

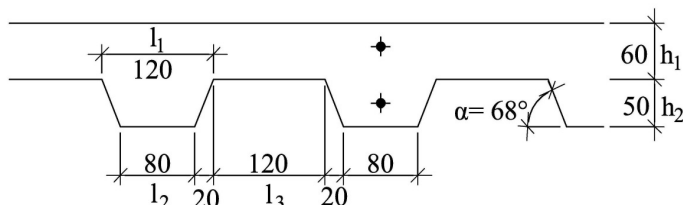
Návrh žebrové desky vystavené účinku požáru (řešený příklad)

Posuďte spřaženou desku v bednění z trapézového plechu s tloušťkou 1 mm podle obr.1. Deska je spojitá přes více polí, rozpětí každého pole je $L = 2,5$ m.

Zatížení desky: stálé $g = 2,5 \text{ kN/m}^2$, proměnné $q_1 = 4 \text{ kN/m}^2$.

Materiál desky: beton C20/25, ocel trapézových plechů S235, výztuž průměru 6 mm
v každém žeburu, mez kluzu výztuže 490 MPa.

Deska má vyhovovat pro běžný stav i pro dobu požární odolnosti R60.



Obr.1 Průřez desky

1. Posouzení při běžné teplotě

$$\text{Návrhové zatížení } q_d = 1,35g + 1,5q_1 = 1,35 \cdot 2,5 + 1,5 \cdot 4 = 9,4 \text{ kN/m}^2$$

Momenty stanovíme pro pás desky široký 1 m. Za předpokladu vyrovnaní momentů budou momenty v poli i v podpoře stejné a budou mít hodnotu:

$$M_{Sd} = 9,4 \cdot 2,5^2 / 16 = 3,7 \text{ kNm}$$

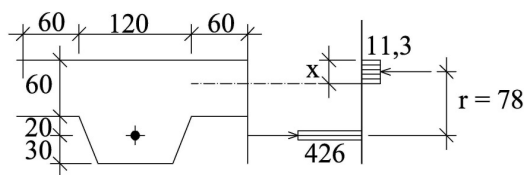
Únosnost jedného žebra desky v poli:

Stanoví se obvyklým způsobem podle ČSN EN 1994-1-1 z průběhu napětí při dosažení mezního stavu únosnosti (plastický stav), který je vykreslen na obr.2. V tlačeném betonu a ve výztuži je dosaženo návrhových pevností obou materiálů. S trapézovým plechem pro jednoduchost nepočítáme.

Návrhová pevnost betonu: $f_{cd} = 0,85 \cdot 20 / 1,5 = 11,3 \text{ MPa}$

návrhová pevnost výztuže: $f_{sd} = 490/1,15 = 426 \text{ MPa}$

plocha výztuže: $A = \pi \cdot 6^2 / 4 = 28,3 \text{ mm}^2$



Obr.2 Průběh napětí v průřezu jednoho žebra v poli

Poloha neutrální osy: $x = 28,3.426/11,3.240 = 4,4 \text{ mm}$

Rameno sil v betonu a ve výztuži: $r = 110 - 30 - 2 = 78 \text{ mm}$

Moment únosnosti:

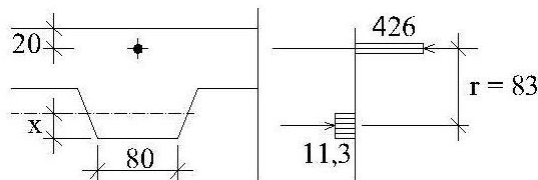
$$M_{pl,Rd} = 28,3.426.78 = 940\,352 \text{ Nmm} = 0,94 \text{ kNm}$$

Pro 1 m šířky desky:

$$M_{pl,Rd} = 0,94/0,24 = 3,9 \text{ kNm} > 3,7 \text{ kNm}, \text{ průřez vyhovuje}$$

Únosnost jednoho žebra v podpoře:

