

Návrh a posúdenie prierezu namáhaného tlakom a ohybom:

Namáhanie tlakom a ohybom - prevládajúci ťah, V. Oblasť

Prierezové sily:

$$\begin{aligned} M_{sd} &= 3,00 \text{ kNm} & l_{\text{eff}} &= 4,00 \text{ m} \\ N_{sd} &= -10,00 \text{ kN} & (tlak) & & l_0 = l_{\text{eff}} = 4,00 \text{ m} \\ N_{sqp} &= -5,00 \text{ kN} & - \text{kvázi stála hodnota} & & \end{aligned}$$

Materiálové charakteristiky:

$$\begin{aligned} \text{Betón: C 40/50} & & f_{ck} &= 60,0 \text{ MPa} & & \alpha_{cc} &= 1,00 \\ & & f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c &= 40,000 \text{ MPa} & & \gamma_c &= 1,50 \\ \eta &= 1,0 & f_{ctm} &= 2,6 \text{ MPa} & & & \\ \lambda &= 0,8 & E_{cm} &= 33000,0 \text{ MPa} & & & \\ & & \epsilon_{cu,3} &= 3,50 \text{ ‰} & & \epsilon_{c2} &= 2,00 \text{ ‰} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Oceľ: 10505 (R)} & & f_{yk} &= 500,0 \text{ MPa} & & \gamma_s &= 1,15 \\ & & f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s &= 434,783 \text{ MPa} & & & \\ & & E_s &= 200000,0 \text{ MPa} & & & \\ & & \epsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} &= 2,17 \text{ ‰} & & & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Šírka dosky:} & & b &= 1,000 \text{ m} \\ \text{Hrúbka dosky:} & & h_d &= 0,400 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Polomer zotrvačnosti:} & & i &= 0,2887 \cdot h_d = 0,1155 \text{ m} \\ \text{Štíhlosť prvku:} & & \lambda = \frac{l_0}{i} &= 34,64 > 25 \\ & & & & & - \text{treba uvažovať teóriu II. rádu} \end{aligned}$$

$$\text{Základná excentricita:} \quad e_1 = \frac{M_{sd}}{N_{sd}} = 0,3000 \text{ m}$$

$$\text{Uhol odklonu od zvislice:} \quad \theta_i = \theta_0 \cdot \alpha_h = \frac{1}{200} \cdot \frac{2}{\sqrt{l_{\text{eff}}}} = 0,0050$$

$$\text{Náhodná excentricita:} \quad e_i = \theta_i \cdot \frac{l_0}{2} = 0,0100 \text{ m}$$

(imperfekcie)

$$\text{Excentricita I. rádu:} \quad e_0 = e_1 + e_i = 0,3100 \text{ m}$$

$$\text{Minimálna excentricita:} \quad \min e_0 \geq \begin{cases} h_d / 30 = 0,0133 \text{ m} \\ 20 \text{ mm} = 0,0200 \text{ m} \end{cases} \Rightarrow \min e_0 = 0,0200 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} e_0 &= 0,3100 \text{ m} & & e_0 \geq \min e_0 & & & \\ & & & & & & \\ & \Rightarrow & & e_0 &= & \mathbf{0,3100 \text{ m}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ohybové momenty I. rádu:} & & M_{0sd} = N_{sd} \cdot e_0 &= 3,10 \text{ kNm} \\ & & M_{0sqp} = N_{sqp} \cdot e_0 &= 1,55 \text{ kNm} \end{aligned}$$

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

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

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

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

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

Vzdialenosť d_1 : $d_1 = c_{nom,1} + \phi_1 / 2 = 0,035 \text{ m}$
 Vzďialenosť d_2 : $d_2 = c_{nom,2} + \phi_2 / 2 = 0,035 \text{ m}$
 Účinná výška: $d = h_d - d_1 = 0,365 \text{ m}$
 $z_1 = h_d / 2 - d_1 = 0,165 \text{ m}$
 $z_2 = h_d / 2 - d_2 = 0,165 \text{ m}$

