7 OCELOVÉ KONSTRUKCE - POKROČILÝ NÁVRH POMOCÍ SOFTWARE

7.1 Struktura normy ČSN EN 1993-1-2

Norma pro navrhování ocelových konstrukcí za zvýšené teploty při požáru, ČSN EN 1993-1-2 Navrhování konstrukcí na účinky požáru, viz [7.1], je členěna následovně:

Předmluva

- 1. Všeobecně
- 2. Principy návrhu
- 3. Vlastnosti materiálu
- 4. Navrhování konstrukcí na účinky požáru

Příloha A Deformační zpevnění uhlíkové oceli při zvýšených teplotách

Příloha B Přenos tepla k venkovním konstrukcím

Příloha C Korozivzdorná ocel

Příloha D Styčníky

Příloha E Průřezy 4. třídy.

7.2 Národní příloha ČSN EN 1993-1-2

Národní příloha umožňuje změny a volbu součinitelů v šesti článcích. Příloha ve většině případů přejímá doporučené hodnoty a postupy. Změna se týká pouze kritické teploty prvků 4. třídy, která jsou podle národní přílohy následující: Pro ohýbané prvky průřezů 4. třídy se v ČR uvažuje kritická teplota $\theta_{crit} = 500^{\circ}$ C. Pro tlačené prvky průřezů 4. třídy se v ČR uvažuje kritická teplota $\theta_{crit} = 450^{\circ}$ C. Dále je uvedena kritická teplota pro požárně odolnou ocel FRS275N, která je uvedena v tab. 2.2 Národní přílohy, a kritická teplota pro tažené za studena ohýbané průřezy, viz tab. 2.1 Národní přílohy.

7.3 Stanovení požární odolnosti pomocí grafů

Vztahy pro zjednodušené posouzení tažených, tlačených a ohýbaných prvků jsou v normě EN 1993-1-2: 2004 vypracovány za předpokladu rovnoměrného, nebo zjednodušeného, rozdělení teploty podél prvku i po jeho výšce. Posouzení vychází z návrhu za pokojové teploty a ze zjednodušené redukce materiálových charakteristik při vyšších teplotách. Ocelové konstrukce se posuzují jednoduchými výpočty přednostně z hlediska času. Využívá se vztahu pro kritickou teplotu, jak je ukázáno na vývojovém diagramu výpočtu nosníku bez klopení, nosníku s klopením a sloupu na obr. 7.1. Vzpěrné délky lze vlivem příznivého vetknutí konců prutů za požáru redukovat i při zjednodušeném návrhu. Ve styčnících ocelových konstrukcí je soustředěna hmota a při stejném stupni využití, jako mají připojované prvky, o únosnosti nerozhodují. Styčníky lze analyzovat metodou komponent i za zvýšených teplot za požáru, protože podle dokumentu EN 1993-1-2: 2004 lze odhadnou jejich teplotu.



Obr. 7.1 Přehledný vývojový diagram návrhu s využitím kritické teploty nosníku bez klopení, nosníku s klopením a sloupu ve vzpěrném tlaku

7.4 Řešený příklad – Návrh nosníku v administrativní budově

Tento příklad ilustruje návrh nechráněného prostého ocelového nosníku, který je součástí stropní konstrukce administrativní budovy. Nosník je zatížen rovnoměrným spojitým zatížením a je zajištěn proti klopení železobetonovou deskou. Požaduje se, aby nosník měl požární odolnost R30. Analýza požárního úseku je provedena ve třech variantách:

- Nominální normová teplotní křivka umožňuje použití návrhových nomogramu pro určení teploty z teploty v požárním úseku případně i požární odolnosti nosníku. Postup je velmi konzervativní.
- Parametrická teplotní křivka, podle přílohy A normy ČSN EN 1993-1-2, umožňuje zohlednit hustotu požárního zatížení a vliv požárně bezpečnostních opatření na průběh požáru. Návrh

poskytuje příznivější výsledky než při použití normové teplotní křivky. Lze počítat ručně, spíše ale tabulkovým procesorem.

 Zónový model, program Ozone V2.2, zohledňuje průběh hoření. Umožňuje simulovat postupné otevírání okenních otvorů během požáru, funkci ventilátorů pro odvod tepla z požárního. Hodí se pro složité požární úseky.

