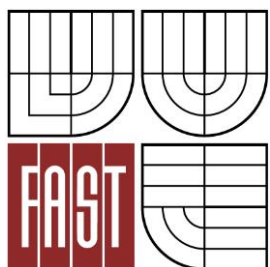




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH
KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

STATICKÝ VÝPOČET

PRÍLOHA P4

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. ANDREA TICHA VSKÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. RADIM NEČAS, Ph.D.

BRNO 2015

Obsah

1	Popis konštrukcie a použité materiály.....	5
1.1	Základné návrhové parametre mostu	5
1.2	Prierezové charakteristiky	5
1.2.1	Prierez pre prúťový model (1D prvky)	5
1.2.2	Určenie spolupôsobiacej šírky	6
1.2.3	Prierez pre doskový model	7
1.3	Materiálové charakteristiky	8
1.3.1	Betón	8
1.3.2	Betonárska výstuž	8
1.3.3	Predpínacia výstuž	9
2	Modelovanie konštrukcie	10
2.1	Trojrozmerný prúťový model – 3D model z 1D prvkov	10
2.2	Doskový model	12
3	Zaťaženie	13
3.1	Stále zaťaženie	13
3.1.1	Vlastná tiaž	13
3.1.2	Ostatné stále zaťaženie	13
3.2	Nahodilé zaťaženie	14
3.2.1	Zaťaženie dopravou	14
3.3	Rozdelenie zaťaženia medzi trámy	20
3.3.1	Prenos LM1	20
3.3.2	Prenos LM3 – 1800/200	22
3.3.3	Prenos LM3 3000/240	24
3.3.4	Prenos ostatného stáleho zaťaženia	24
3.3.5	Zhrnutie	25
3.4	Priebehy vnútorných síl na prúťovom modeli	26
3.4.1	Vlastná tiaž	26
3.4.2	Ostatné stále zaťaženie	26
3.4.3	LM1	27
3.4.4	LM3 – 1800/200	28
3.4.5	LM3 – 3000/240	28
4	Návrh predpätia	30
4.1	Predbežný návrh	30
4.2	Presný návrh	32
4.3	Zmeny predpätia	32
4.3.1	Krátkodobé straty	32
4.3.2	Dlhodobé straty	34
5	Medzný stav použiteľnosti	38

5.1	Prierezové charakteristiky oslabeného betónového prierezu	38
5.2	Kombinácie pre medzný stav použiteľnosti	40
5.3	Obmedzenie normálových napätí	40
5.3.1	Charakteristická kombinácia, čas t_0	41
5.3.2	Charakteristická kombinácia, čas t_{g1k}	41
5.3.3	Charakteristická kombinácia, čas t_q	42
5.3.4	Charakteristická kombinácia, čas t_{00}	43
5.3.5	Kvazistála kombinácia, čas t_q	44
5.3.6	Kvazistála kombinácia, čas t_{00}	44
5.3.7	Obmedzenie šírky trhlín	45
5.4	Obmedzenie priehybu	46
6	Medzný stav únosnosti	49
6.1	Posúdenie namáhania na M+N	49
6.1.1	Kombinácie pre medzný stav únosnosti	49
6.1.2	Definovanie rezov, odpovedajúce vnútorné sily	50
6.1.3	Určenie základného napätia	51
6.1.4	Výpočet ohybovej únosnosti – podpora	51
6.1.5	Výpočet ohybovej únosnosti – pole	54
6.2	Namáhanie posúvajúcou silou	56
6.2.1	Vnútorné sily	56
6.2.2	Určenie medze vzniku trhlín	56
6.2.3	Únosnosť bez šmykovej výstuže	57
6.3	Krútenie	60
6.3.1	Zaťaženie	60
6.3.2	Vnútorné sily	62
6.3.3	Prierez prenášajúci krútenie	65
6.3.4	Návrh šmykovej výstuže	66
6.3.5	Konštrukčné zásady	67
6.3.6	Horizontálna zložka šmyku a krútenia	67
6.3.7	Prepočet ohybovej únosnosti – podpora	67
6.4	Pozdĺžny šmyk	70
6.4.1	Určenie pozdĺžnych šmykových napätí	70
6.4.2	Potrebná pozdĺžna výstuž	71
7	Riešenie priečneho smeru	72
7.1	Postavenie pre maximálne statické veličiny	72
7.1.1	Postavenie pre dimenzovanie v poli	72
7.1.2	Postavenie pre dimenzovanie nad podporou	74
7.2	Vnútorné sily	74
7.3	Návrh výstuže na priečny ohyb	79
7.3.1	Výstuž v poli	79
7.3.2	Výstuž nad podporou	80
7.4	Superpozícia pozdĺžneho šmyku a priečneho ohybu	80
7.4.1	Výstuž na styku trámu a dosky	80

7.5	Účinky posouvající sily v příčném směru.....	81
7.5.1	Konstrukční zásady	82
8	Riešenie priečnika nad oporou	83
8.1	Vnútorne sily	83
8.1.1	Maximálna reakcia	83
8.1.2	Maximálny krútiaci moment.....	84
8.2	Dimenzovanie priečnika.....	85
8.2.1	Model priehradovej analógie	85
8.2.2	Podmienky spoľahlivosti pre jednotlivé prvky	86
8.2.3	Posúdenie vzpier.....	86
8.2.4	Posúdenie styčníc.....	87
8.2.5	Dimenzovanie ťahiel	87
8.2.6	Priečne ťahy vo vzpere 1-3	88
8.3	Návrh a posúdenie kotevnej oblasti	88
8.3.1	Návrh a posúdenie kotiev v dostrednom tlaku.....	88
8.3.2	Posúdenie kotevného zväzku.....	89
8.4	Výsledná výstuž v oblasti priečniku	91
8.5	Nadložisková výstuž	92
8.5.1	Posúdenie v dostrednom tlaku	92
8.5.2	Návrh výstuže na priečne ťahy.....	92
8.5.3	Povrch čela náliatku	93
9	Preklopenie.....	94
9.1	Vnútorne sily	94
9.2	Posúdenie bezpečnosti proti preklopeniu	95
10	Odkazy a zdroje.....	95

1 Popis konstrukcie a použité materiály

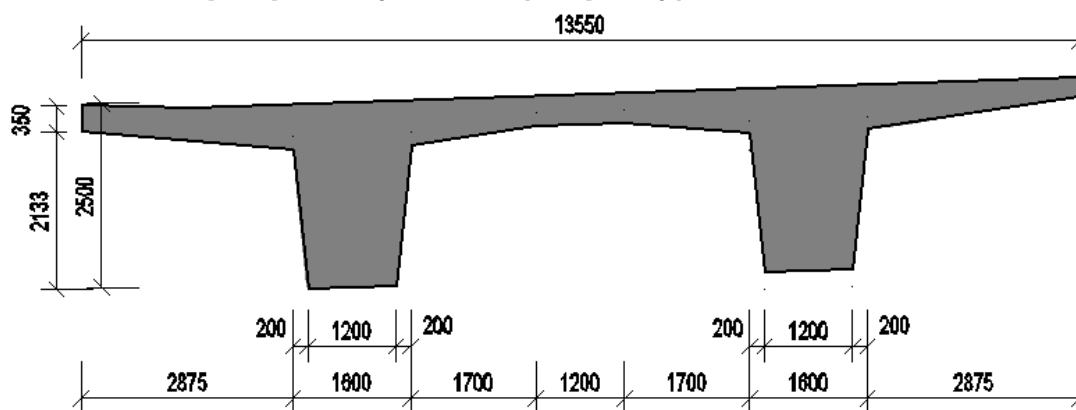
1.1 Základné návrhové parametre mostu

Konstrukciu tvorí dvojtrámový monolitický predpätý nosník konštantného prierezu s troma poľami.

Celkové rozpätie mostu:	104 m
Počet polí:	3
Rozpätie jednotlivých polí:	
Pole 1:	32 m
Pole 2:	40 m
Pole 3:	32 m
Dĺžka nosnej konštrukcie:	106 m
Dĺžka mostu:	119,6 m
Druh prevádzanej komunikácie:	D26,5
Pozdĺžny sklon mostu:	2,03 %
Priečny sklon mostu:	3,5 %
Polomer pôdorysného zakrivenia:	900m
Šikmosť mostu:	Kolmý most

1.2 Prierezové charakteristiky

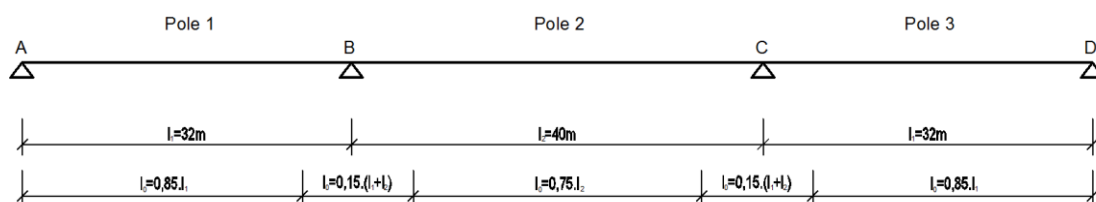
1.2.1 Prierez pre prúťový model (1D prvky)



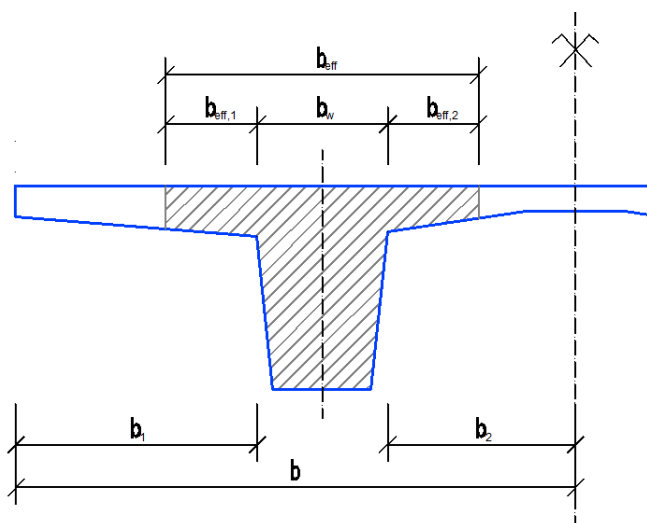
Obrázok 1.1: Prierez CS1

Plný betónový prierez			
Plocha	A_c	11.976	m^2
Výška	h	2.500	m^2
Moment zotrvačnosti k osi y	I_y	7.130	m^4
Moment zotrvačnosti k osi z	I_z	160.000	m^4

1.2.2 Určení spolupůsobící šířky

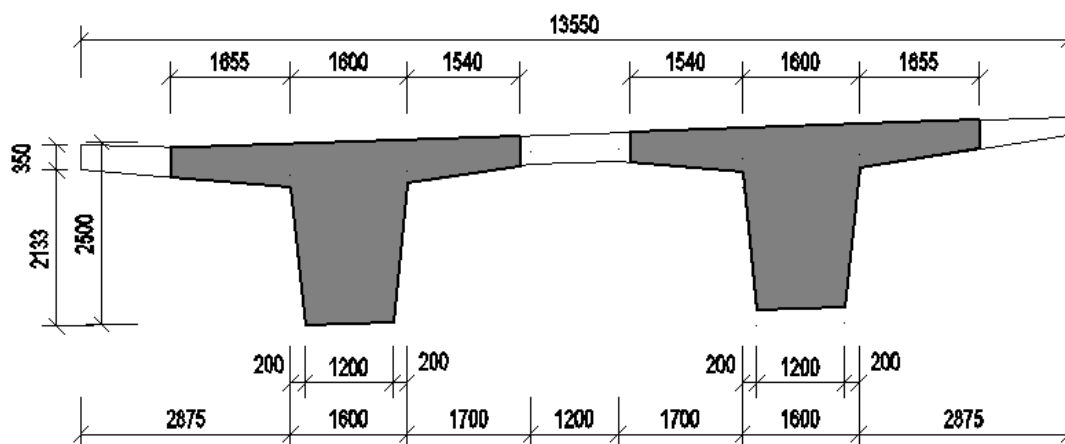


Obrázok 1.2: Miesta nulových momentov



Obrázok 3: Spolupôsobiace šírky

	Pole 1	Podpora B	Pole 2	Podpora C	Pole 3
l_0	27.2	10.8	28	10.8	27.2
b_1	2.875				
b_2	2.3				
b_w	1.6				
$b_{eff,1}=0,2b_1+0,1l_0 < 0,2l_0$ a $a < b_1$	2.875	1.655	2.875	1.655	2.875
$b_{eff,2}=0,2b_2+0,1l_0 < 0,2l_0$ a $a < b_2$	2.3	1.54	2.3	1.54	2.3
$b_{eff}=b_{eff1}+b_{eff2}+b_w$	6.775	4.795	6.775	4.795	6.775

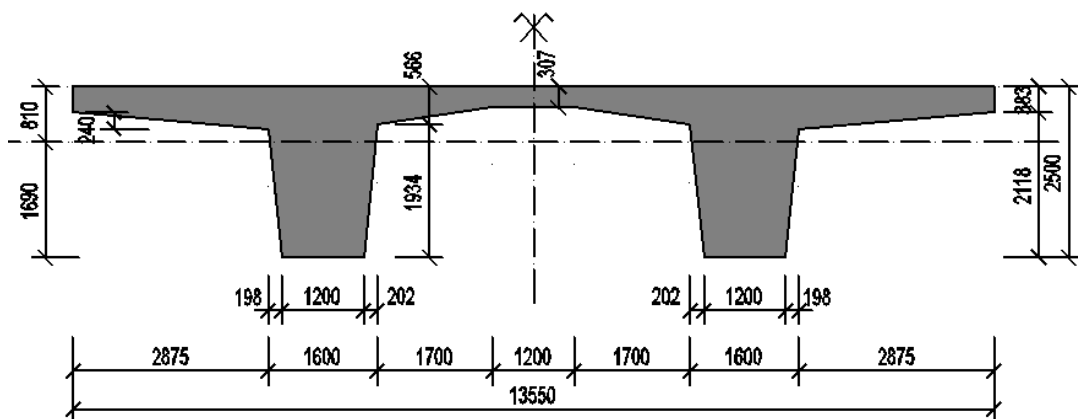


Obrázok 1.3: Prierez nad podporou – efektívny betónový prierez

Efektívny betónový prierez			
Plocha	A_{cr}	10.450	m ²
Výška	h	2.500	m ²
Moment zotrvačnosti k osi y	$I_{y,r}$	6.235	m ⁴
Moment zotrvačnosti k osi z	I_z	120.000	m ⁴

1.2.3 Prierez pre doskový model

- Plocha pôvodného prierezu: 11,978 m²
- Plocha nového prierezu: 11.976m²



Obrázok 1.4: Zjednodušený prierez pre doskový model

1.3 Materiálové charakteristiky

Trieda prostredia

Mostovka:	XC4, XD3, XF4
Podpery:	XC4, XF2, XD2
Základy:	XC2, XA1

Použitý betón

Mostovka:	C40/50
Podpery:	C30/37
Základy:	C25/30

1.3.1 Betón

Trieda betónu	C40/50
f_{ck}	40 MPa
$f_{ck, cube}$	50 MPa
f_{cm}	48 MPa
f_{ctm}	3,5 MPa
$f_{ctk; 0,05}$	2,5 MPa
$f_{ctk; 0,95}$	4,6 MPa
E_{cm}	35 GPa
α_{cc}	0,9
γ_c	1,5
γ_{bet}	25 kN/m ³

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,9 \cdot \frac{40}{1,5} = 24 MPa$$

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = 1 \cdot \frac{2,5}{1,5} = 1,67 MPa$$

Pre betón po siedmich dňoch

$$\beta_{cc}(t) = e^{s(1-\sqrt{\frac{28}{t}})} = e^{0,25 \cdot (1-\sqrt{\frac{28}{7}})} = 0,779$$

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) \cdot f_{cm} = 0,779 \cdot 48 = 37,4 MPa$$

$$f_{ck}(t) = f_{cm}(t) - 8 = 37,4 - 8 = 29,4 MPa$$

$$f_{ctm}(t) = (\beta_{cc}(t))^{\alpha} \cdot f_{ctm} = 0,779^{1,0} \cdot 3,5 = 2,727 MPa$$

1.3.2 Betonárska výstuž

Trieda výstuže	B500B
f_{yk}	500 MPa
γ_s	1,15
E_s	200 GPa

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

Krytie betonárskej výstuže

Východzia konštrukčná trieda – S4

Životnosť 100 rokov – zväčšenie o 2 triedy

Výsledná konštrukčná trieda – S6

Nominálna hodnota betónovej krycej vrstvy výstuže:

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

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

$$c_{min,dur} = 55mm$$

$$c_{min} = 55mm$$

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

$$c_{nom} = 55 + 10 = 65mm$$

1.3.3 Predpínacia výstuž

Druh výstuže

Y1860S7 – 15,7 A

Priemer lana Θ_p

15,7 mm

Nominálna plocha lana A_{p1} 150 mm²Charakteristické zmluvné napätie $f_{p0,1k}$

1600 MPa

Charakteristická pevnosť v ťahu f_{pk}

1860 MPa

Modul pružnosti E_p

195 GPa

Použitý kábel

6-19

Vnútorný priemer kábla Φ_i

100 mm

Vonkajší priemer kábla Φ_e

106 mm

Použité káblové kanáliky

PTplus duct system (0,98kg/m,
 $\mu=0,14$)

$$f_{pd} = \frac{f_{pk}}{\gamma_s} = \frac{1600}{1,15} = 1391,30MPa$$

Maximálne predpínacie napätie

$$\sigma_{p,max} = \min\{0,8f_{pk}; 0,9f_{p0,1k}\} = \min\{0,8 \cdot 1860; 0,9 \cdot 1600\} = 1440MPa$$

$$\sigma_{pm,0,max} = \min\{0,75f_{pk}; 0,85f_{p0,1k}\} = \min\{0,75 \cdot 1860; 0,85 \cdot 1600\} = 1360MPa$$

Krytie predpínacej výstužeNominálna hodnota betónovej krycej vrstvy výstuže: $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$

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

$$c_{min,dur} = 55mm$$

$$c_{min,b} = 105mm$$

$$c_{min} = 105mm$$

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

$$c_{nom} = 105 + 10 = 115mm$$

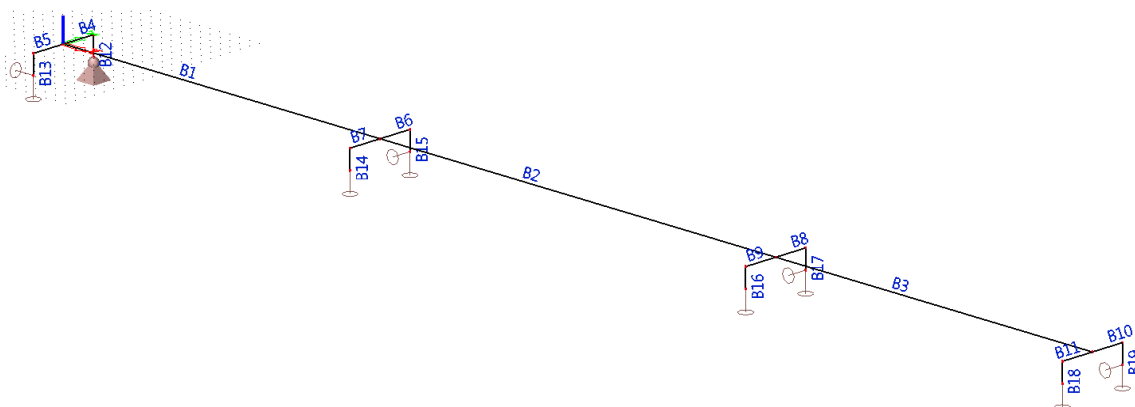
2 Modelovanie konštrukcie

2.1 Trojrozmerný prútový model – 3D model z 1D prvkov

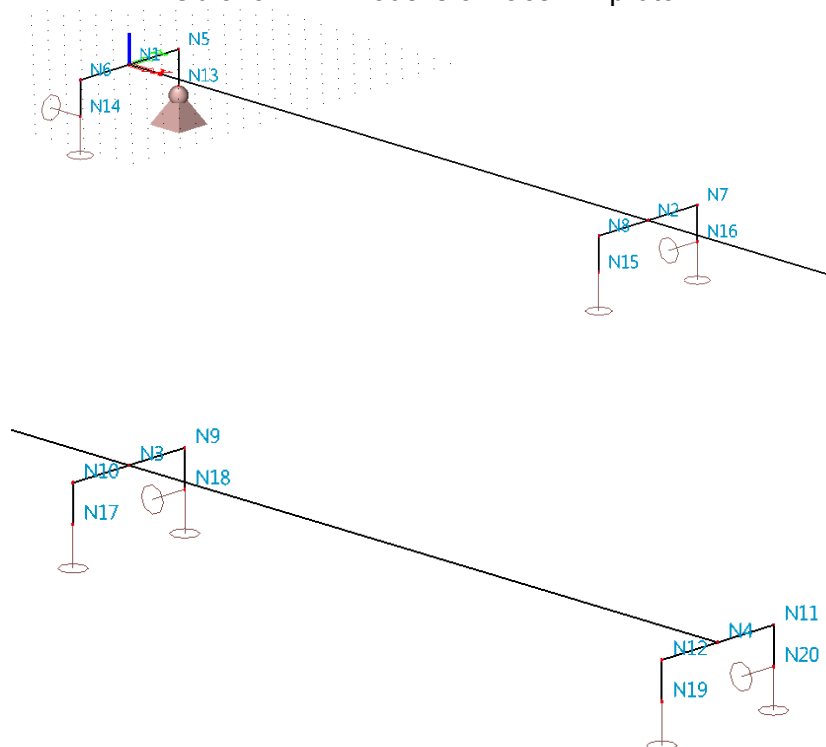
Použité prierezy:

CS1 – všeobecný prierez, ktorý je dôkladne popísaný v kapitole 1.2.1. Ako materiál bol zadáný betón C40/50.

CS2 – štvorcový prierez so stranou veľkosti 2000 mm. Ako materiál bola zadaná oceľ, ktorej tuhosť je 10^{13} , takže prierez reprezentuje tuhé rameno (EI sa blíži 00).



Obrázok 2.1: Model s označením prútov



Obrázok 2.2: Model s označením uzlov

Popis jednotlivých prvků:

Prvek	Prierez	Délka [m]		Prvek	Prierez	Délka [m]
B1	CS1	32		B11	CS2	3.1
B2	CS1	40		B12	CS2	1.695
B3	CS1	32		B13	CS2	1.695
B4	CS2	3.1		B14	CS2	1.695
B5	CS2	3.1		B15	CS2	1.695
B6	CS2	3.1		B16	CS2	1.695
B7	CS2	3.1		B17	CS2	1.695
B8	CS2	3.1		B18	CS2	1.695
B9	CS2	3.1		B19	CS2	1.695
B10	CS2	3.1		–	–	–

Popis jednotlivých uzlov:

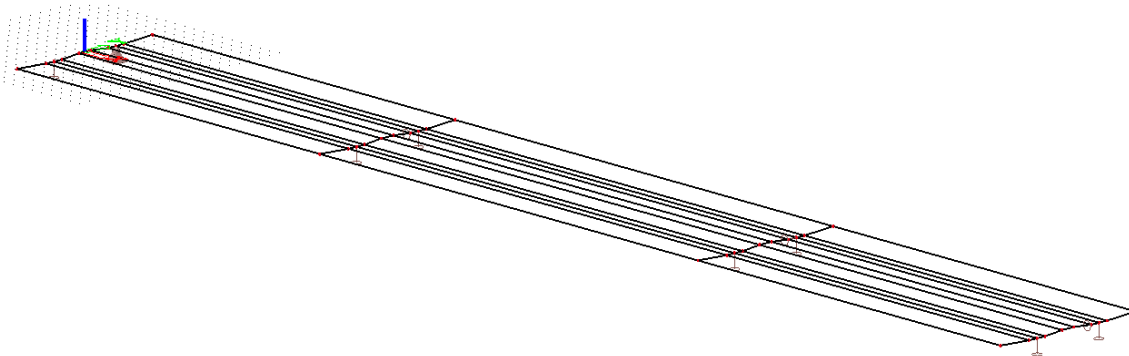
Uzol	Súradnice			Uzol	Súradnice		
	X	Y	Z		X	Y	Z
N1	0	0	0	N11	104	3.1	0
N2	32	0	0	N12	104	-3.1	0
N3	72	0	0	N13	0	3.1	-1.7
N4	104	0	0	N14	0	-3.1	-1.7
N5	0	3.1	0	N15	32	-3.1	-1.7
N6	0	-3.1	0	N16	32	3.1	-1.7
N7	32	3.1	0	N17	72	-3.1	-1.7
N8	32	-3.1	0	N18	72	3.1	-1.7
N9	72	3.1	0	N19	104	-3.1	-1.7
N10	72	-3.1	0	N20	104	3.1	-1.7

Popis podpôr:

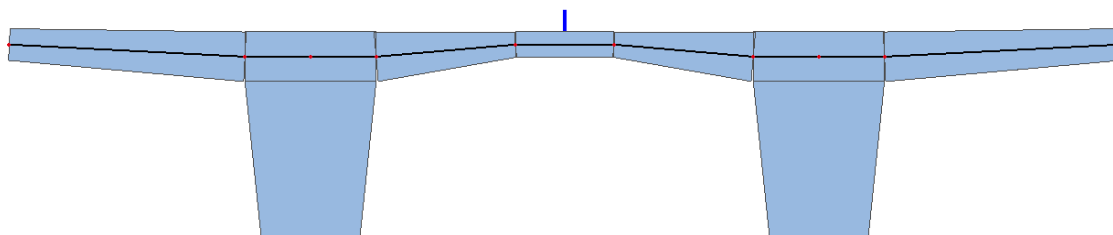
Podpora	Posuny			Podpora	Posuny		
	X	Y	Z		X	Y	Z
N13	Tuhá	Tuhá	Tuhá	N17	Voľná	Voľná	Tuhá
N14	Tuhá	Voľná	Tuhá	N18	Voľná	Tuhá	Tuhá
N15	Voľná	Tuhá	Tuhá	N19	Voľná	Voľná	Tuhá
N16	Voľná	Voľná	Tuhá	N20	Voľná	Tuhá	Tuhá

Pozn.: Všetky podpory umožňujú pootočená okolo osí X, Y a Z.

2.2 Doskový model



Obrázok 2.3: Axonometrický pohľad na model.



Obrázok 2.4: Pohľad rovnobežne s osou x.

3 Zat'azenie

3.1 Stále zat'azenie

3.1.1 Vlastná tiaž

Mostovka:

Prvok	Ozn.	γ (kN/m ³)	A (m ²)	g_k (kN/m ¹)
ŽB doska + trám	g_{k0}	25	11.976	299.4

$$g_{k0} = 299,4 \text{ kN} / m$$

Koncové priečniky

Prvok	Ozn.	γ (kN/m ³)	V (m ³)	G_k (kN)
Koncový priečnik	G_{k0}	25	61.012	1525.2992

$$G_{k0} = 1525,3 \text{ kN}$$

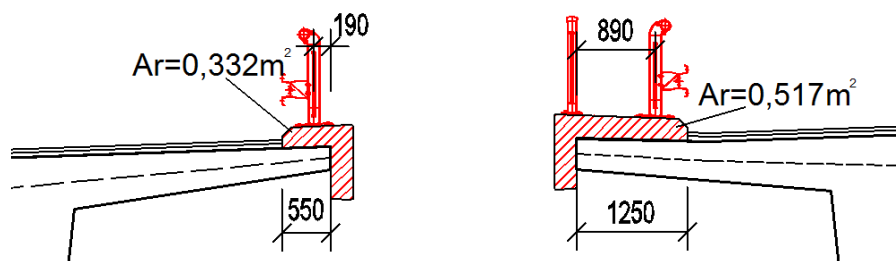
3.1.2 Ostatné stále zat'azenie

Prvok	Ozn.	γ (kN/m ³)	A (m ²)	g_k (kN/m ¹)
ŽB doska + trám	g_{k0}	25	11.976	299.4
Prvok	Ozn.	γ (kN/m ³)	V (m ³)	G_k (kN)
Koncový priečnik	G_{k0}	25	61.012	1525.2992
Prvok	Ozn.	γ (kN/m ³)	A (m ²)	g_k (kN/m ¹)
Rímsa	$g_{k,r}$	25	0.84865	21.216138
Zvodidlá + zábradlie	$g_{k,z}$			1.5
Vozovka	$g_{k,v}$	24	1.05725	25.374
Vozovka – maximum	$g_{k,v,sup}$	24	1.05725	35.5236
Vozovka – minimum	$g_{k,v,inf}$	24	1.05725	20.2992
			$g_{k1,sup}$	58.239738
			$g_{k1,inf}$	43.015338

$$g_{k1,sup} = 58,240 \text{ kN} / m$$

$$g_{k1,inf} = 43,015 \text{ kN} / m$$

Pre aplikáciu na doskový model zat'azenie od rímsy a od zábradlia prepočítame na plošné zat'azenie.



Obrázok 3.1: Plocha ríms.

$$g_{r1} = 25 \cdot 0,332 / 0,55 = 15,09 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$g_{r2} = 25 \cdot 0,517 / 1,25 = 10,34 \text{ kN} / \text{m}^2$$

3.2 Nahodilé zaťaženie

3.2.1 Zaťaženie dopravou

Model zaťaženia 1 – LM1

	TS	Reg. súč. pre ČR	Výsledná sila	UDL	Reg. súč. pre ČR	Výsledné zaťaženie	Šírka
Umiestnenie	Q_{ik} [kN]	α_{qi}	$Q_k = \alpha_{qi} \cdot Q_{ik}$ [kN]	q_{ik} [kN/m²]	α_{qi}	$q_k = \alpha_{qi} \cdot q_{ik}$ [kN/m²]	w [m]
Pruh č. 1	300	1	300	9	1	9	3
Pruh č. 2	200	1	200	2.5	2.4	6	3
Pruh č. 3	100	1	100	2.5	1.2	3	3
Zvyšok	0	–	0	2.5	1.2	3	2.75

Pri výpočtoch vnútorných síl na prúťovom modeli je zaťaženie dvojicou síl a rovnomerným zaťažením veľkosti:

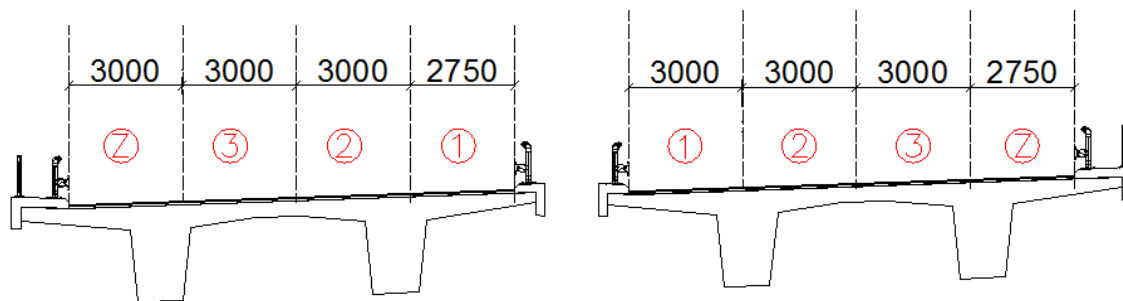
$$Q_k = 300 + 200 + 100 = 600 \text{ kN}$$

$$q_k = 9 \cdot 3 + 6 \cdot 3 + 3 \cdot 3 + 2,75 \cdot 3 + 3 \cdot 0,75 = 64,5 \text{ kN}$$

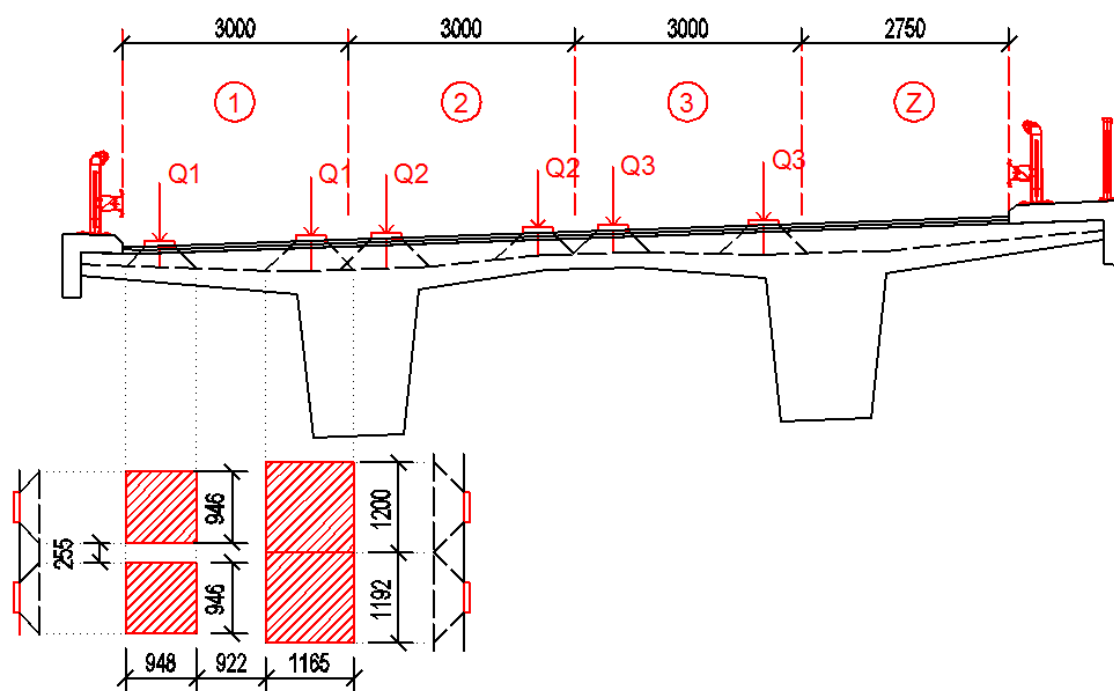
Tieto hodnoty ešte budú zmenené po určení nerovnomerného prenosu.

