

ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA

TVAR PRŮŘEZU

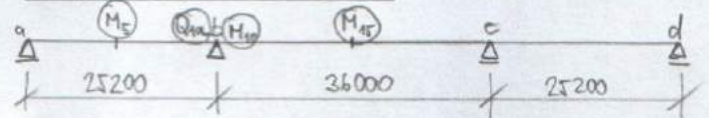
Viz výkres 1

MATERIALY

Beton C35/45 $f_{ck} = 35 \text{ MPa} \rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_m} = \frac{35}{1,5} = 23,33 \text{ MPa}$
 $E_c = 33500 \text{ MPa}$

$f_{pk} = 1770 \text{ MPa}$ $f_{p0,1k} = 1560 \text{ MPa}$

SCHEMA KONSTRUKCE



Slouží jen jako vzor FORMY statického výpočtu - je nutno dosazovat čísla, kreslit schémata, vést výpočet přehledně...

Průřezové charakteristiky byly stanoveny jednak pomocí funkce `mascprop` programu AutoCAD, jednak pomocí programu FEAT. Výsledky obou výpočtů jsou přiloženy. Pro návrh budeme uvažovat:

$$A = 2468 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 569 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$W_d = 6,021 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \text{ (průřezový modul pro stanovení napětí v dolních vláknech)}$$

$$W_h = 8,611 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \text{ (průřezový modul pro stanovení napětí v horních vláknech)}$$

$$z_T = 941,6 \text{ mm (vzdálenost těžiště od dolní hrany průřezu)}$$

VÝPOČET ZATÍŽENÍ

* Zatěžovací šířka

$$b_1 = 3500 \text{ mm}$$

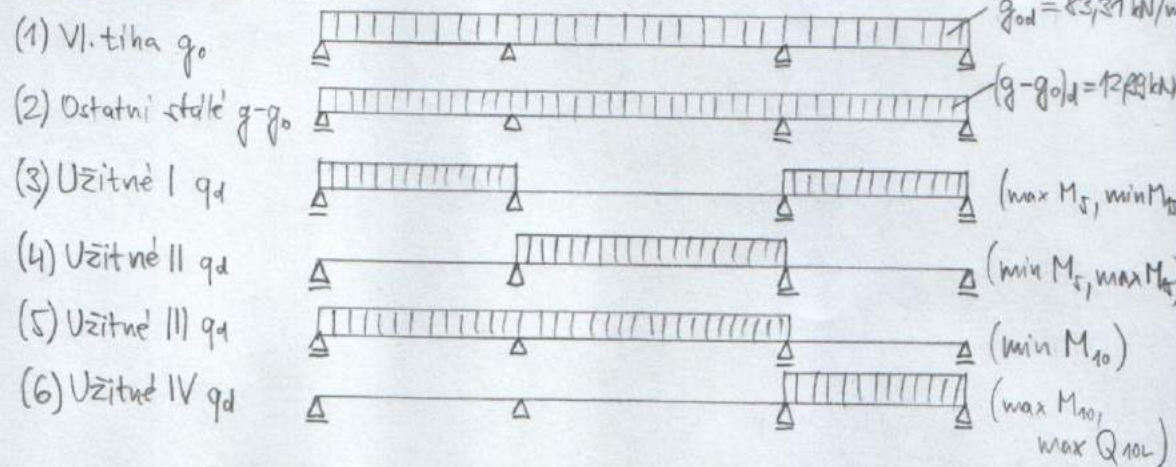
Stálé zatížení	$g_k \text{ [kN/m]}$	γ_g	$g_d \text{ [kN/m]}$
Vlastní tíha g_0	61,71	1,35	83,31
Ostatní stálé $g - g_0$	$275 \cdot 35 = 9,63^*$	1,35	12,99
CELKEM	71,34		96,30

** Zatěžovací šířka

$b_2 = 3000 \text{ mm}$ (pouze mezi zábradlími)

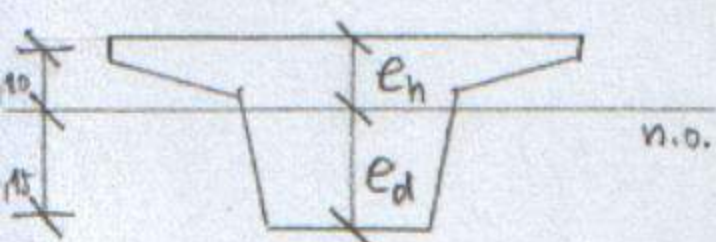
Proměnné zatížení	$q_k \text{ [kN/m]}$	γ_q	$q_d \text{ [kN/m]}$
Užitné q	$5 \cdot 3,0 = 15,0^{**}$	1,5	22,50
CELKEM	15,0		22,50

ZATĚŽOVACÍ STAVY



PŘEDBŘEŽNÝ NÁVRH PŘEDPĚTÍ

NUTNÁ PŘEDPÍNACÍ SÍLA NA KONCI ŽIVOTNOSTI



c - krycí vrstva, odhad
c = 100 mm

d_p - průměr předpínacího
kabelu, odhad d_p = 100 mm

Průřez 10

$$\sigma_h^f = \frac{M_{10}^f}{W_h} = \frac{78665 \cdot 10^6}{8,611 \cdot 10^8} = 9,07 \text{ MPa}$$

$$e_{p,10} = e_h - c - \frac{d_p}{2} = 658,41 - 100 - \frac{100}{2} = 508,41 \text{ mm}$$

