

Návrh a posúdenie prierezu namáhaného tlakom a ohybom:

Namáhanie tlakom a ohybom - prevládajúci ťah I. Oblasť

Prierezové sily:

$$\begin{aligned} M_{sd} &= 361,15 \text{ kNm} & l_{\text{eff}} &= 6,00 \text{ m} \\ N_{sd} &= -1211,25 \text{ kN} & (\text{tlak}) & & l_0 = l_{\text{eff}} &= 6,00 \text{ m} \\ N_{sqp} &= -1044,96 \text{ kN} & & & & - \text{kvázi stála hodnota} \end{aligned}$$

Materiálové charakteristiky:

$$\begin{aligned} \text{Betón: C 40/50} & & f_{ck} &= 40,0 \text{ MPa} & & \alpha_{cc} &= 1,00 \\ & & f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c &= 26,667 \text{ MPa} & & \gamma_c &= 1,50 \\ \eta &= 1,0 & & & & & \\ \lambda &= 0,8 & & & & & \\ & & f_{ctm} &= 3,5 \text{ MPa} & & & \\ & & E_{cm} &= 35000,0 \text{ MPa} & & & \\ & & \varepsilon_{cu,3} &= 3,50 \text{ ‰} & & \varepsilon_{c2} &= 2,00 \text{ ‰} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Šírka dosky:} & & b &= 1,000 \text{ m} \\ \text{Hrúbka dosky:} & & h_d &= 0,350 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Polomer zotrvačnosti:} & & i &= 0,2887 \cdot h_d = 0,1010 \text{ m} \\ \text{Štíhlosť prvku:} & & \lambda = \frac{l_0}{i} &= 59,38 > 25 \\ & & & & & - \text{treba uvažovať teóriu II. rádu} \end{aligned}$$

$$\text{Základná excentricita:} \quad e_1 = \frac{M_{sd}}{N_{sd}} = 0,2982 \text{ m}$$

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

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

(imperfekcie)

$$\text{Excentricita I. rádu:} \quad e_0 = e_1 + e_i = 0,3104 \text{ m}$$

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

$$\begin{aligned} e_0 &= 0,3104 \text{ m} & & e_0 \geq \min e_0 & & \\ & & & > \min e_0 &= & 0,0200 \text{ m} \\ \Rightarrow & & e_0 &= & \mathbf{0,3104 \text{ m}} \end{aligned}$$

Ohybové momenty I. rádu: $M_{0sd} = N_{sd} \cdot e_0 = 375,98 \text{ kNm}$
 $M_{0sqp} = N_{sqp} \cdot e_0 = 324,37 \text{ kNm}$

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

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

$c_{min,1} \geq$	}	$c_{min,b,1} = \phi_1$	$= 20$	⇒	$c_{min} = 35,0 \text{ mm}$
		d_g	$= 16$		
		$c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}$	$= 35$		
		10mm	$= 10$		

$\Delta c_{dev} = 5,0 \text{ mm}$
$c_{nom} = 40,0 \text{ mm}$

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

$c_{min,2} \geq$	}	$c_{min,b,2} = \phi_2$	$= 20$	⇒	$c_{min} = 35,0 \text{ mm}$
		d_g	$= 16$		
		$c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}$	$= 35$		
		10mm	$= 10$		

$\Delta c_{dev} = 5,0 \text{ mm}$
$c_{nom} = 40,0 \text{ mm}$

Vzdialenosť d_1 : $d_1 = c_{nom,1} + \phi_1 / 2 = 0,050 \text{ m}$
Vzdialenosť d_2 : $d_2 = c_{nom,2} + \phi_2 / 2 = 0,050 \text{ m}$
Účinná výška: $d = h_d - d_1 = 0,300 \text{ m}$
 $z_1 = h_d / 2 - d_1 = 0,125 \text{ m}$
 $z_2 = h_d / 2 - d_2 = 0,125 \text{ m}$

Základná hodnota krivosti: $\frac{1}{r_0} = \frac{\epsilon_{yd}}{0,45 \cdot d} = 0,015781$

Prepoklad: $\omega = 0,20$
 $n_{bal} = 0,40$
 $n = \frac{N_{sd}}{A_c \cdot f_{cd}} = 0,1298$
 $n_u = 1 + \omega = 1,20$

Opravný súčiniteľ závislý na normálovej sile:

$$K_r = \frac{(n_u - n)}{(n_u - n_{bal})} = 1,3378 > 1,00 \text{ - nevyhovuje}$$

⇒ $K_r = 1,0000$

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

$$\varphi_{ef} = \varphi \cdot \frac{M_{0sqp}}{M_{0sd}} = 2,5881$$

Súčiniteľ zohľadňujúci dotvarovanie:

$$K_{\varphi} = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} = 1,3989 > 1,00 \text{ - vyhovuje}$$

$$\implies K_{\varphi} = 1,3989$$

Krivosť: $\frac{1}{r} = K_r \cdot K_{\varphi} \cdot \frac{1}{r_0} = 0,0221$

Excentricita II. rádu: $e_2 = \left(\frac{1}{r}\right) \cdot \frac{l_0^2}{8} = 0,0993 \text{ m}$

Celková excentricita: $e_{tot} = e_0 + e_2 = 0,4098 \text{ m}$

Ohybové momenty II. rádu:

$$M_{Ed} = N_{sd} \cdot (e_0 + e_2) = 496,32 \text{ kNm}$$

$$M_{Eqp} = N_{sqp} \cdot (e_0 + e_2) = 428,18 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = N_{sd} = -1211,25 \text{ kN}$$

