

FAST VUT - Ústav betonových a zděných konstrukcí
Předpjatý nosník

Dáno:

rozpětí pole:	l = 27,3 m
šířka horní příruby:	b = 1,15 m
šířka dolní příruby:	06b = 0,69 m
šířka spar mezi horními přírubami:	0,40 m
zatížení nahodilé dlouhodobé:	$g_1 = 6,9 \text{ kN/m}^2$
zatížení nahodilé krátkodobé vozidlo:	V = 59,6 kN
podvalník:	v = 20,6 kN/m
druh předpětí:	omezené
druh předpínací výztuže:	L_p 15,5 - 1620
druh beton:	C35/45 (cca 500)

Zatížení:

ostatní stálé: $g_1 = 6,9 \text{ kN/m}^2$
 $1,55g_1 = 10,070 \text{ kN/m}$

$$M_{g1} = \frac{1}{8} g_1 l^2 = \frac{1}{8} 10,070 \times 27,3^2 = 938,13 \text{ kNm}$$

nahodilé krátkodobé:

vozidlo: V = 59,6 kN

$$\delta_r = \frac{1}{0,95 - (1,4l)^{-0,6}} = \frac{1}{0,95 - (1,4 \times 27,3)^{-0,6}} = 1,19$$

$$M_v = 2 \times 59,6 \times 13,65 - 2 \times 59,6 \times 1,2 = 1484,04 \text{ kNm}$$

$$\delta_r M_v = 1766,01 \text{ kNm}$$

podvalník: v = 20,6 kNm⁻¹

$$\delta_r = 1,05$$

$$M_v = Av = 83,48 \times 20,6 = 1719,71 \text{ kNm}$$

$$\delta_r M_v = 1805,70 \text{ kNm} = \delta_r M_{v,\max}$$

Návrh průřezu:

$$d \geq k_d \sqrt{\frac{M_{g1} + \delta_r M_{v,\max}}{\beta \times b \times |\sigma_{b,dov}|}}$$

$$d \geq 1,02 \sqrt{\frac{938,134 + 1805,70}{0,0902 \times 1,15 \times 16,0 \times 10^3}} = 1,311 \text{ m}$$

Navrženo d = 1,4m

Tvar průřezu:

viz výkresová příloha

Průřezové charakteristiky:

$$x_T = \frac{275 \times 1150 \times 137,5 + \frac{1}{2} \times 2 \times 50 \times 475 \times 291,67 + 825 \times 200 \times 687,5 + \frac{1}{2} \times 2 \times 150 \times 245 \times 1050 + 300 \times 690 \times 1250}{275 \times 1150 + \frac{1}{2} \times 2 \times 50 \times 475 + 825 \times 200 + \frac{1}{2} \times 2 \times 150 \times 245 + 300 \times 690}$$

$$x_i = 784,06 \text{ mm}$$

$$A_b = 7,49 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

$$z_1 = 784,06 \text{ mm}$$

$$z_2 = 615,94 \text{ mm}$$

$$I_{yb} = I_{yi} + A_i a_i^2 = 1,79 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$W_1 = \frac{I_b}{z_1} = 2,280 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

$$W_2 = \frac{I_b}{z_2} = 2,903 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

$$j_1 = \frac{W_2}{A_b} = 304,41 \text{ mm}$$

$$j_2 = \frac{W_1}{A_b} = 387,58 \text{ mm}$$

Posouzení: $\beta = \frac{W_1}{bd^2} = 0,0902 \Rightarrow W_1 = 0,0902 \times 1,15 \times 1,4^2 = 0,2033$

$$W_1 = 0,228 > 0,2033$$

Lepší pro další výpočet

Vlastní tíha nosníku:

$$g_0 = \gamma_b A_b = 26 \text{ kN/m}^3 \times 0,749 \text{ m}^2 = 19,47 \text{ kN/m}$$

Návrh předpínací výztuže:

$$M_{g0}(x=l/2) = \frac{1}{8} 19,47 \times 27,3^2 = 1813,84 \text{ kNm}$$

$$M_g = M_{g0} + M_{g1} = 1813,84 + 938,13 = 2751,97 \text{ kNm}$$

$$\max M_g = M_g + \delta_r M_{v,\max} = 2751,97 + 1805,70 = 4557,67 \text{ kNm}$$

$$\min M_g = M_g + \delta_r M_{v,\min} = 2751,97 + 1,05 \times 0 = 2751,97 \text{ kNm}$$

$$\delta_{g0} = 1,5 \dots \text{ dynamický součinitel z účinné dopravy}$$

$$\delta_{g0} M_{g0} = 1,5 \times 1813,84 = 2720,76 \text{ kNm}$$

$$M_0 = M_{g0} = 1813,84 \text{ kNm} \dots \text{ moment v okamžiku předepnutí}$$

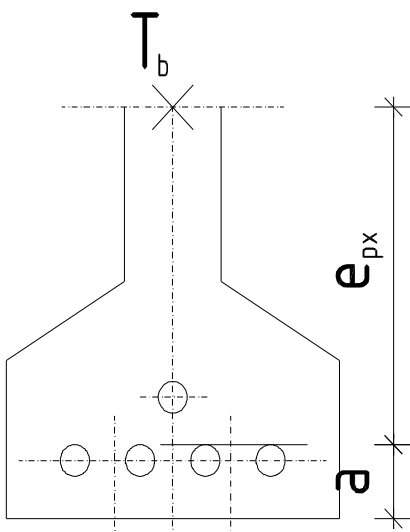
$$M_1 = \sup \{ \max M_g; \min M_g; \delta M_0 \} = \max M_g = 4557,67 \text{ kNm}$$

$$M_2 = \inf \{ \max M_g; \min M_g \} = \min M_g = 2751,97 \text{ kNm}$$

$$\bar{M} = \inf \{ M_2; M_0; M_g \} = M_0 = M_{g0} = 1813,84 \text{ kNm}$$

$$e_{px}(l/2) = z_1 - a_{\text{odhad}} = 784,06 - 140 = 644,06 \text{ mm}$$

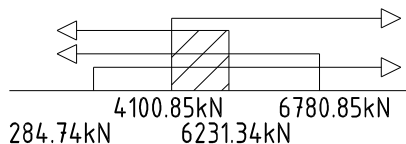
$$\omega = \frac{p_\infty}{p_0} = 0,9 \dots \text{ (pro návrh se volí) - účinnost předpětí}$$



FAST VUT - Ústav betonových a zděných konstrukcí
Předpjatý nosník

Soustava nerovnic:

$$\begin{aligned} \textcircled{1} \quad \oplus: & -\omega p_0 (e_{px} + j_2) + M_1 \leq W_1 \sigma_{dov,1}^+ \\ & \ominus: -p_0 (e_{px} + j_2) + \overline{M} \geq W_1 \sigma_{dov,1}^- \\ \textcircled{2} \quad \oplus: & p_0 (e_{px} - j_1) - \overline{M} \leq W_2 \sigma_{dov,2}^+ \\ & \ominus: \omega p_0 (e_{px} - j_1) - M_1 \geq W_2 \sigma_{dov,2}^- \end{aligned}$$



$$p_0 \geq \frac{W_1 \sigma_{dov,1}^+ - M_1}{-\omega(e_{px} + j_2)} = \frac{0,2280 \times (2,6 \times 10^3) - 4557,67}{-0,9(0,644 + 0,388)} = 4100,85 \text{ kN}$$

$$p_0 \leq \frac{W_1 \sigma_{dov,1}^- - \overline{M}}{-(e_{px} + j_2)} = \frac{0,2280 \times (-18 \times 10^3) - 1813,84}{-(0,644 + 0,388)} = 6780,85 \text{ kN}$$

$$p_0 \leq \frac{W_2 \sigma_{dov,2}^+ + \overline{M}}{(e_{px} - j_1)} = \frac{0,2903 \times 1,05 \times 10^3 + 1813,84}{(0,644 - 0,304)} = 6231,34 \text{ kN}$$

$$p_0 \geq \frac{W_2 \sigma_{dov,2}^- + M_1}{\omega(e_{px} - j_1)} = \frac{0,2903 \times (-16 \times 10^3) + 4557,67}{0,9(0,644 - 0,304)} = -284,74 \text{ kN}$$

$$\min p_0 = 4100,85 \text{ kN}$$

$$\max p_0 = 6780,85 \text{ kN}$$

$$p_0 = \min \{1,03 \min p_0 ; 0,5(\min p_0 + \max p_0)\} = \{4223,88 ; 5440,85\}$$

$$p_0 \sim 4830 \text{ kN}$$

Napětí ve výztuži

$$\sigma_{p_0} = \alpha 0,81 \sigma_{0,2} = 0,935 \times 0,81 \times 1380 = 1045,14 \text{ Mpa}$$

$$A_{p,návrh} = \frac{p_0}{\sigma_{p_0}} = \frac{4830}{1045,14} = 4621,40 \text{ mm}^2$$

Počet lan:

$$n_e = \frac{A_{p,návrh}}{a_p} = \frac{4621,40}{141,57} = 32,6 \cong 33 \text{ ks}$$

$$a_p \dots \text{plocha jednoho lana } 141,57 \text{ mm}^2$$

Počet kabelů:

$$n_k = n_e / 7 = 33 / 7 = 4 \text{ ks} \Rightarrow \begin{array}{l} 4 \text{ kabely po 7-ti lanech} \\ 1 \text{ kabel po 6-ti lanech} \end{array}$$

$$34 = A_p / 141,57 \Rightarrow A_p = 4813,38 \text{ mm}^2$$

Skutečná p_0 stanovená pro $A_p \geq A_{p,návrh}$

$$p_0 = A_p \sigma_{p_0} = 4813,38 \times 1045,14 \times 10^{-3} = 5030,66 \text{ kN}$$

$$p_0 \in \langle \min p_0 ; \max p_0 \rangle$$

Rozmístění kabelů v průřezu (1/2):

Poloha těžiště:

$$a_t = 168,82 \text{ mm}$$

$$e_{px} (l/2) = z_1 - a_t = 784,06 - 145,88 = 638,18 \text{ mm}$$

$$|e_{px} - e_{px,návrh}| = |638,18 - 644,06| = 5,88 \text{ mm}$$

$$\text{Posouzení: } 5,88 \leq d/200 = 7 \text{ mm}$$

vyhovuje

Návrh kabelových drah:

$$1/8 = 3,4125 \text{ m}$$

$$1/4 = 6,825 \text{ m}$$

$$3/8 = 10,2375 \text{ m}$$

$$1/2 = 13,65 \text{ m}$$

Moment od vlastní tíhy M_{go}

$$g_o = 19,47 \text{ kN/m}$$

$$A = B = 27,3 \times 0,5 \times 19,47 = 265,77 \text{ kN}$$

$$1/8 \Rightarrow M_{go} = 793,56 \text{ kNm}$$

$$1/4 \Rightarrow M_{go} = 1360,39 \text{ kNm}$$

$$3/8 \Rightarrow M_{go} = 1700,48 \text{ kNm}$$

$$1/2 \Rightarrow M_{go} = 1813,85 \text{ kNm}$$

$$M_{go}(x) = Ax - g_o x^2/2$$

Moment od vlastní tíhy $M_g = M_{go} + M_{g1}$

$$g_g = g_o + g_1 = 19,47 + 10,070 = 29,54 \text{ kN/m}$$

$$A = B = 403,22 \text{ kN}$$

$$1/8 \Rightarrow M_g = 1203,99 \text{ kNm}$$

$$1/4 \Rightarrow M_g = 2063,99 \text{ kNm}$$

$$3/8 \Rightarrow M_g = 2579,98 \text{ kNm}$$

$$1/2 \Rightarrow M_g = 2751,98 \text{ kNm}$$

Moment M_v - podvalník

$$v = 20,6 \text{ kNm}^{-1}$$

$$Q = 20,6 \times 18,5 = 381,1 \text{ kN}$$

Pro $\eta_1 = \eta_2$ platí:

$$\frac{x-a}{x} = \frac{8,8-x+a}{27,3-x} \Rightarrow a = \frac{18,5}{27,3}x$$

$$B = \frac{(x-a+9,25) \times Q}{27,3}$$

$$A = Q - B$$

$$M_v(x) = Ax - \frac{a^2 v}{2}$$

FAST VUT - Ústav betonových a zděných konstrukcí
Předpjatý nosník

$\frac{1}{8}$: $x = 3,4125$ m
 $a = 2,3125$ m
 $B = 144,48$ kN
 $A = 236,62$ kN
 $M_v = 752,38$ kNm

$\frac{1}{4}$: $x = 6,825$ m
 $a = 4,625$ m
 $B = 159,84$ kN
 $A = 221,26$ kN
 $M_v = 1289,78$ kNm

$\frac{3}{8}$: $x = 10,2375$ m
 $a = 6,9375$ m
 $B = 175,19$ kN
 $A = 205,91$ kN
 $M_v = 1612,28$ kNm

$\frac{1}{2}$: $x = 13,25$ m
 $a = 9,25$ m
 $B = 190,55$ kN
 $A = 190,55$ kN
 $M_v = 1719,71$ kNm

Moment M_v - 4 náprava
Winklerovo kritérium
 $V = 59,6$ kN
 $R = 4xV = 4x59,6 = 238,4$ kN

$\frac{1}{8}$: $x = 3,4125$ m
$$R \frac{x}{l} = 238,4 \frac{3,4125}{27,3} = 29,8 \text{ kN}$$
 $R_1 = 59,6 > 29,8 \Rightarrow$ 1. břemeno do x
 $59,6(23,8875 + 22,6875 + 21,4875 + 20,2875) = Ax27,3$
 $A = 192,88$ kN
 $M_v = Ax = 192,88x3,4125 = 658,20$ kNm

$\frac{1}{4}$: $x = 6,825$ m
$$R \frac{x}{l} = 238,4 \frac{6,825}{27,3} = 59,6 \text{ kN}$$
 $R_1 = 59,6 = 59,6 \Rightarrow$ 1. břemeno do x
 $59,6(20,2875 + 19,0875 + 17,8875 + 16,6875) = Ax27,3$
 $A = 161,44$ kN
 $M_v = Ax = 161,44x6,825 = 1101,83$ kNm

