



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta stavební
Katedra betonových a zděných konstrukcí**

**Příloha č. 1:
Návrh stropní desky administrativní budovy**

Statický výpočet

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce: Ing. Josef Novák, Ph.D.

Lucie Bělohradská

Praha 2018

Obsah

1. Podklady pro zhotovení projektu, použitý software	2
1.1. Podklady pro zhotovení projektu	2
1.2. Použitý software.....	2
2. Údaje o objektu	3
3. Použité materiály.....	4
4. Krycí vrstva	5
5. Návrh rozměrů konstrukce	6
5.1. Tloušťka stropní desky	6
5.2. Rozměry obvodového průvlaku	7
6. Výpočetní model	9
7. MSÚ – návrh výztuže	13
7.1. Návrh ohybové výztuže	13
7.2. Posouzení ohybové výztuže	15
7.3. Návrh smykové výztuže.....	16
8. Posouzení desky na MSP	20
8.1. Výpočet průhybů na desce.....	20
8.1.1. Působení prvku při krátkodobém zatížení.....	20
8.1.2. Působení prvku při dlouhodobém zatížení.....	24
8.2. Mezní stav omezení napětí	28
8.3. Mezní stav omezení trhlin.....	29
9. Kotvení a přesahy	30
9.1. Kotevní a přesahová délka pro $\varnothing 16$ mm.....	30
9.2. Kotevní a přesahová délka pro $\varnothing 12$ mm.....	31

1. Podklady pro zhotovení projektu, použitý software

1.1. Podklady pro zhotovení projektu

- Projektová dokumentace stavebně architektonického řešení objektu
- ČSN ISO 2394 Obecné zásady spolehlivosti konstrukcí
- ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 206 Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
- ČSN 73 1201 – Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb

1.2. Použitý software

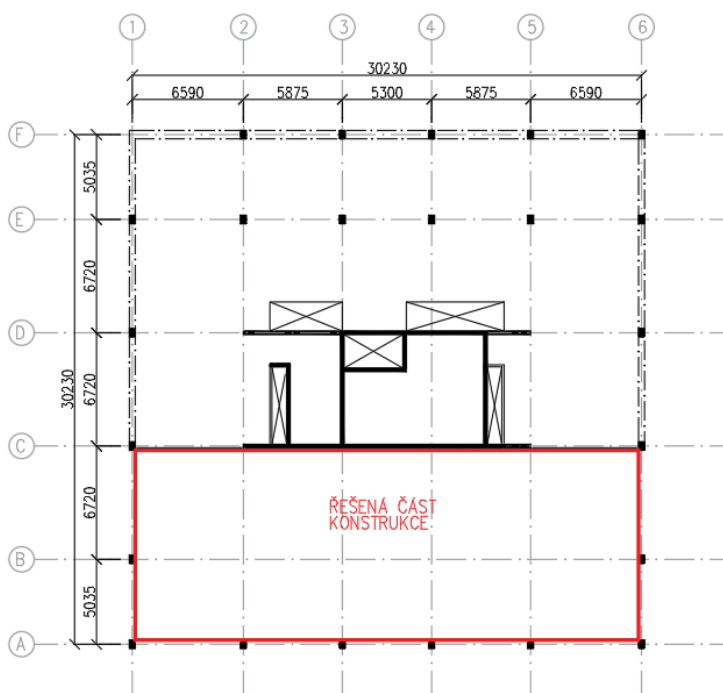
- Scia Engineer 17.1
- MS Excel 2016
- AutoCad 2018

2. Údaje o objektu

Předmětem práce je novostavba administrativní budovy v Praze. Objekt je umístěn na nezastavěné ploše a nijak nebude zasahovat do stávajících staveb.

Objekt má čtyři nadzemní, jedno podzemní podlaží a plochou střechu. Celkové půdorysné rozměry jsou 30,63x30,73 m. Nejvyšší bod nosné konstrukce je 18,35 m. Konstruktivní výška 1NP je 4 m, ostatní podlaží mají konstruktivní výšku 3,5 m. V 1PP se nachází garáže, v 1NP je několik kanceláří a kongresový sál s veškerým zázemím, vyšší NP jsou využívány pro administrativu. Střecha objektu je řešena jako nepochozí.

V objektu se nachází konferenční sál s plochou 160 m², ke kterému patří prostorná vstupní hala a další zázemí sálu. Ze zvolených dispozic vyplývá, že je nutné zastropit půdorys s rozměry 30,6 x 11,7 m. Deska bude řešena jako vylehčená stropní deska s obvodovými průvlaky.



Obr. 2.1: Schéma půdorysu 2NP

Podrobnější informace, včetně zatížení konstrukce, jsou popsány v kapitole 3 teoretické části bakalářské práce.

3. Použité materiály

Beton C30/37 – XC2, D_{max} 22 mm – S3

Charakteristická pevnost v tlaku	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
Návrhová pevnost v tlaku	$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 30/1,5 = 20 \text{ MPa}$
Střední hodnota pevnosti v tahu za ohybu	$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$
Modul pružnosti	$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$

Betonářská výztuž B500B

Charakteristická mez kluzu	$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
Návrhová pevnost výztuže	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 500/1,15 = 435 \text{ MPa}$
Modul pružnosti	$E_s = 200 \text{ GPa}$

4. Krycí vrstva

Vstupní parametry konstrukce:

Předpokládaná výztuž:	$\varnothing_d = 16 \text{ mm}$ (odhad)
Stupeň vlivu prostředí:	XC2
Třída konstrukce:	S3
Životnost:	50 let

Minimální krycí vrstva:

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

$$c_{min,b} = \varnothing_d = 16 \text{ mm} \quad \textit{minimální krycí vrstva z hlediska soudržnosti}$$

$$c_{min,dur} = 20 \text{ mm} \quad \textit{min. krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí}$$

$$\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm} \quad \textit{přídavná bezpečnostní složka}$$

$$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm} \quad \textit{redukce při použití nerezové oceli}$$

$$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm} \quad \textit{redukce při použití přídavné ochrany}$$

$$c_{min} = \max(16; 20 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 20 \text{ mm}$$

Návrhová odchylka:

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

Nominální krycí vrstva:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 20 + 10 = 30 \text{ mm}$$

Návrh: Krycí vrstva výztuže 30 mm

5. Návrh rozměrů konstrukce

5.1. Tloušťka stropní desky

Maximální rozpětí stropní desky $l_{max} = 11,755$ m.

Empirické vztahy:

$$h_d = \frac{1}{30} \cdot l_{max} = \frac{1}{30} \cdot 11755 = 392 \text{ mm}$$

Dle tabulky 2.4 je výrobcem doporučený typ vylehčovacího prvku BD450 (tl. desky 450 až 500 mm).

Ohybová štíhlost:

$$\lambda = \frac{l}{d} \leq \lambda_{lim} = \kappa_{c1} \cdot \kappa_{c2} \cdot \kappa_{c3} \cdot \lambda_{d,tab}$$

$$\kappa_{c1} = 1$$

součinitel tvaru průřezu

$$\kappa_{c2} = 7/l_{max} = 7/11,755 = 0,6$$

součinitel rozpětí

$$\kappa_{c3} = 1,3$$

součinitel napětí tahové výztuže

$$\lambda_{d,tab} = 26$$

*pro krajní pole spojitého nosníku , stupeň
výztužení 0,5 %, beton C30/37*

$$d \geq \frac{l_{max}}{\kappa_{c1} \cdot \kappa_{c2} \cdot \kappa_{c3} \cdot \lambda_{d,tab}} = \frac{11750}{1 \cdot 0,6 \cdot 1,3 \cdot 26} = 584 \text{ mm}$$

$$h_d = d + \frac{\emptyset}{2} + c_{nom} = 584 + \frac{16}{2} + 30 = 622 \text{ mm}$$

Výpočet tloušťky desky s ohledem na ohybovou štíhlost je odvozen pro plné desky. Proto je pro tento návrh pouze informativní a není nutné se podle něj řídit.

