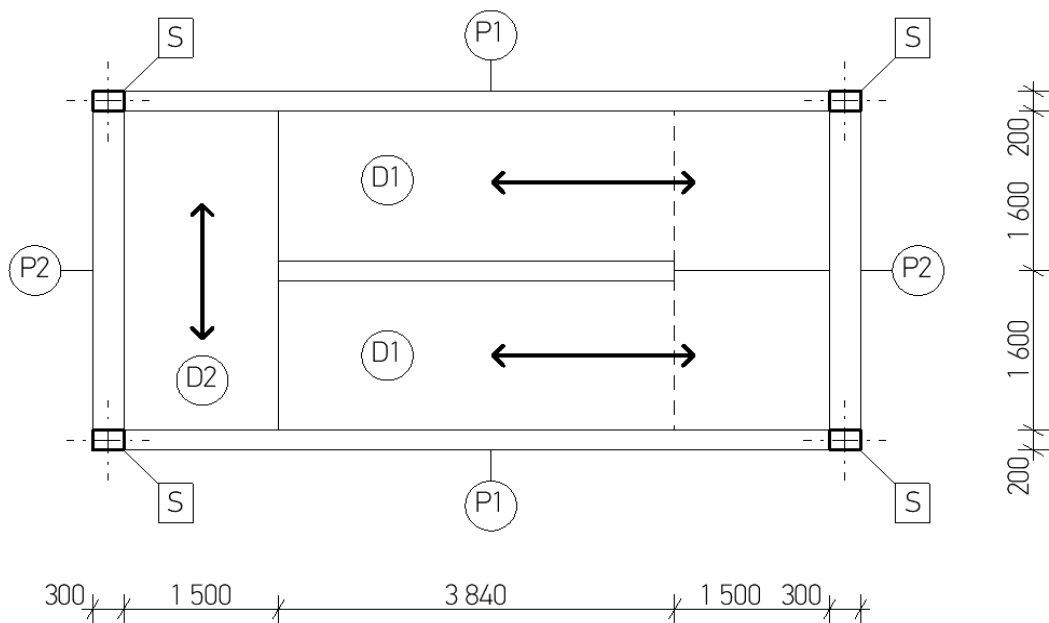


Příloha 2 - Statický výpočet

Obsah

1	Geometrie konstrukce	
1.1	Konstrukční schéma	P2 - 3
1.2	Výpočetní model	P2 - 4
2	Zatížení	
2.1	Zatížení stálé	P2 - 5
2.2	Zatížení užité	P2 - 5
2.3	Sníh	P2 - 5
2.4	Aplikace zatížení do modelu	P2 - 5
3	Návrh a posouzení nosných prvků	
3.1	Desky	P2 - 8
3.2	Průvlaky	P2 - 13
3.3	Sloupy	P2 - 21
4.	Výpočet kotevní délky	
4.1	Desky	P2 - 28
4.2	Průvlaky	P2 - 28
4.3	Sloupy	P2 - 29

1 Geometrie konstrukce
1.1 Konstrukční schéma



D1 - Zalomená deska uložena na průvlaku P2 a hlavní podestě D2

- tl. 200 mm

D2 - Hlavní podesta uložena na průvlaku P1

- tl. 200 mm

P1 - Podélný průvlak

- 200 x 300 mm

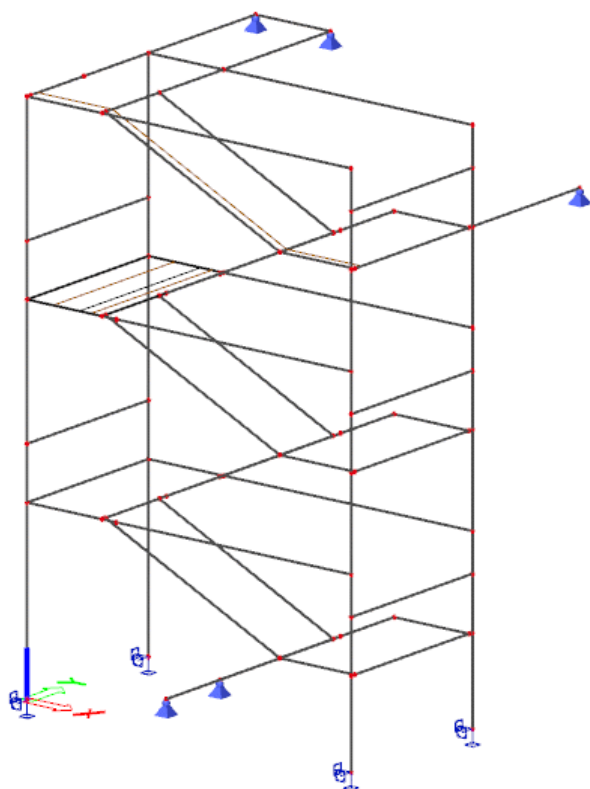
P2 - Příčný průvlak

- 300 x 300 mm

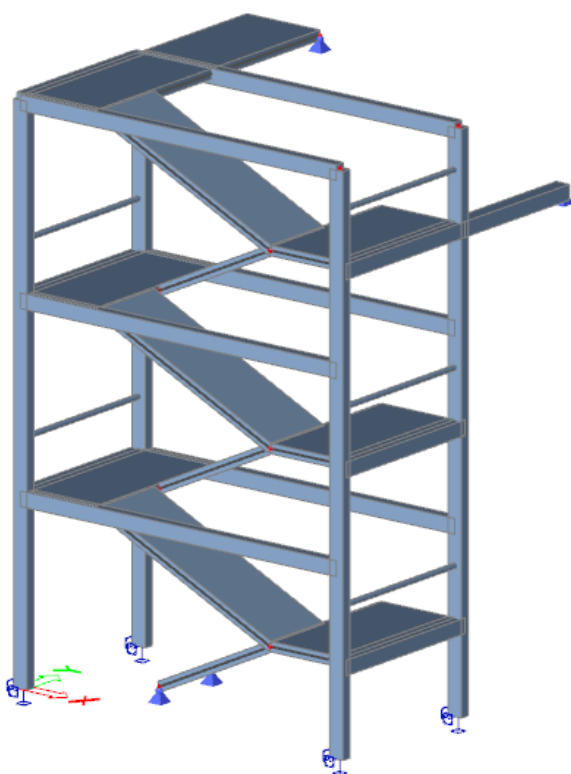
S - Sloup

- 200 x 300 mm

1.2 Výpočetní model



Pro výpočty použit optimalizovaný model B. Změna oproti původnímu modelu spočívá v upravě rozměru průřezu a přidání podélných průvlaků v nejvyšším podlaží.



2 Zatížení

2.1 Zatížení stálé

Podesta

Vsrtva	tl. [mm]	obj. tíha [kg/m ³]	gk [kN/m ²]		gd [kN/m ²]
Betonová deska	200	2500	5	1,35	6,75
			5		6,75

Schodišťové rameno

Vsrtva	tl. [mm]	obj. tíha [kg/m ³]	gk [kN/m ²]		gd [kN/m ²]
Betonová deska	223	2500	5,58	1,35	7,53
Betonové stupně	79	2500	1,98	1,35	2,67
			7,55		10,20

2.2 Zatížení užité

Užitné kategorie C3 - 5 kN/m²

qk [kN/m ²]		qd [kN/m ²]
5	1,5	7,5
5		7,5

Vodorvné zatížení C3 - 1 kN/m

qk [kN/m]		qd [kN/m]
1	1,5	1,5
1		1,5

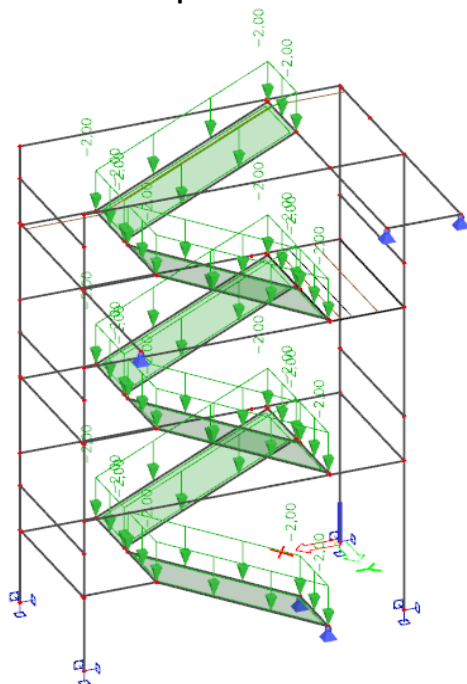
2.3 Sníh

Kategorie 2

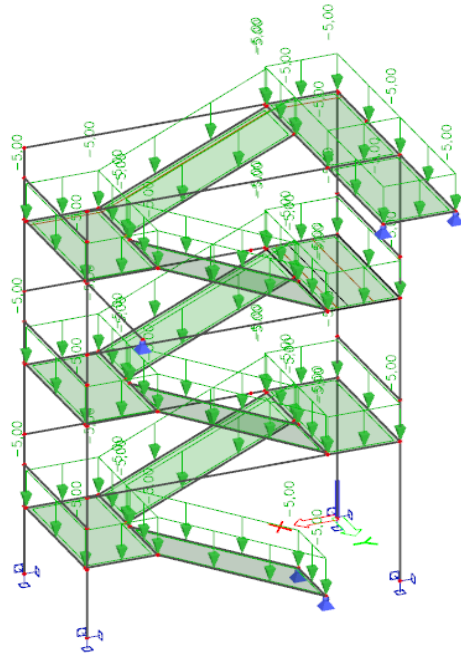
$$s = \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = \mathbf{0,8 \text{ kN/m}^2}$$