FAST VUT - Ústav betonových a zděných konstrukcí
Předpjatý nosník

$$\frac{3}{8}: \quad x = 10,2375 \text{ m}$$

$$R \frac{x}{l} = 238,4 \frac{10,2375}{27,3} = 89,4 \text{ kN}$$

$$R_1 = 59,6 < 89,4 \Rightarrow 2. \text{ břemeno do } x$$

$$59,6(18,2625 + 17,0625 + 15,8625 + 14,6625) = Ax_{27,3}$$

$$A = 143,76 \text{ kN}$$

$$M_v = Ax = 143,76 \times 10,2375 = 1471,74 \text{ kNm}$$

$$\frac{1}{2}: \quad x = 13,65 \text{ m}$$

$$M_v = 1484,04 \text{ kNm} \Rightarrow \text{viz. str. 1}$$

$\frac{1}{8}$ Výpočet $e_{p,\min}$; $e_{p,\max}$ pro $x = \frac{1}{8} l$

$$M_{g_0} = 793,56 \text{ kNm}$$

$$M_g = 1203,89 \text{ kNm}$$

$$\max M_v = 752,38 \text{ kNm}$$

$$\min M_v = 658,20 \text{ kNm}$$

$$\max M_g = M_g + \delta_r \max M_v = 1203,89 + 1,05 \times 752,38 = 1993,89 \text{ kNm}$$

$$\min M_g = M_g + \delta_r \min M_v = 1203,89 + 1,05 \times 0 = 1203,89 \text{ kNm}$$

$$M_o = M_{g_0} = 793,56 \text{ kNm}$$

$$M_1 = \max M_g = 1993,89 \text{ kNm}$$

$$M_2 = M_g = 1203,89 \text{ kNm}$$

$$\bar{M} = M_o = 753,56 \text{ kNm}$$

p_o - konstantní po celé délce nosníku

$$p_o = 5030,66 \text{ kN}$$

$$\omega = 0,9$$

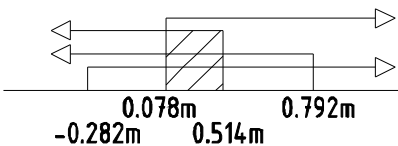
$$\textcircled{1} \quad \oplus: \quad -\omega p_o (e_{px} + j_2) + M_1 \leq W_1 \sigma_{dov,1}^+ \\ -0,9 \times 5030,66 (e_{px} + 0,388) + 1993,89 \leq 0,228 \times 2,6 \times 10^3 \\ 4527,59 e_{px} \geq 354,62 \\ e_{px} \geq 0,078 \text{ m}$$

$$\ominus: \quad -p_o (e_{px} + j_2) + \bar{M} \geq W_1 \sigma_{dov,1}^- \\ -5030,66 (e_{px} + 0,388) + 753,56 \geq 0,228 \times (-18 \times 10^3) \\ e_{px} \leq 0,792 \text{ m}$$

$$\textcircled{2} \quad \oplus: \quad p_o (e_{px} - j_1) - \bar{M} \leq W_2 \sigma_{dov,2}^+ \\ 5030,66 (e_{px} - 0,304) - 753,56 \leq 0,2903 \times 1,05 \times 10^3 \\ e_{px} \leq 0,514 \text{ m}$$

$$\ominus: \quad \omega p_o (e_{px} - j_1) - M_1 \geq W_2 \sigma_{dov,2}^- \\ 0,9 \times 5030,66 (e_{px} - 0,304) - 1993,89 \geq 0,2903 \times (-16 \times 10^3) \\ e_{px} \geq -0,282 \text{ m}$$

$$e_p \in \langle -0,282; 0,514 \rangle$$



¼ Výpočet $e_{p,\min}$; $e_{p,\max}$ pro $x = \frac{1}{4} l$

$$M_{go} = 1360,39 \text{ kNm}$$

$$M_g = 2063,99 \text{ kNm}$$

$$\max M_v = 1289,78 \text{ kNm}$$

$$\min M_v = 1101,83 \text{ kNm}$$

$$\max M_g = M_g + \delta_r \max M_v = 2063,99 + 1,05 \times 1289,78 = 3418,26 \text{ kNm}$$

$$\min M_g = M_g + \delta_r \min M_v = 2063,99 + 1,05 \times 0 = 2063,99 \text{ kNm}$$

$$M_o = M_{go} = 1360,39 \text{ kNm}$$

$$M_1 = \max M_g = 3418,26 \text{ kNm}$$

$$M_2 = M_g = 2063,99 \text{ kNm}$$

$$\overline{M} = M_o = 1360,39 \text{ kNm}$$

p_o - konstantní po celé délce nosníku

$$p_o = 5030,66 \text{ kN}$$

$$\omega = 0,9$$

$$\textcircled{1} \quad \oplus: -\omega p_o (e_{px} + j_2) + M_1 \leq W_1 \sigma_{dov,1}^+ \\ -0,9 \times 5030,66 (e_{px} + 0,388) + 3418,26 \leq 0,228 \times 2,6 \times 10^3 \\ e_{px} \geq 0,236 \text{ m}$$

$$\ominus: -p_o (e_{px} + j_2) + \overline{M} \geq W_1 \sigma_{dov,1}^- \\ -5030,66 (e_{px} + 0,388) + 1360,39 \geq 0,228 \times (-18 \times 10^3) \\ e_{px} \leq 0,698 \text{ m}$$

$$\textcircled{2} \quad \oplus: p_o (e_{px} - j_1) - \overline{M} \leq W_2 \sigma_{dov,2}^+ \\ 5030,66 (e_{px} - 0,304) - 1360,39 \leq 0,2903 \times 1,05 \times 10^3 \\ e_{px} \leq 0,635 \text{ m}$$

$$\ominus: \omega p_o (e_{px} - j_1) - M_1 \geq W_2 \sigma_{dov,2}^- \\ 0,9 \times 5030,66 (e_{px} - 0,304) - 3418,26 \geq 0,2903 \times (-16 \times 10^3) \\ e_{px} \geq 0,033 \text{ m}$$

$$e_p \in \langle 0,033; 0,635 \rangle$$

$\frac{3}{8}$ Výpočet $e_{p,\min}$; $e_{p,\max}$ pro $x = \frac{3}{8} l$

$$M_{go} = 1700,48 \text{ kNm}$$

$$M_g = 2579,98 \text{ kNm}$$

$$\max M_v = 1612,28 \text{ kNm}$$

$$\min M_v = 1471,74 \text{ kNm}$$

$$\max M_g = M_g + \delta_r \max M_v = 2579,98 + 1,05 \times 1612,28 = 4272,87 \text{ kNm}$$

$$\min M_g = M_g + \delta_r \min M_v = 2579,98 + 1,05 \times 0 = 2579,98 \text{ kNm}$$

$$M_o = M_{go} = 1700,48 \text{ kNm}$$

$$M_1 = \max M_g = 4272,87 \text{ kNm}$$

$$M_2 = M_g = 2579,98 \text{ kNm}$$

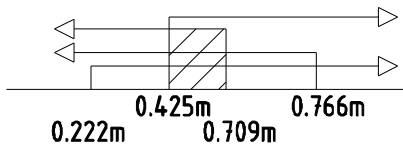
$$\overline{M} = M_o = 1700,48 \text{ kNm}$$

p_o - konstantní po celé délce nosníku

$$p_o = 5030,66 \text{ kN}$$

$$\omega = 0,9$$

FAST VUT - Ústav betonových a zděných konstrukcí
Předpjatý nosník



$$\textcircled{1} \oplus: -\omega p_0 (e_{px} + j_2) + M_1 \leq W_1 \sigma_{dov,1}^+$$

$$-0,9 \times 5030,66 (e_{px} + 0,388) + 4272,87 \leq 0,228 \times 2,6 \times 10^3$$

$$e_{px} \geq 0,425 \text{ m}$$

$$\ominus: -p_0 (e_{px} + j_2) + \overline{M} \geq W_1 \sigma_{dov,1}^-$$

$$-5030,66 (e_{px} + 0,388) + 1700,48 \geq 0,228 \times (-18 \times 10^3)$$

$$e_{px} \leq 0,766 \text{ m}$$

$$\textcircled{2} \oplus: p_0 (e_{px} - j_1) - \overline{M} \leq W_2 \sigma_{dov,2}^+$$

$$5030,66 (e_{px} - 0,304) - 1700,48 \leq 0,2903 \times 1,05 \times 10^3$$

$$e_{px} \leq 0,709 \text{ m}$$

$$\ominus: \omega p_0 (e_{px} - j_1) - M_1 \geq W_2 \sigma_{dov,2}^-$$

$$0,9 \times 5030,66 (e_{px} - 0,304) - 4272,87 \geq 0,2903 \times (-16 \times 10^3)$$

$$e_{px} \geq 0,222 \text{ m}$$

$$e_p \in \langle 0,425; 0,709 \rangle$$

½ Výpočet $e_{p,\min}$; $e_{p,\max}$ pro $x = \frac{1}{2} l$

$$M_{go} = 1813,85 \text{ kNm}$$

$$M_g = 2751,98 \text{ kNm}$$

$$\max M_v = 1719,71 \text{ kNm}$$

$$\min M_v = 1484,04 \text{ kNm}$$

$$\max M_g = M_g + \delta_r \max M_v = 2751,98 + 1,05 \times 1719,71 = 4557,68 \text{ kNm}$$

$$\min M_g = M_g + \delta_r \min M_v = 2751,98 + 1,05 \times 0 = 2751,98 \text{ kNm}$$

$$M_o = M_{go} = 1813,85 \text{ kNm}$$

$$M_1 = \max M_g = 4557,68 \text{ kNm}$$

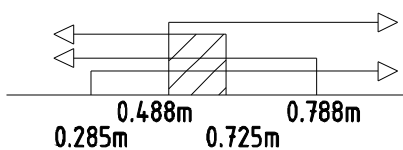
$$M_2 = M_g = 2751,98 \text{ kNm}$$

$$\overline{M} = M_o = 1813,85 \text{ kNm}$$

p_o - konstantní po celé délce nosníku

$$p_o = 5030,66 \text{ kN}$$

$$\omega = 0,9$$



$$\textcircled{1} \oplus: -\omega p_0 (e_{px} + j_2) + M_1 \leq W_1 \sigma_{dov,1}^+$$

$$-0,9 \times 5030,66 (e_{px} + 0,388) + 4557,68 \leq 0,228 \times 2,6 \times 10^3$$

$$e_{px} \geq 0,488 \text{ m}$$

$$\ominus: -p_0 (e_{px} + j_2) + \overline{M} \geq W_1 \sigma_{dov,1}^-$$

$$-5030,66 (e_{px} + 0,388) + 1813,85 \geq 0,228 \times (-18 \times 10^3)$$

$$e_{px} \leq 0,788 \text{ m}$$

$$\textcircled{2} \oplus: p_0 (e_{px} - j_1) - \overline{M} \leq W_2 \sigma_{dov,2}^+$$

$$5030,66 (e_{px} - 0,304) - 1813,85 \leq 0,2903 \times 1,05 \times 10^3$$

$$e_{px} \leq 0,725 \text{ m}$$

$$\ominus: \omega p_0 (e_{px} - j_1) - M_1 \geq W_2 \sigma_{dov,2}^-$$

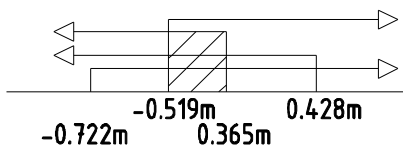
$$0,9 \times 5030,66 (e_{px} - 0,304) - 4557,68 \geq 0,2903 \times (-16 \times 10^3)$$

$$e_{px} \geq 0,285 \text{ m}$$

$$e_p \in \langle 0,488; 0,725 \rangle$$

FAST VUT - Ústav betonových a zděných konstrukcí
Předpjatý nosník

0/8 Výpočet $e_{p,\min}$; $e_{p,\max}$ pro $x = 0$ Začátek nosníku
 $M_0 = M_1 = M_2 = \bar{M} = 0$ kNm



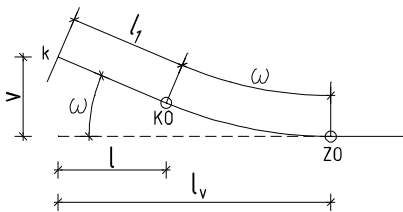
$$\begin{aligned} \textcircled{1} \oplus: & -\omega p_0 (e_{px} + j_2) + M_1 \leq W_1 \sigma_{dov,1}^+ \\ & -0,9 \times 5030,66 (e_{px} + 0,388) + 0 \leq 0,228 \times 2,6 \times 10^3 \\ & e_{px} \geq -0,519 \text{ m} \\ \ominus: & -p_0 (e_{px} + j_2) + \bar{M} \geq W_1 \sigma_{dov,1}^- \\ & -5030,66 (e_{px} + 0,388) + 0 \geq 0,228 \times (-18 \times 10^3) \\ & e_{px} \leq 0,428 \text{ m} \\ \textcircled{2} \oplus: & p_0 (e_{px} - j_1) - \bar{M} \leq W_2 \sigma_{dov,2}^+ \\ & 5030,66 (e_{px} - 0,304) - 0 \leq 0,2903 \times 1,05 \times 10^3 \\ & e_{px} \leq 0,365 \text{ m} \\ \ominus: & \omega p_0 (e_{px} - j_1) - M_1 \geq W_2 \sigma_{dov,2}^- \\ & 0,9 \times 5030,66 (e_{px} - 0,304) - 0 \geq 0,2903 \times (-16 \times 10^3) \\ & e_{px} \geq -0,722 \text{ m} \end{aligned}$$

$$e_p \in \langle -0,519; 0,365 \rangle$$

Návrh rozmístění kabelů nad podporou:

Výpočet těžiště kabelů:

$$x_t = \frac{2 \times \pi \times 17,76^2 \times 150 + \pi \times 17,76^2 \times 630 + \pi \times 16,44^2 \times 900 + \pi \times 17,76^2 \times 1150}{4\pi \times 17,76^2 + \pi \times 16,44^2} = 595 \text{ mm}$$



	v[m]	l[m]	l_v[m]	r[m]	omega[°]	l_l[m]
①+②	0,06	2,50	3,00	22,92	1,25	2,50
③	0,54	7,00	8,00	13,89	4,12	7,02
④	0,665	8,50	10,00	20,86	4,11	8,52
⑤	0,77	10,50	12,50	29,87	3,83	10,52

$$\begin{aligned} r_{\min} &= (l_v^2 - l^2) / 2v & l_v, l \dots \text{ volím} \\ \text{tg } \omega &= 2v / (l_v + l) \\ l_l &= l / \cos \omega \end{aligned}$$

Výpočet vzepětí kabelů:

$$\begin{aligned} v_{1,2} &= 150 - 90 = 60 \text{ mm} \\ v_3 &= 630 - 90 = 540 \text{ mm} \\ v_4 &= 850 - 185 = 665 \text{ mm} \\ v_5 &= 1050 - 280 = 770 \text{ mm} \end{aligned}$$

Výpočet těžiště (vzdál. a) jednotlivých kabelů v jednotlivých řezech:

$$\begin{aligned} v &= x \text{ tg } \omega \\ \textcircled{3} \text{ v } 1/8: & v = 3,4125 \text{ tg } \omega \\ & a = 0,63 - v = 0,63 - 3,4125 \text{ tg } \omega \\ \textcircled{4} \text{ v } 1/8: & v = 3,4125 \text{ tg } \omega \\ & a = 0,90 - v = 0,90 - 3,4125 \text{ tg } \omega \\ \textcircled{5} \text{ v } 1/8: & v = 3,4125 \text{ tg } \omega \\ & a = 1,15 - v = 1,15 - 3,4125 \text{ tg } \omega \end{aligned}$$

FAST VUT - Ústav betonových a zděných konstrukcí
Předpjatý nosník

③ v 1/4: $v = 6,825tg \omega$
 $a = 0,63 - v = 0,63 - 6,825tg \omega$

④ v 1/4: $v = 6,825tg \omega$
 $a = 0,90 - v = 0,90 - 6,825tg \omega$

⑤ v 1/4: $v = 6,825tg \omega$
 $a = 1,15 - v = 1,15 - 6,825tg \omega$

③ v 3/8: $v = 10,2375tg \omega$
 $a = 0,63 - v = 0,63 - 10,2375tg \omega$

④ v 3/8: $v = 10,2375tg \omega$
 $a = 0,90 - v = 0,90 - 10,2375tg \omega$

⑤ v 3/8: $v = 10,2375g \omega$
 $a = 1,15 - v = 1,15 - 10,2375tg \omega$

Těžiště kabelů v jednotlivých řezech + ověření e_p :

	0/8	1/8	1/4	3/8	1/2	počet prutů v kanálcích
①+②	0,15	0,09	0,09	0,09	0,09	14
③	0,63	0,38	0,14	0,09	0,09	7
④	0,85	0,60	0,36	0,185	0,185	6
⑤	1,05	0,82	0,59	0,36	0,28	7

