

STANOVENÍ CHARAKTERISTIK LOKÁLNÍHO POŽÁRU V NÁVAZNOSTI NA STANDARDY PRO HODNOCENÍ POŽÁRNÍ BEZPEČNOSTI STAVEB V ČESKÉ REPUBLICE

DETERMINATION OF CHARACTERISTICS OF LOCAL FIRE IN RELATIONSHIP TO THE STANDARDS FOR FIRE SAFETY ASSESSMENT OF BUILDINGS IN THE CZECH REPUBLIC

Jiří POKORNÝ, Lenka MALÉŘOVÁ, Horst GONDEK
jiri.pokorny@vsb.cz, lenka.malerova@vsb.cz, horst.gondek@vsb.cz

Abstract

The article describes standard and different procedure for evaluating the fire safety of buildings. The attention is also focused on the stage of fire development, which is described by local fire, more precisely its part Fire Plume. The use of local fire is currently limited in the Czech Republic. The reason is the complexity of methods for evaluating of local fire characteristics and, in particular, the lack of link of methods for evaluating of Fire Plume characteristics to the national environment. The article presents the procedures for determination of Fire Plume characteristics in relation to the national standard, which is a procedure based on values of the fire load and a procedure based on weight speed of burnout of the substance. The procedures are an instrument for more complex assessment of local fire and for the achievement of more effective building design in terms of fire safety. The article also presents the equations that are the result of analytical work from the last years, and those equations create a link between foreign procedures for the evaluation of Fire Plume characteristics and national standards for designing of fire safety buildings in the Czech Republic.

Key words

Fire protection, fire safety of buildings, local fire, Fire Plume.

Úvod

Požární bezpečnost staveb je v České republice řešena normovými postupy nebo tzv. odlišným postupem [1]. Výstupem hodnocení s využitím normových postupů je požárně bezpečnostní řešení, jehož rozsah je vymezen národními právními předpisy [2, 3].

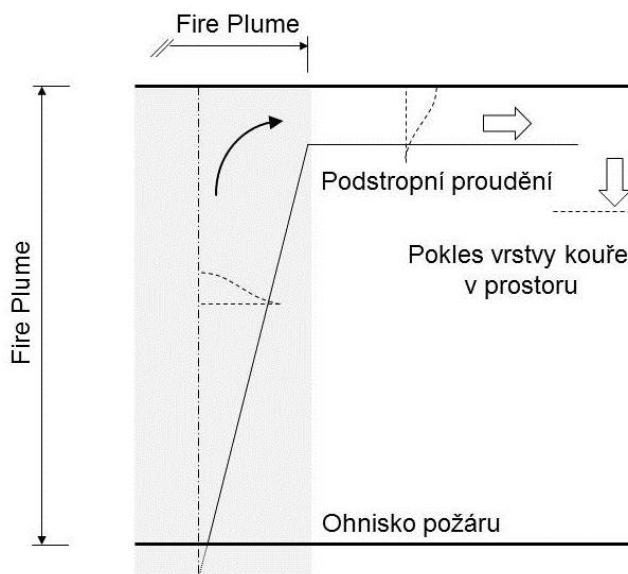
Normovým postupem se rozumí postup podle technického standardu reprezentovaného českými technickými normami nebo jinými technickými dokumenty [3]. Odlišným postupem při posuzování staveb je chápán postup jiný než podle českých technických norem nebo jiných technických dokumentů upravujících podmínky požární ochrany. Dílčí kategorií odlišného postupu je požární inženýrství [4, 5].

V počáteční fázi rozvoje požáru se jeví jako účelné hodnocení tzv. lokálního požáru, kterým je chápán požár na omezené ploše, při kterém dochází k hoření omezeného množství hořlavých látek (požárního zatížení) [6].

