



evropský
sociální
fond v ČR



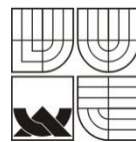
EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

CZ.1.07/2.2.00/15.0426 ·

Posílení kvality bakalářského studijního programu
Stavební Inženýrství

Betonové konstrukce II - BL09

Studijní podklady

Obsah

1	Úvod	3
1.1	Řešené konstrukce.....	3
1.2	Popis řešené konstrukce.....	3
1.3	Popis výpočetních metod	3
1.4	Použité materiály.....	4
2	Statický výpočet stropní desky pomocí metody součtových momentů.....	5
2.1	Výpočet zatížení.....	5
2.1.1	Geometrie.....	5
2.1.2	Návrh tloušťky desky	5
2.1.3	Stálé zatížení.....	6
2.1.4	Celkové plošné zatížení.....	8
2.2	Předběžný návrh rozměru sloupu	8
2.3	Metoda součtových momentů	9
2.3.1	Vliv nahodilého zatížení na velikost momentů v poli	10
2.3.2	Šířky sloupových a mezisloupových pruhů	10
2.3.3	Celkové součtové momenty ve směru X	11
2.3.4	Celkové součtové momenty ve směru Y.....	12
2.3.5	Poměrné části momentů připadajících na sloupový pruh.....	14
2.3.6	Přehled momentů.....	16
2.4	Dimenzování výztuže	16
2.5	Protlačení – vnitřní sloup.....	20
2.5.1	Kombinace	20
2.5.2	Základní kontrolovaný obvod u_1	21
2.6	Protlačení – krajní sloup	28
2.6.1	$\max V_{Ed}$	28
2.6.2	Základní kontrolovaný obvod u_1	29
2.6.3	Kontrolní obvod u_2	32
2.6.4	Kontrolní obvod ve kterém výztuž není nutná	32
2.6.5	Stupeň vyztužení.....	32
2.7	Protlačení – rohový sloup.....	33
2.7.1	$\max V_{Ed}$	33
2.7.2	Základní kontrolovaný obvod u_1	33
2.7.3	Kontrolní obvod u_2	36
2.7.4	Kontrolní obvod, ve kterém výztuž není nutná	36
2.7.5	Stupeň vyztužení:.....	36
3	Statický výpočet stropní desky pomocí výpočetního programu	36
3.1	Použitá literatura	37

1 Úvod

Předmětem je řešení části nosné konstrukce skladu objektu.

Jedná se o budovu se čtyřmi nadzemními a jedním podzemním podlažím. Nosnou konstrukci budovy tvoří železobetonová lokálně podepřená stropní deska se třemi poli ve směru X a s šesti poli ve směru Y. Lokální podpory jsou tvořeny sloupy s čtvercovým půdorysem s rozměry 0,45 x 0,45m. Tuhost celé konstrukce zajišťuje ztužující jádro a ztužující stěny. Stropní deska se chová jako deska lokálně podepřená.

1.1 Řešené konstrukce

- Stropní deska nad 1 NP

1.2 Popis řešené konstrukce

Jedná se o stropní desku nad 1 NP. Je řešena jako deska spojitá vyztužená v obou směrech (křížem vyztužená). Deska je podepřena lokálně s výjimkou jednoho okraje desky, kde je podepření liniové (ztužující stěna) a dále liniová podpora v místě výtahové šachty. U desky je řešen otvor výtahové šachty. Půdorysný rozměr desky 18,5 x 43,5 m. Tloušťka desky byla předběžně navržena s ohledem na mezní stav použitelnosti $h=260$ mm (návrh tloušťky dle ČSN 73 1204 z roku 1986, v současnosti již neplatná).

1.3 Popis výpočetních metod

Metoda součtových momentů (dle ČSN 73 1201 z roku 2010) – zjednodušená metoda využívající poznatků o statickém působení lokálně podepřených desek. Spočívá v rozdělení desky do sloupových a mezisloupových pruhů. Její použití je vázáno na splnění následujících omezujících podmínek (viz [1], kap. 8.6):

- 1) Desková konstrukce je v celém svém rozsahu železobetonová, pouze s event. ocelovými nebo předpjatými hlavicemi;
- 2) v obou hlavních směrech jsou alespoň 3 desková pole;
- 3) obdélníková pole mají poměr delších strany ke kratší menší než 2,0;
- 4) rozpětí deskových polí v hlavním směru se neliší o více než $1/3$ rozpětí kratšího pole;
- 5) sloupy nejsou odchýleny od osového systému o více než 10% vzdálenosti os kolmých na směr vychýlení;
- 6) konstrukce bude zatížena pouze svislým zatížením rovnoměrně rozděleným po celém deskovém poli, přičemž charakteristická hodnota nahodilého zatížení nebude větší než dvojnásobek charakteristického stálého zatížení;
- 7) silové účinky zatížení stanovené metodou součtových momentů, nelze dále upravovat (např. se zřetelem k redistribuci momentů);
- 8) konstrukce se vyšetřuje ve dvou vzájemně se kolmo křížujících směrech sloupových řad.

Metoda konečných prvků (výp. program SCIA Engineering) – numerická metoda sloužící k simulaci napětí a deformací na vytvořeném modelu, který může mít prakticky libovolný tvar, uložení a zatížení desky. Princip spočívá v rozdělení kontinua do konečného počtu prvků, přičemž zjišťované parametry jsou určovány v jednotlivých uzlových bodech.

Postup provedení modelu v programu SCIA Engineering je uveden [5].

1.4 Použité materiály

Beton:

Použitý beton je třídy: C 25/30

Materiálové charakteristiky:

Tab. 1 Materiálové charakteristiky betonu

	charakteristická hodnota	materiálový součinitel	návrhová hodnota	E_{cm} [GPa]
pevnost v tlaku	$f_{ck} = 25$ [MPa]	$\gamma_c = 1,5$	$f_{cd} = 16,67$ [MPa]	31
pevnost v tahu	$f_{ctm} = 2,6$ [MPa]			

— $\varepsilon_{cu3} = 3,5\text{‰}$

Ocel:

Použitá třída oceli: B500B.

Tab. 2 Materiálové charakteristiky oceli

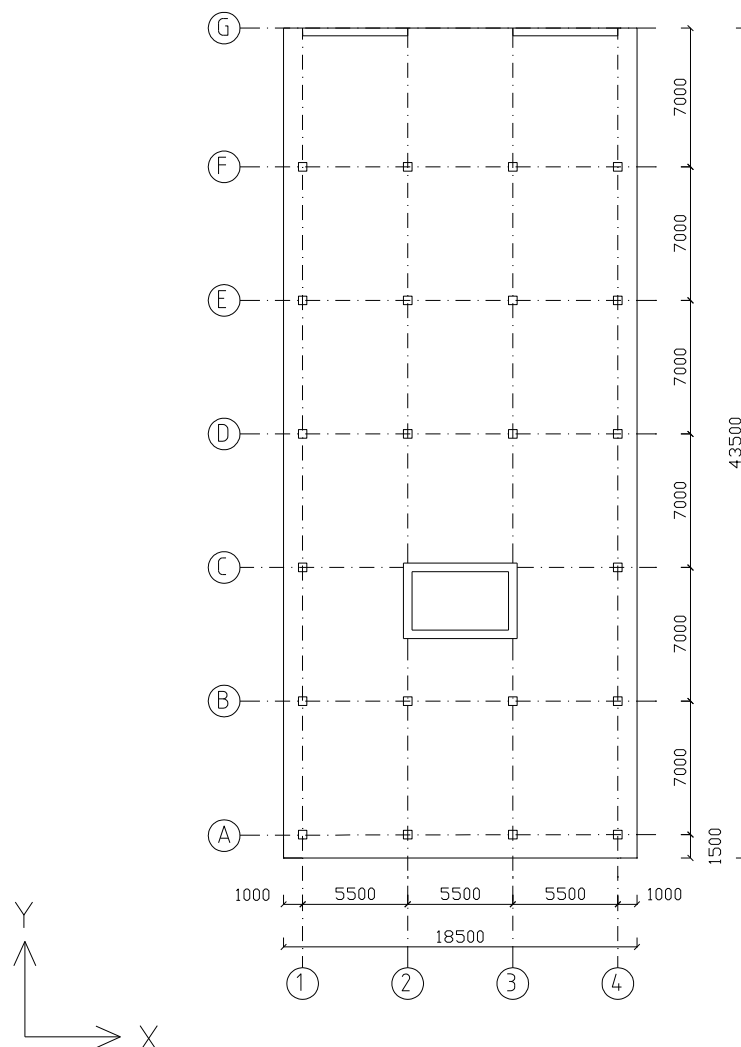
	charakteristická hodnota	materiálový součinitel	návrhová hodnota	E_s [GPa]
pevnost v tahu a tlaku	$f_{yk} = 500$ [MPa]	$\gamma_c = 1,15$	$f_{yd} = 434,78$ [MPa]	200

— $\varepsilon_{yd} = 2,17\text{‰}$

2 Statický výpočet stropní desky pomocí metody součtových momentů

2.1 Výpočet zatížení

2.1.1 Geometrie



Obr. 1 Přodový schéma konstrukce

2.1.2 Návrh tloušťky desky

Návrh tloušťky desky h_s byl proveden dle vztahu č. 3 v kap. 3.2.1 v [2].

$$h_{s,lim} = l_{n,max} \cdot \frac{800+0,7 \cdot f_{yk}}{36+5 \cdot \varepsilon \cdot \eta} \quad (\text{výsledek v [mm]})$$

$l_{n,max}$ - světlá délka maximálního rozpětí [m]

f_{yk} – mez kluzu oceli v [MPa]

ε – poměr delšího rozpětí ke kratšímu [-]

η – součinitel podle vztahu:

$$\eta = \alpha_m - 0,5 \cdot (1 - \kappa) \cdot \left(1 + \frac{1}{\varepsilon}\right) \dots \dots [-] \dots \dots \langle 0; 1 + \kappa \rangle$$

$$\eta = \alpha_m - 0,5 \cdot (1 - \kappa) \cdot \left(1 + \frac{1}{2}\right)$$

$$\eta = 0 - 0,5 \cdot (1 - 0,5) \cdot \left(1 + \frac{1}{1,273}\right) < 0 \rightarrow \eta = 0$$

α_m – průměrný součinitel ztužení ze všech čtyř stran deskového pole....uvažujeme $\alpha_m = 0$.

