text Jan Pořízek | foto SATRA, spol. s r.o.

Posouzení požární odolnosti velkoplošných uzávěrů tunelu Blanka

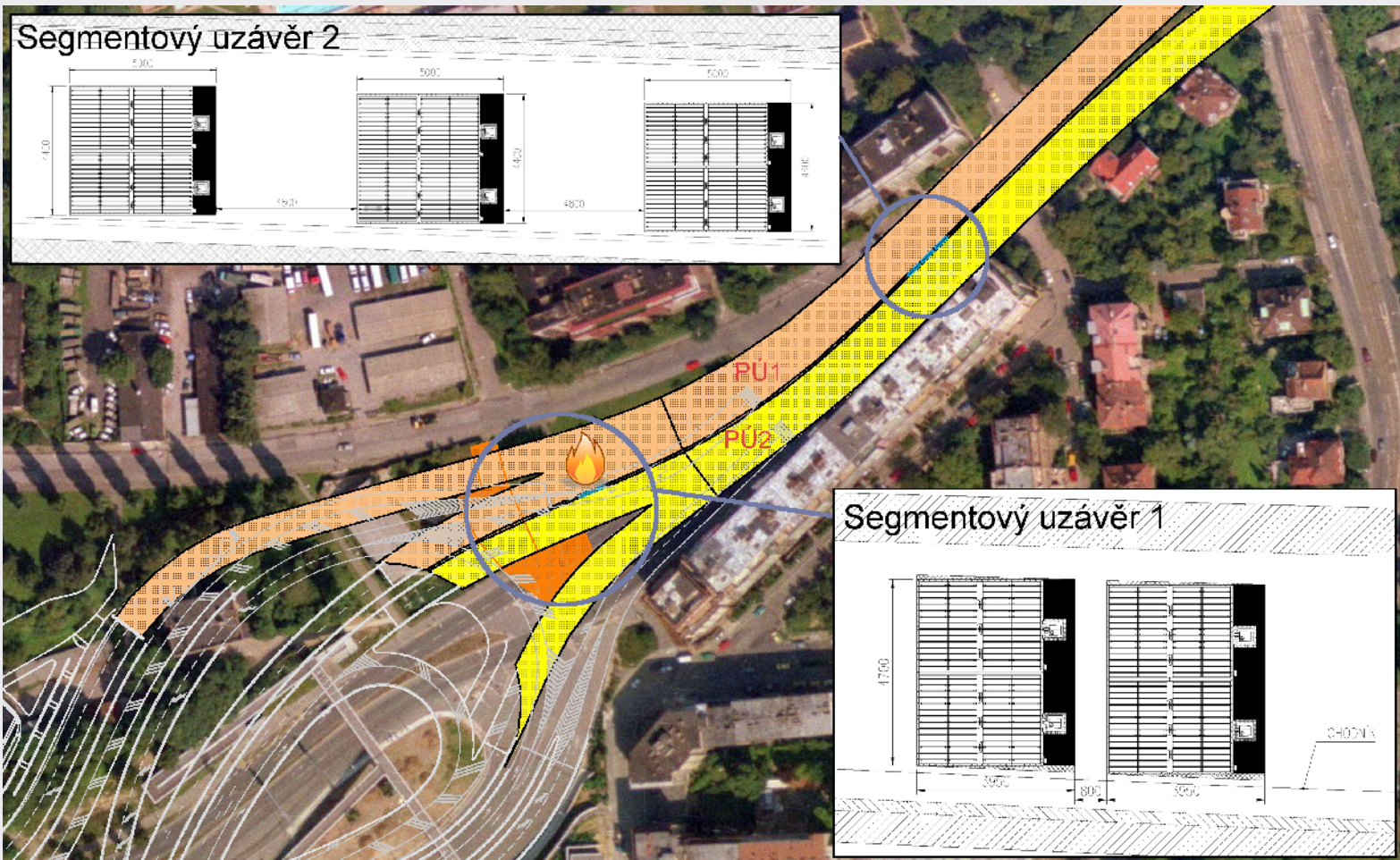
Ing. Jan Pořízek
V roce 2002 dokončil studium oboru Techniky prostředí na Strojní fakultě ČVUT v Praze. V témže roce nastoupil do společnosti SATRA, spol. s r.o. a od té doby zde působí jako projektant větrání a klimatizace. Hlavní náplní je ovšem projektování systémů větrání do automobilových tunelů a podobných podzemních staveb.
E-mail: jan.porizek@satra.cz

