	Specifické posouzení vysoce rizikových podmínek požární bezpečnosti s využitím postupů požárního inženýrství Kód projektu VG20122014074	
Příloha č. **8.8**	**POŽÁRNĚ NEBEZPEČNÝ PROSTOR, ODSTUPOVÉ VZDÁLENOSTI**	
Datum vydání/aktualizace: **05. 01. 2014/10. 10. 2014**	Počet stran: **8**	Zpracovatel: **T. Pavlík**

Obsah

Úvod 2

1 Hustota tepelného toku sálajících těles (požárně otevřených ploch) 3

1.1 Emisivita 3

1.2 Teplota povrchu 3

2 Kritická hustota tepelného toku 4

3 Výpočet tepelného toku dopadajícího na exponovaný povrch – stanovení odstupové vzdálenosti 5

3.1 Modakova metoda (zjednodušený model bodového zdroje) 5

3.2 Metoda dle Dayena a Tiena (model sálání mezi plamenem válcovitého tvaru a elementární plochou) 5

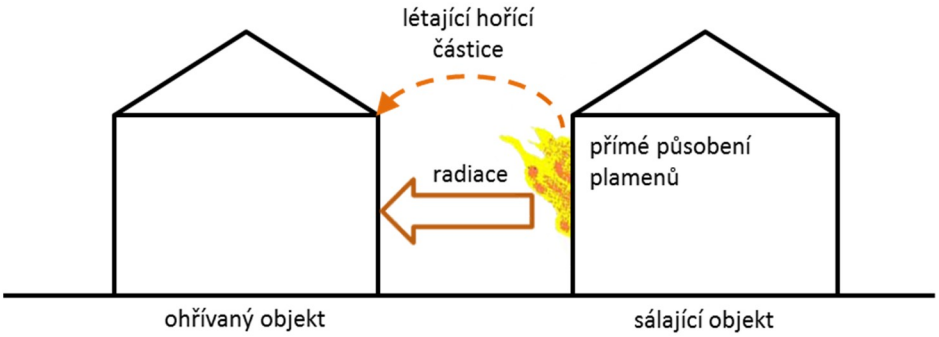
3.3 Polohový faktor (součinitel) 7

Použitá literatura 8

Úvod

Základní ustanovení kmenových norem požární bezpečnosti stanoví, že *k zamezení přenosu požáru vně hořícího požárního úseku nebo objektu na jiný objekt nebo požární úsek (sáláním tepla nebo padajícími částmi konstrukcí) je nutno vytvořit nezbytný odstup vymezený požárně nebezpečným prostorem*.

V případě požáru jsou sousední objekty vystaveny tepelnému působení požáru v podobě přímého působení plamenů, radiace a létajících hořících částic (viz Obr. 1) [11].



Obr. 1 – Schéma přenosu požáru mezi objekty

Hořlavé materiály nacházející se uvnitř nebo vně sousedního objektu mohou být následně obecně iniciovány jedním z následujících způsobů [11]:

1. Přímé působení plamenů (*contact ignition*).
2. Spontánní vznícení v důsledku vystavení hořlavých materiálů sálavému teplu (*spontaneous ignition*).
3. Zapálení v důsledku vystavení hořlavých materiálů sálavému teplu v kombinaci s pomocným zdrojem, např. létajícími hořícími částicemi (*pilot ignition*).

Výpočet odstupových vzdáleností je jedním z příkladů, kdy česká technická norma přímo připouští použití odlišného a podrobnějšího řešení, přičemž současně rozvádí doporučený postup a limitující podmínky.

Stanovení odstupové vzdálenosti zahrnuje dle čl. 10.4.9 [8], resp. čl. 11.4.10 [9] následující kroky:

1. Určení sálajících požárně otevřených ploch.
2. Stanovení hustoty tepelného toku požárně otevřených ploch.
3. Stanovení kritické hustoty tepelného toku dopadající na hořlavý materiál, při které dojde k jeho vznícení.
4. Stanovení odstupové vzdálenosti, při níž dojde k poklesu hustoty tepelného toku na kritickou hodnotu.

