

RIZIKO LOCHKOVSKÉHO TUNELU PODLE SOFTWARE QRAM 3.61

RISK OF THE LOCHKOV TUNNEL BY THE SOFTWARE QRAM 3.61

Libor Krejčí¹, Barbora Schüllerová²

Anotace: Problematika bezpečné přepravy silničními tunely, je řešena v souladu s platnými vnitrostátními i mezinárodními právními předpisy včetně oblasti přepravy nebezpečných látek a předmětů. Pro zajištění dostatečných bezpečnostních a preventivních opatření je prováděna pro každý tunel analýza rizika a jsou modelovány možné následky a scénáře nebezpečí. Jedním z přístupů hodnocení rizik je i software QRAM 3.61, který byl v tomto článku využit pro Lochkovský tunel na pražském okruhu. Výsledky analýzy jsou následně porovnány s limity rizika vybraných zemí. Pro Lochkovský tunel bylo závěrem stanoveno riziko a jeho významnost. Aplikace softwaru a uvedený postup je v závěru doporučen i pro další hodnocení silničních tunelů v podmínkách České republiky.

Klíčová slova: bezpečnost, nebezpečné věci, přeprava, riziko, silniční tunel, software QRAM

Summary: Transport of hazardous materials by road is an essential part of national and international part of transport and industry. In connection with the safe transport and assessment of risk is necessary to include all of possibilities, scenarios and variants of transport such as transport by road tunnels. Software QRAM 3.61 was used for calculation of risk in Lochkov tunnel on the Prague bypass. Results of the risk analysis were compared with the results of the selected countries. In conclusion has been evaluated the riskiness of the Lochkov tunnel. Application of the software and software-mentioned procedure is in conclusion recommended for the further assessment of road tunnels in the Czech Republic.

Key words: safety, hazardous materials, transport, risk, road tunnel, software QRAM

ÚVOD

Přeprava nebezpečných látek a předmětů po pozemních komunikacích je v problematice dopravy velmi sledovanou a kontrolovanou oblastí. Důraz je kladen zejména na bezpečnost i přes fakt, že k nehodám těchto dopravních jednotek nedochází tak často jako u běžné osobní a nákladní dopravy. Důvodem je závažnost následků, které mohou nastat v případě havárii při této přepravě.

Jednou z často řešených oblastí přepravy nebezpečných látek a předmětů, je problematika bezpečnosti tunelů. Jsou hodnocena rizika havárie a potenciálního úniku nebezpečných látek, především v souvislosti s toxicitou, hořlavostí nebo výbušností těchto látek. Bezpečnost silničních tunelů je řešena v souladu s právními předpisy České republiky

¹ Ing. Libor Krejčí, Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., Lišeňská 33a, 636 00 Brno, tel: +420 548 423 745, e-mail: libor.krejci@cdv.cz

² Ing. Barbora Schüllerová, Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., Lišeňská 33a, 636 00 Brno, tel: +420 548 423 746, e-mail: barbora.schullerova@googlemail.com

(ČR) a Evropské unie (EU) společně s využitím dalších technických opatření, která zajišťují bezpečný provoz a řešení vzniku mimořádné události.

Analýza potenciálních rizik, které mohou způsobit havárie a ohrozit okolí, může být aplikována v různých fázích provozu tunelu (v projekční fázi, před zahájením provozu i během provozu). Pokud je analýza prováděna ve fázi projektování, je možné provést modelování provozu v tunelu na základě dat z tunelů, které jsou již v provozu a mají podobné podmínky a charakteristiku. V tomto případě je možné aplikovat bezpečnostní a preventivní opatření již ve fázi projektu a testovat jejich funkci ještě před zahájením provozu. V opačném případě, kdy je provoz v tunelech již zahájen, je vhodné vycházet z aktuálních dat, která jsou z konkrétního tunelu dostupná a případně doplněna o statistické údaje tunelů s obdobnými podmínkami. Následná bezpečnostní opatření, která jsou nezbytná, je pak nutné zajistit ve většině případů s omezením provozu. Hodnocení rizik a samotná analýza rizika zahrnuje kombinaci metod a postupů, které jsou pro odhalení nebezpečí, rizik, snižování míry rizika nebo jejich odstranění navrženými opatřeními nezbytná.

Jedním z nejčastěji aplikovaných nástrojů hodnocení rizika je software QRAM 3.61 (Quantitative Risk Assessment Model) (1). Tento software byl vybrán pro analýzu reálných podmínek přepravy nebezpečných látek a předmětů v Lochkovském tunelu na rychlostní silnici R1. Modelací scénářů nehod v softwaru QRAM 3.61 (SW QRAM) bylo stanoveno riziko z vytvořených tzv. FN křivek, společně se stanovením zóny ALARP (As Low As is Reasonable Practicable – co možná nejnižší hodnota) (2).

1. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY PŘEPRAVY NEBEZPEČNÝCH VĚCÍ SILNIČNÍMI TUNELY

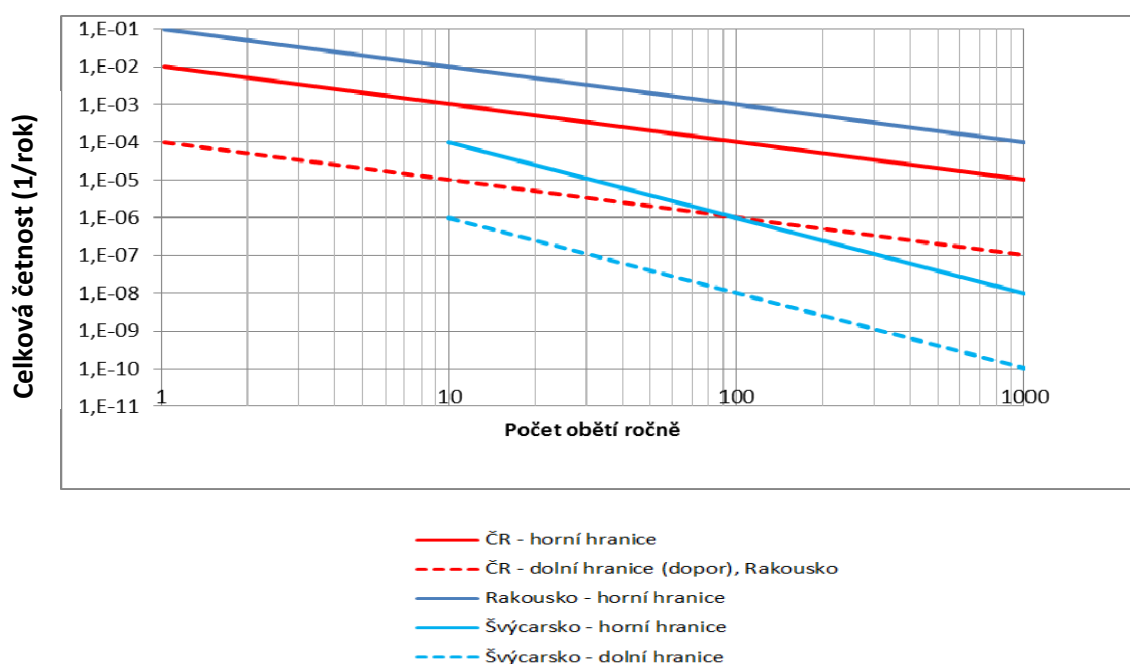
Přeprava nebezpečných látek a předmětů nejenom v silničních tunelech je legislativně řešena právními předpisy ČR a Evropské unie. V rámci ČR jsou stanoveny podmínky pro přepravu nebezpečných věcí po silnici dle mezinárodní dohody ADR (3). Mezi základní právní předpisy ČR, je pak zahrnut zákon č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích ve znění pozdějších předpisů, který udává povinnost vypracovat bezpečnostní dokumentaci tunelu dle § 12a, který v odstavci 1, 2 a 3 pověřuje odpovědnosti za provoz tunelů rozdělených dle jejich délky, sestavením bezpečnostní dokumentace a koordinací zajištění bezpečného provozu (4). Nařízení vlády č. 264/2009 Sb., o bezpečnostních požadavcích na tunely pozemních komunikací delších než 500 metrů, je prováděcím předpisem pro tvorbu bezpečnostní dokumentace silničních tunelů, který implementoval požadavky Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/54/ES o minimálních bezpečnostních požadavcích na tunely transevropské silniční sítě ve znění Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 569/2009 (5,6). Uvedená evropská směrnice 2004/54/ES, tvoří jeden ze základních evropských dokumentů pro bezpečnou přepravu.

Příkladem implementace a tvorby platných právních předpisů EU společně s využitím vlastních empirických dat, je model dopravních nehod v silničních tunelech, metodika kvantifikace TuRisMo, vyvinuta v Republice Rakousko (7). Tato metodika se dle rakouských právních předpisů využívá závazně. Dalším příkladem je Slovenská republika, která vytvořila v souvislosti s přijetím požadavků evropské směrnice 2004/54/ES (6) jednotnou metodiku pro

určení analýzy bezpečnosti silničních tunelů (TP 02/2011), která je aplikována zejména při projektování nových tunelů (10).

Řešení problematiky bezpečnosti silničních tunelů, je možné využívat i z hlediska technických norem a podmínek, jako jsou ČSN 73 7507 Projektování tunelů pozemních komunikací a v souladu s technickými podmínkami TP 98 Technologické vybavení tunelů pozemních komunikací ve znění platných změn (10, 11). Česká norma vychází z metodiky mezinárodní silniční asociace PIARC (12).

V rámci bezpečnosti silničních tunelů, je kalkulovaná míra rizika, která zahrnuje riziko očekávané, individuální i společenské. Mezi vedlejší ukazatele rizika spadá riziko ekonomické a environmentální, které se do výpočtu společenského rizika nezahrnuje. Pro individuální a společenské riziko, je důležité stanovení dolní a horní hranice přijatelnosti rizika. Hranice přijatelnosti společenského rizika v silničních tunelech stanovené pro vybrané země jsou uvedené na Graf 1. Pro Švýcarsko a Rakousko jsou znázorněny v právních předpisech závazné limity společenského rizika, pro Českou republiku jsou to doporučené limity technickými podmínkami TP229 (13).



Zdroj: TP229

Graf 1 – Společenská rizika v tunelech (ČR, Rakousko, Švýcarsko) (12)

Pravděpodobnost ztráty na životech je vztažena na 1 000 m délky tunelu, případně délky alternativní trasy v průběhu jednoho roku. Společenské riziko je interpretováno v grafu s logaritmickými stupnicemi, kde na vodorovné ose x je počet obětí (N) a na svislé ose y je pravděpodobnost – frekvence těchto událostí za rok (F).

Společenské riziko v tunelech zobrazené pomocí FN křivek, může být zároveň vyhodnoceno pomocí konceptu ALARP. Mezi dvěma znázorněnými FN křivkami (dolní a horní hranice) se zobrazuje oblast (zóna) ALARP (2). Zóna pak vyjadřuje, zda je skutečná

míra rizika přijatelná, nepřijatelná, nebo zda je nutné snížit riziko v závislosti na technických možnostech a nákladech potřebných k tomu snížení (2, 13).

2. KVANTIFIKACE RIZIKA – LOCHKOVSKÝ TUNEL

Pro analýzu rizika byl vybrán Lochkovský tunel na rychlostní silnici R1, která je součástí pražského okruhu s konstrukčními parametry uvedenými v (Tab. 1).

