

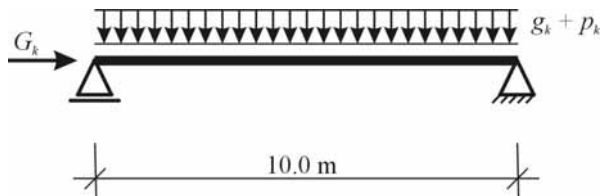
Část 5.4 Tlačený a ohýbaný nosník

P. Schaumann, T. Trautmann
University of Hannover

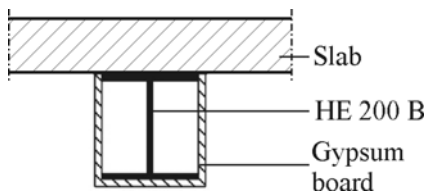
J. Žižka
České vysoké učení technické v Praze

1 ZADÁNÍ

V příkladě je posouzen prostě podepřený nosník zatížený spojitým zatížením a osovou silou. Zatížení vyvolává ohybový moment a tlakovou sílu. Nosník je součástí stropu administrativní budovy a proti požáru je chráněn sádkartonovým obkladem. Požáru je díky stropní betonové desce vystaven ze tří stran. Nosník není s betonovou deskou spřažen. Požadovaná požární odolnost je R 90. Nosník není zajištěn proti ztrátě stability.



Obrázek 1. Statické schéma



Obrázek 2. Průřez nosníku

kde Slab
Gypsum board

je betonová deska,
sádkartonový obklad

Vlastnosti materiálů:

Nosník:

Profil:	HE 200 B
Ocel:	S 235
Třída průřezu:	1
Mez kluzu:	$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$
Modul pružnosti:	$E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$
Modul pružnosti ve smyku:	$G = 81\,000 \text{ N/mm}^2$
Plocha průřezu:	$A_a = 7810 \text{ mm}^2$
Moment setrvačnosti:	$I_z = 2000 \text{ cm}^4$

Moment setrvačnosti v prostém kroucení: $I_t = 59,3 \text{ cm}^4$
 Výšečový moment setrvačnosti: $I_w = 171\,100 \text{ cm}^6$
 Průřezový modul: $W_{el,y} = 570 \text{ cm}^2$
 $W_{pl,y} = 642,5 \text{ cm}^3$

Obklad:

Materiál: sádrokarton
 Tloušťka: $d_p = 20 \text{ mm}$
 Tepelná vodivost: $\lambda_p = 0,2 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
 Měrné teplo: $c_p = 1700 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$
 Hustota: $\rho_p = 945 \text{ kg/m}^3$

Zatížení:

Stálá zatížení: $G_k = 96,3 \text{ kN}$
 $g_k = 1,5 \text{ kN/m}$
 Nahodilé zatížení: $p_k = 1,5 \text{ kN/m}$

2 POŽÁRNÍ ODOLNOST NOSNÍKU V TLAKU ZA OHYBU

2.1 Mechanické zatížení během požáru

EN 1991-1-2

Zatížení během požáru se určí jako zatížení v mimořádné kombinaci zatížení:

$$E_{dA} = E \left(\sum G_k + A_d + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right)$$

čl. 4.3

Součinitel kombinace kvazistálé hodnoty proměnného zatížení je dán hodnotou $\psi_{2,1} = 0,3$.

Spočítají se návrhové hodnoty namáhání nosníku při požáru:

$$N_{fi,d} = 96,3 \text{ kN}$$

$$M_{fi,d} = [1,5 + 0,3 \cdot 1,5] \cdot \frac{10,0^2}{8} = 24,38 \text{ kNm}$$

2.2 Výpočet teploty ocelového nosníku

EN 1993-1-2

Teplota oceli se spočte dle ECCS č. 89. K výpočtu potřebujeme znát součinitel průřezu A_p/V . Ten se pro konstrukci vystavenou požáru ze třech stran učí podle:

$$\frac{A_p}{V} = \frac{2 \cdot h + b}{A_a} = \frac{2 \cdot 20,0 + 20,0}{78,1} \cdot 10^2 = 77 \text{ m}^{-1}$$

čl. 4.2.5.2

Pro hodnotu

$$\frac{A_p}{V} \cdot \frac{\lambda_p}{d_p} = 77 \cdot \frac{0,2}{0,02} = 770 \frac{\text{W}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}},$$

ECCS č. 89

se odečte kritická teplota:

$$\Rightarrow \theta_{a,max,90} \approx 540 \text{ }^\circ\text{C}$$

2.3 Ověření požární odolnosti podle teploty

EN 1993-1-2

Dle čl. 4.2.4 (2) normy EN 1993-1-2 se ověření požární odolnosti podle teploty z důvodu stabilitních jevů nelze provést.

