

Sila $P_{m,0}$ je sila v žolnu v srednjem preseku tobja po napenjanju, $P_{m,0}$ pa sila, ko se izvršijo še nekatere izgube. Sila $P_{m,0}$ oziroma $P_{m,0}$ je dosežena točka, ko je na konstrukciji tudi g_1 , ki se aktivira ob napenjanju žolnov.

Keren izgub zaradi neelastičnosti moramo pri normalnem napenjanju upoštevati še naslednje izgube:

$$P_{m,0} = P_0 - \Delta P_{sl} - \Delta P_c - \Delta P_{ju}(x)$$

P_0 - začetna sila na mestu napenjanja

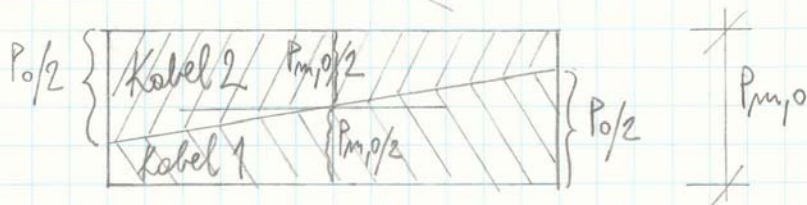
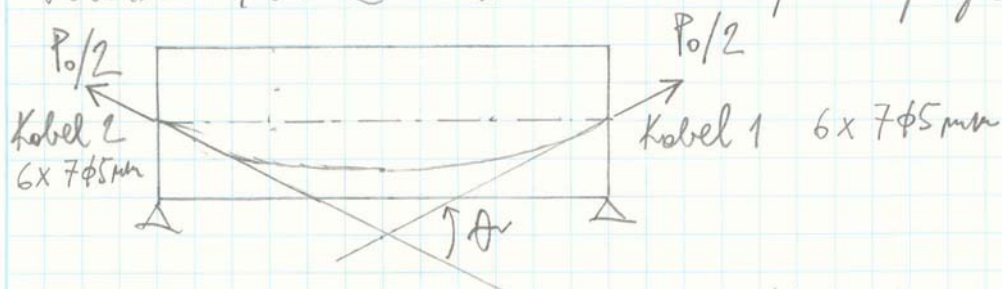
ΔP_{sl} - izgube zaradi zdraa v napenjalni plavi, odvisno od sistema napenjanja, lahko izračunamo (vaje), sicer je ΔP_{sl} podatek proizvajalca opreme za napenjanje.

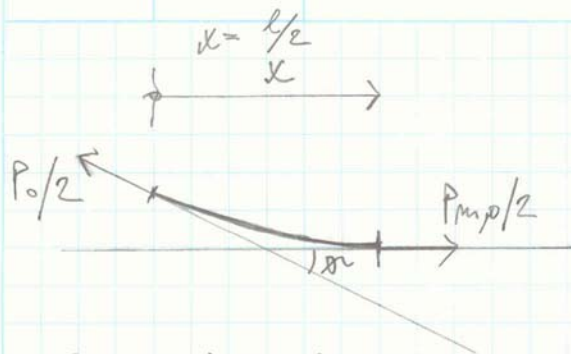
$$\Delta E_{sl} = \Delta l_{sl} / l \rightarrow \Delta \sigma_{sl} = \Delta E_{sl} \cdot E_p \rightarrow \Delta P_{sl} = \Delta \sigma_{sl} \cdot A_p$$

ΔP_c - izgube sile podnapetja zaradi strčre betona med napenjanjem. To je pomembno pri normalnem napenjanju, če kable napenjamo drugje se drugim.

$\Delta P_{ju}(x)$ - izgube sile podnapetja zaradi stienja v cavi.

