

ROZVOJ POŽIARU A RÝCHLOSŤ ODHORIEVANIA

Vladimír Mózer *)

ABSTRAKT

Hlavným cieľom predkladaného článku je stanoviť vplyv jednotlivých faktorov, ktoré ovplyvňujú fázu rastu požiaru a následne plne rozvinutý požiar. V prvom rade, rozvoj požiaru priamo ovplyvňuje množstvo času, ktorý majú užívatelia stavby k dispozícii na bezpečnú evakuáciu. Za druhé, keď začnú vysoké teploty pri požiari negatívne vplývať na stavebné konštrukcie je potrebné stanoviť, ako dlho budú tieto účinky trvať. Za týmto účelom je analyzovaná STN 92 0201-1, konkrétne súčiniteľ horľavých látok a , ktorý má výrazný vplyv na to, ako sa hodnotia obidve fázy požiaru. Z dôvodu určitých nejasností by sa mal spôsob využitia tohto koeficientu podrobne preskúmať a zhodnotiť; zároveň je popísaný aj alternatívny prístup k tejto problematike.

Kľúčové slová:

rýchlosť odhorievania, rýchlosť rozvoja požiaru, t^2 – požiar, fáza rozvoja požiaru, STN 92 0201, súčiniteľ horľavých látok a

ABSTRACT

The main aim of the paper is to examine factors that affect the phase of fire growth and subsequently the fully developed fire. Firstly, the development of a fire directly affects how much time will occupants of the building have to escape to safety. Secondly, once the temperature starts having detrimental effect on the building's construction it is necessary to determine how long these effects will be in present. Slovak technical standard STN 92 0201-1 is examined in respect to the above, particularly the use of the *combustibles coefficient* a , which has significant impact on how both phases of a fire are assessed. It is found that there are some areas of uncertainty and the use of this coefficient should be further examined and evaluated; an alternative approach is described.

Key words:

burning rate, fire-growth rate, t^2 – fire, growth phase, STN 92 0201, combustibles coefficient a

*) Ing. Vladimír Mózer, PhD., Katedra požiarneho inžinierstva, Fakulta špeciálneho inžinierstva, Žilinská univerzita v Žiline, ul. 1. mája 32, Žilina 010 26, vladimir.mozer@fsi.uniza.sk

1 ÚVOD

Požiar má z pohľadu svojho priebehu tri fázy – fáza rozvoja požiaru, fáza plne rozvinutého požiaru a fáza dohorievania. Samotnú fázu rozvoja samozrejme musí predchádzať iniciácia, aby vôbec k horeniu došlo. Prechod medzi fázou rozvoja a fázou plne rozvinutého požiaru nazývame celkovým vzplanutím alebo flashover.

Z pohľadu vyššie uvedeného priebehu požiaru teda pristupujeme aj k riešeniu protipožiarnej bezpečnosti stavieb. Odhliadnuc od spôsobu iniciácie, sa predpokladá, že intenzita iniciačného zdroja bude dostatočná na to, aby požiar mohol pokračovať. V prvom rade teda hodnotíme druh a geometriu horľavých látok, a to či už vo forme požiarneho zaťaženia alebo obsiahnutých v stavebných konštrukciách. Vo fáze plne rozvinutého požiaru je zväčša rozhodujúce množstvo horľavých látok, ktoré určuje, ako dlho bude táto fáza trvať. Samozrejme nezanedbateľné je aj množstvo tepla, ktoré sa odhorievaním látok v tejto fáze požiaru uvoľňuje, pretože to v kombinácii s úroveňou odvetrania determinuje teplotný profil v posudzovanom priestore.

Preto je z pohľadu navrhovania protipožiarnej bezpečnosti nevyhnutné, aby sa jednotlivé fázy požiaru charakterizovali čo najpresnejšie. Pre fázu rozvoja požiaru je to rýchlosť jeho rozvoja – nárastu na hodnotu, pri ktorej dôjde nástupu životu nebezpečných podmienok a postupne k prechodu do fázy plne rozvinutého požiaru. Následne je vo fáze plne rozvinutého požiaru dôležité stanoviť ako dlho táto bude trvať, za účelom adekvátneho nadimenzovania konštrukcií na účinky požiaru.

