

Řešený příklad - Nechráněný nosník zajištěný proti klopení

Navrhněte prostý nosník s rozpětím 6,0 m, viz obrázek, zatížený rovnoměrným spojitým zatížením. Stálé zatížení je $g_k = 3,8 \text{ kN/m}$, proměnné zatížení $q_k = 5,8 \text{ kN/m}$. Stabilitu tlačené pásnice nosníku zajišťuje ocelobetonová deska. Použijte ocel S 275. Předpokládejte nárůst teploty v požárním úseku podle nominální normové teplotní křivky. Požadovanou odolnost R 15 ověřte z hlediska únosnosti.

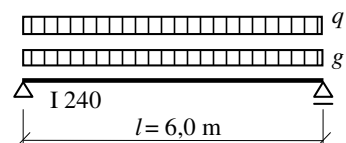
Návrh za pokojové teploty

Návrhová hodnota zatížení

$$v_d = g_k \gamma_G + q_k \gamma_Q = 3,8 \cdot 1,35 + 5,8 \cdot 1,5 = 13,83 \text{ kN/m}$$

Působící ohybový moment

$$M_{sd} = \frac{1}{8} v_d l^2 = \frac{1}{8} \cdot 13,83 \cdot 6,0^2 = 62,2 \text{ kNm}$$



Obr. 1 Zatížení nosníku

Navrhne se průřez I 240. Podle tabulek je možno průřez zařadit do třídy 1.

Posouzení za pokojové teploty

Momentová únosnost nosníku 1. třídy s horní pásnicí drženou proti ztrátě stability při ohybu se stanoví jako

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{412 \cdot 10^3 \cdot 275}{1,0} = 113,3 \text{ kNm} > 62,2 \text{ kNm} = M_{sd}$$

Průhyb nosníku je

$$\delta = \frac{5}{384} \frac{(g_k + q_k) l^4}{E I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{(3,8 + 5,8) \cdot 6000^4}{210000 \cdot 42,50 \cdot 10^6} = 18,2 \text{ mm} < 24 \text{ mm} = \frac{l}{250}$$

Nosník za pokojové teploty vyhovuje.

Posouzení za požáru

Nosník lze posoudit podle únosnosti, kdy se ohybová únosnost průřezu v čase odpovídajícím požadované požární odolnosti, to je $t = 15 \text{ min}$ porovná s ohybovým momentem působícím při požární návrhové situaci. Redukční součinitel zatížení η_{fi} je

$$\eta_{fi} = \frac{g_k + \psi_{2,1} q_k}{g_k \gamma_G + q_k \gamma_Q} = \frac{3,8 + 0,3 \cdot 5,8}{3,8 \cdot 1,35 + 5,8 \cdot 1,5} = 0,40$$

a ohybový moment při požární návrhové situaci je

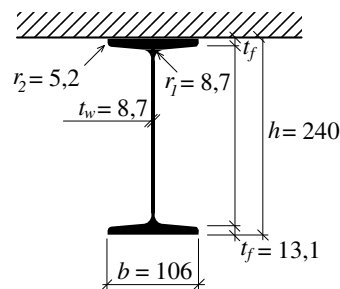
$$M_{fi,Sd} = \eta_{fi} M_{sd} = 0,40 \cdot 62,2 = 24,9 \text{ kNm}.$$

Teplotu plynů v požárním úseku popisuje nominální normová teplotní křivka

$$\theta_g = 20 + 345 \log(8t + 1).$$

Vypočte se součinitel průřezu pro povrch obdélníka opsaného průřezu I 240 a vystaveného požáru ze tří stran

$$\left(\frac{A_m}{V}\right)_b = \frac{b + 2h}{A} = \frac{106 + 2 \cdot 240}{4610} = 0,127 \text{ mm}^{-1} = 127 \text{ m}^{-1}$$