K spojitému zaťaženiu UDL bolo ešte pripočítané zaťaženie od chodcov na núdzový chodník 3kN/m² podľa zostavy gr1a. Pri aplikácii LM1 na 2D model je potrebné určiť rozloženie zaťažovacích pruhov a vypočítať roznos v priečnom a pozdĺžnom smere.

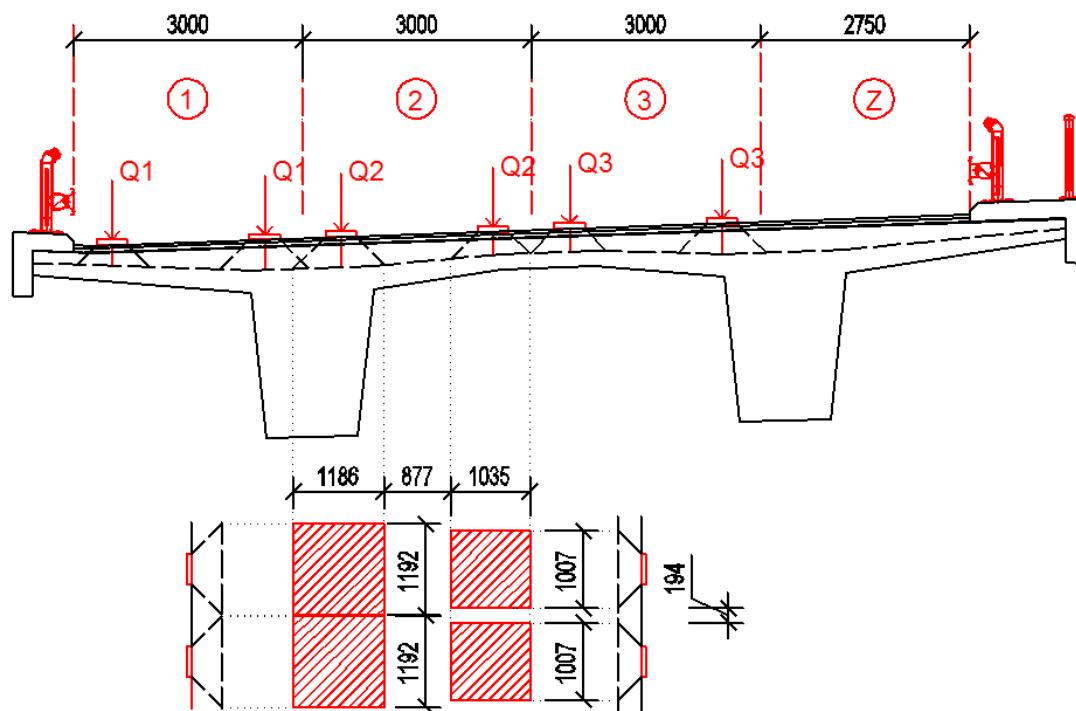
Sústredné bremená sa roznášajú vždy na strednicu dosky. Pre výpočet pomeru zaťaženia prenášaného trámami zvolíme polohu, kedy sa pruh 1 nachádza čo najviac vľavo.



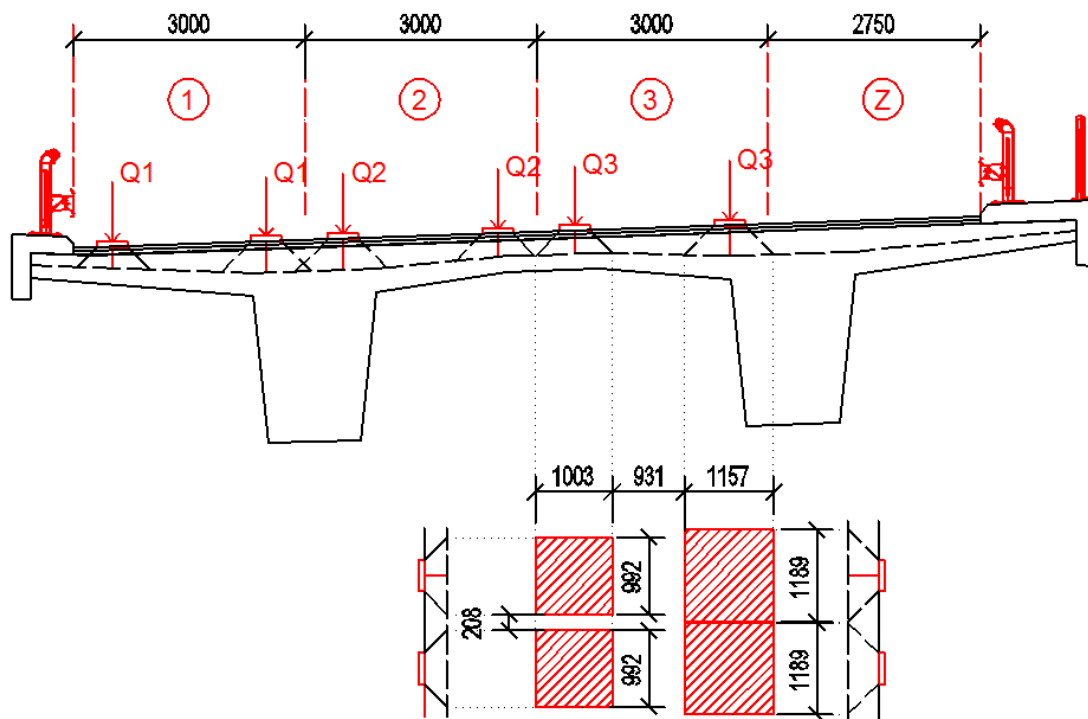
Obrázok 3.2: Zaťažovacie pruhy pre najnepriaznivejšie postavenie LM1



Obrázok 3.3: Roznos LM1 v pruhu č. 1



Obrázok 3.4: Roznos LM1 v pruhu č. 2



Obrázok 3.5: Roznos LM1 v pruhu č. 3

Po určení roznášacích ploch je možné určit velikost spojitěho zatáženia, ktoré bude aplikované na 2D model podľa vzorca $q = Q_{ik} \cdot \alpha_{Qi} / A_s$, kde A_s je roznášacia plocha.

Pre pruh č. 1:

$$q_{1,A} = 300 \cdot 1 / (2 \cdot 0,946 \cdot 0,948) = 167,26 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$q_{1,B} = 300 \cdot 1 / (2 \cdot 1,192 \cdot 1,165) = 108,02 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Pre pruh č. 2:

$$q_{2,A} = 200 \cdot 1 / (2 \cdot 1,186 \cdot 1,192) = 70,74 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$q_{2,B} = 200 \cdot 1 / (2 \cdot 1,035 \cdot 1,007) = 95,95 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Pre pruh č. 3:

$$q_{3,A} = 100 \cdot 1 / (2 \cdot 1,003 \cdot 0,992) = 50,252 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$q_{3,B} = 100 \cdot 1 / (2 \cdot 1,157 \cdot 1,189) = 36,35 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Pre výpočet vnútorných síl od zatáženia TS boli v programe SCIA zadefinované zatážovacie vlaky na základe príslušných roznosov. Krok výpočtu bol nastavený na 1 meter. Pre kontrolu bolo vykonané porovnanie momentov od vlastnej tiaže na prútovom a na doskovom modeli popísané v textovej časti.

Model zatáženia LM3

Pre mosty na diaľniciach, rýchlostných komunikáciach a vybraných trasách použijeme zvláštne vozidlá 1800 / 200 a 3000 / 240 za nasledovných podmienok.

Označenie	Celková tiaž vozidla	Šírka vozidla	Skladba náprav
900 / 150	900 kN	3 m	6 náprav po 150 kN
1800 / 200	1800 kN	3 m	9 náprav po 200 kN
3000 / 240	3000 kN	4.5 m	12 náprav po 240 kN + 1 náprava 120 kN

Označení, celková tíha	1800/200, 1800 kN	3000/240, 3000 kN
Umístění zatížení	Zvláštní vozidlo se pohybuje jako jediné vozidlo v pruhu 1.	Zvláštní vozidlo se pohybuje v ideální stopě v prostoru všech zat. pruhů, přičemž se uvažuje možná odchylka od této polohy $\pm 0,50$ m.
Kombinace zatížení	V pruhu 2 (a dalších) se uvažuje LM1 hodnotami pro pruh 2 (a dalších) bez zatížení od dvojnápravy, tj. pouze char. hod. pro rovnoměrné zatížení α_{q1} q_{1k} resp. α_{qr} q_{rk} .	Po celé délce nosné konstrukce mostu musí být vyloučena veškerá ostatní doprava.
Rychlost	Normální (≤ 70 km/hod)	Nízká (≤ 5 km/hod)
Dynamický součinitel	$\varphi = 1.25$ ¹⁾	$\varphi = 1.05$
Poznámka	Při přejezdu zvláštního vozidla nebude povolen souběžný provoz pro vozidla nad 5t.	Jedná se o jediné vozidlo na mostě.

Obrázok 3.6: Použitie zvláštnych vozidiel, prevzaté zo [4]

1800 / 200

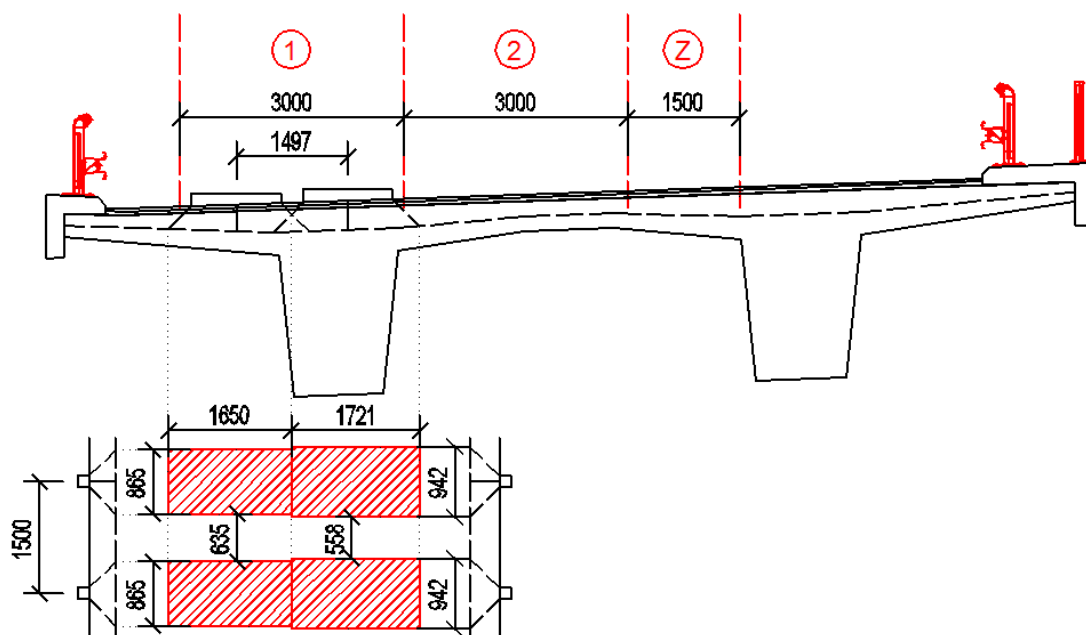
Průtový model bude zatážen systémovou deviatich pohyblivých osamelých bremien a spojitým zatážením veľkosti:

$$Q_k = 200 \cdot 1,25 = 250$$

$$q_k = 6 \cdot 3 + 3 \cdot 1,5 = 22,5 \text{ kN} / \text{m}$$



Obrázok 3.7: Zaťažovacia sústava reprezentujúca LM3 – 1800/200



Obrázok 3.8: Pozstavenie a roznos náprav LM3 (1800/200) v priečnom smere

Hodnoty spojitých zaťažení:

$$q_A = 100 \cdot 1,25 / (1,650 \cdot 0,865) = 87,58 \text{ kN} / \text{m}$$

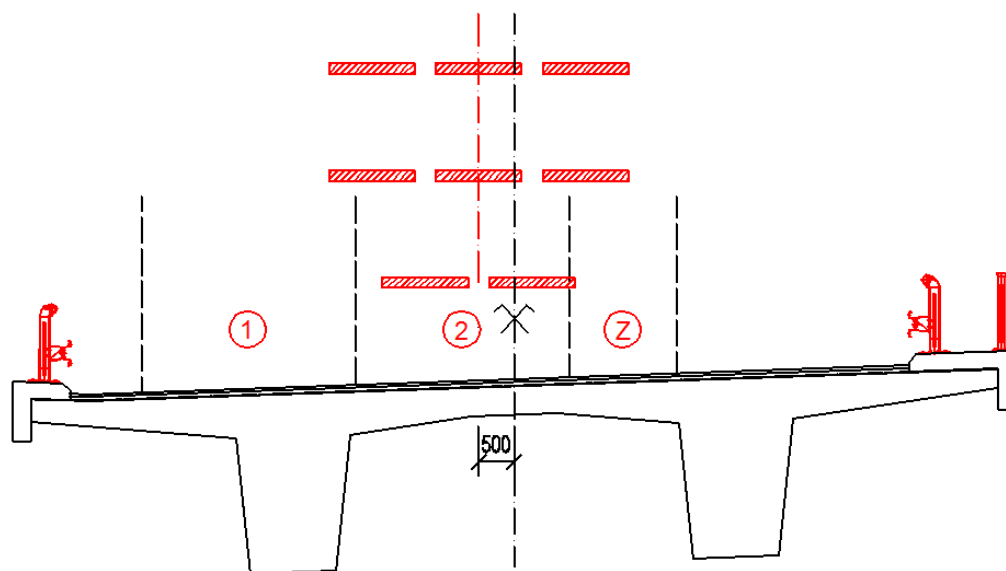
$$q_B = 100 \cdot 1,25 / (1,721 \cdot 0,942) = 77,10 \text{ kN} / \text{m}$$

3000 / 240

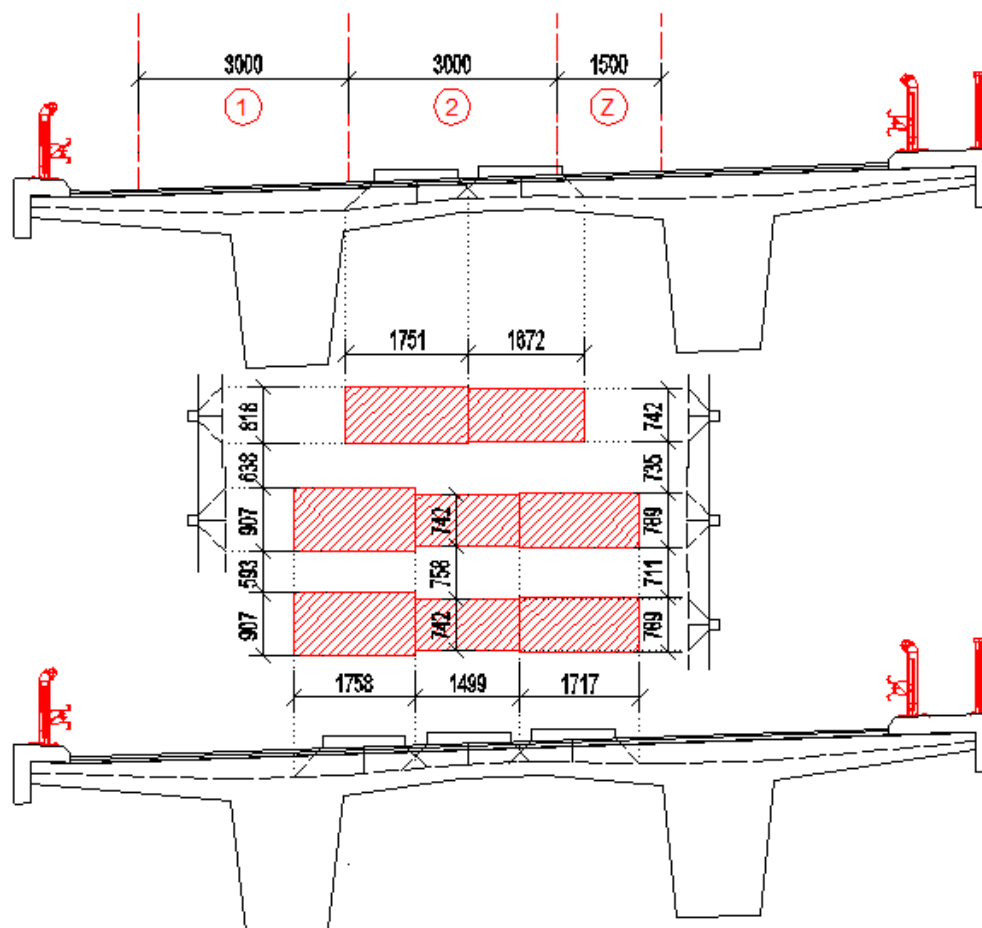
Průtový model bude zatážen systémovou trinástich pohyblivých osamelých bremien veľkosti:

$$Q_k = 240 \cdot 1,05 = 252 \text{ kN}$$

$$q_k = 120 \cdot 1,05 = 126 \text{ kN} / \text{m}$$



Obrázok 3.9: Postavenie vozidla LM3 3000/240



Obrázok 3.10: Roznos náprav vozidla 3000/240 v priečnom smere

Hodnoty spojitých zatážení:

$$q_A = 120 \cdot 1,05 / (2 \cdot 1,751 \cdot 0,818) = 43,98 \text{ kN} / \text{m}$$

$$q_B = 120 \cdot 1,05 / (2 \cdot 1,672 \cdot 0,742) = 50,78 \text{ kN} / \text{m}$$

$$q_C = 240 \cdot 1,05 / (3 \cdot 1,758 \cdot 0,907) = 52,68 \text{ kN} / \text{m}$$

$$q_D = 240 \cdot 1,05 / (3 \cdot 1,499 \cdot 0,742) = 75,52 \text{ kN} / \text{m}$$

$$q_E = 240 \cdot 1,05 / (3 \cdot 1,717 \cdot 0,789) = 62,01 \text{ kN} / \text{m}$$

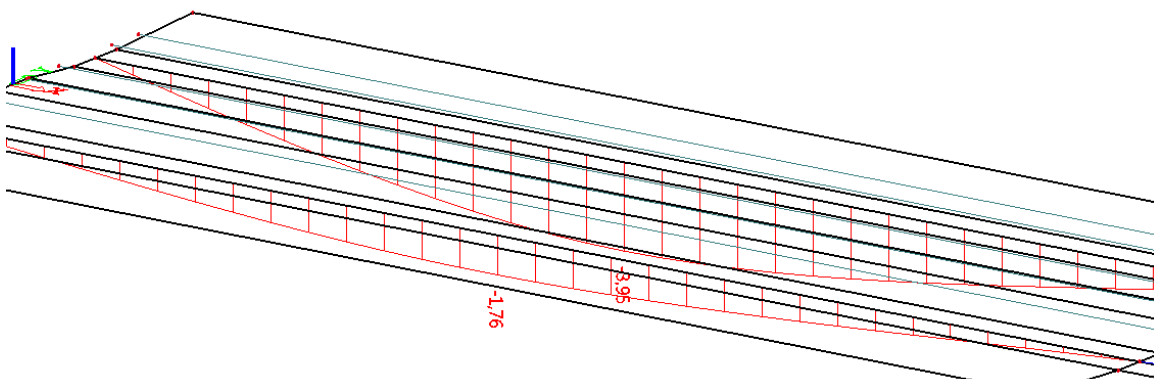
Zatáženie od chodcov na núdzový chodník

V rámci zostavy zaťaženia gr1a aplikujeme na núdzový chodník spojitě rovnomerné zaťaženie 3 kN/m².

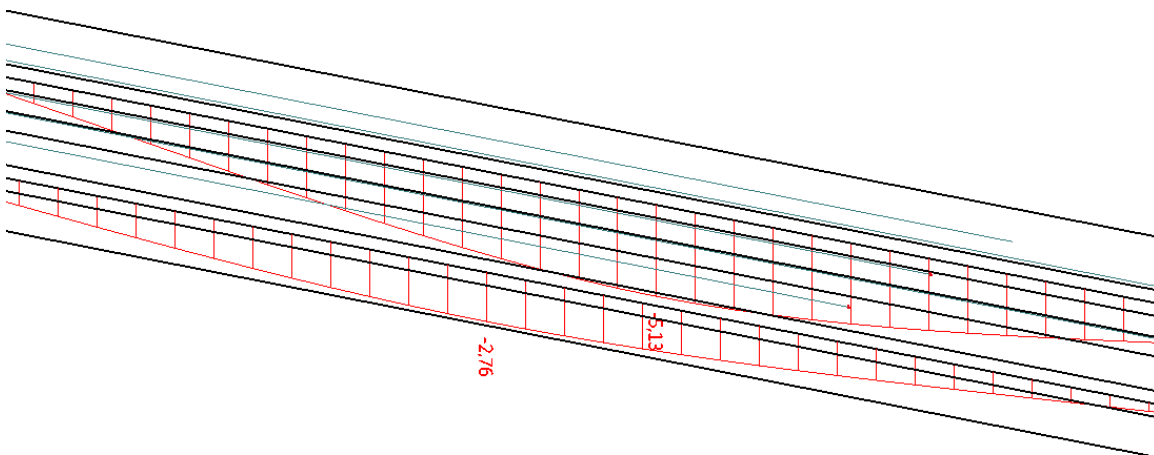
3.3 Rozdelenie zaťaženia medzi trámy

3.3.1 Prenos LM1

Priehyby od LM1 sú pri určovaní roznosu rozdelené na priehyby od dvojnápravy a spojitě rovnomerného zaťaženia. Trámy označíme ako T1 a T2, pričom T1 bude vždy zaťaženejší trám.



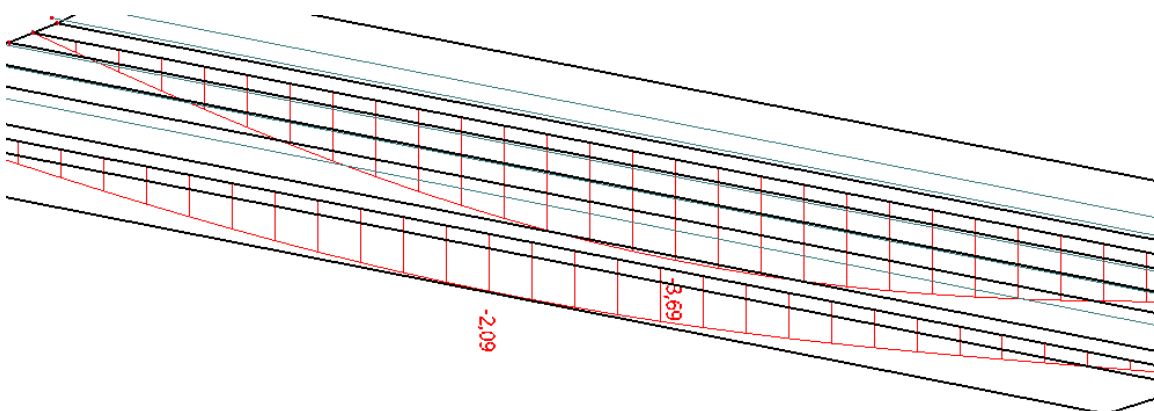
Obrázok 3.11: Maximálny prieťah od TS v poli A:



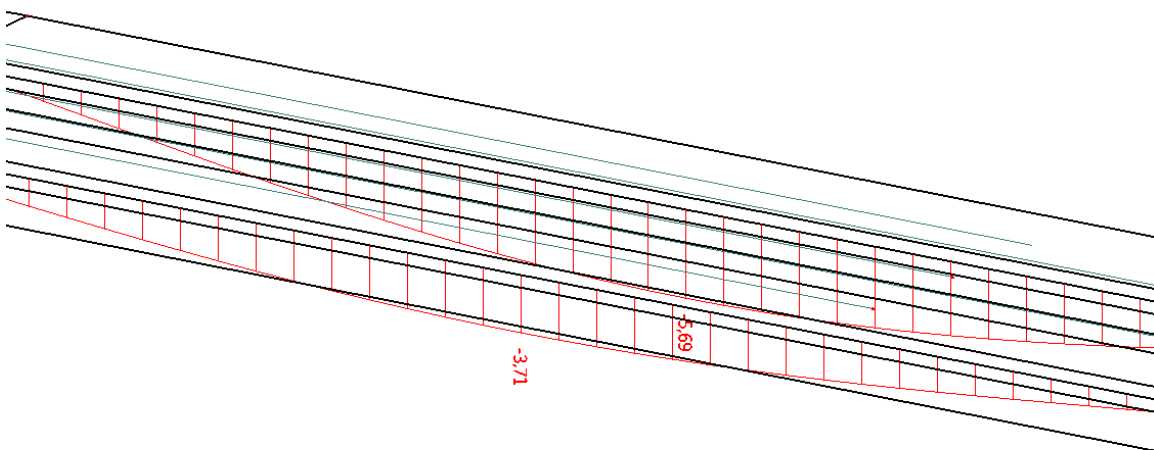
Obrázok 3.12: Maximálny prieťah od TS v poli B.

	Tandem systém – pole A		Tandem systém – pole B	
Trám	Priehyb [mm]	Rozdelenie [%]	Priehyb [mm]	Rozdelenie [%]
T1	-3.95	69.18	-6.13	68.95
T2	-1.76	30.82	-2.76	31.05

Pre zistenie maximálnych priehybov v poli A a B od UDL bolo aplikované UDL vo všetkých pruhoch pre pole A a následne pre pole B.



Obrázok 3.13: Maximálny priehyb od UDL v poli A.

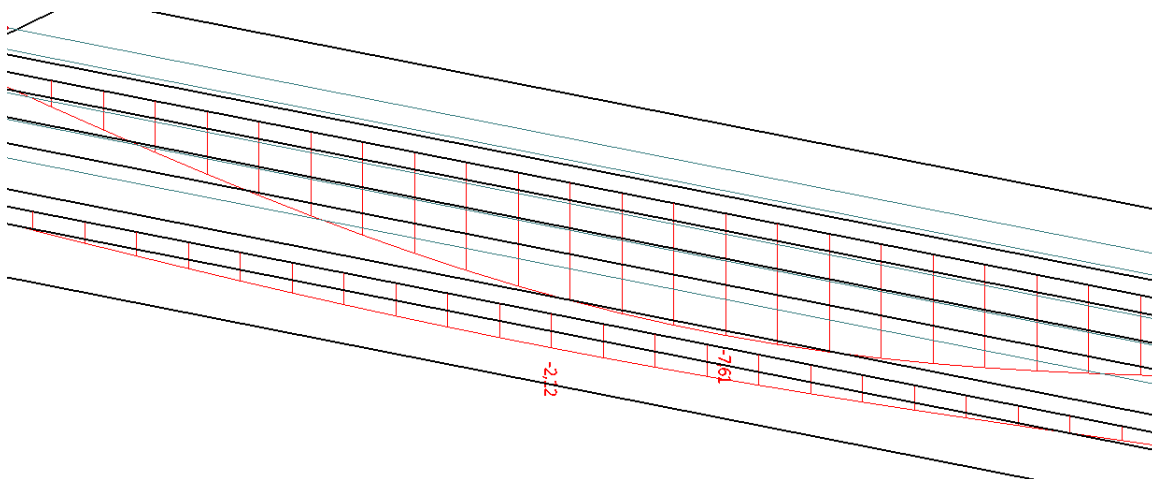


Obrázok 3.14: Maximálny priehyb od UDL v poli B.

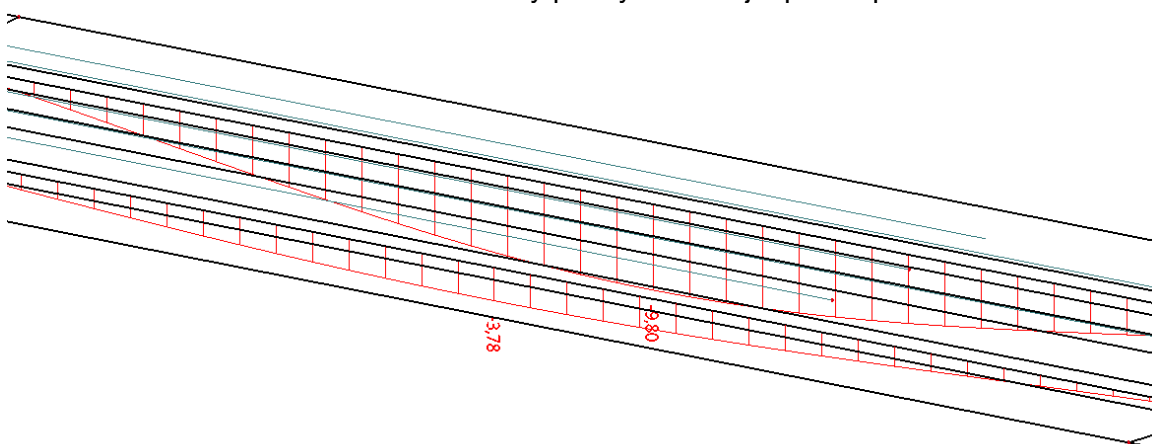
	UDL – pole A		UDL – pole B	
Trám	Priehyb [mm]	Rozdelenie [%]	Priehyb [mm]	Rozdelenie [%]
T1	-3.69	63.84	-5.69	60.53
T2	-2.09	36.16	-3.71	39.47

3.3.2 Prenos LM3 – 1800/200

Obdobne ako pri LM1 rozdelíme účinky od dvojnáprav a od spojitého zaťaženia v pruhu dva a v zvyšku.

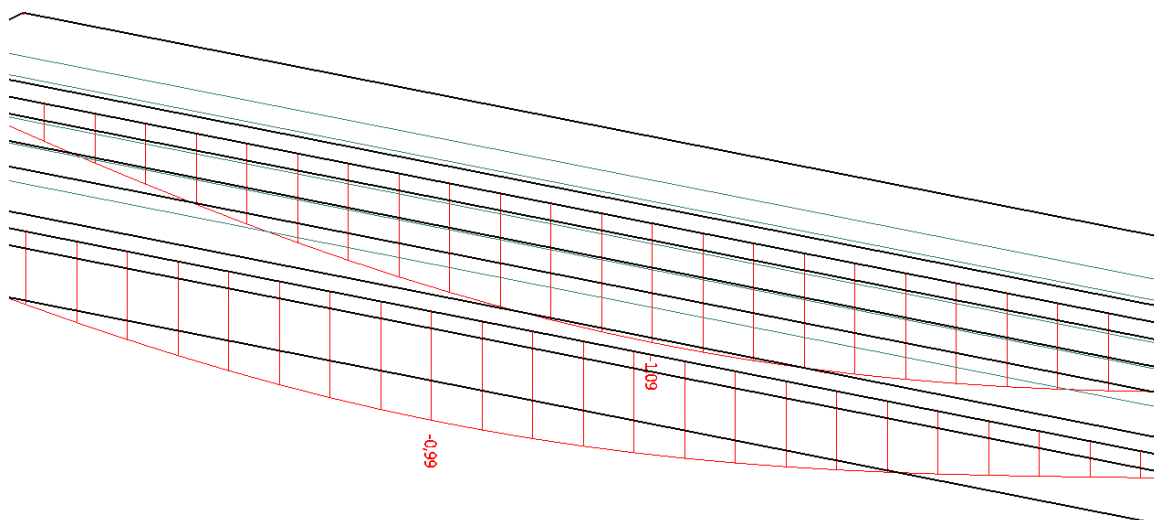


Obrázok 3.15: Maximálny prieťah od dvojnáprav v poli A.

