



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

MOST NA DÁLNICI

BRIDGE ON HIGHWAY

P3 STATICKÝ VÝPOČET

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Knotek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Josef Panáček

BRNO 2017

Obsah

1. ZÁKLADNÍ INFORMACE	5
1.1. Popis mostu	5
1.2. Geometrie mostu	5
1.3. Výpočtový model	7
1.4. Materiálové charakteristiky	8
1.4.1. Beton C35/45	8
1.4.2. Betonářská výztuž B500B	8
1.4.3. Předpínací výztuž	8
2. ZATÍŽENÍ	9
2.1. Vlastní tíha	9
2.2. Ostatní stálé	11
2.2.1. Římsa - pravá + svodidlo + PHS	11
2.2.2. Římsa - levá + svodidlo	11
2.2.3. Vozovka	12
2.3. Proměnné zatížení - zatížení dopravou	14
2.3.1. gr1a (LM1 + zatížení chodci nebo cyklisty)	15
2.3.1.1. TS (dvojnápravy)	15
2.3.1.2. UDL (rovnoměrné zatížení)	20
2.3.1.3. Zatížení chodci + zatížení cyklisty	23
2.3.3. gr5 (LM3 - Zvláštní vozidlo 1800/200)	24
2.3.3. LM3 - Zvláštní vozidlo 3000/240	27
2.4. Tabulka vnitřních sil	29
3. KOMBINACE	31
3.1. Mezní stav únosnosti (MSÚ)	31
3.2. Mezní stav použitelnosti (MSP)	33
3.3. Tabulka vnitřních sil	36
4. NÁVRH PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE	38
4.1. Krytí výztuže	38
4.2. Průřezové charakteristiky - neoslabený průřez	38
4.3. Přípustná napětí a síly ve výztuži	39
4.4. Návrh předpínací síly pomocí vyrovnání momentu kvazistálé kombinace	39

4.5. Metoda přípustných napětí	39
4.6. Předpínací síla	41
4.6. Návrh kabelových drah	42
5. ZTRÁTY PŘEDPĚTÍ	43
5.1. Průřezové charakteristiky - oslabený průřez	43
5.2. Krátkodobé ztráty	43
5.2.1. Ztráty třením a pokluzem	43
5.2.2. Ztráta postupným napínáním	45
5.2.3. Ztráta relaxací	45
5.2.4. Výsledné napětí po okamžitých ztrátách	45
5.3. Dlouhodobé ztráty	46
5.3.1. Ztráty smršťováním	46
5.3.2. Ztráta dotvarováním betonu	47
5.3.3. Ztráta dlouhodobou relaxací	48
5.3.4. Změna pružným přetvořením betonu	48
5.3.5. Výsledné napětí	48
5.3.6. Napětí po započtení dlouhodobých ztrát	49
6. MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI	50
6.1. Omezení napětí - část průřezu 1	50
6.1.1. Omezení napětí ve výztuži	51
6.1.2. Omezení napětí v betonu	51
6.1.3. Omezení trhlin	53
6.2. Omezení napětí - část průřezu 2	54
6.2.1. Omezení napětí v betonu	55
6.2.2. Omezení trhlin	57
6.3. Omezení napětí - část průřezu 3	58
6.3.1. Omezení napětí v betonu	59
6.3.2. Omezení trhlin	61
7. MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI	62
7.1. Ohyb - podélný směr - část 1	62
7.2. Ohyb - podélný směr - část 2	64
7.3. Ohyb - podélný směr - část 3	66
7.4. Ohyb - příčný směr	68



7.4.1. Max. ohybový moment nad podporou	68
7.4.2. Max. ohybový moment mezi podporami (skrytý příčník)	69
7.4.3. Max. ohybový moment v poli	70
7.5. Smyk - protlačení	71
7.5.1. Posouzení u obvodu u1 (v líci podpory)	73
7.5.2. Posouzení u obvodu u2 a u3 (vzdálenost d a 2d)	74
8. KOTVY A KOTEVNÍ OBLASTI	76
8.1. Posouzení soustředěného tlaku	76
8.2. Návrh a posouzení kotevní oblasti	77
8.3. Lokální oblast pod kotvou	78
8.4. Oblast u povrchu kotvy	78
8.5. Celková oblast	79
9. PRŮHYB	80

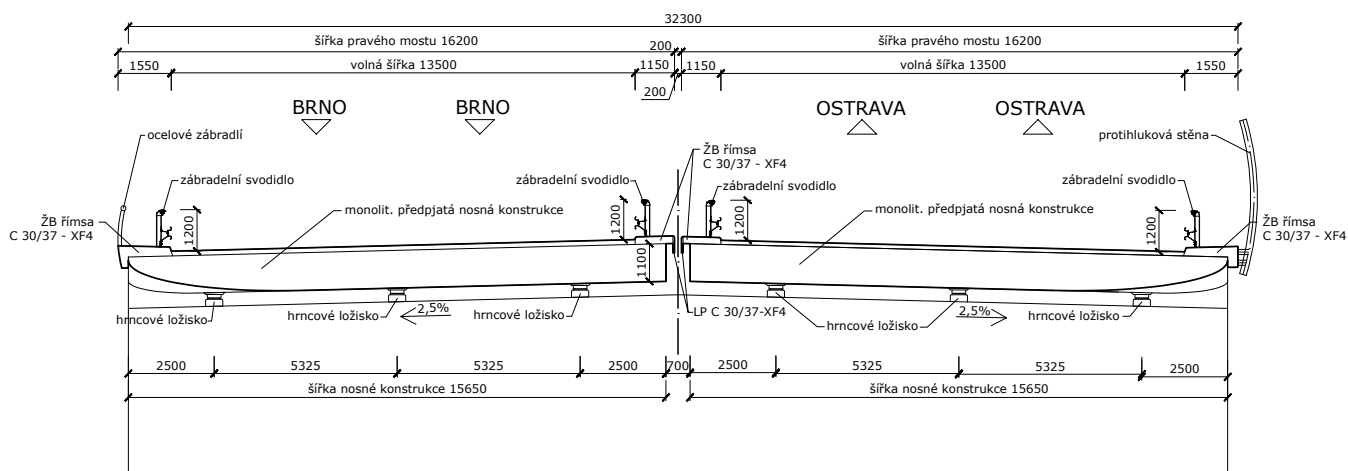
1. ZÁKLADNÍ INFORMACE

1.1. Popis mostu

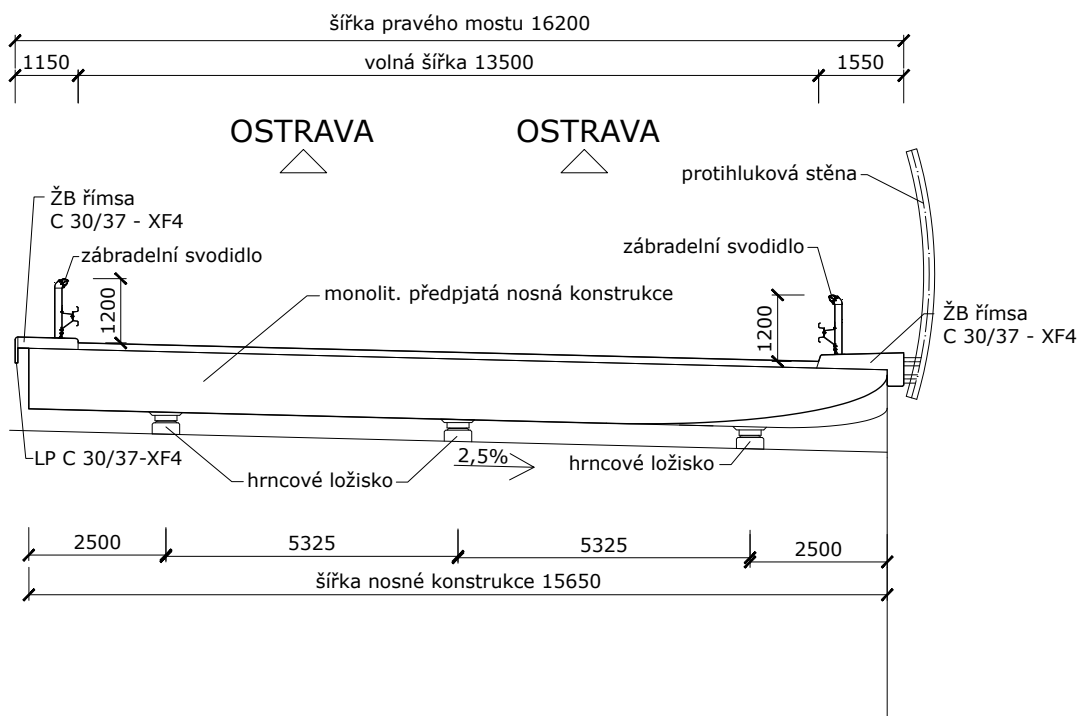
Řešený most se nachází na dálnici D47 Brno - Ostrava. Předmětem přemostění je silnice II/464. Nosná konstrukce mostu je řešena jako dodatečně předpjatá monolitická deska vycházející ze studie číslo 3. Most se skládá ze 2 nosných konstrukcí pro každý směr dálnice. Nosná konstrukce o celkové šířce 15,65m bude řešena ve směru Ostrava. Výška nosné konstrukce je částečně proměnná po šířce. Na šířku 10,65m připadá konstantní výška 1100mm, přičemž v šířce 5m směrem k vnějšímu okraji dochází dochází na spodním líci desky k čtvrt eliptickému zaoblení.

Délka nosné konstrukce	25,50m
Délka přemostění	22,50m
Vzdálenost ložisek	24,00m
Počet polí	1
Šikmost	kolmá
Volná šířka	13,50m
Šířka levé římsy	1,15m
Šířka pravé římsy	1,55m
Šířka nosné konstrukce	15,65m
Šířka mostu	16,20m
Příčný sklon	2,5% - pravý
Podélný sklon	0,370% (stoupá ve směru staničení)

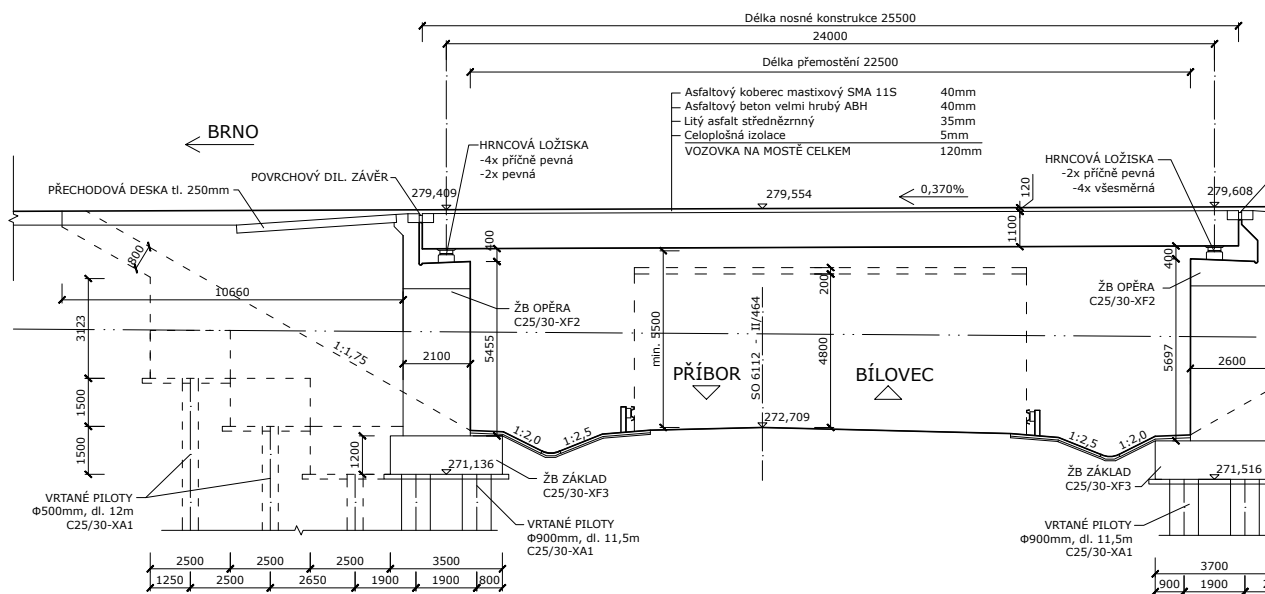
1.2. Geometrie mostu



Obr. 1.1 Příčný řez mostní konstrukce



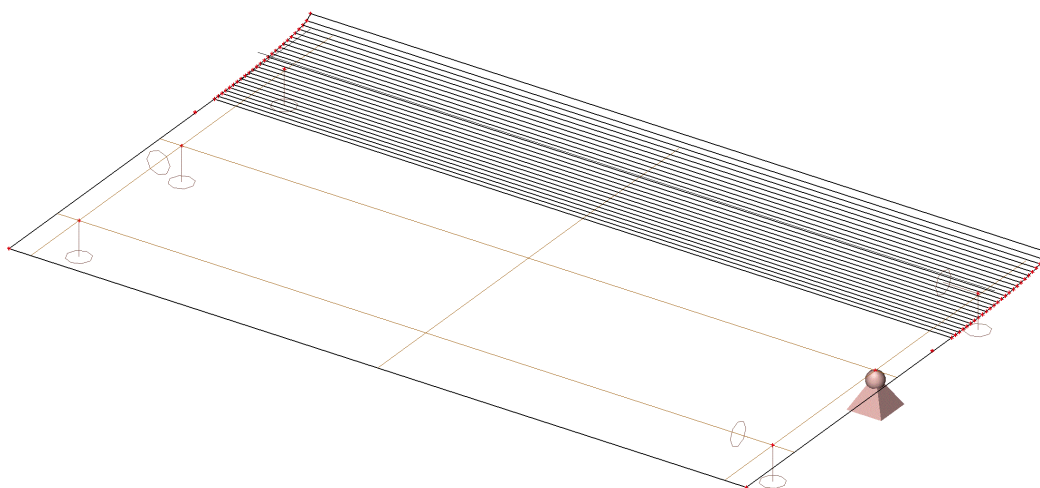
Obr. 1.2 Příčný řez mostní konstrukce - řešená část



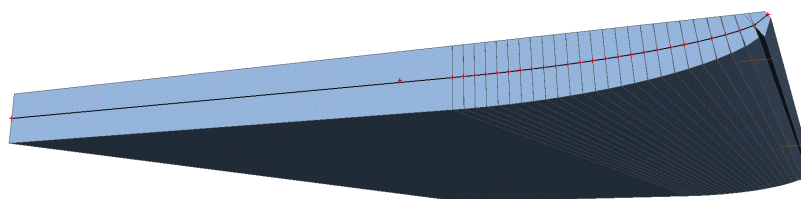
Obr. 1.3 Podélný řez

1.3. Výpočtový model

Výpočtový model byl vytvořen v programu Scia Engineer 16.1. Statický model byl vytvořen jako prostorová deska s postupně zalomenou střednicí, která byla rozdělena na úseky po 200mm. Délka desky je 25,5m, podepřena na 3 místech na každé straně. Ložiska jsou vzdálena 0,75m od okraje desky v podélném směru. V příčném směru jsou krajní ložiska vzdálena 2,5m od okraje, prostřední leží uprostřed. Vzdálenost mezi ložisky je 5,325m.



Obr. 1.4 Statický model v software Scia engineer 16.1



Obr. 1.5 Axonometrický pohled na desku v programu Scia engineer 16.1

1.4. Materiálové charakteristiky

1.4.1. Beton C35/45

Charakteristická pevnost v tlaku	$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$
Střední pevnost v tahu	$f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa}$
Modul pružnosti	$E_{cm} = 34 \text{ GPa}$
Mezní přetvoření	$\epsilon_{cu3} = 3,5\%$
Součinitel spolehlivosti	$\gamma_c = 1,5$
Součinitel účinků zatížení pro mosty	$\alpha_{cc} = 0,9$
Návrhová pevnost v tlaku	$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c = 21 \text{ MPa}$

1.4.2. Betonářská výztuž B500B

Charakteristická pevnost v tahu	$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
Součinitel spolehlivosti	$\gamma_s = 1,15$
Návrhová pevnost v tahu	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 434,78 \text{ MPa}$
Modul pružnosti	$E_s = 200 \text{ GPa}$

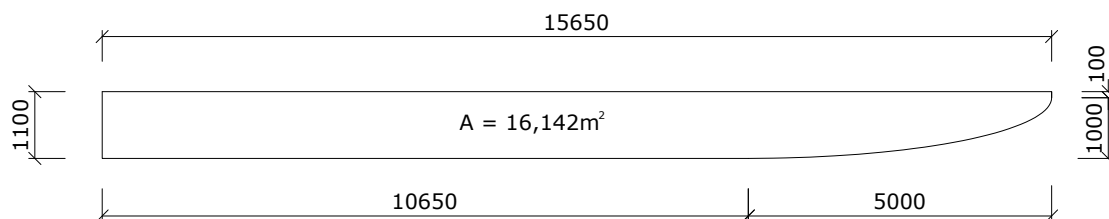
1.4.3. Předpínací výztuž

Typ výztuže	Y 1860 S7-15,7-A
Charakteristická pevnost v tahu	$f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$
Smluvní mez kluzu	$f_{p0,1k} = 1640 \text{ MPa}$
Modul pružnosti	$E_p = 195 \text{ GPa}$
Dílčí součinitel materiálu	$\gamma_s = 1,15$
Návrhová pevnost v tahu	$f_{pd} = f_{p0,1k} / \gamma_s = 1426,08 \text{ MPa}$
Průměr lana	$\Phi_p = 15,7 \text{ mm}$
Plocha 1 lana	$A_{p,1} = 150 \text{ mm}^2$
Průměr kabelu	$\Phi_{duct} = 60 \text{ mm}$
Průměr kabelového kanálku	$\Phi_{pk} = 67 \text{ mm}$

2. ZATÍŽENÍ

2.1. Vlastní tíha

Vlastní tíha byla zjištěna pomocí programu Scia engineer 16.1



Obr. 2.1 Příčný řez konstrukcí pro výpočet vlastní tíhy

Ruční výpočet

$$\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$$

$$A_c = 16,142 \text{ m}^2$$

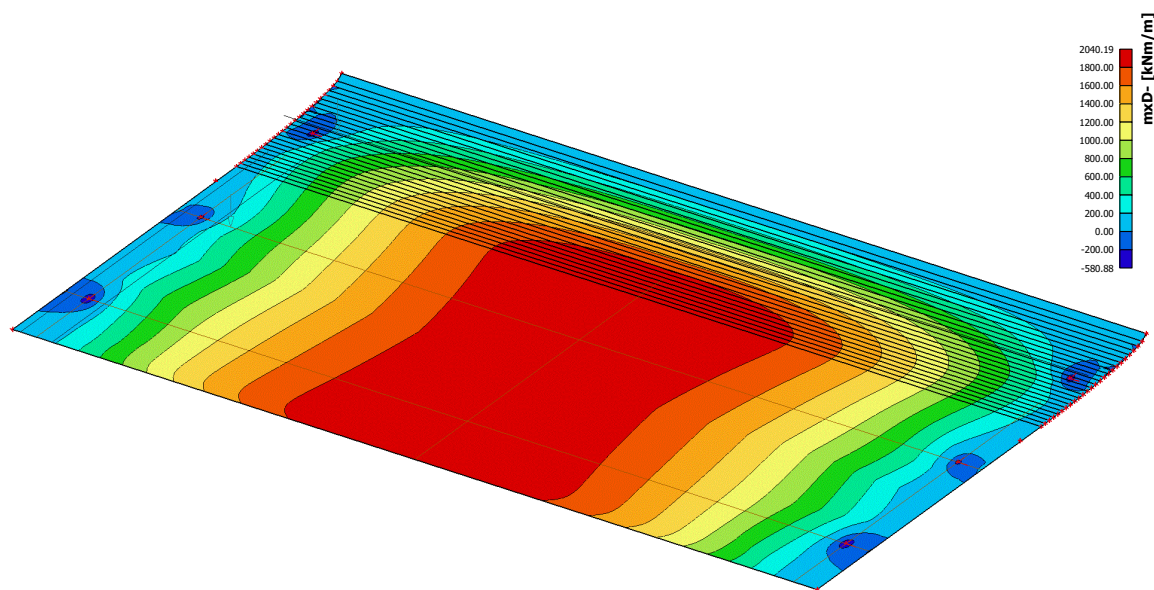
$$b_d = 15,65 \text{ m}$$

$$G_{0k} = A_c \cdot \gamma_c = 16,142 \cdot 25 = 403,55 \text{ kN/m}$$

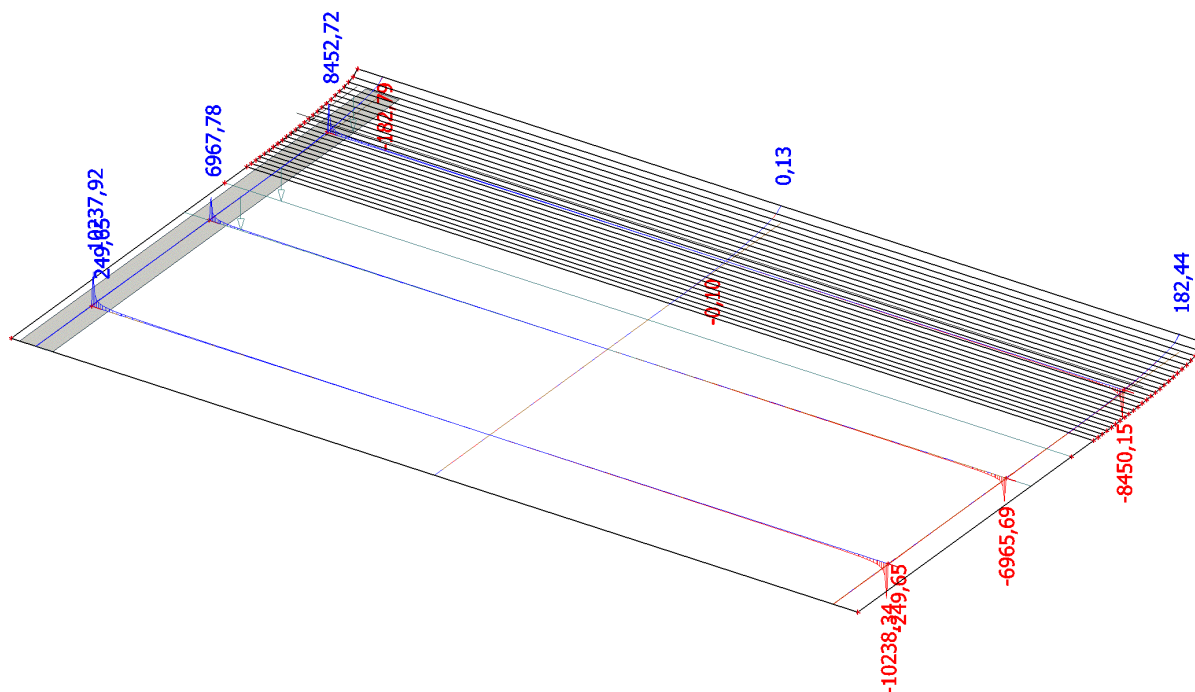
$$g_{0k} = G_{0k} / b_d = 403,55 / 15,65 = 25,786 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{g0k} = 1/8 \cdot g_{0k} \cdot 1 \text{bm} \cdot L^2 = 1/8 \cdot 25,786 \cdot 1,0 \cdot 24^2 = 1856,59 \text{ kNm/m'}$$

$$V_{g0k} = 1/2 \cdot g_{0k} \cdot 1 \text{bm} \cdot L = 1/2 \cdot 25,786 \cdot 1,0 \cdot 24 = 309,43 \text{ kN/m'}$$



Obr. 2.2 Momenty M_y - vlastní tíha



Obr. 2.3 Posouvající síly V_z - vlastní tíha

Maximální ohybový moment

$$M_{g0k} = 2040,19 \text{ kNm/m'}$$

Maximální posouvající síla

$$V_{g0k} = 8452,72 \text{ kN/m'}$$

2.2. Ostatní stálé

2.2.1. Římsa - pravá + svodidlo + PHS

Plocha římsy	$A_{r,P} = 0,53 \text{ m}^2$
Objemová tíha betonu	$\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$
Roznášecí plocha	$R_{r,P} = 1,25 \text{ m}$
Plošné zatížení římsy	$g_{r,P} = \frac{A_{r,P} * \gamma_c}{R_{r,P}} = \frac{0,53 * 25}{1,25} = 10,6 \text{ kN/m}^2$
Liniové zatížení od svodidla	$g_{svod,L} = 0,5 \text{ kN/m}$
Plošné zatížení od svodidla	$g_{svod,P} = g_{svod,L} / R_{r,P} = 0,5 / 1,25 = 0,4 \text{ kN/m}^2$
Liniové zatížení od PHS	$g_{PHS,L} = 2,0 \text{ kN/m}$
Plošné zatížení od svodidla	$g_{PHS,P} = g_{PHS,L} / R_{r,P} = 2,0 / 1,25 = 1,6 \text{ kN/m}^2$
Plošné zatížení celkem	$g_{r,P} = g_{r,P} + g_{svod,P} + g_{PHS,P} = 10,6 + 0,4 + 1,6 = 12,60 \text{ kN/m}^2$

2.2.2. Římsa - levá + svodidlo

Plocha římsy	$A_{r,L} = 0,28 \text{ m}^2$
Objemová tíha betonu	$\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$
Roznášecí plocha	$R_{r,L} = 0,9 \text{ m}$
Plošné zatížení římsy	$g_{r,P} = \frac{A_{r,P} * \gamma_c}{R_{r,P}} = \frac{0,28 * 25}{0,9} = 7,78 \text{ kN/m}^2$
Liniové zatížení od svodidla	$g_{svod,L} = 0,5 \text{ kN/m}$
Plošné zatížení od svodidla	$g_{svod,P} = g_{svod,L} / R_{r,L} = 0,5 / 0,9 = 0,55 \text{ kN/m}^2$
Plošné zatížení celkem	$g_{r,L} = g_{r,P} + g_{svod,P} = 7,78 + 0,55 = 8,33 \text{ kN/m}^2$

2.2.3. Vozovka

Tab. 2.1. Skladba vozovky

Vrstva	tl. [mm]	γ [kN/m ³]	Zatížení (tl. * γ) [kN/m ²]
SMA 11 S	40	22	0,88
Spojovací postřik	-	-	0,04
ACL 22 S	60	22	1,32
Spojovací postřik	-	-	0,04
MA 11 IV	35	22	0,77
Izolace	5	12	0,06
Pečetící vrstva	-	-	0,04
CELKEM	140	-	3,15

Zatížení vozovkou

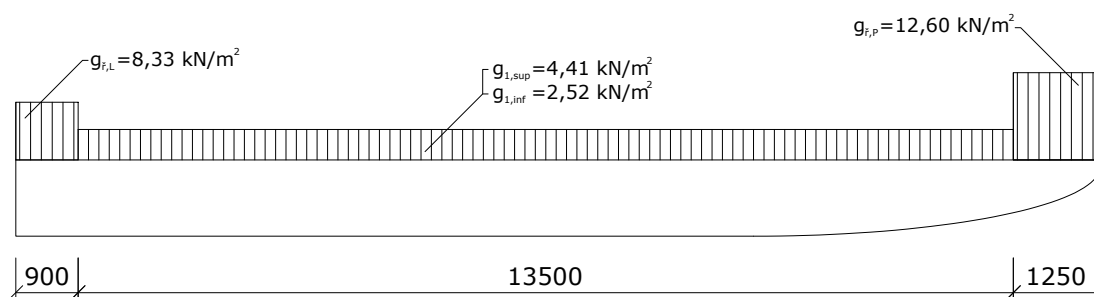
$$g_1 = 3,15 \text{ kN/m}^2$$

Supremum (+40% rezerva)

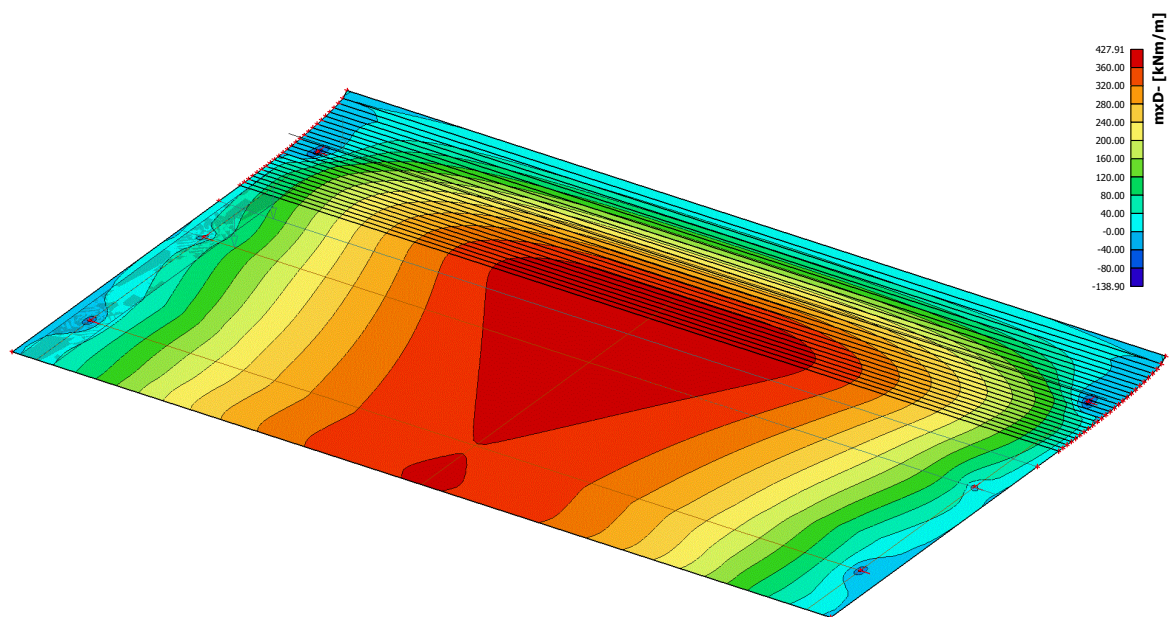
$$g_{1,\text{sup}} = g_1 * 1,4 = 4,41 \text{ kN/m}^2$$

Infimum (-20% rezerva)

