

**Společná
Laboratoř spolehlivosti systémů
Fakulta dopravní ČVUT Praha**

Konviktská 20, 11000 Praha 1

tel. 2435 9548

e-mail: mirko@fd.cvut.cz

Ústav informatiky AV ČR

18207 Praha 8, Pod vodárenskou věží 2

tel. 6606/2080 , 86890639 (fax)

e-mail: mirko@uivt.cas.cz

Analýza a řízení rizik tunelů pozemních komunikací.

Výzkumná zpráva č. LSS 108/01

Autor: Prof. Dr. Ing. Václav Hamata DrSc

Praha, říjen 2001

Souhrn:

V této zprávě je podán souhrn poznatků, získaných studiem oficiálních dokumentů zveřejněných ve sbornících významných mezinárodních konferencí o bezpečnosti a o hodnocení rizik provozu v tunelech pozemních komunikací, uspořádaných v posledních pěti letech a studiem národních standardů (nebo jejich návrhů) a doporučení jednotlivých zainteresovaných států. Rozbor přístupné dokumentace vede k důležitým závěrům a směrnicím k budování a zabezpečení tunelů pozemních komunikací, se zvláštním zřetelem na bezpečnost a na hodnocení rizik provozu dlouhých silničních tunelů, s přihlédnutím ke zkušenostem získaným rozбором příčin a důsledků fatálních havárií, které se v nich vyskytly v průběhu posledních let.

Obsah:

Souhrn.....	str. 2
Obsah.....	str. 3
1. Úvod.....	str. 4
2. Analýza katastrofálních nehod v tunelech v posledních letech.....	str. 7
2.1 Tunel pod Mont Blankem.....	str. 7
2.2 Tauernský Tunel.....	str. 9
2.3 Gotthardský tunel.....	str. 10
3. Ohodnocování rizik.....	str. 11
3.1 Hlavní faktory bezpečnosti.....	str. 12
3.2 Hlavní rizikové parametry tunelů.....	str. 13
3.3 Bezpečnostní správa tunelu.....	str. 18
4. Riziková analýza.....	str.19
4.1 Identifikace rizik.....	str.21
4.2. Riziková kritéria.....	str.23
4.3. Celková hodnota rizika.....	str. 24
4.4 Vyhodnocení nákladové efektivity.....	str. 25
5.Přeprava nebezpečných nákladů.....	str.26
5.1. Kvalifikace nebezpečných nákladů.....	str. 27
5.2. Ocenění rizik a rozhodovací proces.....	str. 29
6. Nová evropská doporučení a standardy.....	str. 32
6.1 Jedno- nebo dvou-trubní tunely.....	str. 32
6.2 Šířka a vzdálenosti únikových cest.....	str. 33
6.3 Statistika nehodovosti.....	str. 39
Příloha 1. (Švýcarské tunely ve stavbě v r. 2001).....	str. 42
7. Literatura.....	str. 43

1. Úvod.

Při stanovování rizik provozu v tunelech dopravních systémů je nutné se nejprve krátce zmínit o historických příčinách vzniku těchto systémů a současně je třeba si uvědomit, že jde zásadně o dva rozdílné druhy tunelů:

- Tunely železniční (včetně tunelů metra)
- Tunely silniční

Tyto dva druhy tunelů se do sebe podstatně liší jak v hustotě provozu, tak především v počtu aktivních osob (řidičů) přímo zúčastněných na řízení vozidel pohybujících se v tunelu. Chybné reakce a rozhodnutí těchto aktivních účastníků provozu v tunelu určují v převážné většině vznik nehod při provozu těchto systémů. Počty a reakce pasivních účastníků (dopravovaných osob) ovlivňují většinou pouze možný rozsah následných škod.

Z historického hlediska jsou **tunely pro železniční dopravu** starší. Potřeba jejich stavby byla vyvolána na jedné straně zvýšenou potřebou dopravy osob a zboží, umožněnou vznikem železnice, a na straně druhé malou stoupavostí železničních tratí v kopcovitém terénu vlivem malé adheze. Rovněž původní parní pohon železnic omezoval délku tunelů s ohledem na zakouření tunelů a stimuloval tím rozvoj elektrické trakce. Dokladem toho je na příklad Simplonský tunel ve švýcarských Alpách, dlouhý 20 km, otevřený již v roce 1906 a provozovaný dodnes, nebo některé ještě starší, kratší italské alpské tunely původně provozované (při tehdejší neznalosti komutačních pólů stejnosměrných motorů) s kuriózní trojfázovou trakcí s uzemněnou jednou fází a dvojitým trolejovým systémem s pohonem kroužkovými asynchronními motory. Zkušenosti z provozu dlouhých železničních tunelů za poměrně dlouhou dobu jejich využívání ukázaly, že při zachování poměrně jednoduchých bezpečnostních pravidel při projekci, stavbě a provozu je bezpečnost a nehodovost při provozu těchto tunelů zcela srovnatelná s parametry získanými z provozu venkovních tratí a mnohdy i dokonce nižší vzhledem k absenci silničních přejezdů. U tunelů delších než 1 km se doporučuje výstavba tunelu s dvěma jednosměrnými provozními troubami (dvou-trubního tunelu), propojenými navzájem únikovými koridory vzdálenými od

sebe nejvýše 500 m (u metra 350 m) a o předpis pro strojvedoucí vyjet z tunelu pokud to charakter dané havárie dovolí (příp. dojet do nouzové stanice uvnitř dlouhého tunelu, příp. do stanice metra).

Rozvoj silniční dopravy a to jak osobní, tak nákladní poskytl řadu předností proti železniční dopravě jednak v daleko větší přizpůsobivosti individuálním potřebám uživatelů a jednak v možnosti přímé dopravy zboží od zdroje ke spotřebě bez překládání. Potřeba **budování silničních tunelů** byla stimulována dvěma faktory:

- Rozvoj rychlostních silnic (dálnic) vyžadoval minimalizaci výškových rozdílů a preferoval v hornatém terénu systémy tunel – most vzhledem k redukci strmosti stoupání a klesání s vyloučením stavby serpentín.
- Vzrůstající hustota zástavby a zvýšený důraz na ekologii při rostoucí potřebě dopravy osob a zboží do center a z center stimuluje výstavbu podzemních městských a předměstských silničních komunikací v dříve nepředstavitelných dimenzích.

Podmínky pro bezpečný provoz v silničních tunelech jsou jak bylo již uvedeno podstatně horší než pro tunely železniční a jsou dány celou řadou faktorů:

- Provoz v silničních tunelech neprobíhá po kolejích, což zvyšuje možnost kolize vozidel vlivem vybočení z dráhy, nebo u obousměrných (jedno trubních) tunelů i možnost čelních srážek.
- Hustota provozu je v silničních tunelech podstatně vyšší než v železničních a není výjimkou, že vozidla následují v několikavteřinových intervalech s odstupem několika metrů, což vede ke značnému zvýšení rizika nehod.
- Počet aktivních účastníků provozu v tunelu (řidičů) vztažený na 1 km délky tunelu je u silničních tunelů podstatně vyšší než u železničních. Vzhledem ke skutečnosti, že asi 90 % nehod je zaviněno lidským faktorem (tj. nesprávným rozhodnutím aktivního účastníka provozu), je riziko nehody v silničním tunelu podstatně vyšší než v železničním.
- Na železnicích je přeprava osob a zboží oddělena (osobní vlaky - nákladní vlaky). V silničním provozu je přeprava nákladu i osob smíšená, což jednak zvyšuje nehodovost (nepřehlednost situace, rozdíl v technických parametrech vozidel tj. v rychlosti a hlavně ve zrychlení, rozdíly v maximální

dovolené rychlosti apod.) a jednak zvyšuje významně rozsah vyniklých škod, zvláště u nehod s následným požárem, kdy hořící náklad podstatně zvyšuje tepelný výkon požáru.

Obecná statistika počtu nehod v silničních tunelech však ukazuje, že počet nehod na 1 km délky a rok je srovnatelný s parametry pro provoz na volných silnicích (mimo tunely) ba dokonce i nižší vzhledem k absenci křižovatek a vlivu počasí na provoz v tunelech (viditelnost, kluzká vozovka, sníh, námraza apod.). Následky havárií v tunelech jsou vzhledem k uzavřenému prostoru v tunelu daleko vyšší než na silnici v otevřeném prostoru. Zvláště při nehodách s následným požárem mohou být následky katastrofální, zahrnující i značný počet obětí na životech (na příklad požár v tunelu pod Mont Blankem – 39 obětí, nebo požár v tunelu Tauern –12 obětí na životech).

Přes uvedená fakta o nehodách rostou stále požadavky na rozšiřování sítě tunelů na pozemních komunikacích. Dokladem toho je na příklad zpráva švýcarské tunelové asociace [1], která uvádí, že ve Švýcarsku je v současné době (v roce 2001) ve stavbě celkem 47 tunelů (10 železničních a 37 silničních) o celkové délce 178,4 km (viz Příloha 1.).

Zkušenosti z katastrofálních nehod v silničních tunelech ukazují celosvětově na **nutnost vzniku nového interdisciplinárního oboru:**

Spolehlivost a řízení rizik tunelů pozemních komunikací,

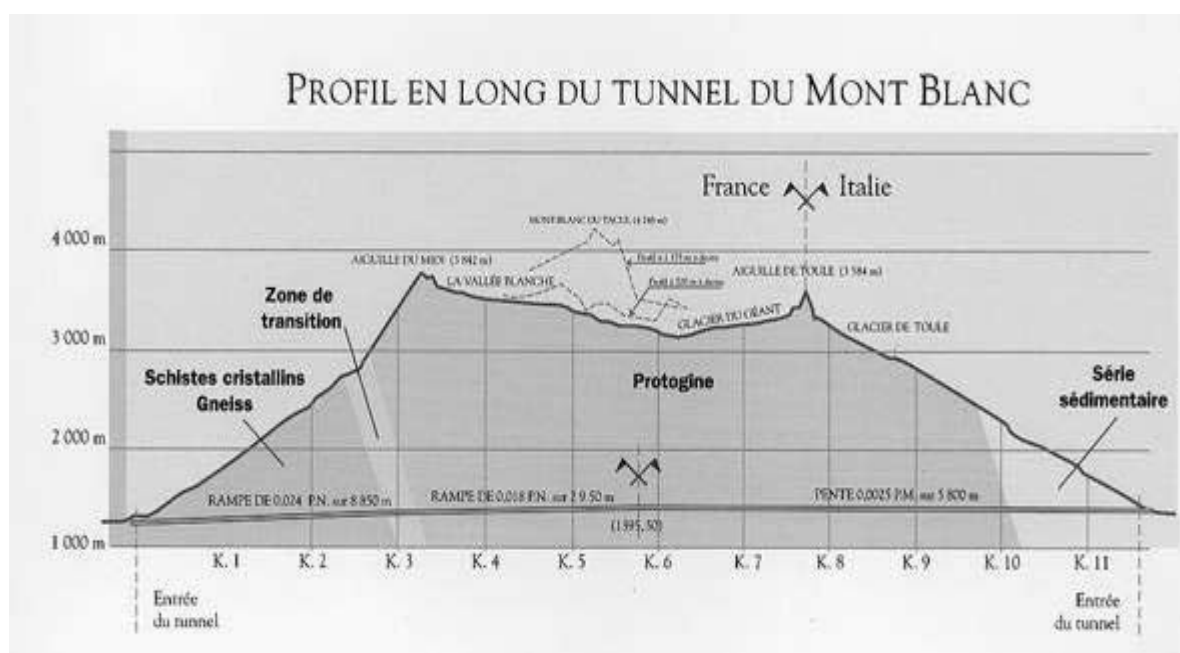
který by v sobě zahrnoval jak systémové odborníky z oboru bezpečnosti systémů a hodnocení rizik, tak odborníky ze zabezpečování a stavby tunelových systémů včetně jejich projektantů. Tuto potřebu vyjadřuje a ve světovém měřítku prosazuje mezinárodní společnost i ITA-AITES (Internatinal Tunneling Association), která v tomto oboru působí již řadu let, pořádá mezinárodní konference a podává návrhy k zavedení mezinárodních a národních norem pro bezpečnost a hodnocení rizik provozu v tunelech pozemních komunikací.