Tab. 1- Konstrukční parametry Lochkovského tunelu

| Konstrukční parametry | Pravý, severní tubus (stoupací) | Levý, jižní tubus (klesající) |
|---|---|--|
| Rozměry | | |
| Délka | 1661 m | 1620 m |
| Efektivní výška | 12,75 m (10,75 m vozovka + 2 × 1 m chodník) | 11 m (9 m vozovka + 2 × 1 m chodník) |
| Efektivní šířka | 4,5 m (4,5 m průjezdný profil) | 4,5 m |
| Efektivní průřez | 57 m ² (poloměr tubusu – 8 m, zmenšení průřezu sečnou vozovky, v duchotechnikou apod.) | 50 m ² |
| Podélný sklon vozovky | 4 % | |
| Počet jízdních pruhů | 3 | 2 |
| Provoz v tunelu | jednosměrný (v době údržby a mimořádných stavů obousměrný) | |
| Parametry ventilace | | |
| Objem vzduchu odvedený z tunelu při standardním provozu | 256 m ³ /s (4,5 m/s) | 225 m ³ /s (4,5 m/s) |
| Objem vzduchu cirkulující v tunelu při standardním provozu | | |
| Počet režimů nouzové ventilace | n (režimy ventilace jsou kontinuálně proměnné - ovládání některých ventilátorů pomocí frekvenčního měniče). | |
| Čas potřebný k aktivaci nouzové ventilace | 0 min (nouzová ventilace je aktivována okamžitě) | |
| Objem vzduchu odvedený z tunelu při jednotlivých režimech nouzové ventilace (požární větrání) | 114 m ³ /s (2 m/s). | 100 m ³ /s (2 m/s). |
| Objem vzduchu cirkulující v tunelu při jednotlivých režimech nouzové ventilace | | |
| Další technické parametry | | |
| Vzdálenost záchytných jímek/šířka záchytného žlabu odpadních vod | (neuvedeno) m | |
| Plocha záchytných jímek kontaminovaných vod/záchytného žlabu odpadních vod | (neuvedeno) m ² | |
| Vzdálenost mezi nouzovými východy | 200 m | |
| Možnosti varování | proměnné značení, televizní okruh, rozhlas | |
| Konstrukce tunelu | ražený/hloubený. Z celkové délky je raženo 1 302 m. Hloubené části u Lahovic jsou 12 m u Lochkova pak 347 m (evidenční list tunelu) | ražený/hloubený. Z celkové délky je raženo 1 252 m. Hloubené části u Lahovic jsou 20 m u Lochkova pak 347 m. |
| Podloží tunelu | členité | členité |
| Tloušťka pláště tunelu | ražená část: 0,6 m, hloubená část: 0,7 m. | ražená část: 0,55 m, hloubená část: 0,7 m |
| Výška podloží vozovky | 1,5 m (technická dokumentace) | |
| Vzdálenost tunelových tubusů | 5 m (vzdálenost je proměnná – u portálů cca 3 m, uprostřed min. 9 metrů) | |
| Výška nadloží | ražená část: 20 m (3 až 58 m), hloubená část: 3 m (1 až 6 m) | |
| Výška vodního sloupce nad tunelem | 0 m (pouze u tunelů pod vodní hladinou) | |

| Konstrukční parametry | Pravý, severní tubus (stoupací) | Levý, jižní tubus (klesající) |
|---|---|-------------------------------|
| Protipožární nátěr | není aplikován (pouze beton a standardní nátěr) | |
| Teplotní a čas. koeficient protipož. nátěru | nátěr není aplikován (není relevantní) | |

Zdroj: Autor, Eltodo, ŘSD, ČVUT

Vstupní hodnoty pro analýzu rizika, byly poskytnuty Ředitelstvím silnic a dálnic (ŘSD) (15), společností Eltodo (14). Získaná data byla využita pro uplatnění metodiky kalkulace rizika přepravy nebezpečných věcí v silničním tunelu pomocí softwaru QRAM (14,15,18).

Pro analýzu rizika přepravy nebezpečných věcí v tunelu je nutné znát charakteristiku dopravního proudu. Vstupní data pro simulaci rizikových událostí jsou uvedena v (Tab. 2).

Tab. 2 - Parametry dopravního proudu Lochkovského tunelu – vstupní data (13, 14, 15,17)

| Parametry dopravního proudu | |
|--|---|
| Celková intenzita provozu | <ul style="list-style-type: none"> • PTT – 19 070 voz./den. v každé tunelové rouře (průměr ve všech pruzích za 24 hod.) • LTT – 17 584 (průměr ve všech pruzích za 24 hod.) |
| Podíl nákladních vozidel na dopravním proudu | 29 % |
| Podíl autobusů na dopravním proudu | 2 % (celostátní sčítání dopravy) |
| Průměrná rychlost osobních vozidel | 80 km/h (nejvyšší povolená rychlost) |
| Průměrná rychlost nákladních vozidel a autobusů | 75 km/h |
| Průměrný počet osob v osobním vozidle | 1,6 |
| Průměrný počet osob v nákladním vozidle | 1,05 (expertní odhad) |
| Průměrný počet osob v autobusu | 26 (statistická ročenka dopravy – výkony autobusové dopravy) |
| Průměrný počet vozidel přepravujících nebezpečný náklad | 6 voz./hod. |
| Nehodovost nákladních vozidel | $0,6723 \cdot 10^{-6}$ nehod/vozokilometr (statistika nehod + počet vozokilometrů) |
| Nehodovost nákladních vozidel přepravujících nebezpečné věci | $0,6723 \cdot 10^{-6}$ nehod/vozokilometr – v souladu s nehodovostí nákladních vozidel bez rozlišení přepravy nebezpečných věcí. |

