
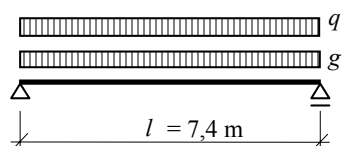


<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	SX046a-CZ-EU	Strana	1 z 8
	Název	Řešený příklad: Požární návrh nechráněného nosníku průřezu IPE vystaveného normové teplotní křivce		
	Eurokód			
	Vypracoval	Z. Sokol	Datum	Leden 2006
	Kontroloval	F. Wald	Datum	Leden 2006

Řešený příklad: Požární návrh nechráněného nosníku průřezu IPE vystaveného normové teplotní křivce

V řešeném příkladu je navržen prostý ocelový nosník. Pro přestup tepla do konstrukce jsou použity vztahy z EN 1993-1-2 řešené přírůstkovou metodou. Únosnost nosníku je vypočtena podle jednoduchého 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 R15.



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

$$\gamma_G = 1,35$$

$$\gamma_Q = 1,50$$

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

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

Dokument:	<i>SX046a-CZ-EU</i>	Strana	2 z 8
Název	Řešený příklad: Požární návrh nechráněného nosníku průřezu IPE vystaveného normové teplotní křivce		
Eurokód			
Vypracoval	<i>Z. Sokol</i>	Datum	Leden 2006
Kontroloval	<i>F. Wald</i>	Datum	Leden 2006

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

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

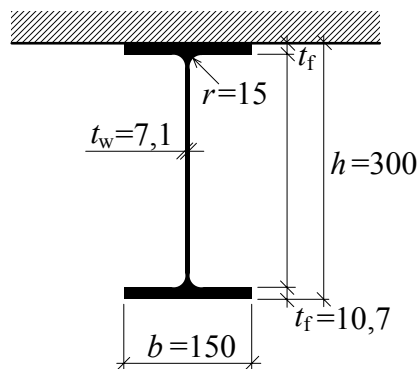
Ohybový moment a posouvající síla:

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

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

Posouzení při běžné teplotě

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



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:

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

[EN 1993-1-1 §5.5](#)

[EN 1993-1-1 §6.2.5](#)

[EN 1993-1-1 §6.2.6](#)

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX046a-CZ-EU</i>	Strana	3 z 8
	Název	Řešený příklad: Požární návrh nechráněného nosníku průřezu IPE vystaveného normové teplotní křivce		
	Eurokód			
	Vypracoval	<i>Z. Sokol</i>	Datum	Leden 2006
	Kontroloval	<i>F. Wald</i>	Datum	Leden 2006

Zkontroluje se průhyb v mezním stavu použitelnosti, maximální povolený průhyb je $l / 250$:

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

(Maximální průhyby jsou předepsány v národních předpisech nebo v národní příloze. Ve výpočtu je použita doporučená hodnota.)

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 1991-1-2 §4.3.2](#)

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

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

[EN 1993-1-2 §2.4.2](#)

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

Pro výpočet teploty plynů v požárním úseku se použije normová teplotní křivka.

[EN 1991-1-2 §3.2.1](#)

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1)$$

Určení teploty nosníku

<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	SX046a-CZ-EU	Strana	4 z 8
	Název	Řešený příklad: Požární návrh nechráněného nosníku průřezu IPE vystaveného normové teplotní křivce		
	Eurokód			
	Vypracoval	Z. Sokol	Datum	Leden 2006
	Kontroloval	F. Wald	Datum	Leden 2006

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

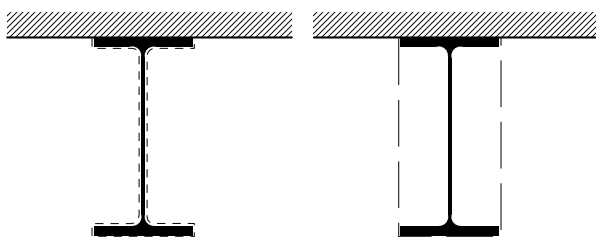
$$\frac{A_m}{V} = \frac{3b + 2(h - t_w - 4r) + 2\pi r}{A} = \frac{3 \cdot 150 + 2 \cdot (300 - 7,1 - 4 \cdot 15) + 2 \cdot \pi \cdot 15}{5381} = 0,188 \text{ mm}^{-1} = 188 \text{ m}^{-1}$$

Součinitel zastínění k_{sh} pro průřez IPE se určí jako:

$$k_{sh} = 0,9 \frac{\left(\frac{A_m}{V}\right)_b}{\left(\frac{A_m}{V}\right)} = 0,9 \frac{b + 2h}{A} = 0,9 \frac{150 + 2 \cdot 300}{0,188} = 0,9 \cdot 0,741 = 0,667$$

[EN 1993-1-2 §4.2.5.1](#)

kde poměr $(A_m/V)_b$ se určí pro obálku průřezu, jak ukazuje čárkovaná čára na obrázku 3.



