	Specifické posouzení vysoce rizikových podmínek požární bezpečnosti s využitím postupů požárního inženýrství Kód projektu VG20122014074	
Příloha č. **8.2**	**POŽÁRNÍ MODELY**	
Datum vydání/aktualizace: **05. 01. 2014/10. 10. 2014**	Počet stran: **13**	Zpracovatel: **P. Kučera, T. Pavlík, P. Šenovský**

Obsah

Úvod 2

1 Rozdělení modelů požáru 2

2 Výčet matematických modelů vhodných pro praktické použití 4

2.1 OZone 6

2.2 CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport 6

2.3 FDS – Fire Dynamics Simulator 8

3 Praktické využití pokročilých počítačových matematických modelů požárů 9

3.1 Stanovení teploty v prostoru tunelové trouby v rámci ověřování funkčnosti požárního větrání před uvedením stavby do užívání 9

3.2 Technické vyšetřování požáru nočního klubu „The Station“ 10

Použitá literatura 12

Úvod

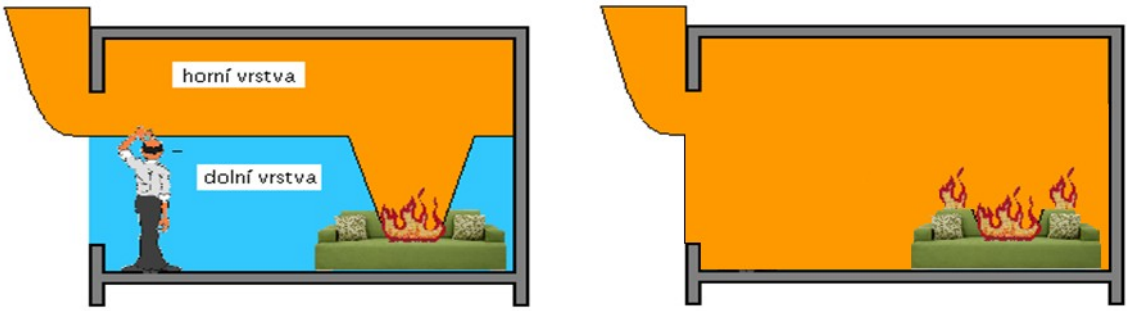
Díky implementaci metod požárního inženýrství do systému řešení a prokazování požární bezpečnosti staveb je možné, zejména u nestandartních nebo zvlášť rizikových případů, postupovat odlišným způsobem, než který stanoví v návaznosti na právní předpisy české technické normy. K správnému a prokazatelnému řešení je nezbytné kvantifikovat průběh a parametry požáru zvoleného požárního scénáře. Právě k tomuto úkolu se využívají modely požáru.

1 Rozdělení modelů požáru

Matematické modely požáru řeší úlohy (požární scénáře) pomocí matematických rovnic, přičemž průběh požáru je určen fyzikálními a chemickými ději. Podle jejich komplexnosti se rozdělují do tří základních skupin – zjednodušené výpočtové modely, zónové modely a CFD modely, označované také jako modely typu pole.

Zjednodušené výpočtové modely (algebraické modely) jsou jednodušší modely realizované např. v tabulkových procesorech. Příkladem je software *Fire Dynamics Tools* (FDTs) vytvořený U. S. Nuclear Regulation Commision [11]. Software je vytvořený v MS Excel.

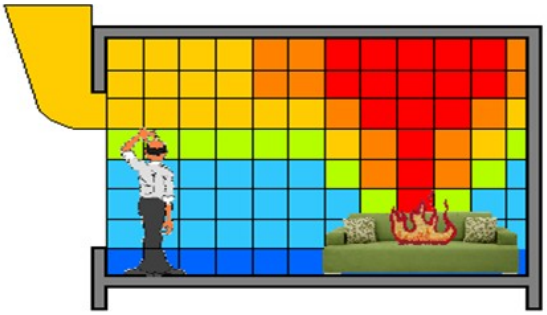
Zónové modely rozdělují řešený prostor na homogenní vrstvy neboli zóny, kde každá vrstva má stejnoměrnou hustotu, teplotu a koncentraci plynů. Nejčastěji je prostředí požáru simulováno pomocí dvou zón – dolní, relativně studené vrstvy a horní horké vrstvy kouře, přičemž při dosažení podmínek celkového vzplanutí je pak požár modelován pomocí jediné zóny (viz Obr. 1). Výhodou zónových modelů je zejména jednoduchost jejich řešení (výpočty totiž probíhají mezi malým počtem kontrolních objemů) a s tím spojená nenáročnost na hardware a čas potřebný k výpočtům.



