



STRATÉGIE PRE POŽIARNE VETRANIE V CESTNÝCH TUNELOCH

Miroslav Betuš^{*)}

ABSTRAKT

V súčasnej dobe sa hlavnou témou požiarnej bezpečnosti v cestných tuneloch stalo požiarne vetranie a odvetrávanie, ako základné aktívne protipožiarne zabezpečenie určené na zamedzenie katastrofických následkov mimoriadnej udalosti v cestných tuneloch. Tento článok popisuje metodiku požiarneho vetrania so zameraním na aplikáciu už v existujúcich cestných tuneloch podstupujúcich skvalitnenie samotného požiarneho vetrania ako určitý vyšší stupeň vetrania.

Kľúčové slová:

Požiarne vetranie, mimoriadna udalosť, požiar, cestný tunel.

ABSTRACT

Currently, the main theme of fire safety in road tunnels became fire ventilation, fire as the sole active security designed to prevent catastrophic incident in road tunnels. This article describes a methodology fire ventilation with a focus on applications in existing road tunnels undergoing improve fire ventilation itself as a higher degree of ventilation.

Key words:

Fire ventilation, incident, fire, road tunnel.

1 STRATÉGIE PRE POŽIARNE VETRANIE V CESTNÝCH TUNELOCH

Problematika vzniku požiaru v cestných tuneloch a kontroly vetrania pri vzniku požiaru v cestných tuneloch už bola riešená v rôznych publikáciách PIARC (Svetová asociácia pre cestnú dopravu). V týchto publikáciách bolo spomenuté niekoľko

^{*)} kpt. Ing. Miroslav Betuš, Krajské riaditeľstvo Hasičského a záchranného zboru v Košiciach, Komenského 52, 040 01, Košice, m.betus@centrum.sk, miroslav.betus@minv.sk, 0917 433 352

ohrožení ľudského života a zdravia v súvislosti s požiarom v cestných tuneloch ako napríklad vysoká teplota, existencia rôznych toxických plynov a splodín horenia a nízky obsah koncentrácie kyslíka. Kým nízka viditeľnosť znižuje možnosť úniku z požiarom ohrozeného miesta, rovnako ako aj schopnosť záchranných zložiek pristupovať ku miestu vzniku mimoriadnej udalosti, vysoké teploty a vysoká miera tepelného žiarenia môže tiež vyústiť v nekontrolovanom raste požiaru v dôsledku prenosu na iné vozidlá. Z tohto dôvodu došlo k záveru, že kontrola vetrania je nevyhnutná, aby:

- došlo k záchrane života tým, že bude uľahčená evakuácia,
- boli vykonané záchranné a protipožiarne operácie,
- sa zamedzilo výbuchu,
- došlo k obmedzeniu škôd na konštrukcii a vybavení tunela [2].

To znamená, že existuje potreba pre riadenú ventiláciu v prípade vzniku mimoriadnej udalosti so vznikom požiaru v tuneli.

Rôzne krajiny majú rôzne filozofie o tom, ako najlepšie vetrať tunelovú rúru v prípade vzniku požiaru. Zatiaľ čo niektorí operátori sa radšej sústreďujú na zamedzenie spätného vrstvenia dymu vetraním proti prúdeniu od požiaru, ostatní prevádzkovatelia zachovávajú nízku rýchlosť šírenia dymu počas prvotnej fáze evakuácie. Prvá možnosť vetrania vyžaduje relatívne vysoké rýchlosti prúdenia vzduchu proti prúdeniu dymu (2,5 – 3 m/s), druhá možnosť vyžaduje pomerne nízke rýchlosti vetrania, kde sa rýchlosť pohybuje okolo 0,5 m/s. Z tohto dôvodu sa v praxi vykonal kompromis pre prúdenie vzduchu v prípade vzniku požiaru v rozmedzí od 1,0 do 1,5 m/s proti prúdeniu dymu od miesta vzniku požiaru [1].