2. Analýza katastrofálních nehod v tunelech v posledních letech.

2.1 Tunel pod Mont Blankem.

Silniční tunel pod Mont Blankem je spojovacím článkem silničního systému, spojujícího Francii s Itálií v délce 11,6 km nejkratší trasou, vedoucí pod nejvyšším masivem Alp. Technická data jedno trubního silničního tunelu pod Mont Blankem udává následující obrázek (Obr.1). Podrobný rozbor příčin a následků požáru podává zpráva [2] .

Podélný profil silničního tunelu pod Mont Blankem.



- Uveden do provozu v roce 1965 po 8 letech tunelování.
- Celková délka tunelu : 11,6 km.
- Šířka tunelu : 8,60 m (vozovka 7 m - dva 3,5 m protisměrné jízdní pruhy).
- Asi každých 500 m je bezpečnostní odstavný výklenek v tunelu. Jejich celkový počet je 36.
- Maximální dovolená jízdní rychlost v tunelu je 70 km/hod, minimální 50 km/hod.
- Nadmořská výška : 1 274 m (francouzský vstup) a 1 381 m (italský vstup).
- Z francouzské strany je 4 km úsek se středním stoupáním 6%.
- Z italské strany je asi 1 km úsek se středním stoupáním 3%.

Obr.1.

Francouzskou část silničního tunelu pod Mont Blankem spravuje akciová společnost ATMB (La société Autoroutes et tunnel du Mont Blanc). Italskou část spravuje akciová společnost SITMB (Société italienne du tunnel du Mont Blanc). Jelikož dvojí národní správa tunelu vedla ke zvýšení stupně neurčitosti řízení a byla zřejmě i jednou z příčin zvětšení rozsahu následných důsledků katastrofického požáru, došlo ve vzájemné dohodě ke zřízení nadřazené nadnárodní řídicí organizace GEIE (Groupement européen d'intérêt économique du tunnel du Mont Blanc).

Dne 24.3.1999 došlo v tunelu bez jakékoliv kolize s jiným vozidlem k požáru belgického kamionu Volvo (PL O), jedoucího z Francie do Itálie a plně naloženého moukou a margarinem. **Vlastní příčina požáru nákladu na belgickém kamionu** (tj. proč začal hořet jinak ne příliš hořlavý margarín a mouka, naložená na korbě kamionu) **nebyla ani soudně ani expertně dodnes prokázána**. Samovznícení nákladu nelze racionálně zdůvodnit a tudíž lze o něm vážně pochybovat a jeho vznícení na příklad od hořící pneumatiky nebylo možno následně prokázat vzhledem totální devastaci kamionu požárem. Celou historii požáru v silničním tunelu pod Mont Blankem lze uvést jako varovný případ řízení bezpečnosti heterogenních systémů, daného hlavně dvojím nezávislým řízením zabezpečovacích zařízení (z italské a z francouzské řídicí stanice) a navíc pak spontánním a nepředvídatelným chováním a zásahem všech účastníků katastrofy.

Celková bilance ztrát na životech v důsledku požáru činila podle oficiální zprávy [3] 39 lidí, vesměs na příjezdové straně z Francie (zvýšením ventilačního výkonu na italské straně). Vozidlo záchranné služby, zablokováno na francouzské straně několik set metrů před hořícím kamionem se podařilo vyprostit až po pěti hodinách a jeden ze 14. hasičů po převozu do nemocnice zemřel. Požár se podařilo zlikvidovat až za dva dny 26. března po 16.00 hod. Většina ztrát na životech na francouzské straně byla způsobena udušením kouřem (přetlakem z italské strany) a následným upálením. Na italské straně vozidla jedoucí před hořícím kamionem odjela bez poškození a uvolnila návratovou cestu protijedoucím vozidlům, jedoucím do Francie.

Při požáru v uzavřeném prostoru, podporovaném intenzivní ventilací, dosáhla teplota do výše mnoha set stupňů Celsia (až 1200°C), což dosvědčuje i skutečnost, že došlo k rozpadu betonového zdiva tunelu až na skálu a ohnisko požáru bylo dostupné po intenzivním chlazení až za více než 48 hodin.

2.2 Tauernský tunel.

Tauernská dálnice je jedna z hlavních dopravních tepen spojujících sever Evropy s jihem přes Alpy vedoucí od rakousko německých hranic přes Salzburg po rakousko italské hranice u Vilachu. Alpskými hřebeny vede několika tunely z nichž jeden z nejdelších je tzv. Tauernský tunel o délce 6400 m. Všechny tyto tunely jsou obousměrné (jedno trubní tj. s jedinou tunelovou rourou) se dvěma protisměrnými jízdními pruhy, každý o šířce 3,75 m a na každé straně se zvýšeným, 1 m širokým chodníkem. Ventilační systém sestává z plně podélné ventilace, rozdělené do čtyř sekcí. Každá ze sekcí je schopná přivést asi $190 \text{ m}^3/\text{s}, \text{km}$ čerstvého vzduchu. Výfuk z tunelu umožňují odváděcí vzduchové otvory, umístěné každých 6 m ve stropě tunelu, umožňující odvod vzduchu kanálem nad stropem tunelu. Každých 106 m je umístěn hydrant na hašení požáru a každých 212 m je umístěn ruční hasící přístroj. Tunel je vybaven kamerami a automatickými hlásiči požáru.

Při popisu fatální nehody v tunelu dne 29. května 1999 je nutno předeslat, že asi 2 hodiny před nehodou v tunelu došlo pro vážnou nehodu několik km před tunelem asi k hodinové uzávěře provozu na silnici, což způsobilo dlouhou, několikakilometrovou frontu čekajících vozidel. Pro zajištění plynulosti dopravy po uvolnění uzávěry byly všechny silniční semaforey přepnuty na ruční řízení. Hustota dopravy v ten den (sobota) byla velmi vysoká (ve směru na Vilach asi 800 až 1000 vozů za hodinu).

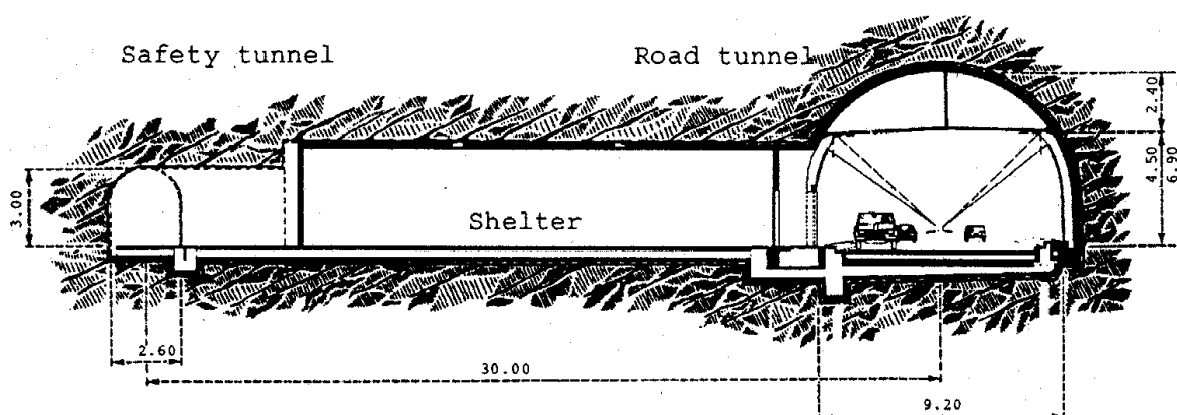
Nehoda byla způsobena najeťm nákladního vozu, naloženého kosmetickými prostředky (spreje, krémy, tyčinky na rty, deodoranty a jiný vysoce hořlavý materiál) zezadu na řadu vozů stojících na červenou. Za tímto nákladním vozem zastavily normálně čtyři další osobní vozy do nichž asi vlivem mikrospánku, nebo nepozornosti vjel plnou rychlostí další nákladní vůz, který dva vozy odhodil stranou na zeď tunelu a další dva natlačil pod kamion s kosmetikou. Devět lidí zahynulo na místě důsledkem srážky a čtyři další v důsledku požáru vzniklého po srážce vlivem úniku paliva z proražených nádrží osobních vozů, který následně zachvátil i kamion s nákladem hořlavin na němž začaly nejprve vybuchovat jednotlivé spreje a pak došlo k několika velkým explozím s následným rozsáhlým požárem s velkou produkcí kouře. Naštěstí interval od vzniku kolize po vznik požáru postačil, aby většina blízkých účastníků nehody stačila utéci do bezpečí, což podstatně snížilo počet obětí i rozsah katastrofy,

neboť přivolané záchranné jednotky uhasily požár asi za šest hodin. Díky vhodné manipulaci s větracím systémem a odsáváním kouře ke stropu stropními odsávacími otvory nedošlo k rozsáhlejší katastrofě s větším počtem obětí na životech vlivem udušení kouřem jako u tunelu pod Mont Blankem. Rovněž viditelnost v dolních partiích tunelu byla dostatečná pro kvalifikovaný zásah záchranných sborů.

V důsledku požáru shořelo v tunelu celkem 24 osobních a 16 nákladních vozů, mezi nimiž byl i kamion pro přepravu dobytka, naložený 50 jalovicemi, které se nepodařilo zachránit a které při požáru uhořely. Díky rychlému zásahu hasičů byl i rozsah materiálních škod značně omezený, takže při 24 hodinovém a 7 denním rytmu opravných prací asi šedesáti lidí bylo možno tunel znovu otevřít po pěti měsících po tragické havárii. Je nutno uvést, že jen ztráty na mýtném po dobu uzavření tunelu činily asi 6,5 milionů Euro měsíčně [4], což vedlo k uvedené intenzifikaci opravných prací .

2.3 Gotthardský tunel.

Gotthardský silniční tunel je jedním z nejdelších silničních tunelů ve Švýcarsku. Jedná se o jedno trubní (obousměrný) dálniční tunel dlouhý 16,7 km s paralelním únikovým tunelem pro pěší, větraným odděleně od hlavního tunelu s nímž je propojen únikovou chodbou každých 250 m (viz Obr.2). Odstavné výklenky jsou vzdáleny od sebe 750 m.



Obr.2.

Bezpečnostní systém sestává z:

- SOS stanic umístěných v hlavním tunelu každých 125 m a vybavených poplašným systémem a hasícím přístrojem,
- TV monitorovacího systému po celé délce tunelu,
- Nouzového zdroj energie a osvětlení
- Detektorů požáru, CO₂ a viditelnosti.

Organizačně je bezpečnost zajišťována 24 hodinovým dozorem na obou stranách tunelu, 24 hodinovou službou záchranného týmu (3-4 lidé) na každé straně tunelu a zákazem průjezdu pro vozidla s velkým množstvím nebezpečného nákladu.

Od doby otevření tunelu v r.1980 narůstá trvale hustota provozu až na dnešních asi 6,5 milionů vozidel ročně, z čehož je dnes asi 1 milion kamionů. Poměr počtu kamionů ku počtu osobních vozidel narostl za dobu provozu zhruba na trojnásobek [5].

Pochopitelně ani tento tunel se neobešel bez provozních nehod a jeho statistika uvádí, že v průměru dochází asi k deseti technickým závadám s odstávkou u osobních vozů a jedné u nákladních vozů a k jedné kolizi vozidel týdně. Ročně pak dochází ke čtyřem požárům osobních vozů a k jednomu u kamionů. Přehled o vážnějších nehodách podává následující tabulka:

Rok	Druh nehody	Následky nehody
1997	Požár přepravníku na auta	Shořelo 8 přepravovaných vozů. Velké škody na konstrukci tunelu vlivem požáru,
1997	Požár autobusu	Naložený autobus úplně vyhořel.
1994	Požár kamionu	Kamion zcela vyhořel. Velké škody na majetku (na tunelové konstrukci).
1990	Srážka kamionu	Kamion narazil do několika stovek prázdných lahví od plynu a došlo uvolnění malého množství plynu.
1984	Požár kamionu	Kamion i náklad plastikových folií shořel. Vážné poškození tunelové konstrukce.

Příklad Gotthardského tunelu potvrzuje v porovnání s předchozími příklady, že při srovnatelné nehodovosti v uvedených tunelech lze snížit riziko fatálních obětí na lidských životech na minimum při důsledném dodržování základních bezpečnostních hledisek jak při projekci a stavbě tunelu, tak při jeho provozu a to jak technickým vybavením, tak organizačně řízením provozu (velín, záchranný tým a pod.) i dodržováním dopravních předpisů (dopravní policie).

3. Ohodnocování risik.

3.1. 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 efektech a to na:

- bezpečnostním systémem 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).

