
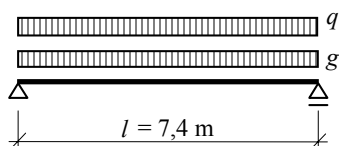


<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	SX047a-CZ-EU	Strana	1 z 9
	Název	Řešený příklad: Požární návrh chráněného nosníku průřezu IPE vystaveného parametrické teplotní křivce		
	Eurokód			
	Vypracoval	Z. Sokol	Daum	Leden 2006
	Kontroloval	F. Wald	Datum	Leden 2006

Řešený příklad: Požární návrh chráněného nosníku průřezu IPE vystaveného parametrické teplotní křivce

Tento příklad ukazuje návrh prostého ocelového nosníku. Pro přestup tepla do konstrukce jsou použity vztahy z EN 1993-1-2 řešené přírůstkovou metodou. Únosnost nosníku je vypočtena podle modelu v EN 1993-1-2.

Ocelový nosník 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 60 min, protipožární ochranu tvoří vermikulit-cementový nástřík. Průběh požáru je popsán parametrickou teplotní křivkou.



Obrázek 1: Schéma nosníku

Vstupní údaje

Materiálové vlastnosti

Třída oceli: S 275

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

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

Zatížení

Stálé zatížení:

$$g_k = 4,8 \text{ kN/m}$$

Nahodilé zatížení:

$$q_k = 7,8 \text{ kN/m}$$


Součinitele spolehlivosti

$$\gamma_G = 1,35$$

$$\gamma_Q = 1,50$$

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,00$$

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX047a-CZ-EU</i>	Strana	<i>2 z 9</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Požární návrh chráněného nosníku průřezu IPE vystaveného parametrické teplotní křivce</i>		
	Eurokód			
	Vypracoval	<i>Z. Sokol</i>	Daum	<i>Leden 2006</i>
	Kontroloval	<i>F. Wald</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>

Vstupní údaje pro požární odolnost

Parametrická teplotní křivka:

$$\Gamma = 5,794$$

$$t_{\max} = 22 \text{ minut}$$

$$x = 1$$

Vlastnosti materiálu pro protipožární ochranu

cementovermikulitový nástřik

$$\text{tloušťka } d_p = 10 \text{ mm}$$

$$\text{hustota } \rho_p = 550 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{měrné teplo } c_p = 1100 \text{ J/kgK}$$

$$\text{tepelná vodivost } \lambda_p = 0,12 \text{ W/mK}$$

Zatížení při běžné teplotě

Charakteristická hodnota zatížení je

$$v_k = g_k + q_k = 4,8 + 7,8 = 12,60 \text{ kNm}^{-1}$$


Návrhová hodnota zatížení je

$$v_d = g_k \gamma_G + q_k \gamma_Q = 4,8 \cdot 1,35 + 7,8 \cdot 1,5 = 18,18 \text{ kNm}^{-1}$$

Ohybový moment a posouvající síla:

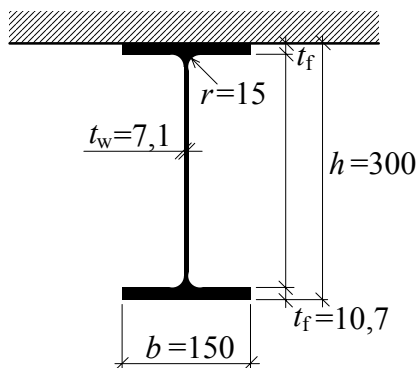
$$M_{\text{Ed}} = \frac{1}{8} v_d l^2 = \frac{1}{8} \cdot 18,18 \cdot 7,4^2 = 124,4 \text{ kNm}$$

$$V_{\text{Ed}} = \frac{1}{2} v_d l = \frac{1}{2} \cdot 18,18 \cdot 7,4 = 67,3 \text{ kN}$$

<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	SX047a-CZ-EU	Strana	3 z 9
	Název	Řešený příklad: Požární návrh chráněného nosníku průřezu IPE vystaveného parametrické teplotní křivce		
	Eurokód			
	Vypracoval	Z. Sokol	Daum	Leden 2006
	Kontroloval	F. Wald	Datum	Leden 2006

Posouzení při běžné teplotě

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



Obrázek 2: Navržený průřez

Železobetonová deska zajišťuje nosník proti klopení.