2.4 Aplikace zatížení do modelu

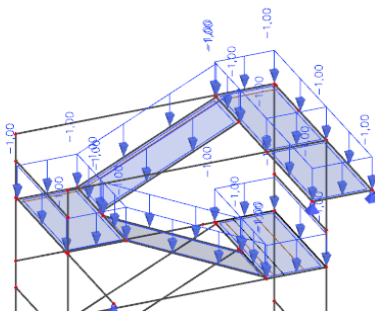
Schodišťové stupně



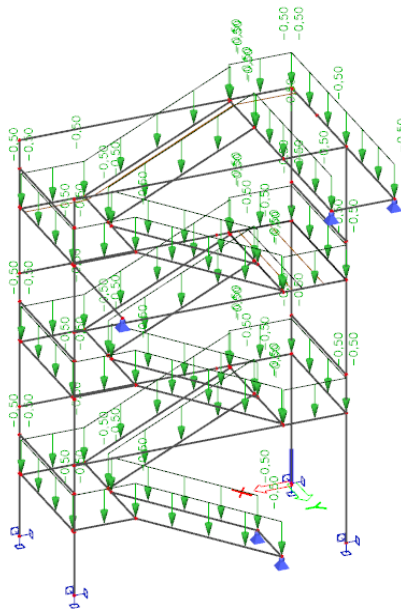
Užitné zatížení



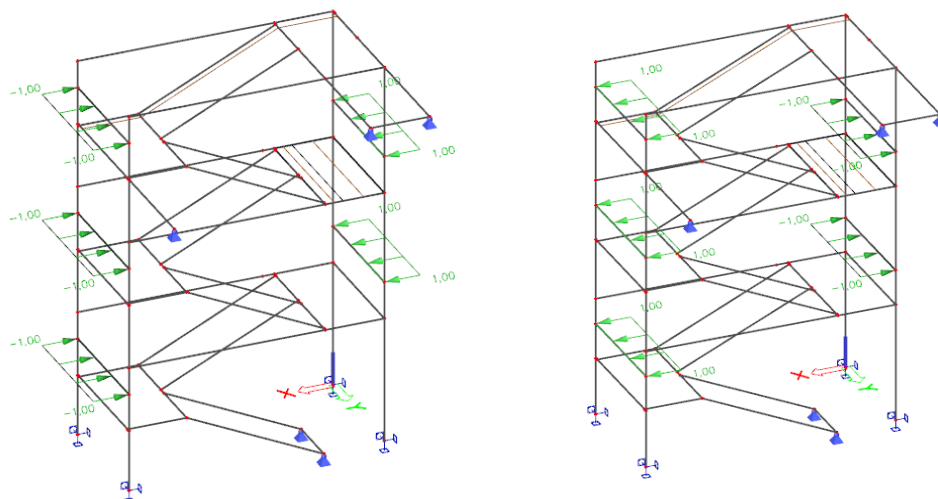
Zatížení sněhem



Vlastní tíha zábradlí



Vodorovné zatížení na zábradlí



Každý typ zatížení v modelu je přiřazen do svého zatěžovacího stavu a je upraven součinitelem spolehlivosti. Ve výpočtu jsou uvažovány automaticky generované veškeré kombinace zatížení, které mohou nastat. Pro návrh konstrukce se vychází z maximálních hodnot obálky. Ve výpočtu je u každého prvku prezentován maximální ohybový moment nebo normálová síla, na který je návrh proveden.

3 Návrh a posouzení nosných prvků

3.1 Desky

Beton C 35/45 XC4 XF4 Cl 0,2 Dmax 16 S4
Ocel B 500B

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{35}{1,5} = 23,3 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$$

Předběžný návrh tloušťky

Empirický odhad:

$$h = \frac{L}{35} - \frac{L}{30} = \frac{5500}{35} - \frac{5500}{30} = 157 - 183 = 200 \text{ mm}$$

pozn. Setjný rozměr uvažován i u podest.

Návrh krycí vrstvy:

Minimální krycí vrstva:

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm})$$

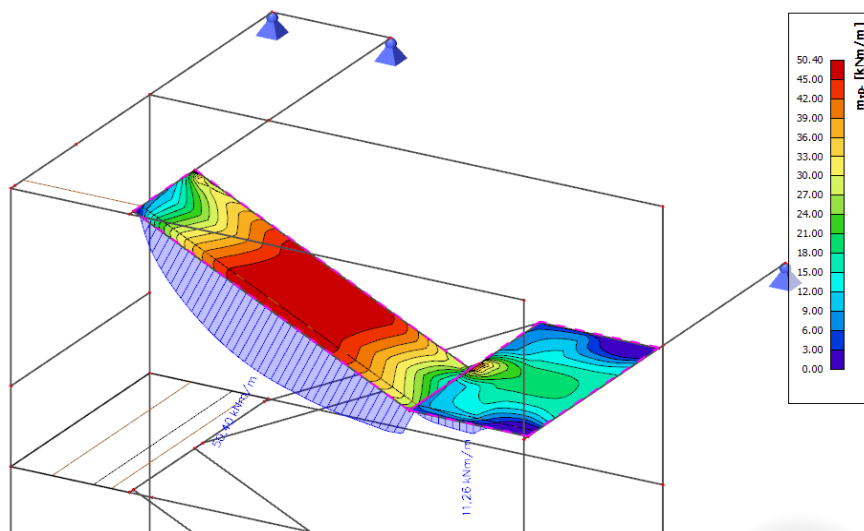
$$c_{min} = \max(16; 25 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 25 \text{ mm}$$

Nominální krycí vrstva:

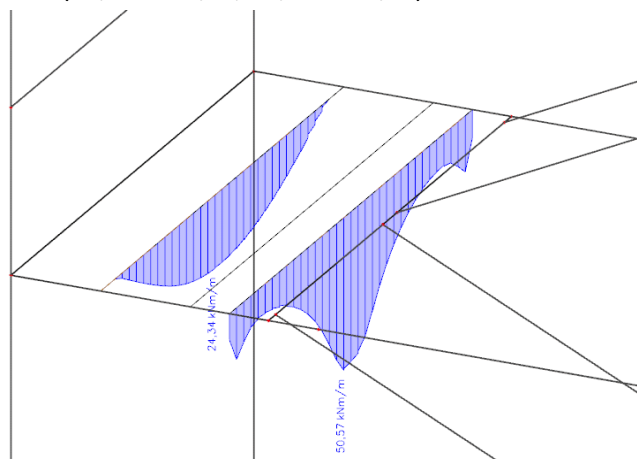
$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = 25 + 10 = 35 \text{ mm}$$

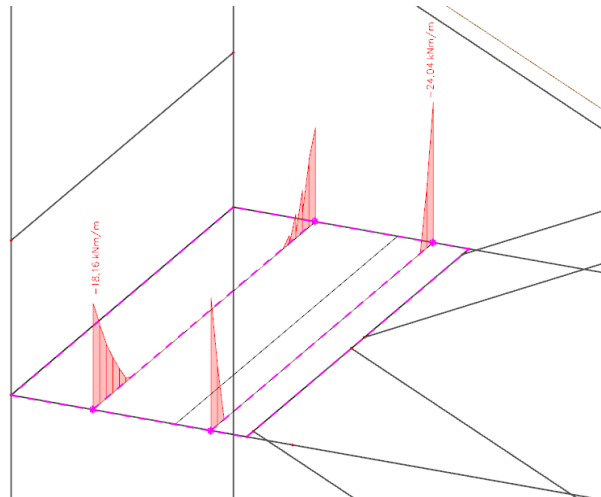
Deska 1 - Moment kladný (50,4 kNm/m)



Deska 2 - Moment kladný (užití průměrovacího pásu 0,5m a 1,0m)
(50,57 kNm/m; 24,34 kNm/m)



Deska 2 - Moment záporný (užití průměrovacího pásu 0,5m a 1,0m)
 (-24,04 kNm/m; -18,16 kNm/m)



Návrh výztuže:

$$d = h - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 200 - 35 - 6 = 159 \text{ mm}$$

$$A_{s,req} = \frac{m_{ed}}{f_{yd} * 0,9 * d} = \frac{51 * 10^6}{435 * 0,9 * 159} = 819 \text{ mm}^2$$

Návrh: Ø12 po 100 mm ($A_{s,prov} = 1131 \text{ mm}^2$)

Posouzení - Únosnost

Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{A_{s,prov} * f_{yd}}{0,8 * b * f_{cd}} = \frac{1131 * 435}{0,8 * 1000 * 23,3} = 26 \text{ mm}$$

Rameno vnitřních sil:

$$z = d - 0,4x = 159 - 0,4 * 26 = 149 \text{ mm}$$

Návrhový moment:

$$m_{rd} = A_{s,prov} * f_{yd} * z = 1131 * 435 * 149 = 73 \text{ kNm/m}$$

$$m_{rd} > m_{ed}$$

$$73 \frac{\text{kNm}}{\text{m}} > 51 \frac{\text{kNm}}{\text{m}} \text{ **Vyhovuje** }$$

pozn. Rezerva výztuže pokrývá tahové síly a kroutící momenty, které jsou minimální a ve výpočtu zanedbány.

Poměrná výška tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{26}{159} = 0,16 < 0,45 \text{ **Vyhovuje** }$$

Deska 1 = rameno + podesta (nejzatíženější prvek viz. SCIA výpočet)

Deska 2a+ = podesta v podélném směru (nejzatíženější prvek viz. SCIA výpočet) Pás v napojení ramene 500 mm, v poli

Deska 2a- = podesta v podélném směru (nejzatíženější prvek viz. SCIA výpočet) Pás v napojení ramene 500 mm, v podpoře

Deska 2b+ = podesta v podélném směru (nejzatíženější prvek viz. SCIA výpočet) Krajní pás 1000mm, v poli

Deska 2b- = podesta v podélném směru (nejzatíženější prvek viz. SCIA výpočet) Krajní pás 1000mm, v podpoře

Prvek	m_{ed}	$A_{s,req}$	Návrh		$A_{s,prov}$	x	ξ	z	m_{rd}	$m_{rd} > m_{ed}$
	[kNm/m]	[mm ²]	\emptyset	po[mm]	[mm ²]	[mm]		[mm]	kNm/m	[kNm/m]
1	51	819	12	100	1131	26,4	0,17	148,46	73	OK
2a+	51	819	12	100	1131	26,4	0,17	148,46	73	OK
2a-	-24	386	12	200	565	13,2	0,08	153,73	38	OK
2b+	24	386	12	200	565	13,2	0,08	153,73	38	OK
2b-	-18	289	12	200	565	13,2	0,08	153,73	38	OK

Odhad napětí ve výztuži:

$$\frac{310}{\sigma_s} = \frac{500}{f_{yk} * \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}}}$$

$$\sigma_s = \frac{f_{yk} * \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} * 310}{500} = \frac{500 * \frac{819}{1131} * 310}{500} = 224 \text{ MPa}$$