<u>Nosník</u>



Obr. 7.2 Schéma nosníku

Materiálové vlastnosti

Třída oceli S 275

Mez kluzu $f_v = 275 \text{ N/mm}^2$

Hustota $\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$

Zatížení

Stálé zatížení $g_k = 4.8 \text{ kN m}^{-1}$

Nahodilé zatížení $q_k = 7.8 \text{ kN m}^{-1}$

Zatížení při běžné teplotě

Charakteristická hodnota zatížení

$$v_{\rm k} = g_{\rm k} + q_{\rm k} = 4,8 + 7,8 = 12,60 \, {\rm kN/m}$$

Návrhová hodnota zatížení je

$$v_{\rm d} = g_{\rm k} \gamma_{\rm G} + q_{\rm k} \gamma_{\rm O} = 4.8 \cdot 1.35 + 7.8 \cdot 1.5 = 18.18 \text{ kN/m}$$

Ohybový moment a posouvající síla

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} v_{d} l^{2} = \frac{1}{8} \cdot 18,18 \cdot 7,4^{2} = 124,4 \text{ kNm}$$
$$V_{Ed} = \frac{1}{2} v_{d} l = \frac{1}{2} \cdot 18,18 \cdot 7,4 = 67,3 \text{ kN}$$

Posouzení při běžné teplotě

Byl navržen válcovaný průřez IPE 300. Průřez je 1. třídy.



Obr. 7.3 Navržený průřez

Železobetonová deska zajišťuje nosník proti klopení.

Momentová únosnost

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{628,4 \cdot 10^3 \cdot 275}{1,0} = 172,8 \text{ kNm} > 124,4 \text{ kNm} = M_{Sd}$$

Smyková únosnost

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{V,z} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{2568 \cdot 275}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 407,7 \text{ kN} > 67,3 \text{ kN} = V_{Sd}$$

Zkontroluje se doporučený průhyb v mezním stavu použitelnosti

$$\delta = \frac{5}{384} \frac{v_k l^4}{E I_y} = \frac{5}{384} \frac{12,60 \cdot 7400^4}{210000 \cdot 83,56 \cdot 10^6} = 28,0 \text{ mm} < 29,6 \text{ mm} = \frac{l}{250}$$

Průřez za běžné teploty vyhovuje.

Zatížení při požáru

Redukční součinitel zatížení při požáru

$$\eta_{\rm fi} = \frac{g_k + \psi_{I,I} q_k}{g_k \gamma_G + q_k \gamma_Q} = \frac{4,8 + 0,3 \cdot 7,8}{4,8 \cdot 1,35 + 7,8 \cdot 1,5} = 0,393$$

kde součinitel kombinace ψ pro administrativní budovy $\psi_{l,l} = 0,3$.

Obvod obdélníka opsaného průřezu, který je vystaven účinkům požáru ze tří stran, je vyznačen tečkovanou čarou na obr. 6.4.

$$\left(\frac{A_m}{V}\right)_b = 139 \text{ m}^{-1}$$

Součinitel průřezu se upraví vlivem zastínění

$$\left(\frac{A_m}{V}\right)_{sh} = 0.9 \cdot \left(\frac{A_m}{V}\right)_b = 0.9 \cdot 139 = 125 \text{ m}^{-1}$$



Obr. 7.4 Obvod obdélníka opsaného průřezu, který je vystaven účinkům požáru ze tří stran

7.4.1. Požární odolnost pomocí nomogramu pro nominální normovou křivku

Pokud je nosník vystaven účinkům požáru po třech stranách a shora chráněn betonovou deskou, je nerovnoměrné rozdělení teploty po průřezu zohledněno součinitelem

 $\kappa_1 = 0,7.$

Součinitel

 $\kappa_2 = 1,0$

vyjadřuje nerovnoměrné rozdělení teploty podél nosníku.

Stupeň využití průřezu:

 $\mu_0 = \eta_{fi} \kappa_1 \kappa_2 = 0,393 \cdot 0,7 \cdot 1,0 = 0,275$

Kritická teplota

$$\theta_{a,cr} = 39,19 \ln\left(\frac{1}{0,9674 \,\mu_0^{3,833}} - 1\right) + 482 =$$

= 39,19 \cdot \ln \left(\frac{1}{0,9674 \cdot 0,275^{3,833}} - 1\right) + 482 = 677°C

Požární odolnost může být odečtena z nomogramu na obr. 7.5.

Požární odolnost nosníku je 17 minut.

Požární odolnost je nižší než požadovaná požární odolnost R30. Průřez nevyhovuje.



Obr. 7.5. Nomogram pro určení požární odolnosti

7.4.2 Požární odolnost pomocí parametrické křivky

Rozměry požárního úseku

šířka a = 8,5 m délka b = 10,0 m výška h = 3,15 m výška otvorů $h_{op} = 1,80$ m šířka otvorů $b_{op} = 3,20$ m výška parapetu $h_p = 1,00$ m počet otvorů n = 1



Obr. 7.6 Rozměry požárního úseku

Hustota požárního zatížení

Charakteristická hustota požárního zatížení pro odministrativní budovy vztažená k podlahové ploše je převzata z tabulky E.4 v normě EN 1991-1-2,udává se 80% kvantil Gumbelova rozdělení,

 $q_{fk} = 511 \,\mathrm{MJ} \,\mathrm{m}^{-2}$

Podlahová plocha je

 $A_f = a b = 8,5 \cdot 10,0 = 85 \text{ m}^2$

Součinitel zohledňující nebezpečí vzniku požáru ve vztahu k velikosti požárního úseku

