

POŽIARNA OCHRANA KONŠTRUKCIÍ TUNELOV DOSKAMI A OMIETKAMI PROMAT

FIRE PROTECTION OF TUNNEL STRUCTURES WITH PROMAT BOARDS AND SPRAYS

Viliam Fusek¹

ABSTRAKT

Autor v prvej časti príspevku porovnáva teplotné zaťaženie v tuneloch podľa rôznych tunelových teplotných kriviek. V ďalšej časti predstavuje možné riešenia konštrukcií v závislosti podľa tunelových kriviek. Porovnáva základné spôsoby ochrany konštrukcií protipožiarnymi kalciumsilikátovými doskami a maltovinovými protipožiarnymi nástrekmi, teda suchou a mokrou technológiou. Technické riešenia sú preukázané skúškami požiarnej odolnosti v závislosti od typu konštrukcie. Kritéria hodnotenia sú teploty na povrchu chráneného betónu a teplota ocelevej výstuže v stanovenej hĺbke konštrukcie.

ABSTRACT

The author in the first part of the paper compares the thermal load in tunnels under different temperature tunnel curves. The next section presents possible solutions constructions depending by tunnel curves. Compares the basic methods of fire protection structures with calciumsilicate boards and fire protection sprays, thus dry and wet technology. Data are shown fire tests according to the type of construction. Evaluation criteria are temperature on a surface of concrete and temperature of steel reinforcement within the depth of the structure.

1 Úvod

Základné ciele ochrany pred požiarom sú ochrana života a zdravia osôb, ochrana majetku a životného prostredia [1]. V pozemnom staviteľstve je dôraz kladený najmä na ochranu osôb. Naproti tomu má v niektorých prípadoch zmysel chrániť stavbu ako takú. Ide o významné stavby, ktorých zničenie má široký dopad pre spoločnosť. Tunely, aspoň niektoré, patria medzi stavby, ktoré si zasluhujú zvýšenú mieru ochrany.

Pre ochranu osôb v tuneloch sú navrhované opatrenia, ako napríklad únikové cesty. Pre ochranu stavebného diela sú potrebné iné opatrenia. Najmä fungujúca požiarne odolnosť konštrukcií. Nielen nosných konštrukcií, ale aj niektorých detailov, ktorých zlyhanie môže mať neblahé následky. Z tohto pohľadu môžeme ochranu konštrukcií tunelov rozdeliť do dvoch skupín podľa možných následkov porušenia:

- priame následky požiaru,
- sekundárne následky požiaru.

Za priame následky požiaru môžeme považovať trvalé poškodenie konštrukcií tunela, ich zrútenie, stratu nosnosti a stability a nedovolenú deformáciu. Odstránenie týchto následkov je časovo aj finančne náročné.

¹Ing. Viliam Fusek, Promat d.o.o., Slovinsko, Pobočka Slovensko, Pražská 2, 949 11 Nitra,
tel.: +421 905 5207 57, e-mail: promat@promat.sk

Sekundárne následky môžu navyše spôsobiť ďalšie vysoké škody. Napríklad porušenie stability stavieb umiestnených nad tunelom v zastavanej oblasti alebo zatopenie tunela vedeného pod riekou v dôsledku straty tesnosti škár. Sekundárne následky môžu byť vyššie ako primárne.