V našem primeru bomo privzeli napenjanje z dveh strani hkrati! Vrti v eni cavi napenjamo z ene strani, vrti v drugi cavi pa hkrati z druge strani. S tem se izognemo izgubam zaradi strčre betona ΔP_c in dosežemo po vsej dolžini nosilca konstantno silo podnapetja:





Izgube zaradi tenzije:

$$\Delta P_u = P_0 \cdot (1 - e^{-\mu(\theta + k \cdot x)})$$

θ - kot med dvema mestoma na katerem računamo podl. silo.
 μ - koeficient tenzije EC 2 4.2.3.5.5 (8)
 k - nomenimna neravnost žablov (rad/m)

Kolikšno silo moramo doseči na mestu napenjanja, da bo v sredini 82 en kabel $P_{m,0/2}$:

$$P_{m,0/2} = P_0/2 - \Delta P_u(l/2) = P_0/2 - P_0/2 \cdot (1 - e^{-\mu(\theta + k \cdot x)})$$

$$P_{m,0/2} = P_0/2 \cdot e^{-\mu(\theta + k \cdot x)} \rightarrow P_{m,0} = P_0 \cdot e^{-\mu(\theta + k \cdot x)}$$

$$x=0 : \text{tg } \alpha_1 = z'(x^* = -8) = +0,0125 \cdot 8 = 0,100 \cong \alpha_1 = 0,100 \text{ rad}$$

$$x=l/2 : \text{tg } \alpha_2 = z'(x^* = 0) = 0 \rightarrow \alpha_2 = 0$$

$$\theta = \alpha_1 - \alpha_2 = 0,100 - 0 = 0,100$$

$$\left. \begin{array}{l} \mu = 0,19 \\ k = 0,0075 \end{array} \right\} \text{EC 2 4.2.3.5.5} \quad 0,005 < k < 0,01$$

$$P_0 = \frac{P_{m,0}}{e^{-\mu(\theta + k \cdot x)}} = P_{m,0} \cdot e^{\mu(\theta + k \cdot x)} = 2223 \cdot e^{0,19(0,1 + 8 \cdot 0,0075)} = \underline{\underline{2292 \text{ kN}}}$$

Ker so $\Delta P_{cl} = \Delta P_c = 0$, smo dobili silo na mestu napenjanja:

$$P_0 = 2292 \text{ kN} \rightarrow \sigma_{0,max} = \frac{2292}{16,8} = 136,4 \text{ kN/cm}^2$$

Tudi te napetosti (največje napetosti v kablju) so omejene:

$$\sigma_{0,max} \leq \begin{cases} 0,80 \cdot f_{pk} = 0,80 \cdot 177 = 141,6 \text{ kN/cm}^2 \\ 0,90 \cdot f_{p0,1k} = 0,90 \cdot 157 = \underline{\underline{141,3 \text{ kN/cm}^2}} \end{cases}$$

$$\text{Ker } \sigma_{0,max} = 136,4 < 141,3 \text{ kN/cm}^2 \quad \checkmark$$

6) Geometrijske karakteristične preseke:

Ločimo geometrijske karakteristične za bruto presek, neto presek, idealni presek in lahko še neto betonski presek z mrežo armaturo in idealni presek z armaturo. Na vajah bomo uporabili le karakteristične neto preseke in idealnega preseka brez armature!

Bruto presek: $A_b = 35 \cdot 110 = 3850 \text{ cm}^2$

$$S_{yb} = A_b \cdot 55 = 211750 \text{ cm}^3$$

$$J_{yb} = 35 \cdot 110^3 / 12 + S_{yb} \cdot 55 = 15\,528\,333 \text{ cm}^4$$

S_y, J_y - glede na zgornjo σ (y)!

Ceri za koble: $A_d = 2 \cdot 6,2^2 \cdot \pi / 4 = 60,4 \text{ cm}^2$

$$S_{yd} = A_d \cdot 95 = 5\,733 \text{ cm}^3$$

$$J_{yd} = S_{yd} \cdot 95 = 544\,666 \text{ cm}^4 \quad (J_{yd} = \overset{\approx 0}{J_{yd}^T} + A_d \cdot 95^2)$$