Předpoklad návrhu: nulové napětí v tažených vláknech $\Rightarrow \sigma_h = \sigma_h^f + \sigma_h^p = 0$

$$\sigma_h^p = \frac{N_{p,10}}{A} + \frac{N_{p,10} e_{p,10}}{W_h} \Rightarrow N_{p,10} = \sigma_h^p \cdot \frac{AW_h}{W_h + Ae_{p,10}} \quad \text{kde } \sigma_h^p = -\sigma_h^f$$

$$N_{p,10} = -9,07 \cdot \frac{2,469 \cdot 10^6 \cdot 8,611 \cdot 10^8}{8,611 \cdot 10^8 + 2,469 \cdot 10^6 \cdot 508,41}$$

$$\underline{\underline{N_{p,10} = -9111,5 \text{ kN}}}$$

Průřez 15

$$\sigma_d^f = \frac{M_{15}^f}{W_d} = \frac{6714,8 \cdot 10^6}{6,021 \cdot 10^8} = 11,15 \text{ MPa}$$

$$e_{p,15} = e_d - c - \frac{d_p}{2} = 941,6 - 100 - \frac{100}{2} = 791,6 \text{ mm}$$

Předpoklad návrhu: nulové napětí v tažených vláknech $\Rightarrow \sigma_d = \sigma_d^f + \sigma_d^p = 0$

$$\sigma_d^p = \frac{N_{p,15}}{A} + \frac{N_{p,15} e_{p,15}}{W_d} \Rightarrow N_{p,15} = \sigma_d^p \cdot \frac{AW_d}{W_d + Ae_{p,15}} \quad \text{kde } \sigma_d^p = -\sigma_d^f$$

$$N_{p,15} = -11,15 \cdot \frac{2,469 \cdot 10^6 \cdot 6,021 \cdot 10^8}{6,021 \cdot 10^8 + 2,469 \cdot 10^6 \cdot 791,6}$$

$$\underline{\underline{N_{p,15} = -6483,5 \text{ kN}}}$$

Nutná předpínací síla

$$\underline{\underline{N_{p,100} = \max(|N_{p,10}|, |N_{p,15}|) = 9111,5 \text{ kN}}}$$

NÁVRH POČTU PŘEDPÍNACÍCH LAN

$$N_{p,100} = \sigma_{p,100} \bar{A}_p \Rightarrow \bar{A}_p = \frac{N_{p,100}}{\sigma_{p,100}}$$

$$\bar{A}_p = \frac{9111,5 \cdot 10^3}{1053} = 86529 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{\bar{A}_p}{A_{p1}} = \frac{86529}{150} = 57,68 \rightarrow \underline{\underline{58}}$$

$$\text{kde } \sigma_{p,100} = \sigma_{p,max} \cdot 0,75 = 1053 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{p,max} &= \min(0,8 f_{tk}, 0,9 f_{p0,1k}) = \\ &= \min(0,8 \cdot 1770, 0,9 \cdot 1560) = \\ &= 1404 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$\sigma_{p,100}$ - předp. napětí na konci
životnosti

$\sigma_{p,max}$ - max. napínací napětí
0,75 - souč. ztrát

$\bar{A}_p$ - nutná plocha výztuže

A_{p1} - průřezová plocha 1 lana
(150 mm²)

NÁVRH: 60 7-mi drátových lan - 5 kabelů po 12 lanech

IDEÁLNÍ PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

8

VSTUPNÍ PARAMETRY VÝPOČTU

Pracovní součinitel: $m = \frac{E_p}{E_c} = \frac{195}{335} = 5,82$

Dvandiřlanové kabely $\Rightarrow \varnothing = 90 \text{ mm}$

5 kabelů $\Rightarrow j = 5$

5 x 12 lan $\Rightarrow n = 60$

Průřezová plocha 1 lana $A_{p1} = 150 \text{ mm}^2$

Excentricity: $e_{p,5} = 363 \text{ mm}$, $e_{p,10} = -508 \text{ mm}$, $e_{p,15} = 750 \text{ mm}$

STATICKÉ VELIČINY OSLABENÉHO PRŮŘEZU

$$A_o = A - j \cdot \frac{\pi \varnothing^2}{4} = 2,469 \cdot 10^6 - 5 \cdot \frac{\pi \cdot 90^2}{4} = 2,437 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

$S_{y0,k} = -j \cdot \frac{\pi \varnothing^2}{4} \cdot e_{pk}$ - st. m. kanálků k těžišti plného průřezu

$$S_{y0,5} = -5 \cdot \frac{\pi \cdot 90^2}{4} \cdot 363 = -11,546 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$S_{y0,10} = -5 \cdot \frac{\pi \cdot 90^2}{4} \cdot (-508) = 16,159 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$S_{y0,15} = -5 \cdot \frac{\pi \cdot 90^2}{4} \cdot 750 = -23,856 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$Z_{T0,k} = \frac{S_{y0,k}}{A_o}$ - vzdálenost T_o oslabeného průřezu od T plného průřezu

$$Z_{T0,5} = \frac{-11,546}{2,437} = -4,74 \text{ mm}$$

$$Z_{T0,10} = \frac{16,159}{2,437} = 6,63 \text{ mm}$$

$$Z_{T0,15} = \frac{-23,856}{2,437} = -9,79 \text{ mm}$$

$I_{y0,k} = I_y + A Z_{T0,k}^2 - j \cdot \frac{\pi (\frac{\varnothing}{2})^4}{4} - j \cdot \frac{\pi \varnothing^2}{4} \cdot (e_{pk} - Z_{T0,k})^2$

