

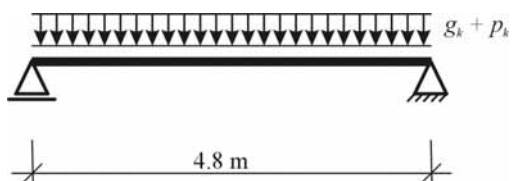
Část 5.3 Spřažená ocelobetonová deska

P. Schaumann, T. Trautmann
University of Hannover

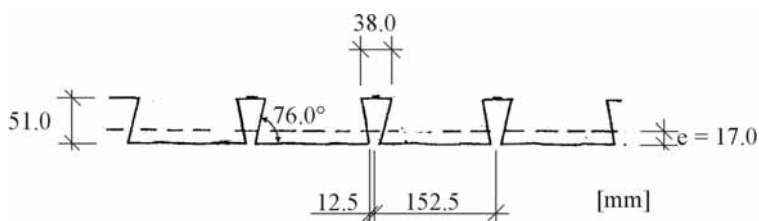
J. Žižka
České vysoké učení technické v Praze

1 ZADÁNÍ

Navrhněte průřez trapézového plechu spřažené ocelobetonové desky, která je namáhána účinky požáru. Deska působí jako prostý nosník v obchodním centru o rozpětí 4,8 m. Požadovaná požární odolnost je R 90.



Obrázek 1 Statické schéma desky



Obrázek 2 Samosvorný plech

Vlastnosti materiálu

Samosvorný plech:

Mez kluzu:	$f_{yp} = 350 \text{ N/mm}^2$
Plocha průřezu:	$A_p = 1562 \text{ mm}^2/\text{m}$
Parametr metody m+k:	$k = 0.150 \text{ N/mm}^2$

Beton:

Třída:	C 25/30
Pevnost s tlaku:	$f_c = 25 \text{ N/mm}^2$
Výška:	$h_t = 140 \text{ mm}$
Plocha průřezu:	$A_c = 131,600 \text{ mm}^2/\text{m}$

Zatížení:

Stálá zatížení:

Samosvorný plech	$g_{p,k} = 0.13 \text{ kN/m}^2$
------------------	---------------------------------

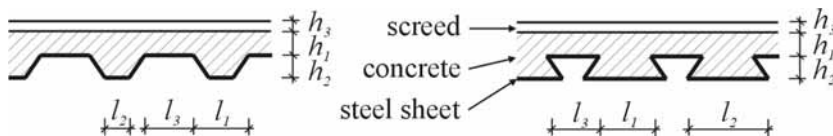
Beton:	$g_{c,k} = 3.29 \text{ kN/m}^2$
Podlaha:	$g_{f,k} = 1.2 \text{ kN/m}^2$
Nahodilá zatížení:	
Užitné zatížení:	$p_k = 5.0 \text{ kN/m}^2$

Návrhový moment v poli
při běžné teplotě: $M_{s,d} = 39.56 \text{ kNm}$

2 ÚNOSNOST SPŘAŽENÉ DESKY PŘI POŽÁRU

Spřažená deska se navrhne podle Kapitoly 4.3 a Přílohy D.

2.1 Geometrické parametry a jejich rozsah platnosti



Obrázek 3. Geometrie průřezu

kde screed je nivelační vrstva
concrete je betonová deska
steel sheet je samosvorný plech.

$h_1 = 89 \text{ mm}$ $h_2 = 51 \text{ mm}$
 $l_1 = 115 \text{ mm}$ $l_2 = 140 \text{ mm}$ $l_3 = 38 \text{ mm}$

Tabulka 1. Rozsah platnosti pro stropy z betonu a samosvorných plechů

Rozsah platnosti pro samosvorný plech [mm]	Navržené rozměry [mm]
$77.0 \leq l_1 \leq 135.0$	$l_1 = 115.0$
$110 \leq l_2 \leq 150.0$	$l_2 = 140.0$
$38.5 \leq l_3 \leq 97.5$	$l_3 = 38.0$
$50.0 \leq h_1 \leq 130.0$	$h_1 = 89.0$
$30.0 \leq h_2 \leq 70.0$	$h_2 = 51.0$

2.2 Mechanické zatížení během požáru

Zatížení se určí jako kombinace pro mimořádné zatížení.