0/8: $a = \frac{14 * 0,15 + 7 * 0,63 + 6 * 0,85 + 7 * 1,05}{34} = 0,558m$

$e_p = z_1 - a = 0,784 - 0,558 = 0,226 m$
 $e_p \in \langle -0,519; 0,365 \rangle$

1/8: $a = \frac{14 * 0,09 + 7 * 0,38 + 6 * 0,60 + 7 * 0,82}{34} = 0,390m$

$e_p = z_1 - a = 0,784 - 0,390 = 0,394 m$
 $e_p \in \langle 0,078; 0,514 \rangle$

1/4: $a = \frac{14 * 0,09 + 7 * 0,14 + 6 * 0,36 + 7 * 0,59}{34} = 0,251m$

$e_p = z_1 - a = 0,784 - 0,251 = 0,533 m$
 $e_p \in \langle 0,236; 0,635 \rangle$

3/8: $a = \frac{14 * 0,09 + 7 * 0,09 + 6 * 0,185 + 7 * 0,36}{34} = 0,162m$

$e_p = z_1 - a = 0,784 - 0,162 = 0,622 m$
 $e_p \in \langle 0,425; 0,709 \rangle$

1/2: $a = \frac{14 * 0,09 + 7 * 0,09 + 6 * 0,185 + 7 * 0,28}{34} = 0,146m$

$e_p = z_1 - a = 0,784 - 0,146 = 0,638 m$
 $e_p \in \langle 0,488; 0,725 \rangle$

Vyhovuje

Posouzení nosníku

Účinky zatížení:

$$\max M_{g_0} = M_{g_0} (l/2) = \frac{1}{8} g_0 l^2 = \frac{1}{8} 19,47 \times 27,3^2 = 1813,85 \text{ kNm}$$

$$M_{g_0, \text{smyk}} = M_{g_0} (x = 1\text{m}) = \frac{1}{2} g_0 l x - \frac{1}{2} g_0 x^2 = \frac{1}{2} 19,47 \times 27,3 \times 1 - \frac{1}{2} 19,47 \times 1^2 = 256,03 \text{ kNm}$$

$$Q_{g_0, \text{smyk}} = Q_{g_0} (x = 1\text{m}) = \frac{1}{2} g_0 l - g_0 x = \frac{1}{2} 19,47 \times 27,3 - 19,47 \times 1 = 246,30 \text{ kN}$$

Pozn: Kritický průřez z hlediska smykového namáhání se nachází v $x = 1\text{m} \Rightarrow$ v začátku náběhu zesílení stojiny nosníku

$$\max M_{g_1} = M_{g_1} (l/2) = \frac{1}{8} g_1 l^2 = \frac{1}{8} 10,070 \times 27,3^2 = 938,13 \text{ kNm}$$

$$M_{g_1, \text{smyk}} = M_{g_1} (x = 1\text{m}) = \frac{1}{2} g_1 l x - \frac{1}{2} g_1 x^2 = \frac{1}{2} 10,070 \times 27,3 \times 1 - \frac{1}{2} 10,070 \times 1^2 = 132,42 \text{ kNm}$$

$$Q_{g_1, \text{smyk}} = Q_{g_1} (x = 1\text{m}) = \frac{1}{2} g_1 l - g_1 x = \frac{1}{2} 10,070 \times 27,3 - 10,070 \times 1 = 127,39 \text{ kN}$$

Vozidlo:

$$\max M_V \text{ stanovím pro soulad se stálým zatížením v } x = l/2 = 13,65\text{m}$$

$$\max M_V = 1484,04 \text{ kNm} \dots \text{ viz str.1}$$

Smyk $\Rightarrow x = 1\text{m}$

$$R = 4V = 4 \times 59,6 \text{ kN} = 238,4 \text{ kN}$$

$$R \frac{x}{l} = 238,4 \frac{1}{27,3} = 8,73 \text{ kN}$$

$$R_1 = 59,6 \text{ kN} > 8,73 \text{ kN} \Rightarrow F_{\text{krit}} \text{ je první břemeno}$$

$$M_{V, \text{smyk}} = V \sum \eta_{M_i} = 59,6 \times 0,97 \times \left(1 + \frac{26,1}{27,3} + \frac{24,9}{27,3} + \frac{23,7}{27,3} \right) = 216,00 \text{ kNm}$$

$$Q_{V, \text{smyk}} = V \sum \eta_{Q_i} = 59,6 \times 0,97 \times \left(1 + \frac{26,1}{27,3} + \frac{24,9}{27,3} + \frac{23,7}{27,3} \right) = 216,00 \text{ kN}$$

Podvalník:

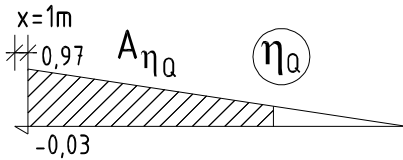
$$\max M_V \text{ stanovím pro soulad se stálým zatížením v } x = l/2 = 13,65\text{m}$$

$$\max M_V = 1719,71 \text{ kNm} \dots \text{ viz str.1}$$

Smyk $\Rightarrow x = 1\text{m}$

$$M_{v, \text{smyk}} = v A_{\eta_M} = 20,6 \left(18,5 \times \frac{0,97}{27,3} \times 10 + \frac{1}{2} \times 18,5 \times \left(0,97 - \frac{0,97}{27,3} \times 7,8 \right) \right) = 252,54 \text{ kNm}$$

FAST VUT - Ústav betonových a zděných konstrukcí
Předpjatý nosník



$$Q_{v, \text{smyk}} = v A_{\eta Q} = 20,6 \left(18,5 \times \frac{0,97}{27,3} \times 10 + \frac{1}{2} \times 18,5 \times \left(0,97 - \frac{0,97}{27,3} \times 7,8 \right) \right) = 252,54 \text{ kN}$$

Potom pro namáhání ohybem ($x = l/2 = 13,65\text{m}$):

$$\begin{aligned} M_g &= M_{g0} + M_{g1} = 1813,84 + 938,13 = 2751,97 \text{ kNm} \\ \max M_{\text{nahod}} &= \max \{ \max M_v; \max M_v \} = \{ 1484,04; 1719,71 \} \\ &\Rightarrow \max M_{\text{nahod}} = 1719,71 \text{ kNm} \\ \min M_{\text{nahod}} &= 0 \text{ kNm} \\ \max M_g &= M_g + \delta_r M_{v, \max} = 2751,97 + 1805,70 = 4557,67 \text{ kNm} \\ \min M_g &= M_g + \delta_r M_{v, \min} = 2751,97 + 1,05 \times 0 = 2751,97 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Pro největší smykové namáhání ($x = 1\text{m}$):

$$\begin{aligned} M_{g, \text{smyk}} &= M_{g0, \text{smyk}} + M_{g1, \text{smyk}} = 256,03 + 132,42 = 388,45 \text{ kNm} \\ Q_{g, \text{smyk}} &= Q_{g0, \text{smyk}} + Q_{g1, \text{smyk}} = 246,30 + 127,39 = 373,69 \text{ kNm} \\ \max Q_{\text{nahod}} &= \max \{ Q_{v, \text{smyk}}; Q_{v, \text{smyk}} \} = \{ 216,00; 252,54 \} \\ &\Rightarrow \max Q_{\text{nahod}} = 252,54 \text{ kNm} \\ &\Rightarrow \max M_{\text{nahod}} = 252,54 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\max Q_q = 0,9 Q_{g, \text{smyk}} + 1,1 \delta_r Q_{\text{nahod}} = 0,9 \times 373,69 + 1,1 \times 1,05 \times 252,54 = 628,00 \text{ kN}$$

$$\max M_q = 0,9 M_{g, \text{smyk}} + 1,1 \delta_r M_{\text{nahod}} = 0,9 \times 388,45 + 1,1 \times 1,05 \times 252,54 = 641,29 \text{ kNm}$$

Průřezové charakteristiky

A) pro plný průřez

$$A_b = 7,49 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

$$z_1 = 784,06 \text{ mm}$$

$$z_2 = 615,94 \text{ mm}$$

$$I_{yb} = I_{yi} + A_i a_i^2 = 1,79 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$i_{y,b} = \sqrt{\frac{I_{y,b}}{A_b}} = 488,86 \text{ mm}$$

$$W_1 = \frac{I_b}{z_1} = 2,280 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

$$W_2 = \frac{I_b}{z_2} = 2,903 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

$$j_1 = \frac{W_2}{A_b} = 304,41 \text{ mm}$$

$$j_2 = \frac{W_1}{A_b} = 387,58 \text{ mm}$$

B) pro průřez oslabený kanálky v $x = l/2 = 13,65\text{m}$:

$$A_k = 4a_k = 4x\frac{1}{4}\pi d^2 = 5x\frac{1}{4}\pi 60^2 = 14137\text{mm}^2$$

$$A_{b,0} = A_b - A_k = 749000 - 14137 = 7,349 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

$$I_{y,k} = \sum [a_k (a_1 - a_0)^2] = 3x\frac{1}{4}\pi 60^2 (90 - 146)^2 + \frac{1}{4}\pi 60^2 (185 - 146)^2 + \frac{1}{4}\pi 60^2 (280 - 146)^2 = 8,17 \times 10^7 \text{ mm}^4$$

$$z_{1,0} = \frac{A_b z_1 - A_k a_0}{A_{b,0}} = \frac{7,49 \times 10^5 \times 784,1 - 14137 \times 146}{7,349 \times 10^5} =$$

$$= 796,34\text{mm}$$

$$z_{2,0} = d - z_{1,0} = 1400 - 796,34 = 603,66 \text{ mm}$$

$$I_{yb,0} = I_{yb} - I_{yk} - A_b A_k (z_{1,0} - a_0)^2 / A_{b,0} = 1,79 \times 10^{11} - 8,17 \times 10^7 - 7,49 \times 10^5 \times 14137 \times (796,34 - 146)^2 / (7,349 \times 10^5) = 1,728 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$i_{b,0} = \sqrt{\frac{I_{yb,0}}{A_{b,0}}} = 484,9\text{mm}$$

$$W_{1,0} = \frac{I_{b,0}}{z_{1,0}} = 2,170 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

$$W_{2,0} = \frac{I_{b,0}}{z_{2,0}} = 2,863 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

$$j_{1,0} = \frac{W_{2,0}}{A_{b,0}} = 389,51\text{mm}$$

$$j_{2,0} = \frac{W_{1,0}}{A_{b,0}} = 295,28\text{mm}$$

$$e_{p,0} = z_{1,0} - a_0 = 796,34 - 146 = 650,34 \text{ mm}$$

Pružnostní konstanty

$$B500 \Rightarrow E_b = 38,5 \text{ Gpa}$$

$$A_p = 34 \times 141,57 = 4813,38 \text{ mm}^2$$

$$\dots a_p = 141,57 - \text{plocha 1 lana}$$

$$E_p = 195 \text{ Gpa}$$

$$\Rightarrow \nu = \frac{E_p A_p}{E_b A_{b,0}} = \frac{195 \times 4813,38}{38,5 \times 7,349 \times 10^5} = 0,033$$

$$\psi = \nu \left[1 + \frac{e_{p,0}^2}{i_{b,0}^2} \right] = 0,033 \times \left[1 + \frac{650,34^2}{484,9^2} \right] = 0,092$$

Stanovení skupin kabelů

A) Geometrie

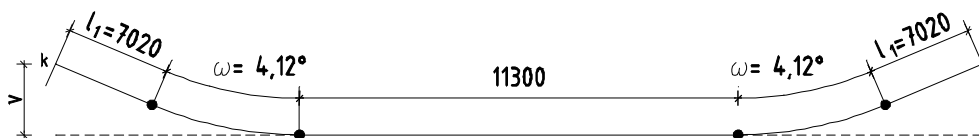
a1) Kabely ①+②

Považujeme za přímé, tj. mírné zakřivení zanedbáváme.

a2) Kabel ③

Přepočít poloměru:

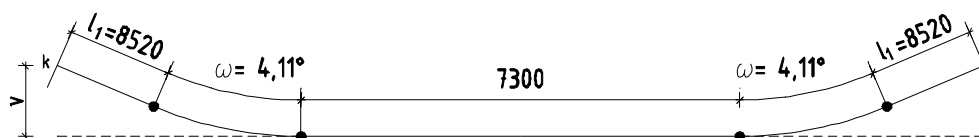
$$r = r_{\min}(1+0,5\text{tg}^2\omega) = 13890(1+0,5\text{tg}^2 4,12^\circ) = 13926 \text{ mm}$$



a3) Kabel ④

Přepočít poloměru:

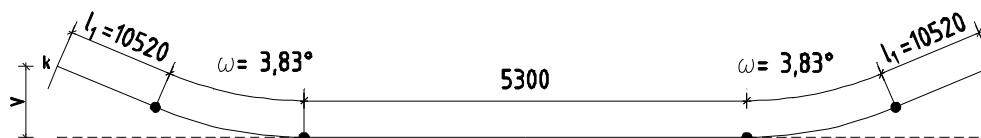
$$r = r_{\min}(1+0,5\text{tg}^2\omega) = 20860(1+0,5\text{tg}^2 4,11^\circ) = 20914 \text{ mm}$$



a4) Kabel ⑤

Přepočít poloměru:

$$r = r_{\min}(1+0,5\text{tg}^2\omega) = 29970(1+0,5\text{tg}^2 3,83^\circ) = 30037 \text{ mm}$$



B) Průměrné kabely

1. skupina kabelů:

Kabely 1 + 2 tvoří skupinu přímých kabelů.

2. skupina kabelů:

Kabely 3 + 4 + 5 vytvoří skupinu kabelů, reprezentovanou průměrným zakřiveným kabelem. Parametry odpovídajících si částí se neliší více než v poměru 1:3.

Parametry průměrné dráhy:

$$\bar{a}_1 = \frac{1}{3}(7,02 + 8,52 + 10,52) = 8,69\text{m}$$

$$\bar{a}_2 = \frac{1}{3}(11,3 + 7,3 + 5,3) = 6,97\text{m}$$

$$\bar{\omega} = \frac{1}{3}(4,12 + 4,11 + 3,83) = 4,02^\circ$$

$$\bar{r} = \frac{1}{3}(13,89 + 20,86 + 29,87) = 21,54\text{m}$$

Kotevní napětí

Pro jednoduchost bereme jako 80% pevnosti kabelu.