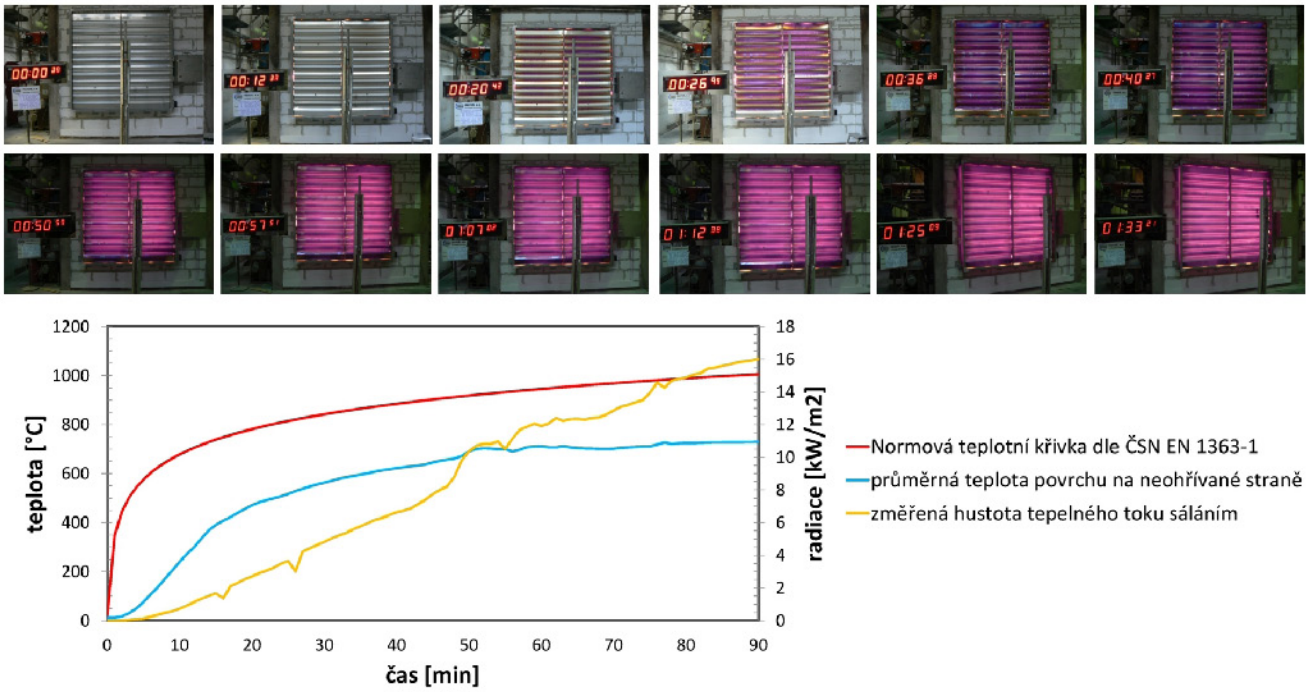
V příspěvku je uveden postup dokladující požární odolnost velkoplošných celoocelových vícelistých uzávěrů ve vztahu k úniku osob z tunelu Blanka při požáru. Tyto uzávěry jsou součástí systému větrání a jsou umístěny na rozhraní dvou nezávislých požárních úseků.

Úvod

Požární a bezpečnostní řešení staveb tunelového komplexu Blanka je nedílnou součástí realizační dokumentace. Normativní členění stavby na požární úseky, chráněné, nechráněné a jiné únikové cesty je určující při hodnocení požární bezpečnosti a charakteru evakuace ohrožených osob z tunelu Blanka při požáru. Toto dělení předepisuje norma ČSN 73 7507 Projektování tunelů pozemních komunikací. Podle tohoto předpisu představuje každá tunelová trouba nezávislý požární úsek, přičemž všechny požární úseky v tunelu a přilehlých prostorech jsou taxativně zařazeny do VII. stupně požární bezpečnosti. Otvory v záchranných cestách mají být podle této normy vybaveny požárními uzávěry v provedení EW 90 SC DP1, přičemž požárně dělicí konstrukce, v nichž se tyto uzávěry vyskytují, mají vykazovat požární odolnost REI 180 DP1. V tunelu Blanka jsou v těchto požárně dělicích konstrukcích především dva typy požárních uzávěrů: únikové dveře s panikovým kováním a samozavíracím mechanizmem a požární klapky, jež jsou součástí vzduchotechnických rozvodů. Třetí typ požárního uzávěru představuje velkoplošný segmentový vícelistý uzávěr sloužící pro převod vzduchu z jednoho tunelu do druhého v rámci snižování emisní zátěže vyfukovaným znečištěným vzduchem z výjezdových portálů tunelu do oblasti mimoúrovňové křižovatky Malovanka.

