Část 5.1 Prostorový požár

P. Schaumann, T. Trautmann
University of Hannover

J. Žižka
České vysoké učení technické v Praze

1 ZADÁNÍ

Cílem je stanovit teplotu plynů plně rozvinutého požáru v kanceláři. Pro analýzu se použije prostor "fiktivní kanceláře" v Cardingtonu. Na této kanceláři proběhla požární zkouška. Průběh teploty, který byl změřen během testu je na obrázku č. 3, takže výsledek výpočtu lze porovnat s měřením.

Pro výpočet teploty plynů se použije model přirozeného požáru. Pro plně rozvinutý požár lze použít metodu prostorového požáru úseku. Zjednodušená výpočetní metoda pro určení parametrické teplotní křivky je popsána v EN 1991-1-2 - Příloha A.

Obrázek 1. Hala v Cardingtonu (vlevo) a kancelář testu "fiktivní kanceláře" (vpravo)

Plocha podlah:	A_f	= 135 m²
Celková plocha stěn	A_t	= 474 m²
Celková plocha svislých otvorů:	A_v	= 27 m²
Součinitel svislých otvorů:	α_v	= 0,2
Součinitel vodorovných otvorů :	α_h	= 0,0
Výška:	H	= 4,0 m
Průměrná výška oken:	h_{eq}	= 1,8 m (předpoklad)
Lehký beton:	ρ	= 1900 kg/m²
	c	= 840 J/kgK
	λ	= 1,0 W/mK
Rychlost rozvoje požáru	střední	

2 URČENÍ HUSTOTY POŽÁRNÍHO ZATÍŽENÍ

EN 1991-1-2

Příloha A normy EN 1991-1-2 nabízí výpočetní model pro určení hustoty požárního zatížení. Návrhová hodnota hustoty požárního zatížení může být určena buď na základě národní požární klasifikace dle obsazenosti a/nebo na základě výpočtu určení požárního zatížení pro individuální objekt.

V tomto příkladě se použije druhý přístup.

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n$$

Příloha E.1

kde:
m je součinitel hoření,
δ_{q1} součinitel nebezpečí vzniku požáru podle velikosti požárního úseku,
δ_{q2} součinitel nebezpečí vzniku požáru vlivem druhu provozu,
δ_n součinitel aktivních protipožárních opatření.

Požární zatížení se sestává z 20 % z umělé hmoty, z 11 % z papíru a z 69 % ze dřeva. Převládají tedy buněčné materiály. Velikost součinitele hoření je dána hodnotou:

$$m = 0{,}8$$

Součinitel δ_{q1} zohledňuje vliv nebezpečí vzniku požáru v závislosti na velikosti požárního úseku. Hodnoty součinitele udává tabulka 1.

Tabulka 1. Součinitel nebezpečí vzniku požáru velikostí požárního úseku (viz EN 1991-1-2, Tabulka E.1)

	Podlahová plocha požárního úseku A_f [m²]				
	≤ 25	≤ 250	≤ 2500	≤ 5000	≤ 10,000
Nebezpečí vzniku požáru δ_{q1}	1,10	1,50	1,90	2,00	2,13

$$\delta_{q1} = 1{,}5$$

Součinitel δ_{q2} zohledňuje vliv nebezpečí vzniku požáru v závislosti na druhu provozu. Jeho hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2. Součinitel rizika nebezpečí vzniku požáru vlivem druhu provozu (viz EN 1991-1-2, Tabulka E.1)

Nebezpečí vzniku požáru δ_{q2}	Příklad provozu
0,78	galerie, muzea, bazény
1,00	kanceláře, byty, hotely, papírenský průmysl
1,22	výroba strojů a motorů
1,44	chemické laboratoře, lakovny
1,66	výrobna barev nebo pyrotechniky

$$\delta_{q2} = 1{,}0$$

Součinitel aktivních protipožárních opatření se spočte jako:

$$\delta_n = \prod_{i=1}^{10} \delta_{ni}$$

Hodnoty součinitelů δ_{ni} jsou v tabulce 3.