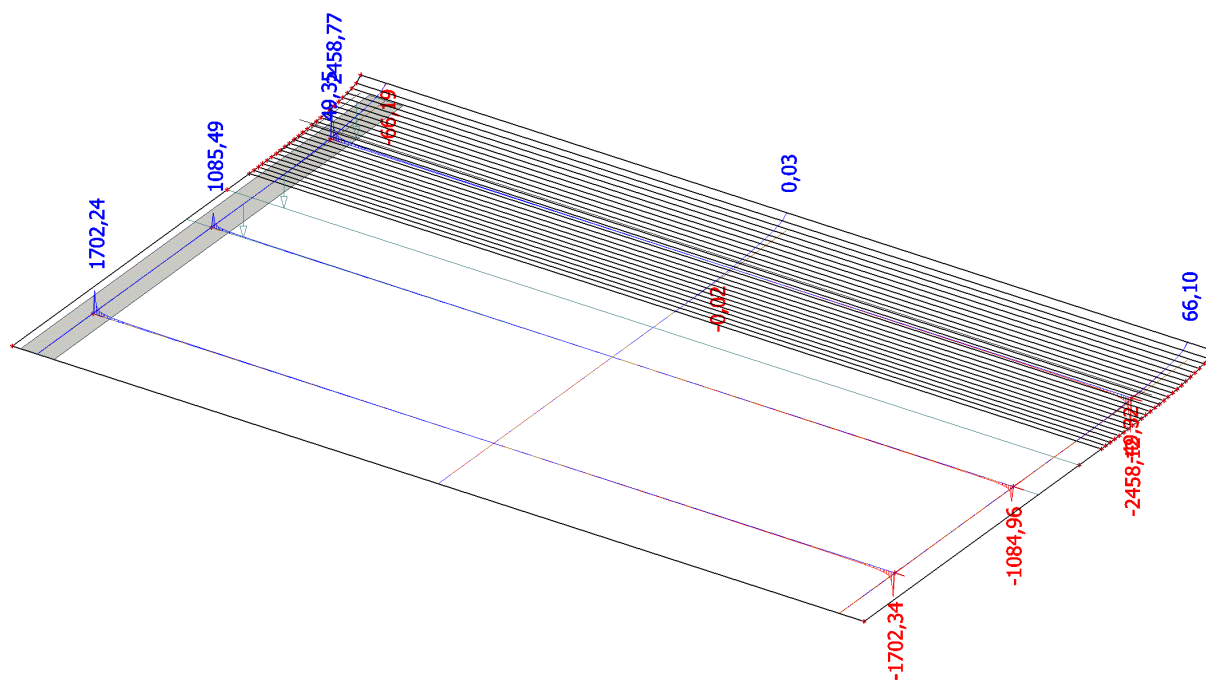
$$g_{1,\text{inf}} = g_1 * 0,8 = 2,52 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 2.4 Ostatní stálé zatížení



Obr. 2.5 Momenty M_y - Ostatní stálé zatížení



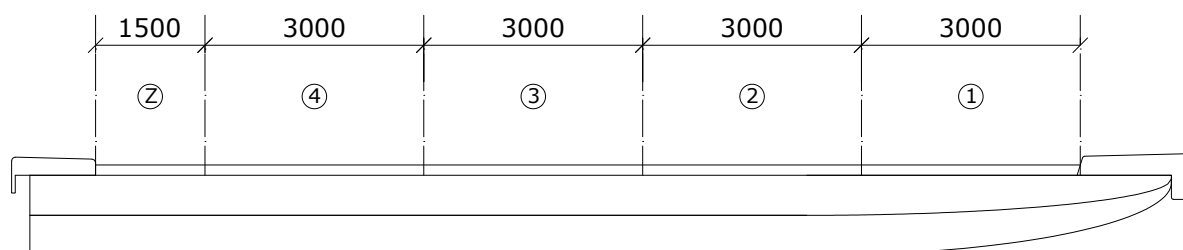
Obr. 2.6 Posouvající síly V_z - Ostatní stálé zatížení

Maximální ohybový moment $M_{g1k} = 427,91 \text{ kNm/m'}$
Maximální posouvající síla $V_{g1k} = 2458,77 \text{ kN/m'}$

2.3. Proměnné zatížení - zatížení dopravou

Rozdělení vozovky na zatěžovací pruhy

Šířka vozovky	$w = 13,5 \text{ m}$
Počet zatěžovacích pruhů	$n_i = \text{Int}(w/3) = 4$
Šířka zatěžovacího pruhu	$w_i = 3 \text{ m}$
Šířka zbývající plochy	$w - 3 * n_i = 13,5 - 3 * 4 = 1,5 \text{ m}$



Obr. 2.7 Rozmístění zatěžovacích pruhů

Tab. 2.2 - Regulační součinitel pro ČR

Skupina pozemních komunikací	α_{Q1}	α_{Q2}	α_{Q3}	α_{q1}	α_{q2}	$\alpha_{qi} (i < 2) \text{ a } \alpha_{qr}$
1	1,0	1,0	1,0	1,0	2,4	1,2

Tab. 2.3. - Základní hodnoty zatížení LM1 dle EC 1991-2

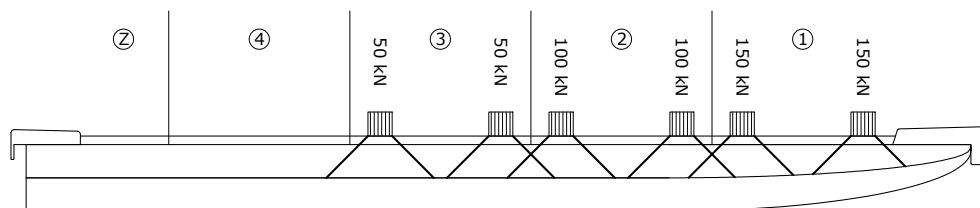
Umístění	Dvounáprava TS	Rovnoměrné zatížení UDL	$\alpha_{Q1} * Q_{ik} [\text{kN}]$	$\alpha_{q1} * q_{ik} [\text{kN/m}^2]$
	nápravové síly $Q_{ik} [\text{kN}]$	$Q_{ik} \text{ (nebo } q_{ik}) [\text{kN/m}^2]$		
Pruh č.1	300	9	300	9
Pruh č.2	200	2,5	200	6
Pruh č.3	100	2,5	100	3
Ostatní pruhy	0	2,5	-	3
Zbývající plocha (q_{rk})	0	2,5	-	3

2.3.1. gr1a (LM1 + zatížení chodci nebo cyklisty)

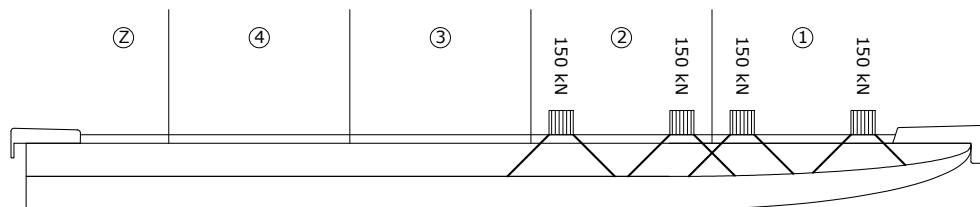
2.3.1.1. TS (dvojnápravy)

Roznos pod úhlem 45° na střednici plochy. Pro zjištění maximálních momentů a posouvajících sil v poli a nad jednotlivými podporami byly sestaveny různé varianty zatížení.

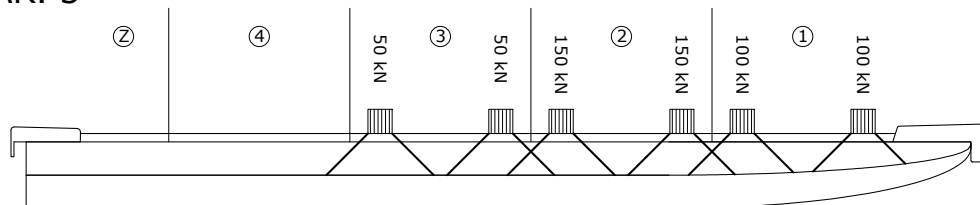
VAR. 1



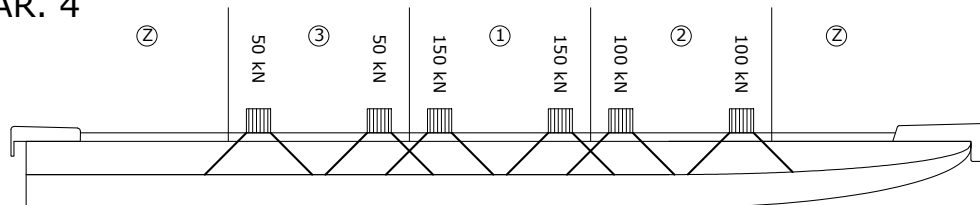
VAR. 2



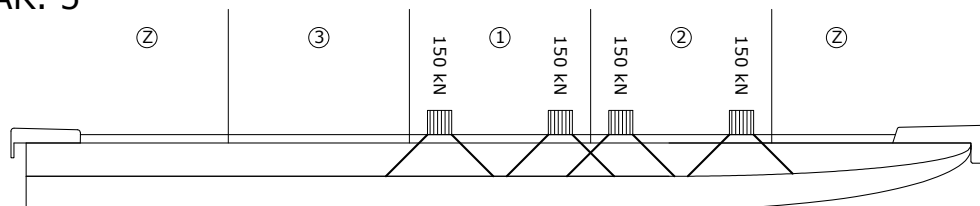
VAR. 3



VAR. 4



VAR. 5



Obr. 2.8 Varianty sestavení TS

Maximální ohybový moment byl zjištěn pomocí programu SCIA engineer pro variantu 1.

Výpočet plošného zatížení

Plošné zatížení 1

Síla	$Q_1 = 150 \text{ kN}$
Roznášecí plocha	$A_1 = 1,546 \cdot 1,531 = 2,37 \text{ m}^2$
Plošné zatížení	$q_1 = Q_1 / A_1 = 150 / 2,37 = 63,37 \text{ kN/m}^2$

Plošné zatížení 2

Síla	$Q_2 = 150 \text{ kN}$
Roznášecí plocha	$A_2 = 1,735 \cdot 1,735 = 3,01 \text{ m}^2$
Plošné zatížení	$q_2 = Q_2 / A_2 = 150 / 3,01 = 49,85 \text{ kN/m}^2$

Plošné zatížení 3

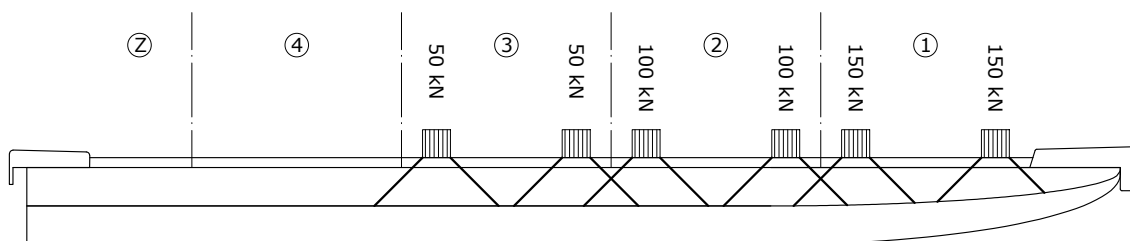
Síla	$Q_3 = 100 \text{ kN}$
Roznášecí plocha	$A_3 = 1,768 \cdot 1,768 = 3,15 \text{ m}^2$
Plošné zatížení	$q_3 = Q_3 / A_3 = 100 / 3,15 = 31,80 \text{ kN/m}^2$

Plošné zatížení 4

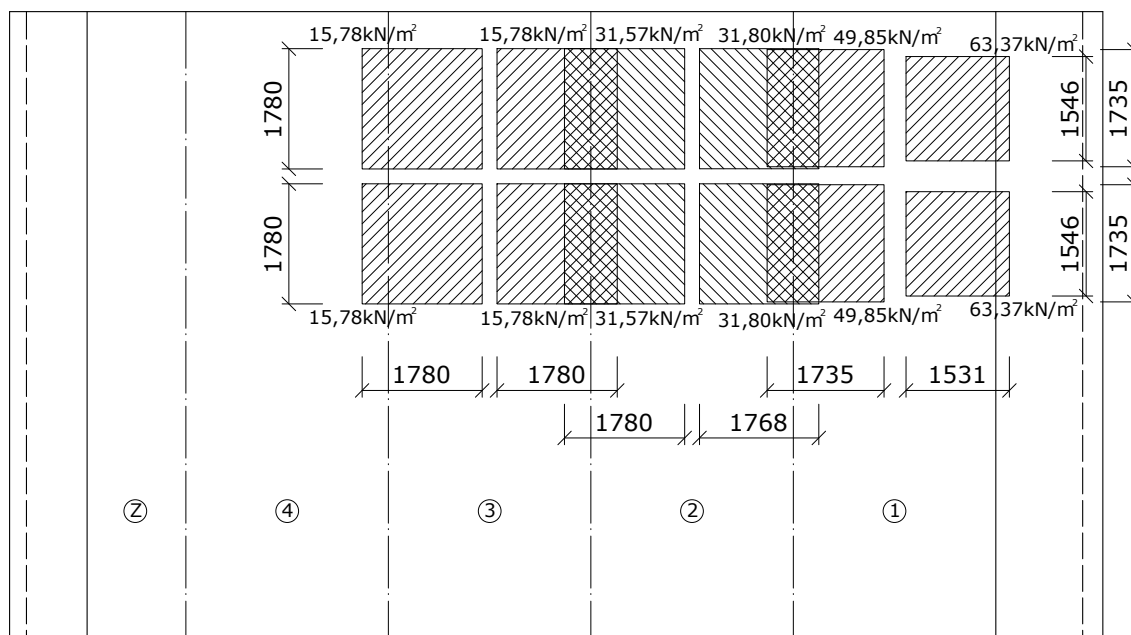
Síla	$Q_4 = 100 \text{ kN}$
Roznášecí plocha	$A_4 = 1,780 \cdot 1,780 = 3,17 \text{ m}^2$
Plošné zatížení	$q_4 = Q_4 / A_4 = 100 / 3,17 = 31,57 \text{ kN/m}^2$

Plošné zatížení 5 = 6

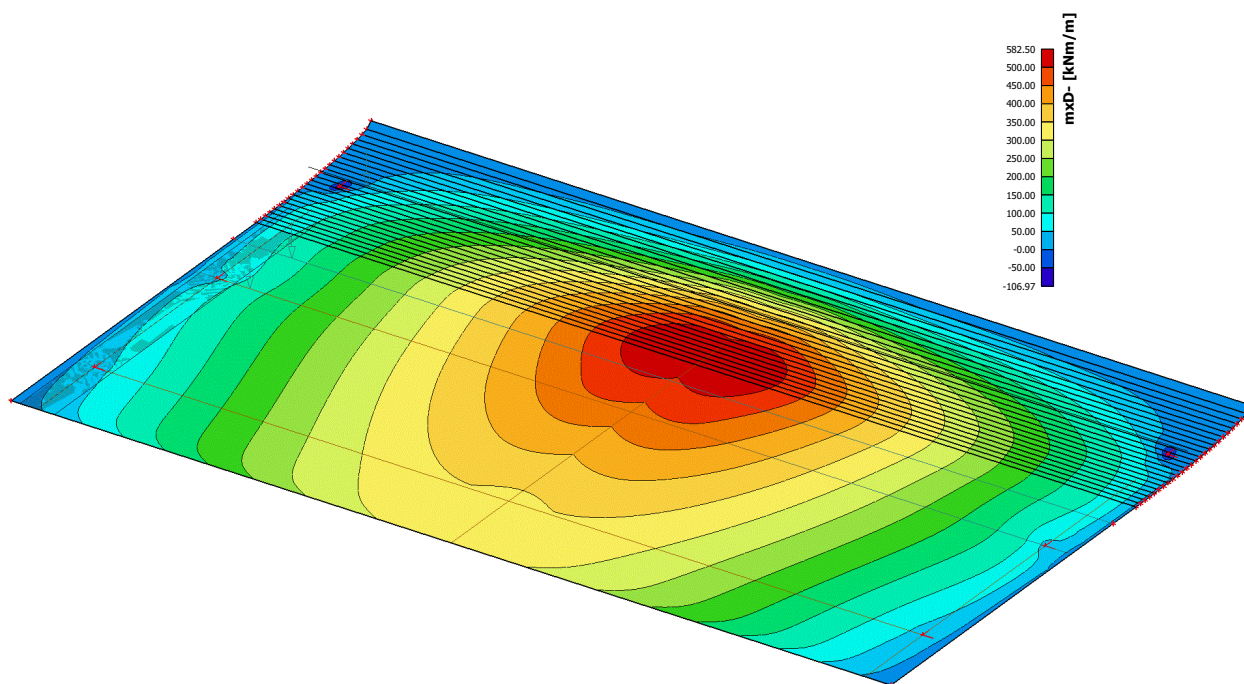
Síla	$Q_5 = Q_6 = 50 \text{ kN}$
Roznášecí plocha	$A_5 = A_6 = 1,780 \cdot 1,780 = 3,17 \text{ m}^2$
Plošné zatížení	$q_5 = q_6 = Q_5 / A_5 = 50 / 3,17 = 15,78 \text{ kN/m}^2$



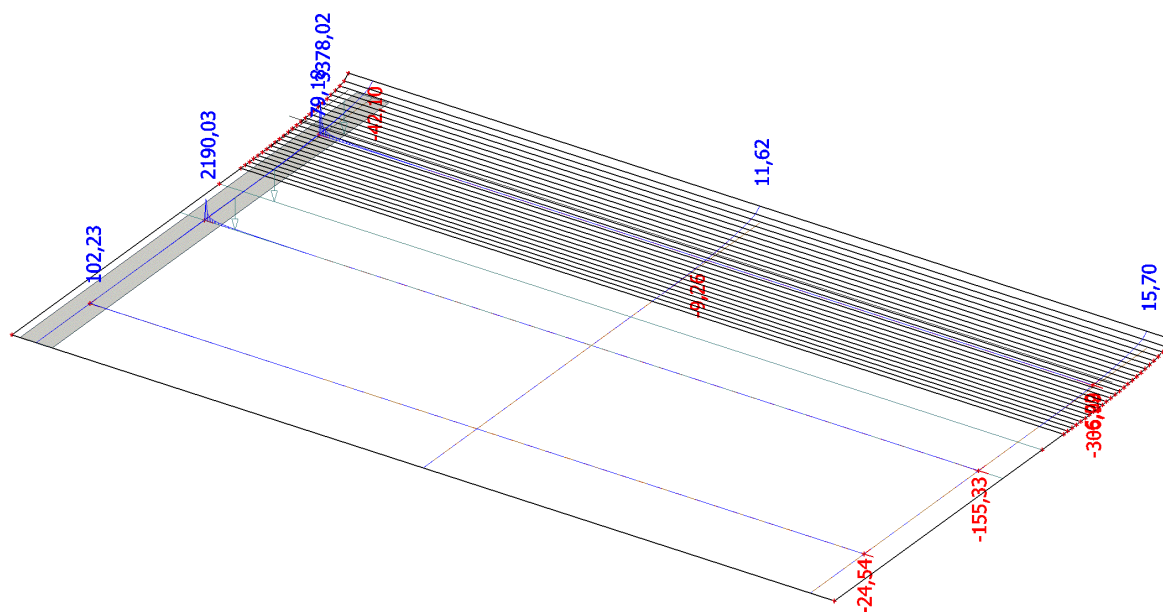
Obr. 2.9 Příčný řez roznosu zatížení TS - varianta 1



Obr. 2.10 Půdorys roznosu zatížení TS - varianta 1



Obr. 2.11 Momenty M_y - LM1 - dvounáprava TS



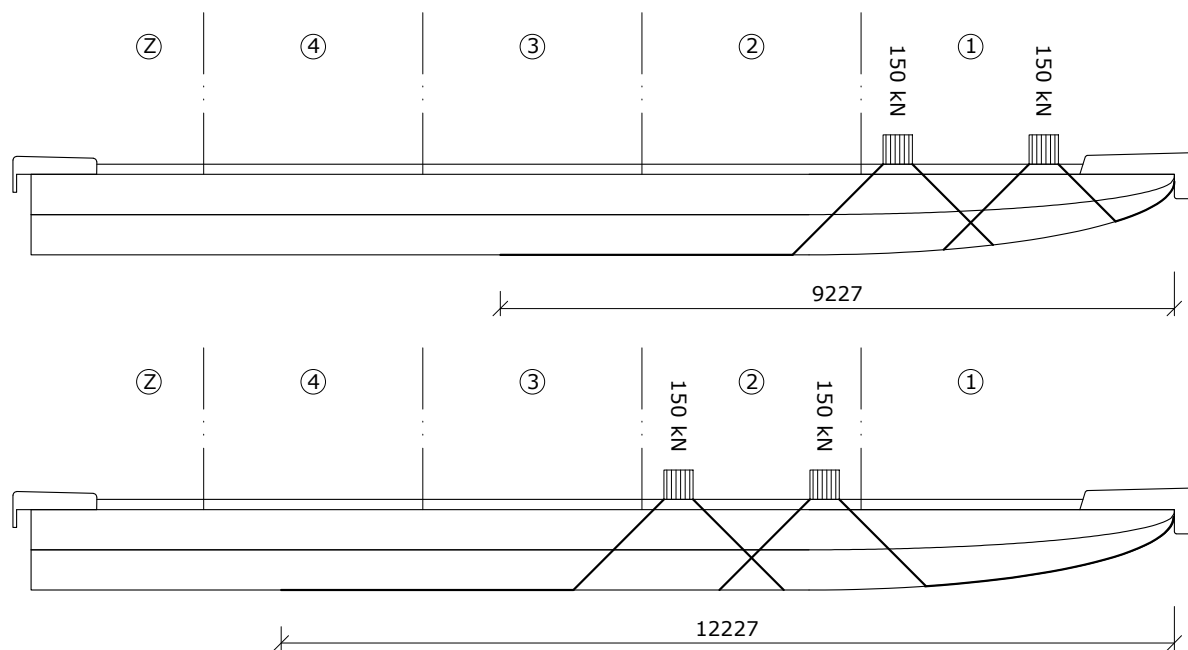
Obr. 2.12 Posouvající síly Vz - LM1 - dvounáprava TS

Tabulka vnitřních sil jednotlivých variant přiřazena v další kapitole.

Maximální ohybový moment $M_{q1k} = 582,50 \text{ kNm/m'}$

Maximální posouvající síla $V_{q1k} = 3385,92 \text{ kN/m'}$

RUČNÍ OVĚŘENÍ



Obr. 2.13 Roznos dvounápravy TS pro ruční výpočet

První dvounáprava

$$q_{TS1} = \frac{Q_{TS1}}{b_{s1}} = \frac{300}{9,22} = 32,54 \text{ kN/m}$$

$$R_{A1} = R_{B1} = 32,54 \text{ kN}$$

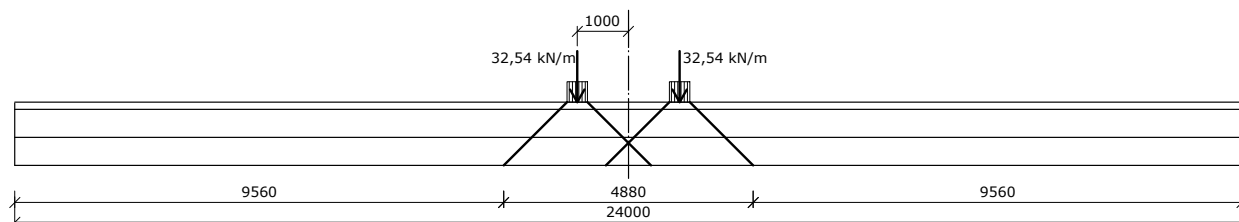
$$m_{TS1} = R_{A1} \cdot \frac{1}{2}l - q_{TS1} \cdot 1,00 = 32,54 \cdot 12 - 32,54 \cdot 1,00 = 357,94 \text{ kN}$$

Druhá dvounáprava

$$q_{TS2} = \frac{Q_{TS2}}{b_{s2}} = \frac{300}{12,27} = 24,45 \text{ kN/m}$$

$$R_{A1} = R_{B1} = 24,45 \text{ kN/m}$$

$$m_{TS2} = R_{A1} \cdot \frac{1}{2}l - q_{TS2} \cdot 1,00 = 24,45 \cdot 12 - 24,45 \cdot 1,00 = 268,95 \text{ kN}$$



Obr. 2.14 Umístění TS pro max. Moment

$$m_{TS1,2} = m_{TS1} + m_{TS2} \cdot \frac{c}{2 \cdot b_{s1} - c} = 357,94 + 268,95 \cdot \frac{9,227}{2 \cdot 12,227 - 9,227} = 626,89 \text{ kN/m}$$

Ohybový moment od ručního výpočtu

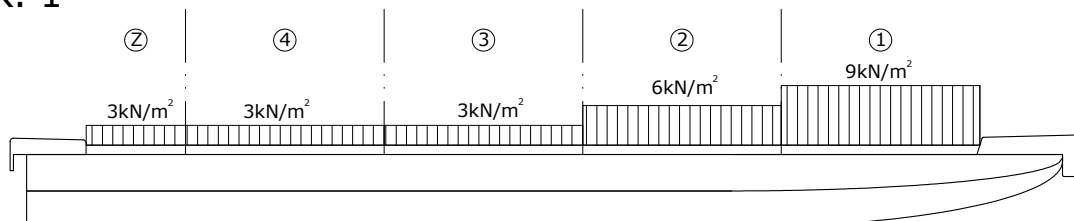
$$M_{g1k} = 626,89 \text{ kNm/m'}$$

Moment ze SCIA engineer se liší o 7,1% od momentu získaného ručním výpočtem.

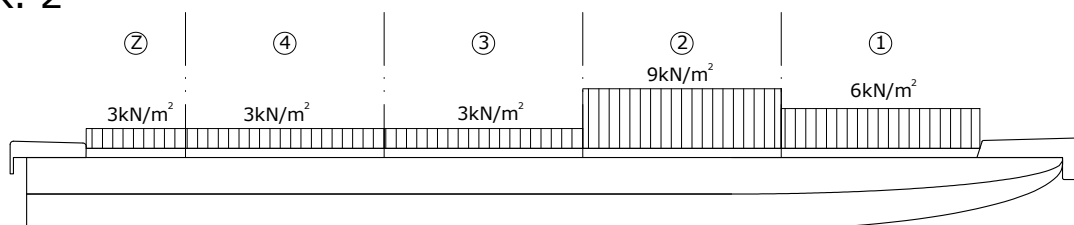
2.3.1.2. UDL (rovnoměrné zatížení)

Pro zjištění maximálních ohybových momentů a posouvajících sil v poli a nad podporami byly vytvořeny 3 varianty umístění zatížení.

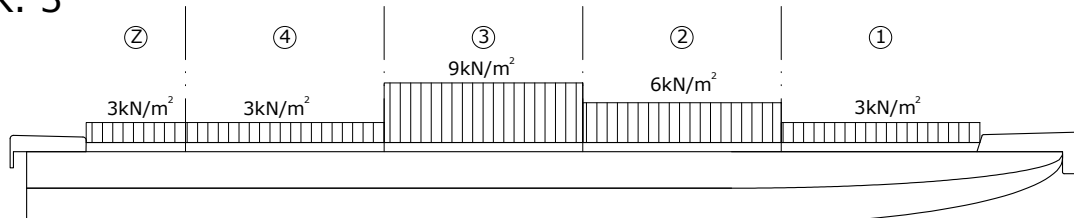
VAR. 1



VAR. 2

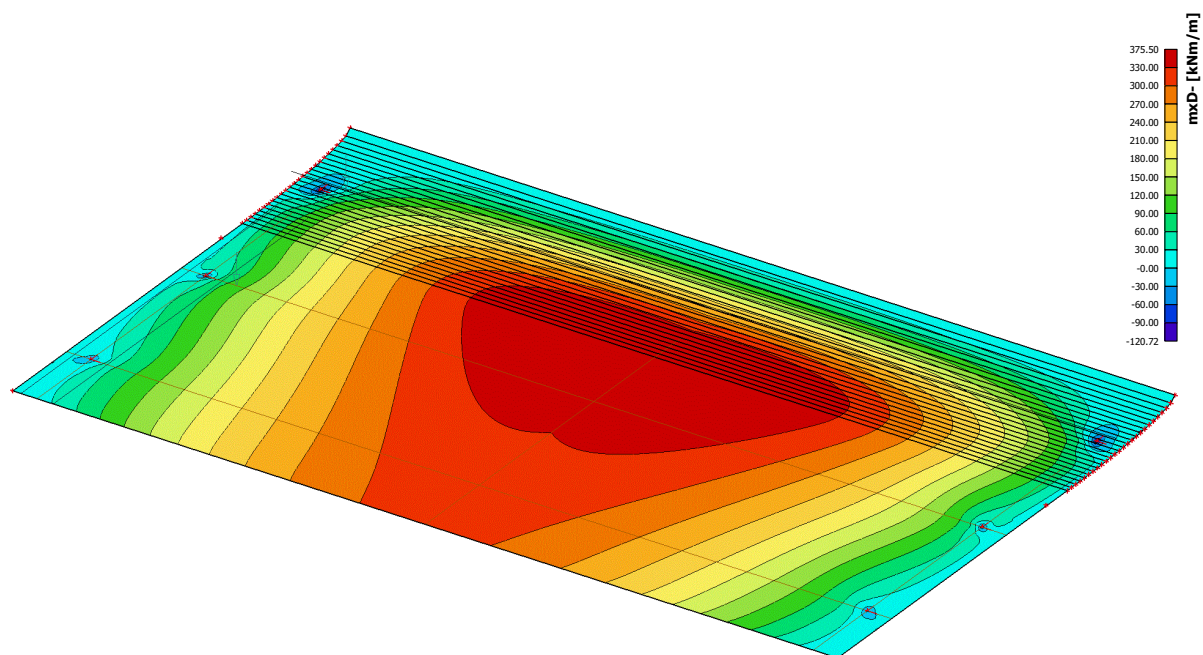


VAR. 3

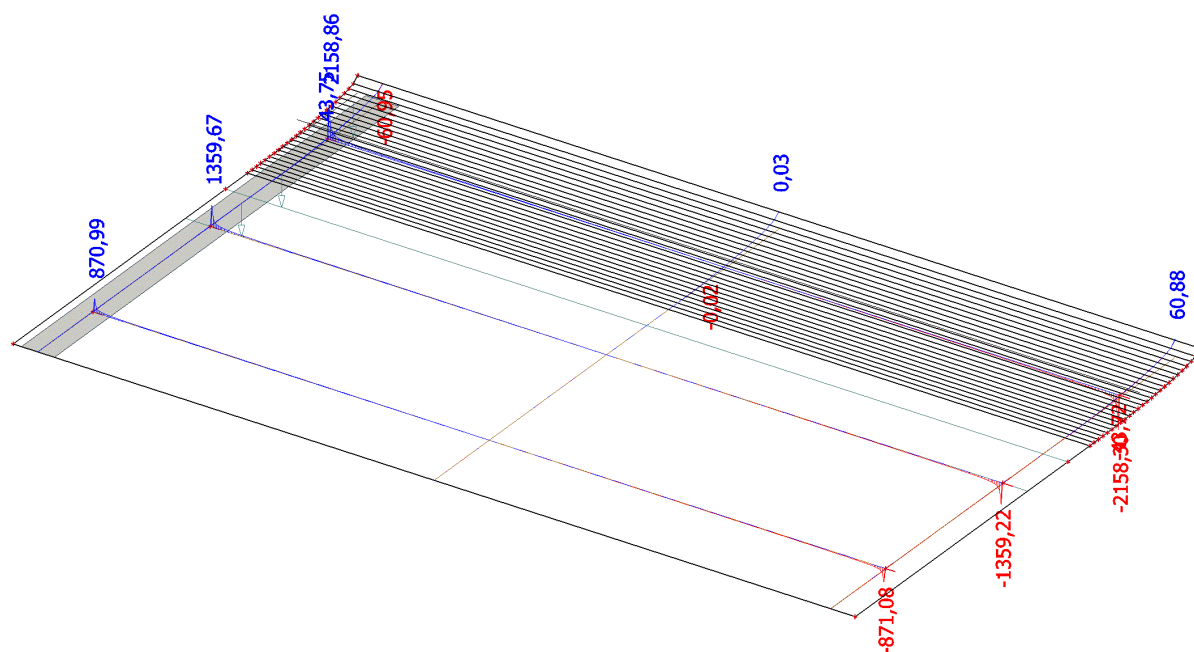


Obr. 2.15 Varianty zatížení - UDL

Maximální moment v poli byl vyvozen od varianty zatížení 1.