Neto presek: $A_m = 3850 - 60,4 = 3789,6 \text{ cm}^2$

$$S_{ym} = 211750 - 5733 = 206017 \text{ cm}^3$$

$$J_{ym} = 15\,528\,333 - 544\,666 = 14\,983\,667 \text{ cm}^4$$

Oddal. težišče od zg. roba: $e_m = S_{ym} / A_m = 206017 / 3789,6 = 54,4 \text{ cm}$

$$J_m = J_{ym} - A_m \cdot e_m^2 = 3\,783\,714 \text{ cm}^4$$

Za račun napetosti bomo potrebovali predvsem:

$$W_{1m} = \frac{J_m}{h - e_m} = \frac{3\,783\,714}{110 - 54,4} = 68\,052 \text{ cm}^3$$

$$W_{2m} = \frac{J_m}{e_m} = \frac{3\,783\,714}{54,4} = 69\,553 \text{ cm}^3$$

$$W_{4m} = \frac{J_m}{d_p - e_m} = \frac{3\,783\,714}{95 - 54,4} = 93\,195 \text{ cm}^3$$

Idealni presek : Upoštevam kable, armaturo zanemarim.
Kable so zaščitirani $\rightarrow$ izhajem iz
bruto preseke ;

$$(E_c \cdot A_i = E_c A_b + E_p \cdot A_p - E_c \cdot A_p) \Rightarrow$$

Vpliv kablov : $A_p' = \left(\frac{E_p}{E_c} - 1 \right) \cdot A_p = \left(\frac{19500}{3500} - 1 \right) \cdot 16,8 = 76,8 \text{ cm}^2$

$$S_{yp}' = A_p' \cdot 95 = 7296 \text{ cm}^3$$

$$J_{yp}' = S_{yp}' \cdot 95 = 693120 \text{ cm}^4$$

$$A_i = A_b + A_p' = 3850 + 76,8 = 3926,8 \text{ cm}^2$$

$$S_{yi} = S_{yb} + S_{yp}' = 211750 + 7296 = 219046 \text{ cm}^3$$

$$J_{yi} = J_{yb} + J_{yp}' = 15528333 + 693120 = 16221453 \text{ cm}^4$$

$$r_i = S_{yi} / A_i = 219046 / 3926,8 = 55,8 \text{ cm}$$

$$J_i = J_{yi} - A_i r_i^2 = 16221453 - 3926,8 \cdot 55,8^2 = 3998686 \text{ cm}^4$$

$$W_{1i} = \frac{J_i}{h - r_i} = \frac{3998686}{110 - 55,8} = 73776 \text{ cm}^3$$

$$W_{2i} = \frac{J_i}{r_i} = \frac{3998686}{55,8} = 71661 \text{ cm}^3$$

$$W_{4i} = \frac{J_i}{d_p - r_i} = \frac{3998686}{95 - 55,8} = 102007 \text{ cm}^3$$

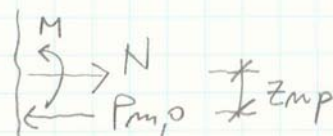
7.) Račun napetosti ;

7.1 Lastna teža in prednapetja

$$M_{g1} = 308,2 \text{ kNm}, \quad N_g = 8$$

$$N_{p,0} = -P_{m,0} = -2223 \text{ kN}; \quad z_{mp} = d_p - r_m = 95 - 54,4 = 40,6 \text{ cm}$$

$$M_{p,0} = -P_{m,0} \cdot z_{mp} = -2223 \cdot 0,406 = -902,5 \text{ kNm}$$



Upoštevamo neto presek:

$$\sigma_{c1, g_1+p_0} = \frac{M_{g_1} + M_{p_0}}{W_{1m}} + \frac{N_{p_0}}{A_m} = \frac{(308,2 - 902,5) \cdot 100}{68052} - \frac{2223}{3789,6} = -0,873 - 0,587 = -1,460 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c2, g_1+p_0} = -\frac{M_{g_1} + M_{p_0}}{W_{2m}} + \frac{N_{p_0}}{A_m} = -\frac{(308,2 - 902,5) \cdot 100}{69553} - \frac{2223}{3789,6} = 0,854 - 0,587 = 0,267 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{Notop!})$$

$$\sigma_{c4, g_1+p_0} = \frac{M_{g_1} + M_{p_0}}{W_{4m}} + \frac{N_{p_0}}{A_m} = \frac{(308,2 - 902,5) \cdot 100}{93195} - \frac{2223}{3789,6} = -0,638 - 0,587 = -1,224 \text{ kN/cm}^2$$

