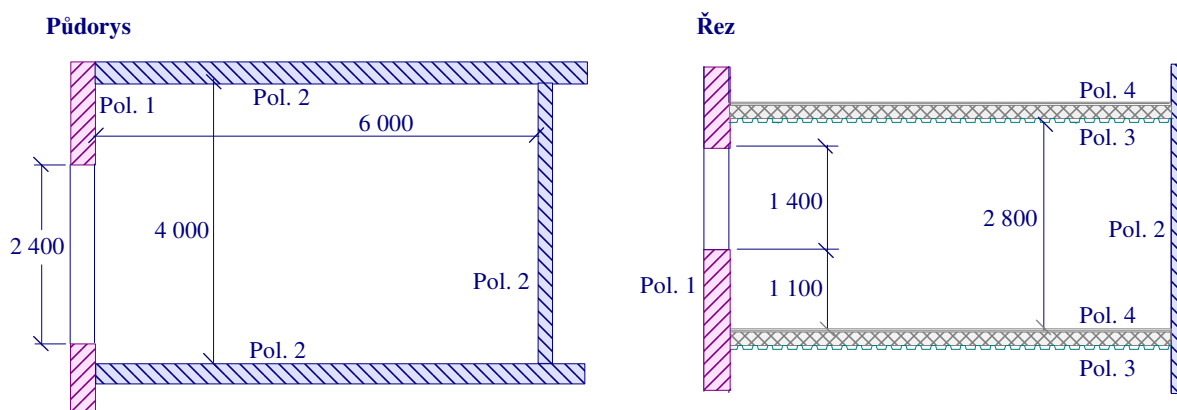


7 PARAMETRICKÁ TEPLOTNÍ KŘIVKA (řešený příklad)

Stanovte teplotu plynu při prostorovém požáru parametrickou teplotní křivkou v obytné místnosti o rozměrech 4 x 6 m a výšce 2,8 m s jedním oknem velikosti 1,4 x 2,4 m s parapetem 1,1 m, viz obr. 1. Podlaha a strop jsou ze železobetonu, stěna s oknem z lehkého betonu a ostatní stěny jsou vyzděny. Aktivní požární ochrana není zajištěna. Bezpečná evakuace osob a odvodu kouře z únikových cest jsou umožněny. Technické hasicí prostředky jsou k dispozici.



Obr. 1 Vyšetřovaný požární úsek

Požární zatížení

Součinitel hoření m lze uvažovat pro převážně celulosové hořlavé materiály, které se vyskytují v bytech, viz [ČSN EN 1991-1-2 čl. E.3\(2\)](#), hodnotou

$$m = 0,8$$

nebezpečí vzniku požáru v závislosti na velikosti požárního úseku, viz [ČSN EN 1991-1-2 tab. E.2](#),

$$\delta_{q1} = 1,1 + (1,5 - 1,1) \cdot (40 - 25) / (250 - 25) = 1,13$$

nebezpečí vzniku požáru vlivem druhu provozu

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

Požární úsek bytu je zajištěn běžnými prostředky požární ochrany, jako je bezpečná evakuace osob včetně odvodu kouře z únikových cest a technickými hasicími prostředky, a součinitel aktivní požární ochrany může být uvažován hodnotou, viz [ČSN EN 1991-1-2 tab. E.2](#),

$$\delta_n = 1,00$$

Návrhová hustota požárního zatížení se spočte pro 80% kvantit hustoty požárního zatížení podle [ČSN EN 1991-1-2 tab. E.4](#) jako

$$q_{f,d} = q_{f,k} m \delta_{q1} \delta_{q2} \delta_n = 948 \cdot 0,8 \cdot 1,13 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 857 \text{ MJm}^{-2}$$