Obr. 1 – Základní princip zónových modelů požáru (vlevo dvouzónový a vpravo jednozónový model)

CFD modely (též nazývané modely typu pole) využívají technologii *„computational fluid dynamics“*. V češtině se označují též jako výpočetní dynamické modely kapalin a plynů [16]. Princip těchto modelů spočívá v rozdělení řešeného prostoru na velké množství kontrolních objemů, tzv. buněk (obvykle ve tvaru krychle), mezi kterými jsou řešeny rovnice zachování

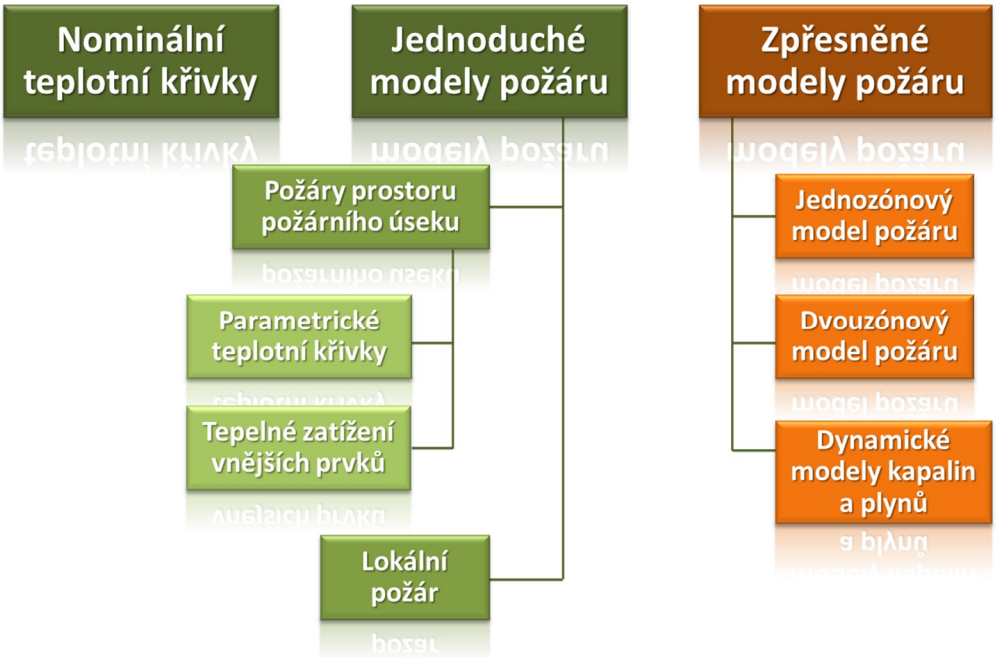
hmoty, energie, hybnosti a částicového složení (viz Obr. 2). Výhodou CFD modelů je zejména schopnost řešit sofistikovanější případy, při kterých již zjednodušení zónových modelů nelze aplikovat. Jejich nevýhodou je časová náročnost výpočtů (v řádu hodin až dnů) a požadavky na hardware.



Obr. 2 – Základní princip CFD modelu

Obdobné členění modelů požáru lze nalézt i v ČSN EN 1991-1-2. Při stanovení tepelného zatížení podle této normy je možno kromě nominálních teplotních křivek postupovat i s využitím přirozených modelů požáru [15], [16]. Přirozené modely jsou v normě dále členěny dle své sofistikovanosti na jednoduché a zpřesněné. Struktura členění matematických modelů dle Eurokódu viz Obr. 3.

Se zpřesněnými modely požáru je spojen převážně specializovaný software pro matematické modelování požáru. V informativní příloze D ČSN EN 1991-1-2 jsou stanoveny základní předpoklady a rovnice pro výpočet teploty plynů pomocí těchto modelů, včetně např. konkrétních podmínek pro přechod dvouzónového modelu požáru na jednozónový v případě celkového vzplanutí v posuzovaném prostoru (flashoveru).



Obr. 3 – Struktura členění modelů pro výpočet teploty plynů dle Eurokódu

2 Výčet matematických modelů vhodných pro praktické použití

V rámci projektu byl proveden základní výčet deterministických matematických modelů, které jsou vhodné k praktickému použití (viz Tab. 1). U jednotlivých programů byla mimo jiné sledována jejich aktuálnost (poslední verze) a skutečnost, zda jsou svými tvůrci stále vyvíjeny, případně aktualizovány. Zmiňovány jsou pouze modely, ke kterým je dostupná zpráva o jejich validaci a verifikaci.

Následuje podrobnější popis softwaru *OZone*, *CFAST* a *Fire Dynamics Simulator (FDS)*, včetně příkladů jejich případného využití v ČR. I když vývoj prvního z uvedených programů byl již ukončen, zůstává stále zajímavý díky svému určení a dále také vzhledem ke své české lokalizaci. Programy CFAST a FDS jsou uváděny z důvodu jejich velkého rozšíření a široké použitelnosti. V rámci projektu bylo vytvořeno nové uživatelské rozhraní pro CFAST, díky kterému bude možné jeho využití bez nutnosti znalosti cizího jazyka.