Významnou část problematiky lokálního požáru představuje „vertikální sloupec kouře“, který se vytváří nad jeho ohniskem [7, 8, 9]. V české odborné literatuře není popisovaný sloupec kouře přesně definičně vymezen a pro jeho označení je využíváno

nejčastěji obecného termínu „lokální požár“ (např. [6]), 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. [7]). 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. Vymezení Fire Plume ve fázi rozvoje požáru je znázorněno na obr. 1.



Obr. 1

Schematické vymezení Fire Plume ve fázi rozvoje požáru [10]

Vymezení problému

České technické normy se problematikou lokálního požáru zabývají spíše okrajově. Určité souvislosti lze nalézt např. v lit. [11, 12]. Zřetelnější vazba na lokální požár je patrná z lit. [6].

Aplikace metod pro hodnocení lokálního požáru, tedy také jeho dílčí části Fire Plume, je tak v České republice značně omezená.

Jedním z významných důvodů je obtížná orientace v metodách pro hodnocení charakteristik Fire Plume. V současné době je publikován značný počet metod, které jsou zpravidla publikovány ve vztahu k řešení dílčího aspektu. Komplexní popis posuzování charakteristik Fire Plume je spíše ojedinělý. Metody mají navíc svá omezení a jsou spjaty s řešením dalších charakteristik lokálního požáru (zejména střední výškou plamene a virtuálním počátkem). Posouzení charakteristik Fire Plume vyžaduje širší rozsah odborných znalostí souvisejících s dynamikou požáru, vznikem a šířením kouře v prostoru. [10]

Dalším významným důvodem byla dosud scházející vazba metod pro hodnocení charakteristik Fire Plume na národní prostředí. Jednalo se zejména o neexistující vhodné

postupy pro hodnocení charakteristik Fire Plume v návaznosti na standardně vyžívané metody pro posuzování staveb z hlediska požární bezpečnosti v České republice. [10]

Cílem článku je prezentace postupu pro hodnocení Fire Plume v návaznosti na standardní postupy pro hodnocení staveb z hlediska požární ochrany v České republice.

Charakteristiky Fire Plume

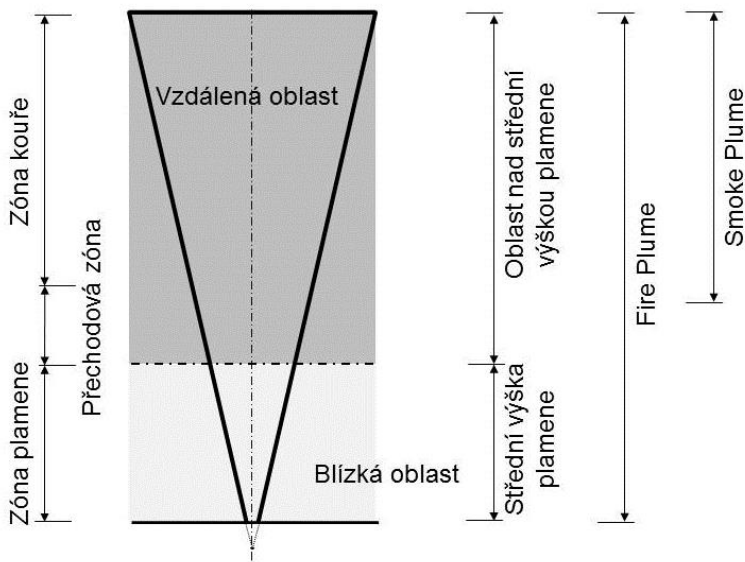
Fire Plume je zpravidla popisován základními charakteristikami, kterými jsou [7, 8, 9]:

- geometrie,
- teplota,
- rychlost proudění kouřových plynů,
- hmotnostní (objemové) množství kouřových plynů.

Dalšími charakteristikami Fire Plume může být toxicita plynů a koncentrace pevných nebo kapalných částic. Využitelnost dalších charakteristik je zanedbatelná a pozornost bude v článku zaměřena pouze na základní charakteristiky Fire Plume.