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. Jejich znalost je ovšem určujícím faktorem významu a spolehlivosti té které simulace.

3.2. Hlavní parametry bezpečnosti tunelů.

Hlavním podkladem pro sestavení následujících tabulek byl návrh formuláře pro sběr statistických dat o našich tunelech, vypracovaný Ing. Smolíkem [6] v rámci pracovní skupiny "Bezpečnost v tunelech" národního výboru ITA/AITES.

Rizikové faktory bezpečnostního systému v tunelech.		
a) Konstrukční parametry.		
<i>Název</i>	<i>Podskupina</i>	<i>Komentář</i>
Druh, třída komunikace		Dálnice, státní silnice, městská komunikace...
Hustota doprav. provozu	řídká střední vysoká	< vozidel/km a rok vozidel/km a rok > vozidel/km a rok
Počet tunelových trub	jedno trubní dvou trubní	obousměrný, min.2 jízdní pruhy jednosměrný, každý směr jedna trouba
Počet dopravních pruhů		vysoká hustota více pruhů pro každý směr
Šířka dopravního pruhu		min. 3,5 m
Průjezdná výška	strop rovný / kulatý	min. 3,5 m
Rozšíření pruhů u portálu		nižší riziko kolize při vjezdu/výjezdu
Výhybka v tunelu	odbočení připojení	počet, místo, ve stoupání (klesání) počet, místo, ve stoupání (klesání)
Šířka únikového chodníku		doporučení min. 80 cm
Zvýšení chodníku		min.15 cm nad vozovkou
Výška únik. chodníku		min. 2.2 m
Propojení souběžných tunelů (příp. i únik.tunelu)	pro chodce pro průjezd	počet, příčný profil, délka, kapacita, vzdálenost (pro chodce min.250 m)
Odstavné výklenky		počet, délka, šířka, vzájemná vzdálenost
Druh vozovky		pro tunely > 1000m betonová vozovka
Barva	doprav. značení ostění a stropu	světelné, odrazové, osvětlené, barvy odstín, matné, lesklé
Materiál	povrch ostění protipožární izolace	nehořlavý, neprodukující plyny při hoření tepelná odolnost
Konstrukce proti oslnění	Portály	zastínění portálů proti oslnění při výjezdu

Rizikové faktory bezpečnostního systému v tunelech.		
b) Technické vybavení		
Název	Podskupina	Komentář
Měření	výšky vozidla na vjezdu	překročení světlé výšky tunelu
	opacity	viditelnost v tunelu v metrech
	podélné proudění vzduchu	rychlost proudění vzduchu v m/sec
	obsahu CO	hlášení při překročení dovolené koncentrace
	obsahu NO _x	
	počtu vozidel	počet vozidel za hodinu
	rychlosti průjezdu	doba průjezdu, rychlost vozidel (km/h)
	námrazy	námraza mimo tunel a hlášení řidičům
Závory	v portálu v tunelu	automatická signalizace překročení výšky, při požáru, při nehodě. Umístění.
Osvětlení	normální	přímé, nepřímé, zářivkové, výbojkové
	náhradní nouzové	náhradní/záskokový zdroj oddělené (z vlastních zdrojů), max. doba využití
Systém větrání	provozní	Kapacita: normální / při požáru Systém: podélné-příčné-kombinované Odvětrání: stropem / u podlahy
	při požáru	
Nouzová hlášení	telefony	umístění, vzdálenost, SOS kabiny
	radiové telefony	bez nebezpečí prohoření kabelů
	mobilní telefony	potřeba pokrytí uvnitř tunelu
	místní rozhlas (rádio)	pokyny z velínu pro všechny uživatele
Kamerový dozor	v portálech - počet	dozor na vjíždějící vozidla (pořadí)
	v tunelu - počet	dozor na nehody a odstávky vozidel
Protipožární zajištění	detekce požáru	automatické hlášení do velínu
	hasicí přístroje	rozmístění ručních hasicích přístrojů
	hydranty	rozmístění, počet a kapacita hydrantů
	vodovod	rozvod vody pro hašení existuje?
Odvod vody	kanalizace tunelu	odvod prosakující vody a vody při hašení, kapacita
	filtrace a jímání	filtrace a jímání nebezpečných a hořlavých látek (paliva apod.)

Rizikové faktory bezpečnostního systému v tunelech.		
C) Řízení provozu		
<i>Název</i>	<i>Podskupina</i>	<i>Komentář</i>
Provozovatel	název provozovatele	identifikace provozovatele, příp.
	adresa provozovatele	odpovědné osoby
	místo řízení provozu	odpovědný vedoucí provozu
	místo řízení údržby	odpovědný vedoucí údržby
Provoz	vybavení místa řízení	umístění, vybavení velínu, počet velínů
	provozní doba	provozní doba řídicí skupiny
	provozní řád	existuje?, kde je přístupný?
	tunelová kniha	existuje?, zápisy o nehodách?
	evidence přerušení provozu	zápisy o všech přerušeních provozu, důvod
	havarijní plán	standardní postupy při havárii
Spojení mimo tunel	útvár řízení dopravy	spojení s dopravní policií
	integrováný systém záchrany	rychlý alarm záchranného týmu a hasičů
	záchranná zdravotní služba	přivolání rychlé zdravotní služby
Školení personálu tunelu	pravidelná školení	školení záchranného týmu, velín atd.
D) Řízení dopravy		
<i>Název</i>	<i>Podskupina</i>	<i>Komentář</i>
Útvár řízení dopravy	dopravní policie	řídí dopravu mimo tunel i obecně uvnitř
	sídlo	vzdálenost od tunelu
	vybavení místa řízení	telefon, rádio, vrtulník apod.
	provozní doba	obvykle 24.hod
Dopravní značky	stabilní, příkazy	normální, osvětlené, světelné, odrazové
Světelná signalizace	dopravní trasa	zvýrazněné dopravní značení příjezdu
	vjezdy do tunelu v tunelu	řazení: osobní vozy-kamiony omezení rychlosti, odstupy, požár
Dopravní značky	standardní	příkazy, informace,
	jízda v pruzích	povolení jízdy v pruzích
	omezení průjezdu zákaz průjezdu	nebezpečný náklad
Informační tabule	stabilní	před vjezdy na trase
	proměnné objízdné trasy	objízdné trasy při uzavření tunelu
Zamezení chybného nájezdu	zátaras, konstrukční úpravy	zábrana vjezdu do tunelu v protisměru

Rizikové faktory bezpečnostního systému v tunelech.		
e) Řízení záchranného systému		
Název	Podskupina	Komentář
Integrovaný záchranný systém	adresa řídící složky	odpovědný velitel
	spojení pro vyhlášení alarmu	rádio, telefon, přímá linka
	dojezdový čas	čas do počátku zásahu v min.
	nástupní plochy	dosažitelnost místa nehody
	náhradní přístupy k portálům	přednostní přístup k portálům
Cvičení a školení		cvičné poplachy a školení týmu
Statistické údaje		
Název	Podskupina	Komentář
Hustota dopravy		počet vozidel za 24 hod
Počet zastavení (vozidel/rok)	pohonné hmoty porucha požár dopravní nehoda	viník: řidič, technická závada atd.
Požár	statistika klasifikace požáru doba likvidace požáru	počet požárů/rok rozsah: malý, střední, velký, velmi rozsáhlý doba likvidace v hodinách
Vyčíslení škod	počet zraněných počet obětí na životech materiální škody	Počet zraněných/rok Počet úmrtí/rok na majetku účastníků na majetku tunelu
Poruchy technologie tunelu	omezení provozu	druh poruchy délka omezení
	zastavení provozu	druh poruchy délka zastavení

f) Lidský faktor jako rizikový činitel

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 řídicího či záchranného týmu, nebo jako uživatel tunelu.

Rizikovost činnosti členů řídicího, nebo záchranného týmu při nehodě lze výrazně ovlivnit jejich pečlivým výběrem (psychotesty), výcvikem a poplachovými cvičeními, což by měly určovat i předpisy těchto profesionálních složek.

Rizikovost činnosti uživatelů tunelu ať aktivních (řidičů), nebo pasivních (dopravovaných osob) lze ovlivňovat velice obtížně. Přes to však všechna opatření ke zvyšování bezpečnosti musí:

v první řadě vést ke snížení možnosti lidského selhání (lidským chybám) v druhé řadě musí zabezpečit, aby chybná lidská činnost (či rozhodnutí) měla minimální přítěžující účinky (případně žádné).

Ovlivnit lidské chování lze do určité míry různými prostředky jako jsou

- informace,
- dozor,
- kontrola,
- sankce.

Zkušenosti ukazují, že jedním z nejúčinnějších opatření je opakovaná informační kampaň zveřejňující správné chování účastníků při nehodách v tunelu.

Při požáru v tunelu je nutno okamžitě zastavit u kraje, vypnout motor a

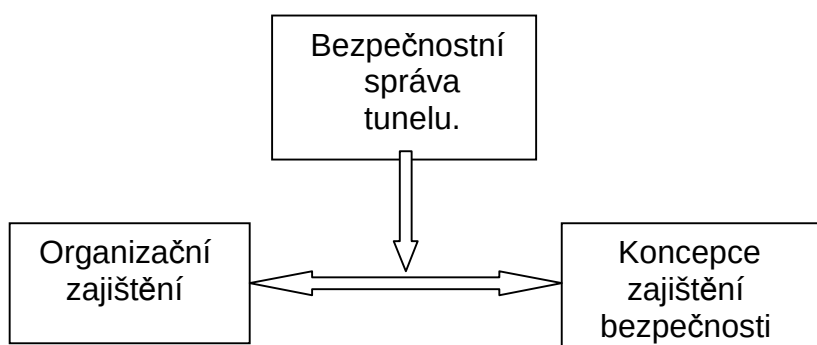
okamžitě opustit automobil a utéct do bezpečí !

Každá vteřina rozhoduje o Vašem životě !

Detailní rozbor hlavních rizikových faktorů, uvedených v předchozích tabulkách uvádí ve své zprávě ing. Kolátek [7].

3.3 Bezpečnostní správa tunelu.

Poněvadž bezpečnost v tunelech je neustále se vyvíjející dynamický proces, musí pro každý tunel existovat jeho vlastní bezpečnostní správa, vydávající bezpečnostní předpisy, uzpůsobené podmínkám daného tunelu (příp. soustavy tunelů). Základní schéma organizace bezpečnostní správy, používané s velkým úspěchem ve Švýcarsku [5] je na Obr. 3.



Obr. 3.

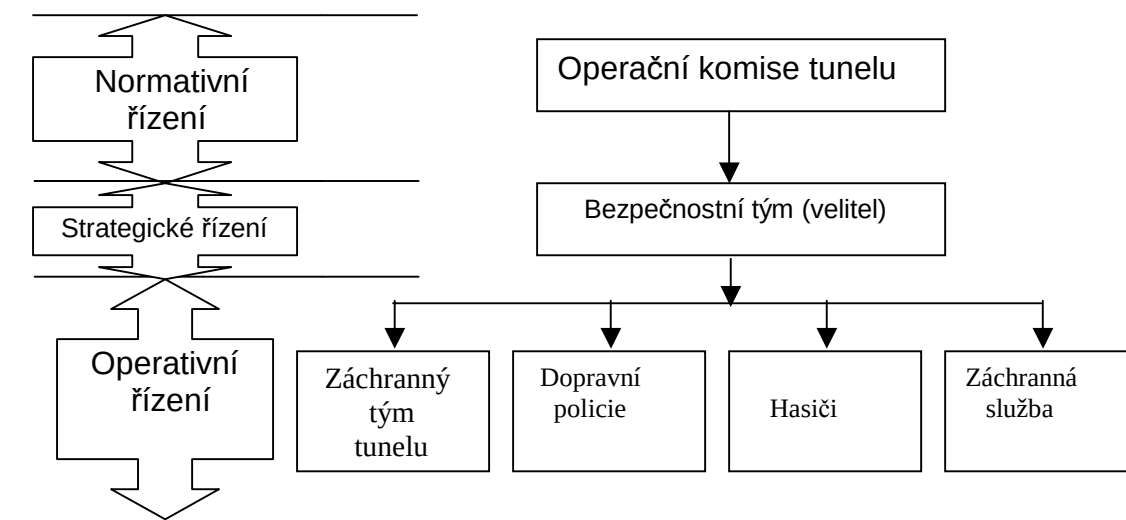
Bezpečnostní správa tunelu v jejímž čele stojí statutárně nejvýše postavená osoba (ředitel správy tunelu) vydává bezpečnostní směrnice k činnosti všech zaměstnanců tunelu v případě mimořádné události v tunelu a odpovídá za jejich dodržování. Hlavními cíly činnosti bezpečnostní správy jsou:

- *Ochrana lidí, životního prostředí a snížení ekonomických ztrát.* Jelikož operátoři mají velmi omezené možnosti jak zabránit nehodám, musí se soustředit na co nejúčinnější a nerychlejší záchranu lidí a omezení následků.
- *Znalost všech risik tunelu a omezování vzniku nehod* a jejich důsledků na minimum. Co nerychleji zajistit účinnou záchranu a evakuaci. Přebírat zkušenosti z každé nehody v silničních tunelech doma i v zahraničí.
- *Přísně dodržovat všechny předpisy a nařízení* platné pro dopravu v silničních tunelech. Sledovat vývoj v zahraničí a využívat každou

další možnost zlepšení bezpečnosti na základě vyhodnocení efektivnosti nákladů.