2 RÝCHLOSŤ ROZVOJA POŽIARU

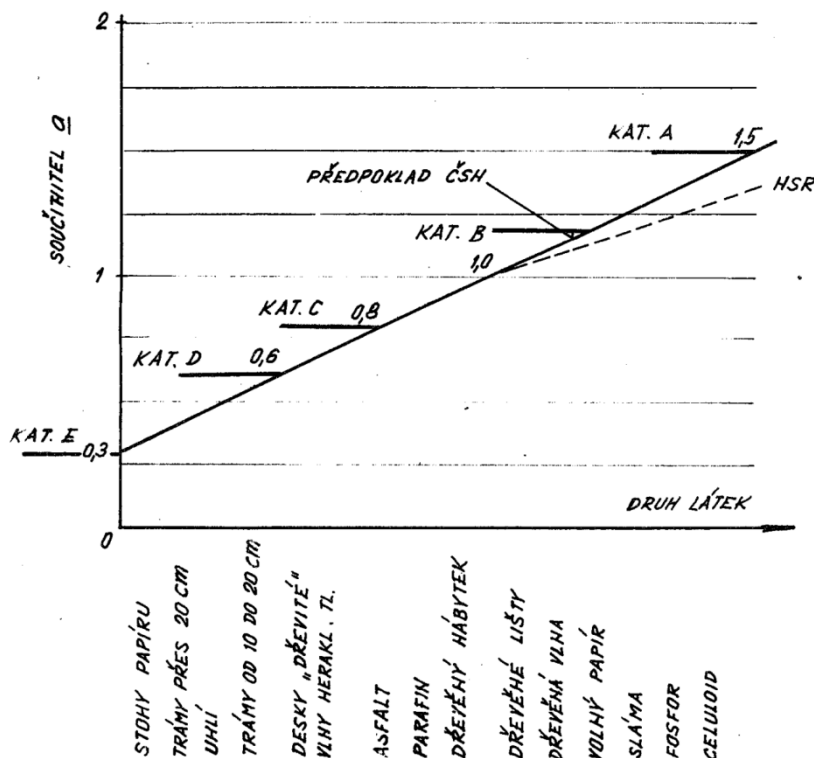
Počas rozvoja požiaru dochádza k postupnému nárastu množstva uvoľňovaného tepla. Je to práve priebeh tohto nárastu, ktorý má kritický vplyv na evakuáciu a dobu prechodu na plne rozvinutý požiar. Logicky, podmienky na to, aby bolo možné vykonať bezpečnú evakuáciu sú z pohľadu teplôt ďaleko nižšie, ako podmienky, pri ktorých dochádza k významnejšiemu tepelnému namáhaniu konštrukcií. Kým v prípade evakuácie sa jedná o teploty dymovej vrstvy do 200 °C [1][2], v prípade odolnosti sú teploty výrazne vyššie, začínajúc na 300°C (napr. drevo) a sú závislé na druhu konštrukčného materiálu.

Hlavným problémom s ohľadom na fázu rozvoja požiaru je potreba charakterizovať rýchlosť nárastu množstva uvoľňovaného tepla. V slovenských normách požiarnej bezpečnosti stavieb [3] sa v závislosti od druhu stavby – výrobná, nevýrobná používajú dva spôsoby vyjadrenia rýchlosti rozvoja požiaru. Pre nevýrobné stavby je to súčiniteľ a , ktorý je podľa definície tejto normy *relatívnym vyjadrením rýchlosti odhorievania horľavých látok z hľadiska ich charakteru (druh, tvar, rozmery zoskupenie a uloženie)*. Pri výrobných stavbách sa jedná o *pravdepodobnosť vzniku a rozšírenia požiaru* p_1 ; pri požiaroch riadených povrchom paliva by sa ešte dalo uvažovať s *hmotnosťou odhoreného množstva látky* m_i , avšak jeho použitie sa vzťahuje len na fázu plne rozvinutého požiaru. Spôsob vyjadrenia pre výrobné stavby – pravdepodobnosť vzniku a rozšírenia požiaru p_1 je údaj vychádzajúci len zo štatistických údajov požiarovosti,

a teda nemá žiadny fyzikálno-chemický základ a ďalej sa s ním v tomto článku nebudeme zaoberať.

