



## Zjednodušený příklad návrhu výztuže na protlačení

Navrhněte do zadané konstrukce lokálně podepřené desky v oblasti vnitřního sloupu výztuž na protlačení v podobě vázaných třmínkových košů z betonářské výztuže.

- tloušťka desky:  $h_d = 250$  mm
- průřez sloupu:  $a \times a = 400 \times 400$  mm
- krytí 1. vrstvy výztuže:  $c = 25$  mm
- materiály: beton: C 30/37  $f_{ck} = 30$  MPa  $f_{cd} = 20$  MPa  
ocel: B 500 B  $f_{yk} = 500$  MPa  $f_{yd} = 435$  MPa
- posouvající síla desky v ose sloupu:  $V_{Ed} = 600$  kN
- podélná výztuž:  $\varnothing 12 / 100$  mm pro oba směry  $a_s = 1131$  mm<sup>2</sup>/m

### výpočet kontrolovaných obvodů:

- účinná výška průřezu:

$$d_x = h_d - c - 0,5 \cdot \varnothing = 250 - 25 - 0,5 \cdot 12 = 219 \text{ mm}$$

$$d_y = h_d - c - 1,5 \cdot \varnothing = 250 - 25 - 1,5 \cdot 12 = 207 \text{ mm}$$

$$d = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{219 + 207}{2} = 213 \text{ mm}$$

- kontrolovaný obvod v líci sloupu:  $u_0 = 4a = 4 \cdot 400 = 1600$  mm
- základní kontrolovaný obvod:  $u_1 = 4a + 2\pi \cdot 2d = 4 \cdot 400 + 2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 213 = 4277$  mm

### kontrola únosnosti tlačené diagonály:

- smykové napětí v líci sloupu:

$$v_{Ed,0} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_0 \cdot d} = \frac{1,15 \cdot 600 \cdot 10^3}{1600 \cdot 213} = 2,03 \text{ MPa}$$

- únosnost tlačené diagonály:

$$v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) \cdot 20 = 4,22 \text{ MPa}$$

- posouzení:  $v_{Ed,0} = 2,03 \text{ MPa} \leq v_{Rd,max} = 4,22 \text{ MPa} \Rightarrow$  vyhovuje



omezení únosnosti desky s výztuží na protlačení:

- smykové napětí v základním kontrolovaném obvodu  $u_1$ :

$$v_{Ed,1} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_1 \cdot d} = \frac{1,15 \cdot 600 \cdot 10^3}{4277 \cdot 213} = 0,76 \text{ MPa}$$

- stupeň vyztužení ohybovou výztuží:

$$\rho_{lx} = \frac{a_{sx}}{1000 \cdot d_x} = \frac{1131}{1000 \cdot 219} = 0,0052$$

$$\rho_{ly} = \frac{a_{sy}}{1000 \cdot d_y} = \frac{1131}{1000 \cdot 207} = 0,0055$$

$$\rho_l = \sqrt{0,0052 \cdot 0,0055} = 0,0053 \leq 0,02$$

- omezení únosnosti desky s výztuží na protlačení:

$$v_{Ed,1} \leq k_{max} \cdot v_{Rd,c} = k_{max} \cdot \max \left[ C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})}; 0,035 \cdot \sqrt{k^3 \cdot f_{ck}} \right]$$

$$k_{max} = 1,45 + \frac{1,70 - 1,45}{500} \cdot (h_d - 200) = 1,45 + \frac{1,70 - 1,45}{500} \cdot (250 - 200) = 1,475$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = \min \left( 1 + \sqrt{\frac{200}{d}}; 2,0 \right) = \min \left( 1 + \sqrt{\frac{200}{213}}; 2,0 \right) = 1,969$$

$$\begin{aligned} v_{Rd,c} &= \max \left[ C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})}; 0,035 \cdot \sqrt{k^3 \cdot f_{ck}} \right] = \\ &= \max \left[ 0,12 \cdot 1,969 \cdot \sqrt[3]{(100 \cdot 0,0053 \cdot 30)}; 0,035 \cdot \sqrt{1,969^3 \cdot 30} \right] = \\ &= \max[0,59; 0,53] = 0,59 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$v_{Ed,1} = 0,76 \text{ MPa} \leq k_{max} \cdot v_{Rd,c} = 1,475 \cdot 0,59 = 0,87 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

**$\Rightarrow$  desku lze vyztužit na protlačení**

únosnost desky bez výztuže na protlačení:

- posouzení:  $v_{Ed,1} = 0,76 \text{ MPa} \not\leq v_{Rd,c} = 0,59 \text{ MPa} \Rightarrow$  nevyhovuje

**$\Rightarrow$  nutné navrhnout výztuž na protlačení**



návrh uspořádání výztuže na protlačení:

- délka vnějšího kontrolovaného obvodu  $u_{out}$ :

$$u_{out} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d} = \frac{1,15 \cdot 600 \cdot 10^3}{0,59 \cdot 213} = 5490 \text{ mm}$$

- vzdálenost vnějšího kontrolovaného obvodu od líce sloupu:

$$B_{out} = \frac{u_{out} - u_0}{2 \cdot \pi} = \frac{5490 - 1600}{2 \cdot \pi} = 619 \text{ mm}$$

