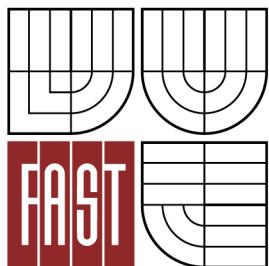




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

## P2) STATICKÝ VÝPOČET

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

ANNA MARKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. PAVEL ŠULÁK, Ph.D.

BRNO 2013

## **OBSAH:**

<b>1. GEOMETRIE</b>	<b>1</b>
1.1 Nosné prvky	1
1.2 Návrh schodiště	2
<b>2. SKLADBY KONSTRUKCÍ</b>	<b>4</b>
2.1 Obvodový plášť	4
2.1.1 Skladba obvodového pláště	4
2.1.2 Posouzení součinitele prostupu tepla	4
2.1.3 Posouzení akustických vlastností	4
2.2 Strop s podlahou	5
2.2.1 Skladba stropní konstrukce a podlahy	5
2.2.2 Posouzení součinitele prostupu tepla	5
<b>3. ZATÍŽENÍ</b>	<b>5</b>
3.1 Stálé zatížení	5
3.1.1 Liniové - obvodový plášť	5
3.1.2 Rovnoměrné	6
3.2 Proměnné zatížení	6
<b>4. Výpočet vnitřních sil</b>	<b>6</b>
<b>5. MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY</b>	<b>7</b>
5.1 Beton	7
5.2 Ocel	7
<b>6. OHYBOVÁ VÝZTUŽ</b>	<b>8</b>
6.1 Krytí výztuže	8
6.2 Výpočet konstrukčních zásad	8
6.3 Spodní výztuž, ve směru „y“	9
6.4 Spodní výztuž ve směru „x“	11
6.5 Horní výztuž ve směru „y“	12
6.6 Horní výztuž ve směru „x“	12
6.7 Rozdělovací výztuž	13
6.8 Kotevní délka	13
<b>7. SMYKOVÁ VÝZTUŽ</b>	<b>14</b>
7.1 Vnitřní sloup	14

7.1.1	Ruční výpočet	14
7.1.2	Výpočet v programu Schöck	17
7.1.3	Porovnání ručního výpočtu, a výpočtu v programu Schöck	19
7.2	Krajní sloup	20
7.3	Rohový sloup	22
8.	ŘETĚZOVÉ ZŘÍCENÍ	26
8.1	Návrh a posouzení	26
8.2	Kotevní délka	26

# 1. GEOMETRIE

## 1.1 Nosné prvky

Stropní deska je řešena jako lokálně podepřená, bezhřibová. Rozpětí polí je v obou směrech 6 m, okraj má přesah 1,2 m, tloušťka desky je 250 mm. Podepření sloupy 450/450 mm a jádrem – stěna tloušťky 300 mm. Konstrukční výška 3500 mm.

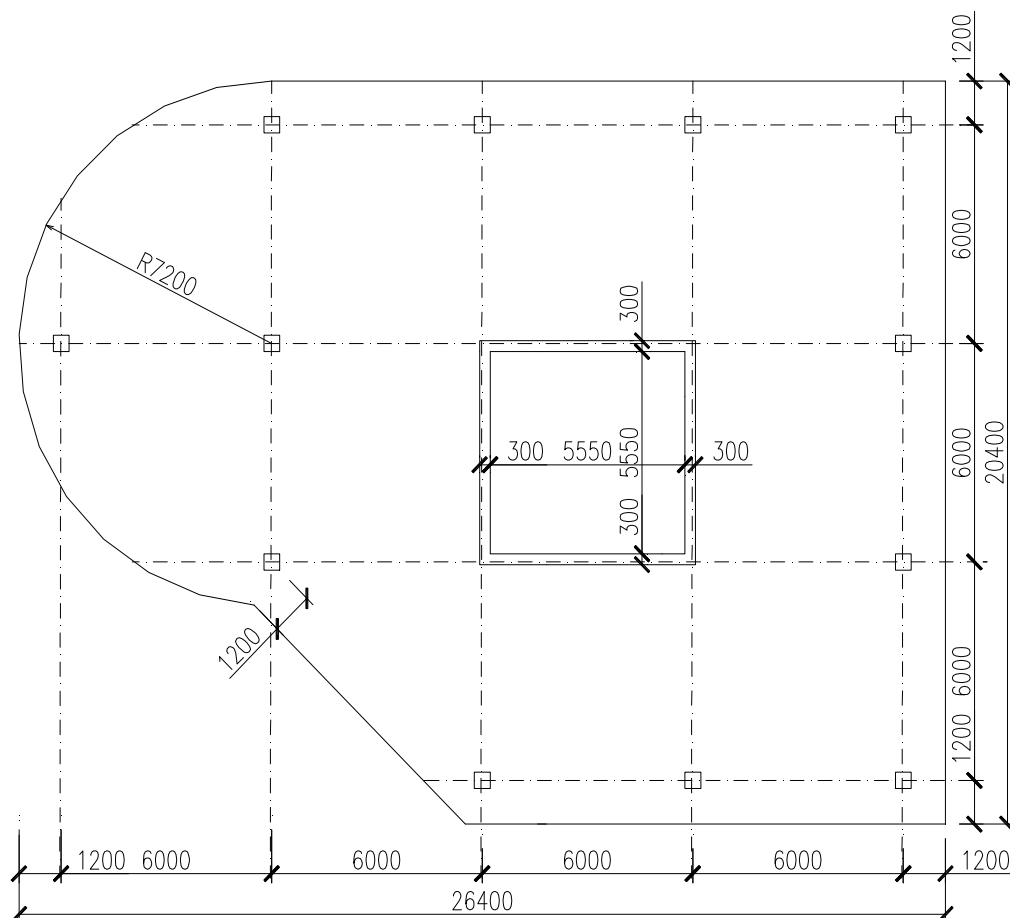
Deska:  $l_x = l_y = 6000$  m

$h = 250$  mm

Podepření: Sloupem  $c_1 = 450$  mm

$c_2 = 450$  mm

Stěnou  $t = 300$  mm



Obrázek 1: půdorysné schéma desky

## 1.2 Návrh schodiště

Překonávaná výška  $V = 3500 \text{ mm}$

Zvolená přibližná výška stupňů  $h' = 165 \text{ mm}$

Počet stupňů  $n = \frac{V}{h'} = \frac{3500}{165} = 21 \rightarrow \text{zvolím } 20 \text{ stupňů}$

Maximální počet stupňů v jednom schodišťovém rameni je 16  $\rightarrow 2$  ramenné schodiště

Skutečná výška stupňů  $h = \frac{V}{n} = \frac{3500}{20} = 175 \text{ mm}$

Šířka stupňů  $2h + b = 630$

$$b = 630 - 2h = 630 - 2 \cdot 175 = 280 \text{ mm}$$

sklon schodiště  $\text{tg}\alpha = \frac{h}{b} = \frac{175}{280} = 0,625$

$$\alpha = 32^\circ < 35^\circ \rightarrow \text{vyhovuje}$$

délka schodišťového ramene  $L = (n - 1) \cdot b = (20 - 1) \cdot 280 = 5320 \text{ mm}$