- *Formální ustavení bezpečnostní správy tunelu a jejího odpovědného představitele* a určení její kompetence a povinností předpisem nejvyššího vedení tunelu.
- *Předávání seriózních informací* všem zainteresovaným osobám a institucím zvláště v případě vážných nehod.
- *Prověřování efektivnosti bezpečnostních opatření* pomocí periodických cvičení a přezkoušení všech zaměstnanců tunelu.

Organizační zajištění úkolů bezpečnostní správy provádí existující soustava vnitřních a vnějších útvarů, kterým musí být sdělena pravomoc a povinnost účasti na dílčích operacích při nehodě. Na obr. 4. je naznačeno organizační schéma organizačního zajištění jednoho ze švýcarských tunelů.



OBR. 4.

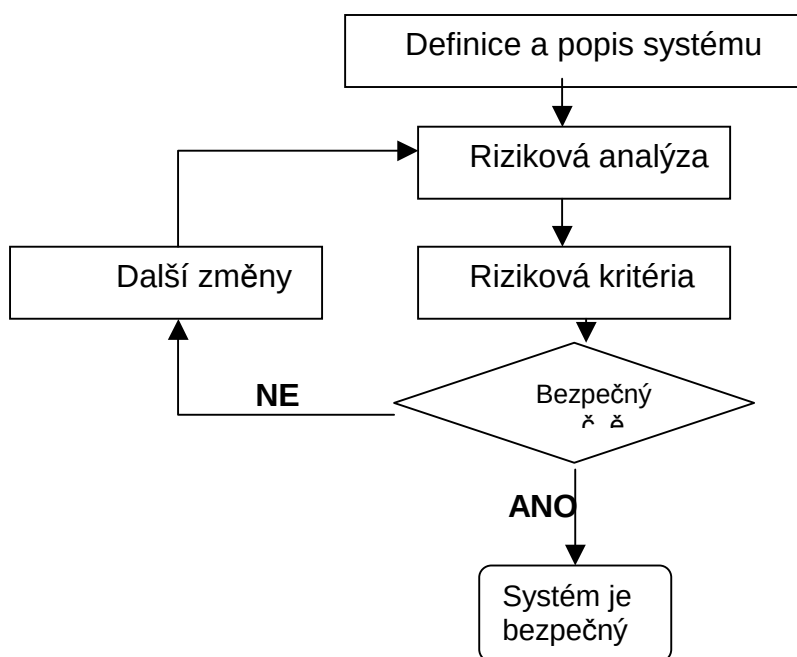
Koncepce zajištění bezpečnosti má vést k optimálním rozhodnutím o vhodném, nebo nutném rozšíření (příp. zúžení) bezpečnostních prostředků.

4. Riziková analýza.

Základní postup při rizikové analýze je následující:

- Na základě popisu a definic systému jsou rizika, existující v systému systematicky identifikována a kvalitativně popsána.
- Riziková kritéria musí být definována tak, aby je bylo možno ekonomicky ohodnotit (přiřadit cenu).
- Na základě takové analýzy rizik lze přijmout další bezpečnostní opatření tak, aby bylo možno systém označit za dostatečně bezpečný.

Graficky je tento postup naznačen ve formě vývojového diagramu na Obr.5.

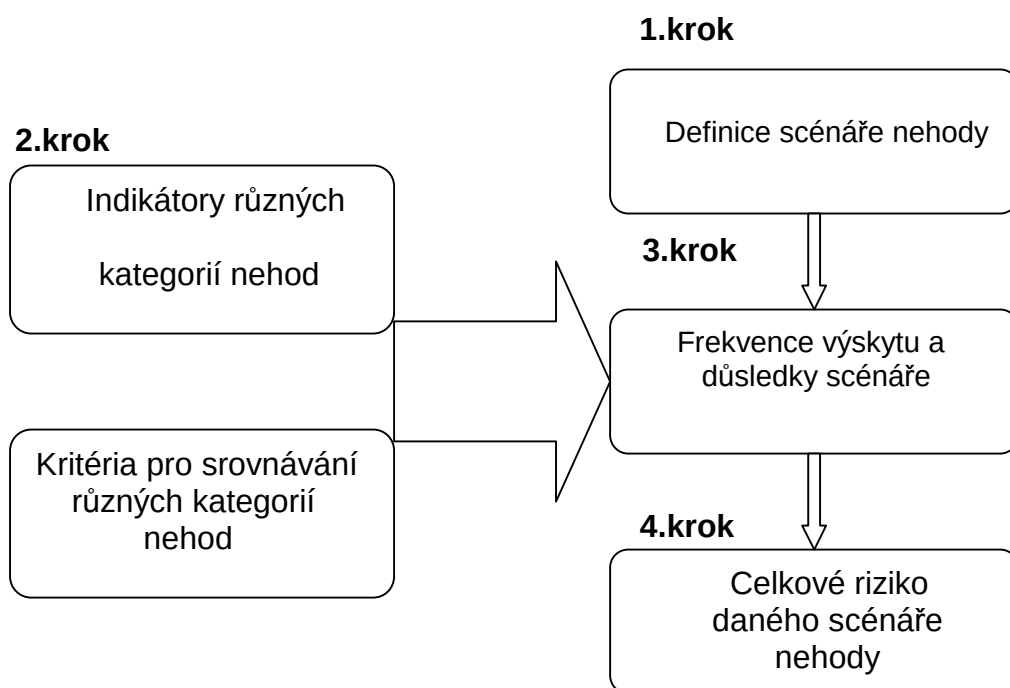


OBR. 5.

Ve světě existuje řada metod rizikové analýzy. O některých z nich bude zmínka i v této zprávě. Již v úvodu byla zmínka o stochastickém charakteru nehod v tunelech a o velkém počtu víceméně sporných faktorů. Proto každá z dosud prováděných rizikových analýz dává výsledky s různou přesností a důvěryhodností.

4.1. Identifikace rizik.

Nyní uvedeme postup, užívaný s celkem zdařilým výsledkem ve Švýcarsku. Riziková analýza probíhá ve čtyřech krocích jak je naznačeno na Obr. 6.



Obr. 6.

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 a počet scénářů nehod lze pak omezit (podle švýcarských zkušeností) asi na osmnáct, rozdělených celkem na pět základních typů scénářů jak je naznačeno na následujících dvou tabulkách.

Třídy škod nehod	
Primární škody nehod.	Primární škody jsou škody způsobené samotnou nehodou
Sekundární škody nehod.	Škody vzniklé po nehodě, které mohly být např. způsobeny v rámci záchranných prací.
Přerušení služeb tunelu.	Úplné přerušení služeb tunelu (uzavření tunelu).

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

4.2. Riziková kritéria.

Pro určení Indikátorů různých kategorií škod a kritéria pro jejich hodnotové srovnávání lze uvést systematické třídění, uvedené na následující tabulce:

Kategorie škod a kritéria pro jejich srovnávání.				
Kategorie škod	Rozsah škody		Indikátor škody	Finanční hodnocení (SFr)
Osoby	Zraněných	Počet	Za každé zranění	40.000
	Mrtvých	Počet	Za úmrtí	4,000.000
Škody na majetku	Finanční ztráty	SFr	Za každý Frank škody	2
Škody na život. prostředí	Rozlitá tekutina	Litrů	Za rozlitý litr škodlivé tekutiny	500
Uzavření tunelu	Přerušení služeb	Počet hodin	Za každou hodinu	20.000

Frekvence výskytu nehod a důsledky scénáře se stanovují na základě statistiky nehod v daném tunelu (příp. podle obecných statistik tunelů stejného typu). Pro počítačové zpracování frekvence výskytu nehod bylo určeno sedm frekvenčních tříd podle počtu nehod za rok.

Frekvenční třídy (počet nehod za rok)							
Třída	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Počet nehod za rok	<10	10 - 1	1 - 0.1	0.1 - 0.01	0.01 - 0.001	0.001 - 0.0001	>0.0001

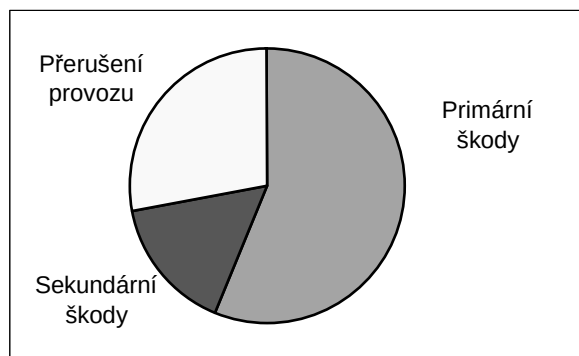
Pro stanovení důsledků nehod byly důsledky roztrženy do pěti tříd podle počtu poškozených, nebo rozsahu škod

Třídy důsledků škod					
Třída	1.	2.	3.	4.	5.
Primární a sekundární škody					
Úmrtí	0	0 - 1	2 - 3	4 - 10	>10
Zranění	0	0 - 3	4 - 10	11 - 20	>20
Škody na majetku ($\times 10^6$ SFr)	0.001	0.05	0.2	2	>5
Životní prostředí (litrů)	0	2	20	200	>1000
Uzavření tunelu					
Uzavření tunelu (hod)	0	2	6	18	>36

Finanční ohodnocení každého scénáře je násobeno odpovídající hodnotou frekvenční třídy. Tím je dána hodnota rizika ve SFr za rok pro každý z osmnácti scénářů. Takto učená hodnota platí pro danou průměrnou hustotu provozu a daný stav záchranných služeb a bezpečnostního zařízení.

4.3. Celková hodnota rizika.

Celková hodnota rizika je dána součtem škod takto stanovených pro všechny tři třídy škod (primární, sekundární a přerušení provozu). Na příklad pro Gotthardský tunel pro danou analýzu platí:



Druh škody	SFr.10 ³ /rok	%
Primární škody	7.7	56
Sekundární škody	2.1	16
Přerušení provozu	3.9	28
Celkem	13.7	100

Jak je z přiloženého grafu i tabulky zřejmé, přispívají srážky vozidel v daném tunelu (Gotthardský tunel) největší položkou k riziku tunelu. Je to i proto, že je v tomto tunelu zakázána doprava většího množství nebezpečného nákladu. Toto riziko činí v daných scénářích asi 1%. Naopak náklady na úmrtí, přerušení provozu a škody na majetku mají zcela dominantní postavení.

Kategorie škod	
Druh škody	%
Technická porucha	21
Srážka	53
Požár	25
Únik jedovatých látek	0.1
Únik látek při nehodě	1
Celkem	100

Třídy důsledků škod	
Typ	%
Úmrtí	31
Zranění	5
Škody na majetku	35
Životní prostředí	1
Uzavření tunelu	28
Celkem	100

Sekundární škody jsou z 92% způsobeny požárem. Ostatní příčiny sekundárních škod jsou tedy prakticky zanedbatelné.

4.4. Vyhodnocení nákladové efektivity.

Přínos rizikové analýzy spočívá ve finančním ohodnocení rizik, tj. následků náhodných, ale typických nehod které mohou nastat při provozu tunelu. To umožňuje celkem objektivní porovnání nových návrhů na zvýšení bezpečnosti z hlediska jejich celkového finančního přínosu.

