

Návrh a posúdenie prierezu namáhaného tlakom a ohybom:

Namáhanie tlakom a ohybom - prevládajúci tlak, I. Oblasť

Prierezové sily:

$$\begin{aligned} M_{sd} &= 10,00 \text{ kNm} & l_{\text{eff}} &= 6,00 \text{ m} \\ N_{sd} &= -4200,00 \text{ kN} & (tlak) & & l_0 = l_{\text{eff}} &= 6,00 \text{ m} \\ N_{sqp} &= -1514,40 \text{ kN} & - \text{kvázi stála hodnota} & & & \end{aligned}$$

Materiálové charakteristiky:

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

$$\begin{aligned} \eta &= 1,0 & f_{cd} &= \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 26,667 \text{ MPa} \\ \lambda &= 0,8 & E_{cm} &= 35000,0 \text{ MPa} \\ & & \varepsilon_{cu,3} &= 3,50 \text{ ‰} & & \varepsilon_{c2} &= 2,00 \text{ ‰} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Oceľ: } 10505 \text{ (R)} & & f_{yk} &= 490,0 \text{ MPa} & & \gamma_s &= 1,15 \\ & & f_{yd} &= f_{yk} / \gamma_s = 426,087 \text{ MPa} \\ & & E_s &= 200000,0 \text{ MPa} \\ & & \varepsilon_{yd} &= \frac{f_{yd}}{E_s} = 2,13 \text{ ‰} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Šírka dosky:} & & b &= 1,000 \text{ m} \\ \text{Hrúbka dosky:} & & h_d &= 0,330 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Polomer zotrvačnosti:} & & i &= 0,2887 \cdot h_d = 0,0953 \text{ m} \\ \text{Štíhlosť prvku:} & & \lambda = \frac{l_0}{i} &= 62,98 > 25 \\ & & & & & - \text{treba uvažovať teóriu II. rádu} \end{aligned}$$

$$\text{Základná excentricita: } e_1 = \frac{M_{sd}}{N_{sd}} = 0,0024 \text{ m}$$

$$\text{Uhol odklonu od zvislice: } \theta_i = \theta_0 \cdot \alpha_h = \frac{1}{200} \cdot \frac{2}{\sqrt{l_{\text{eff}}}} = 0,0041$$

$$\text{Náhodná excentricita: } e_i = \theta_i \cdot \frac{l_0}{2} = 0,0122 \text{ m}$$

(imperfekcie)

$$\text{Excentricita I. rádu: } e_0 = e_1 + e_i = 0,0146 \text{ m}$$

$$\text{Minimálna excentricita: } \min e_0 \geq \begin{cases} h_d / 30 = 0,0110 \text{ m} \\ 20 \text{ mm} = 0,0200 \text{ m} \end{cases} \Rightarrow \min e_0 = 0,0200 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} e_0 &= 0,0146 \text{ m} & & & e_0 &\geq \min e_0 \\ & & & & & & & & & & \min e_0 &= 0,0200 \text{ m} \\ & \Rightarrow & & & e_0 &= & \mathbf{0,0200 \text{ m}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ohybové momenty I. rádu:} & & M_{0sd} &= N_{sd} \cdot e_0 = 84,00 \text{ kNm} \\ & & M_{0sqp} &= N_{sqp} \cdot e_0 = 30,29 \text{ kNm} \end{aligned}$$

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

$$\phi_2 = 20 \text{ mm}$$

Krytie ťahovej výstuže:

$$c_{\min,1} \geq \begin{cases} c_{\min,b,1} = \phi_1 & = 20 \\ d_g & = 16 \\ c_{\min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} & = 50 \\ 10\text{mm} & = 10 \end{cases} \Rightarrow c_{\min} = 50,0 \text{ mm}$$

$$c_{\text{nom},1} = c_{\min,1} + \Delta c_{dev} = 50 + 5 = 55,0 \text{ mm}$$

Krytie tlakovej výstuže:

$$c_{\min,2} \geq \begin{cases} c_{\min,b,2} = \phi_2 & = 20 \\ d_g & = 16 \\ c_{\min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} & = 50 \\ 10\text{mm} & = 10 \end{cases} \Rightarrow c_{\min} = 50,0 \text{ mm}$$

$$c_{\text{nom},2} = c_{\min,2} + \Delta c_{dev} = 50 + 5 = 55,0 \text{ mm}$$

Vzdialenosť d_1 : $d_1 = c_{\text{nom},1} + \phi_1 / 2 = 0,065 \text{ m}$

Vzdialenosť d_2 : $d_2 = c_{\text{nom},2} + \phi_2 / 2 = 0,065 \text{ m}$

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

$$z_1 = h_d / 2 - d_1 = 0,1 \text{ m}$$

$$z_2 = h_d / 2 - d_2 = 0,1 \text{ m}$$

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

Prepoklad: $\omega = 0,20$

$$n_{bal} = 0,40$$

$$n = \frac{N_{sd}}{A_c \cdot f_{cd}} = 0,4773$$

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

Opravný súčiniteľ závislý na normálovej sile:

$$K_r = \frac{(n_u - n)}{(n_u - n_{bal})} = 0,9034 < 1,00 \text{ - vyhovuje} \Rightarrow K_r = 0,9034$$

$$\beta = 0,35 + f_{ck} / 200 - \lambda / 150 = 0,1301$$

Súčiniteľ dotvarovania: $\varphi = 3,00$

$$\varphi_{ef} = \varphi \cdot \frac{M_{0sqp}}{M_{0sd}} = 1,0817$$

Súčiniteľ zohľadňujúci dotvarovanie:

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} = 1,1408 > 1,00 \text{ - vyhovuje} \Rightarrow K_\varphi = 1,1408$$

$$\text{Krivost':} \quad \frac{1}{r} = K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{1}{r_0} = 0,0184$$

$$\text{Excentricita II. rádu:} \quad e_2 = \left(\frac{1}{r}\right) \cdot \frac{l_0^2}{8} = 0,0829 \text{ m}$$

$$\text{Celková excentricita:} \quad e_{\text{tot}} = e_0 + e_2 = 0,1029 \text{ m}$$

Ohybové momenty II. rádu:

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= N_{sd} \cdot (e_0 + e_2) = 431,98 \text{ kNm} \\ M_{Eqp} &= N_{sqp} \cdot (e_0 + e_2) = 155,76 \text{ kNm} \\ N_{Ed} &= N_{sd} = -4200,00 \text{ kN} \end{aligned}$$

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

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

Rozhranie medzi tlakovým a ťahovým porušením:

$$N_{c,\text{bal}} = \lambda \cdot \xi_{\text{bal},1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} = 3514,234 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 4200,00 \text{ kN} > N_{c,\text{bal}} = 3514,2342 \text{ kN}$$

=> - prevláda tlak, ide o prípad tlakového porušenia

Prevládajúci tlak:

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

$$\begin{aligned} M_{Ed1} &= M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_1 = 851,98 \text{ kNm} \\ M_{Ed2} &= M_{Ed} + N_{Ed} \cdot z_2 = 11,98 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\text{Poloha neutrálnej osi:} \quad x = \frac{d_2}{\lambda} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed2}}{b \cdot d_2^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}}} \right) = 0,153342 \text{ m}$$

Podmienka oblasti I: $x \leq x_{\text{bal},2}$ a $x \leq x_{\text{bal},1}$

$$\begin{aligned} x_{\text{bal},1} = 0,1647 > x = 0,1533 < h_d/\lambda = 0,41 \text{ [m]} \\ 0 < < x_{\text{bal},2} = \xi_{\text{bal},2} \cdot d_2 = 0,17 \text{ [m]} \end{aligned}$$

- oblasť I - treba navrhnuť tlakovú A_{s2} a ťahovú A_{s1} výstuž

Prevládajúci tlak - oblasť I:

Potrebná plocha tlakovej výstuže: uvažuje sa: $x = x_{\text{bal},1}$

$$A_{s2,\text{req}} = \frac{M_{Ed1} - \lambda \cdot b \cdot \xi_{\text{bal},1} \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - \xi_{\text{bal},1} \cdot d)}{f_{yd} \cdot (z_1 + z_2)} = 6,59E-03 \text{ m}^2$$

Minimálna plocha výstuže:

$$A_{si,\text{min}} \geq \left\langle \begin{array}{l} \frac{0,05 \cdot |N_{Ed}|}{f_{yd}} = 4,93E-04 \text{ m}^2 \\ 0,001 \cdot A_c = 3,30E-04 \text{ m}^2 \end{array} \right\rangle \Rightarrow A_{si,\text{min}} = 4,93E-04 \text{ m}^2$$

$$A_{s2,\text{req}} = 6,59E-03 \text{ m}^2 > A_{si,\text{min}} = 4,93E-04 \text{ m}^2$$

- vyhovuje

Maximálna plocha výstuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 1,32E-02 \text{ m}^2$$

$$A_{s2,req} = 6,59E-03 \text{ m}^2 < A_{s,max} = 1,32E-02 \text{ m}^2$$

- vyhovuje

Symetrická výstuž

Návrh tlakovej výstuže:

10	ϕR	16	/m' →		
$A_{s2} = 2,01E-03 \text{ m}^2$				>	$A_{si,min} = 4,93E-04 \text{ m}^2$
				<	$A_{s,max} = 1,32E-02 \text{ m}^2$

Potrebná plocha ťahovej výstuže:

$$A_{s1,req} = \frac{N_{Ed} + \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd}}{f_{yd}} + A_{s2d} = 1,95E-02 \text{ m}^2$$