Charakteristiky jsou zpravidla hodnoceny ve vztahu k zónám Fire Plume (zóna plamene, přechodová zóna a zóna kouře) nebo ke střední výšce plamene [13].

V některých případech byly charakteristiky Fire Plume hodnoceny také ve vztahu k tzv. „blízké“ nebo „vzdálené“ oblasti [14]. Dílčí oblasti, ke kterým jsou hodnoceny charakteristiky Fire (Smoke) Plume, jsou znázorněny na obr. 2.



Obr. 2

Schematické znázornění oblastí pro hodnocení charakteristik Fire (Smoke) Plume [10]

Charakteristiky Fire Plume byly, a jsou také v současnosti, stanovovány zejména na základě dynamiky požáru a geometrie prostoru, ve kterém dochází k rozvoji Fire Plume (např. [15, 16]).

Rovnice pro popis dynamiky požáru ve vztahu k Fire Plume v návaznosti na národní standard

Pro popis dynamiky požáru ve vztahu k Fire Plume byly v návaznosti na národní standard pro hodnocení požární bezpečnosti staveb v České republice odvozeny následující rovnice [10]:

$$Q = \begin{cases} \alpha \cdot t^2; & \text{pro nevýrobní objekty } \alpha = \frac{a^2 \cdot p}{2560}, \text{ pro výrobní objekty } \alpha = \frac{\bar{p}}{2560} \\ \frac{p \cdot a^2 \cdot t^2}{2560}; & \text{pro nevýrobní objekty, kde } t_g = \frac{1600}{a \cdot p^{1/2}} \\ \frac{\bar{p} \cdot t^2}{2560}; & \text{pro výrobní objekty, kde } t_g = \frac{1600}{\bar{p}^{1/2}} \end{cases} \quad (1)$$

$$RHR_f \cdot A$$

$$RHR_f = \begin{cases} \frac{1000 \cdot p \cdot a \cdot H_d}{t}; & \text{pro nevýrobní objekty} \\ \frac{1000 \cdot \bar{p} \cdot H_d}{t}; & \text{pro výrobní objekty} \\ \frac{\sum_{i=1}^n 1000 \cdot m_i \cdot H_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \end{cases} \quad (2)$$

$$q_{f,k} = \begin{cases} p \cdot a \cdot H_d; & \text{pro nevýrobní objekty} \\ \bar{p} \cdot H_d; & \text{pro výrobní objekty} \end{cases} \quad (3)$$

kde:

Q	tepelný tok (kW)
α	koeficient rozvoje požáru (kW.s ⁻²)
t	doba trvání požáru (s)
a	součinitel vyjadřující rychlost odhořívání z hlediska charakteru hořlavých látek (-)
p	požární zatížení (kg.m ⁻²)
\bar{p}	průměrné požární zatížení (kg.m ⁻²)
t_g	doba potřebná pro dosažení referenční rychlosti (s)
RHR_f	maximální rychlost uvolňování tepla z 1 m ² požáru řízeného palivem (kW.m ⁻²)
A	plocha požáru (m ²)
H_d	normová výhřevnost dřeva (MJ.kg ⁻¹)
m_i	hmotnostní rychlost odhořívání látky z jednotky plochy za časovou jednotku (kg.m ⁻² .s ⁻¹)
$q_{f,k}$	hustota charakteristického požárního zatížení na jednotku podlahové plochy (MJ.m ⁻²)

Virtuální počátek

Původní metody pro stanovení charakteristik Fire Plume byly odvozeny zejména pro bodové zdroje požáru převážně s malými tepelnými výkony. V reálných případech se však setkáváme také s jinými geometrickými tvary požáru a většími tepelnými výkony. Virtuální počátek Fire Plume umožňuje transformaci původně odvozených rovnic směrem k reálným požárům [7, 17].

Virtuální počátek znázorňuje bodový zdroj Fire Plume, nad kterým se „začínají objevovat plameny“, a je umístěn nad povrchem hořících materiálů (dosahuje kladných hodnot), nebo pod povrchem hořlavých materiálů (dosahuje záporných hodnot) [18]. Využitím virtuálního počátku byla odstraněna některá omezení pro aplikaci původně odvozených metod [7, 8].