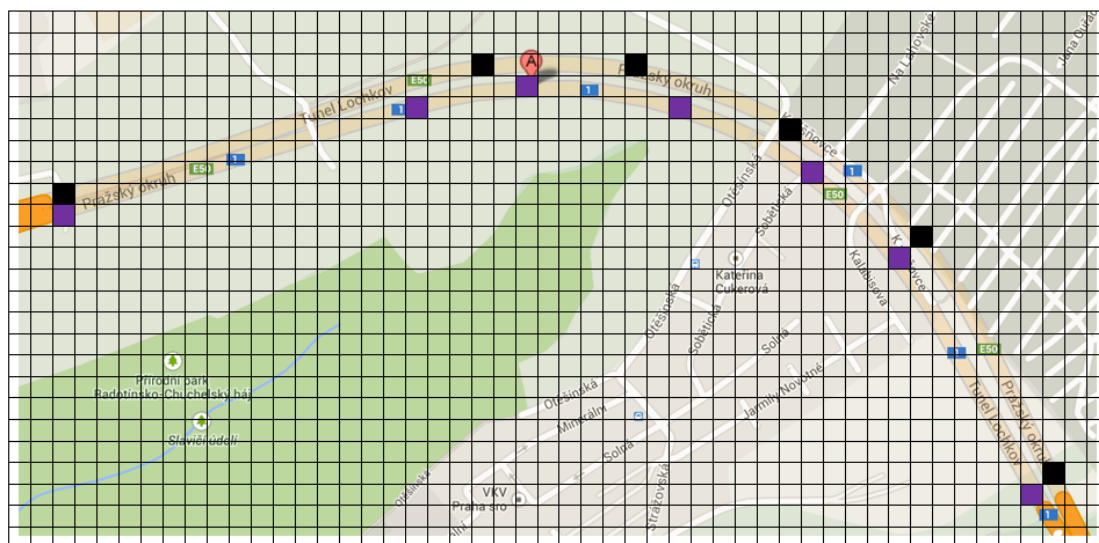
Zdroj: Autor, Eltodo, ŘSD

Dispečink tunelu má na starosti monitorovací systém provozu, který poskytuje přehledné údaje o provozu a jeho intenzitě v několika časových intervalech. Měřená data je systém schopen analyzovat a využít při tom grafické znázornění. Systém je schopen detekovat následující parametry dopravního proudu při rozdělení dle jednotlivých jízdních pruhů (14,15):

- intenzita osobní automobily (celkový počet) za posledních 5 min,
- intenzita nákladní automobily za posledních 5 min,
- intenzita autobusy za posledních 5 min,
- intenzita osobní automobily za poslední hodinu,
- intenzita nákladní automobily za poslední hodinu,
- intenzita autobusy za poslední hodinu,
- intenzita osobní automobily v průběhu dne,
- intenzita nákladní automobily v průběhu dne,
- intenzita autobusy v průběhu dne,
- intenzita osobní automobily včera,
- intenzita nákladní automobily včera,

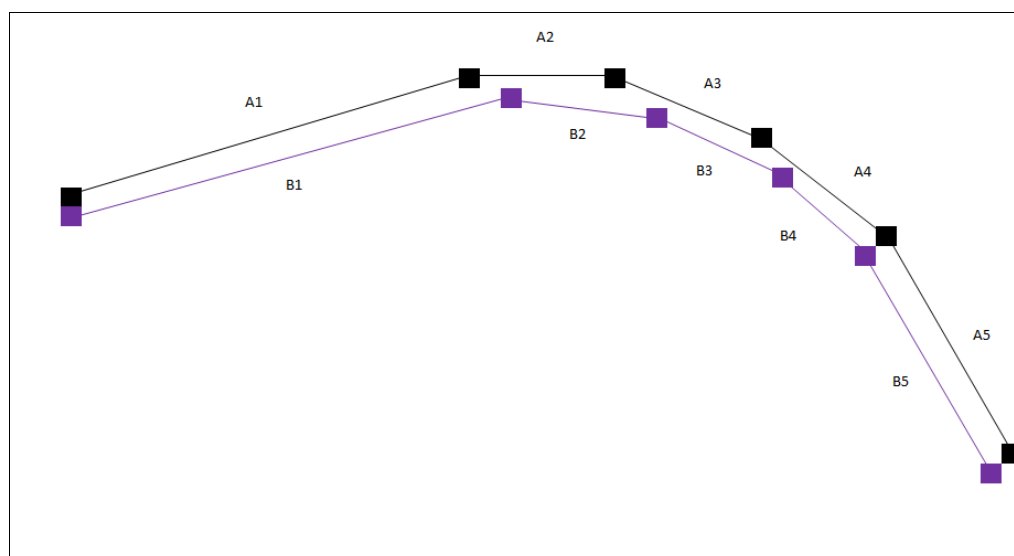
- intenzita autobusy včera,
- průměrná rychlost vozidel za posledních 5 min.,
- průměrná rychlost vozidel za poslední hodinu,
- obsazenost za posledních 5 min.
- obsazenost za poslední hodinu.

Při analýze silničního tunelu je nutné brát v úvahu jeho zakřivení, stejně jako u Lochkovského tunelu. Proto byl celý tunel rozdělen na jednotlivé úseky, jak je vidět na Obr. 1 a Obr. 2, kde byl při rozdělení stanoven požadavek maximální přímosti při minimálním počtu vytvořených úsek. Pravý (severní) tubus, byl označen černou barvou pro jednotlivé úseky, levý (jižní) tubus, byl označen fialovou barvou pro jednotlivé úseky. Obr. 2 znázorňuje oba tubusy tunelu samostatně s barevným vyznačením hranic jednotlivých úseků.



Zdroj: Autoři

Obr. 1 Lochkovský tunel v rastrové síti



Zdroj: Autoři

Obr. 2 Rozdělení Lochkovského tunelu na úseky

Popis a rozdělení jednotlivých úseků v pravé (severní) rouře a levé (jižní) rouře, je uveden v Tab. 3.