čl. 4.2.4

2.4 Ověření požární odolnosti podle únosnosti

Průřezy 1. třídy se posoudí na kombinaci tlaku s ohybem s možností ztráty stability v tlaku a s klopením.

2.4.1 Tlak s ohybem bez klopení

Ověření pro ztrátu stability v tlaku se provede podle:

$$\frac{N_{fi,d}}{\chi_{min,fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}} + \frac{k_y \cdot M_{y,fi,d}}{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}} \leq 1$$

čl. 4.2.3.5

Redukční součinitel $\chi_{min,fi}$ je minimální hodnota ze součinitelů vzpěru $\chi_{y,fi}$ a $\chi_{z,fi}$. Pro určení jejich hodnot se musí určit poměrná štíhlost pro teplotu θ_a .

K určení poměrné štíhlosti za požáru se určí nejdříve poměrná štíhlost při pokojové teplotě:

EN 1993-1-1

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr}}{i_y \cdot \lambda_a} = \frac{1000}{8,54 \cdot 93,9} = 1,25$$

čl. 6.3.1.3

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr}}{i_z \cdot \lambda_a} = \frac{1000}{5,07 \cdot 93,9} = 2,10$$

Dle tabulky 3.1 v EN 1993-1-2 se určí redukční součinitele vlivem teploty $k_{y,\theta}$ a $k_{E,\theta}$:

EN 1993-1-2

$$\Rightarrow k_{y,\theta} = 0,656$$

čl. 3.2.1

$$k_{E,\theta} = 0,484$$

S jejich pomocí se vypočte poměrná štíhlost za požáru:

$$\bar{\lambda}_{y,\theta} = \bar{\lambda}_y \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}} = 1,25 \sqrt{\frac{0,656}{0,484}} = 1,46$$

čl. 4.2.3.2

$$\bar{\lambda}_{z,\theta} = \bar{\lambda}_z \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}} = 2,1 \sqrt{\frac{0,656}{0,484}} = 2,44$$

S pomocí

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

a

$$\varphi_{y,\theta} = \frac{1}{2} \cdot (1 + \alpha \cdot \bar{\lambda}_{y,\theta} + \bar{\lambda}_{y,\theta}^2) = \frac{1}{2} \cdot (1 + 0,65 \cdot 1,46 + 1,46^2) = 2,04,$$

$$\varphi_{z,\theta} = \frac{1}{2} \cdot (1 + \alpha \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta} + \bar{\lambda}_{z,\theta}^2) = \frac{1}{2} \cdot (1 + 0,65 \cdot 2,44 + 2,44^2) = 4,27$$

se vypočítají součinitele vzpěru $\chi_{y,fi}$ a $\chi_{z,fi}$:

$$\chi_{y,fi} = \frac{1}{\varphi_{y,\theta} + \sqrt{\varphi_{y,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{y,\theta}^2}} = \frac{1}{2,04 + \sqrt{2,04^2 - 1,46^2}} = 0,29$$

$$\chi_{z,fi} = \frac{1}{\varphi_{z,\theta} + \sqrt{\varphi_{z,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{z,\theta}^2}} = \frac{1}{4,27 + \sqrt{4,27^2 - 2,44^2}} = 0,13$$

Ověření:

$$\frac{96,3}{0,13 \cdot 78,1 \cdot 0,656 \cdot 23,5} + \frac{1,50 \cdot 2438}{642,5 \cdot 0,656 \cdot 23,5} = 0,98 < 1 \quad \checkmark$$