Výzkum virtuálního počátku Fire Plume je spjat s výzkumem metod pro stanovení střední výšky plamene [8].

Výsledky uvedené v lit. [10] dokládají, že při platnosti následujícího vztahu lze virtuální počátek zanedbat [10]:

$$z \geq \sqrt[3]{Q^2 \cdot 10^{-3}} \quad (4)$$

kde: z – výška nad povrchem hořlavých materiálů (m)

Postupy pro stanovení charakteristik Fire Plume v návaznosti na národní standard v České republice

Postupy pro stanovení charakteristik Fire Plume v návaznosti na standard pro posuzování staveb v České republice jsou znázorněny na obr. 3 a 4. Postupy jsou založeny na hodnotách požárního zatížení nebo na hmotnostní rychlosti odhořívání látek.

Řešenou oblastí požární bezpečnosti se rozumí hodnocení vybraných oblastí požární bezpečnosti staveb (např. evakuace osob, požární odolnost stavebních konstrukcí, reakce požárně bezpečnostních zařízení, zásah hasičských jednotek).

Základní charakteristiky Fire Plume byly popsány v předchozích částech článku.

Hodnoty požárního zatížení p , součinitel a , průměrného požárního zatížení \bar{p} a hmotnostní rychlosti odhořívání látky z jednotky plochy za časovou jednotku m_i se stanoví s využitím kodexu norem požární bezpečnosti staveb (např. [12, 19]).

Postup stanovení hodnoty tepelného toku Q s využitím národních návrhových standardů pro hodnocení požární bezpečnosti staveb v České republice byl popsán v předchozích částech článku.

Výška nad povrchem hořlavých materiálů z se stanoví na základě světlé výšky prostoru a předpokládané poloze hořlavých materiálů v prostoru.