Obrázek 3: Obvod průřezu vystavený účinkům požáru, určení součinitele k_{sh}

Přírůstek teploty nechráněného průřezu se určí ze vztahu:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m/V}{c_a \rho_a} \dot{h}_{net} \Delta t$$

[EN 1993-1-2 §4.2.5.1](#)

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

Čistý tepelný tok je

$$\begin{aligned} \dot{h}_{net} &= \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r} \\ &= \alpha_c (\theta_g - \theta_m) + \Phi \varepsilon_m \varepsilon_f \sigma ((\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4) = \\ &= 25 \cdot (\theta_g - \theta_m) + 3,969 \cdot 10^8 \cdot ((\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4) \end{aligned}$$

[EN 1991-1-2 §3.1](#)



Dokument:	<i>SX046a-CZ-EU</i>	Strana	5 z 8
Název	Řešený příklad: Požární návrh nechráněného nosníku průřezu IPE vystaveného normové teplotní křivce		
Eurokód			
Vypracoval	Z. Sokol	Datum	Leden 2006
Kontroloval	F. Wald	Datum	Leden 2006

kde

ε_m je emisivita prvku ($\varepsilon_m = 0,7$ - EN1993-1-2 §2.2)

ε_r je emisivita požáru ($\varepsilon_r = 1,0$ – EN1991-1-2 §3.1)

Φ je polohový součinitel ($\Phi = 1,0$ – EN1991-1-2 §3.1)

α_c je součinitel přestupu tepla, pro normovou křivku se používá

$$\alpha_c = 25,0 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}, \text{ (viz EN1991-1-2 §3.2.1)}$$

σ je Stephan Boltzmannova konstanta ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$).

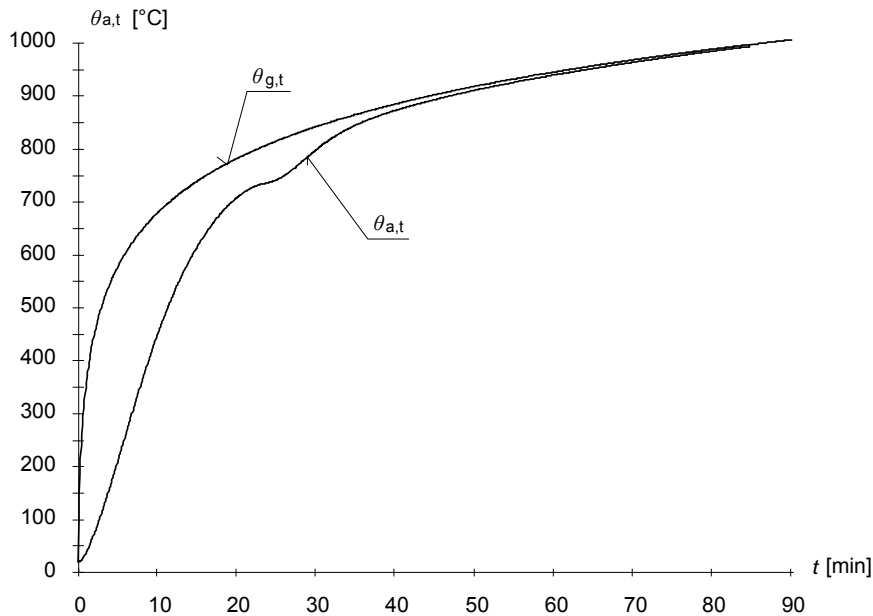
Časový průběh teploty plynu a teploty průřezu je na obrázku 4 a v tabulce 1.

Tabulka 1: Výpočet teploty průřezu

min	sec	t min	θ_g °C	$h_{net,r}$ W/m ²	$h_{net,c}$ W/m ²	$h_{net,d}$ W/m ²	c_a J/kg°C	$\Delta_{a,t}$ °C	$\theta_{a,t}$ °C
	0	0	20,0	0	0	0	440	0,0	20,0
	5	0,0833	96,5	448	1913	2361	440	0,0	20,0
	10	0,1667	147,0	940	3163	4103	440	0,4	20,4
	15	0,2500	184,6	1443	4086	5529	440	0,7	21,2
	20	0,3333	214,7	1944	4813	6756	441	1,0	22,2
14	40	14,6667	735,2	17397	3249	20646	762	2,2	605,3
14	45	14,7500	736,1	17301	3216	20517	764	2,2	607,4
14	50	14,8333	736,9	17205	3184	20389	766	2,1	609,6
14	55	14,9167	737,7	17109	3151	20260	767	2,1	611,7
15	00	15,0000	738,6	17013	3119	20132	769	2,1	613,8
15	05	14,0833	739,4	16916	3088	20004	771	2,1	615,9

[EN 1991-1-2 §3.2.1](#)

Dokument:	<i>SX046a-CZ-EU</i>	Strana	6 z 8
Název	<i>Řešený příklad: Požární návrh nechráněného nosníku průřezu IPE vystaveného normové teplotní křivce</i>		
Eurokód			
Vypracoval	<i>Z. Sokol</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>
Kontroloval	<i>F. Wald</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>



Obrázek 4: Časový průběh teploty plynu a teploty průřezu

Teplota průřezu v čase $t = 15$ minut je $\theta_a = 614^\circ\text{C}$.