Postupuje se obdobně. Průběh napětí při dosažení mezního stavu únosnosti (plastický stav) je na obr.3



Obr.3 Průběh napětí v průřezu jednoho žebra v podpoře

Poloha neutrální osy (odhadem):

$$x = 14 \text{ mm}$$

rovnováha:

$$28,3 \cdot 426 = 80 \cdot 14 \cdot 11,3$$

$$12\,055 \sim 12\,656 \text{ (splněno)}$$

$$\text{Rameno vnitřních sil } r = 110 - 20 - 7 = 83 \text{ mm}$$

Moment únosnosti:

$$M_{pl,Rd} = 28,3 \cdot 426 \cdot 83 = 1\,000\,565 \text{ Nmm} = 1,0 \text{ kNm}$$

Pro 1 m šířky desky:

$$M_{pl,Rd} = 1,0 / 0,24 = 4,1 \text{ kNm} > 3,7 \text{ kNm, průřez vyhovuje}$$

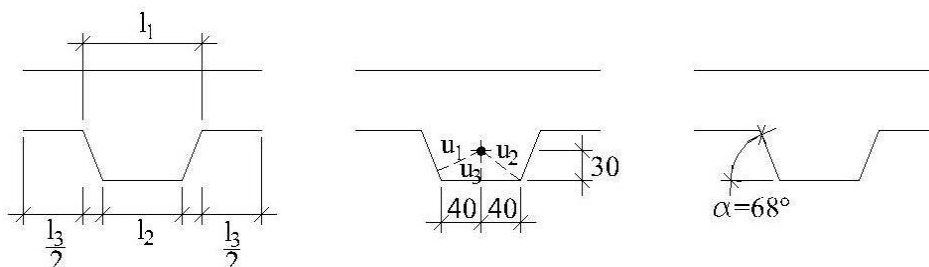
2. Posouzení při požáru

2.1 Požární odolnost z hlediska tepelné izolace

Doba za kterou bude dosaženo teploty 180°C (kritérium I), se stanoví ze vzorce:

$$t_i = a_0 + a_1 \cdot h_1 + a_2 \cdot \Phi + a_3 \cdot A/L_r + a_4 / \ell_3 + a_5 \cdot A / L_r \ell_3$$

Význam symbolů je zřejmý z obr.4



Obr.4 Označení

Součinitele a_i se vezmou z [tabulky D.1 ČSN EN 1994-1-2](#):

$$a_0 = -28,8$$

$$a_1 = 1,55$$

$$a_2 = -12,6$$

$$a_3 = 0,33$$

$$a_4 = -735$$

$$a_5 = 48,0$$

Plocha žebra vystavená požáru $L_r = 80 + 2\sqrt{(20^2 + 50^2)} = 188 \text{ mm}^2/\text{m}$

Objem žebra $A = 50 \cdot (80 + 120)/2 = 5000 \text{ mm}^3/\text{m}$

Součinitel geometrie žebra:

$$A/L_r = 5000/188 = 26,6 \text{ mm}$$

Pohledový faktor horní pásnice:

$$\Phi = (\sqrt{(h_2^2 + (\ell_3 + (\ell_1 - \ell_2)/2)^2)} - (\sqrt{(h_2^2 + (\ell_1 - \ell_2)/2)^2}))/\ell_3 = (\sqrt{(50^2 + (120 + (120 - 80)/2)^2)} - (\sqrt{(50^2 + (120 - 80)/2)^2}))/120 = 0,79$$

Doba požární odolnosti z hlediska tepelné izolace:

$$t = -28,8 + 1,55 \cdot 60 - 12,6 \cdot 0,79 + 0,33 \cdot 26,6 - 735/120 + 48 \cdot 26,6/120 = 68 \text{ minut je více než požadovaných 60 minut a deska tudíž z tohoto hlediska vyhovuje.}$$

