

Návrh a posúdenie prierezu namáhaného tlakom a ohybom:

Namáhanie tlakom a ohybom - prevládajúci tlak, II. Oblasť, časť 1, 2 lo časť 1, 2 lomeného iteračného diagramu

Prierezové sily:

$$\begin{aligned} M_{sd} &= 100,00 \text{ kNm} & l_{eff} &= 2,77 \text{ m} \\ N_{sd} &= -5074,90 \text{ kN} & (\text{tlak}) & & l_0 = l_{eff} &= 2,77 \text{ m} \\ N_{sqp} &= -150,00 \text{ kN} & & & & - \text{kvázi stála hodnota} \end{aligned}$$

Materiálové charakteristiky:

$$\begin{aligned} \text{Betón: C 20/25} & & f_{ck} &= 20,0 \text{ MPa} & & \alpha_{cc} = 1,00 \\ & & & & & \gamma_c = 1,50 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta &= 1,0 & f_{cd} &= \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 13,333 \text{ MPa} \\ \lambda &= 0,8 & E_{cm} &= 29000,0 \text{ MPa} \\ & & \varepsilon_{cu,3} &= 3,50 \text{ ‰} & & \varepsilon_{c2} = 2,00 \text{ ‰} \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned} \text{Polomer zotrvačnosti:} & & i &= 0,2887 \cdot h_d = 0,1010 \text{ m} \\ \text{Štíhlosť prvku:} & & \lambda &= \frac{l_0}{i} = 27,36 > 25 \\ & & & & & - \text{treba uvažovať teóriu II. rádu} \end{aligned}$$

$$\text{Základná excentricita:} \quad e_1 = \frac{M_{sd}}{N_{sd}} = 0,0197 \text{ m}$$

$$\text{Uhol odklonu od zvislice:} \quad \theta_i = \theta_0 \cdot \alpha_h = \frac{1}{200} \cdot \frac{2}{\sqrt{l_{eff}}} = 0,0060$$

$$\text{Náhodná excentricita:} \quad e_i = \theta_i \cdot \frac{l_0}{2} = 0,0083 \text{ m}$$

(imperfekcie)

$$\text{Excentricita I. rádu:} \quad e_0 = e_1 + e_i = 0,0280 \text{ m}$$

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

$$\begin{aligned} e_0 &= 0,0280 \text{ m} & & & & e_0 \geq \min e_0 \\ & & & & & > \min e_0 = 0,0200 \text{ m} \\ \Rightarrow & & & & & e_0 = \mathbf{0,0280 \text{ m}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ohybové momenty I. rádu:} & & M_{osd} &= N_{sd} \cdot e_0 = 142,19 \text{ kNm} \\ & & M_{osqp} &= N_{sqp} \cdot e_0 = 4,20 \text{ kNm} \end{aligned}$$

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

Krytie ťahovej výstuže:

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

$$c_{nom,1} = c_{\min,1} + \Delta c_{dev} = 35 + 5 = 40 \text{ mm}$$

Krytie tlakovej výstuže:

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

$$c_{nom,2} = c_{\min,2} + \Delta c_{dev} = 35 + 5 = 40 \text{ mm}$$

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: $\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45 \cdot d} = 0,015781$

Prepoklad: $\omega = 0,20$

$n_{bal} = 0,40$

$n = \frac{N_{sd}}{A_c \cdot f_{cd}} = 1,0875$

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

Opravný súčiniteľ závislý na normálovej sile:

$$K_r = \frac{(n_u - n)}{(n_u - n_{bal})} = 0,1407 < 1,00 \text{ - vyhovuje} \Rightarrow K_r = 0,1407$$

$\beta = 0,35 + f_{ck} / 200 - \lambda / 150 = 0,2676$

Súčiniteľ dotvarovania: $\varphi = 3,00$

$\varphi_{ef} = \varphi \cdot \frac{M_{0sqp}}{M_{0sd}} = 0,0887$

Súčiniteľ zohľadňujúci dotvarovanie:

$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} = 1,0237 > 1,00 \text{ - vyhovuje} \Rightarrow K_\varphi = 1,0237$

Krivosť: $\frac{1}{r} = K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{1}{r_0} = 0,0023$

$$r = \frac{r_0}{\cos \varphi}$$

Excentricita II. rádu: $e_2 = \left(\frac{1}{r}\right) \cdot \frac{l_0^2}{8} = \mathbf{0,0022 \text{ m}}$

Celková excentricita: $e_{tot} = e_0 + e_2 = \mathbf{0,0302 \text{ m}}$

Ohybové momenty II. rádu:

$$M_{Ed} = N_{sd} \cdot (e_0 + e_2) = 153,21 \text{ kNm}$$

$$M_{Eqp} = N_{sqp} \cdot (e_0 + e_2) = 4,53 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = N_{sd} = -5074,90 \text{ kN}$$