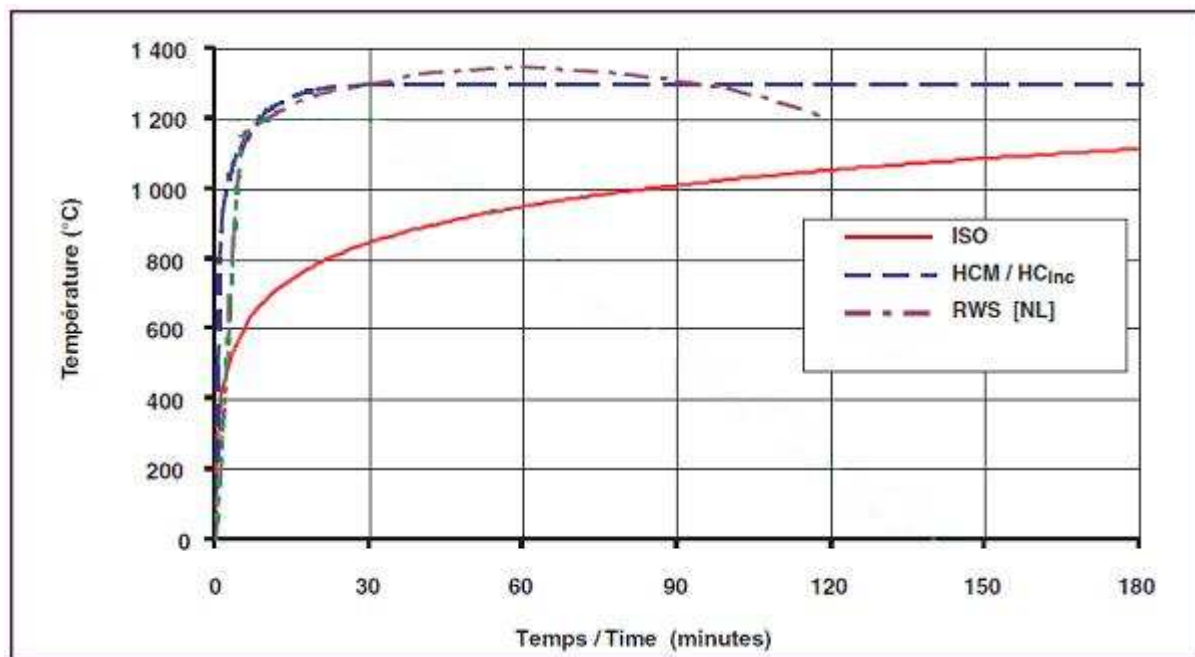
Druhým významným rozdielom oproti stavbám pozemného staviteľstva je iný priebeh požiaru v tuneli.

Z uvedených dôvodov je potrebné riešiť požiaru ochranu konštrukcií tunelov inak ako v pozemnom staviteľstva. Rovnako aj kritéria požiarnej odolnosti konštrukcií tunelov sa môžu líšiť od bežných normových konštrukcií.

2 Tepelné namáhanie konštrukcií tunela

Požiare v tuneloch vykazujú podstatne rýchlejší nárast teploty, než požiare v objektoch pozemného staviteľstva. Pri veľkých požiaroch v PS sa dosahuje teplota nad 1000°C spravidla asi po 1,5 hodine. Tomu zodpovedá aj normová teplotná krivka [2] (označovaná tiež ISO834 krivka), podľa ktorej sa bežne skúšajú stavebné konštrukcie pre PS. Naproti tomu v tuneloch bol preukázaný rýchly nárast teploty. Krivka Rijkwaterstraat (skrátene RWS) dosahuje v 5. minúte 1140 °C a následne teplota rastie až na 1350 °C. Postupne sa teplota znižuje na 1300 °C v 90. minúte. Modifikovaná uhl'ovodíková krivka (tiež HCM alebo HC_{inc}) dosahuje 1300 °C s výdržou až do konca skúšky, vid' obr. 1.

Tieto tunelové krivky sú v technických špecifikáciách viacerých krajín. V súčasnosti ich možno považovať za štandard. Boli publikované ako odporúčania PIARC v návrhových kritériách požiarnej odolnosti konštrukcií tunelov [3].



