

ZÁSADY PŘI OVĚŘOVÁNÍ MATEMATICKÝCH MODELŮ POŽÁRU

FUNDAMENTALS OF VERIFICATION OF MATHEMATICAL FIRE MODELS

Abstrakt

Príspevek se zabývá metodami pro ověřování matematických modelů požáru. Po stručném seznámení se situací a základními pojmy v oblasti matematického modelování požáru je největší prostor v tomto článku věnován popisu ověřovacích a hodnotících metod. Cílem je popsat způsoby, kterými se ověřuje správnost a použitelnost matematických modelů požáru a zhodnocení situace v oblasti ověřování modelů požáru, včetně návrhu možných změn či zlepšení.

Abstract

This article deals with methods of verification of mathematical fire models. The first part of the article is dedicated to introduce situation and basic conceptions in area of mathematical fire modelling. The biggest part of work is dedicated to explain methods of verification and validation. The aim of this article is a summary, identification of problems and proposal for improvement of verification of mathematical fire models.

Keywords: mathematical fire model, evaluation, verification, validation

Úvod

Situace v oboru požární ochrany a stavebnictví směřuje k vývoji standardů, které by upravovaly úroveň bezpečnosti lépe než tradiční normy zaměřené na řešení jednotlivých problémů. S rozvojem výpočetní techniky se prostředkem vhodným pro vytvoření takových standardů ukázaly být počítačové programy pro modelování požáru. Tyto počítačové modely dokážou provést srovnání mezi mnoha faktory a tím poskytnout požadovanou úroveň bezpečnosti.

Analytické modely schopné předpovídat chování požáru se začaly vyvíjet v 60. letech 20. století. Snahou vědců bylo popsat pomocí matematických výrazů různé jevy, které byly pozorovány při rozvoji a šíření požáru. Podařilo se vytvořit různé metody vhodné pro popis průběhu požáru. Každý z těchto modelů se však zaměřoval na posouzení dílčích projevů a parametrů. Sjednocením takových modelů bylo možné vytvořit komplexní počítačový program, který na základě vstupních parametrů vypočítá očekávaný průběh požáru. Když byly vyvinuty matematická vyjádření základních fyzikálních jevů, mohli být původní rovnice přetvořeny na předpovědní rovnice pro teplotu, koncentraci kouře a plynů, a další požadované parametry, a poté řešeny numericky.

Modelování požáru se prudce rozvíjí od konce 80. let minulého století. Tento rozvoj je způsoben především velkým pokrokem v oblasti výpočetní techniky. Programy pro počítačové modelování požáru se tak stávají stále více uplatnitelné v oboru požární bezpečnostního inženýrství.

¹ Ing., VŠB-TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Katedra požární ochrany a ochrany obyvatelstva, Lumírova 13, 700 30 Ostrava - Výškovice, e-mail: petr.kucera@vsb.cz

² Ing., Klimatherm spol. s r.o., Záběhlická 65, 10600 Praha 10, e-mail: j.miklos@klimatherm.cz

S vývojem a zaváděním těchto modelů do systému předpisů je rozhodující, aby zde byly postupné snahy zkontrolovat jejich platnost a ověřit správnost výsledků. Přesnost modelů řešících jednotlivé jevy by měla být řešena již v průběhu vývoje. Avšak iterace mezi jednotlivými částmi systému nejsou vždy dobře pochopitelné. Proto se v současné době přijímají metody potřebné pro testování komplexních modelových systémů s velkorozměrovými zkouškami a experimenty.

Matematické modely požáru a jejich rozdělení

Matematický model je abstraktní model, který se užívá v matematickém jazyce k popisu systému. Matematický model je definován jako: reprezentace základních aspektů existujícího systému nebo systému, který chceme zkonstruovat. Matematické modely mohou mít mnoho forem jako například dynamické systémy, statistické modely, diferenciální rovnice nebo teoretické modely. Tyto a další typy modelů se mohou překrývat a zahrnovat různé abstraktní struktury.

Do dneška bylo vyvinuto mnoho počítačových modelů požáru. Jsou určeny pro různé oblasti, obtížnosti a účely. Většina modelů je založena na základních fyzikálních zákonech - zákon zachování hmoty, hybnosti a energie. Předpovídají především požárem vytvořené prostředí (hlavně teplotu) a pohyb kouře v uzavřených prostorech. Některé ještě navíc umí předpovídat požární odolnost, reakci detektorů a sprinklerů [3].

