

Ing. Jiří POKORNÝ, Ph.D., MPA¹⁾
 doc. Ing. Marianna TOMÁŠKOVÁ, PhD.²⁾
 prof. Ing. Horst GONDEK, DrSc.³⁾

¹⁾ VŠB-TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Katedra ochrany obyvatelstva
²⁾ Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra bezpečnosti a kvality produkcie
³⁾ VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování

Recenzent
 Ing. Stanislav Toman

Srovnání metod pro stanovení průtoku kouře využitelných při návrzích zařízení pro odvod kouře a tepla

Comparison of Methods to Determine Smoke Flow Rate Applicable in Design of Equipment for Smoke and Heat Removal

Hmotnostní průtok kouře je jednou z významných vstupních veličin využívaných při projektování požární bezpečnosti staveb a návrzích požárně bezpečnostních zařízení. V současnosti je prezentováno značné množství metod pro stanovení hmotnostního průtoku kouře, které vytvořili různí autoři, často za značně odlišných podmínek. Článek popisuje některé z aktuálně užívaných metod a jejich výsledky srovnává zvolenými statistickými metodami, které hodnotí jejich vzájemné odchylky. Srovnání bylo provedeno samostatně pro zónu plamene a zónu kouře vertikálního sloupce kouře formujícího se nad ohniskem požáru.

Klíčová slova: hmotnostní průtok kouře, výpočtové metody, Fire Plume, srovnání

Smoke mass flow rate is one of the most important input variables used for design of buildings' fire safety and fire safety equipment. Considerable number of methods is currently available to determine the smoke mass flow rate. They have been created by different authors often under very different conditions. The article describes some of the currently used methods and compares their results using selected statistical methods, which assess their mutual deviations. The comparison was performed separately for the flame zone and smoke zone of the vertical smoke column formed above centre of the fire.

Keywords: smoke mass flow rate, computational methods, Fire Plume, comparison

ÚVOD

Požár je jedním z druhů mimořádných událostí, které mohou ohrozit život a zdraví osob vyskytujících se ve stavbách [1]. S rozšiřujícím se rozsahem znalostí se mohou odborníci z oblasti požární bezpečnosti oprostít od standardního „komplexního vnímání“ požáru, který je zpravidla členěn do čtyř fází průběhu, tj. počáteční iniciační fáze, fáze rozvoje, plně rozvinuté fáze a fáze dohořívání, a zaměřit pozornost na zkoumání dílčích aspektů požáru.

Oblast, které je zejména v posledních letech věnována značná pozornost, je fáze rozvoje požáru, která je popisována metodami charakterizujícími tzv. lokální požár. Původní práce (např. [2]), které se týkaly výzkumu lokálního požáru, je možné datovat do období 70. až 90. let minulého století.

Významnou část problematiky lokálního požáru představuje „vertikální sloupec kouře“, který se vytváří nad jeho ohniskem. V české odborné literatuře není popisovaný sloupec kouře přesně definičně vymezen a pro jeho označení je využíváno nejčastěji obecného termínu „lokální požár“ (např. [3]), přestože to není zcela přesné. Vertikální sloupec kouře nad ohniskem požáru představuje dílčí, byť významnou část lokálního požáru.

Zahraniční odborné literární zdroje charakterizují vertikální sloupec kouře nad ohniskem požáru termínem „Fire Plume“, případně pokud se jedná o jeho nejvzdálenější část od ohniska požáru, jako „Smoke Plume“ (např. [4]). Z důvodu snadné přehlednosti označení vertikálního sloupce kouře nad ohniskem požáru a zajištění terminologické kontinuity se zahraničím, bude v článku dále tento jev označován jako Fire Plume.

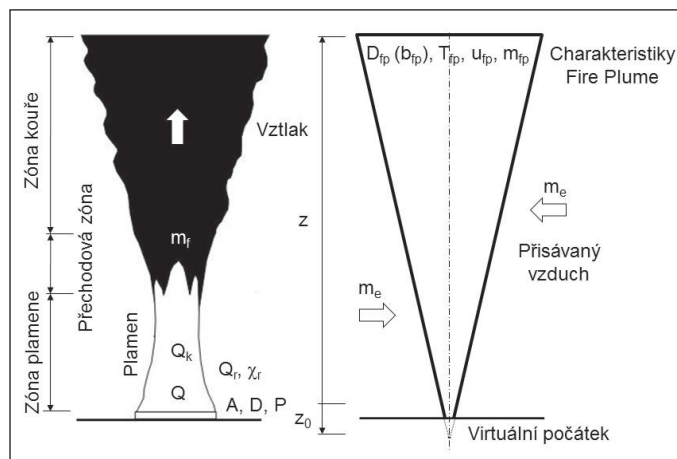
Fire Plume je popisován základními nebo dalšími charakteristikami. Mezi základní charakteristiky je možné zařadit geometrii a teplotu Fire Plume, rychlost proudění plynů a průtok kouře ve Fire Plume [4], [5], [6].