čl. 4.2.3.5

kde:

$$\begin{aligned} \mu_y &= (1,2 \cdot \beta_{M,y} - 3) \cdot \bar{\lambda}_{y,\theta} + 0,44 \cdot \beta_{M,y} - 0,29 \\ &= (1,2 \cdot 1,3 - 3) \cdot 1,46 + 0,44 \cdot 1,3 - 0,29 \\ &= -1,82 \end{aligned}$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{fi,d}}{\chi_{y,fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{m,fi}} = 1 - \frac{-1,82 \cdot 96,3}{0,29 \cdot 78,1 \cdot 0,656 \cdot 23,5 / 1,0} = 1,50$$

2.4.2 Tlak s ohybem a klopením

Posouzení se provede podle rovnice:

$$\frac{N_{fi,d}}{\chi_{z,fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,fi,d}}{\chi_{LT,fi} \cdot W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}} \leq 1$$

K určení poměrné štíhlosti při klopení za požáru se použije poměrná štíhlost za pokojové teploty:

EN 1993-1-1

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{642,5 \cdot 23,5}{14203,5}} = 1,03$$

čl. 6.3.2.2

kde:

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \zeta \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l^2} \cdot \left(\sqrt{c^2 + 0,25 \cdot z_p^2} + 0,5 \cdot z_p \right) \\ &= 1,12 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 2000}{(1,0 \cdot 1000)^2} \cdot \left(\sqrt{1241,9 + 0,25 \cdot \left(\frac{20}{2} \right)^2} - 0,5 \cdot \frac{20}{2} \right) \\ &= 14203,5 \text{ kNcm} \end{aligned}$$

DIN 18800-2

$$a: \quad c^2 = \frac{I_\omega + 0,039 \cdot l^2 \cdot I_T}{I_z} = \frac{171100 + 0,039 \cdot 1000^2 \cdot 59,3}{2000} = 1241,9$$

Vypočítá se poměrná štíhlost při požáru:

EN 1993-1-2

$$\bar{\lambda}_{LT,\theta} = \bar{\lambda}_{LT} \cdot \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}} = 1,03 \cdot \sqrt{\frac{0,656}{0,484}} = 1,20$$

čl. 4.2.3.3

S pomocí

$$\phi_{LT,\theta} = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \alpha \cdot \bar{\lambda}_{LT,\theta} + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^2 \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + 0,65 \cdot 1,20 + 1,20^2 \right) = 1,61,$$

se určí vzpěrnostní součinitel $\chi_{LT,fi}$ podle:

$$\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\phi_{LT,\theta} + \sqrt{\phi_{LT,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{LT,\theta}^2}} = \frac{1}{1,61 + \sqrt{1,61^2 - 1,20^2}} = 0,37$$

Ověření:

$$\frac{96,3}{0,13 \cdot 78,1 \cdot 0,656 \cdot 23,5/1,0} + \frac{0,80 \cdot 2438}{0,37 \cdot 642,5 \cdot 0,656 \cdot 23,5/1,0}$$

$$= 0,62 + 0,53 = 1,15 \leq 1$$

kde:

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \cdot N_{fi,d}}{\chi_{z,fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} = 1 - \frac{0,33 \cdot 96,3}{0,13 \cdot 78,1 \cdot 0,656 \cdot \frac{23,5}{1,0}} = 0,80$$

$$\begin{aligned} \mu_{LT} &= 0,15 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta} \cdot \beta_{M,LT} - 0,15 < 0,9 \\ &= 0,15 \cdot 2,44 \cdot 1,3 - 0,15 \\ &= 0,33 < 0,9 \end{aligned}$$

čl. 4.2.3.5

LITERATURA

- DIN 18800, *Stahlbauten, Teil 2 Stabilitätsfälle, Knicken bei Stäben*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, Germany, November 1990
- ECCS No.89, *Euro-Nomogram*, Brussels: ECCS – Technical Committee 3 – Fire Safety of Steel Structures, 1995
- EN 1991, *Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire*, Brussels: CEN, November 2002
- EN 1993, *Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1: General rules*, Brussels: CEN, May 2005
- EN 1993, *Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design*, Brussels: CEN, October 2006
- Literatur for MCr (for example: Steel Construction Manual)