1 Hustota tepelného toku sálajících těles (požárně otevřených ploch)

Při požáru v objektu dochází ke sdílení tepla sáláním (radiací) z požárně otevřených ploch a vzniká tak požárně nebezpečný prostor, ve kterém může potencionálně dojít ke vznícení hořlavých materiálů na povrchu okolních objektů (např. dřevěné nebo plastové okenní rámy, asfaltová střešní krytina).

Pro stanovení hustoty tepelného toku sálajících těles (ploch) $\dot{q}_{\mathrm{r}}''$ (kW·m^{-2}) se využívá rovnice vycházející ze *Stefan-Boltzmannova* zákona [3], [4]:

$$\dot{q}_{\mathrm{r}}'' = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \tag{1}$$

kde ε je emisivita sálajícího tělesa (-)
σ Stefan-Boltzmannova konstanta (5,67·10^{-11} W·m^{-2}·K^{-4})
T absolutní teplota povrchu sálajícího tělesa (K)

1.1 Emisivita

Hodnota emisivity požáru (horkých plynů) se v národním kodexu norem požární bezpečnosti konzervativně bere ε = 1,0 (černé těleso), čímž jsou současně kompenzovány např. vlivy vyšlehujících plamenů vně objektu. Stejně tak ČSN EN 1991-1-2 uvádí, že se emisivita požáru obecně bere jako ε = 1,0. Při zpřesněných výpočtech je možné zohlednit skutečnou emisivitu sálajících těles – plamenů, horkých plynů nebo ploch, na druhou stranu by současně měla být přehodnocena výše uvedená zjednodušení.

Příklad zohlednění emisivity plamenů při výpočtu tepelného toku dopadajícího na exponovaný povrch je uveden např. v metodě dle *Dayena* a *Tiena*, viz níže.

1.2 Teplota povrchu

Jak vyplývá z rovnice 1, má absolutní teplota sálajícího tělesa zásadní význam pro velikost hustoty tepelného toku. Dle národních kmenových norem požární bezpečnosti [8], [9] se vychází z ekvivalentní doby trvání požáru a z teploty plynů, která je pro danou ekvivalentní dobu trvání požáru vyjádřena normovou teplotní křivkou:

$$T = 293 + 345 \log(8\tau_e + 1) \tag{2}$$

kde τ_e je ekvivalentní doba trvání požáru (min)
(*Pozn.: v případě postupu dle* [8] *se dosazuje místo ekvivalentní doby trvání požáru* τ_e *výpočtové požární zatížení* p_v)

Uvedený postup vychází z předpokladu, že pravděpodobná teplota plynů v hořícím prostoru dosahuje svého maxima právě na konci ekvivalentní doby trvání požáru [7].

Literatura [6], ze které vychází model výpočtu odstupových vzdáleností platný v Anglii a Walesu, zjednodušuje stanovení teploty sálajícího tělesa (požárně otevřených ploch) zavedením dvou hodnot ve vztahu k požárnímu zatížení dotčeného požárního úseku. Je-li požární zatížení v požárním úseku ≥ 25 kg·m^{-2}, pak je T = 1100 °C; je-li požární zatížení < 25

kg·m^{-2}, pak je T = 800 °C. Těmto hodnotám připadají hustoty tepelného toku 84 kW·m^{-2}, resp. 168 kW·m^{-2} (*Pozn.: hodnoty hustoty tepelného toku uvádí literatura* [2], [6] *nicméně tyto neodpovídají přesnému výpočtu dle uvedených teplot pomocí rovnice 1*).

2 Kritická hustota tepelného toku

Kritická hustota tepelného toku je mezní hustota tepelného toku dopadající na hořlavý materiál, při které ještě nedojde k jeho iniciaci.

Působením tepelného toku na hořlavý materiál dochází k jeho tepelné degradaci a uvolňování hořlavých plynů, které jsou schopny při dosažení určité teploty po přiblížení plamene nebo jiskry vzplanout a hořet. Uvedená teplota se nazývá teplota vzplanutí. V případě, že se tepelný tok dopadající na hořlavý materiál bude zvyšovat, poroste i teplota a rychlost uvolňování hořlavých plynů až do okamžiku, kdy jsou tyto plyny schopné se vznítit samy i bez přítomnosti plamene (dosáhnou teploty samovolného vznícení). Hodnota teploty vznícení a vzplanutí závisí, kromě vlastní hustoty tepelného toku, významně také na následujících parametrech:

- době působení tepelného toku,
- tepelně technických vlastnostech materiálu (*thermal inertia* – tepelná setrvačnost),
- vlhkosti materiálu,
- povrchové úpravě (např. nátěr).