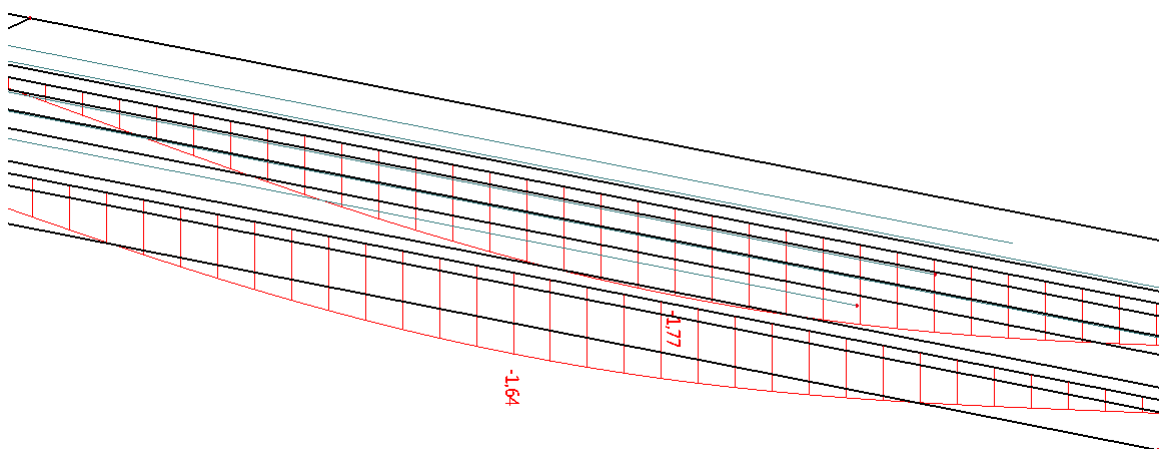


Obrázok 3.16: Maximálny prieťah od dvojnáprav v poli B.

Trám	Dvojnápravy – pole A		Dvojnápravy – pole B	
	Prieťah [mm]	Rozdelenie [%]	Prieťah [mm]	Rozdelenie [%]
T1	-7.61	77.42	-9.8	72.27
T2	-2.22	22.58	-3.76	27.73



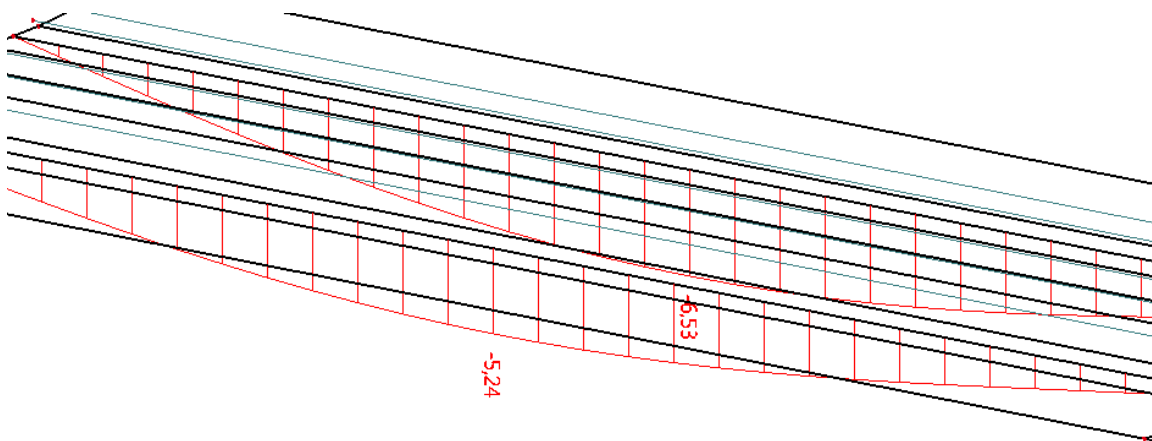
Obrázok 3.17: Maximálny priehyb od UDL v poli A.



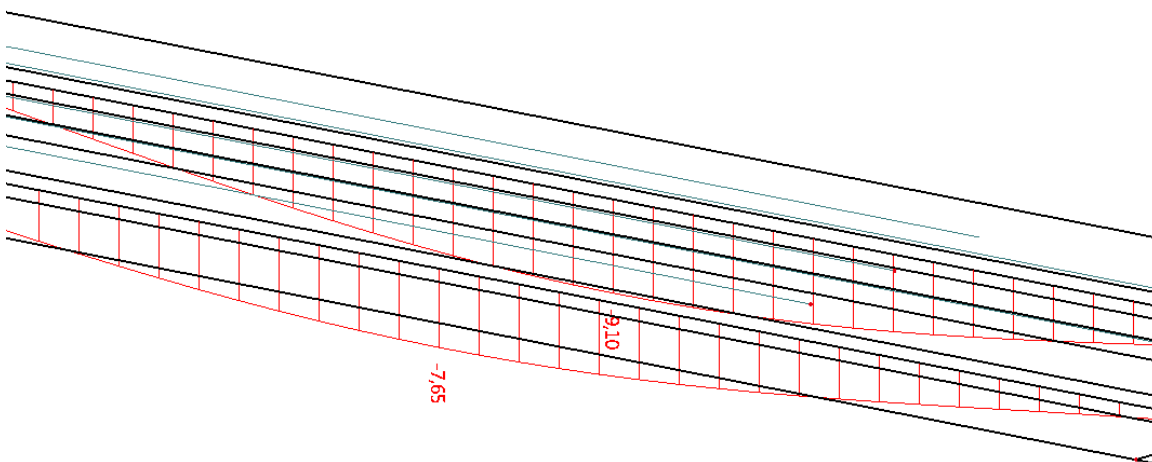
Obrázok 3.18: Maximálny priehyb od UDL v poli B.

Trám	UDL – pole A		UDL – pole B	
	Priehyb [mm]	Rozdelenie [%]	Priehyb [mm]	Rozdelenie [%]
T1	-1.09	52.40	-1.77	51.91
T2	-0.99	47.60	-1.64	48.09

3.3.3 Prenos LM3 3000/240



Obrázok 3.19: Maximálny priehyb od LM3 3000/240 v poli A.

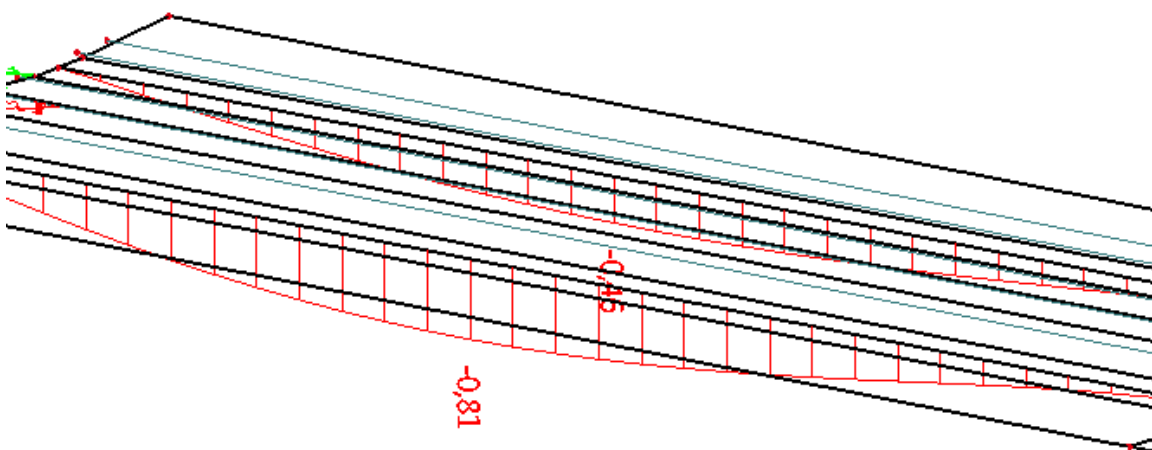


Obrázok 3.20: Maximálny priehyb od LM3 3000/240 v poli B.

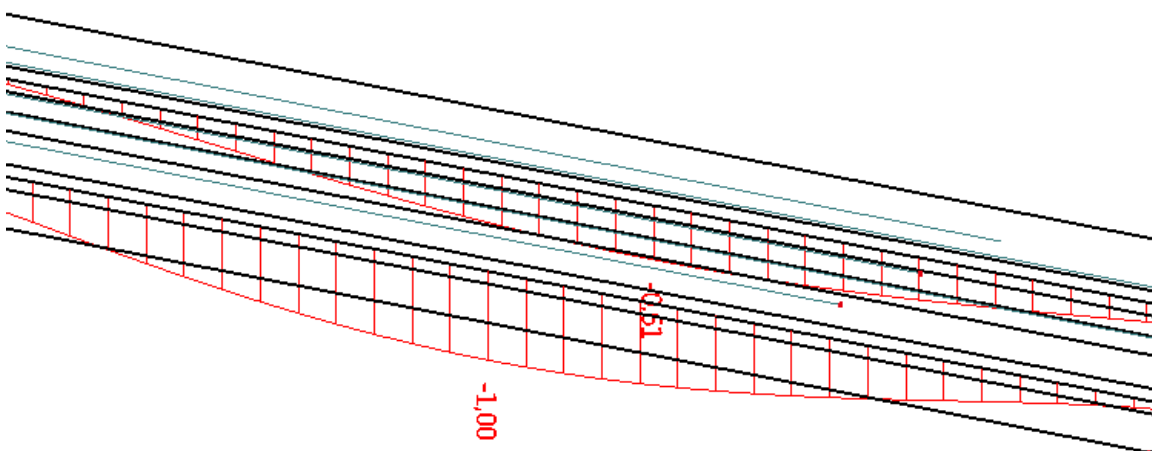
	LM3 3000/240 – pole A		LM3 3000/240 – pole B	
Trám	Priehyb [mm]	Rozdelenie [%]	Priehyb [mm]	Rozdelenie [%]
T1	-6.53	55.48	-9.1	54.33
T2	-5.24	44.52	-7.65	45.67

3.3.4 Prenos ostatného stálego zaťaženia

Keďže núdzový chodník je jednostranný, je potrebné uvážiť nerovnomerný prenos ostatného stálego zaťaženia. Nerovnomerný prenos sa týka zábradlí, zvodidiel a ríms, s vozovkou môžeme počítať ako s rovnomerne distribuovanou.



Obrázok 3.21: Maximálny priehyb ostatného stálego zaťaženia (rímsa + zábradlie + zvodidlá) v poli A:



Obrázok 3.22: Maximálny priehyb ostatného stálego zaťaženia (rímsa + zábradlie + zvodidlá) v poli B.

Trám	Ostatné stálego – pole A		Ostatné stálego – pole B	
	Priehyb [mm]	Rozdelenie [%]	Priehyb [mm]	Rozdelenie [%]
T1	-0.46	36.22	-0.61	37.89
T2	-0.81	63.78	-1	62.11

Pomer rozdelenia ostatného stálego zaťaženia je v porovnaní s pôsobením ostatných stálych zložiek zanedbateľný, pri návrhu predpínacej sily teda nebude braný do úvahy.

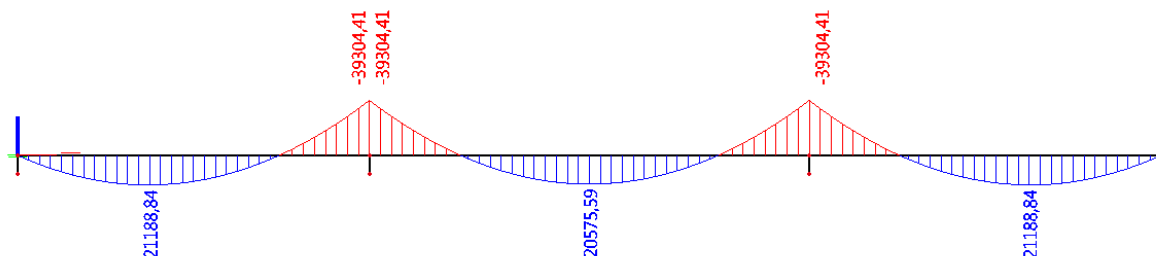
3.3.5 Zhrnutie

Z jednotlivých pomerov určíme súčinitele, ktorými prenasobíme jednotlivé zaťaženia.

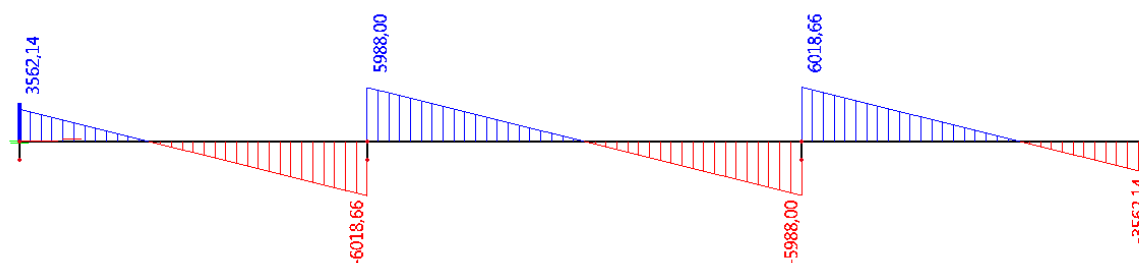
Zaťaženie	LM1 – TS	LM1 – UDL	LM3 (1800/200) – TS	LM3 (1800/200) – UDL	LM3 (3000/240)
Maximálny pomer [%]	69.18	63.84	77.42	52.40	55.48
Súčiniteľ	1.38	1.28	1.55	1.05	1.11

3.4 Priebehy vnútorných síl na prútovom modeli

3.4.1 Vlastná tiaž

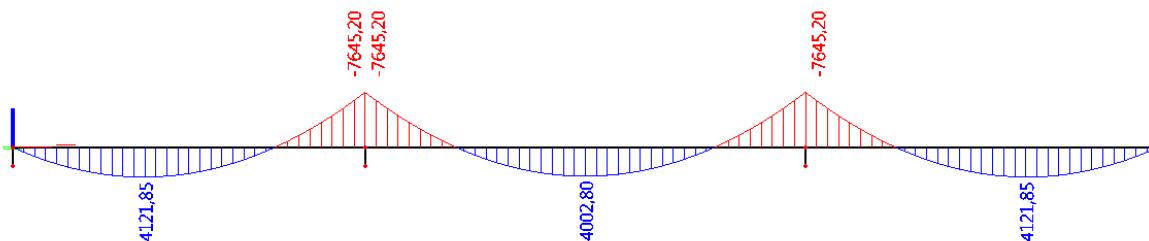


Obrázok 3.23: Momenty od vlastnej tiaže (My).

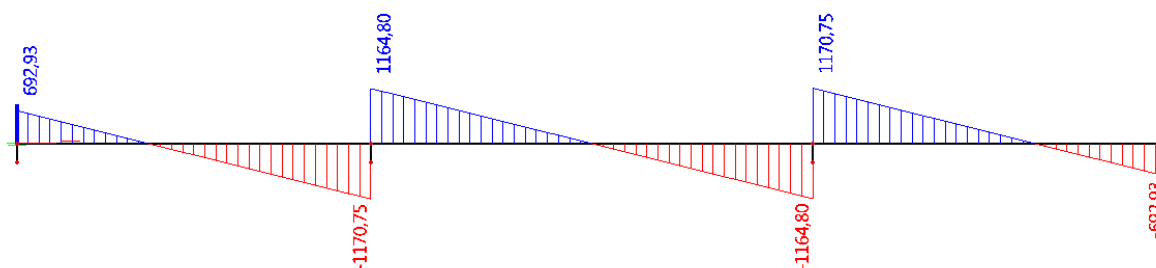


Obrázok 3.24: Posúvajúce sily od vlastnej tiaže (Vz).

3.4.2 Ostatné stále zaťaženie



Obrázok 3.25: Momenty od ostatného stálego zaťaženia (My).



Obrázok 3.26: Posúvajúce sily od ostatného stálego zaťaženia (Vz).

Pozn. Model bol zaťažovaný hodnotou $g_{k1,sup} = 58,240 \text{ kN} / \text{m}$.

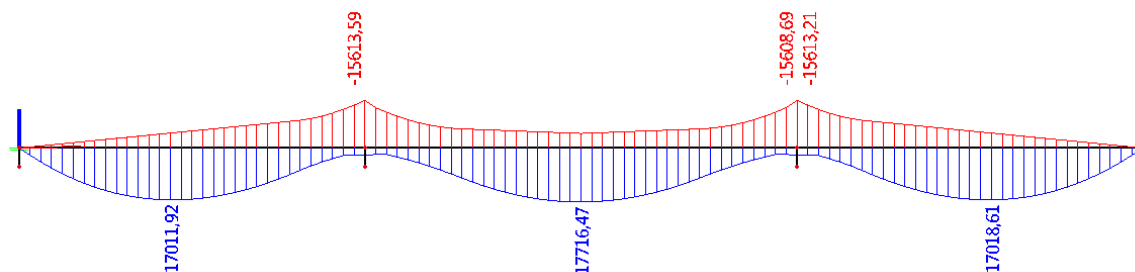
3.4.3 LM1

Aplikované zatížení s ohledem na nerovnomerný priečny prenos:

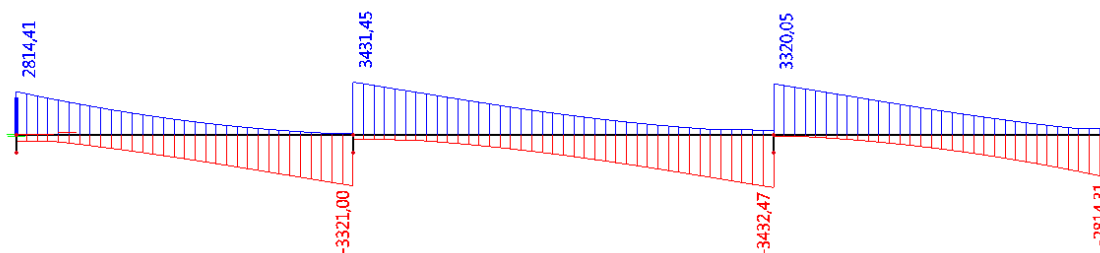
$$TS : Q_k = 600 \cdot 1,38 = 828 kN$$

$$UDL : q_k = 62,25 \cdot 1,28 + 3,0,75 = 81,93 kN$$

Pre zostavu gr1a pripočítavame spojité zaťaženie 3kN/m2, pričom zanedbáme jeho nerovnomernú distribúciu.



Obrázok 3.27: Obálka momentov od LM1 (zostava gr1a, My).

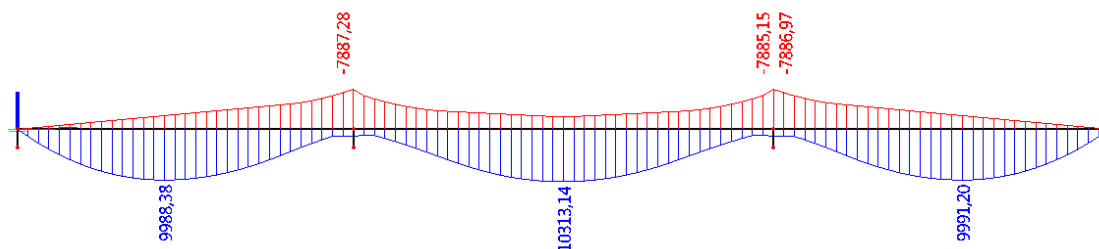


Obrázok 3.28: Obálka posúvajúcich síl od LM1 (zostava gr1a, Vz).

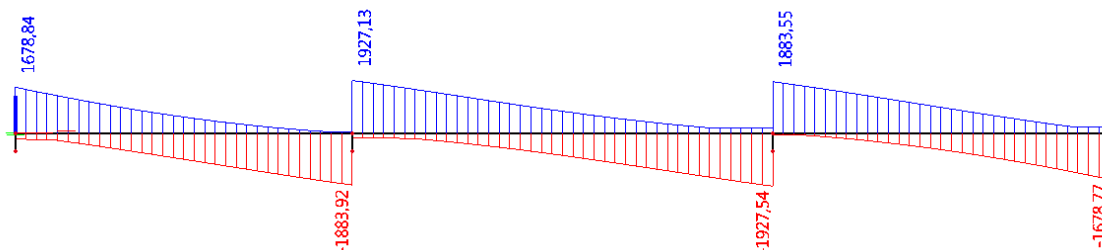
Časté hodnoty LM1:

$$TS : Q_{k,\psi_1} = 828 \cdot 0,75 = 621 kN$$

$$UDL : q_{k,\psi_1} = 62,25 \cdot 1,28 \cdot 0,4 = 31,872 kN$$



Obrázok 3.29: Obálka momentov od LM1 časté hodnoty (zostava gr1a, My).

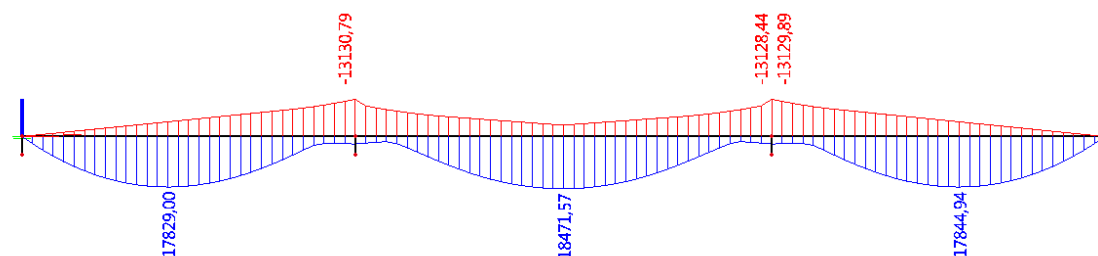


Obrázok 3.30: Obálka posuvajúcich síl od LM1 časté hodnoty (zostava gr1a, Vz).

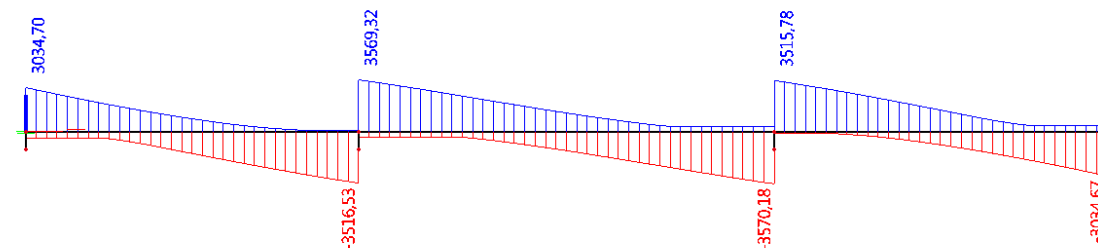
3.4.4 LM3 – 1800/200

$$TS : Q_k = 200 \cdot 1,25 \cdot 1,55 = 387,5 kN$$

$$UDL : q_k = (6 \cdot 3 + 3 \cdot 1,5) \cdot 1,05 = 23,625 kN / m$$



Obrázok 3.31: Obálka momentov od LM3 – 1800/200 (zostava gr5, My).

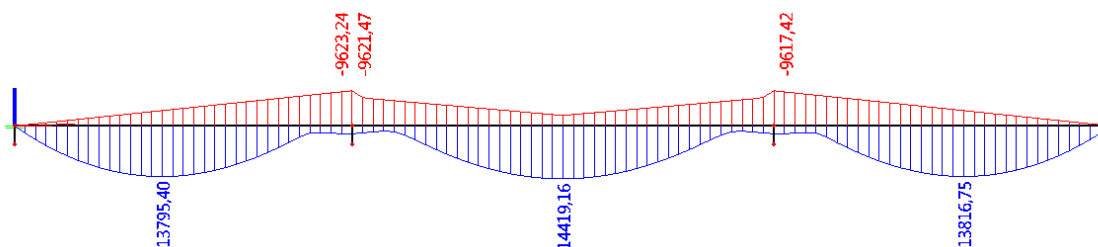


Obrázok 3.32: Obálka posuvajúcich síl od LM3 – 1800/200 (zostava gr5, Vz).

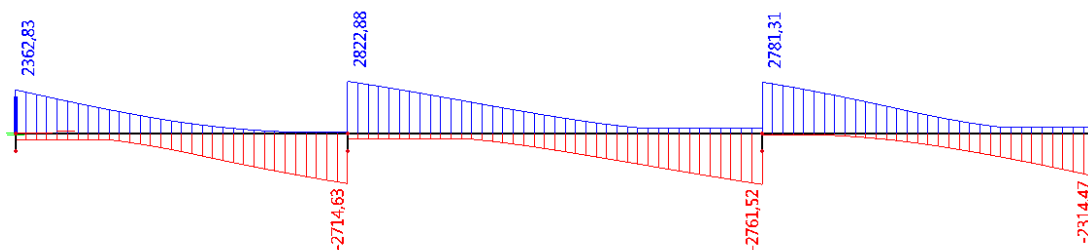
3.4.5 LM3 – 3000/240

$$TS_{1-12} : Q_k = 240 \cdot 1,05 \cdot 1,11 = 279,72 kN$$

$$TS_{13} : q_k = 120 \cdot 1,05 \cdot 1,11 = 139,86 kN / m$$



Obrázok 3.33: Obálka momentov od LM3 – 3000/240 (zostava gr5, My).



Obrázok 3.34: Obálka posouvajúcich síl od LM3 – 3000/240 (zostava gr5, Vz).

4 Návrh predpätia

4.1 Predbežný návrh

Prvotný odhad strát za účelom predbežného návrhu:

Krátkodobé straty: 15 %

Dlhodobé straty: 10 %

Straty pri návrhu uvažujeme straty predpätia konštantné po celej dĺžke.

Zaťaženie od stálych zložiek:

$$g_k = g_{0,k} + g_{1,k,\text{sup}} = 299,4 + 58,24 = 357,64 \text{ kN} / \text{m}.$$

Na základe týchto predpokladov s využitím metódy vyrovnania zaťaženia navrhujeme predpínaciu silu tak, aby bolo vyrovnaných 90 až 100% stálych zložiek zaťaženia.

$$p_A = p_B = g_k = 357,64 \text{ kN} / \text{m}$$

Predpokladáme 10 káblov predpínacej výstuže po 19 lán.

$$A_{p1} = 150 \text{ mm}^2$$

$$A_{prov} = 19 \cdot 10 \cdot A_{p1} = 19 \cdot 10 \cdot 150 = 2,85 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$\sigma_{p,\text{max}} = 1440 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{pm0} = \sigma_{p,\text{max}} \cdot 0,85 = 1440 \cdot 0,85 = 1224 \text{ MPa}$$

$$P_k = \sigma_{p,\text{max}} \cdot A_{prov} = 1440 \cdot 2,85 \cdot 10^{-2} = 41040 \text{ kN}$$

$$P_{m0} = \sigma_{pm0} \cdot A_{prov} = 1224 \cdot 2,85 \cdot 10^{-2} = 34884 \text{ kN}$$

Pri návrhu predpätia je uvažovaná hodnota napínacieho napätia

$$\sigma_{pk} = \sigma_{p,\text{max}} = 1440 \text{ MPa}.$$
 Nerovnomerná distribúcia strát po dĺžke kábla však môže

spôsobiť porušenie podmienky $\sigma_{pm0} \leq \sigma_{pm0,\text{max}}$, preto je možné, že kotevné napätie bude znížené na hodnotu, pri ktorej bude táto podmienka dodržaná.

Pre parabolický kábel platí rovnica $p = \frac{8 \cdot P \cdot f}{L^2} \Rightarrow f = \frac{p \cdot L^2}{8 \cdot P}$, pomocou ktorej budeme určovať vzopätie paraboly v danom poli.

Pre pole A:

$$L_A = 32 \text{ m}$$

$$f_A = \frac{p_A \cdot L_A^2}{8 \cdot P_{m0}} = \frac{357,64 \cdot 32^2}{8 \cdot 34884} = 1,312 \text{ m}$$

Pre pole B:

$$L_B = 40 \text{ m}$$

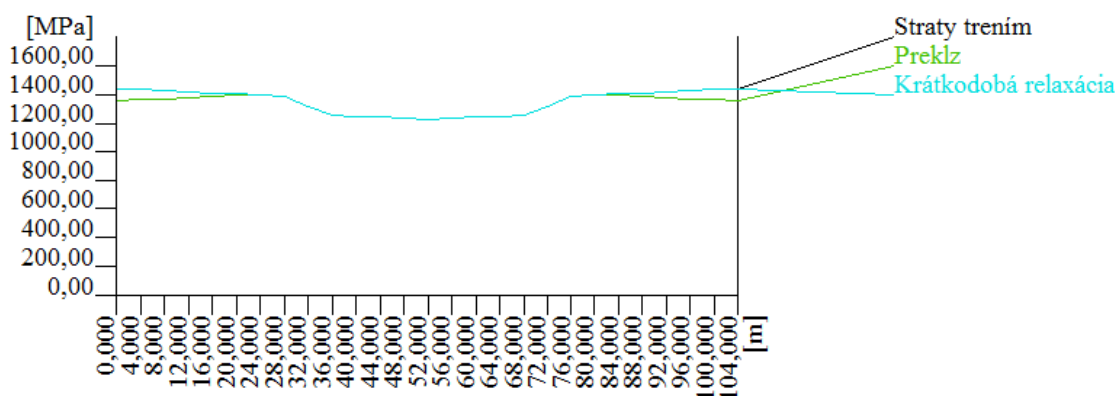
$$f_B = \frac{p_B \cdot L_B^2}{8 \cdot P_{m0}} = \frac{357,64 \cdot 40^2}{8 \cdot 34884} = 2,051 \text{ m}$$

Excentricity v podporách:

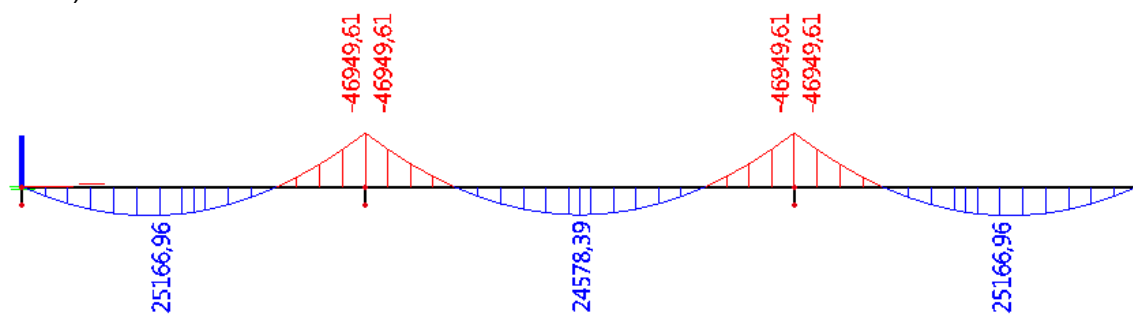
$$e_2 = e_3 = 442\text{mm}$$

$e_1 = e_4 = 0\text{mm}$ (nevzniká koncový moment od excentricity, ťažisko kotiev je totožné s ťažiskom prierezu)

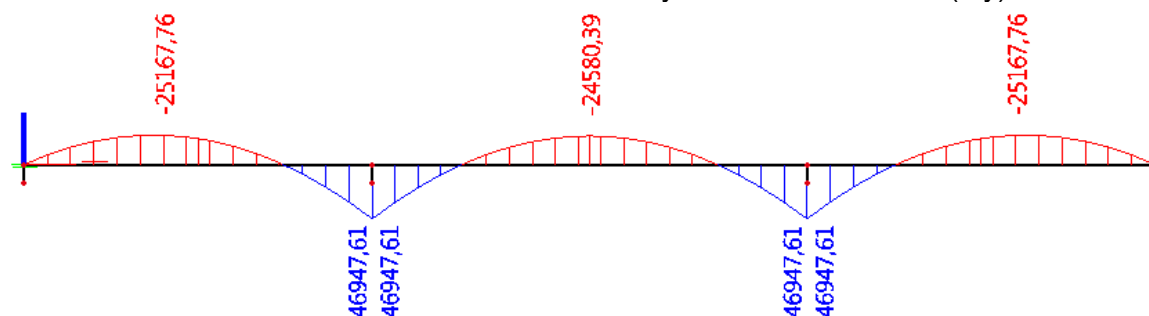
Priemerný kábel s touto geometriou vložíme do výpočtového softwaru SCIA Engineer, aby sme dokázali presnejšie určiť krátkodobé straty pre potreby návrhu. Software vyčíslí všetky straty okrem straty postupným napínaním, ktorú v tejto fáze zanedbáme a nebudeme ju vyčíslovať.



V reze uprostred prostredného poľa je za predpokladu obojstranného napínania po vnesení predpätia napätie po krátkodobých stratách 1229 Mpa, takže straty v tomto mieste činia 14,65%. Prvotný odhad 15% teda môžeme považovať za dostatočne blízky realite a ďalej môžeme uvažovať hodnotu strát 15% (pre návrh konštantnú po celej dĺžke).



Obrázok 4.1: Priebeh momentov od stálych zložiek zaťaženia (My).



Obrázok 4.2: Priebeh momentov od ekvivalentného zaťaženia od predpätia.