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

Podle EN 1994-1-2 se může zatížení E_d při požáru určit pomocí redukčního součinitele η_{fi} :

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{2,1} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}} = \frac{(0,13 + 3,29 + 1,2) + 0,6 \cdot 5,0}{1,35 \cdot (0,13 + 3,29 + 1,2) + 1,5 \cdot 5,0} = 0,55$$

Pomocí součinitele η_{fi} se určí velikost ohybového momentu při požáru $M_{fi,d}$:

$$M_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot M_{sd} = 0,55 \cdot 39,56 = 21,76 \text{ kNm/m}$$

2.3 Tepelně izolační kritérium

Mezní stav limitních teplot na neohřívaném povrchu konstrukce "I" povoluje průměrnou teplotu na horním povrchu desky $140 \text{ }^\circ\text{C}$ a maximální teplotu $180 \text{ }^\circ\text{C}$.

EN 1991-1-2

čl. 4.3

EN 1994-1-2

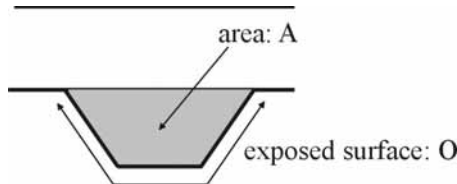
čl. 2.4.2

čl. D.1

Čas ve kterém je tento požadavek "I" splněn se vypočítá podle:

$$t_i = a_0 + a_1 \cdot h_1 + a_2 \cdot \Phi + a_3 \cdot \frac{A}{L_r} + a_4 \cdot \frac{1}{l_3} + a_5 \cdot \frac{A}{L_r} \cdot \frac{1}{l_3}$$

Koeficient geometrie žebra A/L_r je ekvivalentem k součiniteli průřezu A_p/V nosníku. Součinitel zohledňuje pozitivní přínos hmotnosti a výšky na zahřívání stropní desky.



Obrázek 4. Koeficient geometrie žebra
kde area A je plocha žebra A
O plocha vystavená účinkům požáru O

$$\frac{A}{L_r} = \frac{h_2 \cdot \left(\frac{l_1 + l_2}{2}\right)}{l_2 + 2 \cdot \sqrt{h_2^2 + \left(\frac{l_1 - l_2}{2}\right)^2}} = \frac{51 \cdot \left(\frac{115 + 140}{2}\right)}{140 + 2 \cdot \sqrt{51^2 + \left(\frac{115 - 140}{2}\right)^2}} = 26,5 \text{ mm}$$

Polohový faktor Φ uvažuje účinek stínění horní pásnice žebrem.

$$\begin{aligned} \Phi &= \left[\sqrt{h_2^2 + \left(l_3 + \frac{l_1 - l_2}{2}\right)^2} - \sqrt{h_2^2 + \left(\frac{l_1 - l_2}{2}\right)^2} \right] / l_3 \\ &= \left[\sqrt{51^2 + \left(38 + \frac{115 - 140}{2}\right)^2} - \sqrt{51^2 + \left(\frac{115 - 140}{2}\right)^2} \right] / 38 \\ &= 0,119 \end{aligned}$$

Součinitele a_i pro normální beton jsou uvedeny v tabulce 2:

Tabulka 2. Součinitele pro určení požární odolnosti – kritérium izolace
(viz EN 1994-1-2, Příloha D, Tabulka D.1)

	a_0 [min]	a_1 [min/mm]	a_2 [min]	a_3 [min/mm]	a_4 mm·mi n	a_5 [min]
Normální beton	-28.8	1.55	-12.6	0.33	-735	48.0
Lehký beton	-79.2	2.18	-2.44	0.56	-542	52.3

Za použití těchto hodnot se parametr t_i vypočte jako:

$$\begin{aligned} t_i &= (-28,8) + 1,55 \cdot 89 + (-12,6) \cdot 0,119 \\ &\quad + 0,33 \cdot 27 + (-735) \cdot 1/38 + 48 \cdot 27 \cdot 1/38 \\ &= 131,48 \text{ min} > 90 \text{ min} \quad \checkmark \end{aligned}$$

2.4 Ověření únosnosti

Plastický návrhový moment se vypočítá jako:

čl. 4.3.2

$$M_{fi,t,Rd} = \sum A_i \cdot z_i \cdot k_{y,\theta,i} \cdot \left(\frac{f_{y,i}}{\gamma_{M,fi}} \right) + \alpha_{slab} \cdot \sum A_j \cdot z_j \cdot k_{c,\theta,j} \cdot \left(\frac{f_{c,j}}{\gamma_{M,fi,c}} \right)$$

K určení redukčních faktorů $k_{y,\theta}$ pro horní i spodní pásnici a stojinu se musí určit průběhy teploty. Ty se určí dle:

$$\theta_a = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{l_3} + b_2 \cdot \frac{A}{L_r} + b_3 \cdot \Phi + b_4 \cdot \Phi^2$$

Hodnoty součinitelů b_i jsou uvedeny v tabulce 3:

Tabulka 3. Součinitele pro určení teploty částí trapézových plechů (viz EN 1994-1-2, Příloha D, Tabulka D.2)

Beton	Požární odolnost [min]	Část tr. plechu	b_0 [°C]	b_1 [°C·mm]	b_2 [°C/mm]	b_3 [°C]	b_4 [°C]
normální	60	Spodní pásnice	951	-1197	-2,32	86,4	-150,7
		Stojina	661	-833	-2,96	537,7	-351,9
		Horní pásnice	340	-3269	-2,62	1148,4	-679,8
	90	Spodní pásnice	1018	-839	-1,55	65,1	-108,1
		Stojina	816	-959	-2,21	464,9	-340,2
		Horní pásnice	618	-2786	-1,79	767,9	-472,0
	120	Spodní pásnice	1063	-679	-1,13	46,7	-82,8
		Stojina	925	-949	-1,82	344,2	-267,4
		Horní pásnice	770	-2460	-1,67	592,6	-379,0

Jednotlivé části samosvorného plechu mají tyto teploty:

Spodní pásnice:

$$\begin{aligned} \theta_{a,l} &= 1018 - 839 \cdot \frac{1}{38} - 1,55 \cdot 27 + 65,1 \cdot 0,119 - 108,1 \cdot 0,119^2 \\ &= 960,29 \text{ °C} \end{aligned}$$

Stojina:

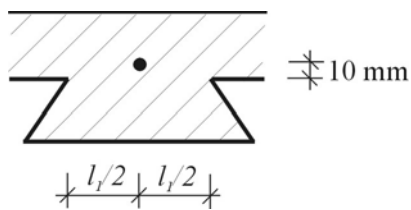
$$\begin{aligned} \theta_{a,w} &= 816 - 959 \cdot \frac{1}{38} - 2,21 \cdot 27 + 464,9 \cdot 0,119 - 340,2 \cdot 0,119^2 \\ &= 781,60 \text{ °C} \end{aligned}$$

Horní pásnice:

$$\begin{aligned} \theta_{a,l} &= 618 - 2786 \cdot \frac{1}{38} - 1,79 \cdot 27 + 767,9 \cdot 0,119 - 472,0 \cdot 0,119^2 \\ &= 580,87 \text{ °C} \end{aligned}$$

K určení únosnosti během požáru musí deska vyztužena, což se za normálních podmínek nepožaduje. Do každé vlny se vloží jeden výztužný prut o \emptyset 10 mm. Pozice výztuže viz obrázek 5.

čl. D.2



Obrázek 5. Poloha výztužného prutu

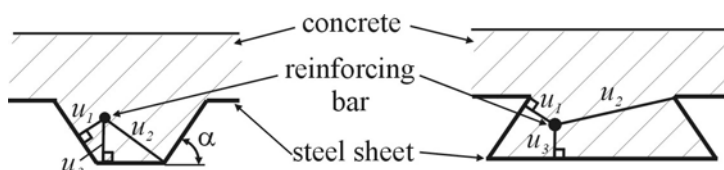
Teplota výztuže se vypočítá podle:

$$\theta_s = c_0 + c_1 \cdot \frac{u_3}{h_2} + c_2 \cdot z + c_3 \cdot \frac{A}{L_r} + c_4 \cdot \alpha + c_5 \cdot \frac{1}{l_3}$$

kde:

$$\begin{aligned} \frac{1}{z} &= \frac{1}{\sqrt{u_1}} + \frac{1}{\sqrt{u_2}} + \frac{1}{\sqrt{u_3}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{l_1/2}} + \frac{1}{\sqrt{l_1/2}} + \frac{1}{\sqrt{h_2 + 10}} \quad (\text{zjednodušeně}) \\ &= \frac{1}{\sqrt{57}} + \frac{1}{\sqrt{57}} + \frac{1}{\sqrt{61}} \\ &= 0,393 \text{ 1/mm}^{0.5} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow z = 2,54 \text{ mm}^{0.5}$$