1. skupina kabelů:

$${}^1\hat{\sigma}_{pk} = 0,8 \times \sigma_{pt} = 0,8 \times 1620 = 1296 \text{ MPa}$$

2. a 3. skupina kabelů:

$${}^2\hat{\sigma}_{pk} = 0,8 \times \sigma_{pt} = 0,8 \times 1620 = 1296 \text{ MPa}$$

Výrobní změny předpětí

Ztráty třením:

1. skupina kabelů:

$$\Delta_1^1 \bar{\sigma} = -{}^1\bar{\sigma}_{pk} (1 - e^{-kLx})$$

$$\left\{ x = l/2; k = 0,003 \text{ m}^{-1}; Lx = 13,65 \text{ m} \right\}$$

$$\Delta_1^1 \bar{\sigma} = -1296 \times (1 - e^{-0,003 \times 13,65}) = -52,00 \text{ MPa}$$

2. skupina kabelů:

$$\Delta_1^2 \hat{\sigma} = -{}^2\hat{\sigma}_{pk} (1 - e^{-f\alpha x - kLx})$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x = l/2; f = 0,35; k = 0,003 \text{ m}^{-1}; \alpha x = \bar{\omega} = 4,02^\circ = 0,070 \text{ rad} \\ Lx = \bar{a}_1 + \bar{a}_2 / 2 = 8,69 + 3,49 = 12,18 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\Delta_1^2 \hat{\sigma} = -1296 \times (1 - e^{-0,35 \times 0,070 - 0,003 \times 12,18}) = -76,74 \text{ MPa}$$

1. skupina kabelů:

$${}^1\bar{\sigma}'_p = {}^1\bar{\sigma}_{pk} + \Delta_1^1 \bar{\sigma} = 1296 - 52,00 = 1244,0 \text{ MPa}$$

2. skupina kabelů:

$${}^2\hat{\sigma}'_p = {}^2\hat{\sigma}_{pk} + \Delta_1^2 \hat{\sigma} = 1296 - 76,74 = 1219,3 \text{ MPa}$$

Vážený průměr ztrát třením:

$$\begin{aligned} \sigma'_p &= \frac{\bar{n} \times {}^1\bar{\sigma}'_p + \bar{n} \times {}^2\hat{\sigma}'_p}{n} = \frac{2 \times 1244 + 3 \times 1219,3}{5} = \\ &= 1229,2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Ztráty pokluzem:

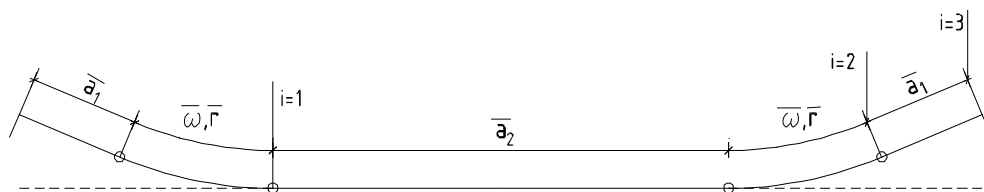
A) určení místa dosahu pokluzu

- výpočet pro skupinu přímých kabelů

$$L_U = \frac{-\left[\ln(1 - \sqrt{k \times U})\right]}{k} = \frac{-\left[\ln(1 - \sqrt{0,003 \times 1,505})\right]}{0,003} = 23,18 \text{ m}$$

$$U = \frac{u_{\max} \times E_p}{\sigma_{pk}} = \frac{0,01 \times 195 \times 10^3}{1296} = 1,505 \text{ m}$$

$$L_U \leq a = 27,3 \text{ m} \Rightarrow \text{ztráta vymizí v rozsahu kabelu}$$



- výpočet pro průměrný zakřivený kabel

a) $i=1$

$$l_1 = \bar{a}_1 + \bar{\omega} \times \bar{r} = 8,69 + \frac{4,02^\circ}{180^\circ} \pi \times 21,54 = 10,20m$$

$$\alpha_1 = \bar{\omega} = 4,02^\circ = 0,070rad$$

$$L_1 = \bar{a}_1 = 8,69m$$

$$z_1 = f \left[2(l_1 \bar{\omega}) - (r \bar{\omega}^2) \right] = 0,35 \left[2(10,20 \times 0,07) - (21,54 \times 0,07^2) \right] = 0,463m$$

$$y_1 = k \left[2(l_1 \bar{a}_1) + \bar{a}_1^2 \right] = 0,003 \left[2(10 \times 8,69) + 8,69^2 \right] = 0,227m$$

$$z_0 = 0m$$

$$y_0 = 0m$$

$$U = u_{\max} \frac{E_p}{\bar{\sigma}_{ok}} = 0,01 \times \frac{195 \times 10^3}{1296} = 1,505m$$

? : Ztráta vymizí v 1-ní přímé:

$$\frac{z_{i-1} + y_{i-1}}{1 + f\alpha_{i-1} + kL_{i-1}} < U < \frac{z_{i-1} + y_i}{1 + f\alpha_{i-1} + kL_i}$$

$$\frac{z_{i-1} + y_{i-1}}{1 + f\alpha_{i-1} + kL_{i-1}} = \frac{0 + 0}{1 + 0,35 \times 0 + 0,003 \times 0} = 0m$$

$$\frac{z_{i-1} + y_i}{1 + f\alpha_{i-1} + kL_i} = \frac{0 + 0,227}{1 + 0,35 \times 0 + 0,003 \times 8,69} = 0,221m$$

$$0m < U = 1,505m \not< 0,221m$$

=> Ztráta nevymizí v první přímé

? : Ztráta vymizí v 1-ním oblouku:

$$\frac{z_{i-1} + y_i}{1 + f\alpha_{i-1} + kL_i} < U < \frac{z_i + y_i}{1 + f\alpha_i + kL_i}$$

$$\frac{z_{i-1} + y_i}{1 + f\alpha_{i-1} + kL_i} = \frac{0 + 0,227}{1 + 0,35 \times 0 + 0,003 \times 8,69} = 0,221m$$

$$\frac{z_i + y_i}{1 + f\alpha_i + kL_i} = \frac{0,463 + 0,227}{1 + 0,35 \times 0,07 + 0,003 \times 8,69} = 0,657m$$

$$0m < U = 1,505m \not< 0,657m$$

=> Ztráta nevymizí v prvním oblouku

b) $i=2$

$$l_2 = \bar{a}_1 + \bar{a}_2 + \bar{\omega} \times \bar{r} = 8,69 + 6,97 + \frac{4,02^\circ}{180^\circ} \pi \times 21,54 = 17,17m$$

$$\alpha_2 = 2\bar{\omega} = 2 \times 4,02^\circ = 2 \times 0,07rad = 0,14rad$$

$$L_2 = \bar{a}_1 + \bar{a}_2 = 15,66m$$

$$z_2 = f \left[2(l_1 \bar{\omega} + l_2 \bar{\omega}) - (2r\bar{\omega}^2) \right] = 0,35 \left[\begin{array}{l} 2 \times 0,07(10,20 + 17,17) - \\ - (2 \times 21,54 \times 0,07^2) \end{array} \right] = 1,267m$$

$$y_2 = k \left[2(l_1 \bar{a}_2) + \bar{a}_1^2 + \bar{a}_2^2 \right] = 0,003 \left[2(10,20 \times 6,97) + 8,69^2 + 6,97^2 \right] = 0,80m$$

$$z_1 = 0,463m$$

$$y_1 = 0,227m$$

$$U = u_{\max} \frac{E_p}{\bar{\sigma}_{ok}} = 0,01 \times \frac{195 \times 10^3}{1296} = 1,505m$$

? : Ztráta vymizí v 2-hé přímé:

$$\frac{z_{i-1} + y_{i-1}}{1 + f\alpha_{i-1} + kL_{i-1}} < U < \frac{z_{i-1} + y_i}{1 + f\alpha_{i-1} + kL_i}$$

$$\frac{z_{i-1} + y_{i-1}}{1 + f\alpha_{i-1} + kL_{i-1}} = \frac{0,463 + 0,227}{1 + 0,35 \times 0,07 + 0,003 \times 8,69} = 0,657m$$

$$\frac{z_{i-1} + y_i}{1 + f\alpha_{i-1} + kL_i} = \frac{0,463 + 0,80}{1 + 0,35 \times 0,07 + 0,003 \times 15,66} = 1,179m$$

$$0m < U = 1,505m \not< 1,179m$$

Ztráta nevymizí v druhé přímé

?:Ztráta vymizí v 2-ním oblouku:

$$\frac{z_{i-1} + y_i}{1 + f\alpha_{i-1} + kL_i} = \frac{0 + 0,227}{1 + 0,35 \times 0 + 0,003 \times 8,69} = 0,221$$

$$\frac{z_i + y_i}{1 + f\alpha_i + kL_i} = \frac{1,267 + 0,80}{1 + 0,35 \times 0,14 + 0,003 \times 15,66} = 1,886m$$

$$0m < U = 1,505m < 1,886m$$

Ztráta vymizí v druhém oblouku

$$\begin{aligned}
 l_u &= U/2 + \sqrt{\frac{(l_1 - U/2)^2 + [U(1 + f\alpha_1 + kL_1) - z_1 - y_1]}{k}} = \\
 &= 1,505/2 + \sqrt{(10,20 - 1,505/2)^2 + \frac{[1,505(1 + 0,35 \times 0,07 + 0,003 \times 8,69) - 0,463 - 0,227]}{0,003}} = \\
 &= 11,11m
 \end{aligned}$$

$$\alpha_u = \alpha_1 = 0,07rad$$

$$L_U = l_u - (l_1 - L_1) = 11,11 - (10,20 - 8,69) = 9,6m$$

B) Určení velikosti ztráty pokluzem
- výpočet pro skupinu přímých kabelů

- ztráta vymizí uvnitř dráhy

$$\begin{aligned}
 \Delta_2^1 \bar{\sigma} &= -\bar{\sigma}_{pk} e^{kL} [e^{-2kL} - e^{-2kL_U}] = \\
 &= -1296 \times e^{0,003 \times 13,65} [e^{-2 \times 0,003 \times 13,65} - e^{-2 \times 0,003 \times 23,18}] = \\
 &= -69,14 MPa
 \end{aligned}$$

$$\text{Pak} \Rightarrow {}^1 \bar{\sigma}_p'' = {}^1 \bar{\sigma}_p' + \Delta_2^1 \bar{\sigma} = 1244 - 69,14 = 1174,9 MPa$$

- výpočet pro průměrný zakřivený kabel

- ztráta vymizí uvnitř dráhy

$$\begin{aligned}
 \Delta_2^2 \hat{\sigma} &= -\hat{\sigma}_{pk} e^{f\alpha + kL} [e^{-2(f\alpha + kL)} - e^{-2(f\alpha_U + kL_U)}] = \\
 &= -1296 \times e^{0,35 \times 0,07 + 0,003 \times 12,18} \left[\begin{array}{l} e^{-2(0,35 \times 0,07 + 0,003 \times 12,18)} - \\ - e^{-2(0,35 \times 0,07 + 0,003 \times 9,6)} \end{array} \right] = \\
 &= -17,81 MPa
 \end{aligned}$$

$$\text{Pak} \Rightarrow {}^2 \hat{\sigma}_p'' = {}^2 \hat{\sigma}_p' + \Delta_2^2 \hat{\sigma} = 1219,3 - 17,8 = 1201,5 MPa$$

Vážený průměr ztrát pokluzem:

$$\sigma_p'' = \frac{\bar{n}^1 \bar{\sigma}_p'' + \bar{n}^2 \hat{\sigma}_p''}{n} = \frac{2 \times 1174,9 + 3 \times 1201,5}{5} = 1190,9 MPa$$

Ztráta postupným napínáním:

k_M ... vliv vlastní tíhy

$$k_M = \frac{nM_{g0}}{\sigma_p'' A_p e_{p,o}} = \frac{5 \times 1813,84}{1190,9 \times 4813,38 \times 650} = 2,43$$

$$\begin{aligned}\Delta^3 \sigma &= -\sigma_p'' \left\{ \frac{(n-1)\psi}{n(2+\psi)} - \left[\frac{k_M(k_M-1)}{n^2} \right] \left[\frac{\psi}{2+\psi} - \frac{\nu}{2+\nu} \right] \right\} = \\ &= -1190,9 \times \left\{ \frac{(5-1) \times 0,092}{5(2+0,092)} - \left[\frac{2,43 \times (2,43-1)}{5^2} \right] \left[\frac{0,092}{2+0,092} - \frac{0,033}{2+0,033} \right] \right\} = \\ &= -37,31 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Ztráta relaxací:

$$\widehat{\sigma}_{pr} = \sigma_p'' + 0,6\Delta^3 \sigma = 1190,9 - 0,6 \times 37,31 = 1168,51 \text{ MPa}$$

$$R = \frac{\widehat{\sigma}_{pr}}{\sigma_{0,2}} = \frac{1168,51}{1380} = 0,847 \Rightarrow \rho = 0,0841$$

$$R' = \frac{\widehat{\sigma}_p'}{\sigma_{0,2}} = \frac{1229,2}{1380} = 0,891 \Rightarrow \rho' = 0,0973$$

Doba podržení napětí:

$$t = 2 \text{ min} \quad \xi_k = 0,2$$

$$\begin{aligned}\Delta_4 \sigma &= -\rho \sigma_{pr} + \xi_k \rho' \sigma_p' = \\ &= -0,0841 \times 1168,27 + 0,2 \times 0,0973 \times 1229,2 = \\ &= -74,33 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Počáteční napětí + počáteční předpínací síla:

$$\sigma_{p0} = \sigma_p'' + \Delta^3 \sigma + \Delta^4 \sigma = 1190,9 - 37,31 - 74,33 = 1079,26 \text{ MPa}$$

$$p_0 = A_p \sigma_{p0} = 4813,38 \times 1079,26 \times 10^{-3} = 5194,89 \text{ kN}$$

$$p_0 \in \{\min p_0; \max p_0\} = \{4100,85; 6780,85\}$$

Platí

Nebyly překročeny mezní hodnoty předpínací síly zjištěné při návrhu výztuže => počáteční předpínací síla vyhovuje

Provozní změny předpětí

t_0 ... čas (okamžik) předepnutí ... 1/12 roku

t_g ... začátek působení ostatního stálého zatížení ... 9/12 roku

t_v ... čas uvedení do provozu ... 1,0 roku

t_∞ ... smluvní doba životnosti ... 100 let

c_φ ... vliv prostředí ... $c_\varphi = 0,8$ (volné prostředí)

$c_\varepsilon = 0,75$ (volné prostředí)

$$\Phi_{t_0} = \sqrt{1 - e^{-\sqrt{t_0}}} = \sqrt{1 - e^{-\sqrt{1/12}}} = 0,501$$

$$\Phi_{t_g} = \sqrt{1 - e^{-\sqrt{t_g}}} = \sqrt{1 - e^{-\sqrt{9/12}}} = 0,761$$

$$\Phi_{t_v} = \sqrt{1 - e^{-\sqrt{t_v}}} = \sqrt{1 - e^{-\sqrt{1,0}}} = 0,795$$

$$\Phi_{t_\infty} = \sqrt{1 - e^{-\sqrt{t_\infty}}} = \sqrt{1 - e^{-\sqrt{100}}} = 1,000$$

$$\varphi(t_0; t_g) = 5c_\varphi (\Phi_{t_g} - \Phi_{t_0}) = 5 \times 0,8(0,761 - 0,501) = 1,040$$

$$\varphi(t_0; t_v) = 5c_\varphi (\Phi_{t_v} - \Phi_{t_0}) = 5 \times 0,8(0,795 - 0,501) = 1,176$$

$$\varphi(t_0; t_\infty) = 5c_\varphi (\Phi_{t_\infty} - \Phi_{t_0}) = 5 \times 0,8(1,000 - 0,501) = 1,996$$

$$\varphi(t_g; t_v) = 5c_\varphi (\Phi_{t_v} - \Phi_{t_g}) = 5 \times 0,8(0,795 - 0,761) = 0,136$$

$$\varphi(t_g; t_\infty) = 5c_\varphi (\Phi_{t_\infty} - \Phi_{t_g}) = 5 \times 0,8(1,000 - 0,761) = 0,956$$

$$\varphi(t_v; t_\infty) = 5c_\varphi (\Phi_{t_\infty} - \Phi_{t_v}) = 5 \times 0,8(1,000 - 0,795) = 0,880$$

$$D(t_0; t_g) = 1 - \exp\left(-\frac{\psi}{1 + \psi} \times \varphi(t_0; t_g)\right) = 1 - \exp\left(-\frac{0,092}{1,092} \times 1,040\right) = 0,084$$

$$D(t_0; t_v) = 1 - \exp\left(-\frac{\psi}{1 + \psi} \times \varphi(t_0; t_v)\right) = 1 - \exp\left(-\frac{0,092}{1,092} \times 1,176\right) = 0,094$$

$$D(t_0; t_\infty) = 1 - \exp\left(-\frac{\psi}{1 + \psi} \times \varphi(t_0; t_\infty)\right) = 1 - \exp\left(-\frac{0,092}{1,092} \times 1,996\right) = 0,155$$

$$D(t_g; t_v) = 1 - \exp\left(-\frac{\psi}{1 + \psi} \times \varphi(t_g; t_v)\right) = 1 - \exp\left(-\frac{0,092}{1,092} \times 0,136\right) = 0,011$$

$$D(t_g; t_\infty) = 1 - \exp\left(-\frac{\psi}{1 + \psi} \times \varphi(t_g; t_\infty)\right) = 1 - \exp\left(-\frac{0,092}{1,092} \times 0,956\right) = 0,077$$

$$D(t_v; t_\infty) = 1 - \exp\left(-\frac{\psi}{1 + \psi} \times \varphi(t_v; t_\infty)\right) = 1 - \exp\left(-\frac{0,092}{1,092} \times 0,880\right) = 0,071$$