Ďalším dôležitým aspektom, ktorý treba zvážiť je ventilačný systém sám o sebe. Pokiaľ v tuneloch s použitím pozdĺžneho vetrania splodiny horenia, dym a teplo z požiaru musia byť prepravované z miesta vzniku požiaru celým prierezom tunela, priečne ventilačné systémy umožňujú koncentrované odsávanie splodín horenia a teda vytvárajú miesta bez dymu. Problém je však, že priečne vetranie tunelov má kontrolný ventilačný systém zložitý, aby zabezpečil prúdenie dymu k miestam pre odsávanie [3].

1.1 VENTILAČNÉ SYSTÉMY A FILOZOFIA POŽIARNEHO VETRANIA

Úlohou požiarneho vetrania je odstrániť dym a toxické splodiny horenia z tunelovej rúry, znečistený vzduch má byť nahradený čistým vzduchom a to buď nasávaním cez portály alebo mechanicky vŕhaný do tunelovej rúry ventilačným potrubím. Je treba mať však na vedomí, že požiarne ventilácia je len jednou časťou bezpečnostných opatrení tunela a podlieha rade obmedzení v podobe konštrukčných kritérií a prevádzkových možností (požiarne zaťaženie) [7].

1.1.1 POZDĹŽNE VETRANIE TUNELA

Základná filozofia pre požiarne vetranie v pozdĺžne vetraných tuneloch je pomerne jednoduchá. Znečistený vzduch môže byť odstránený iba pomocou portálov a vetracích šacht. Pri tomto vetraní nastáva hlavná otázka a to aká rýchlosť vzduchu má byť použitá na odstránenie dymu z tunelovej rúry. O tejto otázke prebieha diskusia, či má byť použitá kritická rýchlosť alebo nízka rýchlosť [1].

Princíp použitia *kritickej rýchlosti* spočíva v zabránení spätného vrstvenia dymu, to znamená zabrániť alebo spomaliť prúdenie dymu proti smeru zásahu záchranných zložiek. Typické hodnoty pre kritickú rýchlosť sa pohybujú od 2,2 do 3,5 m/s pre veľkosť uvoľňovaného tepelného toku pri požiari (HRR) 30 až 50 MW, avšak pri veľkosti uvoľňovaného tepelného toku do 30 MW možno očakávať, že pri kritickej rýchlosti prúdeniu vzduchu od 2,2 do 3,5 m/s sa šírenie dymu pozdĺž tunelovou rúrou zvýši na takú úroveň, že nie je možné vykonať včasnú evakuáciu z tunelovej rúry. Z tohto dôvodu sa táto ventilačná filozofia odporúča len pre tunely s jednosmernou dopravou, kde dôsledky požiaru dopadajú len na hornú časť dopravného prúdu [4].

Filozofiu *nízkej rýchlosti* odporúča PIARC pre tunely s obojsmernou premávkou, ako aj pre tunely s jednosmernou premávkou kde špecifické podmienky na mieste mimoriadnej udalosti do príchodu záchranných zložiek ostávajú nejasné. Cieľové rýchlosti prúdenia vzduchu sa pohybujú v rozsahu 1,0 až 1,5 m/s, kde takéto prúdenie je kompromisom medzi zníženým spätným vrstvením dymu a rýchlosťou prúdenia dymu od požiaru. Táto filozofia vyžaduje kontrolu rýchlosti prúdenia vzduchu, čiže odpovedajúce ventilačné zariadenie [4].

Filozofia *nulovej rýchlosti* by nemala byť použitá nakoľko miestne koncentrácie toxických plynov a spodín horenia, ako aj miestne teploty pri požiari sa silne zvyšujú a okrem toho každá zmena v okrajových podmienkach, ako je rýchlosť uvoľňovaného tepla, vonkajší tlak má za následok nepredvídateľný pohyb dymu vo vnútri tunela, čiže kontinuálne sa meniace podmienky v blízkosti požiaru. Záchranné zložky majú znížené možnosti na vykonanie evakuácie, taktiež lokalizáciu a následnú likvidáciu mimoriadnej udalosti. Taktiež organizácie PIARC zaraďuje takéto ventilačné stratégie za menej výhodné, v skutočnosti sa táto ventilačná stratégia charakterizuje ako veľmi riskantná a je potrebné sa jej vyhnúť [4].