Tabulka 3. Součinitele δ_{ni} (viz EN 1991-1-2, Tabulka E.2)

Aktivní protipožární opatření				δ_{ni}
Samočinné hasící zařízení	Samočinné vodní hasící zařízení	δ_{n1}		0,61
	Nezávislé vodní zdroje	δ_{n2}	žádný	1,0
			jeden	0,87
			dva	0,7
Samočinné požární hlásiče	Elektrická požární signalizace	δ_{n3}	tepelná	0,87
		δ_{n4}	kouřová	0,73
	Zařízení dálkového přenosu k požární jednotce	δ_{n5}		0,87
Manuální hašení požáru	Závodní požární jednotka	δ_{n6}		0,61
	Veřejná požární jednotka	δ_{n7}		0,78
	Bezpečné přístupové cesty	δ_{n8}		0,9 nebo 1,0 nebo 1,5
	Technické prostředky požární ochrany	δ_{n9}		1,0 or 1,5
	Zařízení pro odvod kouře	δ_{n10}		1,0 or 1,5

$$\delta_n = 1,0 \cdot 0,73 \cdot 0,87 \cdot 0,78 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,50$$

Charakteristické požární zatížení je definováno jako:

$$Q_{fi,k} = \sum M_{k,i} \cdot H_{ui} \cdot \psi_i$$ Příloha E.2

kde
$M_{k,i}$ je hmotnost hořlavého materiálu [kg],
H_{ui} čistá výhřevnost materiálu [MJ/kg], viz EN 1991-1-2, tabulka E.3 a
ψ_i součinitel pro stanovení chráněného požárního zatížení.

Celková hmotnost požárního zatížení je rovna 46 kg dřeva/m². Vypočte se charakteristické požární zatížení:

$$Q_{fi,k} = (135 \cdot 46) \cdot 17,5 \cdot 1,0 = 108,675 \text{ MJ}$$

Dále charakteristická hustota požárního zatížení:

$$q_{f,k} = Q_{fi,k} / A_f = 108,675/135 = 805 \text{ MJ/m}^2$$

A návrhová hustota požárního zatížení je:

$$q_{f,d} = 805 \cdot 0,8 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \cdot 0,5$$
$$= 483,0 \text{ MJ/m}^2$$

3 VÝPOČET PARAMETRICKÉ TEPLOTONÍ KŘIVKY

Příloha A

Musí se určit, zda plně rozvinutý požár je řízen ventilací nebo palivem. Rozhodující je součinitel otvorů a návrhová hodnota hustoty požárního zatížení vztažená k celkové ploše.

$$O = \sqrt{h_{eq}} \cdot A_v / A_t = \sqrt{1,8} \cdot 27/474 = 0,076 \text{ m}^{1/2} \begin{cases} \geq 0,02 \\ \leq 0,2 \end{cases}$$

a

$$q_{t,d} = q_{f,d} \cdot A_f / A_t = 483,0 \cdot 135/474 = 137,6 \text{ MJ/m}^2$$

Určí se rozhodující faktor při řízení požáru:

$$0,2\cdot 10^{-3}\cdot q_{t,d}/O = 0,2\cdot 10^{-3}\cdot 137,6/0,076 = 0,362 \text{ h} > t_{\text{lim}} = 0,333 \text{ h}$$

$\Rightarrow$ Požár je řízen ventilací.