κ – poměr součtu délek stran obdélníkového deskového pole, ve kterých je deska spojitá, k celkovému obvodu pole.

$$\kappa = \frac{7 + 5,5}{2 \cdot (7 + 5,5)} = 0,5$$

$$h_{s,lim} = l_{n,max} \cdot \frac{800 + 0,7 \cdot f_{yk}}{36 + 5 \cdot \varepsilon \cdot \eta}$$

$$h_{s,lim} = 6,6 \cdot \frac{800 + 0,7 \cdot 500}{36 + 5 \cdot 1,273 \cdot 0} = 211 \text{ mm}$$

$$h_s \geq 1,21 \cdot h_{s,lim}$$

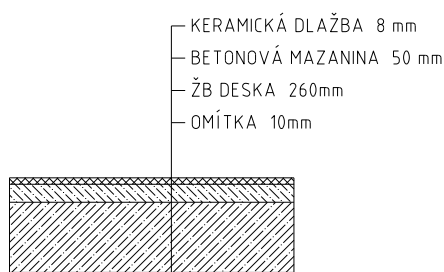
$$h_s \geq 1,21 \cdot 211 = 255,3 \text{ mm}$$

$$h_s = 260 \text{ mm}$$

(dle [2] při splnění výše uvedeného nebylo dále MS použitelnosti nutno prokazovat, s ohledem ukončení platnosti této normy použijeme $h_{s,lim}$ pouze jako nástroj pro předběžné určení tl. desky, MS použitelnosti je nutno prokázat !!!).

2.1.3 Stálé zatížení

2.1.3.1 Stálé zatížení plošné



Obr. 2 Skladba podlahy

Tab. 3 Stálé plošné zatížení

název vrstvy	tloušťka [m]	objemová hmotnost [kN/m ³]	G _k [kN/m ²]
keramická dlažba	0,008	22	0,176
beton. mazanina	0,05	23	1,15
vl. tíha žb. desky	0,26	25	6,5
omítka	0,01	21	0,21
Σ			8,036 [kN/m ²]

2.1.3.2 Stálé zatížení liniové – obvodový plášť

Obvodový plášť je zděný z tvárnic YTONG P2-400

Rozměry [mm]: 300x249x599

Objemová hmotnost s omítkou 6,0 kN/m³

Ve směru x:

$$P_{ok} = 6,0 \cdot 0,3 \cdot l_y \cdot (H - h_s)$$

$$P_{ok} = 6,0 \cdot 0,3 \cdot 7 \cdot (3,6 - 0,26) = 42,084 \text{ kN}$$

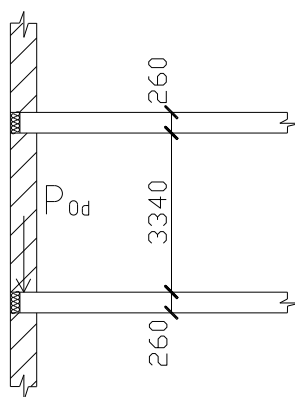
$$P_{od} = 42,084 \cdot 1,35 = 56,82 \text{ kN}$$

Ve směru y:

$$P_{ok} = 6,0 \cdot 0,3 \cdot l_x \cdot (H - h_s)$$

$$P_{ok} = 6,0 \cdot 0,3 \cdot 5,5 \cdot (3,6 - 0,26) = 33,066 \text{ kN}$$

$$P_{od} = 33,066 \cdot 1,35 = 44,64 \text{ kN}$$



Obr. 3 Zatížení od obvodového pláště

2.1.3.3 Proměnné zatížení

2.1.3.4 Proměnné zatížení užité

užité : $q_{k,1} = 2,0 \text{ kN/m}^2$

2.1.3.5 Proměnné zatížení od příček

Od příček : $q_{k,2} = 1,5 \text{ kN/m}^2$

2.1.4 Celkové plošné zatížení

Podle rovnic 6.10 (viz kap. 6.4.3.2 v [3])

$$6.10 \text{ a) } f_d = \sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$F_d = 1,35 \cdot 8,036 + \gamma_P \cdot 0 + 1,5 \cdot 1,0 \cdot 2 + 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,5$$

$$f_d = 16,10 \text{ kN/m}^2$$

$$6.10 \text{ b) } f_d = \sum \xi \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$f_d = 0,85 \cdot 1,35 \cdot 8,036 + \gamma_P \cdot 0 + 1,5 \cdot 2 + 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,5$$

$$f_d = 14,47 \text{ kN/m}^2$$

$$f_d = \max\{6.10a ; 6.10b\} = \max\{16,10 ; 14,47\} = 16,10 \text{ kN/m}^2$$

2.2 Předběžný návrh rozměru sloupu

zatížení střechy – (předběžná odhad) 4 kN/m^2

$$\text{vlastní tíha sloupu : } 0,4 \cdot 0,4 \cdot (3,6 - 0,26) \cdot 25 = 13,36 \text{ kN}$$

$$\text{zatěžovací plocha : } l_x \cdot l_y = 5,5 \cdot 7 = 38,5 \text{ m}^2$$

$$G_d = (8,036 \cdot 5 \cdot 38,5 + 13,36 \cdot 5 + 4 \cdot 38,5) \cdot 1,35 = 2386,4 \text{ kN}$$

$$Q_d = ((2 + 1,5) \cdot 38,5 \cdot 4 + 0,7 \cdot 38,5) \cdot 1,5 = 848,9 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = G_d + Q_d = 2386,4 + 848,9 = 3235,3 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$A_b = \frac{N_{Ed}}{0,8 \cdot f_{cd} + 0,01 \cdot f_{yd}}; \text{ (uvažováno 1\% plochy sloupu jako stupeň vyztužení)}$$

$$A_b = \frac{3235,3}{0,8 \cdot 16,67 \cdot 10^3 + 0,01 \cdot 434,78 \cdot 10^3}$$

$$A_b = 0,18295 \text{ m}^2$$

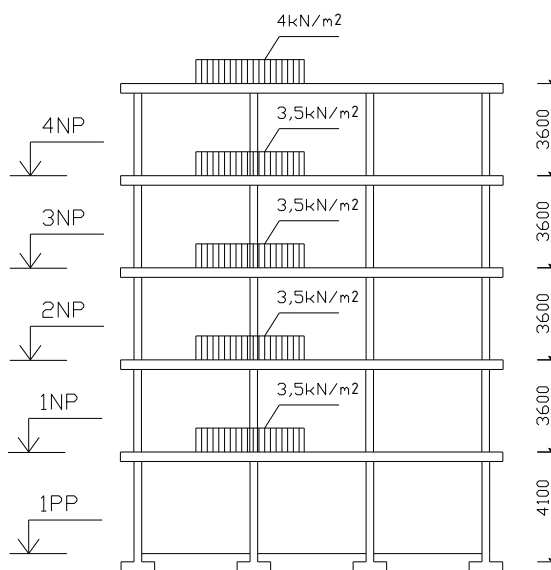
$$\sqrt{A_b} = 0,428 \rightarrow \text{sloup } 0,45\text{m} \times 0,45\text{m}$$

$$N_{Rd} = (0,8 \cdot f_{cd} + 0,01 \cdot f_{yd}) \cdot A_b = (0,8 \cdot 16,67 \cdot 10^3 + 0,01 \cdot 434,78 \cdot 10^3) \cdot 0,45^2$$

$$N_{Rd} = 3581 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$3235,3 \text{ kN} \leq 3581 \text{ kN} \rightarrow OK$$



Obr. 4 Proměnné zatížení – schéma, svislý řez

2.3 Metoda součtových momentů

Ověření podmínek pro použití metody součtových momentů:

- 1) Desková konstrukce je v celém svém rozsahu železobetonová, pouze s event. ocelovými nebo předpjatými hlavicemi → *splněno*;
- 2) v obou hlavních směrech jsou alespoň 3 desková pole → *splněno*;
- 3) obdélníková pole mají poměr delších strany ke kratší menší než 2,0; $(7:5,5=1,27 < 2) \rightarrow$ *splněno*;
- 4) rozpětí deskových polí v hlavním směru se neliší o více než 1/3 rozpětí kratšího pole,
 $(7-5,5=1,5 < 1,83) \rightarrow$ *splněno*;
- 5) sloupy nejsou odchýleny od osového systému o více než 10% vzdálenosti os kolmých na směr vychýlení → *splněno*;
- 6) konstrukce bude zatížena pouze svislým zatížením rovnoměrně rozděleným po celém deskovém poli, přičemž charakteristická hodnota nahodilého zatížení nebude větší než dvojnásobek charakteristického stálého zatížení - viz 2.3.1.;
- 7) silové účinky zatížení stanovené metodou součtových momentů, nelze dále upravovat (např. se zřetelem k redistribuci momentů); → *dodržíme*
- 8) konstrukce se vyšetřuje ve dvou vzájemně se kolmo křižujících směrech sloupových řad.

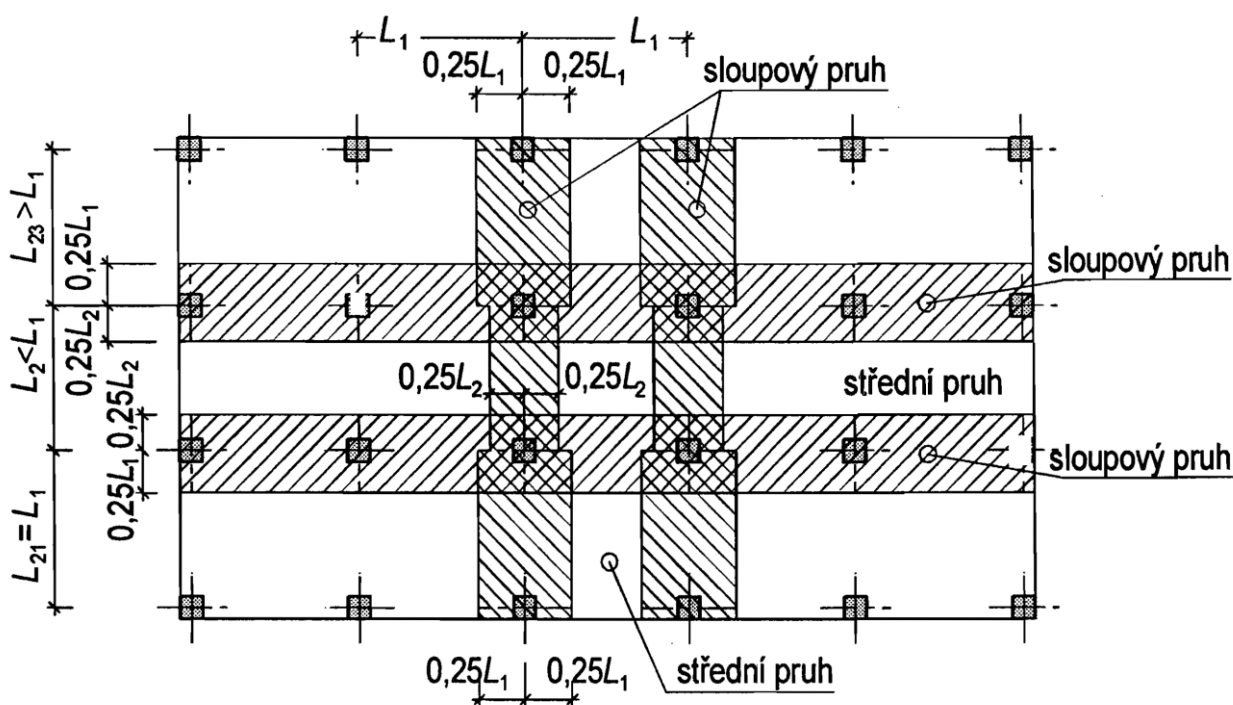
2.3.1 Vliv nahodilého zatížení na velikost momentů v poli

$$\Sigma g_d \leq 2 \cdot \Sigma q_d \text{ (dle kap. 8.6.1 (6) v [1])}$$

$$(1,35 \cdot 8,036 \leq 2 \cdot 1,5 \cdot 3,5) \text{ kN/m}^2$$

2.3.2 Šířky sloupových a mezisloupových pruhů

Konstrukce rozdělíme na sloupové a deskové pruhy dle 3.36 a obr. 3.10 v [1])



