9 OHŘEV NOSNÍKU VYSTAVENÉHO LOKÁLNÍMU POŽÁRU (řešený příklad)

Vypočtěte tepelný tok dopadající na strop a nejvyšší teplotu průvlaku z profilu I 300 při lokálním požáru. Výška požárního úseku je 2,8 m, plocha ohně 1,0 m², výška hranice z dřevěných hranolů 0,65 m, objem paliva 0,33 m³, nosník leží ve vzdálenosti 0,5 m od osy požáru, viz obr. 1.



Obr. 1 Průvlak vystavený lokálnímu požáru

Uvolňování tepla

Největší rychlost uvolňování tepla RHR lze podle typu provozů stanovit podle <u>ČSN EN 1991-1-2 čl.</u> <u>E.3(2)</u> a tab. E.5, pro dřevěné hranoly 50 x 50 x 1 000 mm se uvažuje s hodnotou $Q_{\text{max}} = 1 250 \text{ kWm}^{-2}$. Doba potřebná pro dosažení rychlosti uvolňování tepla 1 MW se stanoví podle <u>ČSN EN 1991-1-2 tab.</u> <u>E.5</u>, pro dřevěné hranoly lze počítat s $t_{\alpha} = 300$ s. Rychlost uvolňování tepla do dosažení nejvyšší rychlosti se stanoví jako $Q = 10^6 \cdot (t/t_{\alpha})^2$, viz <u>ČSN EN 1991-1-2 čl. E.4(1) rov. (E.5)</u>. Při objemové hmotnosti paliva 500 kg m⁻² a jeho výhřevnosti 1,47 $\cdot 10^{50}$ J kg⁻¹ je množství energie v palivu asi $Q_{f,k} = 2,9 \cdot 10^9$ J. Popis význačných bodů na křivce rychlosti uvolňování tepla je popsán v Příloze E ČSN EN 1991-1-2. Graf je zobrazen na obr. 2. Prvním význačným bodem na křivce je dosažení nejvyšší rychlosti uvolňování tepla. Předpokládá se, že rychlost hoření začne lineárně klesat při vyhoření 70% paliva, viz <u>ČSN EN 1991-1-2 čl. E.4(5)</u>. Doba, za kterou palivo vyhoří, lze stanovit jako $t_c = 0,6 Q_{f,k} / Q_{max}$.



Obr. 2 Rychlost uvolňování tepla během požáru

Výpočet tepelného toku je dále textu ukázán v 30. min požáru. Rozvoj tepelného toku a teploty průvlaku v čase se počítá v přírůstcích 1 s tabulkovým procesorem. Průběžné výsledky jsou zobrazeny na obr. 2 až 4.

Tepelný tok

Vzdálenost mezi zdrojem požáru a stropem

H = 2,8 - 0,65= 2,15 m

Náhradní průměr ohně

 $D = (4 A / \pi)^{1/2} = (4 1, 0 / \pi)^{1/2} = 1,128 \text{ m}$

Délka plamene v 30. min požáru, viz ČSN EN 1991-1-2 čl. C(3) rov. (C.1),

$$L_f = -1,02 D + 0,0148 Q^{2/5} = -1,02 \cdot 1,13 + 0,0148 \cdot (1,25 \cdot 10^3)^{2/5} = 2,91 \text{ m} < 2,8 - 0,65 \text{ m}$$

Plamen zasahuje strop.

Součinitel rychlosti uvolňování tepla, viz ČSN EN 1991-1-2 čl. C(8) rov. (C.6),

$$Q_{H}^{*} = Q / (1,11 \cdot 10^{6} \cdot H^{2,5}) = 1,25 \cdot 10^{6} / (1,11 \cdot 10^{6} \cdot 2,15^{2,5}) = 0,166$$

Vodorovná délka plamene, viz ČSN EN 1991-1-2 čl. C(7) rov. (C.5),

 $L_h = 2.9 H (Q_H^*)^{0.33} - H = 2.9 \cdot 2.15 (0.166)^{0.33} - 2.15 = 1.298 \text{ m}$

Součinitel, který redukuje uvolňování tepla o vliv omezení výšky, viz <u>ČSN EN 1991-1-2 čl. C(9) rov.</u> (C.8),

$$Q_D^* = Q/(1,11 \cdot 10^6 \cdot D^{2,5}) = 1,25 \cdot 10^6/(1,11 \cdot 10^6 \cdot 1,128^{2,5}) = 0,832$$

Poloha virtuálního zdroje tepla ve svislém směru v případě $Q_D^* < 1,0$; viz <u>ČSN EN 1991-1-2 čl. C(9)</u> rov. (C.7),





Pro vodorovnou vzdálenost mezi svislou osou ohně a bodem u stropu je r = 0,5 m se podle <u>ČSN EN</u> <u>1991-1-2 čl. C(6) rov. (C.4)</u> stanoví se součinitel

$$y = \frac{r + H + z'}{L_{\rm h} + H + z'} = \frac{0.50 + 2.15 + 0.120}{1.298 + 2.15 + 0.120} = 0.7763$$

