

# NÁVRH VÝZTUŽE ŽELEZOBETONOVÉHO VAZNÍKU S MALÝM OTVOREM

Předmět: Modelování a vyztužování betonových konstrukcí

Vypracoval: Ing. Josef Novák, Ph.D.

ČVUT v Praze, Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí

Thákurova 7, Praha 6 - Dejvice

Datum: 03/2019

## Obsah

|   |       |
|---|-------|
| Obsah.....                                      | - 1 - |
| Seznam použitých symbolů.....                   | - 2 - |
| 1 Úvod.....                                     | - 4 - |
| 2 Železobetonový vazník s malým otvorem .....   | - 5 - |
| 2.1 Zadání.....                                 | - 5 - |
| 2.1.1 Geometrie.....                            | - 5 - |
| 2.1.2 Vnitřní síly.....                         | - 5 - |
| 2.1.3 Vlastnosti materiálu .....                | - 5 - |
| 2.2 Ohybová únosnost plného průřezu .....       | - 6 - |
| 2.2.1 Smyková výztuž.....                       | - 7 - |
| 2.3 Návrh smykové výztuže v oblasti otvoru..... | - 7 - |

## Seznam použitých symbolů

|               |   |
|---------------|---|
| $b$           | Šířka průřezu   |
| $b_{eff}$     | Maximální šířka oblasti příčných tahů                               |
| $b_o$         | Šířka otvoru  |
| $c$           | Krytí betonářské výztuže  |
| $c_1$         | Šířka betonové vzpěry   |
| $d$           | Účinná výška průřezu  |
| $d_g$         | Maximální velikost zrna kameniva                                    |
| $e_1$         | Šířka táhla   |
| $f_{ck}$      | Charakteristická hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku            |
| $f_d$         | Návrhová hodnota liniového zatížení včetně vlastní tíhy             |
| $f_{yd}$      | Návrhová hodnota meze kluzu betonářské výztuže                      |
| $f_{yk}$      | Charakteristická hodnota meze kluzu betonářské výztuže              |
| $h$           | Celková výška průřezu   |
| $h_o$         | Výška otvoru  |
| $h_d$         | Výška dolního pásu  |
| $h_{d,vz}$    | Délka dolní části betonové vzpěry                                   |
| $h_h$         | Výška horního pásu  |
| $h_{h,vz}$    | Délka horní části betonové vzpěry                                   |
| $l$           | Osové rozpětí vazníku   |
| $r$           | Poloměr kruhového otvoru  |
| $s_l$         | Světlá vzdálenost mezi prutovou výztuží                             |
| $s_t$         | Osová vzdálenost větví trémínku v příčném směru                     |
| $x$           | Výška tlačené části průřezu   |
| $x_{otv}$     | Vzdálenost osy otvoru od podpory                                    |
| $z$           | Rameno vnitřních sil  |
| $z_c$         | Vzdálenost těžiště idealizovaného průběhu napětí od těžiště průřezu |
| $z_s$         | Vzdálenost těžiště tažené výztuže k těžišti plného průřezu          |
| $z_{T,d}$     | Vzdálenost těžiště průřezu k jeho dolnímu okraji                    |
| $z_{T,h}$     | Vzdálenost těžiště průřezu k jeho hornímu okraji                    |
| $A$           | Celková plocha průřezu  |
| $A_{s1,prov}$ | Navržená plocha výztuže táhla                                       |
| $A_{s1,req}$  | Požadovaná plocha výztuže táhla                                     |
| $A_{sdh,req}$ | Požadovaná plocha horizontální výztuže za otvorem                   |
| $A_{sdv,req}$ | Požadovaná plocha svislých trémínků za otvorem                      |
| $A_{s,prov}$  | Navržená plocha ohybové výztuže                                     |
| $A_{s,req}$   | Požadovaná plocha ohybové výztuže                                   |