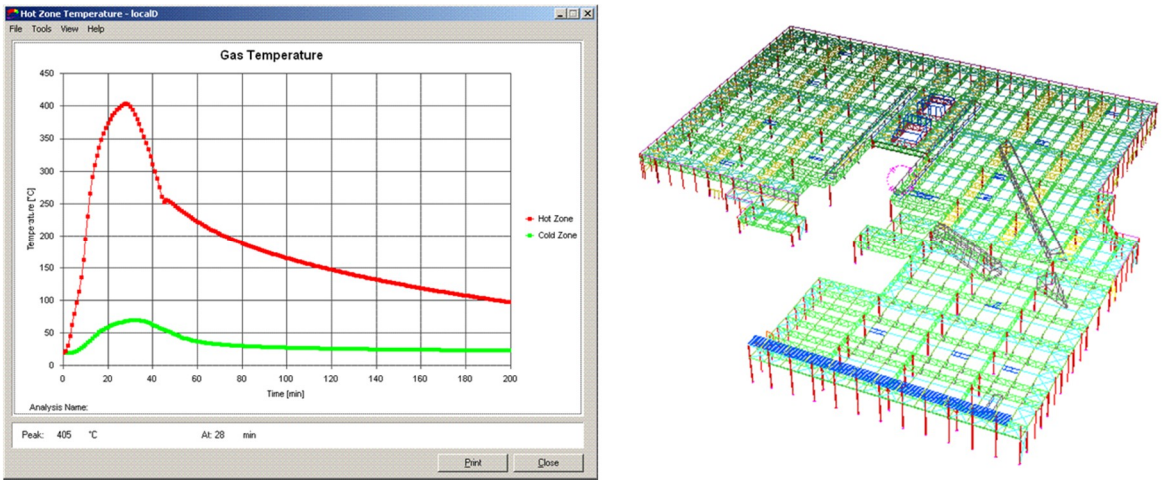
Tab. 1 – Výčet deterministických matematických modelů požáru vhodných pro praxi

ZÓNOVÉ MODELY		
Název / verze	**Aktualizace / licence**	**Popis / internetový odkaz**
ARGOS 5.8.91	prosinec 2013 komerční	2-zónový (1-zónový v případě nízkého rozdílu teplot vrstev); databáze návrhových požárů i materiálů; rozvoj požáru a jeho šíření až v 10 propojených místnostech; přímé vyhodnocení finančních ztrát při požáru; http://en.dbi-net.dk/argos/
BRANZfire v2012.1	2012 freeware	2-zónový (s možností nastavení 1-zónového); rozvoj požáru a jeho šíření ve více propojených místnostech; submodel rozbití okenních výplní; http://www.branz.co.nz/cms_display.php?sn=74&st=1
CFAST 6.2.0	listopad 2011 otevřený SW	2-zónový; rozvoj požáru a jeho šíření ve více propojených místnostech včetně šachet a chodeb; možnost volby submodelů; vizualizace ve Smokeview; léty prověřený standard http://www.nist.gov/el/fire_research/cfast.cfm
OZone V2.2.5	srpen 2006 freeware	2-zónový model (přechod na 1-zónový po flashoveru); predikce teplot v jedné místnosti se zaměřením na následné posouzení konstrukcí; česká lokalizace (ČVÚT) http://www.argenco.ulg.ac.be/logiciel_EN.php
CFD MODELY (MODELY TYPU POLE)		
Název / verze	**Aktualizace / licence**	**Popis / internetový odkaz**
Fire Dynamics Simulator 6.1.2	září 2014 otevřený SW	CFD model zaměřený na problematiku požáru; vizualizace ve Smokeview; přídavné balíčky a nadstavby – Pyrosim, FDS + EVAC http://fire.nist.gov/fds/index.html
Phoenics	komerční	univerzální CFD software řešící úlohy zahrnující proudění tekutin, spalování, přenos hmoty a energie http://www.cham.co.uk/
ANSYS Fluent	komerční	univerzální CFD model http://www.ansys.com/Products/Simulation+Technology/Fluid+Dynamics/ANSYS+Fluent
Smartfire V4.1	komerční	CFD model zaměřený na problematiku požáru; možnost importu dat do SW buildingEXODUS http://fseg.gre.ac.uk/smartfire

2.1 OZone

Software OZone je matematický model požáru vyvinutý na Univerzitě v Liege [1]. Umožňuje predikci teplot v jedné místnosti (v jednom prostoru) se zaměřením na následné posouzení požární odolnosti ocelových konstrukcí v souladu s Eurokódy. Jedná se o 2-zónový model, přičemž při dosažení přednastavených hodnot představujících podmínky celkového vzplanutí (případně dle podmínek nastavených uživatelem), dochází k přechodu na 1-zónový model.