Změny předpětí od g_0 , P_0 , smršťování

$$\begin{aligned} \Delta t_g P_0 &= \left[-P_0 + \frac{M_{g0}}{e_p} \left(1 - \frac{\nu}{\psi} \right) + N_{g0} \frac{\nu}{\psi} - 8 \times 10^{-5} \frac{c_\epsilon}{c_\phi} \frac{E_p A_p}{\psi} \right] D(t_0; t_g) = \\ &= \left[-5194,89 + \frac{1813,85}{0,65} \left(1 - \frac{0,033}{0,092} \right) + 0 \times \frac{0,033}{0,092} - 8 \times 10^{-5} \frac{0,75 \cdot 195 \times 10^6 \times 4813,38 \times 10^{-6}}{0,8 \cdot 0,092} \right] \times 0,084 = \\ &= -350,3 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\Delta t_v P_0 = -392,0 \text{ kN}$$

Obdobně: $\Delta t_\infty P_0 = -646,4 \text{ kN}$

Vliv pružné změny od g_1 (jen v t_g):

$$\Delta e P_g = \frac{\left[\frac{M_{g1}}{e_p} (\psi - \nu) \right]}{1 + \psi} = \frac{\left[\frac{938,13}{0,65} (0,092 - 0,033) \right]}{1 + 0,092} = 77,98 \text{ kN}$$

Vliv nepružné změny od g_1 :

$$\begin{aligned} \Delta t_v P_g &= \left[\frac{M_{g1}}{e_p} \times \frac{\psi - \nu}{\psi(1 + \psi)} \right] D(t_g; t_v) = \left[\frac{938,13}{0,65} \times \frac{0,092 - 0,033}{0,092(1 + 0,092)} \right] \times 0,011 = \\ &= 9,32 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta t_\infty P_g &= \left[\frac{M_{g1}}{e_p} \times \frac{\psi - \nu}{\psi(1 + \psi)} \right] D(t_g; t_\infty) = \left[\frac{938,13}{0,65} \times \frac{0,092 - 0,033}{0,092(1 + 0,092)} \right] \times 0,077 = \\ &= 65,27 \text{ kN} \end{aligned}$$

Vliv pružné změny od $v_{\max, \min}$:

$$\Delta e P_{v, \max} = \left[\frac{M_{v, \max}}{e_p} \times \frac{\psi - \nu}{1 + \psi} \right] = \left[\frac{1719,71}{0,65} \times \frac{0,092 - 0,033}{1 + 0,092} \right] = 142,9 \text{ kN}$$

$$M_{v, \min} = 0 \text{ kNm} \Rightarrow \Delta e P_{v, \min} = 0 \text{ kN}$$

Předpínací síla v jednotlivých časech:

$$t_0: P_0 = 5149,89 \text{ kN}$$

$$\text{před } t_g: P_g^p = P_0 + \Delta t_g P_0 = 5149,89 - 310,1 = 4219,51 \text{ kN}$$

$$\text{za } t_g: P_g^z = P_0 + \Delta t_g P_0 + \Delta e P_g = 4529,61 - 350,3 + 77,98 = 4877,57 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} t_v: P_v &= P_0 + \Delta t_v P_0 + \Delta e P_g + \Delta t_v P_g = 5149,89 - 392,0 + 77,98 + \\ &+ 9,32 = 4845,19 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$P_v^I = P_v + \Delta e P_{v, \max} = 4845,19 + 142,9 = 4988,1 \text{ kN}$$

$$P_v^{II} = P_v + \Delta e P_{v, \min} = 4845,19 + 0 = 4845,19 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} t_\infty: P_\infty &= P_0 + \Delta t_\infty P_0 + \Delta e P_g + \Delta t_\infty P_g = 5149,89 - 646,4 + 65,27 + \\ &+ 77,98 = 4646,74 \text{ kN} \end{aligned}$$

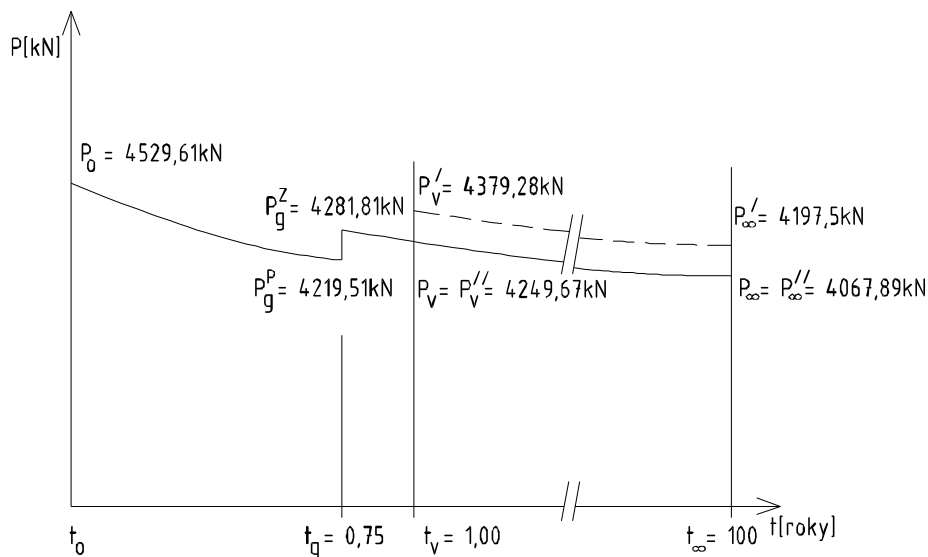
$$P_\infty^I = P_\infty + \Delta e P_{v, \max} = 4646,74 + 142,9 = 4789,7 \text{ kN}$$

$$P_\infty^{II} = P_\infty + \Delta e P_{v, \min} = 4646,74 + 0 = 4646,74 \text{ kN}$$

Porovnání s návrhem:

$$\omega = \frac{P'_\infty}{P_0} = \frac{4789,7}{5149,89} = 0,930 \cong 0,90 = \omega_{NAVRH}$$

Návrh se příliš neliší od skutečnosti



Posouzení podle dovolených namáhání

Budou posouzena normálová napětí, a to v nebezpečném průřezu $x = l/2$, kde byly zjištěny vnitřní síly.

Předpínací výztuž:

$$\sigma_{po} = \frac{P_0}{A_p} = \frac{4529,61}{3822,39 \times 10^{-3}} = 1185,02 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p,dov} = \min \{0,85\sigma_{0,2}; 0,7\sigma_{pt}\} = \{0,85 \times 1530; 0,7 \times 1800\} = \{1300,5; 1260\} = 1260 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{po} = 1185,02 \text{ MPa} < 1260,0 \text{ MPa} = \sigma_{p,dov}$$

Napětí v předpínací výztuži vyhovuje

Beton:

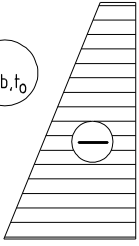
- a) čas t_0 (... pozn. indexy 1 - tažená - dolní oblast
2 - tačená - horní oblast)

$$\sigma_{b,1,0} = \frac{N_0}{A_b} - \frac{P_0(e_p + j_2)}{W_1} + \frac{M_{g0}}{W_1} = \frac{0}{7,777 \times 10^5} - \frac{4529,61 \times 10^3 \times (1077 + 384,2)}{2,988 \times 10^8} + \frac{2231,10 \times 10^6}{2,988 \times 10^8} = -14,68 \text{ MPa}$$

Vyhoví k porovnávané hodnotě 15,00 MPa

0,13 MPa

σ_{b,t_0}



14,68 MPa

$$\sigma_{b,2,0} = \frac{N_0}{A_b} + \frac{P_0(e_p - j_1)}{W_2} - \frac{M_{g0}}{W_2} = \frac{0}{7,777 \times 10^5} + \frac{4529,61 \times 10^3 \times (1077 - 597,3)}{4,645 \times 10^8} - \frac{2231,10 \times 10^6}{4,645 \times 10^8} = -0,13 \text{ MPa}$$

Vyhoví k porovnávané hodnotě 0,9 Mpa

Beton v čase t_0 vyhoví, napětí v horních i spodních vláknech je nižší než dovolené napětí.

b) čas t_g

$$\sigma_{b,1,g}^P = \frac{N_g}{A_b} - \frac{P_g^P(e_p + j_2)}{W_1} + \frac{M_g}{W_1} = \frac{0}{7,777 \times 10^5} - \frac{4219,51 \times 10^3 \times (1077 + 384,2)}{2,988 \times 10^8} + \frac{3327,07 \times 10^6}{2,988 \times 10^8} = -9,50 \text{ MPa}$$

Vyhoví k porovnávané hodnotě 15,00 MPa

$$\sigma_{b,2,g}^P = \frac{N_g}{A_b} + \frac{P_g^P(e_p - j_1)}{W_2} - \frac{M_g}{W_2} = \frac{0}{7,777 \times 10^5} + \frac{4219,51 \times 10^3 \times (1077 - 597,3)}{4,645 \times 10^8} - \frac{3327,07 \times 10^6}{4,645 \times 10^8} = -2,81 \text{ MPa}$$

Vyhoví k porovnávané hodnotě 0 MPa

$$\sigma_{b,1,g}^Z = \frac{N_g}{A_b} - \frac{P_g^Z(e_p + j_2)}{W_1} + \frac{M_g}{W_1} = \frac{0}{7,777 \times 10^5} - \frac{4281,81 \times 10^3 \times (1077 + 384,2)}{2,988 \times 10^8} + \frac{3327,07 \times 10^6}{2,988 \times 10^8} = -9,80 \text{ MPa}$$

Vyhoví k porovnávané hodnotě 15,00 MPa

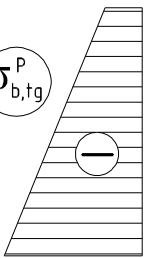
$$\sigma_{b,2,g}^Z = \frac{N_g}{A_b} + \frac{P_g^Z(e_p - j_1)}{W_2} - \frac{M_g}{W_2} = \frac{0}{7,777 \times 10^5} + \frac{4281,81 \times 10^3 \times (1077 - 597,3)}{4,645 \times 10^8} - \frac{3327,07 \times 10^6}{4,645 \times 10^8} = -2,74 \text{ MPa}$$

Vyhoví k porovnávané hodnotě 0 Mpa

Beton v čase t_g vyhoví, napětí v horních i spodních vláknech je nižší než dovolené napětí.

2,81 MPa

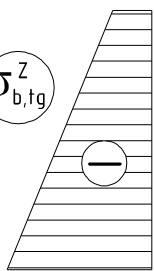
$\sigma_{b,tg}^P$



9,50 MPa

2,74 MPa

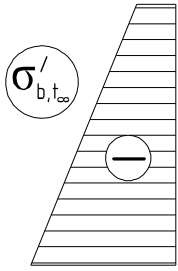
$\sigma_{b,tg}^Z$



9,80 MPa

b) čas $t_v \Rightarrow t_\infty$

2,32 MPa



7,38 MPa

max \oplus ; min \ominus v ①:

$$\sigma_{b,1} = \frac{N_1}{A_b} - \frac{P'_1(e_p + j_2)}{W_1} + \frac{\max M_g}{W_1} = \frac{0}{7,777 \times 10^5} - \frac{4197,5 \times 10^3 \times (1077 + 384,2)}{2,988 \times 10^8} + \frac{5441,44 \times 10^6}{2,988 \times 10^8} = -2,32 \text{ MPa}$$

Vyhoví k porovnávané hodnotě 0 MPa

max \ominus v ②:

$$\sigma_{b,2} = \frac{N_1}{A_b} + \frac{P'_1(e_p - j_1)}{W_2} - \frac{\max M_g}{W_2} = \frac{0}{7,777 \times 10^5} + \frac{4197,5 \times 10^3 \times (1077 - 597,3)}{4,645 \times 10^8} - \frac{5441,44 \times 10^6}{4,645 \times 10^8} = -7,38 \text{ MPa}$$

Vyhoví k porovnávané hodnotě 13,5 MPa

max \ominus v ①:

$$\sigma_{b,1} = \frac{N_1}{A_b} - \frac{P_v(e_p + j_2)}{W_1} + \frac{M_g}{W_1} = \frac{0}{7,777 \times 10^5} - \frac{4249,67 \times 10^3 \times (1077 + 384,2)}{2,988 \times 10^8} + \frac{3327,07 \times 10^6}{2,988 \times 10^8} = -9,65 \text{ MPa}$$

Vyhoví k porovnávané hodnotě 15 MPa

max \oplus ; min \ominus v ②:

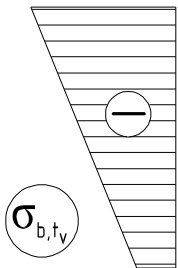
$$\sigma_{b,2} = \frac{N_2}{A_b} + \frac{P_v(e_p - j_1)}{W_2} - \frac{M_g}{W_2} = \frac{0}{7,777 \times 10^5} + \frac{4249,67 \times 10^3 \times (1077 - 597,3)}{4,645 \times 10^8} - \frac{3327,07 \times 10^6}{4,645 \times 10^8} = -2,77 \text{ MPa}$$

Vyhoví k porovnávané hodnotě 0 MPa

Beton v čase $t_g \Rightarrow t_\infty$ vyhoví, napětí v horních i spodních vláknech je nižší než dovolené napětí.

V průřezu nevzniknou žádné tahy \Rightarrow potvrdil se předpoklad plného předpětí.