Hodnoty kritických tepelných toků, při nichž nastane vznícení nebo vzplanutí, mají proto platnost pouze pro konkrétní podmínky, za kterých byly stanoveny.

V kodexu norem požární bezpečnosti staveb byla pro výpočty odstupových vzdáleností mezi objekty zvolena hodnota kritické hustoty tepelného toku I_{krit} = 18,5 kW·m^{-2}. Této hustotě tepelného toku je schopno smrkové a jedlové dřevo o 20 – 30% vlhkosti odolávat po dobu 20 minut, aniž by došlo k jeho vzplanutí [7].

Tab. 1 – Hodnoty kritických tepelných toků vybraných materiálů [1], [3]

Materiál	**Kritická hustota tepelného toku (kw·m^{-2})**	
	vznícení s pomocným zdrojem (*pilot ignition*)	**spontánní vznícení (*spontaneous ignition*)**
Dřevo (obecná hodnota)	12	28
Dřevo s běžným nátěrem	17	25 – 50
Polymetylmetakrylát	11	
Polyetylen	15	
Polypropylen	15	
Polykarbonát	15	
Polystyren	13	
Bavlněná vlákna	7,5	

Literatura [2] uvádí pro stanovení odstupových vzdáleností kritické hustoty tepelného toku hodnoty I_{krit} = 12,5 kW·m^{-2} pro vznícení s pomocným zdrojem a I_{krit} = 33,5 kW·m^{-2} pro spontánní vznícení. I v tomto případě bylo jako reprezentativní materiál užito dřevo.

3 Výpočet tepelného toku dopadajícího na exponovaný povrch – stanovení odstupové vzdálenosti

3.1 Modakova metoda (zjednodušený model bodového zdroje)

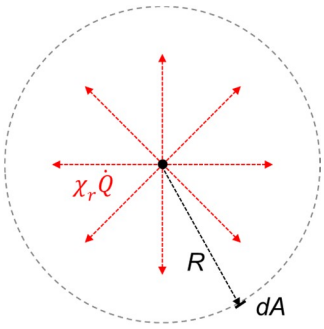
Metoda předpokládá, že radiační energie je uvolňována z jednoho bodu umístěného ve středu požáru (viz Obr. 2). Hustotu tepelného toku dopadající kolmo na elementární plochu umístěnou ve vzdálenosti *R* lze vypočítat dle následujícího vztahu (*Moldak*) [1], [4]:

$$\dot{q}_{\mathrm{r}}'' = \frac{\chi_r \dot{Q}}{4\pi R^2} \tag{3}$$

kde χ_r je podíl tepla uvolňovaný radiací (-); hodnota se obvykle pohybuje v rozmezí od 0,15 pro hoření látek produkujících minimum sazí (např. alkoholy) do 0,60 pro látky produkující při hoření velké množství sazí

$\dot{Q}$ rychlost uvolňování tepla (kW) požáru

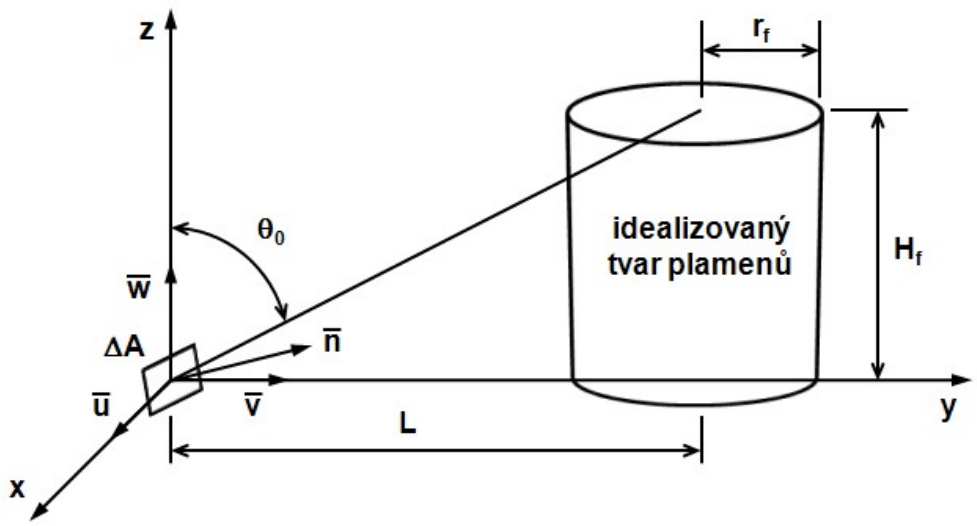
R vzdálenost od pomyslného středu požáru (m)