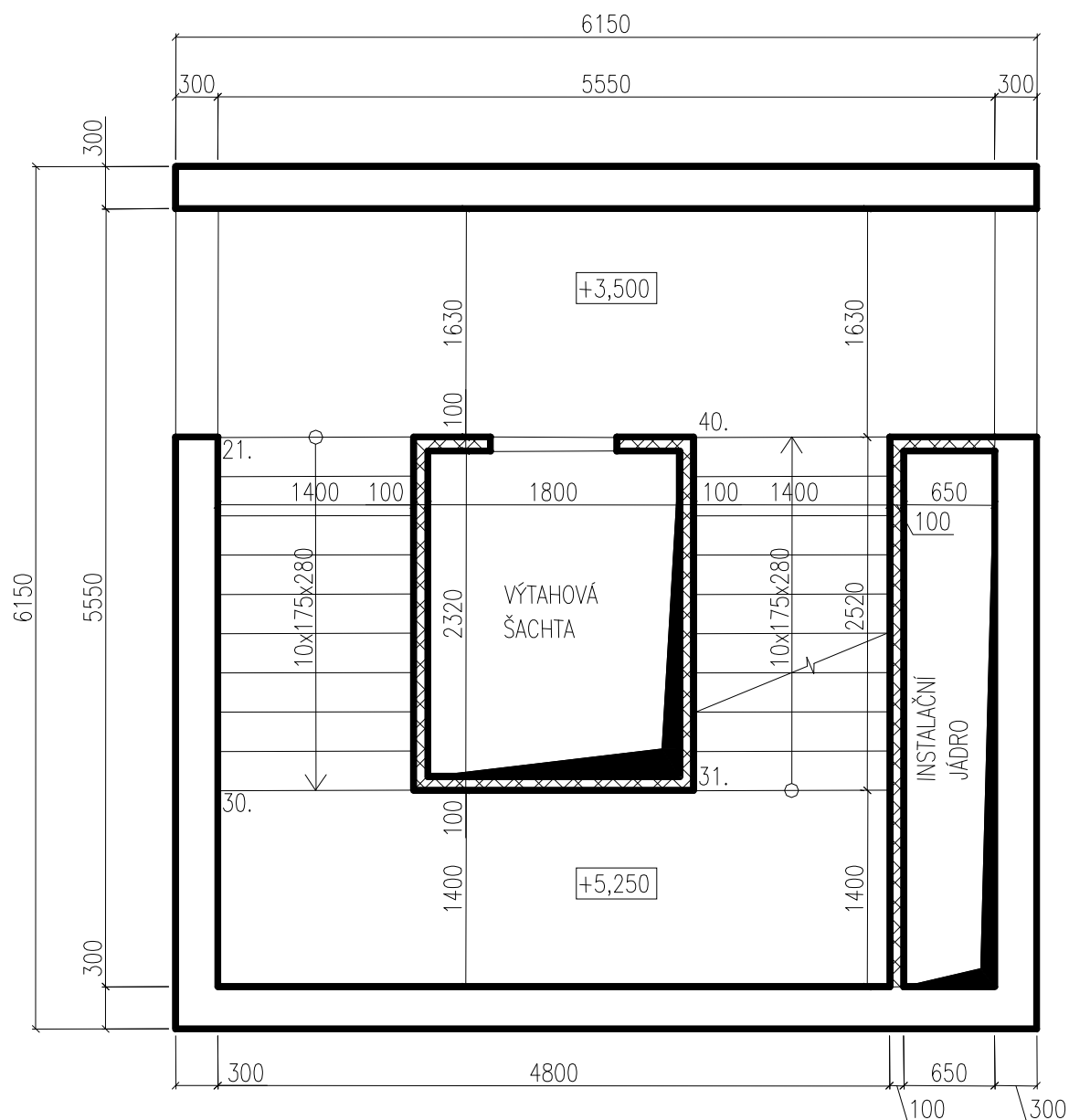
šířka schodiště  $b_s = 1400 \text{ mm} > 1100 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$

šířka vedlejší podesty  $B_1 = b_s = 1400 \text{ mm}$

šířka hlavní podesty  $B_2 = 5550 - 1400 - 5320 = 1630 \text{ mm}$

# PŮDORYS SCHODIŠTĚ 2.NP

M1:50



ZDIVO POROTHERM 8 Profi, PEVNOST P8,  
MALTA VÁPENOCEMENTOVÁ POROTHERM Profii



ŽELEZOBETONOVÁ ZTUŽUJÍCÍ STĚNA TL. 300mm

## 2. SKLADBY KONSTRUKCÍ

Pro určení zatížení je nutné navrhnout skladbu obvodového pláště a podlahy. Tenké vrstvy (omítka, fólie, aj.) při výpočtu zatížení nemají takový vliv, proto jsou *zanedbány*.

### 2.1 Obvodový plášť

#### 2.1.1 Skladba obvodového pláště

	Tl. d	Obj. hm.	$\lambda$	$R_w$
Porotherm 19 AKU	190 mm	245 kg/m <sup>2</sup>	$0,32 \frac{W}{mK}$	52 dB
EPS	130 mm	2 kg/m <sup>2</sup>	$0,039 \frac{W}{mK}$	

#### 2.1.2 Posouzení součinitele prostupu tepla

Požadovaný součinitel prostupu tepla

$$U_N = 0,25 \frac{W}{m^2K} \text{ (těžká stěna)}$$

Součinitel prostupu tepla navržené skladby

$$U = \frac{1}{R_{Si} + \sum \frac{d}{\lambda} + R_{Se}} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,19}{0,32} + \frac{0,13}{0,039} + 0,04} = 0,24 \frac{W}{m^2K}$$

$$U_N = 0,25 \frac{W}{m^2K} > U = 0,24 \frac{W}{m^2K} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

#### 2.1.3 Posouzení akustických vlastností

kanceláře bez nároků na zvýšenou ochranu před hlukem

$$R_{wN} = 37 \text{ dB}$$

$$k = 5 \text{ dB}$$

$$R'_{wN} = R_{wN} + k = 37 + 5 = 42 \text{ dB} > R'_w = 50 \text{ dB} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

## 2.2 Strop s podlahou

### 2.2.1 Skladba stropní konstrukce a podlahy

	Tl. d	Obj. hm.	$\lambda$	
Linoleum	3 mm	12 kN/m <sup>3</sup>	0,19	
Betonová mazanina	100 mm	23 kN/m <sup>3</sup>	1,43 $\frac{W}{mK}$	
ROCKWOOL steprock T	40 mm	0,046 kN/m <sup>3</sup>	0,037 $\frac{W}{mK}$	45 dB
Železobetonová deska	250 mm	25 kN/m <sup>3</sup>	1,43 $\frac{W}{mK}$	
Sádrokarton		0,15 kN/m <sup>2</sup>		

### 2.2.2 Posouzení součinitele prostupu tepla

Požadovaný součinitel prostupu tepla

$$U_N = 0,75 \frac{W}{m^2K}$$

Součinitel prostupu tepla navržené skladby

$$U = \frac{1}{R_{Si} + \sum \frac{d}{\lambda} + R_{Se}} = \frac{1}{0,17 + \frac{0,25}{1,43} + \frac{0,04}{0,037} + \frac{0,1}{1,43} + \frac{0,003}{0,19} + 0,04} = 0,644 \frac{W}{m^2K}$$

$$U_N = 0,75 \frac{W}{m^2K} > U = 0,644 \frac{W}{m^2K} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

## 3. ZATÍŽENÍ

Deska je zatížena kombinacemi stálého a proměnného zatížení. Stálé zatížení je rovnoměrné od desky a skladby podlahy a liniové, vyvolané tíhou obvodového zdiva. Proměnné zatížení je rovnoměrné, velikost určena dle normy ČSN EN 1991 – 1.

### 3.1 Stálé zatížení

$$g_k = \sum (\rho_i \cdot d_i)$$

#### 3.1.1 Liniové - obvodový plášť

$$\text{Zdivo Porotherm} \quad 2,45 \cdot 2 = 4,9 \text{ kN/m}$$



Liniové okno	$0,5 \cdot 1,5 = 0,75 \text{ kN/m}$
EPS	$0,02 \cdot 2 = 0,04 \text{ kN/m}$
	<u><math>5,69 \text{ kN/m}</math></u>

### 3.1.2 Rovnoměrné

*Stropní deska s podlahou:*

Linoleum	$0,003 \cdot 12 = 0,036 \text{ kN/m}^2$
Betonová mazanina	$0,08 \cdot 23 = 1,84 \text{ kN/m}^2$
Izolace	$0,04 \cdot 0,046 = 0,0018 \text{ kN/m}^2$
Železobetonová deska	$0,25 \cdot 25 = 6,25 \text{ kN/m}^2$
Sádrokarton	$0,15 \text{ kN/m}^2$
	<u><math>8,28 \text{ kN/m}^2</math></u>

*Příčky*  $0,5 \text{ kN/m}^2$

Celkové rovnoměrné zatížení, se kterým se počítá je  $9,00 \text{ kN/m}^2$ .

## 3.2 Proměnné zatížení

kategori B – kancelářské plochy

katégorie C1 – plochy, kde může docházet ke shromažďování lidí; plochy se stoly atd., např. plochy v kavárnách, restauracích, jídelnách, čítárnách, recepcích.

(ČSN EN 1991- 1 - 1, 2003)

$$q_k = \underline{3,00 \text{ kN/m}^2}$$

## 4. Výpočet vnitřních sil

Výpočet vnitřních sil je řešen dvěma způsoby. Metodou konečných prvků v programu SCIA Engineer 2009, která je ověřena ručním výpočtem Metodou součtových momentů.

Ve výpočetním programu je užito dimenzační normy ČSN. Podpory jsou zvoleny typu „sloup“, v místě jádra je liniová podpora, odebírající tři stupně volnosti. Je vytvořeno devět

zatěžovacích stavů a čtrnáct jejich kombinací. Síť konečných prvků o rozměrech 0,5 x 0,5 m je v místě uložení desky na sloupy zahuštěna do vzdálenosti 1 m, poměrem 0,2.

Výpočet Metodou konečných prvků, výsledky z výpočtového programu a porovnání obou metod je v příloze P4).