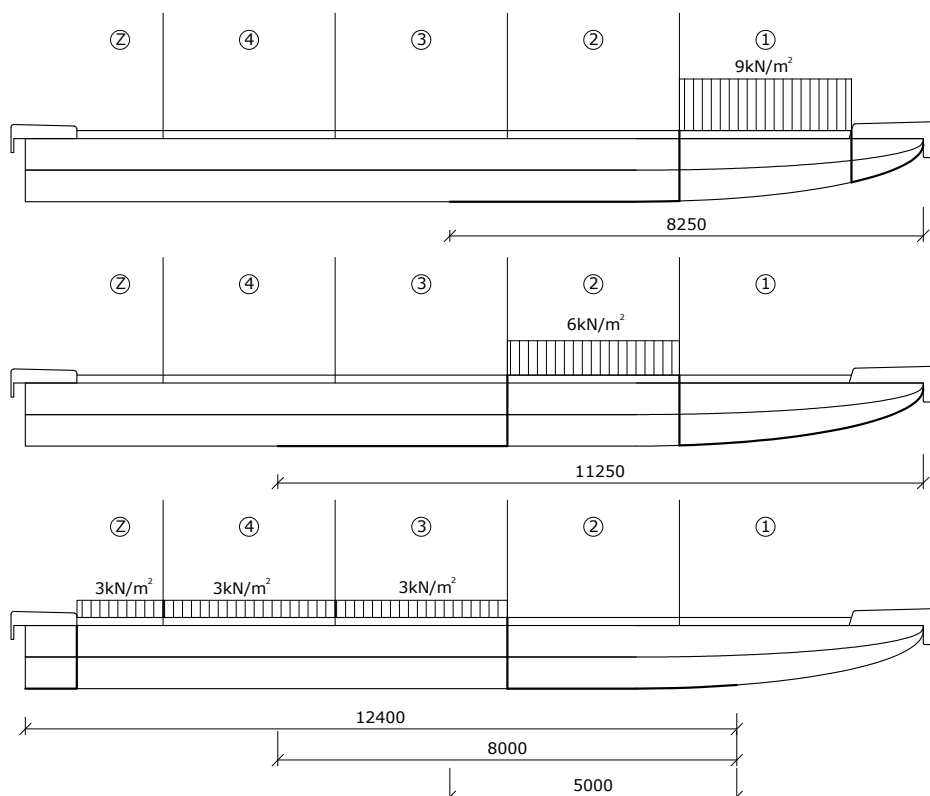
Obr. 2.16 Momenty M_y - UDL (rovnorné zatížení)



Obr. 2.17 Posouvající síly V_z - UDL (rovnorné zatížení)

Maximální ohybový moment $M_{g0k} = 375,50 \text{ kNm/m'}$
Maximální posouvající síla $V_{g0k} = 2158,86 \text{ kN/m'}$

RUČNÍ OVĚŘENÍ



Obr. 2.18 Roznos UDL pro ruční výpočet

Přepočet zatížení

$$q_{UDL,1} = q_{1k} \cdot \frac{3}{b_{s,1}} = 9 \cdot \frac{3}{8,25} = 3,27 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{UDL,2} = q_{2k} \cdot \frac{3}{b_{s,2}} = 6 \cdot \frac{3}{11,25} = 1,6 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{UDL,3} = q_{3k} \cdot \frac{3}{b_{s,3}} = 3 \cdot \frac{7,5}{12,4} = 1,81 \text{ kN/m}^2$$

Výpočet momentu

$$m_{UDL1} = \frac{1}{8} \cdot q l^2 = \frac{1}{8} \cdot 3,27 \cdot 24^2 = 235,44 \text{ kN/m'}$$

$$m_{UDL2} = \frac{1}{8} \cdot q l^2 = \frac{1}{8} \cdot 1,6 \cdot 24^2 = 115,2 \text{ kN/m'}$$

$$m_{UDL3} = \frac{1}{8} \cdot q l^2 = \frac{1}{8} \cdot 1,81 \cdot 24^2 = 129,6 \text{ kN/m'}$$

Výsledné ohybové momenty

$$m_{UDL1,2} = m_{UDL1} + m_{UDL2} \cdot \frac{c}{2 \cdot b_{s1} - c} = 235,44 + 115,2 \cdot \frac{8,25}{2 \cdot 8,25 - 8,25} = 350,64 \text{ kN/m'}$$

$$m_{UDL2,1} = m_{UDL1} + m_{UDL2} \cdot \frac{c}{2 \cdot b_{s2} - c} = 115,2 + 235,44 \cdot \frac{8,25}{2 \cdot 11,25 - 8,25} = 251,51 \text{ kN/m'}$$

$$m_{UDL1,3} = m_{UDL1} + m_{UDL3} \cdot \frac{c}{2 \cdot b_{s1} - c} = 235,44 + 129,6 \cdot \frac{5,00}{2 \cdot 8,25 - 5,00} = 291,79 \text{ kN/m'}$$

$$m_{UDL3,1} = m_{UDL3} + m_{UDL1} \cdot \frac{c}{2 \cdot b_{s3} - c} = 129,6 + 235,44 \cdot \frac{5,00}{2 \cdot 12,40 - 5,00} = 189,05 \text{ kN/m'}$$

$$m_{UDL1,2,3} = m_{UDL1,2} + m_{UDL1,3} - m_{UDL1} = 350,64 + 291,79 - 235,44 = 406,99 \text{ kN/m'}$$

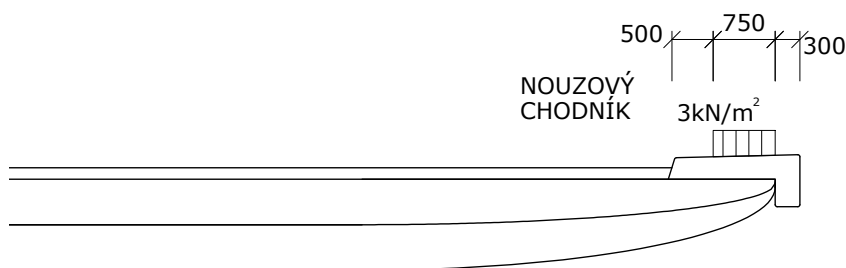
Ohybový moment od ručního výpočtu

$$M_{q1k} = 406,99 \text{ kNm/m'}$$

Moment ze SCIA engineer se liší o 7,7% od momentu získaného ručním výpočtem.

2.3.1.3. Zatížení chodci + zatížení cyklisty

Kombinační hodnota zatížení od chodců je redukovaná hodnota. Uvažujeme 3 kN/m^2 .



Obr. 2.19 Schéma zatížení chodníku

Maximální ohybový moment a posouvající síla jsou zjištěny pomocí programu SCIA engineer

Maximální ohybový moment $M_{g0k} = 17,25 \text{ kNm/m'}$

Maximální posouvající síla $V_{g0k} = 191,33 \text{ kN/m'}$

2.3.3. gr5 (LM3 - Zvláštní vozidlo 1800/200)

Zvláštní vozidlo se pohybuje v jednom jízdním pruhu (číslo 1), v tomto pruhu se nesmí umístit současně působící model zatížení LM1 po celé délce mostu. Model zatížení LM1 se uvažuje v pruhu 2 (a dalších) hodnotami pro pruh 2 (a další) bez soustředěných zatížení od dvojnápravy, tj. pouze charakteristickými hodnotami pro rovnoměrné zatížení $\alpha_{qi} \cdot q_{ik}$, resp. $\alpha_{qr} \cdot q_{kr}$. Při přejezdu zvláštního vozidla nebude povolen souběžný provoz pro vozidla nad 5t.

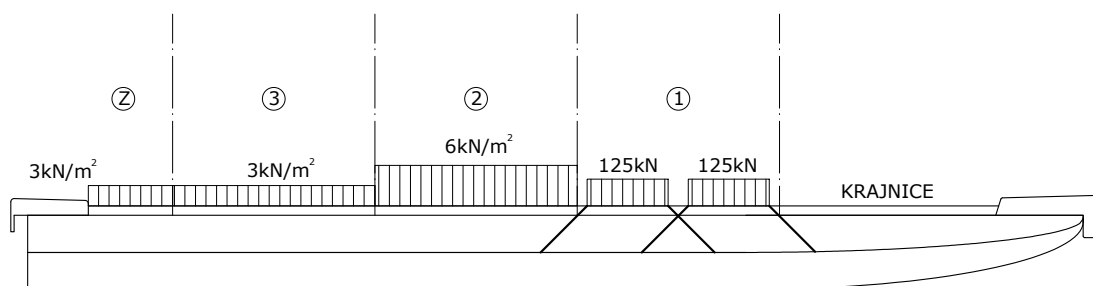
Celková tíha	1 800 kN
Označení	1800/200
Nápravy	$n = 9 \cdot 200 \text{ kN}$ $e = 1,50 \text{ m}$
Rychlost	Normální ($\leq 70 \text{ km/hod}$)
Dynamický součinitel	Ano, $\varphi = 1,25$
Přepočet síly	$200/2 = 100 \text{ kN}$ $Q = 100 \cdot 1,25 = 125 \text{ kN}$

Plošné zatížení 1

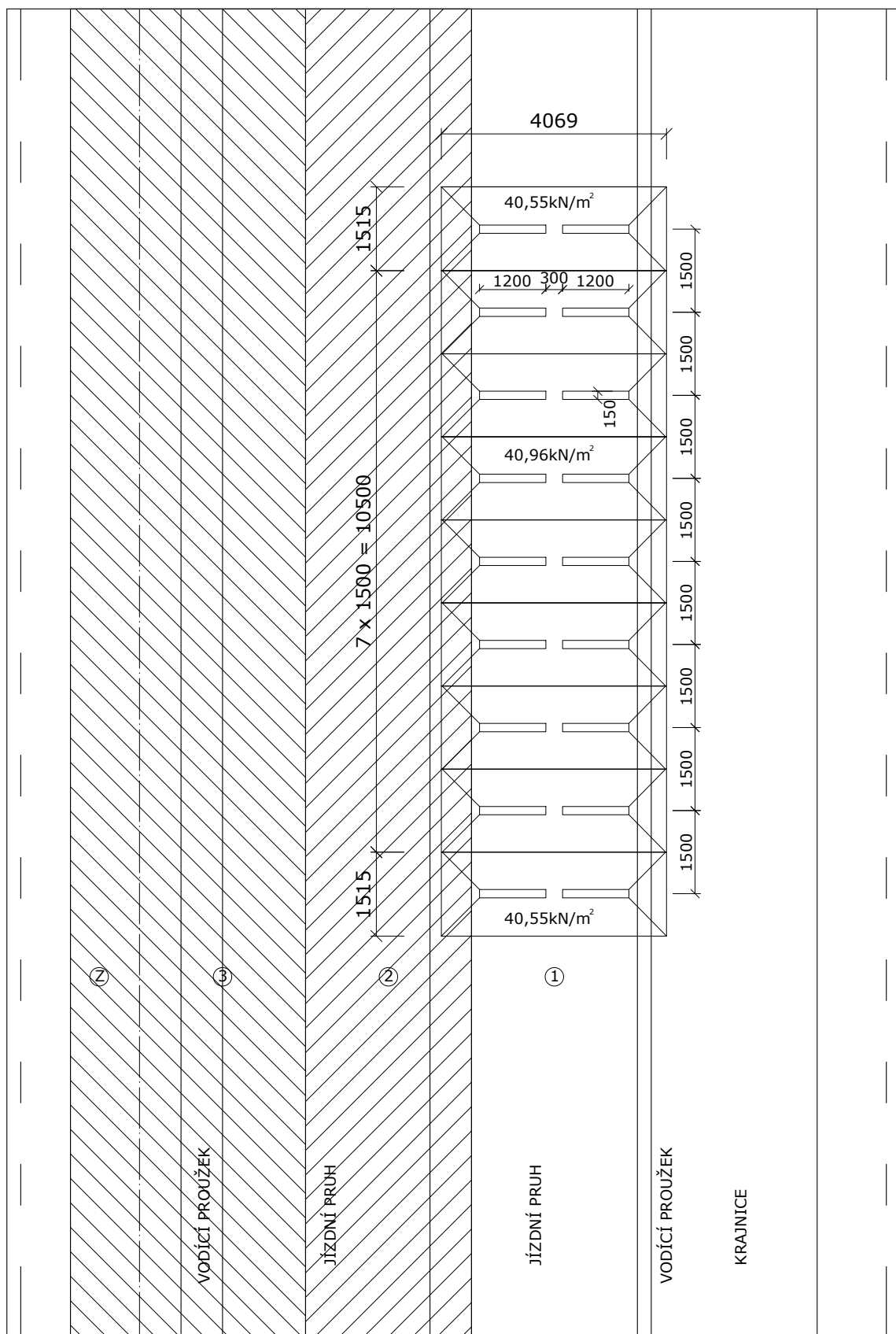
Síla	$Q_1 = 2 \cdot 125 \text{ kN}$
Roznášecí plocha	$A_1 = 4,069 \cdot 1,515 = 6,165 \text{ m}^2$
Plošné zatížení	$q_1 = Q_1 / A_1 = 250 / 6,165 = 40,44 \text{ kN/m}^2$

Plošné zatížení 2

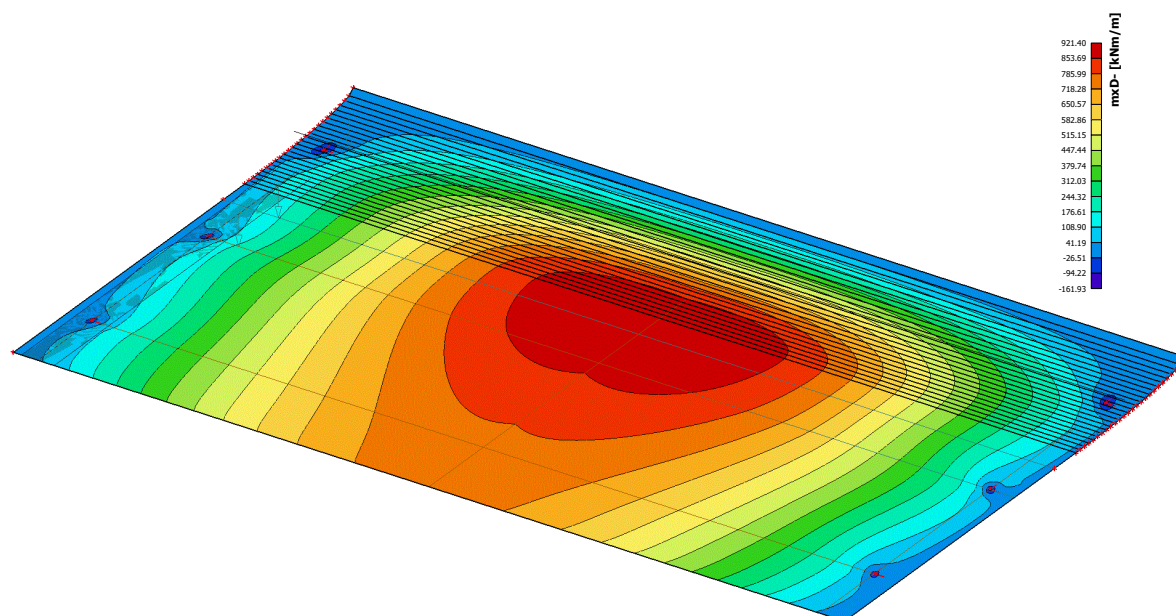
Síla	$Q_2 = 2 \cdot 125 \text{ kN}$
Roznášecí plocha	$A_2 = 4,069 \cdot 1,500 = 6,104 \text{ m}^2$
Plošné zatížení	$q_2 = Q_2 / A_2 = 250 / 6,104 = 40,96 \text{ kN/m}^2$



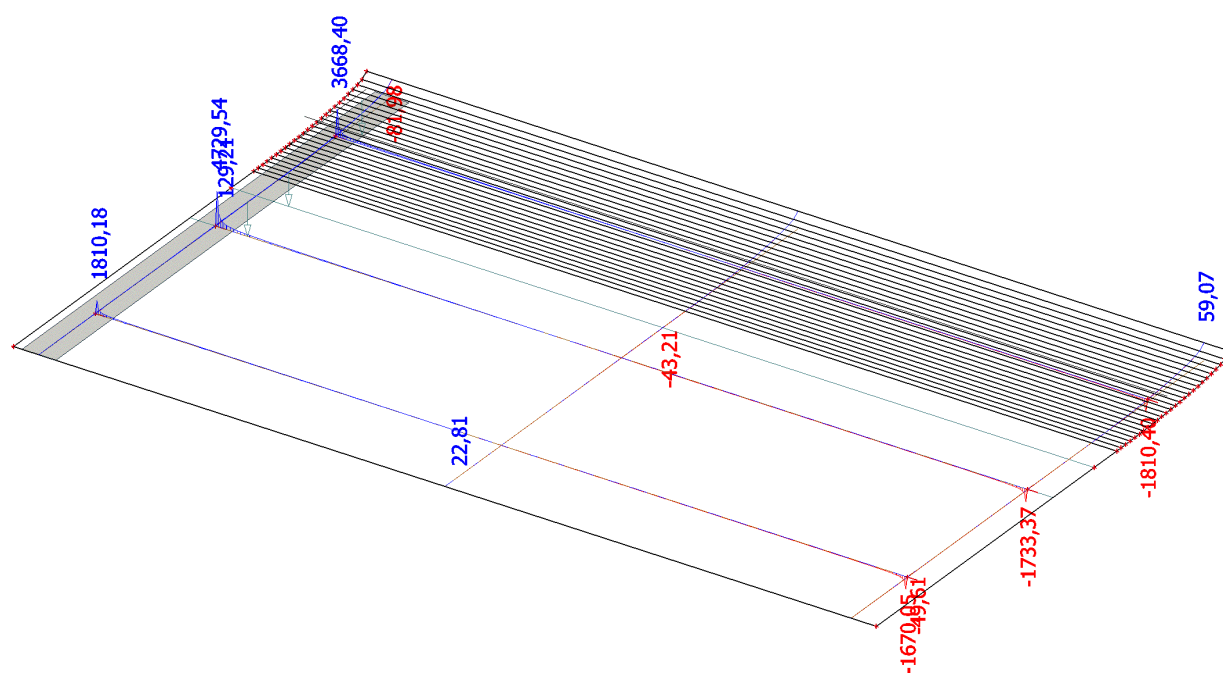
Obr. 2.20 Řez roznosu zatížení - LM3 - Zvláštní vozidlo 1800/200



Obr. 2.21 Půdorys roznosu zatížení - LM3 - Zvláštní vozidlo 1800/200



Obr. 2.22 Momenty M_y - gr5 (LM3 - Zvláštní vozidlo 1800/200)



Obr. 2.23 Posouvající síly - gr5 (LM3 - Zvláštní vozidlo 1800/200)

Maximální ohybový moment $M_{g0k} = 921,40 \text{ kNm/m'}$

Maximální posouvající síla $V_{g0k} = 4729,54 \text{ kN/m'}$

2.3.3. LM3 - Zvláštní vozidlo 3000/240

Zvláštní vozidlo šířky do 4,5m se pohybuje v ideální stopě v prostoru všech zatěžovacích pruhů, přičemž se uvažuje možná odchylka od této polohy $\pm 0,50$ m. Po celé délce nosné konstrukce mostu musí být vyloučena veškerá ostatní doprava.

Celková tíha	3 000 kN	
Označení	3000/240	
Nápravy	$n = 1 \cdot 120 + 12 \cdot 240$ kN	
	$e = 1,50$ m	
Rychlost	Nízká (≤ 5 km/hod)	
Dynamický součinitel	Ano, $\varphi = 1,05$	
Přepočet síly	$120/3 = 40$	$Q = 40 \cdot 1,05 = 42$ kN
	$240/3 = 80$	$Q = 80 \cdot 1,05 = 84$ kN

Plošné zatížení 1

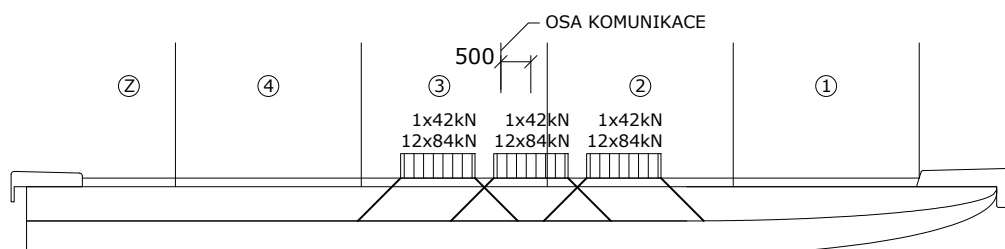
Síla	$Q_1 = 3 \cdot 42$ kN = 126 kN
Roznášecí plocha	$A_1 = 5,580 \cdot 1,511 = 8,430$ m ²
Plošné zatížení	$q_1 = Q_1 / A_1 = 126 / 8,430 = 14,95$ kN/m ²

Plošné zatížení 2

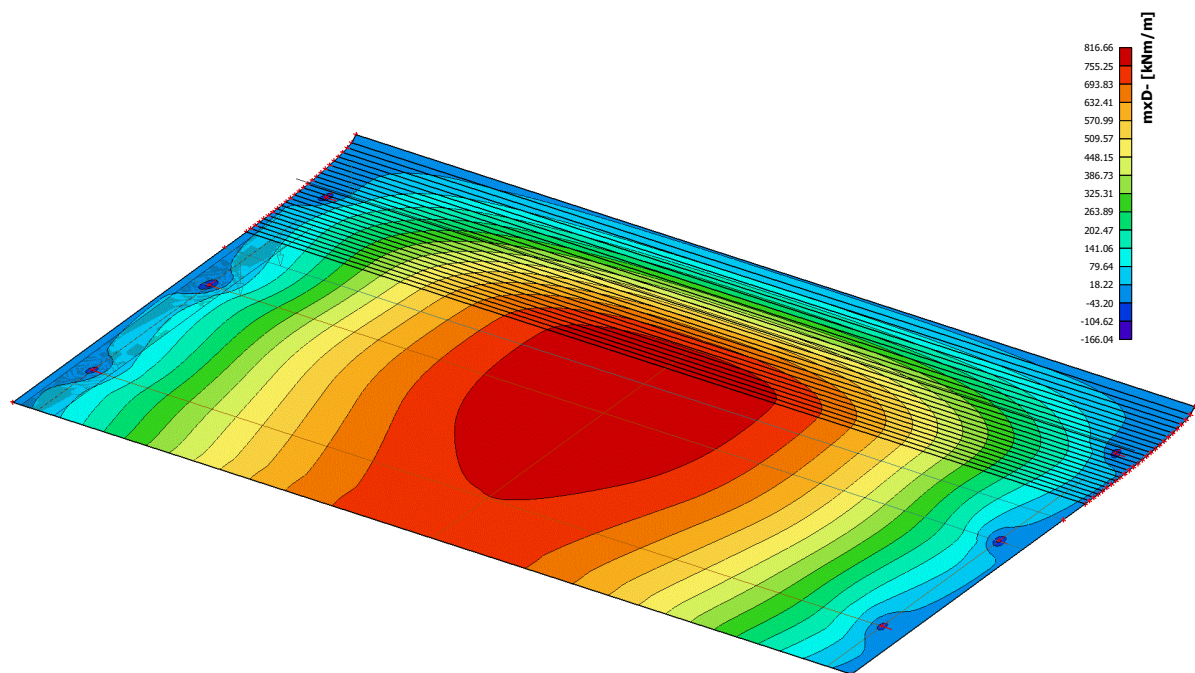
Síla	$Q_2 = 3 \cdot 84$ kN = 252 kN
Roznášecí plocha	$A_2 = 5,580 \cdot 1,511 = 8,430$ m ²
Plošné zatížení	$q_2 = Q_2 / A_2 = 252 / 8,430 = 29,89$ kN/m ²

Plošné zatížení 3

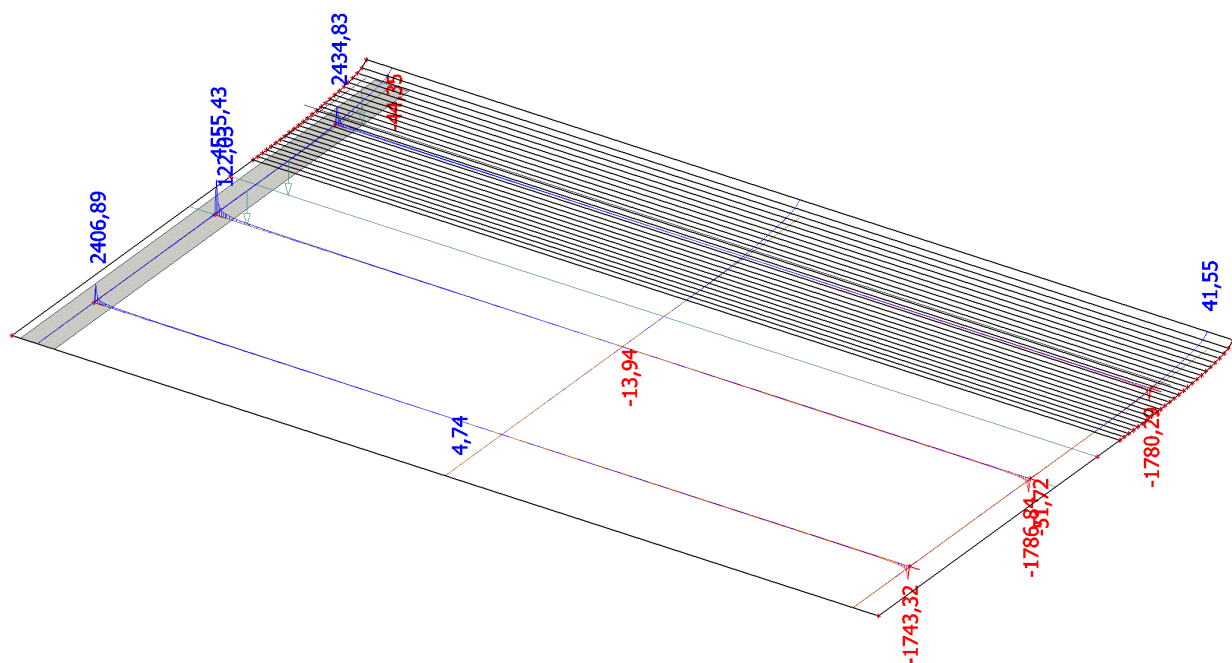
Síla	$Q_3 = 3 \cdot 84$ kN = 252 kN
Roznášecí plocha	$A_3 = 5,580 \cdot 1,500 = 8,370$ m ²
Plošné zatížení	$q_3 = Q_3 / A_3 = 252 / 8,370 = 30,11$ kN/m ²



Obr. 2.24 Řez roznosu zatížení - LM3 - Zvláštní vozidlo 3000/240



Obr. 2.25 Momenty M_y - LM3 - Zvláštní vozidlo 3000/240



Obr. 2.26 Posouvající síly V_z - LM3 - Zvláštní vozidlo 3000/240

Maximální ohybový moment $M_{g0k} = 816,66 \text{ kNm/m'}$
Maximální posouvající síla $V_{g0k} = 4555,43 \text{ kN/m'}$

2.4. Tabulka vnitřních sil

Tab. 2.4. - Vnitřní síly - ohybové momenty

ZS		Moment v poli [kNm]	Levá podpora [kNm]	Střední podpora [kNm]	Pravá podpora [kNm]
Stálé zatížení	Vlastní tíha	2040,19	-580,85	-353,07	-464,06
	Ostatní stálé	427,91	-93,40	-35,40	-138,89
gr1a	TS - var 1	582,50	41,36	19,03	-106,87
	TS - var 2	572,26	52,30	29,41	-107,26
	TS - var 3	548,49	24,38	-4,22	-93,54
	TS - var 4	514,50	-43,85	-44,43	-66,06
	TS - var 5	519,65	-40,72	-46,61	-65,62
	UDL - var 1	375,50	-120,72	-54,90	-37,60
	UDL - var 2	370,20	-106,72	-71,89	-45,17
	UDL - var 3	352,14	1359,91	-91,64	-73,75
	Chodci	17,25	5,4	7,08	-11,22
gr5	LM3 - 1800/200	921,40	-87,84	-132,02	-161,93
	LM3 - 3000/240	816,66	-115,71	-166,04	-123,18