▼ *Obr. 1. Mimoúrovňová křižovatka Malovanka s vyznačenými tunely a jejich portály, povrchovými komunikacemi a dvěma místy s požárními uzávěry v dělicí příčce mezi tunely*





▲ *Obr. 2. Výsledky zkušebního testu uzavíracího segmentu o velikosti 2,1 x 2,1 m podle ČSN 1634-1*

Zkoušení požární odolnosti požárních klapek ve vzduchotechnických rozvodech se provádí podle normy ČSN EN 1366-2 Zkoušení požární odolnosti provozních instalací – požární klapky. Klapka pak podle norem ČSN 73 0804 a ČSN 73 0810 vykazuje, jakožto požární uzávěr, požární odolnost EI (EIS) 60–120 min. Zkoušky požární odolnosti svislých požárních uzávěrů typu dveře se zkouší podle ČSN 1634-1 Zkoušení požární odolnosti a kouřotěsnosti sestav dveří, uzávěrů a otevíravých oken a prvků stavebního kování – Část 1: Zkoušky požární odolnosti dveří, uzávěrů a otevíravých oken. Uzávěr pak vykazuje požární odolnost EW 60–120 min.

Požadavky HZS Praha

S odvoláním na soubor norem s označením ČSN EN 13 501 bylo požadováno, aby uzavírací velkoplošné segmentové uzávěry v otvorech mezi požárními úseky nesly výrobcem dokladované označení EW 90. E přitom představuje schopnost prvku s dělicí funkcí odolávat působení požáru z jedné strany bez přenosu na neexponovanou stranu v důsledku průniku plamenů nebo horkých plynů, které mohou způsobit vznícení neexponovaného povrchu, nebo jakéhokoliv materiálu v jeho blízkosti. Označení W pak znamená schopnost konstrukčního prvku odolávat expozici pouze z jedné strany tak, aby se snížila pravděpodobnost přenosu požáru následkem prostupu významného sálavého tepla jak prvkem, tak i z neexponovaného povrchu prvku na sousední materiály. Prvek má také chránit osoby v jeho blízkosti na nezasažené straně uzávěru.

Technické vlastnosti tunelových klapek

Vybrané vlastnosti klapek typu JFM

Požární odolnost odzkoušena podle:

- BS 476–20, rok 1987, pro horizontální a vertikální instalaci;
- EN 1366-2: 1999, požární klapky.

Vlastnosti:

- netěsnost: 40 l/(s.m^2) při rozdílu tlaků 1125 Pa;
- zkoušený materiál: pozinkovaná nízkouhlíková ocel;
- požadovaný materiál: nerezová ocel 1.4404 chromniklová, austenitická nestabilizovaná molybdenová nízkouhlíkatá podle ČSN 10088-1 1.4404 (X2CrNiMo 17-12-2).

Výrobce byl u těchto uzávěrů schopen doložit požární odolnost protokolem o provedené zkoušce podle normy EN 1366-2: 1999, požární klapky [1], případně podle normy BS EN 1366-2: 1999. Rozdíl mezi harmonizovanou normou ČSN EN 1366-2 a normou BS EN 1366-2 je v nepatrné odchylce průběhů normových teplotních křivek. Na základě výsledků těchto zkoušek vypracoval generální projektant staveb tunelového komplexu Blanka Analýzu požární bezpečnosti při použití těsných tunelových uzavíracích klapek.

Cílem provedené analýzy (kombinací matematicko-fyzikálního modelování a normativního přístupu) bylo prokázat, že navržené tunelové klapky budou, i přesto že principiálně nelze splnit dílčí hodnoticí kritérium podle příslušných norem ČSN EN, v případě požáru plnit funkci uzavíracího prvku v požárně dělicí konstrukci a díky tomu nemůže dojít k ohrožení unikajících osob [2].

Tato analýza byla Odborem prevence HZS Praha pro zvláštní stavby shledána nedostatečnou, přestože hodnoticí kritérium izolace I je přísnější než kritérium radiace W. Z tohoto důvodu se přistoupilo k další etapě důkazového řízení a doložení požární odolnosti splňující kritéria EW 90 velkoplošných uzávěrů.