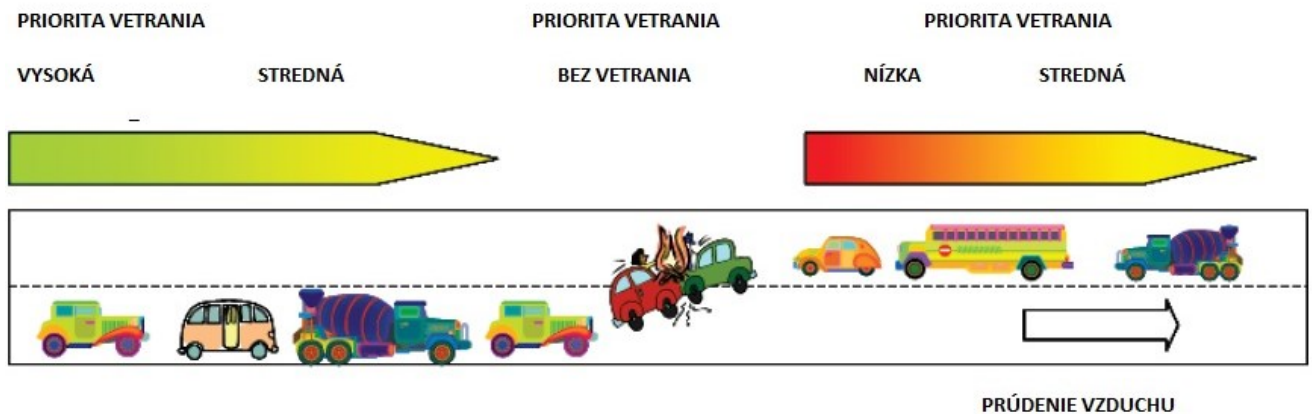
1.1.2 AKTIVÁCIA VENTILÁTOROV

Druhou veľmi dôležitou otázkou je výber účinných prúdových ventilátorov vo vnútri tunela. Ventilátory musia splniť dva účely a to riadenie rýchlosti prúdenia vzduchu a zachovať pretlak v priečných prepojeniach tunelovej rúry, tak aby nedochádzalo k prenikaniu dymu prostredníctvom otvorených dverí na únikových cestách.

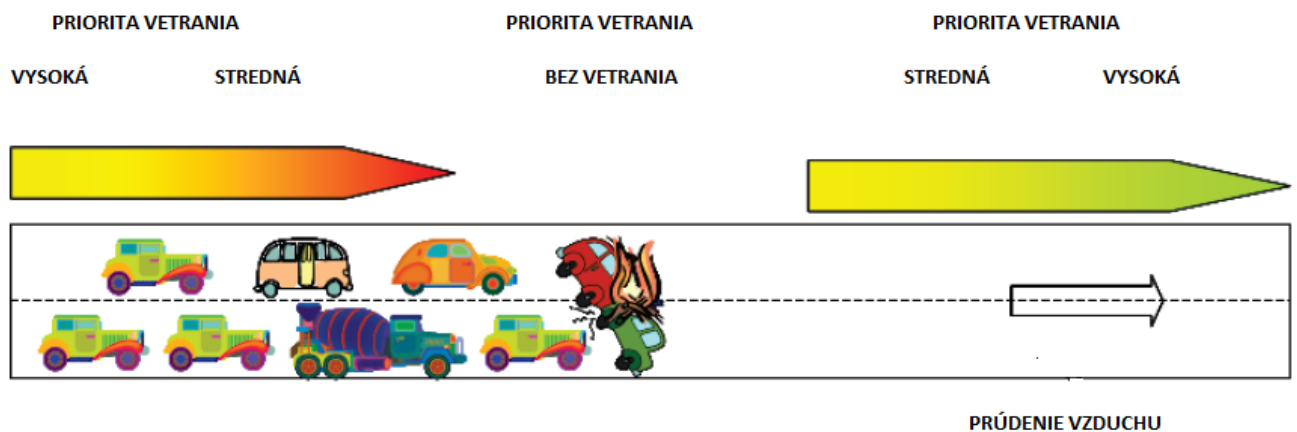
Akékoľvek aktivované prúdové ventilátory vo vnútri tunela vykonávajú veľkú turbulenciu v pohybe vzduchu a všetky aktivované ventilátory vo vnútri tunela, ktorý je zadymený majú za úlohu zabrániť spätnému vrstveniu dymu a naplniť celý prierez tunelovej rúry a vytláčať spodiny horenia k druhému portálu tunela. Logicky je potrebné použiť vysokovýkonné ventilátory a aktivovať ich až keď dochádza

k spätnému vrstveniu dymu. Takáto ventilačná stratégia vytvorí pretlak pred miestom vzniku požiaru a je použiteľná pre tunely s obojsmernou premávkou (obr. č. 1.).