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

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,18649 \text{ m}$$

Rozhranie medzi tlakovým a ťahovým porušením:

$$N_{c,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} = 3978,378 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 1211,25 \text{ kN} < N_{c,bal} = 3978,3784 \text{ kN}$$

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

Prevládajúci ťah:

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

$$M_{Ed1} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_1 = 647,72 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed2} = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot z_2 = 344,91 \text{ kNm}$$

Poloha neutrálnej osi: $x = \frac{d}{\lambda} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed1}}{b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}}}\right) = 0,1206 \text{ m}$

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

$$x_{bal,1} = 0,1865 > x = 0,1206 < h_d/\lambda = 0,44 \text{ [m]}$$

$$0 < < x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_2 = 0,13 \text{ [m]}$$

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

Prevládajúci ťah - oblasť I:

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

$$M_{Ed1} - \lambda \cdot b \cdot \xi_{bal,1} \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - \xi_{bal,1} \cdot d)$$

$$A_{s2,req} = \frac{M_{Ed1} - \lambda \cdot b \cdot \xi_{bal,1} \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - \xi_{bal,1} \cdot d)}{f_{yd} \cdot (z_1 + z_2)} = 3,03E-03 \text{ m}^2$$

Minimálna plocha výstuže:

$$A_{si,min} \geq \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,05 \cdot |N_{Ed}|}{f_{yd}} = 1,42E-04 \text{ m}^2 \\ 0,001 \cdot A_c = 3,50E-04 \text{ m}^2 \end{array} \right\} \Rightarrow A_{si,min} = 3,50E-04 \text{ m}^2$$

$$A_{s2,req} = 3,03E-03 \text{ m}^2 > A_{si,min} = 3,50E-04 \text{ m}^2$$

- vyhovuje

Maximálna plocha výstuže:

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

$$A_{s2,req} = 3,03E-03 \text{ m}^2 < A_{s,max} = 1,40E-02 \text{ m}^2$$

- vyhovuje

Symetrická výstuž

Návrh tlakovej výstuže:

12	ϕR	16	/m' →
$A_{s2} = 2,41E-03 \text{ m}^2$			>

$$A_{si,min} = 3,50E-04 \text{ m}^2$$

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

Potrebná plocha ťahovej výstuže:

$$A_{s1,req} = \frac{N_{Ed} + \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd}}{f_{yd}} + A_{s2d} = 1,13E-02 \text{ m}^2$$

Návrh ťahovej výstuže:

12	ϕR	16	/m' →
$A_{s1} = 2,41E-03 \text{ m}^2$			>

$$A_{si,min} = 3,50E-04 \text{ m}^2$$

$$A_{s1} + A_{s2} = 4,83E-03 \text{ m}^2 < A_{s,max} = 1,40E-02 \text{ m}^2$$

Posúdenie prierezu:

$$N_{Ed} = -1211,25 \text{ kN} \quad M_{Ed} = 496,32 \text{ kNm}$$

$$\phi_1 = 16 \text{ mm} \quad \phi_2 = 16 \text{ mm}$$

$$b = 1,00 \text{ m} \quad h_d = 0,350 \text{ m}$$

Krytie ťahovej výstuže:

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

$$c_{min,1} \geq \left\{ \begin{array}{l} c_{min,b,1} = \phi_1 = 16 \\ d_g = 16 \\ c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} = 35 \\ 10 \text{ mm} = 10 \end{array} \right\} \Rightarrow c_{min} = 35,0 \text{ mm}$$

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

Krytie tlakovej výstuže:

$$c_{\min,2} \geq \begin{cases} c_{\min,b,2} = \phi_2 & = 16 \\ d_g & = 16 \\ c_{\min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} & = 35 \\ 10\text{mm} & = 10 \end{cases} \Rightarrow c_{\min,2} = 35$$

$$c_{\text{nom}} = 40,0 \text{ mm}$$

$$c_{\min} = 35,0 \text{ mm}$$

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

$$c_{\text{nom}} = 40,0 \text{ mm}$$

Vzdialenosť d_1 : $d_1 = c_{\text{nom},1} + \phi_1 / 2 = 0,048 \text{ m}$

Vzdialenosť d_2 : $d_2 = c_{\text{nom},2} + \phi_2 / 2 = 0,048 \text{ m}$

Účinná výška: $d = h_d - d_1 = 0,302 \text{ m}$

$$z_1 = h_d / 2 - d_1 = 0,127 \text{ m}$$

$$z_2 = h_d / 2 - d_2 = 0,127 \text{ m}$$

Rozhranie medzi tlakovým a ťahovým porušením:

$$N_{Rd,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s2} - A_{s1}) \cdot f_{yd} = 4004,90 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 1211,25 \text{ kN} < N_{Rd,bal} = 4004,90 \text{ kN}$$

- prevláda ťah, ide o prípad ťahového porušenia

Prevládajúci ťah:**Mimostredný tlak a ohyb**

Predpoklad: $\sigma_{s2} = f_{yd} = 426,087 \text{ MPa}$

Poloha neutrálnej osi:
$$x = \frac{|N_{Ed}| - A_{s2} \cdot \sigma_{s2} + A_{s1} \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = 0,0568 \text{ m}$$

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

$$x = 0,0568 < x_{bal,2} = 0,1227 \text{ [m]}$$

POZOR, predpoklad nie je splnený. Hodnota x sa musí určiť iteratívne.

Moment únosnosti:

$$M_{Rd} = \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot x) + A_{s2} \cdot \sigma_{s2} \cdot z_2 + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 = 544,27 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 544,27 \text{ kNm} > M_{Ed} = 496,32 \text{ kNm}$$

- vyhovuje