Momentová únosnost je:

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

Smyková únosnost je:

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

Zkontroluje se průhyb v mezním stavu použitelnosti:

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

Průřez za běžné teploty vyhovuje.

Posouzení únosnosti při požáru

Zatížení při požáru

Zatížení při požáru se odvodí ze zatížení pro běžnou teplotu podle pravidel v EN 1991-2.

[EN 1993-1-1](#)

[§5.5](#)

[EN 1993-1-1](#)


[§6.2.5](#)

[EN 1993-1-1](#)

[§6.2.6](#)

[EN 1991-1-2](#)

[§4.3.2](#)

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX047a-CZ-EU</i>	Strana	<i>4 z 9</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Požární návrh chráněného nosníku průřezu IPE vystaveného parametrické teplotní křivce</i>		
	Eurokód			
	Vypracoval	<i>Z. Sokol</i>	Daum	<i>Leden 2006</i>
	Kontroloval	<i>F. Wald</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>

Pro výpočet zatížení se použije mimořádná kombinace zatížení se součinitelem kombinace $\psi_{2,1} = 0,3$ pro administrativní budovy. Redukční součinitel zatížení je

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

Poznámka: Součinitel kombinace ψ může být upřesněn v národní příloze. V tomto příkladu je použita doporučená hodnota podle EN 1991-1-2.

Ohybový moment a posouvající síla:

$$M_{fi,Ed} = \eta_{fi} M_{Ed} = 0,393 \cdot 124,4 = 48,9 \text{ kNm}$$

$$V_{fi,Ed} = \eta_{fi} V_{Ed} = 0,393 \cdot 67,3 = 26,4 \text{ kN}$$

Výpočet teploty plynů v požárním úseku

Určení parametrů pro parametrickou teplotní křivku je popsáno v řešeném příkladu SX042. V tomto příkladu byla použita křivka s následujícími parametry: $\Gamma = 5,794$, $t_{max} = 22 \text{ min}$ (0,367 hodin) a $x = 1$. Pro výpočet je použit náhradní čas t^* (v hodinách)

$$t^* = t \Gamma = 5,794 t .$$

Nejvyšší teplota plynů je dosažena v čase t^*_{max}

$$t^*_{max} = t_{max} \Gamma = 0,367 \cdot 5,794 = 2,125 \text{ hour} .$$

Teplotní křivka ve fázi ohřívání:

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

Nejvyšší teplota plynů v požárním úseku je

$$\theta_{max} = 20 + 1325 \left(1 - 0,324 e^{-0,2 \cdot 2,125} - 0,204 e^{-1,7 \cdot 2,125} - 0,472 e^{-19 \cdot 2,125} \right)$$


$$\theta_{max} = 1057^\circ\text{C}$$

Křivka ve fázi chladnutí pro $t^*_{max} > 2$ je

$$\begin{aligned} \theta_{g,t} &= \theta_{max} - 250 \left(t^* - t^*_{max} \right) x \\ &= 1057 - 250 \cdot (t^* - 2,126 \cdot 1) \\ &= 1588,5 - 250 \cdot t^* \end{aligned}$$

[EN 1993-1-2 §2.4.2](#)

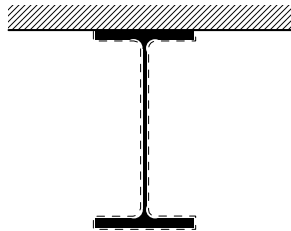
[EN 1991-1-2 příloha A SX042](#)