Nejvíce rozšířené jsou matematické modely požáru, které lze rozdělit na:

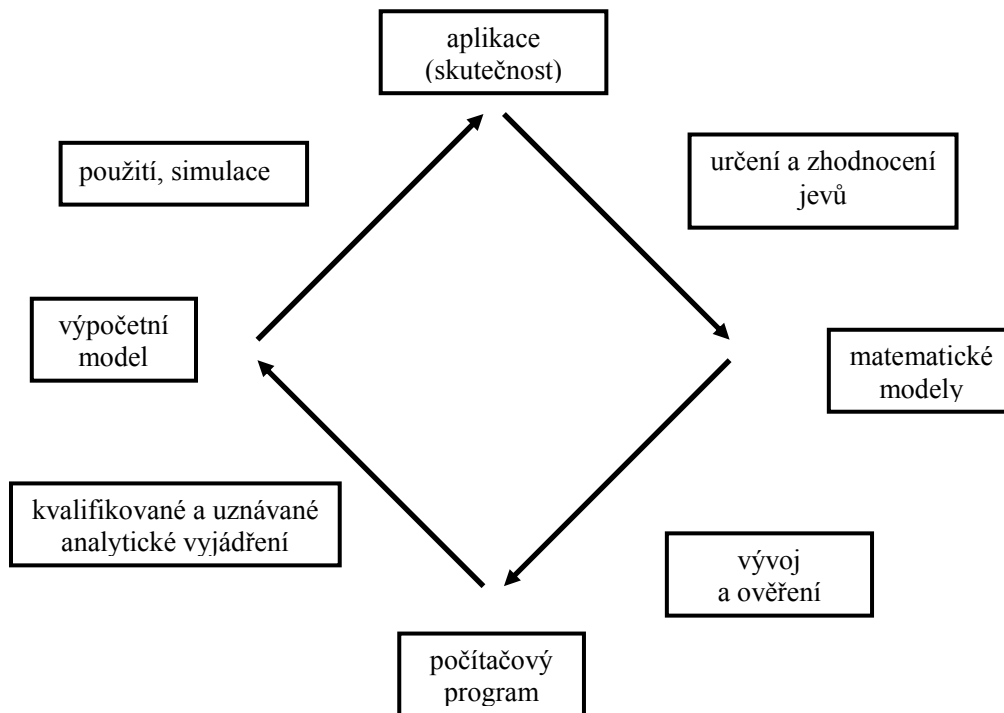
- pravděpodobnostní
 - statistické
 - síťové
- deterministické
 - zónové
 - typu pole

Matematické modely nám umožňují získat dobrou předpověď některých parametrů požáru. Je to dosaženo kombinací matematických rovnic, které popisují fyzikální jevy. Protože se požáry neustále mění, jsou rovnice dosazeny ve formě diferenciálních rovnic. Souhrn rovnic může vypočítat podmínky vytvořené požárem v daném čase a specifickém objemu vzduchu. Předpoklady modelu, které předpověděly podmínky uvnitř kontrolního objemu, jsou vždy stálé. Takže kontrolní objem má stejnou teplotu, hustotu kouře, koncentraci plynu atd. Různé modely rozdělují budovu na různé množství kontrolních objemů v závislosti na požadované míře přesnosti [3].

Hodnocení a ověřování modelů

Proces hodnocení je velice důležitou součástí modelovacího procesu. Je potřebný pro stanovení přijatelného použití a mezi modely požáru. Modely nikdy nebudou fungovat dokonale a nikdy nebudou absolutně platné. To co je požadováno, je přijatelný rozsah provedení řešení. To, jaké řešení je považováno za přijatelné, určují garanti projektu, uživatelé nebo případně třetí strana. V současné době je snaha o to, aby se v budoucnu modely požáru rozšířily mimo požární laboratoře a používaly se při projektování, u hasičských sborů a dalších organizací. Dostatečné hodnocení nám zaručuje, že jejich použití bude přiměřené jejich vědeckému a technickému základu, že vybraný model bude odpovídat zamýšlenému účelu a že se můžeme spolehnout na úroveň výsledků. Díky tomu se můžeme vyhnout nechtěnému špatnému použití [4].