Doložení požární odolnosti

Nejprve musela být provedena zkouška požární odolnosti podle normy ČSN 1634-1, zabývající se kritériem radiace W (na rozdíl od normy ČSN EN 1366-2). Na základě výsledků z této zkoušky byl vypracován expertní posudek oprávněnou akreditovanou osobou v oboru požární prevence staveb ve spolupráci s akreditovanou zkušebnou. Náplní expertního posudku [3] je přepočet naměřených výsledků zkoušky na skutečný stav v místě osazení požárních uzávěrů podle platných českých nebo harmonizovaných norem. Na závěr byla vypracována souhrnná analýza požární bezpečnosti [4], která

hodnotí evakuaci osob z tunelu ve vztahu k výsledkům uvedeným v expertním posudku.

Zkouška

Podle normy ČSN 1634-1 se při zkoušce sledují charakteristické změny ocelové konstrukce uzávěru, rámu a především listů uzávěru (změna velikosti mezer v referenčních místech po celou dobu zkoušky). Výsledky slouží pro určení celistvosti uzávěru E. Dalším sledovaným parametrem je měřená hustota tepelného toku vlivem sálání (kritérium W). Měření se provádí na neohřívané straně, ve vzdálenosti 1 m proti těžišti plochy uzávěru.
Výsledkem zkoušky jsou časové průběhy závislostí průměrné teploty povrchu uzávěru (v °C) na jeho neohřívané straně a hustoty tepelného toku (kW/m^2), viz obr. 2.

Expertní posouzení v rámci skutečného stavu

Výchozím podkladem pro vypracování expertního posudku byly výsledky zkoušky (viz obr. 2) a požadavky zpracovatele požárně bezpečnostního řešení, týkající se určení odpovídajících teplotních křivek. Výpočet hustoty tepelného toku ze sálající plochy stěnového uzávěru byl proveden pro několik požárních scénářů. Tyto scénáře byly reprezentovány průběhy teplotních křivek normového a pravděpodobného (parametrického) požáru.
Byly hodnoceny následující požární scénáře:

- normová teplotní křivka podle ČSN EN 1363-1;
- uhlovodíková křivka podle ČSN EN 1363-2;
- pravděpodobný požár s parametrem odvětrání F1 = 0,02 m^{-1} podle ČSN 73 0804;
- pravděpodobný požár s parametrem odvětrání F1 = 0,01 m^{-1} podle ČSN 73 0804;
- pravděpodobný požár s parametrem odvětrání F1 = 0,005 m^{-1} podle ČSN 73 0804.

Křivky parametrického požáru byly zvoleny na základě předpokládané vypočítané teploty návrhového požáru (ve smyslu zákona o požární ochraně č. 133/1985 Sb., ve znění zákona č. 186/2006 Sb., kde se v § 99 povoluje použít postup odlišný od toho, který stanoví česká technická norma nebo jiný technický dokument upravující podmínky požární ochrany). Jeho tepelný výkon byl 30 MW (při nuceně řízeném podélném proudění v tunelu). Bylo zvoleno matematicko-fyzikální modelování proudění (CFD) rozšířené o výpočet přenosu tepla a hmoty (viz obr. 3).
Předpokládaný průběh teplot v oblasti přímého hoření plynů návrhového požáru stanovený ve vztahu k jednorozměrným průběhům normových teplotních křivek leží mezi parametrickými teplotními křivkami s parametrem odvětrání F1 = 0,005 m^{-1} a F1 = 0,01 m^{-1}. Na obr. 4 jsou zobrazena vypočítaná teplotní pole v ose 30 MW při nuceně řízeném požáru a volném proudění vzduchu v tunelu (30 MW a 100 MW). Rychlost podélného proudění ve směru k požáru je přitom regulována na velikost žádané hodnoty 2,6 m/s odpovídající kritické rychlosti proudění. Rozložení teplot plynů v teplotním poli zkušební pece se principiálně liší od rozložení teplot na reálném díle. Podle výpočtu CFD dosahují „okamžité" maximální teploty v třírozměrné oblasti přímého hoření (plamenů) až 1000 °C u 30 MW požáru a lokálně až 1400 °C u 100 MW požáru. Požární uzávěr v tunelu se však ve skutečnosti oproti zkušební peci bude ohřívat nerovnoměrně.
Pro jednorozměrnou aproximaci vypočítaných teplot ve vztahu k volbě normových parametrických křivek byla stanovena jejich průměrná teplota s vyloučením 30 % nejnižších teplot (mezi 150 až 500 °C) ze všech sledovaných teplot v mapovaném poli (viz obr. 4 vlevo). Průměrná teplota požáru vypočítaná po výšce požárního uzávěru v oblasti dosahu plamenů je nižší při řízeném průtoku vzduchu na rozdíl od volného proudění bez regulace podélné rychlosti (viz obr. 3). Výpočet podle dalších teplotních křivek, byl proveden z důvodů posouzení situace, při které dojde k požáru vozidla s nákladem, který představuje vyšší tepelný výkonu, než odpovídá požáru návrhovému.