<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	SX047a-CZ-EU	Strana	5 z 9
	Název	Řešený příklad: Požární návrh chráněného nosníku průřezu IPE vystaveného parametrické teplotní křivce		
	Eurokód			
	Vypracoval	Z. Sokol	Daum	Leden 2006
	Kontroloval	F. Wald	Datum	Leden 2006

Určení teploty nosníku

Pro určení součinitele průřezu se použije obvod průřezu vystavený účinkům požáru, který je vyznačen tečkovanou čarou, viz obrázek 3:

$$\begin{aligned} \frac{A_p}{V} &= \frac{3b + 2(h - t_w - 4r) + 2\pi r}{A} = \\ &= \frac{3 \cdot 150 + 2 \cdot (300 - 7,1 - 4 \cdot 15) + 2 \cdot \pi \cdot 15}{5381} = \\ &= 0,188 \text{ mm}^{-1} = 188 \text{ m}^{-1} \end{aligned}$$



Obrázek 3: Obvod průřezu vystavený účinkům požáru

Přírůstek teploty chráněného průřezu se určí ze vztahu:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p A_p / V}{d_p c_a \rho_a (1 + \phi/3)} \theta_{g,t} - \theta_{a,t} \Delta t - (e^{\phi/10} - 1) \Delta\theta_{g,t} \quad \text{ale} \quad \Delta\theta_{a,t} \geq 0$$

kde

$$\phi = \frac{c_p \rho_p}{c_a \rho_a} d_p \frac{A_p}{V}$$

Pro výpočet se použije časový přírůstek $\Delta t = 30$ sekund.

[SD005](#)

[EN 1993-1-2](#)
[§4.2.5.2](#)



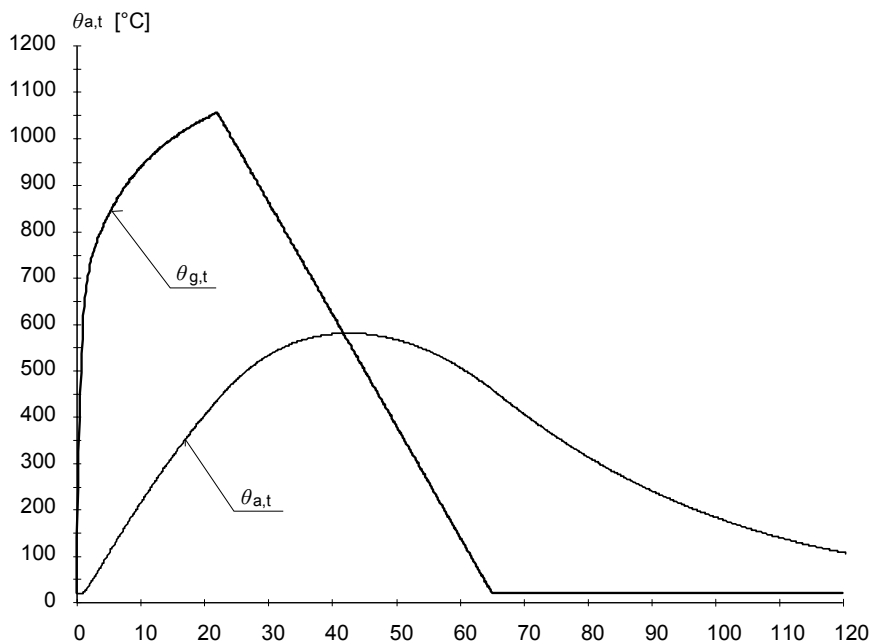
Dokument:	<i>SX047a-CZ-EU</i>	Strana	6 z 9
Název	Řešený příklad: Požární návrh chráněného nosníku průřezu IPE vystaveného parametrické teplotní křivce		
Eurokód			
Vypracoval	<i>Z. Sokol</i>	Daum	Leden 2006
Kontroloval	<i>F. Wald</i>	Datum	Leden 2006

Časový průběh teploty plynu a teploty průřezu je na obrázku 4 a v tabulce 1.