Posouzení modelu zahrnuje především proces verifikace a validace všech jeho součástí. Tento proces probíhá již od samého začátku vývoje programu, je cyklický a opakovatelný (obr. 1) [5]. Kontroluje se přesnost a platnost všech podprogramů, ale není možné hodnotit program pouze z jedné jeho součásti. Z těchto důvodů zůstává celkový proces kontroly platnosti a přesnosti vždy nezbytný k ověření celého modelu [6]. Verifikace je ustanovení, zda je věc provedena správně. Validace ověřuje, zda je provedena správná věc, jinými slovy zda jsou výsledky dané modelem platné. Takto jsou pojmy validace a verifikace vysvětlovány v USA, v Británii tvůrci a uživatelé modelů používají definici validace pro verifikaci a obráceně.



Obr. 1: Schéma procesu verifikace a validace [5]

Verifikace

Vztahuje se k matematickému modelování pomocí počítačů a je doménou programátorů. Cílem verifikace je ověření, že program vyhovuje specifikaci. Jinými slovy, že program, tak jak je napsán, přesně popisuje model, tak jak byl navržen. Kontroluje se kompletní modelovací prostředí, tzn. zdroje, teorie, předpoklady, algoritmy, kód z hlediska fyzikální reprezentace a matematické přesnosti [8]. Kontrola jejich správného použití musí být již uvnitř programu (např. zobrazí výstrahu při překročení okruhu působnosti). Verifikace není spojená s vlastnostmi vztahů, které vytvořily model, ale zda byl přepočten vztahů reprezentovaných počítačem udělán správně.

Verifikace může probíhat různými způsoby např.:

- statickým ověřováním, které nevyžaduje běh programu, a proto ho lze provádět v kterékoliv fázi vývoje programu,
- dynamickým ověřováním, které odvozuje vlastnosti programu na základě výsledků běhu programu nebo prototypu s vybranými vstupy.

Je prakticky nemožné kompletně verifikovat velké komplexní počítačové programy, jakými jsou matematické modely požáru. Z tohoto důvodu mluví někteří počítačová experti ne o verifikaci, ale o míře spolehlivosti programu.

Úspěšná verifikace respektive míra spolehlivost programu je založena na [8]:

- kvalifikaci programátora,
- matematickém modelu a metodě řešení,
- zdokumentované verifikaci,
- délce využití programu v praxi,
- různorodosti využití programu,
- současném využití.

Validace

Cílem validace je ověření, že je program smysluplně specifikován a že pro použitý soubor vstupních dat podává správnou odpověď. Testuje shodu mezi chováním modelu a reálným problémem, který je modelován. Modely byly většinou získány přímo z konkrétních experimentů a byly podle nich kvalifikovány. To zaručuje platnost v určitém okruhu působnosti. Takže s validací programu musí být uvažováno už v průběhu jeho vzniku. Program použitý mimo svůj okruh působnosti nemusí nezbytně znamenat, že by byl vadný.

Pro validaci platí stejný problém jako pro verifikaci tedy, že program nemůže být absolutně validní. Je zde snaha se předpověďmi modelu co nejvíce přiblížit událostem, které se vyskytují v reálných podmínkách. Po aplikaci všech přiměřených validačních procedur nezískáme validní model, ale získáme dobrou znalost o všech jeho silných a slabých stránkách. Potom můžeme vyhodnotit závažnost přijatých zjednodušení a říci jaké to ve výsledku způsobilo změny. Znalost hranic použitelnosti předpovědních schopností modelu nám poskytuje náležitou důvěru v získané výsledky [8].

Validace závisí na:

- aspektech modelovaného reálného problému,
- typu použitého modelu,
- osobě požadující validaci,
- osobě interpretující závěry validace.

Obecná metodika kontroly modelu požáru

Pojem model zahrnuje fyzikální, matematické a numerické předpoklady a aproximace použité k popisu procesu hoření a pohybu zplodin, k popisu reakce objektu, osob a požárně bezpečnostních zařízení. V této metodice se předpokládá, že je model ve formě počítačového programu [1].

K zjišťování chyb se využívá těchto postupů:

- posouzení teoretického základu,
- kontrola zdrojového kódu,
- analytické zkoušky,
- empirické ověření,
- srovnání s jinými modely.