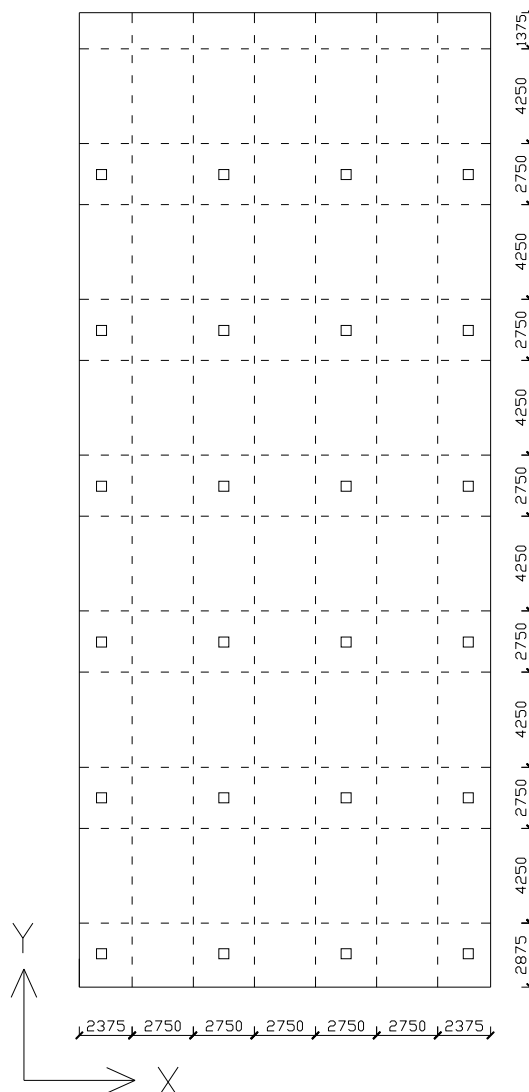
Obr. 5 Stanovení sloupových a středních pruhů

Šířka sloupového pruhu ve směru X=2,75 m.

Šířka sloupového pruhu ve směru Y=2,75 m.

Šířka mezisloupového pruhu ve směru X=4,25 m.

Šířka mezisloupového pruhu ve směru Y=2,75 m



Obr. 6 Šířky sloupových a deskových pruhů

2.3.3 Celkové součtové momenty ve směru X

a) vnitřní pole

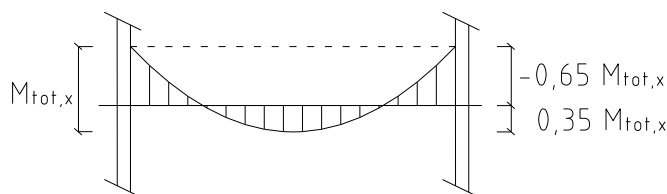
$$M_{x,tot} = \frac{1}{8} \cdot (\sum g_d + \sum q_d) \cdot l_y \cdot l_{x,n}^2 \quad (\text{dle vztahu 8.19 v kap. 8.6.2 [1], index „n“ znamená světlé rozpětí})$$

$$M_{x,tot} = \frac{1}{8} \cdot (10,85 + 5,25) \cdot 7 \cdot 5,05^2$$

$$M_{x,tot} = 359,3 \text{ kNm}$$

$$\text{záporný moment nad podporou : } -0,65 \cdot 359,3 = -233,5 \text{ kNm}$$

$$\text{kladný moment v poli : } 0,35 \cdot 359,3 = 125,8 \text{ kNm}$$



Obr. 7 Součtový moment pole

b) krajní pole

moment - konzola

$$M_k = P_{od} \cdot a + f_d \cdot l_y \cdot \frac{a^2}{2}$$

$$M_k = 56,82 \cdot \left(1 - \frac{0,45}{2}\right) + 16,10 \cdot 7 \cdot \frac{\left(1 - \frac{0,45}{2}\right)^2}{2}$$

$$M_k = 77,9 \text{ kNm}$$

$$|M_k| \leq 0,65 \cdot M_{x,tot} \quad (\text{dle kap. 8.6.3 oddíl (5) v [1]})$$

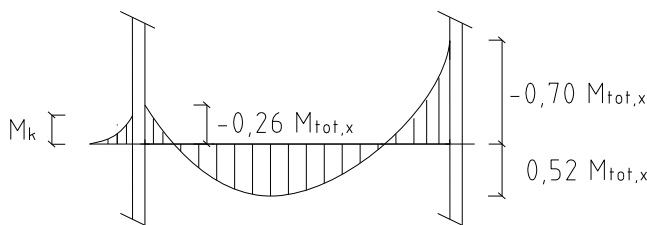
$77,9 \text{ kNm} \leq 0,65 \cdot 359,3 = 233,5 \text{ kNm} \Rightarrow$ vyhoví, lze použít metodu součtových momentů, v opačném případě je nutné použít pro analýzu vnitřních sil jinou metodu (např. metodu náhradních rámců, MKP,...).

$$M_1 = -\left[0,26 \cdot M_{x,tot} + \frac{0,39}{0,65} \cdot |M_k|\right], \quad (\text{interpolace ve smyslu 8.6.3. (2) v [1]})$$

$$M_1 = -\left[0,26 \cdot 359,3 + \frac{0,39}{0,65} \cdot 77,9\right] = -140,2 \text{ kNm}$$

$$M_2 = 0,52 \cdot M_{x,tot} = 0,52 \cdot 359,3 = 186,8 \text{ kNm}, \quad (\text{dle tab. 8.3 a obr. 8.16 v [1]})$$

$$M_3 = -0,7 \cdot M_{x,tot} = -0,7 \cdot 359,3 = -251,5 \text{ kNm}, \quad (\text{dle tab. 8.3 a obr. 8.16 v [1]})$$



Obr. 8 Rozdělení M_{tot} v krajním poli

2.3.4 Celkové součtové momenty ve směru Y

a) vnitřní pole:

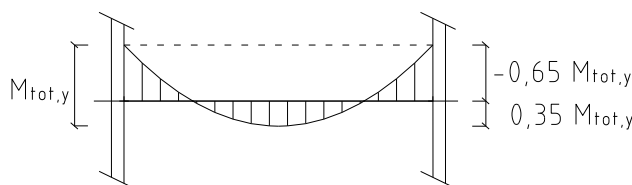
$$M_{y,tot} = \frac{1}{8} \cdot (\sum g_d + \sum q_d) \cdot l_x \cdot l_{y,n}^2$$

$$M_{y,tot} = \frac{1}{8} \cdot (10,85 + 5,25) \cdot 5,5 \cdot 6,55^2$$

$$M_{y,tot} = 474,9 \text{ kNm}$$

záporný moment nad podporou : $(-0,65) \cdot 474,9 = -308,7 \text{ kNm}$, (dle tab. 8.3 a obr. 8.16 v [1])

kladný moment v poli : $0,35 \cdot 474,9 = 166,2 \text{ kNm}$, (dle tab. 8.3 a obr. 8.16 v [1])



Obr. 9 Rozdělení M_{tot} ve vnitřním poli

b) krajní pole:

$$M_k = P_{od} \cdot a + f_d \cdot l_x \cdot \frac{a^2}{2}$$

$$M_k = 44,64 \cdot \left(1,5 - \frac{0,45}{2}\right) + 16,10 \cdot 5,5 \cdot \frac{\left(1,5 - \frac{0,45}{2}\right)^2}{2}$$

$$M_k = 128,9 \text{ kNm}$$

$$|M_k| \leq 0,65 \cdot M_{y,tot}$$

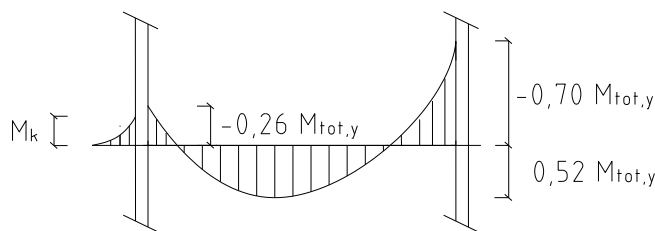
$$128,9 \text{ kNm} \leq 0,65 \cdot 474,9 = 308,7 \text{ kNm}$$

$$M_1 = -\left[0,26 \cdot M_{y,tot} + \frac{0,39}{0,65} \cdot |M_k|\right]$$

$$M_1 = -\left[0,26 \cdot 474,9 + \frac{0,39}{0,65} \cdot 128,9\right] = -200,8 \text{ kNm}$$

$$M_2 = 0,52 \cdot M_{y,tot} = 0,52 \cdot 474,9 = 246,9 \text{ kNm}$$

$$M_3 = -0,7 \cdot M_{y,tot} = -0,7 \cdot 474,9 = -332,4 \text{ kNm}$$



Obr. 10 Rozdělení $M_{tot,y}$ v krajním poli

2.3.5 Poměrné části momentů připadajících na sloupový pruh

$$\beta_t = \frac{G_{cb} \cdot I_t}{E_{cs} \cdot I_s}, \text{ (dle 8.2.17, vztah 8.4. v [1])}$$

β_t – součinitel kroucení

G_{cb} – modul pružnosti ve smyku okrajového krouceného prvku

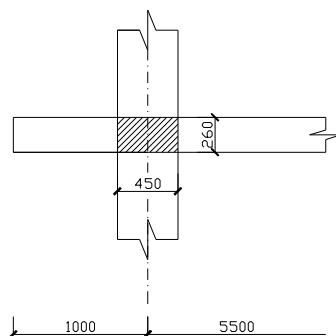
E_{cs} – modul pružnosti betonu desky

I_s – moment setrvačnosti desky šířky b rovné součtu polovin rozpětí okrajového krouceného prvku, který leží kolmo k rovině ve které moment počítáme

I_t – moment v tuhosti kroucení okrajového prvku

$E_{cs} = 31 \text{ GPa}$... pro beton C25/30

$G_{cb} = 0,5 \cdot E_{bs} = 0,5 \cdot 31 = 15,5 \text{ GPa}$, (dle 8.2.17 v [1])



Obr. 11 Účinný průřez v kroucení

$$I_t = \sum_{i=1}^n \left(1 - 0,63 \frac{t_i}{a_i} \right) \cdot \frac{t_i^3 \cdot a_i}{3}, \text{ (dle vztahu 8.26 v [1])}$$

kde:

t_i je kratší strana i -tého obdélníka, ze kterého se skládá průřez;

a_i je delší strana i -tého obdélníka;

n je počet obdélníků, na který rozdělíme průřez krouceného prvku.

