rozměrů výkresu možno zaznačit.

5.2.2.3 Světelné signály pro jízdu v pruzích

Tunel Jirka obsahuje v jednom jízdním směru šest signálů pro jízdu v pruzích (výkresová dokumentace, situace 1-4). Světelné signály jsou rozmístěny po dvojicích. Jedna dvojice je umístěna na vjezdu do tunelu, druhá zhruba po 167 m a třetí po 334 m.

5.2.2.4 Detektor měření výšky vozidel

HISIC450-N250

Pro určení výšky vozidel v tunelu Jirka byl zvolen detektor HISIC450-N250 (viz obr. 17). Z důvodu velké vzdálenosti těchto detektorů od vjezdu do tunelu nebylo možno tyto detektory znázornit do výkresové dokumentace. [14]



Obr. 17 - Detektor měření výšky vozidel HISIC 450-N250 [14]

Princip činnosti:

Funkce toho systému je založena na detekci přerušení infračerveného paprsku (viz obr. 18). Systém se skládá z vysílače a přijímače zařízení. Paprsek je vysílán vysílačem na optiku přijímače. Jakmile se v této dráze paprsku objeví nějaké těleso, dojde k přerušení paprsku a zařízení zasílá signál do řídicího centra, kde dojde k následné reakci v podobě přepnutí proměnných dopravních značek a navedení vozidla na odstavné místo před tunelem. [14]



Obr. 18 - Přerušení paprsku detektoru příliš vysokým vozidlem [14]

Rozmístění:

Systém je v našem návrhu tunelu umístěn ve vzdálenosti 1 km před oběma vjezdy do tunelu, což je dostatečná vzdálenost, aby byl řidič důkladně a včas informován pomocí dvou proměnných značek signalizující převyšené vozidlo. Pro eliminaci falešných poplachů jsou umístěny před každým vjezdem do tunelu dva systémy HISIC450-N250 vedle sebe ve vzájemné vzdálenosti 1m. Systém tak odesílá zprávu řídicímu systému až v okamžiku, kdy dojde k přerušení paprsků obou systémů v určitém časovém úseku.

Doplňující technické údaje:

- Provozní teplota: -25 až +55 °C
- Krytí: IP 67
- Zdroj záření: infračervené
- Dosah mezi přijímačem a vysílačem: 1,5 – 100 m
- Sekvence signálů: 10/s
- Čas vyhodnocení jednoho snímače: méně jak 10ms
- Napájení: 24 V .. 240 V
- Provozní schopnost i v dešti, při sněžení nebo zvýšené prašnosti [14]

5.2.3 Bezpečnostní zábrany (závory)

Bezpečnostní závora je umístěna ve vzdálenosti 23 m před oběma vjezdy do tunelu Jirka (výkresová dokumentace, situace 1,5). Tato závora zabraňuje vjezdu vozidla, které má

nadměrnou výšku a nereaguje na dvě PDZ informující řidiče o převýšení nebo v případě jiného nebezpečí v tunelu zabraňuje vjezdu dalších vozidel do tunelu. V případě použití zasahuje závora pouze do jednoho jízdního pruhu. Závora je opatřena světelnou signalizací. V okamžiku uvedení do pohybu nebo pokud je vysunuta do prostoru jízdního pruhu bliká tato světelná signalizace.

5.2.4 Provozně technický objekt (PTO) / Lokální velín tunelu

Provozně technický objekt (dále už jen PTO) je umístěn v prostoru před západním portálem tunelu (výkresová dokumentace - situace 1). V PTO je zřízeno dispečerské pracoviště, kde v případě potřeby probíhá řízení tunelu. Dále je v PTO umístěno čerpadlo určené pro čerpání vody z podzemních nádrží do hydrantů umístěných v tunelu, rozvodny nízkého napětí a slaboproudu, záložní zdroj elektrické energie a sklad pro údržbu silnic.

5.3 Spojovací a dorozumívací vybavení

5.3.1 Rádiové spojení

Radiové spojení tunelu Jirka je po vzoru tunelu Klimkovice vyřešeno rozšířením rádiového signálu z vnějšího prostředí do prostorů tunelové trouby, kam přirozenou cestou nemůže proniknout rádiový signál. V našem případě je spojení zajištěno pomocí speciálního vyzařovacího kabelu. Tento systém je schopen vyzařovat široký kmitočtový rozsah díky důmyslnému řešení vyzařování všech frekvencí pomocí jednoho kabelu. Koncepce návrhu umožňuje spojení centrálního a lokálního velínu s mobilními uživateli tohoto signálu bez přerušení při přejezdu z vnějšího prostředí do vnitřní části tunelu. Systém je navržen takovým způsobem, aby umožnil souběžný provoz na všech nainstalovaných kmitočtech současně. Spojení na všech rádiových sítích je potřeba především při mimořádných událostech, kdy není možné koordinovat rádiový provoz a je předpoklad, že zasahují všechny složky IZS současně. Kromě komunikace mezi velínem a složkami IZS zajišťuje rádiové spojení přenos rozhlasové stanice s dopravním zpravodajstvím. Řidič má při vjezdu do tunelu možnost naladit svůj rádiový přijímač na určitou frekvenci a dispečer dopravy mu v případě potřeby sděluje důležité pokyny. Vyzařovací kabel dále umožňuje

šířit signál všech mobilních operátorů, tímto je uvnitř tunelu zajištěna možnost komunikace přes mobilní telefon. [4]

5.3.2 Ozvučovací zařízení

V uvažovaném tunelu plní ozvučovací zařízení funkci evakuačního rozhlasu při mimořádných událostech uvnitř tunelu, hlavně při požáru. Pro zajištění přenosu varovných nebo informativních zpráv z lokálního nebo centrálního velínu tunelu byly zvoleny reproduktory od firmy Bosch. Jedná se konkrétně o tlakové reproduktory LBC 3428/00 o výkonu 15 W, které byly vyvinuty do náročných prostředí, jako je silniční tunel. Reproduktory jsou vyrobeny z polyesteru, který je zpevněný skleněnými vlákny zpomalující hoření. Tyto vlákna jsou korozivzdorné a odolné proti působení chemických látek. Hlavní rozhlasová ústředna je umístěna v provozně technickém objektu (PTO). Pro zajištění požadované srozumitelnosti je systém vybaven funkcí automatického řízení hlasitosti v závislosti na hluku pozadí. Na základě signálů z měřicích mikrofonů systém nezávisle reguluje hlasitost hlášení ve všech stanovených úsecích tunelu. Regulace hlasitosti funguje nepřetržitě, tzn. je aktivní i během hlášení. Reproduktory jsou napojeny na zesilovač, který je umístěn v PTO. Zesilovač je dále připojen k řídicímu systému, který v určitých situacích, které mohou nastat v tunelu, přehrává předem nahrané informace uživatelům tunelu. Dispečer centrálního nebo lokálního velínu tunelu má možnost udávat pokyny uživatelům tunelu přes mikrofon. Reproduktory jsou umístěny po obou stranách a po celé délce tunelové trouby ve vzájemné vzdálenosti 20 m. Dále jsou reproduktory umístěny v prostorách únikové cesty. Rozmístění je znázorněno ve výkresové dokumentaci (situace 1-4). [4, 15]

5.4 Evakuační vybavení

5.4.1 Bezpečnostní značení

Po celé délce tunelové trouby jsou rozmístěny reflexní ukazatele navádějící uživatele tunelu k únikové cestě nebo popřípadě ven z tunelu. Ukazatele jsou rozmístěny ve vzájemné vzdálenosti max. 15 m a navádějí přecházející k nejbližšímu místu, kde nehrozí nebezpečí. Ukazatele jsou umístěny i v prostoru únikové cesty. Směr a rozmístění jednotlivých ukazatelů je znázorněno ve výkresové dokumentaci (situace 1-4).