## 5. MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

### 5.1 Beton

BETON C25/30

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,67 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$$

$$E_{cm} = 31 \text{ GPa}$$

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk0,05}}{\gamma_c} = 1 \cdot \frac{1,8}{1,5} = 1,2 \text{ MPa}$$

### 5.2 Ocel

OCEL B410

$$f_{yk} = 410 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{410}{1,15} = 356,522 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\epsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{356,522}{200} = 1,783$$

## 6. OHYBOVÁ VÝZTUŽ

### 6.1 Krytí výztuže

**Kategorie návrhové životnosti:** Budovy a další běžné stavby, návrhová životnost 80 let – kategorie S4

**Stupeň vlivu prostředí:** koroze vyvolaná karbonatací, suché prostředí (beton uvnitř budov s nízkou vlhkostí vzduchu) – XC1 (ČSN EN 1991- 1 - 1, 2003)

**Zvolen maximální profil  $\phi$  18 mm**

Minimální krycí vrstva z hlediska soudržnosti pro  $d_g \leq 32$  mm  $c_{\min,b} = \phi = 18$  mm

Minimální krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí  $c_{\min,dur} = 15$  mm

Přídavek pro návrhovou odchylku  $\Delta c_{dev} = 10$  mm

Minimální krycí vrstva

$$c_{\min} = \max(c_{\min,b}; c_{\min,dur}; 10 \text{ mm}) = \max(18; 15; 10) = 18 \text{ mm}$$

Nominální krycí vrstva

$$c_{\text{nom}} = c_{\min} + \Delta c_{dev} = 18 + 10 = 28 \text{ mm}$$

→ z důvodu umístění žebříků smykové výztuže  $\phi$  6 mm, bude navýšena na  $c_{\text{nom}} = \underline{\underline{35 \text{ mm}}}$

### 6.2 Výpočet konstrukčních zásad

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,\min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,6}{410} \cdot 1 \cdot 0,206 = \\ = 3,396 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

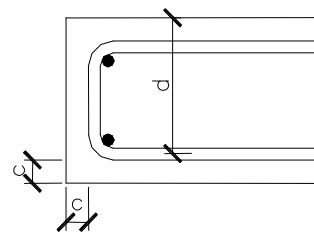
$$A_{s,\min} = 0,0013 \cdot b_t \cdot d = 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,206 = \underline{\underline{2,678 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}}$$

Maximální plocha výztuže:

$$A_{s,\max} = 0,04 \cdot b \cdot d = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,206 = 82,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Minimální mezera mezi vložkami:

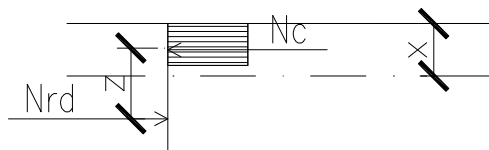
$$s_u > \max\{1,2 \cdot \phi; d_g + 5; 20 \text{ mm}\} = \max(1,2 \cdot 18; 20 + 5; 20) = 25 \text{ mm}$$



Obrázek 2: Krytí výztuže

maximální osová vzdálenost výztuže:

$$s_{\max, \text{slab}} = \min \{2h; 300\} = \min \{2 \cdot 250; 300\} = 300 \text{ mm}$$



Obrázek 3: Výška tlačené části průřezu

### 6.3 Spodní výztuž, ve směru „y“

Návrh:  $\Phi 10 \text{ mm}$ ,  $a 160 \text{ mm}$ ,  $A_s = 4,91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

Výška tlačené části průřezu  $x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{4,91 \cdot 10^{-4} \cdot 356,522}{1 \cdot 0,8 \cdot 16,667} = 0,01313 \text{ m} < x_{\lim} = 0,139 \text{ m}$   
 vyhovuje

Účinná výška průřezu  $d = h - c - \frac{\phi}{2} = 250 - 35 - \frac{10}{2} = 210 \text{ mm}$

Rameno vnitřních sil  $z_c = d - 0,5 \lambda x = 0,21 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,01313 = 0,205 \text{ m}$

$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z_c = 4,91 \cdot 10^{-4} \cdot 356,522 \cdot 10^3 \cdot 0,205 = 35,842 \text{ kNm}$

$M_{Rd} = 35,842 \text{ kNm} > M_{Ed} = 30,77 \text{ kNm}$  vyhovuje

Posouzení přetvoření:

$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x) = \frac{3,5}{0,01313} (0,21 - 0,01313) = 52,48 \text{ ‰}$

$\varepsilon_s = 52,48 \text{ ‰} > \varepsilon_{yd} = 1,78 \text{ ‰}$  vyhovuje

d	$A_{s,min}$	$A_{s,max}$	$s_{max}$	$\Phi/vzdál.$	$A_s$	$x_{lim}$	x	$z_c$	$M_{Rd}$	$M_{Ed}$	posouzení
0,21	0,000346	0,00840	300	10/220	0,000357	0,1391	0,00954	0,206	<b>26,243</b>	0	vyhovuje
0,21	0,000346	0,00840	300	10/320, 8/320	0,000403	0,1391	0,0108	0,2057	<b>29,5174</b>	11,12	vyhovuje
0,211	0,000348	0,00844	300	8/120	0,000419	0,1398	0,01120	0,207	<b>30,850</b>	0,03	vyhovuje
0,21	0,000346	0,00840	300	10/160	0,000491	0,1391	0,0131	0,2047	<b>35,8419</b>	30,77	vyhovuje
0,21	0,000346	0,00840	300	10/120	0,000654	0,1391	0,01748	0,203	<b>47,334</b>	44,54	vyhovuje
0,21	0,000346	0,00840	300	10/110	0,000714	0,1391	0,0191	0,2024	<b>51,5133</b>	41,17	vyhovuje
0,208	0,000343	0,00832	300	14/185	0,000832	0,1378	0,02224	0,199	<b>59,059</b>	51,9	vyhovuje
0,208	0,000343	0,00832	300	14/160	0,000962	0,1378	0,0257	0,1977	<b>67,8104</b>	61,63	vyhovuje

## 6.4 Spodní výztuž ve směru „x“

Krytí výztuže je 35 mm, navýšené o průměr výztuže ve směru „y“. Návrh výztuže se počítá stejným způsobem jako předešlá ohybová výztuž.

d	$A_{s,min}$	$A_{s,max}$	$s_{max}$	$\phi/vzd.$	$A_s$	$x_{lim}$	x	$z_c$	$M_{Rd}$	$M_{Ed}$	posouzení
0,2	0,000330	0,00800	300	10/230	0,000341	0,1325	0,00912	0,196	<b>23,871</b>	22,04	vyhovuje
0,2	0,000330	0,00800	300	8/300, 10/300	0,00043	0,1325	0,01150	0,195	<b>29,956</b>	0	vyhovuje
0,2	0,000330	0,00800	300	10/160	0,000491	0,1325	0,01313	0,195	<b>34,091</b>	33,24	vyhovuje
0,2	0,000330	0,00800	300	10/150	0,000524	0,1325	0,01401	0,194	<b>36,317</b>	31,3	vyhovuje
0,2	0,000330	0,00800	300	8/230, 10/230	0,00056	0,1325	0,01497	0,194	<b>38,735</b>	30,74	vyhovuje
0,2	0,000330	0,00800	300	10/130	0,000604	0,1325	0,01615	0,194	<b>41,677</b>	39,87	vyhovuje
0,198	0,000326	0,00792	300	14/300, 8/300	0,000681	0,1312	0,01821	0,191	<b>46,305</b>	43,53	vyhovuje
0,198	0,000326	0,00792	300	14/300, 10/300	0,000775	0,1312	0,02072	0,190	<b>52,418</b>	49,77	vyhovuje
0,198	0,000326	0,00792	300	14/230, 8/460	0,000779	0,1312	0,02081	0,190	<b>52,645</b>	46,49	vyhovuje
0,2	0,000330	0,00800	300	8/160, 10/160	0,000805	0,1325	0,02152	0,191	<b>54,929</b>	42,81	vyhovuje
0,198	0,000326	0,00792	300	14/160	0,000962	0,1312	0,02572	0,188	<b>64,381</b>	54,15	vyhovuje
0,198	0,000326	0,00792	300	14/230, 10/230	0,00101	0,1312	0,02700	0,187	<b>67,408</b>	59,79	vyhovuje

## 6.5 Horní výztuž ve směru „y“

Krytí výztuže je 35 mm.

