

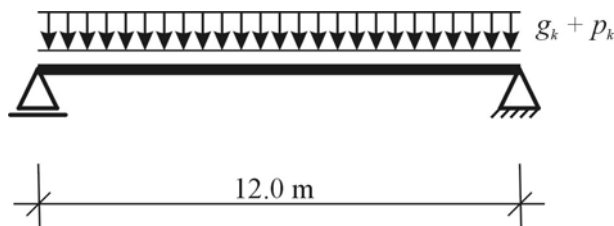
Část 5.7 Částečně obetonovaný spřažený ocelobetonový nosník

P. Schaumann, T. Trautmann
University of Hannover

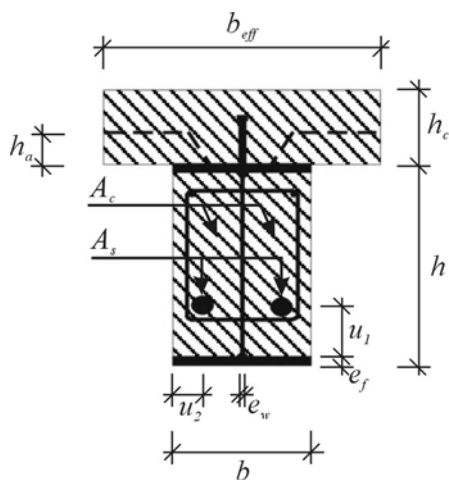
J. Žižka
České vysoké učení technické v Praze

1 ZADÁNÍ

Řešený příklad ukazuje posouzení spřaženého nosníku skladiště. Jedná se o prostě podepřený nosník o rozpětí 12 m zatížený spojitým zatížením. Ocelový nosník je částečně obetonovaný a stropní deska je plechobetonová deska se samosvorným plechem. Požadovaná požární odolnost je R 90.



Obrázek 1. Statické schéma



Obrázek 2. Průřez

Vlastnosti materiálu:

Nosník:

Profil:	IPE 500
Ocel:	S 355
Výška:	$h = 500$ mm
Šířka:	$b = 200$ mm
Tloušťka stojiny:	$e_w = 10,2$ mm
Tloušťka pásnice:	$e_f = 16$ mm
Plocha průřezu:	$A_a = 11\,600$ mm ²
Mez kluzu:	$f_{y,a} = 355$ N/mm ²

Deska:

Beton:	C 25/30
Tloušťka:	$h_c = 160$ mm
Efektivní šířka:	$b_{eff} = 3000$ mm
Pevnost v tlaku:	$f_c = 25$ N/mm ²

Ocelový plech:

Typ:	samosvorný
Výška:	$h_a = 51$ mm

Výztuž obetonovaného nosníku:

Ocel:	S 500
Průměr:	2 Ø 30
Průřezová plocha:	$A_s = 1410$ mm ²
Osová vzdálenost:	$u_l = 110$ mm
	$u_{s,l} = 60$ mm
Mez kluzu:	$f_{y,s} = 500$ N/mm ²

Beton mezi pásnicemi:

Beton:	C 25/30
Šířka:	$b_c = 200$ mm
Pevnost v tlaku:	$f_c = 25$ N/mm ²

Zatížení:

Stálé:

Vlastní tíha:	$g_{s,k} = 15,0$ kN/m
Skladba podlah, příčky:	$g_{f,k} = 6,0$ kN/m

Nahodilé:

Užitné:	$p_k = 30,0$ kN/m
---------	-------------------

2 POŽÁRNÍ ODOLNOST ČÁSTEČNĚ OBETONOVANÉHO SPŘAŽENÉHO NOSNÍKU

2.1 Zatížení během požáru

Zatížení se určí jako kombinace při mimořádné situaci:

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

Součinitel kombinace rozhodujícího nahodilého zatížení ve skladu je $\psi_{2,1} = 0,8$.

Návrhový ohybový moment během požáru:

$$M_{f,d} = \left((15,0 + 6,0) + 0,8 \cdot (30,0) \right) \cdot \frac{12,0^2}{8} = 810,0 \text{ kNm}$$

Ověření pomocí zjednodušených výpočtů

Spřažený nosník je posouzen jednouchým výpočtem dle EN 1994-1-2,

EN 1991-1-2

kap. 4.3

EN 1994-1-2

čl. 4.3.4.3

kapitola 4.3.4.3 a příloha F.