Návrh tloušťky desky: $h_d = 450$ mm

5.2. Rozměry obvodového průvlaku

Maximální rozpětí průvlaku $l_T = 6,59$ m.

$$h_T = \left(\frac{1}{12} - \frac{1}{10}\right) \cdot l_{max} = \left(\frac{1}{12} - \frac{1}{10}\right) \cdot 6590 = 550 - 659 \text{ mm}$$

Návrh: $h_T = 700$ mm

$b_t = 500$ mm

Ověření návrhu průřezu:

Zatížení průvlaku:

Typ	Název	Zatížení [kN/m ²]	Zatěž. šířka [m]	Char. hodnota zatížení [kN/m]	Souč. [-]	Návrhová hodnota zatížení [kN/m]
Stálé	Podlaha	0,32	5,88	1,88	1,35	2,54
	Podhled	0,12	5,88	0,71	1,35	0,95
	Rezerva pro TZB	0,20	5,88	1,18	1,35	1,59
	Deska	7,43	5,88	43,69	1,35	59
	Vl. tíha	-	-	8,75	1,35	11,81
	CELKEM				$g_k = 56,20$	
Proměnné	Užitné	2,5	5,88	14,70	1,5	22,05
	Příčky	0,8	5,88	4,70	1,5	7,06
	CELKEM			$q_k = 19,40$		$q_d = 29,11$
CELKEM				$(g+q)_k = 75,61$		$(g+q)_d = 104,98$

Odhad vnitřních sil na průvlaku:

$$M_{Ed,max} = \frac{1}{10} \cdot f_T \cdot l_T^2 = \frac{1}{10} \cdot 104,98 \cdot 6,59^2 = 455,9 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,max} = \frac{3}{5} \cdot f_T \cdot l_T = \frac{3}{5} \cdot 104,98 \cdot 6,59 = 415,1 \text{ kN}$$

Ověření z hlediska ohybového namáhání:

$$d_t = h_t - c_{nom} - \frac{\phi}{2} - \phi_{sw} = 700 - 30 - \frac{20}{2} - 10 = 650 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{M_{Ed,max}}{b_{eff} \cdot d_T^2 \cdot f_{cd}} = \frac{455,9 \cdot 10^6}{500 \cdot 650^2 \cdot 20} = 0,108 \rightarrow \zeta = 0,943$$

$$\rightarrow \xi = 0,143 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Stupeň vyztužení:

$$\rho_{s,Rqd} = \frac{\frac{M_{Ed,max}}{\zeta \cdot d_t \cdot f_{yd}}}{b_t \cdot d_t} = \frac{\frac{455,9 \cdot 10^6}{0,943 \cdot 650 \cdot 435}}{1000 \cdot 650} = 0,0053$$

$$\rho_{s,Rqd} \leq \rho_{s,max}$$

$$0,0053 \leq 0,04 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Ověření tlačené diagonály:

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

$$\cot g\theta = 1,3$$

$$V_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot b_t \cdot \zeta \cdot d_T \frac{\cot g\theta}{1 + \cot g^2\theta} = 0,528 \cdot 20 \cdot 500 \cdot 0,943 \cdot 650 \cdot \frac{1,3}{1 + 1,3^2}$$
$$= 1564 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} \geq V_{Ed,1}$$

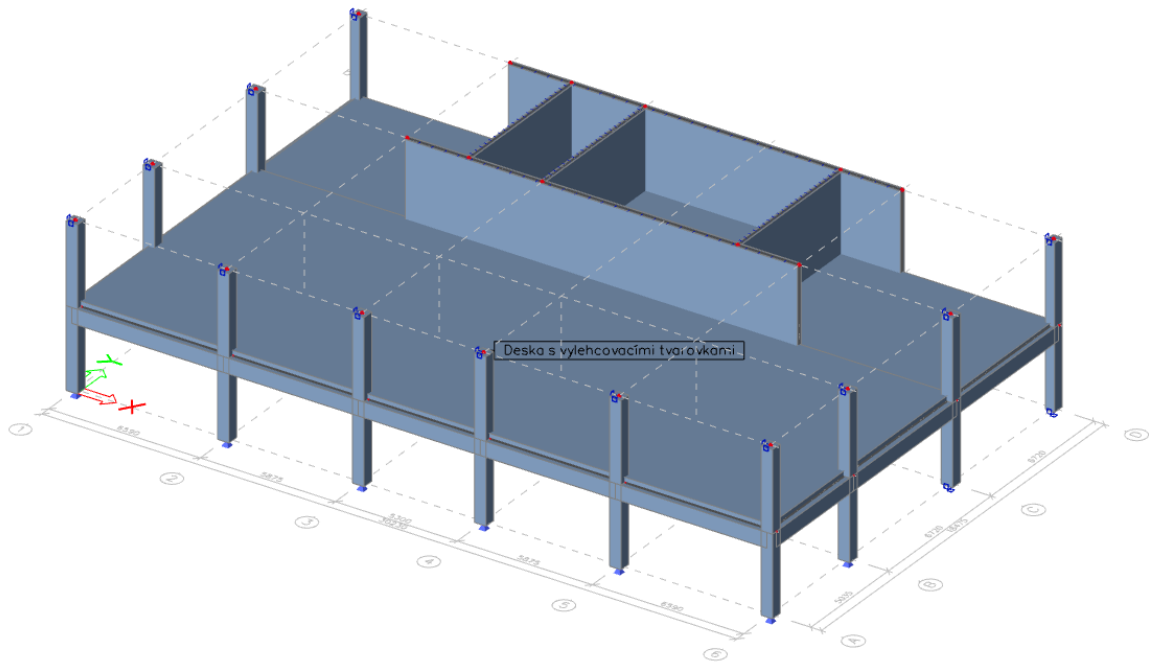
$$1564 \text{ kN} \geq 188,5 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

6. Výpočetní model

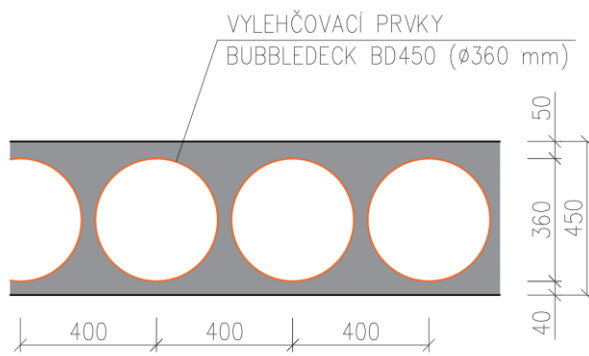
Výpočetní model pro návrh stropní konstrukce byl vytvořen v programu Scia Engineer 17.1. Stropní deska byla modelována jako deska s vylehčovacími tvarovkami (výpočetní model 4 z kap. 3.4.1 v teoretické části bakalářské práce). Pro účel návrhu byl model budovy zjednodušen a do programu byla zadána pouze konstrukce velkorozponové stropní desky, železobetonové jádro budovy a svislé nosné konstrukce patro pod a nad touto částí budovy.

Parametry modelu:

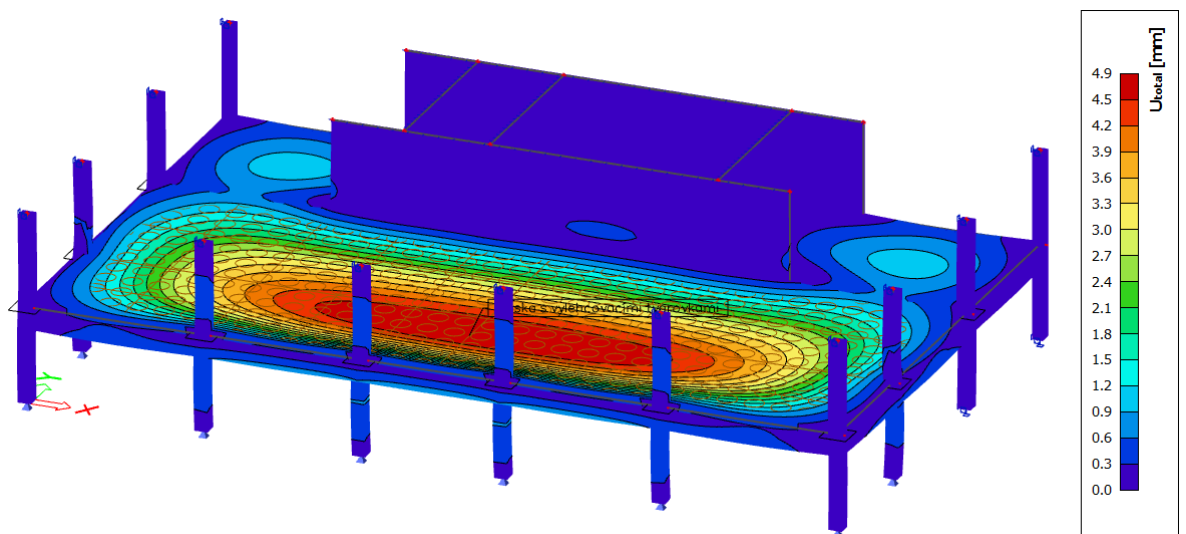
Půdorysný rozměr desky:	30,23 x 11,755 m
Tloušťka desky:	450 mm
Typ vylehčení:	Bubble Deck BD 450
Průměr vyl. prvku:	360 mm
Osová vzdálenost prvků:	400 mm
Vlastní tíha:	7,43 kN/m ²
Objem betonu:	0,297 m ³ /m ²
Poměr tuhostí (vylehčená/plná deska):	87 %
Obvodový průvlak:	500 x 700 mm
Sloup:	500 x 500 mm
Zatížení konstrukce:	viz. kap. 3.2 (teoretická část)