Tab. 2.5. - Vnitřní síly - posouvající síly

ZS		Levá podpora [kN]	Střední podpora [kN]	Pravá podpora [kN]
Stálé zatížení	Vlastní tíha	10237,92	6967,78	8453,72
	Ostatní stálé	1702,24	1085,49	2458,77
gr1a	TS - var 1	102,23	2190,03	3378,02
	TS - var 2	107,90	2091,19	3407,88
	TS - var 3	145,88	2617,18	2696,33
	TS - var 4	833,22	3385,92	1401,00
	TS - var 5	846,36	1072,25	1197,30
	UDL - var 1	870,99	1359,67	2158,86
	UDL - var 2	959,71	1503,25	1917,91
	UDL - var 3	1359,91	1669,88	1333,97
	Chodci	29,41	0,86	191,33
gr5	LM3 - 1800/200	1810,18	4729,54	3668,40
	LM3 - 3000/240	2406,89	4555,43	2434,80

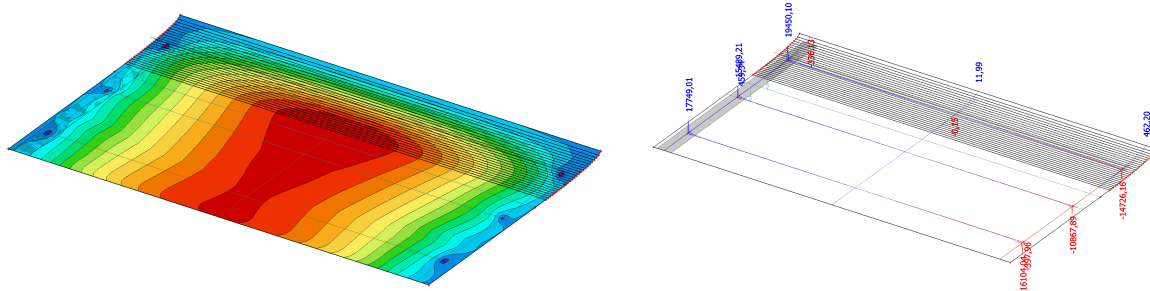
3. KOMBINACE

3.1. Mezní stav únosnosti (MSÚ)

K1 - 6.10a - gr1a

$$M_{Ed} = \gamma_G \cdot M_{Gk} + \gamma_Q \cdot \sum \psi_{0,i} \cdot M_{Qk,i}$$

$$V_{Ed} = \gamma_G \cdot V_{Gk} + \gamma_Q \cdot \sum \psi_{0,i} \cdot V_{Qk,i}$$



Obr. 3.1. Vnitřní síly - K1 - 6.10a - gr1a

Maximální ohybový moment

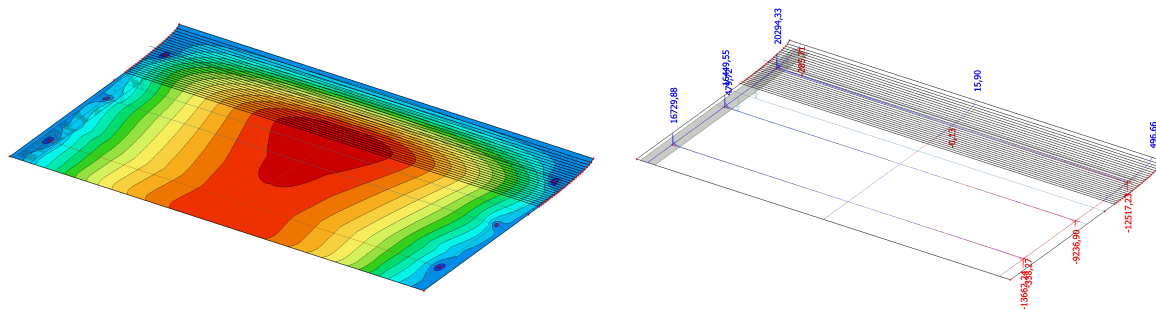
$$M_{Ed} = 4131,01 \text{ kNm/m'}$$

Maximální posouvající síla

$$V_{Ed} = 18450,10 \text{ kN/m'}$$

K2 - 6.10b - gr1a

$$M_{Ed} = \xi \cdot \gamma_G \cdot M_{Gk} + \gamma_Q \cdot M_{Qk,1} + \gamma_Q \cdot \sum \psi_{0,i} \cdot M_{Qk,i}, V_{Ed} = \xi \cdot \gamma_G \cdot V_{Gk} + \gamma_Q \cdot V_{Qk,1} + \gamma_Q \cdot \sum \psi_{0,i} \cdot V_{Qk,i}$$



Obr. 3.2. Vnitřní síly - K2 - 6.10b - gr1a

Maximální ohybový moment

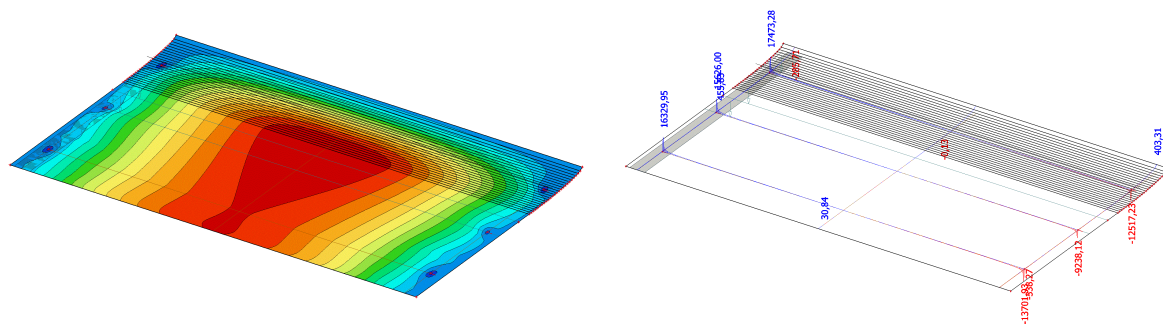
$$M_{Ed} = 4142,25 \text{ kNm/m'}$$

Maximální posouvající síla

$$V_{Ed} = 20294,33 \text{ kN/m'}$$

K3 - 6.10b - gr5 - LM3 - 1800/200

$$M_{Ed} = \xi \cdot \gamma_G \cdot M_{Gk} + \gamma_Q \cdot M_{Qk,1} + \gamma_Q \cdot \sum \psi_{0,i} \cdot M_{Qk,i}, V_{Ed} = \xi \cdot \gamma_G \cdot V_{Gk} + \gamma_Q \cdot V_{Qk,1} + \gamma_Q \cdot \sum \psi_{0,i} \cdot V_{Qk,i}$$



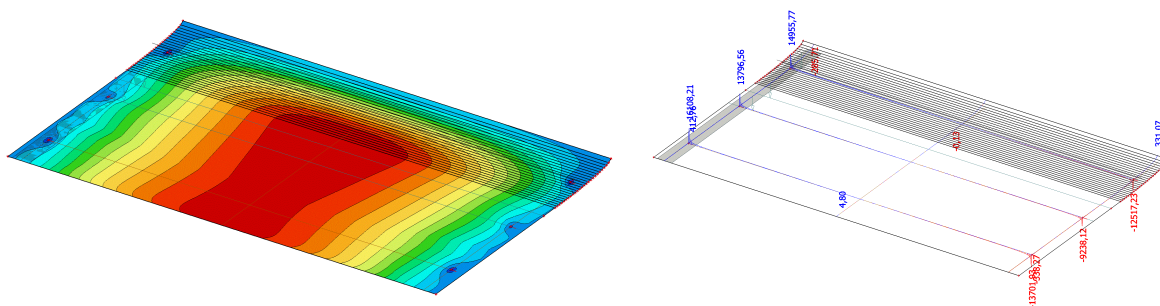
Obr. 3.3. Vnitřní síly - K3 - 6.10b - gr5 - LM3 - 1800/200

Maximální ohybový moment $M_{Ed} = 4078,81 \text{ kNm/m'}$

Maximální posouvající síla $V_{Ed} = 17473,28 \text{ kN/m'}$

K4 - 6.10b - gr5 - LM3 - 3000/240

$$M_{Ed} = \xi \cdot \gamma_G \cdot M_{Gk} + \gamma_Q \cdot M_{Qk,1} + \gamma_Q \cdot \sum \psi_{0,i} \cdot M_{Qk,i}, V_{Ed} = \xi \cdot \gamma_G \cdot V_{Gk} + \gamma_Q \cdot V_{Qk,1} + \gamma_Q \cdot \sum \psi_{0,i} \cdot V_{Qk,i}$$



Obr. 3.4. Vnitřní síly - K4 - 6.10b - gr5 - LM3 - 3000/240

Maximální ohybový moment $M_{Ed} = 3648,04 \text{ kNm/m'}$

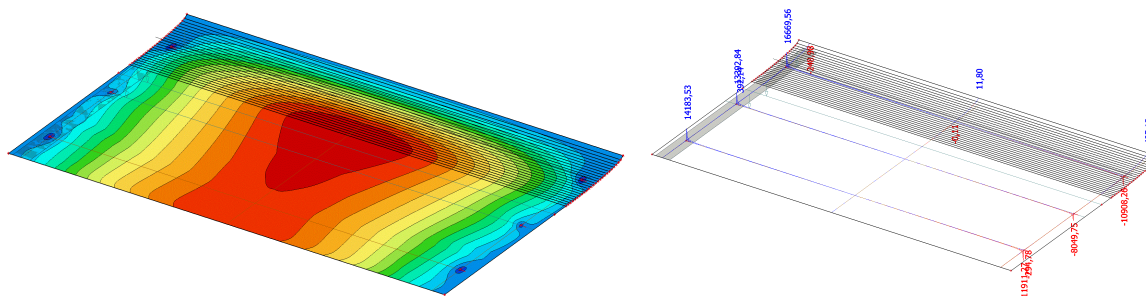
Maximální posouvající síla $V_{Ed} = 16108,21 \text{ kN/m'}$

3.2. Mezní stav použitelnosti (MSP)

K5 - Charakteristická kombinace - gr1a

$$M_{Ed} = M_{Gk} + M_{Qk,1} + \sum \psi_{0,i} \cdot M_{Qk,i}$$

$$V_{Ed} = V_{Gk} + V_{Qk,1} + \sum \psi_{0,i} \cdot V_{Qk,i}$$



Obr. 3.5. Vnitřní síly - K5 - Charakteristická kombinace - gr1a

Maximální ohybový moment

$$M_{Ed} = 3438,91 \text{ kNm/m'}$$

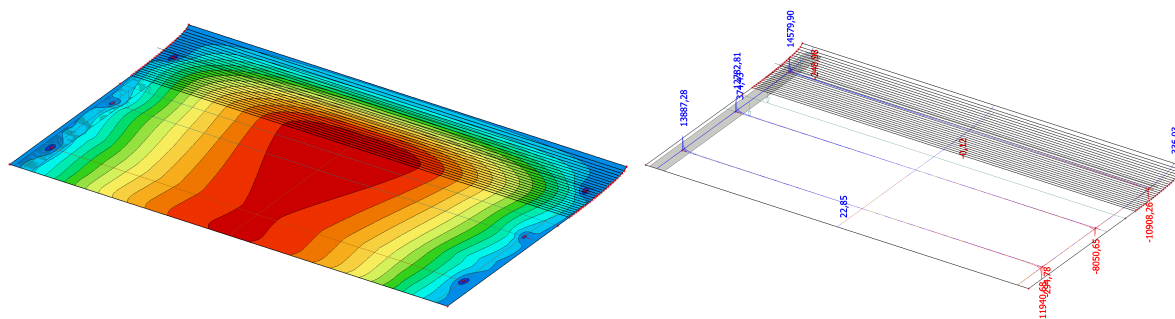
Maximální posouvající síla

$$V_{Ed} = 16669,56 \text{ kN/m'}$$

K6 - Charakteristická kombinace - gr5 - LM3 1800/200

$$M_{Ed} = M_{Gk} + M_{Qk,1} + \sum \psi_{0,i} \cdot M_{Qk,i}$$

$$V_{Ed} = V_{Gk} + V_{Qk,1} + \sum \psi_{0,i} \cdot V_{Qk,i}$$



Obr. 3.6. Vnitřní síly - K6 - Charakteristická kombinace - gr5 - LM3 1800/200

Maximální ohybový moment

$$M_{Ed} = 3391,91 \text{ kNm/m'}$$

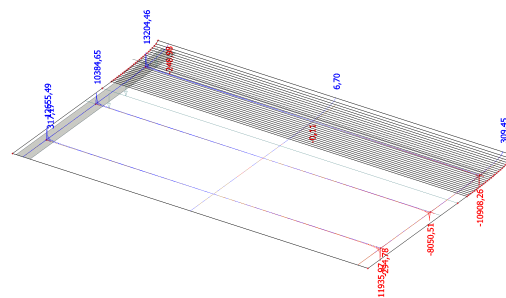
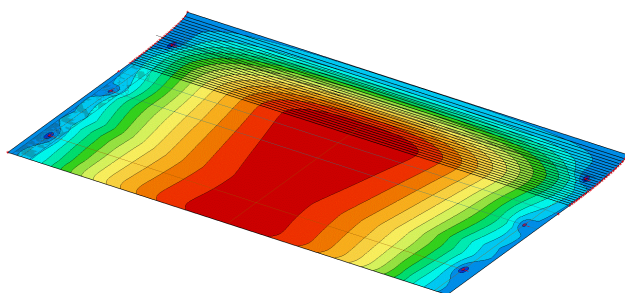
Maximální posouvající síla

$$V_{Ed} = 14579,90 \text{ kN/m'}$$

K7 - Charakteristická kombinace - gr5 - LM3 3000/240

$$M_{Ed} = M_{Gk} + M_{Qk,1} + \sum \psi_{0,i} \cdot M_{Qk,i}$$

$$V_{Ed} = V_{Gk} + V_{Qk,1} + \sum \psi_{0,i} \cdot V_{Qk,i}$$



Obr. 3.7. Vnitřní síly - K7 - Charakteristická kombinace - gr5 - LM3 3000/240

Maximální ohybový moment

$$M_{Ed} = 3283,65 \text{ kNm/m'}$$

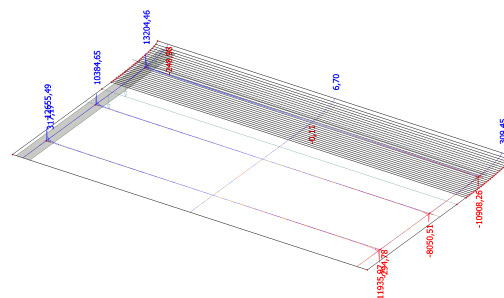
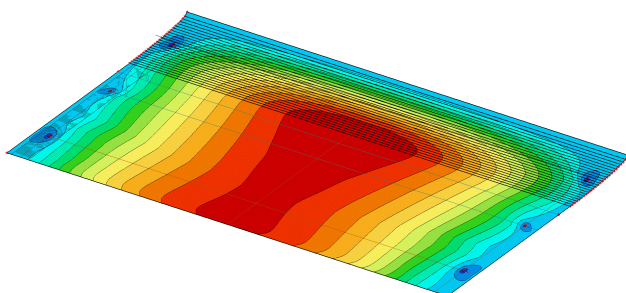
Maximální posouvající síla

$$V_{Ed} = 14347,05 \text{ kN/m'}$$

K8 - Častá kombinace - gr1a (ψ_0, ψ_1)

$$M_{Ed} = M_{Gk} + \psi_{1,1} \cdot M_{Qk,1} + \sum \psi_{2,i} \cdot M_{Qk,i}$$

$$V_{Ed} = V_{Gk} + \psi_{1,1} \cdot V_{Qk,1} + \sum \psi_{2,i} \cdot V_{Qk,i}$$



Obr. 3.8. Vnitřní síly - K8 - Častá kombinace - gr1a

Maximální ohybový moment

$$M_{Ed} = 2857,77 \text{ kNm/m'}$$

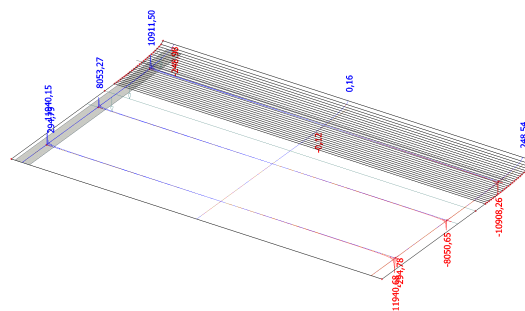
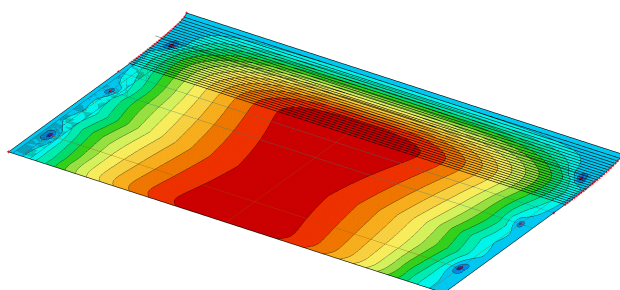
Maximální posouvající síla

$$V_{Ed} = 13204,46 \text{ kN/m'}$$

K9 - Kvazistálá kombinace

$$M_{Ed} = M_{Gk} + \psi_{2,1} \cdot M_{Qk,1} + \sum \psi_{2,i} \cdot M_{Qk,i}$$

$$V_{Ed} = V_{Gk} + \psi_{2,1} \cdot V_{Qk,1} + \sum \psi_{2,i} \cdot V_{Qk,i}$$



Obr. 3.9. Vnitřní síly - K9 - Kvazistálá kombinace

Maximální ohybový moment

$$M_{Ed} = 2470,57 \text{ kNm/m'}$$

Maximální posouvající síla

$$V_{Ed} = 11940,15 \text{ kN/m'}$$

3.3. Tabulka vnitřních sil

Tab. 3.1. - Vnitřní síly - Ohybové momenty

KOMBINACE			Moment v poli [kNm]	Levá podpora [kN]	Střední podpora [kN]	Pravá podpora [kN]
MSÚ	K1	6.10a - gr1a	4131,01	-996,92	-801,03	-1073,60
	K2	6.10b - gr1a	4142,25	-935,57	-864,50	-1121,34
	K3	6.10b - LM3 - 1800/200	4078,81	-904,49	-803,64	-962,72
	K4	6.10b - LM3 - 3000/240	3648,04	-899,22	714,70	-821,44
MSP	K5	Charakteristická - gr1a	3438,91	-794,24	-700,44	-921,07
	K6	Charakteristická - gr5 - LM3 1800/200	3391,91	-771,35	-655,45	-803,58
	K7	Charakteristická gr5 - LM3 3000/240	3283,65	-799,65	-655,66	-732,50
	K8	Častá gr1a (ψ_0, ψ_1)	2857,77	-712,14	-532,27	-728,68
	K9	Kvazistálá	2470,57	-674,54	-400,23	-603,01

Tab. 3.2. - Vnitřní síly - posouvající síly

KOMBINACE			Levá podpora [kN]	Střední podpora [kN]	Pravá podpora [kN]
MSÚ	K1	6.10a - gr1a	17749,01	15489,21	19450,10
	K2	6.10b - gr1a	16729,88	16449,55	20294,33
	K3	6.10b - LM3 - 1800/200	16,329,95	15625,00	17473,28
	K4	6.10b - LM3 - 3000/240	16108,21	13796,56	14955,77
MSP	K5	Charakteristická - gr1a	14183,53	13392,84	16669,56
	K6	Charakteristická - gr5 - LM3 1800/200	13887,28	12782,81	14579,90
	K7	Charakteristická gr5 - LM3 3000/240	14347,05	12608,70	13346,33
	K8	Častá gr1a (ψ_0 , ψ_1)	12655,49	10384,65	13204,46
	K9	Kvazistálá	11940,15	8053,27	10911,50

4. NÁVRH PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE

4.1. Krytí výztuže

Třída prostředí pro výpočet	XD1
Konstrukční třída	S5
Návrhová životnost	100 let

Uvažovaný průměr třmínků a spon	$\phi_{st} = 12\text{ mm}$
Uvažovaný průměr podélné a příčné výztuže	$\phi_s = 20\text{ mm}$

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

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

$$c_{min,b} = 20\text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 40\text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,y} = \Delta c_{dur,st} = \Delta c_{dur,add} = 0\text{ mm}$$

$$c_{min} = \max \{ 20; 40; 10 \} = 40\text{ mm}$$

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

$$c_{nom} = 40 + 10 = 50\text{ mm}$$

Krytí předpínací výztuže

$$c_{pk} = c_{nom} + \phi_{st} + \phi_s + \phi_s = 50 + 12 + 20 + 20 = 102\text{ mm}$$

4.2. Průřezové charakteristiky - neoslabený průřez

Šířka průřezu	$b_c = 1,0\text{ m}$
Výška průřezu	$h_c = 1,1\text{ m}$
Plocha průřezu	$A_c = b_c \cdot h_c = 1,0 \cdot 1,1 = 1,1\text{ m}^2$
Moment setrvačnosti	$I_{y,c} = \frac{1}{12} \cdot b_c \cdot h_c^3 = \frac{1}{12} \cdot 1,0 \cdot 1,1^3 = 0,111\text{ m}^4$
Vzdálenost těžiště	$z_1 = z_2 = \frac{1,1}{2} = 0,55\text{ m}$
Excentricita kabelu	$e_p = 0,415\text{ m}$
Vzdálenost kabelu od kraje	$d_p = 0,135\text{ m}$
Modul průřezu	$W_{c1} = W_{c2} = \frac{I_{y,c}}{z_1} = \frac{0,111}{0,55} = 0,202\text{ m}^3$
Jádrové úsečky	$j_1 = j_2 = \frac{W_{c1}}{A_c} = \frac{0,202}{1,1} = 0,184\text{ m}$

4.3. Přípustná napětí a síly ve výztuži

Maximální předpínací napětí

$$\sigma_{p, \max} = \min \{ 0,8 \cdot f_{pk}; 0,9 \cdot f_{p0,1k} \}$$

$$\sigma_{p, \max} = \min \{ 0,8 \cdot 1860; 0,9 \cdot 1640 \}$$

$$\sigma_{p, \max} = \min \{ 1488; 1476 \} = 1476 \text{ MPa}$$

Maximální napětí po vnesení předpětí do betonu

$$\sigma_{p,m,0, \max} = \min \{ 0,75 \cdot f_{pk}; 0,85 \cdot f_{p0,1k} \}$$

$$\sigma_{p,m,0, \max} = \min \{ 0,75 \cdot 1860; 0,85 \cdot 1640 \}$$

$$\sigma_{p,m,0, \max} = \min \{ 1395; 1394 \} = 1394 \text{ MPa}$$

Odhad napětí po okamžitých ztrátách v čase t_0

$$\sigma_{p,m,0} = 0,9 \cdot \sigma_{p, \max}$$

$$\sigma_{p,m,0} = 0,9 \cdot 1476 = 1328,4 \text{ MPa}$$

Odhad napětí po okamžitých ztrátách v čase t_∞

$$\sigma_{p,m,\infty} = 0,9 \cdot \sigma_{p,m,0, \max}$$

$$\sigma_{p,m,\infty} = 0,9 \cdot 1394 = 1254,6 \text{ MPa}$$

4.4. Návrh předpínací síly pomocí vyrovnání momentu kvazistálé kombinace

$$M_{Ek,\psi 2} = 2470,57 \text{ kNm}$$

Moment v čase t_0

$$M_p = 0,9 \cdot M_{Ek,\psi 2} = 0,9 \cdot 2470,57 = 2223,513 \text{ kNm}$$

$$P = \frac{M_p}{e} = \frac{2223,513}{0,415} = 5357,86 \text{ kN}$$

Moment v čase t_∞

$$M_p = 0,8 \cdot M_{Ek,\psi 2} = 0,8 \cdot 2470,57 = 1976,456 \text{ kNm}$$

$$P = \frac{M_p}{e} = \frac{1976,456}{0,415} = 4762,55 \text{ kN}$$

4.5. Metoda přípustných napětí

Ohybové momenty

Momenty od vlastní tíhy	$M_{fk,g0}$	2040,19 kNm
Charakteristická kombinace	M_{fk}	3438,91 kNm
Častá kombinace	$M_{fk,\psi 1}$	2857,77 kNm
Kvazistálá kombinace	$M_{fk,\psi 2}$	2470,57 kNm

1) Častá kombinace v čase t_{∞}

$$\sigma_1 \leq f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} \leq -\frac{P_{m\infty}}{A_c} + \frac{M_{Fk,\psi 1}}{W_1} - \frac{P_{m\infty} \cdot e}{W_1}$$

$$P_{m\infty} \geq \frac{-f_{ctm} + \frac{M_{Fk,\psi 1}}{W_1}}{\frac{1}{A_c} + \frac{e}{W_1}} = \frac{-3,2 \cdot 10^{-3} + \frac{2857,77}{0,202}}{\frac{1}{1,1} + \frac{0,415}{0,202}} = 3694,012 \text{ kN}$$

$$P_{m0} \geq \frac{3694,012}{0,9} = 4104,46 \text{ kN}$$

2) Charakteristická kombinace v čase t_{∞}

$$\sigma_{c2} \geq -0,6 \cdot f_{ck}$$

$$-\frac{P_{m\infty}}{A_c} - \frac{M_{Fk}}{W_2} + \frac{P_{m\infty} \cdot e}{W_2} \geq -0,6 \cdot f_{ck}$$

$$P_{m\infty} \geq \frac{-0,6 \cdot f_{ck} + \frac{M_{Fk}}{W_2}}{\frac{e}{W_2} - \frac{1}{A_c}} = \frac{-0,6 \cdot 35 \cdot 10^3 + \frac{3438,91}{0,202}}{\frac{0,415}{0,202} - \frac{1}{1,1}} = -1341,53 \text{ kN}$$

$$P_{m0} \geq \frac{-1341,53}{0,9} = -1490,59 \text{ kN}$$

3) Kvazistálá kombinace v čase t_{∞}

$$\sigma_{c2} \geq -0,45 \cdot f_{ck}$$

$$-\frac{P_{m\infty}}{A_c} - \frac{M_{Fk,\psi 2}}{W_2} + \frac{P_{m\infty} \cdot e}{W_2} \geq -0,45 \cdot f_{ck}$$

$$P_{m\infty} \geq \frac{-0,45 \cdot f_{ck} + \frac{M_{Fk,\psi 2}}{W_2}}{\frac{e}{W_2} - \frac{1}{A_c}} = \frac{-0,45 \cdot 35 \cdot 10^3 + \frac{2470,57}{0,202}}{\frac{0,415}{0,202} - \frac{1}{1,1}} = -1187,58 \text{ kN}$$

$$P_{m0} \geq \frac{-1187,58}{0,9} = -1319,54 \text{ kN}$$

4) Vlastní tíha v čase t_0 - tah

$$\sigma_2 \leq f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} \geq -\frac{P_{m0}}{A_c} + \frac{M_{fk,g0}}{W_2} - \frac{P_{m0} \cdot e}{W_2}$$

$$P_{m0} \leq \frac{f_{ctm} + \frac{M_{fk,g0}}{W_2}}{\frac{e}{W_2} - \frac{1}{A_c}} = \frac{3,2 \cdot 10^3 + \frac{2040,19}{0,202}}{\frac{0,415}{0,202} - \frac{1}{1,1}} = 11611,98 \text{ kN}$$

$$P_{m0} \leq 11611,98 \text{ kN}$$

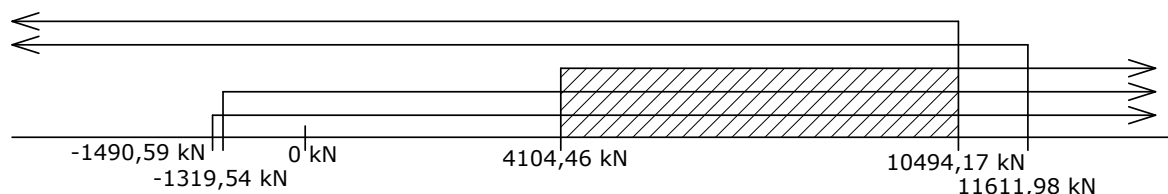
5) Vlastní tíha v čase t_0 - tlak

$$\sigma_{c1} \geq 0,6 \cdot f_{ck}$$

$$0,6 \cdot f_{ck} \geq -\frac{P_{m0}}{A_c} + \frac{M_{fk,g0}}{W_1} - \frac{P_{m0} \cdot e}{W_1}$$

$$P_{m0} \leq \frac{0,6 \cdot f_{ck} + \frac{M_{fk,g0}}{W_1}}{-\frac{e}{W_1} - \frac{1}{A_c}} = \frac{0,6 \cdot 35 \cdot 10^3 + \frac{2040,19}{0,202}}{\frac{0,415}{0,202} - \frac{1}{1,1}} = 10494,17 \text{ kN}$$

$$P_{m0} \leq 10494,17 \text{ kN}$$



Obr. 4.1. Interval předpínací síly

4.6. Předpínací síla

$$P_{\min} = 4104,46 \text{ kN}$$

$$P_{\max} = 10494,17 \text{ kN}$$

$$P_{m0,req} = \min \left\{ 1,03 \cdot P_{\min}; 0,5 (P_{\min} + P_{\max}) \right\}$$

$$P_{m0,req} = \min \left\{ 1,03 \cdot 4104,46; 0,5 (4104,46 + 10494,17) \right\} = \min \{ 4227,59; 7299,315 \} = 4227,59 \text{ kN}$$

Předpínací síla bude navržena z podmínky vyrovnaní momentů kvazistálé kombinace v čase t_0 .

$$A_{p,req} = \frac{P}{\sigma_{p,m,0}} = \frac{5357,86 \cdot 10^3}{1254,6} = 4270,57 \text{ mm}^2$$

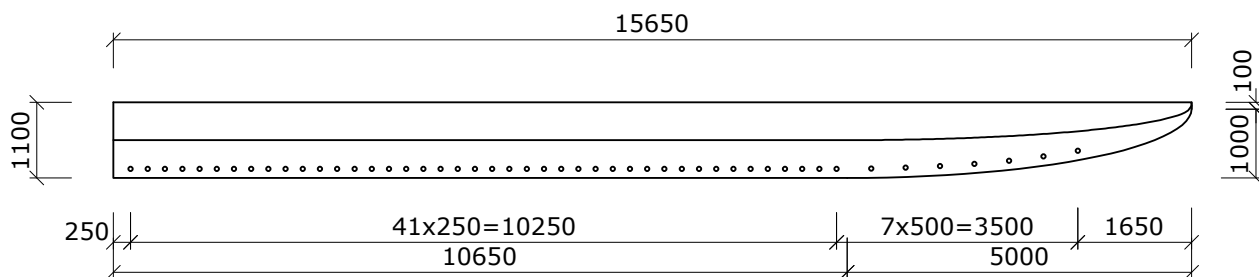
$$n_{lan} = \frac{A_{p,req}}{A_{p1}} = \frac{4270,57}{150} = 28,47 \dots \text{navrhujeme 28 lan} \rightarrow 4 \text{ kanálky po 7mi lanech } \bar{a} \ 250 \text{ mm}$$