Závěry vyplývající z expertního posudku [3]

Posuzované kritérium stability (nosnosti) E

Podle ČSN EN 1993-1-2 lze stanovit toto kritérium požární odolnosti pomocí času dosažení kritické teploty oceli podle rovnice:

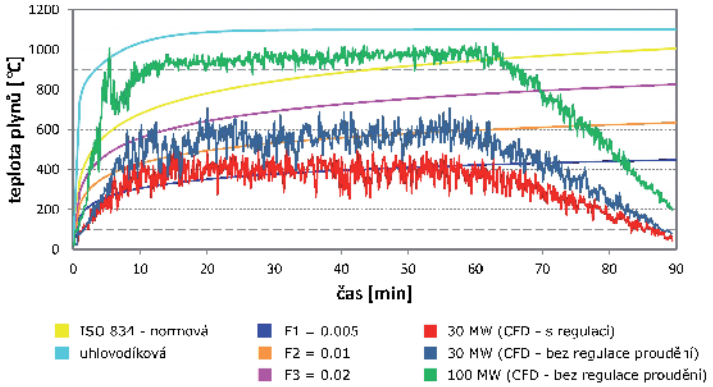
$$\Theta_{a,cr} = 39{,}19 \cdot \ln\left(\frac{1}{0{,}9674 \cdot \mu_0^{3{,}833}} - 1\right) + 482 \approx 1136\ °C \qquad (1)$$

kde $\mu_0 = 0{,}013$

Při působení požáru podle uhlovodíkové křivky činí maximální teplota v 90. minutě T_N = 1100 °C. Pro zajištění stability E90 musí být splněna podmínka:

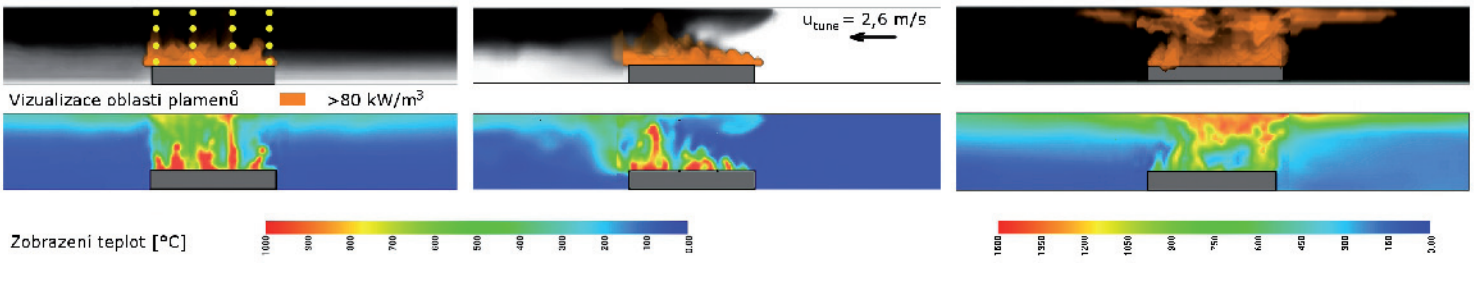
$$T_N \leq \Theta_{a,cr} \quad 1100°C \leq 1136°C$$