Poznámka:

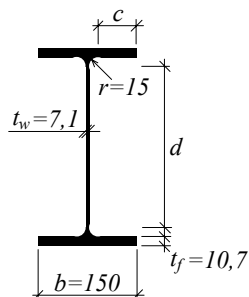
Teplota ocelového průřezu může být určena pomocí c SD004. Použije se součinitel průřezu $A_p/V = 165 \text{ m}^{-1}$ a součinitel zastínění $k_{sh} = 0,667$, výsledný součinitel průřezu A_m/V pro použití grafu z dokumentu SD004 je

$$0,667 \cdot 188 = 125$$

Teplota průřezu v čase $t = 15$ minut je $\theta_a = 614^\circ\text{C}$.


Výpočet únosnosti


Klasifikace průřezu za zvýšené teploty



Obrázek 5: Rozměry průřezu

[SD004](#)

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX046a-CZ-EU</i>	Strana	7 z 8
	Název	<i>Řešený příklad: Požární návrh nechráněného nosníku průřezu IPE vystaveného normové teplotní křivce</i>		
	Eurokód			
	Vypracoval	<i>Z. Sokol</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>
	Kontroloval	<i>F. Wald</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>
<p>Štíhlost tlačené pásnice je</p> $\frac{c}{t_f} = \frac{56,45}{10,7} = 5,3$ <p>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:</p> $9 \times 0,85 \times 0,924 = 7,07$ <p>Hodnota pro 1. třídu není překročena, pásnice je 1. třídy.</p> <p>Štíhlost ohýbané stěny je</p> $\frac{d}{t_w} = \frac{248,6}{7,1} = 35,0$ <p>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:</p> $72 \times 0,85 \times 0,924 = 56,6$ <p>Limit pro průřezy 1. třídy není překročen, stěna je 1. třídy.</p> <p>Průřez je při požáru zařazen do 1. třídy.</p> <p>Momentová únosnost průřezu při požáru je:</p> $M_{fi,t,Rd} = \frac{1}{\kappa_1 \kappa_2} \frac{k_{y,\theta} W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M,fi}}$ <p>Redukční součinitel pro teplotu průřezu $\theta_a = 614^\circ\text{C}$ je:</p> $k_{y,\theta} = 0,436$ <p>Pokud je nosník vystaven účinkům po třech stranách a shora chráněn betonovou deskou, je nerovnoměrné rozdělení teploty po průřezu zohledněno součinitelem</p> $\kappa_1 = 0,7.$ <p>Součinitel</p> $\kappa_2 = 1,0$ <p>vyjadřuje nerovnoměrné rozdělení teploty podél nosníku.</p>				
<p>EN 1993-1-2 §4.2.2</p>				
<p>EN 1993-1-2 §4.2.3.3(3)</p>				
<p>EN 1993-1-2 §3.2.1 SD003</p>				
<p>EN 1993-1-2 §4.2.3.3(7)</p>				
<p>EN 1993-1-2 §4.2.3.3(8)</p>				

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX046a-CZ-EU</i>	Strana	8 z 8
	Název	Řešený příklad: Požární návrh nechráněného nosníku průřezu IPE vystaveného normové teplotní křivce		
	Eurokód			
	Vypracoval	<i>Z. Sokol</i>	Datum	Leden 2006
	Kontroloval	<i>F. Wald</i>	Datum	Leden 2006

Momentová únosnost při teplotě $\theta_a = 614^\circ\text{C}$:

$$M_{fi,t,Rd} = \frac{1}{0,7 \cdot 1,0} \cdot \frac{0,436 \cdot 628,4 \cdot 10^3 \cdot 275}{1,0} = 107,6 \text{ kNm} > 48,9 \text{ kNm OK}$$

Smyková únosnost:

$$V_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta} \frac{A_{v,z} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M,fi}} = 0,436 \cdot \frac{2568 \cdot 275}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 177,8 \text{ kN} > 26,4 \text{ kN} = V_{fi,Sd} \text{ OK}$$

Průřez při požáru vyhovuje.

Quality Record

RESOURCE TITLE	Řešený příklad: Požární návrh nechráněného nosníku průřezu IPE vystaveného normové teplotní křivce		
Reference(s)	EN 1991-1-2:2003; EN 1993-1-1:2005; EN 1993-1-2:2005		
ORIGINAL DOCUMENT			
	Name	Company	Date
Created by	Z. Sokol	CTU in Prague	11/1/06
Technical content checked by	F. Wald	CTU in Prague	30/1/06
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		