$$I_t = \left(1 - 0,63 \frac{h_s}{c_1}\right) \cdot \frac{h_s^3 \cdot c_1}{3}$$

$$I_t = \left(1 - 0,63 \frac{0,26}{0,45}\right) \cdot \frac{0,26^3 \cdot 0,45}{3}$$

$$I_t = 1,68 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

směr x:

$$I_s = \frac{1}{12} \cdot l_y \cdot h_s^3 = \frac{1}{12} \cdot 7 \cdot 0,26^3 = 10,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$\beta_t = \frac{15,5 \cdot 10^9 \cdot 1,68 \cdot 10^{-3}}{31 \cdot 10^9 \cdot 10,3 \cdot 10^{-3}} = 0,0816$$

směr y:

$$I_s = \frac{1}{12} \cdot l_x \cdot h_s^3 = \frac{1}{12} \cdot 5,5 \cdot 0,26^3 = 8,06 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$\beta_t = \frac{15,5 \cdot 10^9 \cdot 1,68 \cdot 10^{-3}}{31 \cdot 10^9 \cdot 8,06 \cdot 10^{-3}} = 0,1042$$

Hodnoty ohybových momentů přenášených deskovým nebo sloupovým pruhem vypočítáme za pomoci součinitele ω , který udává poměrné části celkových záporných a kladných momentů připadajících na sloupový a deskový pruh. Hodnoty součinitele ω jsou udány v tab. 8.5 v [1]).

směr x:

- krajní podpora : 0,99
- střední podpora : 0,75
- v poli : 0,6

směr y:

- krajní podpora : 0,99
- střední podpora : 0,75
- v poli : 0,6

moment ve vyložené části konstrukce v deskovém pruhu:

$$m_k = \frac{M_k}{l_y} = \frac{77,9}{7} = 11,13 \text{ kNm/m'}$$

$$m_k = \frac{M_k}{l_x} = \frac{128,9}{5,5} = 23,44 \text{ kNm/m'}$$

moment na konzole, (dle 8.8 (1) v [1]):

$$0,65 \cdot m_k = 0,65 \cdot 11,13 = 7,23 \text{ kNm/m'}$$

$$0,65 \cdot m_k = 0,65 \cdot 23,44 = 15,24 \text{ kNm/m'}$$

2.3.6 Přehled momentů

Tab. 4 Přehled ohybových momentů

SMĚR	PRUH	PRŮŘEZ	ω	M_x [kNm]	$\omega \cdot M_x$ [kNm]	šířka pruhu [m]	$\omega \cdot M_x \cdot /m'$ [kNm/m']
X	sloupový	krajní podpora	0,99	-140,2	-138,798	2,75	-50,47
		krajní pole	0,6	186,8	112,08	2,75	40,76
		vnitřní podpora	0,75	-251,5	-188,625	2,75	-68,59
		vnitřní pole	0,6	125,8	75,48	2,75	27,45
	střední	krajní podpora	0,65	-77,9	-50,635	7	-7,23
		krajní pole	0,4	186,8	74,72	4,25	17,58
		vnitřní podpora	0,25	-251,5	-62,875	4,25	-14,79
		vnitřní pole	0,4	125,8	50,32	4,25	11,84
Y	sloupový	krajní podpora	0,99	-200,8	-198,792	2,75	-72,29
		krajní pole	0,6	246,9	148,14	2,75	53,87
		vnitřní podpora	0,75	-332,4	-249,3	2,75	-90,65
		vnitřní pole	0,6	166,2	99,72	2,75	36,26
	střední	krajní podpora	0,65	-128,9	-83,785	5,5	-15,23
		krajní pole	0,4	246,9	98,76	2,75	35,91
		vnitřní podpora	0,25	-332,4	-83,1	2,75	-30,22
		vnitřní pole	0,4	166,2	66,48	2,75	24,17

2.4 Dimenzování výztuže

Materiálové charakteristiky:

Beton: C25/30 $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$

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

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

$$\epsilon_{cu3} = 0,0035$$

Ocel: B500B $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1,15 = 434,78 \text{ MPa}$$

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

$$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s = 434,78 / 200 \cdot 10^3 = 0,00217$$

tloušťka desky: $h_s = 260 \text{ mm}$

krytí: $c = 35 \text{ mm}$

účinná výška desky: $d_1 = c + 0,5 \cdot \phi = 35 + 0,5 \cdot 10 = 40 \text{ mm}$

$$d = h_s - d = 260 - 40 = 220 \text{ mm}$$

Výpočet minimální nutné plochy výztuže na přenesení ohybového momentu M_{Ed} :

$$A_{st,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right)$$

$$A_{st,req} = 1 \cdot 0,22 \cdot \frac{16,67}{434,78} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 50,47}{1 \cdot 0,22^2 \cdot 16,67 \cdot 10^3}} \right)$$

$$A_{st,req} = 5,45 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Navrženo Ø R10 á 140 mm, $A_{st,prov} = 5,61 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

Konstrukční zásady:

minimální plocha vyztužení:

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 1 \cdot 0,22$$

$$A_{s,min} = 2,97 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$A_{s,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d$$

$$A_{s,min} = 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,22$$

$$A_{s,min} = 2,86 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

maximální plocha vyztužení:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot b \cdot h_s = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,26 = 10,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

maximální vzdálenost výztuže:

$$s_{max,slabs} = \min\{2h_s ; 300 \text{ mm}\}$$

$$s_{max,slabs} = \min\{520 ; 300 \text{ mm}\}$$

$$s < s_{max,slabs}$$

$$150 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{s,min} = \max\{1,5 \cdot \emptyset ; d_g + 5 \text{ mm} ; 20 \text{ mm}\}$$

$$s_{s,min} = \max\{1,5 \cdot 10 ; 16 + 5 \text{ mm} ; 20 \text{ mm}\}$$

$$s_{s,min} = \max\{15 \text{ mm} ; 21 \text{ mm} ; 20 \text{ mm}\}$$

$$s_s = s - \emptyset = 150 - 10 = 140 \text{ mm}$$

$$s_s > s_{s,min}$$

$$140 \text{ mm} > 21 \text{ mm} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{5,61 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{1 \cdot 0,8 \cdot 16,67} = 0,0183 \text{ m}$$

Ověření předpokladu, že výztuž je za mezí kluzu a je tedy plně využita:

$$x_{lim} = \xi_{bal,1} \cdot d$$

$$x_{lim} = \frac{|\epsilon_{cu,3}|}{|\epsilon_{cu,3}| + \epsilon_{yd}} \cdot d = \frac{0,0035}{0,0035 + 0,00217} \cdot 0,22 = 0,14 \text{ m}$$

$$x < x_{lim}$$

$$0,0183 \text{ m} < 0,14 \text{ m} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

rameno vnitřních sil:

$$z_c = \left(d - \frac{\lambda \cdot x}{2}\right) = \left(0,22 - \frac{0,8 \cdot 0,0183}{2}\right) = 0,21268 \text{ m}$$

Posouzení na únosnost:

$$M_{Rd} = F_s \cdot z_c$$

$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z_c$$

$$M_{Rd} = 5,61 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,21268 = 51,9 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} > M_{Ed}$$

$$51,9 \text{ kNm} > 50,47 \text{ kNm} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Další dimezování pro přehlednost a úsporu místa viz tabulka:

Tab. 5 Návrh a posouzení podélné výztuže

SMĚR	PRUH	PRŮŘEZ	Ø [mm]	c [mm]	h [mm]	d ₁ [mm]	d [mm]	A _{st,req} [mm ²]	A _{s,min} [mm ²]	A _{s,min} [mm ²]	A _{s,max} [mm ²]
X	sloupový	krajní podpora	10	35	260	40	220	546	297	286	10400
		krajní pole	10	35	260	40	220	439	297	286	10400
		vnitřní podpora	12	35	260	41	219	756	296	285	10400
		vnitřní pole	8	35	260	39	221	291	299	287	10400
	střední	konzola	8	35	260	39	221	291	299	287	10400
		krajní pole	8	35	260	39	221	291	299	287	10400
		vnitřní podpora	8	35	260	39	221	291	299	287	10400
		vnitřní pole	8	35	260	39	221	291	299	287	10400
Y	sloupový	krajní podpora	12	35	260	51	209	841	283	272	10400
		krajní pole	10	35	260	50	210	615	284	273	10400
		vnitřní podpora	14	35	260	52	208	1078	281	270	10400
		vnitřní pole	10	35	260	50	210	408	284	273	10400
	střední	krajní podpora	8	35	260	47	213	291	288	277	10400
		krajní pole	8	35	260	47	213	399	288	277	10400
		vnitřní podpora	8	35	260	47	213	334	288	277	10400
		vnitřní pole	8	35	260	47	213	266	288	277	10400

SMĚR	PRUH	PRŮŘEZ	návrh	A _{s,prov} [mm ²]	x [mm]	z [mm]	M _{Ed} [kNm]	M _{Rd} [kNm]	posouzení
X	sloupový	krajní podpora	Ø10 po 140 mm	561	18,3	213	50,47	51,9	vyhoví
		krajní pole	Ø10 po 170 mm	462	15,0	214	40,76	42,98	vyhoví
		vnitřní podpora	Ø12 po 140 mm	808	26,3	208	68,59	73,23	vyhoví
		vnitřní pole	Ø8 po 150 mm	335	10,9	217	27,45	31,55	vyhoví
	střední	konzola	Ø8 po 150 mm	335	10,9	217	7,23	31,55	vyhoví
		krajní pole	Ø8 po 150 mm	335	10,9	217	17,58	31,55	vyhoví
		vnitřní podpora	Ø8 po 150 mm	335	10,9	217	14,79	31,55	vyhoví
		vnitřní pole	Ø8 po 150 mm	335	10,9	217	11,84	31,55	vyhoví
Y	sloupový	krajní podpora	Ø12 po 130 mm	870	28,3	198	72,29	74,8	vyhoví
		krajní pole	Ø10 po 120 mm	655	21,3	201	53,87	57,37	vyhoví
		vnitřní podpora	Ø14 po 140 mm	1100	35,9	193	90,65	92,6	vyhoví
		vnitřní pole	Ø10 po 160 mm	491	16,0	204	36,26	43,46	vyhoví
	střední	krajní podpora	Ø8 po 150 mm	335	10,9	209	15,23	30,4	vyhoví
		krajní pole	Ø8 po 120 mm	419	13,7	208	35,91	37,8	vyhoví
		vnitřní podpora	Ø8 po 140 mm	359	11,7	208	30,22	32,5	vyhoví
		vnitřní pole	Ø8 po 150 mm	335	10,9	209	24,17	30,38	vyhoví

2.5 Protlačení – vnitřní sloup

2.5.1 Kombinace

K 1:

$$V_{Ed}^I = \left(\sum g_d + \sum q_d \right) \cdot L_x \cdot L_y = (10,85 + 5,25) \cdot 5,5 \cdot 7 = 619,85 \text{ kN}$$