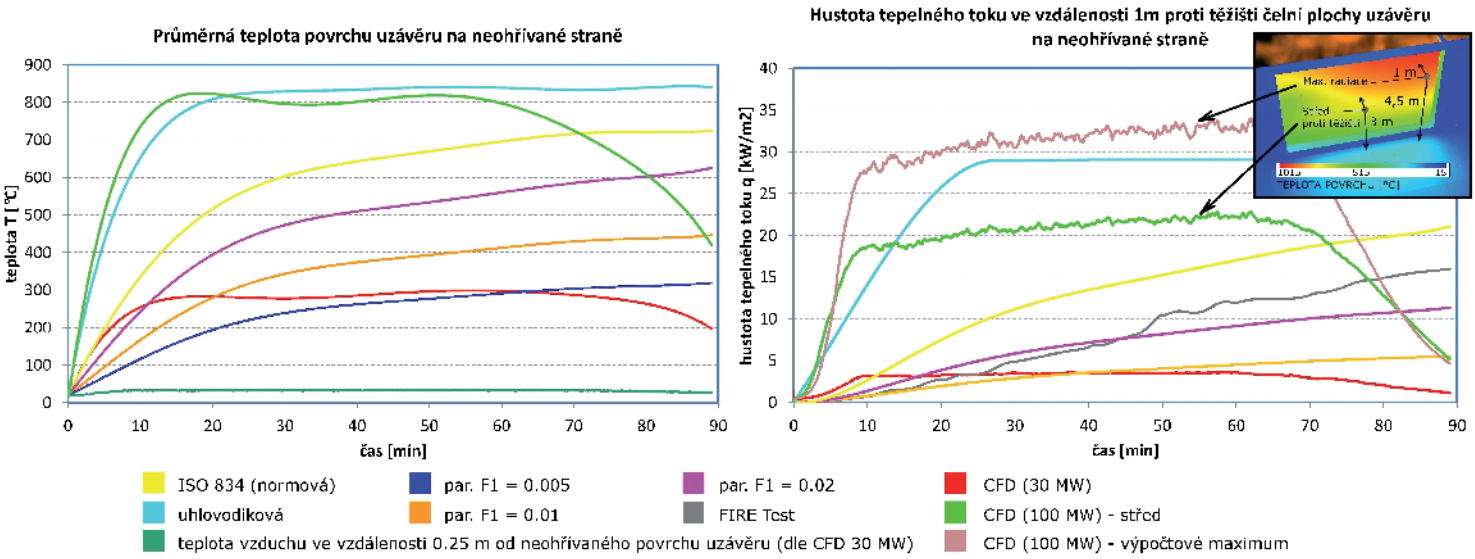
Tato podmínka je splněna, stabilita nechráněných ocelových rámů požárních uzávěrů při působení požáru podle uhlovodíkové křivky po dobu 90 minut tedy vyhovuje.



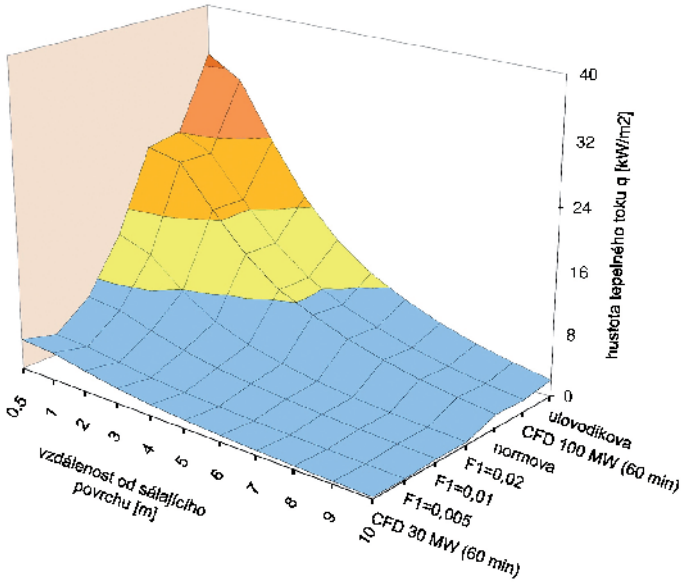
▲ *Obr. 3. Zátěžové teplotní křivky posuzovaných požárních scénářů a stanovený průběh průměrné teploty požáru při scénáři 30 MW a 100 MW pomocí CFD*

▼ *Obr. 4. Zobrazení pole teplot v oblasti plamenů návrhového 30 MW požáru a extrémního 100 MW požáru podle CFD (vlevo: 30 MW – přirozené proudění; uprostřed: 30 MW – řízený průtok přiváděného vzduchu k požáru; vpravo: 100 MW – přirozené proudění)*





▲ *Obr. 5. Výsledné průběhy přepočítaných hodnot průměrné teploty povrchu uzávěru a hustoty tepelného toku na skutečný stav na díle*



▲ *Obr. 6. Graf průběhu stanovené hustoty tepelného toku v závislosti na vzdálenosti od povrchu na neohřívané straně v 90. minutě pro všechny řešené požární scénáře*

Posuzované kritérium radiace W

Maximální hustoty tepelného toku byly stanoveny pro stěnové požární uzávěry, jejichž sálající plochy mají celkové rozměry 6,3 x 4,66 m pro uzávěr 1 a 4,2 x 4,4 m pro uzávěr 2. Hodnoty byly vypočteny v intervalech po 10 minutách, v časovém rozsahu od 0 do 90, v kolmých vzdálenostech proti těžišti sálající plochy: 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 a 5,0 m.