9,65 MPa



2,77 MPa

Stupeň bezpečnosti proti dosažení meze únosnosti

a) výslednice vnějších sil:

$$M_s = 0,9M_g + 1,1\delta_{r,\max} M_v = 0,9 \times 3327,07 + 1,1 \times 1,05 \times 2013,69 = 5320,17 \text{ kNm}$$

b) výslednice vnitřních sil:

Mezní napětí výztuže:

$$R_p = 0,95 \times \sigma_{pt} = 0,95 \times 1800 = 1710 \text{ MPa}$$

Základní napětí výztuže:

$$\sigma_{p,t_\infty} = \frac{P'_\infty}{A_p} = \frac{4197,5}{3822,39 \times 10^{-3}} = 1098,13 \text{ MPa}$$

-předpínací napětí

$$\begin{aligned} \sigma_{bp} &= \frac{(\max M_g - P'_\infty e_p)(hp_1 - z_2)}{I_b} - \frac{P'_\infty}{A_p} = \\ &= \frac{(5441,44 \times 10^6 - 4197,5 \times 10^3 \times 1077)(1890 - 782,98)}{3,637 \times 10^{11}} - \frac{4197,5 \times 10^3}{7,777 \times 10^5} = \\ &= -2,59 \text{ MPa} \end{aligned}$$

tzn. napětí betonu v úrovni výztuže

$$\sigma_{pz} = \sigma_{p,t_\infty} - \frac{E_p}{E_b} \sigma_{bp} = 1098,13 + \frac{195}{36} \times 2,59 = 1112,16 \text{ MPa}$$

Poměrné přetvoření výztuže:

$$\varepsilon_{pz} = \frac{\sigma_{pz}}{E_p} = \frac{1112,16 \times 10^6}{195 \times 10^9} = 5,70 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{pe} = \frac{R_p}{E_p} = \frac{1710 \times 10^6}{195 \times 10^9} = 8,77 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{pu} = \varepsilon_{pz} + \varepsilon_{pe} = 5,70 \times 10^{-3} + 8,77 \times 10^{-3} = 14,47 \times 10^{-3}$$

Napětí v betonu:

$$R_d = 30,5 \text{ MPa} \quad \dots \text{ pro beton B400}$$

Poměrné přetvoření betonu:

$$\varepsilon_{bu} = -2,5 \times 10^{-3}$$

Výpočet výšky tlačенého betonu:

$$\Delta \varepsilon_{pu} = \varepsilon_{pu} - \varepsilon_{pz} = 14,47 \times 10^{-3} - 5,70 \times 10^{-3} = 8,77 \times 10^{-3}$$

$$\Delta \varepsilon_{pe} = \varepsilon_{pe} - \varepsilon_{pz} = 8,77 \times 10^{-3} - 5,70 \times 10^{-3} = 3,07 \times 10^{-3}$$

$$x_{opt} = \frac{-\varepsilon_{bu} h_{p1}}{\Delta \varepsilon_{pu} - \varepsilon_{bu}} = \frac{2,5 \times 10^{-3} \times 1,89}{8,77 \times 10^{-3} + 2,5 \times 10^{-3}} = 0,419 \text{ m}$$

FAST VUT - Ústav betonových a zděných konstrukcí
Předpjatý nosník

$$h_{pe,opt} = x_{opt} + \frac{\Delta \varepsilon_{pe} (h_{p1} - x_{opt})}{\Delta \varepsilon_{pu}} = 0,419 + \frac{3,07 \times 10^{-3} (1,89 - 0,419)}{8,77 \times 10^{-3}} =$$

$$= 0,934m$$

$$h_{pe,m} = h_m = 1,77 \text{ m}$$

$$h_{pe,m} = 1,77 \text{ m} > h_{pe,opt} = 0,934 \text{ m}$$

$$x_m = \frac{-\varepsilon_{bu} h_{pm}}{(\Delta \varepsilon_{pe} - \varepsilon_{bu})} = \frac{2,5 \times 10^{-3} \times 1,77}{(3,07 + 2,5) \times 10^{-3}} =$$

$$= 0,794m$$

$$\sigma_{pj} = \text{konst.} = R_p, \text{ pro } j = 1, 2, \dots, m$$

$$N_{pt} = R_p \sum_j A_{pj} = 1710 \times 10^3 \times 3822,39 \times 10^{-6} =$$

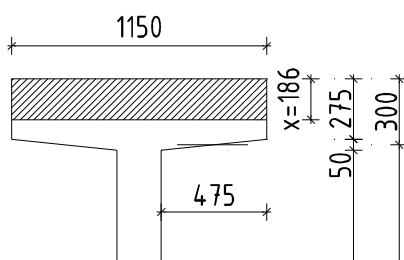
$$= 6536,29kN$$

$$\text{Pokládám } N_b = N_{pt}$$

$$\Rightarrow A_{bx} = \frac{N_b}{R_d} = \frac{N_{pt}}{R_d} = \frac{6536,29}{30,5 \times 10^3} = 0,214305m^2$$

$$x = \frac{A_{bx}}{b} = \frac{0,214305}{1,15} = 0,186m$$

Splněn předpoklad o tvaru tlačené plochy.



$$\text{Platí: } x = 186 \text{ mm} < x_m = 794 \text{ mm}$$

$$x = 186 \text{ mm} < x_{opt} = 419 \text{ mm}$$

Rozhoduje porušení výztuže (přetržení výztuže)

$$(\varepsilon_p = \varepsilon_{pu}; \varepsilon_b < \varepsilon_{bu})$$

Výpočet velikosti h_{pe} , která dělí průřez po výšce na dvě pásma:

$$h_{pe} = x + \frac{\Delta \varepsilon_{pe} (h_{p1} - x)}{\Delta \varepsilon_{pu}} = 0,186 + \frac{3,07 \times 10^{-3} (1,89 - 0,186)}{8,77 \times 10^{-3}} =$$

$$= 0,782m$$

$$h_{p1,m} = 1,77 \text{ m} > h_{pe} = 0,782 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \text{ve veškeré výztuži bude napětí } \sigma_p = R_p = 1710 \text{ Mpa}$$

$$N_{p1} = A_{p1} R_p = 21 \times 141,57 \times 10^{-6} \times 1710 \times 10^3 = 5083,78 \text{ kN}$$

$$N_{pm} = A_{pm} R_p = 6 \times 141,57 \times 10^{-6} \times 1710 \times 10^3 = 1452,51 \text{ kN}$$

$$N_{pt} = \sum_j N_{pj} = N_{p1} + N_{pm} = 5083,78 + 1452,51 = 6536,29 \text{ kN}$$

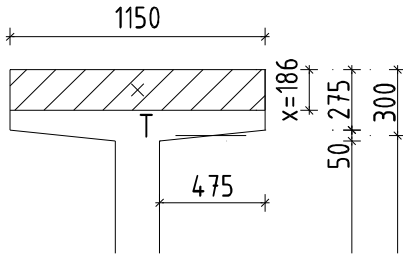
$$x \Rightarrow A_{bx}: \quad A_{bx} = bx = 1,15 \times 0,18635 = 0,214303 \text{ m}^2$$

$$N_b = -A_{bx} R_d = -0,214303 \times 30,5 \times 10^3 = -6536,24 \text{ kN}$$

$$N_b = 6536,24 \text{ kN} = N_{pt} = 6536,39 \text{ kN}$$

Výpočet těžiště tlačného průřezu:

$$h_x = 186,35/2 = 93,2 \text{ mm}$$



Moment na mezi únosnosti:

$$M_u = \sum N_{pj}(h_{pj} - z_2) + N_b(h_x - z_2) = 5083,78 \times (1,89 - 0,783) + 1452,51(1,77 - 0,783) - 6536,39 \times (0,0932 - 0,783) = 11570,17 \text{ kNm}$$

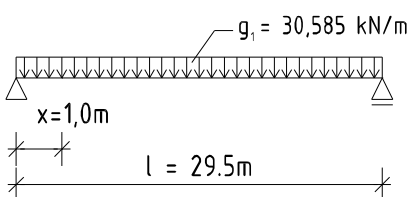
Stanovení stupně bezpečnosti:

$$s_u = \frac{M_u}{M_s} = \frac{11570,17}{5320,17} = 2,17 \geq 2,00 = s_{u,lim}$$

=> stupeň bezpečnosti proti dosažení meze únosnosti
vyhovuje dle ČSN 73 12 51.

Výpočet je okomentován ve výkresové příloze.

Hlavní napětí betonu v tahu při mezním zatížení

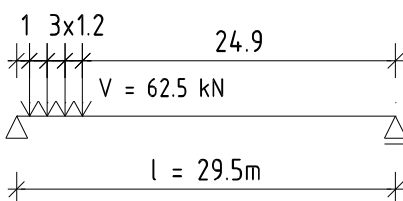


Řez $x = 1,0 \text{ m} \Rightarrow$ začátek náběhu stojiny (místo přechodu stojiny do horní příruby)

Vnitřní síly:

$$T_g = gl/2 - gx = 30,585 \times 29,5/2 - 30,585 \times 1,00 = 420,54 \text{ kN}$$

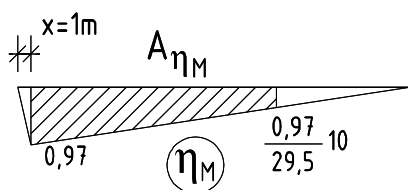
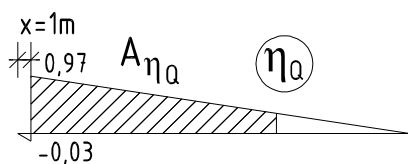
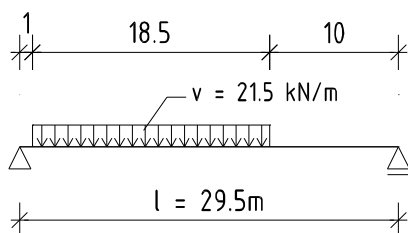
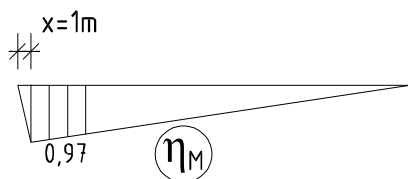
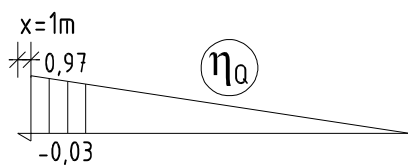
$$M_g = \frac{gl}{2}x - gx \frac{x}{2} = \frac{30,585 \times 29,5}{2} \times 1,00 - 30,585 \times 1,00 \times \frac{1,00}{2} = 435,84 \text{ kNm}$$



$$M_V = V \sum \eta_{Mi} = 62,5 \times 0,97 \times \left(1 + \frac{27,3}{29,5} + \frac{26,1}{29,5} + \frac{24,9}{29,5} \right) = 221,54 \text{ kNm}$$

$$T_V = V \sum \eta_{Qi} = 62,5 \times 0,97 \times \left(1 + \frac{27,3}{29,5} + \frac{26,1}{29,5} + \frac{24,9}{29,5} \right) = 221,54 \text{ kN}$$

FAST VUT - Ústav betonových a zděných konstrukcí
Předpjatý nosník



$$M_v = vA_{\eta_M} = 21,5 \left(18,5 \times \frac{0,97}{29,5} \times 10 + \frac{1}{2} \times 18,5 \times \left(0,97 - \frac{0,97}{29,5} \times 10 \right) \right) = 258,30 \text{ kNm}$$

$$T_v = vA_{\eta_Q} = 21,5 \left(18,5 \times \frac{0,97}{29,5} \times 10 + \frac{1}{2} \times 18,5 \times \left(0,97 - \frac{0,97}{29,5} \times 10 \right) \right) = 258,30 \text{ kN}$$

$$\max T_v = \max \{ \delta_r T_v ; \delta_r T_v \} = \max \{ 232,41 ; 271,22 \}$$

$$\max T_v = 271,22 \text{ kN}$$

$$\max M_v = \max \{ \delta_r M_v ; \delta_r M_v \} = \max \{ 232,41 ; 271,22 \}$$

$$\max M_v = 271,22 \text{ kNm}$$

Kombinace zatížení:

$$\max T_{Qu} = s_u (0,9T_g + 1,1\max T_v) = 2,0 \times (0,9 \times 420,54 + 1,1 \times 271,22) = 1353,66 \text{ kN}$$

$$\text{odp } M_{Qu} = s_u (0,9M_g + 1,1\max M_v) = 2,0 \times (0,9 \times 435,84 + 1,1 \times 271,22) = 1381,20 \text{ kNm}$$

$$\text{odp } N_{qu} = 0 \text{ kN}$$

Redukce o vliv předpětí:

Vážený průměr všech úhlů ve vzdálenosti 1m:

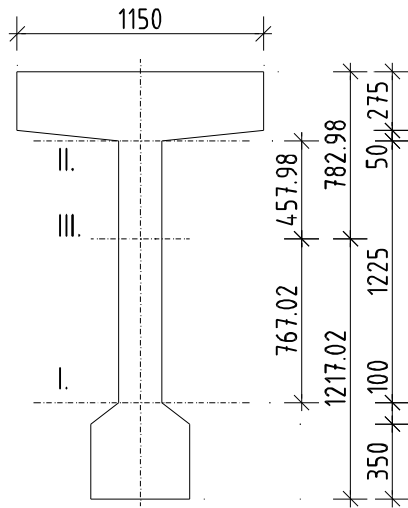
$$\alpha_{\emptyset} = \frac{14 \times 1,25 + 7 \times 5,57 + 6 \times 6,06}{27} = 3,44^\circ$$

$$T_u = \max T_{Qu} - P'_{\infty} \sin \alpha_{\emptyset} = 1353,66 - 4197,5 \sin 3,44^\circ = 1101,80 \text{ kN}$$

$$e_{p,1m} = z_1 - a_{1m} = 1217,02 - 673,51 = 543,51 \text{ mm}$$

$$M_u = \text{odp } M_{Qu} - P'_{\infty} e_{p,1m} \cos \alpha_{\emptyset} = 1381,20 - 4197,5 \times 0,544 \times \cos 3,44^\circ = -898,13 \text{ kNm}$$

$$N_u = \text{odp } N_{Qu} - P'_{\infty} \cos \alpha_{\emptyset} = 0 - 4197,5 \times \cos 3,44^\circ = -4189,94 \text{ kN}$$



Normálové napětí:

$$\sigma_{xu} = \frac{N_u}{A} + \frac{M_u z}{I_b}$$

$$^I \sigma_{Au} = \frac{N_u}{A} + \frac{M_u z^I}{I_b} = \frac{-4189,94 \times 10^3}{7,777 \times 10^5} + \frac{-898,13 \times 10^6 \times 767,02}{3,637 \times 10^{11}} = -7,282 \text{ MPa}$$

$$^{II} \sigma_{Au} = \frac{N_u}{A} + \frac{M_u z^{II}}{I_b} = \frac{-4189,94 \times 10^3}{7,777 \times 10^5} + \frac{-898,13 \times 10^6 \times 457,98}{3,637 \times 10^{11}} = -3,494 \text{ MPa}$$

$$^{III} \sigma_{Au} = \frac{N_u}{A} + \frac{M_u z^{III}}{I_b} = \frac{-4189,94 \times 10^3}{7,777 \times 10^5} + \frac{-898,13 \times 10^6 \times 0}{3,637 \times 10^{11}} = -5,388 \text{ MPa}$$

Tangenciální napětí:

$$^I S_x = 1150 \times 275 \times 645,48 + 475 \times 50 \times 491,31 + 1275 \times 200 \times 129,52 = 1,828 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

$$^{II} S_x = 1150 \times 275 \times 645,48 + 475 \times 50 \times 491,31 + 200 \times 50 \times 532,98 = 2,211 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

$$^{III} S_x = 1150 \times 275 \times 645,48 + 475 \times 50 \times 491,31 + 457,98 \times 200 \times 228,99 = 2,368 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

$$\tau_u = \frac{T_u S_x}{b I_b}$$

$$^I \tau_u = \frac{1101,80 \times 10^3 \times 1,828 \times 10^8}{200 \times 3,637 \times 10^{11}} = 2,769 \text{ MPa}$$

$$^{II} \tau_u = \frac{1101,80 \times 10^3 \times 2,211 \times 10^8}{200 \times 3,637 \times 10^{11}} = 3,349 \text{ MPa}$$

$$^{III} \tau_u = \frac{1101,80 \times 10^3 \times 2,368 \times 10^8}{200 \times 3,637 \times 10^{11}} = 3,587 \text{ MPa}$$

