
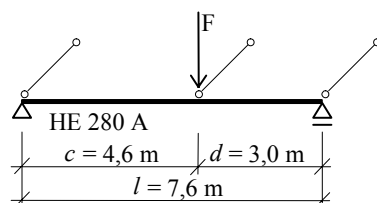


<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	SX048a-CZz-EU	Strana	1 z 9
	Název	Řešený příklad: Požární návrh chráněného nosníku průřezu HEA s klopením vystaveného normové teplotní křivce		
	Eurokód			
	Vypracoval	Z. Sokol	Datum	Leden 2006
	Kontroloval	F. Wald	Datum	Leden 2006

Řešený příklad: Požární návrh chráněného nosníku průřezu HEA s klopením vystaveného normové teplotní křivce

Příklad ukazuje návrh prostého nosníku s možností klopení. Přestup tepla do konstrukce je řešen přírůstkovou metodou podle vztahů v EN 1993-1-2. Únosnost nosníku je vypočtena podle modelu v EN 1993-1-2..

Nosník průřezu HEA je součástí stropní konstrukce administrativní budovy. Nosník je zatížen osamělým břemenem a je zajištěn proti ztrátě příčné a torzní stability v podporách a v působišti břemena. Požaduje se, aby nosník měl požární odolnost R30, protipožární ochranu tvoří vermikulit-cementový nástřík.



Obrázek 1: Schéma nosníku

Vstupní údaje

Materiálové vlastnosti

Třída oceli: S 235

Mez kluzu: $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$

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

Zatížení

Stálé zatížení:

$$G_k = 35 \text{ kN}$$

Nahodilé zatížení:

$$Q_k = 43 \text{ kN}$$


Součinitele spolehlivosti

$$\gamma_G = 1,35$$

$$\gamma_Q = 1,50$$

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

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

<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	SX048a-CZz-EU	Strana	2 z 9
	Název	Řešený příklad: Požární návrh chráněného nosníku průřezu HEA s klopením vystaveného normové teplotní křivce		
	Eurokód			
	Vypracoval	Z. Sokol	Datum	Leden 2006
	Kontroloval	F. Wald	Datum	Leden 2006

Vstupní údaje pro požární odolnost

Vlastnosti materiálu pro protipožární ochranu – cementovermikulitový nástřik

tloušťka $d_p = 10 \text{ mm}$

hustota $\rho_p = 550 \text{ kgm}^{-3}$

měrné teplo $c_p = 1100 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$

tepelná vodivost $\lambda_p = 0,12 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$

Zatížení při běžné teplotě

Charakteristická hodnota zatížení je

$$P_k = G_k + Q_k = 35 + 43 = 78,0 \text{ kN}$$

Návrhová hodnota zatížení je

$$F_{p,d} = G_k \gamma_G + Q_k \gamma_Q = 35 \cdot 1,35 + 43 \cdot 1,5 = 111,7 \text{ kN}$$

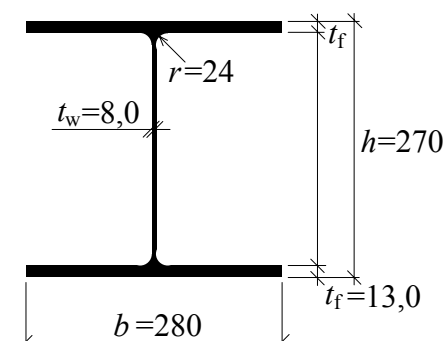
Ohybový moment a posouvající síla:

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed} \cdot c \cdot d}{l} = \frac{111,7 \cdot 4,6 \cdot 3,0}{7,6} = 202,8 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = F_{Ed} \cdot \frac{c}{l} = 111,7 \cdot \frac{4,6}{7,6} = 67,6 \text{ kN}$$

Posouzení při běžné teplotě

Byl navržen válcovaný průřez HE 280 A. Průřez je 1. třídy.