V vyššie uvedeného je teda zrejme, že v našich normách chýba spôsob, ktorým by sa fáza rozvoja definovala konkrétnou absolútnou veličinou. Súčiniteľ a je relatívny koeficient, ktorý hovorí o tom, či konkrétna horľavá látka v danej konfigurácii horí intenzívnejšie alebo menej intenzívne ako referenčný druh paliva – hranice z drevených hranolov 2,5x4 cm, ktoré majú reprezentovať podmienky požiaru v byte [4]. Pri jeho stanovení sa vychádzalo z rozdelenia, ktoré je zrejme z obr. 1. Detailnejší rozpis ponúka spomínaná STN 92 0201-1 [3], ktorá uvádza hodnoty súčiniteľa a jednak pre jednotlivé druhy priestorov stavieb podľa ich užívania, ako aj pre jednotlivé druhy horľavých látok. Z dostupných materiálov však nie je zrejme, ako konkrétne sa daný súčiniteľ a určuje vo vzťahu k referenčnému palivu. Hodnota súčiniteľa a sa pohybuje v rozmedzí hodnôt 0,5 až 1,5.

Vo vzťahu k vyššie spomínanej evakuácii sa súčiniteľ a používa ako faktor determinujúci maximálny dovolený čas evakuácie $t_{u\ max}$ avšak vzhľadom na jeho obmedzenú výpovednú hodnotu nie je možné určiť presnú numerickú závislosť medzi týmito veličinami. Podľa literatúry [5] by malo ísť o vzťah $\Delta a = 0.1 \rightarrow \Delta t_{u\ max} \approx 0,3$ min. Nie je však známe o aké podmienky – veľkosť priestoru, jeho výška, atď – sa jedná.



Obrázok 1 Priradenie súčiniteľa a a jednotlivým druhom horľavých látok [6]

Horľavé materiály je vo vzťahu k rozvoju požiaru a rýchlosti uvoľňovania tepla možné testovať viacerými spôsobmi, medzi iným napr malorozmerovým testom na kónickom kalorimetri (pre rozličné druhy palív vid' napr. [8]-[10]), alebo veľkorozmerovou kalorimetriou [11].

Pre fázu rozvoja požiaru bola Heskestadom [12] odvodená tzv. mocninová forma vyjadrujúca nárast tepelného výkonu s časom podľa vzťahu:

$$Q = \alpha \cdot t^n \quad (1)$$

kde:

Q - výkon požiaru [kW]

α - súčiniteľ intenzity (rýchlosti rozvoja) požiaru [kW.s⁻ⁿ]; $n = 1, 2, 3 \dots$

t - čas (doba trvania fázy rozvoja) [s]

Neskôr bolo zistené, že pre väčšinu požiarov sa platí $n = 2$ [11], a zároveň bolo vytýčených niekoľko kategórií tzv. t -mocninových požiarov, vid' Tabuľku 1.

Tabuľka 1 Kategórie t -mocninových požiarov [13]

Kategória požiaru	Čas do dosiahnutia 1MW [s]	Súčiniteľ α [kW.s ⁻²]	Príklad užívania stavby [14]
Pomalý	600	0,00293	Galéria
Stredne rýchly	300	0,01172	Kancelária
Rýchly	150	0,0469	Predajňa
Ultra rýchly	75	0,1876	Skladové priestory

Z tabuľky je zrejmé, že metóda t -mocninového požiaru má jasné kvantitatívne kritérium na zaradenie do jednotlivých tried – čas potrebný na dosiahnutie 1MW. Tento je možné presne stanoviť spomínanými spôsobmi pre dané palivo v konfigurácii a množstve reprezentujúcom požadovaný druh stavby. Zároveň sú k dispozícii už hodnoty stanovené pre široké spektrum horľavých materiálov, vid' napr. [15]. Tento spôsob zatriedovania je obdobný ako pri využití súčiniteľa α . Výhodou využitia systému t -mocninového požiaru je v tomto prípade fakt, že predstavuje štandardizovaný vstup a je možné použiť ho aj pre ďalšie výpočty v rámci požiarneho inžinierstva.