Skutečná předpínací síla

$$A_p = n \cdot A_{p,req} = 28 \cdot 150 \cdot 10^{-6} = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$P_{m,0,prov} = A_p \cdot \sigma_{p,m,0} = 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot 1328,4 \cdot 10^3 = 5579,28 \text{ kN}$$

$$P_{m,\infty,prov} = 0,9 \cdot P_{m,0,prov} = 0,9 \cdot 5579,28 = 5021,35 \text{ kN}$$



Obr. 4.2. Schéma rozmístění předpínacích kabelů

Stanovení normálové síly

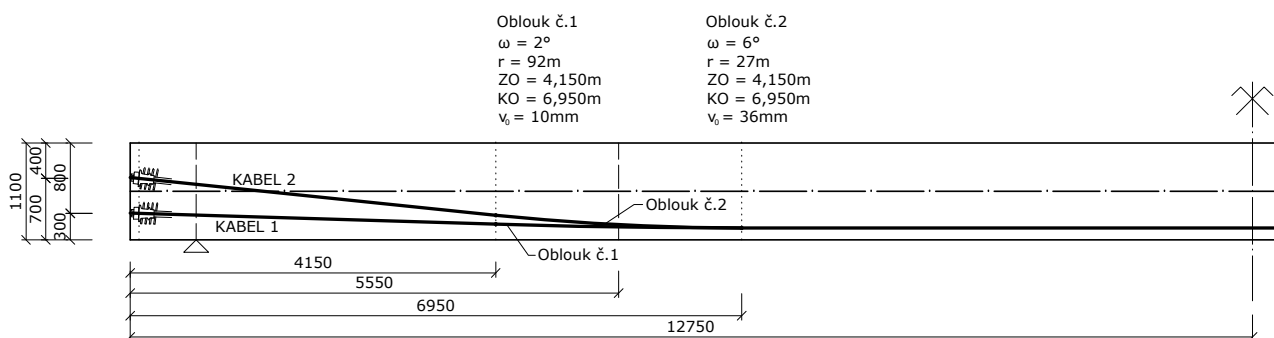
Celková předpínací síla

$$P_{m,0,celk} = n_{kab} \cdot n_{lan} \cdot A_{p1} \cdot \sigma_{p,m,0} = 49 \cdot 7 \cdot 150 \cdot 10^{-6} \cdot 1328,4 \cdot 10^3 = 68346,18 \text{ kN}$$

$$N_{Pm,0} = \frac{P_{m,0,celk}}{A} = \frac{68346,18}{16,142} = 4234,06 \text{ kN/m}^2$$

$$N_{m,0} = N_{Pm,0} \cdot A_c = 4234,06 \cdot 1,1 = 4657,46 \text{ kN}$$

4.6. Návrh kabelových drah



Obr. 4.3. Trasování kabelových drah

5. ZTRÁTY PŘEDPĚTÍ

5.1. Průřezové charakteristiky - oslabený průřez

Plocha kanálků	$A_d = 4 \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot 0,067^2}{4} = 14,1 \cdot 10^{-3} m^2$
Plocha průřezu	$A_{cr} = A_c - A_d = 1,1 - 14,1 \cdot 10^{-3} = 1,086 m^2$
Vzdálenost kabelu od kraje	$d_p = 0,135 m$
Moment setrvačnosti kanálků	$I_d = 4 \cdot \frac{1}{64} \cdot \pi \cdot 0,067^2 = 8,814 \cdot 10^{-3} m^4$
Moment setrvačnosti	$I_{cr} = I_{cy} - I_d - A_d \cdot (z_{1r} - d_p)^2$ $I_{cr} = 0,111 - 8,814 \cdot 10^{-4} - 14,1 \cdot 10^{-3} \cdot (0,555 - 0,135)^2 = 0,104 m^4$
Dolní vlákna	$z_{1r} = \frac{A_c \cdot z_1 - A_d \cdot d_p}{A_{cr}} = \frac{1,1 \cdot 0,55 - 14,1 \cdot 0,135 \cdot 10^{-3}}{1,086} = 0,555 m$
Horní vlákna	$z_{2r} = h - z_{1r} = 1,1 - 0,555 = 0,545 m$
Excentricita kabelu	$e_{pr} = z_{1r} - d_p = 0,555 - 0,135 = 0,42 m$
Modul průřezu dolní	$W_{1,r} = \frac{I_{cr}}{z_{1r}} = \frac{0,104}{0,555} = 0,187 m^3$
Modul průřezu horní	$W_{2,r} = \frac{I_{cr}}{z_{2r}} = \frac{0,104}{0,545} = 0,191 m^3$

$$\nu_{cr} = \frac{E_p \cdot A_p}{E_{cm} \cdot A_{cr}} = \frac{195 \cdot 14,1 \cdot 10^{-3}}{34 \cdot 1,086} = 0,0745$$

$$i_{cr} = \sqrt{\frac{I_{cr}}{A_{cr}}} = \sqrt{\frac{0,104}{1,086}} = 0,309 m$$

$$\psi_{cr} = \nu_{cr} \cdot \left(1 + \frac{A_{cr}}{I_{cr}} \cdot e_{pr}^2 \right) = 0,0745 \cdot \left(1 + \frac{1,086}{0,104} \cdot 0,42^2 \right) = 0,212$$

5.2. Krátkodobé ztráty

5.2.1. Ztráty třením a pokluzem

Ztráty třením a pokluzem byly vypočteny pomocí softwaru Scia engineer 16.1. Uvažovaný pokluz je 4mm.

KABEL 1

Ztráta třením $\Delta\sigma_{p\mu} = -33,85 \text{ MPa}$

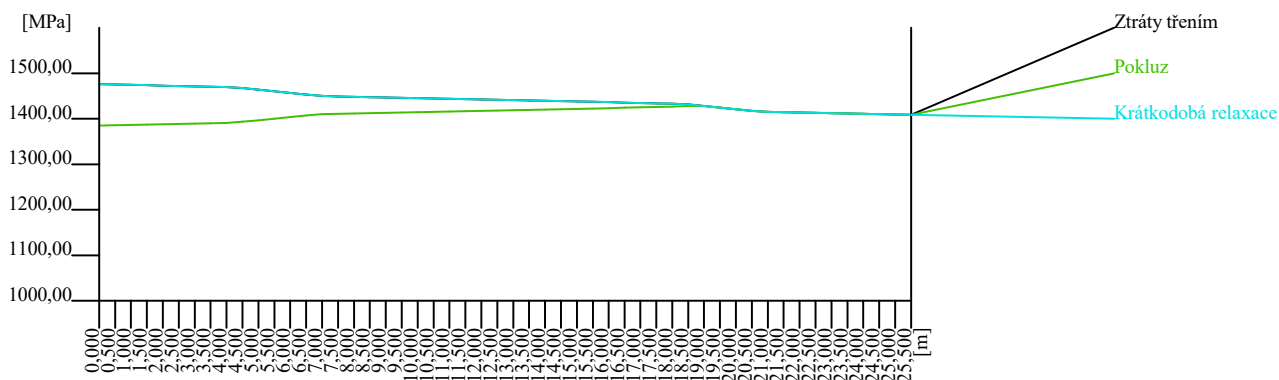
Ztráta pokluzem $\Delta\sigma_{psl} = -23,18 \text{ MPa}$

KABEL 2

Ztráta třením $\Delta\sigma_{p\mu} = -68,72 \text{ MPa}$

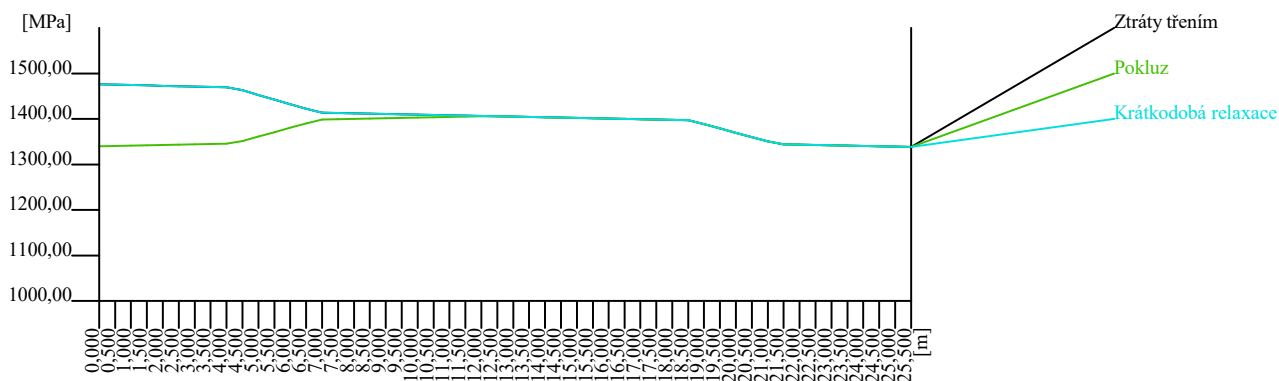
Ztráta pokluzem $\Delta\sigma_{psl} = -0,43 \text{ MPa}$

KABEL 1



Obr. 5.1. Ztráty třením a pokluzem pro kabel 1 - SCIA

KABEL 2



Obr. 5.2. Ztráty třením a pokluzem pro kabel 2 - SCIA

KABEL 1

$$\sigma_{p,1} = \sigma_{p, \max} + \Delta\sigma_{p\mu} + \Delta\sigma_{psl} = 1476 - 33,85 - 23,18 = 1418,97 \text{ MPa}$$

KABEL 2

$$\sigma_{p,2} = \sigma_{p, \max} + \Delta\sigma_{p\mu} + \Delta\sigma_{psl} = 1476 - 68,72 - 0,43 = 1406,85 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p,sl} = \frac{n_1 \cdot \sigma_{p,1} + n_2 \cdot \sigma_{p,2}}{n} = \frac{28 \cdot 1418,97 + 21 \cdot 1406,85}{49} = 1413,76 \text{ MPa}$$

$$P_{sl} = \sigma_{p,sl} \cdot A_p = 1413,76 \cdot 10^3 \cdot 4,2 \cdot 10^{-3} = 5937,79 \text{ MPa}$$

5.2.2. Ztráta postupným napínáním

$$j = \frac{n_c - 1}{2 \cdot n_c} = \frac{49 - 1}{2 \cdot 49} = 0,490$$

$$\Delta\sigma_{c,P}(t_0) = -\frac{P_{m,sl}}{A_{cr}} - \frac{P_{m,sl} \cdot e_{pr}^2}{I_{cr}} = -\frac{5937,79}{1,086} - \frac{5937,79 \cdot 0,42^2}{0,104} = -15,54 MPa$$

$$\Delta\sigma_{c,g0}(t_0) = \frac{M_{g0k} \cdot e_{pr}}{I_{cr}} = \frac{2040,19 \cdot 0,42}{0,104} = 8,24 MPa$$

$$\Delta\sigma_c(t_0) = \Delta\sigma_{c,P}(t_0) + \Delta\sigma_{c,g0}(t_0) = -15,54 + 8,24 = -7,30 MPa$$

$$\Delta\sigma_{p,el} = E_p \cdot \sum \left(\frac{j \cdot \Delta\sigma_c(t_0)}{E_{cm(t)}} \right) = 195 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{0,490 \cdot (-7,30)}{34 \cdot 10^3} \right) = -20,52 MPa$$

5.2.3. Ztráta relaxací

$$\sigma_{pr} = \sigma_{psl} = 1413,76 MPa$$

$$\mu = \frac{\sigma_{pr}}{f_{pk}} = \frac{1413,76}{1860} = 0,76$$

$$k_r = -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_{1000} \cdot e^{9,09 \cdot \mu} \cdot \left(\frac{t}{1000} \right)^{0,75 \cdot (1 - \mu)}$$

$$k_r = -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot e^{9,09 \cdot 0,76} \cdot \left(\frac{1,25}{1000} \right)^{0,75 \cdot (1 - 0,76)} = -4,957 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta\sigma_{pr}(t_0) = k_r \cdot \sigma_{pr} = -4,957 \cdot 10^{-3} \cdot 1413,76 = -7,01 MPa$$

5.2.4. Výsledné napětí po okamžitých ztrátách

$$\sigma_{pm,0} = \sigma_{psl} + \Delta\sigma_{p,el} + \Delta\sigma_{pr} = 1413,76 - 20,52 - 7,01 = 1386,23 MPa$$

Celkové okamžité ztráty jsou 6,08% < 10% ...vyhovuje

$$P_{m,0} = \sigma_{pm,0} \cdot A_p = 1386,23 \cdot 10^3 \cdot 4,2 \cdot 10^{-3} = 5822,17 kN$$

$$P_{m,0} = 5822,17 kN > P_{m,0,prov} = 5579,28 kN \quad \dots \text{vyhovuje}$$

5.3. Dlouhodobé ztráty

Změny provozu

$t_s = 7$ dní	...konec ošetřování
$t_0 = 28$ dní	...vlastní tíha
$t_g = 150$ dní	...ostatní stálé
$t_q = 240$ dní	...doprava
$t_\infty = 36500$ dní	...životnost

Náhradní výška
$$h_0 = \frac{2 \cdot A_{cr}}{u} = \frac{2 \cdot 16,142}{32,753} = 0,986m \Rightarrow k_h = 0,7$$

Náhradní výška byla vypočtena z celkové plochy a obvodu celé desky, neboť ve fázi výstavby před nanášením ostatního stálého zatížení je celý obvod vystavený vysychání.

Beton C35/45
$$\varepsilon_{cd0} = -0,255 \cdot 10^{-3}$$

5.3.1. Ztráty smršťováním

Vysychání

$$\beta_{d,s}(t, t_s) = \frac{t - t_s}{(t - t_s) + 0,04 \cdot \sqrt{h_0^3}} = \frac{36500 - 7}{(36500 - 7) + 0,04 \cdot \sqrt{986^3}} = 0,967$$

$$\beta_{d,s}(t_0, t_s) = \frac{t_0 - t_s}{(t_0 - t_s) + 0,04 \cdot \sqrt{h_0^3}} = \frac{28 - 7}{(28 - 7) + 0,04 \cdot \sqrt{986^3}} = 0,017$$

$$\beta_{d,s}(t, t_0) = \beta_{d,s}(t, t_s) - \beta_{d,s}(t_0, t_s) = 0,967 - 0,017 = 0,95$$

$$\varepsilon_{cd}(t, t_0) = \beta_{d,s}(t, t_0) \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} = 0,95 \cdot 0,7 \cdot (-0,255 \cdot 10^{-3}) = -1,696 \cdot 10^{-4}$$

Autogenní smršťování

$$\varepsilon_{ca,\infty} = -2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = -2,5 \cdot (35 - 10) \cdot 10^{-6} = -6,25 \cdot 10^{-5}$$

$$\beta_{as}(t, t_1) = 1 - e^{-0,2\sqrt{t}} = 1 - e^{-0,2 \cdot \sqrt{36500}} = 1,0$$

$$\beta_{as}(t_0, 0) = 1 - e^{-0,2\sqrt{t}} = 1 - e^{-0,2 \cdot \sqrt{28}} = 0,653$$

$$\beta_{as}(t, t_0) = \beta_{as}(t, t_1) - \beta_{as}(t_0, 0) = 1,0 - 0,653 = 0,347$$

$$\varepsilon_{ca}(t, t_0) = \varepsilon_{ca,\infty} \cdot \beta_{as}(t, t_0) = -6,25 \cdot 10^{-5} \cdot 0,347 = -2,169 \cdot 10^{-5}$$

Celková ztráta od smršťování

$$\varepsilon_{cs}(t, t_0) = \varepsilon_{cd}(t, t_0) + \varepsilon_{ca}(t, t_0) = -1,696 \cdot 10^{-4} - 2,169 \cdot 10^{-5} = -1,913 \cdot 10^{-4}$$

$$\Delta\sigma'_{ps}(t, t_0) = \varepsilon_{cs}(t, t_0) \cdot E_p = -1,913 \cdot 10^{-4} \cdot 195 \cdot 10^9 = -37,30 \text{ MPa}$$

Vliv g_1

$$\Delta\sigma_{pel,g1} = \left(\frac{M_{g1k}}{I_{cr}} \right) \cdot e_{pr} \cdot \frac{E_p}{E_{cm}} = \left(\frac{427,91}{0,104} \right) \cdot 0,42 \cdot \frac{195}{34} = 9,91 \text{ MPa}$$

$$\Delta P_{pel,g1} = \Delta\sigma_{pel,g1} \cdot A_p = 9,91 \cdot 4,2 \cdot 10^{-3} = 41,62 \text{ kN}$$

5.3.2. Ztráta dotvarováním betonu

Dotvarování od vlastní tíhy (t_∞, t_0)

$$R_H = 80$$

$$\varphi_{t0} = 1,6$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 35 + 8 = 43 \text{ MPa}$$

$$\alpha_3 = \left[\frac{35}{f_{ctm}} \right]^{0,15} = \left[\frac{35}{43} \right]^{0,15} = 0,97$$

$$\beta_H = 1,5 \left[1 + (0,012 \cdot R_H)^{18} \right] \cdot h_0 + 250 \cdot \alpha_3$$

$$\beta_H = 1,5 \left[1 + (0,012 \cdot 80)^{18} \right] \cdot 986 + 250 \cdot 0,97 = 2430,83$$

$$\beta_H = 2430,83 < 1500 \cdot \alpha_3 = 1500 \cdot 0,97 = 1455 \dots \text{nevyhovuje} \rightarrow \text{uvažujeme } \beta_H = 1455$$

$$\beta_c(t_\infty, t_0) = \left[\frac{(t_\infty - t_0)}{\beta_H + t_\infty - t_0} \right]^{0,3} = \left[\frac{36500 - 28}{1455 + 36500 - 28} \right]^{0,3} = 0,988$$

$$\varphi(t_\infty, t_0) = \varphi_{t0} \cdot \beta_c(t_\infty, t_0) = 1,6 \cdot 0,988 = 1,581$$

$$\sigma_{c,QP} = -\frac{P_{m,0}}{A_{cr}} - \frac{P_{m,0} \cdot e_{pr}^2}{I_{cr}} + \frac{M_{g0} \cdot e_{pr}}{I_{cr}} = -\frac{5822,17}{1,086} - \frac{5822,17 \cdot 0,42^2}{0,104} + \frac{2040,19 \cdot 0,42}{0,104} = -7,00 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{cc}(t_\infty, t_0) = \varphi(t_\infty, t_0) \cdot \frac{\sigma_{c,QP}}{E_{cm}} = 1,581 \cdot \frac{-7,00}{34 \cdot 10^3} = -3,26 \cdot 10^{-4}$$

$$\Delta\sigma_{PC}(t_\infty, t_0) = \varepsilon_{cc}(t_\infty, t_0) \cdot E_p = -3,26 \cdot 10^{-4} \cdot 195 \cdot 10^3 = -63,57 \text{ MPa}$$

Dotvarování od ostatního stálého (t_∞, t_g)

$$\varphi_{tg} = 1,4$$

$$\beta_H = 1455$$

$$\beta_c(t_\infty, t_g) = \left[\frac{(t_\infty - t_g)}{\beta_H + t_\infty - t_g} \right]^{0,3} = \left[\frac{36500 - 150}{1455 + 36500 - 150} \right]^{0,3} = 0,988$$

$$\varphi(t_\infty, t_g) = \varphi_{tg} \cdot \beta_c(t_\infty, t_g) = 1,4 \cdot 0,988 = 1,383$$

$$\sigma_{c,QP}(t_g) = -\frac{\Delta P_{pel,g1}}{A_{cr}} - \frac{\Delta P_{pel,g1} \cdot e_{pr}^2}{I_{cr}} + \frac{M_{g1k} \cdot e_{pr}}{I_{cr}} = -\frac{41,62}{1,086} - \frac{41,62 \cdot 0,42^2}{0,104} + \frac{427,91 \cdot 0,42}{0,104} = 1,62 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{cc}(t_\infty, t_g) = \varphi(t_\infty, t_g) \cdot \frac{\sigma_{c,QP}(t_g)}{E_{cm}} = 1,383 \cdot \frac{1,62}{34 \cdot 10^3} = 6,59 \cdot 10^{-5}$$

$$\Delta\sigma_{PC}(t_\infty, t_g) = \varepsilon_{cc}(t_\infty, t_g) \cdot E_p = 6,59 \cdot 10^{-5} \cdot 195 \cdot 10^3 = 12,85 \text{ MPa}$$

5.3.3. Ztráta dlouhodobou relaxací

$$\sigma_{pr} = \sigma_{psl} = 1386,23 \text{ MPa}$$

$$\mu = \frac{\sigma_{pr}}{f_{pk}} = \frac{1386,23}{1860} = 0,745$$

$$k_r = -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_{1000} \cdot e^{9,09 \cdot \mu} \cdot \left(\frac{t}{1000} \right)^{0,75 \cdot (1 - \mu)}$$

$$k_r = -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot e^{9,09 \cdot 0,745} \cdot \left(\frac{500000}{1000} \right)^{0,75 \cdot (1 - 0,745)} = -0,047$$

$$\Delta\sigma_{pr}(t_\infty) = k_r \cdot \sigma_{pr} = -0,047 \cdot 1386,23 = -65,15 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{pr,lt}(t_g) = \Delta\sigma_{pr}(t_\infty) - \Delta\sigma_{pr}(t_0) = -65,15 - (-7,01) = -58,14 \text{ MPa}$$

5.3.4. Změna pružným přetvořením betonu

Charakteristická kombinace

$$\Delta\sigma_{p,el,char} = \frac{M_{qk}}{I_{cr}} \cdot e_{pr} \cdot \frac{E_p}{E_{cm}} = \frac{3438,91}{0,104} \cdot 0,42 \cdot \frac{195}{34} = 79,65 \text{ MPa}$$

Častá kombinace

$$\Delta\sigma_{p,el,cast} = \frac{M_{qk,\psi 1}}{I_{cr}} \cdot e_{pr} \cdot \frac{E_p}{E_{cm}} = \frac{2853,77}{0,104} \cdot 0,42 \cdot \frac{195}{34} = 66,19 \text{ MPa}$$

5.3.5. Výsledné napětí

$$\nu_{cr} = \frac{E_p \cdot A_p}{E_{cm} \cdot A_{cr}} = \frac{195 \cdot 14,1 \cdot 10^{-3}}{34 \cdot 1,086} = 0,0745$$

$$i_{cr} = \sqrt{\frac{I_{cr}}{A_{cr}}} = \sqrt{\frac{0,104}{1,086}} = 0,309 \text{ m}$$

$$\psi_{cr} = \nu_{cr} \cdot \left(1 + \frac{A_{cr}}{I_{cr}} \cdot e_{pr}^2 \right) = 0,0745 \cdot \left(1 + \frac{1,086}{0,104} \cdot 0,42^2 \right) = 0,212$$

$$\Delta\sigma_{p,c+r+s} = \frac{\Delta\sigma_s(t_\infty) + 0,8 \cdot \Delta\sigma_{pr,lt} + \Delta\sigma_{pc}(t_\infty, t_0)}{1 + \psi_{cr} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \phi(t_\infty, t_0) \right)} + \frac{\Delta\sigma_{pc}(t_\infty, t_g)}{1 + \psi_{cr} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \phi(t_\infty, t_g) \right)}$$

$$\Delta\sigma_{p,c+r+s} = \frac{-37,30 + 0,8 \cdot (-58,14) - 63,57}{1 + 0,212 \cdot (1 + 0,8 \cdot 1,581)} + \frac{12,85}{1 + 0,212 \cdot (1 + 0,8 \cdot 1,383)} = -90,69 \text{ MPa}$$

5.3.6. Napětí po započtení dlouhodobých ztrát

$$\sigma_{Pm\infty} = \sigma_{Pm0} + \Delta\sigma_{p,c+s+r} = 1386,23 - 90,69 = 1295,54 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_{Pm\infty} = \sigma_{Pm\infty} + \Delta\sigma_{p,el,char} = 1295,54 + 79,65 = 1375,19 \text{ MPa}$$

$$\sigma''_{Pm\infty} = \sigma_{Pm\infty} + \Delta\sigma_{p,el,cast} = 1295,54 + 66,19 = 1361,73 \text{ MPa}$$

$$P_{Pm\infty} = \sigma_{Pm\infty} \cdot A_p = 1295,54 \cdot 10^3 \cdot 4,2 \cdot 10^{-3} = 5441,27 \text{ kN}$$

$$P'_{Pm\infty} = \sigma'_{Pm\infty} \cdot A_p = 1375,19 \cdot 10^3 \cdot 4,2 \cdot 10^{-3} = 5775,80 \text{ kN}$$

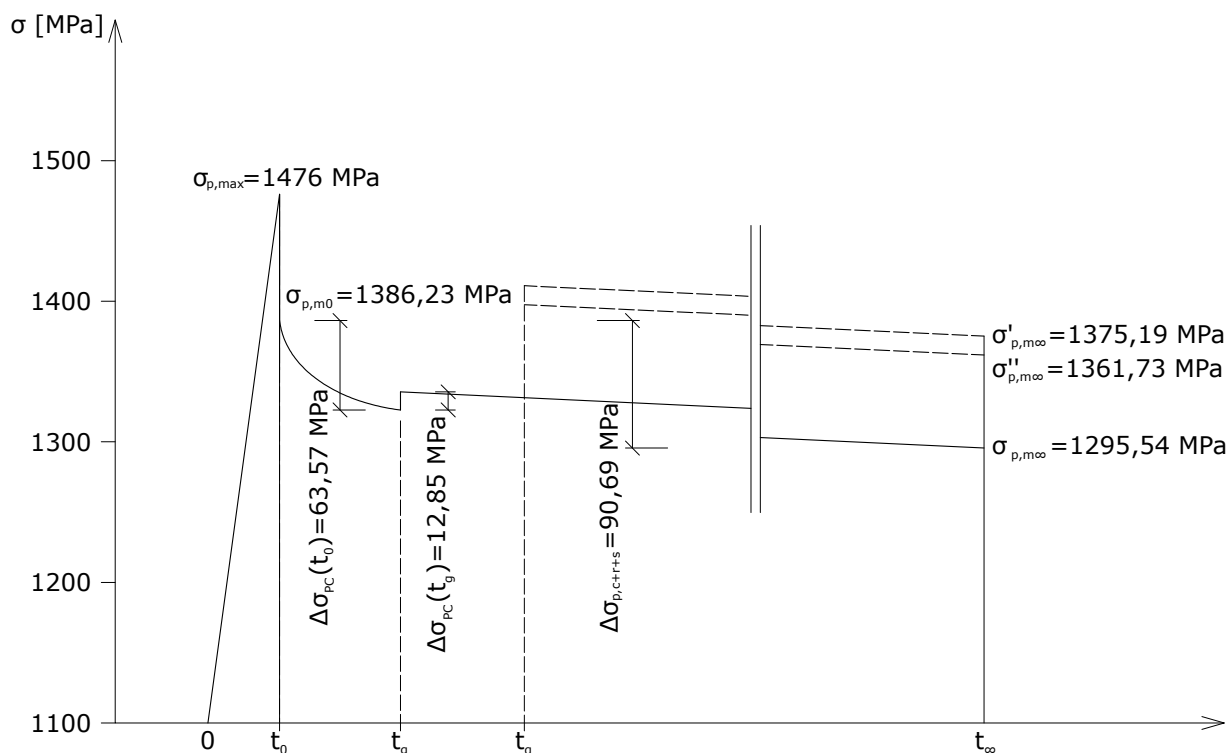
$$P''_{Pm\infty} = \sigma''_{Pm\infty} \cdot A_p = 1361,73 \cdot 10^3 \cdot 4,2 \cdot 10^{-3} = 5719,27 \text{ kN}$$

Procentuální vyjádření ztrát

$$\sigma_{Pm\infty} = 1295,54 \text{ MPa} < \sigma_{Pm0} = 1386,23 \text{ MPa}$$

Celkové dlouhodobé ztráty jsou 6,5% < 10%

...vyhovuje



Obr. 5.3. Průběh napětí v čase

6. MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

Tab. 6.1. Normálové síly pro jednotlivé části průřezu

Normálová síla	Část 1	Část 2	Část 3
$N_{k,0}$ [kN]	5346,25	4860,22	2804,35
$N_{k,\infty}$ [kN]	4088,03	3716,40	2144,36
$N'_{k,\infty}$ [kN]	4339,36	3944,88	2276,20
$N''_{k,\infty}$ [kN]	4296,89	3906,27	2253,92

Tab. 6.3. Průměrné ohybové momenty od zatížení ze SCIA

Ohybový moment	Část 1	Část 2	Část 3
$M_{fk,g0}$ [kNm]	2040,19	1623,04	382,47
M_{fk} [kNm]	3437,91	2756,37	665,81
$M_{fk,\psi1}$ [kNm]	2857,77	2285,28	547,68
$M_{fk,\psi2}$ [kNm]	2470,57	1967,06	466,07

Tab. 6.2. Momenty od předpínací síly vygenerovány ze SCIA

Moment	Část 1	Část 2	Část 3
$M_{Pk,0}$ [kNm]	2041,29	1605,34	368,31
$M_{k,\infty}$ [kNm]	1907,75	1500,32	344,21
$M'_{k,\infty}$ [kNm]	2025,04	1592,56	365,38
$M''_{k,\infty}$ [kNm]	2005,22	1576,97	361,80

6.1. Omezení napětí - část průřezu 1

Vstupní hodnoty normálových sil

$$N_{Pm,0} = 4860,22 \text{ kN}$$

$$N_{Pm,\infty} = 4542,26 \text{ kN}$$

$$N'_{Pm,\infty} = 4821,52 \text{ kN}$$

$$N''_{Pm,\infty} = 4774,33 \text{ kN}$$

$$N_{k,0} = N_{Pm,0} \cdot r_{sup} = 4860,22 \cdot 1,1 = 5346,25 \text{ kN}$$

$$N_{k,\infty} = N_{Pm,\infty} \cdot r_{inf} = 4542,26 \cdot 0,9 = 4088,03 \text{ kN}$$

$$N'_{k,\infty} = N'_{Pm,\infty} \cdot r_{inf} = 4821,52 \cdot 0,9 = 4339,36 \text{ kN}$$

$$N''_{k,\infty} = N''_{Pm,\infty} \cdot r_{inf} = 4774,33 \cdot 0,9 = 4296,89 \text{ kN}$$

Momenty od předpínací síly - SCIA

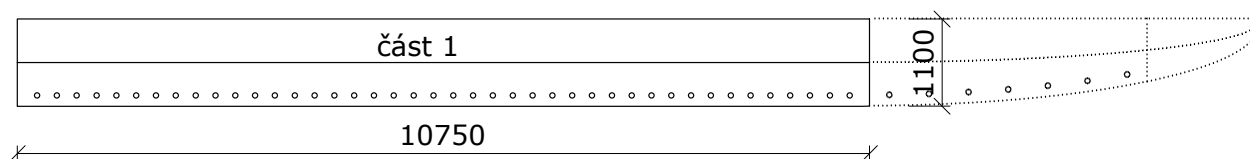
$$M_{Pk,0} = 2041,29 \text{ kNm}$$

$$M_{k,\infty} = 1907,75 \text{ kNm}$$

$$M'_{k,\infty} = 2025,04 \text{ kNm}$$

$$M''_{k,\infty} = 2005,22 \text{ kNm}$$

Pro výpočet omezení napětí byl průřez rozdělen na 3 části podle rozmístění předpínací výztuže. Část 1 je plocha desky, kde jsou předpínací kabely vzdáleny 250mm.