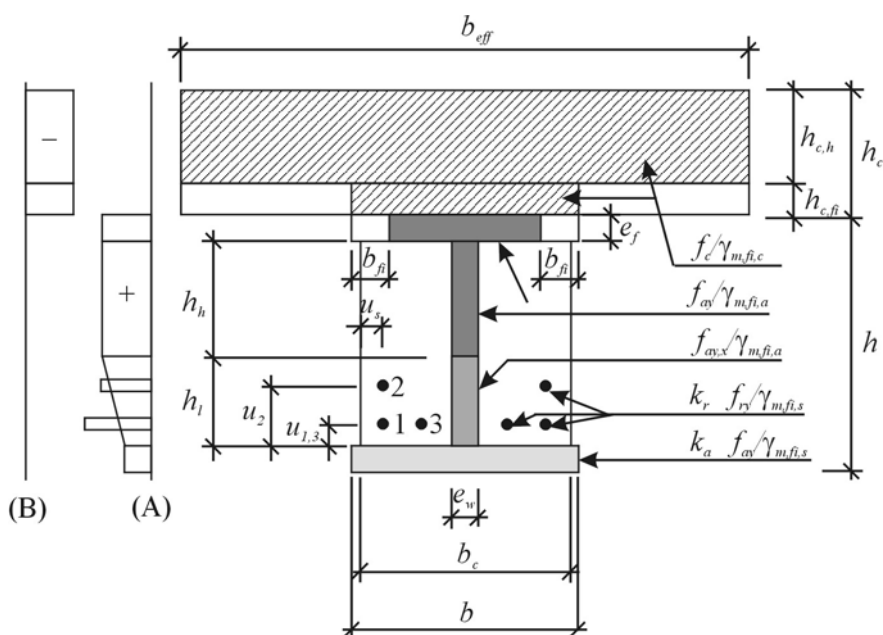
Tento model může být použit v případě, kdy deska má minimální tloušťku h_c , ocelový nosník má výšku minimálně h a šířku minimálně b_c (kde b_c je minimum z šířky ocelového nosníku a obetonování) a minimální plochu $h \cdot b_c$ (viz tabulka 1).

Tabulka 1. Minimální rozměry pro jednoduché výpočty spřažených částečně obetonovaných nosníků (viz EN 1994-1-2, Kapitola 4.3.4.3, Tabulka 4.8)

Požární odolnost	Minimální tloušťka desky h_c [mm]
R 30	60
R 60	80
R 90	100
R 120	120
R 180	150

$$h_c = 160 \text{ mm} > \min h_c = 100 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Výpočetní model dle Přílohy F rozděluje průřez na části. V některých částech je redukována mez kluzu, v ostatních se redukuje plocha průřezu.



Obrázek 3. Redukovaná plocha průřezu pro výpočet únosnosti v ohybu a rozdělení napětí v oceli (A) a betonu (B)

Vliv ohřívání betonu je uvažován zmenšením průřezové plochy. Redukce výšky $h_{c,fi}$ je dána v tabulce 2 v závislosti na požadované požární odolnosti. U spřažených desek se samosvorným plechem se uvažuje redukce výšky $h_{c,fi,min}$, která odpovídá výšce ocelového plechu (viz EN 1994-1-2, pPříloha F, obrázek F.2).

$$h_{c,fi} = 30 \text{ mm}$$

$$h_{c,fi,min} = 51 \text{ mm}$$

Účinná výška betonu během požáru $h_{c,h}$:

př. F.1

$$h_{c,h} = 160 - 51 = 109 \text{ mm}$$

Tabulka 2. Redukce výšky betonové desky $h_{c,fi}$
(viz EN 1994-1-2, Příloha F, Tabulka F.1)

Požární odolnost	Výšková redukce $h_{c,fi}$ [mm]
R 30	10
R 60	20
R 90	30
R 120	40
R 180	55



Obrázek 4. Minimální výšková redukce $h_{c,fi,min}$ pro samosvorné plechy

Vliv ohřívání horní pásnice je zohledněn redukcí průřezové plochy. Výpočet redukce šířky pásnice b_{fi} je dán v tabulce 3.

$$b_{fi} = (16,0/2) + 30 + (200 - 200)/2 = 38,0 \text{ mm}$$

Efektivní šířka pásnice:

$$b_{fi,u} = 200 - 2 \cdot 38 = 124,0 \text{ mm}$$

Tabulka 3. Redukce šířky b_{fi} horní pásnice (viz EN 1994-1-2, příloha F, tabulka F.2)

Požární odolnost	Redukce šířky b_{fi} [mm]
R 30	$(e_f/2) + (b - b_c)/2$
R 60	$(e_f/2) + 10 + (b - b_c)/2$
R 90	$(e_f/2) + 30 + (b - b_c)/2$
R 120	$(e_f/2) + 40 + (b - b_c)/2$
R 180	$(e_f/2) + 60 + (b - b_c)/2$