Posouzení - Konstrukční zásady

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,prov} > A_{s,min} = \max\left(0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d; 0,0013 * b * d; \frac{k_c * k * f_{ct,eff} * A_{ct}}{f_{yk}}\right)$$

$$A_{s,prov} > A_{s,min} = \max\left(0,26 * \frac{3,2}{500} * 1000 * 159; 0,0013 * 1000 * 159; \frac{0,4 * 1 * (0,5 * 3,2) * (0,17 * 1)}{224}\right)$$

$$A_{s,prov} > A_{s,min} = \max(265; 207; 485) = 485 \text{ mm}^2$$

$$1131 \text{ mm}^2 > 714 \text{ mm}^2 \text{ **Vyhovuje**}$$

Maximální plocha výztuže:

$$A_{s,prov} < A_{s,max} = 0,04 * A_c$$

$$A_{s,prov} < A_{s,max} = 0,04 * 1000 * 200 = 8000 \text{ mm}^2$$

$$1131 \text{ mm}^2 < 8000 \text{ mm}^2 \text{ **Vyhovuje**}$$

Maximální vzdálenost výztuže:

$$s < s_{max} = \min(2h; 300 \text{ mm})$$

$$s < s_{max} = \min(2 * 200; 300 \text{ mm})$$

$$s < s_{max} = \min(400; 300 \text{ mm}) = 300 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \text{ **Vyhovuje**}$$

Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_c > s_{min} = \max(1,2\emptyset; D_{max} + 5; 20 \text{ mm})$$

$$s_c > s_{min} = \max(1,2 * 12; 16 + 5; 20 \text{ mm})$$

$$100 - 12 > s_{min} = \max(14,4; 21; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

$$88 \text{ mm} > 21 \text{ mm} \text{ **Vyhovuje**}$$

Prvek	$A_{s,prov}$ [mm ²]	$A_{s,min}$ [mm ²]	$A_{s,min}$ [mm ²]	$A_{s,min} < A_{s,prov} < A_{s,max}$	s [mm]	s_{max} [mm]	$s < s_{max}$	s_c [mm]	s_{min} [mm]	$s_c > s_{min}$
1	1131	485	8000	OK	100	300	OK	88	21	OK
2a+	1131	485	8000	OK	100	300	OK	88	21	OK
2a-	565,5	485	8000	OK	200	300	OK	188	21	OK
2b+	565,5	485	8000	OK	200	300	OK	188	21	OK
2b-	565,5	485	8000	OK	200	300	OK	188	21	OK

Návrh rozdělovací výztuže:

$$A_{s,roz} > 0,25 * A_{s,prov}$$

$$A_{s,roz} > 0,25 * 1131 = 283 \text{ mm}^2$$

Návrh: $\varnothing 8$ po 150 mm ($A_{s,prov} = 335 \text{ mm}^2$)

Posouzení - Konstrukční zásady

Maximální vzdálenost výztuže:

$$s < s_{max} = \min(3h; 400 \text{ mm})$$

$$s < s_{max} = \min(3 * 200; 400 \text{ mm})$$

$$s < s_{max} = \min(600; 400 \text{ mm}) = 400 \text{ mm}$$

150 mm < 300 mm **Vyhovuje**

Prvek	$A_{s,roz,min}$	Návrh		$A_{s,prov}$	$A_{s,roz,min} < A_{s,roz}$	s	s_{max}	$s < s_{max}$
	[mm ²]	\varnothing	po[mm]	[mm ²]		[mm]	[mm]	
1	282,7	8	150	335	OK	150	400	OK
2a+	282,7	8	150	335	OK	150	400	OK
2a-	141,4	8	250	201	OK	250	400	OK
2b+	141,4	8	250	201	OK	250	400	OK
2b-	141,4	8	250	201	OK	250	400	OK

Ohybová štíhlost

$$\lambda = \frac{l}{d} = \frac{5500}{159} = 35$$

Vymežující ohybová štíhlost:

$$\lambda_d = K_{c1} * K_{c2} * K_{c3} * \lambda_{d,tab}$$

$$\lambda_d = 1 * 1 * 1,38 * 30 = 41$$

$$\lambda \leq \lambda_d$$

$$35 \leq 41 \text{ **Vyhovuje**}$$

$$K_{c1} = 1$$

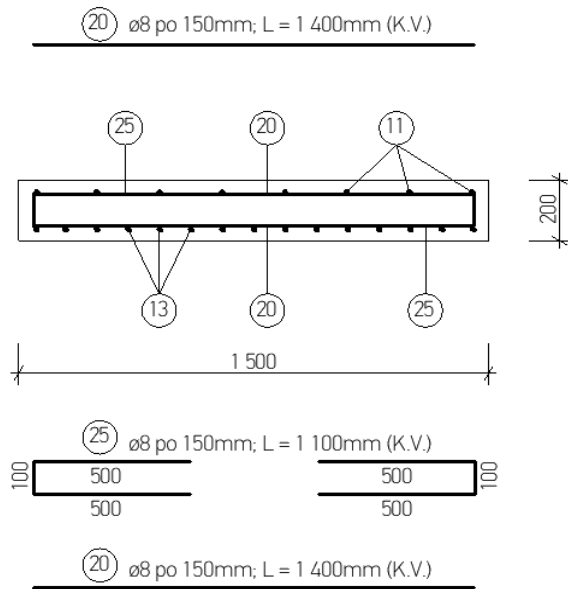
$$K_{c2} = \min\left(1; \frac{7}{l}\right) = \min\left(1; \frac{7}{5,5}\right) = 1$$

$$K_{c3} = \frac{500}{f_{yk}} * \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} = \frac{500}{500} * \frac{1131}{819} = 1,38$$

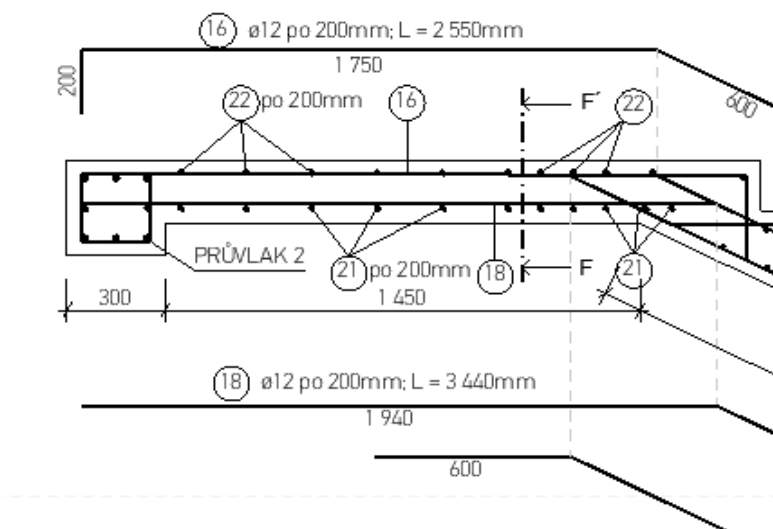
$$\rho = \frac{A_{s,prov}}{b * h} = \frac{1131}{1000 * 200} = 0,0057 = 0,57\%$$

$$\lambda_{d,tab} = 30$$

Výztuž desky D1



Výztuž desky D2



3.2 Průvlaky

Beton C 35/45 XC4 XF4 Cl 0,2 Dmax 16 S4

Ocel B 500B

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{35}{1,5} = 23,3 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$$

Předběžný návrh tloušťky

Empirický odhad:

$$h_1 = \frac{L}{15} - \frac{L}{12} = \frac{7150}{15} - \frac{7150}{12} = 476 - 596 = 300 \text{ mm}$$

$$b_1 = (0,4 - 0,5)h = (0,4 - 0,5) * 300 = 120 - 150 = 200 \text{ mm}$$

$$h_2 = \frac{L}{15} - \frac{L}{12} = \frac{3400}{15} - \frac{3400}{12} = 227 - 283 = 300 \text{ mm}$$

$$b_2 = (0,4 - 0,5)h = (0,4 - 0,5) * 300 = 120 - 150 = 300 \text{ mm}$$

pozn. Velmi málo zatížený průvlak

pozn. Estetika

Návrh krycí vrstvy:

Minimální krycí vrstva:

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm})$$

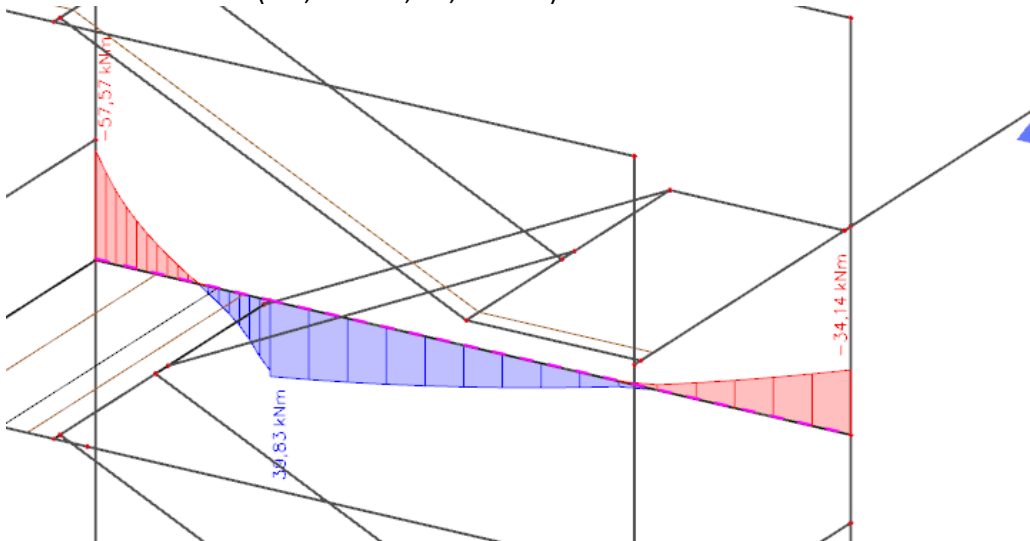
$$c_{min} = \max(16; 30 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 30 \text{ mm}$$

Nominální krycí vrstva:

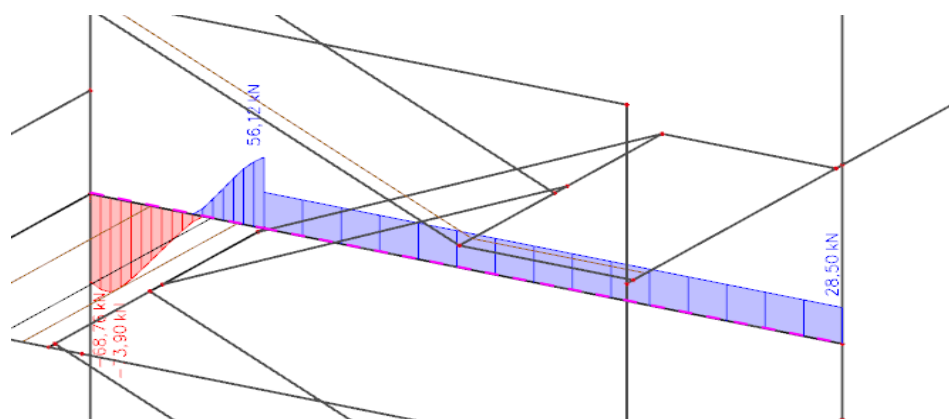
$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = 30 + 10 = 40 \text{ mm}$$

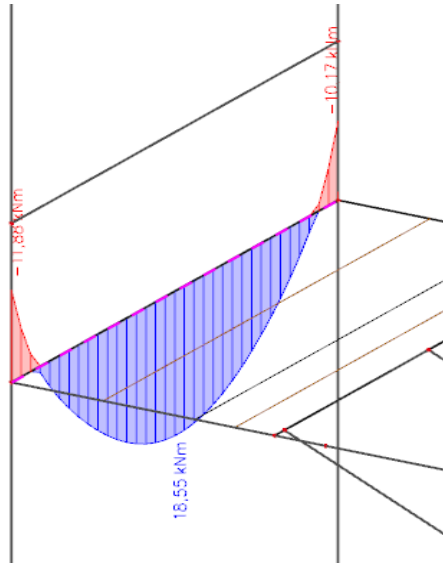
Průvlak 1 - Moment (-57,57 kNm; 38,83 kNm)



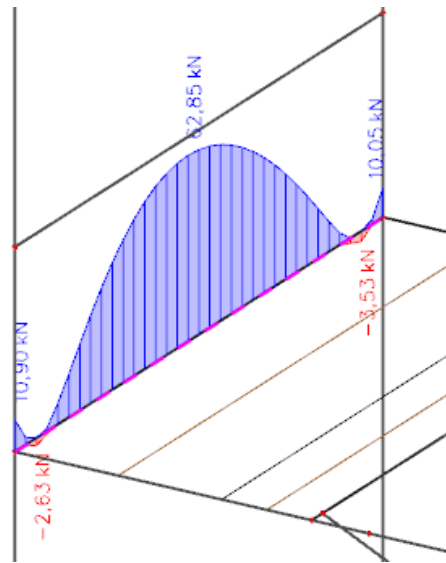
Průvlak 1 - Normálová síla (-73,90 kN; 56,12 kN)



Průvlak 2 - Moment (-11,88 kNm; 18,55 kNm)



Průvlak 2 - Normálová síla (62,85 kN)



- Průvlak 1+ = Podélný průvlak (nejzatíženější prvek viz. SCIA výpočet) v poli
- Průvlak 1- = Podélný průvlak (nejzatíženější prvek viz. SCIA výpočet) v podpoře
- Průvlak 2+ = Příčný průvlak (nejzatíženější prvek viz. SCIA výpočet) v poli
- Průvlak 2- = Příčný průvlak (nejzatíženější prvek viz. SCIA výpočet) v podpoře

Návrh výztuže:

$$d = h - c_{nom} - \phi_{tř} - \frac{\phi}{2} = 300 - 40 - 6 - 8 = 246 \text{ mm}$$

$$z = \frac{h}{2} - c - \phi_{tř} - \phi_{tř} = 150 - 40 - 6 - 8 = 96 \text{ mm}$$

Poměrný ohybový moment:

$$\mu_{ed} = \frac{M_{ed} - N_{ed} * z}{b * d^2 * f_{cd}} = \frac{45 * 10^6 - 56 * 10^3 * 96}{200 * 246^2 * 23,3} = 0,123 \rightarrow \omega = 0,13$$

$$A_{s,req} = \omega * b * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_{ed}}{f_{yd}} = 0,13 * 200 * 246 * \frac{23,3}{435} + \frac{56 * 10^3}{435} = 471 \text{ mm}^2$$

Návrh: 3x Ø16 (A_{s,prov} = 603 mm²)

Výška tlačené oblasti:

$$x = d * \xi = 246 * 0,16 = 42 \text{ mm}$$

Poměrná výška tlačené oblasti:

$$\xi = 0,16 < 0,45 \text{ **Vyhovuje**}$$

Návrhový moment:

$$M_{rd} = 0,8 * b * x * f_{cd} * 0,5 * (h - \lambda x) + A_s * f_{yd} * z$$

$$M_{rd} = 0,8 * 200 * 42 * 23,3 * 0,5 * (300 - 0,8 * 42) + 603 * 435 * 96 = 46 \text{ kNm}$$

$$M_{rd} > M_{ed}$$

$$46 \text{ kNm} > 40 \text{ kNm} \text{ **Vyhovuje**}$$

Prvek	M _{ed}	N _{ed}	μ	ω	A _{s,req}	Návrh		A _{s,prov}	ξ	x	m _{rd}	m _{rd} > m _{ed}
	[kNm]	[kN]				∅	n					
1+	40	56	0,123	0,13	471	16	3	603,19	0,16	42,2	46,1	OK
1-	-58	-74	0,231	0,27	541	16	3	603,19	0,33	87,1	62,6	OK
2+	19	63	0,046	0,05	277	12	3	339,29	0,08	21,1	30,9	OK
2-	-12	11	0,039	0,04	131	12	3	339,29	0,07	18,5	28,9	OK

Pozn. Průvlak č. 1 z důvodu průběhu napětí volíme oboustranně vyztužený

Návrh P1: 6x ∅16 mm (A_{s,prov} = 1206 mm²)

Posouzení únosnost - Interakční diagram

Bod 0 - Dostředný tlak

$$N_{rd,0} = -(b * h * f_{cd} + \Sigma A_s * \sigma_s) = -(200 * 300 * 23,3 + 1206 * 400) = -1880 \text{ kN}$$

$$M_{rd,0} = 0$$

Bod 1 - Nulové přetvoření tažené výztuže

$$N_{rd,1} = -(b * \lambda * d * f_{cd} + A_{s2} * f_{yd}) = -(200 * 0,8 * (300 - 40 - 6 - 8) * 23,3 + 603 * 435) = -1180 \text{ kN}$$

$$M_{rd,1} = b * \lambda * d * f_{cd} * 0,5 * (h - \lambda * d) + A_{s2} * z * f_{yd} = 200 * 0,8 * 246 * 23,3 * 0,5 * (300 - 0,8 * 246) + 603 * 96 * 435 = 73 \text{ kNm}$$

Bod 2 - Tažená výztuž na mezi kluzu

$$N_{rd,2} = -(b * \lambda * \xi_{bal} * d * f_{cd}) = -(200 * 0,8 * 0,617 * 246 * 23,3) = -567 \text{ kN}$$

$$M_{rd,2} = b * \lambda * \xi_{bal} * d * f_{cd} * 0,5 * (h - \lambda * \xi_{bal} * d) + A_{s1} * f_{yd} * z + A_{s2} * f_{yd} * z = 200 * 0,8 * 0,617 * 246 * 23,3 * 0,5 * (300 - 0,8 * 0,617 * 246) + 603 * 435 * 96 + 603 * 435 * 96 = 100 \text{ kNm}$$

Bod 3 - Prostý ohyb

$$N_{rd,3} = 0$$

$$\sigma_{s2}^2 * A_{s2} - \sigma_{s2} * (A_{s1} * f_{yd} + A_{s2} * \varepsilon_{cd} * E_s) + \varepsilon_{cd} * E_s * (A_{s1} * f_{yd} - 0,8 * b * f_{cd} * d_2) = 0$$

$$\sigma_{s2}^2 * 603 - \sigma_{s2} * (603 * 435 + 603 * 0,0035 * 200000) + 0,0035 * 200000$$

$$* (603 * 435 - 0,8 * 200 * 23,3 * 54) = 0$$

$$\sigma_{s2} = 66 \text{ MPa}$$

$$x = \frac{A_{s1} * f_{yd} + A_{s2} * \sigma_{s2}}{0,8 * b * f_{cd}} = \frac{603 * 435 + 603 * 66}{0,8 * 200 * 23,3} = 81 \text{ mm}$$

$$M_{rd,3} = 0,8 * b * x * f_{cd} * 0,5 * (h - \lambda * x) + A_{s2} * \sigma_{s2} * z + A_{s1} * f_{yd} * z = 0,8 * 200 * 81 * 23,3 * 0,5 * (300 - 0,8 * 81) - 603 * 66 * 96 + 603 * 435 * 96 = 57 \text{ kNm}$$

Bod 4 - Nulové přetvoření tlačené výztuže

$$N_{rd,4} = A_{s1} * f_{yd} - b * f_{cd} * (d_1 * \lambda) = 603 * 435 - 200 * 23,3 * (54 * 0,8) = 61 \text{ kN}$$

$$M_{rd,4} = A_{s1} * f_{yd} * z + b * (d_1 * \lambda) * f_{cd} * 0,5 * (h - \lambda * d_1) = 603 * 435 * 96 + 200 * (54 * 0,8) * 23,3 * 0,5 * (300 - 0,8 * 54) = 51 \text{ kN}$$