d	$A_{s,min}$	$A_{s,max}$	$s_{max,slab}$	$\phi/vzd.$	$A_s$	$x_{lim}$	$x$	$z_c$	$M_{Rd}$	$M_{Ed}$	posouzení
0,21	0,000346	0,00840	300	8/100	0,000503	0,139125	0,0134471	0,205	<b>36,69483</b>	33,732	vyhovuje
0,208	0,000343	0,00832	300	14/200	0,00077	0,1378	0,020585	0,200	<b>54,84015</b>	46,44	vyhovuje
0,206	0,000340	0,00824	300	18/200	0,001272	0,136475	0,0340054	0,192	<b>87,25165</b>	62,916	vyhovuje
0,208	0,000343	0,00832	300	14/100	0,001539	0,1378	0,0411433	0,192	<b>105,097</b>	81,936	vyhovuje
0,206	0,000340	0,00824	300	18/100	0,002545	0,136475	0,0680375	0,179	<b>162,2203</b>	132,252	vyhovuje

## 6.6 Horní výztuž ve směru „x“

Krytí výztuže je 35 mm, navýšené o průměr výztuže ve směru „y“.

d	$A_{s,min}$	$A_{s,max}$	$s_{max,slab}$	$\phi/vzd.$	$A_s$	$x_{lim}$	$x$	$z_c$	$M_{Rd}$	$M_{Ed}$	posouzení
0,193	0,000318	0,00772	300	8/100	0,000503	0,127863	0,013447	0,188	<b>33,64621</b>	17,19	vyhovuje
0,19	0,000313	0,00760	300	14/200	0,00077	0,125875	0,020585	0,182	<b>49,89875</b>	44,796	vyhovuje
0,188	0,000310	0,00752	300	18/200	0,001272	0,12455	0,034005	0,174	<b>79,08872</b>	60,444	vyhovuje
0,188	0,000310	0,00752	300	18/100	0,002545	0,12455	0,068038	0,161	<b>145,888</b>	100,536	vyhovuje

## 6.7 Rozdělovací výztuž

$$A_{s,roz} = \min 15\% A_s = 0,002545 \cdot 0,15 = 3,818 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Max vzdálenost výztuže je 400 mm

$$\text{Navrženo: } \phi 14 \text{ mm, } \acute{a} \text{ } 400 \text{ mm, } A_s = 3,85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 > 3,818 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\text{Kari sít' } \phi 8 \text{ mm, } \acute{a} \text{ } 150 \text{ mm, } A_s = 3,35 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

## 6.8 Kotevní délka

*Návrhová kotevní délka*

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$

$$\alpha_1 = 1,0 \quad \text{přímý prut}$$

$$\alpha_2 = 1 - \frac{0,15 \cdot (c_d - \Phi)}{\Phi} = 1 - \frac{0,15 \cdot (25 - 14)}{14} = 0,88 > 0,7$$

<1,0 vyhovuje

$$\alpha_3 = 1,0$$

$$\alpha_4 = 1,0 \text{ (bez přivařeného příčného prutu)}$$

$$\alpha_5 = 1,0$$

*základní kotevní délka*

$$l_{b,rqd} = \frac{\Phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{14}{4} \cdot \frac{356,522}{2,7} = 462,2 \text{ mm}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 = 2,7 \text{ MPa}$$

$$\eta_1 = 1,0 \quad \text{protože } h = 250 \text{ mm} \rightarrow \text{dobré podmínky soudržnosti, nepoužívá se posuvné bednění}$$

$$\eta_2 = 1,0 \quad \text{pro } \Phi < 32 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 0,88 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 462,2 = 400 \text{ mm}$$

*minimální kotevní délka, pro kotvení v tlaku*

$$l_{b,min} = \max \{0,6 l_{b,rqd}; 10 \cdot \Phi; 100 \text{ mm}\} = 277,32 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 400 \text{ mm} \geq l_{b,min} = 277,32 \text{ mm} \quad \text{vyhovuje}$$



## 7. SMYKOVÁ VÝZTUŽ

### 7.1 Vnitřní sloup

#### 7.1.1 Ruční výpočet

$$V_{Ed} = 616,51 \text{ kN}$$

1. kontrolní obvod:

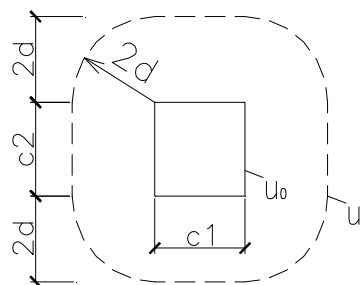
délka kontrolního obvodu

$$u_1 = 2 \cdot (c_1 + c_2) + \pi \cdot 4d = 2 \cdot (0,45 + 0,45) + \pi \cdot 4 \cdot 0,197 = 4,276 \text{ m}$$

$$\frac{c_1}{c_2} = 1 \quad k = 0,6$$

$$\beta = 1,15 \quad \text{vnitřní sloup}$$

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_{1 \cdot d}} = 1,15 \cdot \frac{616,51}{4,389 \cdot 0,197} = 819,985 \text{ kN/m}^2$$



Obrázek 4: Kontrolní obvod

smyková odolnost těsně kolem sloupu

délka styku sloupu s deskou

$$u_0 = 2(c_1 + c_2) = 2(0,45 + 0,45) = 1,8 \text{ m}$$

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \left(1 - \frac{25}{250}\right) = 0,54$$

$$v_{Ed,0} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_{0 \cdot d}} = 1,15 \cdot \frac{616,51 \cdot 10^{-3}}{1,8 \cdot 0,197} = \underline{1,999 \text{ MPa}}$$

$$v_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,54 \cdot 16,667 = 4,5 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,0} = 1,999 \text{ MPa} \leq v_{Rd,max} = 4,5 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$

posouzení 1. kontrolního obvodu

stupeň vyztužení

$$\rho_{lx} = \frac{A_{sx}}{d} = \frac{12,72 \cdot 10^{-4}}{0,188} = 6,766 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{ly} = \frac{A_{sy}}{d} = \frac{12,72 \cdot 10^{-4}}{0,206} = 6,175 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = \sqrt{6,766 \cdot 10^{-3} \cdot 6,175 \cdot 10^{-3}} = 6,46 \cdot 10^{-3}$$

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

$$\kappa = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{206}} = \underline{1,985} > 2 \quad \text{vyhovuje}$$

nevznikají normálové síly  $\delta_{cp} = 0$

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot \kappa (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_l \cdot \delta_{cp} = 0,12 \cdot 1,985 \cdot (100 \cdot 6,46 \cdot 10^{-3} \cdot 35)^{1/3} + 0 = 0,674 \text{ MPa}$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot \kappa^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,985^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0,489 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c} = 0,674 \text{ MPa} \geq (v_{min} + k_l \cdot \delta_{cp}) = 0,489 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$

$$v_{Ed} = 0,784 \text{ MPa} > v_{Rd,c} = 0,674 \quad \text{nutná smyková výztuž}$$

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25d = 250 + 0,25 \cdot 206 = 301,5 \text{ MPa} < f_{ywd} = 356,522 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$

$$s_r = 110 \text{ mm} \leq 0,75d = 0,75 \cdot 206 = 154,5 \text{ mm} \quad \text{vyhovuje}$$

odolnost se smykovou výztuží  $v_{Rd,cs} = 0,75v_{Rd,c} + 1,5 \frac{d}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{1}{u_1 \cdot d} \cdot \sin \alpha$

plocha 1 obvodu smyk. výztuže  $A_{sw} = \frac{(v_{Rd,cs} - 0,75v_{Rd,c}) \cdot s_r \cdot u_1}{1,5 \cdot f_{ywd,ef} \cdot \sin \alpha} =$   
 $= \frac{(0,784 - 0,75 \cdot 0,674) \cdot 0,11 \cdot 4,389}{1,5 \cdot 298,75 \cdot \sin 90} = 3,000 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

**NÁVRH  $\Phi 6$ ,  $A_{sw1} = 0,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$**

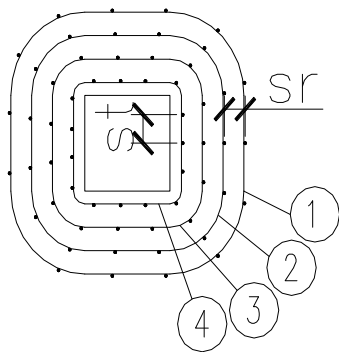
Počet třmíneků  $n = \frac{3,000}{0,28} = 11 \rightarrow \underline{15 \text{ třmíneků}}$

$s_t$  ... vzdálenost smykové výztuže v tangenciálním směru

$s_r$  ... vzdálenost smykové výztuže v radiálním směru

$$s_t = \frac{4c + \pi \cdot 2r}{n} = \frac{4 \cdot 0,45 + \pi \cdot 2 \cdot 0,412}{11} = 0,399 \text{ m} < 1,5d = 1,5 \cdot 0,206 = 0,309 \text{ m} \quad \text{nevyhovuje}$$

$$s_t = \frac{4c + \pi \cdot 2r}{n} = \frac{4 \cdot 0,45 + \pi \cdot 2 \cdot 0,412}{15} = 0,293 \text{ m} < 1,5d = 1,5 \cdot 0,206 = 0,309 \text{ m} \quad \text{vyhovuje}$$