5.5 Protipožární zařízení

5.5.1 Lineární teplotní hlásič požáru

FibroLaser II

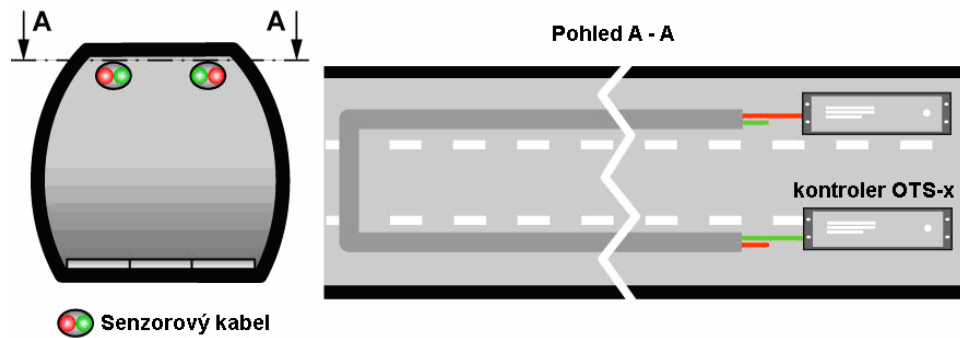
Lineární teplotní hlásič FibroLaser II je dvouvláknový, multimódový optický kabel, který je připojen k vyhodnocovacímu kontroléru OTS. Systém je doplněn vizualizačním softwarem FibroVIS a na monitoru je přímo možnost sledovat naměřená data. V České republice je tento systém instalován nejméně v sedmi tunelech, kde se velice osvědčil. [17]

Princip činnosti:

Vyhodnocovací kontrolér OTS dokáže na principu Ramanova rozptylu světla v optickém vlákně kabelu určit úsek, na kterém došlo ke zvýšení teploty. Vlivem ohřívání kabelu dochází ke změně vlnové délky světla procházejícím kabelem. Kontrolér OTS je schopen určit předem nadefinovanou část (zónu) kabelu, kde byla zaznamenána tato změna. Pomocí vizualizačního softwaru FibroVIS je možné zobrazovat teplotní profil v chráněném objektu, vývoj teploty v čase ve zvoleném úseku nebo aktuální teplotu v jednotlivých detekčních zónách. [17]

Rozmístění:

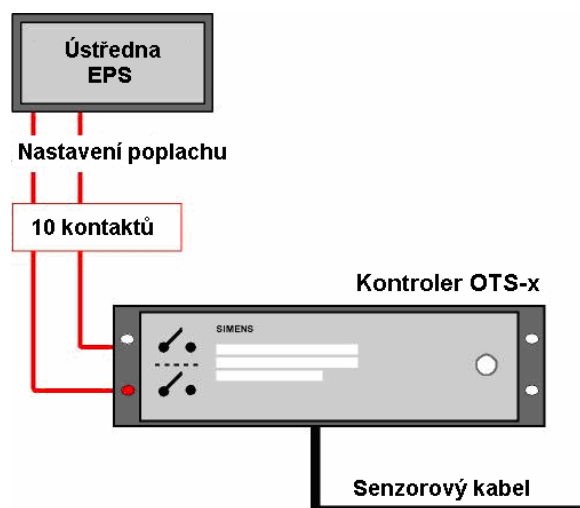
Pro návrh tunelu byl zvolen optický kabel s označením FRNC, jehož opláštění je odolnější proti hoření než ostatní nabízené kabely. Poplach bude vždy vyhlášen mnohem dříve, než kabel začne hořet. Jakmile dojde k požáru, bude příslušný úsek kabelu vyměněn. Sensorový kabel obsahuje dvě optická vlákna. Jeden je označen zelenou barvou, druhý červenou. V našem návrhu budou využity dva kontrolory OTS, z nichž je každý zvlášť zapojený na opačných koncích sensorového kabelu, tím je umožněno vytvořit redundantní (jistící) systém (viz obr. 19). Takto vytvořeným systémem je zajištěna provozuschopnost i v případě poruchy jednoho z kontrolerů nebo v případě přerušení jednoho optického vlákna uvnitř kabelu. [17]



Obr. 19 - Rozmístění optického kabelu systému FibroLaser II [17]

Zapojení:

Tento lineární systém detekce teploty je součástí řídicího systému tunelu Jirka. Bylo zvoleno připojení do ústředny elektrické požární signalizace (viz obr. 20). [17]



Obr. 20 - Připojení systému FibroLaser II do ústředny EPS [17]

Délka sensorového kabelu je elektronicky rozdělena na poplachové zóny. Nastavení poplachové zóny byla provedena zadáním vzdálenosti počátku a konce zóny od kontroléru. Rozdělení sensorového kabelu do zón pomůže při lokalizaci události a v případě potřeby je schopen spouštět různé návaznosti, jako jsou požární poplach, zapnutí ventilace, ovládání dopravní signalizace apod.

Systém vyhláší poplach při splnění jednoho ze tří různých kritérií:

- Pokud maximální teplota v zóně překročí nastavenou hodnotu
- Pokud rozdíl teploty v místě měření vůči průměrné teplotě v zóně překročí 10 °C

- Pokud teplota v libovolném bodu zóny přesáhne hodnotu nárůstu teploty 12 °C/min [17]

Technické údaje:

Optický kabel FRNC

- 4mm dvouvláknový, optický, multimódový kabel (62,5 mikrometru)
- povrch kabelů je černý (lepší absorpce tepelné energie); materiál pro černé zbarvení obsahuje grafit a je odolný proti vyblednutí
- kabel lze svařovat jako běžné multimódové optické kabely, v případě poškození lze vadný úsek nahradit novým kabelem
- poloměr ohybu bez tahu je u obou typů kabelů 60mm [17]

Kontrolér OTS

- dvě varianty napájení: buď 230Vstř. nebo 24Vss
- maximální výkon laserového paprsku na výstupu přípojovacího konektoru je do 150mW
- vlnová délka laserového paprsku je 980nm [17]

Celkový systém

- prakticky bezúdržbový provoz - životnost 30 let
- možnost flexibilního nastavení detekčních parametrů (prahová teplota, nárůst teploty v čase, max. přípustný teplotní rozdíl mezi sousedními detekčními zónami) pro každou detekční zónu
- komunikace po síti Ethernet (TCP/IP) [17]