Bod 5 - Dostředný tah

$$N_{rd,5} = A_s * f_{yd} = 1202 * 435 = 524 \text{ kN}$$

$$M_{rd,5} = 0$$

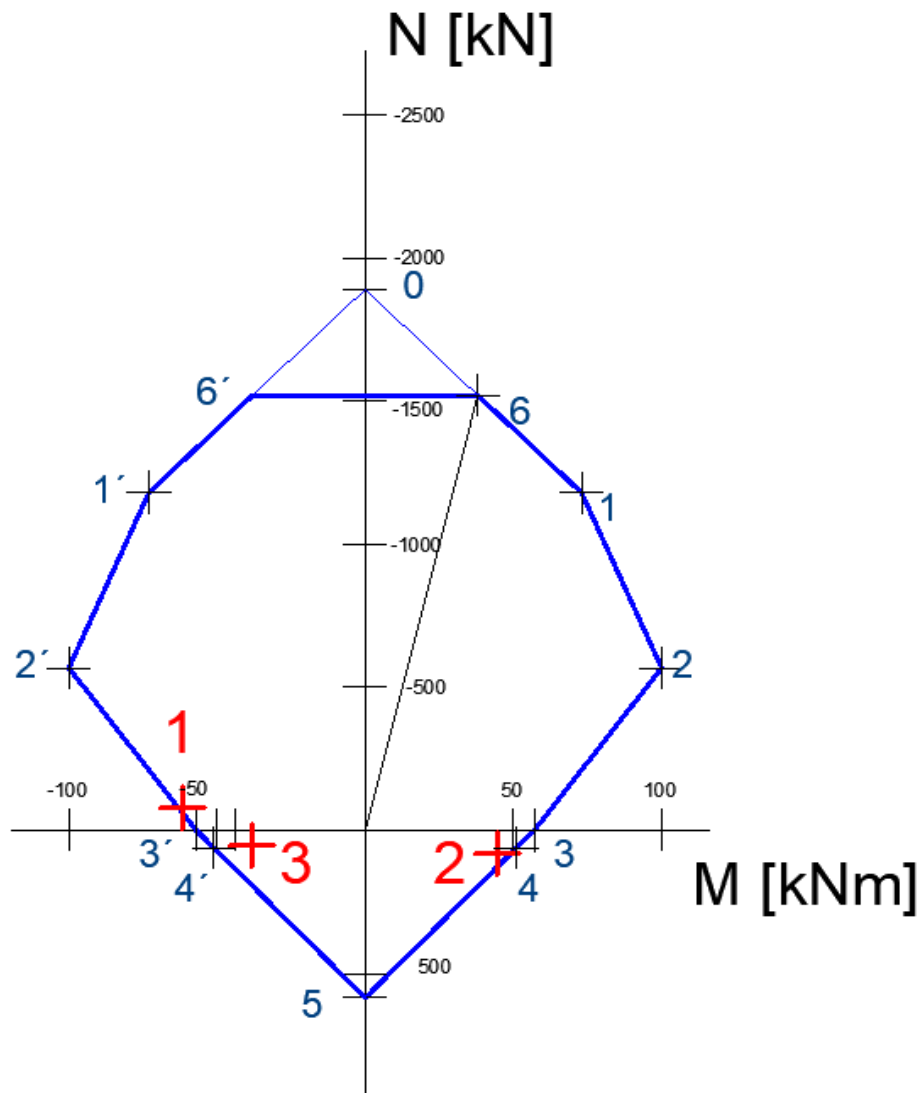
Omezení:

$$e = \max\left(\frac{h}{30}; 20\right) = \max(10; 20) = 20 \text{ mm}$$

$$M_0 = N_{rd,0} * e_0 = 1880 * 20 = 38 \text{ kNm}$$

Interakční diagram - Vykreslení

Bod 1	Bod 2	Bod 3
$M_{ed} = -62 \text{ kNm}$	$M_{ed} = 45 \text{ kNm}$	$M_{ed} = -38 \text{ kNm}$
$N_{ed} = -75 \text{ kN}$	$N_{ed} = 81 \text{ kN}$	$N_{ed} = 52 \text{ kN}$



Návrh vyhovuje

Posouzení - Konstrukční zásady

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,prov} > A_{s,min} = \max\left(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d; 0,0013 \cdot b \cdot d\right)$$

$$A_{s,prov} > A_{s,min} = \max\left(0,26 \cdot \frac{3,2}{500} \cdot 200 \cdot 246; 0,0013 \cdot 200 \cdot 246\right)$$

$$A_{s,prov} > A_{s,min} = \max(82; 64) = 82 \text{ mm}^2$$

$$1206 \text{ mm}^2 > 82 \text{ mm}^2 \text{ **Vyhovuje**}$$

Maximální plocha výztuže:

$$A_{s,prov} < A_{s,max} = 0,04 * A_c$$

$$A_{s,prov} < A_{s,max} = 0,04 * 300 * 200 = 2400 \text{ mm}^2$$

$$1206 \text{ mm}^2 < 2400 \text{ mm}^2 \text{ **Vyhovuje**}$$

Maximální vzdálenost výztuže:

$$s < s_{max} = \min(2h; 300 \text{ mm})$$

$$s < s_{max} = \min(2 * 300; 300 \text{ mm})$$

$$s < s_{max} = \min(600; 300 \text{ mm}) = 300 \text{ mm}$$

$$46 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \text{ **Vyhovuje**}$$

Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_c > s_{min} = \max(1,2\phi; D_{max} + 5; 20 \text{ mm})$$

$$s_c > s_{min} = \max(1,2 * 16; 16 + 5; 20 \text{ mm})$$

$$s_c > s_{min} = \max(19,2; 21; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

$$30 \text{ mm} > 21 \text{ mm} \text{ **Vyhovuje**}$$

$$s = \frac{b - 2c - 2\phi_{tř} - \phi_s}{n - 1}$$

$$s = \frac{200 - 2 * 40 - 2 * 6 - 16}{3 - 1}$$

$$s = 46 \text{ mm}$$

$$s_c = \frac{b - 2c - 2\phi_{tř} - n\phi_s}{n - 1}$$

$$s_c = \frac{200 - 2 * 40 - 2 * 6 - 3 * 16}{3 - 1}$$

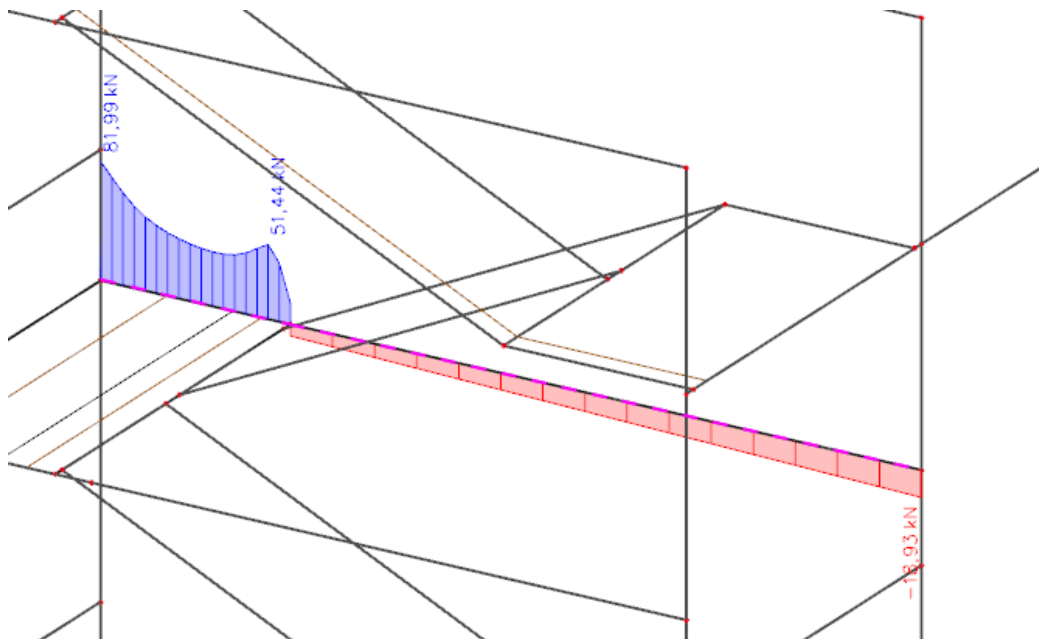
$$s_c = 30 \text{ mm}$$

Prvek	$A_{s,prov}$ [mm ²]	$A_{s,min}$ [mm ²]	$A_{s,min}$ [mm ²]	$A_{s,min} < A_{s,prov} < A_{s,max}$	S [mm]	S_{max} [mm]	$S < S_{max}$	S_c [mm]	S_{min} [mm]	$S_c > S_{min}$
1+	1206	82	2400	OK	46	300	OK	30	21	OK
1-	1206	82	2400	OK	46	300	OK	30	21	OK
2+	339,3	123	3600	OK	96	300	OK	80	21	OK
2-	339,3	123	3600	OK	96	300	OK	80	21	OK

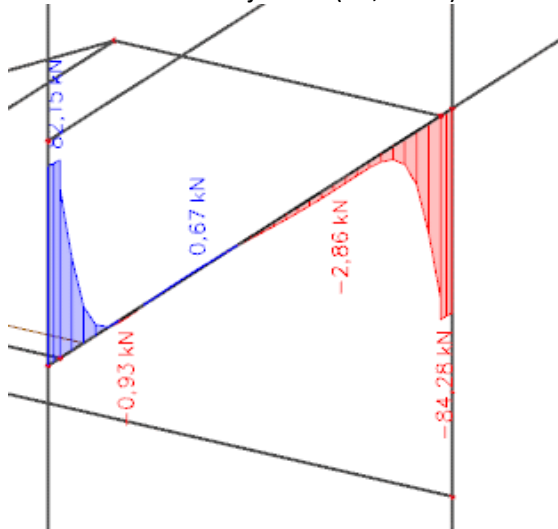
Návrh smykové výztuže:

pozn. Z důvodu nelinearity průběhu posouvající síly navrhujeme tříminky rovnoměrně po délce prvku.