Druh a použití modelu

Proces hodnocení modelu se zabývá oblastmi, které jsou ve středu zájmu jeho uživatelů a tvůrců. Je důležité, o jaký druh modelu se jedná (zónový model, model typu pole, model pro speciální účely) a jak bude používán (navrhování, rekonstrukce požáru, soudní spory). Použitý způsob hodnocení musí být podporován jak uživateli, tak i tvůrci. Pracovní skupina, která hodnocení provádí, se skládá z kvalifikovaných a uznávaných odborníků nezainteresovaných na vývoji programu seznámených s problematikou. Tato skupina vypracuje nezávislou studii teoretických předpokladů a matematických postupů, použitých v modelu. To zahrnuje zavedení experimentálních, statistických a analytických technik, pomocí kterých se řeší důležité otázky týkající se modelu [2].

Posouzení teoretického základu

Teoretický základ modelu může být posouzen experty, kteří jsou plně obeznámeni s chemickými a fyzikálními jevy požáru. Hodnotí úplnost dokumentace z hlediska použitých předpokladů a aproximací. Dále by měli hodnotit přesnost dat použitých pro konstanty a implicitní hodnoty [1], a zda jsou v dostupné vědecké literatuře dostatečné vědecké podklady opravňující použité postupy a předpoklady [2].

Zdrojový kód

Pro hodnocení je důležité, aby byl pracovní skupině poskytnut zdrojový kód programu. To však není vždy možné, zvláště když se jedná o komerční program. V případě, že je zdrojový kód k dispozici, měl by být program upraven tak, aby byl kód dostupný pro kontrolu. Kontrola by měla být prováděna třetí stranou a buď manuálně, nebo automaticky [1]. Existují dva způsoby automatické kontroly zdrojového kódu.

Prvním způsobem je použití standardních metod pro kontrolu programové struktury a rozhraní. Těmito standardními metodami se myslí programy, které jsou obsaženy přímo v modelu a provádějí automatickou kontrolu. Tyto programy kontrolují správnost rozhraní, nedefinované nebo špatně definované (použité) proměnné a konstanty, a úplnost cyklů a vláken. Nekontrolují správnost numerického použití konstant nebo proměnných, ale zda jsou správně použity v syntaktickém smyslu.

Druhým způsobem je spuštění programu na různých počítačových platformách a za použití různých operačních systémů. Předpokladem pro takovou kontrolu je implementace použitého programovacího jazyka na těchto platformách. [4]

Analytické zkoušky

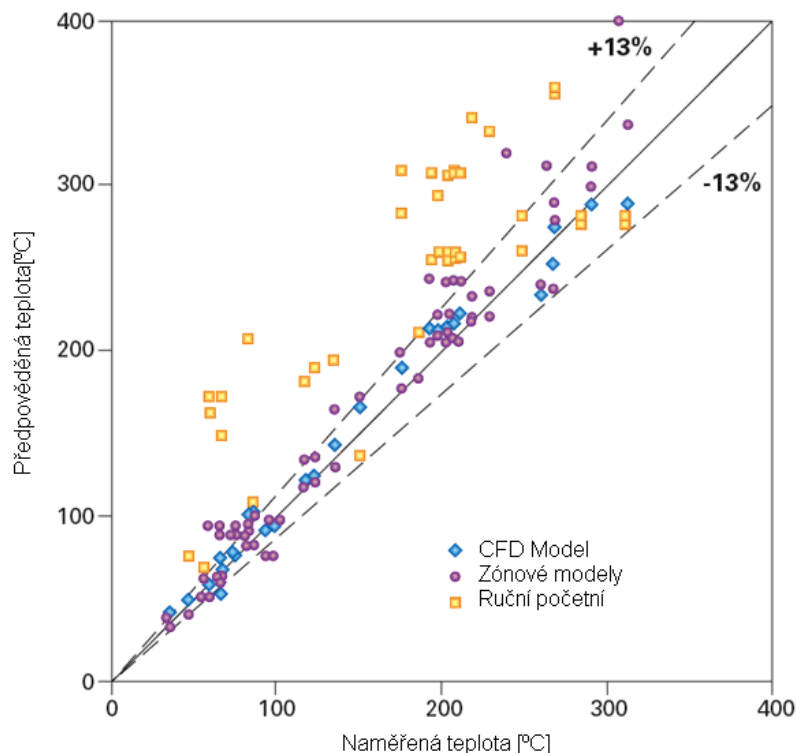
Jestliže má daný problém matematické řešení, potom jsou dobrý způsobem pro ověření analytické zkoušky. Výsledky získané modelem můžeme ověřit jejich matematickým řešením. Většinou jsou analyticky testovány jednotlivé části modelu tzv. sub-modely. Ne vždy však existuje analytické řešení, zvláště v případě komplexních scénářů, které jsou pro takový způsob ověření příliš komplikované [1].