Zároveň je možné využiť takto zadefinovanú fázu rozvoja pre presné stanovenie $t_{u\ max}$ a to na základe výpočtu dosiahnutia kritických podmienok v posudzovanom priestore. Táto problematika je bližšie rozpracovaná s využitím počítačového modelovania v [16]. Nevychádza sa teda z „ustálenej“ hodnoty 2,5min [5], ktorá je následne upravovaná prostredníctvom vyššie uvedeného vzťahu na základe súčiniteľa α , ale hodnotia sa konkrétne podmienky zodpovedajúce časovému priebehu rozvoja požiaru.

3 PLNE ROZVINUTÝ POŽIAR – RÝCHLOSŤ ODHORIEVANIA

V porovnaní s fázou rozvoja požiaru, pri fáze plne rozvinutého požiaru spravidla nastávajú dva limitné stavy – rýchlosť odhorievania je riadená odvetraním alebo povrchom paliva (vid' obr. 2). V prvom prípade sa jedná o nedostatok oxidačného prostriedku a prebytok paliva a v druhom o nedostatok paliva a prebytok oxidačného prostriedku.



a) požiar riadený odvetraním



b) požiar riadený povrchom paliva

Obrázok 2 Dva základné typy požiarov z pohľadu odvetrania [17]

Pre požiare riadené odvetraním je možné na základe empirických vzťahov odvodených z experimentálnych požiarov výpočtom stanoviť rýchlosť odhorievania. Výskumy (napr. [17], [18]) potvrdili, priamu koreláciu medzi veľkosťou vetracích otvorov, ich výškou – spoločne tiež nazvaných parametrom odvetrania – a rýchlosťou odhorievania. Pre jej výpočet platia nasledovné vzťahy [17]:

$$v_v = \frac{5,5 \cdot S_o \cdot h_o^{1/2}}{S} \quad (2)$$

resp [3].

$$v_v = \frac{\gamma \cdot S_o \cdot h_o^{1/2}}{S} \quad (3)$$

kde:

- v_v - rýchlosť odhorievania [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$]
- S_o - plocha ventilačného otvoru [m^2]
- h_o - výška ventilačného otvoru [m]
- S - podlahová plocha horiaceho priestoru [m^2]
- γ - súčiniteľ vyjadrujúci vplyv podmienok ventilácie na v_v [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-5/2} \cdot \text{min}^{-1}$]

Vyššie uvedené vzťahy boli upravené tak, aby bolo možné ich vzájomné porovnanie. Je možné konštatovať, že rozdielom je len fixná hodnota súčiniteľu vyjadrujúceho vplyv podmienok ventilácie na rýchlosť odhorievania $\gamma = 5,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-5/2} \cdot \text{min}^{-1}$ podľa [17]. Z týchto vzťahov je zrejmé, že z charakterom paliva sa v prípade požiarov riadených odvetraním neuvažuje.

Na rozdiel od požiarov riadených ventiláciou, nie je možné výpočtom stanoviť rýchlosť odhorievania pre požiare riadené povrchom paliva. Je nutné túto rýchlosť stanoviť experimentálne. Tu sa znovu dostávame k spomínanému súčiniteľu horľavých látok a , ktorý je práve pomerným vyjadrením tejto rýchlosti vo vzťahu k referenčnému druhu paliva – hraniciam drevených hranolov. Jeho použitie pre plne rozvinutý požiar by preto malo byť obmedzené len na požiare riadené povrchom paliva, čo však norma v prípade nevýrobných stavieb (kde sa súčiniteľ a aplikuje) nepozná; toto potvrdzuje aj autor noriem v [4].