Průvlak 1 - Posouvající síla (81,99 kN; -19,93 kN)



Průvlak 2 - Posouvající síla (84,28 kN)



Únosnost tlačené diagonály:

$$V_{rd,max} = v * f_{cd} * b * z * \frac{\cot\theta}{1 + \cot^2\theta}$$

$$V_{rd,max} = 0,516 * 23,3 * 200 * 229 * \frac{1,5}{1 + 1,5^2}$$

$$V_{rd,max} = 254 \text{ kN}$$

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

$$v = 0,6 * \left(1 - \frac{35}{250}\right) = 0,516$$

$$V_{ed} < V_{rd,max}$$

82 kN < 254 kN **Vyhovuje**

Návrh smykové výztuže:

$$s_1 > \frac{A_{sw} * f_{yd} * z * \cot\theta}{V_{ed}}$$

$$s_1 > \frac{56,5 * 435 * 234 * 1,5}{82000} = 103 \text{ mm}$$

Plocha jednoho třmínku:

$$A_{sw} = \frac{n * \pi * \phi^2}{4}$$

$$A_{sw} = \frac{2 * \pi * 6^2}{4} = 56,5 \text{ mm}^2$$

Návrh: Třmínek $\phi 6$ po 100mm

Posouzení smykové výztuže:

$$V_{ed} < V_{rd}$$

$$V_{ed} < \frac{A_{sw} * f_{yd}}{s_1} * z * \cot\theta$$

$$V_{ed} < \frac{56,5 * 435}{100 * 1000} * 229 * 1,5 = 85$$

82 kN < 85 kN **Vyhovuje**

Posouzení maximální vzálenosti:

$$s < s_{max} = \min(0,75d; 400 \text{ mm})$$

$$s < s_{max} = \min(0,75 * 246; 400 \text{ mm})$$

$$s < s_{max} = \min(185; 400 \text{ mm}) = 185 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} < 185 \text{ mm} \text{ **Vyhovuje**}$$

Průvlak 1a = Podélný průvlak (nejzatíženější prvek viz. SCIA výpočet) v místě hlavní podesty

Průvlak 1b = Podélný průvlak (nejzatíženější prvek viz. SCIA výpočet) v nezatíženém poli

Průvlak 2a = Příčný průvlak (nejzatíženější prvek viz. SCIA výpočet) 500mm od podpory

Průvlak 2b = Příčný průvlak (nejzatíženější prvek viz. SCIA výpočet) v poli

Prvek	V _{ed} [kN]	Návrh		A _{sw} [mm ²]	V _{rd} [kN]	V _{rd} > V _{ed} [kN]	S _{max} [mm]	s < S _{max}
		∅	po					
1a	82	6	100	56,5	84,5	OK	184,5	OK
1b	20	6	180	56,5	46,9	OK	184,5	OK
2a	82	6	100	56,5	84,5	OK	184,5	OK
2b	5	6	180	56,5	46,9	OK	184,5	OK

Kontrola stupně vyztužení:

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b * s} = \frac{56,5}{200 * 100} = 0,002827$$

Minimální smykové vyztužení:

$$\rho_{sw} > \rho_{sw,min} = \frac{0,08 * \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

$$\rho_{sw} > \rho_{sw,min} = \frac{0,08 * \sqrt{35}}{500} = 0,000947$$

0,002827 > 0,000947 **Vyhovuje**

Maximální smykové vyztužení:

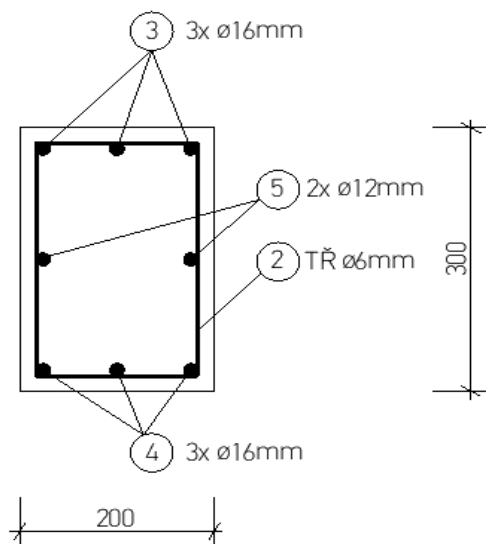
$$\rho_{sw} < \rho_{sw,max} = \frac{0,5 * v * f_{cd}}{f_{ywd}}$$

$$\rho_{sw} < \rho_{sw,max} = \frac{0,5 * 0,516 * 23,3}{435} = 0,0138$$

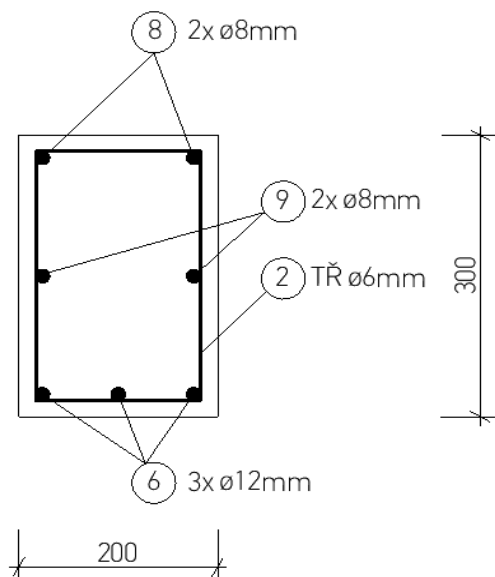
0,002827 < 0,0138 **Vyhovuje**

Prvek	ρ _{sw,min}	ρ _{sw}	ρ _{sw,max}	ρ _{sw,min} < ρ _{sw} < ρ _{sw,max}
1+	0,000947	0,002827	0,0138	OK
1-	0,000947	0,001571	0,0138	OK
2+	0,000947	0,002827	0,0138	OK
2-	0,000947	0,001571	0,0138	OK

Výztuž průvlaku P1



Výztuž průvlaku P2



3.3 Sloupy

Beton C 35/45 XC4 XF4 Cl 0,2 Dmax 16 S4
Ocel B 500B

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{35}{1,5} = 23,3 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$$

Předběžný návrh rozměrů

Návržený rozměr: 200x300 mm

Návrh krycí vrstvy:

Minimální krycí vrstva:

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm})$$

$$c_{min} = \max(16; 30 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 30 \text{ mm}$$

Nominální krycí vrstva:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = 30 + 10 = 40 \text{ mm}$$

Geometrické imperfekce:

Odklon úhlu od svislice:

$$\theta_0 = \frac{1}{200}$$

Redukční součinitel výšky:

$$\alpha_h = \min\left(\max\left(\frac{2}{3}; \frac{2}{\sqrt{h}}\right); 1\right) = \min\left(\max\left(\frac{2}{3}; \frac{2}{\sqrt{3,8}}\right); 1\right) = \min(1,025; 1) = 1$$

Redukční součinitel počtu sloupů:

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{3}\right)} = 0,87$$

Účinná vzpěrná délka sloupu:

$$l_0 = 0,8 * l = 0,8 * 3,8 = 3,04 \text{ m}$$

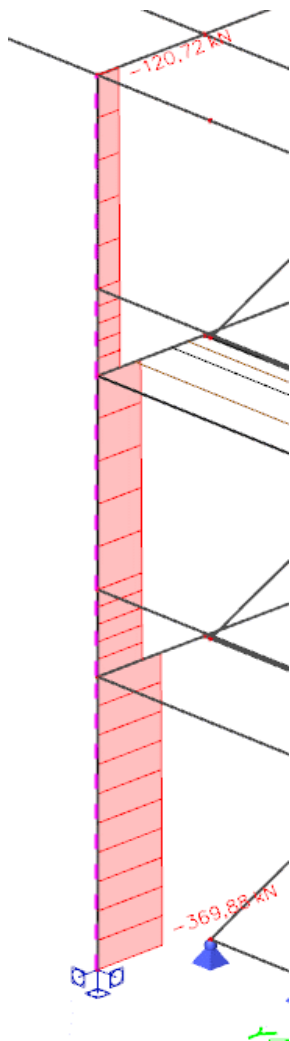
Výstřednosti:

$$e_i = \theta_0 * \alpha_h * \alpha_m * \frac{l_0}{2} = \frac{1}{200} * 1 * 0,87 * \frac{3,04}{2} = 0,0066 \text{ m}$$

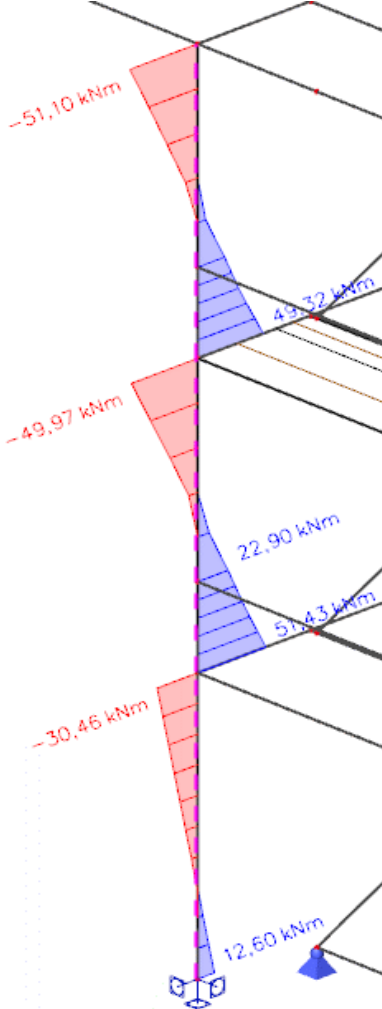
Moment od geometrické imperfekce v průřezu:

$$M_{imp} = N_{ed} * e_i$$

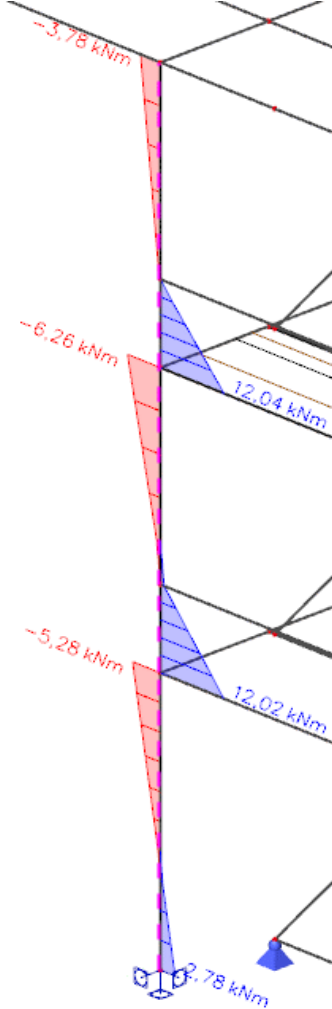
Sloup - Normálový síla



Moment - My



Moment - Mz



Posouzení nejzatíženějšího sloupu:

	N_{ed} [kN]	M_{imp} [kNm]
3.Patro		
Hlava	121	0,8
Pata	129	0,9
2.Patro		
Hlava	247	1,6
Pata	255	1,7
1.Patro		
Hlava	363	2,4
Pata	370	2,4

M [kNm]	Hlava	Pata	M_{01}/M_{02}
M_{ed}	-51	50	-0,980
$M_{ed} + M_{imp}$	-50,2	50,9	-1,013
$M_{ed} - M_{imp}$	-51,8	49,1	-0,949
M_{ed}	-50	52	-1,040
$M_{ed} + M_{imp}$	-48,4	53,7	-1,110
$M_{ed} - M_{imp}$	-51,6	50,3	-0,975
M_{ed}	-31	13	-0,419
$M_{ed} + M_{imp}$	-28,6	15,4	-0,540
$M_{ed} - M_{imp}$	-33,4	10,6	-0,316