 $\delta_{q1} = 0,16881 \cdot ln \left(A_{f} \right) + 0,5752 = 0,16881 \cdot ln \left(85 \right) + 0,5752 = 1,325$

Součinitel pro nebezpečí vzniku požáru podle druhu provozu δ_{q2} =1,00

Součinitel zohledňující vliv aktivních protipožárních opatření $\delta_n = 1,00$

Jsou instalovány detektory kouře $\delta_{n,4} = 0,73$, jsou zajištěny bezpečné únikové cesty a přetlaková ventilace schodiště $\delta_{n,8} = 0,90$, hasící prostředky $\delta_{n,9} = 1,00$, zařízení pro odvod kouře $\delta_{n,10} = 1,00$, k dispozici je veřejná požární jednotka $\delta_{n,7} = 0,78$.

 $\delta_n = \delta_{n,4} \cdot \delta_{n,7} \cdot \delta_{n,8} \cdot \delta_{n,9} \cdot \delta_{n,10} = 0,73 \cdot 0,78 \cdot 0,90 \cdot 1,00 \cdot 1,00 = 0,5125$

Návrhová hodnota hustoty požárního zatížení

 $q_{f,d} = m q_{f,k} \delta_{al} \delta_{a2} \delta_n = 0.8 \cdot 511 \cdot 1.325 \cdot 1.00 \cdot 0.5125 = 277.6 \text{ MJ m}^{-2}$

Tepelné vlastnosti konstrukcí ohraničujících požární úsek

Strop a podlaha jsou ze železobetonu

hustota	$\rho = 2300 \text{ kg m}^{-3}$
měrné teplo	$c = 1000 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
tepelná vodivost	$\lambda = 1,60 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Stěny jsou z děrovaných cihel

hustota	$ ho = 700 \text{ kg m}^{-3}$
měrné teplo	$c = 840 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
tepelná vodivost	$\lambda = 0.15 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Plocha povrchů požárního úseku

$$A_t = 2 A_f + 2 (a+b) h = 2 \cdot 85 + 2 \cdot (8,5+10,0) \cdot 3,15 = 286,55 \text{ m}^2$$

Celková plocha otvorů

 $A_v = n h_{op} b_{op} = 1.180 \cdot 320 = 576 \text{ m}^2$

Součinitel b pro podlahu a strop

$$b = \sqrt{\rho c \lambda} = \sqrt{2300 \cdot 1000 \cdot 1,60} = 1918 \text{ J m}^{-2} \text{s}^{-0.5} \text{K}^{-1}$$

Součinitel b pro stěny

$$b = \sqrt{\rho c \lambda} = \sqrt{700 \cdot 840 \cdot 0.15} = 297 \text{ J m}^{-2} \text{s}^{-0.5} \text{K}^{-1}$$

Obě hodnoty splňují omezení $100 \le b \le 2200$.

Výsledný součinitel b je

$$b = \frac{\sum (b_i A_i)}{A_i - A_v} =$$

= $\frac{2 \cdot 85 \cdot 1918 + (2 \cdot (8.5 + 10.0) \cdot 3.15 - 5.76) \cdot 297}{286.55 - 5.76} = 1278 \text{ J m}^{-2} \text{s}^{-0.5} \text{K}^{-1}$

Otvory ve stěnách požárním úseku

Součinitel otvorů je

$$O = \frac{A_v \cdot \sqrt{h_{eq}}}{A_t} = \frac{5,76 \cdot \sqrt{1,80}}{286,55} = 0,027 \text{ m}^{0.5}$$

kde vážená výška otvorů je $h_{eq} = 1,80$ m.

Součinitel otvorů má být v rozmezí $0.02 \le O \le 0.2 \text{ [m}^{0.5}\text{]}$. Což je splněno.

Hustota požárního zatížení vztažená k ploše povrchů požárního úseku

Návrhová hodnota hustoty požárního zatížení vztažená k ploše povrchů požárního úseku

$$q_{t,d} = \frac{q_{f,d} A_f}{A_t} = \frac{277.6 \cdot 85}{286.55} = 82.35 \text{ MJ m}^{-2}$$

Určení nejvyšší teploty

Předpokládá se střední rychlost rozvoje požáru s $t_{lim} = 20 \text{ min} = 0,333 \text{ hodin.}$

Čas *t_{max}*, kdy je dosaženo nejvyšší teploty, se určí z:

$$t_{max} = \max\left\{\frac{0.2 \cdot 10^{-3} \ q_{t,d}}{0} \\ t_{lim}\right\} = \max\left\{\frac{0.2 \cdot 10^{-3} \cdot 82.35}{0.027} \\ 0.333\right\} = 0.61 \text{ hod}$$

Požár je řízený ventilací, protože pro určení času t_{max} rozhoduje první výraz.