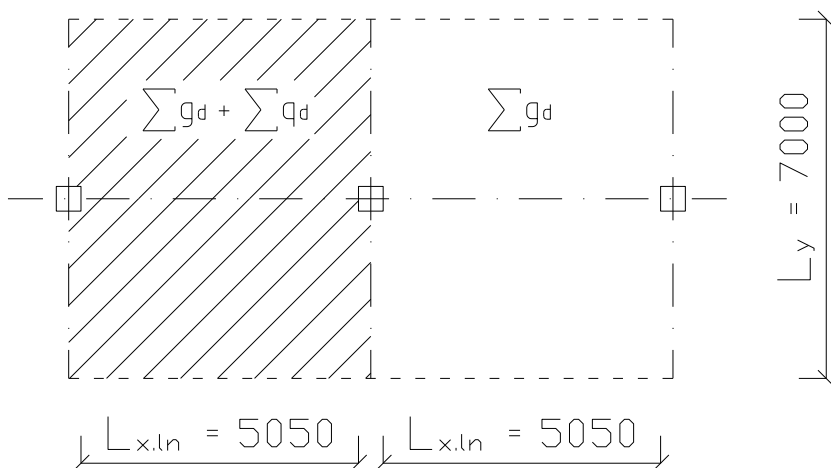
$$M_{sup}^I = 0 \text{ kNm}$$

K 2:

$$V_{Ed}^{II} = V_{Ed}^I - \sum q_d \cdot \frac{L_x}{2} \cdot L_y = 619,85 - 5,25 \cdot \frac{5,5}{2} \cdot 7 = 518,79 \text{ kN}$$

$$M_{sup}^{II} = 0,07 \cdot \left(\sum g_{d,ln} + 0,5 \sum q_{d,ln} \right) \cdot L_y \cdot L_{x,ln}^2 - \sum g_{d,sh} \cdot L_y \cdot L_{x,sh}^2, \text{ (dle vztahu 8.24 v [1])}$$

$$M_{sup}^{II} = 0,07 \cdot [(10,85 + 0,5 \cdot 5,25) \cdot 7 \cdot 5,05^2 - 10,85 \cdot 7 \cdot 5,05^2] = 32,8 \text{ kNm}$$



Obr. 12 Schéma rozmístění zatížení pro určení V_{ed} a M_{sup}

K 3:

Analogicky k K2 pro kolmý směr

$$V_{Ed}^{III} = V_{Ed}^I - \sum q_d \cdot \frac{L_y}{2} \cdot L_x = 619,85 - 5,25 \cdot \frac{7}{2} \cdot 5,5 = 518,79 \text{ kN}$$

$$M_{sup}^{III} = 0,07 \cdot \left[\left(\sum g_{d,ln} + 0,5 \sum q_{d,ln} \right) b_{1n} \cdot L_{1n,ln}^2 - \sum g_{d,sh} \cdot b_{sh} \cdot L_{ln,sh}^2 \right]$$

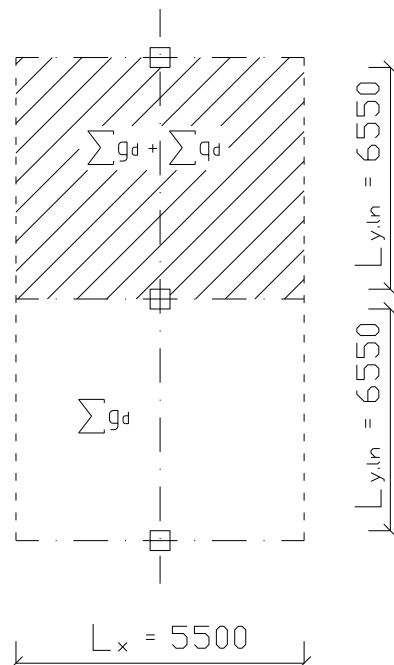
kde:

$$b_{1n} = b_{sh} = L_x; L_{1n,ln} = L_{ln,sh} = L_{y,ln}$$

$\sum g_{d,ln}$, $\sum q_{d,ln}$, b_{1n} , $L_{1n,ln}$ jsou hodnoty stanovené dle 8.6.2 viz [1] pro delší rozpětí ve směru vyšetřovaných momentů, přilehlé vyšetřované podpoře.

$\Sigma g_{d,sh}, b_{sh}, L_{ln,sh}$ jsou hodnoty stanovené podle 8.6.2 viz [1] pro kratší rozpětí ve směru vyšetřovaných momentů, přilehlé k vyšetřované podpoře.

$$M_{sup}^{III} = 0,07 \cdot [(10,85 + 0,5 \cdot 5,25) \cdot 5,5 \cdot 6,55^2 - 10,85 \cdot 5,5 \cdot 6,55^2] = 43,36 \text{ kNm}$$



Obr. 13 Schéma rozmístění zatížení pro určení V_{ed} a M_{sup}

2.5.2 Základní kontrolovaný obvod u_1

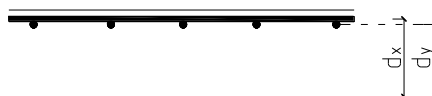
2.5.2.1 Účinná výška desky

$$d_{eff} = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{0,219 + 0,206}{2} = 0,213 \text{ m}$$

$$d_x = h_s - c - \frac{\phi_x}{2} = 260 - 35 - \frac{12}{2} = 219 \text{ mm}$$

$$d_y = h_s - c - \phi_x - \frac{\phi_y}{2} = 260 - 35 - 12 - \frac{14}{2} = 206 \text{ mm}$$

$$\theta = \arctan \frac{1}{2} = 26,6$$

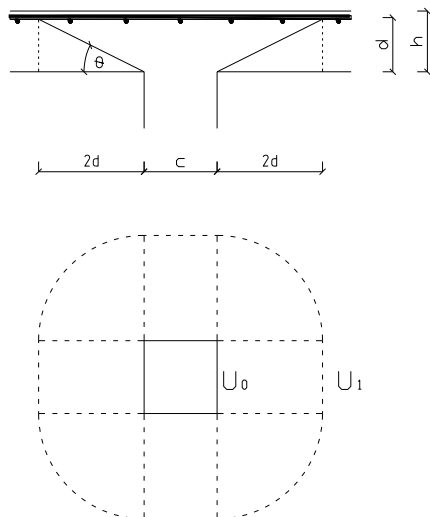


Obr. 14 Staticky účinné výšky desky ve směru x a y

2.5.2.2 Délka kontrolovaného obvodu

$$u_1 = u_0 + 2 \cdot \pi \cdot d = 1,8 + 2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 0,213 = 4,48 \text{ m}$$

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



Obr. 15 Model pro ověřování únosnosti ve smyku při protlačení v mezním stavu únosnosti

2.5.2.3 Maximální smykové napětí

W_1 ... modul odpovídající rozdělení smyku viz 6.40 a 6.41 v [4]

$$W_1 = \frac{c_1^2}{2} + c_1 \cdot c_2 + 4 \cdot c_2 \cdot d + 16 \cdot d_{\text{eff}}^2 + 2 \cdot \pi \cdot d \cdot c_1$$

kde:

c_1 je rozměr sloupu rovnoběžný s výstředností zatížení;

c_2 je rozměr sloupu kolmý na výstřednost zatížení.

$$W_1 = \frac{0,45^2}{2} + 0,45 \cdot 0,45 + 4 \cdot 0,45 \cdot 0,213 + 16 \cdot 0,213^2 + 2 \cdot \pi \cdot 0,213 \cdot 0,45$$

$$W_1 = 2,02 \text{ m}^2$$

Vliv ohybového momentu uplatníme pomocí součinitele β . Při působení v jednom směru použijeme vztah 6.39 viz [4]:

$$\beta = 1 + k \cdot \frac{M_{\text{Ed}}}{V_{\text{Ed}}} \cdot \frac{u_1}{W_1};$$

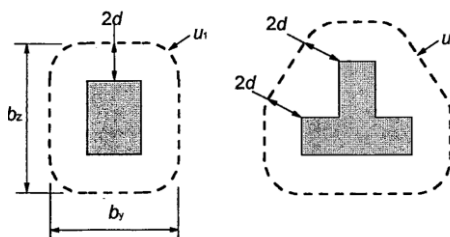
Pokud zatížení působí excentricky k oběma osám, lze pro vnitřní obdélníkový sloup použít následující přibližný vztah dle 6.43 viz [4]:

$$\beta = 1 + 1,8 \sqrt{\left(\frac{e_y}{b_z}\right)^2 + \left(\frac{e_z}{b_y}\right)^2},$$

kde:

e_y ; e_z jsou výstřednosti M_{Ed}/V_{Ed} ve směru osy y a z ,

b_y ; b_z jsou rozměry kontrolovaného obvodu dle Obr. 16 viz také str. 92 v [4]:



Obr. 16 Základní kontrolované obvody u zatěžovacích ploch

K1:

$$v_{Ed}^I = \beta^I \cdot \frac{V_{Ed}^I}{u_1 \cdot d} = 1,0 \cdot \frac{619,85}{4,48 \cdot 0,213} = 649,6 \text{ kPa}$$

K2:

$$M_{Ed}^{II} = M_{sup}^{II} = 32,8 \text{ kNm}$$

$$\beta^{II} = 1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_1}{W_1} = 1 + 0,6 \cdot \frac{32,8}{518,79} \cdot \frac{4,48}{2,02} = 1,08$$

$$v_{Ed}^{II} = \beta^{II} \cdot \frac{V_{Ed}^{II}}{u_1 \cdot d} = 1,08 \cdot \frac{518,79}{4,48 \cdot 0,213} = 589,4 \text{ kPa}$$

K3:

$$M_{Ed}^{III} = M_{sup}^{III} = 43,36 \text{ kNm}$$

$$\beta^{III} = 1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_1}{W_1} = 1 + 0,6 \cdot \frac{43,36}{518,79} \cdot \frac{4,48}{2,02} = 1,11$$

$$v_{Ed}^{III} = \beta^{III} \cdot \frac{V_{Ed}^{III}}{u_1 \cdot d} = 1,11 \cdot \frac{518,79}{4,48 \cdot 0,213} = 603,47 \text{ kPa}$$

$$\Rightarrow v_{Ed,max} = 649,6 \text{ kPa}$$

$$\Rightarrow \beta = 1,0$$

$$\Rightarrow V_{Ed} = 649,6 \text{ kPa}$$

2.5.2.4 Smyková odolnost těsně kolem sloupu

$$v_{Ed,0} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_0 \cdot d} = \frac{1 \cdot 619,85}{1,8 \cdot 0,213} = 1616,7 \text{ kPa (viz oddíl 6.4.3 a vztah 6.38 z [4])}$$

$$v_{Rd,max} = 0,5 \cdot f_{cd} \cdot v = 0,5 \cdot 16,67 \cdot 10^3 \cdot 0,54 = 4500 \text{ kPa}$$

$$v = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{25}{250} \right] = 0,54$$

$$v_{Ed,0} \leq v_{Rd,max}$$

$$1616,7 \text{ kPa} \leq 4500 \text{ kPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

2.5.2.5 Posouzení 1. kontrolního obvodu

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \text{ (viz oddíl 6.4.4. vztah 6.47 v [4])}$$

$$b_x = b_y = c + 6 \cdot d_0 = 0,45 + 6 \cdot 0,213 = 1,728 \text{ m (viz oddíl 6.4.4. v [4])}$$

$$\rho_{lx} = \frac{A_{s,x}}{b_x \cdot d} = \frac{13,96 \cdot 10^{-4}}{1,728 \cdot 0,213} = 3,79 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{ly} = \frac{A_{s,y}}{b_y \cdot d} = \frac{19,7 \cdot 10^{-4}}{1,728 \cdot 0,213} = 5,35 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = \sqrt{3,79 \cdot 10^{-3} \cdot 5,35 \cdot 10^{-3}} = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ (viz oddíl 6.4.4. v [4])}$$

$$\rho_l \leq 0,02$$

$$v_{Rd,c} = 0,5297 \text{ MPa} = 529,7 \text{ kPa}$$

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

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,97^{\frac{3}{2}} \cdot 25^{\frac{1}{2}} = 0,484 \text{ MPa} = 484 \text{ kPa (viz oddíl 6.2.2 vztah 6.3N v [4])}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{213}} = 1,97 \leq 2,0 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$v_{Rd,c} \geq v_{min}$$

$$529,7 \text{ kPa} \geq 484 \text{ kPa} \Rightarrow \text{platí} \Rightarrow v_{Rd,c} = 529,7 \text{ kPa}$$

$$v_{Ed} < v_{Rd,c}$$

649,6 < 529,7 $\Rightarrow$ nevyhoví, nutno navrhnout smykovou výztuž !!