Nejnepříznivější hodnoty:

$N_{ed} = 370$

$M_{01}/M_{02} = -0,32$

Štíhlost sloupu

$$\lambda = \frac{l_0}{i}$$

Poloměr setrvačnosti:

$$i = \sqrt{\frac{I}{Ac}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} * 200 * 300^3}{200 * 300}} = 86,6 \text{ mm}$$

Limitní štíhlost:

$$\lambda_{lim} = \frac{20 * A * B * C}{\sqrt{n}} < 75$$

$$n = \frac{N_{ed}}{A_c * f_{cd}}$$

$$C = 1,7 - \frac{M_{01}}{M_{02}}$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 * 0,7 * 1,1 * 2,02}{\sqrt{0,265}} < 75$$

$$n = \frac{370000}{200 * 300 * 23,3}$$

$$C = 1,7 + 0,32 = 2,02$$

$$n = 0,265$$

$$\lambda_{lim} = 60,4 < 75$$

Posouzení štíhlosti:

$$\lambda = \frac{3040}{86,6} = 35$$

$$\lambda < \lambda_{lim}$$

35 < 60,4 **Vyhovuje** → **sloup není štíhlý**

Návrh výztuže:

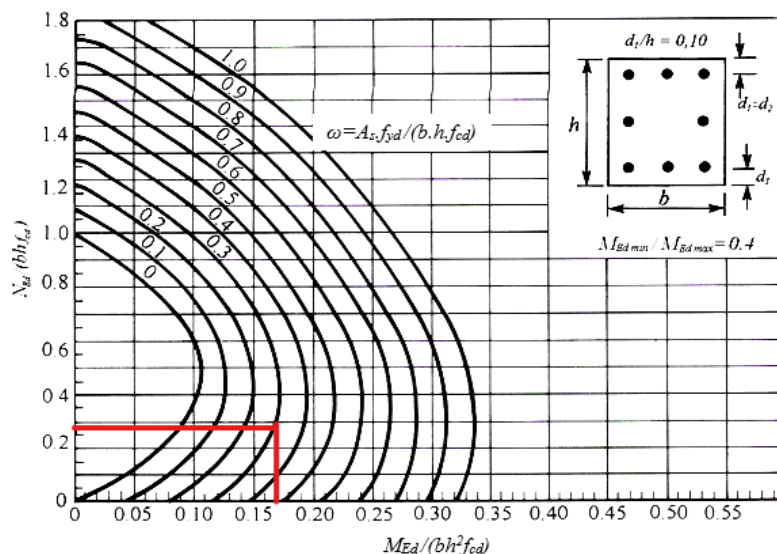
Poměrná normálová síla:

$$n = \frac{N_{ed}}{b * h * f_{cd}} = \frac{370000}{200 * 300 * 23,3} = 0,27$$

Poměrný ohybový moment:

$$m = \frac{M_{ed}}{b * h^2 * f_{cd}} = \frac{51000000}{200 * 300^2 * 23,3} = 0,17$$

Užití nomogramu pro šikmý ohyb:



$$w = 0,3$$

$$A_{s,req} = \frac{w * b * h * f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{0,3 * 200 * 300 * 23,3}{435} = 964 \text{ mm}^2$$

Návrh: 8x Ø14 mm (A_{s,prov} = 1232 mm²)

Posouzení únosnost - Interakční diagram

Bod 0 - Dostředný tlak

$$N_{rd,0} = -(b * h * f_{cd} + \Sigma A_s * \sigma_s) = -(200 * 300 * 23,3 + 8 * (154 * 400)) = -1891 \text{ kN}$$

$$M_{rd,0} = 0$$

Bod 1 - Nulové přetvoření tažené výztuže

$$N_{rd,1} = -(b * \lambda * d * f_{cd} + A_{s2} * f_{yd})$$

$$= -(200 * 0,8 * (300 - 40 - 6 - 7) * 23,3 + 3 * 154 * 435) = -1122 \text{ kN}$$

$$M_{rd,1} = b * \lambda * d * f_{cd} * 0,5 * (h - \lambda * d) + A_{s2} * z * f_{yd}$$

$$= 200 * 0,8 * 247 * 23,3 * 0,5 * (300 - 0,8 * 247) + 3 * 154 * 97 * 435 = 67 \text{ kNm}$$

Bod 2 - Tažená výztuž na mezi kluzu

$$N_{rd,2} = -(b * \lambda * \xi_{bal} * d * f_{cd}) = -(200 * 0,8 * 0,617 * 247 * 23,3) = -568 \text{ kN}$$

$$M_{rd,2} = b * \lambda * \xi_{bal} * d * f_{cd} * 0,5 * (h - \lambda * \xi_{bal} * d) + A_{s1} * f_{yd} * z + A_{s2} * f_{yd} * z$$

$$= 200 * 0,8 * 0,617 * 247 * 23,3 * 0,5 * (300 - 0,8 * 0,617 * 247) + 3 * 154 * 435 * 97$$

$$+ 3 * 154 * 435 * 97 = 90 \text{ kNm}$$

Bod 3 - Prostý ohyb

$$N_{rd,3} = 0$$

$$\sigma_{s2}^2 * A_{s2} - \sigma_{s2} * (A_{s1} * f_{yd} + A_{s2} * \varepsilon_{cd} * E_s) + \varepsilon_{cd} * E_s * (A_{s1} * f_{yd} - 0,8 * b * f_{cd} * d_2) = 0$$

$$\sigma_{s2}^2 * 462 - \sigma_{s2} * (462 * 435 + 462 * 0,0035 * 200000) + 0,0035 * 200000$$

$$* (462 * 435 - 0,8 * 200 * 23,3 * 53) = 0$$

$$\sigma_{s2} = 4,5 \text{ MPa}$$

$$x = \frac{A_{s1} * f_{yd} + A_{s2} * \sigma_{s2}}{0,8 * b * f_{cd}} = \frac{462 * 435 + 462 * 4,5}{0,8 * 200 * 23,3} = 54 \text{ mm}$$

$$M_{rd,3} = 0,8 * b * x * f_{cd} * 0,5 * (h - \lambda * x) + A_{s2} * \sigma_{s2} * z + A_{s1} * f_{yd} * z$$

$$= 0,8 * 200 * 54 * 23,3 * 0,5 * (300 - 0,8 * 54) - 462 * 4,5 * 97 + 462 * 435 * 97 = 45 \text{ kNm}$$

Bod 4 - Nulové přetvoření tlačené výztuže

$$N_{rd,4} = A_{s1} * f_{yd} - b * f_{cd} * (d_1 * \lambda) = 462 * 435 - 200 * 23,3 * (53 * 0,8) = 3 \text{ kN}$$

$$M_{rd,4} = A_{s1} * f_{yd} * z + b * (d_1 * \lambda) * f_{cd} * 0,5 * (h - \lambda * d_1)$$

$$= 462 * 435 * 97 + 200 * (53 * 0,8) * 23,3 * 0,5 * (300 - 0,8 * 53) = 44 \text{ kN}$$

Bod 5 - Dostředný tah

$$N_{rd,5} = A_s * f_{yd} = 1232 * 435 = 536 \text{ kN}$$

$$M_{rd,5} = 0$$

Omezení:

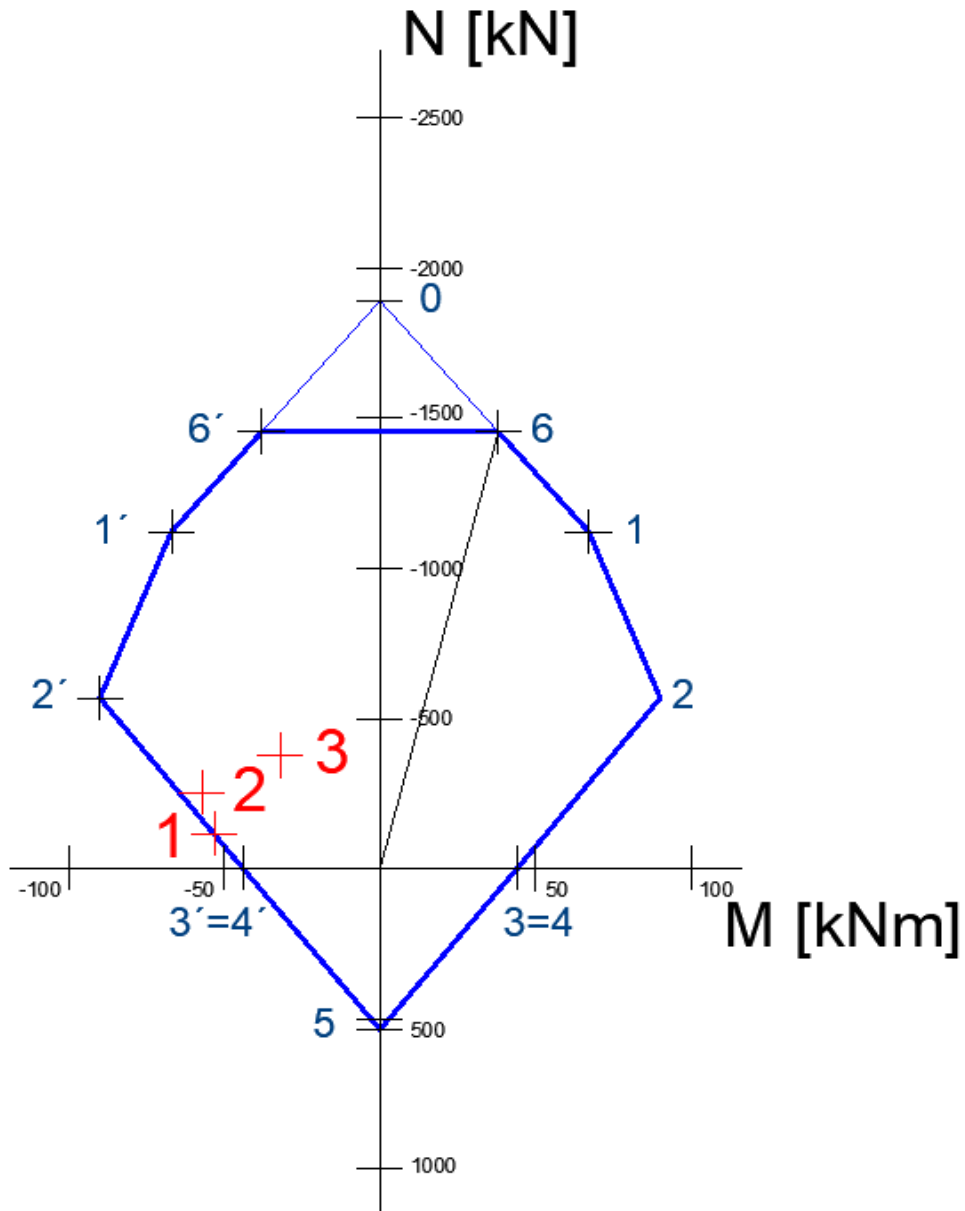
$$e = \max\left(\frac{h}{30}; 20\right) = \max(10; 20) = 20 \text{ mm}$$

$$M_0 = N_{rd,0} * e_0 = 1891 * 20 = 38 \text{ kNm}$$

Interakční diagram - Vykreslení

Bod 1	Bod 2	Bod 3
$M_{ed} = -51 \text{ kNm}$	$M_{ed} = -54 \text{ kNm}$	$M_{ed} = -32 \text{ kNm}$
$N_{ed} = -120 \text{ kN}$	$N_{ed} = -252 \text{ kN}$	$N_{ed} = 372 \text{ kN}$