Základná hodnota krivosti: $\frac{1}{r_0} = \frac{\epsilon_{yd}}{0,45 \cdot d} = 0,0132354$

Predpoklad: $\omega = 0,20$
 $n_{bal} = 0,40$
 $n = \frac{N_{sd}}{A_c \cdot f_{cd}} = 0,0006$
 $n_u = 1 + \omega = 1,20$

Opravný súčiniteľ závislý na normálovej sile:

$$K_r = \frac{(n_u - n)}{(n_u - n_{bal})} = 1,4992 > 1,00 \text{ - nevyhovuje} \implies K_r = 1,0000$$

$\beta = 0,35 + f_{ck} / 200 - \lambda / 150 = 0,4191$
 Súčiniteľ dotvarovania: $\varphi = 3,00$

$$\varphi_{ef} = \varphi \cdot \frac{M_{0sqp}}{M_{0sd}} = 1,5000$$

Súčiniteľ zohľadňujúci dotvarovanie:

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} = 1,6286 > 1,00 \text{ - vyhovuje}$$

$$\varphi = \dots \implies K_\varphi = 1,6286$$

Krivosť: $\frac{1}{r} = K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{1}{r_0} = 0,0216$

Excentricita II. rádu: $e_2 = \left(\frac{1}{r}\right) \cdot \frac{l_0^2}{8} = 0,0431 \text{ m}$

Celková excentricita: $e_{\text{tot}} = e_0 + e_2 = 0,3531 \text{ m}$

Ohybové momenty II. rádu:

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= N_{sd} \cdot (e_0 + e_2) = 3,53 \text{ kNm} \\ M_{Eqp} &= N_{sqp} \cdot (e_0 + e_2) = 1,77 \text{ kNm} \\ N_{Ed} &= N_{sd} = -10,00 \text{ kN} \end{aligned}$$

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

$$x_{\text{bal},1} = \xi_{\text{bal},1} \cdot d = 0,22515 \text{ m}$$

Rozhranie medzi tlakovým a ťahovým porušením:

$$N_{c,\text{bal}} = \lambda \cdot \xi_{\text{bal},1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} = 6416,868 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 10,00 \text{ kN} < N_{c,\text{bal}} = 6416,8678 \text{ kN}$$

\implies - prevláda ťah, ide o prípad ťahového porušenia

Prevládajúci ťah:

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

$$\begin{aligned} M_{Ed1} &= M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_1 = 5,181108 \text{ kNm} \\ M_{Ed2} &= M_{Ed} + N_{Ed} \cdot z_2 = 1,881108 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Poloha neutrálnej osi: $x = \frac{d}{\lambda} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed1}}{b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}}}\right) = 0,0005 \text{ m}$

Podmienka oblasti V: $x \leq 0$

$$x_{\text{bal},1} = 0,2252 > x = 0,0005 < h_d/\lambda = 0,53 \text{ [m]}$$

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

POZOR, nie je to oblasť V - treba použiť iný postup

POZOR, nie je to oblasť V ale oblasť I - treba použiť iný postup

Prevládajúci ťah - oblasť V: - predpokladáme, že betón nepôsobí

Potrebná plocha ťahovej výstuže:

$$A_{s1,\text{req}} = \frac{M_{Ed2}}{f_{yd} \cdot (z_1 + z_2)} = 1,31E-05 \text{ m}^2$$

Potrebná plocha ťahovej výstuže:

$$A_{s2,\text{req}} = \frac{-M_{Ed1}}{f_{yd} \cdot (z_1 + z_2)} = -3,61E-05 \text{ m}^2$$