Ventilace

Plocha podlahy

$$A_f = 4 \cdot 6 = 24 \text{ m}^2$$

Plocha ohraničujících konstrukcí úseku

$$A_t = 2 \cdot (24 + (4 + 6) \cdot 2,8) = 104 \text{ m}^2$$

Celková plocha svislých otvorů ve všech ohraničujících konstrukcích

$$A_v = 1,4 \cdot 2,4 = 3,36 \text{ m}^2$$

Koeficient otvorů, viz [ČSN EN 1991-1-2 čl. A.3 rov. \(A.2a\)](#), (v rozsahu $0,02 \leq O \leq 0,20$) lze vyjádřit jako

$$O = A_v \sqrt{h_{eq}} / A_t = 3,36 \cdot \sqrt{1,4} / 104 = 0,0382 \text{ m}^{1/2}$$

Koeficienty povrchů jsou stanoveny v tab. 1.

Tab. 1 Koeficienty povrchů

Pol.	Materiál	Hustota ρ kg/m ³	Specifické teplo c J kg ⁻¹ K ⁻¹	Tepelná vodivost λ W m ⁻¹ K ⁻¹	Koef. povrchu $b_i = \sqrt{(\rho c \lambda)}$ J m⁻² s^{-1/2} K⁻¹	Plocha povrchu A_{f_i} m ²
1	Stěna – 1 - lehký beton	1 600	840	0,80	1 037	$4 \cdot 2,8 - 3,36 = 7,84$
2	Stěna – 2 - cihelné zdivo	1 600	840	0,70	970	$4 \cdot 2,8 + 2 \cdot 6 \cdot 2,8 = 44,8$
3	Strop 1. vrstva - ocel	7 850	440	58,00	14 154	$4 \cdot 6 = 24$
4	Strop 2. vrstva - beton	2 300	900	2,00	2 035	$2 \cdot 4 \cdot 6 = 2 \cdot 24$

Pro povrch stropu s různými vrstvami materiálů pro $b_1 = 14154 > b_2 = 2035 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1/2} \text{ K}^{-1}$ se počítá se střední rychlostí rozvoje požáru, viz [ČSN EN 1991-1-2 čl. A.10](#) a [tab. E.5](#), která je pro byt

$$t_{lim} = 20 \text{ min} = 0,25 \text{ hod}$$

Hustota požárního zatížení, vztažená k celé ploše povrchu, viz [ČSN EN 1991-1-2 čl. A.7](#), se počítá jako

$$q_{t,d} = q_{f,d} A_f / A_t = 857 \cdot 24 / 104 = 197,8 \text{ MJ/m}^2$$

Nejvyšší teplota θ_{max} , viz [ČSN EN 1991-1-2 čl. A.7](#), bude v čase

$$t_{max} = \max [t_{lim}; (0,2 \cdot 10^{-3} q_{t,d} / O)] = \max [20; (0,2 \cdot 10^{-3} 197,8 / 0,0382)] = 1,035 \text{ hod}$$

Mezní tloušťka materiálu vystaveného požáru, viz [ČSN EN 1991-1-2 čl. A.5](#), je

$$s_{lim} = \sqrt{\frac{3600 t_{max} \lambda_1}{c_1 \rho_1}} = \sqrt{\frac{3600 \cdot 1,035 \cdot 58}{440 \cdot 7850}} = 0,250 \text{ m} < s_1 = 0,001 \text{ m}$$

$$b = \frac{s_1}{s_{lim}} b_1 + \left(1 - \frac{s_1}{s_{lim}}\right) b_2 = \frac{0,001}{0,25} 14154 + \left(1 - \frac{0,001}{0,25}\right) 2035 = 2083 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1/2} \text{ K}^{-1}$$

Tepelnou charakteristiku povrchů ohraničujících konstrukcí lze uvažovat v rozsahu $100 \leq b \leq 2200$, viz [ČSN EN 1991-1-2 čl. A.6. rov. \(A.5\)](#),

$$b = \sum (b_j A_j) / (A_t - A_v) = (1037 \cdot 7,84 + 970 \cdot 44,8 + 24 \cdot 2035 + 24 \cdot 2083) / (104 - 3,36) = 1495 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1/2} \text{ K}^{-1}$$