Základní charakteristiky nachází své uplatnění při návrzích, případně hodnocení reakce, některých vyhrazených požárně bezpečnostních zařízení [7]. Typickým příkladem je návrh zařízení pro odvod kouře a tepla.

Dalšími charakteristikami Fire Plume jsou toxicita plynů a koncentrace pevných nebo kapalných částic. Z hlediska zaměření článku jsou další charakteristiky nepodstatné a nebude jim věnována pozornost.

POPIS FIRE PLUME

Fire Plume se nad rozvíjejícím požárem začíná formovat již od samotného počátku jeho rozvoje. V případě, že není ovlivněn okolními vlivy, nabývá tvaru převráceného kužele.



Obr. 1 Charakteristický tvar osově symetrického Fire Plume (upraveno z [5], [9])

Fig. 1 Characteristic shape of an axially symmetrical Fire Plume (adapted from [5], [9])

Fire Plume je standardně členěn na tři základní zóny, kterými jsou [4]:

- zóna plamene,
- přechodová zóna,
- zóna kouře.

Standardně se předpokládá, že se poloměr Fire Plume rozšiřuje vertikálně přibližně pod úhlem 15° [2], [4], [6], [8]. Charakteristický tvar osově symetrického Fire Plume je znázorněn na obr. 1.

PRŮTOK KOUŘE VE FIRE PLUME

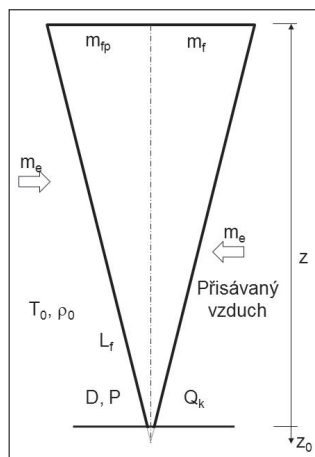
Jedním z nejvýznamnějších parametrů rozvíjejícího se Fire Plume je hmotnostní nebo objemový průtok vznikajícího kouře, a to jako celku, častěji však za časovou jednotku.

Hmotnostní průtok kouře ve Fire Plume m_{ip} sestává z hmotnostního průtoku kouře vznikajícího hořením materiálů m_f a hmotnostního průtoku přisávaného vzduchu m_e (platí $m_{ip} = m_f + m_e$) [4], [5], [6], [10].

Hmotnostní průtok kouře vznikající hořením materiálů je podstatně menší než hmotnostní průtok přisávaného vzduchu ($m_f \ll m_e$). Při praktických výpočtech je hmotnostní průtok kouře vznikající hořením materiálů m_f zanedbáván a platí $m_{ip} \cong m_e$ [10]. Průtok kouře vznikající hořením materiálů a průtok přisávaného vzduchu mají podstatný vliv na kvalitativní vlastnosti kouře z hlediska viditelnosti [11] a toxicity. V dalších částech článku bude hmotnostní průtok přisávaného vzduchu m_e považován za ekvivalent hmotnostního průtoku plynů ve Fire Plume m_{ip} .

Popis charakteristik pro stanovení průtoku kouře ve Fire Plume je znázorněn na obr. 2. a v legendě symbolů na konci článku.

Základními vstupními veličinami pro stanovení hmotnostního průtoku kouře ve Fire Plume jsou uvolňovaný tepelný tok nebo obvod požáru a výška nad povrchem hořlavých materiálů. Dalšími veličinami jsou zejména geometrie zdroje požáru, virtuální počátek Fire Plume, situování v prostoru [12], koeficient přisávání vzduchu a konvektivní složka tepelného toku.



Obr. 2 Popis hmotnostních charakteristik Fire Plume a souvisejících veličin

Fig. 2 Description of mass characteristics of Fire Plume and related quantities

SROVNÁNÍ METOD PRO STANOVENÍ HMTNOSTNÍHO PRŮTOKU KOUŘE

Výstupní hodnoty metod pro stanovení hmotnostního průtoku kouře byly analyzovány níže uvedenými statistickými kritérii:

- střední hodnota (aritmický průměr),
- rozptyl (střední kvadratická odchylka),
- směrodatná odchylka,
- variační koeficient.