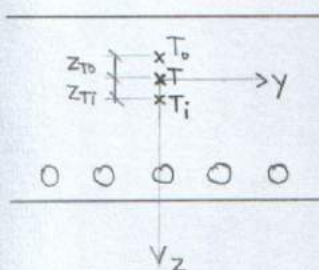
- moment setrvačnosti oslabeného průřezu k jeho vlastnímu těžišti

$$I_{y0,5} = 5,669 \cdot 10^{11} + 2,469 \cdot 10^6 \cdot 4,74^2 - 5 \cdot \frac{\pi \cdot 45^4}{4} - 5 \cdot \frac{\pi \cdot 90^2}{4} (363 + 4,74)^2 = 5,626 \cdot 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$I_{y0,10} = 5,669 \cdot 10^{11} + 2,469 \cdot 10^6 \cdot 6,63^2 - 5 \cdot \frac{\pi \cdot 45^4}{4} - 5 \cdot \frac{\pi \cdot 90^2}{4} (-508 - 6,63)^2 = 5,586 \cdot 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$I_{y0,15} = 5,669 \cdot 10^{11} + 2,469 \cdot 10^6 \cdot 9,79^2 - 5 \cdot \frac{\pi \cdot 45^4}{4} - 5 \cdot \frac{\pi \cdot 90^2}{4} (750 + 9,79)^2 = 5,488 \cdot 10^{11} \text{ mm}^4$$

k - index označující průřez



ZTRÁTY PŘEDPĚTÍ

(10)

KRÁTKODOBÉ ZTRÁTY

Ztráta třením

$$\Delta \sigma_{p,1} = - \sigma_{p,0,\max} (1 - e^{-\mu(\alpha + kL)})$$

kde $\sigma_{p,0,\max} = 1404 \text{ MPa}$ je max. napínací napětí (viz 6)

$\mu = 0,19$ je součinitel ztráty třením

$k = 0,01 \text{ m}^{-1}$ je fiktivní úhlová změna na jednotku délky

$\alpha = \sum \alpha_i$ je celková úhlová změna do daného místa [rad]

$L = \sum L_i$ je délka kabelu k danému místu

Průřez 5: $\alpha = \alpha_2 = 4,121^\circ = 0,071925 \text{ rad}$

$$L = L_1 + L_2 + 0,1 = 1,5 + 7,1 + 0,1 = 8,7 \text{ m}$$

$$\Delta \sigma_{p,1,5} = -1404 (1 - e^{-0,19 (0,071925 + 0,01 \cdot 8,7)}) = -41,76 \text{ MPa}$$

Průřez 10: $\alpha = \alpha_2 + \alpha_4 + \alpha_5 = 4,121 + 6,166 + 6,166 = 16,453^\circ = 0,287 \text{ rad}$

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 = 1,5 + 7,1 + 0,44 + 15,4 + 0,8 = 25,24 \text{ m}$$

$$\Delta \sigma_{p,1,10} = -1404 (1 - e^{-0,19 (0,287 + 0,01 \cdot 25,24)}) = -136,8 \text{ MPa}$$

Průřez 15: $\alpha = \alpha_2 + \alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6 + \alpha_7 = 4,121 + 2 \cdot 6,166 + 2 \cdot 8,136 = 32,725^\circ = 0,571 \text{ rad}$

$$L = \sum_{i=1}^8 L_i = 25,24 + 0,8 + 16,96 + 0,31 = 43,31 \text{ m}$$

$$\Delta \sigma_{p,1,15} = -1404 (1 - e^{-0,19 (0,571 + 0,01 \cdot 43,31)}) = -243,9 \text{ MPa}$$

Ztráta pokluzem v kotvě

$$\Delta \sigma_{p,12} = -2 (p_1 x_B + p_2 (x_w - x_B)) - \text{předpokládáme, že } x_w < x_B$$

kde $x_B = 1,496 \text{ m}$ je půdorysná délka počáteční přímé části kabelu

$$p_1 = \sigma_{p,0} (1 - e^{-\mu(0 + k \cdot 1)}) = 1404 (1 - e^{-0,19 \cdot 0,01}) = 2,665 \text{ MPa/m}$$

$$p_2 = \sigma_{p,0} (1 - e^{-\mu(\Delta \alpha_2 + k \cdot 1)}) = 1404 (1 - e^{-0,19 \cdot (0,01014 + 0,01 \cdot 1)}) =$$

$$= 5,362 \text{ MPa/m}$$

(p_1 a p_2 jsou změny napětí na jednotku délky na daných úsecích kabelu)