Vypočte se součinitel, viz [ČSN EN 1991-1-2 čl. A.3 rov. \(A.2a\)](#),

$$\Gamma = (O / b)^2 / (0,04 / 160)^2 = (0,0382 / 1495)^2 / (0,04 / 160)^2 = 0,549$$

V přírůstcích po 5 s se tabulkovým procesorem stanoví náhradní čas. Např. v čase 30 min bude podle [ČSN EN 1991-1-2 čl. A.3 \(A.2a\)](#),

$$t^* = t \Gamma = 0,5 \cdot 0,549 = 0,2745 \text{ hod}$$

Teplota plynů v požárním úseku

Teplota plynů v požárním úseku se počítá v přírůstcích 5 sekund podle [ČSN EN 1991-1-2 čl. A.3 rov \(A.1\)](#), např. v čase 30 min se vypočte jako

$$\theta_g = 1325 (1 - 0,324 e^{-0,2 t^*} - 0,204 e^{-1,7 t^*} - 0,472 e^{-19 t^*}) + 20 = 765,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nejvyšší teplota

Pro byt je střední rychlost rozvoje požáru, viz [ČSN EN 1991-1-2 čl. E.4\(2\)](#) a [tab. E.5](#),

$$t_{\text{lim}} = 20 \text{ min} = 0,25 \text{ hod}$$

Nejvyšší teplota θ_{max} bude v čase, viz [ČSN EN 1991-1-2 čl. A.7 rov. \(A.7\)](#),

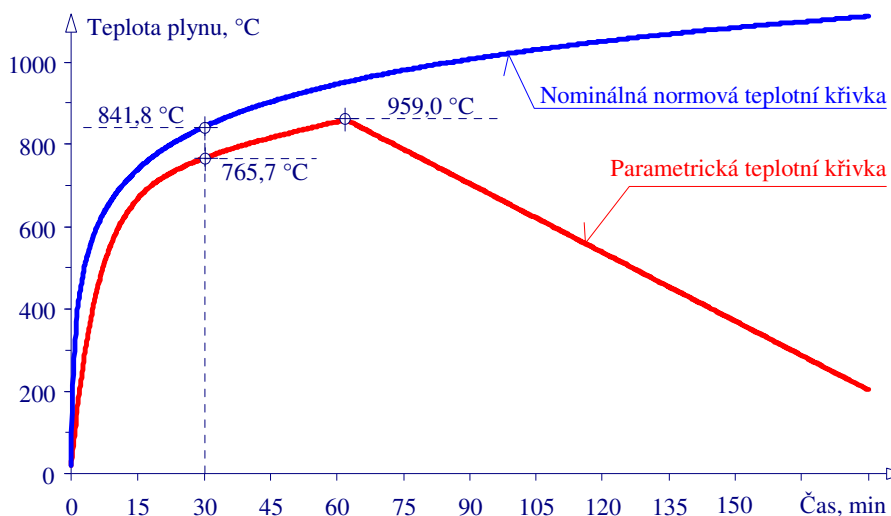
$$t_{\text{max}} = \max [t_{\text{lim}}; (0,2 \cdot 10^{-3} q_{t,d} / O)] = \max [0,25; (0,2 \cdot 10^{-3} 197,8 / 0,0382)] = 1,035 \text{ hod}$$

Náhradní čas nejvyšší teploty se vypočte jako, viz [ČSN EN 1991-1-2 čl. A.7 rov. \(A.6\)](#),

$$t^*_{\text{max}} = t_{\text{max}} \Gamma = 1,035 \cdot 0,549 = 0,568 \text{ hod}$$

Nejvyšší teplota se stanoví, viz [ČSN EN 1991-1-2 čl. A.3 rov. \(A.1\)](#),

$$\theta_g = 1325 (1 - 0,324 e^{-0,2 t^*} - 0,204 e^{-1,7 t^*} - 0,472 e^{-19 t^*}) + 20 = 859,0 \text{ } ^\circ\text{C}$$



Obr. 2 Porovnání vypočtené parametrické teplotní křivky s křivkou nominální

Chladnutí

Pro chladnutí je t^*_{max} , viz [ČSN EN 1991-1-2 čl. A.11 rov. \(A.11b\)](#),

$0,5 < t^*_{\text{max}} = 0,6 < 2 \text{ hod}$ se uvažuje chladnutí $250 (3 - t^*_{\text{max}}) (t^* - t^*_{\text{max}} x)^\circ \text{C}$ za hod.

