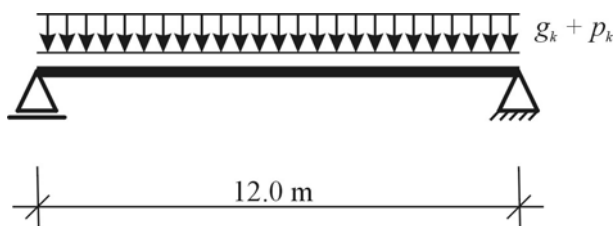


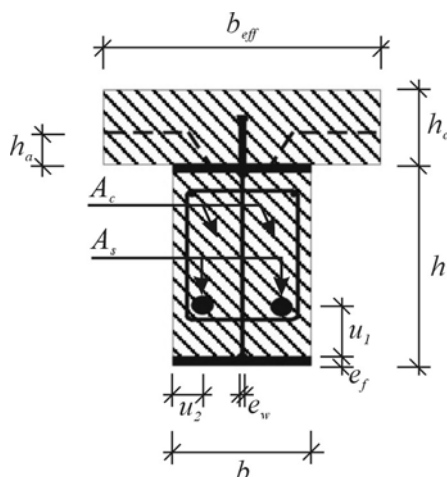
Dokument:	<i>SX038a-CZ-EU</i>	Strana	<i>1 z 8</i>
Název	<i>Řešený příklad: Požární odolnost částečně obetonovaného spřaženého nosníku</i>		
Eurokód			
Vypracovali	<i>P Schaumann & T Trautmann</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>
Kontroloval	<i>J Chica, Labein</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>

Řešený příklad: Požární odolnost částečně obetonovaného spřaženého nosníku


Řešený příklad ukazuje výpočet momentové únosnosti obetonovaného spřaženého nosníku, který podpírá železobetonovou stropní desku skladiště. Nosník je zatížen rovnoměrným spojitým zatížením, požaduje se požární odolnost R90.



Obrázek 1: Schéma nosníku



Obrázek 2: Průřez nosníku

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX038a-CZ-EU</i>	Strana	2 z 8
	Název	Řešený příklad: Požární odolnost částečně obetonovaného spráženého nosníku		
	Eurokód			
	Vypracovali	P Schaumann & T Trautmann	Datum	Leden 2006
	Kontroloval	J Chica, Labein	Datum	Leden 2006

Vstupní údaje

Materiálové vlastnosti:

Ocel:	S 355
Mez kluzu:	$f_{y,a} = 355 \text{ N/mm}^2$
Nosník:	
Průřez:	válcovaný průřez IPE 500
Výška průřezu:	$h = 500 \text{ mm}$
Šířka průřezu:	$b = 200 \text{ mm}$
Tloušťka stěny:	$e_w = 10,2 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice:	$e_f = 16 \text{ mm}$
Plocha průřezu:	$A_a = 11600 \text{ mm}^2$

Stropní deska:


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

Trapézový plech:

Typ:	samosvorný
Výška:	$h_a = 51 \text{ mm}$

Výztuž obetonovaného ocelového průřezu:

Ocel:	B 500
Mez kluzu:	$f_{y,s} = 500 \text{ N/mm}^2$
Průměr:	2 Ø 32
Plocha:	$A_s = 1410 \text{ mm}^2$
Osová vzdálenost:	$u_1 = 110 \text{ mm}$
	$u_{s1} = 60 \text{ mm}$

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX038a-CZ-EU</i>	Strana	3 z 8
	Název	Řešený příklad: Požární odolnost částečně obetonovaného spřaženého nosníku		
	Eurokód			
	Vypracovali	<i>P Schaumann & T Trautmann</i>	Datum	Leden 2006
	Kontroloval	<i>J Chica, Labein</i>	Datum	Leden 2006

Beton mezi pásnicemi nosníku:

Třída betonu: C 25/30

Pevnost v tlaku: $f_c = 25 \text{ N/mm}^2$

Šířka: $b_c = 200 \text{ mm}$

Zatížení:

Stálé zatížení:

Vlastní tíha: $g_{s,k} = 15,0 \text{ kN/m}$

Podlaha: $g_{f,k} = 6,0 \text{ kN/m}$

Nahodilé zatížení:

Užitné zatížení $p_k = 30,0 \text{ kN/m}$

Požární odolnost obetonovaného spřaženého nosníku

Zatížení při požáru

Pro výpočet zatížení při požáru se použije mimořádná kombinace zatížení:

$$E_{dA} = E \left(\sum G_k + A_d + \sum \psi_{2,1} Q_{k,i} \right)$$

Součinitel kombinace pro nahodilé zatížení skladišť je $\psi_{2,1} = 0.8$.