Obrázek 2: Navržený průřez

[SD005](#)

EN 1991-1-1

[EN 1993-1-1 §5.5](#)

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX048a-CZz-EU</i>	Strana	3 z 9
	Název	<i>Řešený příklad: Požární návrh chráněného nosníku průřezu HEA s klopením 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>

Nosník se posoudí v mezním stavu únosnosti. Nosník je proti klopení zajištěn pouze v podporách a v místě působícího břemena, viz obrázek 1. Vliv klopení je méně příznivý v levé části nosníku, kde je vzdálenost mezi body zajištěnými proti klopení $c = 4,6$ m.

Při výpočtu se předpokládá kloubové podepření pro pootočení ve vodorovné rovině ($k = 1$) a volná deplanace průřezu ($k_w = 1$). Předpokládá se, že zatížení působí ve středu smyku. Kritický moment je

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(kL)^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} \left(\frac{k}{k_w}\right)^2 + \frac{(kL)^2 G I_t}{\pi^2 E I_z}}$$

kde $L = c = 4,6$ m a $C_1 = 1,77$

$$M_{cr} = 1,77 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 210\,000 \cdot 4763 \cdot 10^4}{(1 \cdot 4\,600)^2} \times$$

$$\sqrt{\frac{0,7854 \cdot 10^{12}}{4763 \cdot 10^4} \left(\frac{1}{1}\right)^2 + \frac{(1 \cdot 4\,600)^2 \cdot 80\,700 \cdot 635,0 \cdot 10^3}{\pi^2 \cdot 210\,000 \cdot 4763 \cdot 10^4}}$$

$$= 1362,7 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost je:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1112 \cdot 10^3 \cdot 235}{1362,7 \cdot 10^6}} = 0,438$$

Redukční součinitel pro válcované I průřezy s poměrem $h/b < 2$ se určí z křivky a (součinitel imperfekce $\alpha_{LT} = 0,21$).

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left(1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right) =$$


$$= 0,5 \cdot \left(1 + 0,21 \cdot (0,438 - 0,2) + 0,438^2 \right) = 0,621$$


$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,621 + \sqrt{0,621^2 - 0,438^2}} = 0,931$$

[EN 1993-1-1 §6.3.2](#)

[SN003](#)

[EN 1993-1-1 §6.3.2.2](#)

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX048a-CZz-EU</i>	Strana	<i>4 z 9</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Požární návrh chráněného nosníku průřezu HEA s klopením 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>Momentová únosnost je:</p> $M_{pl,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}} =$ $= 0,931 \frac{1112 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,0} = 243,3 \text{ kNm} > 202,8 \text{ kNm} = M_{Sd} \quad \text{OK}$ <p style="text-align: right;">EN 1993-1-1 §6.3.2.1</p> <p>Smyková únosnost je:</p> $V_{pl,Rd} = \frac{A_{V,z} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{3174 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 430,6 \text{ kN} > 67,6 \text{ kN} = V_{Sd} \quad \text{OK}$ <p style="text-align: right;">EN 1993-1-1 §6.2.6</p> <p>Zkontroluje se průhyb v mezním stavu použitelnosti. Maximální průhyb stropní konstrukce je $l / 250$ (následující vztah platí pro $c > d$):</p> $\delta = \frac{P_k d (3l^2 - 4d^2)}{48 E I_y} = \frac{78,0 \cdot 3000 \cdot (3 \cdot 7600^2 - 4 \cdot 3000^2)}{48 \cdot 210000 \cdot 136,7 \cdot 10^6} =$ $= 23,3 \text{ mm} < 30,4 \text{ mm} = \frac{l}{250} \quad \text{OK}$ <p>(Maximální průhyby jsou předepsány v národních předpisech nebo v národní příloze. Ve výpočtu je použita doporučená hodnota.)</p> <p>Průřez za běžné teploty vyhovuje.</p> <p><u>Posouzení únosnosti při požáru</u></p> <p>Zatížení při požáru</p> <p>Zatížení při požáru se odvodí ze zatížení pro běžnou teplotu podle pravidel v EN 1991-2. EN 1991-1-2 §4.3.2</p> <p>Pro výpočet zatížení se použije mimořádná kombinace zatížení se součinitelem kombinace $\psi_{2,1} = 0,3$ pro administrativní budovy. Redukční součinitel zatížení je</p> $\eta_{fi} = \frac{g_k + \psi q_k}{g_k \gamma_G + q_k \gamma_Q} = \frac{35 + 0,3 \cdot 43}{35 \cdot 1,35 + 43 \cdot 1,5} = 0,429$ <p style="text-align: right;">EN 1993-1-2 §2.4.2</p>				