Příkladem praktického použití programu OZone je zhodnocení ocelových nosných konstrukcí nástavby obchodního centra FUTURUM v Hradci Králové [13]. Teplota ocelové konstrukce v třicáté minutě byla stanovena právě na základě modelování požáru pomocí tohoto programu (viz Obr. 4).



Obr. 4 – Výstup modelování požáru pomocí softwaru *OZone* – teplota horní a dolní vrstvy (vlevo); model posuzované ocelové konstrukce (vpravo) [13]

OZone je uživatelsky příjemný program, ke kterému je možné navíc nainstalovat českou lokalizaci [17]. Jeho nevýhodou je však jednostranné zaměření na navazující posuzování konstrukcí za požáru; program např. neumožňuje modelovat šíření a pohyb zplodin hoření mezi jednotlivými místnostmi, velmi limitovaný je i způsob zadávání návrhového požáru (pomocí rychlosti uvolňování tepla definované přímo nebo vypočtené dle ČSN EN 1991-1-2).

2.2 CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport

CFAST je 2-zónový model požáru určený k výpočtu rozvoje požáru a jeho šíření ve více propojených místnostech včetně šachet a chodeb [12]. Bývá označován jako „prověřený standard“ mezi zónovými modely požáru, mimo jiné díky dlouhodobému vývoji od 90. let minulého století a rozsáhlé validaci [6].

Oproti programu OZone je hlavní výhodou CFAST možnost vytvářet dispozici modelovaného objektu, tedy jednotlivých místností včetně jejich propojení a simulovat mezi nimi šíření požáru. Mnohem sofistikovanější je také možnost zadávání návrhových požárů, které lze definovat vlastními hodnotami v závislosti na čase, pomocí rovnic t-kvadratického požáru

nebo lze využít přednastavenou databázi. Jednotlivých ložisek požáru může být více, což umožňuje simulovat postupné hoření jednotlivých předmětů s rozvojem požáru v čase. Vizualizace výsledků modelování je umožněna pomocí programu *Smokeview*.

Zdrojové kódy (v jazyku FORTRAN 90) jsou hostovány v repozitářích Google Code [10]. Matematický aparát balíku programů CFAST je popsán ve standardu NIST SP 1026 [3].

Dokumentace samotná včetně údajů k verifikaci je udržována ve stejném repozitáři zdrojových kódů tak, aby skutečně odpovídala poslední verzi modelů.

Vstupní údaje:

- rozměry požárního úseku,
- stavební materiály úseku,
- vlastnosti materiálů (např. tepelná vodivost, specifické teplo, hustota),
- rozměry a pozice horizontálních a vertikálních otvorů jako jsou okna a dveře, popř. ventilace,
- specifikace mechanické ventilace,
- vlastnosti požáru (např. rychlost uvolňování tepla, spodní mez kyslíku, apod.),
- specifikace hlásičů požáru a sprinklerů,
- pozice, velikost a charakteristiky targetů (virtuálních detektorů).

Výstupy:

Podmínky v místnosti (jako teplota vrstvy horkých plynů; koncentrace kyslíku a kouře; teploty stropu, stěn a podlahy).

- přenos tepla na stěny popřípadě jiné cíle,
- intenzita požáru a výška plamene,
- rychlost proudění plynů otvory,
- aktivační časy hlásičů požáru a sprinklerů.

Samotné jádro výpočetního programu CFAST je realizováno jako tzv. konzolová aplikace – ovládá se tedy z příkazové řádky. Z tohoto důvodu se společně s CFAST využívá také externí grafické uživatelské rozhraní (GUI) umožňující vstupní požadavky specifikovat pohodlně v grafickém režimu. GUI pracuje tak, že na bázi vstupů uživatele vygeneruje definiční soubor popisující zájmové prostory a scénáře. Tento soubor následně zašle jádru CFAST ke zpracování. CFAST vygeneruje soubory s výsledky, které GUI zpětně importuje do svého rozhraní, pro jednodušší interpretaci.

CFAST je distribuován společně s GUI *CEdit* vyvinutým přímo v laboratořích NIST. V České republice je vyvíjeno na Fakultě bezpečnostního inženýrství VŠB – TUO nové rozhraní, které je přizpůsobeno pro rychlejší definici vstupů modelu, obsahuje rozšířenou kontrolu konzistence zadávaných údajů a je lokalizováno do češtiny.

2.3 FDS – Fire Dynamics Simulator

FDS je CFD model dlouhodobě vyvíjený americkým Národním institutem pro normalizaci a technologii (NIST) [6], [9]. Program je zaměřený na problematiku pyrolýzy, přenosu tepla a produktů hoření, šíření plamenů po povrchu a interakci s požárně bezpečnostními zařízeními (detekce, hašení stabilním hasicím zařízením). Vizualizace je umožněna stejně jako u softwaru CFAST pomocí programu Smokeview. K softwaru jsou k dispozici i další komerční i nekomerční přídavné balíčky a nadstavby, jako např. Pyrosim (komfortní uživatelské rozhraní umožňující pohodlnější programování vstupního souboru) nebo FDS + EVAC (implementace evakuace osob).