Pro posouzení míry relativní variability statistických souborů dat byl využit variační koeficient, který je definován jako poměr směrodatné odchylky a aritmického průměru. Variační koeficient je bezrozměrné číslo, jehož stonásobek udává variabilitu v procentech. Hodnota variačního koeficientu vyšší než 50 % je znakem značné nesourodosti statistického souboru [13], [14].

METODY PRO STANOVENÍ HMTNOSTNÍHO PRŮTOKU KOUŘE

V obecné rovině jsou metody pro stanovení hmotnostního průtoku kouře popisovány následujícími rovnicemi [5], [6], [9]:

$$m_e = C \cdot k_{sf}^k \cdot Q_k^m \cdot z^n \quad \text{nebo} \quad m_e = C \cdot k_{sf}^k \cdot Q_k^m (z - z_0)^n \quad (1)$$

případně

$$m_e = C_e \cdot P \cdot z^n \quad (2)$$

kde je:

- m_e hmotnostní průtok přisávaného vzduchu [kg.s⁻¹],
- C konstanta [kg.kJ^{-1/3}.m^{-5/3}.s^{-2/3}],
- k_{sf} korekční stěnový faktor [-],
- Q_k tepelný tok sdílený konvekcí [kW],
- z výška nad povrchem hořlavých materiálů [m],
- z_0 virtuální počátek [m],
- C_e koeficient přisávání vzduchu do Fire Plume [kg.m^{-5/2}.s⁻¹],
- P obvod požáru [m],
- m, n, k mocniny [-].

Rovnice pro stanovení hmotnostního průtoku kouře lze členit z řady hledisek. Jednou z forem členění může být vztah výšky nad povrchem hořlavých materiálů a střední výšky plamene, kdy lze klasifikovat následující situace:

- $z > L_f$,
- $z < L_f$,
- $z = L_f$.

Dalším členěním metod pro stanovení hmotnostního průtoku kouře je v závislosti na poloze ve Fire Plume, tj. v zóně plamene, přechodové zóně nebo zóně kouře. Z hlediska výzkumů a realizovaných experimentů byla předmětem výzkumů zejména zóna kouře [4], [5], [6], [15].

Z hlediska aplikační praxe je možné metody pro stanovení hmotnostního průtoku kouře ve Fire Plume členit na:

- volné proudění,
- proudění otvorem,
- proudění pod balkony,
- specifické případy (např. atria, koridory).

Mezi nejvýznamnější metody pro výpočet hmotnostního průtoku kouře ve Fire Plume lze zařadit metody, které odvodili Heskestad [4], McCaffrey [5], Zukoski [10] a Thomas [5]. Metody uvedených autorů budou dále blíže popsány.

Hmotnostní průtok kouře podle Heskestada [2], [4]:

pro $z > L_f$

$$m_e = \left(0,071 \cdot Q_k^{1/3} (z - z_0)^{5/3}\right) \left(1 + 0,027 \cdot Q_k^{2/3} (z - z_0)^{-5/3}\right) \quad (3)$$

pro $z = L_f$

$$m_e = 0,0058 Q_k \quad (4)$$

pro $z < L_f$

$$m_e = 0,0058 Q_k \frac{z}{L_f} \quad (5)$$

kde L_f je střední výška plamene [m].

Hmotnostní průtok kouře podle McCaffreye [4], [5], [6]:
zóna plamene

$$\frac{m_e}{Q} = 0,011 \left(\frac{z}{Q^{2/5}} \right)^{0,566} \quad 0,00 \leq \left(\frac{z}{Q^{2/5}} \right) < 0,08 \quad (6)$$

přechodová zóna

$$\frac{m_e}{Q} = 0,026 \left(\frac{z}{Q^{2/5}} \right)^{0,909} \quad 0,08 \leq \left(\frac{z}{Q^{2/5}} \right) < 0,20 \quad (7)$$

zóna kouře

$$\frac{m_e}{Q} = 0,124 \left(\frac{z}{Q^{2/5}} \right)^{1,895} \quad 0,20 \leq \left(\frac{z}{Q^{2/5}} \right) \quad (8)$$

kde Q je celkový tepelný tok [kW].

