

Návrh a posúdenie prierezu namáhaného tlakom a ohybom:

Namáhanie tlakom a ohybom - prevládajúci tlak, IV. Oblasť

Prierezové sily:

$$M_{sd} = 10,00 \text{ kNm} \quad l_{eff} = 2,00 \text{ m}$$

$$N_{sd} = -8000,00 \text{ kN} \quad (\text{tlak}) \quad l_0 = l_{eff} = 2,00 \text{ m}$$

$$N_{sqp} = -1800,00 \text{ kN} \quad - \text{kvázi stála hodnota}$$

Materiálové charakteristiky:

Betón: C 40/50 $f_{ck} = 30,0 \text{ MPa}$ $\alpha_{cc} = 1,00$
 $\gamma_c = 1,50$

$$\eta = 1,0 \quad f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 20,000 \text{ MPa}$$

$$\lambda = 0,8 \quad E_{cm} = 33000,0 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{cu,3} = 3,50 \text{ ‰} \quad \epsilon_{c2} = 2,00 \text{ ‰}$$

Oceľ: 10505 (R) $f_{yk} = 490,0 \text{ MPa}$ $\gamma_s = 1,15$
 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 426,087 \text{ MPa}$
 $E_s = 200000,0 \text{ MPa}$

$$\epsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = 2,13 \text{ ‰}$$

Šírka dosky: $b = 1,000 \text{ m}$
 Hrúbka dosky: $h_d = 0,300 \text{ m}$

Polomer zotrvačnosti: $i = 0,2887 \cdot h_d = 0,0866 \text{ m}$
 Štíhlosť prvku: $\lambda = \frac{l_0}{i} = 23,09 < 25$
 - netreba uvažovať teóriu II. rádu

Základná excentricita: $e_1 = \frac{M_{sd}}{N_{sd}} = 0,0013 \text{ m}$

Uhol odklonu od zvislice: $\theta_i = \theta_0 \cdot \alpha_h = \frac{1}{200} \cdot \frac{2}{\sqrt{l_{eff}}} = 0,0071$

Náhodná excentricita: $e_i = \theta_i \cdot \frac{l_0}{2} = 0,0071 \text{ m}$
 (imperfekcie)

Excentricita I. rádu: $e_0 = e_1 + e_i = 0,0083 \text{ m}$

Minimálna excentricita: $\min e_0 \geq \begin{cases} h_d / 30 = 0,0100 \text{ m} \\ 20 \text{ mm} = 0,0200 \text{ m} \end{cases} \Rightarrow \min e_0 = 0,0200 \text{ m}$

$$e_0 = 0,0083 \text{ m} < \min e_0 = 0,0200 \text{ m}$$

$$\Rightarrow e_0 = 0,0200 \text{ m}$$

Ohybové momenty I. rádu: $M_{0sd} = N_{sd} \cdot e_0 = 160,00 \text{ kNm}$
 $M_{0sqp} = N_{sqp} \cdot e_0 = 36,00 \text{ kNm}$

Predpoklad: $\phi_1 = 20 \text{ mm}$
 $\phi_2 = 20 \text{ mm}$

Krytie ťahovej výstuže: $c_{nom,1} = c_{min,1} + \Delta c_{dev}$

$$c_{min,1} \geq \begin{cases} c_{min,b,1} = \phi_1 & = 20 \\ d_g & = 16 \\ c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} & = 20 \\ 10\text{mm} & = 10 \end{cases} \Rightarrow c_{min} = 20,0 \text{ mm}$$

$\Delta c_{dev} = 5,0 \text{ mm}$
 $c_{nom} = 25,0 \text{ mm}$

Krytie tlakovej výstuže: $c_{nom,2} = c_{min,2} + \Delta c_{dev}$

$$c_{min,2} \geq \begin{cases} c_{min,b,2} = \phi_2 & = 20 \\ d_g & = 16 \\ c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} & = 20 \\ 10\text{mm} & = 10 \end{cases} \Rightarrow c_{min} = 20,0 \text{ mm}$$

$\Delta c_{dev} = 5,0 \text{ mm}$
 $c_{nom} = 25,0 \text{ mm}$

Vzdialenosť d_1 : $d_1 = c_{nom,1} + \phi_1 / 2 = 0,035 \text{ m}$

Vzdialenosť d_2 : $d_2 = c_{nom,2} + \phi_2 / 2 = 0,035 \text{ m}$

Účinná výška: $d = h_d - d_1 = 0,265 \text{ m}$

$z_1 = h_d / 2 - d_1 = 0,115 \text{ m}$

$z_2 = h_d / 2 - d_2 = 0,115 \text{ m}$

Základná hodnota krivosti: $\frac{1}{r_0} = \frac{\epsilon_{yd}}{0,45 \cdot d} = 0,0178653$