Návrhová hodnota ohybového momentu při požáru je:

$$M_{fi,d} = ((15,0 + 6,0) + 0,8 \times (30,0)) \times \frac{12,0^2}{8} = 810,0 \text{ kN}$$


Výpočet únosnosti podle jednoduchého modelu

Pro výpočet únosnosti spřaženého nosníku je použit jednoduchý postup podle EN 1994-1-2 §4.3.4.3 a přílohy F.

Platnost modelu je omezena minimální tloušťkou železobetonové desky h_c .

Dále jsou požadovány minimální rozměry nosníku: výška h , šířka b_c (kde b_c je minimální šířka ocelového průřezu nebo obetonovaného nosníku) a minimální průřezová plocha $h \cdot b_c$.

Minimální rozměry jsou uvedeny v tabulkách 4.8 a F.8 a jsou shrnuty v tabulce 1.

<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX038a-CZ-EU</i>	Strana	<i>4 z 8</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Požární odolnost částečně obetonovaného spřaženého nosníku</i>		
	Eurokód			
	Vypracovali	<i>P Schaumann & T Trautmann</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>
	Kontroloval	<i>J Chica, Labein</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>

Tabulka 1: Minimální rozměry obetonovaného ocelového průřezu pro použití jednoduchého modelu obetonovaného spřaženého nosníku (EN 1994-1-2, tabulka 4.8 a F.8)

Požární odolnost	Tloušťka desky h_c [mm]	Výška h a šířka b_c [mm]	Plocha průřezu $h \times b_c$ [mm ²]
R 30	60	120	17500
R 60	80	150	24000
R 90	100	170	35000
R 120	120	200	50000
R 180	150	250	80000

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

$$h = 500 \text{ mm} > 170 \text{ mm} \quad \checkmark$$

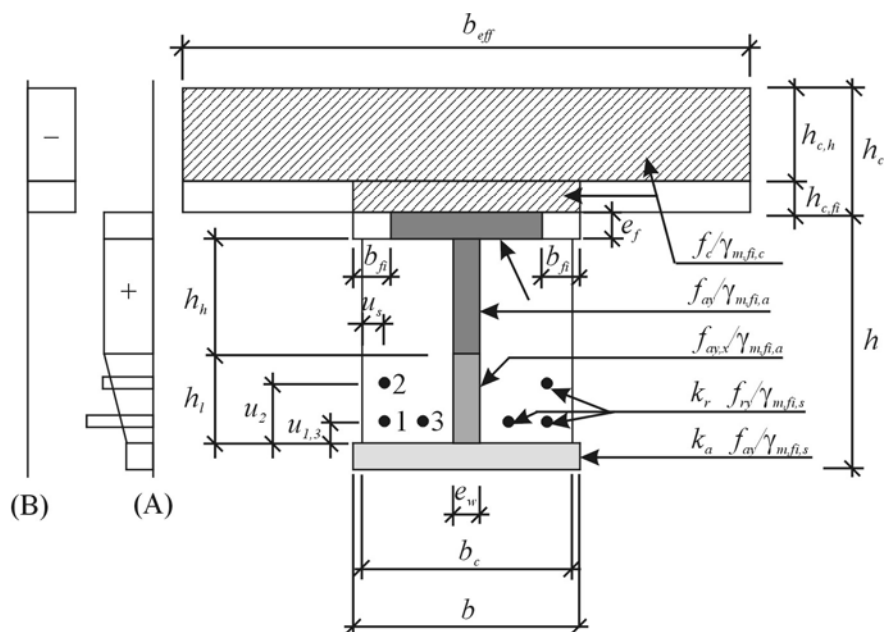
$$b = b_c = 200 \text{ mm} > 170 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$h \times b_c = 100000 \text{ mm}^2 > 35000 \text{ mm}^2 \quad \checkmark$$

Návrhový model pro určení únosnosti obetonovaného ocelového průřezu při vystavení požáru podle normové teplotní křivky je uveden v příloze F normy EN1994-1-2. Při výpočtu je průřez nosníku rozdělen na dílčí části, pro které je určen vliv požáru. Pro ocelové části je vliv vysoké teploty zpravidla zohledněn redukčními součiniteli účinné meze kluzu, pro betonové části redukcí efektivní plochy.

Předpokládá se, že smyková únosnost spřahujících trnů přivařených na horní pásnici nosníku není požárem ovlivněna (viz EN1994-1-2 §4.3.4.3.1(5)).