4.2 Presný návrh

Na základe predbežného návrhu priemerného kábla boli určené presné dráhy káblových dráh. Po vložení do výpočtového modelu z nich boli vyčíslené presné hodnoty strát a vnútorných síl.

Údaje o kábloch:

Materiál: Y1860S7-15,7

Počet prvkov v kábli: 19

Počet káblov v skupine: 4 (horné káble), 6 (dolné káble)

Priemer kanálika: 106mm

Typ napínania: Type 3

Predpätie z obidvoch koncov, kotvenie na konci, dopnutie na začiatku

Súčiniteľ trenia v oblúku: 0,14

Nezámerná zmena smeru kábla na jednotku dĺžky: 0,001m-1

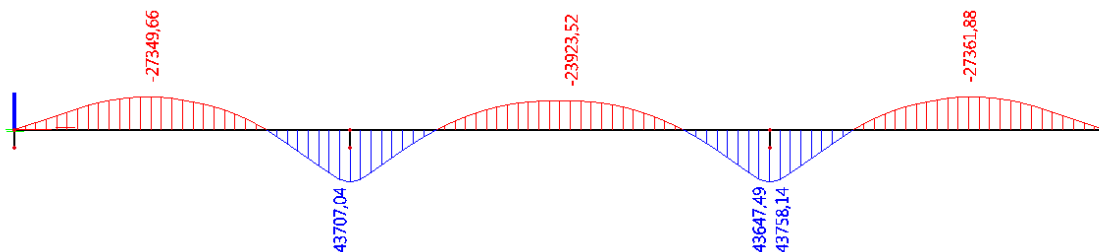
Preklz (začiatok) = preklz (koniec) = 6mm

Napätie v priebehu podržania napätia (začiatok=koniec): 1410 Mpa

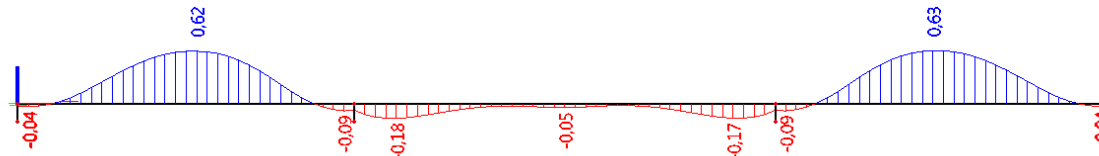
Trvanie podržania napätia: 300s

Počiatkové napätie (začiatok=koniec): 1410Mpa

Pozn.: Napínacie napätie bolo znížené na hodnotu 1410MPa (viď. 4.3.1).



Obrázok 4.3: Momenty od predpätia so zadanými káblami.



Obrázok 4.4: Deformácie od kombinácie stálych zložiek a predpätia

Vyššie hodnoty deformácií v krajných poliach sú zdôvodnené v textovej časti.

4.3 Zmeny predpätia

Vyčíslenie strát predpätia bolo vykonané s pomocou softwaru Scia Engineer 2014 s použitím modelov predpätie, fázy výstavby a časovo závislá analýza (TDA).

4.3.1 Krátkodobé straty

Napätie po zakotvení musí spĺňať podmienku: $\sigma_{pm0} \leq \sigma_{pm0,max}$

Najvyššia hodnota napätia po zakotvení: $\sigma_{pm0} = 1358,72MPa$ (rez 20)

Posúdenie: $1358,72MPa \leq 1360MPa \Rightarrow VYHOVUJE$

Podiel krátkodobých strát: $(1 - \sigma_{pm,0} / \sigma_{pk}) \cdot 100$

Káble 1-4 (dolný rad)				
Rez	Trenie $\Delta\sigma_{p\mu}$ [MPa]	Preklz $\Delta\sigma_{p,sl}$ [MPa]	Napätie po zakotvení $\sigma_{p,m0}$ [MPa]	Podiel strát [%]
0	0.00	-88.88	1321.12	6.30
4	-1.28	-86.40	1322.32	6.22
8	-5.74	-77.75	1326.51	5.92
12	-12.80	-63.99	1333.21	5.45
16	-32.48	-25.26	1352.26	4.10
20	-39.02	-12.26	1358.72	3.64
24	-64.49	0.00	1345.51	4.57
28	-66.01	0.00	1343.99	4.68
32	-103.93	0.00	1306.07	7.37
36	-133.30	0.00	1276.70	9.45
40	-140.44	0.00	1269.56	9.96
44	-150.06	0.00	1259.94	10.64
48	-159.56	0.00	1250.44	11.32
52	-165.68	0.00	1244.32	11.75

Káble 5-10 (horný rad)				
Rez	Trenie $\Delta\sigma_{p\mu}$ [MPa]	Preklz $\Delta\sigma_{p,sl}$ [MPa]	Napätie po zakotvení $\sigma_{p,m0}$ [MPa]	Podiel strát [%]
0	0.00	-103.30	1306.70	7.33
4	-1.75	-99.94	1308.31	7.21
8	-19.43	-65.61	1324.96	6.03
12	-30.99	-42.94	1336.07	5.24
16	-42.09	-21.00	1346.91	4.47
20	-49.38	-6.50	1354.12	3.96
24	-60.72	0.00	1349.28	4.31
28	-66.60	0.00	1343.40	4.72
32	-105.76	0.00	1304.24	7.50
36	-135.19	0.00	1274.81	9.59
40	-143.05	0.00	1266.95	10.15
44	-151.84	0.00	1258.16	10.77
48	-160.54	0.00	1249.46	11.39
52	-165.20	0.00	1244.80	11.72

Straty postupným napínaním a straty pružným pretvorením betónu nie sú vo výpočte krátkodobých strát zahrnuté a budú zohľadnené až pri výpočte celkových strát s použitím časovo závislej analýzy.

4.3.2 Dlhodobé straty

Určenie dlhodobých strát bolo realizované za pomoci modulu TDA.

Fázy výstavby a jednotlivé zaťaženia:

Č.F.	Fáza	Čas pre TDA	Označenie času	Stále zaťaženie
ST1	Betonáž	0	t_{g0}	g_{0k}
ST2	Predpätie	7	t_p	P
ST3	Odskruženie	8	t_o	–
ST4	Ostatné stále zaťaženie	28	t_{g1}	g_{1k}
ST5	Uvedenie do prevádzky	95	t_q	–
ST6	Charakteristická t_q	95.1	–	–
ST7	Kvazistála t_q	95.2	–	–
ST8	Jeden rok	365	t_{rok}	–
ST9	Charakteristická t_{rok}	365.1	–	–
ST10	Kvazistála t_{rok}	365.2	–	–
ST11	Koniec životnosti	36500	t_{00}	–
ST12	Charakteristická t_{00}	36500.1	–	–
ST13	Kvazistála t_{00}	36500.2	–	–
ST14	Častá t_{00}	36500.3	–	–

Zmeny predpätia v čase životnosti – kvazistála kombinácia

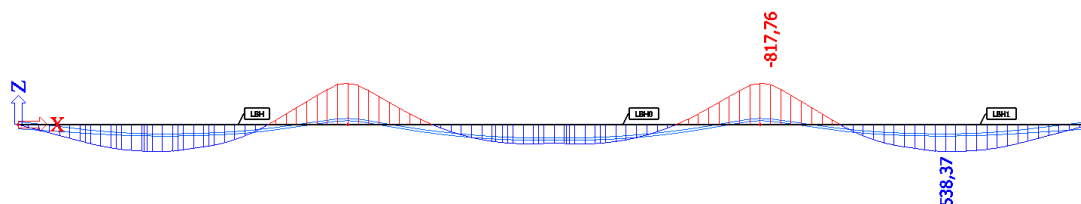
Káble 1-4 (dolný rad)					
Rez	$\sigma_{p,m0}$ [MPa]	$(\Delta\sigma_{p,el} + \Delta\sigma_{p,el})$ [MPa]	$\Delta\sigma_{pr+s+c}$ [MPa]	$\sigma_{p,m00}$ [MPa]	Podiel strát [%]
0	1321.12	0.07	-127.4	1193.79	9.64
4	1322.32	1.39	-124.43	1199.28	9.30
8	1326.51	2.91	-126.38	1203.04	9.31
11	1331.55	3.64	-129.15	1206.04	9.43
12	1333.21	3.74	-130.04	1206.91	9.47
16	1352.26	3.33	-135.19	1220.40	9.75
20	1358.72	1.84	-138.05	1222.51	10.02
24	1345.51	0.07	-134.64	1210.94	10.00
28	1343.99	-0.05	-132.48	1211.46	9.86
32	1306.07	2.32	-124.45	1183.94	9.35
36	1276.70	-0.28	-120.76	1155.66	9.48
40	1269.56	0.08	-120.22	1149.42	9.46
44	1259.94	2.31	-119.24	1143.01	9.28
48	1250.44	4.31	-116.31	1138.44	8.96
52	1244.32	4.98	-112.99	1136.31	8.68
$\sigma_{p,m0}$		Napätie po zakotvení			
$\Delta\sigma_{p,el} + \Delta\sigma_{p,el}$		Straty postupným predpínaním a pružným pretvorením betónu			

$\Delta\sigma_{pr+s+c}$	Straty od dotvarovania, zmršťovania a relaxácie ocele
$\sigma_{p,m00}$	Napätie v čase $t_{00} = 100$ rokov

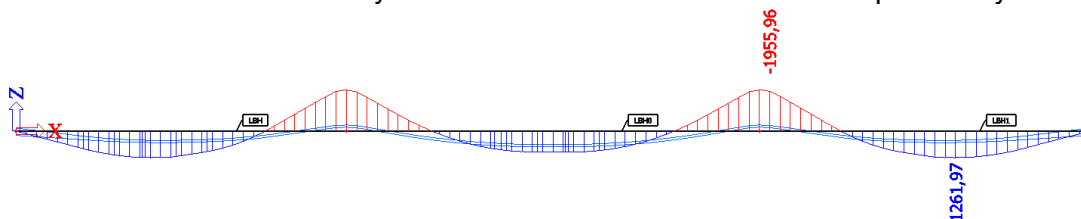
Káble 5-10 (horný rad)					
Rez	$\sigma_{p,m0}$ [MPa]	$(\Delta\sigma_{p,el} + \Delta\sigma_{p,el})$ [MPa]	$\Delta\sigma_{pr+s+c}$ [MPa]	$\sigma_{p,m00}$ [MPa]	Podiel strát [%]
0	1306.70	0.13	-123.96	1182.87	9.48
4	1308.31	0.48	-123.65	1185.14	9.41
8	1324.96	2	-126.71	1200.25	9.41
11	1333.3	2.86	-129.98	1206.18	9.53
12	1336.07	2.99	-131.02	1208.04	9.58
16	1346.91	2.48	-134.48	1214.91	9.80
20	1354.12	1.43	-136.94	1218.61	10.01
24	1349.28	0.09	-134.82	1214.55	9.99
28	1343.40	0.56	-132.77	1211.19	9.84
32	1304.24	3.7	-122.14	1185.8	9.08
36	1274.81	0.32	-120.53	1154.6	9.43
40	1266.95	0.1	-119.94	1147.11	9.46
44	1258.16	1.87	-119.06	1140.97	9.31
48	1249.46	3.63	-116.53	1136.56	9.04
52	1244.80	4.27	-113.74	1135.33	8.79
$\sigma_{p,m0}$	Napätie po zakotvení				
$\Delta\sigma_{p,el} + \Delta\sigma_{p,el}$	Straty postupným predpínaním a pružným pretvorením betónu				
$\Delta\sigma_{pr+s+c}$	Straty od dotvarovania, zmršťovania a relaxácie ocele				
$\sigma_{p,m00}$	Napätie v čase $t_{00} = 100$ rokov				

Zmeny predpätia v čase v rozhodujúcich rezoch								
Rez x = 11m								
Kombinácia	Káble	$\sigma_{p,mt0}$	$\sigma_{p,mtg1k}$	$\sigma_{p,mtq}$	$\sigma_{p,mtrok}$	$\sigma_{p,mt00}$	Straty v t_0	Straty v t_{00}
Charakteristická	Horné	1333.3	1316.23	1303.54	1279.78	1222.8	5.44	8.28
	Dolné	1333.22	1315.13	1306.62	1282.98	1222.8		
Častá	Horné	1333.3	1316.23	1297.66	1273.92	1215.2	5.44	8.81
	Dolné	1333.22	1315.13	1299.01	1275.38	1216.8		
Kvazistála	Horné	1333.3	1316.23	1290.56	1266.78	1206.2	5.44	9.51
	Dolné	1333.22	1315.13	1289.85	1266.2	1206.9		
Rez x = 32m								
Kombinácia	Káble	$\sigma_{p,mt0}$	$\sigma_{p,mtg1k}$	$\sigma_{p,mtq}$	$\sigma_{p,mtrok}$	$\sigma_{p,mt00}$	Straty v t_0	Straty v t_{00}
Charakteristická	Horné	1304.24	1289.15	1273.39	1250.94	1193.1	7.45	8.73
	Dolné	1306.07	1289.68	1269.87	1242.04	1188.1		
Častá	Horné	1304.24	1289.15	1269.44	1246.97	1189.2	7.45	8.98
	Dolné	1306.07	1289.68	1267.44	1244.54	1185.7		
Kvazistála	Horné	1304.24	1289.15	1265.34	1242.87	1185.1	7.45	9.25
	Dolné	1306.07	1289.68	1264.94	1242.04	1183.2		
Rez x = 52m								
Kombinácia	Káble	$\sigma_{p,mt0}$	$\sigma_{p,mtg1k}$	$\sigma_{p,mtq}$	$\sigma_{p,mtrok}$	$\sigma_{p,mt00}$	Straty v t_0	Straty v t_{00}
Charakteristická	Horné	1244.8	1232.06	1232.77	1211.54	1157.9	11.73	6.81
	Dolné	1244.32	1232.15	1236.93	1215.84	1162.6		
Častá	Horné	1244.8	1232.06	1222.59	1201.35	1147.8	11.73	7.69
	Dolné	1244.32	1232.15	1225.07	1203.99	1150.8		
Kvazistála	Horné	1244.8	1232.06	1210.38	1189.12	1135.5	11.73	8.73
	Dolné	1244.32	1232.15	1210.81	1189.73	1136.5		

Momenty od dotvarovania:



Obrázok 4.5: Momenty od dotvarovania v čase uvedenia do prevádzky.



Obrázok 4.6: Momenty od dotvarovania v čase životnosti.

Sily P_k v daných rezoch (s vplyvom $r_{inf, sup}$):

Rez x = 11m					
Kombinácia	$P_{k,t0,sup}$	$P_{k,tg1,sup}$	$P_{k,tq,inf}$	$P_{k,trok,inf}$	$P_{k,t00,inf}$
Charakteristická	41797.95	41250.02	33467.4	32859.19	31365.59
Častá	41797.95	41250.02	33298.83	32691.03	31186.71
Kvazistála	41797.95	41250.02	33095.58	32486.96	30946.62
Rez x = 32m					
Kombinácia	$P_{k,t0,sup}$	$P_{k,tg1,sup}$	$P_{k,tq,inf}$	$P_{k,trok,inf}$	$P_{k,t00,inf}$
Charakteristická	40910.87	40421.5	32626.34	31995.3	30551.61
Častá	40910.87	40421.5	32540.62	31959.85	30465.89
Kvazistála	40910.87	40421.5	32451.87	31871.1	30377.14
Rez x = 52m					
Kombinácia	$P_{k,t0,sup}$	$P_{k,tg1,sup}$	$P_{k,tq,inf}$	$P_{k,trok,inf}$	$P_{k,t00,inf}$
Charakteristická	39018.46	38626.21	31663.23	31120.12	29748.66
Častá	39018.46	38626.21	31384.88	30841.71	29470.72
Kvazistála	39018.46	38626.21	31050.66	30507.19	29135.94

Medzný stav použiteľnosti a únosnosti nebudeme posudzovať pomocou modelu TDA, zdôvodnenie je uvedené do textovej časti. Do klasického prútového modelu straty zachytíme s pomocou súčiniteľov.

Rez x = 11m				
Kombinácia	$P_{k,tg1,sup}/P_{k,t0}$	$P_{k,tq,inf}/P_{k,t0}$	$P_{k,trok,inf}/P_{k,t0}$	$P_{k,t00,inf}/P_{k,t0}$
Charakteristická	1.09	0.88	0.86	0.83
Častá	1.09	0.88	0.86	0.82
Kvazistála	1.09	0.87	0.85	0.81
Rez x = 32m				
Charakteristická	1.09	0.88	0.86	0.83
Častá	1.09	0.87	0.86	0.82
Kvazistála	1.09	0.87	0.86	0.82
Rez x = 52m				
Charakteristická	1.09	0.89	0.88	0.84
Častá	1.09	0.88	0.87	0.83
Kvazistála	1.09	0.88	0.86	0.82
Zadávané súčinitele				
Charakteristická	1.09	0.88	0.86	0.83
Častá	1.09	0.87	0.86	0.82
Kvazistála	1.09	0.87	0.85	0.81

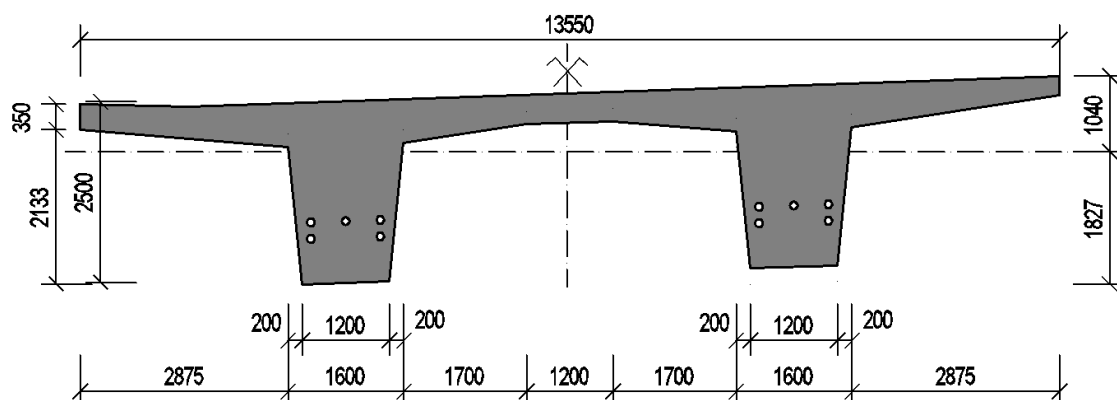
5 Medzný stav použitelnosti

Posuzovaný na základě nasledovných predpokladov:

- Sú vyčíslené dlhodobé straty pre jednotlivých fázach výstavby a prevádzky
- Posudzujeme na obálku M_{Ek}
- $r_{sup} = 1,1$, $r_{inf} = 0,9$
- Prierezové charakteristiky betónového prierezu oslabeného káblowymi kanálkami
- Normálová sila na základe výpočtu krátkodobých a dlhodobých strát

5.1 Prierezové charakteristiky oslabeného betónového prierezu

Pri posúdení na medzný stav použitelnosti budeme potrebovať prierezové charakteristiky oslabeného betónového prierezu, to znamená, že z prierezu odoberieme káblové kanálky.



Obrázok 5.1: Oslabený betónový prierez – pole A.

Oslabený betónový prierez – pole A: 11m			
Plocha	A_c	11.8705242	m ²
Výška	h	2.867	m ²
Moment zotrvačnosti k osi y	I_y	6.927	m ⁴
Moment zotrvačnosti k osi z	I_z	1.40E+02	m ⁴
Vzdialenosť ťažiska od horných vlákien	z_1	1040.000	mm
Vzdialenosť ťažiska od dolných vlákien	z_2	1827.000	mm
Prierezový modul – horné vlákna	W_1	6.661	m ³
Prierezový modul – dolné vlákna	W_2	3.791	m ³

Oslabený efektivní betonový prierez			
Plocha	A_c	10.385	m^2
Výška	h	2.867	m^2
Moment zotrvačnosti k osi y	I_y	5.929	m^4
Moment zotrvačnosti k osi z	I_z	110.000	m^4
Vzdialenosť ťažiska od horných vlákien	z_1	1141.000	mm
Vzdialenosť ťažiska od dolných vlákien	z_2	1727.000	mm
Prierezový modul – horné vlákna	W_1	5.196	m^3
Prierezový modul – dolné vlákna	W_2	3.433	m^3

5.2 Kombinácie pre medzný stav použiteľnosti

Charakteristická kombinácia:

$$G_k + P_K + Q_{k,1} + \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Častá kombinácia:

$$G_k + P_K + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Pre LM1: $\psi_{1,TS} = 0,75$, $\psi_{1,UDL} = 0,4$

Kvazistála kombinácia:

$$G_k + P_K + \psi_{2,1} \cdot Q_{k,1} + \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

5.3 Obmedzenie normálových napätí

Podmienky:

- Charakteristická kombinácia: $|\sigma_c| \leq 0,6 \cdot f_{ck}(t)$
- Kvazistála kombinácia: $|\sigma_c| \leq 0,45 \cdot f_{ck}(t)$
- Pre všetky kombinácie: $|\sigma_c| \geq f_{ctm}(t)$

Obmedzenie napätia vo výstuži je posúdené v kapitole 4.3.1.

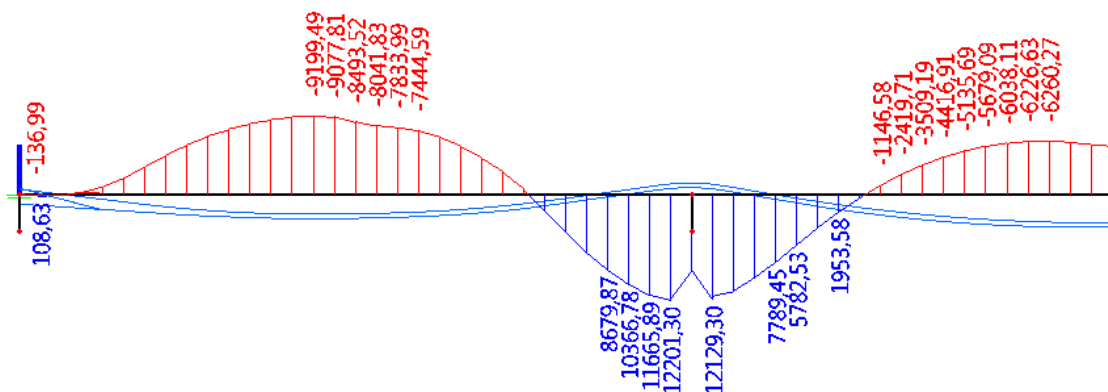
Použitý vzťahy:

$$\sigma_{c,d} = \frac{P_{k,t}}{A_c} + \frac{M_{Ek,max}}{W_d}, \quad \sigma_{c,h} = \frac{P_{k,t}}{A_c} - \frac{M_{Ek,max}}{W_h}, \quad W_h = \frac{I_y}{z_h}, \quad W_d = \frac{I_y}{z_d}$$

5.3.1 Charakteristická kombinácia, čas t_0

Obsah kombinácie: $g_{0,k}$, $P_{k,0,\text{sup}}$

Kombinácia je v danom čase zhodná s kvazistálou, posudzovať budeme podmienky kvazistálej kombinácie.



Obrázok 5.4: Priebeh momentov pre danú kombináciu.

Poloha			Prierezové charakteristiky				Vnútorné sily		M _{Ek,max} +N _{Ek}	
Prvok		Rez	A _c	W _h	W _d	P _{k(t)}	M _{Ek,max}	N _{Ek}	σ _{c,h}	σ _{c,d}
–		[m]	[m2]	[m3]	[m3]	[kN]	[kNm]	[kN]	[MPa]	[MPa]
B1	Pole	14	11.871	6.597	3.669	P _{k,t0,sup}	-9199	-42180	-2.159	-6.061
B1	Podpora	31	11.871	5.196	3.433	P _{k,t0,sup}	1220	-41028	-3.691	-3.101
B2	Pole	17	11.871	6.595	3.731	P _{k,t0,sup}	-6312	-39188	-2.344	-4.993

$$|\sigma_{c,\text{min}}| \leq 0,45 \cdot f_{ck} \quad (7)$$

$$6,061 \text{ MPa} < 13,23 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

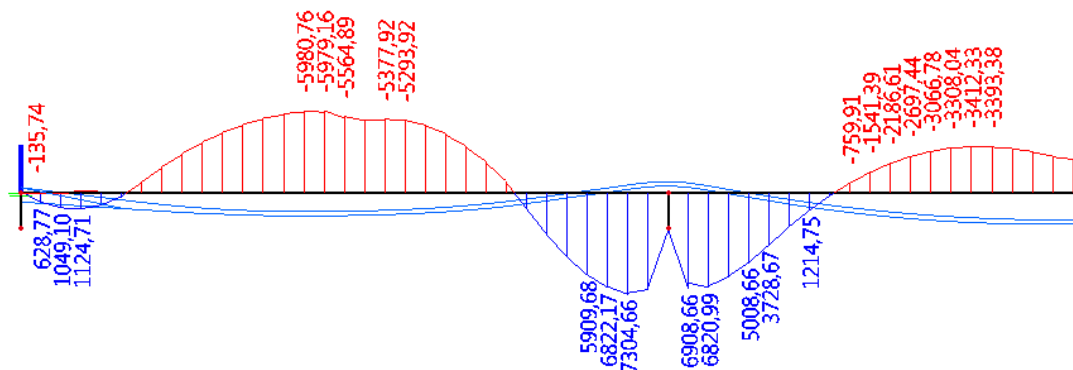
$$\sigma_{c,\text{max}} \leq f_{ctm} \quad (7)$$

$$-2,159 \text{ MPa} \leq 2,727 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

5.3.2 Charakteristická kombinácia, čas t_{g1k}

Obsah kombinácie: $g_{0,k}$, $P_{k,tg1k,\text{sup}}$, $g_{1,k,\text{inf}}$

Kombinácia je v danom čase zhodná s kvazistálou, posudzovať budeme podmienky kvazistálej kombinácie.



Obrázok 5.5: Priebeh momentov pre danú kombináciu.

Poloha			Prierezové charakteristiky				Vnútné sily		M _{Ek,max} +N _{Ek}	
Prvok		Rez	A _c	W _h	W _d	P _{k(t)}	M _{Ek,max}	N _{Ek}	σ _{c,h}	σ _{c,d}
–		[m]	[m2]	[m3]	[m3]	[kN]	[kNm]	[kN]	[MPa]	[MPa]
B1	Pole	14	11.871	6.597	3.669	P _{k,tg1k,sup}	-5981	-41796	-2.614	-5.151
B1	Podpora	31	11.871	5.196	3.433	P _{k,tg1k,sup}	7305	-40895	-4.851	-1.317
B2	Pole	17	11.871	6.595	3.731	P _{k,tg1k,sup}	-3467	-38926	-2.753	-4.208

$$|\sigma_{c,min}| \leq 0,45 \cdot f_{ck}$$

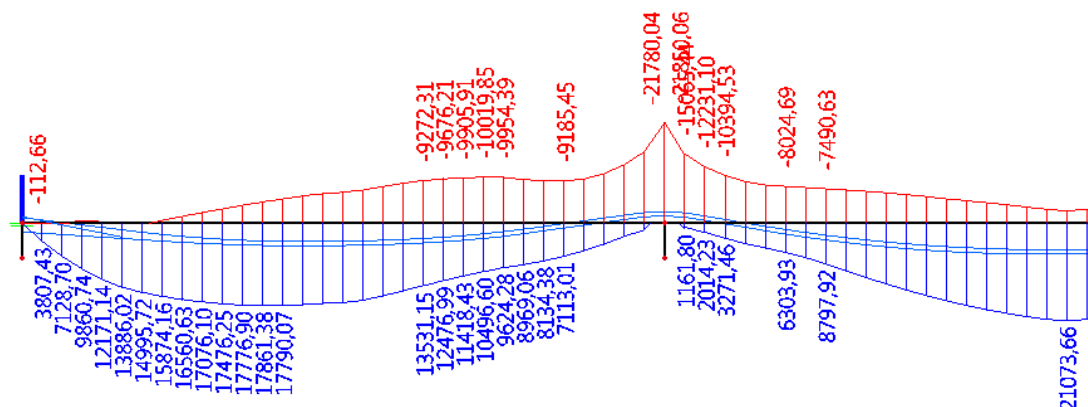
$$5,151MPa < 18MPa \Rightarrow VYHOVUJE$$

$$\sigma_{c,max} \leq f_{ctm}$$

$$-1,317MPa \leq 3,5MPa \Rightarrow VYHOVUJE$$

5.3.3 Charakteristická kombinácia, čas t_q

Obsah kombinácie: $g_{0,k}$, $P_{k,tq,inf}$, $g_{1,k,sup}$, q_k



Obrázok 5.6: Priebeh momentov pre danú kombináciu.

Poloha			Prierezové charakteristiky				Vnútorné sily		M _{Ek,max} +N _{Ek}	
Prvok		Rez	A _c	W _h	W _d	P _{k(t)}	M _{Ek,max}	N _{Ek}	σ _{c,h}	σ _{c,d}
–		[m]	[m2]	[m3]	[m3]	[kN]	[kNm]	[kN]	[MPa]	[MPa]
B1	Pole	11	11.871	6.661	3.791	P _{k,tq,inf}	17861	-33467	-5.501	1.892
B1	Podpora	32	11.871	5.196	3.433	P _{k,tq,inf}	-21850	-32626	1.456	-9.113
B2	Pole	20	11.871	6.595	3.731	P _{k,tq,inf}	21074	-31663	-5.863	2.980

$$|\sigma_{c,min}| \leq 0,6 \cdot f_{ck}$$

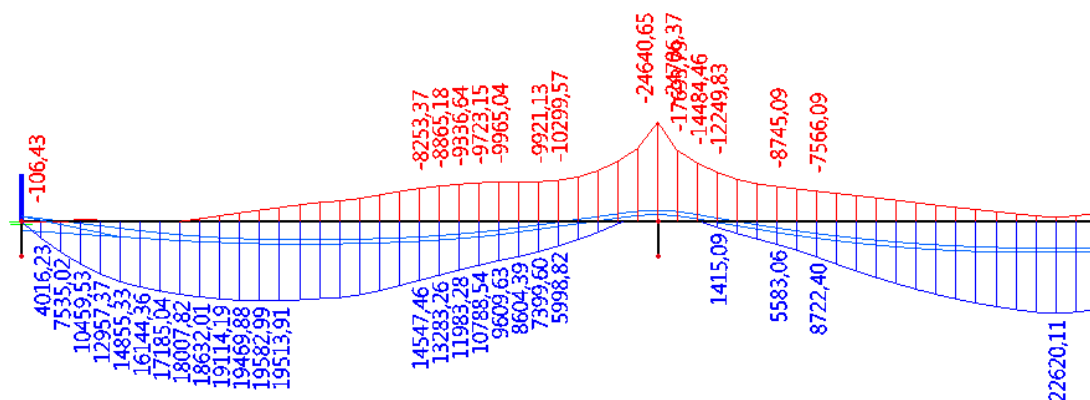
$$9,133MPa < 24MPa \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{c,max} \leq f_{ctm}$$

$$2,980MPa \leq 3,5MPa \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

5.3.4 Charakteristická kombinácia, čas t00

Obsah kombinácie: $g_{0,k}$, $P_{k,t00,inf}$, $g_{1,k,sup}$, q_k



Obrázok 5.7: Priebeh momentov pre danú kombináciu.

Poloha			Prierezové charakteristiky				Vnútorné sily		M _{Ek,max} +N _{Ek}	
Prvok		Rez	A _c	W _h	W _d	P _{k(t)}	M _{Ek,max}	N _{Ek}	σ _{c,h}	σ _{c,d}
–		[m]	[m2]	[m3]	[m3]	[kN]	[kNm]	[kN]	[MPa]	[MPa]
B1	Pole	11	11.871	6.661	3.791	P _{k,t00,inf}	19219	-31366	-5.528	2.427
B1	Podpora	32	11.871	5.196	3.433	P _{k,t00,inf}	-24031	-30552	2.051	-9.574
B2	Pole	20	11.871	6.595	3.731	P _{k,t00,inf}	22267	-29749	-5.883	3.461

$$|\sigma_{c,min}| \leq 0,6 \cdot f_{ck}$$

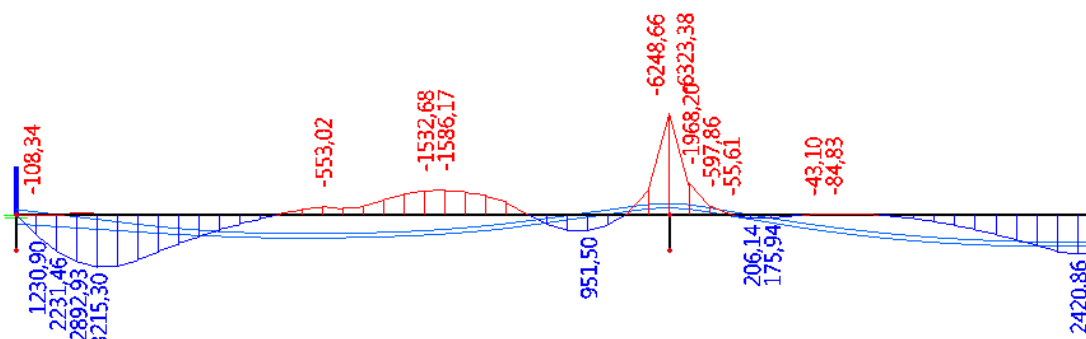
$$9,574 \text{ MPa} < 24 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{c,max} \leq f_{ctm}$$

$$3,461 \text{ MPa} \leq 3,5 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

5.3.5 Kvazistála kombinácia, čas t_q

Obsah kombinácie: $g_{0,k}$, $P_{k,tq,inf}$, $g_{1,k,sup}$



Obrázok 5.8: Priebeh momentov pre danú kombináciu.