V tuneloch s jednosmernou premávkou je stratégia založená na aktiváciu ventilátorov od vzniku požiaru po prúde dymu (stratégia ťahaním, obr. č. 2) [5].



Obr. č. 1 – Aktivovanie ventilátorov pre tunely s obojsmernou premávkou [5]



Obr. č. 2 – Aktivovanie ventilátorov pre tunely s jednosmernou premávkou [5]

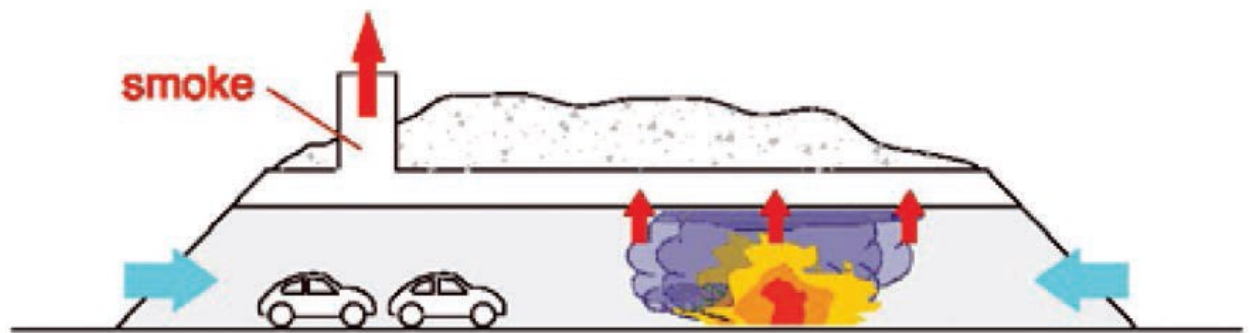
Vzhľadom k vysokej turbulencii vzduchu po spustení ventilátorov, nesmie byť aktivovaný žiaden iný ventilátor v tesnej blízkosti vzniku požiaru, t. j. aktivované ventilátory, ktoré sú v prevádzke sa musia vypnúť.

1.1.3 PRIEČNE VETRANIE TUNELA

Priečne vetranie tunelov poskytuje možnosť odsávať splodiny horenia a dym v blízkosti miesta vzniku požiaru. To však vyžaduje diaľkové ovládanie klapiek medzi dopravnými miestnosťami a potrubím na odsávanie dymu. V súlade so smernicou EÚ priečne alebo polopriečne vetracie systémy sú schopné odsávať dym v prípade vzniku požiaru a musia byť použité v tuneloch, kde pozdĺžne vetranie nie je dovolené, avšak smernica sa vzťahuje len na tunely s obojsmernou premávkou dlhšou ako 3000 m, kde

extrakčné klapky na odsávanie dymu možno ovládať buď jednotlivo alebo v skupinách [6].

Toto obmedzenie na tunely s obojsmernou premávkou a dĺžkou väčšou ako 3000 metrov je úplne zavádzajúce, nakoľko koncentrovaný odvod dymu je možný iba pri umiestnení požiaru pod odsávacími klapkami bez ohľadu, či je tunel jednosmerný alebo obojsmerný, dlhší alebo kratší ako 3000 metrov (obr. č. 3) [5].