Součinitel Γ

Součinitel Γ se určí jako

$$\Gamma = \frac{\left(\frac{O}{b}\right)^2}{\left(\frac{0,04}{1160}\right)^2} = \frac{\left(\frac{0,027}{1278}\right)^2}{\left(\frac{0,04}{1160}\right)^2} = 0,375$$

Náhradní čas pro dosažení maximální teploty t_{max}^* se určí jako

 $t_{max}^* = t_{max} \Gamma = 0.61 \cdot 0.375 = 0.229$ hod

a odpovídající maximální teplota je

$$\theta_{max} = 20 + 1325 \left(1 - 0.324 \, e^{-0.2 \cdot 0.229} - 0.204 \, e^{-1.7 \cdot 0.229} - 0.472 \, e^{-19 \cdot 0.229} \right) = 743^{\circ} \text{C}$$

Křivka ve fázi rozvoje požáru

Křivka ve fázi rozvoje požáru je dána funkcí

$$\theta_{g,t} = 20 + 1325 \left(1 - 0.324 \, e^{-0.2 \, t^*} - 0.204 \, e^{-1.7 \, t^*} - 0.472 \, e^{-19 \, t^*} \right)$$

kde náhradní čas t^* se určí jako

$$t^* = t \Gamma = 0,375 t$$

Křivka ve fázi chladnutí

Pro náhradní čas $t^*_{\text{max}} < 0.5$ hod je funkce popisující průběh teploty ve fázi chladnutí dána vztahem

$$\theta_g = \theta_{max} - 625 \cdot (t^* - t^*_{max} \cdot x) =$$

= 743 - 625 \cdot (t^* - 0,229 \cdot 1) =
= 886,1 - 625 \cdot t^*

kde x = 1 pro požár řízený ventilací.

Výsledný průběh teploty plynů v požárním úseku je ukázán na obr. 7.7.

Teplota průřezu

Teplota nosníku se určí přírůstkovou metodou. Přírůstek teploty nechráněného průřezu se určí ze vztahu

$$\Delta \theta_{\rm a,t} = k_{\rm sh} \; \frac{A_{\rm m} / V}{c_{\rm a} \; \rho_{\rm a}} \; \dot{h}_{\rm net} \; \Delta t$$

Pro výpočet se použije časový přírůstek $\Delta t = 5$ sekund.

Čistý tepelný tok je

$$\dot{h}_{net} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r}$$

$$= \alpha_c \left(\theta_g - \theta_m\right) + \Phi \varepsilon_m \varepsilon_f \sigma \left((\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4\right) =$$

$$= 25 \cdot \left(\theta_g - \theta_m\right) + 3,969 \cdot 10^8 \cdot \left((\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4\right)$$

kde ε_m je emisivita prvku ($\varepsilon_m = 0,7 - \text{EN } 1993 - 1 - 2 \2.2)

 ε_r je emisivita požáru ($\varepsilon_r = 1,0 - \text{EN } 1991 - 1 - 2 \3.1)

 Φ je polohový součinitel (Φ = 1,0 – EN 1991-1-2 §3.1)

 α_c je součinitel přestupu tepla, pro parametrickou křivku se používá $\alpha_c = 25,0 \text{ Wm}^2\text{K}^{-1}$, viz EN 1991-1-2 §3.2.1

 σ je Stephan Boltzmannova konstanta σ = 5,67 10⁻⁸ Wm⁻²K⁻⁴.



Teplota průřezu v čase 30 minut je 676°C je menší než kritická teplota je 677 °C, která byla určena

Průřez vyhovuje.

7.4.3 Požární odolnosti pomocí zónového modelu

v předchozím výpočtu při modelování požáru nominální teplotní křivkou.

Pro modelování průběhu požáru byl použit program Ozove V2.2. Základní menu programu umožňuje zadat parametry požárního úseku, hustotu požárního zatížení a výpočet teploty plynů v požárním úseku, viz obr. 7.8 až 7.13. Teplota plynů se používá pro výpočet teploty chráněného i nechráněného ocelového průřezu. Postup zadávání je dokumentován na následujících obrázcích, vstupní údaje jsou stejné jako pro posouzení s použitím parametrické teplotní křivky.