5.5.2 Automatická detekce kouře

SIGRIS FireGUARD

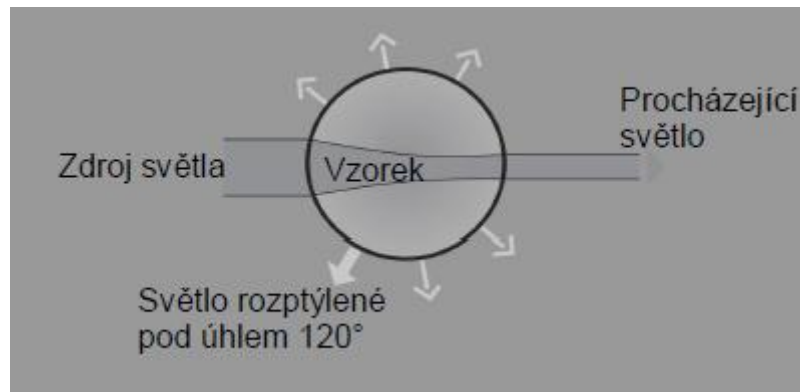
Zařízení SIGRIS FireGUARD (viz obr. 21) slouží pro automatickou detekci kouře. Tento systém byl zvolen podobně jako u zařízení VisGuard, protože je s kladnými ohlasy používán v tunelech po celé Evropě a rovněž bude instalován v tunelovém komplexu Blanka. [18]



Obr. 21 - Snímač pro detekci kouře Sigris FireGUARD [18]

Princip měření:

FireGuard je založen na podobném principu jako VisGuard, avšak je optimalizován vyloženě pro detekci kouře a požáru. Tato optimalizace spočívá jednak v použitém měřicím úhlu rozptylu světla, vlnové délce světla, v měřicím rozsahu, prahových hodnotách odezvy a zpracování signálu. Pro indikaci požáru lze zvolit buď dosažení určité absolutní hodnoty, nebo gradient nárůstu měřené hodnoty opacity. FireGuard využívá metodu dvoupráskového měření firmy Sigris. U této metody se porovnává intenzita zpětně odraženého světla snímaného pod úhlem 120° s intenzitou světelného zdroje (viz obr.22). Současně FireGuard měří také teplotu okolního vzduchu. Díky této funkci je možno lokalizovat požár i v případě, pokud hlásí požár několik detektorů kouře současně. U měření teploty je taktéž možno zvolit pro aktivaci alarmu buď dosažení určité absolutní hodnoty, nebo gradient nárůstu měřené hodnoty teploty. [18]



Obr. 22 - Princip dvoupaprskové metody firmy SIGRIST pro detekci kouře [18]

Rozmístění:

Podobně jako u VisGuardu bylo nutno zvážit podmínky, které budou panovat v námi uvažovaném tunelu. Po konzultaci s panem Ing. Pišanem bylo rozhodnuto pro zajištění spolehlivé detekce kouře instalovat celkem 10 snímačů SIGRIS FireGUARD ve výšce 3 m ve vzájemné vzdálenosti 50 m. Rozmístění snímačů označených značkou P je znázorněno ve výkresové dokumentaci (situace 1-4).

Doplňující technické údaje:

- Měřicí rozsah: 0 - 3 E/m
- Rozlišení 0,001 E/m
- Měřicí vlnová délka: 670 nm
- Provozní teplota: -30 až +55 °C
- Mechanické krytí: IP65
- Relativní vlhkost: 0 až 100%
- Napájení: 85 .. 264 V / 47 .. 63 Hz
- Volitelné vyhřívání pro eliminaci mlhy
- Rychlá detekce požáru již v počáteční fázi (zaregistruje již studený kouř) [18]

5.5.3 Požární vodovod

Tunelová trouba je po celé délce vybavena nadzemními hydranty B 75, které jsou napojeny na tlakové potrubí požárního vodovodu, zajišťující dodávky požární vody. Hydranty B 75 jsou umístěny ve výklencích v ostění a jejich rozmístění je znázorněno ve výkresové

dokumentaci (situace 1 - 4). Dodávky vody jsou zajištěny z podzemních požárních nádrží umístěných u PTO (situace 1).

5.6 Osvětlení

Vzhledem ke složitosti výpočtu intenzity osvětlení v jednotlivých pásmech tunelu Jirka, je návrh osvětlení proveden pouze orientačně. V návrhu jsem se nechal inspirovat slovenským tunelem Horelica u Čadce a alpským tunelem Mont Blanc. V našem tunelu je systém osvětlení zajištěn svítidly Schröder od stejnojmenné firmy. Z hlediska přehlednosti výkresové dokumentace je osvětlení znázorněno ve výkresové dokumentaci pouze v příčném řezu tunelem.

5.6.1 Normální osvětlení

Pro návrh normálního osvětlení v adaptační části tunelu, což představuje příjezdové, prahové a přechodové pásmo byla zvolena svítidla typu AF4 (viz obr. 23) se sodíkovými výbojkami 250 a 400W. Svítidla o těchto výkonech jsou rozmístěna v určitém pořadí za sebou tak, aby se podle intenzity světla naměřené jasoměrem v prostoru před tunelem dalo regulovat osvětlení uvnitř tunelu do optimální intenzity. V soustavě průběžného osvětlení jsou instalována dvouzdrojová svítidla PF5, jež jsou osazena výbojkami 150 W + 250 W. Svítidla jsou vyrobena z kompozitních žáruodolných plastů. Ve dne svítí obě výbojky současně, v noci svítí jen výbojka 150 W. [19]



Obr. 23 - Svítidlo typu AF4 od firmy Schröder [26]

5.6.2 Orientační (nouzové) osvětlení

Orientační (nouzové) osvětlení zajišťují svítidla BJ, která jsou instalována po obou stranách tubusu ve výšce 0,8 m nad nouzovým chodníkem a s roztečí 10 m. Tato svítidla jsou vybavena bíle svítícími LED diodami. Orientační (nouzová) svítidla jsou v provozu neustále. Za normálního provozu zmíněná svítidla pomáhají vést řidiče, při požáru či jiné nehodě ukazují směr úniku z tunelu. Svítidla BJ se vyznačují velkou odolností proti korozi a mechanickému namáhání. Jsou schopny odolat kyselosti prostředí pH 3 při 50 °C po dobu 109 h. Životnost svítidel se odhaduje na 50 000 až 60 000 h. V následujícím obrázku (viz obr. 24) je vidět umístění svítidel typu BJ v tunelu Mont Blanc. [19]



Obr. 24 - Umístění svítidel typu BJ v tunelu Mont Blanc [27]

5.6.3 Přídavné osvětlení

Dalším krokem ke zvýšení bezpečnosti v tunelu Jirka je přídavné osvětlení vstupu do záchranné cesty. Zkušenosti totiž ukazují, že při požáru a následném vývinu dýmu lze snadno ztratit orientaci. Proto je v našem případě tento vstup do záchranné cesty opatřen osvětlením, které má jinou intenzitu a charakteristiku vyzařování. Tento prostor je osvětlen svítidly typu TMB. Ta mají rotačně symetrickou úzkou vyzařovací charakteristiku svítivosti, jsou osazena výbojkami CDM-T 150 W a jsou nepřetržitě zapnuta. Při vzniku požáru se ve svítidle automaticky zapíná další zdroj, takže v dýmu se tak objeví dobře

zpozorovatelný světelný závoj. Svítidla jsou rovněž vysoce mechanicky odolná a velmi odolná proti korozi. Mají stejnou povrchovou úpravu jako svítidla BJ. [19]

5.6.4 Osvětlení záchranné cesty

V tunelu Jirka je záchranná cesta osvětlena tak, že je nepřetržitě zapnuta soustava zářivkových svítidel (typu MY2/18 W a 36 W) poskytující $E_m = 10$ lx. Je-li třeba tuto cestu použít, zapínají se další svítidla. Potom soustava poskytuje $E_m = 150$ lx. [19]