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

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

Rozhranie medzi tlakovým a ťahovým porušením:

$$N_{c,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} = 1989,1892 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 5074,90 \text{ kN} > N_{c,bal} = 1989,1892 \text{ kN}$$

==> - prevláda tlak, ide o prípad tlakového porušenia

Prevládajúci tlak:

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

$$M_{Ed1} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_1 = 787,58 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed2} = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot z_2 = -481,15 \text{ kNm}$$

Poloha neutrálnej osi: $x = \frac{d_2}{\lambda} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed2}}{b \cdot d_2^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}}}\right) = 0,404078 \text{ m}$

Podmienka oblasti II: $x_{bal,1} < x < h / \lambda$

$$x_{bal,1} = 0,1865 < x = 0,4041 < h_d / \lambda = 0,44 \text{ [m]}$$

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

- **oblasť II - stačí navrhnúť iba tlakovú výstuž A_{s2}**

Prevládajúci tlak - oblasť II:

Potrebná plocha tlakovej výstuže:

$$A_{s2,req} = \frac{-N_{Ed} - \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = 1,79E-03 \text{ m}^2$$

Minimálna plocha výstuže:

$$A_{si,min} \geq \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,05 \cdot |N_{Ed}|}{f_{yd}} = 5,96E-04 \text{ m}^2 \\ 0,001 \cdot A_c = 3,50E-04 \text{ m}^2 \end{array} \right\} \Rightarrow A_{si,min} = 5,96E-04 \text{ m}^2$$

$$A_{s2,req} = 1,79E-03 \text{ m}^2 > A_{si,min} = 5,96E-04 \text{ m}^2$$

- **vyhovuje**

Maximálna plocha výstuže:

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

$$A_{s2,req} = 1,79E-03 \text{ m}^2 < A_{s,max} = 1,40E-02 \text{ m}^2$$

- vyhovuje

Nesymetrická výstuž

Návrh tlakovej výstuže:

6 ϕR 16	/m' →	
$A_{s2} = 1,21E-03 \text{ m}^2$	>	$A_{si,min} = 5,96E-04 \text{ m}^2$
	<	$A_{s,max} = 1,40E-02 \text{ m}^2$

Návrh ťahovej výstuže z minimálneho stupňa vystuženia (konštrukčná):

12 ϕR 16		
$A_{s1} = 2,41E-03 \text{ m}^2$	>	$A_{si,min} = 5,96E-04 \text{ m}^2$
$A_{s1} + A_{s2} = 3,62E-03 \text{ m}^2$	<	$A_{s,max} = 1,40E-02 \text{ m}^2$

Posúdenie prierezu:

$N_{Ed} =$	-5074,90 kN	$M_{Ed} =$	153,21 kNm
$\phi_1 =$	16 mm	$\phi_2 =$	16 mm
$b =$	1,00 m	$h_d =$	0,350 m

Krytie ťahovej výstuže:

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

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

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

Krytie tlakovej výstuže:

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

$$c_{min,2} \geq \begin{cases} c_{min,b,2} = \phi_2 & = 16 \\ d_g & = 16 \\ c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} & = 35 \\ 10\text{mm} & = 10 \end{cases} \Rightarrow c_{min} = 35,0 \text{ mm}$$

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

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

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

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:

$$N_{Rd,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s2} - A_{s1}) \cdot f_{yd} = 1488,43 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 5074,90 \text{ kN} > N_{Rd,bal} = 1488,43 \text{ kN}$$

- prevláda tlak, ide o prípad tlakového porušenia

Prevládajúci tlak:

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

$$N_{Rd0} = b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s1} + A_{s2}) \cdot \sigma_s = 6114,31 \text{ kN}$$

$$N_{Rd1} = b \cdot \lambda \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd} = 3735,35 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 5074,90 \text{ kN} < N_{Rd0} = 6114,31 \text{ kN}$$

$$> N_{Rd1} = 3735,35 \text{ kN}$$

$$> N_{Rd,bal} = 1488,43 \text{ kN}$$

POZOR, niečo je zlé!!!

$$N_{Rd0} > N_{Ed} > N_{Rd1} \Rightarrow \text{prevládajúci tlak, medzi bodmi 0,1}$$

$$N_{Rd,1} > N_{Ed} > N_{Rd,bal} \Rightarrow \text{prevládajúci tlak, medzi bodmi 1,2}$$

Prevládajúci tlak - oblasť 1, 2:

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

$$+ A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2 + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 = 395,90 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd1} = \lambda \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot d) + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2 = 239,88 \text{ kNm}$$

Moment únosnosti:

$$M_{Rd} = M_{Rd1} + \frac{M_{Rd,bal} - M_{Rd1}}{N_{Rd1} - N_{Rd,bal}} \cdot (N_{Rd1} + N_{Ed}) = 851,66 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 851,65841 \text{ kNm} > M_{Ed} = 153,21 \text{ kNm}$$

- vyhovuje

omenéh

10 iteračního diagramu