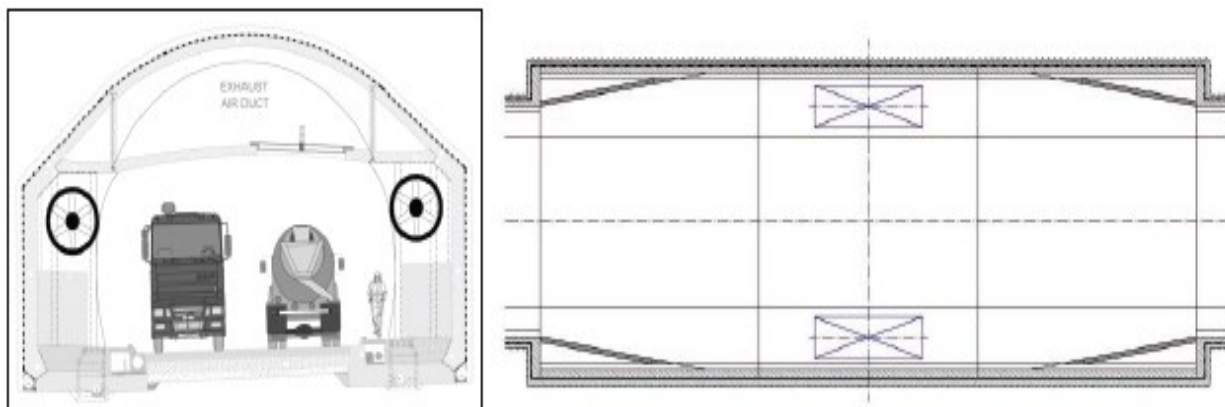


Obr. č. 3 – Priechodná ventilácia s diaľkovo ovládanými klapkami v režime požiarneho vetrania [6]

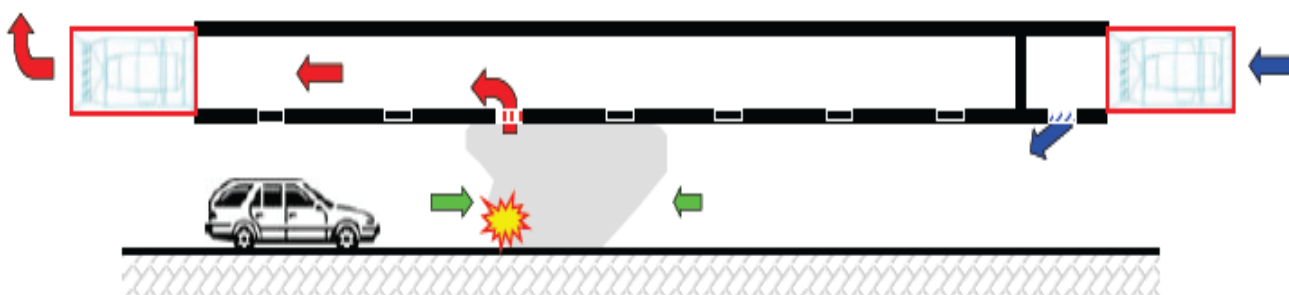
Typický objem odsávania vzduchu sa pohybuje v rozmedzí okolo $120\text{m}^3/\text{s}$ a násobku profilu tunela. Počet klapiek, ktoré majú byť otvorené v prípade vzniku požiaru je závislý na ich veľkosti. Situácia, ktorá je znázornená na obrázku 3 znázorňuje optimálnu situáciu pre odsávanie dymu. Rýchlosť vzduchu v tuneli je závislá na objeme odsávaného vzduchu a na profile tunela a pre správne odvetrávanie dymu je potrebné, aby bol zaistený pohyb dymu smerom k otvoreným odsávacím klapkám. Ďalšou požiadavkou pre kvalitné odsávanie dymu je zabezpečiť pohyb dymu smerom k otvoreným odsávacím klapkám (obr. č. 3) [6].

Do úvahy je potrebné taktiež zobrať rýchlosť prúdenia vzduchu v tuneli v čase vzniku mimoriadnej udalosti. K tomuto systému vetrania možno dodať, že priechodné ventilačné systémy s diaľkovo ovládanými klapkami poskytujú kvalitný bezpečnostný prínos z hľadiska odsávania dymu a splodín horenia, no tento prínos je závislý na časových rámcov potrebných pre detekciu mimoriadnej udalosti a na aktivácii vetracieho systému [5].