Poloha		Prierezové charakteristiky				Vnútorné sily		M _{Ek,max} +N _{Ek}		
Prvok		Rez	A _c	W _h	W _d	P _{k(t)}	M _{Ek,max}	N _{Ek}	σ _{c,h}	σ _{c,d}
–		[m]	[m2]	[m3]	[m3]	[kN]	[kNm]	[kN]	[MPa]	[MPa]
B1	Pole	4	11.871	6.656	3.806	P _{k,tq,inf}	3215	-32421	-3.214	-1.886
B1	Podpora	32	11.871	5.196	3.433	P _{k,tq,inf}	-6323	-32452	-1.517	-4.576
B2	Pole	20	11.871	6.595	3.731	P _{k,tq,inf}	2421	-31051	-2.983	-1.967

$$|\sigma_{c,min}| \leq 0,45 \cdot f_{ck}$$

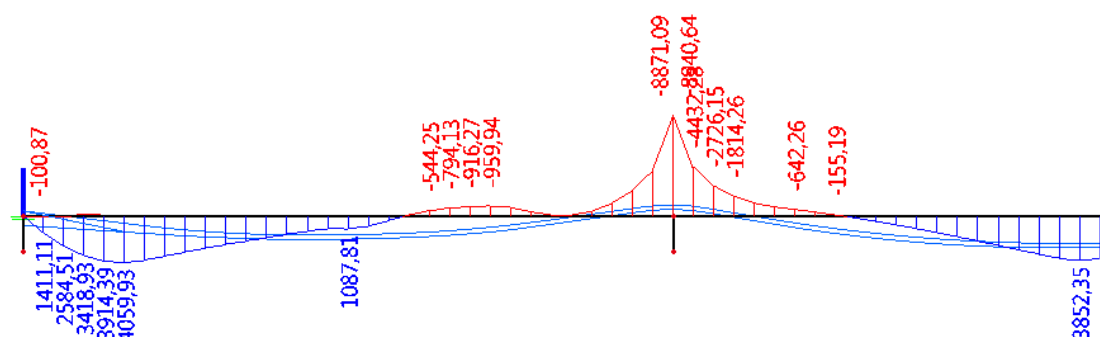
$$4,576 \text{ MPa} < 18 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{c,max} \leq f_{ctm}$$

$$-1,517 \text{ MPa} \leq 3,5 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

5.3.6 Kvazistála kombinácia, čas t_{00}

Obsah kombinácie: $g_{0,k}$, $P_{k,t00,inf}$, $g_{1,k,sup}$



Obrázok 5.9: Priebeh momentov pre danú kombináciu.

Poloha			Prierezové charakteristiky				Vnútné sily		$M_{Ek,max} + N_{Ek}$	
Prvok	Rez		A_c	W_h	W_d	$P_{k(t)}$	$M_{Ek,max}$	N_{Ek}	$\sigma_{c,h}$	$\sigma_{c,d}$
—	[m]		[m ²]	[m ³]	[m ³]	[kN]	[kNm]	[kN]	[MPa]	[MPa]
B1	Pole	5	11.871	6.654	3.805	$P_{k,t00,inf}$	4060	-30314	-3.164	-1.487
B1	Podpora	32	11.871	5.196	3.433	$P_{k,t00,inf}$	-8961	-30377	-0.835	-5.169
B2	Pole	20	11.871	6.595	3.731	$P_{k,t00,inf}$	3852	-29136	-3.039	-1.422

$$|\sigma_{c,min}| \leq 0,45 \cdot f_{ck}$$

$$5,169 MPa < 18 MPa \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{c,max} \leq f_{ctm}$$

$$-0,835 MPa \leq 3,5 MPa \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

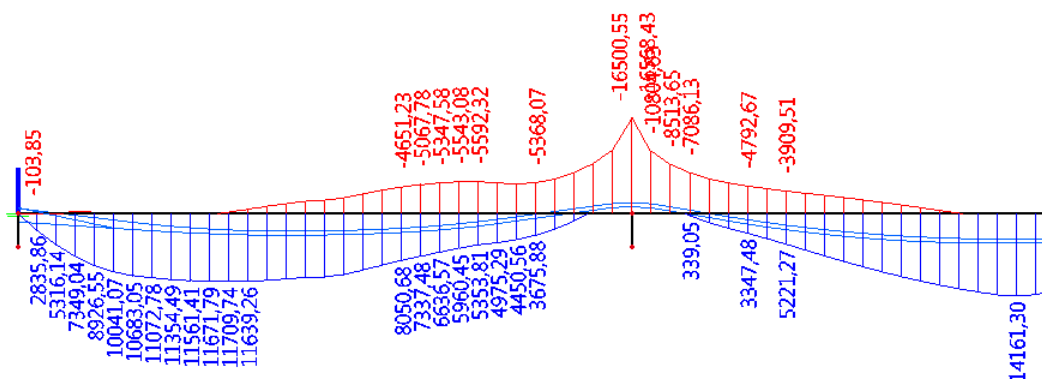
Konštrukcia vyhovuje na obmedzenie napätí v betóne.

5.3.7 Obmedzenie šírky trhlín

Stupeň protikoróznej ochrany: PL2

Pre dané parametre národná príloha povoľuje vznik trhlín v častej kombinácii

maximálnej veľkosti $w_{max} = 0,2 mm$.



Obrázok 5.10: Priebeh momentov pre danú kombináciu.

Poloha		Prierezové charakteristiky				Vnútorné sily		M _{Ek,max} +N _{Ek}		
Prvok		Rez	A _c	W _h	W _d	P _{k(t)}	M _{Ek,max}	N _{Ek}	σ _{c,h}	σ _{c,d}
–		[m]	[m2]	[m3]	[m3]	[kN]	[kNm]	[kN]	[MPa]	[MPa]
B1	Pole	11	11.871	6.661	3.791	P _{k,t00,inf}	11710	-31187	-4.385	0.461
B1	Podpora	32	11.871	5.196	3.433	P _{k,t00,inf}	-16568	-30466	0.622	-7.393
B2	Pole	20	11.871	6.595	3.731	P _{k,t00,inf}	14161	-29471	-4.630	1.313

$$\sigma_{c,max} \leq f_{ctm}$$

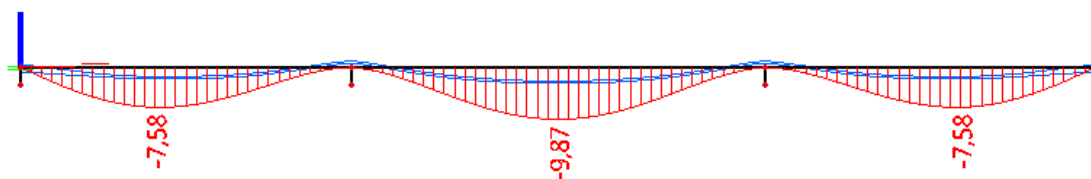
$1,313MPa \leq 3,5MPa \Rightarrow$ Od častej kombinácie nevznikne trhlina.

Konštrukcia vyhovuje na medzný stav obmedzenia trhlín.

5.4 Obmedzenie priehybu

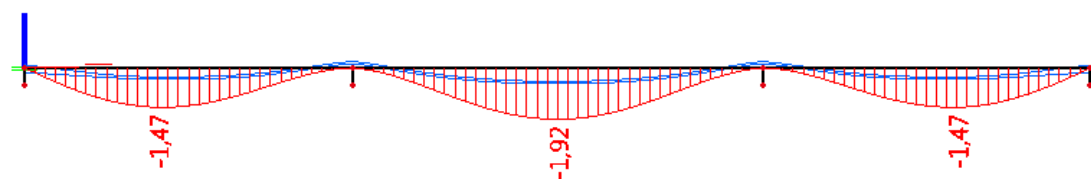
Okamžité (pružné) pretvorenia:

- Vlastná tiaž: $v_{st,g}(1) = 7,58mm$, $v_{st,g}(2) = 9,87mm$



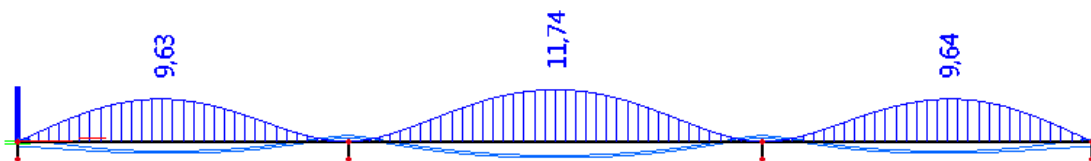
Obrázok 5.11: Priehyby od vlastnej tiaže.

- Ostatné stále: $v_{st,g1k}(1) = 1,47mm$, $v_{st,g1k}(2) = 1,92mm$



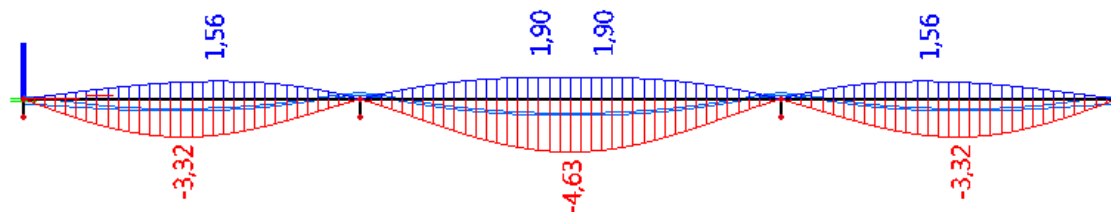
Obrázok 5.12: Priehyby od ostatného stáleho zaťaženia.

- Predpätie (t_0): $v_{st,p0}(1) = -9,63mm$, $v_{st,p0}(2) = -11,74mm$



Obrázok 5.13: Priehyby od predpätia.

- Nahodilé – časté hodnoty LM1: $v_{st,q\psi1}(1) = 3,32mm$, $v_{st,q\psi1}(2) = 4,62mm$



Obrázok 5.14: Priehyby od častých hodnôt LM1.

Pozn. V tomto prípade sú priehyby určované bez zahrnutia pomeru prenosu.

$$v_{t0}(1) = v_{st,g0} + v_{st,g1k} + v_{st,p0}$$

$$v_{t0}(1) = 7,58 + 1,47 - 9,63 = -0,58mm$$

$$v_{t0}(2) = v_{st,g0} + v_{st,g1k} + v_{st,p0}$$

$$v_{t0}(2) = 9,87 + 1,92 - 11,74 = 0,05mm$$

Dlhodobé pretvorenia:

Súčinitele dotvarovania:

$$\varphi(t_{g1k}, t_0) = 0,515$$

$$\varphi(t_{00}, t_0) = 1,747$$

$$\varphi(t_{00}, t_{g1k}) = \varphi(t_{00}, t_0) - \varphi(t_{g1k}, t_0) = 1,747 - 0,515 = 1,232$$

Pozn. Súčinitele dotvarovania boli vyčíslené podľa Eurokódu. Ich výpočet do statického výpočtu neuvádzam vzhľadom na to, že ručný výpočet je len kontrolný výpočet hodnôt z programu.

Pole 1:

$$v_{lt,g0} = \varphi(t_{00}, t_0) \cdot v_{st,g0} = 7,58 \cdot 1,747 = 13,24mm$$

$$v_{lt,g1k} = \varphi(t_{00}, t_{g1k}) \cdot v_{st,g1k} = 1,47 \cdot 1,232 = 1,81mm$$

$$\sigma' = \sigma_{m0} - 3/4 \cdot (\sigma_{m0} - \sigma_{m00}) = 1333,3 - 3/4 \cdot (1333,3 - 1206,4) = 1238,13MPa$$

$$v_{st,p'} = v_{st,p0} \cdot \frac{\sigma'}{\sigma_{m0}} = -9,63 \cdot \frac{1238,13}{1333,3} = -8,94mm$$

$$v_{lt,p} = v_{st,p'} \cdot \varphi(t_{00}, t_0) = -8,94 \cdot 1,747 = -15,62mm$$

$$v_{t00}(1) = v_{st,g0} + v_{lt,g0} + v_{st,g1k} + v_{lt,g1k} + v_{st,p0} + v_{lt,p}$$

$$v_{t00}(1) = 7,58 + 13,24 + 1,47 + 1,81 - 9,63 - 15,62 = -1,15mm$$

Pole 2:

$$v_{lt,g0} = \varphi(t_{00}, t_0) \cdot v_{st,g0} = 9,87 \cdot 1,747 = 17,24mm$$

$$v_{lt,g1k} = \varphi(t_{00}, t_{g1k}) \cdot v_{st,g1k} = 1,92 \cdot 1,232 = 2,37mm$$

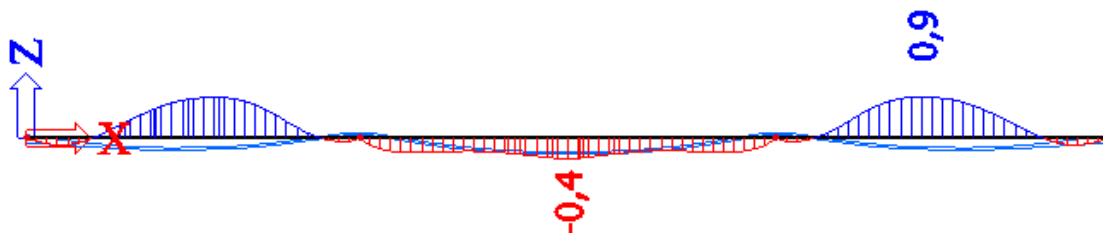
$$\sigma' = \sigma_{m0} - 3/4 \cdot (\sigma_{m0} - \sigma_{m00}) = 1244,6 - 3/4 \cdot (1244,6 - 1135,9) = 1163,1 \text{ MPa}$$

$$v_{st,p'} = v_{st,p0} \cdot \frac{\sigma'}{\sigma_{m0}} = -11,74 \cdot \frac{1163,1}{1244,6} = -10,97 \text{ mm}$$

$$v_{lt,p} = v_{st,p'} \cdot \varphi(t_{00}, t_0) = -10,97 \cdot 1,747 = -19,16 \text{ mm}$$

$$v_{t00}(2) = v_{st,g0} + v_{lt,g0} + v_{st,g1k} + v_{lt,g1k} + v_{st,p0} + v_{lt,p}$$

$$v_{t00}(2) = 9,87 + 17,24 + 1,92 + 2,37 - 11,74 - 19,16 = 0,5 \text{ mm}$$



Obrázok 5.15: Výsledný priebeh v čase t_{00} v module TDA od stálych zložiek.

Priehyby v programe SCIA engineer s malou odchylkou odpovedajú ručne vypočítaným hodnotám.

Posúdenie limitného priehybu:

Maximálna prípustná hodnota priehybu pre pole 1:

$$v_{lim}(1) = L / 600 = 32000 / 600 = 53,33 \text{ mm}$$

$$v_{max}(1) = v_{st,q\psi/1}(1) + v_{t00}(1) = -1,56 - 1,15 = 2,71 \text{ mm}$$

$$v_{max}(1) \leq v_{lim}(1)$$

$$2,71 \text{ mm} < 53,33 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Maximálna prípustná hodnota priehybu pre pole 2:

$$v_{lim}(2) = L / 600 = 40000 / 600 = 66,67 \text{ mm}$$

$$v_{max}(2) = v_{st,q\psi/1}(2) + v_{t00}(2) = 0,5 + 4,63 = 5,13 \text{ mm}$$

$$v_{max}(2) \leq v_{lim}(2)$$

$$5,13 \text{ mm} < 66,67 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Konstruktia vyhovuje na obmedzenie priehybu.

6 Medzný stav únosnosti

6.1 Posúdenie namáhania na M+N

6.1.1 Kombinácie pre medzný stav únosnosti

Rovnica 6.10a:
$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Rovnica 6.10b:
$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$\gamma_{G,\text{sup}} = 1,35; \gamma_{G,\text{inf}} = 1,0$

$\gamma_P = 1,0$

$\gamma_{Q,1} = 1,35$

$\varepsilon = 0,85$

Pre zostavu gr1a:

TS: $\psi_0 = 0,75$

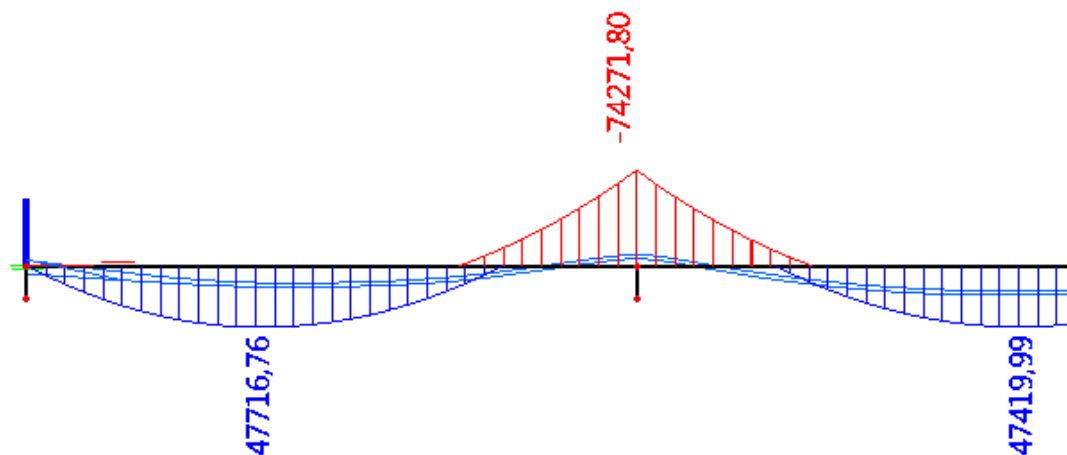
UDL: $\psi_0 = 0,4$

Chodci: $\psi_0 = 0,4$

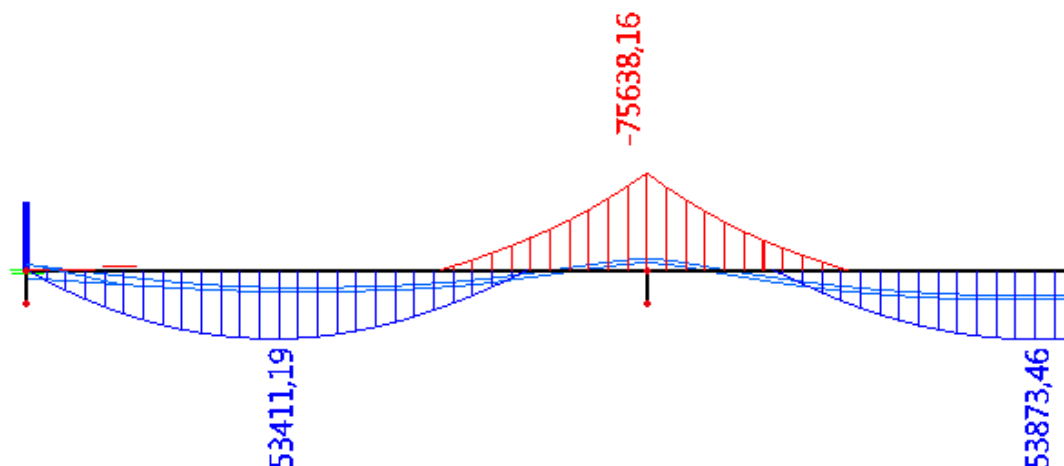
Pre zostavu gr5:

$\psi_0 = 0$

Vnútorne sily pre jednotlivé kombinácie bez predpätia



Obrázok 6.1: M_{Fd} pre 6.10a



Obrázok 6.2: M_{Fd} pre 6.10b.

Pre posúdenie medzného stavu použiteľnosti je rozhodujúca kombinácia 6.10b, ktorá bude ďalej používaná pre všetky druhy namáhania.

6.1.2 Definovanie rezov, odpovedajúce vnútorné sily

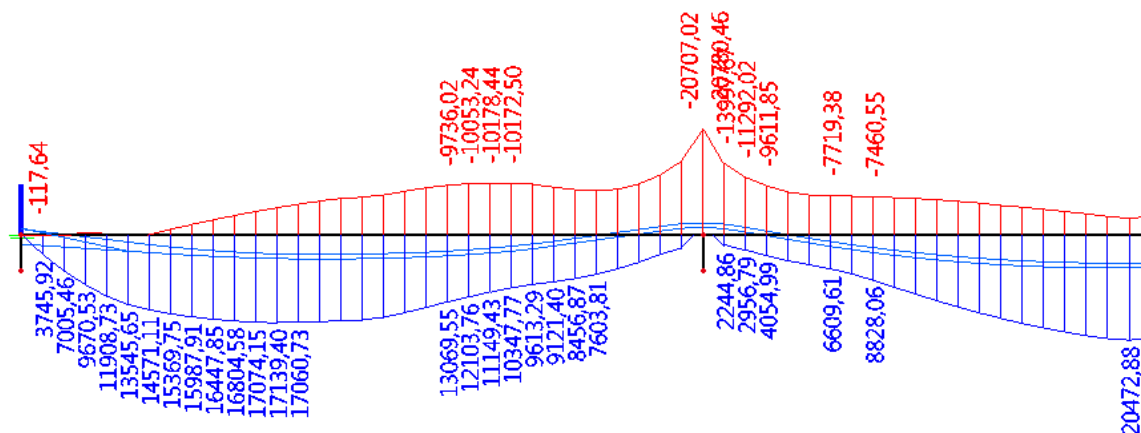
- Konštrukciu v medznom stave únosnosti posudzujeme v čase $t_{00}=100$ rokov
- Posudzujeme kritický prierez v poli B a prierez v podpore
- Návrhový diagram ocele – používame diagram bez spevnenia

Normálové sily v čase t_{00} – charakteristická hodnota:

V poli B: $N_{Ek} = \sigma_{pm,t00} \cdot A_{pr} = 1159792 \cdot 0,0285 = 33054 kN$

V podpore: $N_{Ek} = \sigma_{pm,t00} \cdot A_{pr} = 1191096 \cdot 0,0285 = 33946 kN$

(Napätia vid'. kapitola 4.3.2)



Obrázok 6.3: Charakteristická kombinácia v t_{00} , $P_{m,t00}$.

6.1.3 Určenie základného napätia

Prvok	Rez	Umiestnenie	M_{Fd}	N_{Ek}	M_{Ek}	I_{cr}	A_{cr}	e_{pr}	σ_{pt}
			[kNm]	[kN]	[kNm]	[m ⁴]	[m ²]	[mm]	[MPa]
B1	32	podpora	-75638.16	-33946	-20780.5	5.761	10.385	532	1191.09
B2	20	pole B	53873.46	-33054	20472.88	6.645	11.87052	1435	1159.79

M_{Fd} – Moment od zaťaženia z kombinácia 6.10b bez účinku predpätia

N_{Ek} – Normálová sila z charakteristickej kombinácie

M_{Ek} – Moment z charakteristickej kombinácie

I_{cr} – Moment zotrvačnosti oslabeného betónového prierezu

A_{cr} – Plocha oslabeného betónového prierezu

e_{pr} – Vzdialenosť ťažiska predpínacej výstuže od ťažistej osi

σ_{pt} – Napätie vo výstuži v charakteristickej kombinácii

Podpora:

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ek}}{A_{cr}} + \frac{M_{Ek}}{I_{cr}} \cdot e_{pr} = \frac{-33945}{10,385} - \frac{20780,5}{5,929} \cdot 0,532 = -5,190 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{pt}^0 = \sigma_{p,t} + \frac{E_c}{E_{cm}} \cdot \sigma_{cp} = 1191,09 - \frac{35}{195} \cdot 5,190 = 1162,184 \text{ MPa}$$

$$P_{d,t}^0 = \gamma_p \cdot A_p \cdot \sigma_{pt}^0 = 1,0 \cdot 0,0285 \cdot 1162184 = 33122,3 \text{ kN}$$

$$\varepsilon_p^0 = \sigma_{pt}^0 / E_p = 1162,184 / 195 = 5,960\text{‰}$$

Pole:

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ek}}{A_{cr}} + \frac{M_{Ek}}{I_{cr}} \cdot e_{pr} = \frac{-33054}{11,871} - \frac{20472,9}{6,832} \cdot 1,435 = 1,637 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{pt}^0 = \sigma_{p,t} + \frac{E_c}{E_{cm}} \cdot \sigma_{cp} = 1159,79 + \frac{35}{195} \cdot 1,637 = 1168,908 \text{ MPa}$$

$$P_{d,t}^0 = \gamma_p \cdot A_p \cdot \sigma_{pt}^0 = 1,0 \cdot 0,0285 \cdot 1168908 = 332313,88 \text{ kN}$$

$$\varepsilon_p^0 = \sigma_{pt}^0 / E_p = 1168,908 / 195 = 5,994\text{‰}$$

6.1.4 Výpočet ohybovej únosnosti – podpora

Návrhové účinky na prierez:

$$M_{Ed} = 36371,58 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -33122,25 \text{ kN}$$

Rovnováha síl:

$$\Delta\sigma_p = f_{pd} - \sigma_{pt,0} = 1393,1 - 1162,184 = 229,116 \text{ MPa}$$

$$\Delta F_{pt} = \Delta\sigma_p \cdot A_{pr} = 229,116 \cdot 0,0285 \cdot 10^3 = 6529,80 \text{ kN}$$

$$F_{cc} = N_{Ed} + \Delta F_{pt} = 33122,25 + 6529,780 = 39652,05 \text{ kN}$$

$$A_{cc} = F_{cc} / f_{cd} = 39,65205 / 24 = 1652169 \text{ mm}^2$$

$$x_c = 637 \text{ mm} \text{ získané z autoCADu}$$

$$x = x_c / 0,8 = 637 / 0,8 = 796 \text{ mm}$$

Pretvorenie na medzi klzu:

$$\varepsilon_{pyd} = \frac{f_{pd}}{E_p} = \frac{1391,3}{195} = 7,135\text{‰}$$

Pretvorenie predpínacej výstuže najbližšie k N.O.:

$$\Delta\varepsilon_{p1} = \frac{\varepsilon_{cu,3}}{x} \cdot 1266 = \frac{3,5}{796} \cdot 1266 = 5,567\text{‰}$$

$$\varepsilon_{p1} = \Delta\varepsilon_{p1} + \varepsilon_p^0 = 5,567 + 5,960 = 11,527\text{‰}$$

Podmienka ťahového porušenia:

$$\varepsilon_{p1} \geq \varepsilon_{pyd}$$

$$11,527\text{‰} \geq 7,135\text{‰} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Ramená vnútorných síl:

$$z_{cc} = 1278 \text{ mm}$$

$$z_{pt} = 532 \text{ mm}$$

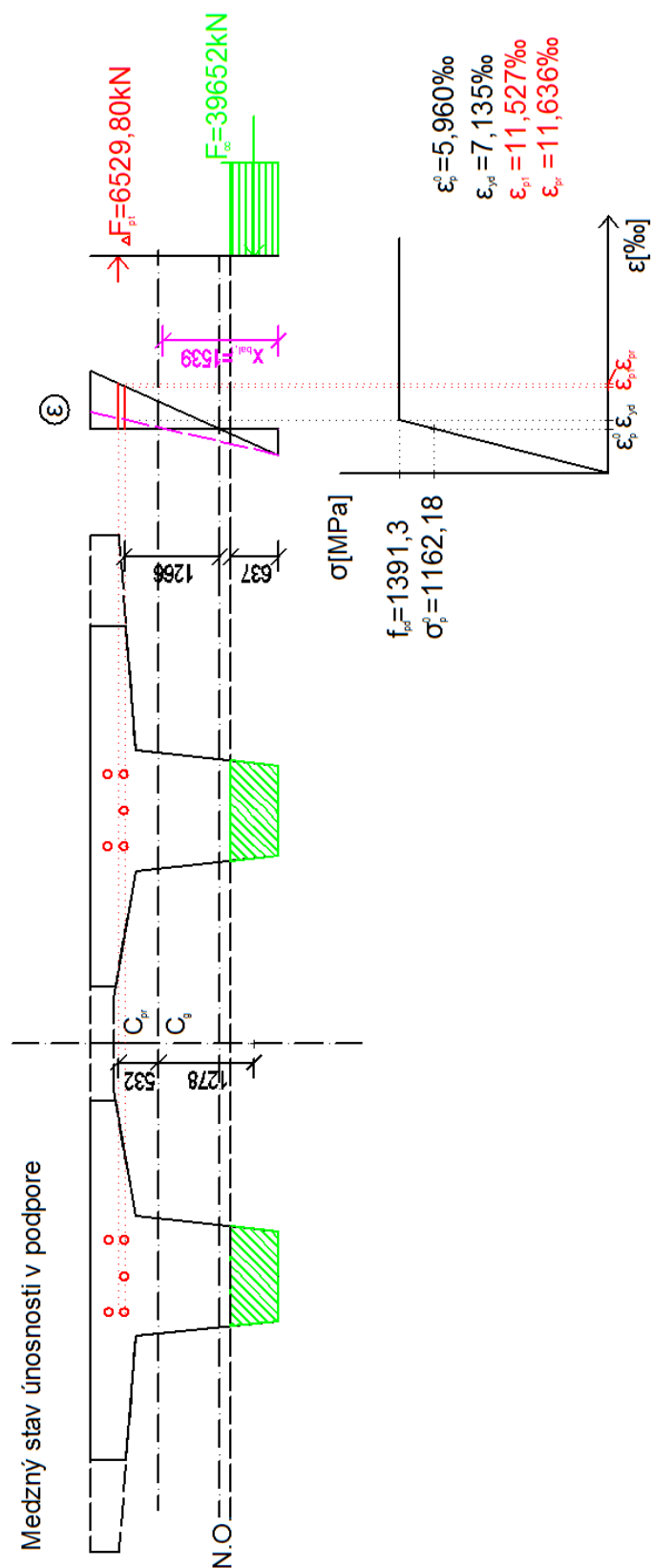
Únosnosť v ohybe:

$$M_{Rd} = \Delta F_{pt} \cdot z_{pt} + F_{cc} \cdot z_{cc} = 6529,78 \cdot 0,532 + 39652,05 \cdot 1,278 = 54149,2 \text{ kNm}$$

Posúdenie:

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$54149,2 \text{ kNm} \geq 36371,58 \text{ kNm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



6.1.5 Výpočet ohybovej únosnosti – pole**Návrhové účinky na prierez:**

$$M_{Ed} = 32401,17 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -33283,7 \text{ kN}$$

Rovnováha síl:

$$\Delta\sigma_p = f_{pd} - \sigma_{pt,0} = 1393,1 - 1168,91 = 222,39 \text{ MPa}$$

$$\Delta F_{pt} = \Delta\sigma_p \cdot A_{pr} = 222,39 \cdot 0,0285 \cdot 10^3 = 6338,18 \text{ kN}$$

$$F_{cc} = N_{Ed} + \Delta F_{pt} = 33313,87 + 6338,18 = 39652,05 \text{ kN}$$

$$A_{cc} = F_{cc} / f_{cd} = 39,65205 / 24 = 1,652169 \text{ mm}^2$$

$$x_c = 122 \text{ mm} \text{ získané z autoCADu}$$

$$x = x_c / 0,8 = 122 / 0,8 = 153 \text{ mm}$$

Pretvorenie na medzi klzu:

$$\varepsilon_{pyd} = \frac{f_{pd}}{E_p} = \frac{1391,3}{195} = 7,135\text{‰}$$

Pretvorenie predpinacej výstuže najbližšie k N.O.:

$$\Delta\varepsilon_{p1} = \frac{\varepsilon_{cu,3}}{x} \cdot 1966 = \frac{3,5}{153} \cdot 1966 = 44,97\text{‰}$$

$$\varepsilon_{p1} = \Delta\varepsilon_{p1} + \varepsilon_p^0 = 44,97 + 5,994 = 50,964\text{‰}$$

Podmienka ťahového porušenia:

$$\varepsilon_{p1} \geq \varepsilon_{pyd}$$

$$50,964\text{‰} \geq 7,135\text{‰} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Ramená vnútorných síl:

$$z_{cc} = 849 \text{ mm}$$

$$z_{pt} = 1435 \text{ mm}$$

Únosnosť v ohybe:

$$M_{Rd} = \Delta F_{pt} \cdot z_{pt} + F_{cc} \cdot z_{cc} = 6338,18 \cdot 1,435 + 38794,67 \cdot 0,749 = 38794,67 \text{ kNm}$$

Posúdenie:

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$38794,67 \text{ kNm} \geq 32401,17 \text{ kNm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Konštrukcia v medznom stave únosnosti vyhovuje na namáhanie momentom a normálovou silou.