Obr. 6.1. Část průřezu 1

Průřezové charakteristiky pro průřez šířky 1m

Plocha průřezu $A_{cr} = 1,086 \text{ m}^2$

Modul průřezu dolní $W_{1,r} = 0,187 \text{ m}^3$

Modul průřezu horní $W_{2,r} = 0,191 \text{ m}^3$

6.1.1. Omezení napětí ve výztuži

$$\sigma_{pm0} = 1386,23 \text{ MPa} < 0,75 \cdot f_{pk} = 0,75 \cdot 1860 = 1395 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{pm\infty} = 1295,54 \text{ MPa} < 0,75 \cdot f_{pk} = 0,75 \cdot 1860 = 1395 \text{ MPa}$$

6.1.2. Omezení napětí v betonu

Čas t_0 - M_{g0k}

$$\sigma_{c2} = -\frac{N_{k,0}}{A_{cr}} + \frac{M_{Pk,0}}{W_{2r}} - \frac{M_{g0k}}{W_{2r}}$$

$$\sigma_{c2} = -\frac{5346,25}{1,086} + \frac{2041,29}{0,191} - \frac{2040,19}{0,191}$$

$$\sigma_{c2} = -4,92 \text{ MPa} \leq f_{ctm}(t) = 3,2 \text{ MPa}$$

...VYHOVUJE

$$\sigma_{c1} = -\frac{N_{k,0}}{A_{cr}} - \frac{M_{Pk,0}}{W_{1r}} + \frac{M_{g0k}}{W_{1r}}$$

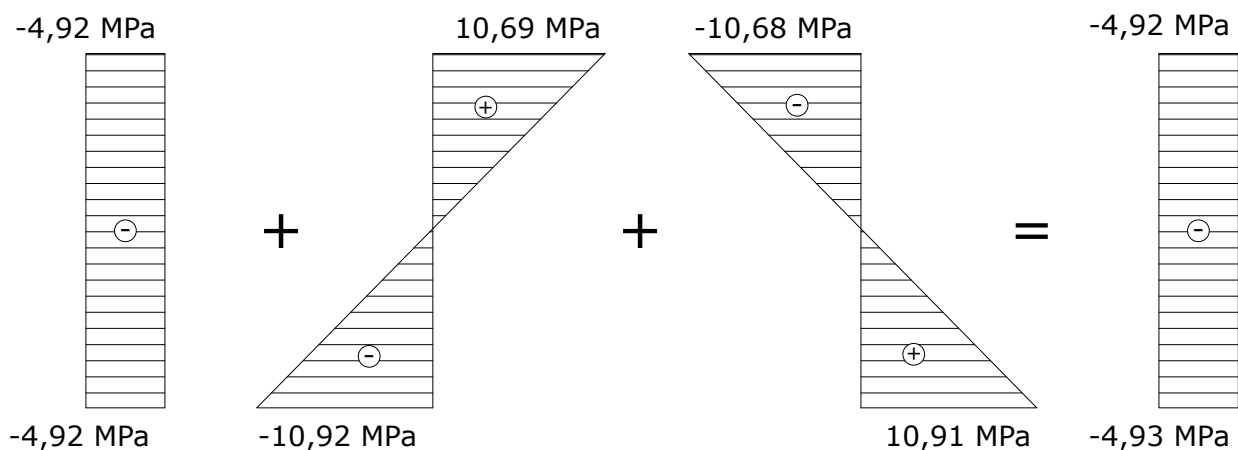
$$\sigma_{c1} = -\frac{5346,25}{1,086} - \frac{2041,29}{0,187} + \frac{2040,19}{0,187}$$

$$\sigma_{c1} = -4,93 \text{ MPa} \leq -0,6 \cdot f_{ck}(t) = -0,6 \cdot 35 = -21 \text{ MPa}$$

...VYHOVUJE

$$\sigma_{c1} = -4,93 \text{ MPa} \leq -0,45 \cdot f_{ck}(t) = -0,45 \cdot 35 = -15,75 \text{ MPa}$$

...VYHOVUJE



Obr. 6.2. Průběh napětí po výšce - M_{g0k}

Čas t_∞ - charakteristická kombinace - $M_{Ek,\psi 0}$

$$\sigma_{c2} = -\frac{N'_{k,\infty}}{A_{cr}} + \frac{M'_{k,\infty}}{W_{2r}} - \frac{M_{Ek,\psi 0}}{W_{2r}}$$

$$\sigma_{c2} = -\frac{4339,36}{1,086} + \frac{2025,04}{0,191} - \frac{3438,91}{0,191}$$

$$\sigma_{c2} = -11,40 \text{ MPa} \leq -0,6 \cdot f_{ck}(t) = -0,6 \cdot 35 = -21 \text{ MPa}$$

...VYHOVUJE

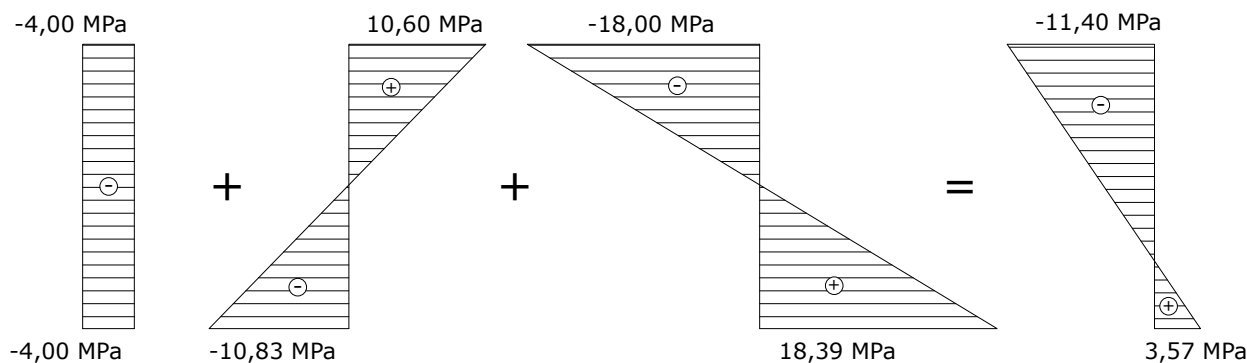
$$\sigma_{c1} = -\frac{N'_{k,\infty}}{A_{cr}} - \frac{M'_{k,\infty}}{W_{1r}} + \frac{M_{Ek,\psi 0}}{W_{1r}}$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{4339,36}{1,086} - \frac{2025,04}{0,187} + \frac{3438,91}{0,187}$$

$$\sigma_{c1} = 3,57 \text{ MPa} \geq f_{ctm}(t) = 3,2 \text{ MPa}$$

...NEVYHOVUJE

Od charakteristické kombinace vznikají trhliny.



Obr. 6.3. Průběh napětí po výšce - $M_{Ek,\psi 0}$

Čas t_∞ - kvazistálá kombinace - $M_{Ek,\psi 2}$

$$\sigma_{c2} = -\frac{N_{k,\infty}}{A_{cr}} + \frac{M_{k,\infty}}{W_{2r}} - \frac{M_{Ek,\psi 2}}{W_{2r}}$$

$$\sigma_{c2} = -\frac{4088,03}{1,086} + \frac{1907,75}{0,191} - \frac{2470,57}{0,191}$$

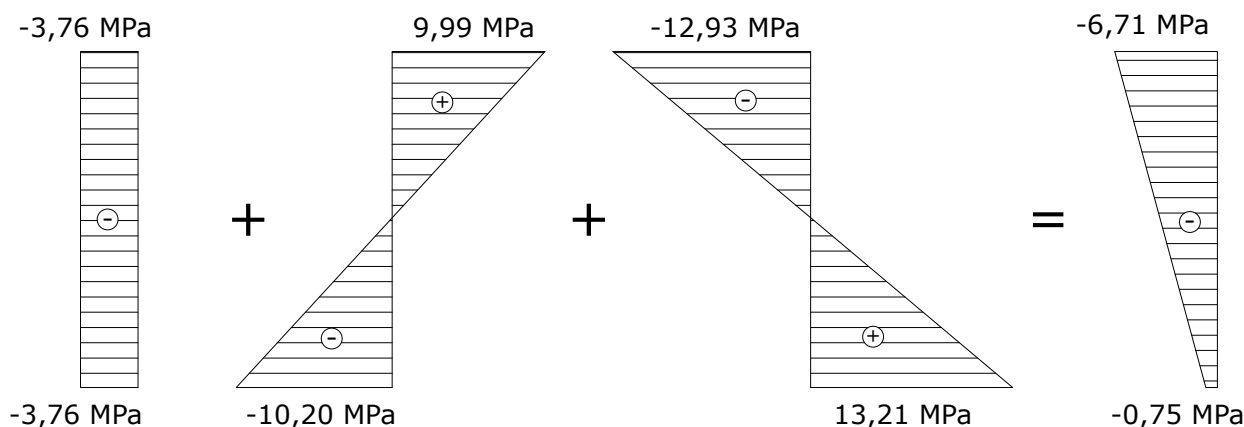
$$\sigma_{c2} = -6,71 \text{ MPa} \leq -0,45 \cdot f_{ck}(t) = -0,45 \cdot 35 = -15,75 \text{ MPa} \quad \dots \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{N_{k,\infty}}{A_{cr}} - \frac{M_{k,\infty}}{W_{1r}} + \frac{M_{Ek,\psi 2}}{W_{1r}}$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{4088,03}{1,086} - \frac{1907,75}{0,187} + \frac{2470,57}{0,187}$$

$$\sigma_{c1} = -0,75 \text{ MPa} \leq f_{ctm}(t) = 3,2 \text{ MPa} \quad \dots \text{VYHOVUJE}$$

6.1.3. Omezení trhlin



Obr. 6.4. Průběh napětí po výšce - $M_{Ek,\psi 2}$

Čas t_∞ - častá kombinace - $M_{Ek,\psi 1}$

$$\sigma_{c2} = -\frac{N''_{k,\infty}}{A_{cr}} + \frac{M''_{k,\infty}}{W_{2r}} - \frac{M_{Ek,\psi 1}}{W_{2r}}$$

$$\sigma_{c2} = -\frac{4296,89}{1,086} + \frac{2005,22}{0,191} - \frac{2857,77}{0,191}$$

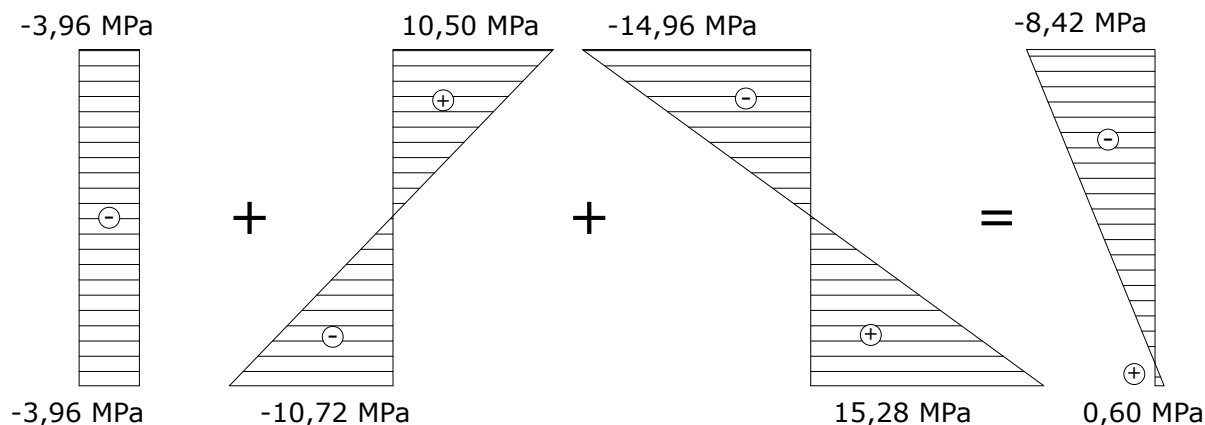
$$\sigma_{c2} = -8,42 \text{ MPa} \leq -0,6 \cdot f_{ck}(t) = -0,6 \cdot 35 = -21 \text{ MPa} \quad \dots \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{N''_{k,\infty}}{A_{cr}} - \frac{M''_{k,\infty}}{W_{1r}} + \frac{M_{Ek,\psi 1}}{W_{1r}}$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{4296,89}{1,086} - \frac{2005,22}{0,187} + \frac{2857,77}{0,187}$$

$$\sigma_{c1} = 0,60 \text{ MPa} \leq f_{ctm}(t) = 3,2 \text{ MPa} \quad \dots \text{VYHOVUJE}$$

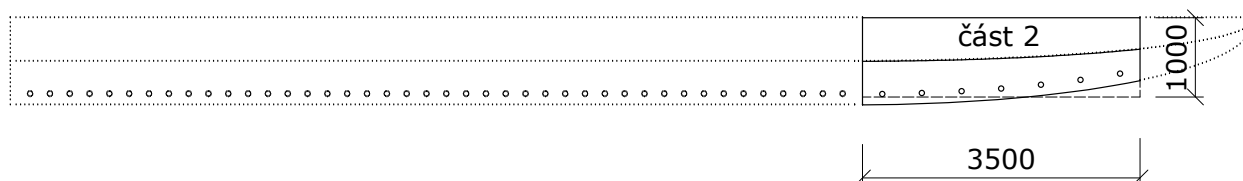
Trhliny nevznikají → lze uvažovat nepotrháný průřez



Obr. 6.5. Průběh napětí po výšce - $M_{Ek,\psi 1}$

6.2. Omezení napětí - část průřezu 2

Část 2 je plocha desky, kde jsou předpínací kabely vzdáleny 500mm. Průměrná výška byla vypočítána z autoCAD vygenerované plochy jako 1,00m.



Obr. 6.6. Část průřezu 2

Průřezové charakteristiky pro průřez šířky 1m

Plocha průřezu	$A_{cr} = 0,993m^2$
Modul průřezu dolní	$W_{1,r} = 0,152m^3$
Modul průřezu horní	$W_{2,r} = 0,154m^3$

Vstupní hodnoty normálových sil

$N_{Pm,0} = 4418,38 \text{ kN}$	$N_{k,0} = N_{Pm,0} \cdot r_{sup} = 4418,38 \cdot 1,1 = 4860,22 \text{ kN}$
$N_{Pm,\infty} = 4129,33 \text{ kN}$	$N_{k,\infty} = N_{Pm,\infty} \cdot r_{inf} = 4129,33 \cdot 0,9 = 3716,40 \text{ kN}$
$N'_{Pm,\infty} = 4383,20 \text{ kN}$	$N'_{k,\infty} = N'_{Pm,\infty} \cdot r_{inf} = 4383,20 \cdot 0,9 = 3944,88 \text{ kN}$
$N''_{Pm,\infty} = 4340,30 \text{ kN}$	$N''_{k,\infty} = N''_{Pm,\infty} \cdot r_{inf} = 4340,30 \cdot 0,9 = 3906,27 \text{ kN}$

Momenty od předpínací síly - SCIA

$M_{Pk,0} = 1605,34 \text{ kNm}$
$M_{k,\infty} = 1500,32 \text{ kNm}$
$M'_{k,\infty} = 1592,56 \text{ kNm}$
$M''_{k,\infty} = 1576,97 \text{ kNm}$

Průměrné ohybové momenty pro část průřezu 2

Momenty od vlastní tíhy	$M_{fk,g0} = 1623,04 \text{ kNm}$
Charakteristická kombinace	$M_{fk} = 2756,37 \text{ kNm}$
Častá kombinace	$M_{fk,\psi1} = 2285,28 \text{ kNm}$
Kvazistálá kombinace	$M_{fk,\psi2} = 1967,06 \text{ kNm}$

6.2.1. Omezení napětí v betonu

Čas t_0 - M_{g0k}

$$\sigma_{c2} = -\frac{N_{k,0}}{A_{cr}} + \frac{M_{Pk,0}}{W_{2r}} - \frac{M_{g0k}}{W_{2r}}$$

$$\sigma_{c2} = -\frac{4860,22}{0,993} + \frac{1605,34}{0,154} - \frac{1623,94}{0,154}$$

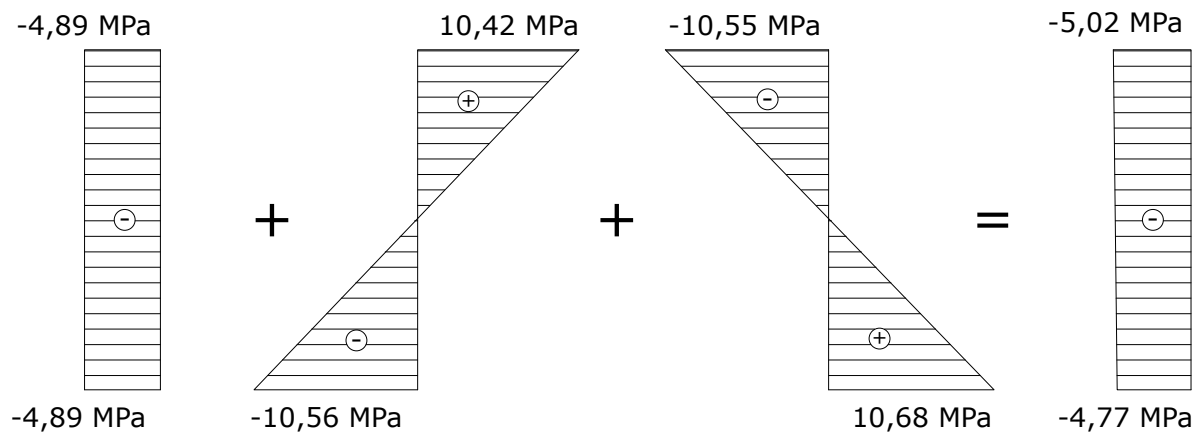
$$\sigma_{c2} = -5,02 \text{ MPa} \leq f_{ctm}(t) = 3,2 \text{ MPa} \quad \dots \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{N_{k,0}}{A_{cr}} - \frac{M_{Pk,0}}{W_{1r}} + \frac{M_{g0k}}{W_{1r}}$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{4860,22}{0,993} - \frac{1605,34}{0,152} + \frac{1623,94}{0,152}$$

$$\sigma_{c1} = -4,77 \text{ MPa} \leq -0,6 \cdot f_{ck}(t) = -0,6 \cdot 35 = -21 \text{ MPa} \quad \dots \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{c1} = -4,77 \text{ MPa} \leq -0,45 \cdot f_{ck}(t) = -0,45 \cdot 35 = -15,75 \text{ MPa} \quad \dots \text{VYHOVUJE}$$



Obr. 6.7. Průběh napětí po výšce - M_{g0k}

Čas t_{∞} - charakteristická kombinace - $M_{Ek,\psi 0}$

$$\sigma_{c2} = -\frac{N'_{k,\infty}}{A_{cr}} + \frac{M'_{k,\infty}}{W_{2r}} - \frac{M_{Ek,\psi 0}}{W_{2r}}$$

$$\sigma_{c2} = -\frac{3944,88}{0,993} + \frac{1592,56}{0,154} - \frac{2756,37}{0,154}$$

$$\sigma_{c2} = -11,53 \text{ MPa} \leq -0,6 \cdot f_{ck}(t) = -0,6 \cdot 35 = -21 \text{ MPa}$$

...VYHOVUJE

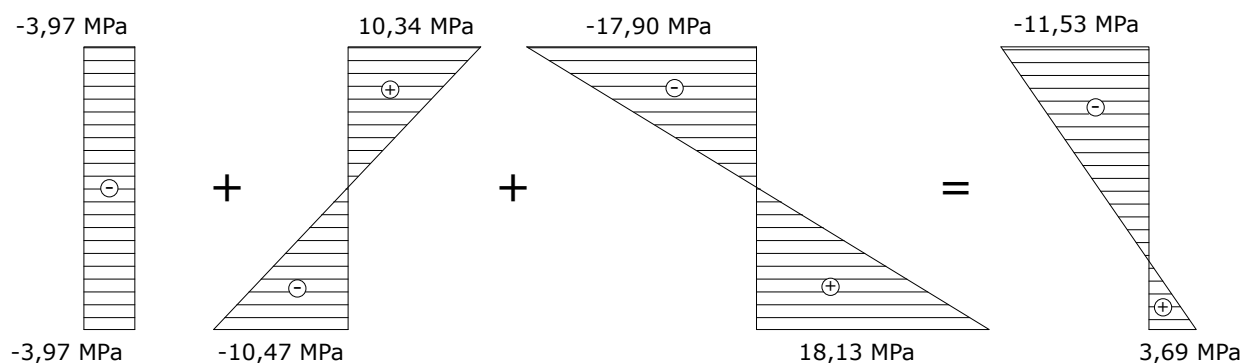
$$\sigma_{c1} = -\frac{N'_{k,\infty}}{A_{cr}} - \frac{M'_{k,\infty}}{W_{1r}} + \frac{M_{Ek,\psi 0}}{W_{1r}}$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{3944,88}{0,993} - \frac{1592,56}{0,152} + \frac{2756,37}{0,152}$$

$$\sigma_{c1} = 3,69 \text{ MPa} \geq f_{ctm}(t) = 3,2 \text{ MPa}$$

...NEVYHOVUJE

Od charakteristické kombinace vznikají trhliny.



Obr. 6.8. Průběh napětí po výšce - $M_{Ek,\psi 0}$

Čas t_{∞} - kvazistálá kombinace - $M_{Ek,\psi 2}$

$$\sigma_{c2} = -\frac{N_{k,\infty}}{A_{cr}} + \frac{M_{k,\infty}}{W_{2r}} - \frac{M_{Ek,\psi 2}}{W_{2r}}$$

$$\sigma_{c2} = -\frac{3716,40}{0,993} + \frac{1500,32}{0,154} - \frac{1967,06}{0,154}$$

$$\sigma_{c2} = -6,77 \text{ MPa} \leq -0,45 \cdot f_{ck}(t) = -0,45 \cdot 35 = -15,75 \text{ MPa}$$

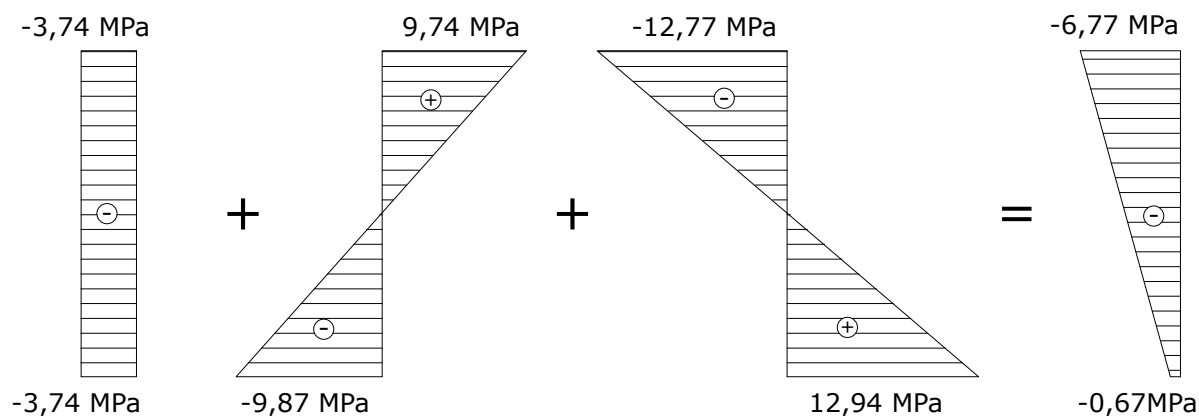
...VYHOVUJE

$$\sigma_{c1} = -\frac{N_{k,\infty}}{A_{cr}} - \frac{M_{k,\infty}}{W_{1r}} + \frac{M_{Ek,\psi 2}}{W_{1r}}$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{3716,40}{0,993} - \frac{1500,32}{0,152} + \frac{1967,06}{0,152}$$

$$\sigma_{c1} = -0,67 \text{ MPa} \leq f_{ctm}(t) = 3,2 \text{ MPa}$$

...VYHOVUJE



Obr. 6.9. Průběh napětí po výšce - $M_{Ek,\psi 2}$

6.2.2. Omezení trhlin

Čas t_∞ - častá kombinace - $M_{Ek,\psi 1}$

$$\sigma_{c2} = -\frac{N''_{k,\infty}}{A_{cr}} + \frac{M''_{k,\infty}}{W_{2r}} - \frac{M_{Ek,\psi 1}}{W_{2r}}$$

$$\sigma_{c2} = -\frac{3906,27}{0,993} + \frac{1576,97}{0,154} - \frac{2285,28}{0,154}$$

$$\sigma_{c2} = -8,93 \text{ MPa} \leq -0,6 \cdot f_{ck}(t) = -0,6 \cdot 35 = -21 \text{ MPa}$$

...VYHOVUJE

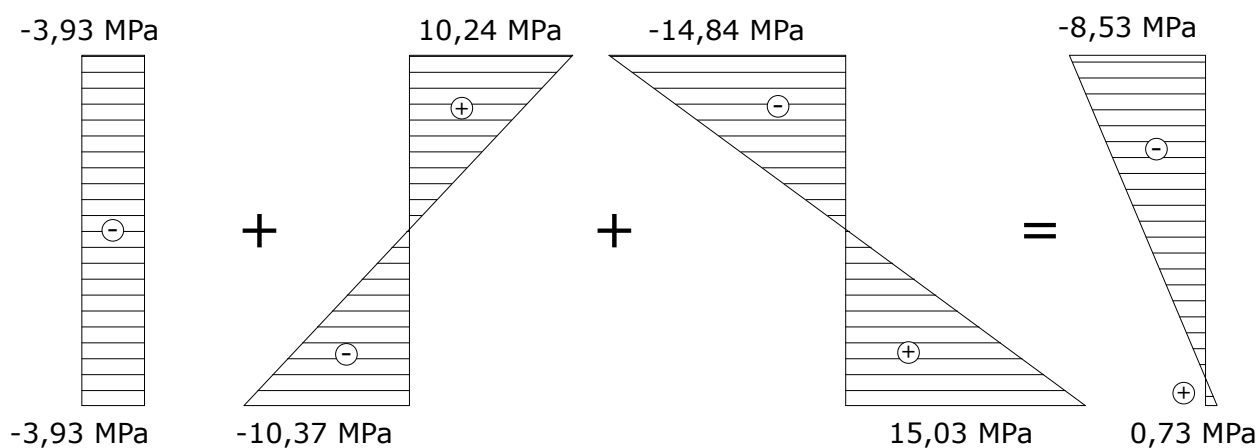
$$\sigma_{c1} = -\frac{N''_{k,\infty}}{A_{cr}} - \frac{M''_{k,\infty}}{W_{1r}} + \frac{M_{Ek,\psi 1}}{W_{1r}}$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{3906,27}{0,993} - \frac{1576,97}{0,152} + \frac{2285,28}{0,152}$$

$$\sigma_{c1} = 0,33 \text{ MPa} \leq f_{ctm}(t) = 3,2 \text{ MPa}$$

...VYHOVUJE

Trhliny nevznikají → lze uvažovat nepotrhaný průřez



Obr. 6.10. Průběh napětí po výšce - $M_{Ek,\psi 1}$

6.3. Omezení napětí - část průřezu 3

Část 3 je plocha desky, ve které se nenachází žádné předpínací kabely. Průměrná výška byla vypočítána z autoCAD vygenerované plochy jako 0,577m.