Vyhodnocení nákladové efektivity (cost-benefit) daného projektu vznikne pak porovnáním změny rizika (tj. odečtením výsledků rizikové analýzy po navrhované úpravě od výsledků rizikové analýzy původního stavu) s celkovými ročními náklady na realizaci nového projektu. Tyto celkové roční náklady lze objektivně zjistit z potřebných nákladů na daný projekt vydělením odhadovaným počtem roků využívání navrhovaných úprav (většinou 20 roků).

Je-li nákladová efektivita (tj. rozdíl změny rizika a ročních nákladů na nový projekt) kladná, lze nový projekt jednoznačně přijmout.

5. Přeprava nebezpečných nákladů

Světová statistika ukazuje, že největší riziko v tunelech (tj. následky s největšími škodami) způsobuje přeprava nebezpečného nákladu. Požár tohoto nákladu v tunelu, kdy celá jeho tepelná energie se vstřebává v uzavřeném prostoru tunelu, může vést ke katastrofálním důsledkům. Proto považujeme za vhodné o tomto typu nehody pojednat zvláště, neboť i samotná klasifikace požáru se v různých zemích někdy i značně liší.

Nejobektivnější ukazatel rozsahu požáru (a také nejčastěji používaný) je tepelný výkon požáru, tříděný podle zdroje nehody. Podle nejběžněji používaných hodnot v evropských zemích byla sestavena následující tabulka tepelných výkonů a množství zplodin (pro větrací systém) :

Vyzářený tepelný výkon a množství zplodin		
Druh vozidla	Tepelný výkon v MW	Průtokové množství m³/s
osobní vůz	5	20
2 - 3 os. vozy, nebo osobní mikrobuses	8 - 15	30
1 dodávka (malý městský autobus)	15 - 20	50
1 autobus, městský autobus bez nebezp. nákladu.	20 - 30	60 - 80
1 kamion (naložený)	100	200
1 cisterna s benzínem	200 - 300	300

Horní mez tepelného výkonu požáru se v různých evropských zemích udávána různě. Nejprísnejší kritérium pro cisternu s benzínem udávají ve svých normách Francouzi (300 MW) a nejbenevolentnější jsou Švýcaři (150–200MW).

5.1. Kvalifikace nebezpečných nákladů.

Francouzi se po zkušenostech z požáru v tunelu pod Mont Blankem [8] věnovali problematice požárů velmi důkladně, neboť i když zkušenost ukazuje, že je nehodovost v tunelech nižší než na volné silnici, důsledky požáru v tunelu mohou vést ke katastrofě s mnoha oběťmi na životech. Tento problém se ještě zvětšuje s dopravou nebezpečných nákladů, které podstatně přispívají ke zvýšení tepelného výkonu požáru. Na druhé straně zákaz dopravy tohoto zboží tunelem zvyšuje jednak neúměrně náklady na jeho dopravu, jednak nutí uživatele k jeho dopravě po mnohem nebezpečnějších vedlejších silnicích, vedoucích obvykle silně obydlenými oblastmi a tak zvyšuje riziko obecného ohrožení.

Toto dilema prohlubuje i skutečnost, že se předpisy pro dopravu nebezpečného nákladu silničními tunely v jednotlivých zemích značně liší.

Pečlivá analýza těchto pravidel vede k těmto závěrům:

- Běžná rozhodnutí o trase dopravy nebezpečných nákladů se neprovádí na základě rizikové analýzy a vedou obvykle k použití rizikově nebezpečnějších tras.
- Různorodost a někdy i obtížná srozumitelnost omezení transportu nebezpečného nákladu činí plánování trasy takové dopravy velmi náročným.
- Je zde velmi vážný požadavek na nová mezinárodní pravidla pro dopravu nebezpečného nákladu, včetně mezinárodně platných dopravních značek pro omezení této dopravy.

Je proto nutné provést mezinárodní revizi těchto pravidel a zavedení jednotného mezinárodně platného předpisu pro tento problém. K tomuto účelu je ovšem zapotřebí provést klasifikaci nebezpečných nákladů. V tunelech existují tři hlavní rizika:

- Exploze
- Únik jedovatých plynů, nebo tekutin
- Požár.

U explozí, které mívají nejrozsáhlejší následky, rozlišujeme dva druhy :

- **Velmi rozsáhlá exploze** je výbuch plného nákladu expandujících par vařící se hořlavé tekutiny (výbuch následovaný ohnivou koulí, tak zvaný „Horký výbuch“).
- **Velká exploze** je výbuch nehořlavých stlačených, nebo požárem ohřátých plynů (výbuch bez ohnivé koule – „Studený výbuch“).

Podle předchozích úvah lze zboží, tvořící nebezpečný náklad roztrždit do pěti seskupení:

Seskupení zboží, tvořícího nebezpečný náklad.	
Název	Popis
Seskupení A	Veškeré zboží, tvořící nebezpečný náklad, povolené pro transport na veřejných silnicích.
Seskupení B	Veškeré zboží seskupení A, kromě zboží které může způsobit velmi rozsáhlou explozi (horký výbuch).
Seskupení C	Veškeré zboží seskupení B, kromě zboží které může způsobit velkou explozi (studený výbuch), nebo velký únik toxických plynů či těkavých látek.
Seskupení D	Veškeré zboží seskupení C, kromě zboží které může způsobit rozsáhlý požár.
Seskupení E	Ostatní zboží, které nevyžaduje zvláštní označení na vozidle.

Skutečnost, že veškeré zboží následného seskupení je obsaženo v předchozím seskupení usnadňuje pravidla pro jejich dopravu.

Na příklad příkaz:

„Seskupení C bez omezení.

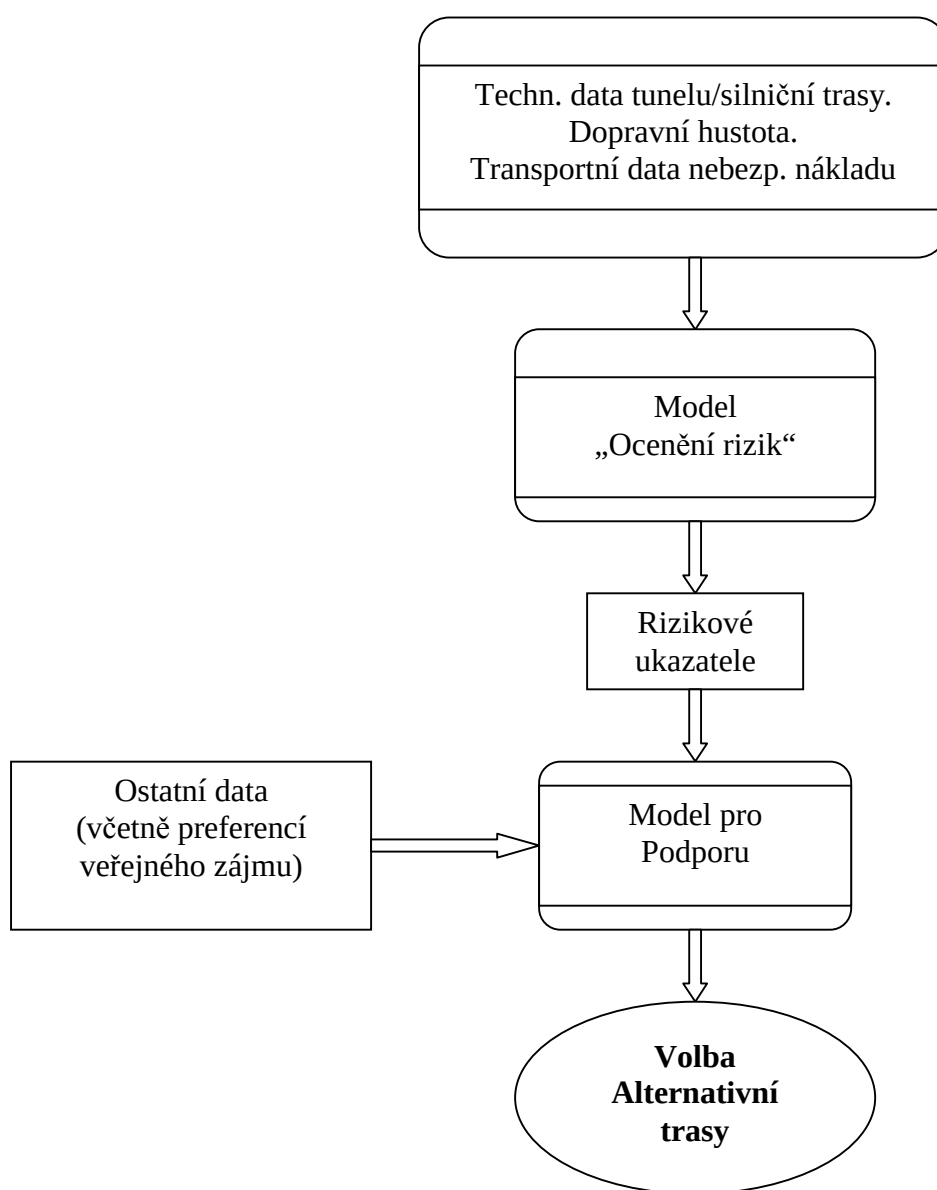
Seskupení B jen s doprovodem“

znamená, že přeprava zboží v Seskupení A a nikoliv v Seskupení B je zakázána, přeprava zboží v Seskupení B a ne v Seskupení C je povoleno pouze s eskortou a zboží v Seskupení C lze přepravovat bez omezení.

5.2. Ocenění rizik a rozhodovací proces.

Vzhledem k nadnárodnímu charakteru uvedené problematiky byl vyslán společný projekt OECD/PIARC k vytvoření objektivního rozhodovacího procesu o omezeních v přepravě nebezpečného nákladu [9] silničními tunely ve formě počítačové pomůcky, která by umožnila přeprávcům objektivní vyhodnocení rizik při volbě optimální trasy pro přepravu daného zboží na dané místo.

Vývojový diagram programu je na Obr. 7.



Obr. 7.

Na základě mezinárodního tendru bylo vypracováním MPR (Modelu pro Podporu Rozhodování) pověřeno konsorcium francouzských, britských a kanadských konzultantů.

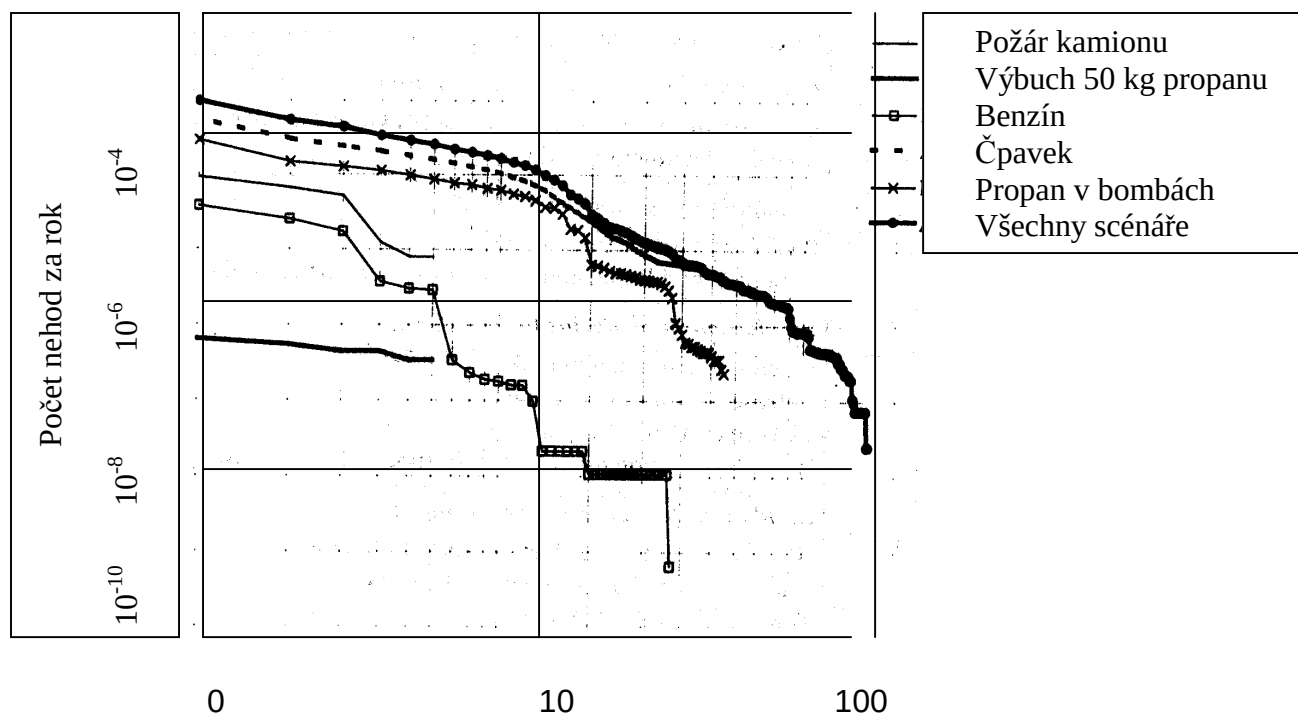
Riziko charakterizují dva aspekty:

1. Pravděpodobnost výskytu.
- 2 Dopad

Pravděpodobnost výskytu se běžně udává hodnotou frekvence nehod, tj. obvykle počtem nehod za rok.