|                   |  |
|-------------------|--|
| $A_{shh,req}$     | Požadovaná plocha horizontální výztuže nad otvorem                                   |
| $A_{shv,req}$     | Požadovaná plocha svislých třmínek nad otvorem                                       |
| $F_c$             | Tlaková síla působící v horním tlačném pásu  |
| $F_{c,Rd}$        | Únosnost v tlaku horního tlačného pásu   |
| $F_t$             | Síla působící v taženém pásu   |
| $F_{t1}$          | Síla v táhlu před otvorem  |
| $F_{c1}$          | Tlaková síla v betonové vzpěře   |
| $M_{Ed}$          | Návrhová hodnota maximálního ohybového momentu na vazníku                            |
| $M_{Ed,vz}$       | Návrhová hodnota ohybového momentu ve středu betonové vzpěry                         |
| $N_{Ed,vz}$       | Návrhová hodnota normálové síly ve středu betonové vzpěry                            |
| $T_d$             | Příčná tahová síla v dolní části betonové vzpěry                                     |
| $T_h$             | Příčná tahová síla v horní části betonové vzpěry                                     |
| $V_{Ed}$          | Návrhová hodnota maximální posouvající síly na vazníku                               |
| $V_{Ed1}$         | Návrhová hodnota posouvající síly působící v lici před otvorem                       |
| $V_{Ed2}$         | Návrhová hodnota posouvající síly působící na táhlo $T_2$                            |
| $V_{Ed,vz}$       | Návrhová hodnota posouvající síly ve středu betonové vzpěry                          |
| $\alpha$          | Úhel sklonu tlačené diagonály  |
| $\alpha_1$        | Pomocný úhel   |
| $\alpha_2$        | Pomocný úhel   |
| $\nu$             | Součinitel vyjadřující vliv přídatných namáhání                                      |
| $\sigma_{c1}$     | Hodnota napětí v betonové vzpěře   |
| $\sigma_{Rd,max}$ | Návrhové napětí na mezi únosnosti tlačené betonové vzpěry při vzniku příčných trhlin |

## 1 Úvod

Poruchy staveb se často objevují v lokálních oblastech konstrukce, kde dochází k vysokému namáhání prvků a nelineárnímu přetvoření průřezů. U prefabrikovaných a monolitických železobetonových konstrukcí se běžně můžeme setkat s nosníky, ve kterých jsou provedené prostupy pro vedení instalací. Z důvodu náhlé změny průřezu dochází v oblasti otvoru k nelineárnímu průběhu vnitřních sil na průřezu. Využití běžných výpočetních metod založených na Bernoulli-Navierovo hypotéze pro řešení takových úloh je limitované. Cílem tohoto příkladu je poskytnout základní podklady pro návrh smykové výztuže železobetonového vazníku v oblasti otvoru při využití příhradové analogie. Pro nosníky s malými otvory se používá základní model náhradní příhradoviny vycházející z německých předpisů DIN 1045-1. Postup návrhu smykové výztuže je následující:

- 1) Návrh ohybové smykové výztuže plného průřezu využitím standardních metod pro B-oblasti
- 2) Ověření polohy otvoru na průřezu, aby nezasahovala do tlačené části průřezu a tažené výztuže. Navíc výška horního a dolního pásu nad a pod otvorem musí být minimálně 120 mm (150 mm) z důvodu výrobní technologie.
- 3) Návrh smykové výztuže oblasti kolem otvoru:
  - a. Návrh výztuže a šířky táhla před prostupem
  - b. Ověření únosnosti betonové vzpěry
  - c. Návrh výztuže táhla za prostupem
  - d. Ověření únosnosti tlačené a tažené pasu
  - e. Návrh výztuže zachycující příčné tahy v betonové vzpěře

## 2 Železobetonový vazník s malým otvorem

### 2.1 Zadání

Navrhněte smykovou výztuž železobetonového vazníku v oblasti kruhového otvoru o průměru 200 mm. Železobetonový vazník působí jako prostý nosník s osovým rozpětím 12 m a je vystaven liniovému zatížení s návrhovou hodnotou 25 kN/m včetně vlastní tíhy. Železobetonový vazník je navržen z betonu C45/55 a betonářské výztuže B500B.