Matematický aparát modelu popisuje norma *NIST SP 1018-5* [8]. Zabývá se:

- rovnicemi přenosu hmot,
- transportním momentem a tlakem,
- hořením,
- tepelným sáláním,
- pevnou fází,
- Lagrangiánovým modelováním rozptylu částic,
- zařízeními pro detekci požáru,
- vytápěním, ventilací a regulací teploty.

V *příloze C NIST SP 1018-5* je pak zpracován zjednodušený model zhášení plamene.

Vstupní parametry:
Numerická síť, okolní prostředí, geometrie budovy, vlastnosti materiálů, kinetika hoření a požadované množství výstupů. Všechny geometrické charakteristiky modelovaného prostoru musí být zachyceny numerickou sítí. Objekty, které jsou menší než buňka této sítě, musí být buď aproximovány buňkou, nebo musí být vynechány. Materiály jsou definovány svou tepelnou vodivostí, specifickým teplem, hustotou, tlouš´tkou a chováním při hoření.

Výstupy:

- teplota plynů,
- tlak a hustota plynů,
- rychlost proudění plynů,
- koncentrace plynů (vodní páry, CO_2, CO, N_2),
- koncentrace kouře a odhad viditelnosti,
- vývoj tepla na jednotku objemu,
- poměr vzduch/palivo,
- hmota kapky vody na jednotku objemu.

Na pevných površích FDS predikuje další veličiny spojené s energetickou rovnováhou mezi plynem a pevnou fází včetně následujících parametrů:

- teplota na povrchu a vnitřní teplota,
- tepelný tok (radiace i konvekce),
- rychlost hoření,
- hmota kapky vody na jednotku plochy.

Globální zaznamenatelné veličiny programem FDS jsou:

- celková rychlost uvolňovaného tepla,
- aktivační časy sprinklerů a hlásičů požáru,
- hmotnostní a energetické toky otvory nebo pevnými látkami.

Program FDS je především díky své dostupnosti velmi rozšířený a i v ČR lze nalézt mnoho příkladů jeho praktického využití, počínaje modelováním šíření požáru ve stavbách tunelů, podzemních hromadných garáží nebo rozsáhlých objektů. V zahraničí je FDS využíván i v rámci vyšetřování požárů, kde napomáhá popsat a vysvětlit neočekávané průběhy požárů, případně podpořit některou z vyšetřovacích verzí.

3 Praktické využití pokročilých počítačových matematických modelů požárů

Obsahem této kapitoly jsou praktické příklady využití matematického modelování požáru z České republiky i zahraničí.

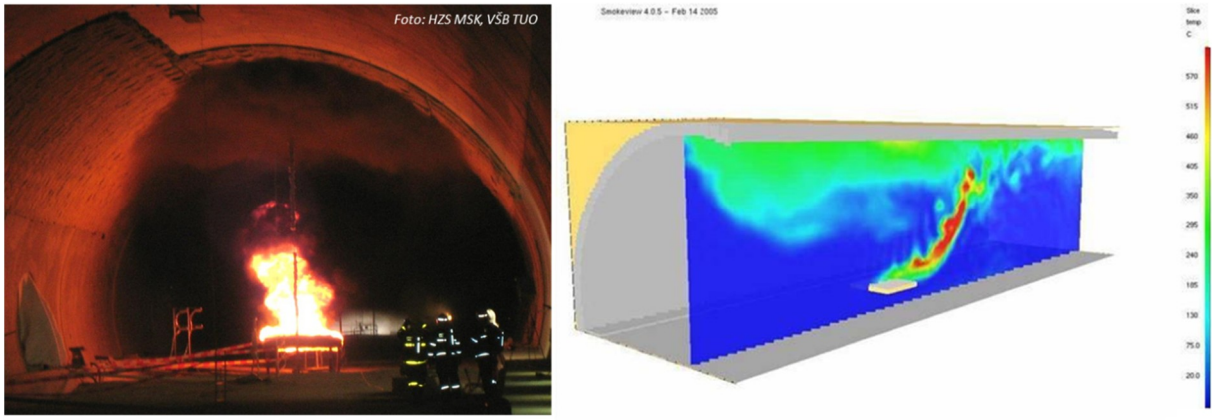
3.1 Stanovení teploty v prostoru tunelové trouby v rámci ověřování funkčnosti požárního větrání před uvedením stavby do užívání