Tab. - 3 Popis jednotlivých rozdělených úseků v levé a pravé rouře

| Pravý (severní) tubus - černý | | | | |
|-------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| Úsek | Počátek úseku | | Konec úseku | |
| | Souřadnice X | Souřadnice Y | Souřadnice X | Souřadnice Y |
| A1 | 3 | 22 | 22 | 23 |
| A2 | 22 | 29 | 29 | 23 |
| A3 | 29 | 36 | 36 | 20 |
| A4 | 36 | 42 | 42 | 15 |
| A5 | 42 | 48 | 48 | 4 |
| Levý (jižní) tubus - fialový | | | | |
| Úsek | Počátek úseku | | Konec úseku | |
| | Souřadnice X | Souřadnice Y | Souřadnice X | Souřadnice Y |
| B1 | 3 | 16 | 24 | 22 |
| B2 | 24 | 22 | 31 | 21 |
| B3 | 31 | 21 | 37 | 18 |
| B4 | 37 | 18 | 41 | 14 |

Zdroj: Autoři

2.1. Kalkulace rizika přepravy nebezpečných věcí pomocí SW QRAM

Software QRAM byl vyvinut Světovou silniční asociací PIARC pro kvantitativní analýzu rizik spojených s přepravou nebezpečných věcí silničními tunely (19). Bývá standardně využíván pro analýzu rizik vyžadovaných směrnicí Evropského parlamentu a rady 2004/54/EC ve znění Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 596/2009 v mnoha evropských státech (Francie, Rakousko, Německo, a další). Pomocí softwaru lze vyhodnotit rizika přepravy nebezpečných věcí tunely a porovnat je se stanovenými kritérii. Dále je možno vyhodnotit rizika přepravy na alternativní objízdne trase a následně stanovit bezpečnější variantu přepravy. SW je možno využít i k provedení citlivostní analýzy a sledovat vliv na celkové riziko změnami konstrukčních úprav tunelů. Tímto způsobem může být provedena optimalizace konstrukční výbavy tunelů.

2.1.1. Scénáře nebezpečí

Vzhledem ke skutečnosti, že existuje obrovské množství různých druhů látek klasifikovaných jako nebezpečné věci, nelze provést konečnou analýzu všech nebezpečí v přiměřeném časovém horizontu. V SW QRAM (1) je proto vytvořeno 11 realistických scénářů nehod vozidel přepravujících nebezpečné věci, které jsou pro snadnější porovnání doplněny o 2 scénáře požáru (20 MW a 100 MW) bez nebezpečného nákladu. Byl kladen důraz na to, aby tyto scénáře reprezentovaly všechny skupiny přepravovaných nebezpečných věcí. Scénáře nehod jsou založené na empirických datech zjištěných ze skutečných dopravních nehod. Analýza tohoto vzorku nebezpečných látek umožní zobecnit dosažené výsledky na všechny přepravované nebezpečné látky a předměty. Na druhou stranu, pokud je předem známo, že v tunelu nebudou přepravované látky a předměty reprezentované

některými scénáři nehod, není nutné pro tyto scénáře analýzu rizika provádět. Jednotlivé scénáře nebezpečí jsou uvedeny v Tab. 4.

Tab. 4 - Scénáře nehod v SW QRAM (18)

| Scénář | Popis scénáře |
|--------|---|
| 1. | Požár těžkého nákladního vozidla bez nebezpečného nákladu (20 MW). |
| 2. | Požár těžkého nákladního vozidla bez nebezpečného nákladu (100 MW). |
| 3. | Výbuch expandujících par vroucího LPG v tlakových lahvích (50 kg). |
| 4. | Požár kaluže motorového benzínu vyteklého z cisternového návěsu. |
| 5. | Výbuch par motorového benzínu vyteklého z cisternového návěsu. |
| 6. | Únik chloru z cisternového návěsu. |
| 7. | Výbuch expandujících par vroucího LPG v cisternovém návěsu. |
| 8. | Výbuch par LPG v cisternovém návěsu. |
| 9. | Vznícení LPG v cisternovém návěsu. |
| 10. | Únik amoniaku z cisternového návěsu. |
| 11. | Únik akroleinu z cisternového návěsu. |
| 12. | Únik akroleinu z tlakových lahví. |
| 13. | Výbuch expandujících par vroucího oxidu uhličitého v cisternovém návěsu bez toxických následků. |

Zdroj: QRAM, autoři

Specifikace definovaných scénářů nebezpečí je uvedena v Tab. 5.

Tab. 5 - Popis scénářů nehod definovaných v SW QRAM (18)

| Scénář | Popis scénáře | Kapacita nádrže | Velikost porušení [mm] | Únik látky [kg/s] |
|--------|---|-----------------|------------------------|-------------------|
| 1. | Požár těžkého nákladního vozidla bez nebezpečného nákladu (20 MW). | - | - | - |
| 2. | Požár těžkého nákladního vozidla bez nebezpečného nákladu (100 MW). | - | - | - |
| 3. | Výbuch expandujících par vroucího LPG v tlakových lahvích (50 kg). | 50 kg | - | - |
| 4. | Požár kaluže motorového benzínu vyteklého z cisternového návěsu. | 28 tun | 100 | 20,6 |
| 5. | Výbuch par motorového benzínu vyteklého z cisternového návěsu. | 28 tun | 100 | 20,6 |
| 6. | Únik chloru z cisternového návěsu. | 20 tun | 50 | 45 |
| 7. | Výbuch expandujících par vroucího LPG v cisternovém návěsu. | 18 tun | - | - |
| 8. | Výbuch par LPG v cisternovém návěsu. | 18 tun | 50 | 36 |
| 9. | Vznícení LPG v cisternovém návěsu. | 18 tun | 50 | 36 |
| 10. | Únik amoniaku z cisternového návěsu. | 20 tun | 50 | 36 |
| 11. | Únik akroleinu z cisternového návěsu. | 25 tun | 100 | 24,8 |
| 12. | Únik akroleinu z tlakových lahví. | 100 litrů | 4 | 0,02 |
| 13. | Výbuch expandujících par vroucího oxidu uhličitého v cisternovém návěsu bez toxických následků. | 20 tun | - | - |