#### 2.1.1 Geometrie

$b = 300 \text{ mm}$  šířka průřezu

$h = 800 \text{ mm}$  výška průřezu

$l = 12\,000 \text{ mm}$  osově rozpětí vazníku

$x_{otv} = 2\,300 \text{ mm}$  vzdálenost osy otvoru od podpory

$d_g = 22 \text{ mm}$  max. velikost zrna kameniva

$f_d = 25 \text{ kN/m}$  návrhová hodnota liniového zatížení včetně vlastní tíhy

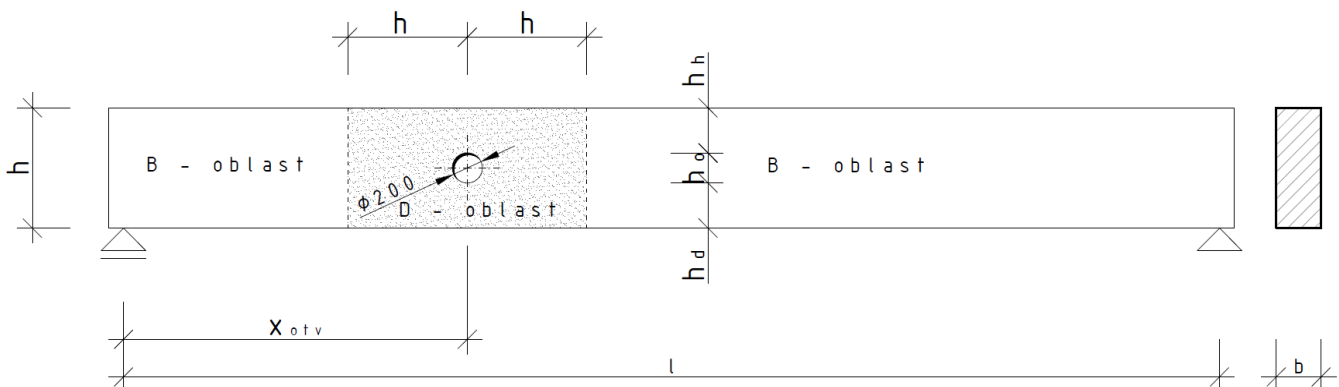
$h_h = 300 \text{ mm}$  výška horního pásu

$h_d = 300 \text{ mm}$  výška dolního pásu

$r = 100 \text{ mm}$  poloměr kruhového otvoru

$c = 25 \text{ mm}$  krytí výztuže - třmínek

$\cot \theta = 1,2$  kotangens úhlu sklonu tlačných diagonál



Obr. 1 Železobetonový nosník s malým otvorem

#### 2.1.2 Vnitřní síly

$V_{Ed} = 1/2 \cdot f_d \cdot l = 1/2 \cdot 25 \cdot 12 = 150 \text{ kN}$  návrhová hodnota maximální posouvající síly na vazníku

$V_{Ed,1} = V_{Ed} - f_d \cdot (x_{otv} + r) = 150 - 25 \cdot (2,3 + 0,1) = 90 \text{ kN}$  posouvající síla působící v lici před prostupem

$M_{Ed} = 1/8 \cdot f_d \cdot l^2 = 1/8 \cdot 25 \cdot 12^2 = 450 \text{ kNm}$  návrhová hodnota maximálního ohybového momentu na vazníku

#### 2.1.3 Vlastnosti materiálu

##### 2.1.3.1 Beton C45/55

$f_{ck} = 45 \text{ MPa}$  charakteristická hodnota válcové pevnosti betonu tlaku

$$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_{Mc} = 45/1,5 = 30 \text{ MPa} \quad \text{návrhová hodnota válcové pevnosti betonu tlaku}$$

$$f_{cm} = 53 \text{ MPa} \quad \text{střední hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku}$$

$$f_{ct\ 0,05} = 2,7 \text{ MPa} \quad \text{charakteristická hodnota pevnosti betonu v osovém tahu}$$

$$f_{ctm} = 3,8 \text{ MPa} \quad \text{střední hodnota pevnosti betonu v osovém tahu}$$