7.2 Preostala stalna obtežba

Deluje na nepeti in začetni presek $\rightarrow$ idealni presek

$$\sigma_{c1, g_2} = \frac{M_{g_2}}{W_{1i}} = \frac{560,1 \cdot 100}{73776} = 0,759 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c2, g_2} = -\frac{M_{g_2}}{W_{2i}} = -\frac{560,1 \cdot 100}{71661} = -0,782 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c4, g_2} = \frac{M_{g_2}}{W_{4i}} = \frac{560,1 \cdot 100}{102007} = 0,549 \text{ kN/cm}^2$$

7.3 Novideamo stalni del kratke obtežbe: $\psi_2 \cdot q$

idealni presek! $\rightarrow$

$$\rightarrow \sigma_{c1, \psi_2 q} = 144,0 \cdot 100 / 73776 = 0,195 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c2, \psi_2 q} = -144,0 \cdot 100 / 71661 = -0,201 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c4, \psi_2 q} = 144,0 \cdot 100 / 102007 = 0,141 \text{ kN/cm}^2$$

8.) Račun izgub zaradi neologije (krčenje, lčenje, relaksacije)

konkretna dimenzija $\frac{2A_c}{u} = \frac{2 \cdot 35 \cdot 110}{2 \cdot (35 + 110)} = 28,5 \text{ cm}$

Končne deformacije krčenje:

Tabela 3.4 EC2 $\rightarrow$ interpolacije za $\frac{2A_c}{u} = 285 \text{ mm}$ (med 150 in 600)
 $RH = 50\%$; $\varepsilon_{cs\infty} = \left(-0,60 + 0,1 \cdot \frac{135}{450} \right) = \underline{\underline{-0,57\%}}$

Končne deformacije lčenje:

Storost ob drenažitvi - napenjanje $t_0 = 28 \text{ dni}$

Tabela 3.3 EC2 $\rightarrow$ interpolacije za $\frac{2A_c}{u} = 285$ (med 150 in 600)

$RH = 50\%$; $\phi = \phi(\infty, 28 \text{ dni}) = 2,5 - 0,5 \cdot \frac{135}{450} = \underline{\underline{2,35}}$

$$\left. \begin{array}{l} E_p = 19500 \text{ kN/m}^2 \\ E_c = 3500 \text{ --} \end{array} \right\} \alpha_p = \frac{E_p}{E_c} = 5,6$$

$$\Delta \sigma_{p,r+s+r} = \frac{\varepsilon_{cs\infty} E_p + \Delta \sigma_{p,r} + \alpha_p \cdot \phi \cdot (\sigma_{cg} + \sigma_{cpo})}{1 + \alpha_p \cdot \frac{A_p}{A_i} \left(1 + \frac{A_i}{J_i} \cdot z_{ip}^2 \right) \cdot (1 + 0,8 \cdot \phi)} \quad (E_n: 4.10 EC2)$$

$\Delta \sigma_{p,r+s+r}$ — izgube napetosti v kablkih zaradi neologije

$\Delta \sigma_{p,r}$ — izgube napetosti zaradi relaksacije

σ_{cg} — napetosti betona na mestu kablov zaradi lastne teže in ostalih stalnih vplivov

σ_{cpo} — napetosti betona na mestu kablov zaradi prednapetja

z_{ip} — ekscentričnost kablov glede na tež. id. preseka
 $z_{ip} = d_p - x_i = 95 - 55,8 = 39,2 \text{ cm}$

V našem primeru gre za mehansko napenjanje. Nimamo ločenih napetosti za vpliv prednapetja in lastne teže (ko imamo samo $p_{m,0}$, deluje že lastna teža); upoštevamo tudi neodvisno stalni del q ($\frac{1}{2} \cdot q$) in dobimo:

Končne relaksacija:

$$\Delta \sigma_{pr} = -3 \cdot \Delta \sigma_{pr,1000} = -3 \cdot 3,06 = -9,18 \text{ kN/cm}^2 \text{ (padec napetosti)}$$

Zatoj lahko izračunam $\Delta \sigma_{p, c+s+r}$; (izre pripravljen za naslednje iteracije)

$$\Delta \sigma_{p, c+s+r} = \frac{-0,57 \cdot 10^{-3} \cdot 19500 + \Delta \sigma_{pr} + 5,6 \cdot 2,35 \cdot (-0,534)}{1 + 5,6 \cdot \frac{16,8}{3926,8} \left(1 + \frac{3926,8}{3998686} \cdot 39,2^2\right) (1 + 0,8 \cdot 2,35)} = \frac{-18,14 + \Delta \sigma_{pr}}{1,173}$$

$$\Delta \sigma_{p, c+s+r} = \frac{-18,14 - 9,18}{1,173} = -23,3 \text{ kN/cm}^2$$

$$\rightarrow \text{nova iteracija; } \sigma_p = \sigma_{p,go} - 0,3 \cdot (-23,3) = 136,2 - 6,99 = 129,2$$

$$\sigma_p^{(2)} / f_{pk} = 129,2 / 177 = 0,73 \text{ (V problem bi lahko značilo, a povečamo še eno iteracijo)}$$

$$\text{Slike 4.8 EC2 so } \sigma_p / f_{pk} = 0,73 \rightarrow$$

$$\rightarrow \Delta \sigma_{pr,1000} = 3,25 \cdot 10^{-2} \cdot 129,2 = 4,20 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Delta \sigma_{pr} = -3 \cdot \Delta \sigma_{pr,1000} = -3 \cdot 4,20 = -12,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Delta \sigma_{p, c+s+r} = \frac{-18,14 - 12,6}{1,173} = -26,2 \text{ kN/cm}^2$$

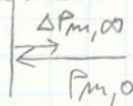
$$\sigma_p = 136,2 - 0,3 \cdot (-26,2) = 128,3 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_p^{(3)} / f_{pk} = 128,3 / 177 = 0,725 \approx \sigma_p^{(2)} / f_{pk} \rightarrow \text{ne iteriram več}$$

$$\boxed{\Delta \sigma_{p, c+s+r} = -26,2 \text{ kN/cm}^2}$$

Izgube sile prednapetja zaradi reologije:

$$\Delta P_{m,\infty} = \Delta \sigma_{p,CTSTR} \cdot A_p = -26,2 \cdot 16,8 = -440,2 \text{ kN}$$



Izgube sile: $\frac{\Delta P_{m,\infty}}{P_{m,0}} = \frac{-440,2}{2223} = 0,198 = 19,8\%$

(predvideno 15%)

Napetosti zaradi spremembe sile v kablju: ne dosegamo presega!

$N_{\Delta p} = 440,2 \text{ kN}$ (Namiščena notorna sila)

$M_{\Delta p} = 440,2 \cdot z_{ip} = 440,2 \cdot 0,392 = 172,6 \text{ kNm}$

$$\sigma_{x1,\Delta p} = \frac{M_{\Delta p}}{W_{1i}} + \frac{N_{\Delta p}}{A_i} = \frac{172,6 \cdot 100}{73776} + \frac{440,2}{3926,8} = 0,346 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{x2,\Delta p} = -\frac{172,6 \cdot 100}{71661} + \frac{440,2}{3926,8} = -0,129 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{x4,\Delta p} = \frac{172,6 \cdot 100}{102007} + \frac{440,2}{3926,8} = 0,281 \text{ kN/cm}^2$$

Kabli:

Začetni čas:	$P_{m,0} = 2223 \text{ kN}$	$\sigma_{pm0} = 132,3 \text{ kN/cm}^2$
Izguba:	$\Delta P_{m,\infty} = -440,2 \text{ kN}$	$\Delta \sigma_{p\infty} = -26,2 \text{ kN/cm}^2$
Končni čas:	$P_{m,\infty} = 1782,8 \text{ kN}$	$\sigma_{pm\infty} = 106,1 \text{ kN/cm}^2$