Ako je znázornené na obrázku 3, je potrebné obmedziť dym v oblasti medzi požiarom a otvorenou odsávacou klapkou. Odvádzanie dymu samo o sebe nestačí, nakoľko existuje mnoho parametrov, ktoré ovplyvňujú pohyb dymu vnútri tunela. V závislosti na umiestnení klapky, odsávanie dymu vo vzťahu k portálu a na vonkajších tlakových rozdieloch medzi portálmi je potrebné na riadení prietoku vzduchu smerom k otvorenej klapke použiť prídavné zariadenia, ako sú prúdové ventilátory (obr. č. 4), vstrekovací vzduchový systém Saccardi (obr. č. 5) alebo akýkoľvek iný spôsob, s cieľom poskytnúť potrebnú rovnováhu tlaku vo vnútri tunela [7].



Obr. č. 4 – Prúdové ventilátory s priečnym ventilačným systémom na odvod dymu [7]



Obr. č. 5 – Vstrekovací vzduchový systém Saccardi v tuneloch s priečnym ventilačným systémom na odvod dymu [7]

V súčasnej dobe, najmä v dlhých tuneloch je požiadavka na prívod čerstvého vzduchu do tunelovej rúry pomerne malá, nakoľko je postačujúce navrhnuť polopriečne ventilačné zariadenie pre odsávanie splođín horenia v prípade vzniku požiaru. Potrebný ťah a tým aj počet prúdových ventilátorov pre potrebu obmedziť zadymenie závisí od rozdielu tlakov medzi portálmi. Pri väčších tlakových rozdielov sa namiesto veľkých a výkonných ventilátorov inštalujú menšie ventilátory s kratšou vzdialenosťou medzi nimi. To na jednej strane zvyšuje náklady na výstavbu, ale znižuje náklady spojené s údržbou najmä potrebou pre uzatvorenie príslušného tunela.

V existujúcom celopriečnom vetracom systéme sa vidí byť priaznivejšie využívať taktiež prúdové ventilátory na dosiahnutie požadovanej rovnováhy tlaku medzi portálmi tunela. Oba tieto systémy majú svoje výhody a nevýhody.

Výhody pre použitie dodatočných prúdových ventilátorov sú spojené s relatívnou jednoduchosťou, akou môže byť rýchlosť prúdenia vzduchu vo vnútri tunela kontrolovaná. Ako nevýhody sa môžu javiť dodatočné náklady na stavebné práce pre montáž týchto ventilátorov.

Využitie existujúcich ventilátorov pre vstrekovanie vzduchu má svoje výhody na strane nákladov (existujúce zariadenia), ale ako nevýhody možno uviesť zložitú ovládania pohybu vzduchu [7].

1.1.4 SENZORY PRE POŽIARNU VENTILÁCIU

Ako už bolo vyššie uvedené, požiarne vetranie vyžaduje pre kontrolované vetranie v prípade vzniku požiaru aj jasnú stratégiu pre aktiváciu celého vetracieho systému. Preto je nutné mať vhodné senzory na aktiváciu tohto systému aby sa zabezpečila:

- spoľahlivá a rýchla identifikácia mimoriadnej udalosti,
- spoľahlivé a správne meranie prúdenia vzduchu v tuneli,
- lokalizácia mimoriadnej udalosti [6].

V súčasnej dobe existuje množstvo druhov snímačov na zistenie miesta vzniku mimoriadnej udalosti. Lineárne tepelné hlásiče sú síce spoľahlivé, pokiaľ ide o pomerne o veľký stacionárny zdroj tepla, môžu byť však problematické pri detekcii tlenia alebo nedokonalého horenia.

Na druhej strane, kamerové systémy ponúkajú rýchlu detekciu, no sú sprevádzané pomerne vysokou poruchovosťou. Niektoré krajiny ako napríklad Švajčiarsko využívajú kombináciu kamerových systémov a lineárnych detektorov tepla a dymu pre detekciu mimoriadnej udalosti.

Čím zložitejší je systém tunela, tým zložitejšie je ovládanie ventilácie v požiarom režime. Jediná informácia, ktorá je potrebná pre ovládanie ventilácie je rýchlosť vzduchu vo vnútri tunela, čiže je nevyhnutne nutné mať správne informácie o rýchlosti prúdenia vzduchu v tunelovej rúre.