Ve dnech 25. – 26. 5. 2006 proběhla série velkorozměrových požárních zkoušek v jižní tunelové troubě tunelu Valík na dálnici D5 (obchvat Plzně). Cílem těchto zkoušek bylo zejména ověření funkčnosti instalovaného zařízení pro odvod kouře a tepla, včetně srovnání se situací s vypnutým zařízením. Dále měly být získány informace a zkušenosti pro vypracování metodiky pro provádění podobných zkoušek v tělesech tunelů, kterými bude prokazována funkčnost projektového řešení a provedení požárního větrání těchto staveb. Kromě zkoušek se „studeným“ kouřem byly provedeny i dvě zkoušky s reálným energetickým zdrojem o tepelném výkonu 5 MW (170 l automobilového benzínu; plocha 4 m^2 - simulace požáru osobního automobilu) při variantním způsobu větrání tunelové trouby [5].

Požární zkoušky bylo samozřejmě nutné navrhnout a zrealizovat tak, aby nedošlo k poškození stavební části tunelu, zejména betonového ostění v blízkosti zkušebního požáru. Jako ochrana ostění bylo navrženo obložení minerálními rohožemi ORSTECH o tl. 40 mm. Současně byla při FBI VŠB TUO vytvořena pracovní skupina, jejímž cílem bylo provést prognózu maximálních teplot, kterých může být v tunelu během zkoušky dosaženo. Zkušební požár byl modelován jako prostý hořák o předepsané ploše a tepelném výkonu pro dvě varianty rychlosti proudění vzduchu v tunelu (viz Obr. 5). Z časových důvodů musela být přijata značná zjednodušení, zejména z hlediska geometrie tunelu. Využity byly následující

počítačové modely: *Fire Dynamics Simulator 4.0.7, PYROSIM 2006.1, CFAST 6.0.6 a ARGOS 4.11*.

Na základě matematického modelování byla dle zadaných vstupních hodnot stanovena střední nejvyšší teplota plynů v posuzovaném prostoru 190 °C (nezahrnuje krátkodobé skokové odchylky, které se v dílčích částech simulací vyskytovaly a dosahovaly hodnot nad 200 °C). Při zkušebním požáru byly následně naměřeny nejvyšší teploty plynů 195,4 °C při zkoušce se zapnutým větráním a 272,3 °C při druhé zkoušce s opožděně zapnutým větráním [5]. Uvedených maximálních hodnot bylo dosaženo pouze na ojedinělých termočláncích a to po relativně krátkou dobu. Hodnoty naměřené ostatními termočlánky byly zpravidla významně nižší. Shoda mezi predikovanými a naměřenými hodnotami byla posouzena jako přijatelná.



Obr. 5 – Průběh požární zkoušky v tunelu Valík (vlevo) a vizualizace jejího matematického modelování (vpravo) [5]

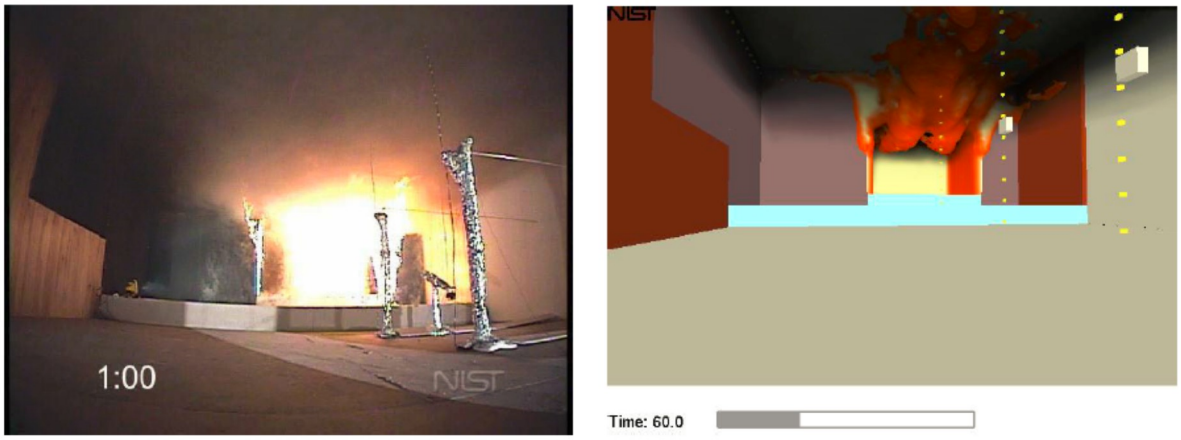
V současnosti má modelování požáru v tunelech význam zejména při jejich projektování. Použití dynamických modelů kapalin a plynů (CFD modelů) umožňuje popsat průběh požáru i v charakteristickém prostředí liniových staveb.