Zdroj: QRAM, autoři

Každý scénář nehody uvedený v Tab. 5 je popsán matematickými rovnicemi, které při kalkulaci rizika zohledňují charakteristiku tunelu a složení dopravního proudu. Parametry tunelu ovlivňující výpočet, jsou geometrie tunelu (délka, šířka, příčný průřez, sklon), způsob větrání, režimy provozní a nouzové ventilace, systém odvodnění a kanalizace, vzdálenost únikových východů, čas potřebný k aktivaci požárního větrání apod. Skupina údajů charakterizující dopravní proud zahrnuje intenzitu provozu (běžný provoz, dopravní špička),

složení dopravního proudu (osobní vozidla, nákladní vozidla, autobusy, podíl přepravy nebezpečných věcí na nákladní přepravě), průměrná obsazenost jednotlivých typů vozidel, způsob dopravy v tunelu (jednosměrný či obousměrný provoz), maximální rychlost, nehodovost, hustota zalidnění v okolí tunelu a jiné parametry. V případě softwaru QRAM (18) je možné najít omezení v hodnocení pouze následků způsobených přítomností vlastního nebezpečného nákladu (únik, požár, exploze látky). Ve výpočtu pak nejsou hodnoceny ani následky případné dopravní nehody či srážky vozidel.

3. ZÍSKANÉ VÝSLEDKY

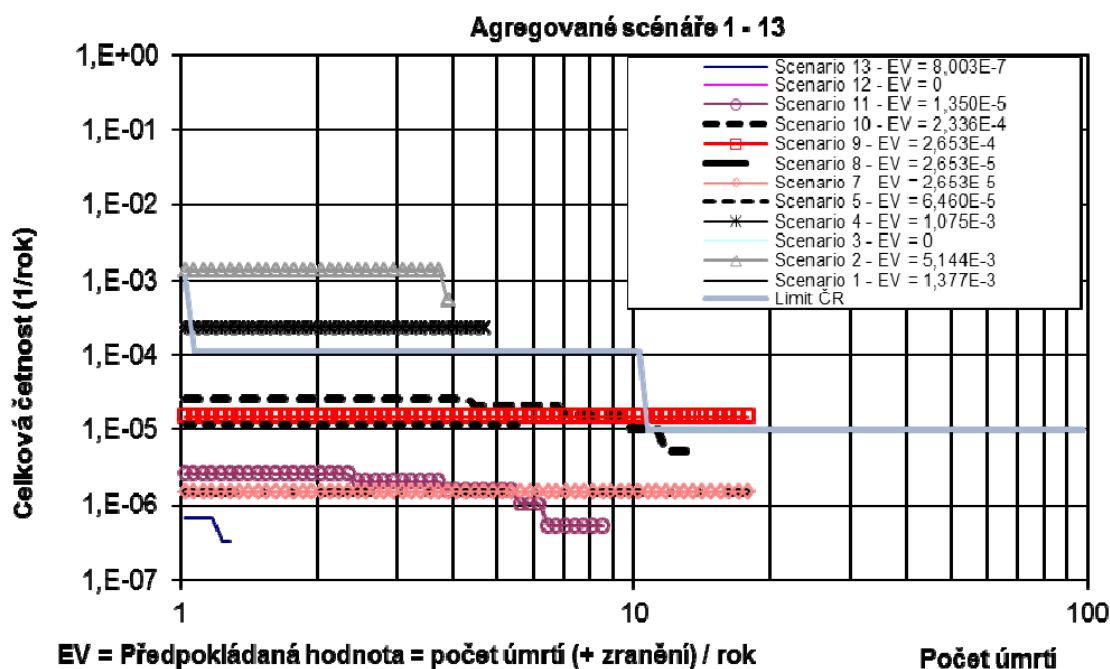
Výsledky kvantitativní analýzy rizika přepravy nebezpečných věcí jsou vyjádřeny formou společenského nebo očekávaného (vlastního) rizika.

Společenské riziko je vyjádřeno graficky formou tzv. FN křivek, které znázorňují kumulativní pravděpodobnost (F), že počet ztrát na životech nepřekročí určitý počet (N). Software QRAM (1) umožňuje vytvořit FN křivky pro každý ze 13 scénářů nehod (viz Tab. 4) a dovoluje tak vzájemně porovnat společenská rizika jednotlivých scénářů. Součtem rizika všech scénářů nehod s účastí vozidel přepravujících nebezpečné věci se získá celková FN křivka, která reprezentuje výsledné společenské riziko přepravy nebezpečných věcí v daném tunelu, případně na alternativní trase.

Očekávané (vlastní) riziko udává pravděpodobnost, s jakou může dojít ke smrtelnému zranění alespoň jedné osoby při daných podmínkách provozu vozidel s nebezpečnými náklady v průběhu jednoho roku. Pomocí programu QRAM (19) lze zkalkulovat očekávané riziko pro každý scénář zvlášť i pro všechny scénáře celkem. Výsledky je možno porovnat s alternativními trasami či riziky v ostatních tunelech.

3.1. Výsledky analýzy rizika a grafické znázornění

Pro analýzu rizika přepravy nebezpečných věcí v Lochkovském tunelu pomocí SW QRAM (19) byly využity vstupní hodnoty uvedené v části popisující tunel. Výstupy analýzy společenského rizika jsou uvedené v (Graf 2) a (Graf 3). V (Graf 2) je znázorněné společenské riziko každého scénáře nehod popsáno v (Tab. 4), respektive (Tab. 5).