Obrázek 5: Půdorysné schéma vzdáleností smykové výztuže

$$A_{s,min} = \frac{0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \cdot s_r \cdot s_t}{1,5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha} = \frac{0,08 \cdot \frac{\sqrt{35}}{410} \cdot 0,11 \cdot 0,293}{1,5 \cdot \sin 90 + \cos 90} = 0,248 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < 0,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad \text{vyhovuje}$$

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

$$= 0,75 \cdot 0,674 + 1,5 \cdot \frac{0,206}{0,11} \cdot 15 \cdot 0,28 \cdot 10^{-4} \cdot 298,75 \cdot \frac{1}{4,389 \cdot 0,206} \cdot \sin 90 = 0,796 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,cs} = 0,796 \text{ MPa} > v_{Ed,max} = 0,784 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$

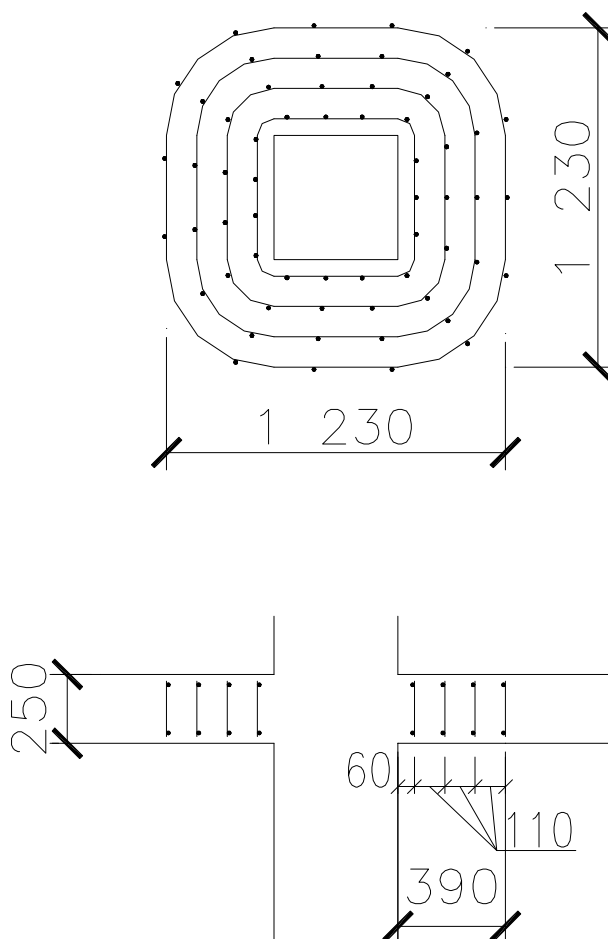
*kontrolní obvod, ve kterém smyková výztuž není nutná*

$$u_{out} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d} = \frac{1,15 \cdot 0,617}{0,674 \cdot 0,206} = 5,103 \text{ m}$$

$$u_{out} = 4c + 2\pi r \quad \rightarrow \quad r = \frac{u_{out} - 4c}{2\pi} = \frac{5,103 - 4 \cdot 0,45}{2\pi} = 0,526 \text{ m}$$

vzd. poslední výztuže a  $u_{out}$  je  $0,114 \text{ m} < 1,5d = 1,5 \cdot 0,206 = 0,309 \text{ m}$

$\rightarrow$  vyhovuje, není nutná další smyková výztuž



Obrázek 6: Smyková výztuž vnitřního sloupu – ruční výpočet

## 7.1.2 Výpočet v programu Schöck

### Účinky zatížení

Zatížení způsobující protlačení

$$V_{Ed} = 616 \text{ kN}$$

Součinitel excentricity zat. b (manuálně)

$$\beta = 1,15$$

### Rezonér - Vnitřní sloup Obdélníkový průřez

Šířka sloupu

$$a = 450 \text{ mm}$$

Tloušťka sloupu

$$b = 450 \text{ mm}$$

Tloušťka desky

$$h = 250 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu

$$d = 197 \text{ mm}$$

Krytí horní (spodní) výztuže

$$c_o; c_u = 35; 35 \text{ mm}$$

### Materiál

Beton

$$C25/30 \{f_{ck} = 25,0 \text{ N/mm}^2\}$$

Ocel

$$B500S \{f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2\}$$

Stupeň vyztužení

$$\rho = (A_s/A_c)^{1/2} = (0,65/0,65)^{1/2} = 0,65 \%$$

$$A_{s1} = 12,9 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ } (-\sigma 14/120 \text{ mm}); \quad A_{s2} = 12,9 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ } (-\sigma 18/156 \text{ mm})$$

Výztuž musí být zakotvena za vnějším kontrolovaným obvodem "1.k"

### Posouzení na protlačení dle Eurokódu 2 GER

Faktor k

$$k = \min\{1 + (200/d)^{1/2}, 2\} = 2,00$$

Vliv tloušťky desky

$$\eta = 1 + (d - 200)/1000 \{ \min 1,0; \max 1,6 \} = 1,00$$

Faktor  $C_{rel,c}$

$$C_{rel,c} = 0,18/v_c = 0,12$$

Únosnost betonu

$$v_{Rd,c} = C_{rel,c} \cdot k \cdot (\rho \cdot f_{ck})^{1/2} \cdot d = 119,9 \text{ kN/m}$$

Okraj sloupu  $u_0$

Délka kontrolovaného obvodu

$$u_0 = 1,800 \text{ m}$$

Účinky zatížení na okraji sloupu

$$v_{Ed,0} = \beta \cdot V_{Ed}/u_0 = 393,8 \text{ kN/m}$$

Maximální únosnost

$$v_{Rd,max} = 13,5 \cdot (d/u_0)^{1/2} \cdot v_{Rd,c} = 535,5 \text{ kN/m}$$

$$v_{Ed,0} = 393,8 \text{ kN/m} \leq v_{Rd,max} = 535,5 \text{ kN/m}$$

Kritický obvod  $u_{crit}$

Délka kontrolovaného obvodu

$$u_{crit,2,kl} = 4,276 \text{ m}$$

Působící posouvající síla

$$v_{Ed} = \beta \cdot V_{Ed}/u_{crit} = 185,7 \text{ kN/m}$$

$$v_{Rd,c} = 119,9 \text{ kN/m} \leq v_{Ed} = 185,7 \text{ kN/m}$$

Výztuž proti protlačení je nutná, zvoleno:

## 12x Schöck BOLE 10-180-4/197-35(65/3x130)

$$\beta \cdot V_{Ed} = 708 \text{ kN} < V_{Rd,0} = m_c \cdot \eta_c \cdot A_{s1} \cdot f_{yk} / \eta = 820 \text{ kN}$$