3.2 Technické vyšetřování požáru nočního klubu „The Station“

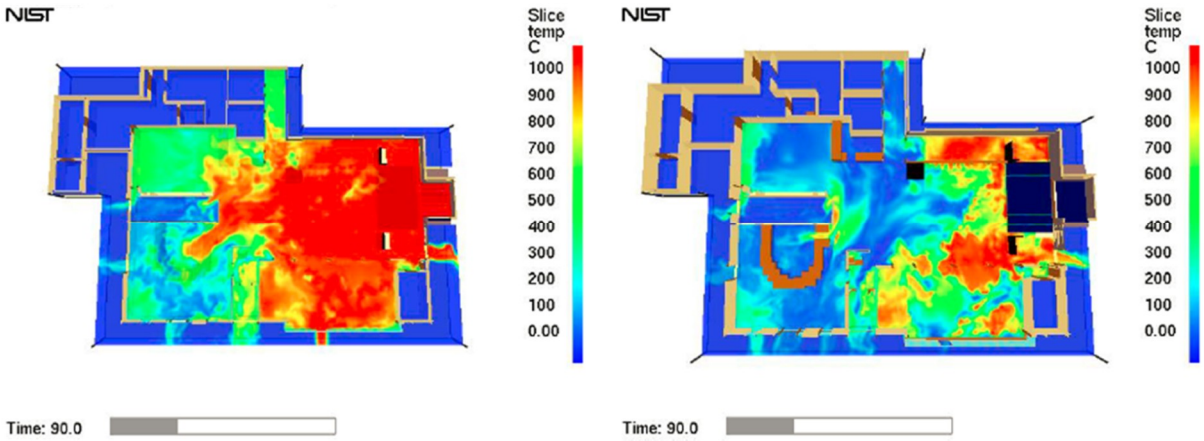
20. února 2003 došlo ve West Warwicku, Rhode Island, během koncertu k požáru objektu nočního (rockového) klubu, který si vyžádal život jednoho sta osob. Klub byl umístěn v jednopodlažním objektu s hořlavým konstrukčním systém o hlavních půdorysných rozměrech (24,2 x 20,9) m a vedly z něj čtyři únikové východy [2]. Požár byl způsoben pyrotechnikou, která byla při koncertu iniciována v prostoru pódia. Přestože byl objekt kromě běžných prostředků požární ochrany, jako jsou přenosné hasicí přístroje, vybaven i elektrickou požární signalizací s teplotními hlásiči, akustickou i optickou signalizací a jednotky požární ochrany dorazily na místo již 5:21 minut po vzniku požáru, byl počet usmrcených osob enormní. Dne 27. 2. 2003 tak vznikla vyšetřovací skupina, jejímž cílem bylo objasnit a identifikovat technické příčiny, které vedly k tak vysokému počtu obětí. Kromě výpovědi

svědků a ohledání požářiště poskytl bezprecedentní informace také kontinuální videozáznam události. Přesto bylo k zjištění všech rozhodujících informací nutno využít matematické modelování, pomocí kterého bylo možné rekonstruovat průběh celého požáru (viz Obr. 6 a Obr. 7).

Pro získání potřebných vstupních dat pro modelování byly provedeny dílčí požární zkoušky a experimenty (Obr. 6), pomocí kterých byly získány požárně technické charakteristiky hořlavých látek a které poskytly i možnost validace výsledků získaných následným matematickým modelováním. Matematické modelování požáru se ukázalo jako účinný prostředek, kterým je možné v rámci vyšetřování požáru pochopit průběh požáru a případně prokázat skutečnosti mající na něj vliv.



Obr. 6 – Porovnání situace na pódiu v 60. sekundě po vzniku požáru; vlevo požární zkouška, vpravo vizualizace výsledků matematického modelování [2]



Obr. 7 – Půdorys objektu s vizualizací teploty v 90. sekundě po vzniku požáru (vlevo ve výšce 1,5 m a vpravo 0,6 m nad podlahou) [2]

V rámci Hasičského záchranného sboru České republiky proběhla v roce 2009 až 2012 z iniciativy příslušníků Zdeňky a Lukáše Foukalových série seminářů zaměřených na problematiku počítačových matematických modelů požáru. Jejich cílem bylo seznámit

vyšetřovatele požáru s těmito modely jako s nástrojem, kterým může být mimo jiné potvrzena nebo vyvrácena příčina vzniku požáru, případně objasněn průběh požáru. Seminář byl určen maximálně pro deset osob a organizován v délce tří dnů. I když byly semináře primárně cíleny na příslušníky zaměřené na vyšetřování požárů, na základě zájmu byla účast umožněna také příslušníkům vykonávajícím stavební prevenci nebo kontrolní činnost. Celkem bylo realizováno osm seminářů, kterých se zúčastnilo více než 60 osob. Obsahem semináře byl jak potřebný teoretický základ, tak praktické řešení jednoduchých příkladů ve volně dostupném, ale zároveň vysoce kvalitním a prověřeném, softwaru CFAST a Fire Dynamics Simulator.