<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	SX048a-CZz-EU	Strana	5 z 9
	Název	Řešený příklad: Požární návrh chráněného nosníku průřezu HEA s klopením vystaveného normové teplotní křivce		
	Eurokód			
	Vypracoval	Z. Sokol	Datum	Leden 2006
	Kontroloval	F. Wald	Datum	Leden 2006

Ohybový moment a posouvající síla:

$$M_{fi,Ed} = \eta_{fi} M_{Ed} = 0,429 \cdot 202,8 = 87,0 \text{ kNm}$$

$$V_{fi,Ed} = \eta_{fi} V_{Ed} = 0,429 \cdot 67,6 = 29,0 \text{ kN}$$

Výpočet teploty plynů v požárním úseku

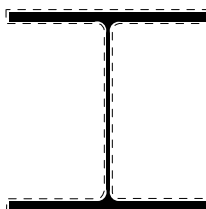
Pro výpočet teploty plynů v požárním úseku se použije normová teplotní křivka.

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

Určení teploty nosníku

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

$$\begin{aligned} \frac{A_p}{V} &= \frac{4b + 2(h - t_w - 4r) + 2\pi r}{A} = \\ &= \frac{4 \cdot 280 + 2 \cdot (270 - 8,0 - 4 \cdot 24) + 2 \cdot \pi \cdot 24}{9726} = 0,165 \text{ mm}^{-1} = 165 \text{ m}^{-1} \end{aligned}$$



Obrázek 3: Obvod průřezu vystavený účinkům požáru

Přírůstek teploty chráněného průřezu se určí ze vztahu:

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

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.

[EN 1991-1-2](#)
[§3.2.1](#)

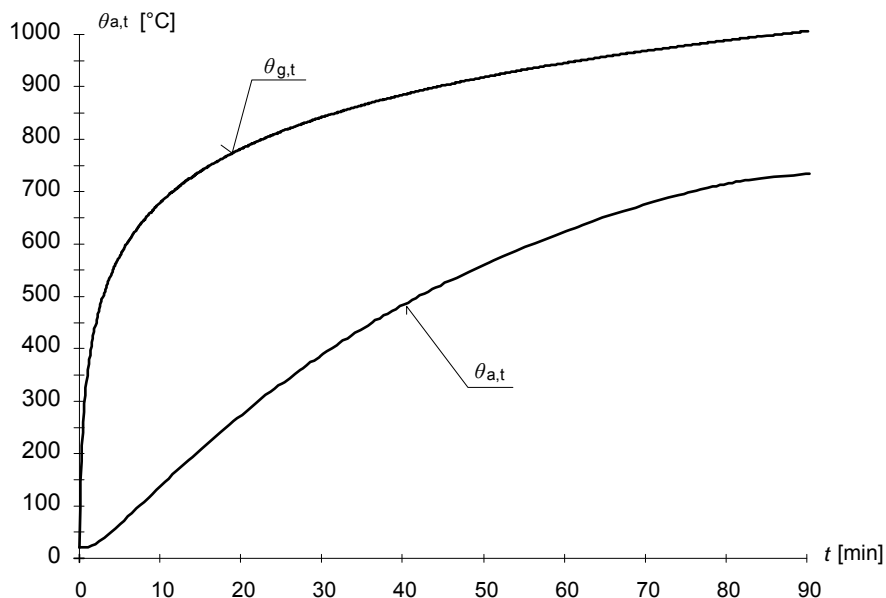
[EN 1993-1-2](#)
[§4.2.5.2](#)

