

Návrh a posúdenie prierezu namáhaného tlakom a ohybom:

Namáhanie tlakom a ohybom - prevládajúci ťah, III. Oblasť

Prierezové sily:

$$M_{sd} = 5,00 \text{ kNm} \quad l_{eff} = 6,00 \text{ m}$$

$$N_{sd} = -3000,00 \text{ kN} \quad (\text{tlak}) \quad l_0 = l_{eff} = 6,00 \text{ m}$$

$$N_{sqp} = -4623,97 \text{ kN} \quad - \text{kvázi stála hodnota}$$

Materiálové charakteristiky:

Betón: C 40/50

$$f_{ck} = 40,0 \text{ MPa} \quad \alpha_{cc} = 1,00$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 26,667 \text{ MPa} \quad \gamma_c = 1,50$$

$$\eta = 1,0 \quad f_{ctm} = 3,5 \text{ MPa}$$

$$\lambda = 0,8 \quad E_{cm} = 35000,0 \text{ MPa}$$

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

Oceľ: 10505 (R)

$$f_{yk} = 500,0 \text{ MPa} \quad \gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 434,783 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200000,0 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = 2,17 \text{ ‰}$$

Šírka dosky: $b = 1,000 \text{ m}$

Hrúbka dosky: $h_d = 0,350 \text{ m}$

Polomer zotrvačnosti: $i = 0,2887 \cdot h_d = 0,1010 \text{ m}$

Štíhlosť prvku: $\lambda = \frac{l_0}{i} = 59,38 > 25$
 - treba uvažovať teóriu II. rádu

Základná excentricita: $e_1 = \frac{M_{sd}}{N_{sd}} = 0,0017 \text{ m}$

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

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

Excentricita I. rádu: $e_0 = e_1 + e_i = 0,0139 \text{ m}$

Minimálna excentricita: $\min e_0 \geq \begin{cases} h_d / 30 = 0,0117 \text{ m} \\ 20 \text{ mm} = 0,0200 \text{ m} \end{cases} \Rightarrow \min e_0 = 0,0200 \text{ m}$

$$e_0 = 0,0139 \text{ m} < \min e_0 = 0,0200 \text{ m}$$

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

Ohybové momenty I. rádu: $M_{0sd} = N_{sd} \cdot e_0 = 60,00 \text{ kNm}$
 $M_{0sqp} = N_{sqp} \cdot e_0 = 92,48 \text{ kNm}$

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

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

$c_{min,1} \geq$	}	$c_{min,b,1} = \phi_1$	= 20	⇒	$c_{min} = 45,0 \text{ mm}$
		d_g	= 16		
		$c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}$	= 45		
		10mm	= 10		

$\Delta c_{dev} = 5,0 \text{ mm}$
 $c_{nom} = 50,0 \text{ mm}$

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

$c_{min,2} \geq$	}	$c_{min,b,2} = \phi_2$	= 20	⇒	$c_{min} = 45,0 \text{ mm}$
		d_g	= 16		
		$c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}$	= 45		
		10mm	= 10		

$\Delta c_{dev} = 5,0 \text{ mm}$
 $c_{nom} = 50,0 \text{ mm}$

Vzdialenosť d_1 : $d_1 = c_{nom,1} + \phi_1 / 2 = 0,060 \text{ m}$
Vzdialenosť d_2 : $d_2 = c_{nom,2} + \phi_2 / 2 = 0,060 \text{ m}$
Účinná výška: $d = h_d - d_1 = 0,290 \text{ m}$
 $z_1 = h_d / 2 - d_1 = 0,115 \text{ m}$
 $z_2 = h_d / 2 - d_2 = 0,115 \text{ m}$

Základná hodnota krivosti: $\frac{1}{r_0} = \frac{\epsilon_{yd}}{0,45 \cdot d} = 0,0166583$