Obr. 2 Průřez nosníku

Výpočet teploty nosníku se provede přírůstkovou metodou. Po dosazení součinitele stínění k_{sh} získáme následující vztah

$$\Delta\theta_{a,t} = 0,9 k_{sh} \frac{\left(\frac{A_m}{V}\right)_b}{c_a \rho_a} h_{net,d} \Delta t = 0,9 \frac{\left(\frac{A_m}{V}\right)_b}{\frac{A_m}{V}} \frac{A_m}{c_a \rho_a} h_{net,d} \Delta t = 0,9 \frac{\left(\frac{A_m}{V}\right)_b}{c_a \rho_a} h_{net,d} \Delta t$$

Hustota oceli je $\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$, měrné teplo oceli c_a se uvažuje v závislosti na teplotě oceli

$$20^\circ\text{C} \leq \theta_a < 600^\circ\text{C} \quad c_a = 425 + 0,773 \cdot \theta_a - 0,00169 \cdot \theta_a^2 + 2,22 \cdot 10^{-6} \cdot \theta_a^3 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$$

$$600^\circ\text{C} \leq \theta_a < 735^\circ\text{C} \quad c_a = 666 + \frac{13002}{738 - \theta_a} \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$$

$$735^\circ\text{C} \leq \theta_a < 900^\circ\text{C} \quad c_a = 545 + \frac{17820}{\theta_a - 731} \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$$

$$900^\circ\text{C} \leq \theta_a < 1200^\circ\text{C} \quad c_a = 650 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$$

Pro vyjádření účinku tepelného toku prouděním

$$h_{net,c} = \alpha_c (\theta_g - \theta_m)$$

se použije součinitel přestupu tepla $\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{C}$, kde θ_g je teplota plynů v požárním úseku a θ_m je povrchová teplota prvku.

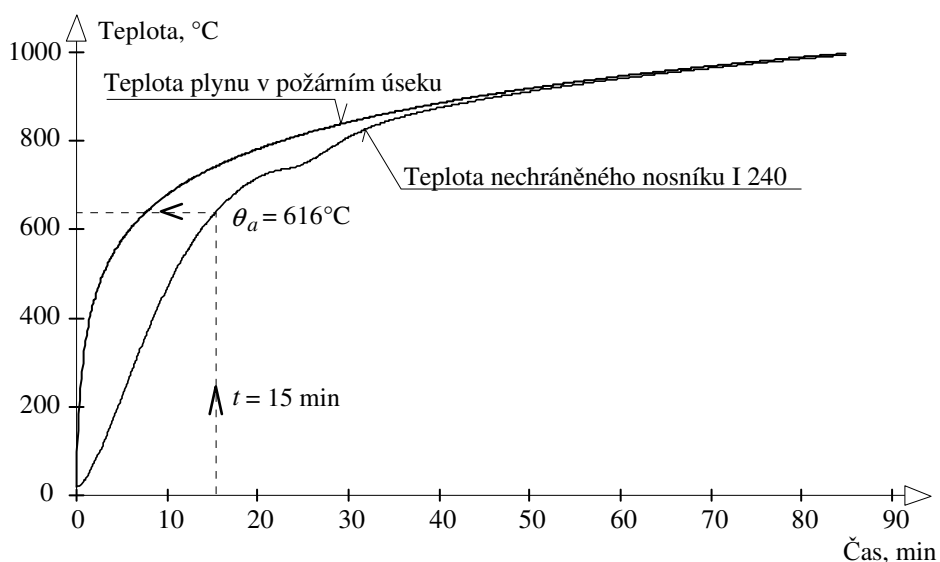
Sálavý tepelný tok se určí podle

$$h_{net,r} = \Phi \varepsilon_m \varepsilon_f \sigma ((\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4),$$

kde polohový faktor $\Phi = 1$ vyjadřuje účinky zastínění, povrchová emisivita ocelových prvků je $\varepsilon_m = 0,7$; emisivita požáru je $\varepsilon_f = 1,0$; účinná teplota sálání požáru θ_r se uvažuje shodná s teplotou plynů v požárním úseku θ_g a Stephan-Boltzmannova konstanta $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2}\text{K}^{-4}$. Rozvoj teploty v konstrukci se vypočte přírůstkovou metodou tabulkovým procesorem, viz tabulka.