Obr. 6.1: Výpočetní model konstrukce

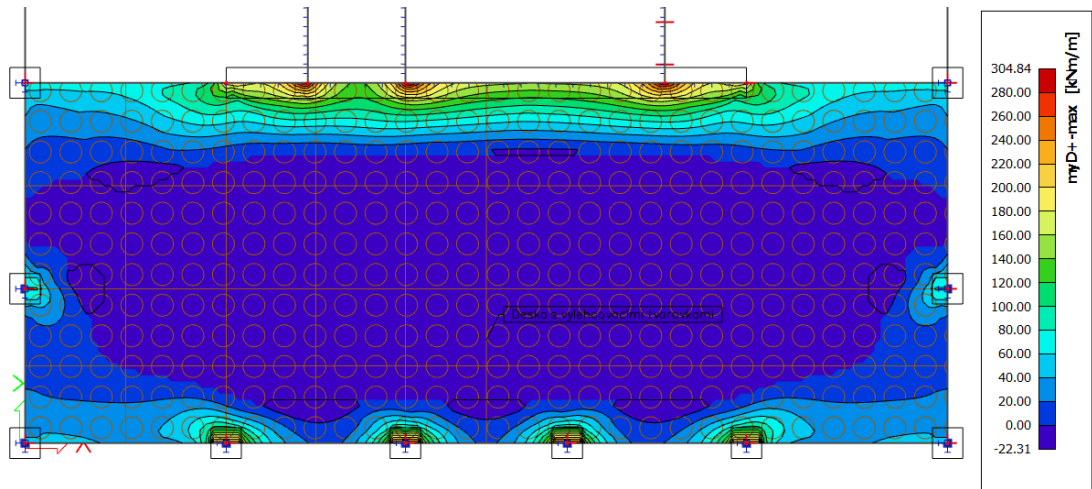


Obr. 6.2: Řez vylehčenou deskou

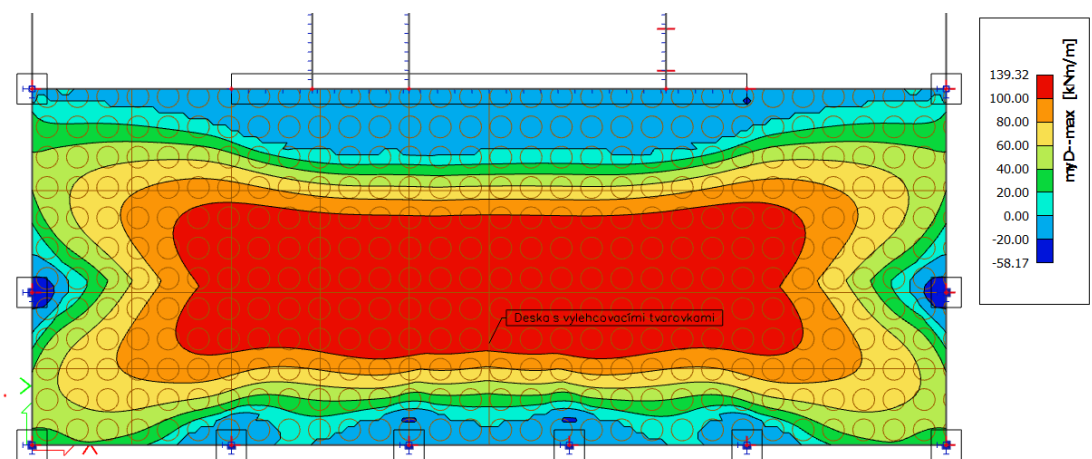


Obr. 6.3: Deformovaná konstrukce

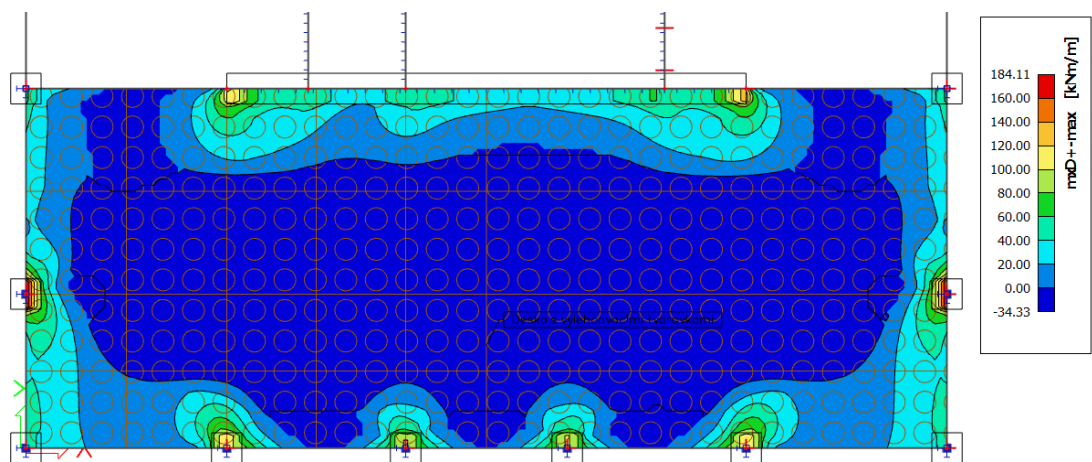
Před vykreslením momentů byly na desku vloženy průměrovací pásy a body o šířce 1000 mm, aby na desce nevznikaly extrémní nereálné momenty.



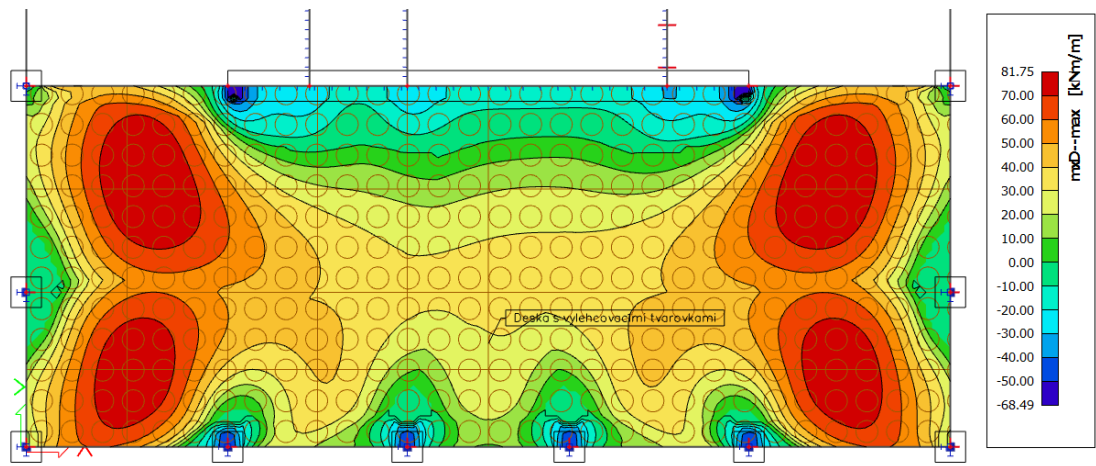
Obr. 6.4: Návrhový moment ve směru y u horního povrchu desky



Obr. 6.5: Návrhový moment ve směru y u spodního povrchu desky



Obr. 6.7: Návrhový moment ve směru x u horního povrchu desky



Obr. 6.8: Návrhový moment ve směru x u spodního povrchu desky

7. MSÚ – návrh výztuže

7.1. Návrh ohybové výztuže

Účinná tloušťka desky:

Ve směru osy x:

$$d_x = h_t - c_{nom} - \phi - \frac{\phi}{2} = 450 - 30 - 16 - \frac{16}{2} = 396 \text{ mm}$$

Ve směru osy y:

$$d_y = h_t - c_{nom} - \frac{\phi}{2} = 450 - 30 - \frac{16}{2} = 404 \text{ mm}$$

Požadovaná plocha výztuže:

Odhad ramene vnitřních sil:

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 404 = 363,6 \text{ mm}$$

Minimální plocha výztuže:

$$a_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{z \cdot f_{yd}} = \frac{47,9 \cdot 10^6}{363,6 \cdot 435} = 303 \text{ mm}^2$$

Průřezová plocha jednoho prutu výztuže $\phi 16$ mm:

$$a_{16} = 201 \text{ mm}^2$$

Návrh: $\phi 12$ á 200 mm, $a_{s,prov} = 565 \text{ mm}^2$

Minimální plochy výztuže:

$$a_{s,min,1} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_n \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 500 \cdot 404 = 305 \text{ mm}^2$$

$$a_{s,min,2} = 0,0013 \cdot b_n \cdot d = 0,0013 \cdot 500 \cdot 404 = 263 \text{ mm}^2$$

$$a_{s,min,3} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot a_{ct}}{\sigma_s} = \frac{0,4 \cdot 1,0 \cdot 2,9 \cdot 112500}{500} = 243 \text{ mm}^2$$

$$k_c = 0,4$$

$$k = 0,93$$

$$f_{ct,eff} = f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$a_{ct} = b \cdot h / 2 = 500 \cdot 450 / 2 = 112\,500 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_s = f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

Celkový návrh ohybové výztuže stropní desky je v tabulce 7.1. Ohybové momenty jsou převzaty z výpočetního modelu.