Skláňající délka lišty

$$\text{vorh } l_s = 455 \text{ mm}$$

Vnější kontrolovaný obvod  $u_a$

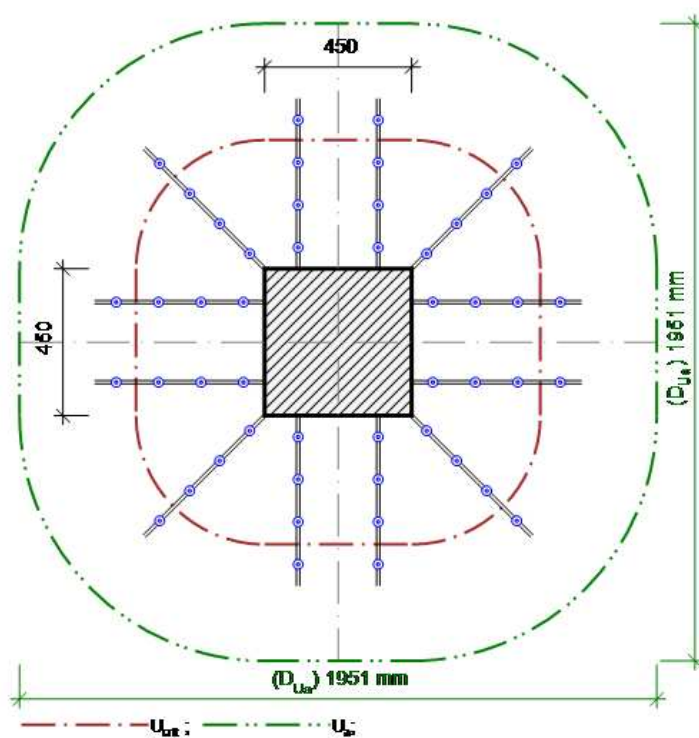
Délka kontrolovaného obvodu

$$u_a (\text{vorh } l_s + 1,5d) = 6,616 \text{ m}$$

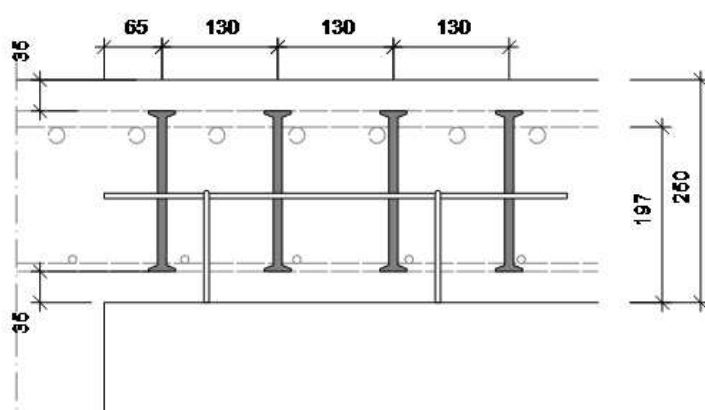
Působící posouvající síla

$$v_{Ed,a} = \beta \cdot V_{Ed}/u_a = 108,7 \text{ kN/m}$$

$$v_{Ed,a} = 108,7 \text{ kN/m} \leq v_{Rd,c} = 119,9 \text{ kN/m}$$



**12x Schöck BOLE 10-180-4/197-35(65/3x130)**



Obrázek 7: Smyková výztuž vnitřního sloupu - program Schöck

### 7.1.3 Porovnání ručního výpočtu, a výpočtu v programu Schöck

#### RUČNÍ VÝPOČET

$$\beta = 1,15$$

$$\rho = 6,46 \cdot 10^{-3} \cdot 100 = 0,65\%$$

$$\kappa = 1,985$$

$$C_{Rd,c} = 0,12$$

$$V_{Rd,c} = 674 \text{ kN/m}$$

$$u_0 = 1,8 \text{ m}$$

$$V_{Ed,0} = 1999 \text{ kN/m}$$

$$V_{Rd,max} = 4500 \text{ kN/m}$$

$$u_1 = 4,276 \text{ m}$$

$$V_{Ed} = 784 \text{ kN/m} > V_{Rd,c} = 674 \text{ kN/m}$$

Nutná smyková výztuž, zvoleno:

$$\mathbf{15 \times \phi 6 - 293 \text{ mm}}$$

$$u_a = u_1 = 4,276 \text{ m}$$

$$V_{Rd,cs} = 796 \text{ kN/m} > V_{Ed} = 784 \text{ kN/m}$$

#### PROGRAM SCHÖCK

$$\beta = 1,15$$

$$\rho = 0,65\%$$

$$\kappa = 2$$

$$C_{Rd,c} = 0,12$$

$$V_{Rd,c} = 119,9 \text{ kN/m}$$

$$u_0 = 1,8 \text{ m}$$

$$V_{Ed,0} = 393,6 \text{ kN/m}$$

$$V_{Rd,max} = 535,5 \text{ kN/m}$$

$$u_1 = 4,276 \text{ m}$$

$$V_{Ed} = 165,7 \text{ kN/m} > V_{Rd,c} = 119,9 \text{ kN/m}$$

Nutná smyková výztuž, zvoleno:

$$\mathbf{12 \times \phi 10 - 180 \text{ mm}}$$

$$u_a = 6,516 \text{ m}$$

$$V_{Ed,a} = 108,7 \text{ kN/m} < V_{Rd,c} = 119,9 \text{ kN/m}$$

Posouvající síly v ručním výpočtu jsou oproti výpočtu v programu dělené účinnou výškou průřezu  $d = 0,197 \text{ m}$ .

$$V_{Rd,c}: \frac{674 \cdot 0,197}{119,9} = 1,11 \quad \text{rozdíl 11\%}$$

$$V_{Ed,0}: \frac{1999 \cdot 0,197}{393,6} = 1,00 \quad \text{podouvající síly jsou stejné}$$

$$V_{Rd,max}: \frac{4500 \cdot 0,197}{535,5} = 1,655 \quad \text{jiný přístup výpočetních metod}$$

$$V_{Ed}: \frac{784 \cdot 0,197}{165,7} = 0,93 \quad \text{rozdíl 7\%}$$

$$u_a: \frac{4,276}{6,516} = 0,66 \quad \text{rozdíl 34\%}$$

$$A_s: \frac{15 \cdot \pi \cdot \frac{6^2}{4} \cdot 293}{12 \cdot \pi \cdot \frac{10^2}{4} \cdot 180} = \frac{124265,7}{169646} = 0,73 \quad \text{rozdíl 27\%}$$

Posouzení navržené výztuže je v obou metodách výpočtu na jiném principu. Ruční výpočet stanovuje minimální únosnost zvolené smykové výztuže, kdežto výpočetní program počítá s maximální působící smykovou silou. Proto nelze porovnávat.

Vyztužení má rozdíl 27%, což je dáno zvolením rozdílné délky kontrolního obvodu  $u_a$ . S ohledem na rozdílný přístup obou výpočtových metod vyšli velice podobné výsledky. Obě metody jsou přípustné.

## 7.2 Krajní sloup

$$V_{Ed} = 627,8 \text{ kN}$$

1. kontrolní obvod:

$$u_1 = 2 \cdot (c_1 + c_2) + \pi \cdot 4d = 2 \cdot (0,45 + 0,45) + \pi \cdot 4 \cdot 0,2 = 4,3 \text{ m}$$

$$\text{ulomení rovně k okraji: } u = 3 \cdot 0,45 + \pi \cdot 2d + 0,975 \cdot 2 = 4,525 \text{ m} > \underline{u_1 = 4,3 \text{ m}}$$

$$\frac{c_1}{c_2} = 1 \dots\dots\dots k = 0,6$$

$$\beta = 1,4 \quad \text{krajní sloup}$$

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_{1,d}} = 1,4 \cdot \frac{627,8}{4,3 \cdot 0,2} = 1022,0 \text{ kN/m}^2$$

*smyková odolnost těsně kolem sloupu*

$$u_0 = 2(c_1 + c_2) = 2(0,45 + 0,45) = 1,8 \text{ m}$$

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \left(1 - \frac{25}{250}\right) = 0,54$$

$$v_{Ed,0} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_{0,d}} = 1,4 \cdot \frac{627,8 \cdot 10^{-3}}{1,8 \cdot 0,2} = \underline{2,441 \text{ MPa}}$$

$$v_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,54 \cdot 16,667 = 4,5 \text{ MPa}$$

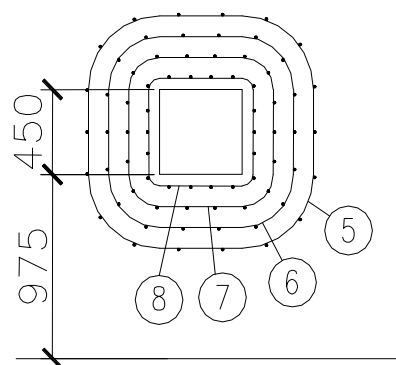
$$v_{Ed,0} = 2,441 \text{ MPa} \leq v_{Rd,max} = 4,5 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$

*posouzení 1. Kontrolního obvodu*

$$\rho_{lx} = \frac{A_{sx}}{d} = \frac{12,72 \cdot 10^{-4}}{0,19} = 6,695 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{ly} = \frac{A_{sy}}{d} = \frac{25,45 \cdot 10^{-4}}{0,21} = 12,114 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = \sqrt{6,695 \cdot 10^{-3} \cdot 12,114 \cdot 10^{-3}} = 9,006 \cdot 10^{-3}$$



Obrázek 8: Umístění krajního sloupu

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

$$\kappa = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{200}} = 2 \geq 2 \quad \text{vyhovuje}$$

nevznikají normálové síly  $\delta_{cp} = 0$

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot \kappa (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \delta_{cp} = 0,12 \cdot 2 (100 \cdot 9,006 \cdot 10^{-3} \cdot 35)^{1/3} + 0 = 0,758$$

$$v_{Rd,c} = 0,758 \geq (v_{min} + k_1 \cdot \delta_{cp}) = 0,495 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot \kappa^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 2^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0,495 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed} = 1,022 \text{ MPa} > v_{Rd,c} = 0,758 \quad \text{nutná smyková výztuž}$$

