

## 7. cvičení – Lokálně podepřená deska: Návrh výztuže na protlačení

- Ve cvičení budeme řešit desku v oblasti sloupu B3.
- V rámci návrhu geometrie konstrukce bylo provedeno předběžné posouzení desky na protlačení (reálnost provedení). V podrobném návrhu výpočet zpřesníme (zohledníme skutečný stupeň vyztužení desky ohybovou výztuží = skutečné  $\rho_l$ ) a případně provedeme potřebné úpravy.

$$v_{Ed,1} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_1 \cdot d} \leq k_{max} \cdot v_{Rd,c} = k_{max} \cdot \max \left[ C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})}; 0,035 \cdot \sqrt{k^3 \cdot f_{ck}} \right]$$

- staticky účinnou výšku desky  $d$  uvažujeme jako průměrnou hodnotu skutečných účinných výšek ve směru  $x$  a  $y$ :

$$d = \frac{d_x + d_y}{2}$$

- stupeň vyztužení průřezu ohybovou výztuží  $\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} \leq 0,02$

$\rho_{lx}, \rho_{ly}$  jsou stupně vyztužení ohybovou výztuží v průřezu vzdáleném  $3d$  od líce podpory (tj. obvod  $u_1$  rozšířený o  $d$  - viz OBR.) ve směru pásu B, resp. pásu 3:

$$\rho_{lx} = \frac{a_{sx}}{(b_y + 6d) \cdot d_x}$$

$$\rho_{ly} = \frac{a_{sy}}{(b_x + 6d) \cdot d_y}$$

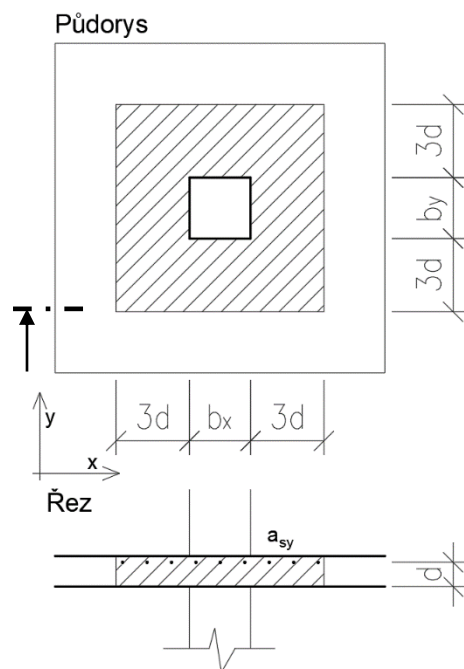
$a_{sx}, a_{sy}$  jsou průřezové plochy horní ohybové výztuže v tomto řezu v šíři pásu  $3d$  na obě strany od líce sloupu

POZN: Pokud se vyztužení po šířce pásu  $b_i + 6d$  nemění, je možné výpočet provádět v šířce 1 m, tzn.  $a_{s,i}$  v  $[\text{mm}^2/\text{m}]$ :

$$\rho_{lx} = \frac{a_{sx}}{1000 \cdot d_x}$$

$$\rho_{ly} = \frac{a_{sy}}{1000 \cdot d_y}$$

- ostatní - viz předběžný návrh



- V případě, že je konstrukce navržena se skrytou hlavicí, uvažují se všechny obvody a řezy posunuté o šířku vyložení této hlavice.
- Ověření **max. únosnosti**  $v_{Rd,max}$  v líce podpory (obvod  $u_0$ ) není nutné znovu počítat - oproti předběžnému návrhu se nemění.

## Únosnost desky bez výztuže na protlačení v kontrolované obvodu $u_1$ :

- Posoudíme dle vztahu:

$$v_{Ed,1} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_1 \cdot d} \leq v_{Rd,c} = \max \left[ C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})}; 0,035 \cdot \sqrt{k^3 \cdot f_{ck}} \right]$$

- Pokud podmínka vyhoví, teoreticky není nutno navrhovat výztuž na protlačení – deska by měla přenést požadované síly i bez speciálního vyztužení. Jde však o nejcitlivější místo tohoto typu konstrukce, a proto i v případě, že není podle výpočtu nutná výztuž na protlačení, je vhodné navrhnout alespoň výztuž konstrukční – 2 x 2 ohyby nad sloupem pro oba směry.
- Pokud podmínka nevyhoví, navrhujeme výztuž na protlačení. Ve cvičení budeme navrhovat výztuž v podobě vázaných třmínkových košů z betonářské výztuže.