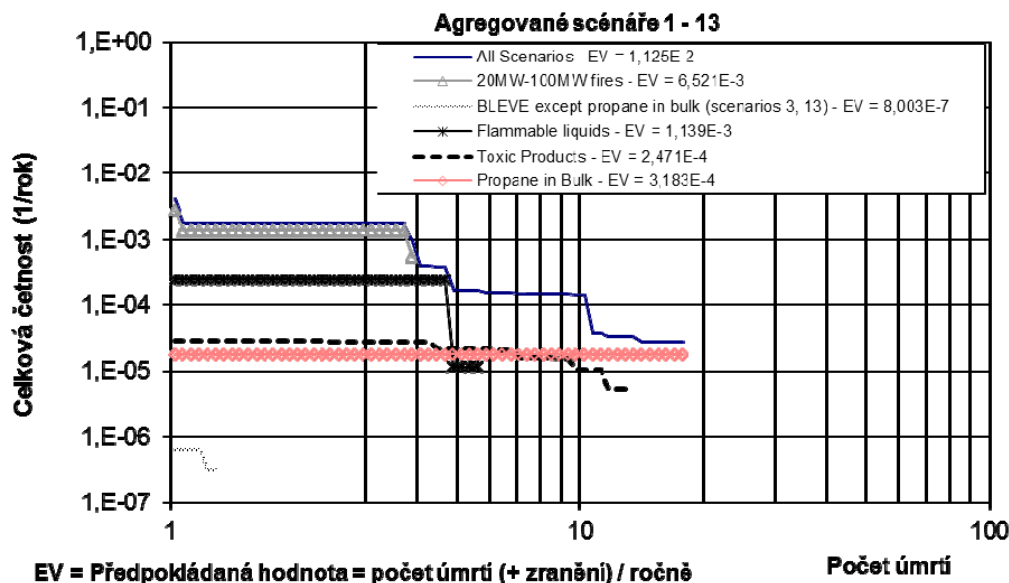


Zdroj: QRAM

Graf 2- Scénáře společenských rizik v Lochkovském tunelu (18)

Graf 2 dokládá, že nejvyšší společenské riziko přepravy nebezpečných věcí v Lochkovském tunelu představuje scénář č. 2 - požár těžkého nákladního vozidla bez nebezpečného nákladu (100 MW). Na první pohled může být překvapivé, že velký požár nákladního vozidla nepřevážujícího nebezpečné látky a předměty představuje vyšší riziko než přeprava jakýchkoliv nebezpečných látek, ale je to způsobené menšinovým podílem přepravy nebezpečných věcí na nákladní dopravě. Druhé nejvyšší riziko představuje scénář č. 4 - požár kaluže motorového benzínu vyteklého z cisternového návěsu. Toto riziko je opět způsobené především nejvyšším podílem přepravy pohonných hmot na dopravě ADR. Naopak nejmenší riziko představuje scénář č. 3 - výbuch expandujících par vroucího LPG v tlakových lahvích (50 kg) a scénář č. 12 - únik akroleinu z tlakových lahví. Riziko vyplývající z těchto přeprav v grafu není vůbec zaznamenáno. Velmi malé riziko představuje i scénář č. 13 - Výbuch expandujících par vroucího oxidu uhličitého v cisternovém návěsu bez toxických následků. Do kalkulace nebyl zahrnut scénář č. 6 - únik chlóru z cisternového návěsu a to z toho důvodu, že je v podmínkách České republiky přepravován chlór po silnici pouze v tlakových lahvích či tlakových sudech. Přeprava chlóru v cisternách se provádí pouze železniční dopravou, která je statisticky bezpečnější, a proto nebylo analyzováno riziko přepravy této látky v silničním tunelu.

V (Graf 3) jsou jednotlivé scénáře nebezpečí agregované do skupin podle společných vlastností látek, zahrnující jednotlivé scénáře definované v (Tab. 4) a (Tab. 5).



Zdroj: QRAM

Graf 3 - Agregované scénáře společenského rizika v Lochkovském tunelu

Nejvyšší nebezpečí představuje skupina zahrnující velký a malý požár nákladního vozidla bez účasti nebezpečné látky a předmětů (20 MW až 100 MW fires). Nejedná se o nehodu s účastí nebezpečných látek a předmětů, ale vzhledem k daleko vyšší četnosti požárů bez účasti nebezpečných látek a předmětů představují tyto scénáře nejvyšší riziko.

Následuje skupina, která zahrnuje hořlavé kapaliny (flammable liquids) a toxické produkty (toxic products). Tyto látky jsou rizikové zejména kvůli ohrožení většího počtu osob. Obdobné riziko představuje přeprava propanu v kusech – lahvích (propane in bulk). Nejmenší nebezpečí představují scénáře modelující tzv. BLEVE - Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (výbuch expandujících par vařící kapaliny). Celkové riziko všech scénářů agreguje modrá křivka (all scenarios) (19).

Výsledné celkové riziko je možné porovnat se stanovenými limity pro jednotlivé země. Porovnáním celkového rizika (modrá křivka) Grafu 3 s doporučeným limitem pro Českou republiku – červené křivky v Grafu 3 zjistíme, že riziko přepravy nebezpečných látek a předmětů v Lochkovském tunelu je nižší, než doporučená dolní hranice rizika pro Českou republiku. Z toho lze učinit závěr, že není třeba provést žádné dodatečné opatření pro snížení rizika přepravy ADR v Lochkovském tunelu.

ZÁVĚR

Analýza rizika přepravy nebezpečných látek a předmětů v silničním tunelu má zvláštní význam vzhledem k závažným důsledkům, ke kterým v případě havárie může dojít. Příkladem může být uvedena jedna z nehod, ke které došlo právě v Lochkovském tunelu (02. 11. 2013), kdy došlo k úniku motorové nafty z nákladního vozidla. Vozovka v tunelu byla kontaminována společně s kanalizačním systémem tunelu o délce cca 350 metrů a 2 retenčními jímkami. Nehoda si v tomto případě vyžádala lehká zranění, její následky však mohly být mnohem závažnější. (17).

Příspěvek zahrnuje a aplikuje získané poznatky problematiky rizik v souvislosti s přepravou v režimu ADR. Modelovým objektem, se stal Lochkovský tunel na pražském jižním okruhu rychlostní silnice R1, kde byla aplikována získaná reálná data a technické parametry, která jsou v článku popsána. Součástí studie kvantifikace rizika v silničním tunelu jsou rovněž podrobné popisy technologické výbavy tunelu a monitorovaných parametrů dopravního proudu, stejně jako znázornění tunelu na mapových podkladech a jeho rozdělení na úseky.