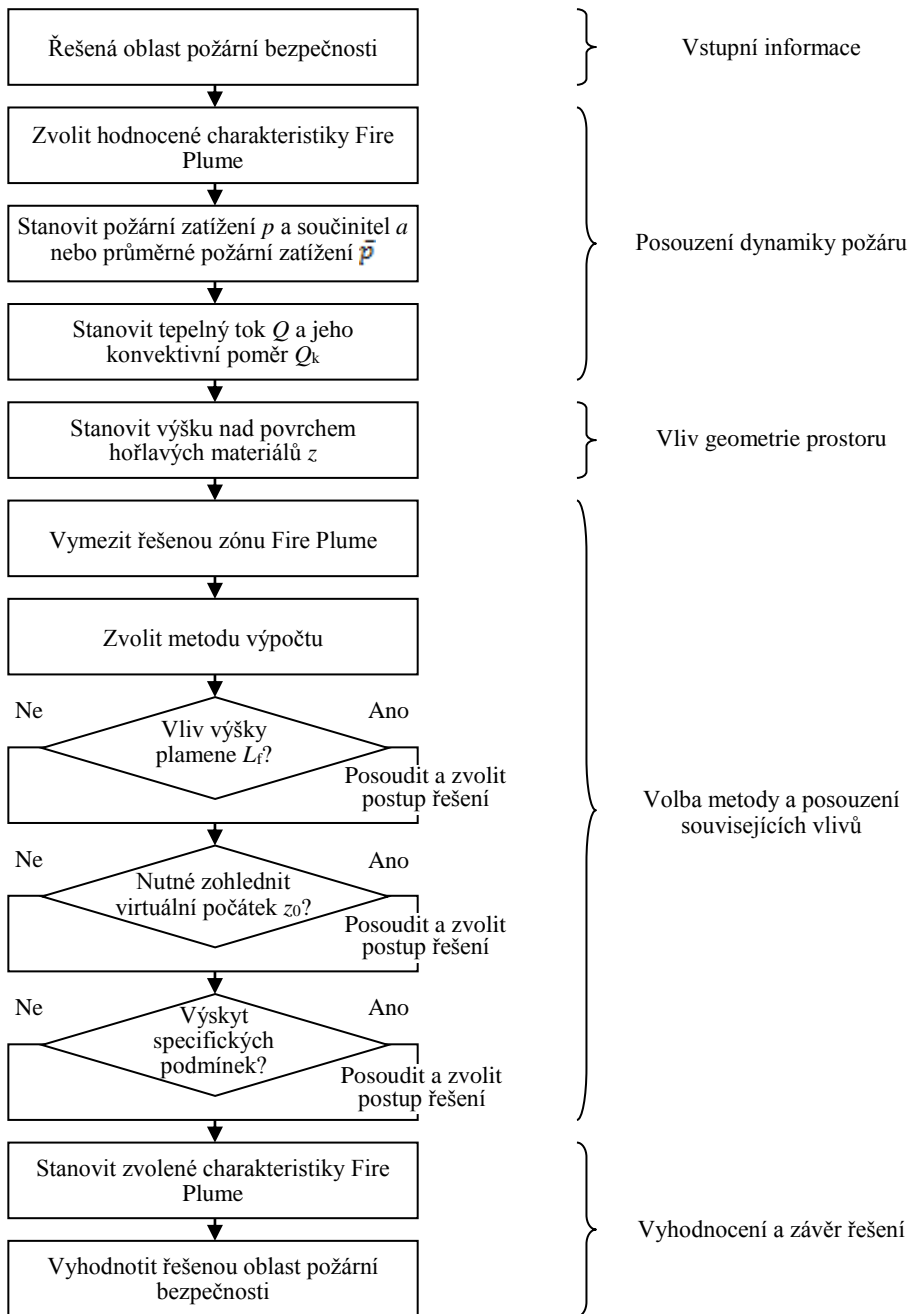
Zóny Fire Plume jsou znázorněny na obr. 2. Hodnocená oblast Fire Plume je funkcí uvolňovaného tepelného toku a výšky nad povrchem hořlavých materiálů. Pro její stanovení lze využít postupů uvedených např. v lit. [8, 10]. Stanovená zóna ovlivňuje volbu metody pro stanovení charakteristik Fire Plume.

Pro stanovení charakteristik Fire Plume je nutné zvolit vhodnou metodu. Mezi nejznámější z nich patří metody, které odvodili Heskestad [7], McCaffrey [8], Zukoski [20] nebo Thomas [21].

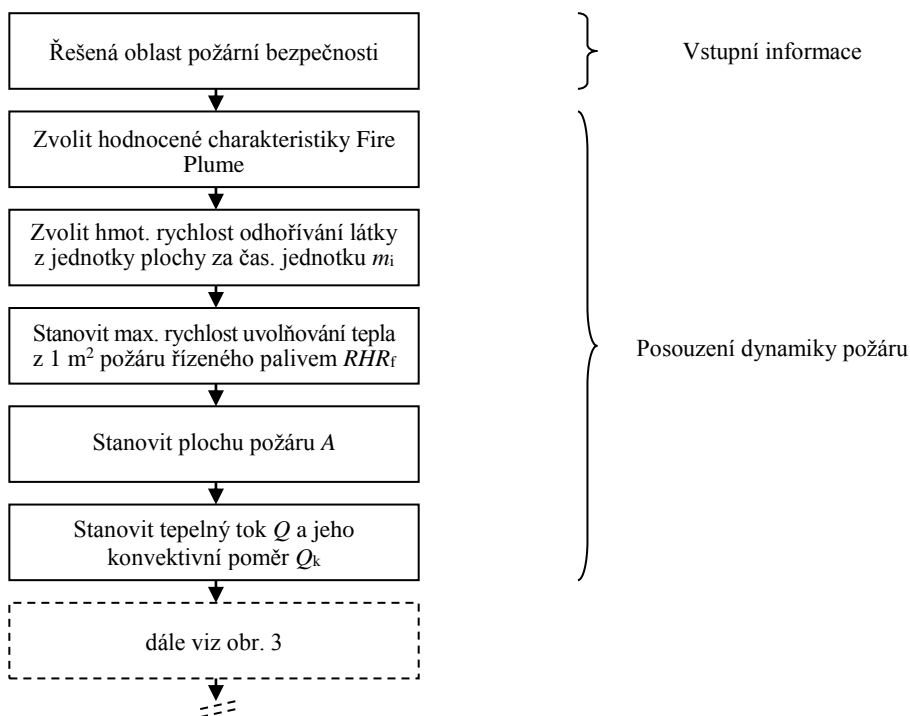
Některé z metod po stanovení charakteristik Fire Plume poskytují alternativní řešení v závislosti na střední výšce plamene L_f . U těchto metod je nezbytné stanovit střední výšku plamene (např. podle [7, 22]) a následně zvolit vhodný postup pro stanovení vybrané charakteristiky.