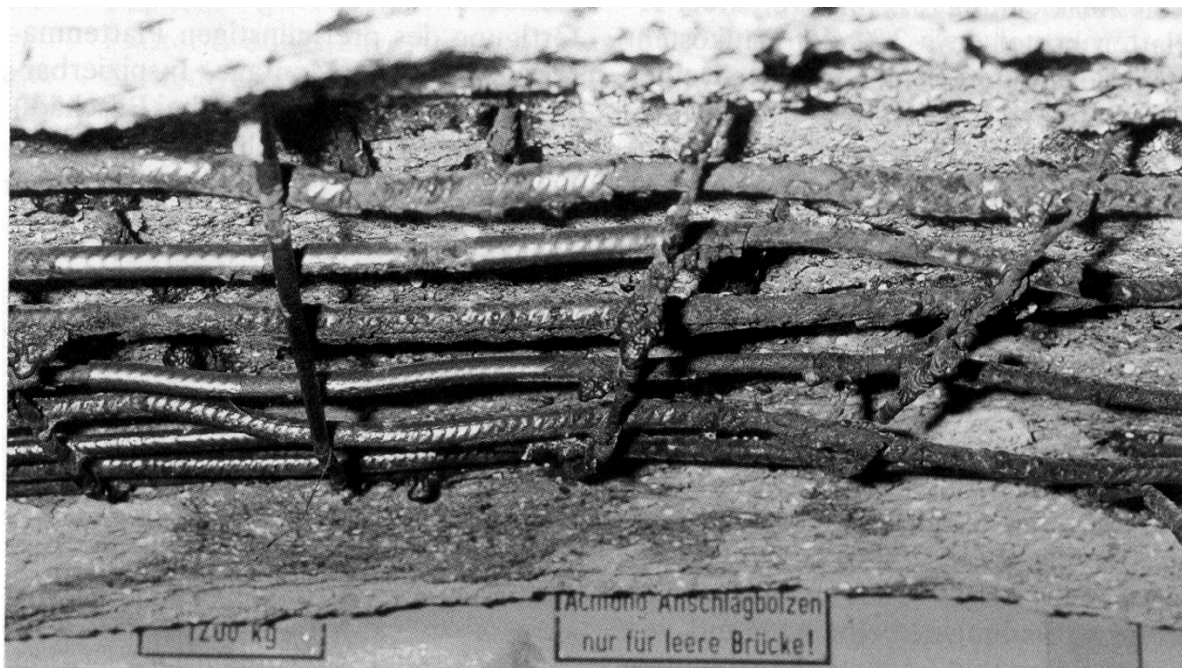
Obr. 1 Teplotné krivky podľa štandardov RWS, HCM a ISO

Fig. 1 Temperature versus time curves for RWS, HCinc and ISO standards

3 Porušenie konštrukcií

Šokové tepelné namáhanie nechránenej betónovej konštrukcie spôsobuje jej deštrukciu. Zjednodušene možno deštrukciu betónu popísať nasledovne:

- Premena fyzikálne viazanej vody na paru. Pri fázovej premene z kvapaliny na plynné skupenstvo narastá objem vody 1700 násobne. Póry v betóne nezabezpečujú dostatok miesta na tak obrovský nárast objemu. V betóne vzniká tlak, ktorý má za následok „odstreľovanie“ (spalling) z povrchu betónu.
- Chemické a mineralogické zmeny v betóne. Rozklad cementového kameňa v kombinácii s tlakom vodnej pary proces deštrukcie urýchľuje. Proces deštrukcie je známy z dostupnej literatúry [5].
- Obnaženie ocelej výstuže, jej trvalá deformácia a strata únosnosti. Výstuž, ktorá bola prehriata na 300 °C sa považuje za znehodnotenú (obr. 2).



Obr. 2 Odstreľovanie betónu počas požiaru spôsobuje vážne poškodenie konštrukcie
Fig. 2 Spalling of concrete during fire causes serious damage to concrete structures

- Deformácie betónovej konštrukcie v dôsledku tepelnej rozťažnosti. Dilatačné škáry nie sú postačujúce na kompenzovanie rozťažnosti spôsobenej požiarom. Zohriatím sa konštrukcia v požiari predĺži o niekoľko desiatok milimetrov. Ak nemá kam dilatovať, vzniká v nej ďalšie napätie a deštrukcia.
- Korózia betónu a ocele. Splodiny horenia sú pre betón i oceľ zvlášť agresívne. Napríklad pri horení PVC (izolácie káblov, atď.) vzniká kyselina chlór vodíková, vniká do už porušeného betónu a chemicky sa viaže.

Po požiari v tuneli býva betón zničený do hĺbky 0,3 – 0,4 m. Výstuž prestala plniť svoju funkciu. Odpadajúce kusy betónu zabraňujú hasičom a hasičskej technike vstup do tunela. Rekonštrukcia takto poškodenej konštrukcie je zložitá a náročná.

Nielen betónové konštrukcie trpia v požiari. Niektoré stavebné a aj technologické časti stavby môžu byť rizikové.

- Tesniace systémy v dilatačných škárach. Tunely vedené napríklad pod riekami sú po vyhorení tesnení vystavené riziku zatopenia. Tesniace systémy bývajú zhotovené z horľavých látok. Teplotné kritérium na ich ochranu je preto veľmi prísne, okolo 60 °C.
- Ventilačné potrubia, vzduchovody, vetracie šachty, potrubia na odvod tepla a splodín horenia. Tieto prvky priamo nasávajú splodiny horenia a sú atakované vysokými

teplotami. V závislosti od situácie, môžu byť požiarne zaťažené z vonku, z vnútra, ba niekedy súčasne z oboch strán. Najmä keď odvádzajú teplo a splodiny horenia cez požiarne úsek, v ktorom horí.