$$E_{cm} = 36\ 000 \text{ MPa} \quad \text{modul pružnosti}$$

### 2.1.3.2 Ocel B500B

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa} \quad \text{charakteristická hodnota meze kluzu betonářské výztuže}$$

$$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{Ms} = 500/1,15 = 434,7 \text{ MPa} \quad \text{návrhová hodnota meze kluzu betonářské výztuže}$$

$$f_{y,wd} = f_{yd} = 434,7 \text{ MPa} \quad \text{návrhová hodnota meze kluzu smykové výztuže}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa} \quad \text{modul pružnosti betonářské výztuže}$$

$$\cot \theta = 1,2 [-] \quad \text{kotangens úhlu sklonu tlačných diagonál}$$

## 2.2 Ohybová únosnost plného průřezu

$$d = h - c - \emptyset_{sw} - \frac{\emptyset}{2} = 800 - 25 - 8 - \frac{22}{2} = 756 \text{ mm}$$

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{0,95 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{450 \cdot 10^6}{0,95 \cdot 756 \cdot 434} = 1\ 443 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = \max \left\{ 0,26 \cdot \left( \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) \cdot b \cdot d; 0,0013 \cdot b \cdot d \right\} = 448 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 300 \cdot 800 = 9\ 600 \text{ mm}^2$$

Pro výpočet uvažován jednostranně vyztužený průřez s betonářskou výztuží 4 x  $\emptyset$  22 mm ( $A_{s,prov} = 1\ 521 \text{ mm}^2$ ).

$$s_{max} = 200 \text{ mm} \geq s = 71 \text{ mm}$$

$$s_{l,min} = \max \{ 1,2 \cdot \emptyset; d_g + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm} \} = 27 \text{ mm} \leq s_l = 49 \text{ mm}$$

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{1\ 521 \cdot 434}{0,8 \cdot 300 \cdot 30} = 92 \text{ mm} \leq h_h = 300 \text{ mm}$$

Otvor v železobetonovém vazníku je umístěn takovým způsobem, že nezasahuje do tlačné části průřezu a jeho polohu není zapotřebí měnit.

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{92}{756} = 0,12 [-] \leq \xi_{lim} = 0,45 [-]$$

$$z = d - 0,4 \cdot x = 756 - 0,4 \cdot 92 = 719 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 1\ 521 \cdot 434 \cdot 719 = 476 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 450 \text{ kNm}$$

OK

### 2.2.1 Smyková výztuž

Pro návrh smykové výztuže pro oblast s otvorem je zapotřebí ověřit únosnost tlačené diagonály plného průřezu podle následujícího vztahu:

$$V_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot b \cdot z \cdot \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} = 0,492 \cdot 30 \cdot 300 \cdot 719 \cdot \frac{1,2}{1 + 1,2^2} = 1\,566 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 150 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{45}{250}\right) = 0,49 \text{ [-]}$$

Únosnost tlačené diagonály plného průřezu je vyšší než maximální návrhová hodnota posouvající síly působící na vazníku - při působení maximální posouvající síly nedojde k porušení prvku drčením betonu a lze tak pokračovat v návrhu smykové výztuže plného průřezu. Z důvodu zjednodušení se smyková výztuž navrhne jednotná po celé délce nosníku na maximální neredukovanou posouvající sílu.

Uvažovány dvou-střížné třmínky profilu 8 mm -  $A_{sw} = 101 \text{ mm}^2$ .

$$s_{lim} = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{V_{Ed}} \cdot z \cdot \cot \theta = \frac{101 \cdot 434}{150\,000} \cdot 719 \cdot 1,2 = 252 \text{ mm} \rightarrow s = 250 \text{ mm}$$

$$V_{Rd} = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{s} \cdot z \cdot \cot \theta = \frac{101 \cdot 434}{250} \cdot 719 \cdot 1,2 = 151 \text{ kN} > V_{Ed} = 150 \text{ kN}$$