Dokument:	<i>SX048a-CZz-EU</i>	Strana	6 z 9
Název	Řešený příklad: Požární návrh chráněného nosníku průřezu HEA s klopením vystaveného normové teplotní křivce		
Eurokód			
Vypracoval	<i>Z. Sokol</i>	Datum	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 min	θ_g °C	c_a Jkg ⁻¹ °C ⁻¹	φ	$\Delta\theta_{a,t}$ °C	$\theta_{a,t}$ °C
	0	0	20,0	440			20,0
	30	0,500	261,1	440	0,289	0,0	20,0
1	00	1,000	349,2	440	0,289	0,0	20,0
1	30	1,500	404,3	440	0,289	2,6	22,6
2	00	2,000	444,5	442	0,288	4,4	26,9
2	30	2,500	476,2	454	0,286	5,3	32,3
3	00	3,000	502,3	448	0,284	5,9	38,2
27	30	27,500	828,8	587	0,217	5,6	369,4
28	00	28,000	831,5	590	0,216	5,5	374,8
28	30	28,500	834,1	592	0,215	5,5	380,2
29	00	29,000	836,7	594	0,214	5,4	385,5
29	30	29,500	839,3	597	0,213	5,3	390,7
30	00	30,000	841,8	599	0,212	5,3	396,0
30	30	30,500	844,3	602	0,211	5,2	401,1



Obrázek 4: Časový průběh teploty plynu a teploty průřezu

Teplota průřezu v čase $t = 30$ minut je $\theta_a = 396^\circ\text{C}$.

<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX048a-CZz-EU</i>	Strana	7 z 9
	Název	<i>Řešený příklad: Požární návrh chráněného nosníku průřezu HEA s klopením 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>

Poznámka:

Teplota ocelového průřezu může být určena pomocí dokumentu SD005. Použije se součinitel průřezu $A_p/V = 165 \text{ m}^{-1}$, po zahrnutí vlastností materiálu pro protipožární ochranu

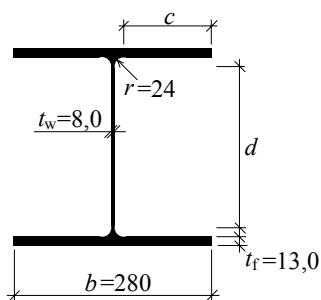
[SD005](#)

$$\frac{A_p}{V} \frac{\lambda_p}{d_p} = 165 \cdot \frac{0,1}{0,01} = 1650 \text{ WK}^{-1} \text{ m}^{-3}$$

Teplota průřezu v čase $t = 30$ minut je $\theta_a = 396^\circ\text{C}$.

Výpočet únosnosti

Klasifikace průřezu za zvýšené teploty



Obrázek 5: Rozměry průřezu

Štíhlost tlačené pásnice je

$$\frac{c}{t_f} = \frac{112}{13,0} = 8,6$$


Maximální hodnota pro 2. třídu průřezu je 10ε . Pro zatřídění při požáru se hodnota ε redukuje na 0,85 násobek hodnoty používané při běžné teplotě. Hodnota pro ocel S235 je:

$$0,85 \cdot 10 \varepsilon = 0,85 \cdot 10 \cdot 1,000 = 8,5$$

Hodnota pro 2. třídu je překročena. Limit pro 3. třídu

$$0,85 \cdot 14 \varepsilon = 0,85 \cdot 14 \cdot 1,000 = 11,9$$

není překročen, pásnice je 3. třídy.