Aj napriek relatívne veľkému počtu senzorov na meranie rýchlosti vzduchu, môže stále dôjsť k technickej poruche na jednotlivých senzoroach. V prípade, že nie je možné lokalizovať mimoriadnu udalosť v tuneli, je potrebné ponechať vetranie bez zmeny, ako ho úplne deaktivovať. V prípade, že nie sú k dispozícii údaje o rýchlosti prúdenia vzduchu v tuneli, je potrebné zachovať určitú mieru pohybu ventilácie, čo umožňuje používateľom tunela prispôbiť sa danej situácii [7].

ZÁVER

Požiarne vetranie, čiže vetranie tunelovej rúry v prípade vzniku mimoriadnej udalosti so vznikom požiaru je dôležitý prevádzkový režim tunelového vetrania v každom ventilačnom systéme tunela.

Požiarne vetranie zvyšuje možnosť záchranným zložkám na vykonanie evakuácie v počiatočnej fáze mimoriadnej udalosti.

Bolo spracovaných množstvo pokynov a smerníc na medzinárodnej a národnej úrovni na zabezpečenie príslušných bezpečnostných noriem. V centre pozornosti však stojí kontrola rýchlosti prúdenia vzduchu b blízkosti vzniku mimoriadnej udalosti. Vo

väčšine prípadov sa filozofia *nízkej rýchlosti* javí ako najvhodnejšia na zabezpečenie evakuácie z tunela postihnutého požiarom.

Na dosiahnutie tohto cieľa je potrebné správne meranie rýchlosti prúdenia vzduchu v tunelovej rúre, trvalé pravidelné testovanie ventilačných systémov, detektorov a pravidelné skúšky ventilačného systému na jednotlivé scenáre mimoriadnej udalosti.

Vzhľadom na zvýšené nároky požadovanej cestnej dopravnej infraštruktúry sú časové rámce pre údržbu a skúšky ventilačných systémov tunela stále viac skrátené.

Tu vzniká riziko, že vo chvíli, kedy je potrebné mať systém v požadovanej kvalite a pohotovosti, dôjde k zlyhaniu jednej časti celého bezpečnostného reťazca, kedy systém neprinesie požadované výsledky. To znamená, že buď systémy budú zjednodušené alebo sa investuje väčšie úsilie o udržanie a testovanie bezpečnostného vybavenia.

LITERATÚRA

- [1] PIARC, Report to the XXth World Road Congress, Montreal (Canada-Québec), PIARC Committee on Road Tunnels, report 20.05.B, 1995.
- [2] PIARC, “Fire and Smoke Control in Road Tunnels”, PIARC Committee on Road Tunnels Operation (C5), report 05.05.B-1999, ISBN: 2-84060-064-1, 1999.
- [3] PIARC, “Systems and Equipment for Fire and Smoke Control”, PIARC Committee on Road Tunnels Operation (C3.3), report 05.16.B-2006, ISBN: 2-84060-175-3, 2006.
- [4] PIARC, “Operational Strategies for Emergency Ventilation”, PIARC Committee on Road Tunnels Operation (C3.3), report 2011-R02, ISBN: 2-84060-234-2, 2011.
- [5] ZUMSTEG, F., STEINEMANN, U., BERNER, M., “Ventilation and Distance of Emergency Exits in Steep Bi-directional Tunnels”, Proceedings of the 6th Symposium on Tunnel Safety and Ventilation, 273-280, ISBN: 978-3-85125-210-1, Graz, Austria, 23-25 April, 2012.
- [6] ZUMSTEG, F., STEINEMANN, U., JOSEPH, C., “Tunnel Safety by Ventilation – an Illusion?”, Proceedings of the 5th Symposium on Tunnel Safety and Ventilation, 5-11, ISBN: 978-3-85125-106-7, Graz, Austria, 3-4 May, 2010.
- [7] STURM, P., BEYER, M., BACHER, M., SCHMÖLZER, G., “The Influence of Pressure Gradients on Ventilation Design – Special Focus on Upgrading Long Tunnels”, Proceedings of the 6th Symposium on Tunnel Safety and Ventilation, 90 - 99, ISBN: 978-3-85125-210-1, Graz, Austria, 23-25 April, 2012.