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b \cdot s} = \frac{101}{300 \cdot 250} = 0,0013 \text{ [-]}$$

$$\rho_{sw} = 0,0013 > \rho_{sw,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{45}}{500} = 0,0009$$

$$\rho_{sw} = 0,0013 > \rho_{sw,max} = \frac{0,5 \cdot v \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{0,5 \cdot 0,49 \cdot 30}{434} = 0,017$$

$$s_l = 250 \text{ mm} \leq s_{l,max} = \min\{0,75 \cdot d; 400 \text{ mm}\} = 400 \text{ mm}$$

$$s_t = 242 \text{ mm} \leq s_{t,max} = \min\{0,75 \cdot d; 600 \text{ mm}\} = 567 \text{ mm}$$

### 2.3 Návrh smykové výztuže v oblasti otvoru

Výztuž táhla před prostupem závisí na velikosti posouvající síly působící v daném místě a měla by obsahovat nejméně dva třmínky.

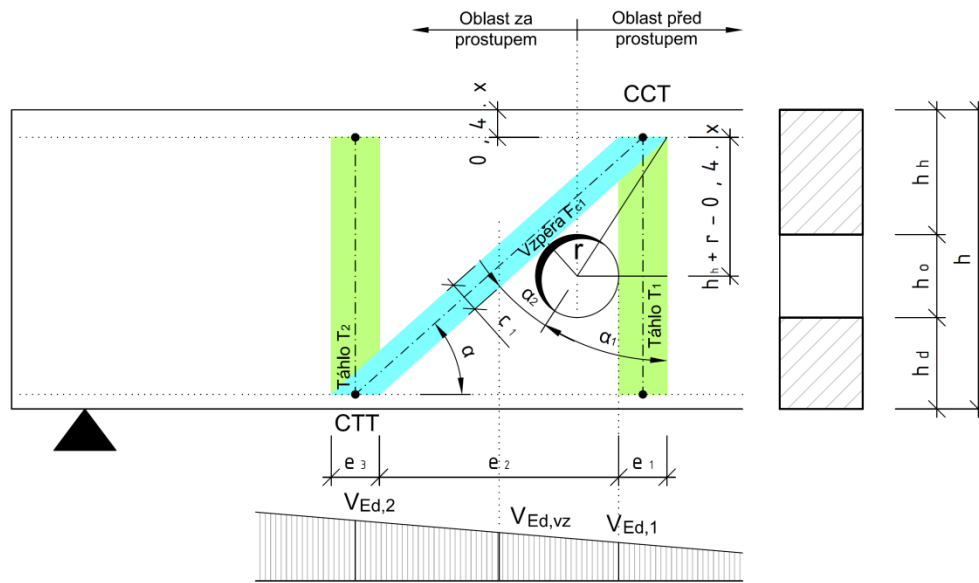
$$V_{Ed1} = 90 \text{ kN} \quad \text{návrhová hodnota posouvající síly působící v lici před prostupem}$$

$$A_{s1,req} = \frac{F_{t1}}{f_{yd}} = \frac{|V_{Ed1}|}{f_{yd}} = \frac{|90\,000|}{434,7} = 207 \text{ mm}^2 \quad \text{požadovaná plocha výztuže táhla}$$

$$A_{s1,prov} = 3 \cdot 2 \cdot 50,3 = 302 \text{ mm}^2 \quad \text{navržená plocha výztuže táhla: tři dvou-střížné třmínky profilu 8 mm}$$

$$A_{s1,prov} = 302 \text{ mm}^2 \geq A_{s1,req} = 207 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$





Obr. 2 Základní model náhradní příhradoviny pro oblast s otvorem

Hodnota minimální šířky táhla  $e_{1,min}$  se stanoví na základě navržených třmínků a minimální světlé vzdálenosti mezi smykovou výztuží. Šířka táhla se rovná vzdálenosti vnějších líců třmínků táhla. Hodnota světlé vzdálenosti mezi třmínky se volí tak, aby byly splněné konstrukční zásady, výztuž byla koncentrována do jednoho místa a došlo k řádnému obetonování výztuže ( $s_1 \approx 40 \text{ mm}$ ).