<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX048a-CZz-EU</i>	Strana	8 z 9
	Název	<i>Řešený příklad: Požární návrh chráněného nosníku průřezu HEA s klopením 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>

Štíhlost stěny je

$$\frac{d}{t_w} = \frac{196,0}{8,0} = 24,5$$

a limit pro průřezy 1. třídy:

$$0,85 \cdot 72 \varepsilon = 0,85 \cdot 72 \cdot 1,000 = 61,2$$

není překročen, stěna je 1. třídy.

Průřez je při požáru zařazen do 3. třídy.

Redukční součinitele $k_{y,\theta}$ a $k_{E,\theta}$ pro teplotu průřezu $\theta_a = 396^\circ\text{C}$ jsou:

$$k_{y,\theta} = 1,000$$

$$k_{E,\theta} = 0,704$$

Štíhlost při klopení je

$$\bar{\lambda}_{LT,\theta} = \bar{\lambda}_{LT} \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}} = 0,438 \cdot \sqrt{\frac{1,000}{0,704}} = 0,522$$

Součinitel α

$$\alpha = 0,65 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 0,65$$

a redukční součinitel pro klopení

$$\phi_{LT,\theta} = 0,5 \left(1 + \alpha \bar{\lambda}_{LT,\theta} + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^2 \right) = 0,5 \cdot \left(1 + 0,65 \cdot 0,522 + 0,522^2 \right) = 0,806$$

$$\chi_{LT,\bar{f}_i} = \frac{1}{\phi_{LT,\theta} + \sqrt{\phi_{LT,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{LT,\theta}^2}} = \frac{1}{0,806 + \sqrt{0,806^2 - 0,522^2}} = 0,704$$

Momentová únosnost průřezu při teplotě $\theta_a = 396^\circ\text{C}$ je:

$$M_{\bar{f}_i,t,Rd} = \chi_{LT,\bar{f}_i} \frac{W_{el,y} k_{y,\theta} f_y}{\gamma_{M,\bar{f}_i}} = 0,704 \cdot \frac{1013 \cdot 10^3 \cdot 1,000 \cdot 235}{1,0}$$

$$= 167,6 \text{ kNm} > 87,0 \text{ kNm} = M_{\bar{f}_i,Ed} \text{ OK}$$

[EN 1993-1-2](#)

[§3.2.1](#)


[SD003](#)

[EN 1993-1-2](#)

[§4.2.3.3\(5\)](#)

[EN 1993-1-2](#)

[§4.2.3.4](#)

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX048a-CZz-EU</i>	Strana	9 z 9
	Název	<i>Řešený příklad: Požární návrh chráněného nosníku průřezu HEA s klopením 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>

Smyková únosnost:

$$V_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta} \frac{A_{V,z} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M,fi}} = 1,000 \cdot \frac{3174 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 430,6 \text{ kN} > 29,0 \text{ kN} = V_{fi,Sd} \text{ OK}$$

Průřez při požáru vyhovuje.

Porovnání s normovou požární odolností

Minimální tloušťka nástřiku pro požární odolnost R30 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 = 165 m⁻¹

Tloušťka nástřiku = 10 mm

(minimální tloušťka nástřiku udávaná výrobcem je 10 mm)

Porovnání metod

Metoda návrhu	Stupeň využití, μ_0	Plné využití
Teplotní křivka a jednoduchý model podle EN 1993-1-2	$\frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,0}} = \frac{87,0}{167,6} = 0,52$	$\frac{M_{fi,Ed}}{M_{fi,t,Rd}} = 0,52$
Návrh podle doporučení výrobce	0,6 (nominální)	1,0 (nominální)

Výrobce nedoporučuje tloušťku nástřiku menší než 10 mm pro zajištění jeho celistvosti při požáru. Řešený příklad ukazuje, že z hlediska únosnosti je tato tloušťka je více než dostatečná.

Quality Record

RESOURCE TITLE	Řešený příklad: Požární návrh chráněného nosníku průřezu HEA s klopením vystaveného normové teplotní křivce		
Reference(s)			
ORIGINAL DOCUMENT			
	Name	Company	Date
Created by	Z. Sokol	CTU in Prague	12/1/06
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		