Hmotnostní průtok kouře podle Zukoského [4], [5], [6]:
pro $z > L_f$

$$m_e = 0,21 \left(\frac{\rho_0^2 g}{c_p T_0} \right)^{1/3} Q_k^{1/3} z^{5/3} \quad (9)$$

kde je:

- ρ_0 hustota okolního vzduchu [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],
- g gravitační zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$],
- c_p měrná tepelná kapacita plynů [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$],
- T_0 teplota okolí [K].

Pro standardní podmínky, kterými jsou pro potřeby článku myšleny teplota okolí $T_0 = 293,15$ K, gravitační zrychlení $g = 9,81$ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, hustota okolního vzduchu $\rho_0 = 1,2$ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a měrná tepelná kapacita vzduchu $c_p = 1,005$ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, lze rovnici (9) upravit na tvar [4], [5], [6]:

$$m_e = 0,071 Q_k^{1/3} z^{5/3} \quad (10)$$

Hmotnostní průtok kouře podle Thomase [4], [5], [6]:
pro $z \leq L_f$

$$m_e = 0,188 \cdot P \cdot z^{3/2} \quad (11)$$

Rovnice (11) nachází své uplatnění i v oblastech nad výškou plamene, přestože pro tuto oblast použití neexistuje žádné teoretické zdůvodnění [4]. Uvedená rovnice pro stanovení hmotnostního průtoku kouře ve Fire Plume nachází v současné době podle návrhových standardů Evropské unie nejširší uplatnění [16]. Rovnice (11) je aplikována v případech, kdy výška nad povrchem hořlavých materiálů $z \leq 10 \cdot A^{1/2}$, což představuje převážnou většinu praktických aplikací.

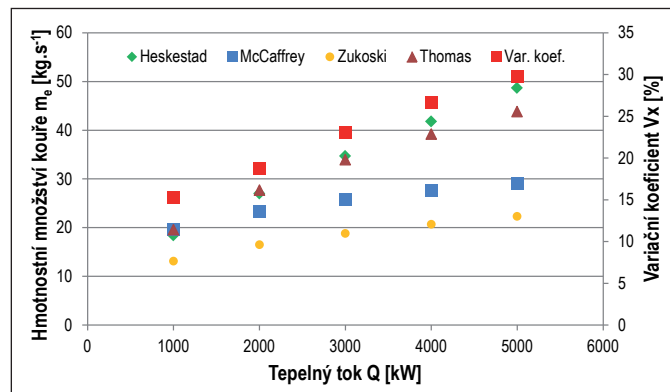
SROVNÁNÍ METOD PRO STANOVENÍ HMOTNOSTNÍHO PRŮTOKU KOUŘE

Metody, které odvodili Heskestad [4], McCaffrey [5], Zukoski [10] a Thomas [5], byly následně srovnávány pro zónu kouře a zónu plamene Fire Plume (pro přehlednost budou výsledky srovnávaných rovnic označeny jmény jejich autorů).

Hmotnostní průtok kouře byl stanoven pro celkový tepelný tok 1000 až 5000 kW, konvektivní poměr uvolňovaného tepelného toku 80 % z celku, maximální rychlost uvolňování tepla z 1 m^2 požáru řízeného palivem

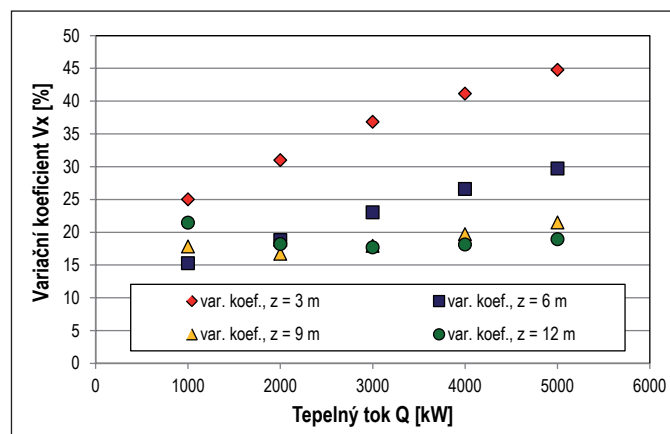
250 $\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$ a standardní podmínky okolí. V zóně kouře činila výška nad povrchem hořlavých materiálů 3, 6, 9 a 12 m. V zóně plamene byly voleny výšky 0,5, 1, 1,5 a 2 m (maximální střední výška plamene pro volené podmínky činila přibližně 2 m).