Pro $t_{\text{max}} = 1,035 > t_{\text{lim}} = 0,25 \text{ hod}$ se počítá s $x = 1,0$, viz [ČSN EN 1991-1-2 čl. A.11 rov. \(A.12\)](#).

Např. pro 90 min požáru, $t^* = t \Gamma = 1,5 \cdot 0,549 = 0,8235 \text{ hod}$ bude teplota, viz [ČSN EN 1991-1-2 čl. A.11 rov \(A.11b\)](#),

$$\theta_g = \theta_{\max} - 250 (3 - t_{\max}^*) (t^* - t_{\max}^* \cdot x) = 859,0 - 250 (3 - 0,6) (0,8235 - 0,6 \cdot 1,0) = 829,0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

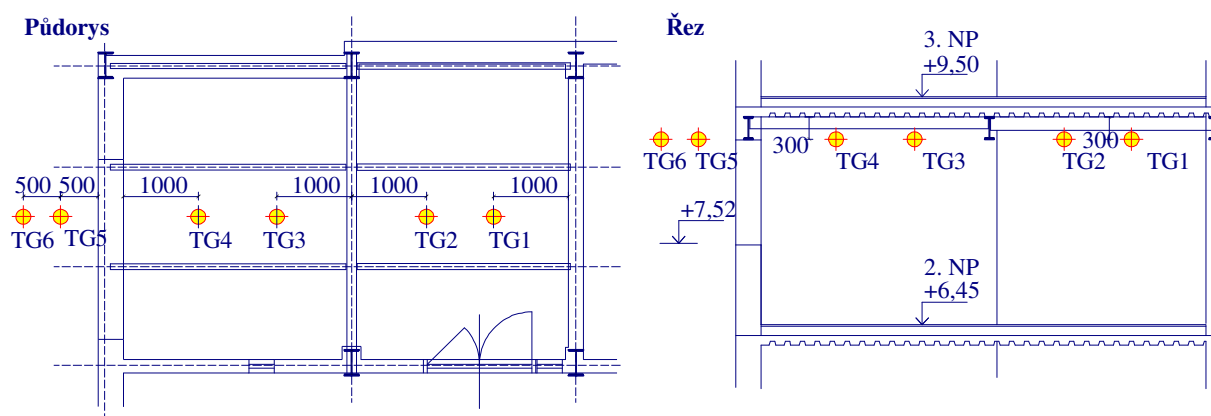
Teplota plynu 20 °C bude v požárním úseku v čase, viz [ČSN EN 1991-1-2 čl. A.11 rov. \(A.11b\)](#),

$$t = [(\theta_{\max} - \theta_g) / (250 \cdot [3 - t_{\max}^*]) + t_{\max}^* \cdot x] / \Gamma = [(859,0 - 20) / (250 \cdot [3 - 0,6]) + 0,6 \cdot 1,0] / 0,549 = 3,55 \text{ hod} = 212,97 \text{ min}$$

Na obr. 2 je teplotní křivka, výsledek řešení příkladu, porovnána s nominální normovou teplotní křivkou. Je vidět, že pro celulózové hoření je popis nárůstu teploty podle nominální normové křivky poměrně výstižný, rozdíl pro maximální teplotu je pod 100°C.