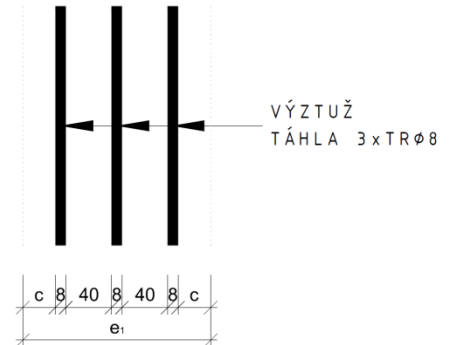
$$s_{l,min} \geq \max(20 \text{ mm}; 1,2 \cdot \Phi; d_{max} + 5 \text{ mm})$$

$$s_{l,min} \geq \max(20 \text{ mm}; 1,2 \cdot 8; 22 + 5 \text{ mm}) = 27 \text{ mm}$$

$$e_{1,min} = n \cdot \Phi_{sw} + (n - 1) \cdot s_{l,min} + 2 \cdot c = 3 \cdot 8 + 2 \cdot 27 + 2 \cdot 25 = 128 \text{ mm}$$

$$e_1 = n \cdot \Phi_{sw} + (n - 1) \cdot s_l + 2 \cdot c = 3 \cdot 8 + 2 \cdot 40 + 2 \cdot 25 = 154 \text{ mm}$$

$$e_1 = 154 \text{ mm} \geq e_{1,min} = 128 \text{ mm}$$



Podle uvažovaného výpočetního modelu (Obr.2) se stanoví úhel sklonu tlačené diagonály  $\alpha$ , jehož hodnota podle ČSN EN 1992-1-1 musí být v rozmezí od  $21,8^\circ$  do  $45^\circ$ . Hodnotu úhlu  $\alpha$  lze snížit posunutím otvoru k tlačnému okraji průřezu.

$$\alpha_1 = \arctg\left(\frac{e_1 + r}{h_h - 0,4 \cdot x + r}\right) = \arctg\left(\frac{154 + 100}{300 - 0,4 \cdot 92 + 100}\right) = 44^\circ$$

$$\alpha_2 = \arcsin\left(\frac{r}{\sqrt{(e_1 + r)^2 + (h_h - 0,4 \cdot x + r)^2}}\right) = \arcsin\left(\frac{100}{\sqrt{(154 + 100)^2 + (300 - 0,4 \cdot 92 + 100)^2}}\right) = 15,9^\circ$$

$$\alpha = 90^\circ - (\alpha_1 + \alpha_2) = 90^\circ - (44^\circ + 15,9^\circ) = 30,2^\circ$$

$$21,8^\circ \leq \alpha = 30,2^\circ \leq 45^\circ$$

OK

Pro získanou hodnotu úhlu  $\alpha$  se stanoví šířka betonové vzpěry a ověří se hodnota napětí v betonové vzpěře.

$$c_1 = e_1 \cdot \sin \alpha = 124 \cdot \sin 30,2^\circ = 77 \text{ mm}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{V_{Ed1}}{b \cdot c_1 \cdot \sin \alpha} = \frac{90\,000}{300 \cdot 77 \cdot \sin 30,2^\circ} = 7,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Rd,max} = 0,6 \cdot v' \cdot f_{cd} = 0,6 \cdot 0,82 \cdot 30 = 14,8 \text{ MPa}$$

$$v' = 1 - \frac{f_{ck}}{250} = 1 - \frac{45}{250} = 0,82 \text{ [-]}$$

$$\sigma_{Rd,max} = 14,8 \text{ MPa} \geq \sigma_c = 7,7 \text{ MPa}$$

OK

Výztuž táhla za prostupem závisí na velikosti posouvající síly působící v daném místě a měla by obsahovat nejméně dva třmínky. Aby bylo možné stanovit tahovou sílu působící na táhlo  $T_2$ , nejdříve se musí vyjádřit půdorysná délka betonové vzpěry.