Pro $0 < y \le 1,0$ se tepelný tok dopadající na jednotku povrchové plochy, viz obr. 4, stanoví jako

 $h^{\bullet} = 136\ 300 - 121\ 000\ y = 136300 - 121000 \cdot 0,776 = 42\ 366\ W\ m^{-2}$



Obr. 4 Tepelný tok dopadající na jednotku povrchové plochy během požáru

Čistý teplený tok dopadající na jednotku povrchové plochy viz <u>ČSN EN 1991-1-2 čl. C(10) rov. (C.9)</u>, stanoví jako

$$\dot{h}_{\text{net,d}} = \dot{h} - \alpha_{\text{c}} (\theta_{\text{m}} - 20) - \Phi \varepsilon_{\text{m}} \varepsilon_{\text{f}} \sigma \left[(\theta_{\text{m}} + 273)^4 - 293^4 \right]$$

kde se součinitel přestupu tepla prouděním uvažuje $\alpha_c = 25 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$, polohový faktor $\Phi = 1$; povrchová emisivita prvku $\varepsilon_M = 0,7$; emisivita požáru $\varepsilon_f = 1$ a Stefan-Boltzmannova konstanta $\sigma = 5,67 \, 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$. Při teplotě průvlaku 631,4°C je čistý teplený tok dopadající na jednotku povrchové plochy

$$\dot{h}_{\text{net,d,t=30min}} = 42366 - 25(631,4 - 20) - 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} [(608,3 + 273)^4 - 293^4] = 631 \text{ Wm}^{-2}$$

Přestup tepla do konstrukce

Teplota nechráněného průvlaku se stanoví po přírůstcích z <u>výrazu (4.25) v ČSN EN 1993-1-2</u> <u>čl. 4.2.5.1(1)</u>, ze vztahu

$$\Delta \theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m / V}{c_a \rho_a} h_{net,d} \Delta t = 1,0 \frac{131}{c_a 7850} h_{net,d} \Delta t \approx \frac{131}{766 \cdot 7850} \cdot 631 \cdot 1 = 0,0137$$

kde se součinitel zastínění $k_{sh} = 1,0$; součinitel průřezu ocelového prvku $A_m/V = 131 \text{ m}^{-1}$, hustota oceli 7850 kgm⁻³; měrné teplo oceli, viz <u>ČSN EN 1993-1-2 čl. 3.4.1.2(1) rov. (3.2)</u>,

- pro 20 °C $\leq \theta_a < 600$ °C jako $c_a = 425 + 7.73 \quad 10^{-1} \theta_a - 1.69 \cdot 10^{-3} \theta_a^2 + 2.22 \cdot 10^{-6} \theta_a^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ - pro 600 °C $\leq \theta_a < 735$ °C jako $c_a = 666 + 13002/(738 - \theta_a) \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ - pro 735 °C $\leq \theta_a < 900$ °C jako $c_a = 545 + 17820/(\theta_a - 731) \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ - pro 900 °C $\leq \theta_a \leq 1200$ °C jako

 $c_a = 650 \text{ J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$

Konzervativně lze uvažovat $c_a = 600 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Postup výpočtu je dokumentován v tab. 1 a teplota průvlaku během požáru na obr. 5.

Čas, min	Virtuální počátek osy, m	Délka plamene, m	Tepl. v oblaku hoř plynů, °C	Souč.uvolň. tep.na prům. lok. pož.	Svislá poloha virt. zdroje tepla, m	Souč. rychlosti uvolň.tepla	Vodorovná délka plamene, m	Součinitel	Tep. tok na jedn. povrchu plochy	Teplota povrchu prvku, °C	Čistý tepelný tok, Wm ⁻²	Přírůstek teploty průvlaku, °C
t	z_0	$L_{ m f}$	θ_{z} , °C	$Q^{*_{\mathrm{D}}}$	ź	$Q^{*_{\mathrm{H}}}$	$L_{\rm h}$	у	'n	$\theta_{ m m}$	$h'_{\rm net}$	$\Delta \theta_{\mathrm{a,t}}$
0,00	0,00	-1,15	20,000	0,0E+00	0,000	0	0	1,56	0,00	20,00000	0,00	0,00E+00
0,02	-1,14	-1,11	20,171	7,4E-06	0,023	1,48E-06	0	1,56	4,33	20,00016	4,33	1,64E-04
0,03	-1,13	-1,08	20,440	3,0E-05	0,039	5,91E-06	0	1,55	10,96	20,00058	10,96	4,16E-04
0,05	-1,12	-1,06	20,757	6,7E-05	0,053	1,33E-05	0	1,55	18,91	20,00130	18,91	7,18E-04
29,97	0,29	-	-	8,3E-01	0,1200	0,166	1,298	0,7763	42 366	608,277	634,89	1,38E-02
29,98	0,29	-	-	8,3E-01	0,1200	0,166	1,298	0,7763	42 366	608,290	632,83	1,38E-02
30,00	0,29	-	-	8,3E-01	0,1200	0,166	1,298	0,7763	42 366	608,304	630,77	1,37E-02
30,02	0,29	-	-	8,3E-01	0,1200	0,166	1,298	0,7763	42 366	608,318	628,72	1,37E-02
30,03	0,29	-	-	8,3E-01	0,1200	0,166	1,298	0,7763	42 366	608,332	626,68	1,36E-02