5.6.5 Jasoměr

Sflint

Pomocí tohoto senzoru, který pracuje na principu fotometru, je zajištěno řízení osvětlení. Jasoměr měří intenzitu světla venkovního prostředí a podle naměřených hodnot dochází k regulaci intenzity osvětlení uvnitř tunelu. Jasoměry jsou umístěny před oběma vjezdy do tunelové trouby, v prostoru, kde jsou podobné světelné podmínky, jaké má řidič přijíždějící do tunelu. Jasoměry Sflint od firmy Dna se používají pro řízení osvětlení u různých druhů staveb, ale velice populární jsou také při využívání regulace osvětlení v silničních tunelech. Jsou instalovány například v tunelu Sitina v Bratislavě. Jasoměry jsou znázorněny ve výkresové dokumentaci písmenem M (situace 1,4). [20]

Doplňující technické údaje:

- Napájecí napětí: 230 V
- Provozní teplota: - 25 °C až 50 °C
- Krytí: IP 65
- Měřicí rozsah: 0 až 60000 cd/m²
- Možnost vyhřívání pro eliminaci zamlžení [20]

5.7 Větrání

Po konzultaci s panem Ing. Jaroslavem Soldátem, Ph.D., který je zaměstnancem firmy ZVVZ, a.s. Milevsko, Divize Ventilátory a Megtec mi bylo doporučeno, při zvážení všech parametrů námi uvažovaného tunelu, zvolit pro zajištění větrání v tunelu axiální přetlakové

reverzní ventilátory. Konkrétně se bude jednat o tři dvojice ventilátorů typové řady APWR. Jedna dvojice je umístěna zhruba uprostřed tunelové trouby a zbylé dvě u vjezdů/výjezdů do/z tunelové trouby. Uvažovaná intenzita dopravy, druh projíždějících vozidel, povolená rychlost vozidel, druh spalovaného paliva a povětrnostní podmínky v okolí tunelu znamenají, že za normálního režimu v tunelu, se ventilátory nebudou uvádět do provozu. Tunel bude větrán přirozeně povětrnostními vlivy a částečně i projíždějícími vozidly tzv. pístový účinek projíždějících vozidel. Ventilátory budou spuštěny až v okamžiku, kdy dojde k požáru, nebo vznikne nějaká mimořádná událost, která bude mít za následek zvýšení povolených limitů škodlivých látek uvnitř tunelové trouby. V tomto okamžiku bude na základě vyhodnocení koncentrace škodlivin ze senzorů ovládána řídicím systémem nebo dispečerem intenzita a směr podélného větrání. Změna směru procházejícího vzduchu je zajištěna díky reverzaci, která je provedena změnou polaritity elektromotoru. V případě, že dojde k požáru v okolí některé z dvojic ventilátorů, bude tato dvojice vypnuta, protože by to znamenalo větší proudění vzduchu v okolí požáru a tím pádem podporu hoření.

Zmiňované ventilátory jsou určeny pro provozní dopravu vzdušin při teplotě - 20 °C až +40 °C a relativní vlhkosti vzduchu do 95%. Ventilátory jsou konstrukčně zpracovány tak, aby byly schopny pracovat v režimu nouzového větrání při teplotě dosahující nad 400 °C po dobu 120 minut. Ventilátory řady APWR jsou konstrukčně řešeny jako horizontální s regulací výkonu natáčením lopatek oběžného kola za klidu a jsou poháněny rovněž teplotně odolným asynchronním motorem s frekvenčním měničem. Oběžné kolo s lopatkami je nasazeno přímo na hřídel elektromotoru. Lopatky oběžného kola jsou vyrobeny ze slitiny hliníku. Skříň ventilátoru je vyrobena z oceli jako svařenec. V případě reverzního provedení jsou ve skříni dvě řady rozváděcích lopatek. Elektromotor je přišroubován k jádru skříně ventilátoru. Svorkovnice elektromotoru je na vnějším plášti skříně ventilátoru. Tlumiče hluku jsou přišroubovány na obě strany skříně. Vnitřní plášť tlumičů je vyroben z děrovaného plechu z nerezavějící oceli. Vnitřní prostor je vyplněn minerální plstí. Na sání a výtlačku ventilátoru jsou přišroubována hrdla, opatřená ochrannými mřížemi. Skříň ventilátoru je opatřena odnímatelnými kryty pro přístup k mazacím místům elektromotoru. Patky ventilátoru mohou být ukotveny ke konstrukci stropu. Pomocí čtyř bezpečnostních lan je zabráněno pádu ventilátoru na vozovku. [21]

5.7.1 Měření rychlosti proudění vzduchu

Schiltknecht TMS 2000

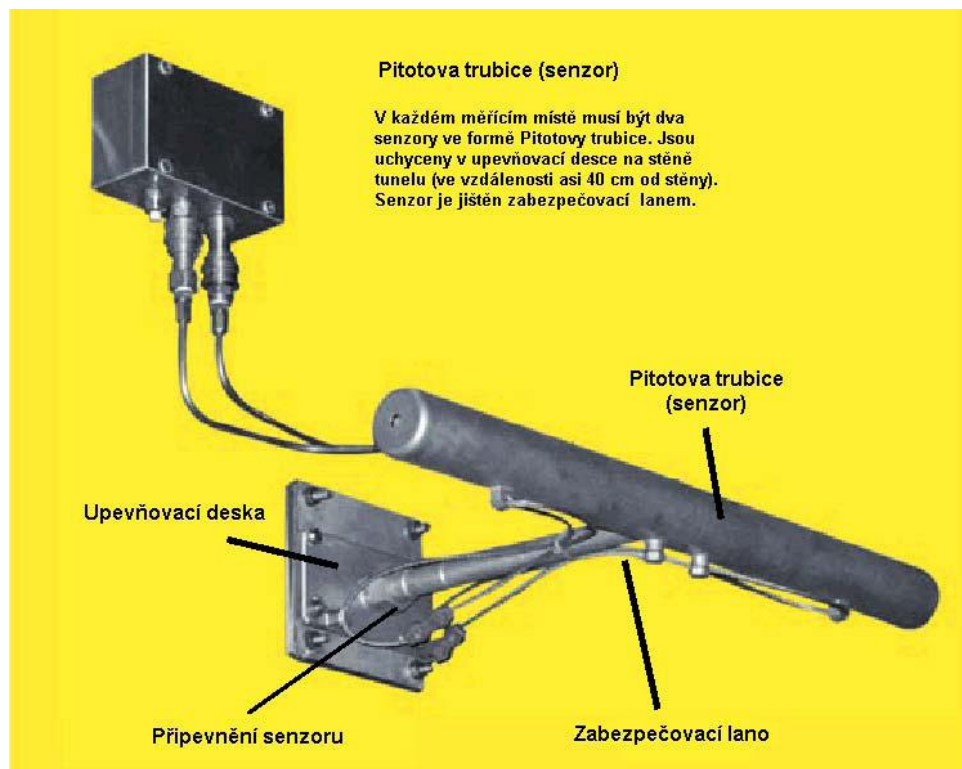
Pro měření rychlosti proudění vzduchu jsem zvolil systém Schiltknecht TMS 2000 (viz obr. 25), který je úspěšně používán v nejdelších tunelech na světě, jako jsou Gotthardský tunel ve Švýcarsku nebo tunel Plabutsch v Rakousku. Systém měření rychlosti proudění vzduchu TMS2000 byl speciálně navržen pro provoz v náročných podmínkách vyskytujících se v silničních tunelech. Uvnitř námi uvažovaného tunelu jsou umístěny pouze robustní mechanické senzory vyrobené z nerez oceli a řídicí systém zpracovávající signál je umístěn v oddělené provozní místnosti. Měření rychlosti proudění vzduchu je prováděno s vysokou přesností, kde chyba měření nepřevyšuje hodnotu 0.1 m/s, což v případě potřeby umožňuje nastavení ventilace do optimálních otáček. Po konzultaci s panem Ing. Josefem Pišanem, který je zaměstnancem firmy Technoprocure, která se zabývá prodejem a instalací tohoto systému bylo uváženo, že tento měřicí systém bude instalován v námi uvažovaném tunelu ve výšce 3m na pravé a levé straně tunelu ve vzdálenosti 40 cm ode zdi. Aby bylo dosaženo přesných výsledků měření, budou v tunelu instalovány dvě dvojice měřicích zařízení. Senzory jsou umístěny naproti sobě. Jedna dvojice je umístěna po 130 m od západního vjezdu do tunelové trouby a druhá dvojice je umístěna po 130 m od východního vjezdu do tunelové trouby. Na přesnost měření nebude mít vliv ani rapidní zvýšení hustoty provozu v tunelu. V případě, kdy je nutno řídit větrání na základě naměřených hodnot rychlosti proudění vzduchu, je z naměřených hodnot senzorů vypočten průměr a podle toho budou nastaveny otáčky větracího systému. [22]