Tab. 1 Výpočet teploty konstrukce

Čas min:s	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 ⁻¹ °C ⁻¹	$\Delta_{a,t}$ °C	$\theta_{a,t}$ °C
0:00	0	20,0	0	0	0	440	0,0	20,0
0:05	0,0833	96,5	448	1913	2361	440	0,0	20,0
0:10	0,1667	147,0	940	3163	4103	440	0,4	20,4
0:15	0,2500	184,6	1443	4085	5529	440	0,8	21,2
0:20	0,3333	214,7	1943	4812	6755	441	1,0	22,2
14:40	14,667	735,2	17130	3187	20317	764	2,2	607,7
14:45	14,750	736,1	17033	3155	20188	766	2,1	609,9
14:50	14,833	736,9	16937	3122	20059	767	2,1	612,0
14:55	14,917	737,7	16840	3090	19930	769	2,1	614,1
15:00	15,000	738,6	16743	3059	19802	771	2,1	616,2
15:05	15,083	739,4	16647	3028	19674	773	2,1	618,3
15:10	15,167	740,2	16550	2997	19547	775	2,1	620,3



Obr. 3 Rozvoj teploty v nechráněném ocelovém průřezu

Teplota nosníku v čase $t = 15$ min je $\theta_{a,t} = 616^\circ\text{C}$.

Pro klasifikaci průřezu za zvýšené teploty se použije součinitel

$$\varepsilon = 0,85 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,85 \cdot \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,79.$$

Zatřídí se stojina

$$\frac{d}{t_w} = \frac{192,5}{8,7} = 22,1 < 72 \varepsilon = 56,9 \quad 1. \text{ třída}$$

a pásnice

$$\frac{c}{t_f} = \frac{40,0}{13,1} = 3,1 < 9 \varepsilon = 7,1 \quad 1. \text{ třída.}$$

Průřez je i při požáru možno zařadit do 1. třídy.

Lineární interpolací se stanoví redukční součinitel účinné meze kluzu $k_{y,\theta} = 0,431$ a momentová únosnost se vypočte jako

$$M_{f_i,\theta,Rd} = W_{pl,Rd} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,f_i}} = 412 \cdot 10^3 \cdot 0,431 \cdot \frac{275}{1,0} = 39,8 \text{ kNm}$$

Tato únosnost se zvýší vlivem nerovnoměrného rozdělení teploty (zakrytí nosníku ocelobetonovou deskou) vyjádřeným korekčními součiniteli $\kappa_1 = 0,7$ a $\kappa_2 = 1,0$.

Výsledná momentová únosnost je

$$M_{f_i,t,Rd} = \frac{M_{f_i,\theta,Rd}}{\kappa_1 \kappa_2} = \frac{39,8}{0,7 \cdot 1,0} = 48,8 \text{ kNm} > 24,9 \text{ kNm} = M_{f_i,Sd}$$

Navržený nosník na R 15 vyhoví.

QUALITY RECORD

Název	Nechráněný nosník zajištěný proti klopení (řešený příklad)
Popis	Řešený příklad návrhu nechráněného ocelového nosníku zajištěného proti klopení, kde pro rozvoj teploty v požárním úseku byla zvolena nominální normová teplotní křivka.
Kategorie	Ocelové konstrukce
Název souboru	3-3_Příklad_Nechraneny_nosnik.pdf
Datum vytvoření	20. 11. 2006
Autor	Ing. Zdeněk Sokol, Ph.D. Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, Fakulta stavební, ČVUT v Praze
Klíčová slova	Nosník; Chráněný průřez; Nechráněný průřez; Klopení; Ohybová únosnost; Součinitel průřezu; Stínění; Redukční součinitel meze kluzu; Redukční součinitel modulu pružnosti; Kritická teplota.
Eurokódy	EN 1991-1-2: Zatížení konstrukcí, Obecná zatížení, Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru, ČSNI, Praha 2004. 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.