Srovnání předpovědí modelu s experimentálními výsledky

Důvěra uživatele v model je zvýšena, když se zkušenosti uživatele shodují s předpověďmi modelu. To vychází z úspěšné rekonstrukce reálných požárů nebo skrze srovnání předpovědí modelu s daty získanými experimentálně. Srovnání předpovědí modelu s experimentálními daty je velmi dobrým způsobem pro hodnocení modelu (obr. 2). Takovým ověřením se zaručuje, že se neslučují chyby v jednotlivých podprogramech k vytváření nesprávných předpovědí. Předpovědi programu by měli být tvořeny beze vztahu k experimentálním datům užitým pro srovnání. Toto omezení samozřejmě nezahrnuje potřebné vstupní data, která mohly být získány zkoušením nebo velkorozměrovými testy. Je potřeba vzít v úvahu nejistoty měření. Tvůrci modelu se nesmí pokoušet doslovně srovnat výsledky modelu a výsledky empirických měření [1].

Srovnání modelu s již existujícími programy

Nový model lze srovnat s modely, které jsou již ověřené a používají se v praxi. Pokud je posuzovaný model správně sestaven, měl by dojít při zadání stejných vstupních dat ke stejnému výsledku (obr. 2). Pomocí podobných srovnání lze odhalit slabiny modelu, které se následně odladí. Aby bylo toto srovnání akceptovatelné, musí být provedeno důsledně.



Obr. 2: Naměřený vs. předpověděný nárůst teploty horní horké vrstvy [3]

Příčiny nevhodných postupů a chybných předpokladů

Použitím uvedených způsobu ověřování, by měly být zjištěny nevhodné postupy a chyby, které se v modelu vyskytují (tab. 1). Tyto nedostatky mohou vzniknout z těchto příčin [1]:

- použití nevhodných algoritmů a fyzikálních vztahů,
- použití špatných konstant a implicitních hodnot,
- zjednodušení popisovaných jevů opomenutím některých procesů doprovázejících požár,
- špatné numerické řešení soustav rovnic,
- chyby v programu.

Tab. 1: Způsoby zjišťování chyb a nedostatků matematického modelu

způsob	nesprávný algoritmus	nesprávné konstanty	chybějící postupy	nevhodný numerický postup	chyby kódu
teoretická studie	•	•	•	•	
analytické zkoušky			•		•
experimentální ověření		•	•		•
porovnání s jinými programy	•	•	•		
kontrola zdrojového kódu programu					•

Srovnání matematických modelů s požárními zkouškami

Požární zkoušky se dělí na dvě kategorie, jsou to laboratorní experimenty a velkorozměrové zkoušky. Obě tyto kategorie nám poskytují dobrou úroveň srovnání, zda se model shoduje se skutečnými požáry. Velkorozměrové požární zkoušky nám poskytují více kvalitativní výsledky v případě, kdy model napodobuje skutečné podmínky požáru (obr. 3). Pomocí laboratorních experimentů získáme detailní údaje, které při srovnání zdůrazní slabiny individuálních jevů pozorovaných v modelu. Požární zkoušky mají pro hodnocení modelu požáru význam pouze tehdy, když je jich provedeno dostatečné množství. U většího počtu zkoušek se vyzkouší různé kombinace při zadávání proměnných, projeví se přirozená variabilita zkoumaného jevu a vliv nejistot experimentálních dat. Vhodným prostředkem pro vyhodnocení a následné srovnání zkoušek a modelu jsou grafy, které nám poskytují informace bez přílišných detailů. V grafech lze například znázornit časovou závislost mezi výsledky zkoušek a výsledky zprostředkovaných modelem. Pro posouzení jak moc jsou rozdíly a chyby významné se používají statistické metody. Úroveň shody zkoušek a modelu se obvykle popisuje jako „příznivá“, „přijatelná“ apod.

Aby bylo možné takovéto požární zkoušky použít ke srovnání, je důležité, aby byly důkladně připraveny a provedeny. Po úspěšném provedení požární zkoušky se pečlivě zdokumentují výsledky a všechny pozorované jevy, tak aby bylo možné je archivovat pro pozdější použití. Výsledky požárních zkoušek se zapisují do databází, které ale neobsahují informace o přesnosti použitých měřicích přístrojů apod. Jednou z takových databází je například FDMS od Národního institutu pro standardizaci a technologii z USA.