Princip měření:

Princip je založen na vysoce přesném měření tlaku použitím speciálních Pitotových trubicových senzorů využívajících tlakové diference mezi čelem a koncem senzoru natočeného proti a po směru proudění. Měření se provádí pomocí dvou speciálních diferenčních tlakových komor vyrobených z nerez oceli, které vzhledem k jejich tvaru měří rychlost proudění v podélném směru. Podle Bernoulliho rovnice je diferenční tlak úměrný čtverci průtočné rychlosti. Komory Pitotova trubicového senzoru jsou propojeny hadičkami nebo nerezovými trubičkami s vyhodnocovací jednotkou, která z naměřené tlakové diference kalkuluje rychlost proudění vzduchu. [22]

Doplňující technické údaje:

- Měřicí systém je téměř bezúdržbový (doporučený interval kontrol je 5 let)
- Spolehlivé výsledky měření jsou garantovány i v případě výskytu požáru (odolnost až do teplot 1200 °C)
- Mechanické krytí: IP 65 [22]



Obr. 25 - Senzor měření rychlosti proudění vzduchu Schiltknecht TMS 2000 [22]

5.8 Řídicí systém**Kerberus**

Řídicí systém Kerberus je produktem firmy Eltodo, která patří mezi hlavní dodavatele technologického vybavení do silničních tunelů v České republice. Kerberus je výsledkem dlouholetého vývoje a praktických zkušeností s tunelovými stavbami, které firma Eltodo v minulosti realizovala. Tento systém je ověřený dlouholetým používáním v již realizovaných stavbách, a proto bylo rozhodnuto instalovat tento řídicí systém do tunelu Jirka.

Námi navržený tunel je možno řídit z více lokací. Vytvořením síťové architektury klient/server bude hlavní řízení provedeno z centrálního velínu řízení dopravy a technologie, kde je směřována komunikace i z dalších tunelů. Další možností řízení je z lokálního velínu tunelu, kde jsou mimo jiné umístěny ústředny a řídicí systémy z jednotlivých systémů. Ovládání jednotlivých systémů v tunelu z lokálního velínu, který je umístěn v provozně technickém objektu (PTO), bude prováděno pouze v případě výpadku komunikace mezi lokálním a centrálním velínem a tím pádem nebude možno tunel řídit z centrálního velínu anebo v případě, kdy je lepší provádět řízení přímo na místě např. při vzniku požáru, kdy je lepší ovládat větrání přímo na místě.

Lokální a centrální velín tunelu představuje dispečerské stanoviště, kde probíhá řízení tunelu. Dispečer má na obrazovkách monitorů neustálý dohled nad situacemi, které panují v tunelu. Řízení tunelu je prováděno ve většině případů automaticky pomocí předem naprogramovaných algoritmů. Dispečer zasahuje až v případě, kdy si to vyžaduje situace uvnitř nebo v okolí tunelu. [23]

Do hlavního řídicího systému jsou integrovány tyto systémy:

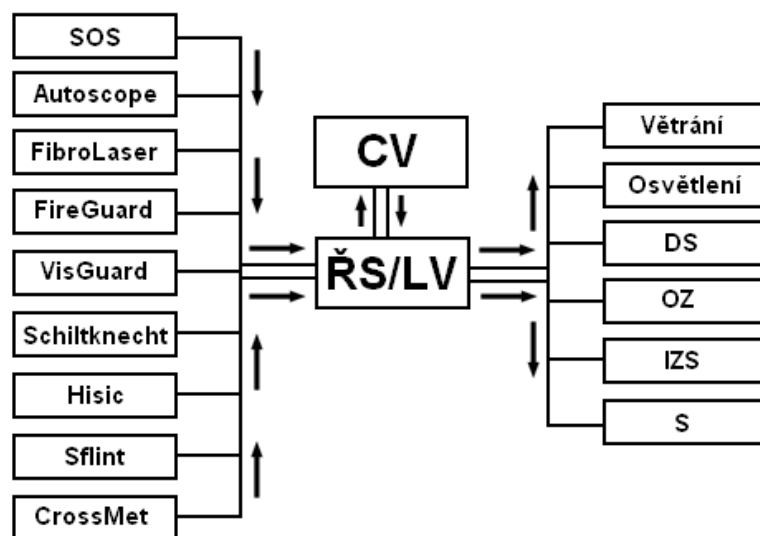
- větrání
- osvětlení
- měření rychlosti proudění vzduchu
- měření opacity a viditelnosti
- automatické detekce kouře
- lineární teplotní detekce požáru
- silniční meteorologické stanice
- ozvučovací zařízení
- videodohled
- vodní hospodářství
- řízení energetiky [23]



Obr. 26 - řídicí systém Kerberos ve velínu Strahovského tunelu [28]

5.9 Fyzická architektura řízení tunelu

V následujícím blokovém schématu (viz obr. 27) je znázorněno řízení námi navrhnutého tunelu. Na základě signálů, přicházejících ze sensorů jednotlivých technologií, dochází pomocí řídicího systému k nastavení aktorů do požadovaného stavu tak, aby bylo dosaženo optimálních podmínek v tunelu. Za normálních podmínek řízení probíhá automaticky. Při vzniku mimořádných událostí dispečer v případě potřeby zasahuje do řízení některých technologií v tunelu. Hlavní řízení probíhá z centrálního velínu.