Stojina ocelového nosníku je rozdělena na dvě části. Horní části stojiny se uvažuje s neredukovanou mezí kluzu, zatímco ve spodní části je uvažován lineární průběh z meze kluzu horní části k redukované mezi kluzu spodní pásnice. Výška spodní části stojiny h_l :

$$h_l = \frac{a_1}{b_c} + \frac{a_2 \cdot e_w}{b_c \cdot h} > h_{l,min}$$

Parametry a_1 , a_2 a minimální výška $h_{l,min}$, jsou uvedeny v tabulce 4 pro případ $h/b_c > 2$.

$$h/b_c = 500 \text{ mm} / 200 \text{ mm} = 2,5$$

$$h_l = \frac{14,000}{200} + \frac{75\,000 \cdot 10,2}{200 \cdot 500} = 77,7 \text{ mm} > 40 \text{ mm}$$

Tabulka 4. Parametry a_1 , a_2 a minimální výška $h_{l,min}$ pro případ $h/b_c > 2$ (viz EN 1994-1-2, příloha F, tabulka F.3)

Požární odolnost	a_1 [mm ²]	a_2 [mm ²]	$h_{l,min}$ [mm]
R 30	3 600	0	20
R 60	9 500	0	30
R 90	14 000	75 000	40
R 120	23 000	110 000	45
R 180	35 000	250 000	55

U spodní pásnice je redukována místo průřezové plochy mez kluzu součinitelem k_a . Tento součinitel je dán v tabulce 5 spolu s horní a dolní hranicí, které vymezují jeho hodnoty.

$$a_0 = 0,018 \cdot e_f + 0,7 = 0,018 \cdot 16,0 + 0,7 = 0,988$$

$$k_a = \left(0,12 - \frac{17}{200} + \frac{500}{38 \cdot 200} \right) \cdot 0,988 = 0,100 \begin{cases} > 0,06 \\ < 0,12 \end{cases}$$

Tabulka 5. Redukční součinitel k_a meze kluzu pro spodní pásnici (viz EN 1994-1-2, příloha F, tabulka F.4)

Požární odolnost	Redukční součinitel k_a	$k_{a,min}$	$k_{a,max}$
R 30	$\left(1,12 - \frac{84}{b_c} + \frac{h}{22 \cdot b_c} \right) \cdot a_0$	0,5	0,8
R 60	$\left(0,21 - \frac{26}{b_c} + \frac{h}{24 \cdot b_c} \right) \cdot a_0$	0,12	0,4
R 90	$\left(0,12 - \frac{17}{b_c} + \frac{h}{38 \cdot b_c} \right) \cdot a_0$	0,06	0,12
R 120	$\left(0,1 - \frac{15}{b_c} + \frac{h}{40 \cdot b_c} \right) \cdot a_0$	0,05	0,1
R 180	$\left(0,03 - \frac{3}{b_c} + \frac{h}{50 \cdot b_c} \right) \cdot a_0$	0,03	0,06

Ohřívání výztužných prutů v obetonovaném nosníku se uvažuje redukcí meze kluzu. Velikost redukčního součinitele závisí na požární odolnosti a na umístění výztužných prutů. Podobně jako redukční součinitel k_a má redukční součinitel k_r horní i spodní hranici.

$$A_m = 2 \cdot h + b_c = 2 \cdot 500 + 200 = 1200 \text{ mm}$$

$$V = h \cdot b_c = 500 \cdot 200 = 100\,000 \text{ mm}^2$$

$$u = \frac{1}{(1/u_i) + (1/u_{si}) + 1/(b_c - e_w - u_{si})}$$

$$= \frac{1}{(1/110) + (1/60) + 1/(200 - 10,2 - 60)}$$

$$= 29,88 \text{ mm}$$

$$k_r = \frac{(u \cdot a_3 + a_4) \cdot a_5}{\sqrt{A_m/V}} = \frac{(29,88 \cdot 0,026 - 0,154) \cdot 0,09}{\sqrt{1200/100\,000}} = 0,51 \begin{cases} > 0,1 \\ < 1,0 \end{cases}$$

Tabulka 6. Parametry pro výpočet k_r (viz EN 1994-1-2, příloha F, tabulka F.5)

Požární odolnost	a_3	a_4	a_5	$k_{r,min}$	$k_{r,max}$
R 30	0,062	0,16	0,126	0,1	1,0
R 60	0,034	-0,04	0,101	0,1	1,0
R 90	0,026	-0,154	0,090	0,1	1,0
R 120	0,026	-0,284	0,082	0,1	1,0
R 180	0,024	-0,562	0,076	0,1	1,0