V grafech na obr. 5 jsou vykresleny průběhy průměrné teploty povrchu požárního uzávěru 1 na neohřívané straně a hustoty tepelného toku v čase, spočítané ve vzdálenosti 1 m proti těžišti plochy uzávěru (normou předepsaná vzdálenost při požární zkoušce). Navíc je v grafech pro porovnání se scénářem podle uhlovodíkové křivky také uveden výsledek třírozměrného výpočtu rozložení teploty povrchu uzávěru při 100 MW požáru v 60. minutě včetně dvou míst, ve kterých se sledovala hustota tepelného toku radiací na neohřívané straně. Na obr. 6 jsou tytéž výsledky vykresleny v závislosti na vzdálenosti od neohřívaného povrchu v 90. minutě pro všechny řešené požární scénáře (včetně CFD – max. v 60 minutě). Hranice mezi žlutou a modrou plochou představuje limitní hustotu tepelného toku kW/m^2.

Analýza ohrožení osob při evakuaci z tunelu

Vzhledem k případnému úniku osob prostorem, který je dotčen sálajícím teplem z povrchu uzávěru, byla stanovena bezpečná vzdálenost únikové cesty od sálajícího povrchu do 90. minuty. Míra ohrožení osob a šíření požáru se posuzuje podle zásad uvedených v normě ČSN 73 0810, kapitola 5.3.5. Za hranici bezpečnosti je považována velikost tepelného toku určeného podle rovnice:

$$q = 2{,}95 + 0{,}02(55 - t)^{1{,}5} \qquad \text{kw/m}^2 \qquad (2)$$

kde:

t je čas (s) úniku osob prostorem zasaženým sálavým teplem.

Nejvyšší tepelný tok, kterému může být nechráněná osoba vystavena po dobu 5 s, je 10 kW/m^2.

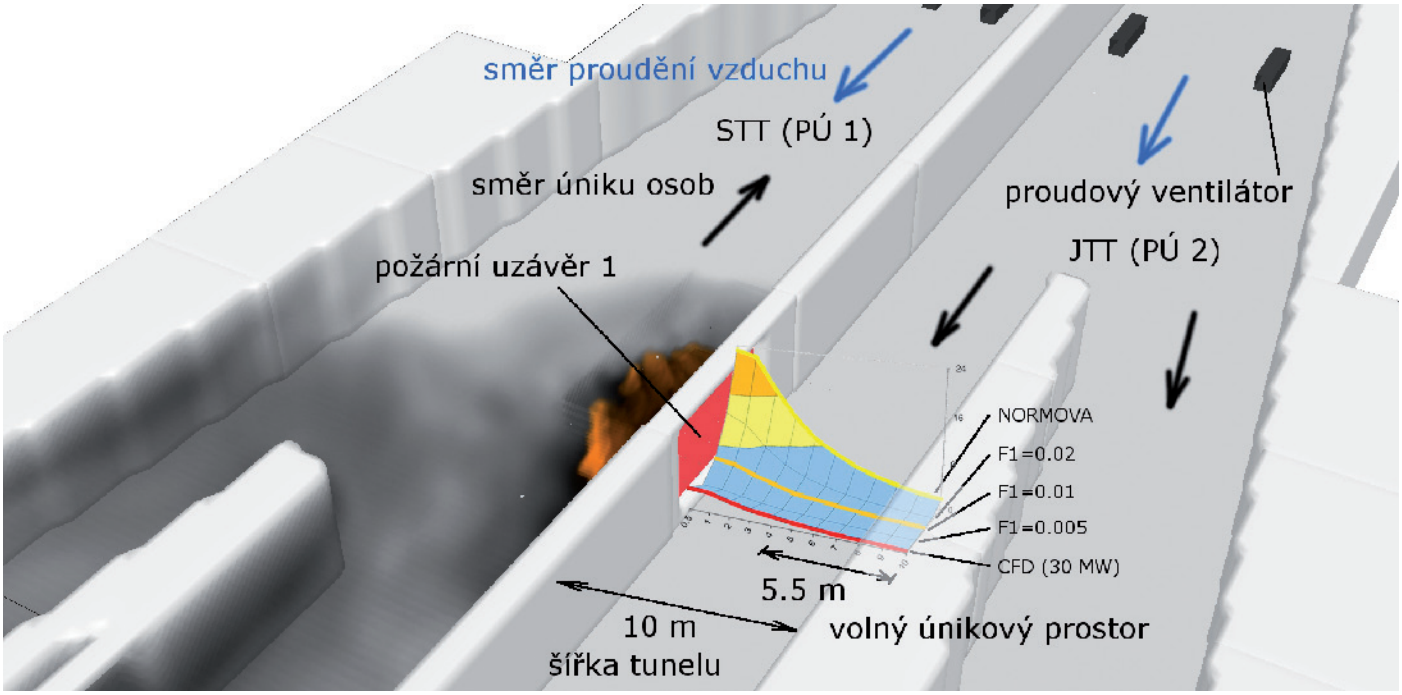
Pro oblast v blízkosti uzavíracího segmentu 1 vychází tento limit na necelých 8 kW/m^2. V případě uzávěru 2 vychází limit hustoty tepelného toku příznivěji, tj. na 9 kW/m^2.