Obr. 6.11. Část průřezu 3

Průřezové charakteristiky pro průřez šířky 1m

Plocha průřezu	$A_{cr} = 0,577 \text{ m}^2$
Modul průřezu dolní	$W_{1,r} = 0,055 \text{ m}^3$
Modul průřezu horní	$W_{2,r} = 0,055 \text{ m}^3$

Vstupní hodnoty normálových sil

$N_{Pm,0} = 2549,41 \text{ kN}$	$N_{k,0} = N_{Pm,0} \cdot r_{sup} = 2549,41 \cdot 1,1 = 2804,35 \text{ kN}$
$N_{Pm,\infty} = 2382,62 \text{ kN}$	$N_{k,\infty} = N_{Pm,\infty} \cdot r_{inf} = 2382,62 \cdot 0,9 = 2144,36 \text{ kN}$
$N'_{Pm,\infty} = 2529,11 \text{ kN}$	$N'_{k,\infty} = N'_{Pm,\infty} \cdot r_{inf} = 2529,11 \cdot 0,9 = 2276,20 \text{ kN}$
$N''_{Pm,\infty} = 2504,35 \text{ kN}$	$N''_{k,\infty} = N''_{Pm,\infty} \cdot r_{inf} = 2504,35 \cdot 0,9 = 2253,92 \text{ kN}$

Momenty od předpínací síly - SCIA

$M_{Pk,0} = 368,31 \text{ kNm}$
$M_{k,\infty} = 344,21 \text{ kNm}$
$M'_{k,\infty} = 365,38 \text{ kNm}$
$M''_{k,\infty} = 361,80 \text{ kNm}$

Průměrné ohybové momenty pro část průřezu 2

Momenty od vlastní tíhy	$M_{fk,g0} = 382,47 \text{ kNm}$
Charakteristická kombinace	$M_{fk} = 665,81 \text{ kNm}$
Častá kombinace	$M_{fk,\psi1} = 547,68 \text{ kNm}$
Kvazistálá kombinace	$M_{fk,\psi2} = 466,07 \text{ kNm}$

6.3.1. Omezení napětí v betonu

Čas t_0 - M_{g0k}

$$\sigma_{c2} = -\frac{N_{k,0}}{A_{cr}} + \frac{M_{Pk,0}}{W_{2r}} - \frac{M_{g0k}}{W_{2r}}$$

$$\sigma_{c2} = -\frac{2804,35}{0,577} + \frac{368,31}{0,055} - \frac{382,47}{0,055}$$

$$\sigma_{c2} = -5,11 \text{ MPa} \leq f_{ctm}(t) = 3,2 \text{ MPa}$$

...VYHOVUJE

$$\sigma_{c1} = -\frac{N_{k,0}}{A_{cr}} - \frac{M_{Pk,0}}{W_{1r}} + \frac{M_{g0k}}{W_{1r}}$$

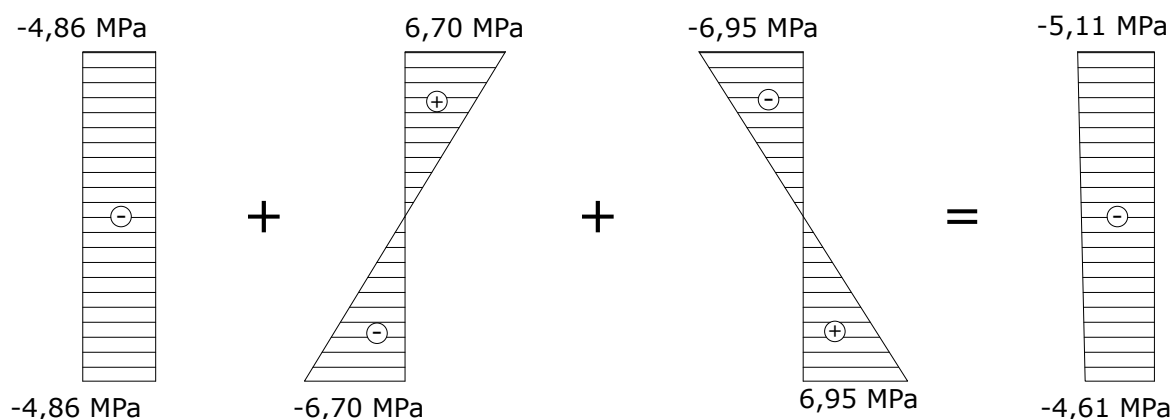
$$\sigma_{c1} = -\frac{2804,35}{0,577} - \frac{368,31}{0,055} + \frac{382,47}{0,055}$$

$$\sigma_{c1} = -4,61 \text{ MPa} \leq -0,6 \cdot f_{ck}(t) = -0,6 \cdot 35 = -21 \text{ MPa}$$

...VYHOVUJE

$$\sigma_{c1} = -4,61 \text{ MPa} \leq -0,45 \cdot f_{ck}(t) = -0,45 \cdot 35 = -15,75 \text{ MPa}$$

...VYHOVUJE



Obr. 6.12. Průběh napětí po výšce - M_{g0k}

Čas t_∞ - charakteristická kombinace - $M_{Ek,\psi 0}$

$$\sigma_{c2} = -\frac{N'_{k,\infty}}{A_{cr}} + \frac{M'_{k,\infty}}{W_{2r}} - \frac{M_{Ek,\psi 0}}{W_{2r}}$$

$$\sigma_{c2} = -\frac{2276,20}{0,577} + \frac{365,38}{0,055} - \frac{665,81}{0,055}$$

$$\sigma_{c2} = -9,41 \text{ MPa} \leq -0,6 \cdot f_{ck}(t) = -0,6 \cdot 35 = -21 \text{ MPa}$$

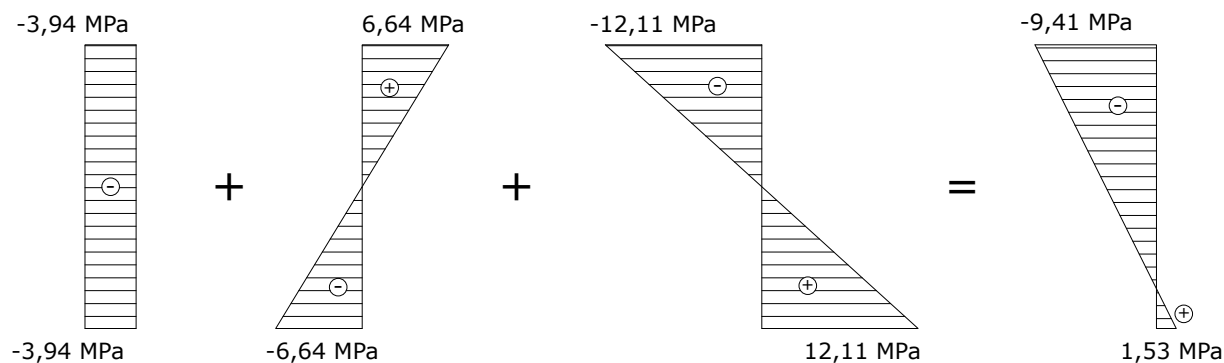
...VYHOVUJE

$$\sigma_{c1} = -\frac{N'_{k,\infty}}{A_{cr}} - \frac{M'_{k,\infty}}{W_{1r}} + \frac{M_{Ek,\psi 0}}{W_{1r}}$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{2276,20}{0,577} - \frac{365,38}{0,055} + \frac{665,81}{0,055}$$

$$\sigma_{c1} = 1,53 \text{ MPa} \leq f_{ctm}(t) = 3,2 \text{ MPa}$$

...VYHOVUJE



Obr. 6.13. Průběh napětí po výšce - $M_{Ek,\psi 0}$

Čas t_∞ - kvazistálá kombinace - $M_{Ek,\psi 2}$

$$\sigma_{c2} = -\frac{N_{k,\infty}}{A_{cr}} + \frac{M_{k,\infty}}{W_{2r}} - \frac{M_{Ek,\psi 2}}{W_{2r}}$$

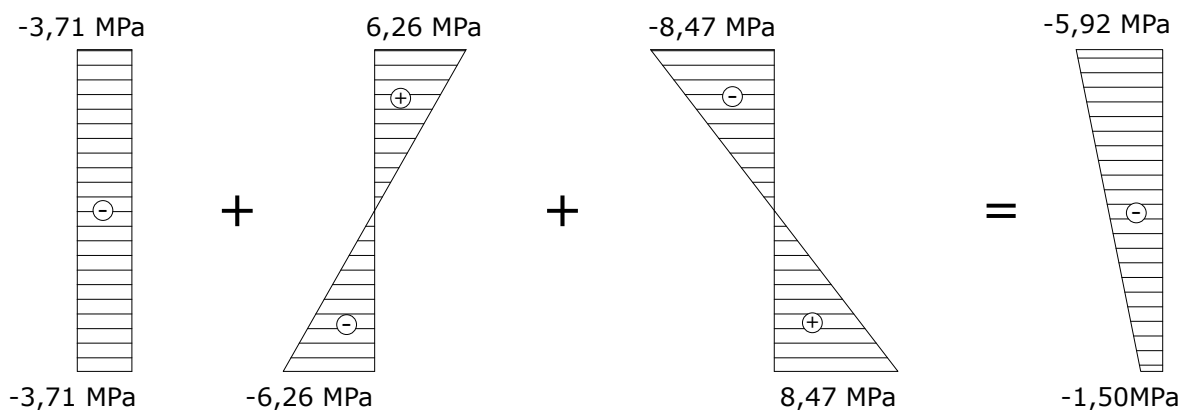
$$\sigma_{c2} = -\frac{2144,36}{0,577} + \frac{344,21}{0,055} - \frac{466,07}{0,055}$$

$$\sigma_{c2} = -5,92 \text{ MPa} \leq -0,45 \cdot f_{ck}(t) = -0,45 \cdot 35 = -15,75 \text{ MPa} \quad \dots \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{N_{k,\infty}}{A_{cr}} - \frac{M_{k,\infty}}{W_{1r}} + \frac{M_{Ek,\psi 2}}{W_{1r}}$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{2144,36}{0,577} - \frac{344,21}{0,055} + \frac{466,07}{0,055}$$

$$\sigma_{c1} = -1,50 \text{ MPa} \leq f_{ctm}(t) = 3,2 \text{ MPa} \quad \dots \text{VYHOVUJE}$$



Obr. 6.14. Průběh napětí po výšce - $M_{Ek,\psi 2}$

6.3.2. Omezení trhlín

Čas t_∞ - častá kombinace - $M_{Ek,\psi1}$

$$\sigma_{c2} = -\frac{N''_{k,\infty}}{A_{cr}} + \frac{M''_{k,\infty}}{W_{2r}} - \frac{M_{Ek,\psi1}}{W_{2r}}$$

$$\sigma_{c2} = -\frac{2253,92}{0,577} + \frac{361,80}{0,055} - \frac{547,68}{0,055}$$

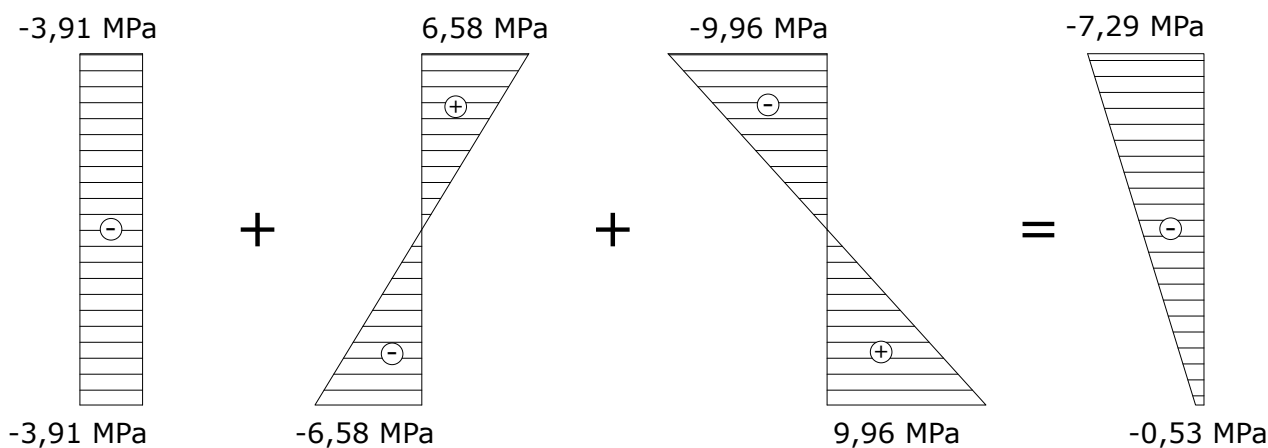
$$\sigma_{c2} = -7,29 \text{ MPa} \leq -0,6 \cdot f_{ck}(t) = -0,6 \cdot 35 = -21 \text{ MPa} \quad \dots \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{N''_{k,\infty}}{A_{cr}} - \frac{M''_{k,\infty}}{W_{1r}} + \frac{M_{Ek,\psi1}}{W_{1r}}$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{2253,92}{0,577} - \frac{361,80}{0,055} + \frac{547,68}{0,055}$$

$$\sigma_{c1} = -0,53 \text{ MPa} \leq f_{ctm}(t) = 3,2 \text{ MPa} \quad \dots \text{VYHOVUJE}$$

Trhliny nevznikají \rightarrow lze uvažovat nepotrhaný průřez



Obr. 6.15. Průběh napětí po výšce - $M_{Ek,\psi1}$

7. MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

7.1. Ohyb - podélný směr - část 1

$$N'_{pm,\infty} = 4821,52 \text{ kN}$$

$$\sigma_{p,t} = \sigma'_{pm\infty} = 1375,19 \text{ MPa}$$

$$M'_{k,\infty} = 2025,04 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{c,p} = -\frac{N_{Ek}}{A_{cr}} + \frac{M_{Ek,\psi 0}}{I_{cr}} \cdot e_{cr} - \frac{M'_{k,\infty}}{I_{cr}} \cdot e_{pr}$$

$$\sigma_{c,p} = -\frac{4821,52}{1,086} + \frac{3438,91}{0,104} \cdot 0,42 - \frac{2025,04}{0,104} \cdot 0,42 = 1,27 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p,t}^0 = \sigma_{p,t} - \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \sigma_{c,p} = 1375,19 - \frac{195}{34} \cdot 1,27 = 1367,91 \text{ MPa}$$

$$P_{d,t}^0 = \sigma_{p,t}^0 \cdot A_p \cdot \gamma_p = 1367,91 \cdot 10^3 \cdot 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot 1,0 = 5745,22 \text{ kN}$$

$$N_{pd} = 4821,52 \cdot \frac{5745,22}{5775,80} = 4795,99 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = N_{fd} + N_{pd} = 0 + 4795,99 = 4795,99 \text{ kN}$$

$$M_{fd} = 4142,25 \text{ kNm} \quad \dots \text{ z kombinace 6.10b - gr1a}$$

$$M_{Ed} = M_{fd} + M_{pd} = 4142,25 + (-2025,04) = 2117,21 \text{ kNm}$$

Parametry návrhových diagramů

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,9 \cdot \frac{35}{1,5} = 21 \text{ MPa}$$

$$f_{pd} = \frac{f_{p0,1k}}{\gamma_s} = \frac{1640}{1,15} = 1426,09 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{cu3} = -3,5 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{pt}^0 = \frac{\sigma_{pt}^0}{E_p} = \frac{1367,91}{195 \cdot 10^3} = 7,02 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{pyd} = \frac{f_{pd}}{E_p} = \frac{1426,09}{195 \cdot 10^3} = 7,31 \text{ ‰}$$

$$\Delta\sigma_p = f_{pd} - \sigma_{p,t}^0 = 1426,09 - 1367,91 = 58,18 \text{ MPa}$$

$$\Delta\epsilon_{pyd} = \epsilon_{pyd} - \epsilon_{pt}^0 = 7,31 - 7,02 = 0,29 \text{ ‰}$$

$$\Delta\epsilon_{pyd} = \frac{\Delta\sigma_p}{E_p} = \frac{58,18}{195 \cdot 10^3} = 0,29 \text{ ‰}$$

Silová podmínka

$$N_{Ed} = N_{Rd}$$

$$P_{d,t}^0 = F_{cc} - \Delta F_p = A_{cc} \cdot f_{cd} - A_p \cdot \Delta \sigma_p$$

$$\Rightarrow A_{cc} = \frac{P_{d,t}^0 + A_p \cdot \Delta \sigma_p}{f_{cd}} = \frac{4795,99 + 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot 58,18 \cdot 10^3}{21 \cdot 10^3} = 0,240 \text{ m}^2$$

$$x_c = \frac{A_{cc}}{1bm} = \frac{0,240}{1} = 0,240 \text{ m} \quad x = \frac{x_c}{0,8} = \frac{0,240}{0,8} = 0,300 \text{ m}$$

Stanovení únosnosti M_{Rd}

$$z_{cc} = z_2 - \frac{x_c}{2} = 0,545 - \frac{0,240}{2} = 0,425 \text{ m}$$

$$z_{pt} = e_{pr} = 0,42 \text{ m}$$

$$F_{cc} = A_{cc} \cdot f_{cd} = 0,240 \cdot 21 \cdot 10^3 = 5040 \text{ kN}$$

$$\Delta F_p = \Delta \sigma_p \cdot A_p = 58,18 \cdot 10^3 \cdot 4,2 \cdot 10^{-3} = 244,36 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = F_{cc} \cdot z_{cc} + \Delta F_p \cdot z_p$$

$$M_{Rd} = 5040 \cdot 0,425 + 244,36 \cdot 0,42 = \mathbf{2244,63 \text{ kNm}}$$

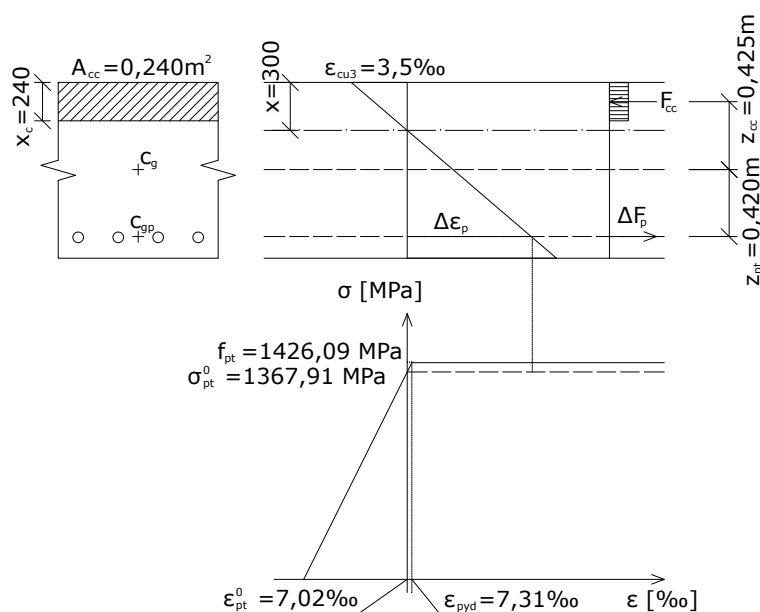
Posouzení

$$M_{Ed} = 2117,21 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 2244,63 \text{ kNm} \quad \dots \text{VYHOVUJE - využití } 94,3\%$$

Návrh pouze konstrukční výztuže

Dolní povrch $\phi 12 \quad s = 200 \text{ mm}$

Holní povrch $\phi 12 \quad s = 200 \text{ mm}$



Obr. 7.1. Průběh poměrného přetvoření při mezní únosnosti

7.2. Ohyb - podélný směr - část 2

$$N'_{pm,\infty} = 4383,20 \text{ kN}$$

$$\sigma_{p,t} = \sigma'_{pm\infty} = 1375,19 \text{ MPa}$$

$$M'_{k,\infty} = 1592,56 \text{ kNm}$$

$$M_{fk} = 2756,37 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{c,p} = -\frac{N_{Ek}}{A_{cr}} + \frac{M_{Ek,\psi^0}}{I_{cr}} \cdot e_{cr} - \frac{M'_{k,\infty}}{I_{cr}} \cdot e_{pr}$$

$$\sigma_{c,p} = -\frac{4383,20}{0,993} + \frac{2756,37}{0,0763} \cdot 0,366 - \frac{1592,56}{0,0763} \cdot 0,366 = 1,17 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p,t}^0 = \sigma_{p,t} - \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \sigma_{c,p} = 1375,19 - \frac{195}{34} \cdot 1,17 = 1368,48 \text{ MPa}$$

$$N_{pd} = 4383,20 \cdot \frac{5745,22}{5775,80} = 4359,99 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = N_{fd} + N_{pd} = 0 + 4359,99 = 4359,99 \text{ kN}$$

$$M_{fd} = 3322,76 \text{ kNm} \quad \dots \text{ z kombinace 6.10b - gr1a}$$

$$M_{Ed} = M_{fd} + M_{pd} = 3322,76 + (-1592,56) = 1730,20 \text{ kNm}$$

Parametry návrhových diagramů

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,9 \cdot \frac{35}{1,5} = 21 \text{ MPa}$$

$$f_{pd} = \frac{f_{p0,1k}}{\gamma_s} = \frac{1640}{1,15} = 1426,09 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{cu3} = -3,5 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{pt}^0 = \frac{\sigma_{pt}^0}{E_p} = \frac{1368,48}{195 \cdot 10^3} = 7,02 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{pyd} = \frac{f_{pd}}{E_p} = \frac{1426,09}{195 \cdot 10^3} = 7,31 \text{ ‰}$$

$$\Delta\sigma_p = f_{pd} - \sigma_{p,t}^0 = 1426,09 - 1368,48 = 57,61 \text{ MPa}$$

$$\Delta\epsilon_{pyd} = \epsilon_{pyd} - \epsilon_{pt}^0 = 7,31 - 7,02 = 0,29 \text{ ‰}$$

$$\Delta\epsilon_{pyd} = \frac{\Delta\sigma_p}{E_p} = \frac{57,61}{195 \cdot 10^3} = 0,29 \text{ ‰}$$

Silová podmínka

$$N_{Ed} = N_{Rd}$$

$$P_{d,t}^0 = F_{cc} - \Delta F_p = A_{cc} \cdot f_{cd} - A_p \cdot \Delta \sigma_p$$

$$\Rightarrow A_{cc} = \frac{P_{d,t}^0 + A_p \cdot \Delta \sigma_p}{f_{cd}} = \frac{4359,99 + 2,1 \cdot 10^{-3} \cdot 57,61 \cdot 10^3}{21 \cdot 10^3} = 0,214 \text{ m}^2$$

$$x_c = \frac{A_{cc}}{b m} = \frac{0,214}{1} = 0,214 \text{ m} \quad x = \frac{x_c}{0,8} = \frac{0,214}{0,8} = 0,268 \text{ m}$$

Stanovení únosnosti M_{Rd}

$$z_{cc} = z_2 - \frac{x_c}{2} = 0,497 - \frac{0,268}{2} = 0,363 \text{ m}$$

$$z_{pt} = e_{pr} = 0,366 \text{ m}$$

$$F_{cc} = A_{cc} \cdot f_{cd} = 0,214 \cdot 21 \cdot 10^3 = 4494 \text{ kN}$$

$$\Delta F_p = \Delta \sigma_p \cdot A_p = 57,61 \cdot 10^3 \cdot 2,1 \cdot 10^{-3} = 120,98 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = F_{cc} \cdot z_{cc} + \Delta F_p \cdot z_p$$

$$M_{Rd} = 4494 \cdot 0,363 + 120,98 \cdot 0,366 = \mathbf{1675,60 \text{ kNm}}$$

Posouzení

$$M_{Ed} = 1730,20 \text{ kNm} \geq M_{Rd} = 1675,60 \text{ kNm} \quad \dots \text{NEVYHOVUJE}$$

Návrh betonářské výztuže

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed} - M_{Rd}}{z_s \cdot f_{yd}} = \frac{1730,20 - 1675,60}{0,45 \cdot 434,78 \cdot 10^3} = 2,79 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Návrh výztuže

Dolní povrch	$\phi 12$	$s = 200 \text{ mm}$	$A_s = 5,65 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
--------------	-----------	----------------------	--

Holní povrch	$\phi 12$	$s = 200 \text{ mm}$	
--------------	-----------	----------------------	--

$$\Delta A_{cc} = A_{st} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 5,65 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{434,78}{21} = 0,0117 \text{ m}^2$$

$$x'_c = \frac{\Delta A_{cc}}{b m} = \frac{0,0117}{1} = 0,0117 \text{ m}$$

$$x_{c,c} = x_c + x'_c = 0,214 + 0,0117 = 0,2257 \text{ m}$$

$$x = \frac{x_{c,c}}{0,8} = \frac{0,2257}{0,8} = 0,282 \text{ m}$$

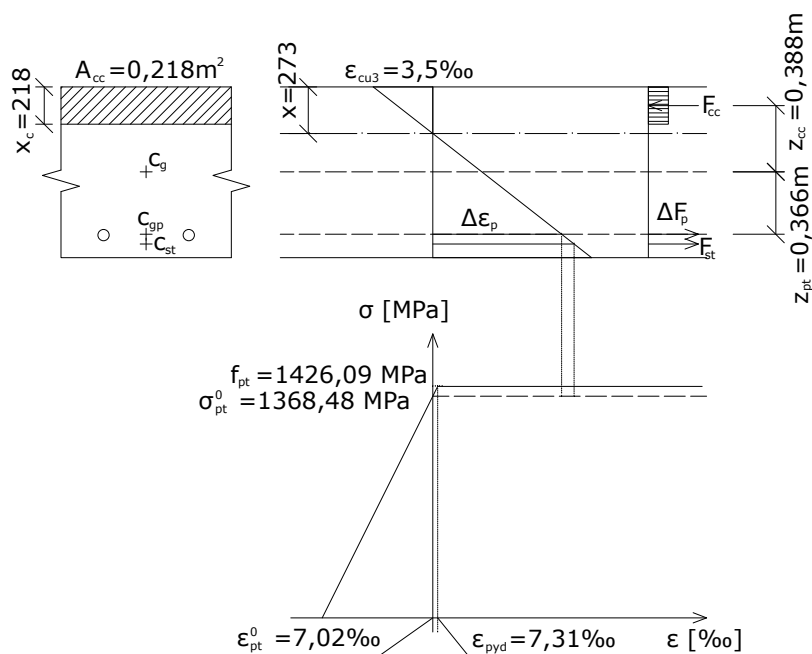
$$z_{st} = d - \frac{x_{c,c}}{2} = 0,92 - \frac{0,2257}{2} = 0,807 \text{ m}$$

$$M_{Rd,s} = A_{st} \cdot f_{yd} \cdot z_s = 5,65 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,807 = 198,24 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = M_{Rd} + M_{Rd,s} = 1675,60 + 198,24 = 1873,84 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 1730,20 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 1873,84 \text{ kNm}$$

...VYHOVUJE



Obr. 7.2. Průběh poměrného přetvoření při mezní únosnosti

7.3. Ohyb - podélný směr - část 3

$$N'_{pm,\infty} = 2529,11 \text{ kN}$$

$$\sigma_{p,t} = \sigma'_{pm,\infty} = 1375,19 \text{ MPa}$$

$$M'_{k,\infty} = 365,38 \text{ kNm}$$

$$M_{fk} = 665,81 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{c,p} = -\frac{N_{Ek}}{A_{cr}} + \frac{M_{Ek,\psi 0}}{I_{cr}} \cdot e_{cr} - \frac{M'_{k,\infty}}{I_{cr}} \cdot e_{pr}$$

$$\sigma_{c,p} = -\frac{2529,40}{0,577} + \frac{665,81}{0,016} \cdot 0,2885 - \frac{365,38}{0,016} \cdot 0,2885 = 1,03 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p,t}^0 = \sigma_{p,t} - \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \sigma_{c,p} = 1375,19 - \frac{195}{34} \cdot 1,03 = 1369,28 \text{ MPa}$$

$$N_{pd} = 2529,11 \cdot \frac{5745,22}{5775,80} = 2515,72 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = N_{fd} + N_{pd} = 0 + 2515,72 = 2515,72 \text{ kN}$$

$$M_{fd} = 804,47 \text{ kNm} \quad \dots \text{ z kombinace 6.10b - gr1a}$$

$$M_{Ed} = M_{fd} + M_{pd} = 804,47 + (-365,38) = 439,09 \text{ kNm}$$

Silová podmínka

$$N_{Ed} = N_{Rd}$$

$$N_{pd} = F_{cc} = A_{cc} \cdot f_{cd}$$

$$\Rightarrow A_{cc} = \frac{N_{pd}}{f_{cd}} = \frac{2515,72}{21 \cdot 10^3} = 0,120 \text{ m}^2$$

$$x_c = \frac{A_{cc}}{b m} = \frac{0,120}{1} = 0,120 \text{ m} \quad x = \frac{x_c}{0,8} = \frac{0,120}{0,8} = 0,15 \text{ m}$$

Stanovení únosnosti M_{Rd}

$$z_{cc} = z_2 - \frac{x_c}{2} = 0,2885 - \frac{0,120}{2} = 0,229 \text{ m}$$

$$F_{cc} = A_{cc} \cdot f_{cd} = 0,120 \cdot 21 \cdot 10^3 = 2520 \text{ kN}$$

$$\Delta F_p = 0 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = F_{cc} \cdot z_{cc} + \Delta F_p \cdot z_p$$

$$M_{Rd} = 2520 \cdot 0,229 + 0 = \mathbf{577,08 \text{ kNm}}$$

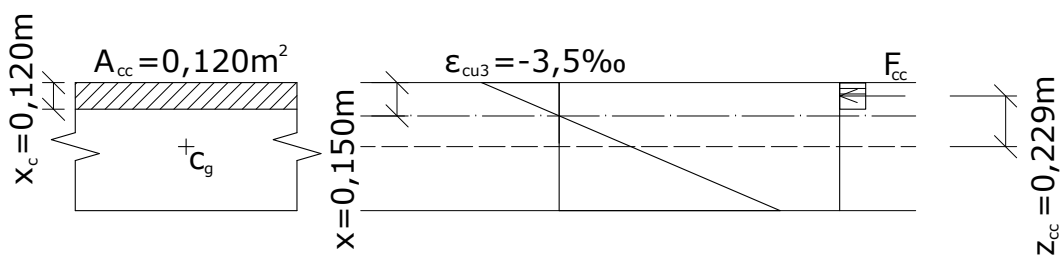
Posouzení

$$M_{Ed} = 439,09 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 577,08 \text{ kNm} \quad \dots \text{VYHOVUJE - využití } 76,1\%$$

Návrh pouze konstrukční výztuže

Dolní povrch $\phi 12$ $s = 200 \text{ mm}$

Holní povrch $\phi 12$ $s = 200 \text{ mm}$



Obr. 7.3. Průběh poměrného přetvoření při mezní únosnosti

7.4. Ohyb - příčný směr

7.4.1. Max. ohybový moment nad podporou

max. moment nad podporou	$M_{Ed} = 787,93 \text{ kNm}$
účinná výška	$d = 1,018 \text{ m}$
návrhová pevnost betonu v tlaku	$f_{cd} = 21 \text{ MPa}$
návrhová pevnost výztuže v tahu	$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$

Návrh výztuže a konstrukční zásady

$$A_{s,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) = 1,5 \cdot 1,018 \cdot \frac{21}{434,78} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 787,93}{1,5 \cdot 1,018^2 \cdot 21 \cdot 10^3}} \right)$$

$$A_{s,req} = 18,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Navrženo 10 $\phi 20$ $A_s = 31,42 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{3,2}{434,78} \cdot 1,5 \cdot 1,018 = 29,22 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1,5 \cdot 1,018 = 19,85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,4 \cdot b \cdot d = 0,4 \cdot 1,5 \cdot 1,018 = 0,611 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 29,22 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \leq A_s = 31,42 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \leq A_{s,max} = 0,611 \text{ m}^2 \quad \dots \text{VYHOVUJE}$$

$$s_{max} = \min \{ 3 \cdot h; 400 \} = \min \{ 3300; 400 \} = 400 \text{ mm}$$

$$s_{min} = \max \{ 1,2 \cdot \phi; d_g + 5; 20 \} = \max \{ 24; 37; 20 \} = 37 \text{ mm}$$

$$s_{min} = 37 \text{ mm} \leq s = 150 \text{ mm} \leq s_{max} = 400 \text{ mm} \quad \dots \text{VYHOVUJE}$$