Obr. 7.8 Vstupní menu programu Ozone

File Tools View Help	Form of Compartment © <u>B</u> ectangular Floor © Elat Roof © Single <u>P</u> itch Roof © <u>D</u> ouble Pitch Roof © <u>A</u> ny Compartment		<u>H</u> eigh D <u>e</u> pti Lengti	ıt: 3.15 h: 8.5 h: 10	m m
Floor	Define Layers and Openings Select Wall: Floor ▼ Define Select Walls to Copy to: Ceiling Copy Wall 1 Copy Wall 2 Wall 3 Wall 4 ■	Define e Wall Floor Ceiling Wall 1 Wall 2 Wall 3 Qpenings Wall 4	d Walls: Type Op 1 2 2 2 3 2 4 2 4 2 4 2 4 2 4 2 4 2 4 2 4	enings Length 8.5 9 10 8.5 10 10	
Wall 1 ↓	Forced Ventilation Smoke Extractors: 0 *	Diameter m	Volume m²/sec	In/Out	

Obr. 7.9 Zadávání rozměrů požárního úseku

🔊 Layers and Openings Wall 2 - kancel-ventilace						_ 🗆 🗵
File Tools View Help						
Wall length: 10 m						
Material	Thickness	Unit mass	Conductivity	Specific Heat	Rel Emissivity	Rel Emissivity
	[cm]	[kg/m²]	[W/mK]	[J/kgK]	Hot Surface	Cold Surface
Layer 1 Light Perforated Bricks	45	/00	0.15	840	0.8	0.8
Layer 3						
Layer 3						
Enter each If not found your layers	layer on a single rou in the list of materia starting from Layer 1	w in the table a als you can def L (Inside)	bove (up to fo ne your own n	ur layers), Just naterial, by filling	click in a cell ar g in the apropria	id edit it's value. te cells. Define
Define your	openings if any fur	to three openi	nas in e sinale	wall) Click in t	he desired cell :	and input your
values. Sta	t from Opening 1.		ngo in a oingio	Wally. Ollow Inte		and input your
To delete o	r insert a row, right (click on a row l	neader and se	ect the approp	riate command f	rom the popup
Inside menu.						
Layer 1						
Layer 2						
Layer 3						
Layer 4						
Outside						
	Sill Height Hi	Soffit Heigh	:Hs Width	Varia	ation A	diabatic
	[m]	[m]	[m]			
Opening 1		1	2.8	3.2 Con	stant n	0
Upening 2						
Upening 3						
					UK	Cancel

Obr. 7.10 Materiál stěn a velikost otvorů

📂 Fire - kancel-ventilace			
File Tools View Help			
Fire Curve		1	
EN 1991 - 1 - 2	C User Defined Fire		
Occupancy Fire Growth	Rate RHRf	Fire Load qf,k	Danger of Fire Activation
Office (standard)	[kW/m²]	80% Fractile [MJ/m²]	
[Umce (standard) [Medium		200 511	1
- Active Fire Fighting Measures			
	s – 1	Here Info	
Automatic Water Extinguishing Sy	vstem ^o n,1 ⁻		
🗖 Independent Water Supplies (🧐	1 C 2) δ _{n,2} =1	Fire <u>E</u> levation: 0 m Fuel He	ight: 0 m
Automatic Fire Detection by Heat	- 0.70	Design Fire Load	
	⁸ n,4 ^{= 0.75}	Fire Dirth Assess IPE m ²	δ - 100
Automatic Fire Detection by 5mol	(e	File Hisk Area: job	°q,1 ^{- 1.33}
Automatic Alarm Transmission to I	Fire <u>B</u> rigade ⁶ n,5 ^{= 1}	Danger of Fire Activation:	^δ q, 2 = 1
Work Fire Brigade		Active Measures:	∏ð _{n, i} = 0.5125
	δ _{n.7} = 0.78	$q_{f,d} = \delta_{0,1} \delta_{0,2} \prod \delta_{0,1} m \cdot q_{f,k} = 278.6$	MJ/m ²
☑ If Site Fire Brigade			
Safe Access Routes		Combustion	
	δ _n ,8 ^{=0.9}	Combustion Heat of <u>F</u> uel: 17.5	MJ/kg
Staircases Under Overpressure in	Fire Alarm	Combustion Efficiency Factor: 0.8	
✓ Fire Fighting Devices	δ _{n.9} =1	Combustion Model: Eutonded fire	duratio 💌
E. Carda Estand Carlos	s=1		
IV Smoke Exhaust System	° n,10	Stoichiometric Coefficient: 1.27	
		ОК	Cancel

Obr. 7.11 Požární zatížení a aktivní požární opatření

Heating - kancel-ventilace			_ 🗆 🗙
File Tools View Help	Profile Heated By ← Hot Zone Temperature ← Localised Fire Temperature ← Maximum Between Both Heat transfer coefficients Convection coefficient: mrissivity Cm' Cf: Localised Fire Horiontal Distance Between Fire Axis and Profile (r): 	© ISO 853 Fire Curve © ASTM E119 Fire Curve © Hydrocarbon Fire Curve 35 W/m ² K 0.7 (0 - 1)	
,		Car	ncel