Prepoklad: $\omega = 0,20$

$n_{bal} = 0,40$

$n = \frac{N_{sd}}{A_c \cdot f_{cd}} = 1,3333$

$n_u = 1 + \omega = 1,20$

Opravný súčiniteľ závislý na normálovej sile:

$K_r = \frac{(n_u - n)}{(n_u - n_{bal})} = -0,1667 < 1,00 - \text{vyhovuje}$
 $\Rightarrow K_r = -0,1667$

$\beta = 0,35 + f_{ck} / 200 - \lambda / 150 = 0,3461$

Súčiniteľ dotvarovania: $\varphi = 3,00$

$$\varphi_{ef} = \varphi \cdot \frac{M_{0sqp}}{M_{0sd}} = 0,6750$$

Súčiniteľ zohľadňujúci dotvarovanie:

$$K_{\varphi} = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} = 1,2336 > 1,00 \text{ - vyhovuje}$$

$$\implies K_{\varphi} = 1,2336$$

Krivosť: $\frac{1}{r} = K_r \cdot K_{\varphi} \cdot \frac{1}{r_0} = -0,0037$

Excentricita II. rádu: $e_2 = \left(\frac{1}{r}\right) \cdot \frac{l_0^2}{8} = 0,0000 \text{ m}$

Celková excentricita: $e_{tot} = e_0 + e_2 = 0,0200 \text{ m}$

Ohybové momenty II. rádu:

$$M_{Ed} = N_{sd} \cdot (e_0 + e_2) = 160,00 \text{ kNm}$$

$$M_{Eqp} = N_{sqp} \cdot (e_0 + e_2) = 36,00 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = N_{sd} = -8000,00 \text{ kN}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu,3}}{\varepsilon_{cu,3} + \varepsilon_{yd}} = 0,6216 \quad \xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu,3}}{\varepsilon_{cu,3} - \varepsilon_{yd}} = 2,5556$$

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,16473 \text{ m}$$

Rozhranie medzi tlakovým a ťahovým porušením:

$$N_{c,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} = 2635,6757 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 8000,00 \text{ kN} > N_{c,bal} = 2635,6757 \text{ kN}$$

$$\implies \text{- prevláda tlak, ide o prípad tlakového porušenia}$$

Prevládajúci tlak:

Ohybový moment od návrhového zaťaženia k ťažisku výstuže A_{s1} a A_{s2} :

$$M_{Ed1} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_1 = 1080 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed2} = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot z_2 = -760 \text{ kNm}$$

Poloha neutrálnej osi: $x = \frac{d_2}{\lambda} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed2}}{b \cdot d_2^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}}}\right) = 0,391117 \text{ m}$

Podmienka oblasti IV:

$$x > h/\lambda$$

$$x_{bal,1} = 0,1647 < x = 0,3911 > h_d/\lambda = 0,38 \text{ [m]}$$

$$0 < > x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_2 = 0,09 \text{ [m]}$$

- oblasť IV - tlačný je celý prierez, treba navrhnúť tlakové výstuže As_2 a As_1

- je vhodné navrhnúť symetrickú výstuž

Prevládajúci tlak - oblasť IV:

Napätie vo výstuži: $\sigma_s \leq \begin{cases} f_{yd} = 426,087 \\ \varepsilon_{c2} \cdot E_s = 400,000 \text{ MPa} \end{cases} \Rightarrow \sigma_s = 400,000 \text{ MPa}$

Potrebná plocha tlakovej výstuže:

$$A_{s2,req} = \frac{M_{Ed1} - b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot z_1}{\sigma_s \cdot (z_1 + z_2)} = 4,24E-03 \text{ m}^2$$

Potrebná plocha tlakovej výstuže:

$$A_{s1,req} = \frac{-M_{Ed2} - b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot z_2}{\sigma_s \cdot (z_1 + z_2)} = 7,61E-04 \text{ m}^2$$

Minimálna plocha výstuže:

$$A_{si,min} \geq \begin{cases} \frac{0,05 \cdot |N_{Ed}|}{f_{yd}} = 9,39E-04 \text{ m}^2 \\ 0,001 \cdot A_c = 3,00E-04 \text{ m}^2 \end{cases} \Rightarrow A_{si,min} = 9,39E-04 \text{ m}^2$$

Maximálna plocha výstuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 1,20E-02 \text{ m}^2$$

$$A_{s2,req} = 7,61E-04 \text{ m}^2 < A_{s,max} = 1,20E-02 \text{ m}^2$$

- vyhovuje

Nesymetrická výstuž

Návrh tlakovej výstuže:

2 ϕR 28 /m' →		
$A_{s2} = 1,23E-03 \text{ m}^2$	>	$A_{si,min} = 9,39E-04 \text{ m}^2$
	<	$A_{s,max} = 1,20E-02 \text{ m}^2$