Most nad místní komunikací a potokem

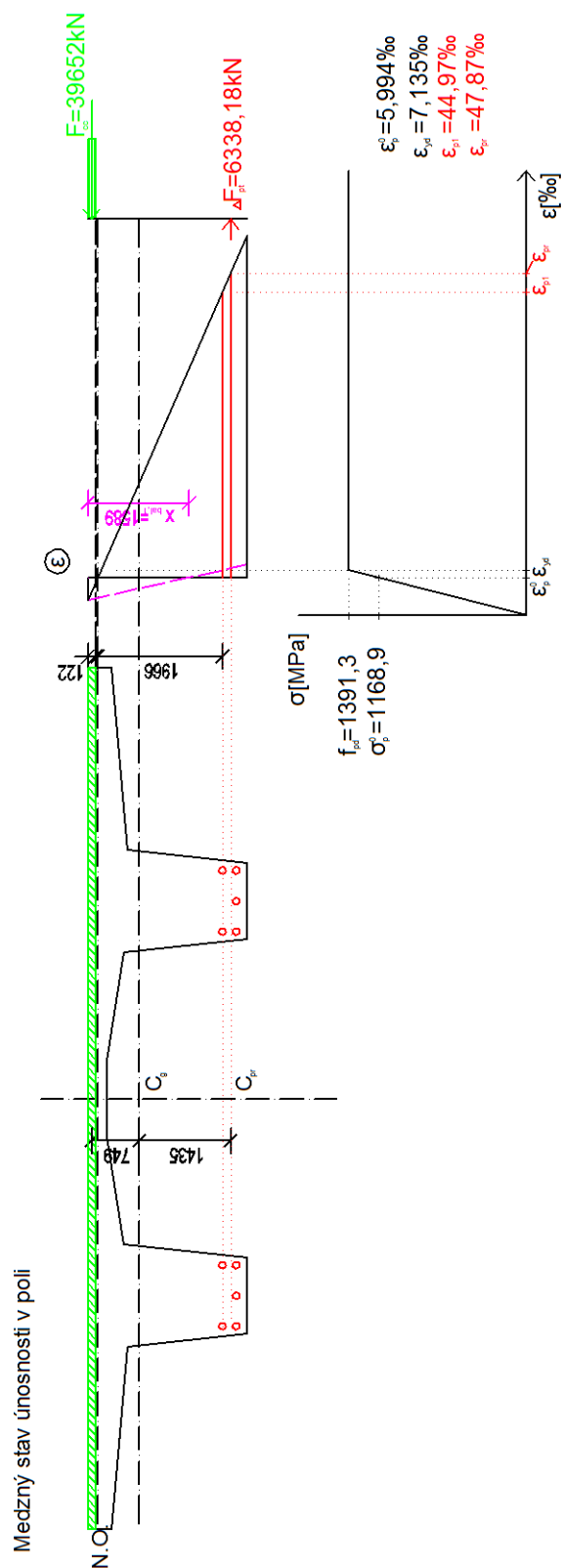
Diplomová práce

Statický výpočet nosné konstrukce

Vysoké učení technické v Brně

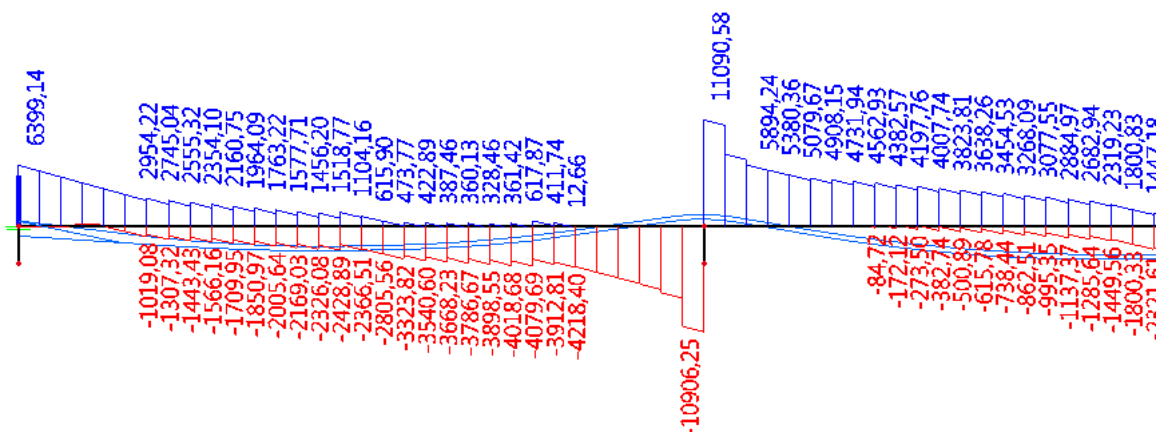
Fakulta stavební

Ústav betonových a zděných konstrukcí

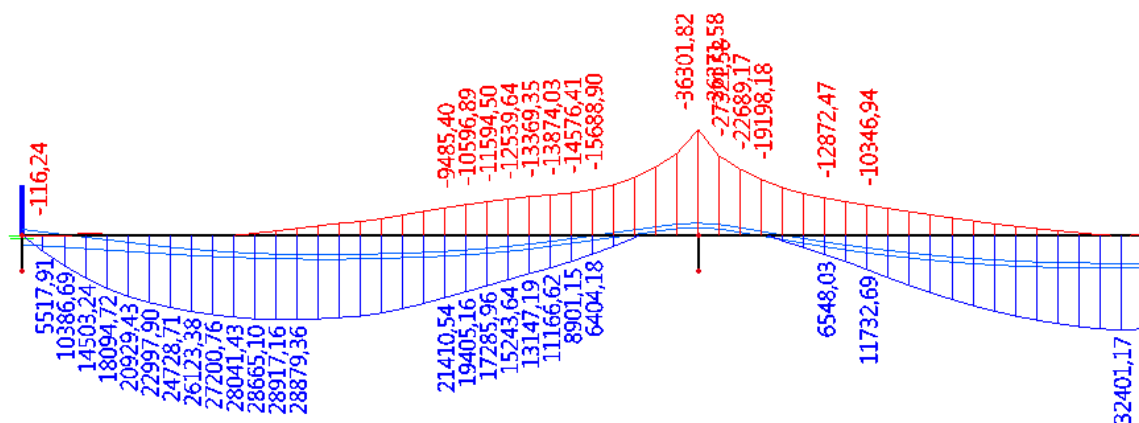


6.2 Namáhanie posúvajúcou silou

6.2.1 Vnútné sily



Obrázok 6.4: V_{Ed} (od 6.10b).



Obrázok 6.5: M_{Ed} (od 6.10b).

6.2.2 Určenie medze vzniku trhlin

Podmienka vzniku trhlin: $f_{ctd} < \sigma_{ctd}$, $f_{ctd} = 1,667 MPa$

Poloha medze trhlin v okolí podpory 1:

$$\sigma_{ctd,dol} = \frac{N_{Ed}}{A_{cr}} + \frac{M_{Ed}}{W_d}, \quad \sigma_{ctd,hor} = \frac{N_{Ed}}{A_{cr}} - \frac{M_{Ed}}{W_h}$$

M_{Ed} , V_{Ed} , N_{Ed} – Vnútné sily pre ULS podľa kombinácie 6.10b

A_{cr} – plocha oslabeného betónového prierezu

W_d , W_h – prierezový modul

Pre zjednodušenie počítame s prierezovými charakteristikami v reze 4m.

Rez	M_{Ed}	N_{Ed}	V_{Ed}	A_{cr}	W_d	W_h	$\sigma_{ctd,hor}$	$\sigma_{ctd,dol}$
[m]	[kNm]	[kN]	[kN]	[m ²]	[m ³]	[m ³]	[MPa]	[MPa]
1	5517.91	-34294.92	5780.96	11.871	3.806	6.656	-3.718	-1.439
2	10386.69	-34305.61	5164.67	11.871	3.806	6.656	-4.450	-0.161
3	14503.24	-34316.30	4551.15	11.871	3.806	6.656	-5.070	0.920
4	18094.72	-34360.20	3940.62	11.871	3.806	6.656	-5.613	1.860
5	20929.43	-34437.50	3329.49	11.871	3.806	6.656	-6.046	2.598

Prierez 4: $1,860MPa > 1,667MPa \Rightarrow$ Vznik trhlin

Lineárna interpolácia miesta vzniku trhlin:

$$x = 3 + \frac{1}{1,86 - 0,920} \cdot 1,667 = 4,773m$$

Vznik trhlin nad podporou – rez 32m:

$$\sigma_{ctd,hor} = \frac{N_{Ed}}{A_{cr}} - \frac{M_{Ed}}{W_h} = \frac{-33371,58}{11,870} + \frac{36371,58}{5,196} = 9,811MPa$$

$$\sigma_{ctd,dol} = \frac{N_{Ed}}{A_{cr}} - \frac{M_{Ed}}{W_h} = \frac{-33371,58}{11,870} - \frac{36371,58}{3,433} = -7,784MPa$$

$9,811MPa > 1,667MPa \Rightarrow$ Trhliny vzniknú

Vznik trhlin vo vzdialenosti d od podpory – rez 30m:

$$\sigma_{ctd,hor} = \frac{N_{Ed}}{A_{cr}} - \frac{M_{Ed}}{W_h} = \frac{-33392,17}{11,870} + \frac{23547,98}{5,196} = 1,721MPa$$

$$\sigma_{ctd,dol} = \frac{N_{Ed}}{A_{cr}} - \frac{M_{Ed}}{W_h} = \frac{-33392,17}{11,870} - \frac{23547,98}{3,433} = -9,672MPa$$

$1,721MPa > 1,667MPa \Rightarrow$ Trhliny vzniknú

Vznik trhlin vo vzdialenosti d od podpory – rez 34m:

$$\sigma_{ctd,hor} = \frac{N_{Ed}}{A_{cr}} - \frac{M_{Ed}}{W_h} = \frac{-33356,23}{11,870} + \frac{22659,17}{5,196} = 1,551MPa$$

$$\sigma_{ctd,dol} = \frac{N_{Ed}}{A_{cr}} - \frac{M_{Ed}}{W_h} = \frac{-33356,23}{11,870} - \frac{22659,17}{3,433} = -9,411MPa$$

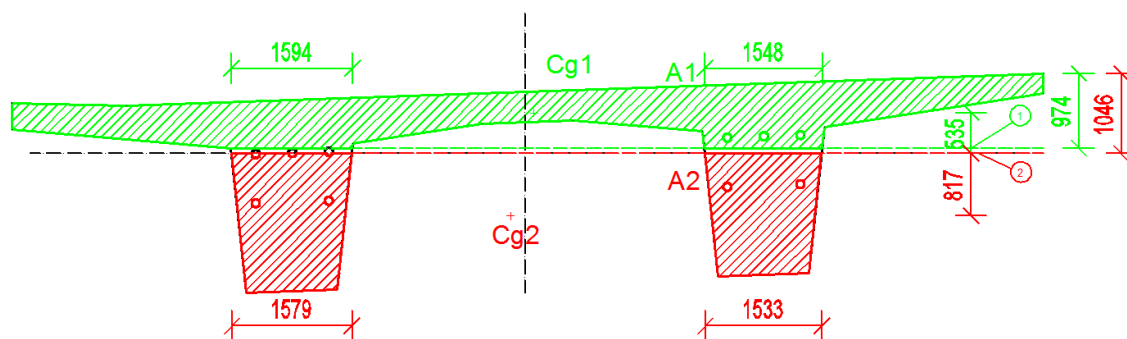
$1,551MPa < 1,667MPa \Rightarrow$ Trhliny nevzniknú

6.2.3 Únosnosť bez šmykovej výstuže

Rez 1m – neporušený prierez

Minimálnu šmykovú únosnosť skúmame v kritických rezoch podľa obrázku.

$$V_{Ed} = 5780,96kN$$



Rez 1:

$$b_{w,nom} = b_w - 1,2 \cdot 3 \cdot \theta_k = 1579 + 1533 - 1,2 \cdot 3 \cdot 106 = 3015 \text{ mm}$$

$$S = A_1 \cdot t_1 = 7,043 \cdot 0,535 = 3,766 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{cd} = \sigma_{ctd,dol} + \frac{\sigma_{ctd,hor} - \sigma_{ctd,dol}}{h} \cdot (h - a_1)$$

$$\sigma_{cd} = -1,439 + \frac{-3,718 + 1,439}{2,867} \cdot (2,867 - 0,974) = -2,944 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = \frac{I_{cr} \cdot b_w}{S} \cdot \sqrt{f_{ctd}^2 + \alpha_l \cdot \sigma_{cd} \cdot f_{ctd}}$$

$$V_{Rd,c} = \frac{6,94 \cdot 3,015}{3,766} \cdot \sqrt{1,667^2 + 1 \cdot 2,966 \cdot 1,667} = 15441 \text{ kN}$$

Rez 2:

$$b_{w,nom} = b_w - 1,2 \cdot \theta_k = 1594 + 1548 - 1,2 \cdot 106 = 2730 \text{ mm}$$

$$S = A_1 \cdot t_1 = 4,62 \cdot 0,614 = 3,773 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{cd} = \sigma_{ctd,dol} + \frac{\sigma_{ctd,hor} - \sigma_{ctd,dol}}{h} \cdot (h - a_1)$$

$$\sigma_{cd} = -1,439 + \frac{-3,718 + 1,439}{2,867} \cdot (2,867 - 1,046) = -2,887 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = \frac{I_{cr} \cdot b_w}{S} \cdot \sqrt{f_{ctd}^2 + \alpha_l \cdot \sigma_{cd} \cdot f_{ctd}}$$

$$V_{Rd,c} = \frac{6,94 \cdot 2,73}{3,773} \cdot \sqrt{1,667^2 + 1 \cdot 2,887 \cdot 1,667} = 13836 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$V_{Rd,c} = 13836 \text{ kN} > V_{Ed} = 5780,96 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd} \cdot \nu$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot 2,4 \cdot 0,855 \cdot 25 \cdot 0,6 \cdot \left[1 - \frac{40}{250} \right] = 12927,6 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = 12927,6 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 6399,1 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

V oblasti v okolí opory neporušené šmykovými trhlinami postačuje konstrukční šmyková výstuž.

Rez 4m – porušený prierez:

$$V_{Ed} = 3941 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = \left[c_{rdc} \cdot k (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{1514}} = 1,363 < 2,0$$

$$\rho_{sl} = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{4 \cdot 150 \cdot 19}{2400 \cdot 1514} = 3,137 \cdot 10^{-3} < 0,02$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = \frac{34360,20}{11,87} = 2,895 \text{ MPa} < 0,2 \cdot f_{cd} = 0,2 \cdot 25 = 5 \text{ MPa}$$

$$c_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$k_1 = 0,15$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,297^{3/2} \cdot 40^{1/2} = 0,327$$

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = (0,327 + 0,15 \cdot 2,895) \cdot 3,2 \cdot 1514 = 3688 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 \cdot 1,363 \cdot (100 \cdot 3,137 \cdot 10^{-3} \cdot 40)^{1/3} + 0,15 \cdot 2,895 \right] \cdot 3200 \cdot 1514 = 3945 \text{ kN} > 3488 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$V_{Rd,c} = 3945 \text{ kN} < V_{Ed} = 3941 \text{ kN} \Rightarrow \text{Šmyková výstuž konštrukčne}$$

Rez 30m – porušený prierez:

$$V_{Ed} = 6848,95 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = \left[c_{rdc} \cdot k (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{2094}} = 1,309 < 2,0$$

$$\rho_{sl} = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{6 \cdot 150 \cdot 19}{3200 \cdot 2094} = 2,552 \cdot 10^{-3} < 0,02$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = \frac{33392,17}{11,87} = 2,813 \text{ MPa} < 0,2 \cdot f_{cd} = 0,2 \cdot 25 = 5 \text{ MPa}$$

$$c_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$k_1 = 0,15$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,297^{3/2} \cdot 40^{1/2} = 0,327$$

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = (0,327 + 0,15 \cdot 2,813) \cdot 2,4 \cdot 2094 = 3764 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 \cdot 1,309 \cdot (100 \cdot 2,552 \cdot 10^{-3} \cdot 40)^{1/3} + 0,15 \cdot 2,813 \right] \cdot 3,2 \cdot 2094 = 4265,8 \text{ kN} > 3764 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$V_{Rd,c} = 4005,4 \text{ kN} < V_{Ed} = 6848,95 \text{ kN} \Rightarrow \text{Nutná šmyková výstuž}$$

6.3 Krútenie

Účinky od krútenia budeme posudzovať v reze $x = 32\text{m}$, teda nad podporou 2. Toto miesto je rozhodujúce z hľadiska extrémov od krútenia, posúvajúcej sily a aj vzhľadom na vznik ohybových trhlin. Účinky krútenia prevedieme na posúvajúcu silu a následne spoločne navrhujeme výstuž na interakciu šmyku od krútenia a od posúvajúcej sily.

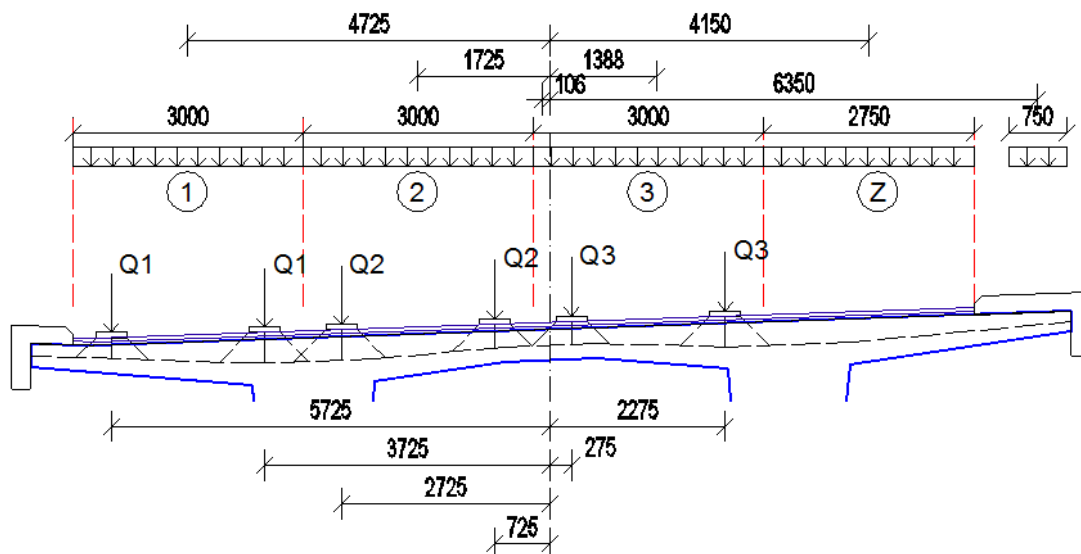
6.3.1 Zaťaženie

Ostatné stale zaťaženie

Prídavný krútiaci moment vyvoláva aj zaťaženie od ríms.

$$M_{k,glk} = \gamma(A_{rl} \cdot r_l - A_{rp} \cdot r_p) = 25 \cdot (0,334 \cdot 6,756 - 0,509 \cdot 6,466) = -25,867 \text{ kNm} / m$$

Zaťaženie od dopravy



Obrázok 6.6: Zostava gr1a, postavenie pre maximálnu posúvajúcu silu.

LM1 – Odpovedajúci moment pre maximálnu posúvajúcu silu:

$$M_{TS,1br} = 150 \cdot (5,725 + 3,725) + 100 \cdot (2,725 + 0,725) - 50 \cdot (0,275 + 2,275) = 1635 \text{ kNm}$$

$$M_{UDL} = 9 \cdot 3 \cdot 4,725 + 6 \cdot 3 \cdot 1,725 + 3 \cdot 0,212 \cdot 0,106 - 3 \cdot 2,788 \cdot 1,388 - 3 \cdot 2,75 \cdot 4,15 - 3 \cdot 0,75 \cdot 6,35$$

$$M_{UDL} = 98,56 \text{ kNm} / m$$

LM1 – Maximálny krútiaci moment:

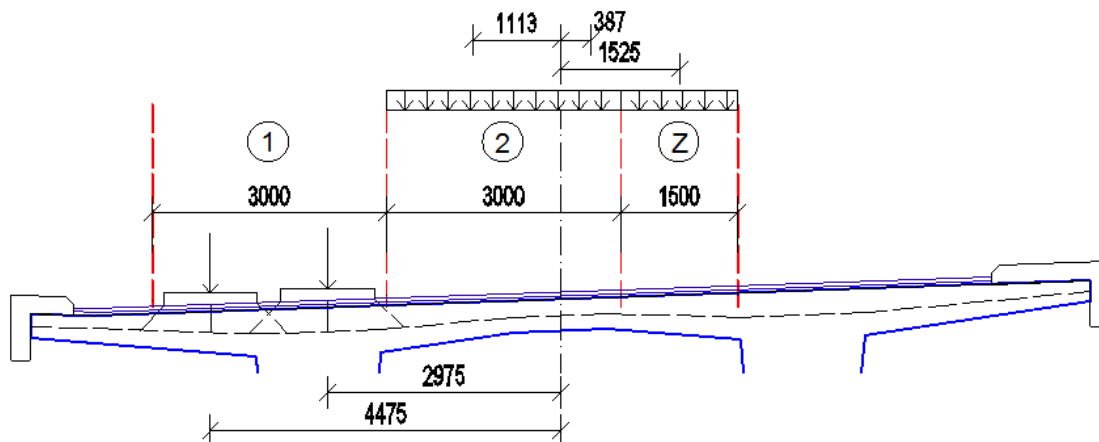
$$M_{TS,1br} = 150 \cdot (5,725 + 3,725) + 100 \cdot (2,725 + 0,725) = 1762,5 \text{ kNm}$$

$$M_{UDL} = 9 \cdot 3 \cdot 4,725 + 6 \cdot 3 \cdot 1,725 + 3 \cdot 0,212 \cdot 0,106 = 158,692 \text{ kNm} / m$$

$$TS : Q_k = 500 \cdot 1,38 = 690 \text{ kN}$$

$$UDL : q_k = (3 \cdot 9 + 3 \cdot 6 + 0,225 \cdot 3) \cdot 1,28 = 58,464 \text{ kNm} / m$$

Postavenie pre maximálny krútiaci moment nie je uvedené, ale ako je už zrejmé z výpočtu, počíta sa len so zaťažením na ľavej strane mostu.



Obrázok 6.7: Zostava gr5 – LM3 1800/200, postavenie pre maximálnu posúvajúcu silu

LM3 – 1800/200 – Odpovedajúci moment pre maximálnu posúvajúcu silu:

$$M_{lbr} = 100 \cdot 1,25 \cdot (4,475 + 2,975) = 931,25 \text{ kNm}$$

$$M_{UDL} = 6 \cdot (2,225 \cdot 1,113 - 0,775 \cdot 0,387) - 3 \cdot 1,5 \cdot 1,525 = 6,197 \text{ kNm} / m$$

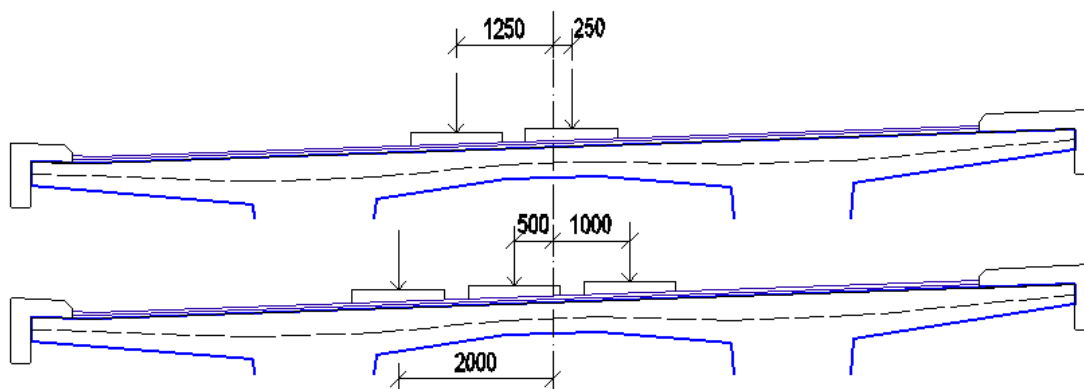
LM3 – 1800/200 – Maximálny krútiaci moment:

$$M_{lbr} = 100 \cdot 1,25 \cdot (4,475 + 2,975) = 931,25 \text{ kNm}$$

$$M_{UDL} = 6 \cdot 2,225 \cdot 1,113 = 14,859 \text{ kNm} / m$$

$$TS : Q_k = 200 \cdot 1,25 \cdot 1,55 = 387,5 \text{ kN}$$

$$UDL : q_k = 6 \cdot 2,225 \cdot 1,05 = 14,018 \text{ kN} / m$$



Obrázok 6.8: Zostava gr5 – LM3 3000/240

Pozn. Vozidlo sa môže pohybovať po moste s maximálnou odchýlkou 0,5 m od osi mostu.

LM3 – 3000/240 – odpovedajúci moment pre maximálnu posúvajúcu silu:

$$M_{k,1} = 60 \cdot 1,05 \cdot (1,25 - 0,25) = 63 \text{ kNm}$$

$$M_{k,2-13} = 80 \cdot 1,05 \cdot (2 + 0,5 - 1) = 126 \text{ kNm}$$

LM3 – 3000/240 – maximálny krútiaci moment:

$$M_{k,1} = 60 \cdot 1,05 \cdot 1,25 = 78,75 \text{ kNm}$$

$$M_{k,2-13} = 80 \cdot 1,05 \cdot (2 + 0,5) = 210 \text{ kNm}$$

$$TS_1 : q_k = 60 \cdot 1,05 \cdot 1,11 = 69,93 \text{ kN / m}$$

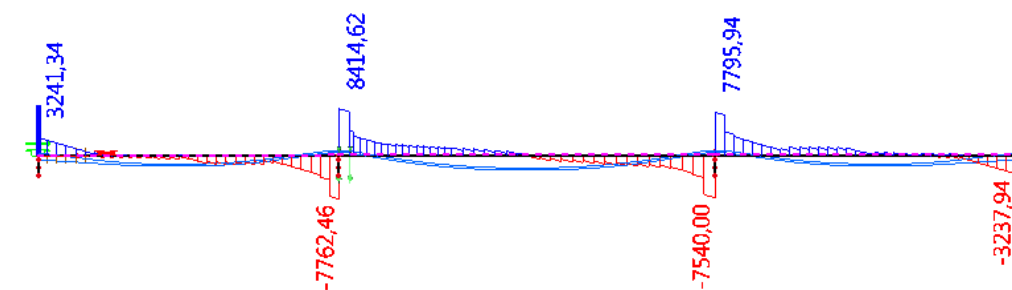
$$TS_{2-13} : Q_k = 160 \cdot 1,05 \cdot 1,11 = 186,48 \text{ kN}$$

Postavenie zaťažovacej sústavy LM3 1800/200 v pozdĺžnom smere je znázornené v kapitole 8.1. na obrázku 8.2, ostatné sústavy boli umiestnené analogicky.

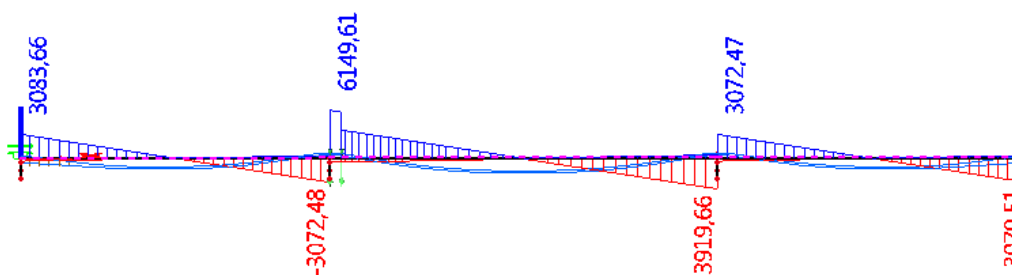
6.3.2 Vnútorne sily

Pri výpočte vnútorných síl bola použitá vždy kombinácia 6.10b.