Tabulka 1: Výpočet teploty průřezu

min	sec	t^* hour	θ_g °C	c_a J/kg°C	\varnothing	$\Delta\theta_{a,t}$ °C	$\theta_{a,t}$ °C
	0	0	20,0	440			20,0
	30	0,04828	420,9	440	0,329	0,0	20,0
1	00	0,09657	594,7	440	0,329	0,0	20,0
1	30	0,14485	676,8	440	0,329	4,3	24,3
2	00	0,19313	721,4	443	0,327	8,7	33,1
2	30	0,24142	750,3	449	0,323	10,5	43,5
3	00	0,28970	772,1	456	0,318	11,2	54,7
40	30	3,91095	610,4	738	0,196	0,7	581,1
41	00	3,95923	598,3	739	0,196	0,6	581,6
41	30	4,00752	586,2	740	0,196	0,4	582,1
42	00	4,05580	574,2	740	0,196	0,3	582,3
42	30	4,10408	562,1	740	0,196	0,1	582,5
43	00	4,15237	550,0	741	0,196	0,0	582,5
43	30	4,20065	538,0	741	0,196	-0,1	582,4
44	00	4,24893	525,9	741	0,196	-0,2	582,1
44	30	4,29722	513,8	740	0,196	-0,4	581,8
45	00	4,34550	501,7	740	0,196	-0,5	581,3
45	30	4,39378	489,7	739	0,196	-0,6	580,6
46	00	4,44207	477,6	739	0,196	-0,8	579,9
58	00	5,60087	187,9	690	0,210	-3,6	525,8
58	30	5,64915	175,8	687	0,211	-3,7	522,1
59	00	5,69743	163,8	684	0,212	-3,8	518,3
59	30	5,74572	151,7	681	0,213	-3,9	514,3
60	00	5,79400	139,6	678	0,214	-4,0	510,3
60	30	5,84228	127,6	674	0,215	-4,2	506,1

Dokument:	<i>SX047a-CZ-EU</i>	Strana	7 z 9
Název	Řešený příklad: Požární návrh chráněného nosníku průřezu IPE vystaveného parametrické teplotní křivce		
Eurokód			
Vypracoval	<i>Z. Sokol</i>	Daum	Leden 2006
Kontroloval	<i>F. Wald</i>	Datum	Leden 2006

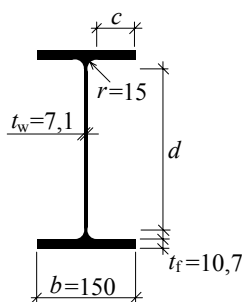


Obrázek 4: Časový průběh teploty plynu a teploty průřezu


Maximální teplota průřezu vystaveného požáru podle parametrické teplotní křivky je $\theta_{a,max} = 582^\circ\text{C}$.

Výpočet únosnosti

Klasifikace průřezu za zvýšené teploty



Obrázek 5: Rozměry průřezu

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX047a-CZ-EU</i>	Strana	8 z 9
	Název	Řešený příklad: Požární návrh chráněného nosníku průřezu IPE vystaveného parametrické teplotní křivce		
	Eurokód			
	Vypracoval	<i>Z. Sokol</i>	Daum	Leden 2006
	Kontroloval	<i>F. Wald</i>	Datum	Leden 2006

Štíhlost tlačené pásnice je

$$\frac{c}{t_f} = \frac{56,45}{10,7} = 5,3$$

Maximální hodnota pro 1. třídu průřezu je 9ε . Pro zatřídění při požáru se hodnota ε redukuje na 0,85 násobek hodnoty používané při běžné teplotě. Hodnota pro ocel S275 je:

$$9 \times 0,85 \times 0,924 = 7,07$$

Hodnota pro 1. třídu není překročena, pásnice je 1. třídy.