Dokument:	<i>SX038a-CZ-EU</i>	Strana	5 z 8
Název	Řešený příklad: Požární odolnost částečně obetonovaného spráženého nosníku		
Eurokód			
Vypracovali	<i>P Schaumann & T Trautmann</i>	Datum	Leden 2006
Kontroloval	<i>J Chica, Labein</i>	Datum	Leden 2006



Obrázek 3: Redukovaná průřezová plocha a průběh napětí v ocelové části průřezu (A) a v betonu (B) pro výpočet plastické momentové únosnosti

Zvýšená teplota betonové desky je zohledněna zmenšením její průřezové plochy. Redukce tloušťky desky $h_{c,fi}$ podle doby vystavení požáru je uvedena v tabulce 2. Pro plechobetonové desky se samosvornými trapézovými plechy se používá redukce $h_{c,fi,min}$ rovná výšce trapézového plechu.

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

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


V tomto případě je redukovaná tloušťka desky $h_{c,h}$:

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

Tabulka 2: Redukce tloušťky desky $h_{c,fi}$

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

[EN 1994-1-2 příloha F tabulka F.1](#)

<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	SX038a-CZ-EU	Strana	6 z 8
	Název	Řešený příklad: Požární odolnost částečně obetonovaného spráženého nosníku		
	Eurokód			
	Vypracovali	P Schaumann & T Trautmann	Datum	Leden 2006
	Kontroloval	J Chica, Labein	Datum	Leden 2006



Redukce tloušťky desky $h_{c,fi,min}$ pro samosvorné trapézové plechy

Vliv teploty horní pásnice nosníku se zohlední zmenšením její plochy. Výpočet redukce šířky horní pásnice b_{fi} je v tabulce 3.

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

Efektivní šířka horní pásnice je:

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

Tabulka 3: Redukce šířky pásnice b_{fi}

Požární odolnost	Redukce šířky pásnice 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	$(e_f/2) + 60 + (b - b_c)/2$


[EN1994-1-2](#)
[příloha F](#)
[tabulka F.2](#)

Stěna ocelového průřezu je rozdělena do dvou částí. Horní část není teplotou ovlivněna a ocel má nezměněnou mez kluzu, mez kluzu ve spodní části se zmenšuje (napětí má lineární průběh). Výška spodní části h_1 je:

$$h_1 = \frac{a_1}{b_c} + \frac{a_2 e_w}{b_c h} > h_{1,min}$$

Hodnoty a_1 a a_2 a minimální výška $h_{1,min}$ jsou uvedeny v tabulce 4. Hodnoty v tabulce platí pro poměr $h/b_c > 2$.

$$h_1 = \frac{14000}{200} + \frac{75000 \times 10,2}{200 \times 500} = 77,7 \text{ mm} > 40 \text{ mm}$$

<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	SX038a-CZ-EU	Strana	7 z 8
	Název	Řešený příklad: Požární odolnost částečně obetonovaného spráženého nosníku		
	Eurokód			
	Vypracovali	P Schaumann & T Trautmann	Datum	Leden 2006
	Kontroloval	J Chica, Labein	Datum	Leden 2006

Tabulka 4: Hodnoty a_1 , a_2 a $h_{l,min}$ platné pro poměr $h/b_c > 2$ (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	3600	0	20
R 60	9500	0	30
R 90	14000	75000	40
R 120	23000	110000	45
R 180	35000	250000	55


Zmenšení únosnosti spodní pásnice se neprovádí zmenšením její plochy, ale zavedením redukované meze kluzu. Výpočet redukčního součinitele k_a a jeho minimální a maximální hodnota jsou v tabulce 5.

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

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

Tabulka 5: Redukční součinitel k_a pro mez kluzu spodní pásnice (EN 1994-1-2, příloha F, tabulka F.4)

Požární odolnost	Redukční součinitel k_a	$k_{a,min}$	$k_{a,max}$
R 30	$\left(1,12 - \frac{84}{b_c} + \frac{h}{22b_c} \right) a_0$	0,5	0,8
R 60	$\left(0,21 - \frac{26}{b_c} + \frac{h}{24b_c} \right) a_0$	0,12	0,4
R 90	$\left(0,12 - \frac{17}{b_c} + \frac{h}{38b_c} \right) a_0$	0,06	0,12
R 120	$\left(0,1 - \frac{15}{b_c} + \frac{h}{40b_c} \right) a_0$	0,05	0,10
R 180	$\left(0,03 - \frac{3}{b_c} + \frac{h}{50b_c} \right) a_0$	0,03	0,06

<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	SX038a-CZ-EU	Strana	8 z 8
	Název	Řešený příklad: Požární odolnost částečně obetonovaného spráženého nosníku		
	Eurokód			
	Vypracovali	P Schaumann & T Trautmann	Datum	Leden 2006
	Kontroloval	J Chica, Labein	Datum	Leden 2006

Vliv teploty na betonářskou výztuž se zavádí redukcí její meze kluzu. Redukční součinitel k_r závisí na době vystavení požáru a na poloze výztuže. Podobně jako redukční součinitel pro pásnici má i redukční součinitel výztuže horní a spodní limit.