Návrh tlakovej výstuže:

4 ϕR 28		
$A_{s1} = 2,46E-03 \text{ m}^2$	>	$A_{si,min} = 9,39E-04 \text{ m}^2$
$A_{s1} + A_{s2} = 3,69E-03 \text{ m}^2$	<	$A_{s,max} = 1,20E-02 \text{ m}^2$

Posúdenie prierezu:

$N_{Ed} = -8000,00 \text{ kN}$	$M_{Ed} = 160,00 \text{ kNm}$
$\phi_1 = 28 \text{ mm}$	$\phi_2 = 28 \text{ mm}$
$b = 1,00 \text{ m}$	$h_d = 0,300 \text{ m}$

Krytie tlakovej výstuže:

$$c_{nom,1} = c_{min,1} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min,1} \geq \begin{cases} c_{min,b,1} = \phi_1 & = 28 \\ d_g & = 16 \\ c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} & = 20 \\ 10\text{mm} & = 10 \end{cases} \Rightarrow c_{min} = 28,0 \text{ mm}$$

Krytie tlakovej výstuže:

$$c_{\min,2} \geq \begin{cases} c_{\min,b,2} = \phi_2 & = 28 \\ d_g & = 16 \\ c_{\min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} & = 20 \\ 10\text{mm} & = 10 \end{cases}$$

$$c_{\text{nom},2} = c_{\min,2} + \Delta c_{\text{dev}}$$

$$\frac{\Delta c_{\text{dev}} = 5,0 \text{ mm}}{c_{\text{nom}} = 33,0 \text{ mm}}$$

$$\Rightarrow c_{\min} = 28,0 \text{ mm}$$

$$\frac{\Delta c_{\text{dev}} = 5,0 \text{ mm}}{c_{\text{nom}} = 33,0 \text{ mm}}$$

$$\text{Vzdialenosť } d_1: \quad d_1 = c_{\text{nom},1} + \phi_1 / 2 = 0,047 \text{ m}$$

$$\text{Vzdialenosť } d_2: \quad d_2 = c_{\text{nom},2} + \phi_2 / 2 = 0,047 \text{ m}$$

$$\text{Účinná výška:} \quad d = h_d - d_1 = 0,253 \text{ m}$$

$$z_1 = h_d / 2 - d_1 = 0,103 \text{ m}$$

$$z_2 = h_d / 2 - d_2 = 0,103 \text{ m}$$

Rozhranie medzi tlakovým a ťahovým porušením:

$$N_{\text{Rd,bal}} = \lambda \cdot \xi_{\text{bal},1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{\text{cd}} + (A_{s2} - A_{s1}) \cdot f_{\text{yd}} = 1991,60 \text{ kN}$$

$$N_{\text{Ed}} = 8000,00 \text{ kN} > N_{\text{Rd,bal}} = 1991,60 \text{ kN}$$

- prevláda tlak, ide o prípad tlakového porušenia

Prevládajúci tlak:

$$\sigma_s = \varepsilon_{c2} \cdot E_s = 400,00 \text{ MPa}$$

$$N_{\text{Rd0}} = b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{\text{cd}} + (A_{s1} + A_{s2}) \cdot \sigma_s = 7477,81 \text{ kN}$$

$$N_{\text{Rd1}} = b \cdot \lambda \cdot d \cdot \eta \cdot f_{\text{cd}} + A_{s2} \cdot f_{\text{yd}} = 4572,73 \text{ kN}$$

$$N_{\text{Ed}} = 8000,00 \text{ kN} > N_{\text{Rd0}} = 7477,81 \text{ kN}$$

$$> N_{\text{Rd1}} = 4572,73 \text{ kN}$$

$$> N_{\text{Rd,bal}} = 1991,60 \text{ kN}$$

POZOR, niečo je zlé!!!**Prevládajúci tlak:**

$$M_{\text{Rd0}} = (A_{s2} \cdot z_2 - A_{s1} \cdot z_1) \cdot \sigma_s = -50,74 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{Rd1}} = \lambda \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{\text{cd}} \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot d) + A_{s2} \cdot f_{\text{yd}} \cdot z_2 = 251,59 \text{ kNm}$$

Moment únosnosti:

$$M_{\text{Rd}} = M_{\text{Rd0}} + \frac{M_{\text{Rd1}} - M_{\text{Rd0}}}{N_{\text{Rd0}} - N_{\text{Rd1}}} \cdot (N_{\text{Rd0}} + N_{\text{Ed}}) = 1560,0157 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{Rd}} = 1560,0157 \text{ kNm} > M_{\text{Ed}} = 160,00 \text{ kNm} \quad \text{- vyhovuje}$$