Obr. 2 – Schéma modelu sálání bodového zdroje

3.2 Metoda dle Dayena a Tiena (model sálání mezi plamenem válcovitého tvaru a elementární plochou)

Dayen a *Tien* sestavili sofistikovanější analýzu hustoty tepelného toku dopadající sáláním od plamenů směrem k vybranému objektu [3], [5]. Tento model idealizuje tvar plamenů jako osově symetrický válec se stejnoměrným rozdělením teploty a ostatních fyzikálních veličin (viz Obr. 3).



Obr. 3 – Schéma sálání mezi plamenem válcového tvaru a elementární plochou dA

Výpočet hustoty tepelného toku vychází z předpokladu, že plamen válcového tvaru působí na elementární plochu dA, s jednotkovým normálovým vektorem $n = u\bar{\imath} + v\bar{\jmath} + w\bar{k}$, která je umístěna ve vzdálenosti L (m) od středu tohoto kužele. Platí-li podmínka $L/r_f \geq 3$, pak je vztah pro výpočet hustoty tepelného toku sálání plamenů dán:

$$\dot{q}_r'' = \varepsilon_f . \sigma . T_f^4 (F_1 + F_2 + F_3) \tag{4}$$

kde T_f je teplota plamene (K)

ε_f emisivita plamenů (-) určená vztahem:

$$\varepsilon_f = 1 - e^{-0,7.\mu} \tag{5}$$

kde μ je součinitel daný vztahem:

$$\mu = \frac{2.r_f.\kappa_f}{\sin\left(\frac{\theta_0 + \pi/2}{2}\right)} \tag{6}$$

kde r_f je poloměr válce tvořící plameny (m)

κ_f součinitel absorpce plamene (m^{-1}),
Pozn.: například pro metan 6,45 m^{-1}, propan 13,32 m^{-1}, dřevo 0,8 m^{-1}, plasty ≈ 1,2 – 1,3 m^{-1}

θ_0 polární úhel (rad) určený $\theta_0 = \tan^{-1}(L/H_f)$, kde H_f je výška válce představujícího plameny (m)

F_1, F_2, F_3 efektivní geometrické součinitele (-)

$$F_1 = \frac{u}{4\pi}\left(\frac{r_f}{L}\right)^2 [\pi - 2\theta_0 + \sin(2\theta_0)] \tag{7}$$

$$F_2 = \frac{v}{2\pi}\left(\frac{r_f}{L}\right) [\pi - 2\theta_0 + \sin(2\theta_0)] \tag{8}$$

$$F_3 = \frac{w}{\pi}\left(\frac{r_f}{L}\right)\cos^2\theta_0 \tag{9}$$

kde u, v, w jsou vzdálenosti mezi osou válce představujícího plameny a elementární plochou *dA* v souřadnicích *x*, *y*, *z* (m)

3.3 Polohový faktor (součinitel)

Při sálání tepla z požárně otevřených ploch dopadá na přijímací plochu (hořlavé materiály sousedního objektu) pouze část vyzařovaného tepelného toku, která se vyjadřuje *polohovým faktorem (součinitelem) Φ* (-). Konkrétní hodnota polohového faktoru závisí na velikosti sálajícího povrchu, vzdálenosti sálajícího povrchu od přijímacího povrchu a jejich vzájemné orientaci.