Obr. 7.12 Volba modelu pro teplotní analýzu požárního úseku

🚰 Strategy - kancel-ventilace File Tools View Help			_ 🗆 X
File Tools View Help	Transition (2 Zones to 1 Zone) Criteria Upper Layer Temperature Combustible in Upper Layer + U.L. Ten Combustible Ignition Interface Height Fire Area Select Analysis Strategy © <u>C</u> ombination (default) © 2 Zones	≥ 500 °C nperature ≥ Combustible Ignition Temperature 300 °C ≤ 0.2 × Compartment Heir ≥ 0.25 × Floor Area	9 9 ght
		ОК	Cancel

Obr. 7.13 Nastavení kriterií pro přechod dvouzónového modelu na jednozónový

🛃 Steel Profile - kancel-ventilace						
File Tools View Help						
Cross Section	Steel Profile					
Unprotected Cross Section	Profile <u>Type</u> : IPE		-			
C Protected Cross Section	Profile: IPE 3	300	•			
	Exposure					
	C Exposed on Fo	ur Sides		• E	xposed on Three Sid	les
	Encasement-					
	Contour Encase	ement		O F	follow Encasement	
	Protection Material-					
	From Catalog					
	C Constantivista		Thislasse	10	_	
	U Donstant Value	8	I nickness:		mm	
	C Temperature D	ependent	Material <u>N</u> ame:	Spray M	ineral Fiber	_
	Temperature	Unit Mass	Specific	Heat	Thermal Conductivi	ty
	[°C]	[kg/m³]	[J/kgK]		[W/mK]	
			300	1200	0	0.12
				C	OK)	Cancel

Obr. 7.14 Výběr průřezu nosníku

Filement - kancel-ventilace File Tools View Help						_ 🗆 ×
	Analysis: Nominal Steel <u>G</u> rade: Section: Design effect of action □ <u>U</u> ser Defined V. Select <u>L</u> oading: [L P fi, d: [7.14 <u>M</u> fi, d: [48.8733] Adaptation Factors— Non-uniform Temper	Bending Image: Construct of the second sec] Зеат Span: 7.4 к ₁ : <u>0.7</u>	f _{y,20} : 275 Class: Class m	N/mm ² 1	
	Non-uniform Tempe	rature Along the <u>B</u> eam	* <u>2</u> 1	04	1	

Obr. 7.15 Zatížení nosníku

Fire Resistance: 2183 sec = 36.4 min.		
Results		
Analysis:	Bending	
Critical Temperature:	726.77	°C
Fire Resistance:	36.38	min
Class of the Cross Section:	Class 1	
nput		
Profile:	IPE 300	
Area of the Cross Section:	53.8	cm ²
Section Factor:	187.74	m -1
Correction Factor for the Shadow Effect:	0.668	
Second Moment of Area About Major Axis (y - y) Wely:	557.1	cm ⁴
Second Moment of Area About Minor Axis (z - z) Welz:	80.5	cm ⁴
Plastic Section Modulus About Major Axis (y - y) Wply:	628.4	cm ³
Plastic Section Modulus About Minor Axis (z - z) Wplz:	125.2	cm ³
Radius of Gyration About Major Axis (y - y) iy:	12.46	cm
Radius of Gyration About Minor Axis (z - z) iz:	3.35	cm

Obr. 7.16 Výsledky – požární odolnost nosníku

Požární odolnost nosníku, viz obr. 7.14 až 7.16, je 36 min 23 s. Nosník vyhovuje pro požadovanou požární odolnost R30. Průběh teplot v obou zónách požárního úseku a teploty průřezu je na obr. 7.17. Podle nastavených kriterií pro přechod dvouzónového na jednozónový model dojde v čase asi 8 min ke snížení výšky chladné zóny pod stanovený limit 0,2 výšky požárního úseku, od tohoto okamžiku je používán jednozónový model. Při teplotě 500 °C dojde ke vzplanutí, ale pro nedostatek kyslíku je hoření vzápětí utlumeno.



Obr. 7.17 Teplota v požárním úseku a teplota průřezu

Na množství volného kyslíku v požárním úseku, viz obr. 7.18, je zřejmé, že od 14. min je požár řízený ventilací. To se projeví v rychlosti rozvoje tepla, které se uvolňuje z paliva. Pro porovnání je vykreslena také křivka největší možné rychlosti rozvoje tepla pro stejný požární úsek s dostatkem kyslíku, viz obr. 7.19.



7.5 Jednoduchá a pokročilá globální analýza

Norma ČSN EN 1993-1-2 přináší ve spojení se souvisejícími normami, především s normou pro navrhování konstrukcí ČSN EN 1993-1-1, styčníků ČSN EN 1993-1-8 a zatížení konstrukcí při požáru ČSN EN 1991-1-2, ucelený návod pro navrhování a posuzování konstrukcí na účinky požáru pomocí jednoduchých i pokročilých modelů. Jednoduché modely rozšiřují globální analýzu za běžné teploty o posouzení prvků s redukovanými materiálovými vlastnostmi díky zvýšené teploty při požáru. Pro navrhování specifických prvků, jako jsou prolamované nosníky, trapézové plechy ve střešních a obvodových pláštích atd., se využívají pokročilé výpočetní modely, které využívají globální analýzy konstrukce vystavené požáru za zvýšené teploty. Nejekonomičtější řešení lze získat experimenty, které ale lze na skutečných konstrukcích realizovat pouze omezeně. Nejekonomičtější je kombinace experimentů na konstrukčních prvcích s výpočty.