Směr 1	Směr 2	Povrch	Návrh										
			m_{Ed} kNm/m	d	z	$a_{s,Rod}$ mm ²	$a_{s,min,1}$ mm ²	$a_{s,min,2}$ mm ²	$a_{s,min,3}$ mm ²	Ø	Počet ks	Návrh	$a_{s,prov}$ mm ²
1	a	spodní	47,9	404	363,6	303	305	263	243	12	5,00	Ø12 á 200mm	565
	b	horní	60,3	404	363,6	381	305	263	243	12	5,00	Ø12 á 200mm	565
	c	horní	36,9	404	363,6	233	305	263	243	12	5,00	Ø12 á 200mm	565
2	d	horní	63,1	404	363,6	399	305	263	243	12	5,00	Ø12 á 200mm	565
	a	spodní	84,8	404	363,6	536	305	263	243	12	5,00	Ø12 á 200mm	565
	b	horní	72,3	404	363,6	458	305	263	243	12	5,00	Ø12 á 200mm	565
3	c	horní	37,9	404	363,6	240	305	263	243	12	5,00	Ø12 á 200mm	565
	a	spodní	119,8	404	363,6	758	305	263	243	12	5,00	Ø12 á 200mm	565
	a	spodní								16	2,50	přiložky Ø16 á 400mm	503
4	b	horní	139,0	404	363,6	879	305	263	243	16	5,00	Ø16 á 200mm	1005
	c	horní	184,8	404	363,6	1169	305	263	243	16	7,50	Ø16 á 130mm	1508
	a	spodní	132,9	404	363,6	840	305	263	243	12	5,00	Ø12 á 200mm	565
5	a	spodní								16	2,50	přiložky Ø16 á 400mm	503
	b	horní	235,2	404	363,6	1488	305	263	243	16	7,50	Ø16 á 130mm	1508
	c	horní	15,2	404	363,6	96	305	263	243	12	5,00	Ø12 á 200mm	565
6	a	spodní	139,2	404	363,6	880	305	263	243	12	5,00	Ø12 á 200mm	565
	a	spodní								16	2,50	přiložky Ø16 á 400mm	503
	b	horní	166,8	404	363,6	1055	305	263	243	16	7,50	Ø16 á 130mm	1508
a	c	horní	15,3	404	363,6	97	305	263	243	12	5,00	Ø12 á 200mm	565
	2	spodní	79,5	396	356,4	513	299	257	243	12	5,00	Ø12 á 200mm	565
	4	spodní	41,8	396	356,4	270	299	257	243	12	5,00	Ø12 á 200mm	565
Podpora	1c	horní	53,3	396	356,4	344	299	257	243	12	5,00	Ø12 á 200mm	565
	3c	horní	110,3	396	356,4	712	299	257	243	12	5,00	Ø12 á 200mm	565
	3c	horní								12	2,50	přiložky Ø12 á 400mm	283
5c	5c	horní	102,3	396	356,4	660	299	257	243	12	5,00	Ø12 á 200mm	565
	5c	horní								12	2,50	přiložky Ø12 á 400mm	283
	1a	horní	175,1	396	356,4	1130	299	257	243	12	5,00	Ø12 á 200mm	565
stěna	1a	horní								16	2,50	přiložky Ø12 á 400mm	503
	1b	horní	67,5	396	356,4	435	299	257	243	12	5,00	Ø12 á 200mm	565
	stěna	horní	111,6	396	356,4	720	299	257	243	12	5,00	Ø12 á 200mm	565
stěna	horní									12	2,50	přiložky Ø12 á 400mm	283

Tab. 7.1: Návrh ohybové výztuže desky

7.2. Posouzení ohybové výztuže

Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{a_{s,prov} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{565 \cdot 435}{0,8 \cdot 1000 \cdot 20} = 15,4 \text{ mm}$$

Rameno vnitřních sil:

$$z = d - 0,4 \cdot x = 404 - 0,4 \cdot 15,4 = 397,9 \text{ mm}$$

Moment únosnosti:

$$m_{Rd} = a_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 565 \cdot 435 \cdot 397,9 = 97,8 \text{ kNm/m}$$

Posouzení:

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{15,4}{404} = 0,038 < \xi_{bal} = 0,45 \quad \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$m_{Rd} \geq m_{Ed}$$

$$97,8 \text{ kNm/m} \geq 47,9 \text{ kNm/m} \quad \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Stupeň vyztužení:

$$\rho = \frac{a_{s,prov}}{b_n \cdot d} = \frac{595}{500 \cdot 404} = 0,0028$$

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

$$0,0015 \leq 0,0028 \leq 0,04 \quad \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Posouzení								
$a_{s,prov}$	x	ξ	z	m_{Rd}	ρ	$m_{Rd} > m_{Ed}$	$\xi < \xi_{bal}$	$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$
mm ²	mm	-	mm	kNm/m	%			
565	15,4	0,038	397,9	97,818	0,280	OK	OK	OK
565	15,4	0,038	397,9	97,818	0,280	OK	OK	OK
565	15,4	0,038	397,9	97,818	0,280	OK	OK	OK
565	15,4	0,038	397,9	97,818	0,280	OK	OK	OK
565	15,4	0,038	397,9	97,818	0,280	OK	OK	OK
565	15,4	0,038	397,9	97,818	0,280	OK	OK	OK
565	15,4	0,038	397,9	97,818	0,280	OK	OK	OK
565	29,0	0,072	392,4	182,229	0,529	OK	OK	OK
503								
1005	27,3	0,068	393,1	171,809	0,498	OK	OK	OK
1508	41,0	0,101	387,6	254,131	0,747	OK	OK	OK
565	29,0	0,072	392,4	182,229	0,529	OK	OK	OK
503								
1508	41,0	0,101	387,6	254,131	0,747	OK	OK	OK
565	15,4	0,038	397,9	97,818	0,280	OK	OK	OK
565	29,0	0,072	392,4	182,229	0,529	OK	OK	OK
503								
1508	41,0	0,101	387,6	254,131	0,747	OK	OK	OK
1508	41,0	0,101	387,6	254,131	0,747	OK	OK	OK
565	29,0	0,072	392,4	182,229	0,529	OK	OK	OK
503								
1508	41,0	0,101	387,6	254,131	0,747	OK	OK	OK
565	15,4	0,038	397,9	97,818	0,280	OK	OK	OK
565	15,4	0,039	389,9	95,851	0,286	OK	OK	OK
565	15,4	0,039	389,9	95,851	0,286	OK	OK	OK
565	15,4	0,039	389,9	95,851	0,286	OK	OK	OK
565	23,0	0,058	386,8	142,643	0,286	OK	OK	OK
283								
565	23,0	0,058	386,8	142,643	0,286	OK	OK	OK
283								
565	29,0	0,073	384,4	178,514	0,286	OK	OK	OK
503								
565	15,4	0,039	389,9	95,851	0,286	OK	OK	OK
565	23,0	0,058	386,8	142,643	0,286	OK	OK	OK
283								

Tab. 7.2: Posouzení ohybové výztuže desky

7.3. Návrh smykové výztuže

Ověření únosnosti tláčené diagonály:

$$V_{Ed,max} = 343,46 \text{ kN}$$

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

$$\cotg\theta = 1,3$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 404 = 369,6 \text{ mm}$$

$$V_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot b \cdot z \cdot \frac{\cotg\theta}{1 + \cotg^2\theta} = 0,528 \cdot 20 \cdot 1000 \cdot 369,6 \cdot \frac{1,3}{1 + 1,3^2}$$

$$= 1855,6 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} \geq V_{Ed,max}$$

$$1855,6 \text{ kN} \geq 369,6 \text{ kN} \quad \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Smyková únosnost plné desky:

$$v_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck}}] \cdot b \cdot d$$

$$= [0,12 \cdot 1,7 \cdot \sqrt[3]{100 \cdot 0,005 \cdot 30}] \cdot 1000 \cdot 404 = 203,7 \text{ kN}$$