Dopad může být udán jako rozsah škod v počtu úmrtí, příp. zraněných, v destrukčních následcích, v ekologických škodách apod. V souladu s předchozími studiemi (viz kapitola 4.3) se obvykle pro zjednodušení volí jako charakteristický údaj počet úmrtí, lze ovšem vytvořit tuto studii i pro jiné dopady.

Jako názorný příklad výsledků simulačního řešení rizik dané trasy pro počet úmrtí je na Obr. 8.



Obr. 8.

Model pro Podporu Rozhodování (MPR) (Decision Support Model DSM) byl vytvořen dánským konsultantem a spočívá na třech hlavních kategoriích rozhodovacích analýz:

1. **Bayesovská** rozhodovací analýza, v níž je množství vstupních veličin váženo podle společné užitkové funkce.
2. **Multikriteriální** rozhodovací analýza a zvláště jednoduchá multi – atributová technika přidělování vah (SMART) využívající vážený součet různých objektů.
3. **Agregovaná multikriteriální** rozhodovací analýza (cost-benefit analysis, nebo také analýza „Co za co“), zahrnující dva různé přístupy: jeden velmi podobný Bayesovské analýze a druhý klasický, vyhodnocující dané alternativy čistě ekonomicky a porovnávající jejich současné hodnoty.

Výsledky získané modelem zahrnují nejen doporučené rozhodnutí, ale i očekávaný přínos (Bayesovská analýza), nebo i pořadí přínosů jednotlivých alternativ (SMART a agregovaný SMART). Simulační studium rizik umožňuje velmi objektivní posuzování návrhů na nové zařízení pro zvýšení bezpečnosti.

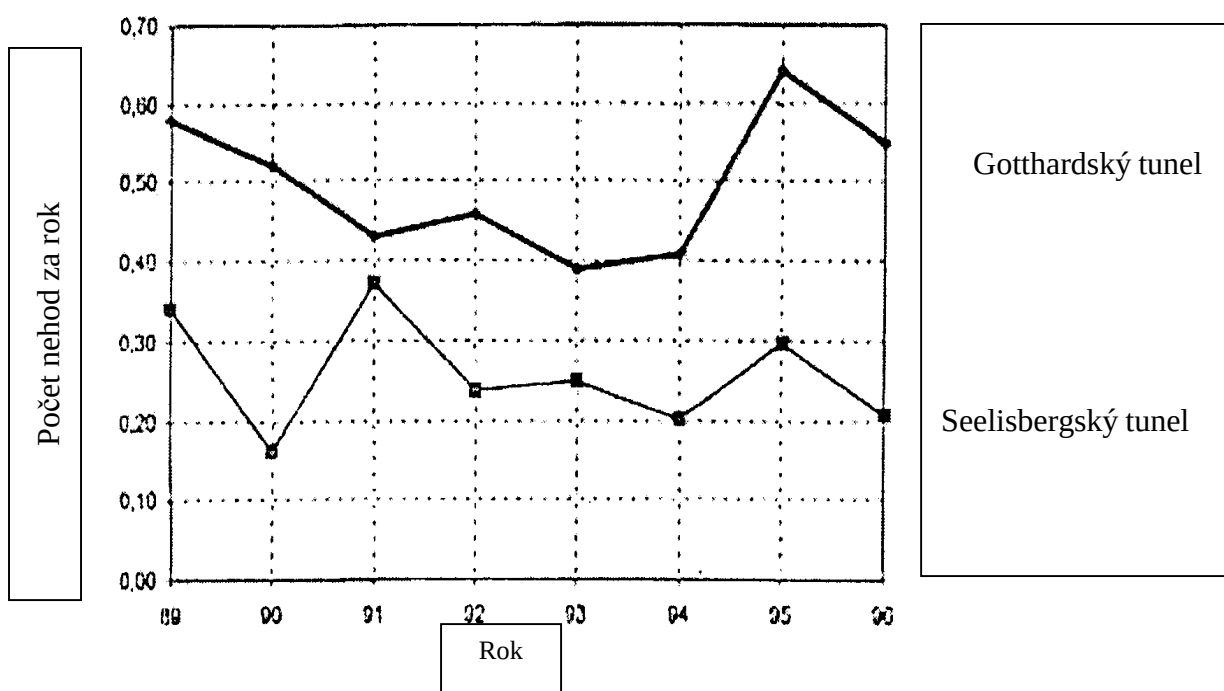
Hlavním účelem těchto studií je přenést tuto problematiku na mezinárodní úroveň tj. na mezinárodní organizace odpovědné za tvorbu a implementaci mezinárodních dopravních předpisů včetně zavádění nových dopravních značek.

Obdobnou studii vypracovali nezávisle i v Holandsku [10], kde vytvořili vlastní tabulkový model rizik v tunelech na bázi programu „EXCEL“. Rovněž uvažují jako hlavní rizikový ukazatel počet úmrtí a vynášejí jej v závislosti na frekvenci nehod. Získali křivky velmi podobné křivkám na Obr.8. Soustředili se na porovnání rizik při různých vzdálenostech únikových chodeb u dvou-trubních tunelů a na případy s podélnou ventilací a bez ní.

6. Nová evropská doporučení a standarty.

1. Jedno- nebo dvou-trubní tunely.

Striktní doporučení pro stavbu dvou-trubních tunelů alespoň pro tunely delší než 1000 m vyplývá i z pouhé statistiky nehod ve dvou srovnatelných tunelech. Příkladem je porovnání počtu nehod u jedno-trubního Simplonského tunelu a u dvou-trubního tunelu Seelisberg v letech 1989 až 1996, zobrazený na Obr. 9. [5], z něhož je zřejmé, že nehodovost u dvou-trubního tunelu je nižší zhruba o 50%, než u jedno-trubního (jedna tunelová roura se dvěma proti- směrnými jízdními pruhy).



Obr.9

Příkladem moderního dvou-trubního silničního tunelu pro městský obchvat, dlouhý 5500 m, je Stockholmský tunel Soedra Laenken, budovaný v současnosti jako silniční tunel, vybavený podle současných nejnovějších bezpečnostních hledisek. Očekávaná provozní hustota v době zahájení provozu (v roce 2003) je asi 60.000 vozů za den (2500 vozů za hodinu).

Koncepce zajištění bezpečnosti pro Soedra Laenken je založena na dvou základních prvcích:

- Preventivní bezpečnostní opatření
- Omezení škod tj. záchranný systém a opatření směřující k omezení primárních a sekundárních škod.

Preventivní bezpečnostní opatření spočívají ve veškeré činnosti spojené s bezpečností, tj. především v činnosti zabraňující možnostem, aby se nehoda stala. To se děje v zásadě dvěma postupy:

- Omezení a kontrola velikosti rizika spočívající na omezení týkající se složení dopravního proudu, časová omezení, zákaz, nebo omezení dopravy nebezpečného zboží, stav a úroveň vozidel atd.
- Omezení nehodových spouštěcích efektů znamená dodržování např. dostatečné šířky jízdních pruhů s širokými únikovými chodníky, dobrá viditelnost a osvětlení, vysoký standard vjezdových a výjezdových ramp, omezení rychlosti, předcházení vzniku front, organizováním školení řidičů, kontrola údržby vozidel.

Omezení škod je proces, nastávající v případě, že předchozí krok, tj. prevence, nesplnila svůj úkol a došlo k nehodě. Tento proces tedy v sobě zahrnuje nehodu a její následky a tudíž teprve zde nastupuje úloha záchranného systému k omezení primárních škod (únikové cesty, záchranná služba, hasiči) a systému omezujícího sekundární škody (zdravotní služba, hasiči, policie), které jsou v daném místě k dispozici.

Vztah mezi koncepcí zajištění bezpečnosti a rizikovou analýzou udává následující tabulka:

Vztah mezi: Koncepty zajištění bezpečnosti a Rizikovou analýzou		
Koncepce bezpečnosti	Interakce	Riziková analýza
Omezení pro vozidla: Zákaz/omezení převozu nebezpečného nákladu. Omezení kamionů na určitou denní dobu. Omezení rychlosti.	Omezení ovlivňuje riziko .	Rizika - provoz Skladba dopravy Hustota dopravy Rychlost . atd.
Projekce tunelu: Rozměry dopravního pásu a únikových chodníků. Viditelnost a osvětlení. Rozměr vozovky, spád, povrch	Projekt ovlivňuje spouštěcí efekt	Spouštěcí efekt: Vysoká rychlost. Tvorba fronty. Lidský faktor. Technická závada. Klimatické podmínky Údržba. Zvíře na silnici
Řízení dopravy: Monitoring a řízení provozu. Detekce front. Dopravní značky Dopravní informace		

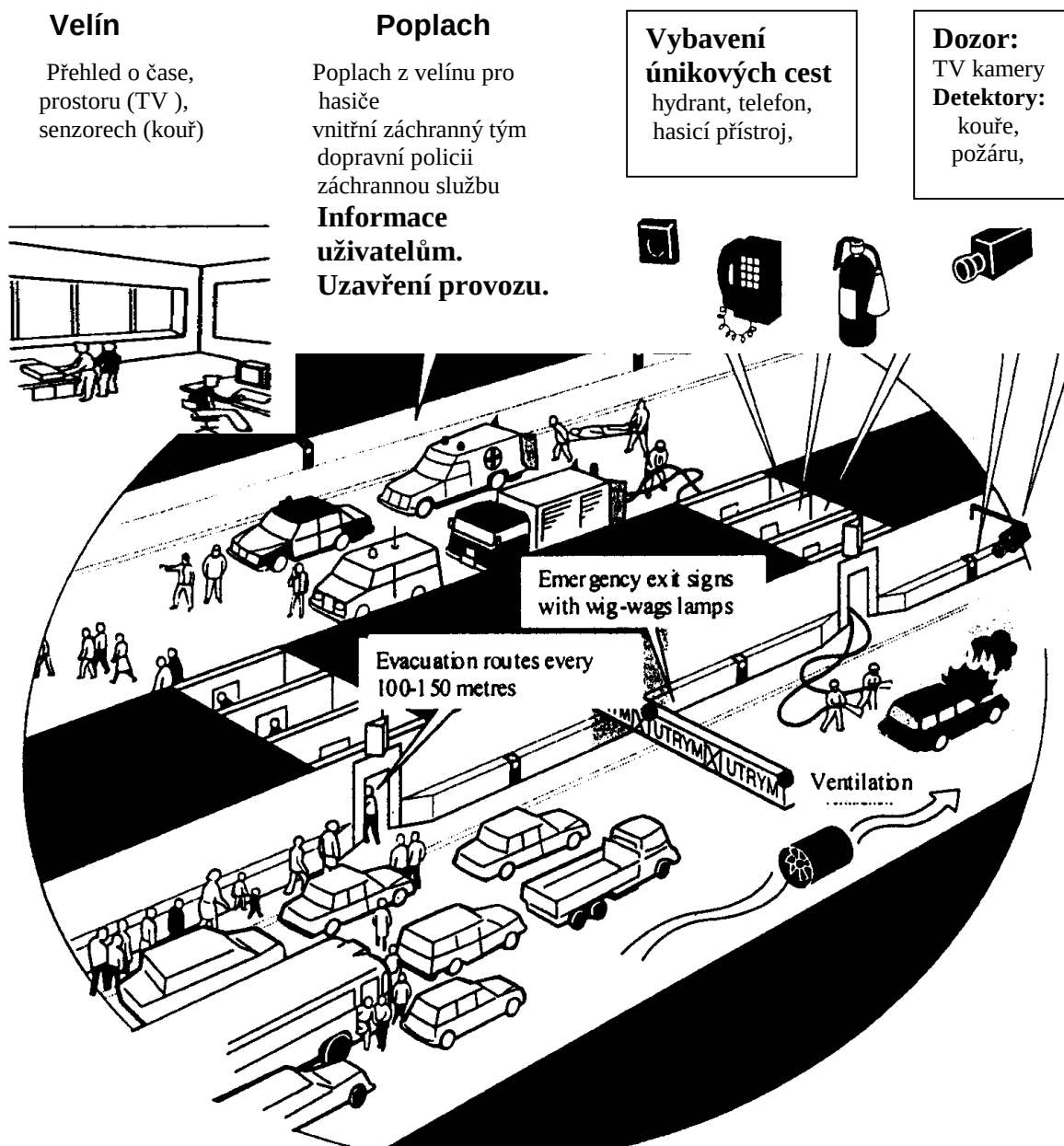
Únikové cesty mezi tunely jsou od sebe vzdáleny 100 m a tvoří požární bariery rozdělením na tři části chráněné protipožárními dveřmi.