- Medzistrop oddeľujúci vetrací kanál od tunelovej rúry. Podobne ako pri potrubiach, požiar môže pôsobiť na konštrukciu súčasne zdola aj zhora.
- Požiarne tesnenia prestupov káblov a rúr cez požiarne deliace konštrukcie. Pri zlyhaní sa požiar rozšíri do iného požiarneho úseku. Napríklad do strojovne technologického zariadenia.
- Požiarne uzávery. Nielen kavalitný výrobok je predpokladom bezpečnosti, ale aj správne zabudovanie a prevádzkovanie.

4 Požiarne odolnosť betónových konštrukcií

Požiarne odolnosť betónových konštrukcií pre pozemné stavby sa preukazuje skúškami podľa skúšobných noriem EN rovnako v calej EÚ. Obvyklé tepelné namáhanie je normovou teplotnou krivkou (ISO). Výsledkom sú klasifikácie s kritériami R (nosnosť), E (celistvosť), I (izolácia) a časom t_t [2]. Podľa toho či sa jedná o nosné alebo nenosné konštrukcie a či sú požiarne deliace.

Konštrukcie tunela nie sú typickými požiarne deliacimi konštrukciami. Cieľom ich ochrany je zabrániť poškodeniu konštrukcií. K tomu je dôležité zabezpečiť pomalé ohrievanie betónu namiesto šokovej záťaži. Tým sa zabráni odstreľovaniu častí betónu. Oceľová výstuž, aby si zachovala svoju funkciu, nesmie byť prehriata nad určitú teplotu. Napomáha tomu krytie výstuže betónom, ale len v prípade ak sa betón nepoškodí.

Preto sa betónové konštrukcie skúšajú a hodnotia inak pre tunely ako pre pozemné staviteľstvo, navyše za náročnejších podmienok podľa tunelových kriviek.

Skúšobné postupy ani kritéria tunelových konštrukcií nie sú harmonizované, avšak postupne sa dospelo k niekoľkým metódam, ktoré sú si blízke a reprezentujú hlavný prúd. Merajú sa teploty na povrchu betónu, teda pod izoláciou a tiež teploty v stanovenej hĺbke betónu, čo reprezentuje teplotu výstuže.

Rijkswaterstraat (RWS)

Holandský úrad Rijkswaterstraat vydal už v roku 1998 dokument GT-98036 [6], v ktorom boli popísané postupy preukazovania. Tieto boli prijaté širokou odbornou verejnosťou a zavedené do technických požiadaviek na tunely v rôznych projektoch.

Základné kritéria

- teplotná krivka: RWS
- teplota na povrchu betónu: 380 °C
- teplota v hĺbke 25 mm: 250 °C.

Efectis

Skúšobný postup Efectis R0695 je doplnením a upresnením postupu Rijkswaterstraat GT-98036. Princíp ostal nezmenený. Navyše sa sleduje a preukazuje spalling.

Základné kritéria

- teplotná krivka: RWS
- teplota na povrchu betónu: 380 °C
- teplota v hĺbke 25 mm: 250 °C
- spalling nie je dovolený.

NFPA 502

Vydanie normy [8] z roku 2008 upresňuje niektoré požiadavky.

Základné kritéria

- teplotná krivka: RWS, 120 minút
- teplota na povrchu betónu: 380 °C
- teplota v hĺbke 25 mm: 250 °C
- prvky musia byť chránené tak, aby zabránili spallingu.

ÖVBB

Rakúsky inštitút pre betón a stavebnú techniku vo svojom dokumente [9] rieši ochranu betónu omietkami a doskami.

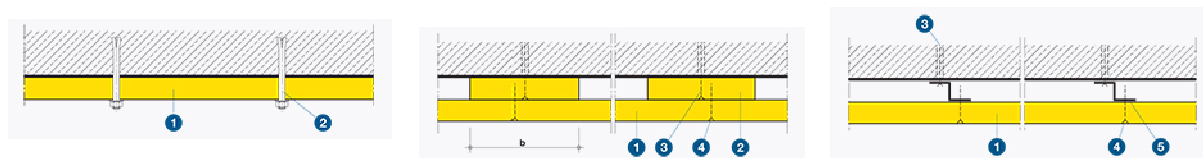
Základné kritéria

- teplotná krivka RWS, 180 minút
- teplota na povrchu betónu: 350 °C
- teplota v hĺbke 40 mm: 250 °C
- prvky musia byť chránené tak, aby zabránili spallingu.