$$e_1 + e_2 = z / \tan \alpha = 719 / \tan 30,2^\circ = 1\,238 \text{ mm} \quad \text{půdorysná délka betonové vzpěry}$$

$$e_2 = 1238 - e_1 = 1238 - 154 = 1084 \text{ mm}$$

$$V_{Ed,2} = V_{Ed} - f_d \cdot (x_{otv} - e_2 - \frac{e_1}{2}) = 150 - 25 \cdot (2,3 - 1,084 - \frac{0,154}{2}) = 121,5 \text{ kN}$$

$$A_{s2,req} = \frac{F_{t2}}{f_{yd}} = \frac{|V_{Ed2}|}{f_{yd}} = \frac{|121\,500|}{434,7} = 279 \text{ mm}^2 \quad \text{požadovaná plocha výztuže táhla}$$

$$A_{s2,prov} = 3 \cdot 2 \cdot 50,3 = 302 \text{ mm}^2 \quad \text{navržená plocha výztuže táhla: tři dvou-střižné třmínky profilu 8 mm}$$

$$A_{s2,prov} = 302 \text{ mm}^2 \geq A_{s1,req} = 279 \text{ mm}^2$$

OK

Rovněž se ověří hodnota tahové síly  $F_t$  a tlakové síly  $F_c$  působící v dolním taženém pásu a v horním tlačném pásu. Aby bylo možné provést ověření, nejdříve se musí stanovit vnitřní síly působící ve středu délky betonové vzpěry.

$$M_{Ed,vz} = V_{Ed} \cdot (x_o + r - \frac{e_2}{2}) - f_d \cdot \frac{(x_o + r - \frac{e_2}{2})^2}{2} \quad \text{ohybový moment ve středu betonové vzpěry}$$

$$M_{Ed,vz} = 150 \cdot (2,3 + 0,1 - \frac{1,084}{2}) - 25 \cdot \frac{(2,3 + 0,1 - \frac{1,084}{2})^2}{2} = 236 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,vz} = |V_{Ed,1}| + f_d \cdot \frac{e_2}{2} = |90| + 25 \cdot \frac{1,084}{2} = 103,5 \text{ kN} \quad \text{posouvající síla ve středu betonové vzpěry}$$

Nyní se ověří únosnost dolního taženého pásu a horního tlačného pásu.

$$F_t = \frac{M_{Ed,vz} + N_{Ed,vz} \cdot z_s}{z} + \frac{V_{Ed,vz}}{\tan \alpha} + N_{Ed,vz} = \frac{236 + 0}{0,719} + \frac{103,5}{\tan 30,2^\circ} + 0 = 505,7 \text{ kN}$$

$$A_{s,req} = \frac{F_t}{f_{yd}} = \frac{505\,700}{434,8} = 1\,163 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,prov} = 1521 \text{ mm}^2 \geq A_{s,req} = 1057 \text{ mm}^2$$

OK

$$F_c = -\frac{M_{Ed,vz} + N_{Ed,vz} \cdot z_c}{z} - \frac{V_{Ed,vz}}{\tan \alpha} + N_{Ed,vz} = -\frac{236 + 0}{0,719} - \frac{103,5}{\tan 44,8^\circ} = -505,7 \text{ kN}$$

$$F_{c,Rd} = 0,85 \cdot v' \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} = 0,85 \cdot 0,82 \cdot 92 \cdot 300 \cdot 30 = 576 \text{ kN}$$

$$F_{c,Rd} = 576 \text{ kN} \geq |F_c| = 505,7 \text{ kN}$$

OK

V dalším kroku se navrhne výztuž zachycující příčné tahy v betonové vzpěře. Při návrhu výztuže se musí respektovat, že největší příčné tahy vznikají ve čtvrtinách oblasti s úplnou nespojitostí. Uvedené vztahy pro výpočet příčných tahových sil jsou platné pro úplně nespojitě oblasti, kde  $b^* > H/2$  (H - délka vzpěry).