Z tohto dôvodu má teda používanie súčiniteľa horľavých látok a v prípade stanovovania výpočtového požiarneho zaťaženia čisto empirický charakter a jeho vplyv nie je možné nijako kvantitatívne doložiť. Výpočtové požiarne zaťaženie p_v je vlastne formou vyjadrenia ekvivalentného času trvania požiaru τ_e , reprezentujúceho trvanie požiaru podľa normovej teplotnej krivky, ktoré by vyvolalo na konštrukciu rovnaké účinky. Ak vyjadríme p_v bez vplyvov empirických súčiniteľov a a c (teda budeme uvažovať s $a=c=1$) s pomocou vzťahov uvedených v [18], dostaneme:

$$\left. \begin{array}{l} p_v = p_n \cdot b \\ b = \frac{S \cdot k}{S_o \cdot h_o^{1/2}} \end{array} \right\} p_v = p_n \cdot \frac{S \cdot k}{S_o \cdot h_o^{1/2}} \left. \begin{array}{l} \\ v_v = \frac{\gamma \cdot S_o \cdot h_o^{1/2}}{S} \end{array} \right\} p_v = \frac{p_n}{v_v} \cdot \gamma \cdot k \quad (4)$$

pričom

$$k = \frac{1}{\gamma} \left(4 \cdot F_o^{0,35} - 8,8 \cdot F_o^{1,5} + 430 \cdot F_o^{4,5} \right) \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{175}{60} \left(-\log \frac{F_o}{4} \right) \quad (6)$$

$$F_o = \frac{S_o \cdot h_o^{1/2}}{S_k} \quad (7)$$

kde:

- k - súčiniteľ vyjadrujúci rozdielnosť podmienok voči normovému požiaru [-]
- F_o - parameter odvetrania [$m^{-1/2}$]
- S_k - plocha konštrukcií ohraničujúcich priestor [m^2]

Z uvedeného je pre požiare riadené odvetraním zrejmé, že z pohľadu vyjadrenia výpočtového požiarneho zaťaženia, resp. doby trvania požiaru, nemá druh a rozloženie horľavého materiálu žiadny vplyv, keďže sa jedná o fázu plne rozvinutého požiaru. Opodstatnenosť využitia súčiniteľa a v tomto systéme výpočtu p_v je teda sporná.

4 ZÁVER

V tejto práci bol analyzovaný vplyv druhu a rozloženia materiálu na jednotlivé fázy požiaru pre potreby navrhovania protipožiarnej bezpečnosti stavieb. V súčasnosti je využívaný pre nevýrobné stavby tzv. súčiniteľ horľavých látok a , ktorý na empirickom základe vyjadruje relatívnu rýchlosť odhorievania z pohľadu druhu a geometrie paliva.

Uvedený súčiniteľ sa používa taktiež na popis fázy rozvoja požiaru a to vo vzťahu k stanovovaniu maximálnej dovolenej doby evakuácie. Čím vyšší je súčiniteľ a tým nižší je $t_{u \max}$. Použitie súčiniteľa a má svoje logické opodstatnenie, avšak z dôvodu nedostatku informácií ohľadom jeho stanovovania by bolo vhodnejšie používať exaktnejšiu veličinu. Vzhľadom na jasné kvantitatívne kritériá je navrhnuté využitie t

mocninového modelu rozvoja požiaru. Pri tomto modeli sú charakterizované jednotlivé rýchlosti rozvoja – pomalá, stredne rýchla, rýchla a ultra rýchla – časom kedy voľne rozvíjajúci sa požiar dosiahne výkon 1MW.

Zároveň bol zhodnotený aj vplyv súčiniteľa a na rýchlosť odhorievania paliva vo fáze plne rozvinutého požiaru a na výpočtové požiarne zaťaženie. V prípade zavedeného postupu na stanovovanie rýchlosti odhorievania sa tento súčiniteľ vôbec neuplatňuje, pretože sa z charakterom odhorievaného paliva v súčasnosti používaných normových výpočtoch neuvažuje. Ako modifikačný činiteľ je však súčiniteľ a zaradený do výpočtu výpočtového požiarneho zaťaženia p_v . Jeho použitie takýmto spôsobom je však otázne, nakoľko je čisto empirického charakteru a paušálne výrazne mení výslednú hodnotu výpočtového požiarneho zaťaženia v desiatkach percent.