Hlavní napětí:

$$\sigma_{1u} = 0,5 \times \left(\sigma_{xu} + \sqrt{\sigma_{xu}^2 + 4\tau_u^2} \right)$$

$$^I \sigma_{1u} = 0,5 \times \left(-7,282 + \sqrt{7,282^2 + 4 \times 2,769^2} \right) = 0,933 \text{ MPa}$$

$$^{II} \sigma_{1u} = 0,5 \times \left(-3,494 + \sqrt{3,494^2 + 4 \times 3,349^2} \right) = 2,030 \text{ MPa}$$

$$^{III} \sigma_{1u} = 0,5 \times \left(-5,388 + \sqrt{5,388^2 + 4 \times 3,587^2} \right) = 1,792 \text{ MPa}$$

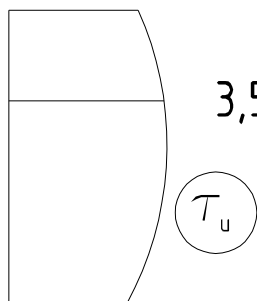
-3,494 MPa

-5,388 MPa

σ_{Au}

-7,282 MPa

3,349 MPa

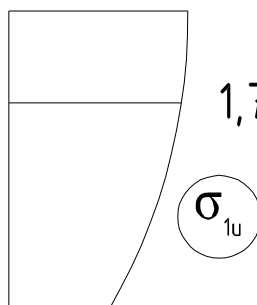


3,587 MPa

τ_u

2,769 MPa

2,030 MPa

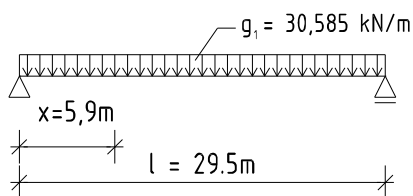


1,792 MPa

σ_{1u}

0,933 MPa

FAST VUT - Ústav betonových a zděných konstrukcí
Předpjatý nosník

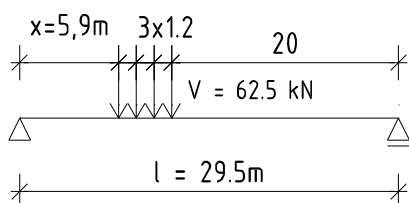


Řez B v 1/5 rozpětí.
 $x = 29,5/5 = 5,9$ m

Vnitřní síly:

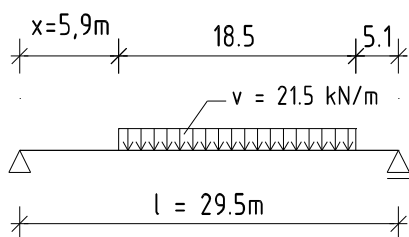
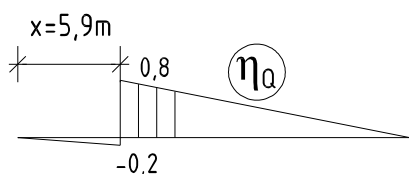
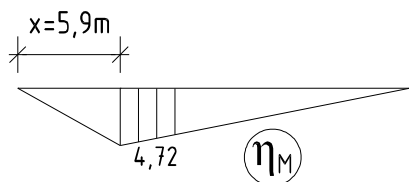
$$T_g = gl/2 - gx = 30,585 \times 29,5/2 - 30,585 \times 5,9 = 270,68 \text{ kN}$$

$$M_g = \frac{gl}{2}x - gx\frac{x}{2} = \frac{30,585 \times 29,5}{2} \times 5,90 - 30,585 \times 5,90 \times \frac{5,90}{2} = 2129,33 \text{ kNm}$$



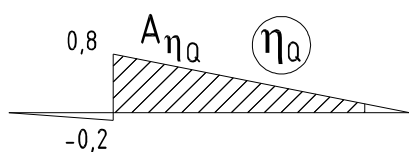
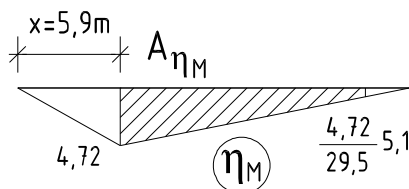
$$M_V = V \sum \eta_{Mi} = 62,5 \times 4,72 \times \left(1 + \frac{22,4}{29,5} + \frac{21,2}{29,5} + \frac{20}{29,5} \right) = 636,92 \text{ kNm}$$

$$T_V = V \sum \eta_{Qi} = 62,5 \times 0,8 \times \left(1 + \frac{22,4}{29,5} + \frac{21,2}{29,5} + \frac{20}{29,5} \right) = 157,80 \text{ kN}$$



$$M_v = v A_{\eta_M} = 21,5 \left(18,5 \times \frac{4,72}{29,5} \times 5,1 + \frac{1}{2} \times 18,5 \times \left(4,72 - \frac{4,72}{29,5} \times 5,1 \right) \right) = 1100,97 \text{ kNm}$$

$$T_v = v A_{\eta_Q} = 21,5 \left(18,5 \times \frac{0,8}{29,5} \times 5,1 + \frac{1}{2} \times 18,5 \times \left(0,8 - \frac{0,8}{29,5} \times 5,1 \right) \right) = 186,61 \text{ kN}$$



$$\max T_v = \max \{ \delta_r T_v ; \delta_r T_v \} = \max \{ 165,70 ; 195,94 \}$$

$$\max T_v = 195,94 \text{ kN}$$

$$\max M_v = \max \{ \delta_r M_v ; \delta_r M_v \} = \max \{ 983,76 ; 1156,02 \}$$

$$\max M_v = 1156,02 \text{ kNm}$$

Kombinace zatížení:

$$\max T_{Qu} = s_u (0,9T_g + 1,1\max T_v) = 2,0 \times (0,9 \times 270,68 + 1,1 \times 195,94) = 918,29 \text{ kN}$$

$$\text{odp } M_{Qu} = s_u (0,9M_g + 1,1\max M_v) = 2,0 \times (0,9 \times 2129,33 + 1,1 \times 1156,02) = 6376,04 \text{ kNm}$$

$$\text{odp } N_{qu} = 0 \text{ kN}$$

Redukce o vliv předpětí:

Vážený průměr všech úhlů ve vzdálenosti 5,9m:

$$\alpha_{\emptyset} = \frac{7 \times 5,57 + 6 \times 6,06}{27} = 2,79^\circ$$

$$T_u = \max T_{Qu} - P'_{\infty} \sin \alpha_{\emptyset} = 918,29 - 4197,5 \sin 2,79^\circ = 713,97 \text{ kN}$$

$$e_{p,1m} = z_1 - a_{5,9m} = 1217,02 - 414,23 = 802,79 \text{ mm}$$

$$M_u = \text{odp } M_{Qu} - P'_{\infty} e_{p,1m} \cos \alpha_{\emptyset} = 6376,04 - 4197,5 \times 0,803 \times \cos 2,79^\circ = 3009,44 \text{ kNm}$$

$$N_u = \text{odp } N_{Qu} - P'_{\infty} \cos \alpha_{\emptyset} = 0 - 4197,5 \times \cos 2,79^\circ = -4192,52 \text{ kN}$$

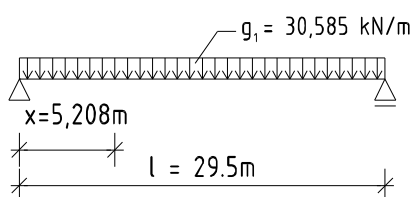
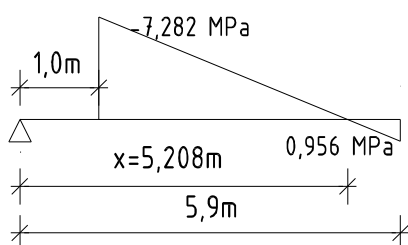
Normálové napětí:

$$\sigma_{xu} = \frac{N_u}{A} + \frac{M_u z}{I_b}$$

$$^I \sigma_{xu} = \frac{N_u}{A} + \frac{M_u z'}{I_b} = \frac{-4192,52 \times 10^3}{7,777 \times 10^5} + \frac{3009,44 \times 10^6 \times 767,02}{3,637 \times 10^{11}} = 0,956 \text{ MPa}$$

Lineární interpolací zjistíme kde je $\sigma_{xu} = 0 \text{ Mpa}$:

$$\frac{x-1}{7,282} = \frac{5,9-1}{0,956+7,282} \Rightarrow x = 5,208 \text{ m}$$



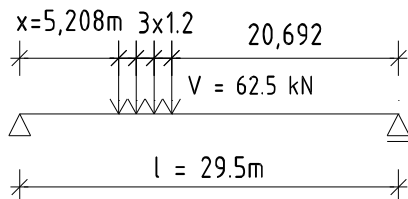
Řez X v $\sigma_{xu} = 0 \text{ Mpa}$.

$$x = 5,208 \text{ m}$$

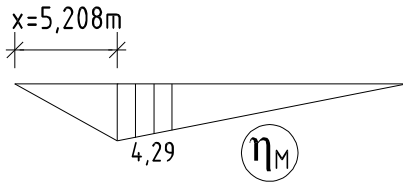
Vnitřní síly:

$$T_g = gl/2 - gx = 30,585 \times 29,5/2 - 30,585 \times 5,208 = 291,84 \text{ kN}$$

$$M_g = \frac{gl}{2} x - gx \frac{x}{2} = \frac{30,585 \times 29,5}{2} \times 5,208 - 30,585 \times \frac{5,208^2}{2} = 1934,70 \text{ kNm}$$

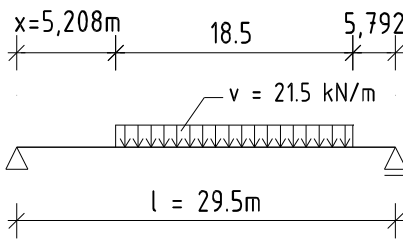
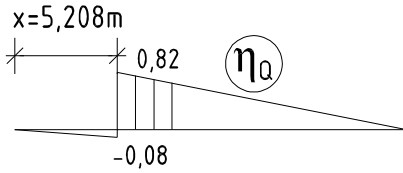


FAST VUT - Ústav betonových a zděných konstrukcí
Předpjatý nosník



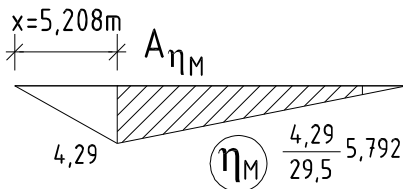
$$M_v = V \sum \eta_{Mi} = 62,5 \times 4,29 \times \left(1 + \frac{23,092}{29,5} + \frac{21,892}{29,5} + \frac{20,692}{29,5} \right) = 865,05 \text{ kNm}$$

$$T_v = V \sum \eta_{Qi} = 62,5 \times 0,82 \times \left(1 + \frac{23,092}{29,5} + \frac{21,892}{29,5} + \frac{20,692}{29,5} \right) = 165,35 \text{ kN}$$



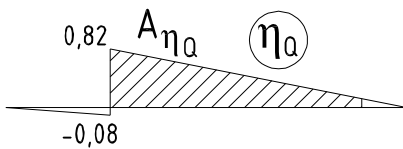
$$M_v = v A_{\eta_M} = 21,5 \left(18,5 \times \frac{4,29}{29,5} \times 5,792 + \frac{1}{2} \times 18,5 \times \left(4,29 - \frac{4,29}{29,5} \times 5,792 \right) \right) = 1020,69 \text{ kNm}$$

$$T_v = v A_{\eta_Q} = 21,5 \left(18,5 \times \frac{0,82}{29,5} \times 5,792 + \frac{1}{2} \times 18,5 \times \left(0,82 - \frac{0,82}{29,5} \times 5,792 \right) \right) = 195,10 \text{ kN}$$



$$\max T_v = \max \{ \delta_r T_v ; \delta_r T_v \} = \max \{ 173,62 ; 204,86 \}$$

$$\max T_v = 204,86 \text{ kN}$$



$$\max M_v = \max \{ \delta_r M_v ; \delta_r M_v \} = \max \{ 908,30 ; 1071,72 \}$$

$$\max M_v = 1071,72 \text{ kNm}$$

Kombinace zatížení:

$$\max T_{Qu} = s_u (0,9 T_g + 1,1 \max T_v) = 2,0 \times (0,9 \times 291,84 + 1,1 \times 204,86) = 976,00 \text{ kN}$$

$$\text{odp } M_{Qu} = s_u (0,9 M_g + 1,1 \max M_v) = 2,0 \times (0,9 \times 1970,36 + 1,1 \times 1087,413) = 5840,24 \text{ kNm}$$

$$\text{odp } N_{qu} = 0 \text{ kN}$$

Redukce o vliv předpětí:

Vážený průměr všech úhlů ve vzdálenosti 5,208m:

$$\alpha_\emptyset = \frac{7 \times 5,57 + 6 \times 6,06}{27} = 2,79^\circ$$

$$T_u = \max T_{Qu} - P'_\infty \sin \alpha_\emptyset = 976,00 - 4197,5 \sin 2,79^\circ = 771,68 \text{ kN}$$

$$e_{p,1m} = z_1 - a_{5,9m} = 1217,02 - 442 = 775,02 \text{ mm}$$

$$M_u = \text{odp } M_{Qu} - P'_\infty e_{p,1m} \cos \alpha_\emptyset = 5840,24 - 4197,5 \times 0,769 \times \cos 2,79^\circ = 2616,10 \text{ kNm}$$

$$N_u = \text{odp } N_{Qu} - P'_\infty \cos \alpha_\emptyset = 0 - 4197,5 \times \cos 2,79^\circ = -4192,52 \text{ kN}$$

Normálové napětí:

$$\sigma_{xu} = \frac{N_u}{A} + \frac{M_u z}{I_b}$$

$$^I \sigma_{xu} = \frac{N_u}{A} + \frac{M_u z^I}{I_b} = \frac{-4192,52 \times 10^3}{7,777 \times 10^5} + \frac{2616,10 \times 10^6 \times 767,02}{3,637 \times 10^{11}} =$$
$$= 0,126 \text{ MPa} \approx 0 \text{ MPa}$$

$$^{II} \sigma_{xu} = \frac{N_u}{A} + \frac{M_u z^{II}}{I_b} = \frac{-4192,52 \times 10^3}{7,777 \times 10^5} - \frac{2616,10 \times 10^6 \times 457,98}{3,637 \times 10^{11}} = -8,685 \text{ MPa}$$

Tangenciální napětí:

$$\tau_u = \frac{T_u S_x}{b I_b}$$

$$^I \tau_u = \frac{771,68 \times 10^3 \times 1,828 \times 10^8}{200 \times 3,637 \times 10^{11}} = 1,939 \text{ MPa}$$

$$^{II} \tau_u = \frac{771,68 \times 10^3 \times 2,211 \times 10^8}{200 \times 3,637 \times 10^{11}} = 2,346 \text{ MPa}$$

Hlavní napětí:

$$\sigma_{1u} = 0,5 \times \left(\sigma_{xu} + \sqrt{\sigma_{xu}^2 + 4\tau_u^2} \right)$$

$$^I \sigma_{1u} = 0,5 \times \left(0 + \sqrt{4 \times 1,939^2} \right) = 1,939 \text{ MPa} \leq 2R_t = 2 \times 2,7 = 5,4 \text{ MPa}$$

$$^{II} \sigma_{1u} = 0,5 \times \left(-8,685 + \sqrt{8,685^2 + 4 \times 2,346^2} \right) = 0,593 \text{ MPa} \leq 5,4 \text{ MPa}$$

Návrh smykové výztuže (třmínků)

$$\sigma_{1u} = 1,939 \text{ MPa} < 0,75R_t = 2,025 \text{ MPa}$$

=> konstrukční výztuž - třmínky $\varnothing R8$ po 350mm

Stupeň bezpečnosti proti vzniku trhlin

V nebezpečném průřezu $x = l/2 = 14,75\text{m}$:

$$M_s = 0,9M_g + 1,1\delta_{\max} M_v = 0,9 \times 3327,07 + 1,1 \times 1,05 \times 2013,69 =$$
$$= 5320,17 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{1s} = \frac{M_s}{W_1} = \frac{5320,17 \times 10^6}{2,988 \times 10^8} = 17,805 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1p} = \frac{-P'_\infty (e_p + j_2)}{W_1} = \frac{-4197,5 \times 10^3 \times (1077 + 384)}{2,988 \times 10^8} = -20,524 \text{ MPa}$$

$$S_r = \frac{1,5R_t - \sigma_{1p}}{\sigma_{1s}} = \frac{1,5 \times 2,7 + 20,524}{17,805} = 1,38$$

$$S_r = 1,38 > 1,00 \wedge S_r < 0,9s_u = 0,9 \times 2,0 = 1,8$$

Stupeň bezpečnosti proti vzniku trhlin vyhovuje (nevzniknou trhliny).