Rovnice pro výpočet polohového faktoru lze nalézt v příloze G [10], včetně rovnic pro případy, kdy je přijímací povrch kolmý k sálajícímu povrchu (k požárně otevřené ploše) nebo s ním svírá jiný úhel. V praxi nejčastějším a současně konzervativním řešením ale zůstává tzv. rovnoběžná dispozice, kdy sálající povrch je rovnoběžně orientován k přijímacímu povrchu (tj. k povrchům hořlavých konstrukcí, oken apod.).

Rovnoběžná dispozice:

$$\phi = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{a}{(1+a^2)^{0,5}}\tan^{-1}\left(\frac{b}{(1+a^2)^{0,5}}\right) + \frac{b}{(1+b^2)^{0,5}}\tan^{-1}\left(\frac{a}{(1+b^2)^{0,5}}\right)\right] \tag{10}$$

Kolmá dispozice:

$$\phi = \frac{1}{2\pi}\left[\tan^{-1}(a) - \frac{1}{(1+b^2)^{0,5}}\tan^{-1}\left(\frac{a}{(1+b^2)^{0,5}}\right)\right] \tag{11}$$

Dispozice pod úhlem θ:

$$\phi = \frac{1}{2\pi}\left[\tan^{-1}(a) - \frac{(1-b\cos\theta)}{(1+b^2-2b\cos\theta)^{0,5}}\tan^{-1}\left(\frac{a}{(1+b^2-2b\cos\theta)^{0,5}}\right) + \right. \tag{12}$$

$$\left. + \frac{a\cos\theta}{\left(a^2+\sin^2\theta\right)^{0,5}}\left[\tan^{-1}\left(\frac{(b-\cos\theta)}{\left(a^2+\sin^2\theta\right)^{0,5}}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{\cos\theta}{\left(a^2+\sin^2\theta\right)^{0,5}}\right)\right]\right]$$

kde $a = h/s$

$b = w/s$

s je vzdálenost mezi elementární plochou *dA* a rohem dílčí sálavé plochy

h výška sálavé plochy

w šířka sálavé plochy

Použitá literatura

[1] BALOG, K., KVARČÁK, M. *Dynamika požáru*. EDICE SPBI SPEKTRUM 22. Ostrava, Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1999. ISNB: 80-86111-44-X.

[2] BARNETT, C., R. Fire Separation between External Walls of Buildings. In: *Fire Safety Science – Proceedings of The Second International Symposium*, p. 841-850. International Association for Fire Safety Science, 1989. doi:10.3801/IAFSS.FSS.2-841. Dostupné z http://www.iafss.org/publications/fss/2/841/view [cit. 2014-11-09].

[3] DRYSDALE, D. D. *An Introduction to Fire Dynamics,* 2nd ed., John Wiley and Sons, Chichester, UK, 1999. ISBN: 978-0-471-97291-4.

[4] KARLSSON, B., QUINTIERE, J. G. *Enclosure Fire Dynamics*. CRC Press, 1999. ISBN: 978-0-8493-1300-4.

[5] KUČERA, P., KAISER, R., PAVLÍK, T., POKORNÝ, J. *Požární inženýrství – Dynamika požáru.* EDICE SPBI SPEKTRUM 65. Ostrava, Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2009. ISBN 978-80-7385-074-6.

[6] READ, R., E., H. *External fire spread: building separation and boundary distances*. Fire Research Station. Building Research Establishment, 1991. ISBN 0-85125-465-9.

[7] REICHEL, V. *Navrhování požární bezpečnosti výrobních objektů, část IV*. Zabraňujeme škodám, svazek č. 27. Česká státní pojišťovna, Praha 1989.

[8] ČSN 73 0802 *Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty*. ČNI, Praha, 2009.

[9] ČSN 73 0804 *Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty*. ČNI, Praha, 2010.

[10] ČSN EN 1991-1-2 *Eurokód 1*: *Zatížení konstrukcí - Část 1-2*: *Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru*. ČNI, Praha, 2004.

[11] ISO/TR 13387-6 *Fire safety engineering - Part 6: Structural response and fire spread beyond the enclosure of origin.* Geneva: ISO International organization for Standardization, 1999.