⇒ deska bude vyztužena formou **třmínkových košů v ortogonálním uspořádání**

- volba profilu výztuže na protlačení:  $\varnothing_{sw} = 10 \text{ mm}$  ( $A_{sw,1} = 78,5 \text{ mm}^2$ )
- vzdálenost první řady výztuže od líce sloupu:

$$s_1 = (0,3 \div 0,5) \cdot d = (0,3 \div 0,5) \cdot 213 = 64 \div 106 \text{ mm} \Rightarrow \text{návrh: } \mathbf{80 \text{ mm}}$$

- vzdálenost jednotlivých řad smykové výztuže:

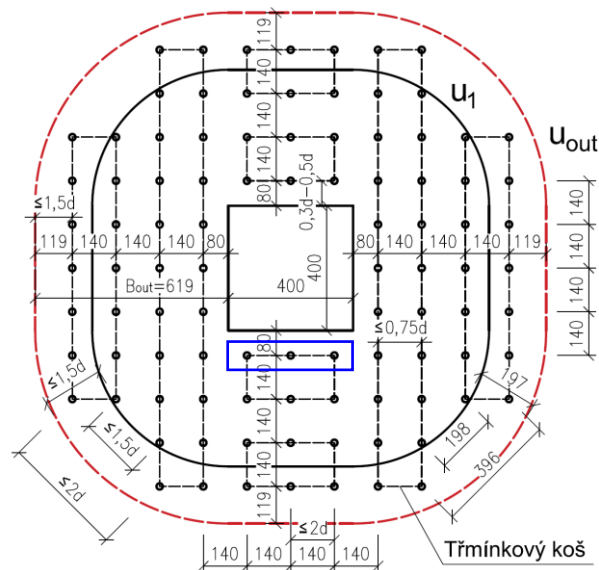
$$s_r \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 213 = 159 \text{ mm}$$

Zvolený typ vyztužení (třmínkové koše) vyžaduje stejné vzdálenosti  $s_r$  v obou ortogonálních směrech. Pro praktický způsob vyztužení lze využít následující vztah:

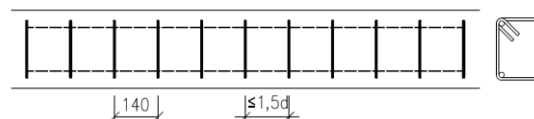
$$s_r = \frac{a + 2 \cdot s_1}{n + 1} = \frac{400 + 2 \cdot 80}{3 + 1} = \mathbf{140 \text{ mm}} < 159 \text{ mm} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

kde  $a$  je rozměr sloupu,  $s_1$  vzdálenost první řady výztuže od líce sloupu,  $n$  je zvolený počet větví smykové výztuže podél jedné hrany sloupu ( $n \geq 2$ ) - viz OBR. (označeno modře)

Rozmístění třmínkových košů - půdorys



Třmínkový koš - pohled, průřez





- grafické ověření tangenciálních vzdáleností smykových výztuží:
  - na úrovni  $u_1$ :  
 $s_{t1} = 198 \text{ mm} < 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 213 = 319 \text{ mm} \Rightarrow$  **vyhovuje**
  - za úrovní  $u_1$ :  
 $s_{t2} = 140 \text{ mm} < 2,0 \cdot d = 2,0 \cdot 213 = 426 \text{ mm} \Rightarrow$  **vyhovuje**  
 $s_{t3} = 396 \text{ mm} < 2,0 \cdot d = 2,0 \cdot 213 = 426 \text{ mm} \Rightarrow$  **vyhovuje**
- grafická kontrola vzdálenosti poslední řady smykové výztuže od obvodu  $u_{out}$ :  
 $119 \text{ mm} < 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 213 = 319 \text{ mm} \Rightarrow$  **vyhovuje**  
 $197 \text{ mm} < 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 213 = 319 \text{ mm} \Rightarrow$  **vyhovuje**

posouzení únosnosti desky s výztuží na protlačení:

- celková plocha výztuže na protlačení uvnitř základního kontrolovaného obvodu  $u_1$ :

$$A_{ss} = n \cdot A_{sw,1} = 68 \cdot 78,5 = 5338 \text{ mm}^2$$

$n$  je počet větví trmínků uvnitř obvodu  $u_1 \Rightarrow$  z grafického řešení:  $n = 68$

- efektivní návrhová mez kluzu výztuže:

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 \cdot d = 250 + 0,25 \cdot 213 = 303,3 \text{ MPa}$$

- posouzení únosnosti desky:

$$\begin{aligned} v_{Rd,cs} &= 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 0,75 \cdot A_{ss} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{1}{u_1 \cdot d} \cdot \sin \alpha \leq k_{max} \cdot v_{Rd,c} \\ &= 0,75 \cdot 0,59 + 0,75 \cdot 5338 \cdot 303,3 \cdot \frac{1}{4277 \cdot 213} \cdot \sin 90^\circ = 1,77 \text{ MPa} \leq 0,87 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$v_{Ed,1} = 0,76 \text{ MPa} \leq v_{Rd,cs} = 0,87 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- kontrola stupně vyztužení:

$$\rho_{sw} = 1,5 \cdot \frac{A_{sw,1}}{s_r \cdot s_t} = 1,5 \cdot \frac{78,5}{140 \cdot 140} = 0,006 \geq \rho_{sw,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$\Rightarrow$  **vyhovuje**