Obr. 3: Velkorozměrová požární zkouška provedená NIST v rámci projektu zaměřeného na validaci modelu požáru [3]

Shrnutí zjištěných poznatků a jejich zhodnocení

Problematika ověřování matematických modelů požáru je velmi široká a zahrnuje znalosti z mnoha vědních oborů. Je to způsobeno tím, že samotný fenomén požáru je velice složitý a je ovlivňován mnoha faktory. Tvůrci modelů se snaží ve svých programech zohlednit co nejvíce těchto vlivů, aby se výsledná simulace co nejvíce blížila reálnému prostředí. To vyžaduje úzkou spolupráci mezi experty s oborů fyziky, chemie, matematiky, výpočetní techniky, požární ochrany, stavebnictví. Spolupráce těchto expertů je nutná jak při tvorbě programu pro matematické modelování požáru, tak při jeho ověřování.

Z výše popsaných metod je patrné, že proces verifikace, který zahrnuje hlavně posouzení teoretického základu, programového kódu a numerických postupů, je doménou především fyziků, matematiků a programátorů. Naopak proces validace, při kterém se výsledky modelu srovnávají s velkorozměrovými požárními zkouškami, laboratorními experimenty a jinými programy, je mnohem víc spojený s praktickou stránkou věci, a proto jej také provádějí experti z dotčených oborů, jako jsou pracovníci výzkumných ústavů a laboratoří a příslušníci hasičského sbor.

Ověřování matematických modelů požáru nelze chápat jako izolovanou činnost, která následuje až po vytvoření programu, ale jako nedílitelnou součást celého vývoje a následného užívání modelu. Metody ověřování, které jsou popsány v tomto článku, patří mezi ty základní a jsou víceméně společné pro všechny typy matematických modelů požáru. Určité rozdíly

mohou být mezi ověřování zónových modelů a modelů typu pole, respektive mezi jednoduššími a složitějšími modely.

Matematické modely požáru a jejich ověřování ve světě a v ČR

Počítačové programy pro matematické modelování požáru jsou vyvíjeny jak v Evropě, tak i v zámoří (USA, Japonsko). Ve většině případů je vývoj těchto programů spojen s výzkumnými pracemi na univerzitách např. University of Greenwich, University of Liege nebo Worcester Polytechnic Institut. Ve Spojených státech je tento vývoj podporován národním institutem pro standardy a technologie (NIST). Ověřování matematických modelů není v zahraničí žádnou novinkou. Matematické modely se využívají v operačním výzkumu a expertních systémech. Znalosti z ověřování těchto modelů mohou být do určité míry aplikovány také na modely požáru. Pro většinu zemí je společné to, že ověření správnosti a použitelnosti modelů zajímá nejen akademiky, ale také státní organizace. Je to způsobeno tím, že jsou to právě státní organizace, které tyto modely často využívají ve svých projektech. Například v USA byly matematické modely požáru využity při posouzení požární bezpečnosti v jaderných elektrárnách nebo byly přijaty jako důkazní materiál soudních sporů.

Země, ve kterých probíhá vývoj modelovacích programů, spolu spolupracují při ověřování. Poskytují si vzájemně data potřebná pro srovnání modelů s požárními zkouškami. Za tímto účelem byla v USA výzkumnou laboratoří NIST vyvinuta počítačová databáze FDMS, ve které mohou být prezentovány výsledky z provedených velkorozměrových zkoušek a laboratorních experimentů. Výsledky zapsané v této databázi pak mohou využít pracovní týmy provádějící ověřování modelu požáru v různých zemích.

Je patrná snaha převést modely požáru z akademických kruhů do soukromého sektoru. V evropské unii vyšla norma EN 1991-1-2, která je platná také v ČR a ve které se dovoluje pro výpočet teplotních křivek užít matematické modely požáru. Byla také vytvořena Technická zpráva ISO/TR 13387, která se zabývá řešením požární bezpečnosti staveb a je v ní zahrnuto i používání matematických modelů požáru.

V České republice momentálně neprobíhá vývoj žádného programu pro matematické modelování požáru. Modely požáru se využívají především při práci na vysokých školách konkrétně na VŠB - TU Ostrava na fakultě bezpečnostního inženýrství a pak také na Ministerstvu vnitra v programech zaměřených na výzkum a vývoj.