Je preto na zváženie akým spôsobom sa súčiniteľ a bude ďalej používať, a či by ho v záujme skvalitnenia výpočtov požiarnej bezpečnosti nebolo vhodnejšie nahradiť inou exaktnejšou veličinou.

POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-0727-12.

LITERATÚRA

- [1] L.Y. Cooper.: *A Mathematical Model for Estimating Available Safe Egress Time in Fires* in: Fire and Materials Vol. 6(3-4) (1982), p. 135-144
- [2] H. P. Morgan, et.al.: *BR 368 - Design Methodologies for Smoke and Heat Exhaust Ventilation*, (Construction Research Communications, Watford 1999).
- [3] STN 92 0201-1 *Požiarne bezpečnosť stavieb – Časť 1: Požiarne riziko, veľkosť požiarneho úseku* (SUTN, Bratislava 2000).
- [4] V. Reichel.: *Zabraňujeme škodám 11 – Navrhování požární bezpečnosti staveb I.*, (Česká státní pojišťovna, Praha 1978).
- [5] V. Reichel.: *Zabraňujeme škodám 13 – Navrhování požární bezpečnosti staveb III.*, (Česká státní pojišťovna, Praha 1980).
- [6] V. Reichel.: *Navrhování staveb z hlediska požární bezpečnosti.*, (VÚPS, Praha 1969).
- [7] Vyhláška 94/2004 ,ktorou sa ustanovujú technické požiadavky na protipožiarne bezpečnosť pri výstavbe a pri užívaní stavieb v znení neskorších predpisov (MV SR, Bratislava 2012)
- [8] J. Martinka, T. Chrebet, K. Balog.: *An assessment of petrol fire risk by oxygen consumption calorimetry* in: Journal of Thermal Analysis and Calorimetry Vol. 115(3) (2014)

- [9] J. Martinka, T. Chrebet, I. Hrušovský, K. Balog.: *Assessment of the impact of heat flux density on the combustion efficiency and fire hazard of spruce pellets* in: *European Journal of Environmental and Safety Sciences* Vol. 1(1) (2013)
- [10] Q. Xu, M. Zachar, A. Majlingová, C. Jin, Y. Jiang.: *Evaluation of plywood fire behaviour by ISO tests* in: *European Journal of Environmental and Safety Sciences* Vol. 1(1) (2013)
- [11] P.J. DiNenno (Ed.) et al.: *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (3rd ed.)*, (Society of Fire Protection Engineers, Bethesda, MD 2002)
- [12] Heskestad, G., *Similarity Relations for the Initial Convective Flow Generated by Fire*, FM Report 72-WA/HT-17, (Factory Mutual Research Corporation, Norwood, MA 1972)
- [13] C. Mayfield, D. Hopkin.: *FB 29 – Design Fires for Use in Fire Safety Engineering*, (BRE Trust, Watford 2011)
- [14] PD 7974-1 *Initiation and development of fire within the enclosure of origin* (British Standard Institute, London 2003)
- [15] R. L. Alpert, E. J. Ward.: *Evaluation of Unsprinklered Fire Hazards* in: *Fire Safety Journal* Vol. 7 (1984)
- [16] V. Mózer.: *An analysis of factors affecting available safe escape time* in: *European Journal of Environmental and Safety Sciences* Vol. 2(1) (2014) – in print
- [17] D. Drysdale.: *An introduction to fire dynamics*. 3rd ed. (Wiley, Chichester, UK 1999)
- [18] V. Reichel. *Stanovení požadavků na stavební konstrukce z hlediska požární bezpečnosti*. (Svaz požární ochrany, Berlín 1981)

Článek recenzovali dvaja nezávislí recenzenti.