Porovnání s experimentem

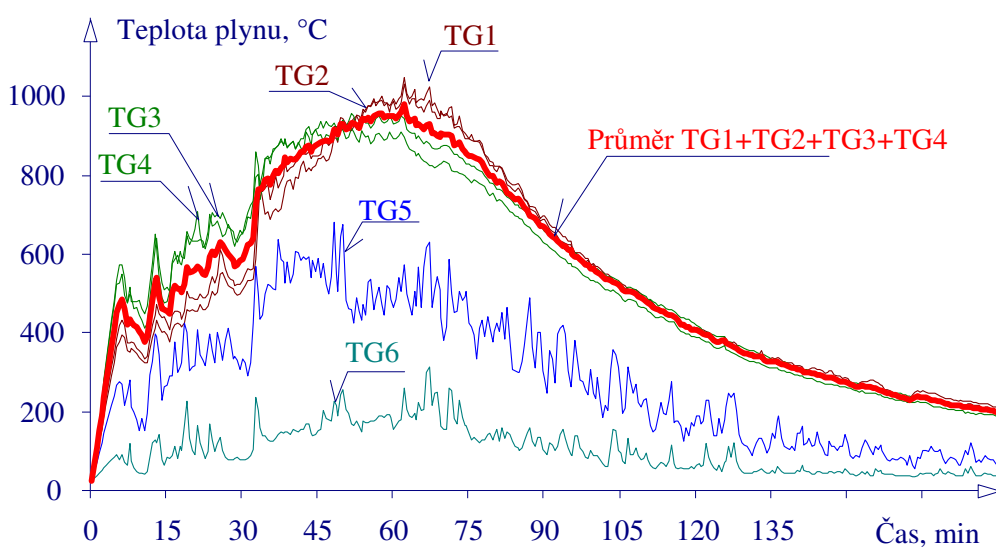
Požární úsek v řešeném příkladě, je obdobný úseku při zkoušce ČVUT v Praze na objektu koksovny Mittal Steel Ostrava dne 16.5.2006, viz obr. 3 a 4. Hlavním cílem pokusu bylo prohloubení poznatků o teplotě styčnicků a vnitřních silách v konstrukci při jejím zahřívání a chladnutí. Naměřené hodnoty teplot jsou dokumentovány na obr. 5. Pro tento poměr stran požárního úseku s otvorem pouze v přední části (6:4) byly do asi 30 min teploty blíže k otvoru vyšší o až 200 °C. Při plném rozvinutí požáru, viz obr. 6, byly vyšší teploty vzadu v požárním úseku o až 160°C. Při chladnutí se teploty vyrovnaly. Porovnání vypočítané, pomocí parametrické teplotní křivky a programem Ozone, a střední naměřené teploty plynů 300 mm pod stropem požárního úseku při zkoušce je ukázáno na obr. 7. Výpočet odpovídá naměřeným geometrickým a materiálovým charakteristikám. Je vidět, že předpověď průměrné teploty plynu je výstižná a konzervativní.