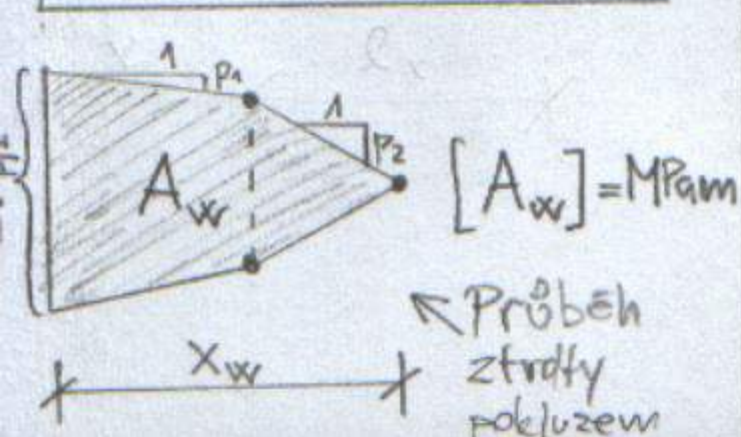
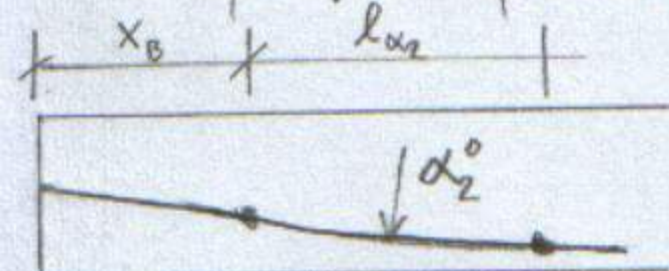
x_w je dosah ztráty pokluzem, viz dále

Zde:

$$\sigma_{p,0} = \sigma_{p,0,\max}$$

$$\Delta \alpha_2 = \frac{\alpha_2}{L_{\alpha 2}} = \frac{4,121}{7,093} =$$

$$= 0,581^\circ/\text{m} = 0,01014 \text{ rad/m}$$



Uvažujeme pokluz $w = 5 \text{ mm}$. Potom je:

$$w = \frac{A_w}{E_p} \Rightarrow A_w = w \cdot E_p = 195000 \cdot 0,005 = 975 \text{ MPa} \cdot \text{m}$$

Z geometrie:

$$A_w = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot p_2 \cdot (x_w - x_B)^2 + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot p_1 \cdot x_B^2 + 2 \cdot x_B \cdot p_2 (x_w - x_B)$$

$$A_w = p_2 x_w^2 - 2 p_2 x_w x_B + p_2 x_B^2 + p_1 x_B^2 - 2 p_2 x_B^2 + 2 p_2 x_w x_B$$

$$A_w = x_w^2 \cdot p_2 + x_B^2 (p_1 - p_2)$$

$$x_w = \sqrt{\frac{A_w + x_B^2 (p_2 - p_1)}{p_2}} = \sqrt{\frac{975 + 1,496^2 (5,362 - 2,665)}{5,362}} = 13,526 \text{ m}$$

Souřadnice průřezu 5 je $x_5 = 8,676 \text{ m} < x_w \Rightarrow$ průřez 5 je ovlivněn ztrátou pokluzem. Z geometrie je patrné, že ztráta pokluzem zasahuje nejen do úseku kabelu 1, 2, ale i do úseků 3, 4. Musíme tedy stanovit:

$$p_3 = p_1 = 2,665 \text{ MPa/m}$$

$$p_4 = \tau_{p10} (1 - e^{-\mu(\Delta\alpha_4 + k \cdot 1)}) = 1404 (1 - e^{-0,19(0,007 + 0,01)}) = 4,528 \text{ MPa/m}$$

Z geometrie pak je:

$$A_w = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot p_4 (x_w - x_{13})^2 + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot p_3 \cdot x_3^2 + 2 \cdot x_2 \cdot p_4 (x_w - x_{13}) +$$

$$+ 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot p_2 \cdot x_2^2 + 2 \cdot x_2 (p_4 (x_w - x_{13}) + p_3 x_3) +$$

$$+ 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot p_1 \cdot x_1^2 + 2 \cdot x_1 (p_4 (x_w - x_{13}) + p_3 x_3 + p_2 x_2)$$

$$A_w = p_4 x_w^2 - 2 p_4 x_w x_{13} + p_4 x_{13}^2 + p_3 x_3^2 + 2 p_4 x_2 x_w - 2 p_4 x_3 x_{13}$$