## Uspořádání výztuže na protlačení

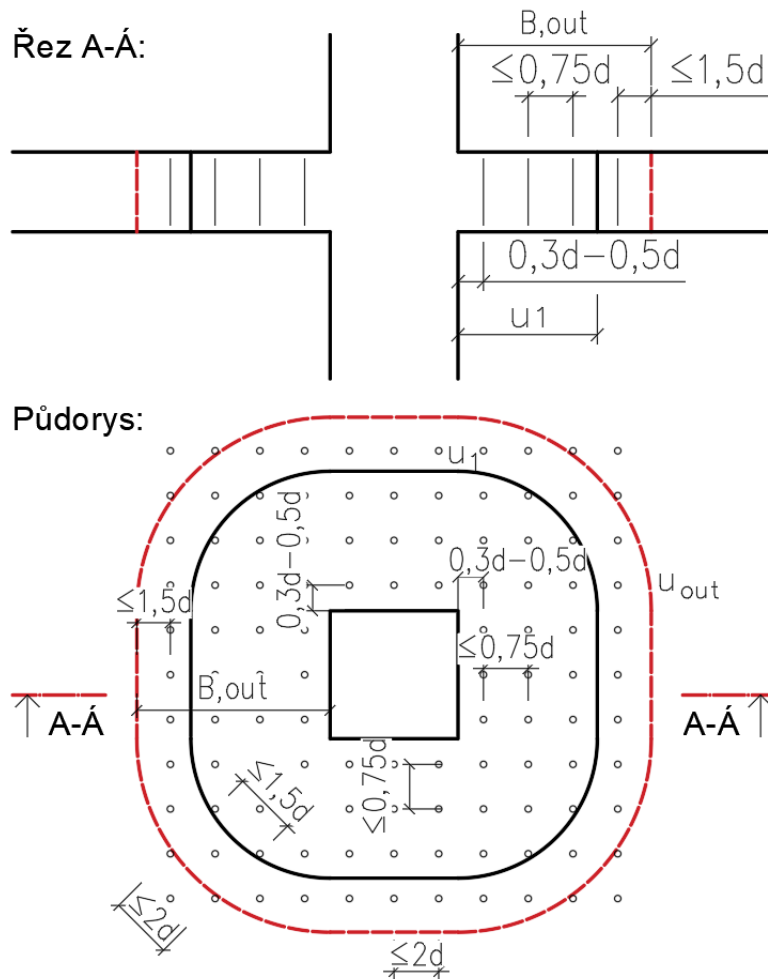
- Nejprve stanovíme délku **kontrolovaného obvodu**  $u_{out}$ , ve kterém již **není nutná smyková výztuž na protlačení** (jedná se o obvod, ve kterém by platilo  $v_{Ed,out} = v_{Rd,c}$ ):

$$u_{out} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d}$$

- Na základě hodnoty  $u_{out}$  je možné vypočítat vzdálenost  $B_{out}$  tohoto obvodu od líce sloupu (příp. od líce hlavice):

$$B_{out} = \frac{u_{out} - u_0}{2\pi}$$

- Tvar obvodu  $u_{out}$  závisí na způsobu vyztužení. V našem cvičení je tvar  $u_{out}$  shodný s tvarem základního kontrolovaného obvodu  $u_1$  - viz OBR.



- Nyní můžeme navrhnout **uspořádání výztuže na protlačení**:
  - první výztužný profil umístěn **0,3d až 0,5d** od líce sloupu (hlavice) - pokud by byl blíže, nebylo by možné zajistit dostatečné zakotvení výztuže pod trhlinou
  - poslední výztužný profil nesmí být dále než **1,5d** od obvodu  $u_{out}$  (měřeno směrem dovnitř obvodu)
  - rozteče výztužných profilů  $s_r$  jsou **max. 0,75d**.
  - vzdálenost výztuže v tangenciálním směru  $s_t$  na úrovni obvodu  $u_1$  je **max. 1,5d**
  - vzdálenost výztuže v tangenciálním směru  $s_t$  za obvodem  $u_1$  je **max. 2d**
  
- Na základě výše uvedených konstrukčních zásad provedeme grafický návrh výztuže.
- Zvolíme **profil smykové výztuže**  $\varnothing_{sw}$  (třmínku) - primárně volíme cca 10 nebo 12 mm.

## Únosnost desky s výztuží na protlačení v kontrolované obvodu $u_1$ :

- Posoudíme dle vztahu:

$$v_{Ed,1} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_1 \cdot d} \leq v_{Rd,cs}$$

- V odborné literatuře a normách se můžeme setkat s následujícím vztahem, který je však **použitelný pouze v případě shodného počtu** výztužných profilů **v jednotlivých obvodech** smykové výztuže a **shodné rozteče**  $s_r$  (platí zejména pro radiálně uspořádanou výztuž na protlačení).

$$v_{Rd,cs} = 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 1,5 \cdot \frac{d}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{1}{u_1 \cdot d} \cdot \sin \alpha \leq k_{max} \cdot v_{Rd,c}$$

kde  $f_{ywd,ef}$  je efektivní návrhová mez kluzu výztuže na protlačení, daná vztahem:

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25d \leq f_{ywd}$$

$f_{ywd}$  je skutečná návrhová hodnota meze kluzu výztuže na protlačení, uvažujte 435 MPa

$\alpha$  je úhel mezi smykovou výztuží a rovinou desky, v našem případě  $90^\circ$