Obr. 27 - Blokové schéma řízení tunelu Jirka

Senzory:

SOS – SOS kabinky

Autoscope – videodohled

FibroLaser – liniový teplotní hlásič

FireGuard – detekce kouře a teploty

VisGuard – měření opacity a viditelnosti

Schiltknecht – měření rychlost proudění vzduchu

Hisic – měření výšky vozidel

Sflint – měření jasu

CrossMet – měření povětrnostních vlivů

Aktory:

Větrání – regulace větrání

Osvětlení – regulace osvětlení

DS – ovládání dopravního systému

OZ – ovládání ozvučovacího zařízení

IZS – vyrozumění složek IZS

S – vyrozumění dopravního servisu

6 MOŽNOSTI SPOJENÍ UŽIVATELE TUNELU SE SLOŽKAMI IZS

V případě kdy se člověk nacházející v tunelu dostane do situace, kdy je odkázán na pomoc servisních složek nebo složek IZS, je nutné aby, měl možnost v co nejkratším čase se s těmito složkami spojit. Lidé, kteří jsou účastníky nějaké mimořádné události v tunelu, mají zpravidla několik možností jak navázat spojení přímo s dispečerem velínu tunelu nebo některé ze složek policie, hasičského sboru nebo záchranné služby. Navázat spojení se složkami IZS lze v tunelu Jirka prostřednictvím:

- mobilního telefonu
- SOS kabinky [1]

6.1 Komunikace prostřednictvím mobilního telefonu

Po celé délce tunelu Jirka, v technických místnostech, v prostorách záchranné cesty, ve velínu a v prostoru před oběma vjezdy do tunelu je zajištěno pokrytí signálem všech mobilních operátorů působících na území České republiky. Účastníkovi mimořádné události je tak umožněno v případě potřeby navázat spojení přímo s jednotlivými složkami IZS, nebo využít univerzální tísňové telefonní číslo 112. [1]

6.2 Komunikace prostřednictvím SOS kabiny

6.2.1 Komunikace telefonem

Telefonní spojení s dispečerem centrálního velínu se uskuteční automaticky po zvednutí sluchátka z vidlice. Zvednutím telefonu v kabině SOS je zároveň v centrálním velínu aktivováno automatické záznamové zařízení, zaznamenávající verbální komunikaci s operátorem, spolu s údaji o čase a datu.

V okamžiku otevření dveří SOS kabinky, systém informuje dispečera o tom, která kabinka je zrovna používaná a automaticky se na monitoru v centrálním velínu přepíná kamera snímající prostor kolem SOS kabinky. Systém umožňuje také v případě potřeby zpětné volání dispečera do SOS kabinky. V okamžiku spojení dispečera a uživatele nouzového telefonu probíhá komunikace, která má hlavně identifikovat mimořádnou událost, která právě probíhá v tunelu. Jakmile dispečer zjistí a vyhodnotí vážnost situace, která nastala

v tunelu, stanovuje množství a druh složek IZS, které bude nutno vyslat na inkriminované místo.

System umožňuje i propojit hovor z kabiny SOS se stanoveným operátorem IZS. Uživatel může navázat spojení přímo s operátorem záchranné služby, policie nebo hasičského sboru. [8]

6.2.2 Komunikace nouzovým tlačítkem

V našem tunelu jsou poplachová tlačítka instalována v SOS kabinkách. Poplachová tlačítka slouží uživatelům k signalizaci mimořádného stavu (porucha, nehoda, požár) do dispečinku velínu tunelu, bez nutnosti verbální komunikace. Tlačítka jsou označena symboly (piktogramy) vyjadřujícími jejich funkci způsobem srozumitelným uživatelům všech národností. V našem případě jsou SOS kabinky vybaveny celkově čtyřmi tlačítky. Jedná se o tlačítka:

- Policie
- Silniční služby
- Zdravotnické služby
- Požárního hlásiče

Tlačítka jsou podobně jako telefony propojena s centrálním velínem tunelu. Zvukový signál upoutá pozornost dispečera, světelný údaj na monitoru počítače mu umožní snadno identifikovat stanoviště, ze kterého byl vyslán nouzový signál. Videosystém v okamžiku aktivace přepíná na monitor kameru snímající kabinku SOS. Datum a čas aktivace tlačítek, spolu s identifikací nouzového stanoviště, je zaznamenáván automaticky a ukládán do paměti počítače. Tlačítka jsou vybavena optickou signalizací, tzn. je možné je světelně prosvítit. Po stisku požadovaného tlačítka začne blikavá světelná indikace signalizovat volání dispečera. Přerušované světlo se změní na trvalé v okamžiku, kdy dispečer tuto varovnou zprávu přijme. Po deaktivaci SOS skříně (opuštění na déle než 90 sec.) všechna tlačítka zhasnou. Stejně jako v případě telefonního spojení dispečer vyhodnocuje situaci. Obraz z kamerového systému mu umožňuje nahlédnout podrobněji na událost, která se děje v tunelu a lépe vyhodnotit jaký zásah bude optimální. [8]

ZÁVĚR

Tato práce se zabývá problematikou zajištění bezpečnosti v silničních tunelech. Tunely jsou nedílnou součástí pozemních komunikací. Z hlediska bezpečnosti patří k rizikovým místům silniční infrastruktury. Proto je důležité zabývat se bezpečnostními riziky samotného tunelu i jeho okolí již ve stádiu návrhu a pokusit se je minimalizovat. Dopravní nehody v silničních tunelech bývají nejčastěji způsobené selháním lidského faktoru. K dalším faktorům patří např. technická závada na vozidlech, stav vozovky a povětrnostní vlivy uvnitř a v okolí tunelu. Mezi možná rizika patří i selhání technického vybavení tunelu. Abychom předešli všem možným rizikům a byla zajištěna maximální spolehlivost a bezpečnost, jsou na bezpečnostní systémy tunelu kladeny vysoké požadavky. V každém tunelu jsou provedeny stavební úpravy, které zvyšují bezpečnost provozu. Jedná se o nouzové výklenky, nouzové pruhy, nouzové chodníky, únikové a záchranné cesty atd. Důležitou roli hraje rovněž technické vybavení tunelu. Mezi bezpečnostní systémy patří dopravní systém, protipožární systém, ozvučovací systém, systém videodetekce, osvětlení, větrání a měření škodlivin.

Nejmodernější vybavení nedokáže zabránit všem dopravním nehodám. Největší podíl na vzniku nehod mají uživatelé pozemních komunikací, proto je důležité řidiče seznámit s možnými riziky i řešením krizových situací. Nezastupitelnou roli mají mediální kampaně, které se bohužel konkrétně nezaměřují na dopravní rizika v tunelu, a proto je povědomí řidičů o postupu v případě nehody v tunelu minimální.

Cílem praktické části bylo na modelovém návrhu silničního tunelu demonstrovat použití bezpečnostních systémů. Modelový tunel je navržen jako obousměrný tunel kategorie TB o délce 500 m s uvažovanou intenzitou dopravy nad 1000 vozidel/24h. Podle kategorie tunelu byly provedeny bezpečnostní stavební úpravy. Po obou stranách tunelu byl navržen nouzový pruh pro odstavení vozidel, nouzový chodník a dále úniková cesta, která je situována uprostřed tunelové trouby. Tunel je vybaven protipožárními hydranty a šesti SOS kabinami.

Veškeré technické vybavení tunelu bylo navrženo na základě parametrů tunelu. Větrání zajišťuje šest přetlakových reversních ventilátorů, které jsou umístěné v tunelu po dvojicích. V dopravním systému tunelu má největší význam devět proměnných dopravních značek umístěných v každém jízdním směru, které regulují provoz a v případě potřeby dávají pokyny uživatelům tunelu. Součástí dopravního systému je i zařízení vyhodnocující

převýšená vozidla. Osvětlení v tunelu je regulováno na základě hodnot intenzity světla naměřených jasoměry, které jsou umístěny před vjezdem do tunelu. Protipožární systém je tvořen lineárním teplotním kabelem nataženým po celé délce tunelu a deseti automatickými detektory kouře. Dodávky protipožární vody jsou do hydrantů vedeny z podzemních nádrží, které jsou umístěné u provozně technického objektu. Do návrhu tunelu byla dále zakomponována meteorologická stanice. Toto zařízení podstatně zjednodušuje celý návrh tunelu, protože do sebe integruje senzory měřící několik povětrnostních veličin a sledující stav vozovky. V provozně technickém objektu, který je umístěn v prostoru před tunelem, je umístěn řídicí systém tunelu. Probíhá zde vyhodnocení signálů z jednotlivých senzorů a dochází k řízení osvětlení, větrání nebo dopravního systému atd.