Literatura

- [7.1] ČSN EN 1993-1-2: Navrhování ocelových konstrukcí, Obecná pravidla, Navrhování konstrukcí na účinky požáru, ČSNI, Praha 2006.
- [7.2] Wald F. a kol.: Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí, České vysoké učení technické v Praze, Praha 2005, 336 s., ISBN 80-0103157-8.

- [7.3] ČSN EN 1991-1-2: Zatížení konstrukcí, Obecná zatížení, Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru, ČSNI, Praha 2004.
- [7.4] URL: www.access-steel.com
- [7.5] URL: <u>www.difisek.eu</u>

Příloha 7A Nomogram pro přestup tepla do požárně nechráněné konstrukce

V normě EN 1993-1-2: 2004 je použito pro řešení přestup tepla do konstrukce předpokladu, že se přírůstek tepla do ocelového průřezu v čase Δt rovnoměrně rozloží a zvýší teplotu prvku o $\Delta \theta$, neboli vstupující teplo se projeví nárůstem teploty. Pro přírůstky času menší než 5 s, kde se využívá tvaru

$$\Delta \theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m / V}{c_a \rho_a} h_{net,d} \Delta t$$
(7.A1)

kde k_{sh} je součinitel zastínění. Výraz nelze použit pro hodnoty A_m/V menší než 10 m⁻¹. Pro hodnoty nad 200 m⁻¹ již nemá řešení praktický význam, protože teplota oceli se prakticky rovná teplotě plynu, $\theta_{a,t} \cong \theta_{g,t}$. Ve vzorci značí $h_{net,d}$ návrhovou hodnotu tepelné pohltivosti od proudění a sálání vztaženou na jednotku plochy, viz [7.2]. Pro průřezy tvaru I a pro nárůst teploty podle nominální křivky hoření se vliv zastínění části průřezu započítává součinitelem k_{sh} vyjádřeným vztahem

$$k_{sh} = 0.9 (A_m/V)_b/(A_m/V) \tag{7.A2}$$

kde $(A_m/V)_b$ je součinitel průřezu pro povrch obdélníka opsaného průřezu, který je vystaven požáru. Pro ostatní průřezy lze součinitel k_{sh} určit jako

$$k_{sh} = (A_m/V)_{b}/(A_m/V)$$
(7.A3)

U průřezů konvekčního tvaru jako jsou hranaté nebo kulaté trubky zastínění nevzniká, $k_{sh} = 1,0$. Závislost teploty ocelového nechráněného profilu $\theta_{a,t}$ na době ohřevu podle nominální normové teplotní křivky v čase *t* lze pro součinitele průřezu A_m / V tabelovat, viz [7.2]. Z grafu na obr. 7.20 lze pro známou teplotu ve °C (550 °C) a daný součinitel průřezu v m⁻¹ (50 m⁻¹) odečíst čas k jejímu dosažení v min (26 min) při součiniteli zastínění $k_{sh} = 1,0$.

Přestup tepla stanovený podle výrazu (7.A1) do nechráněného nosníku profil IPE 360 exponovaného ze tří stran, $A_m/V = 360 \text{ m}^{-1}$, je pro $\varepsilon_m = 0.7$; $\varepsilon_r = 1.0$ zobrazen na obr. 7.20 pro nominální ($\alpha_c = 25 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$) a pro parametrickou teplotní křivku ($\alpha_c = 35 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$). Parametrická teplotní křivka byla stanovena pro $A_t = 360 \text{ m}^2$; $A_f = 100 \text{ m}^2$, $b = 1500 \text{ J m}^2 \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$, viz [7.2]. Vliv otvorů $O = 0.07 \text{ m}^{1/2}$ je počítán při konstantním požárním zatížení $q_{f,d} = 600 \text{ MJ/m}^2$.