Některé z metod pro hodnocení charakteristik Fire Plume vyžadují použití tzv. virtuálního počátku. Význam virtuálního počátku a možnost jeho zanedbání byla popsána v předchozích částech článku.

Charakteristiky Fire Plume mohou být ovlivněny specifickými podmínkami, např. situováním ohniska požáru v prostoru, stavebním provedením prostoru (např. nosníky, výklenky, balkóny), vzduchotechnickými zařízeními, vytápěním atd. Specifické podmínky je nutné při hodnocení zohlednit.



Obr. 3
Postup založený na hodnotách požárního zatížení (upraveno z [10])



Obr. 4

Postup založený na hmotnostní rychlosti odhořívání látky (upraveno z [10])

Diskuze

Rovnice pro popis dynamiky požáru ve vztahu k Fire Plume v rámci národního standardu byly odvozeny na základě konstanty pro stanovení doby potřebné pro dosažení referenční rychlosti v rámci národního standardu $k = 1600 \text{ s.kg}^{1/2}.\text{m}^{-1}$. Uvedená konstanta byla odvozena srovnáním postupů pro hodnocení dynamiky požáru používaných v zahraničí (např. [7, 8]) a vybranými hodnotami používanými pro hodnocení požárního rizika v České republice (např. [12, 19]). Srovnání bylo provedeno na 15 zvolených provozech. [10]

S využitím uvedené konstanty byly odvozeny rovnice využitelné při hodnocení charakteristik Fire Plume v návaznosti na standardy pro hodnocení požární bezpečnosti staveb v České republice (viz rovnice (1), (2) a (3)). Rovnice do značné míry usnadňují stanovení vstupních hodnot pro určení charakteristik Fire Plume.

Prezentované rovnice vytvářející vazbu na národní standard byly srovnávány s dalšími zahraničními postupy pro hodnocení dynamiky požáru. Hodnoceny byly odchylky mezi zahraničními a odvozenými postupy. Ve výjimečných případech došlo ke vzniku významných odchylek (např. v obchodech s drogistickým zbožím). Příčinou odchylek mezi zahraničními postupy a odvozenými rovnicemi nejsou vady v odvozených rovnicích, ale odlišnosti v popisu dynamiky požáru pro jednotlivé prostory, které jsou charakterizovány kodexem norem požární bezpečnosti staveb a zahraničními zdroji. Hodnoty popisující dynamiku požáru byly vytvořeny různými autory, v různé době a zřejmě mnohdy různými postupy.

Odvozený vztah (4), který umožňuje posoudit situace, kdy lze zanedbat stanovení virtuálního počátku Fire Plume, rovněž usnadní stanovení jeho charakteristik. Pro úplnost je nutné zmínit, že rovnice byla odvozena pro rychlost proudění plynů ve Fire Plume, teplotní nárůst osy Fire Plume a hmotnostní množství kouře ve Fire Plume s využitím vztahů Heskestada [7, 8].