Grafické srovnání uvedených rovnic pro zónu kouře a výšku nad povrchem hořlavých materiálů 6 m je znázorněno na obr. 3. Hodnoty variačních koeficientů pro všechny volené výšky jsou znázorněny na obr. 4.



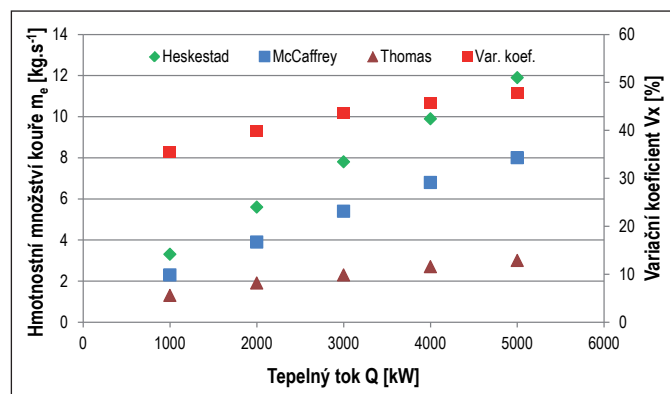
Obr. 3 Hmotnostní průtok kouře pro zónu kouře Fire Plume a výšku nad povrchem hořlavých materiálů 6 m

Fig. 3 Smoke mass flow rate for the smoke zone of Fire Plume and height above the surface of the combustible materials 6 m



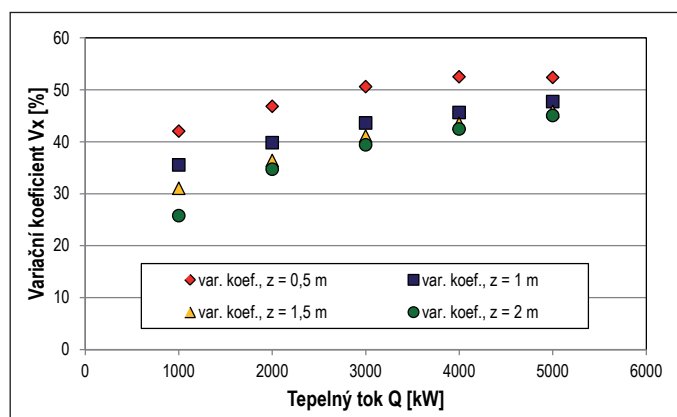
Obr. 4 Hodnoty variačních koeficientů pro všechny volené výšky v zóně kouře Fire Plume

Fig. 4 Values of variation coefficients for all the selected heights in the smoke zone of Fire Plume



Obr. 5 Hmotnostní průtok kouře pro zónu plamene Fire Plume a výšku nad povrchem hořlavých materiálů 1 m

Fig. 5 Smoke mass flow rate for the flame zone of Fire Plume and height above the surface of the combustible materials 1 m



Obr. 6 Hodnoty variačních koeficientů pro všechny volené výšky v zóně plamene Fire Plume

Fig. 6 Values of variation coefficients for all the selected heights in the flame zone of Fire Plume

Grafické srovnání uvedených rovnic pro zónu plamene a výšku nad povrchem hořlavých materiálů 1 m je znázorněno na obr. 5. Hodnoty variačních koeficientů pro všechny volené výšky jsou znázorněny na obr. 6.

DISKUZE

Obecně je možné průtok vzduchu přísávaného do Fire Plume stanovit rovnicemi, které zohledňují výšku přísávání vzduchu do sloupce Fire Plume, celkový uvolňovaný tepelný tok nebo obvod požáru, a lze je popsat následujícími závislostmi $m_e = f(Q; z)$ nebo $m_e = f(P; z)$.

Metody pro stanovení hmotnostního průtoku kouře je nezbytné členit v závislosti na výškové poloze, kde je průtok kouře hodnocen vůči střední výšce plamene, nebo zóně Fire Plume. Některé z metod umožňují aplikaci pouze v některé z uvedených zón, jiné ve více nebo ve všech zónách.

Rovnice, které odvodili Heskestad, McCaffrey, Zukoski a Thomas, byly srovnány pro zónu kouře a zónu plamene Fire Plume. Při srovnání byly respektovány limitní podmínky pro jejich aplikaci.

Z obr. 3 je patrné, že nejnižších hodnot hmotnostního průtoku kouře bylo ve všech případech dosaženo rovnicí, kterou odvodil Zukoski. V případě zohlednění virtuálního počátku Fire Plume, který byl v některých následných prezentacích rovnice již uváděn [15], by došlo ke snížení odchylek od ostatních uvedených výsledků.