Analýza deformací

Pružné průhyby:

$$y_{g0} = \frac{5}{384} \frac{g_0 l^4}{E_b I_b} = \frac{5}{384} \frac{20,51 \times 10^3 \times 29,5^4 \times 10^{12}}{36 \times 10^9 \times 3,637 \times 10^{11}} = 15,45 \text{ mm}$$

$$y_{g1} = \frac{5}{384} \frac{g_1 l^4}{E_b I_b} = \frac{5}{384} \frac{10,075 \times 10^3 \times 29,5^4 \times 10^{12}}{36 \times 10^9 \times 3,637 \times 10^{11}} = 8,72 \text{ mm}$$

$$y_v = \frac{vc}{6E_b I_b} \left[\frac{ab}{l} \left(2al - 2a^2 - \frac{c}{4} \right) + \frac{c^3}{64} \right] = \frac{21,5 \times 18,5}{6 \times 36 \times 3,637 \times 10^7} \times$$

$$\times \left[\frac{14,75^2}{29,5} \left(2 \times 14,75 \times 29,5 - 2 \times 14,75^2 - \frac{18,5}{4} \right) + \frac{18,5^3}{64} \right] =$$

$$= 16,58 \text{ mm} < 49,17 \text{ mm} = \frac{29500}{600} = \frac{1}{600} l = y_{v, \text{lim}}$$

Průhyb od předpínací výztuže spočítám po jednotlivých průměrných drahách a pak provedu superpozici:

$$y_{\hat{P}_{0,1}} = \frac{-\hat{P}_{0,1} l^2 (5e_{pc,1} + e_{pk,1})}{48E_b I_b} =$$

$$= \frac{-2180,92 \times 29,5^2 (5 \times 1,077 + 0,508)}{48 \times 36 \times 3,637 \times 10^5} = -17,8 \text{ mm}$$

$$y_{\hat{P}_{0,2}} = \frac{-\hat{P}_{0,2} l^2 e_p}{8E_b I_b} = \frac{-2348,69 \times 29,5^2 \times 1,077}{8 \times 36 \times 3,637 \times 10^5} =$$

$$= -21,00 \text{ mm}$$

Tedy

$$y_{P_e} = y_{\hat{P}_{0,1}} + y_{\hat{P}_{0,2}} = -17,8 - 21,0 = -38,8 \text{ mm}$$

Trvalá deformace:

$$y_{d,tg} = \varphi(t_o, t_g) y_{g0} = 1,040 \times 15,45 = 16,068 \text{ mm}$$

$$y_{d,tv} = \varphi(t_o, t_v) y_{g0} = 1,176 \times 15,45 = 18,169 \text{ mm}$$

$$y_{d,t\infty} = \varphi(t_o, t_\infty) y_{g0} = 1,996 \times 15,45 = 30,838 \text{ mm}$$

$$y_{d,tv} = \varphi(t_g, t_v) y_{g1} = 0,136 \times 8,72 = 1,186 \text{ mm}$$

$$y_{d,t\infty} = \varphi(t_g, t_\infty) y_{g1} = 0,956 \times 8,72 = 8,336 \text{ mm}$$

$$y_{d,t\infty} = \varphi(t_v, t_\infty) y_v = 0,880 \times 16,58 = 14,59 \text{ mm}$$

Předpětí:

$$\Delta t_g P_o = D(t_o, t_g) P_o = 0,085 \times (-4529,61) = -385,02 \text{ kN}$$

$$\Delta t_v P_o = D(t_o, t_v) P_o = 0,096 \times (-4529,61) = -434,84 \text{ kN}$$

$$\Delta t_\infty P_o = D(t_o, t_\infty) P_o = 0,158 \times (-4529,61) = -713,68 \text{ kN}$$

FAST VUT - Ústav betonových a zděných konstrukcí
Předpjatý nosník

$$t_0 - t_g: P'_0 = P_0 + \frac{3}{4} \times \Delta t_g P_0 = 4529,61 - \frac{3}{4} \times 385,02 = 4240,85 \text{ kN}$$

$$t_0 - t_v: P'_0 = P_0 + \frac{3}{4} \times \Delta t_v P_0 = 4529,61 - \frac{3}{4} \times 434,84 = 4203,48 \text{ kN}$$

$$t_0 - t_\infty: P'_0 = P_0 + \frac{3}{4} \times \Delta t_\infty P_0 = 4529,61 - \frac{3}{4} \times 673,02 = 4024,85 \text{ kN}$$

$$t_g - t_v: P'_0 = \frac{3}{4} \times \Delta t_v P_g = \frac{3}{4} \times 7,96 = 5,97 \text{ kN}$$

$$t_g - t_\infty: P'_0 = \frac{3}{4} \times \Delta t_\infty P_g = \frac{3}{4} \times 52,38 = 39,29 \text{ kN}$$

$$t_v - t_\infty: P'_0 = \frac{3}{4} \times \Delta e P_v = \frac{3}{4} \times 62,30 = 46,73 \text{ kN}$$

$$y_{d,t_g} = \varphi(t_0; t_g) \frac{y_{\hat{P}_0}}{P_0} \hat{P}_0 = 1,040 \times \frac{-38,8}{4529,61} \times 4240,85 = -37,78 \text{ mm}$$

$$y_{d,t_v} = \varphi(t_0; t_v) \frac{y_{\hat{P}_0}}{P_0} \hat{P}_0 = 1,176 \times \frac{-38,8}{4529,61} \times 4203,48 = -42,34 \text{ mm}$$

$$y_{d,t_\infty} = \varphi(t_0; t_\infty) \frac{y_{\hat{P}_0}}{P_0} \hat{P}_0 = 1,996 \times \frac{-38,8}{4529,61} \times 4024,85 = -68,81 \text{ mm}$$

$$y_{d,P_g,t_v} = \varphi(t_g; t_v) \frac{y_{\hat{P}_0}}{P_0} \hat{P}_0 = 0,136 \times \frac{-38,8}{4529,61} \times 5,97 \cong 0 \text{ mm}$$

$$y_{d,P_g,t_\infty} = \varphi(t_g; t_\infty) \frac{y_{\hat{P}_0}}{P_0} \hat{P}_0 = 0,956 \times \frac{-38,8}{4529,61} \times 39,29 = -0,32 \text{ mm}$$

$$y_{d,P_g,e} = 0,073 \times \frac{-38,8}{4529,61} \times 46,73 \cong 0 \text{ mm}$$

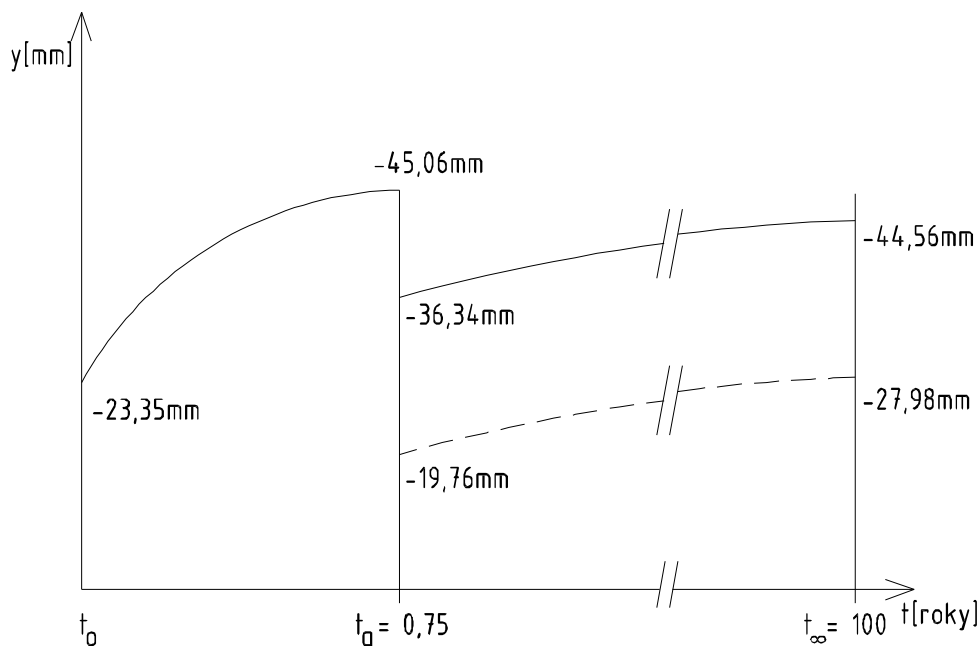
Celková deformace:

$$t_0: y_0 = y_{g0} + y_{P0} = 15,45 - 38,8 = -23,35 \text{ mm}$$

$$t_g^P: y(t_g^P) = y_0 + y_{dgo} + y_{P(g0)} = -23,35 + 16,068 - 37,78 = -45,06 \text{ mm}$$

$$t_g^Z: y(t_g^Z) = y(t_g^P) + y_{eg1} = -45,06 + 8,72 = -36,34 \text{ mm}$$

$$t_\infty: y_\infty = y_{P0} + y_{g0} + y_{g1} + y_{d(P0;t_\infty)} + y_{d(g0;t_\infty)} + y_{d(g1;t_\infty)} + y_{d(Pg;t_\infty)} = \\ = -38,8 + 15,45 + 8,72 - 68,81 + 30,84 + 8,36 - 0,32 = \\ = -44,56 \text{ mm}$$



Návrh a posouzení rozměrů kotevní desky

Působící síla:

$$\text{Kabely 1-3: } P_k = \sigma_{pk} A_p = 1440 \times 10^3 \times 7 \times 141,57 \times 10^{-6} = 1427,0 \text{ kN}$$

$$\text{Kabel 4: } P_k = \sigma_{pk} A_p = 1440 \times 10^3 \times 6 \times 141,57 \times 10^{-6} = 1223,2 \text{ kN}$$

Velikost styčné plochy (systém SOLO):

$$A_d = 1/4\pi(210^2 - 86^2 + 160^2 - 80^2) = 43907 \text{ mm}^2$$

Působící napětí:

$$|\sigma_{bk}| = \frac{P_k}{A_d} = \frac{1427,0}{43907} = 32,50 \text{ MPa}$$

Pro 4 kabel:

$$|\sigma_{bk}| = \frac{P_k}{A_d} = \frac{1223,2}{43907} = 27,86 \text{ MPa}$$

Rozněšecí plochy kotev:

$$A_{c,1} = 600 \times 550 = 330000 \text{ mm}^2$$

$$A_{c,2} = 700 \times 550 = 385000 \text{ mm}^2$$

Dovolené namáhání:

$$\begin{aligned} |\sigma_{bk,dov}| &= \min \left\{ c_k |\sigma_{bc,dov}| \times \sqrt[3]{\frac{A_c}{A_d}}; 2,5 |\sigma_{bc,dov}| \right\} = \\ &= \min \left\{ 2,0 \times 11 \times 10^6 \times \sqrt[3]{\frac{330}{43,9}}; 2,5 \times 11 \times 10^6 \right\} = \\ &= \min \{ 43,1 \text{ MPa}; 27,5 \text{ MPa} \} = 27,5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$|\sigma_{bk}| = 32,5 \text{ MPa} > 27,5 \text{ MPa} = |\sigma_{bk,dov}|$$

Garantuje výrobce

Rozměry kotevní desky nevyhovují

Vyztužení kotevní oblasti:

$$\frac{a'_1}{a_1} = \frac{a'_2}{a_2} = \frac{205}{340} = 0,603$$

$$\frac{a'_3}{a_3} = \frac{a'_4}{a_4} = \frac{205}{500} = 0,41$$

$$\frac{H_{z1,2}}{P_{k1,2}} = 0,071$$

$$H_{z1,2} = 0,071 \times 1427 = 101,32 \text{ kN}$$

$$\frac{H_{z3,4}}{P_{k3,4}} = 0,117$$

$$H_{z3} = 0,117 \times 1427 = 166,96 \text{ kN}$$

$$H_{z4} = 0,117 \times 1223,2 = 143,11 \text{ kN}$$

Výslednice kotevních sil:

$$\sum P = 3 \times 1427 + 1223,2 = 5504,2 \text{ kN}$$

Její poloha je v těžišti všech kabelů

$$x_{\Sigma} = \frac{14 \times 0,17 + 7 \times 1,11 + 6 \times 1,5}{27} = 0,709 \text{ m}$$

Vzdálenost sil dole od výslednice:

$$x_d = 0,539 \text{ m}$$

Vzdálenost sil nahoře od výslednice:

$$x_h = \frac{7 \times 0,401 + 6 \times 0,791}{13} = 0,581 \text{ m}$$

Z geometrie a polohy výslednice:

$$a_{\Sigma} = 1,418 \text{ m}$$

$$a_{\Sigma}' = \min \{x_d + x_h; x_d + 0,5a_{\Sigma}; x_h + 0,5a_{\Sigma}\} =$$

$$= \min \{0,539 + 0,581; 0,539 + 0,5 \times 1,418; 0,581 + 0,5 \times 1,418\} =$$

$$= \min \{1,12; 1,248; 1,29\} = 1,12 \text{ m}$$

$$\frac{a_{\Sigma}'}{a_{\Sigma}} = \frac{1120}{1418} = 0,79 \Rightarrow \frac{H'_{z\Sigma}}{\sum P} = 0,025$$

$$H'_{z\Sigma} = 137,605 \text{ kN}$$

Výztuž navrhuji z oceli 10505 (R):

$$\sigma_{s,dov} = 280 \text{ MPa}$$

$$\sum H_{zi} = H_{z1} + H_{z2} + H_{z3} = 2 \times 101,32 + 166,96 = 369,6 \text{ kN}$$

Celková plocha třmínků:

$$A_{sz} = \frac{\sum H_{zi} + H'_{z\Sigma}}{\sigma_{s,dov}} = \frac{369,6 + 137,605}{280 \times 10^3} = 18,11 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Mřížka 4ØR8 - 10ks

$$A_{st} = 20 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