Postupy pro stanovení charakteristik Fire Plume v návaznosti na národní standard jsou popsány na obr. 3 a 4. Znázorňují posloupnost a obsah jednotlivých kroků nezbytných pro stanovení charakteristik. Jedná se o systémový, relativně jednoduchý a snadno aplikovatelný nástroj pro odborníky, kteří se zabývají posuzováním požární bezpečnosti staveb. Postup byl ověřen na zvolených příkladech, které dokládají jejich využitelnost [10]. V procesu volby metody a posouzení souvisejících vlivů je vhodné zvážit všechny související aspekty a vyhodnotit je i z hlediska ekonomického [23].

Závěr

Prezentované postupy pro hodnocení charakteristik Fire Plume v návaznosti na národní standard jsou cestou ke komplexnějšímu hodnocení lokálního požáru a dosažení efektivnějších návrhů staveb z hlediska požární bezpečnosti.

Rovnice uvedené v článku odstraňují scházející vazbu mezi zahraničními postupy pro hodnocení dynamiky požáru, které jsou pro stanovení charakteristik používány a národními standardy pro hodnocení požární bezpečnosti staveb v České republice.

Kombinace rovnic uvedených v článku a postupů pro stanovení charakteristik Fire Plume v návaznosti na národní standard vytváří efektivní nástroj pro hodnocení lokálního požáru, zejména jeho dílčí části Fire Plume.

Legenda symbolů

A	plocha požáru (m^2)
H_d	normová výhřevnost dřeva ($MJ.kg^{-1}$)
L_f	střední výška plamene (m)
RHR_f	maximální rychlost uvolňování tepla z $1 m^2$ požáru řízeného palivem ($kW.m^{-2}$)
Q	tepelný tok (kW)
Q_k	tepelný tok sdílený konvekcí (kW)
a	součinitel vyjadřující rychlost odhořívání z hlediska charakteru hořlavých látek (-)
k	konstanta pro stanovení doby potřebné pro dosažení referenční rychlosti v rámci národního standardu ($s.kg^{1/2}.m^{-1}$)
m_i	hmotnostní rychlost odhořívání látky z jednotky plochy za časovou jednotku ($kg.m^{-2}.s^{-1}$)
p	požární zatížení ($kg.m^{-2}$)
\bar{p}	průměrné požární zatížení ($kg.m^{-2}$)
$q_{f,k}$	hustota charakteristického požárního zatížení na jednotku podlahové plochy ($MJ.m^{-2}$)
t	doba trvání požáru (s)
t_g	doba potřebná pro dosažení referenční rychlosti (s)
z	výška nad povrchem hořlavých materiálů (m)
z_0	virtuální počátek (m)
α	koefficient rozvoje požáru ($kW.s^{-2}$)

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory projektu Ministerstva vnitra ČR č. VI20162019034 Výzkum a vývoj ověřených modelů požáru a evakuace osob a jejich praktická aplikace při posuzování požární bezpečnosti staveb.