Výsledky získané srovnávanými rovnicemi pro zónu kouře dosahují největších odchylek při nejmenší výšce nad povrchem hořlavých materiálů a zpravidla největší dynamice požáru. Při nejmenší výšce nad povrchem hořlavých materiálů a uvolňovaném celkovém tepelném toku 2000 kW a větším byly výsledky hodnoceny již v přechodové zóně Fire Plume, což může být příčinou nejvýznamnějších odchylek (viz obr. 4).

Při nejvyšších hodnocených výškách nad povrchem hořlavých materiálů, tj. 9 a 12 m, dochází k výraznému poklesu variačního koeficientu. Je zřejmé, že klesají rovněž odchylky srovnávaných výsledků. Při těchto výškách klesá také vliv dynamiky požáru. Výsledky vedou k předpokladu možné aplikace jakékoli ze srovnávaných metod v hodnocených nebo větších výškách nad povrchem hořlavých materiálů, v případě přijatelnosti odchylek vyjádřených variačním koeficientem přibližně 15–20 %.

Z obr. 5 je patrné, že největších hodnot hmotnostního průtoku kouře je dosahováno metodou od Heskestada, nejmenších potom metodou odvozenou Thomasem. Při srovnání s výsledky hmotnostního průtoku kouře Thomasovou metodou v zóně kouře je výsledek překvapivý. V zóně kouře bylo Thomasovou metodou dosahováno převážně vyšších výsledků.

Výsledky získané srovnávanými rovnicemi pro zónu plamene dosahují největších odchylek při nejmenší výšce nad povrchem hořlavých materiálů a největší dynamice požáru. Odchytky mezi srovnávanými hodnotami pro zónu plamene jsou významnější než při srovnání hodnot pro zónu kouře. Hodnota variačního koeficientu přesahuje v některých případech 50 % a jedná se tedy o značně nesourodý soubor dat (viz obr. 6).

Metody pro stanovení hmotnostního průtoku kouře dosahují, i při respektování limitů stanovených jejich autory, značné odchylky.

ZÁVĚR

Príspevek popisuje význam lokálního požáru a vertikálního sloupce kouře vznikajícího nad jeho ohniskem, který je označován jako Fire Plume. Vertikální sloupec kouře je členěn do zón a je popisován charakteristikami, které jsou využívány rovněž pro návrh zařízení pro odvod kouře a tepla.

Prezentované metody pro stanovení hmotnostního průtoku kouře byly srovnány zvolenými statistickými metodami, které hodnotily rozdílné výsledky, jichž bylo při jejich aplikaci dosaženo. Metody pro stanovení hmotnostního průtoku kouře byly hodnoceny pro zónu plamene a zónu kouře Fire Plume. Odchytky mezi hodnocenými metodami se zvyšovaly s narůstající hodnotou celkového uvolňovaného tepelného toku a klesající výškou nad povrchem hořlavých materiálů.

Ze srovnání uvedených metod vyplývá, že rozdíly mezi výsledky jsou v některých případech značné. V zóně plamene překročila hodnota variačního koeficientu v některých případech i 50 %, což svědčí o značné nesourodosti srovnávaných statistických souborů. Největších odchylek je dosahováno při nejmenší výšce nad povrchem hořlavých materiálů a zpravidla největší dynamice požáru. Při nejvyšších hodnocených výškách, tj. 9 a 12 m, dochází k výraznému poklesu variačního koeficientu, a tedy také ke snížení odchylek srovnávaných výsledků. Při těchto výškách rovněž, ve vztahu k hodnoceným odchylkám, klesá vliv dynamiky požáru.

Vždy je nezbytné volbu vhodné konkrétní metody pro stanovení hmotnostního průtoku kouře pečlivě zvážit, zdůvodnit její použití a respektovat související limity. Při výběru bude často podstatná souvislost ke střední výšce plamene nebo zóně vertikálního sloupce kouře.

Kontakt na autora: jiri.pokorny@vsb.cz

Poděkování: Tento článek vznikl za podpory projektu Ministerstva vnitra České republiky č. VI20162019034 Výzkum a vývoj ověřených modelů požáru a evakuace osob a jejich praktická aplikace při posuzování požární bezpečnosti staveb.