2.2 Požární odolnost z hlediska únosnosti

Výpočet kladného momentu únosnosti

a) Teplota horní pásnice:

$$\theta_a = b_0 + b_1/\ell_3 + b_2 A/L_r + b_3 \Phi + b_4 \Phi^2$$

Součinitele b_i se vezmou z [tabulky D.2 ČSN EN 1994-1-2](#):

$$b_0 = 340$$

$$b_1 = -3269$$

$$b_2 = -2,62$$

$$b_3 = 1148,4$$

$$b_4 = -679,8$$

Po dosazení

$$\theta_a = 340 - 3269/120 - 2,62 \cdot 26,6 + 1148,4 \cdot 0,79 - 679,8 \cdot 0,79^2 = 726 \text{ °C}$$

b) Teplota stojiny (stejný vzorec, jiné součinitele):

$$\theta_a = 661 - 833/120 - 2,96 \cdot 26,6 + 537,7 \cdot 0,79 - 351,9 \cdot 0,79^2 = 780 \text{ °C}$$

c) Teplota dolní pásnice (dtto):

$$\theta_a = 951 - 1197/120 - 2,32 \cdot 26,6 + 86,4 \cdot 0,79 - 150,7 \cdot 0,79^2 = 853 \text{ °C}$$

d) Teplota výztužného prutu v žeburu:

Vzdálenosti osy výztužného prutu od okraje žebra (obr.4 uprostřed):

$$u_1 = 48 \text{ mm}$$

$$u_2 = 50 \text{ mm}$$

$$u_3 = 30 \text{ mm}$$

Součinitel polohy výztuže:

$$1/z = 1/\sqrt{u_1} + 1/\sqrt{u_2} + 1/\sqrt{u_3} = 1/\sqrt{48} + 1/\sqrt{50} + 1/\sqrt{30} = 0,144 + 0,141 + 0,183 = 0,468$$
$$z = 2,137 \text{ mm}^{-0,5}$$

Teplota výztuže:

$$\theta_s = c_0 + c_1 \cdot u_3/h_2 + c_2 \cdot z + c_3 \cdot A/L_r + c_4 \cdot \alpha + c_5 / \ell_3$$

Součinitele c_i se vezmou z [tabulky D.3 ČSN EN 1994-1-2](#):

$$c_0 = 1191$$

$$c_1 = -250$$

$$c_2 = -240$$

$$c_3 = -5,01$$

$$c_4 = 1,04$$

$$c_5 = -925$$

Úhel $\alpha = 68^\circ$ (obr.4 vpravo)

Po dosažení

$$\theta_a = 1191 - 250 \cdot 30/50 - 240 \cdot 2,137 - 5,01 \cdot 26,6 + 1,04 \cdot 68 - 925/120 = 458^\circ \text{C}$$

Návrhové pevnosti snižené v důsledku teploty (podle [tabulky 3.3 ČSN EN 1994-1-2](#)), součinitele zatížení při požáru $\gamma_{fi} = 1,0$:

beton (20°C, nesnižuje se): $f_{c,j} = 20/1,0 = 20 \text{ MPa}$

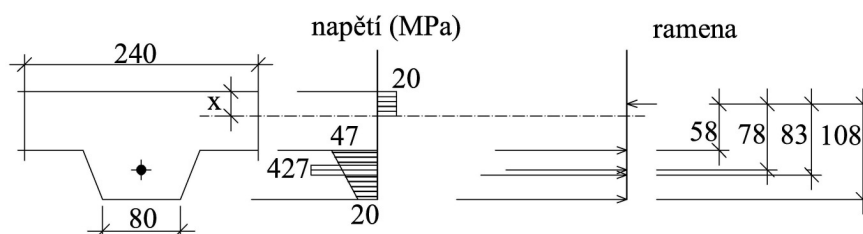
ocel horní pásnice (726°C): $f_{y,dp} = 235 \cdot 0,199/1,0 = 47 \text{ MPa}$