Prepoklad: $\omega = 0,20$
 $n_{bal} = 0,40$
 $n = \frac{N_{sd}}{A_c \cdot f_{cd}} = 0,3214$
 $n_u = 1 + \omega = 1,20$

Opravný súčiniteľ závislý na normálovej sile:

$$K_r = \frac{(n_u - n)}{(n_u - n_{bal})} = 1,0982 > 1,00 \text{ - nevyhovuje} \Rightarrow K_r = 1,0000$$

$\beta = 0,35 + f_{ck} / 200 - \lambda / 150 = 0,1541$
Súčiniteľ dotvarovania: $\varphi = 3,00$

$$\varphi_{ef} = \varphi \cdot \frac{M_{0sqp}}{M_{0sd}} = 4,6240$$

Súčiniteľ zohľadňujúci dotvarovanie:

$$K_{\varphi} = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} = 1,7127 > 1,00 \text{ - vyhovuje}$$

$$\implies K_{\varphi} = 1,7127$$

Krivosť: $\frac{1}{r} = K_r \cdot K_{\varphi} \cdot \frac{1}{r_0} = 0,0285$

Excentricita II. rádu: $e_2 = \left(\frac{1}{r}\right) \cdot \frac{l_0^2}{8} = 0,1284 \text{ m}$

Celková excentricita: $e_{tot} = e_0 + e_2 = 0,1484 \text{ m}$

Ohybové momenty II. rádu:

$$M_{Ed} = N_{sd} \cdot (e_0 + e_2) = 445,17 \text{ kNm}$$

$$M_{Eqp} = N_{sqp} \cdot (e_0 + e_2) = 686,15 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = N_{sd} = -3000,00 \text{ kN}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu,3}}{\varepsilon_{cu,3} + \varepsilon_{yd}} = 0,6169 \quad \xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu,3}}{\varepsilon_{cu,3} - \varepsilon_{yd}} = 2,6393$$

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,1789 \text{ m}$$

Rozhranie medzi tlakovým a ťahovým porušením:

$$N_{c,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} = 3816,2963 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 3000,00 \text{ kN} < N_{c,bal} = 3816,30 \text{ kN}$$

$$\implies \text{- prevláda ťah, ide o prípad ťahového porušenia}$$

Prevládajúci ťah:

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

$$M_{Ed1} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_1 = 790,1703 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed2} = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot z_2 = 100,1703 \text{ kNm}$$

Poloha neutrálnej osi: $x = \frac{d}{\lambda} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed1}}{b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}}}\right) = 0,1655 \text{ m}$

Podmienka oblasti III: $0 < x \leq x_{bal,1}$

$$x_{bal,1} = 0,1789 > x = 0,1655 < h_d/\lambda = 0,44 \text{ [m]}$$

$$0 < x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_2 = 0,16 \text{ [m]}$$

- oblasť III - stačí navrhnúť iba ťahovú výstuž A_{s1}

Prevládajúci ťah - oblasť III:

Potrebná plocha ťahovej výstuže:

$$A_{s1} = \frac{N_{Ed} + \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd}}{f_{td}}$$

$$A_{s1,req} = \frac{N_{Ed} + \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = 1,22E-03 \text{ m}^2$$

Minimálna plocha ťahovej výstuže:

$$A_{s1,min} \geq \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = 5,28E-04 \text{ m}^2 \\ 0,0013 \cdot A_c = 4,55E-04 \text{ m}^2 \end{array} \right. \Rightarrow A_{s1,min} = 5,28E-04 \text{ m}^2$$

$$A_{s1,req} = 1,22E-03 \text{ m}^2 > A_{s1,min} = 5,28E-04 \text{ m}^2$$

- vyhovuje

Minimálna plocha tlakovej výstuže:

$$A_{s2,min} = 0,001 \cdot A_c = 3,50E-04 \text{ m}^2$$

Maximálna plocha výstuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 1,40E-02 \text{ m}^2$$

$$A_{s1,req} = 1,22E-03 \text{ m}^2 < A_{s,max} = 1,40E-02 \text{ m}^2$$

- vyhovuje

Nesymetrická výstuž

Návrh tlakovej výstuže z minimálneho stupňa vystuženia (konštrukčná):