- Bod 1 - Kombinace v hlavě sloupu 3.NP
- Bod 2 - Kombinace v patě sloupu 2.NP
- Bod 3 - Kombinace v hlavě sloupu 1.NP



Návrh výztuže vyhovuje

Posouzení - Konstrukční zásady

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,prov} > A_{s,min} = \max\left(\frac{0,10 * N_{ed}}{f_{yd}}; 0,002 * A_c\right)$$

$$A_{s,prov} > A_{s,min} = \max\left(\frac{0,10 * 375000}{435}; 0,002 * 200 * 300\right)$$

$$A_{s,prov} > A_{s,min} = \max(86; 120) = 120 \text{ mm}^2$$

$$1232 \text{ mm}^2 > 120 \text{ mm}^2 \text{ **Vyhovuje**}$$

Maximální plocha výztuže:

$$A_{s,prov} < A_{s,max} = 0,04 * A_c$$

$$A_{s,prov} < A_{s,max} = 0,04 * 200 * 300 = 2400 \text{ mm}^2$$

$$1232 \text{ mm}^2 < 2400 \text{ mm}^2 \text{ **Vyhovuje**}$$

Maximální vzdálenost výztuže:

$$s < s_{max} = 400 \text{ mm}$$

$$47 \text{ mm} < 400 \text{ mm} \text{ **Vyhovuje**}$$

$$s = \frac{b - 2c - 2\phi_{tř} - \phi_s}{n - 1}$$
$$s = \frac{200 - 2 * 40 - 2 * 6 - 14}{3 - 1}$$

$$s = 47 \text{ mm}$$

Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_c > s_{min} = \max(1,2\phi; D_{max} + 5; 20 \text{ mm})$$

$$s_c > s_{min} = \max(1,2 * 14; 16 + 5; 20 \text{ mm})$$

$$s_c > s_{min} = \max(16,8; 21; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

$$33 \text{ mm} > 21 \text{ mm} \text{ **Vyhovuje**}$$

$$s_c = \frac{b - 2c - 2\phi_{tř} - n\phi_s}{n - 1}$$
$$s_c = \frac{200 - 2 * 40 - 2 * 6 - 3 * 14}{3 - 1}$$

$$s_c = 33 \text{ mm}$$

Návrh smykové výztuže

$$\phi_{tř} > \frac{\phi_s}{4} = \frac{14}{4} = 3,5$$

Návrh třmínků: $\phi 6$

Rozteč třmínků ve střední oblasti:

$$s_1 < \min(15 * \phi; b; h; 300 \text{ mm})$$

$$s_1 < \min(15 * 14; 200; 300; 300 \text{ mm})$$

$$s_1 < \min(210; 200; 300; 300 \text{ mm}) = 200 \text{ mm}$$

$$s_1 = 200 \text{ mm}$$

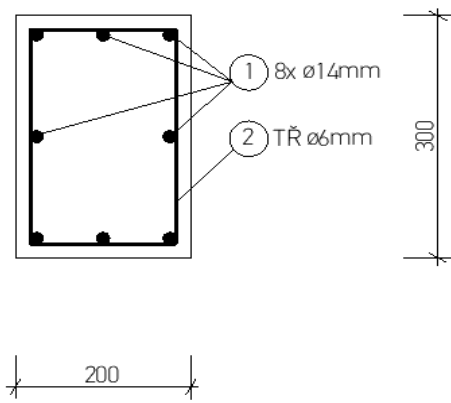
Rozteč třmínků v oblasti stykování:

$$s_2 < 0,6 * s_1$$

$$s_2 < 0,6 * 200 = 120 \text{ mm}$$

$$s_2 = 120 \text{ mm}$$

Výztuž sloupu



4 Výpočet kotevní délky

4.1 Desky

Základní kotevní délka

$$f_{bd} = 2,25 * n_1 * n_2 * f_{ctd}$$

$$f_{bd} = 2,25 * 1 * 1 * \left(\frac{2,2}{1,5}\right) = 3,3 \text{ Mpa}$$

$$l_{b,req} = \left(\frac{\emptyset}{4}\right) * \left(\frac{\sigma_s}{f_{bd}}\right)$$

$$l_{b,req} = \left(\frac{12}{4}\right) * \left(\frac{435}{3,3}\right) = 395 \text{ mm}$$

Minimální kotevní délka

$$l_{b,min} = \max(0,3 * l_{b,req}, 10\phi, 100 \text{ mm})$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 * 395, 10 * 12, 100 \text{ mm})$$

$$l_{b,min} = \max(119, 120, 100 \text{ mm}) = 120 \text{ mm}$$

Návrhová kotevní délka

$$l_{b,d} = \max(a_1 * a_2 * a_3 * a_4 * a_5 * l_{b,req}, l_{b,min})$$

$$l_{b,d} = \max(1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 395, 120) = 395 \text{ mm}$$

Délka přesahu stakování

$$l_{0,min} = \max(0,3 * a_6 * l_{b,req}, 15\phi, 200 \text{ mm})$$

$$l_{0,min} = \max(0,3 * 1,5 * 395, 15 * 12, 200 \text{ mm})$$

$$l_{0,min} = \max(179, 180, 200 \text{ mm}) = 200 \text{ mm}$$

$$l_0 = \max(a_1 * a_2 * a_3 * a_4 * a_5 * a_6 * l_{b,req}, l_{0,min})$$

$$l_0 = \max(1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1,5 * 395, 200)$$

$$l_0 = \max(593, 200) = 593 \text{ mm}$$

4.2 Průvlaky

Základní kotevní délka

$$f_{bd} = 2,25 * n_1 * n_2 * f_{ctd}$$

$$f_{bd} = 2,25 * 1 * 1 * \left(\frac{2,2}{1,5}\right) = 3,3 \text{ Mpa}$$

$$l_{b,req} = \left(\frac{\emptyset}{4}\right) * \left(\frac{\sigma_s}{f_{bd}}\right)$$

$$l_{b,req} = \left(\frac{16}{4}\right) * \left(\frac{435}{3,3}\right) = 527 \text{ mm}$$

Minimální kotevní délka

$$l_{b,min} = \max(0,3 * l_{b,req}, 10\phi, 100 \text{ mm})$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 * 527, 10 * 16, 100 \text{ mm})$$

$$l_{b,min} = \max(158, 160, 100 \text{ mm}) = 160 \text{ mm}$$

Návrhová kotevní délka

$$l_{b,d} = \max(a_1 * a_2 * a_3 * a_4 * a_5 * l_{b,req}, l_{b,min})$$

$$l_{b,d} = \max(1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 527, 160) = 527 \text{ mm}$$

Délka přesahu stakování

$$l_{0,min} = \max(0,3 * a_6 * l_{b,req}, 15\phi, 200 \text{ mm})$$

$$l_{0,min} = \max(0,3 * 1,5 * 527,15 * 16,200 \text{ mm})$$

$$l_{0,min} = \max(237,240,200 \text{ mm}) = 240 \text{ mm}$$

$$l_0 = \max(a_1 * a_2 * a_3 * a_4 * a_5 * a_6 * l_{b,req}, l_{0,min})$$

$$l_0 = \max(1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1,5 * 527,240)$$

$$l_0 = \max(791,240) = 791 \text{ mm}$$

4.3 Sloupy

Základní kotevní délka

$$f_{bd} = 2,25 * n_1 * n_2 * f_{ctd}$$

$$f_{bd} = 2,25 * 1 * 1 * \left(\frac{2,2}{1,5}\right) = 3,3 \text{ Mpa}$$

$$l_{b,req} = \left(\frac{\phi}{4}\right) * \left(\frac{\sigma_s}{f_{bd}}\right)$$

$$l_{b,req} = \left(\frac{14}{4}\right) * \left(\frac{435}{3,3}\right) = 461 \text{ mm}$$

Minimální kotevní délka

$$l_{b,min} = \max(0,3 * l_{b,req}, 10\phi, 100 \text{ mm})$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 * 461,10 * 14,100 \text{ mm})$$

$$l_{b,min} = \max(138,140,100 \text{ mm}) = 140 \text{ mm}$$

Návrhová kotevní délka

$$l_{b,d} = \max(a_1 * a_2 * a_3 * a_4 * a_5 * l_{b,req}, l_{b,min})$$

$$l_{b,d} = \max(1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 461,140) = 461 \text{ mm}$$

Délka přesahu stakování

$$l_{0,min} = \max(0,3 * a_6 * l_{b,req}, 15\phi, 200 \text{ mm})$$

$$l_{0,min} = \max(0,3 * 1,5 * 461,15 * 14,200 \text{ mm})$$

$$l_{0,min} = \max(207,210,200 \text{ mm}) = 210 \text{ mm}$$

$$l_0 = \max(a_1 * a_2 * a_3 * a_4 * a_5 * a_6 * l_{b,req}, l_{0,min})$$

$$l_0 = \max(1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1,5 * 461,210)$$

$$l_0 = \max(692,210) = 692 \text{ mm}$$