ocel stojiny (780°C): $f_{y,w} = 235 \cdot 0,134/1,0 = 31 \text{ MPa}$

ocel dolní pásnice (853°C): $f_{y,hp} = 235 \cdot 0,084/1,0 = 20 \text{ MPa}$

ocel výztuže (458°C): $f_s = 490 \cdot 0,872/1,0 = 427 \text{ MPa}$

Průběh napětí při dosažení mezního stavu únosnosti je vyznačen na obr.5



Obr.5 Průřez v poli při R60, mezní stav únosnosti

Poloha neutrální osy (pro jedno žebro šířky 240 mm):

$$x \cdot 0,85 \cdot 240 \cdot 20 = 120 \cdot 1 \cdot 47 + 2 \cdot 54 \cdot 1 \cdot 31 + 80 \cdot 1 \cdot 20 + 28,3 \cdot 427$$

$$x = 5,5 \text{ mm}$$

Moment únosnosti:

$$M_{fi,Rd+} = 80 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 108 + 2 \cdot 54 \cdot 31 \cdot 83 + 120 \cdot 47 \cdot 58 + 28 \cdot 78 \cdot 427 = 1\,710\,372 \text{ Nmm} = 1,71 \text{ kNm}$$

Pro 1 m šířky desky:

$$M_{fi,Rd+} = 1,71/0,24 = 7,12 \text{ kNm}$$

Výpočet záporného momentu únosnosti

Najdou se souřadnice izotermy θ_{lim} . Části žebra teplejší než θ_{lim} (tj. pod izotermou) se zanedbávají, s ostatními (nad izotermou) se počítá plně, jejich pevnost se nesnižuje. Plech se ve výpočtu zanedbává. Izoterma je vyznačena na obr.6.

Izoterma je dána vztahem:

$$\theta_{lim} = d_0 + d_1 \cdot N_s + d_2 A/L_r + d_3 \cdot \Phi + d_4 / \ell_3$$

Síla ve výztuži:

$$N_s = 28,3.490 = 13\,867 \text{ N}$$

Součinitele d_i se vezmou z [tabulky D.4 ČSN EN 1994-1-2](#):

$$d_0 = 867$$

$$d_1 = -1,9 \cdot 10^{-4}$$

$$d_2 = -8,75$$

$$d_3 = -123$$

$$d_4 = -137$$

Po dosazení:

$$\theta_{lim} = 867 - 1,9 \cdot 10^{-4} \cdot 13867 - 8,75 \cdot 26,6 - 123 \cdot 0,79 - 1378/120 = 523^\circ\text{C}$$

Souřadnice význačných bodů izotermy (izoterma je vykreslena na obr.6 vlevo):

$$X_I = 0$$

$$Y_I = Y_{II} = 1/((1/z - 4/\sqrt{(\ell_1 + \ell_3)})^2) = 1/((1/2,137 - 4/\sqrt{(120 + 120)})^2) = 22,7 \text{ mm}$$

$$X_{II} = \ell_2/2 + Y_I(\cos\alpha - 1)/\sin\alpha = 80/2 + 22,7 (\cos 68^\circ - 1)/\sin 68^\circ = 24,7 \text{ mm}$$

pomocné hodnoty:

$$a = \ell_1 \sin\alpha (1/z + 1/\sqrt{h_2})^2 = 120 \cdot \sin 68^\circ (1/2,137 - 1/\sqrt{50})^2 = 11,9$$

$$c = -8 (1 + \sqrt{(1 + a)}) = -8 (1 + \sqrt{(1 + 11,9)}) = -36,7$$

$$b = 0,5 \ell_1 \sin\alpha (1 - (\sqrt{(a^2 - 4a + c)})/a) = 0,5 \cdot 120 \cdot 0,927 (1 - (\sqrt{(11,9^2 - 4 \cdot 11,9 - 36,7)})/11,9) = 20,2$$