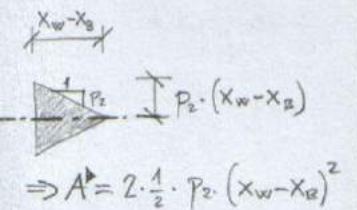
$$+ p_2 x_2^2 + 2 p_4 x_2 x_w - 2 p_4 x_2 x_{13} + 2 p_3 x_2 x_3 + p_1 x_1^2$$

$$+ 2 p_4 x_1 x_w - 2 p_4 x_1 x_{13} + 2 p_3 x_3 x_1 + 2 p_2 x_2 x_1$$

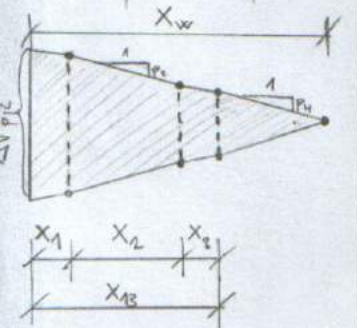
$$A_w = p_4 x_w^2 - p_4 x_{13}^2 + p_3 x_3^2 + p_2 x_2^2 + p_1 x_1^2 + 2 p_3 x_3 (x_2 + x_1) + 2 p_2 x_2 x_1$$

$$x_w = \sqrt{\frac{A_w + p_4 x_{13}^2 - p_3 x_3^2 - p_2 x_2^2 - p_1 x_1^2 - 2 p_3 x_3 (x_2 + x_1) - 2 p_2 x_2 x_1}{p_4}}$$

$$= \sqrt{\frac{975 + 4,528 \cdot 9,029^2 - 2,665 \cdot 9,44^2 - 5,362 \cdot 7,093^2 - 2,665 \cdot 1,496^2}{4,528} - 2 \cdot 2,665 \cdot 0,44 (1,496 + 7,093) - 2 \cdot 5,362 \cdot 7,093 \cdot 1,496} = 14,362 \text{ m}$$



$$\Delta\alpha_4 = \frac{\alpha_4}{l_{\alpha 4}} = \frac{6,166^\circ}{15,373} = 0,401^\circ/\text{m} = 0,007 \text{ rad/m}$$



$$x_{13} = x_1 + x_2 + x_3 = 9,029 \text{ m}$$

Přibližná kontrola:

$$\epsilon = \frac{w}{x_w} = \frac{0,005}{14,362} = 3,48 \cdot 10^{-4}$$

$$\sigma_{avg} = \epsilon \cdot E_p = 67,9 \text{ MPa}$$

$$2\sigma_{avg} = 135,8 \text{ MPa} \approx \Delta\sigma_{p12} \quad \text{ok} \checkmark$$

Maximální hodnota ztráty podélzemi v kotvě je v koncovém průřezu, a to:

$$\Delta\sigma_{p12} = -2(p_1x_1 + p_2x_2 + p_3x_3 + p_4(x_w - x_{12}))$$

$$\Delta\sigma_{p12} = -2(2,665 \cdot 1,496 + 5,362 \cdot 7,093 + 2,665 \cdot 0,44 + 4,528 \cdot (14,362 - 9,029))$$

$$\Delta\sigma_{p12} = -134,7 \text{ MPa}$$

V průřezu 5 je:

$$\Delta\sigma_{p12,5} = \Delta\sigma_{p12} + 2(p_1x_1 + p_2x_2 + p_3(x_5 - x_1 - x_2))$$

$$\Delta\sigma_{p12,5} = -134,7 + 2(2,665 \cdot 1,496 + 5,362 \cdot 7,093 + 2,665(8,676 - 1,496 - 7,093))$$

$$\Delta\sigma_{p12,5} = -50,2 \text{ MPa}$$

Napětí v předpínací výztuži po krátkodobých ztrátách

$$\sigma_{p10} = \sigma_{p10,max} + \Delta\sigma_{p11} + \Delta\sigma_{p12}$$

$$\sigma_{p10,5} = 1404 - 41,76 - 50,2 = 1312 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p10,10} = 1404 - 136,8 = 1267,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p10,15} = 1404 - 243,9 = 1160,1 \text{ MPa}$$

DLOUHODOBÉ ZTRÁTY

Ztráta relaxací předpínací výztuže

Lana se sníženou relaxací

Použijeme vzorec pro třídu 2 (popouštěná a stabilizovaná lana)

$$\Delta\sigma_{p13} = -\sigma_{p10} \cdot 0,66 p_{1000} e^{\frac{3,1 \sigma_{p10}}{f_{pk}}} \cdot \left(\frac{t}{1000}\right)^{0,75 \left(1 - \frac{\sigma_{pe}}{f_{pk}}\right)} \cdot 10^{-5}$$

kde $p_{1000} = 25$ je hodnota ztráty relaxací 1000 hodin po napnutí (2,5%)

t je doba od napnutí v hodinách

Průřez 5:

o stav po uvedení do provozu ($t = 100 \text{ dní}$)

$$\Delta\sigma_{p13,5,1} = -1312 \cdot 0,66 \cdot 25 \cdot e^{\frac{3,1 \left(\frac{1312}{1770}\right)}{}} \cdot \left(\frac{100 \cdot 24}{1000}\right)^{0,75 \left(1 - \frac{1312}{1770}\right)} \cdot 10^{-5} = -21,81 \text{ MPa}$$

o konec životnosti ($t = 100 \text{ let} = 36525 \text{ dní}$)

$$\Delta\sigma_{p13,5,100} = -1312 \cdot 0,66 \cdot 25 \cdot e^{\frac{3,1 \left(\frac{1312}{1770}\right)}{}} \cdot \left(\frac{36525 \cdot 24}{1000}\right)^{0,75 \left(1 - \frac{1312}{1770}\right)} \cdot 10^{-5} = -68,54 \text{ MPa}$$

Průřez 10:

- o stav po uvedení do provozu ($t = 100$ dní)

$$\underline{\underline{\Delta \sigma_{p,3,10,1} = -1267,2 \cdot 0,66 \cdot 2,5 \cdot e^{9,1 \left(\frac{1251,1}{1770} \right)} \cdot \left(\frac{100 \cdot 24}{1000} \right)^{0,75} \cdot \left(1 - \frac{1251,1}{1770} \right) \cdot 10^{-5} = -15,78 \text{ MPa}}}$$

- o konec životnosti ($t = 100 \text{ let} = 36525$ dní)

$$\underline{\underline{\Delta \sigma_{p,3,10,100} = -1267,2 \cdot 0,66 \cdot 2,5 \cdot e^{9,1 \left(\frac{1251,1}{1770} \right)} \cdot \left(\frac{36525 \cdot 24}{1000} \right)^{0,75} \cdot \left(1 - \frac{1251,1}{1770} \right) \cdot 10^{-5} = -57,70 \text{ MPa}}}$$

Průřez 15:

- o stav po uvedení do provozu ($t = 100$ dní)

$$\underline{\underline{\Delta \sigma_{p,3,15,1} = -1160,1 \cdot 0,66 \cdot 2,5 \cdot e^{9,1 \left(\frac{1135,2}{1770} \right)} \cdot \left(\frac{100 \cdot 24}{1000} \right)^{0,75} \cdot \left(1 - \frac{1135,2}{1770} \right) \cdot 10^{-5} = -8,30 \text{ MPa}}}$$

- o konec životnosti ($t = 100 \text{ let} = 36525$ dní)

$$\underline{\underline{\Delta \sigma_{p,3,15,100} = -1160,1 \cdot 0,66 \cdot 2,5 \cdot e^{9,1 \left(\frac{1135,2}{1770} \right)} \cdot \left(\frac{36525 \cdot 24}{1000} \right)^{0,75} \cdot \left(1 - \frac{1135,2}{1770} \right) \cdot 10^{-5} = -40,60 \text{ MPa}}}$$

Ztráta dotvarování betonu

Předpínací síla po proběhnutí krátkodobých ztrát je:

$$N_{p,0} = \sigma_{p,0} \cdot n \cdot A_{p1}$$

$$N_{p,0,5} = 1312 \cdot 60 \cdot 150 = 11808 \text{ kN}$$

$$N_{p,0,10} = 1267,2 \cdot 60 \cdot 150 = 11405 \text{ kN}$$

$$N_{p,0,15} = 1160,1 \cdot 60 \cdot 150 = 10441 \text{ kN}$$

Napětí v předpínací výztuži od stálého zatížení a předpětí je:

$$e_{pi} = e_p - z_{Ti} \rightarrow \sigma_{cp}^{g+p} = -\frac{N_{p,0}}{A_i} - \frac{N_{p,0} e_{pi}^2}{I_{yi}} + \frac{M_g e_{pi}}{I_{yi}}$$

$$\sigma_{cp,5}^{g+p} = -\frac{11808000}{2489000} - \frac{11808000 \cdot (363 - 2,998)^2}{5,696 \cdot 10^{11}} + \frac{2684,8 \cdot 10^6 \cdot (363 - 2,998)}{5,696 \cdot 10^{11}} = -5,73 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cp,10}^{g+p} = -\frac{11405000}{2489000} - \frac{11405000 \cdot (-508 + 4,199)^2}{5,723 \cdot 10^{11}} + \frac{-7036,8 \cdot 10^6 \cdot (-508 + 4,199)}{5,723 \cdot 10^{11}} = -3,45 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cp,15}^{g+p} = -\frac{10441000}{2489000} - \frac{10441000 \cdot (750 - 6,198)^2}{5,786 \cdot 10^{11}} + \frac{4519,2 \cdot 10^6 \cdot (750 - 6,198)}{5,786 \cdot 10^{11}} = -8,37 \text{ MPa}$$

Ztráta dotvarování se určí dle vzorce:

$$\Delta \sigma_{p,14} = -\frac{E_p}{E_c(\tau)} \cdot |\sigma_c^{p+g}| \cdot \varphi(t, \tau)$$

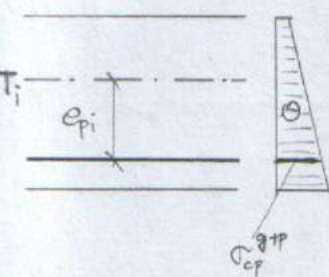
kde τ je čas předepnutí, $\tau = 7$ dní

t je doba od vepnutí v hodinách

$E_c(\tau) = E_c(7)$ je modul pružnosti betonu v okamžiku předepnutí

$\varphi(t, \tau) = \varphi(t, 7)$ je součinitel dotvarování betonu v čase t

$$e_{pi} = e_p - z_{Ti} \rightarrow$$



(14)

Hodnoty $E_c(t)$ a $\varphi(t, t_0)$ stanovíme pomocí programu CaS (Creep & Shrinkage). Vstupní parametry výpočtu jsou uvedeny v příloze 3.