Návrh ťahovej výstuže:

10	ϕR	16	/m' →		
$A_{s1} = 2,01E-03 \text{ m}^2$				>	$A_{si,min} = 4,93E-04 \text{ m}^2$
$A_{s1} + A_{s2} = 4,02E-03 \text{ m}^2$				<	$A_{s,max} = 1,32E-02 \text{ m}^2$

Posúdenie prierezu:

$N_{Ed} = -4200,00 \text{ kN}$	$M_{Ed} = 431,98 \text{ kNm}$
$\phi_1 = 16 \text{ mm}$	$\phi_2 = 16 \text{ mm}$
$b = 1,00 \text{ m}$	$h_d = 0,330 \text{ m}$

Krytie ťahovej výstuže:

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

$c_{min,1} \geq$	$c_{min,b,1} = \phi_1$	$= 16$	⇒	$c_{min} =$	$50,0 \text{ mm}$
	d_g	$= 16$			
	$c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}$	$= 50$			
	10mm	$= 10$			
				$\frac{\Delta c_{dev}}{c_{nom}} =$	$\frac{5,0 \text{ mm}}{55,0 \text{ mm}}$

Krytie tlakovej výstuže:

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

$$c_{\text{min},2} \geq \begin{cases} c_{\text{min},b,2} = \phi_2 & = 16 \\ d_g & = 16 \\ c_{\text{min},\text{dur}} + \Delta c_{\text{dur},\gamma} - \Delta c_{\text{dur},\text{st}} - \Delta c_{\text{dur},\text{add}} & = 50 \\ 10\text{mm} & = 10 \end{cases} \Rightarrow c_{\text{min}} = 50,0 \text{ mm}$$

$$\frac{\Delta c_{\text{dev}} = 5,0 \text{ mm}}{c_{\text{nom}} = 55,0 \text{ mm}}$$

Vzdialenosť d_1 : $d_1 = c_{\text{nom},1} + \phi_1 / 2 = 0,063 \text{ m}$

Vzdialenosť d_2 : $d_2 = c_{\text{nom},2} + \phi_2 / 2 = 0,063 \text{ m}$

Účinná výška: $d = h_d - d_1 = 0,267 \text{ m}$

$$z_1 = h_d / 2 - d_1 = 0,102 \text{ m}$$

$$z_2 = h_d / 2 - d_2 = 0,102 \text{ m}$$

Rozhranie medzi tlakovým a ťahovým porušením:

$$N_{\text{Rd,bal}} = \lambda \cdot \xi_{\text{bal},1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{\text{cd}} + (A_{s2} - A_{s1}) \cdot f_{\text{yd}} = 3540,76 \text{ kN}$$

$$N_{\text{Ed}} = 4200,00 \text{ kN} > N_{\text{Rd,bal}} = 3540,76 \text{ kN}$$

- prevláda tlak, ide o prípad tlakového porušenia

Prevládajúci tlak:

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

$$N_{\text{Rd0}} = b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{\text{cd}} + (A_{s1} + A_{s2}) \cdot \sigma_s = 10408,50 \text{ kN}$$

$$N_{\text{Rd1}} = b \cdot \lambda \cdot d \cdot \eta \cdot f_{\text{cd}} + A_{s2} \cdot f_{\text{yd}} = 6552,70 \text{ kN}$$

$$N_{\text{Ed}} = 4200,00 \text{ kN} < N_{\text{Rd0}} = 10408,50 \text{ kN}$$

$$< N_{\text{Rd1}} = 6552,70 \text{ kN}$$

$$> N_{\text{Rd,bal}} = 3540,76 \text{ kN}$$

Nachádzame sa v časti 1, 2 lomeného interakčného diagramu

Prevládajúci tlak:

$$M_{\text{Rd,bal}} = \lambda \cdot \xi_{\text{bal},1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{\text{cd}} \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot \xi_{\text{bal},1} \cdot d) +$$

$$+ A_{s2} \cdot f_{\text{yd}} \cdot z_2 + A_{s1} \cdot f_{\text{yd}} \cdot z_1 = 523,92 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{Rd1}} = \lambda \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{\text{cd}} \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot d) + A_{s2} \cdot f_{\text{yd}} \cdot z_2 = 418,89 \text{ kNm}$$

Moment únosnosti:

$$M_{\text{Rd}} = M_{\text{Rd1}} + \frac{M_{\text{Rd,bal}} - M_{\text{Rd1}}}{N_{\text{Rd1}} - N_{\text{Rd,bal}}} \cdot (N_{\text{Rd1}} + N_{\text{Ed}}) = 793,86 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{Rd}} = 793,8604 \text{ kNm} > M_{\text{Ed}} = 431,98 \text{ kNm}$$

- vyhovuje