2.5.2.6 Návrh smykové výztuže

$$v_{Rd,cs} = 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 1,5 \cdot \frac{d}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,eff} \cdot \frac{1}{u_1 \cdot d} \cdot \sin \alpha \text{ (viz oddíl 6.4.5 vztah 6.52 v [4])}$$

kde:

A_{sw} je plocha smykové výztuže na jednom obvodu okolo sloupu v $[\text{mm}^2]$,

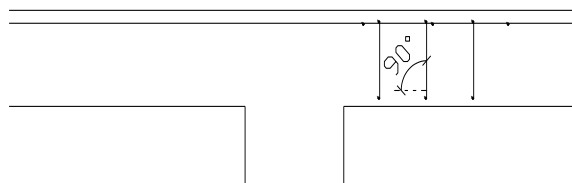
$$f_{ywd,eff} = 250 + 0,25 \cdot d \leq f_{ywd} \quad (\text{viz oddíl 6.4.5 vztah 6.52 v [4]})$$

$$f_{ywd,eff} = 250 + 0,25 \cdot 213 = 303,25 \text{ MPa} \leq 434,78 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$s_r \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 213 = 159,8 \Rightarrow s_r = 150 \text{ mm}$$

$$A_{sw} = \frac{v_{Rd,cs} - 0,75 \cdot v_{Rd,c}}{1,5 \cdot \frac{d}{s_r} \cdot f_{ywd,eff} \cdot \frac{1}{u_1 \cdot d} \cdot \sin \alpha} \quad (\text{návrh plochy vychází z výše uvedeného vztahu za předpokladu, že } v_{Rd,c} \text{ musí být minimálně rovno } v_{Ed}).$$

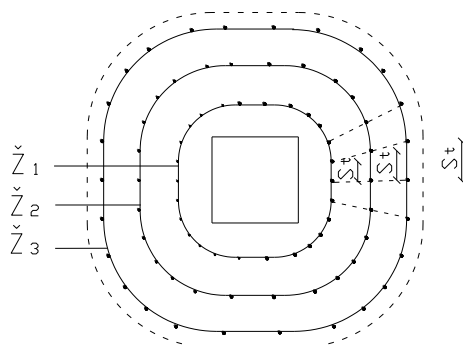
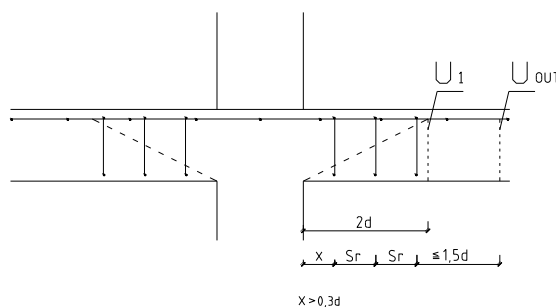
$$A_{sw} = \frac{649,6 - 0,75 \cdot 484}{1,5 \cdot \frac{0,213}{0,150} \cdot 303,25 \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{4,48 \cdot 0,213} \cdot \sin 90} = 4,23 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$



Obr. 17 Umístění a sklon výztuže v rámci 1. kontrolovaného obvodu

Návrh: $\emptyset 6 \rightarrow A_s = 0,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

2.5.2.6.1 Počet prutů na 1 kontrolní obvod



Obr. 18 Schéma výztuže proti protlačení v rámci 1. kontrolovaného obvodu

$$\frac{A_{sw}}{A_s} = \frac{4,23 \cdot 10^{-4}}{0,28 \cdot 10^{-4}} = 15,1 \Rightarrow \mathbf{16 \text{ prutů}}$$

$$A_{sw} = 16 \cdot 0,28 \cdot 10^{-4} = 4,48 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

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

$$v_{Rd,cs} = 0,75 \cdot 484 \cdot 10^3 + 1,5 \cdot \frac{0,213}{0,15} \cdot 4,48 \cdot 10^{-4} \cdot 303,25 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{4,48 \cdot 0,213} \cdot \sin 90$$

$$v_{Rd,cs} = 666,3 \text{ kPa}$$

$$v_{Rd,cs} = 666,3 \text{ kPa} \geq 649,6 \text{ kPa} = v_{Ed} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

x – vzdálenost 1. řady smykové výztuže od líce sloupu

$$x > 0,3 \cdot d \leq 0,5 \cdot d ; 0,3 \cdot 0,213 = 0,0639 \text{ m} ; 0,5 \cdot 0,213 = 0,11 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \text{volím } x = 0,1 \text{ m}$$

$$\check{Z}_1 = 4 \cdot c + 2 \cdot \pi \cdot x = 4 \cdot 0,45 + 2 \cdot \pi \cdot 0,1 = 2,43 \text{ m}$$

$$\check{Z}_2 = 4 \cdot c + 2 \cdot \pi \cdot (x + s_r) = 4 \cdot 0,45 + 2 \cdot \pi \cdot (0,1 + 0,15) = 3,37 \text{ m}$$

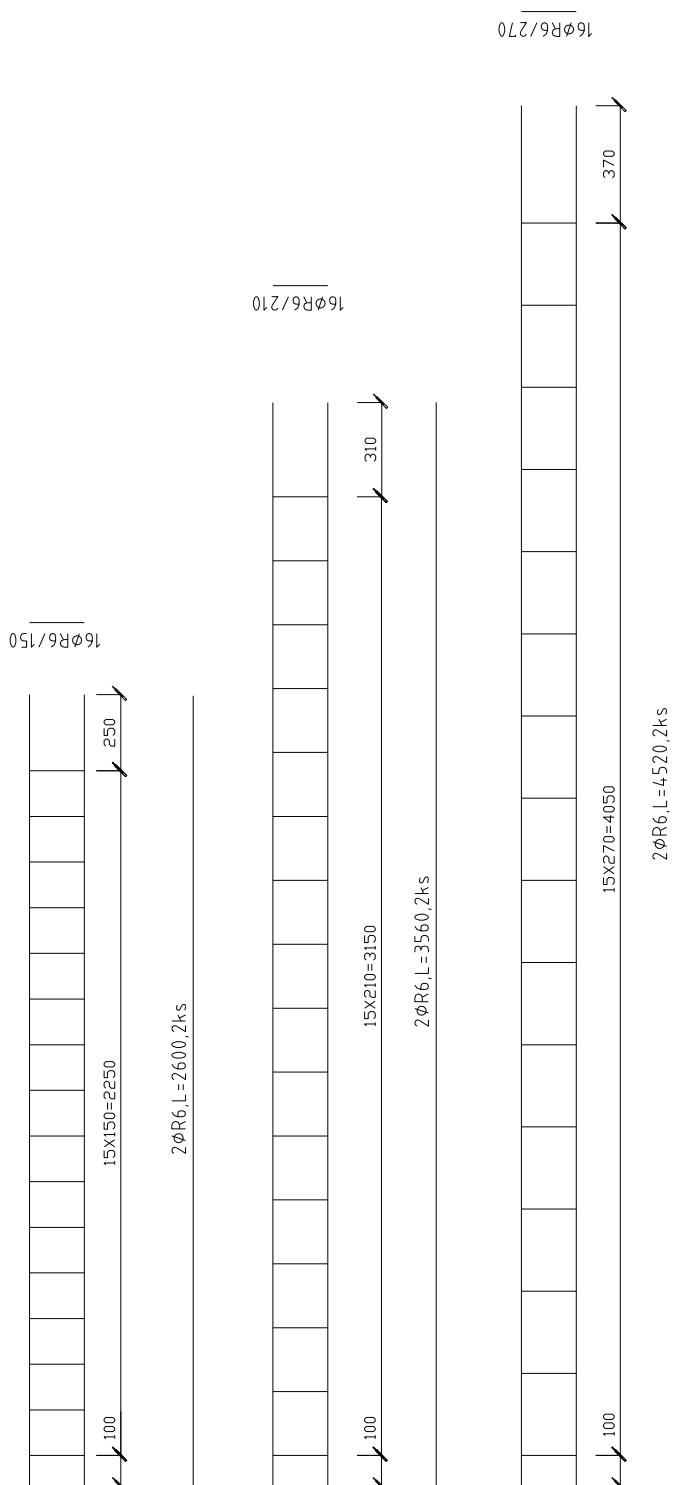
$$\check{Z}_3 = 4 \cdot c + 2 \cdot \pi \cdot (x + 2 \cdot s_r) = 4 \cdot 0,45 + 2 \cdot \pi \cdot (0,1 + 2 \cdot 0,15) = 4,31 \text{ m}$$

$$s_t = \frac{\check{Z}_1}{p} = \frac{2,43}{16} = 0,15 \text{ m}$$

$$s_t = \frac{\check{Z}_2}{p} = \frac{3,37}{16} = 0,21 \text{ m}$$

$$s_t = \frac{\check{Z}_3}{p} = \frac{4,31}{16} = 0,27 \text{ m}$$

$$s_t \leq 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 0,213 = 0,32 \text{ m} \Rightarrow \text{vyhoví}$$



Obr. 19 Výztuž proti protlačení v rámci 1. kontrolovaného obvodu

2.5.2.6.2 Kontrolní obvod u_2

$$u_2 = u_0 + 2 \cdot \pi \cdot 4 \cdot d = 1,8 + 2 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 0,213 = 7,15 \text{ m}$$

$$v_{Ed,2} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_2 \cdot d} = \frac{1 \cdot 621,39}{7,15 \cdot 0,213} = 408,0 \text{ kPa}$$

$$v_{Ed,2} < v_{Rd,c}$$

$408 \text{ kPa} < 484 \text{ kPa} \Rightarrow \text{vyhovuje, neposuzují žádný další kontrolní obvod}$