Minimálna plocha ťahovej výstuže:

$$/ 0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d \quad |$$

$$A_{s1,min} \geq \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = 4,93E-04 \text{ m}^2 \\ 0,0013 \cdot A_c = 5,20E-04 \text{ m}^2 \end{array} \right. \Rightarrow A_{s1,min} = 5,20E-04 \text{ m}^2$$

$$A_{s1,req} = 1,31E-05 \text{ m}^2 < A_{s1,min} = 5,20E-04 \text{ m}^2$$

- nevyhovuje \Rightarrow $A_{s1,req} = 5,20E-04 \text{ m}^2$

$$A_{s2,req} = -3,61E-05 \text{ m}^2 < A_{s1,min} = 5,20E-04 \text{ m}^2$$

- nevyhovuje \Rightarrow $A_{s2,req} = 5,20E-04$

Maximálna plocha výstuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 1,60E-02 \text{ m}^2$$

$$A_{s1,req} = 1,31E-05 \text{ m}^2 < A_{s,max} = 1,60E-02 \text{ m}^2$$

- vyhovuje

Nesymetrická výstuž

Návrh ťahovej výstuže:

5 ϕ R 12	/m' \rightarrow	
$A_{s2} = 5,65E-04 \text{ m}^2$	>	$A_{s1,min} = 5,20E-04 \text{ m}^2$
	<	$A_{s,max} = 1,60E-02 \text{ m}^2$

Návrh ťahovej výstuže:

5 ϕ R 22		
$A_{s1} = 1,90E-03 \text{ m}^2$	>	$A_{s1,min} = 5,20E-04 \text{ m}^2$
$A_{s1} + A_{s2} = 2,47E-03 \text{ m}^2$	<	$A_{s,max} = 1,60E-02 \text{ m}^2$

Posúdenie prierezu:

N _{Ed} = -10,00 kN	M _{Ed} = 3,53 kNm	
ϕ_1 = 22 mm	ϕ_2 = 12 mm	
b = 1,00 m	h _d = 0,400 m	

Krytie ťahovej výstuže:

$$c_{\min,1} \geq \begin{cases} c_{\min,b,1} = \phi_1 & = 22 \\ d_g & = 16 \\ c_{\min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} & = 20 \\ 10\text{mm} & = 10 \end{cases} \Rightarrow c_{\min} = 22,0 \text{ mm}$$

$$\frac{\Delta c_{dev} = 5,0 \text{ mm}}{c_{nom} = 27,0 \text{ mm}}$$

Krytie tlakovej výstuže:

$$c_{\min,2} \geq \begin{cases} c_{\min,b,2} = \phi_2 & = 12 \\ d_g & = 16 \\ c_{\min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} & = 20 \\ 10\text{mm} & = 10 \end{cases} \Rightarrow c_{\min} = 20,0 \text{ mm}$$

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

Vzdialenosť d_1 : $d_1 = c_{nom,1} + \phi_1 / 2 = 0,038 \text{ m}$

Vzdialenosť d_2 : $d_2 = c_{nom,2} + \phi_2 / 2 = 0,031 \text{ m}$

Účinná výška: $d = h_d - d_1 = 0,362 \text{ m}$

$$z_1 = h_d / 2 - d_1 = 0,162 \text{ m}$$

$$z_2 = h_d / 2 - d_2 = 0,169 \text{ m}$$

Rozhranie medzi tlakovým a ťahovým porušením:

$$N_{Rd,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s2} - A_{s1}) \cdot f_{yd} = 5783,61 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 10,00 \text{ kN} < N_{Rd,bal} = 5783,61 \text{ kN}$$

- 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:

$$x = \frac{|N_{Ed}| - A_{s2} \cdot \sigma_{s2} + A_{s1} \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = 0,0207 \text{ m}$$

Overenie predpokladu:

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

$$x = 0,0207 < x_{bal,2} = 0,0818 \text{ [m]}$$

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

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

Moment únosnosti:

$$M_{Rd} = \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot x) + A_{s2} \cdot \sigma_{s2} \cdot z_2 + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 = 288,94 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 288,93793 \text{ kNm} > M_{Ed} = 3,53 \text{ kNm}$$

- vyhovuje