Nedílnou součástí návrhu tunelu je zajištění nouzové komunikace mezi uživatelem tunelu a složkami integrovaného záchranného systému nebo dopravním servisem. Vyzařovací kabel instalovaný v tunelu umožňuje šířit signál všech mobilních operátorů, a tímto je uvnitř tunelu umožněno spojení pomocí mobilního telefonu. Pomoc může být přivolána i z SOS kabin.

Vzhledem k tomu, že se v budoucích letech počítá s dalším nárůstem využití silniční dopravy, je potřeba, aby tunely byly vybaveny moderními technologiemi. Současným trendem je snaha nehodám předcházet již ve fázi návrhu a v případě jejich vzniku minimalizovat ztráty na životech i škody na majetku.

CONCLUSION

The diploma thesis deals with complex security of road tunnels. Tunnels are inseparable part of land roads. Security-wise the tunnels are a highly dangerous place of road infrastructure. Therefore, it is important to deal with security hazards of the tunnel itself and its surroundings already during the designing period and also to try to minimise them. Road accidents in tunnels are mainly caused by a failure of the human factor. Among other factors count: technical faults of vehicles, the condition of the road, or meteorological conditions inside and around the tunnel. Another potential risk might also be failure of the technical equipment of tunnels. To avoid all potential perils and to secure maximum reliability and safety, a great deal of requirements and demands is put on the safety systems of tunnels. The construction modifications are made in every tunnel and augment the safety of traffic. Among these modifications count: emergency alcoves, emergency lanes, escape and safety routes, etc. The technical equipment of the tunnel also plays a vital part. Among the safety systems count: traffic system, anti-fire system, loudspeaker/sound system, video-detection system, tunnel lightning, ventilation, and measurement of harmful substances.

Even the most modern equipment cannot prevent all potential car accidents. The traffic participants have a great deal of responsibility for the occurrence of traffic accidents, so it is necessary to inform the drivers with possible risks and also with ways of how to solve eventual critical situations. Media campaigns and publicity have an irreplaceable role, although they do not specifically focus on the traffic risks connected with tunnels. Hence the drivers' awareness and knowledge of the accidents occurring in tunnel still remain minimal.

The aim of the practical part was to demonstrate the usage of safety systems on a model of a road tunnel. The model tunnel is designed as a two-way tunnel of the "TB" category with the length of 500 metres and the traffic intensity of one thousand cars per twenty-four hours. The safety construction modifications were made accordingly to the category of the tunnel. An emergency car-pull lane was designed on both sides of the tunnel alongside with an emergency pavement and an escape route which is situated in the middle of the tunnel tube. The tunnel is equipped with fire-hydrants and six SOS cabins.

The entire technical equipment of the tunnel was designed on the basis of the parameters of the tunnel. Ventilation is provided by six pressurised ventilators which are located within the tunnel in twos. Nine variable road signs situated in each direction play a great deal of

importance, since they regulate the traffic and if needed they provide instructions to the users of the tunnel. A significant part of the traffic system is a device for assessing the height of vehicles which signals over-height ones. The lighting of the tunnel is regulated on the basis of the intensity of light measured by luminance meters which are located at each entrance of the tunnel. The fire-alarm system is created by linear thermal cable stretching throughout the whole length of the tunnel and ten automatic smoke detectors. The supplies of water are led to the fire hydrants from underground tanks which are located at the technical building. A meteorological station was also created within the tunnel design. This device simplifies the whole plan of the tunnel, because it integrates a number of sensors monitoring weather conditions and the condition of the road. The control system of the tunnel is located in the technical building which is situated in the area outside the tunnel. The evaluation of the signals from individual sensors takes place in the technical building which provides checking of technologies, such as lighting, ventilation, or traffic system.

The essential part of the tunnel design is providing of emergency communication between tunnel users and organs of the “Integrated Safety System” or car service. The “emitting” cable installed in the tunnel spreads the signal of all mobile operators and thus allows mobile communication within the tunnel. Assistance and help can be reached from the SOS cabins. Considering the fact that in the following years there will be a significant increase in the usage of roads, it is necessary to equip the tunnel with the most up-to-date technologies. Recent trends show an effort to prevent the accidents already during the planning phase and to minimise the casualties and material damage.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PŘIBIL, Pavel; JANOTA, Aleš; SPALEK, Juraj. Analýza a řízení rizik v dopravě. Praha: BEN - technická literatura, 2008. 527 s. ISBN 987-80-7300-2140-0.
- [2] KLEPSATEL, František. Městské podzemní stavby. Praha: Jaga Media, s.r.o., 2005. 285 s. ISBN 80-8076-021-7.
- [3] RACEK, Stanislav. Řešení mimořádné události v silničním tunelu. Brno, 2009. 59 s. Bakalářská práce. VUT v Brně.
- [4] STREJČEK, Vít; ROBEK, Michal; ŠMÍDA, Petr. Technologické vybavení tunelu Klimkovice. *Tunel* 2008, 17 (3), 26–32. Dostupné z WWW: <http://www.ita-aites.cz/files/tunel/komplet/tunel_3_08.pdf>.
- [5] Risk-management.cz [online]. 2001. Analýza a řízení rizik tunelů pozemních komunikací. Dostupné z WWW: <<http://www.risk-management.cz/index.php?clanek=116&cat2=1&lang=>>>.
- [6] ČSN 73 7507: Projektování tunelů pozemních komunikací. Praha: Český normalizační institut, leden 2006.
- [7] NOVÁK, Miroslav; MISÁREK, Václav; BENDA, David. Technologické vybavení dálničních tunelů. *Tunel* 2007, 17 (4), 19.
- [8] TP 98: Technologické vybavení tunelů pozemních komunikací. Praha: Ministerstvo dopravy, 2006.
- [9] Autoklub [online]. 2005 [cit. 2011-04-23]. Nehody v tunelech. Dostupné z WWW: <http://www.autoklub.cz/acr/autoskoly/dopr_nehodovost/pdf/nehodovost_tunely.pdf>.
- [10] Eltodo [online]. 2000 [cit. 2011-05-01]. Bezpečnostní vybavení automobilových tunelů-SOS kabiny. Dostupné z WWW: <http://web.eltodo.cz/Downloads/3_Doprava/Doprava_SOSkabina.pdf>.
- [11] Cross [online]. 9999 [cit. 2011-05-13]. Silniční meteorologická stanice. Dostupné z WWW:

- <http://www.cross.cz/download/datasheets/CROSS_DS_CrossMet_1101_CZ.pdf>.
- [12] Technoprocur [online]. 2011 [cit. 2011-05-01]. VisGuard. Dostupné z WWW:
<http://www.technoprocur.cz/underwood/download/files/SIGRIST_VisGuard_Visibility.pdf>.
- [13] Autoscope [online]. 2010 [cit. 2011-04-10]. Autoscope Terra. Dostupné z WWW:
<http://autoscope.com/products/terra_technology.htm>.
- [14] Sick [online]. 2011 [cit. 2011-03-25]. Hisic 450. Dostupné z WWW:
<<https://www.mysick.com/saqqara/pdf.aspx?id=im0011541>>.
- [15] Bosch security [online]. 2008 [cit. 2011-04-01]. LBC 3428/00 Tlakový reproduktor. Dostupné z WWW:
<http://resource.boschsecurity.com/documents/LBC342800_DataSheet_csCZ_T2388195979.pdf>.
- [16] Autoscope [online]. 2010 [cit. 2011-04-10]. Autoscope Ais. Dostupné z WWW:
<<http://autoscope.com/products/ais.htm>>.
- [17] Siemens [online]. 2010 [cit. 2011-03-2]. „Teplotní kabel FibroLaser II. Dostupné z WWW:
<<http://www.siemens.cz/siemjet/cz/home/sibt/fass/12841/Main/22053.jet>>.
- [18] Technoprocur [online]. 2011 [cit. 2011-05-03]. FireGuard. Dostupné z WWW:
<http://www.technoprocur.cz/underwood/download/files/SIGRIST_FireGuard.pdf>.
- [19] 4-construction [online]. 2010 [cit. 2011-05-23]. Osvětlení automobilových tunelů. Dostupné z WWW:
<<http://www.4-construction.com/cz/clanek/osvetleni-automobilovych-tunelu/>>.

- [20] DNA Control system [online]. 77777 [cit. 2011-05-23]. Sflint jasoměr. Dostupné z WWW:
<<http://www.dna.cz/control-system/?menu=rizeni-venkovniho-osvetleni>>.
- [21] Zvvz [online]. 2010 [cit. 2011-05-23]. Výrobky ZVVZ A.S. Pro Větrání Silničních Tunelů. Dostupné z WWW:
<<http://www.zvvz.cz/data/files/921zvvzsoldatvsi.pdf>>.
- [22] Technoprocur [online]. 2011 [cit. 2011-05-03]. Schiltknecht TMS2000. Dostupné z WWW:
<http://www.technoprocur.cz/underwood/download/files/Schiltknecht_TMS2000.pdf>.
- [23] Eltodo [online]. 77777 [cit. 2011-03-20]. Kerberus. Dostupné z WWW:
<http://web.eltodo.cz/Downloads/3_Doprava/Doprava_Kerberus.pdf>.
- [24] Označení hlásek nouzového volání [online]. [cit. 2011-05-01]. Dostupný z WWW:
< <http://www.bkom.cz/documents/bezpecne-tunelem.pdf> >.
- [25] Zachranná cesta v tunelu Horelica U Čadce [online]. [cit. 2011-04-15]. Dostupný z WWW: < <http://www.asb.sk/tunel-horelica-po-53-mesiacoch-prevadzky/galeria/2979/20453> >.
- [26] Svítidlo typu AF4 Schréder [online]. [cit. 2011-04-07]. Dostupný z WWW:
< <http://www.schreder.com/272-1-259-379/product/detail.aspx> >.
- [27] Svítidla typu BJ v tunelu Mont Blanc [online]. [cit. 2011-04-01]. Dostupný z WWW:
< <http://www.schreder.com/272-12-259-40616/product/reference.aspx> >.
- [28] Řídicí systém Kerberus ve velínu Strahovského tunelu [online]. [cit. 2011-04-10]. Dostupný z WWW:
<http://web.eltodo.cz/Webova_prezentace/2_Doprava/4_Tunelove_technologie/03_SAT_800.jpg>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------|
| CO | Oxid uhelnatý |
| EPS | Elektrická požární signalizace |
| IZS | Integrovaný záchranný systém |
| NO | Oxid dusnatý |
| NO ₂ | Oxid dusičitý |
| PDZ | Proměnná dopravní značka |
| PTO | Provozně technický objekt |
| RDS-TMC | Dopravní zpravodajství (Radio Data Systém – Traffic Message Channel) |
| ŘS | Řídicí systém |
| NFPA | Americký standart stanovující rychlost unikajících osob |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 1 – Označení hlásek nouzového volání [24]..... | 22 |
| Obr. 2 – Symboly pro jízdu v pružích [8]..... | 26 |
| Obr. 3 – Pásma osvětlení [8]..... | 33 |
| Obr. 4 – Podélné větrání [8]..... | 36 |
| Obr. 5 - Polopříčné větrání [8]..... | 37 |
| Obr. 6 - Příčné větrání [8]..... | 37 |
| Obr. 7 – Znázornění řídicího systému [8]..... | 38 |
| Obr. 8 – Bezpečnostní kruh [1]..... | 41 |
| Obr. 9 - Stavový model pro případ požáru [1]..... | 46 |
| Obr. 10 - Stavový model pro případ dopravní nehody [1]..... | 47 |
| Obr. 11 - Záchraná cesta v tunelu Horelica u Čadce [25]..... | 54 |
| Obr. 12 – Vlevo SOS kabina Eltodo, vpravo vnitřní provedení kabiny Eltodo [10]..... | 55 |
| Obr. 13 - Silniční meteorologická stanice CrossMet [11] | 56 |
| Obr. 14 - Snímač pro měření opacity a viditelnosti SIGRIST VisGuard [12]..... | 58 |
| Obr. 15 - Princip dvoupaprskové metody firmy SIGRIST pro měření opacity a viditelnosti [12] | 59 |
| Obr. 16 - Kamera Autoscope AIS [13]..... | 61 |
| Obr. 17 - Detektor měření výšky vozidel HISIC 450-N250 [14]..... | 63 |
| Obr. 18 - Přerušování paprsku detektoru příliš vysokým vozidlem [14]..... | 64 |
| Obr. 19 - Rozmístění optického kabelu systému FibroLaser II [17] | 68 |
| Obr. 20 - Připojení systému FibroLaser II do ústředny EPS [17]..... | 68 |
| Obr. 21 - Snímač pro detekci kouře SIGRIS FireGUARD [18]..... | 70 |
| Obr. 22 - Princip dvoupaprskové metody firmy SIGRIST pro detekci kouře [18] | 71 |
| Obr. 23 - Svítidlo typu AF4 od firmy Schröder [26] | 72 |
| Obr. 24 - Umístění svítidel typu BJ v tunelu Mont Blanc [27] | 73 |
| Obr. 25 - Senzor měření rychlosti proudění vzduchu Schiltknecht TMS 2000 [22]..... | 77 |
| Obr. 26 - řídicí systém Kerberus ve velínu Strahovského tunelu [28] | 79 |
| Obr. 27 - Blokové schéma řízení tunelu Jirka | 79 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|-----------------------------------------------------|----|
| Tabulka 1 - Úrovně rizik v aktuálním čase [1] | 14 |
| Tabulka 2 - Dělení událostí [1] | 16 |
| Tabulka 3 - Vývojové fáze události [1] | 43 |
| Tabulka 4 - Třídy škod nehod [5] | 43 |
| Tabulka 5 - Typy scénářů nehod [5] | 44 |

SEZNAM PŘÍLOH

V1 - PŘÍČNÝ ŘEZ TUNELEM.pdf

V2 - SITUACE 1.pdf

V3 - SITUACE 2.pdf

V4 - SITUACE 3.pdf

V5 - SITUACE 4.pdf

V6 - SITUACE 5.pdf

V7 - PTO DISPOZICE.pdf