Pro výpočet parametrické teplotní křivky ve fázi ohřívání a chladnutí se musí určit součinitel *b*. Tento součinitel zohledňuje vliv teplotní pohltivosti ohraničujících konstrukcí. Hustota, tepelná vodivost a měrná tepelná kapacita ohraničující konstrukce se uvažuje při pokojové teplotě. Strop, podlaha i stěny jsou z lehkého betonu:

$$b = \sqrt{\rho\cdot c\cdot\lambda} = \sqrt{1900\cdot 840\cdot 1,0} = 1263,3\frac{\text{J}}{\text{m}^2\text{s}^{1/2}\text{K}} \quad \begin{cases}\geq 100\\ \leq 2200\end{cases}$$

Teplotní křivka ve fázi zahřívání je dána vztahem:

$$\theta_g = 20 + 1325\cdot\left(1 - 0,324\cdot \text{e}^{-0,2\cdot t^*} - 0,204\cdot \text{e}^{-1,7\cdot t^*} - 0,472\cdot \text{e}^{-19\cdot t^*}\right)$$

Jelikož je požár řízen ventilací, vypočte se čas *t** jako:

$$t^* = t\cdot\Gamma$$

kde:

$$\Gamma = \frac{(O/b)^2}{(0,04/1160)^2} = \frac{(0,076/1263,3)^2}{(0,04/1160)^2} = 3,04$$

Nyní jsou známy všechny potřebné parametry pro výpočet křivky ve fázi ohřívání:

$$\theta_g = 20 + 1325\cdot\left(1 - 0,324\cdot \text{e}^{-0,2\cdot(3,04\cdot t)} - 0,204\cdot \text{e}^{-1,7\cdot(3,04\cdot t)} - 0,472\cdot \text{e}^{-19\cdot(3,04\cdot t)}\right)$$

Dosažené maximální teplota ve fázi ohřívání je:

$$\theta_{\max} = 20 + 1325\cdot\left(1 - 0,324\cdot e^{-0,2\cdot t^*_{\max}} - 0,204\cdot e^{-1,7\cdot t^*_{\max}} - 0,427\cdot e^{-19\cdot t^*_{\max}}\right)$$

kde

$$t^*_{\max} = t_{\max}\cdot\Gamma$$

a čas $t_{\max}$ spočteme dle

$$t_{\max} = \max\begin{cases}0,2\cdot 10^{-3}\cdot q_{t,d}/O = 0,2\cdot 10^{-3}\cdot 137,6/0,076 = 0,363 \text{ h}\\ t_{\text{lim}} = 0,333 \text{ h}\end{cases}$$

kde t_{lim} je dáno v tabulce č.4

Tabulka 4. Čas t_{lim} pro různé rychlosti rozvoje požárů

	Malá rychlost rozvoje	Střední rychlost rozvoje	Velká rychlost rozvoje
t_{lim} [h]	0,417	0,333	0,250

Hodnota $t^*_{\max}$ je tedy:

$$t^*_{\max} = 0,363\cdot 3,04 = 1,10 \text{ h}$$

Maximální teplota:

$$\theta_{\max} = 20 + 1325 \cdot \left(1 - 0,324 \cdot e^{-0,2 \cdot 1,10} - 0,204 \cdot e^{-1,7 \cdot 1,10} - 0,427 \cdot e^{-19 \cdot 1,10}\right)$$
$$= 958,8 \text{ °C}$$

Pro fázi chladnutí se t^* a $t^*_{\max}$ vypočítá jako:

$$t^* = t \cdot \Gamma = t \cdot 3,04 \quad [\text{h}]$$

$$t^*_{\max} = \left(0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O\right) \cdot \Gamma = 1,10\text{h}$$