Z uvedeného prehľadu je zrejماً príbuzosť stanovených kritérií. Vo viacerých krajinách sa požaduje skúška podľa RWS krivky (Rakúsko, Holandsko, UK, USA). V niektorých krajinách (Francúzsko) sa preferuje modifikovaná uhl'ovodíková krivka HCM. Princíp skúšania je rovnaký.

5 Obklad betónu protipožiarnymi doskami PROMATECT

Betónové konštrukcie sa chránia obkladom protipožiarnymi doskami. Používa sa jeden z dvoch typov dosiek: PROMATECT-H alebo PROMATECT-T. Obklad sa môže montovať priamo na betónovú konštrukciu, alebo pomocou podkonštrukcie.



Obr. 3 Priama a nepriama montáž obkladu
Fig. 3 Direct and undirect installation to the lining

Požiarna odolnosť obloženej konštrukcie je závislá od typu a hrúbky dosky a tiež od metódy testovania a kritérií, ktoré sa majú splniť.

Protipožiarne dosky sú priamo vystavené vplyvom okolia, preto musia spĺňať okrem protipožiarnych vlastností aj niektoré ďalšie požiadavky. Typické požiadavky sú:

- **Dynamické zaťaženie.** Vozidlá prechádzajúce cestným alebo železničným tunelom spôsobujú pretlak a podtlak. To predstavuje dynamické zaťaženie vibráciami. Pre jednotlivé kategórie tunelov sú definované rôzne stupne dynamického zaťaženia. Najvyššia hodnota je určená pre železničné tunely IC a ICE, a to ± 10.000 Pa. V laboratóriu sa testovali vzorky až na 600.000 cyklov zaťaženia pretlakom a podtlakom.
- **Statické zaťaženie.** Na doskách sa stanovuje pevnosť najmä v ťahu za ohybu.
- **Vodonepriepustnosť, mrazuvzdornosť, odolnosť proti soliam.** Tieto vlastnosti sa sledujú štandardnými postupmi známymi zo skúšok betónu, resp. podľa EN 492.

- **Odolnosť proti oderu.** Obklad musí odolávať čistiacim zariadeniam používaným pri pravidelnom čistení tunelom. V laboratórnych podmienkach sa používa tzv. Taber-test. Pre overenie v praxi boli dosky PROMATECT 5 rokov namontované v Elbtuneli v Hamburgu a vystavené o.i. aj pravidelnému čisteniu.
- **Odolnosť proti chloridom a sulfátom.** Vyhodnocovali sa laboratórne skúšky, ako aj vystavené vzorky (podľa predchádzajúceho odseku).

6 Ochrana betónu omietkami PROMASPRAY

Betón je možné chrániť aj protipožiarnou omietkou PROMASPRAY FMII (starý názov Cafco FENDOLITE MII). Je to stredne ťažká omietka na báze cementu. Vytvára na betóne pevnú izolačnú vrstvu bez trhlín. Chráni betón pred tepelným šokom. Požiarna odolnosť je úmerná hrúbke vrstvy omietky, dosahuje 240 minút. Testovaná bola podľa viacerých štandardov zaťažená krivkami RWS, HCM, UL a inými.

Omietku je možné použiť na konštrukcie rôznych tvarov, aj nepravidelných. Nerovný podklad nie je problémom. Výhodou mokrej metódy je, že sa nepoužívajú žiadne spojovacie materiály, netreba vrtáť otvory a osadzovať kotvy. Tým, že nie sú použité žiadne kovové prvky, nie je problém s koróziou.

Na omietku sa po aplikácii naniesie povrchový náter. Náter zabezpečuje omietke dlhú životnosť, ale aj odolnosť proti agresívnym prostrediam. Náter Topcoat sa dodáva šedý alebo biely.

7 Ochrana inštalácií

Vetranie a odvod tepla a splodín horenia

Výhodné je používať tzv. samonosné potrubia s požiarnou odolnosťou. Zhotovujú sa zmontovaním protipožiarnych dosiek bez plechového potrubia. Testované sú aj veľké prierezy potrubí a sú vhodné aj pre vysoké hodnoty podtlaku.

Plechové potrubie je možné chrániť obkladom. Avšak plechové potrubie sa zohrievaním deformuje a navyše má veľkú dĺžkovú rozťažnosť. Preto je použitie plechového potrubia limitované, najmä fyzikálnymi zákonmi.