Dostaneme:

$$E_c(t) = 23,496 \text{ Pa}$$

$$\varphi(1, t) = 0,858 - \text{při uvedení do provozu}$$

$$\varphi(\infty, t) = 2,137 - \text{na konci životnosti}$$

Průřez 5:

$$\circ \text{ zprovoznění: } \underline{\underline{\Delta \sigma_{p,4,5,1} = -\frac{195}{23,49} \cdot 5,73 \cdot 0,858 = -40,81 \text{ MPa}}}$$

$$\circ \text{ konec živ.: } \underline{\underline{\Delta \sigma_{p,4,5,\infty} = -\frac{195}{23,49} \cdot 5,73 \cdot 2,137 = -101,65 \text{ MPa}}}$$

Průřez 10:

$$\circ \text{ zprovoznění: } \underline{\underline{\Delta \sigma_{p,4,10,1} = -\frac{195}{23,49} \cdot 3,45 \cdot 0,858 = -24,57 \text{ MPa}}}$$

$$\circ \text{ konec živ.: } \underline{\underline{\Delta \sigma_{p,4,10,\infty} = -\frac{195}{23,49} \cdot 3,45 \cdot 2,137 = -61,20 \text{ MPa}}}$$

Průřez 15:

$$\circ \text{ zprovoznění: } \underline{\underline{\Delta \sigma_{p,4,15,1} = -\frac{195}{23,49} \cdot 8,37 \cdot 0,858 = -59,61 \text{ MPa}}}$$

$$\circ \text{ konec živ.: } \underline{\underline{\Delta \sigma_{p,4,15,\infty} = -\frac{195}{23,49} \cdot 8,37 \cdot 2,137 = -148,48 \text{ MPa}}}$$

Ztráta smrštění betonu

Učí se ze vztahu:

$$\Delta \sigma_{p,5} = -E_p (\varepsilon_c^s(t) - \varepsilon_c^s(t_0))$$

kde $\varepsilon_c^s(t_0)$ je smrštění betonu v čase předpínání

$\varepsilon_c^s(t)$ je smrštění betonu v daném čase t .

Pomocí programu CaS stanovíme:

$$\varepsilon_c^s(t_0) = 6,33 \cdot 10^{-6} - \text{beton bude ačtroudný po dobu 3 dne}$$

$$\varepsilon_c^s(0) = 31,12 \cdot 10^{-6} - \text{při uvedení do provozu}$$

$$\varepsilon_c^s(\infty) = 340,6 \cdot 10^{-6} - \text{na konci životnosti}$$

Pro všechny průřezy je:

$$\circ \text{ uvedení do provozu: } \underline{\underline{\Delta \sigma_{p,5,1} = -195000 \cdot (31,12 - 6,33) \cdot 10^{-6} = -4,83 \text{ MPa}}}$$

$$\circ \text{ konec životnosti: } \underline{\underline{\Delta \sigma_{p,5,\infty} = -195000 \cdot (340,6 - 6,33) \cdot 10^{-6} = -65,18 \text{ MPa}}}$$

PŘEHLED NAPĚTÍ A SIL V PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽI

viz příložová tabulka

CELKOVÝ ÚČINEK PŘEDPÍNACÍHO KABELU

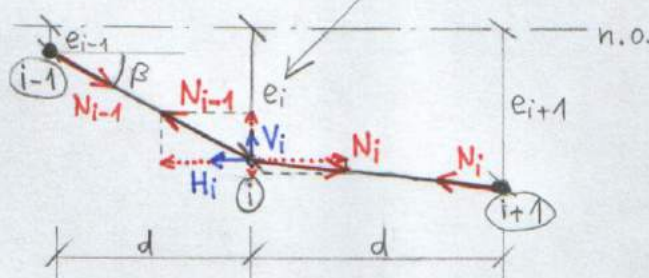
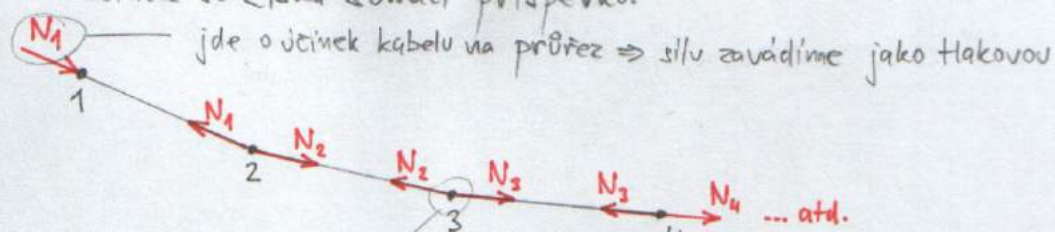
15

Stanovíme pro stav po vnesení předpětí.

METODA 1: NÁHRADA LOMENÝM KABELEM

- o Výpočet včetně použitých vztahů je uveden v příložené tabulce.
- o Výpočet provádíme pro stav těsně po vnesení předpětí, tj. po proběhnutí okamžitých ztrát.

- o Idea: Zakřivený kabel nahradíme lomeným kabelem, body lomu odpovídají desetinným rozpětí polí. V každém bodě nahradíme celkový účinek účinkem vodorovným a svislým. Vynásobením těchto dílčích účinků příslušnými příčinkovými čarami stanovíme jejich příspěvky k celkovému účinku kabelu na průřez 10 nebo 15. Celkový účinek se získá součtem příspěvků.