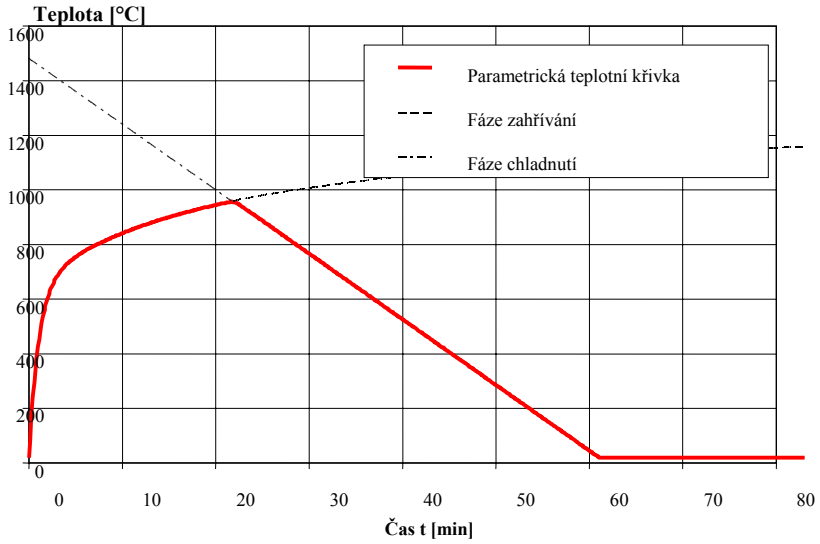
Teplotní křivka pro fázi chladnutí pro $0,5 \le t^*_{\max} \le 2,0$ se určí ze vztahu:

$$\theta_g = \theta_{\max} - 250 \cdot \left(3 - t^*_{\max}\right) \cdot \left(t^* - t^*_{\max} \cdot x\right)$$
$$= 958,8 - 250 \cdot \left(3 - 1,10\right) \cdot \left(t \cdot 3,04 - 1,10 \cdot 1,0\right)$$

kde:

$t_{\max} > t_{\lim}$ $\quad x = 1,0$

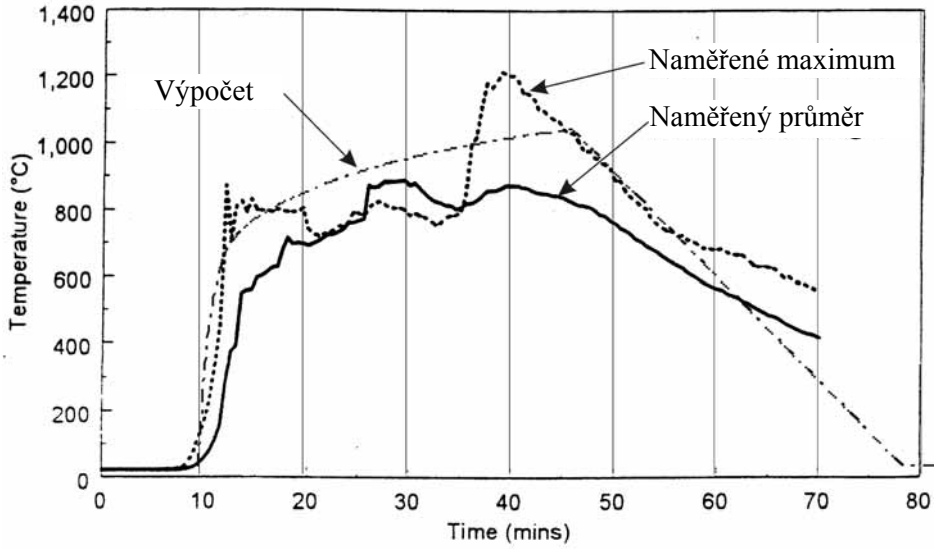
Kombinací části teplotní křivky pro zahřívání a chladnutí se získá parametrická teplotní křivka, která je na obrázku 2.



Obrázek 2. Teplota plynů v kanceláři spočtená při použití parametrické teplotní křivky

POROVNÁNÍ VÝPOČTU A POŽÁRNÍ ZKOUŠKY

Pro porovnání výsledku výpočtu s naměřenými hodnotami během testu, se musí součinitele δ_1, δ_2 a δ_{ni} pro výpočet hustoty požárního zatížení uvažovat hodnotou 1,0 (viz obrázek 3).



Obrázek 3. Porovnání výpočtu a experimentu
kde Time je čas v min
Temperature teplota ve °C

LITERATURA

EN 1991, *Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire*, Brussels: CEN, November 2002

The Behaviour of multi-storey steel framed buildings in fire, Moorgate: British Steel plc, Swinden Technology Centre, 1998

Valorisation Project: Natural Fire Safety Concept, Sponsored by ECSC, June 2001