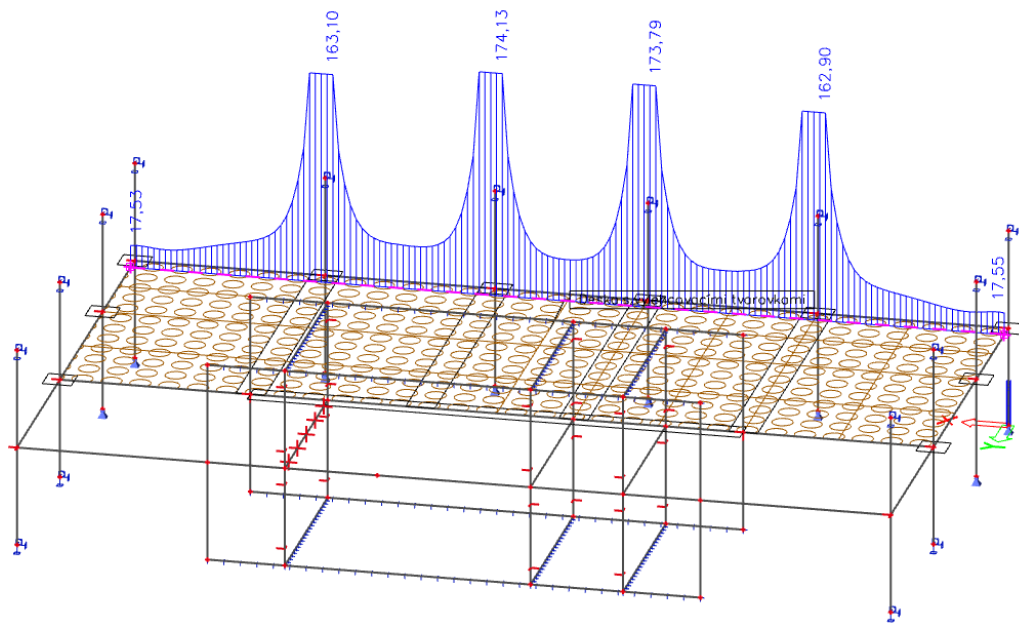
$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{404}} = 1,7$$

$$\rho_l = 0,005$$

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,c}$$

$$174,1 \text{ kN/m} \leq 203,7 \text{ kN/m} \quad \rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obr. 7.1: Posouvající síla ve vzdálenosti d od podpory

Smyková únosnost vylehčené desky:

$$v_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck}}] \cdot b_1 \cdot d$$

$$= [0,12 \cdot 1,7 \cdot \sqrt[3]{100 \cdot 0,0028 \cdot 30}] \cdot 40 \cdot 404 = 6,7 \text{ kN}$$

$$\rightarrow 16,8 \text{ kN/m}$$

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

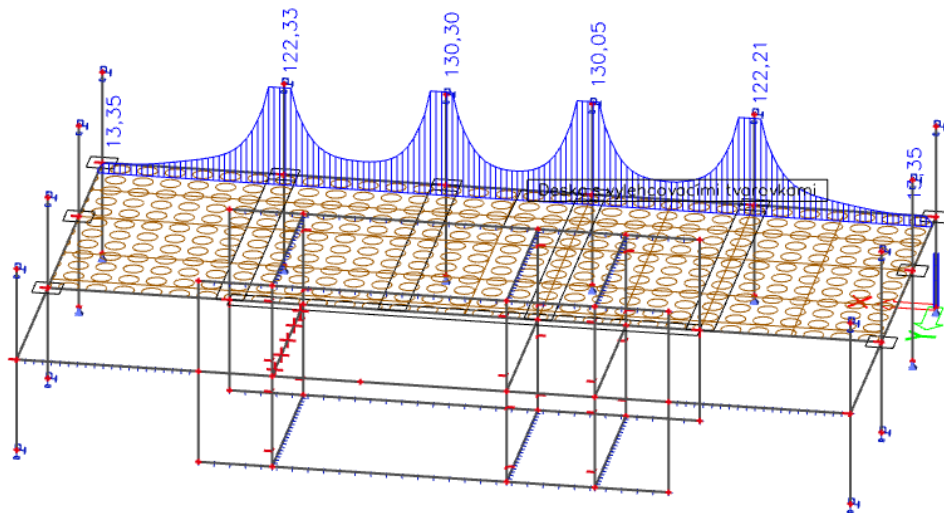
$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{404}} = 1,7$$

$$\rho_l = 0,0028$$

$$v_{Ed,1} \leq v_{Rd,c}$$

$$130,3 \text{ kN/m} \geq 16,7 \text{ kN/m} \quad \rightarrow \text{nevyhovuje}$$

Návrh smykové výztuže pro oblast vylehčené části desky



Obr. 7.2: Posouvající síla v místě vylehčovacích prvků

$$\phi_{sw} = 8 \text{ mm}$$

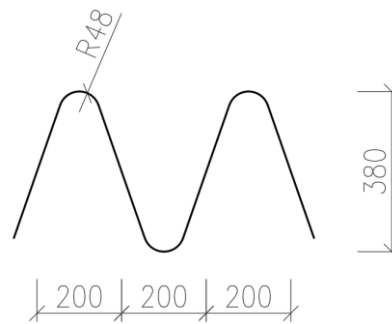
$$n = 1$$

$$A_{sw} = n \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{sw}^2}{4} = 1 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 50,3 \text{ mm}^2$$

$$V_{Ed,1} = 130,3 \text{ kN/m} \quad \rightarrow \quad 52,1 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 s_{min} &= \min \left[\frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{V_{Ed,1}} \cdot z \cdot \cot \theta; 0,75 \cdot d \cdot \sin \alpha; 400 \right] \\
 &= \min \left[\frac{50,3 \cdot 435}{52,1} \cdot 387,6 \cdot 1,3; 0,75 \cdot 404 \cdot \sin 71^\circ; 400 \right] \\
 &= \min [211; 286; 400]
 \end{aligned}$$

Návrh: smyková výztuž $\varnothing 8$ á 200 mm

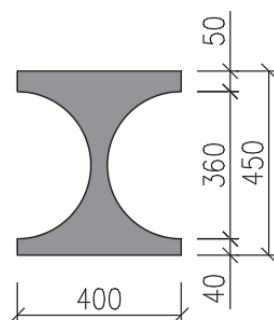


Obr. 7.3: Tvar smykové výztuže desky

8. Posouzení desky na MSP

8.1. Výpočet průhybů na desce

Pro posouzení MSP byla deska zjednodušena a počítalo se jen s jedním „žebrem“ o šířce 400 mm, viz obr. 8.1.



Obr. 8.1: Průřez pro MSP

8.1.1. Působení prvku při krátkodobém zatížení

Materiály prvku při krátkodobém zatížení:

Modul pružnosti betonu $E_{cm} = 32 \text{ GPa}$

Modul pružnosti oceli $E_s = 200 \text{ GPa}$

Efektivní modul pružnosti betonu při krátkodobém zatížení

$$\varphi = 0$$

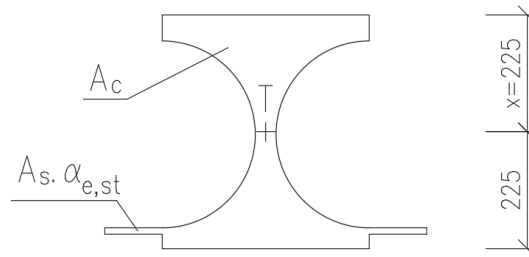
$$E_{c,eff,st} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi} = \frac{32}{1 + 0} = 32 \text{ MPa}$$

Krátkodobý poměr modulů pružnosti výztuže a betonu při krátkodobém zatížení

$$\alpha_{e,st} = \frac{E_s}{E_{c,eff,st}} = \frac{200}{32} = 6,25$$

Výpočet ideálního průřezu bez trhlin:

Těžiště složeného průřezu a moment setrvačnosti byly vypočteny v programu AutoCad. Pro tento výpočet nebylo nutné zjednodušovat průřez.