β je malé $\Rightarrow N \cos \beta \approx N$

$$H_i = N_{i-1} - N_i$$

$$V_i = \frac{e_i - e_{i-1}}{d} \cdot N_{i-1} - \frac{e_{i+1} - e_i}{d} \cdot N_i$$

$$d = \frac{1}{10} L_{\text{krajní}} \text{ nebo } \frac{1}{40} L_{\text{střední}}$$

podle toho, do kterého pole patří daná síla N

- o Konvence: N uvažujeme se znaménkem $\ominus$

Znaménka excentricit: $\downarrow \oplus \quad \uparrow \ominus$

Svislá složka: $\downarrow \oplus \quad \uparrow \ominus$

Vodorovná složka: $\rightarrow \oplus \quad \leftarrow \ominus$ ($L_{\text{oroč}}$)

- o Výsledkem je celkový účinek kabelu na průřez:

$$\underline{M_{p,10,\text{tot}} = 8326 \text{ kNm}}$$

$$\underline{M_{p,15,\text{tot}} = -5673 \text{ kNm}}$$

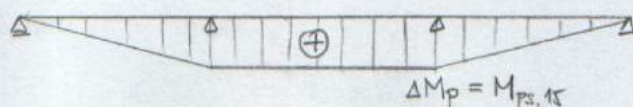
Statically neurčitý moment

Platí:

$$M_{p,15,\text{tot}} = M_{pp,15} + M_{ps,15}$$

kde $M_{pp,15} = N_{p,0,15} e_{p,15}$ je moment od primárních účinků předpětí (st. určitý)

$M_{ps,15}$ je moment od sekundárních účinků (st. neurčitý), jeho průběh na konstrukci je:



Z úvodní rovnice:

16

$$\begin{aligned} M_{P_{S,15}} &= M_{P_{1,15,tot}} - M_{P_{P,15}} = M_{P_{1,15,tot}} - N_{P_{1,15}} e_{P,15} = \\ &= -5673 - (-10441) \cdot 0,75 = 2158 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Pro jednotlivé fáze pak bude:

o Po vnesení předpětí ($t=0$): $\underline{\Delta M_{P,0}} = M_{P_{S,15}} = \underline{2158 \text{ kNm}}$

o Uvedení do provozu ($t=100 \text{ dn}$): $\underline{\Delta M_{P,1}} = \frac{N_{P_{1,15}}}{N_{P_{0,15}}} \cdot M_{P_{S,15}} = \frac{9786}{10441} \cdot 2158 = \underline{2026 \text{ kNm}}$

o Konec životnosti ($t=100 \text{ let}$): $\underline{\Delta M_{P,100}} = \frac{N_{P_{1,95}}}{N_{P_{0,95}}} \cdot M_{P_{S,15}} = \frac{8153}{10441} \cdot 2158 = \underline{1685 \text{ kNm}}$

METODA 2: EKVIVALENTNÍ NÁHRADNÍ SPOJITÉ ZATÍŽENÍ

Pro náhradní spojité zatížení platí (odvození viz str. ⑦):

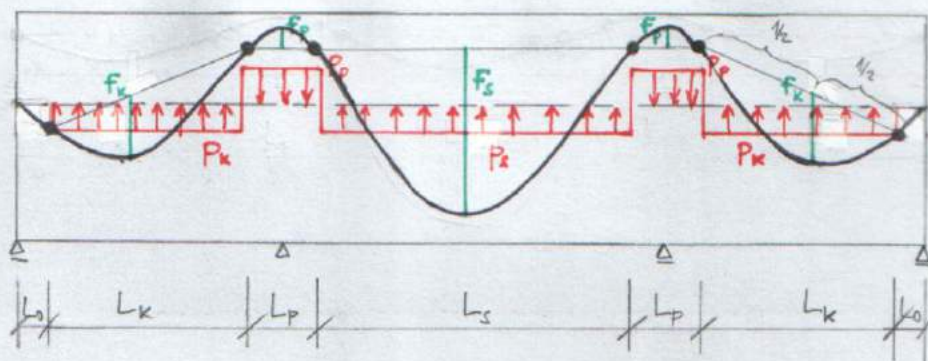
$$p_i = P_i \cdot \frac{8f_i}{L_i^2}$$

kde P_i je průměrná předpínací síla v úseku po okamžitých ztrátách

f_i je vzepětí oblouku, viz schéma

L_i je podorysný průmět oblouku, viz schéma

• inflexní bod — — — těžišťová osa



Výpočet náhradního spojitého zatížení včetně použitých vztahů je uveden v příložené tabulce.

Pomocí FEATu stanovíme průběh momentu od účinku předpětí na konstrukci (viz příloha). Bude:

$$\underline{M_{P_{1,10,tot}}^{FEAT} = 8050 \text{ kNm}} \quad (\text{Rozdíl } 3,4\%)$$

$$\underline{M_{P_{1,15,tot}}^{FEAT} = -5532 \text{ kNm}} \quad (\text{Rozdíl } 2,5\%)$$

Tento výpočet slouží pouze k ověření správnosti výpočtu lomeným kabelem. Čísla zhruba odpovídají, výpočet tedy lze považovat za správný.

POSOUZENÍ MSP – ROVNICE NAPĚTÍ – viz tabulka