Návrh změn a zlepšení

Matematické modelování požáru pomocí počítačových programů již sice probíhá zhruba od 80. let 20. století, ale přesto není ještě příliš začleněno v praxi. Klíčem k většímu rozšíření modelů požáru je právě rozvoj ověřovacích metod, které nám zaručí, že jsou modelové simulace a předpovědi správné. Tomu by mohlo napomoci například větší rozšíření modelů mimo university a státní instituce mezi projektanty ze soukromého sektoru. Zainteresování těchto projektantů by jistě přineslo nové informace o využitelnosti modelů v praxi.

Dnes jsou již k dispozici standardy zaměřené na ověřování matematických modelů. Tyto standardy však podávají jen základní informace o vhodných metodách. Bylo by dobré, kdyby byly tyto standardy více rozpracovány, tak aby tvůrcům a uživatelům poskytly komplexnější informace o postupech ověřování.

Modelování není pouze národní záležitostí. Vyvinuté programy jsou užívány všude na světě a při jejich ověřování spolupracují experti z mnoha zemí. Tato mezinárodní spolupráce je velmi prospěšná, a proto by měla být co nejvíce podporována.

Vývoj a ověřování modelů je úzce spojeno s rozvojem výpočetní techniky. Čím výkonnější výpočetní techniku máme k dispozici, tím náročnější mohou být i modely a tím lepší může být i úroveň ověření. Tento rozvoj je v posledních letech velmi rychlý, a to způsobuje komplikace při aktualizaci norem zabývajících se ověřováním modelů.

Závěr

Vývoj v oblasti modelování požáru pomocí počítačových programů je pořád rychlejší a výpočetní technika se používá v požárním inženýrství ve stále větším měřítku. Zavedení modelů požáru do praxe zjednoduší práci projektantů a poskytne jim prostředek, kterým bude možné objektivně srovnávat výsledky z různých zemí. Díky tomu získáme přijatelná měřítka pro stanovení shody a tím zmenšíme bariéry v mezinárodním obchodu se stavebními materiály, výrobky, projekty a konstrukcemi.

Aby bylo možné spolehnout se na výsledky předpovědí, které byly získané počítačovými modely, je nutné, aby mezinárodní a národní standardy upravily použití modelů požáru v praxi. Je potřeba stanovit všeobecné podmínky pro ověřování modelů, které budou akceptovatelné vývojáři i uživateli. V současné době se na takových standardech již pracuje a je jen otázkou času, kdy budou implementovány i do našich technických norem.

Literatura

- [1] ISO/TR 13387-3:1999: *Fire safety engineering – Part3: Assessment and verification of mathematical fire models*. ISO, 1999. 22s.
- [2] JONES, W. W. Progress Report on Fire Modeling and Validation. In BEALL, K. A. *Fire Research and Safety: 13th Joint Panel Meeting of the UJNR*. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 1997. Volume 2. s. 7-14
- [3] SALLEY, M. H. et al. Verification and Validation - How to Determine the Accuracy of Fire Models. *Fire Protection Engineering*. 2007, vol. 9, no. 2, s. 34-44
- [4] PEACOCK, R. D. et al. *CFAST: Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version6): User's Guide*. Washington: NIST, 2005. 109 s.
- [5] GRITZO, L. A. Verification, Validation and Selected Applications of the VULCAN and FUEGO Fire Field Models. In *International Collaborative Project to Evaluate Fire Models for Nuclear Power Plant Applications: Summary of 5th Meeting*. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2003. APPENDIX D. s. 169-177
- [6] GAUTIER, B. Fire Zone Model MAGIC: The Validation and Verification Principles. In *International Collaborative Project to Evaluate Fire Models for Nuclear Power Plant Applications: Summary of 5th Meeting*. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2003. APPENDIX C. s. 73-76
- [7] FINLAY, P. N. FORSEY, G. J. WILSON, J. M. The Validation of Expert Systems: Contrasts with Traditional Methods. *The Journal of the Operational Research Society*. 1988, vol. 39, no. 10, s. 933-938
- [8] GASS, S. I. Decision-Aiding Models: Validation, Assessment, and Related Issues for Policy Analysis. *Operations Research*. 1983, vol. 31, no. 4, s. 603-631