Při technickém ústavu požární ochrany Praha se matematickým/počítačovým modelováním požárů a výbuchů v rámci vyšetřování požárů zabývá oddělení výzkumu a vývoje, které je k tomu účelu vybaveno softwarem Smartfire, Fire Dynamics Simulator + PyroSim a FLACS.

Problematika matematického modelování je v současnosti řešena i v *Koncepci požární prevence v České republice do roku 2016* jakožto součást programu č. 2 *Zavedení systému pro posuzování projektů zpracovaných požárním inženýrstvím*.

Použitá literatura

[1] CADORIN, J. F., PINTEA, D., FRANSSEN, J. M. *The Design Fire Tool OZone V2.0 – Theoretical Description and Validation On Experimental Fire Tests.* Université de Liége, département M&S, June 2001.

[2] GROSSHANDLER, W., BRYNER, N., MADRZYKOWSKI, D., KUNTZ, K. *Report of the Technical Investigation of The Station Nightclub Fire*. NIST NCSTAR 2: Vol. I. National Institute of Standards and Technology, 2005.

[3] JONES, W., W. et al. *NIST Special Publication 1026: CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) Technical Reference Guide* [online]. Washington, USA: NIST, 2009. 101 s. Dostupné z: http://www.nist.gov/customcf/get_pdf.cfm?pub_id=861553 [cit. 2012-02-17].

[4] KARLSSON, B., QUINTIERE, J. G. *Enclosure Fire Dynamics*. London: CRC Press LLC. ISBN 0-8493-1300-7.

[5] KUČERA, P., KAISER, R., PAVLÍK, T., POKORNÝ, J. *Inženýrský přístup při řešení požární bezpečnosti staveb.* Sborník přednášek z konference Bezpečnost stavebních objektů 2011, Ostrava, SPBI, 2011, ISBN 978-80-7385-099-9.

[6] KUČERA, P., PEZDOVÁ, Z. *Základy matematického modelování požáru.* Edice SPBI SPEKTRUM 73. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2010. ISBN: 978-80-7385-095-1.

[7] KUČERA P., POKORNÝ J., PAVLÍK T., ŠTĚPÁNÍK D. *Prognóza teplot s využitím požárních modelů a srovnání s reálným experimentem provedeným v tunelu Valík*. Sborník přednášek 15. mezinárodní konference Požární ochrana 2006, Ostrava, SPBI, 2006, s. 207-217, ISBN 80-86634-88-4.

[8] MCGRATTAN, K. et al. *NIST Special Publication 1018-5 "Fire Dynamics Simulator (Version 5)" Technical Reference Guide,2008 Volume 1: Mathematical Model* [online]. Washington, USA: NIST, 2007. 108 s. Dostupné z: http://fds-smv.googlecode.com/svn/trunk/FDS/trunk/Manuals/All_PDF_Files/FDS_Technical_Reference_Guide.pdf [cit. 2012-02-17].

[9] MCGRATTAN, K., MCDERMOTT, R., HOSTIKKA, S., FLOYD, J. *Fire Dynamics simulator (Version 5) – User's Guide.* NIST Special Publication 1019-5. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, October 2010.

[10] NIST. *CFAST repozitář* [online]. Dostupné z: https://code.google.com/p/cfast/ [cit. 2012-02-17].

[11] NRC. *Fire Dynamics Tools (FDTs) Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program (NUREG-1805, Final Report)* [online]. Washington, USA: U.S. Nuclear Regulatory Commision, 2011. Dostupné z: http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr1805/final-report/ [cit. 2012-02-20].

[12] PEACOK, R., D., JONES, W., W., RENEKE, P., A., FORNEY, G., P. *CFAST – Consolidated Model Of Fire Growth And Smoke Transport (Version 6) – User's Guide.* NIST Special Publication 1041, December 2008 Revision. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, December, 2008.

[13] SVOBODA, M. *Nástavba OC FUTURUM Hradec Králové*. Prezentace. Ruukki, leden 2012.

[14] WADE, C., A. *BRANZFIRE Technical Reference Guide 2004.* BRANZ Study Report 92 (revised). Building Research Association of New Zealand. Judgeford, Porirua City, New Zealand.

[15] WALD, F. et al. *Integrace statického výpočtu do požárně bezpečnostního řešení stavby.* Praha, České vysoké učení technické v Praze, 2012, 123 s., ISBN 978-80-01-04994-5.

[16] ČSN EN 1991-1-2 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-2: Obecná zatížení - Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru.* Český normalizační institut. Praha: 2004.

[17] Celoživotní vzdělávání v požární ochraně. Dostupné z: http://fire.fsv.cvut.cz/vzdelavani/soft.html [cit. 2014-11-10].