Obrázek 6. Definice vzdáleností u_1 , u_2 , u_3 a úhlu α
kde concrete je beton
reinforcing bar výztužný prut
steel sheet ocelový plech

Součinitele c_i pro normální beton jsou uvedeny v tabulce 4.

Tabulka 4. Součinitele c_i pro výpočet teploty ve výztuži (viz EN 1994-1-2, příloha D, tabulka D.3)

Beton	Požární odolnost [min]	c_0 [°C]	c_1 [°C]	c_2 [°C/mm ^{0.5}]	c_3 [°C/mm]	c_4 [°C/°]	c_5 [°C]
Normální beton	60	1191	-250	-240	-5,01	1,04	-925
	90	1342	-256	-235	-5,30	1,39	-1267
	120	1387	-238	-227	-4,79	1,68	-1326

Teplota výztuže:

$$\begin{aligned}\theta_s &= 1342 + (-256) \cdot \frac{61}{51} + (-235) \cdot 2,54 \\ &\quad + (-5,30) \cdot 27 + 1,39 \cdot 104 + (-1267) \cdot \frac{1}{38} \\ &= 407,0 \text{ } ^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Redukční součinitele $k_{y,i}$ pro plech jsou uvedeny v tabulce 3.2 normy EN 1994-1-2. Tyto součinitele jsou pro výztužné pruty tvářené za studena uvedeny v tabulce 3.4.

Nyní lze vypočítat únosnost jednotlivých částí ocelového plechu a výztužných prutů.

Tabulka 5. Redukční součinitele a únosnosti

	Teplota θ_i [$^\circ\text{C}$]	Redukční součinitel $k_{y,i}$ [-]	Plocha A_i [cm^2]	$f_{y,i}$ [kN/cm^2]	Z_i [kN]
Spodní pásnice	960,29	0,047	1,204	35,0	1,98
Stojina	781,60	0,132	0,904	35,0	4,18
Horní pásnice	580,87	0,529	0,327	35,0	6,05
Výztuž	407,0	0,921	0,79	50,0	36,38

Poloha plastické neutrálné osy se spočítá z výminky rovnováhy horizontálních sil jednoho žebra ($b = l_1 + l_2$):

$$z_{pl} = \frac{\sum Z_i}{a_{deska} \cdot (l_1 + l_3) \cdot f_c} = \frac{1,98 + 4,18 + 6,05 + 36,38}{0,85 \cdot (115 + 38) \cdot 25 \cdot 10^{-3}} = 15,0 \text{ mm}$$

Plastická momentová únosnost v žebře je:

Tabulka 6. Výpočet momentové únosnosti žebra

	Z_i [kN]	z_i [cm]	M_i [kNm]
Spodní pásnice	1,98	14,0	27,72
Stojina	4,18	$14,0 - 5,1 / 2 = 11,45$	47,86
Horní pásnice	6,05	$14,0 - 5,1 = 8,9$	53,85
Výztuž	36,38	$14,0 - 5,1 - 1,0 = 7,9$	287,4
Beton	-48,59	$1,50 / 2 = 0,75$	-36,44
			$\Sigma 380,39$

Při plastické momentové únosnosti o hodnotě $M_{pl,\text{žebro}} = 3,80 \text{ kNm}$ na šířce $w_{\text{žebro}} = 0,152 \text{ m}$ jednoho žebra je plastická momentová únosnost na běžný metr spráženého nosníku:

$$M_{fi,Rd} = 3,80 / 0,152 = 25,00 \text{ kNm/m}$$

Posudek:

$$\frac{21,76}{25,00} = 0,88 < 1 \quad \checkmark$$

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