Betónové vetracie prieduchy sa chránia obkladom doskami rovnako ako nosné konštrukcie. Medzistrop oddelujúci tunelovú rúru od vetracieho kanála je v požiari namáhaný od spodu. Prirodzené chladenie sálaním na odvrátenej (hornej) strane nie je možné. Sú tade odvádzané teplo a splodiny hornia. To môže spôsobiť rýchlejšie prehriatie a kolaps konštrukcie. Po analýze sa zvykne lokálne chrániť časť konštrukcií okolo nasávacích otvorov v medzistroke.



Obr. 4 Izolácia VZT potrubia. Tunel Branisko
Fig. 4 Air duct insulation. Tunnel Branisko

Tesnenie prestupov káblov

V moderných tuneloch je bohaté technologické vybavenie. Veľké množstvo káblov prestupuje cez požiarne deliace konštrukcie z rôznych technologických priestorov. Prestupy je potrebné utesniť s požiarnou odolnosťou EI tak, aby sa požiar nerozšíril do iného požiarneho úseku. Ak sa požaduje utesnenie len nehorľavými materiálmi, vylúčené sú všetky napeňujúce hmoty, ako tmely a nátery. V tom prípade sa používa na utesnenie protipožiarne malta.

Káblové trasy

Káble môžu byť vedené v samostatných kanáloch a šachtách zhotovených z dosiek PROMATECT. Rozlišuje sa, či sa predpokladá požiar z vnútra alebo z vonku kanála. Pri požiari z vnútra hovoríme o inštalačných kanáloch podľa STN EN 1366-5. Cieľom je, aby sa požiar káblov nerozšíril do okolia. Naopak, pri požiari z vonku chránim káble pred požiarom, pričom prioritnou požiadavkou je funkčná schopnosť káblového systému v podmienkach požiaru. Káble umiestnené v tunelovej rúre môžu byť vystavené uhl'ovodíkovému požiaru. V takom prípade sa obklad káblov môže dimenzovať podľa RWS krivky.



Obr. 5 Izolácia ovládacích káblov žalúzií v medzistropě. Tunel Branisko
Fig. 5 Shutter control cable insulation. Tunnel Branisko



Obr. 6 Obklad betónových konštrukcií v tuneli vo Viedni
Fig. 6 Clading of concrete structure in tunnel in Vienna

8 Záver

Pri návrhu požiarnebezpečnostného riešenia stavby tunela je potrebné okrem ochrany ľudských životov prihliadať aj na ochranu stavebného diela.

Tunelové konštrukcie sú požiarom atakované viac ako konštrukcie stavieb v PS. V projekte je potrebné vyšpecifikovať požiadavky na konštrukcie. Niektoré z nich je zmysluplné chrániť na zaťaženie podľa RWS alebo HCM krivky.

Požiadavky na požiarnu odolnosť konštrukcií tunelov v SR stanovujú technické podmienky [10]. Požiadavky v technických podmienkach možno chápať ako minimálne. V konkrétnych prípadoch je potrebné vyhodnotiť riziká požiaru v tuneli v zastavanom území na okolité stavby.

9 Zoznam použitej literatúry

1. Zákon 314/2001 Z.z. o ochrane pred požiarimi.
2. STN EN 13 501-2 +A1 Klasifikácia požiarnych charakteristík stavebných výrobkov a prvkov stavieb. Časť 2: Klasifikácia využívajúca údaje zo skúšok požiarnej odolnosti (okrem ventilačných zariadení).
3. Internet, <http://tunnels.piarc.org/cs/reakce-na-pozar/odolnost-konstrukce.htm>
4. PIARC 05.16.B-2006 Kapitola 7. DESIGN CRITERIA FOR STRUCTURE RESISTANCE TO FIRE
5. Internet, <http://www.promat-tunnel.com>
6. Fire protection for tunnels, GT-98036, Rijkswaterstaat, 1998
7. Fire testing procedure for concrete tunnel linings, R0695, Efectis, 2008
8. NFPA 502, Standard for Road Tunnels, Bridges and Other Limited- Access Highways, 2008 Edition
9. ÖVBB Richtlinie „Erhöhter Brandschutz mit Beton für unterirdische Verkehrsbauwerke“, 2005
10. Technické podmienky, Protipožiarne bezpečnosť cestných tunelov, MDVRR SR