LM1 – Maximálny krútiaci moment

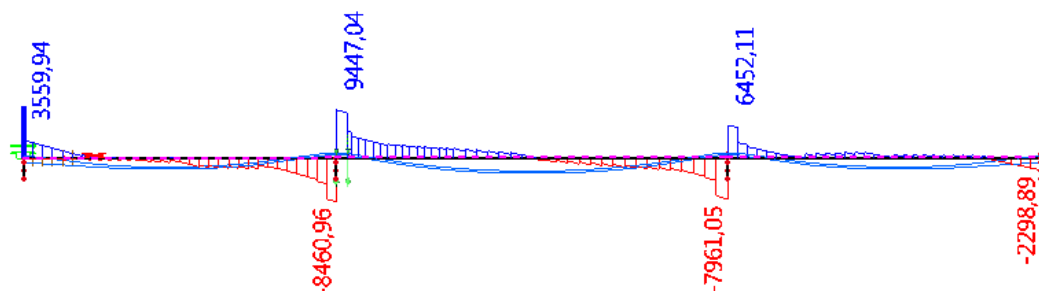


Obrázok 6.9: Posúvajúce sily (V_z)

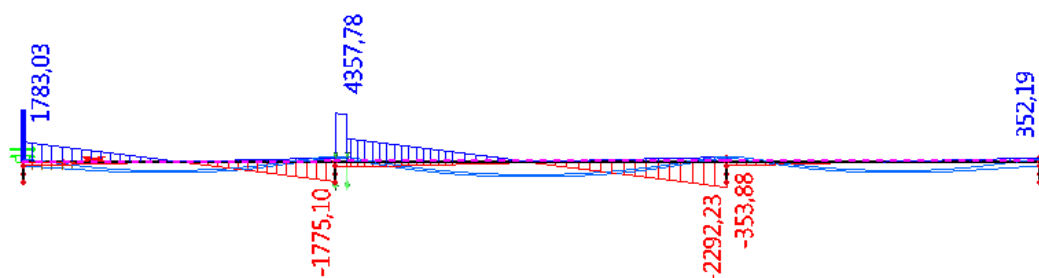


Obrázok 6.10: Krútiace momenty (M_k)

LM1 – Maximální posouvající síla

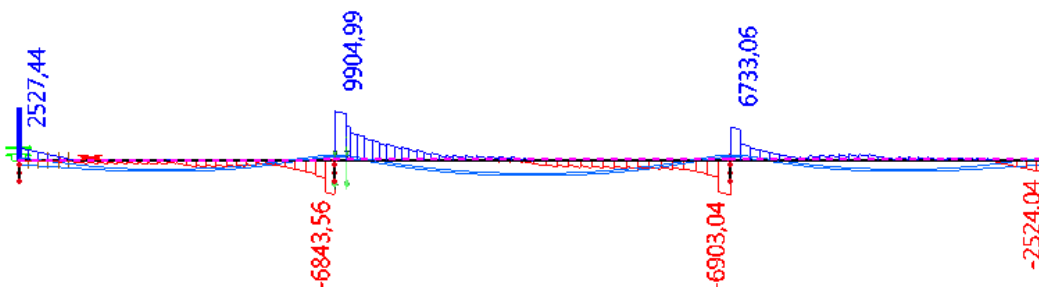


Obrázok 6.11: Posouvající síly (V_z)

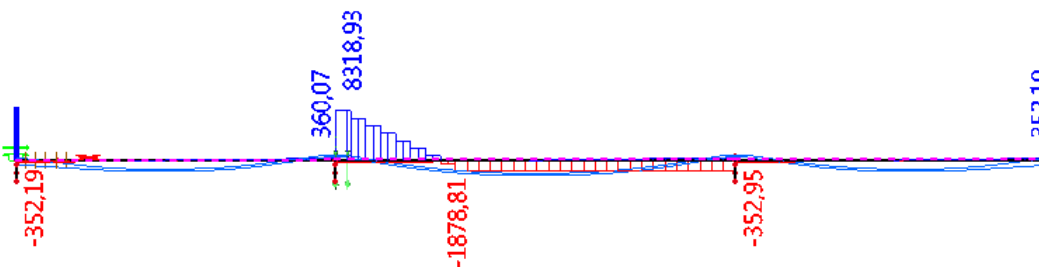


Obrázok 6.12: Krútiace momenty (M_k)

LM3 1800/200 – Maximálny krútiaci moment

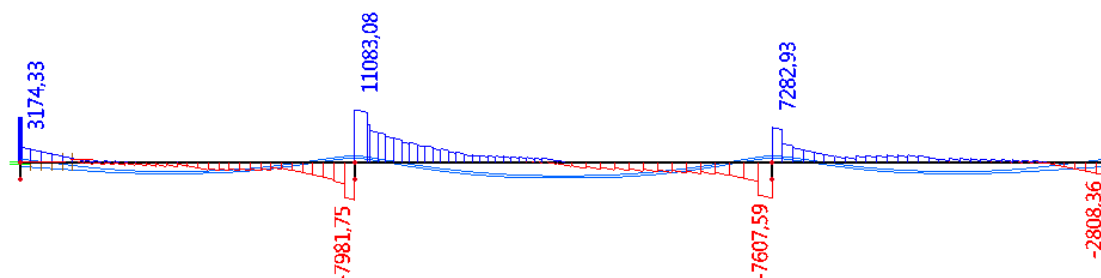


Obrázok 6.13: Posouvající síly (V_z)

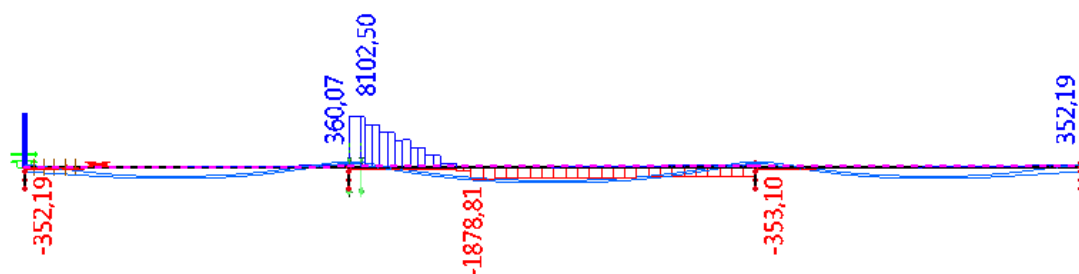


Obrázok 6.14: Krútiace momenty (M_k)

LM3 1800/200– Maximálna posúvajúca sila

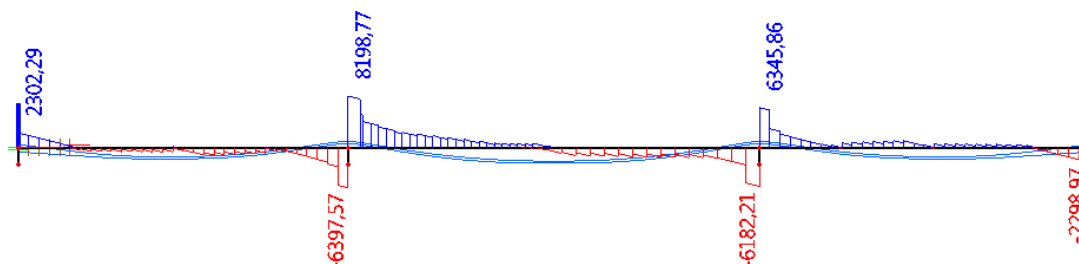


Obrázok 6.15: Posúvajúce sily (V_z)

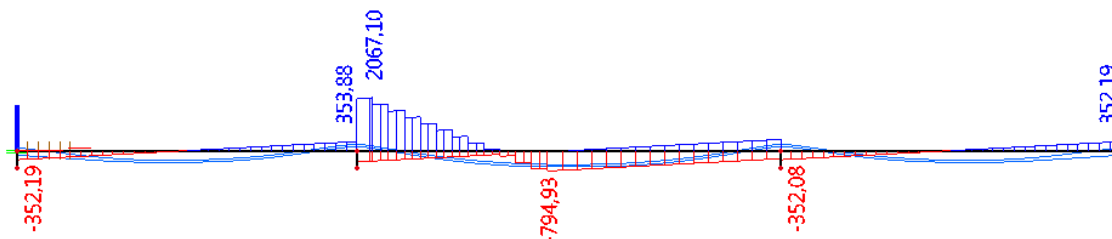


Obrázok 6.16: Krútiace momenty (M_k)

LM3 3000/240 – Maximálny krútiaci moment

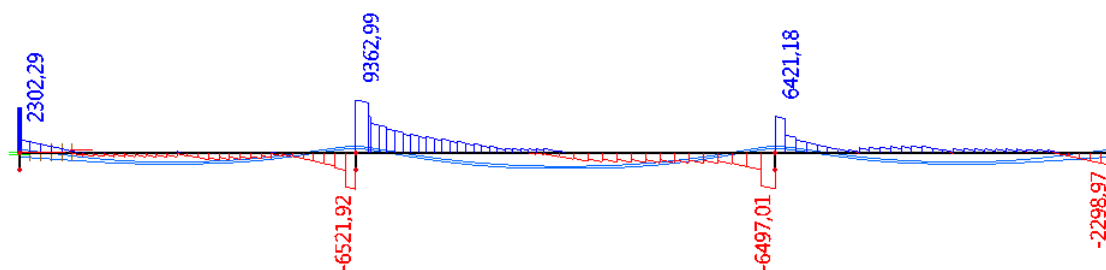


Obrázok 6.17: Posúvajúce sily (V_z)

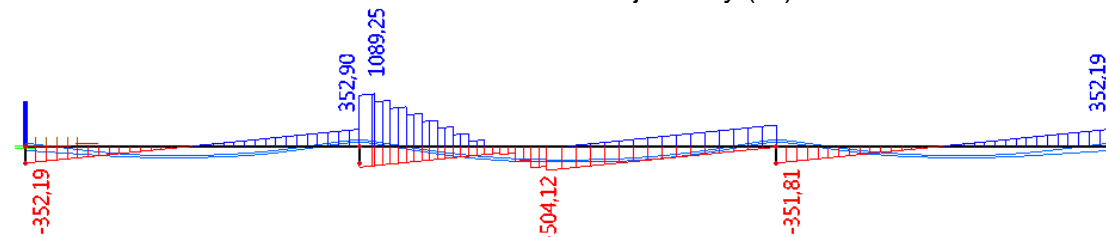


Obrázok 6.18: Krútiace momenty (M_k)

LM3 3000/240 – Maximální posouvající síla



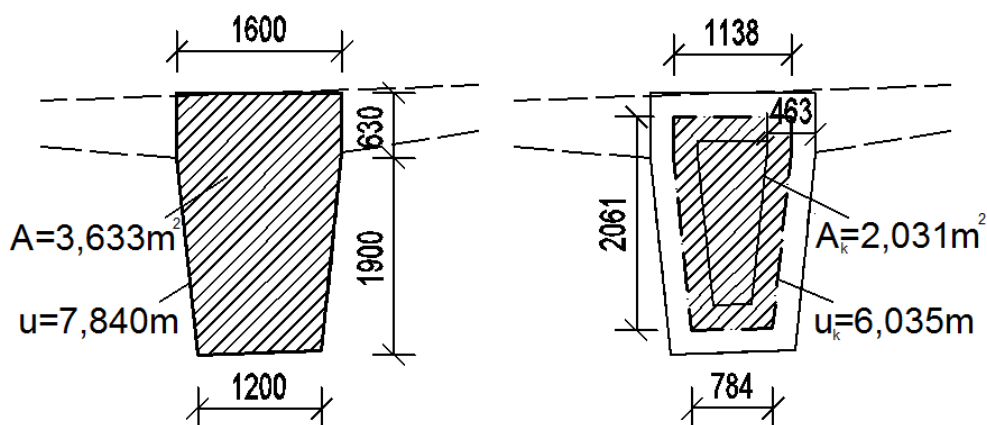
Obrázok 6.19: Posouvající síly (V_z)



Obrázok 6.20: Krútiace momenty (M_k)

Maximálny krútiaci moment $T_{Ed} = 8318,93 \text{ kNm}$ vzniká od zostavy gr5 (vozidlo 1800/200). Na tento krútiaci moment navrhujeme prídavné strmienky na krútenie, následne posúdime interakciu s posouvajúcou silou.

6.3.3 Prierez prenášajúci krútenie



Obrázok 6.21: Prierez prenášajúci krútenie

Prepočet na uzavretý tenkostenný prierez:

$$t_{ef} = A / u = 3,633 / 7,840 = 0,463 \text{ m}, \quad u_k = 6,035 \text{ m}, \quad A_k = 2,031 \text{ m}^2$$

Posouvajúca síla od krútenia:

$$V_{Ed, T \max} = \frac{T_{Ed, \max}}{2 \cdot A_k} \cdot z_i = \frac{8319}{2 \cdot 2,031} \cdot 2,061 = 4220,9 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,Top} = \frac{T_{Ed,odp}}{2 \cdot A_k} \cdot z_i = \frac{8102,5}{2 \cdot 2,031} \cdot 2,061 = 4111,1kN$$

Rozhodovať bude kombinácia pre maximálnu posúvajúcu silu.

Návrhové účinky v reze 32m (na oba prierezy):

$$T_{Ed} = 8102,5kNm, V_{Ed,max} = 11091kN$$

Návrhové účinky v reze 30m (vzdialenosť cca d od podpory):

$$V_{Ed}^T = 6848,95kN, T_{Ed} = 8102,5kNm$$

$$V_{Ed} = V_{Ed}^T + V_{Ed,Top} = 6848,95 + 4111,1 = 10960kN$$

Pozn. Hodnota posúvajúcej sily je z obálky posúvajúcich síl v kombinácií s vozidlom 1800/200. Pre maximálny krútiaci moment nie je zisťovaná hodnota v reze 30, ale je použitá na stranu bezpečnú väčšiu hodnota z rezu 32m.

6.3.4 Návrh šmykovej výstuže**Rez 30m (vzdialenosť d od podpory)**

Návrh: Uzavreté strmene, 8 strihov $\theta 16$, $A_{sw} = 16,08 \cdot 10^{-4} m^2$, $s_l = 200mm$

Vo výkrese betonárskej výstuže položky 2 a 3.

Uhol tlakovej diagonály: $\theta = 30^\circ$

$$V_{Rd,s} = \frac{16,08 \cdot 10^{-4}}{0,2} \cdot 2,446 \cdot 434,8 \cdot \cotg 30 = 14810kN$$

$$V_{Rd,s} = 14810kN > 10960kN \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Únosnosť tlakových diagonál:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z}{\cotg \theta + \tg \theta}$$

$$\alpha_{cw} = 1 + \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}} = 1 + \frac{2,813}{25} = 1,113$$

$$V_{Rd,max} = \frac{1,113 \cdot 0,504 \cdot 25 \cdot 3,2 \cdot 2,446}{\cotg 30 + \tg 30} = 47510kN$$

$$T_{Rd,max} = 2 \cdot T_{Rd,max}^{1T} = 2 \cdot 2 \cdot A_k \cdot \alpha_{cw} \cdot v \cdot f_{cd} \cdot t_{eff} \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta$$

$$T_{Rd,max} = 2 \cdot 2 \cdot 2,031 \cdot 1,113 \cdot 0,504 \cdot 25 \cdot 0,463 \cdot \sin(30) \cdot \cos(30) = 22841,12kN$$

Interakcia T + V:

$$\frac{T_{Ed,max}}{T_{R,max}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} = \frac{8318,93}{22841,12} + \frac{9905}{47510} = 0,57 < 1 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{R,max}} + \frac{V_{Ed,max}}{V_{Rd,max}} = \frac{8102,5}{22841,12} + \frac{11091}{47510} = 0,59 < 1 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Duktilita:

$$\frac{A_{sw,max}}{s} \leq \frac{1}{2} \cdot \alpha_{cw} \cdot \nu_1 \cdot f_{cd} \cdot b_w / f_{ywd}$$

$$\frac{16,08 \cdot 10^{-4}}{0,2} \leq \frac{1}{2} \cdot 1,113 \cdot 0,504 \cdot 25 \cdot 3,2 / 25$$

$$8,04 \cdot 10^{-3} \leq 5,159 \cdot 10^{-2} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6.3.5 Konštrukčné zásady

- Strmienky musia tvoriť minimálne 50% šmykovej výstuže – VYHOVUJE
- Minimálny stupeň vystuženia:

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha} \geq \rho_{w,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

$$\frac{16,08 \cdot 10^{-4}}{0,2 \cdot 3,2 \cdot 1} \geq \frac{0,08 \cdot \sqrt{40}}{500}$$

$$\rho_w = 2,513 \cdot 10^{-3} > \rho_{w,min} = 1,012 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6.3.6 Horizontálna zložka šmyku a krútenia

$$H_{Ed,V} = V_{Ed} \cdot (\cot \theta - \cot \alpha) = 6848,95 \cdot (\cot 30 - \cot 90) = 11862,7 \text{ kN}$$

$$H_{Ed,T} = \frac{T_{Ed} / 2}{2A_k} \cdot u_k \cdot (\cot \theta - \cot \alpha) = \frac{8102,5 / 2}{2 \cdot 2,031} \cdot 6,035 \cdot (\cot 30 - \cot 90) = 10425,3 \text{ kN}$$

Navrhujem pozdĺžnu výstuž $\phi 14 / 150$ (dokopy 240ks) rozmiestnenú po celom obvode prierezu – $A_{s,prov} = 369,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

Sila, ktorú prenáša pozdĺžna výstuž:

$$H_{Ed,1} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} = 369,6 \cdot 10^{-4} \cdot 434,8 \cdot 10^3 = 16070 \text{ kN}$$

Zvyšná sila:

$$H_{Ed2} = H_{Ed,T} + H_{Ed,V} - H_{Ed1} = 11862,7 + 10425,3 - 16070 = 6218 \text{ kN}$$

Túto silu prisúdime rezerve v medznom stave únosnosti.

6.3.7 Prepočet ohybovej únosnosti – podpora**Návrhové účinky na prierez:**

$$M_{Ed} = 36371,58 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed}' = N_{Ed} - H_{Ed2} = -33122,25 + 6218 = 26904,25 \text{ kN}$$

Rovnováha síl:

$$\Delta \sigma_p = f_{pd} - \sigma_{pt,0} = 1393,1 - 1162,184 = 229,116 \text{ MPa}$$

$$\Delta F_{pt} = \Delta \sigma_p \cdot A_{pr} = 229,116 \cdot 0,0285 \cdot 10^3 = 6529,80 kN$$

$$F_{cc} = N_{Ed} + \Delta F_{pt} = 26904,25 + 6529,780 = 33434,05 kN$$

$$A_{cc} = F_{cc} / f_{cd} = 33,43405 / 24 = 1393085 mm^2$$

$$x_c = 558 mm \text{ získané z autoCADu}$$

$$x = x_c / 0,8 = 558 / 0,8 = 698 mm$$

Pretvorenie na medzi klzu:

$$\varepsilon_{pyd} = \frac{f_{pd}}{E_p} = \frac{1391,3}{195} = 7,135\text{‰}$$

Pretvorenie predpínacej výstuže najbližšie k N.O.:

$$\Delta \varepsilon_{p1} = \frac{\varepsilon_{cu,3}}{x} \cdot 1352 = \frac{3,5}{698} \cdot 1352 = 6,779\text{‰}$$

$$\varepsilon_{p1} = \Delta \varepsilon_{p1} + \varepsilon_p^0 = 6,779 + 5,960 = 12,739\text{‰}$$

Podmienka ťahového porušenia:

$$\varepsilon_{p1} \geq \varepsilon_{pyd}$$

$$11,527\text{‰} \geq 7,135\text{‰} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Ramená vnútorných síl:

$$z_{cc} = 1318 mm$$

$$z_{pt} = 532 mm$$

Únosnosť v ohybe:

$$M_{Rd} = \Delta F_{pt} \cdot z_{pt} + F_{cc} \cdot z_{cc} = 6529,8 \cdot 0,532 + 33434 \cdot 1,318 = 47539,93 kNm$$

Posúdenie:

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$47539,93 kNm \geq 36371,58 kNm \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Po započítaní horizontálnej zložky sily od šmykového namáhania konštrukcia v podpore vyhovuje na medzný stav únosnosti.

Most nad místní komunikací a potokem

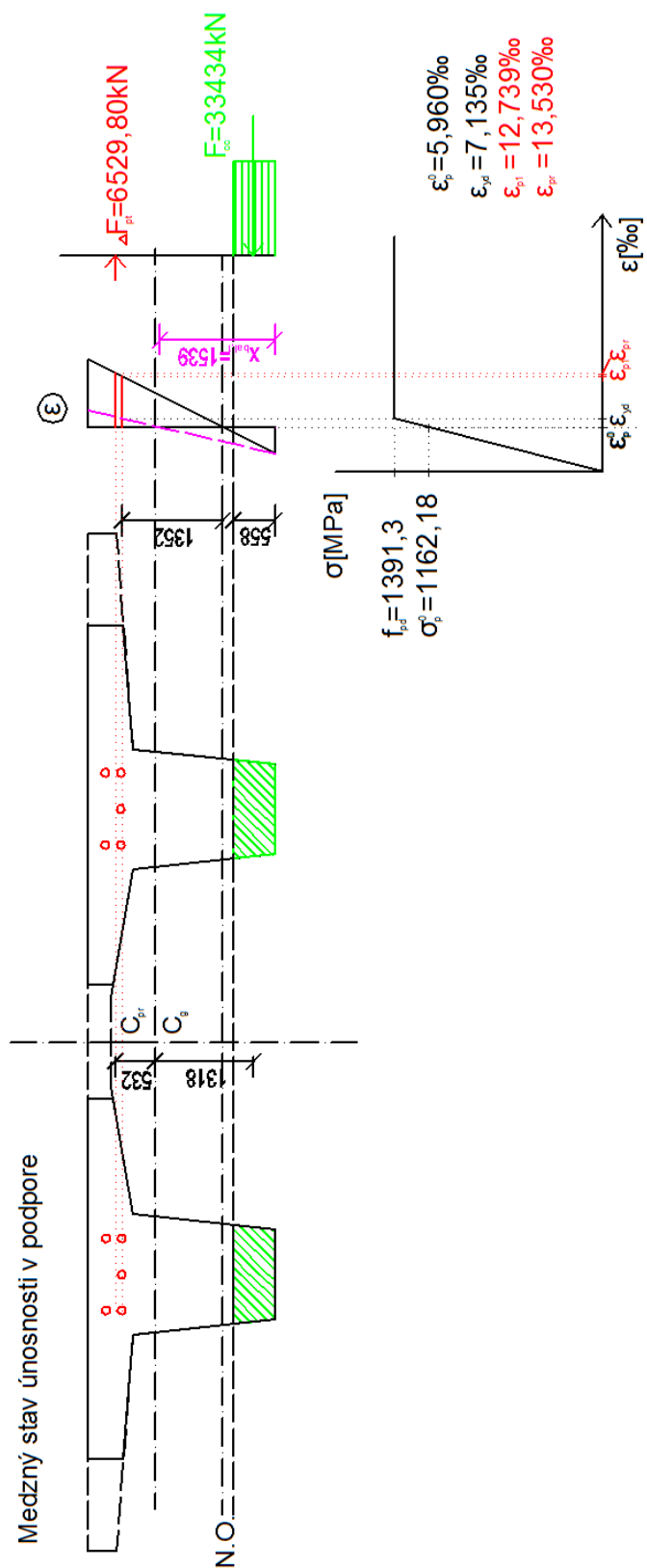
Diplomová práce

Statický výpočet nosné konstrukce

Vysoké učení technické v Brně

Fakulta stavební

Ústav betonových a zděných konstrukcí



6.4 Pozdížny šmyk

Pozdížne šmykové napätie v spojení trámu so stenou vzniká príspevkom posúvajúcej sily a krútenia.

$$v_{Ed} = v_{Ed}^V + v_{Ed}^T$$

Posudzujeme prierez v blízkosti podpory 2, kde vzniká extrém oboch týchto veličín.

6.4.1 Určenie pozdížnych šmykových napätí

Od posúvajúcej sily

$$v_{Ed}^V = \frac{\Delta F_d}{(h_f \cdot \Delta x)}$$

Δx môže byť maximálne polovica vzdialenosti medzi hodnotou maximálneho a nulového momentu (v mojom prípade 8m).

$$\Delta x = 4m$$



Obrázok 6.22: Pribeh momentov odpovedajúcich postaveniu pre maximálnu posúvajúcu silu v okolí podpory

$$\Delta F_{cc} = F_{cc(x36)} - F_{cc(x32)} = \frac{34823 - 8219}{2,446} = 10788kN$$

Rozdelenie medzi rezy:

$$\Delta F_{d,1} = \Delta F_{cc} \cdot \frac{b_{eff,1}}{2 \cdot b_{eff}} = 10788 \cdot \frac{1,655}{2 \cdot 4,795} = 1861,8kN$$

$$v_{Ed,1}^V = \frac{\Delta F_{d1}}{\Delta x \cdot h_f} = \frac{1861,8}{4 \cdot 0,6} = 0,776MPa$$

$$\Delta F_{d,2} = \Delta F_{cc} \cdot \frac{b_{eff,1}}{2 \cdot b_{eff}} = 10788 \cdot \frac{1,540}{2 \cdot 4,795} = 1732,4kN$$

$$v_{Ed,2}^V = \frac{\Delta F_{d1}}{\Delta x \cdot h_f} = \frac{1732,4}{4 \cdot 0,6} = 0,722MPa$$

Od krútenia

$$v_{Ed1}^T = v_{Ed2}^T = \frac{T_{Ed} / 2}{2A_k \cdot h_f} = \frac{8102,5 / 2}{2 \cdot 2,031 \cdot 0,6} = 1,662 \text{ MPa}$$

Celkové napätia

$$v_{Ed1} = 1,662 + 0,776 = 2,438 \text{ MPa} > 0,4 \cdot f_{ctd} = 0,4 \cdot 1,667 = 0,67 \text{ MPa} \Rightarrow \text{NEVYHOVUJE}$$

$$v_{Ed2} = 1,662 + 0,722 = 2,384 \text{ MPa} > 0,4 \cdot f_{ctd} = 0,4 \cdot 1,667 = 0,67 \text{ MPa} \Rightarrow \text{NEVYHOVUJE}$$

Nutný návrh výstuže na pozdĺžny šmyk.**6.4.2 Potrebná pozdĺžna výstuž**

Uhol tlačenej diagonály: $\theta = 38,7^\circ$

Únosnosť tlačenej diagonály:

$$v_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta = 1,113 \cdot 25 \cdot \sin(38,7) \cdot \cos(38,7) = 13,6 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed1} = 2,438 \text{ MPa} < v_{Rd,max} = 13,6 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$v_{Ed2} = 2,384 \text{ MPa} < v_{Rd,max} = 13,6 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$A_{sf,req,1} = \frac{v_{Ed,1} \cdot s_t \cdot h_f}{f_{yd} \cdot \cot g \theta_f} = \frac{2,438 \cdot 0,2 \cdot 0,6}{434,8 \cdot 1,25} = 5,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

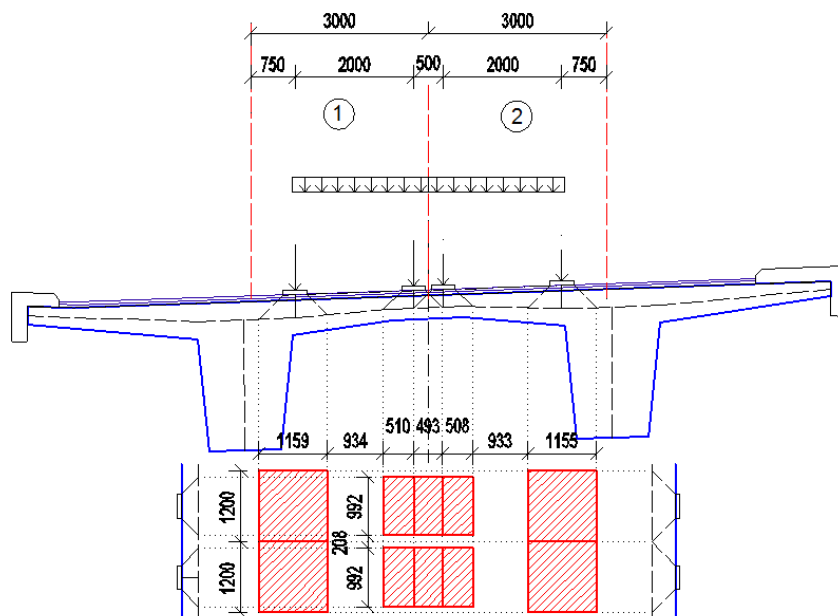
$$A_{sf,req,2} = \frac{v_{Ed,2} \cdot s_t \cdot h_f}{f_{yd} \cdot \cot g \theta_f} = \frac{2,384 \cdot 0,2 \cdot 0,6}{434,8 \cdot 1,25} = 5,26 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Návrh výstuže bude finalizovaný až v interakcii s priečnym smerom.

7 Řešení příčného směru

7.1 Postavení pro maximální statické veličiny

7.1.1 Postavení pro dimenzování v poli



Obrázok 7.1: Kritické postavenie a roznos LM1

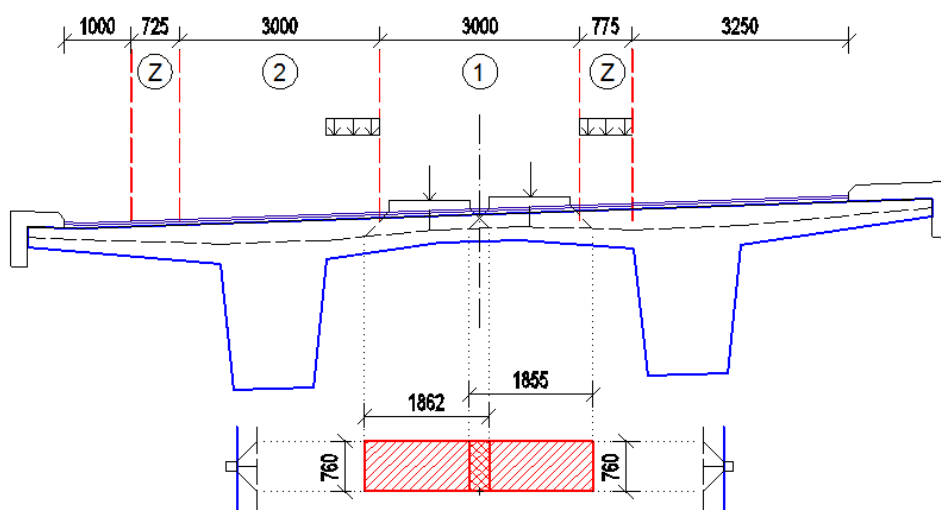
Veľkosť spojitých zaťažení:

$$q_{1,p1} = 300 \cdot 1 / (2 \cdot 1,159 \cdot 0,934) = 138,567 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$q_{2,p1} = 300 \cdot 1 / (2 \cdot 1,003 \cdot 1,2) = 124,626 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$q_{1,p2} = 200 \cdot 1 / (2 \cdot 1,155 \cdot 1,2) = 72,150 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$q_{2,p2} = 200 \cdot 1 / (2 \cdot 1,001 \cdot 1,2) = 83,250 \text{ kN} / \text{m}^2$$

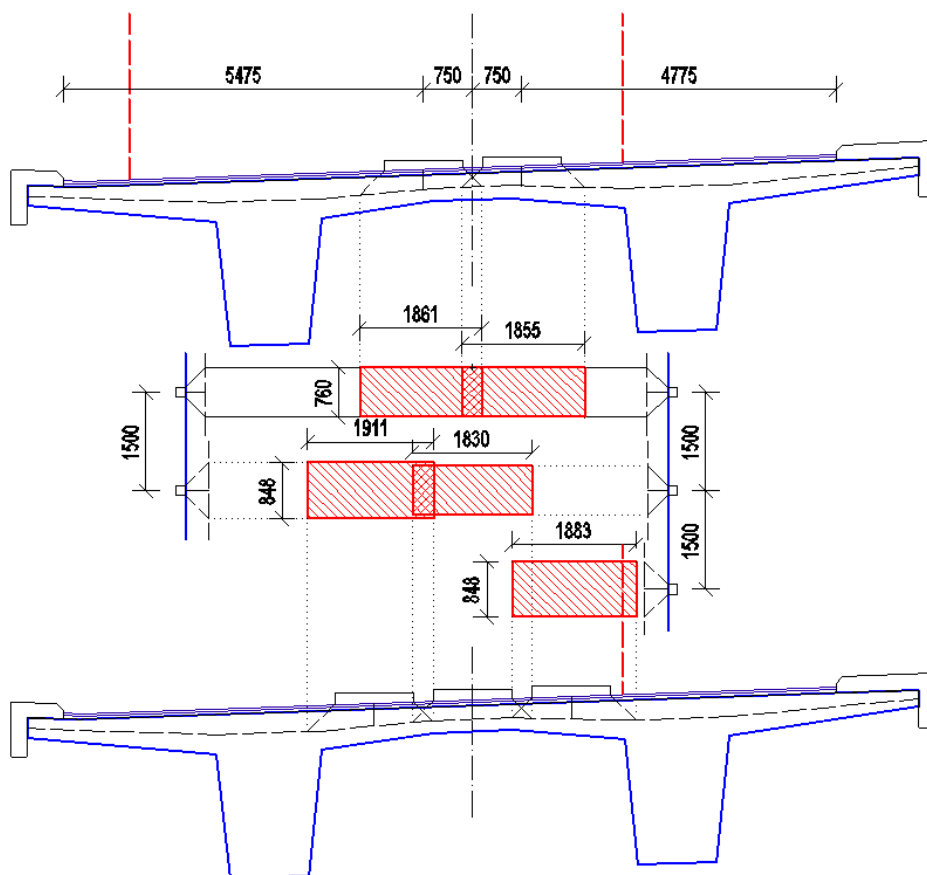


Obrázok 7.2: Kritické postavenie a roznos LM3 – 1800/200.

Veľkosť spojitých zaťažení:

$$q_1 = 100 \cdot 1,25 / 1,862 \cdot 0,760 = 88,332 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$q_2 = 100 \cdot 1,25 / 1,855 \cdot 0,760 = 88,665 \text{ kN} / \text{m}^2$$



Obrázok 7.3: Kritické postavenie a roznos LM3 – 3000/240.

Velikost spojitých zatížení:

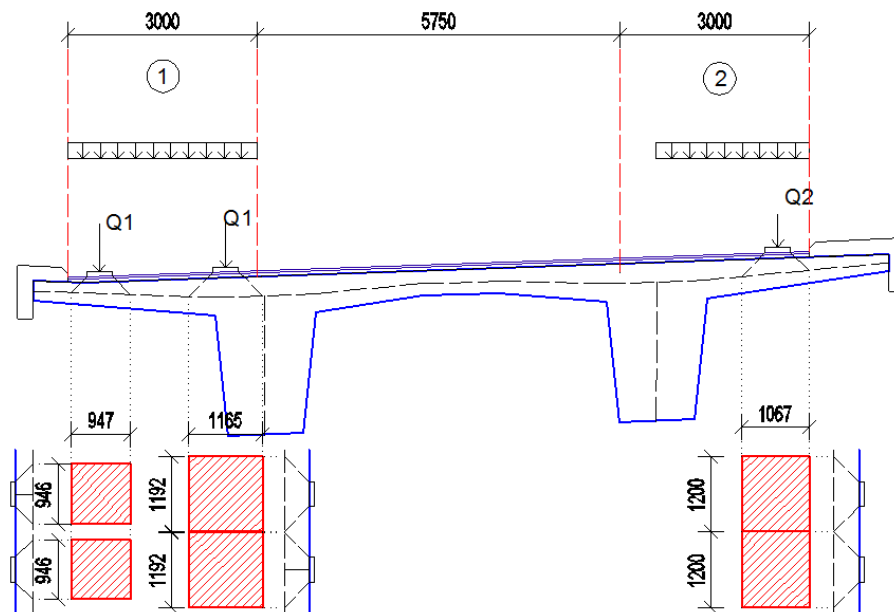
$$q_1 = 120 \cdot 1,05 / 2 \cdot 1,861 \cdot 0,760 = 44,543 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$q_2 = 120 \cdot 1,05 / 2 \cdot 1,855 \cdot 0,760 = 44,687 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$q_3 = 240 \cdot 1,05 / 3 \cdot 1,911 \cdot 0,848 = 51,835 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$q_4 = 240 \cdot 1,05 / 3 \cdot 1,830 \cdot 0,742 = 61,862 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$q_5 = 240 \cdot 1,05 / 3 \cdot 1,883 \cdot 0,848 = 52,606 \text{ kN} / \text{m}^2$$

7.1.2 Postavenie pre dimenzovanie nad podporou

Obrázok 7.4: Kritické postavenie pre maximálne statické veličiny v priečnom smere nad podporou (nad osou trámu).

Pre maximálny moment nad trámom na pravej strane zameníme pruhy 1 a 2.