Na obr. 7 je zobrazena posuzovaná situace, kdy dojde ke vznícení vozidla v těsné blízkosti požárního uzávěru 1, přičemž je pro reálnější představu navíc vyznačen směr úniku osob a směr regulovaného proudění vzduchu přiváděného k požáru pouze z jedné strany.

Závěr

Požární uzávěr typu JFM je schopen udržet svou celistvost po dobu 90 minut při požáru odpovídajícímu průběhu jak podle normové, tak i uhlovodíkové křivky. Z výsledků výpočtů je zřejmé, že při všech hodnocených požárních scénářích je vždy část únikové cesty podél uzávěru 1 a 2 na jejich neohřívané straně bezpečně průchodná. Stanovený limit hustoty tepelného toku je i při nejhorším scénáři podle uhlovodíkové křivky překročen u uzávěru 2 ve vzdálenosti cca 4 m od protilehlé zdi a u uzávěru 1 ve vzdálenosti cca 4,5 m. Při hodnocení podle normové křivky vychází pro únik osob bezpečný průchozí prostor o vzdálenosti 5,5 m (viz. obr.7). Při návrhovém 30 MW požáru k překročení bezpečného limitu nedošlo.

Navržené tunelové uzávěry typu JFM v požárně dělicích stěnách mezi dvěma nezávislými požárními úseky splňují požadavek na plnění kritéria požární odolnosti EW 90 tak, že není bráněno bezpečné evakuaci unikajících osob. V okolí uzávěrů na jejich nezasažené straně zbývá dostatečně volný a bezpečný prostor pro evakuaci ve směru



▲ *Obr. 7. Prostorový pohled na místo požárního uzávěru 1 se zakreslenými výsledky hustoty tepelného toku na neohřívané straně v 90. minutě (CFD – 30 MW, maximum HRR v 60. minutě)*

k portálům na mimoúrovňové křižovatce Malovanka. Tento prostor vymezuje hranice nejvyššího tepelného toku, kterému může být unikající osoba po daný časový interval vystavena, a to do takové míry, že nedojde k ohrožení života a zdraví vlivem prostupujícího tepla povrchem segmentového uzávěru.

Tato práce představovala navíc dobrou příležitost porovnat výsledky konkrétního případu řešeného pomocí třírozměrného matematicko-fyzikálního modelu s výsledky získanými pomocí normové metodiky.

Použitá literatura:

[1] Warrington Fire Research, Fire Resistance Test in Accordance with BS EN 1366-2: 1999 on an Uninsulated, Multi-blade Fire Damper (výzkumná zpráva; vypracováno pro společnost TROX® Technik). Warrington, UK, 2002, 12 str., 16 příl.

[2] Pořízek, J.: Analýza požární bezpečnosti v tunelu Blanka při použití těsných tunelových klapek. Tunel, 2011, č. 2.

[3] Karpaš, J.: Stanovení hustoty tepelného toku ze stěnových požárních uzávěrů TROX typu JFM při různých požárních scénářích v časovém intervalu 0–90 minut. Akce: Souhrn staveb MO v úseku SAT – Pelc – Tyrolka (výzkumná zpráva; vypracováno pro společnost TROX® Technik). Praha, PAVUS, a.s., únor 2012, 42 str.

[4] Pořízek, J.: Analýza požární bezpečnosti při použití těsných tunelových uzavíracích klapek společnosti TROX® Technik (výzkumná zpráva). Praha, SATRA, spol. s r.o., 2011, 27 str.

english synopsis

O
T

klíčová slova:
š

keywords:
l

odborné posouzení článku:

l

inzerce