$A_{sw}$  je celková plocha smykové výztuže v jednom obvodu kolem sloupu, odpovídá ploše výztuže v prvním obvodu za lícem sloupu

ostatní hodnoty viz předchozí výpočty

- Únosnost desky s výztuží na protlačení je omezena na  $k_{max}$  **násobek** únosnosti bez výztuže na protlačení, jelikož při nadměrném vyztužení by nebylo možné síly z výztuže přenést do okolního betonu.
- V případě, že máme navrženo v jednotlivých řadách **různé množství** smykové výztuže (což je typické při ortogonálním uspořádání výztuže na protlačení), není možné výše uvedený vztah použít a **je nutné využít obecnější vztah:**

$$v_{Rd,cs} = 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 0,75 \cdot A_{ss} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{1}{u_1 \cdot d} \cdot \sin \alpha \leq k_{max} \cdot v_{Rd,c}$$

kde  $A_{ss}$  je celková plocha smykové výztuže mezi ověřovaným a předchozím obvodem; ve cvičení spočteme jako celkovou plochu výztuže uvnitř obvodu  $u_1$ :

$$A_{ss} = n \cdot A_{sw,1}$$

$n$  je počet větví třmínků v prostoru mezi obvody (ve cvičení mezi  $u_0$  a  $u_1$ )

$A_{sw,1}$  je průřezová plocha jedné větve třmínku.

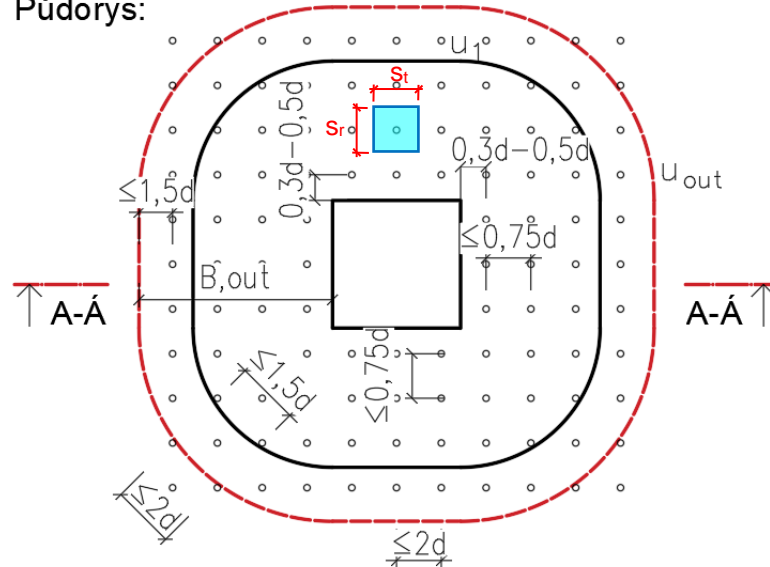
Pokud posouzení **nevyhoví**, **zvýšíme profil výztuže** na protlačení nebo zmenšíme hodnotu  $s_r$  a posoudíme znovu.

*Doporučení:* nenavrhovat  $s_r$  menší než 100 mm.

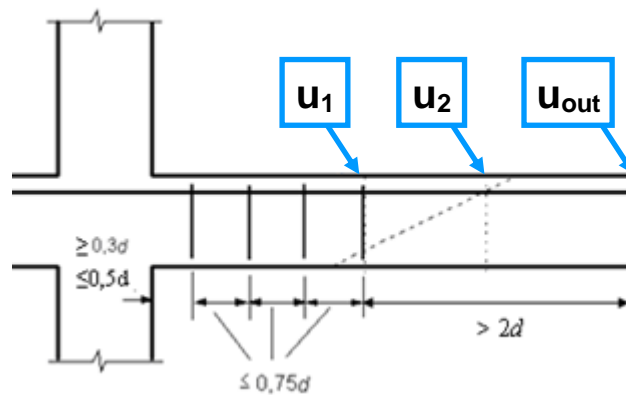
- Nakonec musíme zkontrolovat **konstrukční zásadu pro minimální stupeň vyztužení**:

$$\rho_{sw} = 1,5 \cdot \frac{A_{sw,1}}{s_r \cdot s_t} \geq \rho_{sw,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

Půdorys:



- Pokud nevyhoví, opět zvýšíme profil výztuže na protlačení nebo zmenšíme hodnotu  $s_r$  a posoudíme znovu.
- Je-li vzdálenost mezi  $u_1$  a  $u_{out}$  větší než  $2d$ , měli bychom definovat ještě **mezilehlý kontrolovaný obvod  $u_2$**  (teoreticky i  $u_3$  při vzdálenosti nad  $4d$  atd.) a v něm znovu provést návrh a posouzení výztuže.



- Výztuž na protlačení (je-li navržena) bude pro sloup B3 **rozkreslena na samostatném výkrese** formátu A4 v měřítku 1:20 nebo 1:10 **v půdoryse i v řezu**. Je-li navržena **hlavice**, bude zde rovněž zakreslena.