2.5.2.6.3 Kontrolní obvod ve kterém výztuž není nutná

$$U_{out} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d} = \frac{1 \cdot 619,85}{484 \cdot 0,213} = 6,02 \text{ m}$$

$$U_{out} = 4 \cdot c + 2 \cdot \pi \cdot r \Rightarrow r = \frac{U_{out} - 4 \cdot c}{2 \cdot \pi} = \frac{6,02 - 4 \cdot 0,45}{2 \cdot \pi} = 0,67 \text{ m}$$

$$r - (x + s_r + s_r) \leq 1,5 \cdot d$$

$$0,67 - (0,1 + 0,15 + 0,15) \leq 1,5 \cdot 0,213$$

$$0,27 \leq 0,3195 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

2.5.2.6.4 Stupeň vyztužení

$$A_{sw,1} \geq A_{sw,min}$$

$$\frac{A_{sw,min} \cdot (1,5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha)}{s_r \cdot s_t} \geq 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \quad (\text{viz oddíl 9.4.3 a vztah 9.11 v [4]})$$

$$A_{sw,min} = \frac{0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \cdot s_r \cdot s_t}{1,5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha}$$

$$A_{sw,min} = \frac{0,08 \cdot \frac{\sqrt{25}}{500} \cdot 0,15 \cdot 0,27}{1,5 \cdot \sin 90 + \cos 90} = 0,22 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

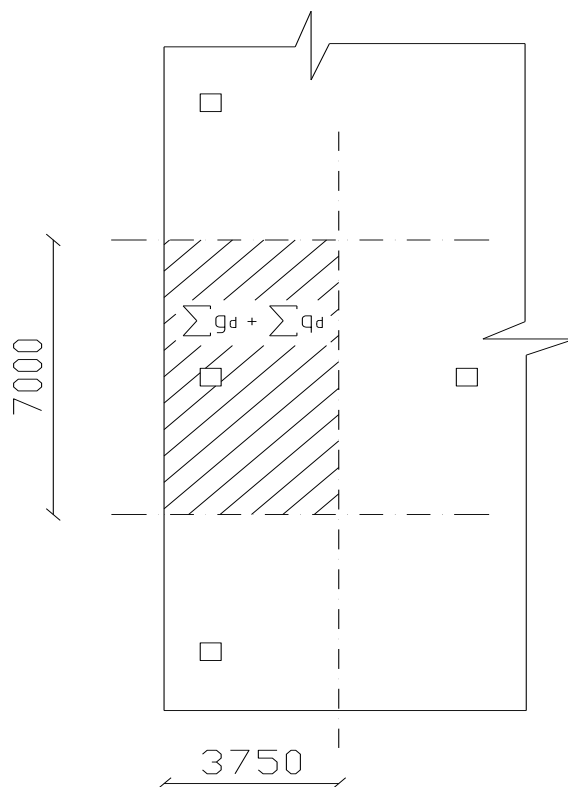
$$A_{sw,1} \geq A_{sw,min}$$

$$0,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \geq 0,22 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

2.6 Protlačení – krajní sloup

2.6.1 $\max V_{Ed}$

$$V_{Ed}^I = \left(\sum g_d + \sum q_d \right) \cdot L_x \cdot L_y + P_{od} = (10,85 + 5,25) \cdot 3,75 \cdot 7 + 56,82 = 479,45 \text{ kN}$$



Obr. 20 Zatěžovací plocha pro krajní sloup

2.6.2 Základní kontrolovaný obvod u_1

2.6.2.1 Účinná výška desky

$$d_{\text{eff}} = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{0,220 + 0,209}{2} = 0,216 \text{ m}$$

$$d_x = h_s - c - \frac{\phi_x}{2} = 260 - 35 - \frac{10}{2} = 220 \text{ mm}$$

$$d_y = h_s - c - \phi_x - \frac{\phi_y}{2} = 260 - 35 - 10 - \frac{12}{2} = 209 \text{ mm}$$

2.6.2.2 Délka kontrolovaného obvodu

$$u_1 = u_0 + 2 \cdot \pi \cdot r = 1,8 + 2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 0,216 = 4,51 \text{ m}$$

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

2.6.2.3 Smyková odolnost těsně kolem sloupu

U konstrukcí, kde příčná stabilita nezávisí na rámovém působení mezi deskami a sloupy, a pokud se rozpětí sousedních polí neliší více jak o 25 %, lze užít přibližné hodnoty součinitele β . V našem případě $\beta=1,4$ (viz oddíl 6.4.3 a vztah a obrázek 6.21 v [4])

$$v_{Ed,0} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_0 \cdot d} = \frac{1,4 \cdot 479,45}{1,8 \cdot 0,216} = 1726,41 \text{ kPa}$$

$$v_{Rd,max} = 0,5 \cdot f_{cd} \cdot v = 0,5 \cdot 16,67 \cdot 10^3 \cdot 0,54 = 4500 \text{ kPa}$$

$$v = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{25}{250} \right] = 0,54$$

$$v_{Ed,0} \leq v_{Rd,max}$$

$$1726,41 \text{ kPa} \leq 4500 \text{ kPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

2.6.2.4 Maximální smykové napětí

$$v_{Ed}^I = \beta^I \cdot \frac{V_{Ed}^I}{u_1 \cdot d} = 1,4 \cdot \frac{479,45}{4,48 \cdot 0,216} = 693,6 \text{ kPa}$$

2.6.2.5 Posouzení 1. kontrolního obvodu

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}}$$

$$b_x = b_y = c + 6 \cdot d = 0,45 + 6 \cdot 0,216 = 1,746 \text{ m}$$

$$\rho_{lx} = \frac{A_{s,x}}{b_x \cdot d} = \frac{9,79 \cdot 10^{-4}}{1,746 \cdot 0,216} = 2,6 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{ly} = \frac{A_{s,y}}{b_y \cdot d} = \frac{15,19 \cdot 10^{-4}}{1,746 \cdot 0,216} = 4 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = \sqrt{2,6 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^{-3}} = 3,2 \cdot 10^{-3}$$

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} = 0,12 \cdot 1,96 \cdot (100 \cdot 3,2 \cdot 10^{-3} \cdot 25)^{\frac{1}{3}} = 470 \text{ kPa}$$

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

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,97^{\frac{3}{2}} \cdot 25^{\frac{1}{2}} = 0,484 \text{ MPa} = 484 \text{ kPa}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{216}} = 1,96 \leq 2,0 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$v_{Rd,c} \geq v_{min}$$

$$470 \text{ kPa} \geq 484 \text{ kPa} \Rightarrow \text{neplatí}$$

$$v_{Ed} < v_{Rd,c}$$

$$693,6 \text{ kPa} < 484 \text{ kPa} \Rightarrow \text{nevyhoví, nutno navrhnout smykovou výztuž}$$

2.6.2.5.1 Návrh smykové výztuže

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

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

$$f_{ywd,eff} = 250 + 0,25 \cdot 216 = 304 \text{ MPa} \leq 434,78 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$s_r \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 216 = 162 \Rightarrow s_r = 150 \text{ mm}$$

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

$$A_{sw} = \frac{693,6 - 0,75 \cdot 484}{1,5 \cdot \frac{0,216}{0,150} \cdot 304 \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{4,48 \cdot 0,216} \cdot \sin 90} = 4,87 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Návrh: } \emptyset 6 \rightarrow A_s = 0,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

2.6.2.5.2 Počet prutů na 1 kontrolní obvod

$$\frac{A_{sw}}{A_s} = \frac{4,87 \cdot 10^{-4}}{0,28 \cdot 10^{-4}} = 17,4 \Rightarrow \mathbf{18 \text{ prutů}}$$

$$A_{sw} = 18 \cdot 0,28 \cdot 10^{-4} = 5,04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

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

$$v_{Rd,cs} = 0,75 \cdot 484 \cdot 10^3 + 1,5 \cdot \frac{0,216}{0,15} \cdot 5,04 \cdot 10^{-4} \cdot 303,25 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{4,48 \cdot 0,216} \cdot \sin 90$$

$$v_{Rd,cs} = 704,2 \text{ kPa}$$

$$v_{Rd,cs} = 704,2 \text{ kPa} \geq 693,6 \text{ kPa} = v_{Ed} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

x – vzdálenost 1. řady smykové výztuže od líce sloupu

$$x > 0,3 \cdot d \leq 0,5 \cdot d ; 0,3 \cdot 0,216 = 0,065 \text{ m} ; 0,5 \cdot 0,216 = 0,11 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \text{volím } x = 0,1 \text{ m}$$

$$\check{Z}_1 = 4 \cdot c + 2 \cdot \pi \cdot x = 4 \cdot 0,45 + 2 \cdot \pi \cdot 0,1 = 2,43 \text{ m}$$

$$\check{Z}_2 = 4 \cdot c + 2 \cdot \pi \cdot (x + s_r) = 4 \cdot 0,45 + 2 \cdot \pi \cdot (0,1 + 0,15) = 3,37 \text{ m}$$

$$\check{Z}_3 = 4 \cdot c + 2 \cdot \pi \cdot (x + 2 \cdot s_r) = 4 \cdot 0,45 + 2 \cdot \pi \cdot (0,1 + 2 \cdot 0,15) = 4,31 \text{ m}$$

$$s_t = \frac{\check{Z}_1}{p} = \frac{2,43}{18} = 0,14 \text{ m}$$

$$s_t = \frac{\check{z}_2}{p} = \frac{3,37}{18} = 0,19 \text{ m}$$

$$s_t = \frac{\check{z}_3}{p} = \frac{4,31}{18} = 0,24 \text{ m}$$

$$s_t \leq 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 0,216 = 0,32 \text{ m} \Rightarrow \text{vyhoví}$$

2.6.3 Kontrolní obvod u_2

$$u_2 = u_0 + 2 \cdot \pi \cdot 4 \cdot d = 1,8 + 2 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 0,216 = 7,22 \text{ m}$$

$$v_{Ed,2} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_2 \cdot d} = \frac{1,4 \cdot 479,45}{7,22 \cdot 0,216} = 430,4 \text{ kPa}$$

$$v_{Ed,2} < v_{Rd,c}$$

$$430,4 \text{ kPa} < 484 \text{ kPa} \Rightarrow \text{vyhovuje, neposuzují žádný další kontrolní obvod}$$

2.6.4 Kontrolní obvod ve kterém výztuž není nutná

$$U_{out} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d} = \frac{1,4 \cdot 479,45}{484 \cdot 0,216} = 6,42 \text{ m}$$

$$U_{out} = 4 \cdot c + 2 \cdot \pi \cdot r \Rightarrow r = \frac{U_{out} - 4 \cdot c}{2 \cdot \pi} = \frac{6,42 - 4 \cdot 0,45}{2 \cdot \pi} = 0,74 \text{ m}$$

$$r - (x + s_r + s_r) \leq 1,5 \cdot d$$

$$0,74 - (0,1 + 0,15 + 0,15) \leq 1,5 \cdot 0,216$$

$$0,34 \leq 0,324 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

2.6.5 Stupeň vyztužení

$$A_{sw,1} \geq A_{sw,min}$$

$$\frac{A_{sw,min} \cdot (1,5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha)}{s_r \cdot s_t} \geq 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

$$A_{sw,min} = \frac{0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \cdot s_r \cdot s_t}{1,5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha}$$

$$A_{sw,min} = \frac{0,08 \cdot \frac{\sqrt{25}}{500} \cdot 0,15 \cdot 0,24}{1,5 \cdot \sin 90 + \cos 90} = 0,19 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