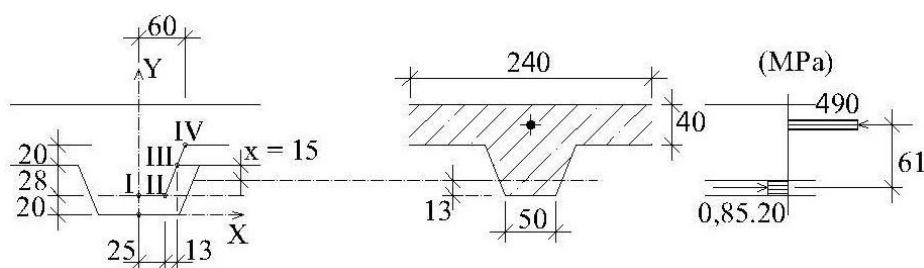
$$X_{III} = \ell_1/2 - b/\sin\alpha = 120/2 - 20,2/0,927 = 38,2 \text{ mm}$$

$$Y_{III} = h_2 = 50 \text{ mm}$$

$$X_{IV} = \ell_1/2 + \ell_3/2 = 120/2 + 120/2 = 120 \text{ mm}$$

$$Y_{IV} = h_2 + b = 50 + 20,2 = 70,2 \text{ mm}$$

Na obr.6 vpravo je pro účinný průřez vynesena průběh napětí v mezním stavu únosnosti



Obr.6 Vlevo izoterma v žeburu, uprostřed účinný průřez a vpravo průběh napětí v mezním stavu únosnosti při R60

Polohu neutrální osy odhadneme 15 mm pod úrovní horní pásnice plechu. Vyzkoušíme rovnováhu sil

$$28,3.490 = (50.13 + 15.13)0,85.20$$

$$13\,867 \sim 14\,365 \text{ splněno}$$

Moment únosnosti:

$$M_{fi,Rd} = (50.13 + 15.13)0,85.20.61 = 866\,320 \text{ nmm} = 0,86 \text{ kNm}$$

Pro 1 m šířky desky:

$$M_{fi,Rd} = 0,86/0,24 = 3,6 \text{ kNm}$$

Zatížení při požáru:

Redukční součinitel

$$\eta_{fi} = (G_k + \psi_{fi} Q_k) / (\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k) = (2,5 + 0,65 \cdot 4) / (1,35 \cdot 2,5 + 1,5 \cdot 4) = 0,54$$

Pozn.: součinitel $\psi_{fi} = 0,65$ je bezpečnou hodnotou, přesněji ho lze určit podle [článku 2.4.2, obr.2.1 ČSN EN 1994-1-2](#)

V desce působí při požáru v poli i v podpoře momenty

$$M_{fi, Sd} = \eta_{fi} M_{Sd} = 0,54 \cdot 3,7 = 2,0 \text{ kNm} < M_{fi, Rd} (= \text{v poli } 7,12 \text{ kNm, v podpoře } 3,6 \text{ kNm})$$

Žebrová deska tudíž vyhovuje všem požadavkům.

QUALITY RECORD

Název	Návrh žebrové desky vystavené účinku požáru (řešený příklad)
Popis	Řešený příklad dokumentuje návrh a posouzení žebrové spřažené desky v běžné teplotě a na účinky požáru.
Kategorie	Spřažené ocelobetonové konstrukce
Název souboru	4-4_Příklad_Navrh_zebrove_desky.pdf
Datum vytvoření	11. 1. 2007
Autor	Prof. Ing. Jiří Studnička, DrSc. Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, Fakulta stavební, ČVUT v Praze
Klíčová slova	Žebrová deska; Posouzení při běžné teplotě; Požární odolnost z hlediska tepelné izolace; Požární odolnost z hlediska únosnosti; Zatížení při požáru.
Eurokódy	EN 1990 EN 1991 EN 1993 EN 1994
Literatura	Wald F. a kol.: Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí, České vysoké učení technické v Praze, Praha 2005, 336 s., ISBN 80-0103157-8.