Velikosti osových sil v jednotlivých částech průřezu:

Beton:

$$C_c = b_{eff} \cdot h_{c,h} \cdot \alpha_c \cdot f_c = 300,0 \cdot 10,9 \cdot 0,85 \cdot 2,5 = 6948,8 \text{ kN}$$

Horní pásnice:

$$T_{f,u} = b_{fi,u} \cdot e_f \cdot f_y = 12,4 \cdot 1,60 \cdot 35,5 = 704,3 \text{ kN}$$

Horní část stojiny:

$$T_{w,u} = e_w \cdot h_h \cdot f_y = 1,02 \cdot 39,03 \cdot 35,5 = 1413,3 \text{ kN}$$

kde:

$$h_h = h - 2 \cdot e_f - h_l = 50,0 - 2 \cdot 1,6 - 7,77 = 39,03 \text{ cm}$$

Spodní část stojiny:

$$T_{w,l} = e_w \cdot h_l \cdot \left(\frac{1+k_a}{2} \right) \cdot f_y = 1,02 \cdot 7,77 \cdot \left(\frac{1+0,1}{2} \right) \cdot 35,5 = 154,7 \text{ kN}$$

$$z_{w,l} = h_l \cdot \frac{2 \cdot k_a + 1}{3 \cdot (k_a + 1)} = 7,77 \cdot \frac{2 \cdot 0,1 + 1}{3 \cdot (0,1 + 1)} = 2,8 \text{ cm}$$

Spodní pásnice:

$$T_{f,l} = b \cdot e_f \cdot k_a \cdot f_{y,a} = 20,0 \cdot 1,6 \cdot 0,1 \cdot 35,5 = 113,6 \text{ kN}$$

Výztužné pruty:

$$T_r = A_s \cdot k_r \cdot f_{y,s} = 14,1 \cdot 0,51 \cdot 50,0 = 359,6 \text{ kN}$$

Velikost tlakové síly C_c je větší než součet tahových sil T_i , proto plastická neutrální osa leží v betonové desce. Její poloha se určí podle:

$$z_{pl} = \frac{\sum T_i}{\alpha_c \cdot f_c \cdot b_{eff}} = \frac{704,3 + 1413,3 + 154,7 + 113,6 + 359,6}{0,85 \cdot 2,5 \cdot 300} = 4,31 \text{ cm}$$

Ramena působí sil v jednotlivých částech průřezu:
Betonová deska v tlaku (vztaženo k horní hraně desky):

$$z_c = z_{pl} / 2 = 4,31 / 2 = 2,16 \text{ cm}$$

Horní pásnice (vztaženo k těžišti betonové desky):

$$z_{f,u} = h_c + e_f / 2 - z_c = 16,0 + 1,6 / 2 - 2,16 = 14,64 \text{ cm}$$

Horní část stojiny:

$$z_{w,u} = h_c + e_f + h_h / 2 - z_c = 16,0 + 1,6 + 39,03 / 2 - 2,16 = 34,96 \text{ cm}$$

Spodní část stojiny:

$$z_{w,l} = h_c + e_f + h_h + z_{w,l} - z_c = 16 + 1,6 + 39,03 + 2,8 - 2,16 = 57,27 \text{ cm}$$

Spodní pásnice:

$$z_{f,l} = h_c + h - e_f / 2 - z_c = 16,0 + 50,0 - 1,6 / 2 - 2,16 = 63,04 \text{ cm}$$

Výztužné pruty:

$$z_r = h_c + h - e_f - u_1 - z_c = 16,0 + 50,0 - 1,6 - 11,0 - 2,16 = 51,24 \text{ cm}$$

Plastická únosnost v ohybu:

$$\begin{aligned} M_{f,Rd} &= T_{f,u} \cdot z_{f,u} + T_{w,u} \cdot z_{w,u} + T_{w,l} \cdot z_{w,l} + T_{f,l} \cdot z_{f,l} + T_r \cdot z_r \\ &= 704,3 \cdot 14,64 + 1413,3 \cdot 34,96 + 154,7 \cdot 57,27 + 113,6 \cdot 63,04 \\ &\quad + 359,6 \cdot 51,24 \\ &= 10\,311 + 49\,409 + 8\,860 + 7\,161 + 18\,426 \\ &= 94\,167 \text{ kNcm} = 942,7 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Posudek:

$$\frac{810,0}{942,7} = 0,86 < 1 \quad \checkmark$$

LITERATURA

- EN 1991, *Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire*, Brussels: CEN, November 2002
EN 1994, *Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures – Part 1-2: General Rules – Structural Fire Design*, Brussels: CEN, November 2006