Uzavřený televizní okruh umožňuje sledovat a reagovat na:

- Tvorbu fronty vozů
- Zastavení vozu v tunelu
- Viditelnost v tunelu
- Požár kdekoli v tunelu
- Poplach z přístupného poplachového systému z únikových cest
- Poplach z nouzových telefonů

Požární ventilační systém se uvádí v činnost automaticky při požárním poplachovém signálu a odsává kouř ke stropu pro zajištění dobré viditelnosti alespoň při zemi. Současně se osvětlení zapíná na maximum a příjezdové rampy se automaticky uzavírají, aby se usnadnil přístup požárními a záchranným jednotkám. Samozřejmě se uzavírá i druhá trůba tunelu pro provoz, aby se záchranné sbory dostaly co nejrychleji k místu nehody.

Základní bezpečnostní vybavení tunelu je velmi názorně naznačeno na Obr. 10.



Obr. 10.

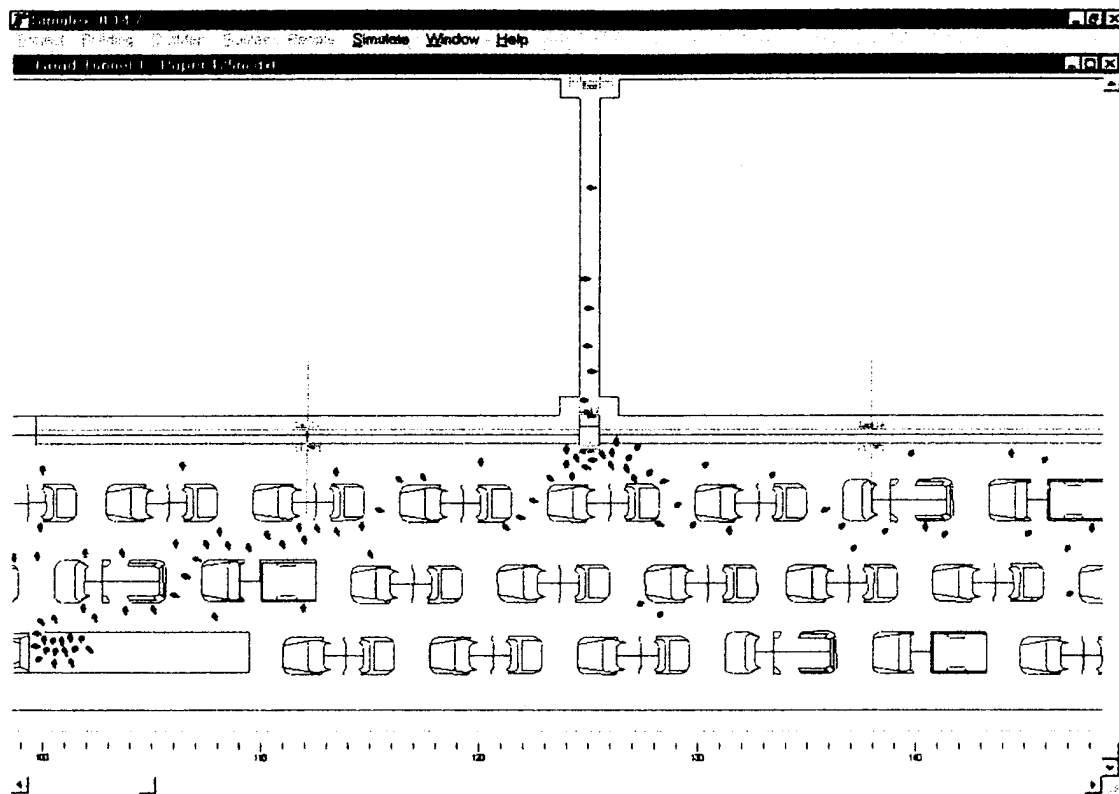
Technické parametry tunelu:

Délka 5.5 km, dvě ventilační věže (každá 20m vysoká), 100 únikových chodeb, 159 ventilátorů, 14 odstavných výklenků.

6.2. Šířka a vzdálenost únikových cest.

Předpisy a standardy různých zemí [15], [16], [17], [18] sice předepisují dodržování doporučených vzdáleností a šířek únikových havarijních chodeb u dvoutrubních tunelů, nebo u tunelů s únikovým tunelem pro pěší, ale tato doporučení byla stanovena ryze empiricky na základě kvalifikovaných odhadů. Tak např. normy [15] a [16] předepisují pro silniční tunely vzdálenost únikových chodeb 100 až 250 m a jejich minimální šířku 1100 mm.

Pro ověření uvedených empirických dat provedli Američané [12] simulační studii evakuace uživatelů tunelu, za použití simulačního programu SIMULEX, za předpokladu, že všichni účastníci jsou zdraví a schopní opustit tunel. Program modeluje pohyb každého jednotlivce při evakuaci, připisuje mu jeho rozměry, úhel pohybu, okamžitou pozici v tunelu a rychlost chůze. Do programu se musí zadat plán tunelu a „dopravní směr“ pro vytvoření prostorových bloků, které musí jednotlivé osoby při evakuaci obcházet aby se dostaly do únikových chodeb. Příklad takového typického řešení pro okamžik 11.7 sec. po začátku evakuace je na Obr. 11.



Obr. 11.

Pro simulační řešení byl vybrán „vzorový“ dvou-trubní tunel se třemi jízdními pruhy v každém směru, s 10 m dlouhými únikovými chodbami, spojujícími obě trouby tunelu, s 90 cm širokými a stejně zvýšenými postranními pěšími chodníky a se 3 schody do únikové chodby. Vzdálenost a šířka únikových chodeb je volitelná. Složení dopravního proudu v tunelu je zvoleno takto:

- 10% kamiony
- 5% autobusy
- 85% osobní, malé nákladní vozy a dodávky.

Počet osob ve vozech je:

- Kamiony - jedna osoba
- Autobusy - 30 osob
- Dodávky - 4 až 6 osob
- Osobní auta – 2 osoby.

Celkový počet osob v tunelu je 1513.

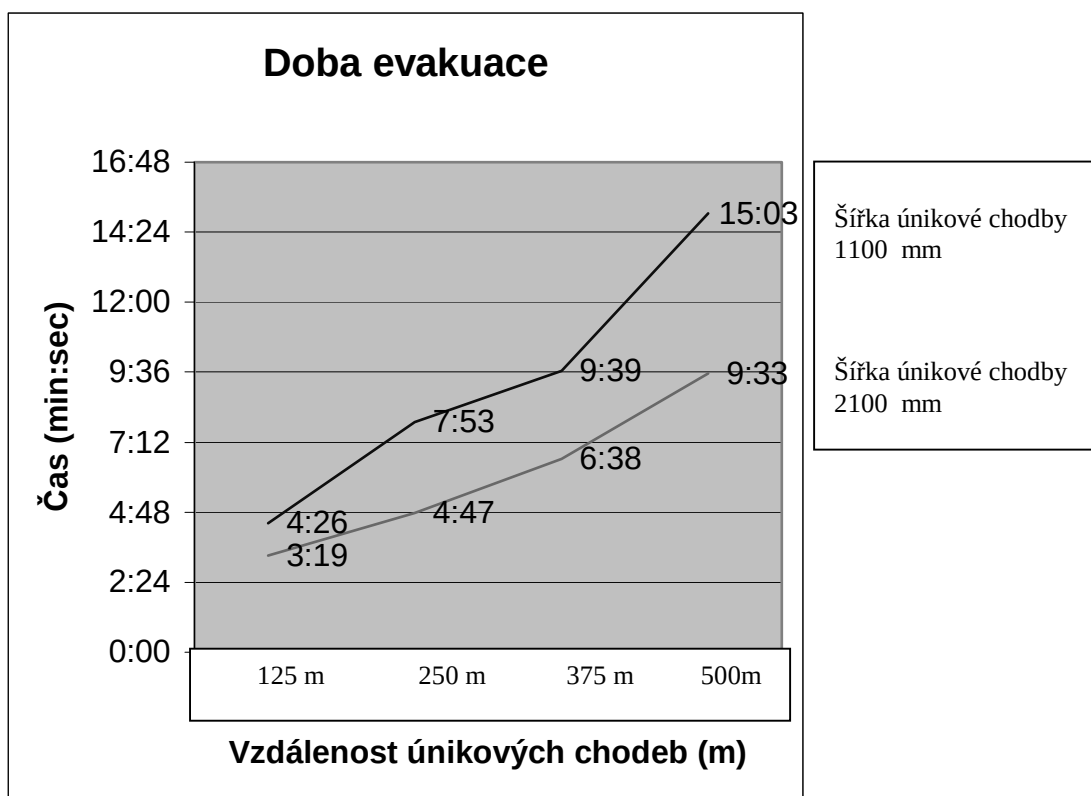
Reakční doba jednotlivých osob závisí lineárně na vzdálenosti od místa nehody a je odhadována pro osoby ve vzdálenosti 62.5 m – 125 m mezi 0 až 14 vteřinami a pro vzdálenost 875 m – 937.5 m na 98 až 112 vteřin.

Pomocí programu SIMULEX byl simulován útěk účastníků nehody ve vzorovém silničním tunelu do bezpečí (průchod požárními dveřmi únikové chodby). Únikový čas sestává ze čtyř částí:

- Reakční doba na vznik nehody.
- Doba chůze k nejbližší únikové chodbě.
- Čekací doba před vchodem do únikové chodby.
- Doba chůze pro průchod do bezpečí.

Následující tabulka a obr. 12. udává potřebnou evakuační dobu všech účastníků nehody pro čtyři různé vzdálenosti únikových chodeb a dvě různé šířky únikových chodeb.

Vzdálenost únikových chodeb (m)	Počet chodeb v tunelu	Šířka chodby 1100 mm. Doba (min:s)	Šířka chodby 2100 mm. Doba (min:s)
125	7	4:26	3:19
250	3	7:53	4:47
375	2	9:39	6:38
500	1	15:03	9:33



Obr. 12.

Pomocí programu SIMULEX lze celkem objektivně provést volbu vzdálenosti a šířky únikových chodeb tak, aby dané uspořádání tunelu splňovalo požadavek maximální doby evakuace (6 min), dané průměrnou rychlostí šíření požáru v tunelu.