Literatura

- [1] Zákon č. 133/1985 Sb., o požární ochraně, ve znění pozdějších předpisů [online]. [cit. 2017-07-2]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1985-133>
- [2] Vyhláška č. 246/2001 Sb., o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci), ve znění vyhlášky č. 221/2014 Sb. [online]. [cit. 2017-06-10]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-246>
- [3] Vyhláška č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb, ve znění vyhlášky č. 268/2011Sb. [online]. [cit. 2017-07-2]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2008-23>
- [4] KUČERA, P., J. POKORNÝ a kol. *Metodika pro specifické posouzení vysoce rizikových podmínek požární bezpečnosti s využitím postupů požárního inženýrství. Výstup projektu Specifické posouzení vysoce rizikových podmínek požární bezpečnosti s využitím postupů požárního inženýrství*. Kód projektu VG20122014074, vyd. Ostrava, 2014. 64 s.
- [5] KUČERA, P., T. PAVLÍK, J. POKORNÝ a R. KAISER. *Požární inženýrství při plnění úkolů HZS ČR*. Praha: MV – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2012. 66 s. ISBN 978-80-86466-25-5.
- [6] ČSN EN 1991-1-2 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru*. Praha: Český normalizační institut, 2004. 55 s.
- [7] DINENNO, P.J., NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, SOCIETY OF FIRE PROTECTION ENGINEERS. *SFPE handbook of fire protection engineering*. 4th ed vyd. Quincy, Mass.: Bethesda, Md: National Fire Protection Association; Society of Fire Protection Engineers, 2008. 1 s. ISBN 978-0-87765-821-4.
- [8] KARLSSON, B., J.G. QUINTIERE. *Enclosure fire dynamics*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2000. 315 s. Environmental and energy engineering series. ISBN 978-0-8493-1300-4.
- [9] HOSSER, D. *Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes* [online]. Braunschweig: Technisch-Wissenschaftlicher Beirat (TWB) der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. (vfdb), 2013. 419 s. Technischer Bericht TB 04/01., 3. überarbeitete und ergänzte Auflage. Dostupné z: <http://www.kd-brandschutz.de/files/downloads/Leitfaden2013.pdf>
- [10] POKORNÝ, J. *Charakteristika sloupce lokálního požáru v kontextu národních standardů pro posuzování požární bezpečnosti staveb v České republice*. Ostrava, 2017. Habilitační práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství.
- [11] ČSN 73 0810. *Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [12] ČSN 73 0802. *Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [13] QUINTIERE, G.J., S.B. GROVE. A unified analysis for fire plumes. Symposium (International) on Combustion. 1998, s. 2757–2766, doi: 10.1016/S0082-0784(98)80132-X.
- [14] CETEGEN, B. M., T. KUBOTA, E. E. ZUKOSKI. Entrainment in the near and far field of fire plumes. *Combustion Science & Technology*. 1984, roč. 39, č. 1–6, s. 305. ISSN 00102202.

- [15] VDI 6019 Blatt. 1 Ingenieurverfahren zur Bemessung der Rauchableitung aus Gebäuden. Brandverläufe, Überprüfung der Wirksamkeit. Düsseldorf: VDI – Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung, 2006. 53 s.
- [16] VDI 6019 Blatt. 2 Ingenieurverfahren zur Bemessung der Rauchableitung, aus Gebäuden. Ingenieurmethoden. Düsseldorf: VDI – Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung, 2009. 88 s.
- [17] ISO 16734. *Fire safety engineering - Requirements governing algebraic equations – Fire plumes*. Geneva: International Organization for Standardization, 2006. s. 17.
- [18] HESKESTAD, G. Virtual origins of fire plumes. *Fire Safety Journal*. 1983, roč. 5, č. 2, s. 109–114. doi: 10.1016/0379-7112(83)90003-6.
- [19] ČSN 73 0804. *Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [20] ZUKOSKI, E.E., T. KUBOTA, B. CETEGEN. Entrainment in fire plumes. *Fire Safety Journal*. 1981, roč. 3, č. 3, s. 107–121. doi: 10.1016/0379-7112(81)90037-0. ISSN 03797112.
- [21] THOMAS, P.H. Some ambiguities in plume and flame height formulae. *Fire Safety Journal*. 2000, roč. 34, č. 2, s. 209–212. doi: 10.1016/S0379-7112(99)00049-1. ISSN 03797112.
- [22] ISO16735. *Fire safety engineering — Requirements governing algebraic equations – Smoke layers*. Geneva: International Organization for Standardization, 2006. s. 55.
- [23] BLECHARZ, P. a H. ŠTVERKOVÁ. Product Quality and Customer Benefit. *International Symposium on Applied Economics, Business and Development, ISAEBD 2011*. Part 1. Berlin: SPRINGER-VERLAG BERLIN, 2011, Volume 208, 382–388 p. ISBN 978-3-642-23022-6.