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25d = 250 + 0,25 \cdot 200 = 300 \text{ MPa} < f_{ywd} = 356,522 \text{ MPa} \text{ vyhovuje}$$

$$s_r = 110 \text{ mm} \leq 0,75d = 0,75 \cdot 200 = 150 \text{ mm} \quad \text{vyhovuje}$$

$$\text{odolnost se smykovou výztuží} \quad v_{Rd,cs} = 0,75v_{Rd,c} + 1,5 \frac{d}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{1}{u_1 \cdot d} \cdot \sin \alpha$$

$$\begin{aligned} \text{plocha 1 obvodu smyk. výztuže} \quad A_{sw} &= \frac{(v_{Ed,max} - 0,75v_{Rd,c}) \cdot s_r \cdot u_1}{1,5 \cdot f_{ywd,ef} \cdot \sin \alpha} = \\ &= \frac{(1,022 - 0,75 \cdot 0,758) \cdot 0,11 \cdot 4,3}{1,5 \cdot 298,75 \cdot \sin 90} = 4,787 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Návrh } \Phi 6, A_{sw1} = 0,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Počet třmíneků } n = \frac{4,787}{0,28} = \underline{18 \text{ třmíneků}}$$

$$s_t = \frac{4c + \pi \cdot 2r}{n} = \frac{4 \cdot 0,45 + \pi \cdot 2 \cdot 0,4}{18} = 0,24 \text{ m} < 1,5d = 1,5 \cdot 0,2 = 0,3 \text{ m} \quad \text{vyhovuje}$$

$$A_{s,min} = \frac{0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \cdot s_r \cdot s_t}{1,5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha} = \frac{0,08 \cdot \frac{\sqrt{35}}{410} \cdot 0,11 \cdot 0,24}{1,5 \cdot \sin 90 + \cos 90} = 0,203 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < 0,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ vyhovuje}$$

$$\begin{aligned} v_{Rd,cs} &= 0,75v_{Rd,c} + 1,5 \frac{d}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{1}{u_1 \cdot d} \cdot \sin \alpha = 0,75 \cdot 0,758 + 1,5 \cdot \frac{0,2}{0,11} \cdot 18 \cdot 0,28 \cdot 10^{-4} \\ &\quad \cdot 298,75 \cdot \frac{1}{4,3 \cdot 0,2} \cdot \sin 90 = 1,046 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$v_{Rd,cs} = 1,046 \text{ MPa} > v_{Ed,max} = 1,022 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$

*kontrolní obvod, ve kterém smyková výztuž není nutná*

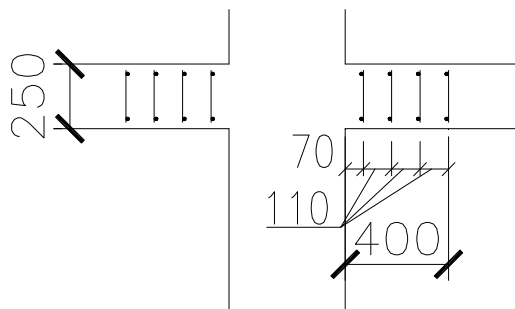
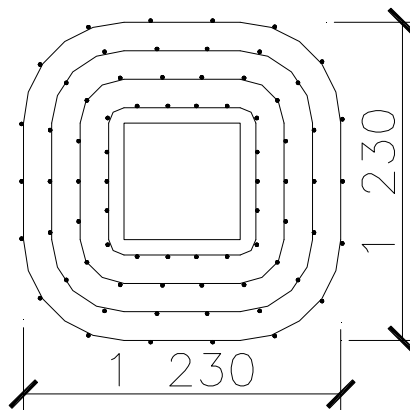
$$u_{out} = \frac{\beta \cdot v_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d} = \frac{1,4 \cdot 0,628}{0,758 \cdot 0,2} = 5,799 \text{ m}$$

$$u_{out} = 4c + 2\pi r \quad \rightarrow \quad r = \frac{u_{out} - 4c}{2\pi} = \frac{5,799 - 4 \cdot 0,45}{2\pi} = 0,637 \text{ m}$$

$$\text{vzd. poslední výztuže a } u_{out} \text{ je } 0,237 \text{ m} < 1,5d = 1,5 \cdot 0,2 = 0,3 \text{ m}$$

$$\rightarrow \quad \text{vyhovuje, není nutná další smyková výztuž}$$





Obrázek 9: smyková výztuž krajního sloupu

### 7.3 Rohový sloup

$$V_{Ed} = 333,4 \text{ kN}$$

1. kontrolní obvod:

$$r = 0,45 \text{ m}$$

$$u_1 = 2 \cdot (c_1 + c_2) + 2\pi r = 2 \cdot (0,45 + 0,45) + 2 \cdot \pi \cdot 0,45 = 4,627 \text{ m}$$

ulomení rovněž k okraji:

$$u_1 = \frac{1}{2} \pi \cdot r + (0,45 + 0,975) \cdot 2 = 3,557 \text{ m} < u_1 = 4,627 \text{ m}$$

$$\frac{c_1}{c_2} = 1 \dots\dots\dots k = 0,6$$

$$\beta = 1,5 \quad \text{rohový sloup}$$

$$V_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_1 \cdot d} = 1,5 \cdot \frac{333,4}{3,557 \cdot 0,2} = 703,008 \text{ kN/m}^2$$

*smyková odolnost těsně kolem sloupu*

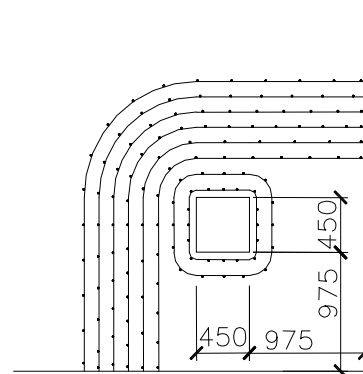
$$u_0 = 2(c_1 + c_2) = 2(0,45 + 0,45) = 1,8 \text{ m}$$

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \left(1 - \frac{25}{250}\right) = 0,54$$

$$V_{Ed,0} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_0 \cdot d} = 1,5 \cdot \frac{333,4 \cdot 10^{-3}}{1,8 \cdot 0,2} = \underline{1,389 \text{ MPa}}$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,54 \cdot 16,667 = 4,5 \text{ MPa}$$

$$V_{Ed,0} = 1,389 \text{ MPa} \leq V_{Rd,max} = 4,5 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$



Obrázek 10: Umístění rohového sloupu

*posouzení 1. Kontrolního obvodu*

$$\rho_{lx} = \frac{A_{sx}}{d} = \frac{7,7 \cdot 10^{-4}}{0,19} = 4,05 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{ly} = \frac{A_{sy}}{d} = \frac{7,14 \cdot 10^{-4}}{0,21} = 3,4 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = \sqrt{4,05 \cdot 10^{-3} \cdot 3,4 \cdot 10^{-3}} = 3,71 \cdot 10^{-3}$$

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

$$\kappa = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{200}} = 2 \geq 2 \quad \text{vyhovuje}$$

nevznikají normálové síly  $\delta_{cp} = 0$

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot \kappa (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \delta_{cp} = 0,12 \cdot 2 (100 \cdot 3,71 \cdot 10^{-3} \cdot 35)^{1/3} + 0 = 0,564$$

$$V_{Rd,c} = 0,564 \geq (v_{min} + k_1 \cdot \delta_{cp}) = 0,495 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot \kappa^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 2^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0,495 \text{ MPa}$$

$$V_{Ed} = 0,703 \text{ MPa} > V_{Rd,c} = 0,564 \quad \text{nutná smyková výztuž}$$

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25d = 250 + 0,25 \cdot 200 = 300 \text{ MPa} < f_{ywd} = 356,522 \text{ MPa} \text{ vyhovuje}$$

$$s_r = 130 \text{ mm} \leq 0,75d = 0,75 \cdot 200 = 150 \text{ mm} \quad \text{vyhovuje}$$

odolnost se smykovou výztuží

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

plocha 1 obvodu smyk. výztuže

$$A_{sw} = \frac{(V_{Rd,cs} - 0,75 V_{Rd,c}) \cdot s_r \cdot u_1}{1,5 \cdot f_{ywd,ef} \cdot \sin \alpha} =$$

$$= \frac{(0,703 - 0,75 \cdot 0,564) \cdot 0,13 \cdot 3,557}{1,5 \cdot 298,75 \cdot \sin 90} = 2,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Návrh } \Phi 7, A_{sw1} = 0,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Počet třmínků } n = \frac{2,9}{0,38} = 8$$

$$n = \frac{u_1}{1,5d} = \frac{3,557}{0,3} = \underline{12 \text{ třmínků}}$$

$$s_t = \frac{u_1}{n} = \frac{3,557}{12} = \underline{0,296 \text{ m}} < 0,3 \text{ m} \quad \text{vyhovuje}$$

$$A_{s,min} = \frac{0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \cdot s_r \cdot s_t}{1,5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha} = \frac{0,08 \cdot \frac{\sqrt{35}}{410} \cdot 0,13 \cdot 0,296}{1,5 \cdot \sin 90 + \cos 90} = 0,296 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < 0,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad \text{vyhovuje}$$

$$v_{Rd,cs} = 0,75 v_{Rd,c} + 1,5 \frac{d}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{1}{u_1 \cdot d} \cdot \sin \alpha = 0,75 \cdot 0,564 + 1,5 \cdot \frac{0,2}{0,13} \cdot 12 \cdot 0,38 \cdot 10^{-4} \cdot 298,75 \cdot \frac{1}{3,557 \cdot 0,2} \cdot \sin 90 = 0,865 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,cs} = 0,865 \text{ MPa} > v_{Ed,max} = 0,703 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$