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

$$V = hb_c = 500 \times 200 = 100000 \text{ mm}^2$$

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

$$= \frac{1}{(1/110) + (1/60) + 1/(200 - 10,2 - 60)} = 29,88 \text{ mm}$$

$$k_r = \frac{(ua_3 + a_4)a_5}{\sqrt{A_m/V}} = \frac{(29,88 \times 0,026 - 0,154) \times 0,09}{\sqrt{1200/100000}} = 0,51 \begin{cases} > 0,1 \\ < 1,0 \end{cases}$$

Tabulka 6: Hodnoty pro výpočet redukčního součinitele k_r

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

[EN 1994-1-2 příloha F tabulka F.5](#)

Pro výpočet plastického momentu únosnosti se určí osové síly v jednotlivých částech průřezu.

Beton:

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

Horní pásnice:


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

Horní část stěny:

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

kde:

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

<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX038a-CZ-EU</i>	Strana	9 z 8
	Název	<i>Řešený příklad: Požární odolnost částečně obetonovaného spráženého nosníku</i>		
	Eurokód			
	Vypracovali	<i>P Schaumann & T Trautmann</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>
	Kontroloval	<i>J Chica, Labein</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>

Spodní část stěny:

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

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

Spodní pásnice:

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

Výztuž:

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

Protože tlaková síla v betonu C_c je větší než součet zbývajících tahových sil T_i , leží neutrální osa v betonové desce. Výška tlačené části betonové desky je:

$$z_{pl} = \frac{\sum T_i}{\alpha_c f_c b_{eff}} = \frac{704,3 + 1413,3 + 154,7 + 113,6 + 359,6}{0,85 \times 25 \times 3000 \times 10^{-3}} = 43,1 \text{ mm}$$

Ramena sil pro určení plastické momentové únosnosti:

Betonová deska (vzhledem k hornímu povrchu desky):

$$z_c = \frac{z_{pl}}{2} = \frac{43,1}{2} = 21,6 \text{ mm}$$

Horní pásnice (vzhledem k těžišti betonové desky):


$$z_{f,u} = h_c + \frac{e_f}{2} - z_c = 160 + \frac{16}{2} - 21,6 = 146,4 \text{ mm}$$

Horní část stěny:

$$z_{w,u} = h_c + e_f + \frac{h_h}{2} - z_c = 160 + 16 + \frac{390,3}{2} - 21,6 = 346,9 \text{ mm}$$

Spodní část stěny:

$$\begin{aligned} z_{w,1} &= h_c + e_f + h_h + z_{w,1} - z_c \\ &= 160,0 + 16,0 + 390,3 + 28,0 - 21,6 = 572,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX038a-CZ-EU</i>	Strana	10 z 8
	Název	<i>Řešený příklad: Požární odolnost částečně obetonovaného spráženého nosníku</i>		
	Eurokód			
	Vypracovali	<i>P Schaumann & T Trautmann</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>
	Kontroloval	<i>J Chica, Labein</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>

Spodní pásnice:

$$z_{f,1} = h_c + h - \frac{e_f}{2} - z_c = 160,0 + 500,0 - \frac{16,0}{2} - 21,6 = 630,4 \text{ mm}$$

Výztuž:

$$z_r = h_c + h - e_f - u_1 - z_c = 160,0 + 500,0 - 16,0 - 110,0 - 21,6 = 512,4 \text{ mm}$$

Plastický moment únosnosti:

$$M_{fi,Rd} = T_{f,u} z_{f,u} + T_{w,u} z_{w,u} + T_{w,1} z_{w,1} + T_{f,1} z_{f,1} + T_r z_r =$$

$$704,3 \times 0,146 + 1413,3 \times 0,347 + 154,7 \times 0,573 +$$

$$113,6 \times 0,630 + 359,6 \times 0,512 = 942,7 \text{ kNm}$$

Posouzení:

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

✓

Quality Record

RESOURCE TITLE	Řešený příklad: Požární odolnost částečně obetonovaného spřaženého nosníku		
Reference(s)			
ORIGINAL DOCUMENT			
	Name	Company	Date
Created by	P Schaumann T Trautmann	University of Hannover – Institute for Steel Construction	Feb 2005
Technical content edited by	J. A. Chica	LABEIN	24/11/2005
Editorial content edited by	J. A. Chica	LABEIN	24/11/2005
Technical content endorsed by the following STEEL Partners:			
UK	G W Owens	SCI	9/6/06
France	A Bureau	CTICM	9/6/06
Sweden	B Uppfeldt	SBI	9/6/06
Germany	C Müller	RWTH	9/6/06
Spain	J Chica	Labein	9/6/06
Luxembourg	M Haller	PARE	9/6/06
Resource approved by Technical Coordinator	G W Owens	SCI	12/9/06
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		