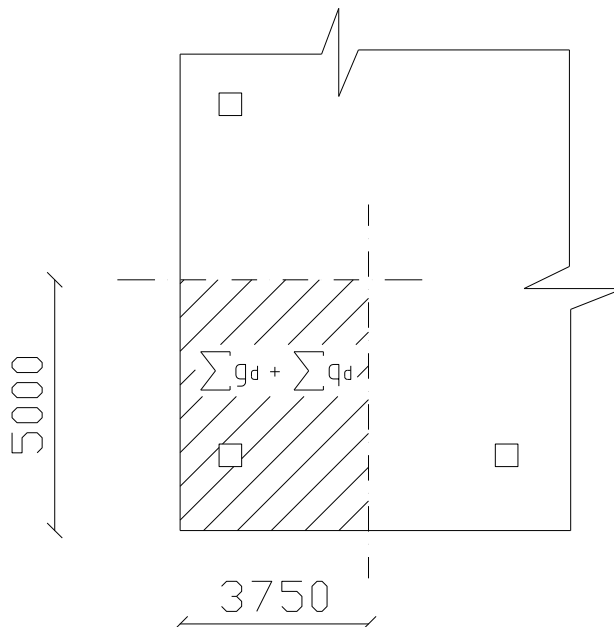
$$A_{sw,1} \geq A_{sw,min}$$

$$0,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \geq 0,19 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

2.7 Protlačení – rohový sloup

2.7.1 max V_{Ed}

$$V_{Ed}^I = \left(\sum g_d + \sum q_d \right) \cdot L_x \cdot L_y + P_{od} = (10,85 + 5,25) \cdot 3,75 \cdot 5 + 56,82 = 358,7 \text{ kN}$$



Obr. 21 Zatěžovací plocha pro krajní sloup

2.7.2 Základní kontrolovaný obvod u_1

2.7.2.1 Účinná výška desky

$$d_{eff} = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{0,220 + 0,209}{2} = 0,216 \text{ m}$$

$$d_x = h_s - c - \frac{\phi_x}{2} = 260 - 35 - \frac{10}{2} = 220 \text{ mm}$$

$$d_y = h_s - c - \phi_x - \frac{\phi_y}{2} = 260 - 35 - 10 - \frac{12}{2} = 209 \text{ mm}$$

2.7.2.2 Délka kontrolovaného obvodu

$$u_1 = u_0 + 2 \cdot \pi \cdot r = 1,8 + 2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 0,216 = 4,51 \text{ m}$$

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

2.7.2.3 Smyková odolnost těsně kolem sloupu

U konstrukcí, kde příčná stabilita nezávisí na rámovém působení mezi deskami a sloupy, a pokud se rozpětí sousedních polí neliší více jak o 25 %, lze užít přibližné hodnoty součinitele β . V našem případě $\beta=1,5$.

$$v_{Ed,0} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_0 \cdot d} = \frac{1,5 \cdot 358,7}{1,8 \cdot 0,216} = 1383,9 \text{ kPa}$$

$$v_{Rd,max} = 0,5 \cdot f_{cd} \cdot v = 0,5 \cdot 16,67 \cdot 10^3 \cdot 0,54 = 4500 \text{ kPa}$$

$$v = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{25}{250} \right] = 0,54$$

$$v_{Ed,0} \leq v_{Rd,max}$$

$$1383,9 \text{ kPa} \leq 4500 \text{ kPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

2.7.2.4 Maximální smykové napětí

$$v_{Ed}^I = \beta^I \cdot \frac{V_{Ed}^I}{u_1 \cdot d} = 1,5 \cdot \frac{358,7}{4,48 \cdot 0,216} = 556 \text{ kPa}$$

2.7.2.5 Posouzení 1. kontrolního obvodu

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}}$$

$$b_x = b_y = c + 6 \cdot d = 0,45 + 6 \cdot 0,216 = 1,746 \text{ m}$$

$$\rho_{lx} = \frac{A_{s,x}}{b_x \cdot d} = \frac{9,79 \cdot 10^{-4}}{1,746 \cdot 0,216} = 2,6 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{ly} = \frac{A_{s,y}}{b_y \cdot d} = \frac{15,19 \cdot 10^{-4}}{1,746 \cdot 0,216} = 4 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = \sqrt{2,6 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^{-3}} = 3,2 \cdot 10^{-3}$$

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} = 0,12 \cdot 1,96 \cdot (100 \cdot 3,2 \cdot 10^{-3} \cdot 25)^{\frac{1}{3}} = 470 \text{ kPa}$$

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

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,96^{\frac{3}{2}} \cdot 25^{\frac{1}{2}} = 0,480 \text{ MPa} = 480 \text{ kPa}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{216}} = 1,96 \leq 2,0 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$v_{Rd,c} \geq v_{min}$$

$$470 \text{ kPa} \geq 480 \text{ kPa} \Rightarrow \text{neplatí}$$

$$v_{Ed} < v_{Rd,c}$$

$$556 \text{ kPa} < 480 \text{ kPa} \Rightarrow \text{nevyhoví, nutno navrhnout smykovou výztuž}$$

2.7.2.5.1 Návrh smykové výztuže

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

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

$$f_{ywd,eff} = 250 + 0,25 \cdot 216 = 304 \text{ MPa} \leq 434,78 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$s_r \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 216 = 162 \Rightarrow s_r = 150 \text{ mm}$$

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

$$A_{sw} = \frac{556 - 0,75 \cdot 480}{1,5 \cdot \frac{0,216}{0,150} \cdot 304 \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{4,48 \cdot 0,216} \cdot \sin 90} = 2,89 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Návrh: } \emptyset 6 \rightarrow A_s = 0,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

2.7.2.5.2 Počet prutů na 1 kontrolní obvod

$$\frac{A_{sw}}{A_s} = \frac{2,89 \cdot 10^{-4}}{0,28 \cdot 10^{-4}} = 10,32 \Rightarrow 11 \text{ prutů}$$

$$A_{sw} = 11 \cdot 0,28 \cdot 10^{-4} = 3,08 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

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

$$v_{Rd,cs} = 0,75 \cdot 480 \cdot 10^3 + 1,5 \cdot \frac{0,216}{0,15} \cdot 3,08 \cdot 10^{-4} \cdot 303,25 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{4,48 \cdot 0,216} \cdot \sin 90$$

$$v_{Rd,cs} = 568,48 \text{ kPa}$$

$$v_{Rd,cs} = 568,48 \text{ kPa} \geq 550,6 \text{ kPa} = v_{Ed} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

x – vzdálenost 1. řady smykové výztuže od líce sloupu

$$x > 0,3 \cdot d \leq 0,5 \cdot d ; 0,3 \cdot 0,216 = 0,065 \text{ m} ; 0,5 \cdot 0,216 = 0,11 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \text{volím } x = 0,1 \text{ m}$$

$$\check{Z}_1 = 4 \cdot c + 2 \cdot \pi \cdot x = 4 \cdot 0,45 + 2 \cdot \pi \cdot 0,1 = 2,43 \text{ m}$$

$$\check{Z}_2 = 4 \cdot c + 2 \cdot \pi \cdot (x + s_r) = 4 \cdot 0,45 + 2 \cdot \pi \cdot (0,1 + 0,15) = 3,37 \text{ m}$$

$$\check{Z}_3 = 4 \cdot c + 2 \cdot \pi \cdot (x + 2 \cdot s_r) = 4 \cdot 0,45 + 2 \cdot \pi \cdot (0,1 + 2 \cdot 0,15) = 4,31 \text{ m}$$

$$s_t = \frac{\check{Z}_1}{p} = \frac{2,43}{11} = 0,22 \text{ m}$$

$$s_t = \frac{\check{Z}_2}{p} = \frac{3,37}{11} = 0,31 \text{ m}$$

$$s_t = \frac{\check{Z}_3}{p} = \frac{4,31}{11} = 0,39 \text{ m} \Rightarrow \text{nevyhoví, volím prutů 14} \Rightarrow s_t = 0,31 \text{ m}$$

$$s_t \leq 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 0,216 = 0,32 \text{ m} \Rightarrow \text{vyhoví}$$

2.7.3 Kontrolní obvod u_2

$$u_2 = u_0 + 2 \cdot \pi \cdot 4 \cdot d = 1,8 + 2 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 0,216 = 7,22 \text{ m}$$

$$v_{Ed,2} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_2 \cdot d} = \frac{1,5 \cdot 358,7}{7,22 \cdot 0,216} = 340,2 \text{ kPa}$$

$$v_{Ed,2} < v_{Rd,c}$$

$$340,2 \text{ kPa} < 484 \text{ kPa} \Rightarrow \text{vyhovuje, neposuzují žádný další kontrolní obvod}$$

2.7.4 Kontrolní obvod, ve kterém výztuž není nutná

$$U_{out} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d} = \frac{1,5 \cdot 358,7}{480 \cdot 0,216} = 5,19 \text{ m}$$

$$U_{out} = 4 \cdot c + 2 \cdot \pi \cdot r \Rightarrow r = \frac{U_{out} - 4 \cdot c}{2 \cdot \pi} = \frac{5,19 - 4 \cdot 0,45}{2 \cdot \pi} = 0,54 \text{ m}$$

$$r - (x + s_r + s_r) \leq 1,5 \cdot d$$

$$0,54 - (0,1 + 0,15 + 0,15) \leq 1,5 \cdot 0,216$$

$$0,14 \leq 0,324 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

2.7.5 Stupeň vyztužení:

$$A_{sw,1} \geq A_{sw,min}$$

$$\frac{A_{sw,min} \cdot (1,5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha)}{s_r \cdot s_t} \geq 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

$$A_{sw,min} = \frac{0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \cdot s_r \cdot s_t}{1,5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha}$$

$$A_{sw,min} = \frac{0,08 \cdot \frac{\sqrt{25}}{500} \cdot 0,15 \cdot 0,31}{1,5 \cdot \sin 90 + \cos 90} = 0,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sw,1} \geq A_{sw,min}$$

$$0,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \geq 0,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

3 Statický výpočet stropní desky pomocí výpočetního programu

Lze provést dle postupu uvedeného v [5]. Výsledky mezi MSM a MKP se nutně budou lišit a to zejména v místech lokálních podpor, kde je nutné uvážit fyzickou podporu (ohled na redukci a redistribuci momentů), v polích potom lze očekávat rozdíly cca do 15% u pravidelného dělení konstrukce. U členitějších konstrukcí se rozdíly budou zvyšovat, popřípadě MSM nebude možné použít.

3.1 Použitá literatura

- [1] ČSN 73 1201 Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb, září 2010
- [2] ČSN 73 1204 Navrhování betonových deskových konstrukcí působících ve dvou směrech, duben 1986
- [3] ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí, březen 2004
- [4] ČSN EN 1992 -1 -1 Navrhování betonových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, listopad 2006
- [5] Návod na modelování a výpočet 2D desky,
http://www.fce.vutbr.cz/BZK/studenti/BL09/BL09_Navod_na_modelovani_2D_desky.pdf