Legenda symbolů:

A	plocha požáru [m ²]
C	konstanta [kg.kJ ^{-1/3} .m ^{-5/3} .s ^{-2/3}]
C_e	koeficient přísávání vzduchu do Fire Plume [kg.m ^{-5/2} .s ⁻¹]
D	průměr požáru [m]
D_{tp}	viditelný průměr Fire Plume [m]
L_f	střední výška plamene [m]

P	obvod požáru [m]
Q	celkový tepelný tok [kW]
Q_k	tepelný tok sdílený konvekcí [kW]
Q_r	tepelný tok sdílený radiací [kW]
T_{fp}	teplota Fire Plume [K]
T_0	teplota okolí [K]
b_{fp}	poloměr Fire Plume [m]
c_p	měrná tepelná kapacita plynů [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
g	gravitační zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]
k_{sf}	korekční stěnový faktor [-]
m_e	hmotnostní průtok přisávaného vzduchu [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$]
m_f	hmotnostní průtok kouře vznikajícího hořením materiálů [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$]
m_{fp}	hmotnostní průtok kouře ve Fire Plume [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$]
m, n, k	mocniny [-]
u_{fp}	rychlost proudění plynů ve Fire Plume [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
z	výška nad povrchem hořlavých materiálů [m]
z_0	virtuální počátek [m]
ρ_0	hustota okolního vzduchu [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

Použité zdroje:

[1] MALÉŘOVÁ, L., SMETANA, M., DROZDOVÁ, M. Decreasing aftermath large extraordinary situations via the simulations. *Advanced Materials Research*, Chapter 4: Safety Aspects of Management and Applied Research, 2014, č. 1001, s. 453-457. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1001.453.

[2] HESKESTAD, G. Engineering relations for fire plumes. *Fire Safety Journal* [online]. 1984, 7(1), 25-32 [cit. 2016-08-06]. DOI: 10.1016/0379-7112(84)90005-5. ISSN 03797112.

[3] ČSN EN 1991-1-2. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru. Praha: Český normalizační institut, 2004, 56 s.

[4] HESKESTAD, G. Fire Plumes, Flame Height, and Air Entrainment. *SFPE handbook of fire protection engineering*. 4th ed. I., Section two, Fire Dynamic, Chapter 2-1. Bethesda, Md.: Society of Fire Protection Engineers, c2008. ISBN 0877658218.

[5] KARLSSON, B., QUINTIERE, G. J. *Enclosure fire dynamics*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2000, 315 p. ISBN 978-0-8493-1300-4.

[6] HOSSER, D. *Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes*. Technischer Bericht TB 04/01. 3., überarbeitete und ergänzte Auflage. Braunschweig: Technisch-Wissenschaftlicher Beirat (TWB) der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. (vfdb), 2013, 419 s.

[7] Vyhláška č. 246/2001 Sb., o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru, ve znění vyhlášky č. 221/2014 Sb.

[8] PEACOCK, R. D., MCGRATTAN, K. B., FORNEY, G. P., RENEKE, P. A. *CFAST – Consolidated Fire and Smoke Transport* (ver. 7), Volume 1: Technical Reference Guide. NIST Technical Note 1889v1. Maryland, Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2016, 51 s. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.TN.1889v1>.

[9] KUČERA, P., KAISER, R., PAVLÍK, T., POKORNÝ, J. *Požární inženýrství: dynamika požáru*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, Edice SPBI Spektrum 65, 2009, 152 s. ISBN 978-80-7385-074-6.

[10] ZUKOSKI, E.E., KUBOTA, T., CETEGEN, B. Entrainment in fire plumes. *Fire Safety Journal* [online]. 1981, 3(3), 107-121 [cit. 2016-08-15]. DOI: 10.1016/0379-7112(81)90037-0. ISSN 03797112.

[11] MRAČKOVÁ, E., KRIŠŤÁK, L., KUČERKA, M., GAFF, M., GAJTANSKA, M. Creation of wood dust during wood processing: size analysis, dust separation, and occupational health. In *BioResources*, vol. 11, no. 1 (2016), p. 209-222.

[12] POREH, M., GARRAD, G. A study of wall and corner fire plumes. *Fire Safety Journal* [online]. 2000, 34(1), 81-98 [cit. 2016-08-23]. DOI: 10.1016/S0379-7112(99)00040-5. ISSN 03797112.

[13] SEGER, J., HINDLS, R. *Statistické metody v ekonomii*. Jinonice: H&H, 1993. 445 s. ISBN 80-85787-26-1.

[14] HENDL, J. *Přehled statistických metod: analýza a metaanalýza dat*. Páté, rozšířené vydání. Praha: Portál, 2015, 736 s. ISBN 978-80-262-0981-2.