Obr. 8.2: Ideální průřez bez trhlin (krátkodobé)

Výška tlačené oblasti

$$x_{I,st} = 225 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti

$$I_{y,I,st} = 2307,7 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

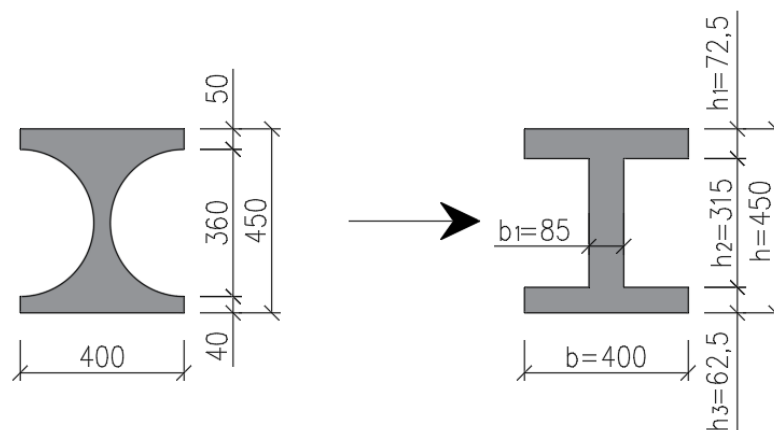
Ohybová poddajnost průřezu

$$C_{I,st} = \frac{1}{E_{c,eff,st} \cdot I_{y,I,st}} = \frac{1}{32 \cdot 10^9 \cdot 2307,7 \cdot 10^{-6}}$$

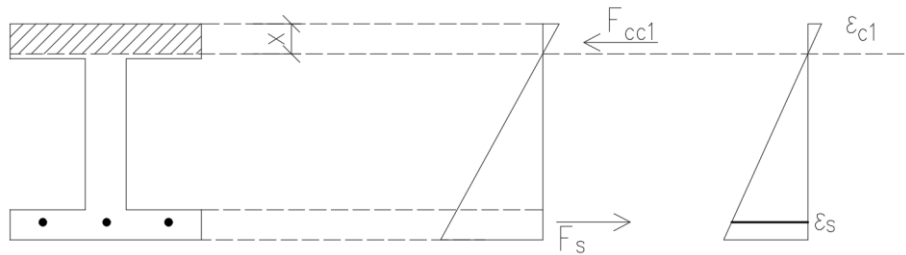
$$= 1,354 \cdot 10^{-5} \text{ kN}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

Výpočet ideálního průřezu s trhlinami:

Pro výpočet průřezu s trhlinami musel být průřez zjednodušen, aby bylo možné jednoduše vypočítat tlačенou část průřezu. Místo průřezu vylehčené desky s kulatými tvarovkami byl zvolen náhradní průřez tvaru I tak, aby měl podobný moment setrvačnosti jako původní (viz. obr. 8.3).



Obr. 8.3: Náhradní průřez pro výpočet průřezu s trhlinami



Obr. 8.4: Ideální průřez s trhlinou (zjednodušený model)

Výška tlačené oblasti

$$F_{c1} = F_s$$

$$F_{c1} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot x \cdot \varepsilon_{c1} \cdot E_{c,eff}$$

$$F_s = A_s \cdot \varepsilon_s \cdot E_s$$

$$\varepsilon_{c1} = \frac{x}{d-x} \cdot \varepsilon_s$$

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{(\alpha_e - 1) \cdot A_s}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{(\alpha_e - 1) \cdot A_s}} \right) \\
 &= \frac{(6,25 - 1) \cdot 427}{400} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 400 \cdot 404}{(6,25 - 1) \cdot 427}} \right) \\
 &= 61,9 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Moment setrvačnosti

$$I_{y,II,st} = 364,5 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \quad (\text{z AutoCadu})$$

Ohybová poddajnost průřezu

$$\begin{aligned}
 C_{II,st} &= \frac{1}{E_{c,eff,st} \cdot I_{y,II,st}} = \frac{1}{32 \cdot 10^9 \cdot 364,5 \cdot 10^{-6}} \\
 &= 0,857 \cdot 10^{-4} \text{ kN}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}
 \end{aligned}$$

Ohybový moment na mezi vzniku trhlin:

Maximální moment od časté kombinace zatížení je 97,05 kNm/m. MSP se posuzuje jen pro část desky o šířce 400 mm. Moment úměrný šířce 400 mm je 38,82 kNm.

Kombinace	Moment	
	[kNm/m]	Přepočet na 400 mm [kNm]
MSÚ	139,32	55,73
Kvazistálá	92,62	37,05
Častá	97,05	38,82
Charakteristická	108,12	43,25

Tab. 8.1: Momenty na desce

Kritický moment při dlouhodobém působení

$$M_{cr,st} = f_{ctm} \cdot \frac{I_{y,I,st}}{h - x} = 2,9 \cdot \frac{2307,7 \cdot 10^{-6}}{450 - 225} = 29,7 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{častá}} = 38,82 \text{ kNm} \geq M_{cr} = 29,7 \text{ kNm} \rightarrow \text{trhliny budou vznikat}$$

Výpočet průhybů od kvazistálé kombinace zatížení:

Křivost od kvazistálé kombinace

$$\begin{aligned} \left(\frac{1}{r_m}\right)_{g,st} &= M_{kvz} \cdot [(1 - \xi_{g,st}) \cdot C_{I,st} + \xi_{g,st} \cdot C_{II,st}] \\ &= 37,05 \cdot [(1 - 0,356) \cdot 1,354 \cdot 10^{-5} + 0,356 \cdot 0,857 \cdot 10^{-4}] \\ &= 1,452 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1} \end{aligned}$$

$$\xi_{g,st} = 1 - \beta \cdot \left(\frac{M_{cr}}{M_{kvz}}\right)^2 = 1 - 1 \cdot \left(\frac{29,7}{37,05}\right)^2 = 0,356$$

$$\beta = 1 \quad \text{Pro krátkodobé působení}$$

Průhyb od kvazistálé kombinace

$$f_{g,st} = k \cdot l^2 \cdot \left(\frac{1}{r_m}\right)_{g,st} = \frac{5}{48} \cdot 11,755^2 \cdot 1,452 \cdot 10^{-3} = 20,9 \text{ mm}$$

$$k = \frac{5}{48} \quad \text{součinitel pro prostý nosník; lze použít i zde, neboť je na straně}$$

bezpečnosti

$$f_{st} = 20,9 \text{ mm} < f_{lim} = \frac{l}{200} = 58,77 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

8.1.2. Působení prvku při dlouhodobém zatížení

Materiály prvku při dlouhodobém působení:

Modul pružnosti betonu $E_{cm} = 32 \text{ GPa}$

Modul pružnosti oceli $E_s = 200 \text{ GPa}$

Efektivní modul pružnosti betonu při dlouhodobém zatížení

$$\varphi = 2,5$$

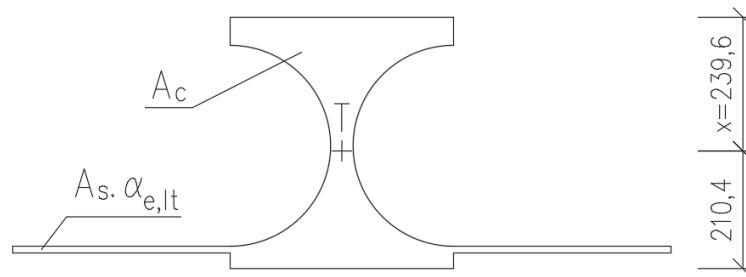
$$E_{c,eff,lt} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi} = \frac{32}{1 + 2,5} = 9,14 \text{ MPa}$$

Dlouhodobý poměr modulů pružnosti výztuže a betonu při dlouhodobém zatížení

$$\alpha_{e,lt} = \frac{E_s}{E_{c,eff,lt}} = \frac{200}{9,14} = 21,875$$

Výpočet ideálního průřezu bez trhlin:

Těžiště složeného průřezu a moment setrvačnosti byly vypočteny v programu AutoCad. Pro tento výpočet nebylo nutné zjednodušovat průřez.