Příloha 7B Nomogram pro přestup tepla do požárně chráněné konstrukce

Přírůstek teploty $\Delta \theta_{a,t}$ v prvku v časovém intervalu Δt se podle normy ČSN EN 1993-1-2: 2006, viz [7.2], vypočte z rovnováhy tepla přicházejícího z požárně ochranné vrstvy s teplem kumulovaným v požárně izolačním materiálu a v ocelovém prvku jako

$$\Delta \theta_{a,t} = \frac{\lambda_{\rm p} A_{\rm p} / V}{d_{\rm p} c_{\rm a} \rho_{\rm a}} \quad \frac{\theta_{\rm g,t} - \theta_{\rm a,t}}{1 + \phi/3} \Delta t - (e^{\phi/10} - 1) \Delta \theta_{\rm g,t} \text{ ale } \Delta \theta_{\rm a,t} > 0 \tag{7.B1}$$

kde $\phi = \frac{c_p \rho_p}{c_a \rho_a} d_p \frac{A_p}{V}$, λ_p je tepelná vodivost požárně ochranného materiálu v W m⁻¹ K⁻¹; A_p / V

součinitel průřezu pro prvky s požárně ochranným materiálem v m⁻¹. Výraz nelze použít pro A_p / V menší než 10 m⁻¹ a pro hodnoty nad 350 m⁻¹ již nemá řešení praktický význam, protože $\theta_{a,t} \cong \theta_{g,t}$. Symbol d_p je použit pro tloušťku požárně ochranného materiálu v m; ρ_p pro hustotu požárně ochranného materiálu v kg/m³; c_p pro měrné teplo požárně ochranného materiálu v J kg⁻¹K⁻¹; c_a pro měrné teplo oceli, $\Delta \theta_{g,t}$ pro přírůstek okolní teploty během časového intervalu Δt v s, který se nemá uvažovat větší než 30 s. Pro prvky izolované požárně ochranným materiálem záleží nárůst teploty na vztahu A_p / V , kde A_p je vnitřní plocha izolačního materiálu a na tepelných vlastnostech materiálu chránícího konstrukci, zejména na tepelná vodivosti a tloušťce. Konzervativní odhad hodnot podle [7.5] je shrnut v tab. 7.1. Na obr. 7.21 je zobrazena závislost teploty ocelového profilu izolovaného požárně ochranným materiálem $\theta_{a,t}$ na době trvání požáru *t* vypočtená podle (7.B1) pro nominální normovou teplotní křivku a pro různé součinitele průřezu izolovaného požárně ochranným materiálem $(A_p / V) (\lambda_p / d_p)$ ve W K⁻¹ m⁻³ s přírůstky času $\Delta t = 30$ s. Tepelná jímavost požárně ochranného

matriálu je zanedbána, tj. předpokládá se $c_p \cdot \rho_p \approx 0$, neboli $\phi = \frac{c_p \rho_p}{c_a \rho_a} d_p \frac{A_p}{V} \approx 0$. Šipkou je označeno,

že v čase 60 min dosáhne prvek vystavený ohřevu podle nominální normové křivky se součinitelem chráněného průřezu 1500 W K⁻¹ m⁻³ teploty 575 °C.

	Hustota	Obsah	Tepelná	Měrné
Tepelně izolační materiál		vlhkosti	vodivost	teplo
	$ ho_{p}$, kg/m ³	U, %	λ_{p} , W m ⁻¹ K ⁻¹	c_{p} , J kg ⁻¹ K ⁻¹
Nástřiky minerální vlákna	300	1	0,12	1200
vermikulit	350	15	0,12	1200
perlit	350	15	0,12	1200
Hutné nástřiky vermikulit/perlit a cement	550	15	0,12	1100
vermikulit/perlit a sádra	650	15	0,12	1100
Desky vermikulit/perlit a cement	800	15	0,20	1200
vláknité silikátové/vápenosilikátové	600	3	0,15	1200
vláknité silikátové/vápenosilikátové s cementem	800	5	0,15	1200
sádrové desky	800	20	0,20	1700
sádrové se silikátovými/minerálními/čedičovými vlákny	150	2	0,20	1200
Zpěnitelné nátěry	100	0	0,10	1200
Beton běžný	2300	4	1,60	1000
lehký	1600	5	0,88	840
Zdivo z dutých cihel	1000	8	0,40	1200
z plných cihel	2000	8	1,20	1200
z betonových bloků	2200	8	1,00	1200

Tab. 7.1 Nominální vlastnosti požárně ochranných materiálů, viz [7.5]



Obr. 7.21 Závislost teploty ocelového profilu izolovaného požárně ochranným materiálem $\theta_{a,t}$ na době trvání požáru *t*, pro součinitele průřezu $(A_p / V) \cdot (\lambda_p / d_p)$ v W K⁻¹ m⁻³, nominální normovou teplotní křivka, přírůstky $\Delta t = 30$ s, konzervativně $c_p \rho_p = 0$

QUALITY RECORD

Název	Ocelové konstrukce - pokročilý návrh pomocí software
Kategorie	Ocelové konstrukce
Název souboru	3-7_Ocelove_konstrukce_pomoci_SW.pdf
Datum vytvoření	29. 11. 2007
Autor	Ing. Zdeněk Sokol, Ph.D., Prof. Ing. František Wald, CSc.
	Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, Fakulta stavební, ČVUT v Praze
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	Wald F. a kol.: Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí, České vysoké učení technické v Praze, Praha 2005, 336 s., ISBN 80-0103157-8. www.access-steel.com www.difisek.eu