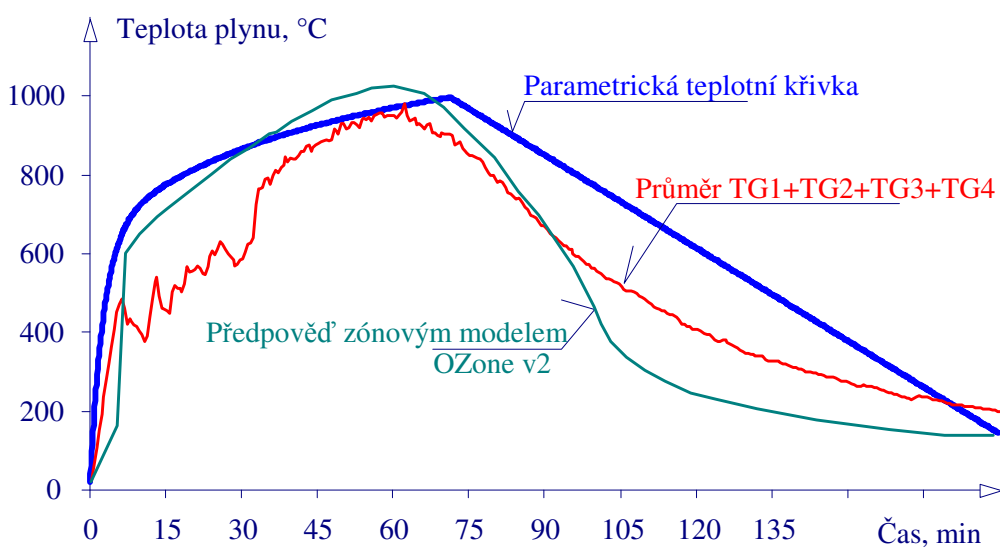
Obr. 3 Poloha termočlánků při zkoušce



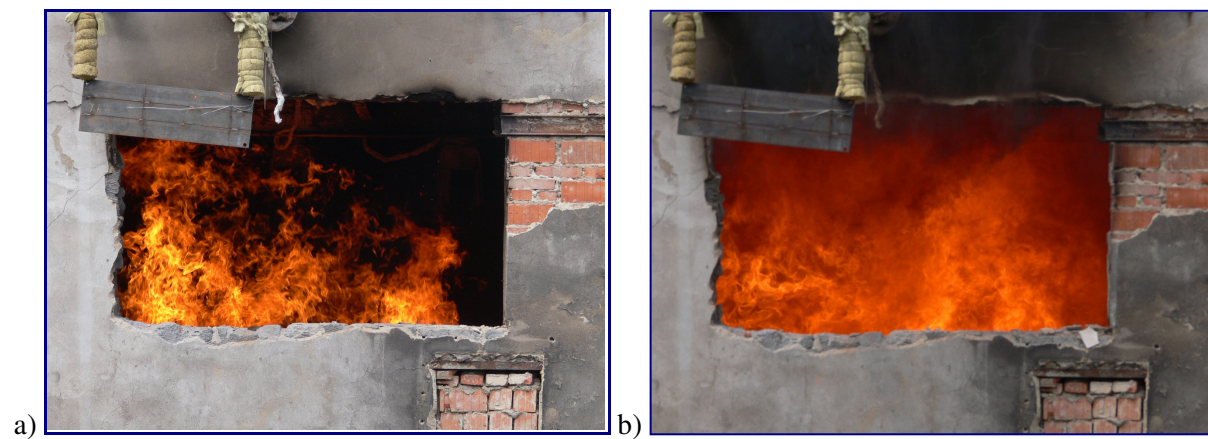
Obr. 4 a) Požární zatížení dřevěnými hranoly 50 x 50 x 1000,
b) Mechanické zatížení barely s vodou



Obr. 5 Naměřené hodnoty teploty plynu 300 mm pod stropem požárního úseku



Obr. 6 Porovnání teploty plynu vypočítané parametrickou křivkou, programem Ozone se střední změřenou teplotou plynu



Obr. 7 a) Omezení hoření ventilací v 15 min požáru b) Plně rozvinutý požár v 60 min požáru

QUALITY RECORD

Název	Parametrická teplotní křivka - řešený příklad
Popis	Řešený příklad dokumentuje výpočet parametrické teplotní křivky a ukazuje přesnost výpočtu porovnáním s experimentem na skutečném objektu.
Kategorie	Požární zatížení
Název souboru	1-7_Příklad_Parametricka_teplotni_krivka.pdf
Datum vytvoření	30. 4. 2007
Autor	Prof. Ing. František Wald, CSc. Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, Fakulta stavební, ČVUT v Praze
Klíčová slova	Parametrická teplotní křivka; Rychlost uvolňování energie; Požární zatížení; Součinitel hoření; Plocha podlahy; Ohraničující konstrukce, Součinitele nebezpečí vzniku požáru; Hustota požárního zatížení; Čistá výhřevnosti materiálů, Hustota požárního zatížení; Pohltivost; Vliv otvorů; Nejvyšší teplota; Chladnutí; Experiment; Porovnání s experimentem.
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, ČVUT v Praze, Praha 2006, 23 s., URL: www.cideas.cz . Wald F. a kol.: Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí, České vysoké učení technické v Praze, Praha 2005, 336 s., ISBN 80-0103157-8.