4 ϕ_R 12	/m' \rightarrow
$A_{s2} = 4,52E-04 \text{ m}^2$	> $A_{s2,min} = 3,50E-04 \text{ m}^2$ < $A_{s,max} = 1,40E-02 \text{ m}^2$

Návrh ťahovej výstuže:

5 ϕ_R 22	
$A_{s1} = 1,90E-03 \text{ m}^2$	> $A_{s1,min} = 5,28E-04 \text{ m}^2$ < $A_{s,max} = 1,40E-02 \text{ m}^2$
$A_{s1} + A_{s2} = 2,35E-03 \text{ m}^2$	

Posúdenie prierezu:

$N_{Ed} = -3000,00 \text{ kN}$	$M_{Ed} = 445,17 \text{ kNm}$
$\phi_1 = 22 \text{ mm}$	$\phi_2 = 12 \text{ mm}$
$b = 1,00 \text{ m}$	$h_d = 0,350 \text{ m}$

Krytie ťahovej výstuže:

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

$$c_{min,1} \geq \left\{ \begin{array}{l} c_{min,b,1} = \phi_1 = 22 \\ d_g = 16 \\ c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} = 45 \\ 10\text{mm} = 10 \end{array} \right. \Rightarrow c_{min} = 45,0 \text{ mm}$$

$\Delta c_{dev} =$	5,0 mm
$c_{nom} =$	50,0 mm

Krytie tlakovej výstuže:

$$c_{\min,2} \geq \begin{cases} c_{\min,b,2} = \phi_2 & = 12 \\ d_g & = 16 \\ c_{\min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} & = 45 \\ 10\text{mm} & = 10 \end{cases} \Rightarrow c_{\min} = 45,0 \text{ mm}$$

$$\frac{\Delta c_{dev}}{c_{nom}} = \frac{5,0 \text{ mm}}{50,0 \text{ mm}}$$

Vzdialenosť d_1 : $d_1 = c_{nom,1} + \phi_1 / 2 = 0,061 \text{ m}$

Vzdialenosť d_2 : $d_2 = c_{nom,2} + \phi_2 / 2 = 0,056 \text{ m}$

Účinná výška: $d = h_d - d_1 = 0,289 \text{ m}$

$$z_1 = h_d / 2 - d_1 = 0,114 \text{ m}$$

$$z_2 = h_d / 2 - d_2 = 0,119 \text{ m}$$

Rozhranie medzi tlakovým a ťahovým porušením:

$$N_{Rd,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s2} - A_{s1}) \cdot f_{yd} = 3173,45 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 3000,00 \text{ kN} < N_{Rd,bal} = 3173,45 \text{ kN}$$

- prevláda ťah, ide o prípad ťahového porušenia

Prevládajúci ťah:**Mimostredný tlak a ohyb**

Predpoklad: $\sigma_{s2} = f_{yd} = 434,783 \text{ MPa}$

Poloha neutrálnej osi:

$$x = \frac{|N_{Ed}| - A_{s2} \cdot \sigma_{s2} + A_{s1} \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = 0,1701 \text{ m}$$

Overenie predpokladu:

$$x \geq x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_2$$

$$x = 0,1701 > x_{bal,2} = 0,1478 \text{ [m]}$$

- predpoklad splnený, tlakovú výstuž je možné započítať.

Moment únosnosti:

$$M_{Rd} = \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot x) + A_{s2} \cdot \sigma_{s2} \cdot z_2 + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 = 505,78 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 505,78389 \text{ kNm} > M_{Ed} = 445,17 \text{ kNm}$$

- vyhovuje