Obr. 8.5: Ideální průřez bez trhlin (dlouhodobé)

Výška tlačené oblasti

$$x_{l,lt} = 239,6 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti

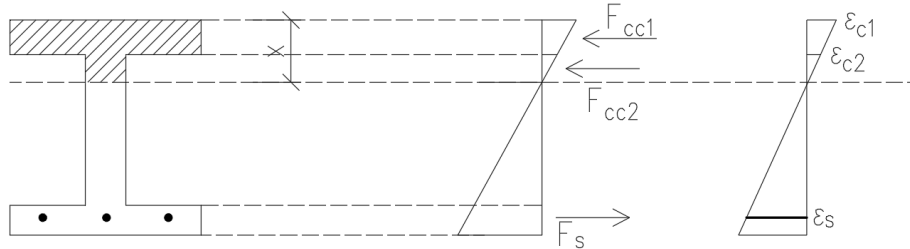
$$I_{y,l,lt} = 2533,8 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Ohybová poddajnost průřezu

$$\begin{aligned} C_{l,lt} &= \frac{1}{E_{c,eff,lt} \cdot I_{y,l,lt}} = \frac{1}{9,14 \cdot 10^9 \cdot 2533,8 \cdot 10^{-6}} \\ &= 4,31 \cdot 10^{-5} \text{ kN}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \end{aligned}$$

Výpočet ideálního průřezu s trhlinami:

Pro výpočet průřezu s trhlinami byl průřez opět zjednodušen jako při krátkodobém působení zatížení (viz. obr. 8.3).



Obr. 8.6: Ideální průřez s trhlinou (zjednodušený model)

Výška tlačené oblasti

$$F_{c1} + F_{c2} = F_s$$

$$F_{c1} = b \cdot h_1 \cdot \frac{\varepsilon_{c1} + \varepsilon_{c2}}{2} \cdot E_{c,eff}$$

$$F_{c2} = \frac{1}{2} \cdot b_1 \cdot (x - h_1) \cdot \varepsilon_{c2} \cdot E_{c,eff}$$

$$F_s = A_s \cdot \varepsilon_s \cdot E_s$$

$$\varepsilon_{c1} = \frac{x}{d - x} \cdot \varepsilon_s$$

$$\varepsilon_{c2} = \frac{x - h_1}{d - x} \cdot \varepsilon_s$$

Kvůli zjednodušení výpočtu byl vytvořen Excel pro určení tlačené výšky.

Geometrie průřezu:	b	400 mm
	h ₁	73 mm
	b ₁	85 mm
	d	404 mm
Poměr modulů pružnosti:	α	21,875 [-]
Plocha výztuže:	a _s	427 mm ²
Výška tlačené oblasti:	x	123 mm

Moment setrvačnosti

$$I_{y,II,lt} = 1\,036 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \quad (\text{z AutoCadu})$$

Ohybová poddajnost průřezu

$$\begin{aligned} C_{II,lt} &= \frac{1}{E_{c,eff,lt} \cdot I_{y,II,lt}} = \frac{1}{9,14 \cdot 10^9 \cdot 1036 \cdot 10^{-6}} \\ &= 1,055 \cdot 10^{-4} \text{ kN}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \end{aligned}$$

Ohybový moment na mezi vzniku trhlin:

$$M_{cr,lt} = f_{ctm} \cdot \frac{I_{y,I,lt}}{h-x} = 2,9 \cdot \frac{2533,8 \cdot 10^{-6}}{450 - 239,6} = 34,9 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{častá}} = 38,82 \text{ kNm} \geq M_{cr} = 34,9 \text{ kNm} \rightarrow \text{trhliny budou vznikat}$$

Výpočet průhybů od kvazistálé kombinace zatížení:

Křivost

$$\begin{aligned} \left(\frac{1}{r_m}\right)_{g,lt} &= M_{kvz} \cdot [(1 - \xi_{g,lt}) \cdot C_{I,lt} + \xi_{g,lt} \cdot C_{II,lt}] \\ &= 37,05 \cdot [(1 - 0,556) \cdot 4,31 \cdot 10^{-5} + 0,556 \cdot 1,055 \cdot 10^{-4}] \\ &= 2,885 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1} \end{aligned}$$

$$\xi_{g,lt} = 1 - \beta \cdot \left(\frac{M_{cr}}{M_{kvz}}\right)^2 = 1 - 0,5 \cdot \left(\frac{34,9}{37,05}\right)^2 = 0,556$$

$$\beta = 0,5 \quad \text{Pro dlouhodobé působení}$$

Průhyb od kvazistálé kombinace

$$f_{g,lt} = k \cdot l^2 \cdot \left(\frac{1}{r_m}\right)_{g,lt} = \frac{5}{48} \cdot 11,755^2 \cdot 2,885 \cdot 10^{-3} = 41,5 \text{ mm}$$

$$k = \frac{5}{48} \quad \text{součinitel pro prostý nosník; lze použít i zde, neboť je na straně bezpečnosti}$$

Průhyb od smršťování:

Statický moment výztuže

$$S_{s0} = A_s \cdot d = 427 \cdot 10^{-6} \cdot 0,404 = 0,173 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Statický moment betonového průřezu

$$S_{c0} = 0,01709 \text{ m}^3 \quad (\text{spočteno v AutoCadu})$$

Poměrné smršťování vysycháním

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} = 0,994 \cdot 0,85 \cdot 0,440 \cdot 10^{-3} = 3,72 \cdot 10^{-4}$$

$$k_h = 0,85$$

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{t-t_s}{(t-t_s)+0,04 \cdot \sqrt{h_0^3}} = \frac{18250-2}{(18250-2)+0,04 \cdot \sqrt{195,5^3}} = 0,994$$

$$h_0 = 195,5 \text{ mm}$$

$$t = 18250 \text{ dní}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_{cd,0} &= 0,85 \cdot \left[(220 - 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot \exp\left(-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}\right) \right] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH} \\ &= 0,85 \cdot \left[(220 + 110 \cdot 6) \cdot \exp\left(-0,11 \cdot \frac{33}{10}\right) \right] \cdot 10^{-6} \cdot 1,356 \\ &= 0,44 \cdot 10^{-3}\end{aligned}$$

$$\beta_{RH} = 1,55 \cdot \left[1 - \left(\frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right] = 1,356$$

Poměrné autogenní smršťování

$$\begin{aligned}\varepsilon_{ca}(t) &= \beta_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty) = 5 \cdot 10^{-5} \\ \varepsilon_{ca}(\infty) &= 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 2,5 \cdot (30 - 10) \cdot 10^{-6} = 5 \cdot 10^{-5} \\ \beta_{as}(t) &= 1 - \exp(-0,2 \cdot t^{0,5}) = 1 - \exp(-0,2 \cdot 36500^{0,5}) = 1\end{aligned}$$

Celkové poměrné smršťování

$$\begin{aligned}\varepsilon_{cs} &= \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} = 3,72 \cdot 10^{-4} + 5 \cdot 10^{-5} = 4,22 \cdot 10^{-4} \\ A_i &= A_c + \alpha_{e,lt} \cdot A_s = 0,0782 + 21,875 \cdot 427 \cdot 10^{-6} = 0,0876 \text{ m}^2 \\ a_{gi} &= \frac{S_{c0} + \alpha_{e,lt} \cdot S_{s0}}{A_i} = \frac{0,01709 + 21,875 \cdot 0,000173}{0,0876} = 0,238 \text{ m}\end{aligned}$$

Křivost od smršťování na prvku bez trhlin

$$\begin{aligned}\left(\frac{1}{r}\right)_{cSI} &= \varepsilon_{cs} \cdot \alpha_{e,lt} \cdot \frac{S_{s0} - A_s \cdot a_{gi}}{I_{y,I,lt}} \\ &= 4,22 \cdot 10^{-4} \cdot 21,875 \cdot \frac{0,000173 - 427 \cdot 10^{-6} \cdot 0,238}{2533,8 \cdot 10^{-6}} \\ &= 0,000258\end{aligned}$$

Křivost od smršťování na prvku s trhlinami

$$\begin{aligned}\left(\frac{1}{r}\right)_{cSII} &= \varepsilon_{cs} \cdot \alpha_{e,lt} \cdot \frac{S_{s0} - A_s \cdot x_{II,lt}}{I_{y,II,lt}} \\ &= 4,22 \cdot 10^{-4} \cdot 21,875 \cdot \frac{0,000173 - 427 \cdot 10^{-6} \cdot 0,029}{835,2 \cdot 10^{-6}} = 0,00082\end{aligned}$$

Výsledná křivost od smršťování

$$\begin{aligned}\left(\frac{1}{r}\right)_{cs} &= (1 - \xi_{cs}) \cdot \left(\frac{1}{r}\right)_{csI} + \xi_{cs} \cdot \left(\frac{1}{r}\right)_{csII} \\ &= (1 - 0,556) \cdot 0,000258 + 0,556 \cdot 0,00082 = 0,00057 \\ \xi_{cs} &= 1 - \beta \cdot \left(\frac{M_{cr}}{M_{kvz}}\right)^2 = 1 - 0,5 \cdot \left(\frac{34,9}{37,05}\right)^2 = 0,556\end{aligned}$$

Průhyb od smršťování

$$f_{cs,lt} = k \cdot l^2 \cdot \left(\frac{1}{r}\right)_{cs} = \frac{5}{48} \cdot 11,755^2 \cdot 0,00057 = 8,21 \text{ mm}$$