Při aplikaci SW QRAM bylo popsáno celkem 13 scénářů nehod definovaných v softwarové aplikaci pro simulaci různých typů událostí v silničním tunelu. Pro modelování a analýzu rizika pomocí SW QRAM bylo využito reálných dat z Lochkovského tunelu. Výsledkem se staly FN křivky společenského rizika pro jednotlivé scénáře nehod.

Porovnání jednotlivých scénářů bylo provedeno v kapitole 3.1, kde se za scénář s nejvyšším rizikem projevil scénář číslo 2, tedy havárie a požár nákladního vozidla bez nebezpečného nákladu (100 MW), kdy má na tento scénář vliv fakt, že přeprava nebezpečných látek a předmětů nemá tak velkou frekvenci, jako běžná přeprava nákladních vozidel.

Software QRAM, je společně s dalšími analýzami rizik uznávaným přístupem v celé Evropě. Jedná se o jednu z kvantifikačních metod, kterou je možné aplikovat pro podmínky silničního tunelu a může být doplněna řadou dalších kvalitativních a kvantitativních metod.

POUŽITÁ LITERATURA

- (1) RUFFIN, Emmanuel. Overview of the DG - QRAM. In: *Quantitative Risk Assessment Model for Dangerous Goods Transport through Road Tunnels: PIARC Seminar - PARIS - 1st of February 2007* [online]. 2007 [cit. 2014-07-22].
Dostupné z: http://www.piarc.org/ressources/documents/COMITES-TECHNIQUES-ASSOCIATION-MONDIALE-ROUTE/825,3-PIARC-seminar-Ruffin-010207_v03b.pdf
- (2) Risk management: ALARP - As Low As Reasonably Practicable. *Risk Assessment* [online]. c2013 [cit. 2014-08-04]. Dostupné z: http://www.risk-assessments.org/alarp.html#U-iRpPI_tio
- (3) *Ministerstvo dopravy ČR, ADR* [online]. c2006 [cit. 2014-07-15]. Dostupné z: http://www.mdcr.cz/cs/Silnicni_doprava/Nakladni_doprava/adr/Preprava_nebezpecnych_veci.htm
- (4) Česká republika. Zákon č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích. In: 13. 1997. Dostupné z: http://www.mdcr.cz/cs/Legislativa/Legislativa/Legislativa_CR_silnicni/Pozemni_komunikace/
- (5) Česká republika. Nařízení vlády o bezpečnostních požadavcích na tunely pozemních komunikací delší než 500 metrů. In: 264. 2009, 79. Dostupné z: www.mvcr.cz/soubor/sb079-09-pdf.aspx
- (6) EU. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2004/54/ES ze dne 29. dubna 2004 o minimálních bezpečnostních požadavcích na tunely transevropské silniční

- sítě. In: 167/39. 2004. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004L0054&from=EN>
- (7) HÖRAN, R., C. FORTSER a B. KOHL. RVS 09.03.11 – UPGRADING OF THE AUSTRIAN TUNNEL RISK MODEL TuRisMo. In: *6th International Conference 'Tunnel Safety and Ventilation' 2012, Graz* [online]. 2012. s. 66 – 73. [cit. 2014-08-06]. Dostupné z: http://lampx.tugraz.at/~tunnel2014/history/Tunnel_2012_CD/PDF/10_Hoerhan.pdf
- (8) RVS 09.03.11 Tunnel Safety – Tunnel Risk Model, FSV (Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr). Republika Rakousko. 2008.
- (9) Technické podmínky TP 02/2011 Analýza rizik pre slovenské cestné tunely. Ministerstvo dopravy výstavby a regionálního rozvoja SR. Slovenská republika. 2011. Dostupné z: <http://www.telecom.gov.sk/index/index.php?ids=4761>
- (10) ČSN 73 7507. Projektování tunelů pozemních komunikací. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- (11) Technické podmínky TP 98. Technické vybavení tunelů pozemních komunikací. Praha: Ministerstvo dopravy ČR. 2003.
- (12) Road tunnel operations: Manual on Road Tunnels. PIARC [online]. 2011 [cit. 2014-07-11]. Dostupné z: <http://www.piarc.org/en/knowledge-base/road-tunnels/tunnels-manual/>
- (13) Technické podmínky TP 229. Bezpečnost v tunelech pozemních komunikací. Ministerstvo dopravy ČR. 2010.
- (14) Interní materiály, Ředitelství silnic a dálnic ČR, Čerčanská 12, Praha 4, 2014
- (15) Interní materiály, Eltodo Eg, a.s., Porážka 207/1, Trnitá, Brno, 2014
- (16) HAVELKA, Martin a Jan GARGULÁK. *Obsazenost osobních vozidel*. In: ČVUT: Fakulta dopravní [online]. 2012. str. 21. [cit. 2014-07-18]. Dostupné z: http://www.fd.cvut.cz/personal/havelma9/Obsazenost_osobnich_vozidel.pdf
- (17) Výroční zpráva - Vyhodnocení činnosti systému TRINS za rok 2013. Unipetrol [online]. 2013 [cit. 2014-07-22]. Dostupné z: <http://www.unipetrolrpa.cz/CS/sluzby-areal/trins/Documents/V%C3%BDro%C4%8Dn%C3%AD%20zpr%C3%A1va%20TRINS%202013.doc>
- (18) Celostátní sčítání dopravy 2010, ŘSD [online]. 2010 [cit. 2014-07-20]. Dostupné z: <http://scitani2010.rsd.cz/pages/shop/default.aspx>
- (19) AIPCR. PIARC. QRAM 3.61. [software, CD]. [přístup 15. 4. 2014]. Dostupné z: http://www.piarc.org/en/knowledge-base/road-tunnels/qram_software/

Tato práce vznikla v rámci projektu DOPSIT reg. č. CZ.1.07/2.3.00/20.0226 financovaného v rámci operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