$$H = \frac{z}{\sin \alpha} = \frac{719}{\sin 30,2^\circ} = 1429 \text{ mm} \quad \text{délka vzpěry}$$

$$F_{c1} = \frac{V_{Ed1}}{\sin \alpha} = \frac{90}{\sin 30,2^\circ} = 179 \text{ kN} \quad \text{tlaková síla v betonové vzpěře}$$

$$T = \frac{1}{4} \cdot F_{c1} \cdot \left(1 - 0,7 \cdot \frac{c_1}{H}\right) = \frac{1}{4} \cdot 179 \cdot \left(1 - 0,7 \cdot \frac{0,077}{1,429}\right) = 43 \text{ kN} \quad \text{příčné tahové síly v horní části bet. vzpěry}$$

Pro horní a spodní nespojitou oblast vzpěry navržena svislá výztuž - 1 x dvou-střížný třmínek profilu 8 mm

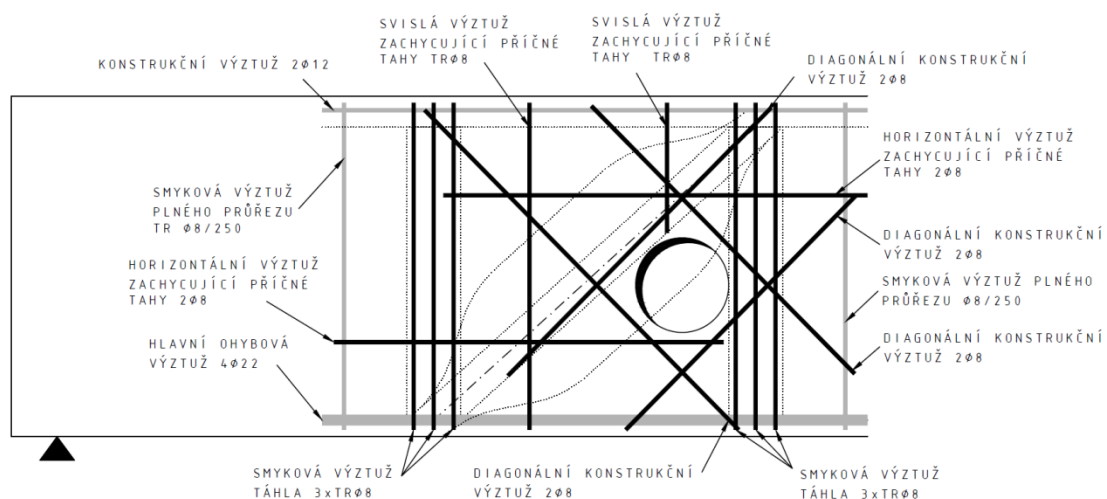
$$A_{sv,prov} = 101 \text{ mm}^2$$

$$A_{sv,req} = T \cdot \frac{\sin \alpha}{f_{yd}} = 43000 \cdot \frac{\sin 30,2^\circ}{434} = 50 \text{ mm}^2 \quad \text{požadovaná plocha svislých třmíneků nad otvorem}$$

Pro horní a spodní nespojitou oblast vzpěry navržena vodorovná výztuž - 2 x prut profilu 8 mm

$$A_{sh,prov} = 101 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh,req} = T \cdot \frac{\cos \alpha}{f_{yd}} = 43000 \cdot \frac{\cos 30,2^\circ}{434} = 86 \text{ mm}^2 \quad \text{požadovaná plocha horizontální výztuže nad otvorem}$$



Obr. 3 Schéma vyztužení oblasti kolem otvoru

Výztuž zachycující příčné tahy se musí dostatečně zakotvit, aby byla zajištěna její řádná funkce a nedošlo k jejímu vytržení z betonu. Výztuž je proto nutné zatáhnout na kotevní délku od hranice oblasti, kde vznikají příčné tahy. Kolem prostupu je nutné doplnit konstrukční diagonální výztuž – šikmé příložky, které redukují rozvoj diagonálních trhlin v tažených částech prostupu. Profil a množství výztuže zvolíme s ohledem na velikost napětí v posuzovaném průřezu podle inženýrského citu.