*kontrolní obvod, ve kterém smyková výztuž není nutná*

$$u_{out} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d} = \frac{1,5 \cdot 0,3334}{0,564 \cdot 0,2} = 4,434 \text{ m}$$

$$u_{out} = \frac{1}{2} \pi \cdot r + (c + 0,975) \cdot 2$$

$$\rightarrow r_{out} = \frac{(u_{out} - (c + 0,975) \cdot 2) \cdot 2}{\pi} = \frac{(4,434 - (0,45 + 0,975) \cdot 2) \cdot 2}{\pi} = 1,008 \text{ m}$$

vzd. poslední výztuže a  $u_{out}$  je  $0,558 \text{ m} > 1,5d = 1,5 \cdot 0,2 = 0,3 \text{ m}$

$\rightarrow$  nutná další smyková výztuž

*posouzení 2. kontrolního obvodu*

$$1 \leq \cot \theta \leq 2,5$$

$$r \leq 0,45 + 2,5d = 0,45 + 2,5 \cdot 0,2 = 0,95 \text{ m}$$

$$r_{out} - r = 1,008 - 0,95 = \underline{0,058} < 1,5d = 1,5 \cdot 0,2 = \underline{0,3 \text{ m}}$$

*vyhovuje*

$$\text{ulomení rovněž k okraji: } u_2 = \frac{1}{2} \pi \cdot r + (0,45 + 0,975) \cdot 2 = \underline{4,342 \text{ m}}$$

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_2 \cdot d} = 1,5 \cdot \frac{333,4}{4,342 \cdot 0,2} = 575,853 \text{ kN/m}^2$$

$$s_r = 125 \text{ mm} \leq 0,75d = 0,75 \cdot 200 = 150 \text{ mm} \quad \text{vyhovuje}$$

plocha 1 obvodu smyk. výztuže

$$A_{sw} = \frac{(v_{Ed} - 0,75v_{Rd,c}) \cdot s_r \cdot u_2 \cdot d}{1,5d \cdot f_{ywd,ef} \cdot \sin \alpha} =$$

$$= \frac{(0,575 - 0,75 \cdot 0,564) \cdot 0,125 \cdot 4,342}{1,5 \cdot 298,75 \cdot \sin 90} = 1,841 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

**Návrh  $\Phi 7$ ,  $A_{sw1} = 0,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$**

Počet třmínků  $n = \frac{1,841}{0,38} = 5$

$s_{t,max} = 1,5d = 1,5 \cdot 0,2 = 0,3 \text{ m}$

$n = \frac{u_2}{1,5d} = \frac{4,342}{0,3} = \underline{15 \text{ třmínků}}$

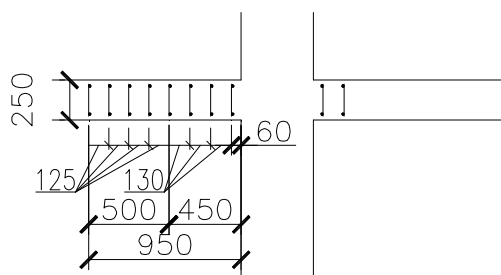
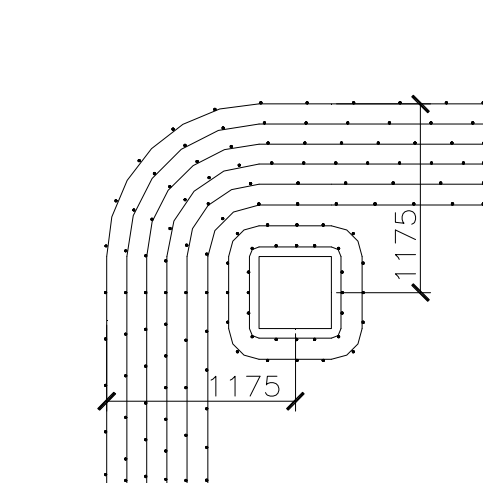
$s_t = \frac{u_2}{n} = \frac{4,342}{15} = \underline{0,289 \text{ m} < 0,3 \text{ m}} \quad \text{vyhovuje}$

$A_{s,min} = \frac{0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \cdot s_r \cdot s_t}{1,5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha} = \frac{0,08 \cdot \frac{\sqrt{35}}{410} \cdot 0,125 \cdot 0,289}{1,5 \cdot \sin 90 + \cos 90} = 0,278 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < 0,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad \text{vyhovuje}$

$v_{Rd,cs} = 0,75v_{Rd,c} + 1,5 \frac{d}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{1}{u_2 \cdot d} \cdot \sin \alpha =$

$0,75 \cdot 0,564 + 1,5 \cdot \frac{0,2}{0,125} \cdot 15 \cdot 0,38 \cdot 10^{-4} \cdot 298,75 \cdot \frac{1}{4,342 \cdot 0,2} \cdot \sin 90 = 0,894 \text{ MPa}$

$v_{Rd,cs} = 0,894 \text{ MPa} > v_{Ed,max} = 0,576 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$



Obrázek 11: Smyková výztuž rohového sloupu

## 8. ŘETĚZOVÉ ZŘÍCENÍ

### 8.1 Návrh a posouzení

$$F_{\max} = \max \{2 \cdot \Sigma g_d; \Sigma q_d\} = \max \{2 \cdot 12,15; 4,5\} = 24,3 \text{ kN/m}^2$$

$$N_{sx} = N_{sy} = \frac{F \cdot l_y \cdot l_{nx}}{2,5} = \frac{24,3 \cdot 6 \cdot 6}{2,5} = 349,92 \text{ kN}$$

$$A_{sx} = A_{sy} = \frac{N_s}{f_{yd}} = \frac{349,92}{356,522 \cdot 10^3} = 9,815 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Volím } 4\Phi 18, A_s = 10,18 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \geq A_{sx} = A_{sy} = 9,815 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

### 8.2 Kotevní délka

*Návrhová kotevní délka*

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$

$$\alpha_1 = 1,0 \quad \text{přímý prut}$$

$$\alpha_2 = 1 - \frac{0,15 \cdot (c_d - \Phi)}{\Phi} = 1 - \frac{0,15 \cdot (35 - 18)}{18} = 0,859 < 0,7$$

> 1,0 vyhovuje

$$\alpha_3 = 1 - K \cdot \lambda = 1 - 0,05 \cdot 0,75 = 0,963$$

$$\lambda = \frac{\Sigma A_{st} - \Sigma A_{st,min}}{A_s} = \frac{10,18 - 2,545}{10,18} = 0,75$$

$$\alpha_4 = 1,0 \quad (\text{bez přivařeného příčného prutu})$$

$$\alpha_5 = 1,0$$

$$\alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 = 0,859 \cdot 0,963 \cdot 1 = 0,827 > 0,7 \quad \text{vyhovuje}$$

*základní kotevní délka*

$$l_{b,rqd} = \frac{\Phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{18}{4} \cdot \frac{356,522}{2,7} = 594,203 \text{ mm}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 = 2,7 \text{ MPa}$$

$$\eta_1 = 1,0 \quad \text{protože } h = 250 \text{ mm} \rightarrow \text{dobré podmínky soudržnosti, nepoužívá se posuvné bednění}$$

$$\eta_2 = 1,0 \quad \text{pro } \Phi < 32 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 0,859 \cdot 0,963 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 594,203 = 500 \text{ mm}$$

*minimální kotevní délka, pro kotvení v tlaku (výztuž je tahová, ale místy může být i při tlačeném okraji, proto počítám s bezpečnější variantou - tlak)*

$$l_{b,min} = \max \{0,6 l_{b,rqd}; 10 \cdot \Phi; 100 \text{ mm}\} = 356,5 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 500 \text{ mm} \geq l_{b,min} = 356,5 \text{ mm} \quad \text{vyhovuje}$$