Celkový dlouhodobý průhyb:

$$f_{lt} = f_{g,lt} + f_{cs,lt} = 41,5 + 8,2 = 49,7 \text{ mm}$$

$$f_{lim} = \frac{1}{200} \cdot l = \frac{1}{200} \cdot 11755 = 58,77 \text{ mm}$$

$$f_{lt} = 49,7 \text{ mm} < f_{lim} = 58,77 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{vyhovuje}$$

8.2. Mezní stav omezení napětí

Ověření vzniku podélných trhlin v betonu:

$$\sigma_{cc} = \frac{M_{char}}{I_{y,II,st}} \cdot x = \frac{43,25}{364,5 \cdot 10^{-6}} \cdot 0,062 = 7,34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cc} = 7,34 \text{ MPa} < 0,6 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 30 = 18 \text{ MPa} \quad \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Ověření lineárního dotvarování:

$$\sigma_{cc} = \frac{M_{kvz}}{I_{y,II,lt}} \cdot x = \frac{37,05}{1036,3 \cdot 10^{-6}} \cdot 119 = 4,97 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cc} = 4,97 \text{ MPa} < 0,45 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot 30 = 13,5 \text{ MPa} \quad \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Omezení napětí v tažené výztuži:

$$\sigma_s = \alpha_e \cdot \frac{M_{char}}{I_{y,II,st}} \cdot (d - x) = 6,25 \cdot \frac{43,25}{364,5 \cdot 10^{-6}} \cdot (0,404 - 0,063) = 253,66 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 253,66 \text{ MPa} < 0,8 \cdot f_{yk} = 0,8 \cdot 500 = 400 \text{ MPa} \quad \rightarrow \text{vyhovuje}$$

8.3. Mezní stav omezení trhlin

$$A_{s,min} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s} = \frac{0,4 \cdot 0,93 \cdot 2,9 \cdot 10^6 \cdot 0,0256}{240 \cdot 10^6} = 115 \text{ mm}^2$$

$$k_c = 0,4$$

$$k = 0,93$$

$$f_{ct,eff} = f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$A_{ct} = h_{c,eff} \cdot b = 0,064 \cdot 0,4 = 0,0256 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} h_{c,eff} &= \min\left(2,5 \cdot (h - d); \frac{h - x_{I,lt}}{3}; \frac{h}{2}\right) \\ &= \min\left(2,5 \cdot (0,450 - 0,404); \frac{0,450 - 0,029}{3}; \frac{0,450}{2}\right) \\ &= \min(0,115; 0,140; 0,225) = 0,064 \end{aligned}$$

$$\sigma_s = 240 \text{ MPa}$$

$$A_{s,prov} = 402 \text{ mm}^2 \geq A_{s,min} = 115 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9. Kotvení a přesahy

9.1. Kotevní a přesahová délka pro $\varnothing 16$ mm

Základní kotevní délka:

$$f_{bd,dobré} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,3 = 2,93 \text{ MPa}$$

$$f_{bd,špatné} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,3 = 2,05 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,0,05}}{1,5} = \frac{2}{1,5} = 1,3 \text{ MPa}$$

$$\eta_1 = 1,0 \quad \text{pro dobré podmínky soudržnosti}$$

$$\eta_1 = 0,7 \quad \text{pro ostatní případy}$$

$$\eta_2 = 1,0 \quad \text{pro } \varnothing \leq 32 \text{ mm}$$

$$l_{b,rqd,dobré} = \frac{\varnothing \cdot \sigma_s}{4 \cdot f_{bd}} = \frac{16 \cdot 435}{4 \cdot 2,93} = 595 \text{ mm}$$

$$l_{b,rqd,špatné} = \frac{\varnothing \cdot \sigma_s}{4 \cdot f_{bd}} = \frac{16 \cdot 435}{4 \cdot 2,05} = 849 \text{ mm}$$

Kotevní délka:

$$l_{b,min,dobré} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10\varnothing; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 595; 10 \cdot 16; 100) \\ = 178 \text{ mm}$$

$$l_{b,min,špatné} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10\varnothing; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 849; 10 \cdot 16; 100) \\ = 255 \text{ mm}$$

$$l_{b,d,dobré} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd,dobré} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 595 \geq l_{b,min}$$

$$l_{b,d,špatné} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd,špatné} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 849 \geq l_{b,min}$$

$$\alpha_1 = 1,0 \quad \text{Vliv tvaru prutu}$$

$$\alpha_2 = 1,0 \quad \text{Vliv minimální krycí vrstvy}$$

$$\alpha_3 = 1,0 \quad \text{Vliv ovinutí příčnou výztuží}$$

$$\alpha_4 = 1,0 \quad \text{Vliv příčně přivařených prutů}$$

$$\alpha_5 = 1,0 \quad \text{Vliv tlaku kolmého na rovinu odštěpování betonu}$$

Kotevní délka: 600 mm pro dobré podmínky

850 mm pro dobré podmínky

Přesahová délka:

$$l_{0,min,dobré} = \max(0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15\emptyset; 200 \text{ mm}) \\ = \max(0,3 \cdot 1,5 \cdot 595; 15 \cdot 16; 200) = 267 \text{ mm}$$

$$l_{0,min,dobré} = \max(0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15\emptyset; 200 \text{ mm}) \\ = \max(0,3 \cdot 1,5 \cdot 849; 15 \cdot 16; 200) = 382 \text{ mm}$$

$$\alpha_6 = 1,5$$

$$l_{0,dobré} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 595 = 892 \text{ mm} \\ \geq l_{0,min}$$

$$l_{0,špatné} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 849 = 1274 \text{ mm} \\ \geq l_{0,min}$$

Přesahová délka: 900 mm pro dobré podmínky

1300 mm pro dobré podmínky

9.2. Kotevní a přesahová délka pro $\emptyset 12 \text{ mm}$

Základní kotevní délka:

$$f_{bd,dobré} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,3 = 2,93 \text{ MPa}$$

$$f_{bd,špatné} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,3 = 2,05 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,0,05}}{1,5} = \frac{2}{1,5} = 1,3 \text{ MPa}$$

$$\eta_1 = 1,0 \quad \text{pro dobré podmínky soudržnosti}$$

$$\eta_1 = 0,7 \quad \text{pro ostatní případy}$$

$$\eta_2 = 1,0 \quad \text{pro } \emptyset \leq 32 \text{ mm}$$

$$l_{b,rqd,dobré} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_s}{f_{bd}} = \frac{12}{4} \cdot \frac{435}{2,93} = 446 \text{ mm}$$

$$l_{b,rqd,špatné} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_s}{f_{bd}} = \frac{12}{4} \cdot \frac{435}{2,05} = 637 \text{ mm}$$

Kotevní délka:

$$l_{b,min,dobré} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10\emptyset; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 446; 10 \cdot 12; 100) \\ = 134 \text{ mm}$$

$$l_{b,min,špatné} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10\phi; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 637; 10 \cdot 12; 100) \\ = 191 \text{ mm}$$

$$l_{b,d,dobré} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd,dobré} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 446 \geq l_{b,min}$$

$$l_{b,d,špatné} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd,dobré} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 637 \geq l_{b,min}$$

$$\alpha_1 = 1,0 \quad \text{Vliv tvaru prutu}$$

$$\alpha_2 = 1,0 \quad \text{Vliv minimální krycí vrstvy}$$

$$\alpha_3 = 1,0 \quad \text{Vliv ovinutí příčnou výztuží}$$

$$\alpha_4 = 1,0 \quad \text{Vliv příčně přivařených prutů}$$

$$\alpha_5 = 1,0 \quad \text{Vliv tlaku kolmého na rovinu odštěpování betonu}$$

Kotevní délka: 450 mm pro dobré podmínky

650 mm pro dobré podmínky

Přesahová délka:

$$l_{0,min,dobré} = \max(0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15\phi; 200 \text{ mm}) \\ = \max(0,3 \cdot 1,5 \cdot 446; 15 \cdot 12; 200) = 201 \text{ mm}$$

$$l_{0,min,dobré} = \max(0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15\phi; 200 \text{ mm}) \\ = \max(0,3 \cdot 1,5 \cdot 637; 15 \cdot 12; 200) = 287 \text{ mm}$$

$$\alpha_6 = 1,5$$

$$l_{0,dobré} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 446 = 669 \text{ mm} \\ \geq l_{0,min}$$

$$l_{0,špatné} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 637 = 956 \text{ mm} \\ \geq l_{0,min}$$

Přesahová délka: 700 mm pro dobré podmínky

1000 mm pro dobré podmínky