Štíhlost ohýbané stěny je

$$\frac{d}{t_w} = \frac{248,6}{7,1} = 35,0$$

Maximální hodnota pro 1. třídu průřezu je 72ε . Pro zatřídění při požáru se hodnota ε redukuje na 0,85 násobek hodnoty používané při běžné teplotě. Maximální hodnota je:

$$72 \times 0,85 \times 0,924 = 56,6$$

Limit pro průřezy 1. třídy není překročen, stěna je 1. třídy.

Průřez je při požáru zařazen do 1. třídy.

Redukční součinitel pro teplotu průřezu $\theta_a = 582^\circ\text{C}$ je:

$$k_{y,\theta} = 0,525$$

Momentová únosnost průřezu při této teplotě je:

$$M_{fi,t,Rd} = \frac{1}{\kappa_1 \kappa_2} \frac{k_{y,\theta} W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M,fi}}$$

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

$$\kappa_1 = 0,85.$$

Součinitel


$$\kappa_2 = 1,0$$

vyjadřuje nerovnoměrné rozdělení teploty podél nosníku.

[EN 1993-1-2 §4.2.2](#)

[EN 1993-1-2 §3.2.1](#)
[SD003](#)

[EN 1993-1-2 §4.2.3.3\(3\)](#)

<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX047a-CZ-EU</i>	Strana	9 z 9
	Název	<i>Řešený příklad: Požární návrh chráněného nosníku průřezu IPE vystaveného parametrické teplotní křivce</i>		
	Eurokód			
	Vypracoval	<i>Z. Sokol</i>	Daum	<i>Leden 2006</i>
	Kontroloval	<i>F. Wald</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>

Momentová únosnost při teplotě $\theta_a = 582^\circ\text{C}$:

$$M_{fi,t,Rd} = \frac{1}{0,85 \cdot 1,0} \cdot \frac{0,525 \cdot 628,4 \cdot 10^3 \cdot 275}{1,0} = 106,7 \text{ kNm} > 48,9 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

Smyková únosnost:

$$V_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta} \frac{A_{v,z} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = 0,525 \cdot \frac{2568 \cdot 275}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 214,1 \text{ kN} > 26,4 \text{ kN} = V_{fi,Sd} \quad \text{OK}$$

Průřez při požáru vyhovuje.

Porovnání s normovou požární odolností

Mimimální tloušťka nástřiku pro požární odolnost R60 se dá určit z podkladů dodaných výrobcem nástřiku publikovaných v dokumentu 'Fire protection for structural steel in buildings'. Tyto podklady jsou založeny na předpokladu, že kritická teplota prvku je vyšší než 550°C .

Součinitel průřezu = 188 m^{-1}

Tloušťka nástřiku = 15 mm

[EN 1993-1-2](#)
[§4.2.3.3](#)

Quality Record

RESOURCE TITLE	Řešený příklad: Požární návrh chráněného nosníku průřezu IPE vystaveného parametrické teplotní křivce		
Reference(s)			
ORIGINAL DOCUMENT			
	Name	Company	Date
Created by	Z. Sokol	CTU in Prague	11/1/06
Technical content checked by	F. Wald	CTU in Prague	28/1/06
Editorial content checked by			
Technical content endorsed by the following STEEL Partners:			
1. UK	G W Owens	SCI	30/6/08
2. France	A Bureau	CTICM	30/6/08
3. Sweden	B Uppfeldt	SBI	30/6/08
4. Germany	C Müller	RWTH	30/6/08
5. Spain	J Chica	Labein	30/6/08
6. Luxembourg	M Haller	PARE	30/6/08
Resource approved by Technical Coordinator	G W Owens	SCI	18/9/06
TRANSLATED DOCUMENT			
This Translation made and checked by:	Z. Sokol	CTU in Prague	29/6/07
Translated resource approved by	F. Wald	CTU in Prague	31/7/07
National technical contact	F. Wald		