Určení neutrální výšky

$$x = \frac{A_{st} \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{31,42 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1,5 \cdot 21 \cdot 10^3} = 0,054 \text{ m}$$

$$x_c = x \cdot \lambda = 0,054 \cdot 0,8 = 0,0432 \text{ m}$$

Ověření protažení výztuže

$$\epsilon_s = \epsilon_{cu3} \cdot \frac{d - x}{x} = 0,0035 \cdot \frac{1,018 - 0,054}{0,052} = 64,88\text{‰} \geq \epsilon_{sy,d} = 2,174\text{‰}$$

$$x_{bal} = \frac{\epsilon_{cu3} \cdot d}{\epsilon_{cu3} + \epsilon_{sy,d}} = \frac{0,0035 \cdot 1,018}{0,0035 + 0,002174} = 0,628 \text{ m}$$

$$x = 0,054 \text{ m} \leq x_{bal} = 0,628 \text{ m} \quad \dots \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení

$$z_s = d - \frac{x_c}{2} = 1,018 - \frac{0,0432}{2} = 0,996 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = A_{st} \cdot f_{yd} \cdot z_{st} = 31,42 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,996 = 1360,61 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 787,93 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 1360,61 \text{ kNm}$$

...VYHOVUJE - využití 57,9%

7.4.2. Max. ohybový moment mezi podporami (skrytý příčník)

max. moment

$$M_{Ed} = 636,31 \text{ kNm}$$

účinná výška

$$d = 1,018 \text{ m}$$

návrhová pevnost betonu v tlaku

$$f_{cd} = 21 \text{ MPa}$$

návrhová pevnost výztuže v tahu

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

Návrh výztuže a konstrukční zásady

$$A_{s,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) = 1,5 \cdot 1,018 \cdot \frac{21}{434,78} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 636,31}{1,5 \cdot 1,018^2 \cdot 21 \cdot 10^3}} \right)$$

$$A_{s,req} = 14,52 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Navrženo } 10 \phi 20 \quad A_s = 31,42 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{3,2}{434,78} \cdot 1,5 \cdot 1,018 = 29,22 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1,5 \cdot 1,018 = 19,85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,4 \cdot b \cdot d = 0,4 \cdot 1,5 \cdot 1,018 = 0,611 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 29,22 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \leq A_s = 31,42 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \leq A_{s,max} = 0,611 \text{ m}^2$$

...VYHOVUJE

$$s_{max} = \min \{ 3 \cdot h; 400 \} = \min \{ 3300; 400 \} = 400 \text{ mm}$$

$$s_{min} = \max \{ 1,2 \cdot \phi; d_g + 5; 20 \} = \max \{ 24; 37; 20 \} = 37 \text{ mm}$$

$$s_{min} = 37 \text{ mm} \leq s = 150 \text{ mm} \leq s_{max} = 400 \text{ mm}$$

...VYHOVUJE

Určení neutrální výšky

$$x = \frac{A_{st} \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{31,42 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1,5 \cdot 21 \cdot 10^3} = 0,054 \text{ m}$$

$$x_c = x \cdot \lambda = 0,054 \cdot 0,8 = 0,0432 \text{ m}$$

Ověření protažení výztuže

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu3} \cdot \frac{d-x}{x} = 0,0035 \cdot \frac{1,018 - 0,054}{0,052} = 64,88‰ \geq \varepsilon_{sy,d} = 2,174‰$$

$$x_{bal} = \frac{\varepsilon_{cu3} \cdot d}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{sy,d}} = \frac{0,0035 \cdot 1,018}{0,0035 + 0,002174} = 0,628m$$

$$x = 0,054m \leq x_{bal} = 0,628m$$

...VYHOVUJE

Posouzení

$$z_s = d - \frac{x_c}{2} = 1,018 - \frac{0,0432}{2} = 0,996m$$

$$M_{Rd} = A_{st} \cdot f_{yd} \cdot z_{st} = 31,42 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,996 = 1360,61 kNm$$

$$M_{Ed} = 636,31 kNm \leq M_{Rd} = 1360,61 kNm$$

...VYHOVUJE - využití 46,8%

7.4.3. Max. ohybový moment v poli

max. moment

$$M_{Ed} = 387,13 kNm$$

účinná výška

$$d = 1,018m$$

návrhová pevnost betonu v tlaku

$$f_{cd} = 21 MPa$$

návrhová pevnost výztuže v tahu

$$f_{yd} = 434,78 MPa$$

Návrh výztuže a konstrukční zásady

$$A_{s,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) = 1,0 \cdot 1,018 \cdot \frac{21}{434,78} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 387,13}{1,0 \cdot 1,018^2 \cdot 21 \cdot 10^3}} \right)$$

$$A_{s,req} = 8,83 \cdot 10^{-4} m^2$$

Navrženo $\phi 20/150mm$

$$A_s = 20,94 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{3,2}{434,78} \cdot 1,0 \cdot 1,018 = 19,48 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$A_{s,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 1,018 = 13,23 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$A_{s,max} = 0,4 \cdot b \cdot d = 0,4 \cdot 1,0 \cdot 1,018 = 0,407 m^2$$

$$A_{s,min} = 19,48 \cdot 10^{-4} m^2 \leq A_s = 20,94 \cdot 10^{-4} m^2 \leq A_{s,max} = 0,407 m^2$$

...VYHOVUJE

$$s_{max} = \min \{ 3 \cdot h; 400 \} = \min \{ 3300; 400 \} = 400 mm$$

$$s_{min} = \max \{ 1,2 \cdot \phi; dg + 5; 20 \} = \max \{ 19,2; 37; 20 \} = 37 mm$$

$$s_{min} = 37 mm \leq s = 150 mm \leq s_{max} = 400 mm$$

...VYHOVUJE

Určení neutrální výšky

$$x = \frac{A_{st} \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{20,94 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 21 \cdot 10^3} = 0,054 \text{ m}$$

$$x_c = x \cdot \lambda = 0,054 \cdot 0,8 = 0,0432 \text{ m}$$

Ověření protažení výztuže

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu3} \cdot \frac{d - x}{x} = 0,0035 \cdot \frac{1,018 - 0,054}{0,052} = 64,88\text{‰} \geq \varepsilon_{sy,d} = 2,174\text{‰}$$

$$x_{bal} = \frac{\varepsilon_{cu3} \cdot d}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{sy,d}} = \frac{0,0035 \cdot 1,018}{0,0035 + 0,002174} = 0,628 \text{ m}$$

$$x = 0,054 \text{ m} \leq x_{bal} = 0,628 \text{ m}$$

...VYHOVUJE

Posouzení

$$z_s = d - \frac{x_c}{2} = 1,018 - \frac{0,0432}{2} = 0,996 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = A_{st} \cdot f_{yd} \cdot z_{st} = 20,94 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,996 = 906,79 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 387,13 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 906,79 \text{ kNm}$$

...VYHOVUJE - využití 42,7%

7.5. Smyk - protlačení

výška desky

$$h = 1,100 \text{ m}$$

účinná výška v podélném směru

$$d_x = 1,032 \text{ m}$$

účinná výška v příčném směru

$$d_y = 1,016 \text{ m}$$

efektivní účinná výška

$$d = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{1,032 + 1,016}{2} = 1,024 \text{ m}$$

průměr ložiska

$$\phi = 460 \text{ mm}$$

zatěžovací plocha

$$A_L = 0,166 \text{ m}^2$$

Podélný směr

Tab. 7.1. Posouvající síly pro podélný směr

	v úrovni řezu u_0	v úrovni řezu u_1	v úrovni řezu u_2
V_x	1240,59	545,46	408,90
V_y	91,30	82,84	85,13

Celkové posouvající síly:

Posouvající síla v úrovni u_0

$$V_{Ed,0} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{1240,59^2 + 91,30^2} = 1243,95 \text{ kN}$$

Posouvající síla v úrovni u_1

$$V_{Ed,1} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{545,46^2 + 82,84^2} = 551,71 \text{ kN}$$

Posouvající síla v úrovni u_2

$$V_{Ed,2} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{408,90^2 + 85,13^2} = 417,67 \text{ kN}$$

Příčný směr

Tab. 7.2. Posouvající síly pro příčný směr

	v úrovni řezu u_0	v úrovni řezu u_1	v úrovni řezu u_2
V_x	73,85	66,34	56,99
V_y	1593,69	490,88	206,76

Celkové posouvající síly:

Posouvající síla v úrovni u_0

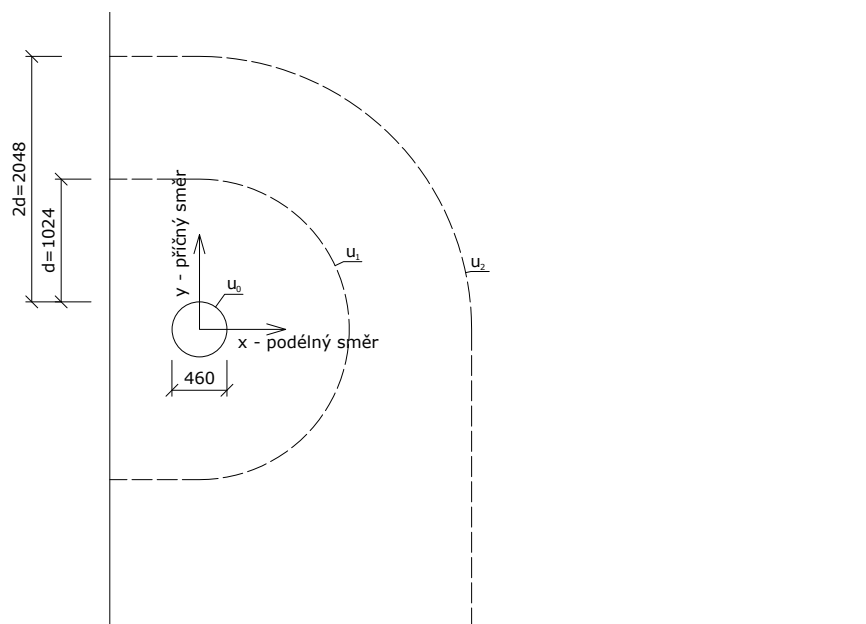
$$V_{Ed,0} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{73,85^2 + 1593,69^2} = 1595,40 \text{ kN}$$

Posouvající síla v úrovni u_1

$$V_{Ed,1} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{66,34^2 + 490,88^2} = 495,34 \text{ kN}$$

Posouvající síla v úrovni u_2

$$V_{Ed,2} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{56,99^2 + 206,76^2} = 214,47 \text{ kN}$$



Obr. 7.4. Kontrolované obvody kolem ložiska

7.5.1. Posouzení u obvodu u_1 (v líci podpory)

Podélný směr

$$\nu = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right) = 0,516$$

$$\nu_{rd,max} = 0,5 \cdot \nu \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,516 \cdot 21 = 5,418 \text{ MPa}$$

Délka komrovaného obvodu $u_0 = 1,445 \text{ m}$

$$c_1 = 0,46 \text{ m}$$

$$c_2 = 0,46 \text{ m}$$

$$\beta_0 = 1,0$$

$$\nu_{ed} = \beta_0 \cdot \frac{V_{Ed}}{c_2 \cdot d} = 1,0 \cdot \frac{1241,31}{0,46 \cdot 1,024} = 2,64 \text{ MPa}$$

$$\nu_{ed} = 2,93 \text{ MPa} \leq \nu_{rd,max} = 5,42 \text{ MPa}$$

...VYHOVUJE

Příčný směr

$$c_1 = 0,46 \text{ m}$$

$$c_2 = 0,46 \text{ m}$$

$$\beta_0 = 1,0$$

$$\nu_{ed} = \beta_0 \cdot \frac{V_{Ed}}{c_2 \cdot d} = 1,0 \cdot \frac{1595,40}{0,46 \cdot 1,024} = 3,39 \text{ MPa}$$

$$\nu_{ed} = 3,39 \text{ MPa} \leq \nu_{rd,max} = 5,42 \text{ MPa}$$

...VYHOVUJE

7.5.2. Posouzení u obvodu u_2 a u_3 (vzdálenost d a $2d$)

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

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{1024}} = 1,44 \leq 2,0$$

$$\rho_{l,x} = \frac{A_{sl,x}}{L \cdot d} = \frac{\pi \cdot \left(\frac{12 \cdot 10^{-3}}{2}\right)^2 \cdot \frac{1}{0,2}}{1 \cdot 1,024} = 0,00055$$

$$\rho_{l,y} = \frac{A_{sl,y}}{L \cdot d} = \frac{\pi \cdot \left(\frac{20 \cdot 10^{-3}}{2}\right)^2 \cdot \frac{1}{0,2}}{1 \cdot 1,024} = 0,00153$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{l,x} \cdot \rho_{l,y}} = \sqrt{0,00055 \cdot 0,00153} = 0,00092 \leq 0,02$$

$$\sigma_{c,x} = \frac{N_{m,\infty}}{A_{cr}} = \frac{4542,26}{1,086} = 4,18 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,y} = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,p} = \frac{\sigma_{c,x} + \sigma_{c,y}}{2} = \frac{4,18 + 0}{2} = 2,09 \text{ MPa}$$

$$v_{rd,c} = C_{rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{c,p} = 0,12 \cdot 1,44 \cdot (100 \cdot 0,00092 \cdot 35)^{\frac{1}{3}} + 0,1 \cdot 2,09 = \mathbf{0,46 \text{ MPa}}$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{1,5} \cdot f_{ck}^{0,5} + k_1 \cdot \sigma_{c,p} = 0,035 \cdot 1,44^{1,5} \cdot 35^{0,5} + 0,1 \cdot 2,09 = \mathbf{0,567 \text{ MPa}}$$

Obvod ve vzdálenosti d $u_1 = 5,440 \text{ m}$

Obvod ve vzdálenosti $2d$ $u_2 = 6,829 \text{ m}$

Podélný směr

$$\beta = 1,0$$

Vzdálenost d od podpory

$$V_{Ed,1} = 551,71 \text{ kN}$$

$$v_{ed,1} = \beta \cdot \frac{V_{Ed,1}}{b m \cdot d} = 1,0 \cdot \frac{551,71 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 1,024} = 0,539 \text{ MPa} \leq v_{min} = 0,567 \text{ MPa} \quad \dots \text{VYHOVUJE}$$

Vzdálenost $2d$ od podpory

$$V_{Ed,2} = 417,67 \text{ kN}$$

$$v_{ed,2} = \beta \cdot \frac{V_{Ed,1}}{b m \cdot d} = 1,0 \cdot \frac{417,67 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 1,024} = 0,408 \text{ MPa} \leq v_{min} = 0,567 \text{ MPa} \quad \dots \text{VYHOVUJE}$$

Příčný směr

$$\beta = 1,0$$

Vzdálenost d od podpory

$$V_{Ed,1} = 347,83 \text{ kN}$$

$$v_{ed,1} = \beta \cdot \frac{V_{Ed,1}}{1bm \cdot d} = 1,53 \cdot \frac{347,83 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 1,024} = 0,520 \text{ MPa} \leq v_{min} = 0,567 \text{ MPa} \quad \dots \text{VYHOVUJE}$$

Vzdálenost 2d od podpory

$$V_{Ed,2} = 64,20 \text{ kN}$$

$$v_{ed,2} = \beta \cdot \frac{V_{Ed,1}}{1bm \cdot d} = 1,53 \cdot \frac{64,20 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 1,024} = 0,096 \text{ MPa} \leq v_{min} = 0,567 \text{ MPa} \quad \dots \text{VYHOVUJE}$$

Návrh smykové výztuže podle konstrukčních zásad

$$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{35}}{500} = 9,47 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{min. 10 spon na } 1\text{m}^2 \Rightarrow \text{spony } \phi 8/300/400 \quad A_{sw} = 7,00 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w} = \frac{7,00 \cdot 10^{-4}}{0,4 \cdot 1,0} = 17,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\rho_w = 17,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \geq \rho_{w,min} = 9,47 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad \dots \text{VYHOVUJE}$$

Maximální podélná vzdálenost

$$s_{l,max} = \min \{ 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cotg \alpha); 400 \} = \min \{ 0,75 \cdot 1,024 \cdot (1 + \cotg 90); 400 \} = \min \{ 768; 400 \} = 400 \text{ mm}$$

$$s_l = 400 \text{ mm} \leq s_{l,max} = 400 \text{ mm} \quad \dots \text{VYHOVUJE}$$

Maximální příčná vzdálenost

$$s_{t,max} = \min \{ 0,75 \cdot d; 600 \} = \min \{ 0,75 \cdot 1,024; 600 \} = \min \{ 768; 600 \} = 600 \text{ mm}$$

$$s_t = 300 \text{ mm} \leq s_{t,max} = 600 \text{ mm} \quad \dots \text{VYHOVUJE}$$

8. KOTVY A KOTEVNÍ OBLASTI

Typ výztuže	Y 1860 S7-15,7-A
Typ kotvy	7C15 - Freyssinet
vzdálenost kotev	min. 250mm

8.1. Posouzení soustředěného tlaku

$$P_{max} = \sigma_{p,max} \cdot A_{p1} \cdot 7 = 1476 \cdot 150 \cdot 10^{-3} \cdot 7 = 1549,8 \text{ kN}$$

$$b_1 = 220 \text{ mm} \quad d_1 = 220 \text{ mm}$$

$$b_2 = 500 \text{ mm} \leq 3 \cdot b_1 = 3 \cdot 220 = 660 \text{ mm}$$

$$d_2 = 400 \text{ mm} \leq 3 \cdot d_1 = 3 \cdot 220 = 660 \text{ mm}$$

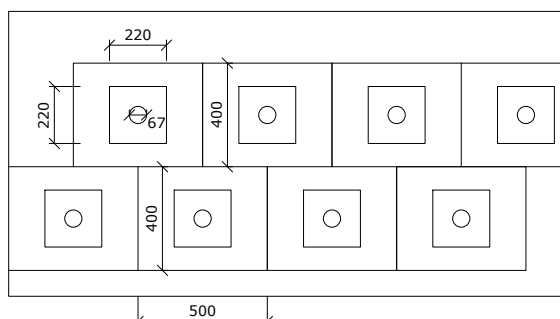
$$h \geq b_2 - b_1 = 500 - 220 = 280 \text{ mm}$$

$$h \geq d_2 - d_1 = 400 - 220 = 180 \text{ mm}$$

$$h = 280 \text{ mm}$$

$$A_{c0} = b_1 \cdot d_1 - \pi \cdot \left(\frac{\phi_{pk}}{2} \right)^2 = 0,22 \cdot 0,22 \cdot \pi \cdot \left(\frac{67}{2000} \right)^2 = 0,0449 \text{ m}^2$$

$$A_{c1} = b_2 \cdot d_2 - \pi \cdot \left(\frac{\phi_{pk}}{2} \right)^2 = 0,5 \cdot 0,4 \cdot \pi \cdot \left(\frac{67}{2000} \right)^2 = 0,196 \text{ m}^2$$



Obr. 8.1. Plocha pro roznos kotev

$$F_{Ed} = P_{max} = 1549,8 \text{ kN}$$

$$F_{rd,u} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} = 0,0449 \cdot 21 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{\frac{0,196}{0,0449}} = 1970,02 \text{ kN}$$

$$F_{rd,u} = 1970,02 \text{ kN} \leq 3 \cdot f_{cd} \cdot A_{c0} = 3 \cdot 21 \cdot 10^3 \cdot 0,0449 = 2828,70 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 1549,80 \text{ kN} \leq F_{rd,u} = 1970,02 \text{ kN}$$

...VYHOVUJE

8.2. Návrh a posouzení kotevních oblastí

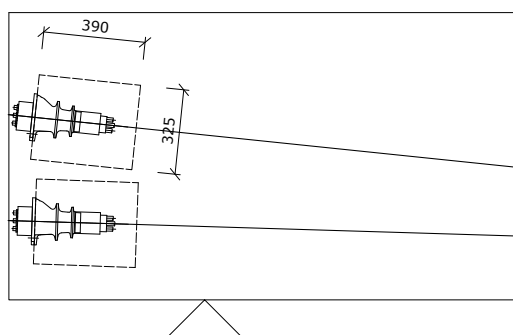
$$c \cdot c' \geq \frac{P_{max}}{0,6 \cdot f_{ck}} = \frac{1549,8}{0,6 \cdot 35 \cdot 10^3} = 73,8 \cdot 10^{-3} m^2$$

$$c = c' = \sqrt{73,8 \cdot 10^{-3}} = 0,272 m \quad \dots \text{zvoleno } c = c' = 0,325 m$$

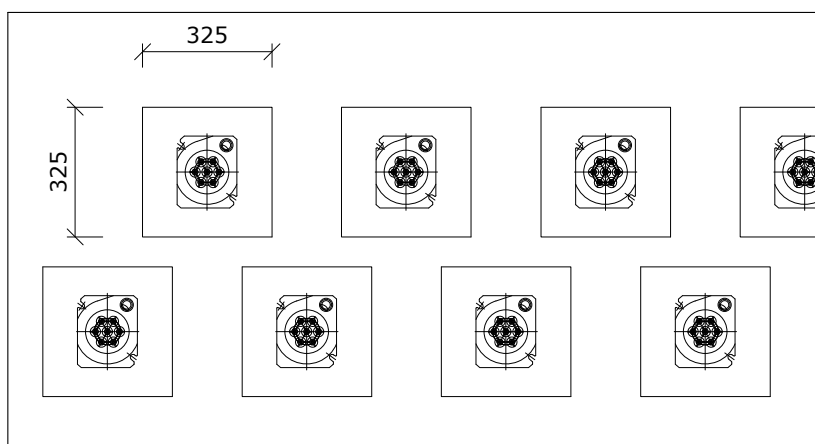
$$\frac{c'}{a'} = \frac{c}{a} = \frac{0,325}{0,220} = 1,48 \leq 1,25 \cdot \sqrt{\frac{73,8 \cdot 10^{-3}}{0,0484}} = 1,54$$

...VYHOVUJE

$$h = 1,2 \cdot \max \{c; c'\} = 1,2 \cdot \max \{0,325; 0,325\} = 1,2 \cdot 0,325 = 0,390 m$$



Obr. 8.2. Základní přídružený hranol



Obr. 8.3. Základní přídružený hranol - pohled z čela

8.3. Lokální oblast pod kotvou

$$\sigma_{sd} = 250 \text{ MPa}$$

$$a = 220 \text{ mm}$$

$$c = 272 \text{ mm}$$

$$P_{\max} = 1549,8 \text{ kN}$$

$$F_{Ed,\max} = \gamma_p \cdot P_{\max} = 1,2 \cdot 1549,8 = 1859,76 \text{ kN}$$

$$T_{bu} = \frac{1}{4} \cdot \frac{c - a}{c} \cdot F_{sd} = \frac{1}{4} \cdot \frac{325 - 220}{325} \cdot 1859,76 = 150,21 \text{ kN}$$

Freyssinet spirála - $\phi 14$ - 5 závitů (dle výrobce)

$$A_{s,\text{prov}} = \pi \cdot \left(\frac{\phi}{2}\right)^2 \cdot n_{\text{střih}} \cdot n_{\text{závit}} = \pi \cdot \left(\frac{14 \cdot 10^{-3}}{2}\right)^2 \cdot 2 \cdot 5 = 15,39 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\text{req}} = \frac{T_{bu}}{\sigma_{sd}} = \frac{150,21}{250 \cdot 10^3} = 6,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\text{prov}} = 15,39 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \geq A_{s,\text{req}} = 6,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$F_{Rd,c} = A_{s,\text{prov}} \cdot \sigma_{sd} = 15,39 \cdot 10^{-4} \cdot 250 \cdot 10^3 = 384,75 \text{ kN}$$

$$T_{bu} = 150,21 \text{ kN} \leq F_{Rd,c} = 384,75 \text{ kN}$$

...VYHOVUJE

8.4. Oblast u povrchu kotvy

$$F_{Ed,\max} = 1859,76 \text{ kN}$$

$$\sigma_{sd} = 250 \text{ MPa}$$

$$T_{sp} = 0,03 \cdot F_{Ed,\max} = 0,03 \cdot 1859,76 = 55,79 \text{ kN}$$

$$A_{s,\text{req}} = \frac{T_{sp}}{\sigma_{sd}} = \frac{55,79}{250 \cdot 10^3} = 2,23 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Navrhujeme } 2\phi 12 \quad A_{s,\text{prov}} = 2,26 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\text{prov}} = 2,26 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \geq A_{s,\text{req}} = 2,23 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

...VYHOVUJE

8.5. Celková oblast

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

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

$$e = 500 \text{ mm}$$

$$F_{Ed,max} = 1859,76 \text{ kN}$$

$$c'_\Sigma = 2 \cdot e = 2 \cdot 500 = 1000 \text{ mm}$$

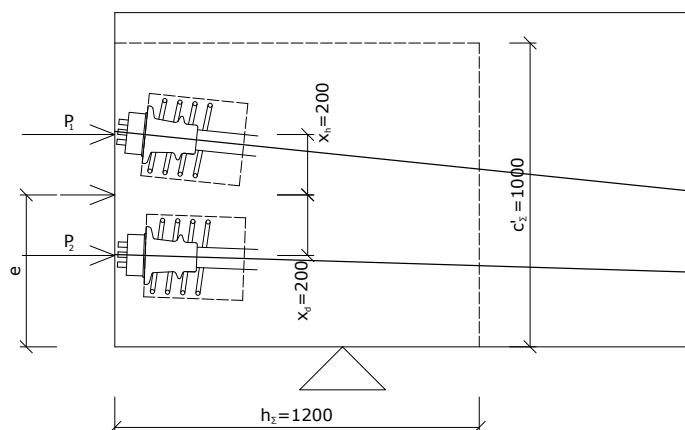
$$a'_\Sigma = 2 \cdot e = \min \{ x_d + x_h; x_d + 0,5 \cdot c'_\Sigma; x_h + 0,5 \cdot c'_\Sigma \}$$

$$a'_\Sigma = \min \{ 200 + 200; 200 + 0,5 \cdot 1000; 200 + 0,5 \cdot 1000 \} = \min \{ 400; 700; 700 \}$$

$$a'_\Sigma = 400 \text{ mm}$$

$$h_\Sigma = 1,2 \cdot a'_\Sigma = 1,2 \cdot 1000 = 1200 \text{ mm}$$

$$\Sigma F_{Ed,max} = 4 \cdot F_{Ed,max} = 4 \cdot 1859,76 = 7439,04 \text{ kN}$$



Obr. 8.4. Celková oblast pod kotvou

Návrhová štěpná síla

$$T_\Sigma = \frac{1}{4} \cdot \frac{c'_\Sigma - a'_\Sigma}{c'_\Sigma} \cdot \Sigma F_{Ed} = \frac{1}{4} \cdot \frac{1000 - 400}{1000} \cdot 7439,04 = 1115,86 \text{ kN}$$

$$A_{s,\Sigma} = \frac{T_\Sigma}{\sigma_{sd}} = \frac{1115,86}{250 \cdot 10^3} = 44,63 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Volíme 8 profilů $\phi 12$ (5 řad po 150mm)

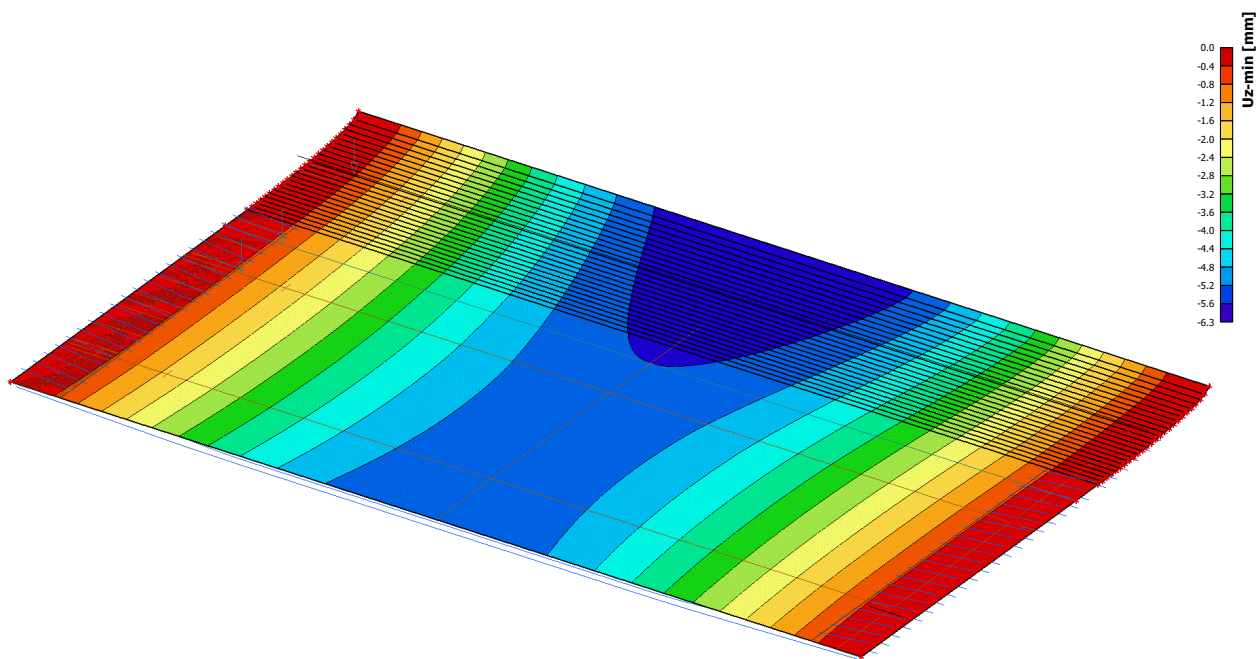
$$A_{st} = 45,20 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{st} = 45,20 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \geq A_{s,req} = 44,63 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

...VYHOVUJE

9. PRŮHYB

Průhyb od proměnného zatížení - častá hodnota. Průhyb byl vygenerován z programu SCIA engineer.



Obr. 9.1. Půhyb od proměnného zatížení - častá hodnota

$$v_{st} = 6,3 \text{ mm}$$

$$v_{lim} = \frac{1}{600} \cdot L = \frac{1}{600} \cdot 24000 = 40 \text{ mm}$$

$$v_{st} = 6,3 \text{ mm} \leq v_{lim} = 40 \text{ mm}$$

...VYHOVUJE

Vliv předpětí je považován za nadvýšení, proto uvažujeme pouze krátkodobý průhyb od časté hodnoty proměnného zatížení.