[15] BREIN, D. Anwendungsbereiche und grenzen für praxisrelevante Modellansätze zur Bewertung der Rauchausbreitung in Gebäuden (Plume-Formeln). Version 1.2. Karlsruhe: Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe, 2001, 59 S.

[16] ČSN P CEN/TR 12 101-5. Zařízení pro usměrňování pohybu kouře a tepla – Část 5: Směrnice k funkčním doporučením a výpočetním metodám pro větrací systémy odvodu kouře a tepla. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008, 100 s.

Poznámka recenzenta:

V České republice jsme se při určení hmotnostního průtoku kouře generovaného požárem přiklonili k výpočtové metodě reprezentované evropskou standardizací, která vychází z původních britských výzkumů (autoři P. H. Thomas a P. L. Hinkley, 50.-60.léta minulého století), viz rovnice (2) tohoto článku a zdroj [16].

Velký rozptýl jednotlivých metod je dán především tím, že požár je natolik komplikovaný fyzikálně-chemický fenomén, který není snadné popsat matematickými rovnicemi. Osobně mám zkušenost i s metodou, která vykazuje i více než 100% odchylku od evropské normy.

Projektanti zařízení pro odvod kouře a tepla (ZOKT), ale i ostatní specialisté na požární bezpečnost staveb, mohou vysledovat z grafu na obr. 3 uspokojivý závěr. Pro oblast (zónu) kouře, která je v praxi aplikována nejvíce, je výpočtová metoda předepsaná v národním prostředí na straně bezpečnosti vůči většině ostatních způsobů stanovení průtoku kouře, které jsou v příspěvku prezentovány.

Inovace motorů pro ventilátory

Rostoucí ekologické vědomí veřejnosti a směrnice ekodesignu EU přinášá ovoce v designu ventilátorů a nově i motorů pro ventilátory. Po nových axiálních ventilátorech a Centriflow 3D-ventilátorech Fläkt Woods přichází nové řešení od Fischbach GmbH přechodem od asynchronních motorů s deskovou kotvou na synchronní motory s permanentními magnety, kde jsou stator a rotor nasazeny za sebou. Tím vychází motor s deskovou kotvou jako velmi plochý.

Výrobce je řešení radiálního ventilátoru označeno jako Fischbach-Compact-Gebälse v provedení Superflach. Vyrábí se v provedení s dopředu zahnutými lopatkami a výkonem 25 000 m³/h, s dozadu zahnutými lopatkami a výkonem 40 000 m³/h, pro dopravní tlak 2 kPa a pro teplotu do 100 °C s regulací napětí 0 – 100 % nebo frekvenčním měničem. Má statické a dynamické vyvážení Q 1, třídu ochrany IP 65 a izolace F pro T 155 °C. Motor je uložen v proudu vzduchu.

Pramen: CCI 03/2016, s. 5

(AB)

Grafen s nanopóry pro vývoj odsolovacích procesů

Vznik nanopórů ve vrstvě grafenu představuje efektivní separační membránu svojí chemickou a mechanickou stabilitou, flexibilitou a ze všeho nejvíce jednoatomovou tloušťkou. Teoretické studie naznačily, že výkon takové membrány překonává současné špičkové polymerní filtrační membrány, a experimentální studie byly nedávno zahájeny pro potvrzení tohoto potenciálu. Ukazuje se, že jednovrstvý grafen může být užít jako odsolovací membrána. Nanometrové póry se v grafenu vytváří leptáním kyslíkovou plazmou, které dovoluje vyladit velikost vytvořených pórů. Vzniklá membrána dosahuje téměř 100% odpuzení soli a rychlý transport vody. Průtok dosahuje rychlosti až 10⁶ g/m²s, zjištěnou z rozdílu tlaku před a za membránou, když hnací silou děje je osmotický tlak nepřevyšující 70 g/m²s.atm. Energetická účinnost odsolovacího procesu je vysoká při současně nízkém povrchu membrány, což z ní vytváří nákladově výhodný odsolovací proces o vysokém výkonu ve srovnání se stávající odsolovacími procesy, jako je destilace a reverzní osmóza.

V Oak Ridge National Laboratory k tomu připravili grafen s nanopóry z metalu katalýzou mědi rozpadem na uhlík a vodík a následným nanosením uhlíku v jednoatomové tloušťce na nitrid křemíku jako nosič membrány.

Pramen: Oak Ridge National Laboratory Comm. 3/2015

(AB)