Tab. 1 Stanovení teploty prvku tabulkovým procesorem



Obr. 5 Teplota nechráněného průvlaku z profilu I 300 vypočítaná po přírůstcích 5 s

Porovnání s experimentem

Řešený příklad přibližně popisuje zkoušku ČVUT v Praze na objektu odstředivek Čpavkárny II v areálu koksovny Mittal Steel Ostrava dne 15.5.2006. Hlavním cílem pokusu bylo prohloubení poznatků o teplotě sloupů při místním požáru, viz obr. 6. a obr. 7. Obr. 8 ukazuje rozvoj teplot v požárním úseku při lokálním požáru. Porovnání vypočítané teploty průvlaku pomocí analytického

modelu a naměřené teploty při zkoušce je ukázáno na obr. 9. Výpočet odpovídá naměřeným geometrickým a materiálovým charakteristikám paliva. Termočlánek TC1 byl umístěn na středu průvlaku ne středu horního povrhu ramene pásnice, termočlánek TG7 nad hranou hranice 400 mm pod stropem. Je vidět, že předpověď teploty nosníku analytickým modele je výstižná a konzervativní. Při výpočtu teploty stropnice zónovým modelem se vychází z předpovědi teploty plynu v ohni a v požárním úseku, viz obr. 10. Výpočet v tomto případě vhodně zahrnuje i velikost požárního úseku. Zónový model velmi přesně předpovídá teplotu prvku v ose plamene. Pro průvlak, který je na kraji plamene, byla jeho teplota stanovena jako průměr z teplot v plameni a mimo plamen, viz obrázek 11.



Obr. 6 Poloha termočlánků při zkoušce



Obr. 7 Pohled na experiment před zkouškou a v 15. min a 45. min požáru



Obr. 8 Teploty změřené při lokálním požáru



Obr. 9 Porovnání teploty průvlaku vypočítané analytickým modelem s naměřenými hodnotami



Obr. 10 Teploty plynů vypočítané zónovým modelem a naměřené hodnoty v plameni a mimo něj



Obr. 11 Teploty průvlaku vypočítané zónovým modelem z průměru teplot plynu a plamene a naměřené hodnoty

QUALITY RECORD

Název	Ohřev nosníku vystaveného lokálnímu požáru - řešený příklad						
Popis	Řešený příklad dokumentuje postup výpočtu teploty nosníku při lokálním požáru a						
	ukazuje přesnost výpočtu porovnáním s experimentem na skutečném objektu.						
Kategorie	Požární zatížení						
Název souboru	1-9_Priklad_Ohrev_pri_lokalnim_pozaru.pdf						
Datum vytvoření	30. 4. 2007						
Autor	Prof. Ing. František Wald, CSc.						
	Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, Fakulta stavební, ČVUT v Praze						
Klíčová slova	Lokální požár; Tepelný tok na jednotku plochy; Rychlost uvolňování tepla; Délka						
	plamene; Vodorovná délka plamene; Teplota plamene; Čistý teplený tok;						
	Virtuální počátek osy plamene; Experiment; Porovnání s experimentem; Přestup						
	tepla; Přírůstková metoda.						
Eurokódy	ČSN EN 1991-1-2: Zatížení konstrukcí, Obecná zatížení, Zatížení konstrukcí						
	vystavených účinkům požáru, ČSNI, Praha 2004.						
	ČSN EN 1993-1-2: Navrhování ocelových konstrukcí, Obecná pravidla,						
	Navrhování konstrukcí na účinky požáru, ČSNI, Praha 2006.						
Literatura	Fontana M., Favre J.P., Fetz: A survey of 40 000 building fires in Switzerland,						
	Fire Safety Journal, 32, 1999, s. 137-158.						
	Kallerová P., Wald F.: Požární zkouška na skutečném objektu, Dílčí výzkumná						
	zpráva, CIDEAS, ČVUT v Praze, Praha 2006, 18 s., URL: www.cideas.cz.						
	Rázl R., Wald F.: Teplota konstrukce při lokálním požáru, Dílčí výzkumná zpráva,						
	CIDEAS, CVUT v Praze, Praha 2006, 23 s., URL: <u>www.cideas.cz</u> .						
	Wald F. a kol.: Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí, České vysoké						
	učení technické v Praze, Praha 2005, 336 s., ISBN 80-0103157-8.						