U silničních tunelů stanovily některé země své národní směrnice pro volbu vzdáleností únikových chodeb, které jsou uvedeny na následující tabulce [13]:

Stát:	Publikace:	Rok:	Vzdálenost:	Poznámka:
Rakousko	RVS 9.281/9.282[26]	1989	500 m	Až do 1000m.
NDR	RABT [27]	1984	350 m	V novém RABT 300m
Švýcarsko	Tunnel Task Force [28]	2000	300 m	---

6.3. Statistika nehodovosti.

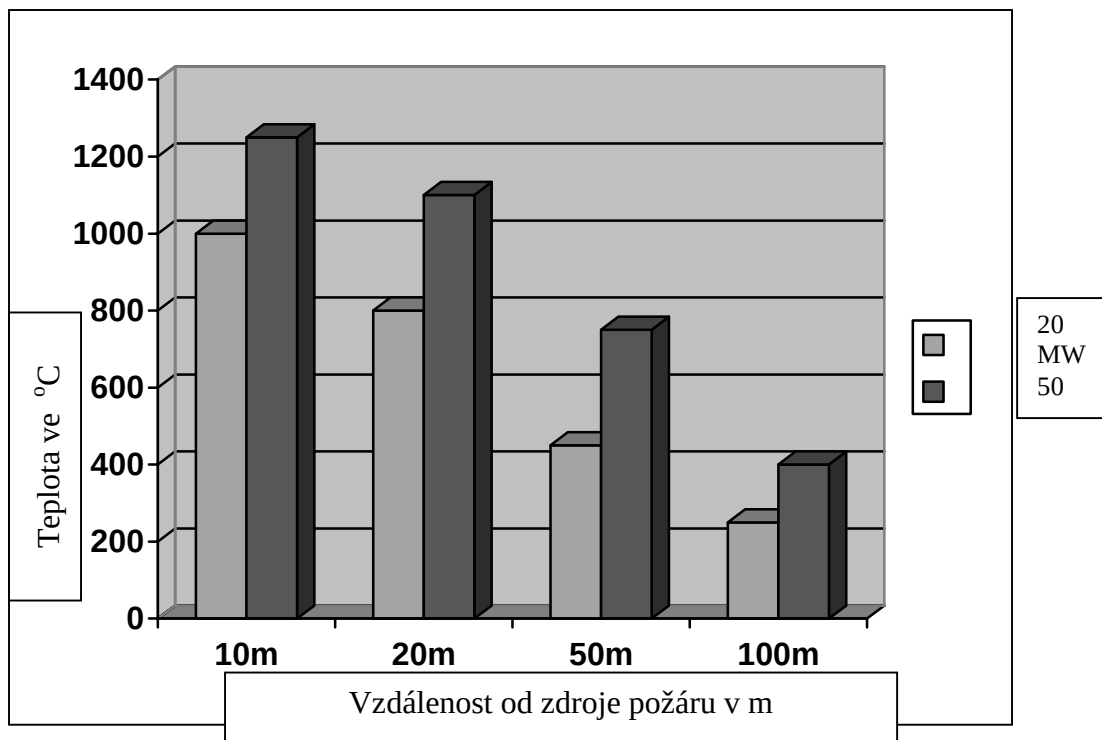
Švýcaři se v rámci studie bezpečnosti provozu v tunelech soustředili převážně na zobecnění nehodovosti na základě statistických údajů z minulých let [14]. Z jejich rozboru vyplynuly v souhrnu tyto závěry:

- **Tunely delší než 1000 m** stavět zásadně jako dvou-trubní (poloviční nehodovost). Rakušané se rozhodli dokonce přestavět všechny dálniční tunely na dvou-trubní.
- **Počet technických závad** na milion vozových kilometrů (tj. počet vozů násobený počtem ujetých kilometrů) je následující:
 1. V městských tunelech pod vodními toky : 1.300 nehod
 2. V tunelech v otevřené krajině : 300 – 600 nehod
 3. V alpských tunelech : 900 – 1.900 (Gotthardský tunel 780)

Až pětkrát více technických závad nastává v tunelech se stoupáním větším než 2.5%.
- **Počet požárů je relativně malý** a to jak v tunelech, tak i na otevřené vozovce a jsou způsobeny většinou závadami na elektrické instalaci, přehřátím motoru, nebo v důsledku nehody.

V roce 1999 došla World Roads Association (PIARC) k těmto závěrům:

1. Počet požárů nikde nepřesahuje hodnotu 25 na 100 milionů vozových km. (Ve francouzských tunelech je tato hodnota 1 až 10, pro Gotthard platí 5.2).
2. Počet požárů je větší v městských tunelech.
3. Ve 40% tunelů nikdy nevypuknul požár.
4. V některých tunelech je počet požárů kamionů podstatně vyšší než osobních vozů.
5. Počet požárů od jednou za měsíc po jednou za rok se vyskytuje pouze u tunelů buď velmi dlouhých. nebo s vysokou hustotou provozu, nebo obojí. Ve velké většině tunelů je tento počet podstatně nižší.
6. V převážné většině se jedná pouze o jediné vozidlo.
7. Nejběžnější případ je technická závada vedoucí k zapálení unikajícího paliva (benzínu).
8. Teploty změřené jako funkce vzdálenosti při podélné ventilaci, změřené při pokusech v tunelu „Memorial tunnel“ [16] pro požáry o tepelném výkonu 20 MW a 50 MW jsou na obr. 13.



Obr. 13.

- **Předepsané vzdálenosti** mezi vozidly vyplývají ze tří efektů:

1. Teplotní vliv (ukazuje obr.13).
2. Reakční doba uživatele na vzniklý požár je (podle změřených hodnot a kvalifikovaných úvah) při ventilační rychlosti vzduchu v tunelu 3 m/s asi 30 sekund na každých 100 m vzdálenosti od zdroje požáru. U tunelů se stoupáním větším než 3% se projevuje komínový efekt, způsobující proudění vzduchu větší než 4 m/s [18].
3. Brzdná dráha vozidla závisí především na rychlosti vozidla jak udává následující tabulka:

Rychlost km/hod	Dráha ujetá za 2s (m)	Brzdná vzdál.(m) na rovném úseku	Brzdná vzdál.(m) v zatáčce
20	11.1	15	15.5
30	16.6	25	25
40	22.2	35	35
50	27.7	50	55
60	33.3	65	72
70	38.8	85	95
80	44.4	105	121
90	50	130	151
100	55.5	160	187
110	61.1	190	-

Doporučená vzdálenost vozidel v silničním tunelu je 150 m při maximální dovolené rychlosti 80 km/hod a minimální 50 km/hod a 100 m pro stojící vozidla. Tuto vzdálenost lze dodržet jsou-li dopravní pruhy po stranách opatřeny přerušovanými bílými pruhy dlouhými 50 m (tj. 50 m bílý pruh, 50 m mezera). Je ovšem známo, že v přeplněných městských tunelech bývá provozní hustota až 160 vozidel na kilometr (10% kamionů) tj. jedno vozidlo na 6 m.

Příloha 1.**Seznam švýcarských tunelů ve stavbě v roce 2001.**

Švýcarské železniční tunely ve stavbě v r. 2001.			
Gotthard - základní tunel	57000 m	Tunel Murgenthal	4300 m
Lotschberg - základní tunel	34000 m	Tunel Oenzberg	2360 m
Zurich . Aeroport	970 m	Tunel Wolfacher	730 m
Zurich - Thalwil	9000 m	Tunel Varen	2760 m
Tunel Leuk	1140 m	Tunel Vauderens	1790 m
Švýcarské silniční tunely ve stavbě v r. 2001.			
Baregg tunel	1150 m	Tunel Spitalhof	540 m
Aescher tunel	2100 m	Staegjitschuggen tunel	2300 m
Birchi tunel	700 m	Tunel Balmenrain	1320 m
Chienberg tunel	2300 m	Tunel Arrisoules	3000 m
Eggrain tunel	435 m	Tunel de Pomy	3000 m
Flimserstein tunel	2920 m	Tunel de Collombey	840 m
Flueler tunel	2590 m	Tunel de Concise	1350 m
Tunel de Bure	3050 m	Tunel de la Lanee	310 m
Girschberg tunel	1750 m	Tunel de Bruyeres	800 m
Tunel Gorgier	2720 m	Tunel de Raimeux	3200 m
Gotschna tunel	4205 m	Tunel Gamsen	1000 m
Kirchenwald tunel	1630 m	Tunel Giswil	2070 m
Nordtangenten Tunnel Basel	1290 m	Tunel Lungern	3300 m
Tunel Prau Pulte	460 m	Tunel Muttnertobel	1310 m
tunel Rohe St. Jean	200 m	Tunel Uznaberg	930 m
Tunel Sauges	1930 m	Tunel dela Perche	1000 m
Tunel Schlund	960 m	Tunel du Banné	1100 m
Simmenfluch tunel	700 m	Uetliberg tunel	4400 m
Tunel Spier	1490 m		

V roce 2001 je ve Švýcarsku ve stavbě celkem deset železničních a třicet sedm silničních tunelů o celkové délce 178,4 km. Nejdelší železniční tunel bude „Základní Gotthardský tunel“ o délce 57 km a nejdelší silniční tunel bude „Uetliberg Tunnel“ o délce 4,4 km.

7. Literatura.

- [1] Teuscher P.: 1-The Swiss tunneling association. ITA – Tribune 17-1 (2001), pp.1-4.
- [2] Hamata V.: Silniční tunel pod Mont Blankem..
Výzkumná zpráva č. LSS 96/01
- [3] Internet: www.atmb.net-Tunnel du Mont Blanc–L;inscendie du 24.mars 1999
- [4] Ebrl G.: The Tauern tunnel incident. What happend and what has to be learned.
- [5] Merz H. et all.: Metodology and tools for risk based evalation of risks and safety measures for existing road tunnel.
Proceedings Of International Conference: Tunnel Fire and Escape from Tunnels. Lyon 5-7 May 1999. Str. 3 – 12.
- [6] Smolík : Systémové uspořádání dat o bezpečnosti v tunelech pozemních komunikací.
Návrh formuláře pro sběr dat o tunelech v ČR v rámci činnosti Pracovní skupiny „Bezpečnost v tunelech“ národního výboru ITA/AITES.
- [7] Kolátek: Rizika v tunelech – Analýza současného stavu.
Zpráva ELTODO, 2001
- [8] Lacroix D: Touwards managing dangerous goods transport and its risk in road tunnels: The results of joint OECD/PIARC research project.
- [9] ERS2 : Transport of dangerous goods through road tunnels.
Final report of the joint OECD/PIARC Project, 2001.
- [10] Kruiskamp M. and all.: TUNprim a spreasheed model for the calculation of risks in road tunnels.
- [11] Sandman T. : Safety in the Soendra Laenken Tunnels in Stockholm, Sweden
Str.191-199.
- [12] Li and all.: Simulation of escape form road and rail tunnels usibg Simulex.
- [13] Bopp R.: The distance of cross passages in twin bore railway tunnels.
Str. 335 – 344.
- [14] Hornhan R.: Lessons learned by the sad tunnel incidents of the year 1999.
Str.97 –104.

- [15] Eger M.: New tunnel safety guidelines in Switzerland.
Str.105 –115.
- [16] Perard M.: Spacing and speed of vehicles in road tunnels.
Str.201 – 212.
- [17] Ingason H.: An overview of vehicle fires in tunnels.
Str. 425 – 434.
- [18] Ries I. and All.: Smoke extraction in tunnels with considerable slope.
Str.503 – 512.

Zahraniční normy a předpisy:

- [19] SRA : Tunnel 99. Technical Regulation for Road Tunnels. (in Swedish),
Swedish Road Administration, Publ. 1999:138
- [20] NFPA 130: Standard for Fixed Guideway Transit Systems.
083.74 NAT.
- [21] BD 78/99: Design Manual for Roads and Bridges; Design of Road Tunnels
HM Stationary Office 1999.
- [22] National Fire Protection Association; NFPA 502 Standard for Road Tunnels,
Bridges and Other Limited Access Highways, 1998 Edition.
NFPA I Batterymarch Park, PO Box 9101, Quincy MA 02269-9101
USA.
- [23] National Fire Protection Association; NFPA 130: Standard for Fixed Guideway
Transit and Passenger Rail Systems, 2000 Edition.
NFPA I Batterymarch Park, PO Box 9101, Quincy MA 02269-9101
USA.
- [24] National Fire Protection Association; NFPA 101: Live Safety Code, 2000 Edition.
NFPA I Batterymarch Park, PO Box 9101, Quincy MA 02269-9101
USA.
- [25] PIARC (Permanent International Association of Road Congresses – World Road
Association): Fire and Smoke Control in Road Tunnels,
Document 05.05.B 1999, La Grande Arche – Paris Nord, 92055 La
Defense Cedex , France

- [26] RVS 9.261, 9.281 a 9.282 : Projektierungsrichtlinien, Betriebs- und Sicherheits-einrichtungen: Ventilation (9.261 Bauliche Anlagen (9.281); Tunnel-ausruestung (9.282).
Bundesministerium fuer wirtschaftliche Angelegenheiten, Forschungs-gesellschaft fuer Verkehr- und Strassenwesen , Ausgabe Maertz 1989.
- [27] FGSV: Richtlinienfuer die Asstattung und den Betriebvon Strassentuneneln.
Arbeitsgruppe verkehrsfuerung und Verkehrssicherheit,
Ausgabe 1994.
- [28] - - - Schlussbericht Tunnel Task Force.
Bundesamt fuer Strassen, 23 Mai 2000.
- [29] Tunnel 95: General Technical Specification.
Swedish Natinal Road Administration 1995.