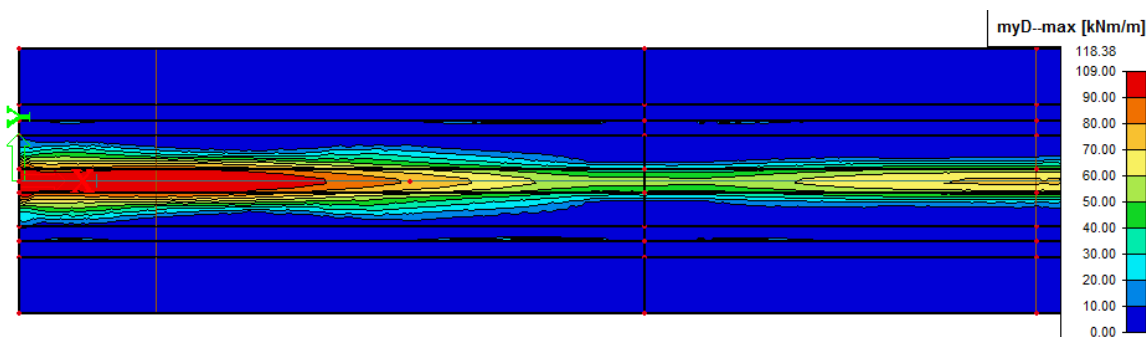
$$q_{1,p1} = 300 \cdot 1 / (2 \cdot 0,946 \cdot 1,165) = 136,105 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$q_{2,p1} = 300 \cdot 1 / (2 \cdot 1,192 \cdot 1,165) = 108,016 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$q_{1,p2} = 200 \cdot 1 / (2 \cdot 1,067 \cdot 1,2) = 78,101 \text{ kN} / \text{m}^2$$

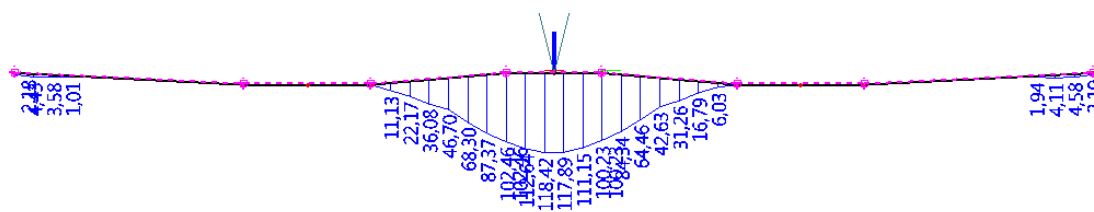
7.2 Vnútorne sily

Na obálke momentov M_y vidíme, že priebeh nie je po celej dĺžke mostu rovnaký. Podľa obrázku 7.5 je zrejmé, že momenty sú najvyššie v okolí opory, smerom k podpore 2 klesajú a v poli B opäť stúpajú. Preto budeme výstuž navrhovať v 2 rezoch, a to v reze blízko podpory 1 (7m) a v reze uprostred poľa B (52m).

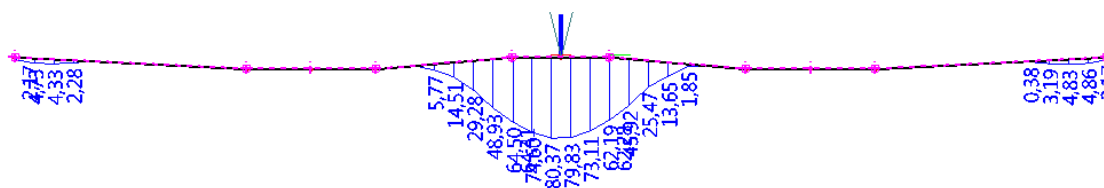


Obrázok 7.5: Obálka momentov m_{yD} - v pozdĺžnom smere

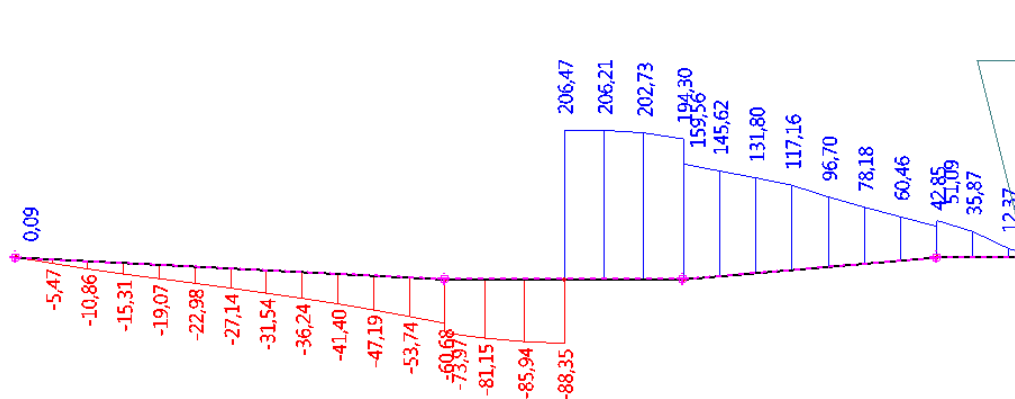
Rozhodujúca zostava pre návrh ohybovej výstuže v priečnom smere v poli je zostava gr5, a to konkrétne zvláštne vozidlo 1800/200. Maximálnu posúvajúcu silu vyvodzuje LM1. Obálky momentov M_{yD} - v pozdĺžnom smere boli vytvorené len za účelom rozhodnutia posudzovaných rezov, výstuž budeme dimenzovať na hodnoty momentov, ktoré získame z kritického postavenia v danom reze.



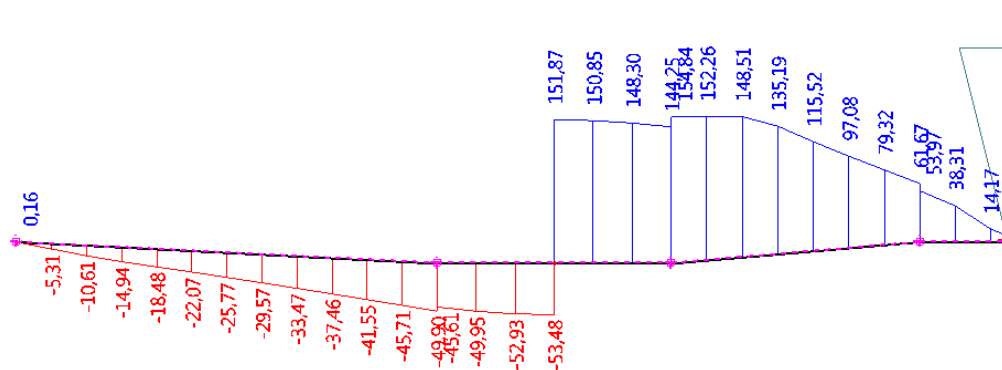
Obrázok 7.6: M_{yD} - v reze $x=7m$.



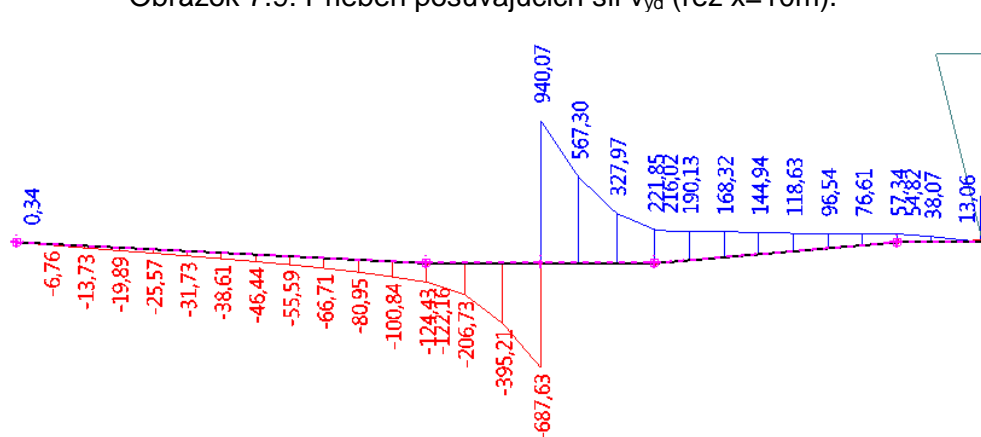
Obrázok 7.7: M_{yD} - v reze $x=52m$.



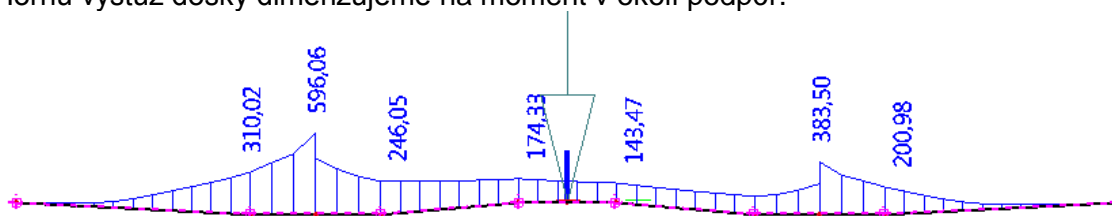
Obrázok 7.8: Priebeh posúvajúcich síl v_{yd} (rez $x=1m$).



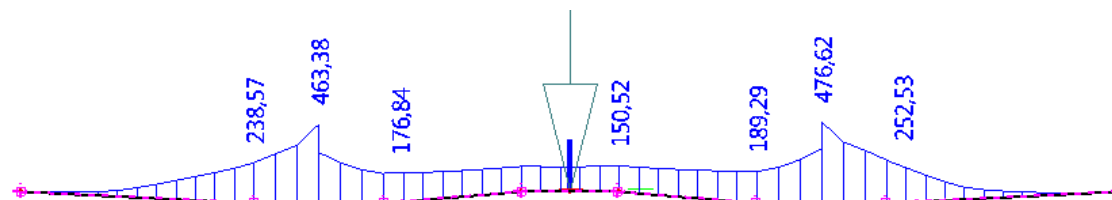
Obrázok 7.9: Priebeh posúvajúcich síl v_{yd} (rez $x=10m$).



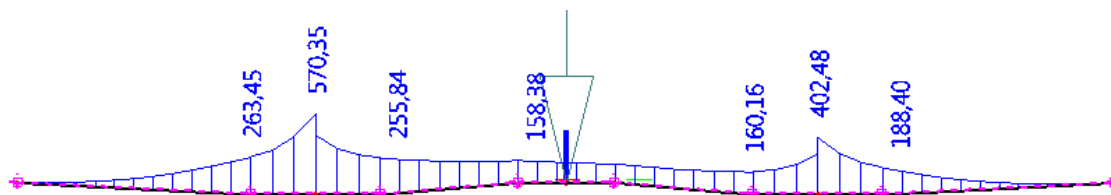
Obrázok 7.10: Priebeh posúvajúcich síl v_{yd} (rez $x=32m$).
Hornú výstuž dosky dimenzujeme na moment v okolí podpôr.



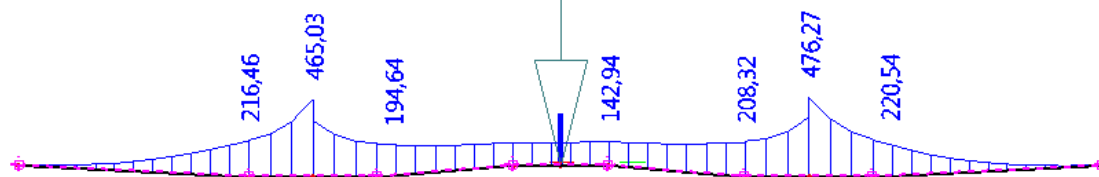
Obrázok 7.11: Priebeh momentov M_{xD+} v reze $x=1m$ (maximum nad ľavým trámom):



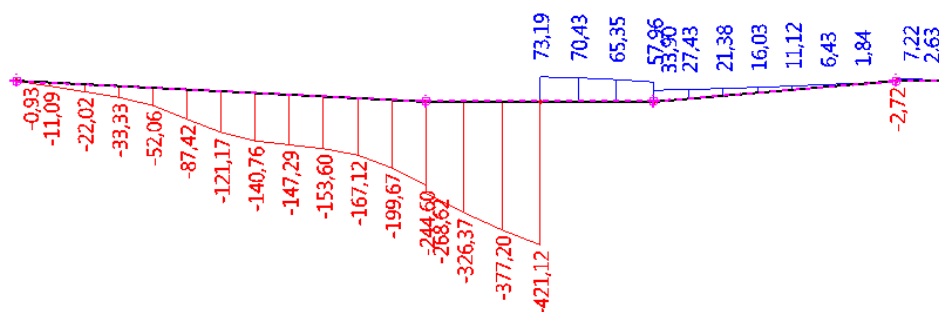
Obrázok 7.12: Priebeh momentov M_{xD+} v reze $x=1m$ (maximum nad pravým trámom):



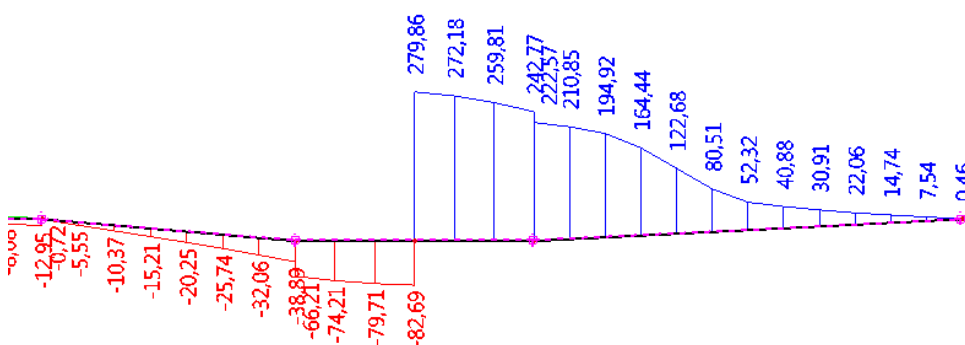
Obrázok 7.13: Pribeh momentov M_{xD+} v reze $x=33m$ (maximum nad ľavým trámom):



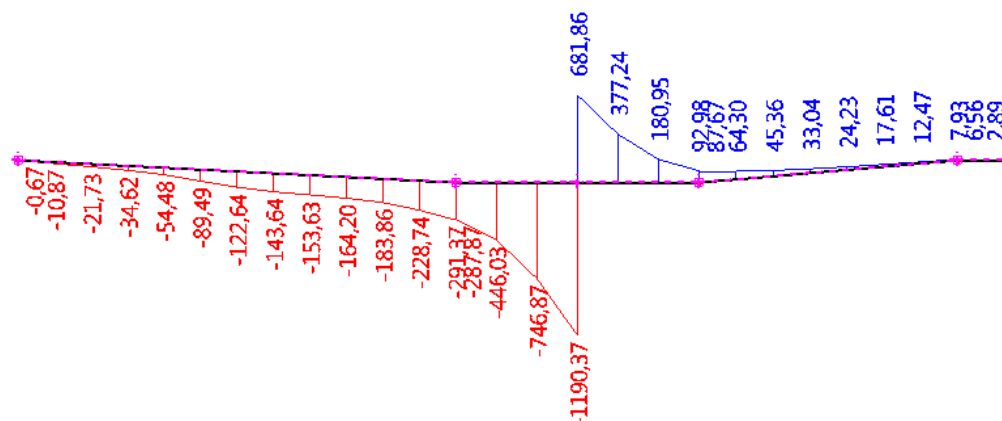
Obrázok 7.14: Pribeh momentov M_{xD+} v reze $x=33m$ (maximum nad pravým trámom):



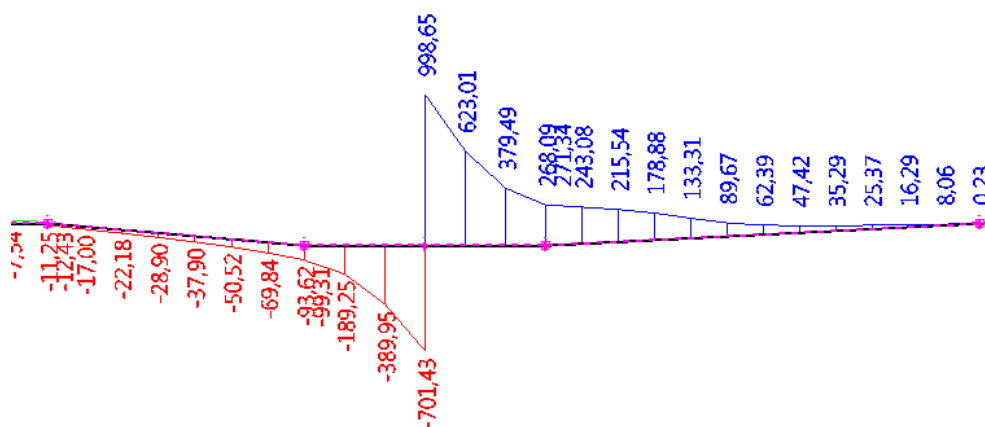
Obrázok 7.15: Pribeh posúvajúcich síl v reze $x=1m$ (maximum pre previslý koniec L'T).



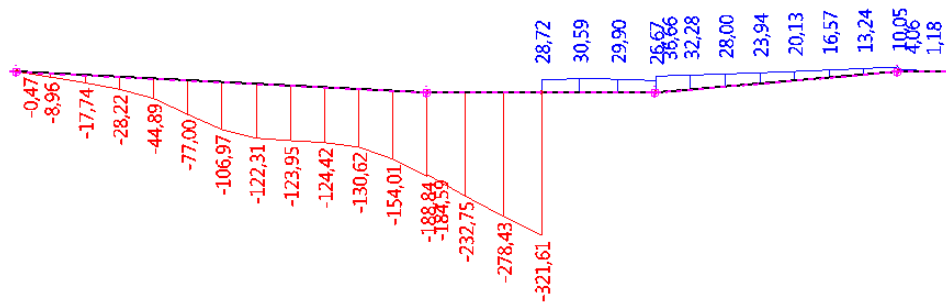
Obrázok 7.16: Pribeh posúvajúcich síl v reze $x=1m$ (maximum pre previslý koniec PT).



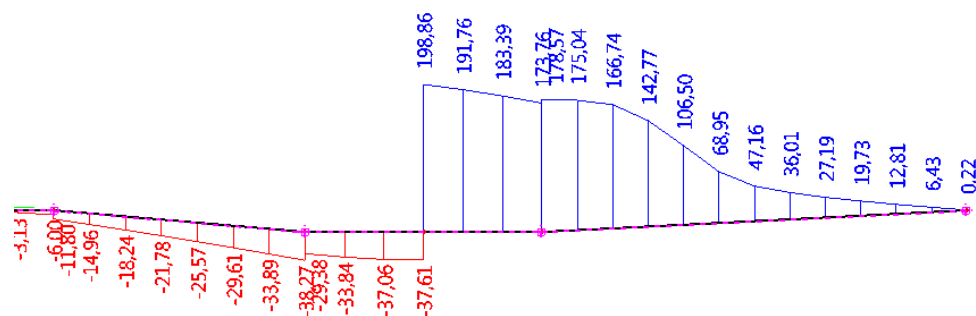
Obrázok 7.18: Pribeh posúvajúcich síl v reze $x=32\text{m}$ (maximum pre previslý koniec L'T).



Obrázok 7.19: Pribeh posúvajúcich síl v reze $x=32\text{m}$ (maximum pre previslý koniec PT).



Obrázok 7.20: Pribeh posúvajúcich síl v reze $x=10\text{m}$ (maximum pre previslý koniec L'T).



Obrázok 7.21: Priebek posúvajúcich síl v reze $x=10\text{m}$ (maximum pre previslý koniec PT).

7.3 Návrh výstuže na priečny ohyb

7.3.1 Výstuž v poli

Návrh výstuže $\phi 18 / 200\text{mm}$, $A_{st} = 12,72 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$

$h = 400\text{mm}$, $c_{nom} = 65\text{mm}$, $b = 1000\text{mm}$,

$d = h - c_{nom} - 0,5 \cdot \phi = 400 - 65 - 0,5 \cdot 9 = 326\text{mm}$

$M_{Ed} = 119\text{kNm} / \text{m}$

$$A_{cc} = \frac{A_{st} \cdot f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{12,72 \cdot 10^{-4} \cdot 434,8}{25} = 22123\text{mm}^2$$

$$x_c = 22,1\text{mm}, \quad x = \frac{x_c}{0,8} = 27,6\text{mm}, \quad z = d - 0,5 \cdot x_c = 326 - 0,5 \cdot 22,1 = 315\text{mm}$$

Pomerné predĺženie na medzi klzu:

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,8}{200} = 2,2\text{‰}$$

Pomerné predĺženie výstuže:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu,3} \cdot \frac{d - x}{x} = 3,5 \cdot \frac{326 - 27,6}{27,6} = 46\text{‰}$$

Kontrola pretiahnutia výstuže:

$$\varepsilon_{yd} = 2,2\text{‰} < \varepsilon_s = 46\text{‰} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Únosnosť v ohybe:

$$M_{Rd} = A_{st} \cdot f_{yd} \cdot z = 12,72 \cdot 10^{-4} \cdot 434800 \cdot 0,315 = 172\text{kNm}$$

Posúdenie:

$$M_{Rd} = 172\text{kNm} / \text{m} > M_{Ed} = 119\text{kNm} / \text{m} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

7.3.2 Výstuž nad podporou

$$h = 600\text{mm}, c_{nom} = 65\text{mm}, b = 1000\text{mm},$$

$$d = h - c_{nom} - 0,5 \cdot \phi = 600 - 65 - 0,5 \cdot 28 = 521\text{mm}$$

$$M_{Ed} = 596\text{kNm} / m$$

$$A_{st,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) = 27,6 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

$$\text{Návrh výstuže } \phi 28 / 200\text{mm}, A_{st} = 30,8 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

$$A_{cc} = \frac{A_{st} \cdot f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{12,72 \cdot 10^{-4} \cdot 434,8}{25} = 55797 \text{mm}^2$$

$$x_c = 55,8\text{mm}, x = \frac{x_c}{0,8} = 70\text{mm}, z = 486\text{mm}$$

Pomerné predĺženie na medzi klzu:

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,8}{200} = 2,2\text{‰}$$

Pomerné predĺženie výstuže:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu,3} \cdot \frac{d - x}{x} = 3,5 \cdot \frac{521 - 70}{70} = 29\text{‰}$$

Kontrola pretiahnutia výstuže:

$$\varepsilon_{yd} = 2,2\text{‰} < \varepsilon_s = 29\text{‰} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Únosnosť v ohybe:

$$M_{Rd} = A_{st} \cdot f_{yd} \cdot z = 30,8 \cdot 10^{-4} \cdot 434800 \cdot 0,486 = 651\text{kNm}$$

Posúdenie:

$$M_{Rd} = 651\text{kNm} / m > M_{Ed} = 596\text{kNm} / m \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

7.4 Superpozícia pozdĺžneho šmyku a priečneho ohybu**Interakcia pozdĺžneho šmyku a priečneho ohybu:**

$$A_{s,req} = \max(0,5 \cdot A_{sf}; A_{st} + 0,25 \cdot A_{st,req})$$

$A_{st,req}$ – potrebná výstuž na priečny ohyb

A_{sf} – potrebná výstuž na pozdĺžny ohyb

7.4.1 Výstuž na styku trámu a dosky

$$\text{Rez 1: } A_{s,req,1} = 27,6 \cdot 10^{-4} + 0,25 \cdot 5,38 \cdot 10^{-4} = 28,95 \cdot 10^{-4} \text{mm}^2$$

Navrhnutá výstuž $A_{st} = 30,8 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$ vyhovuje.

$$\text{Rez 2: } A_{s,req,1} = 27,6 \cdot 10^{-4} + 0,25 \cdot 5,26 \cdot 10^{-4} = 28,92 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^2$$

Navrhnutá výstuž $A_{st} = 30,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ vyhovuje.

7.5 Účinky posouvající síly v příčném směru

Maximální posouvající síla v lici trámu („v poli“):

$$V_{Ed} = 221,5 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = \left[c_{rdc} \cdot k (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \right] \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{521}} = 1,620 < 2,0$$

$$\rho_{sl} = \frac{A_{st}}{b_w \cdot d} = \frac{30,8 \cdot 10^{-4}}{1,0 \cdot 0,521} = 5,912 \cdot 10^{-3} < 0,02$$

$$c_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,620^{3/2} \cdot 40^{1/2} = 0,456$$

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 \cdot 1,620 \cdot (100 \cdot 5,912 \cdot 10^{-3} \cdot 40)^{1/3} \right] \cdot 1,0 \cdot 521 = 290,7 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c,min} = v_{min} \cdot b_w \cdot d = 0,456 \cdot 1,0 \cdot 0,521 = 238 \text{ kN} < 290,7 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 290,7 \text{ kN} > V_{Ed} = 221,5 \text{ kN} \Rightarrow \text{Šmyková výstuž konstrukčně}$$

Maximální posouvající síla v lici trámu (na previslém konci):

$$V_{Ed} = 291,37 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 290,7 \text{ kN} < V_{Ed} = 291,37 \text{ kN} \Rightarrow \text{Návrh šmykové výstuže}$$

$$\text{Spona } \phi 8, s_l = 150 \text{ mm}, s_t = 400 \text{ mm}, A_{sw} = 1,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Uhol tlakovej diagonály: } \theta = 30^\circ$$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s_l} \cdot z \cdot f_{yd} \cdot \cot g \theta = \frac{1,51 \cdot 10^{-4}}{0,15} \cdot 0,486 \cdot 434,8 \cdot 10^3 \cdot \cot g 30 = 368 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} = 368 \text{ kN} > V_{Ed} = 291,37 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z}{\cot g \theta + \tan \theta} = \frac{1 \cdot 0,504 \cdot 25 \cdot 1 \cdot 0,486 \cdot 1000}{\sqrt{3} + \frac{1}{\sqrt{3}}} = 2652 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = 2652 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 1190,37 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Duktilita:

$$\frac{A_{sw,max}}{s} \leq \frac{1}{2} \cdot \alpha_{cw} \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot b_w / f_{ywd}$$

$$\frac{1,51 \cdot 10^{-4}}{0,2} \leq \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 0,504 \cdot 25 \cdot 1 / 434,78$$

$$1,007 \cdot 10^{-3} \leq 1,45 \cdot 10^{-2} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

7.5.1 Konštrukčné zásady

- Minimálny stupeň vystuženia:

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha} \geq \rho_{w,\min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

$$\frac{1,51 \cdot 10^{-4}}{0,15 \cdot 1,0 \cdot 1} \geq \frac{0,08 \cdot \sqrt{40}}{500}$$

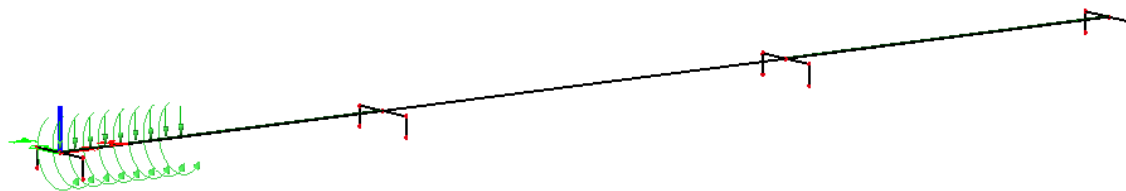
$$\rho_w = 1,016 \cdot 10^{-3} > \rho_{w,\min} = 1,012 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8 Riešenie priečnika nad oporou

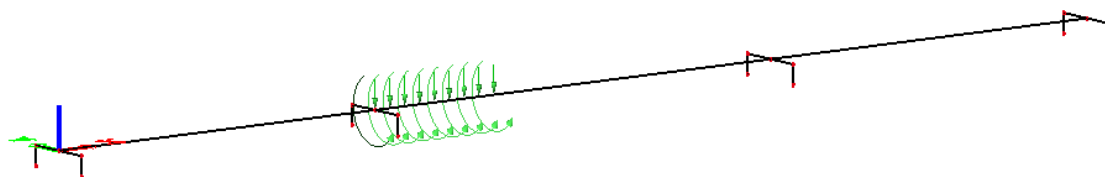
8.1 Vnútorne sily

8.1.1 Maximálna reakcia

Maximálnu reakciu vyvolá zostava gr5, konkrétne vozidlo 1800/200.



Obrázok 8.1: Postavenie pre maximálnu reakciu nad oporou
UDL je umiestnené v poli 1 a 3. Charakteristické hodnoty zaťaženia vid'. kapitola 6.3.1.

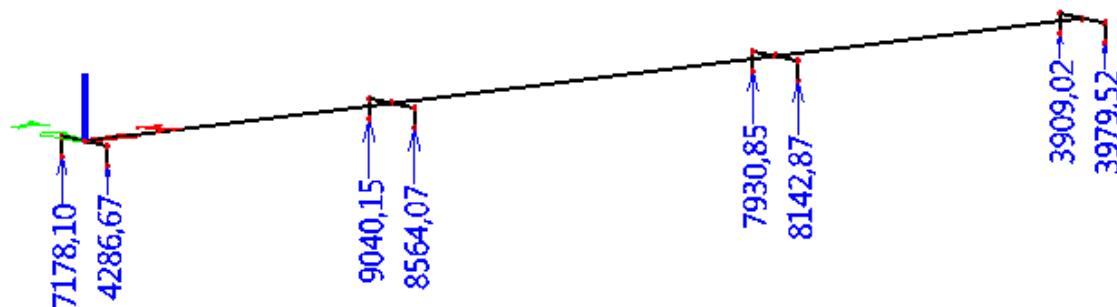


Obrázok 8.2: Postavenie pre maximálnu reakciu nad medziahľou podperou 2
UDL je umiestnené v poli 1, 2 a 3. Charakteristické hodnoty vid'. kapitola 6.3.1.

Reakcie od jednotlivých zaťažení a kombinácia 6.10b:

ZS	R1	R2	Súčiniteľ	R1 - súč	R2-súč
Vlastná tiaž	2543	2543	1.15	2924.45	2924.45
Ost.stále	346.46	346.46	1.15	398.429	398.429
Ost.stále Mx	-66.89	66.89	0.85	-56.8565	56.8565
Predpätie	400.54	400.54	0.9	360.486	360.486
LM3 1800/200	2630.19	404.16	1.35	3550.757	545.616
				7177.265	4285.838

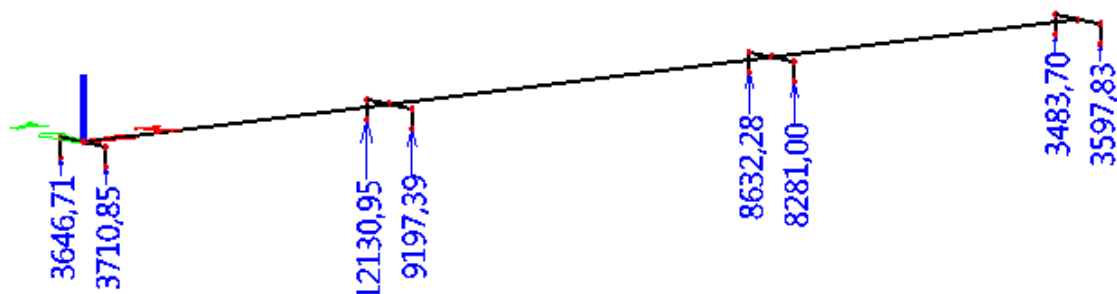
Pozn.: Súčiniteľ 0,9 pre predpätie reprezentuje dlhodobú stratu predpätia.



Obrázok 8.3: Reakcie pre maximálnu reakciu nad oporou

$$R_{Ed, \max 1} = 7178 kN$$

Obdobne bola získaná aj maximálna reakcia v poli, postavenie uvádzam v kapitole 8.4.1.

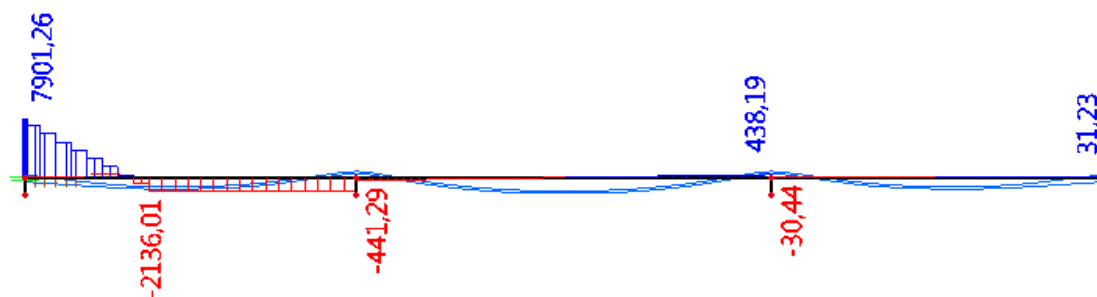


Obrázok 8.4: Reakcie pre maximálnu reakciu nad podporou 2

$$R_{Ed, \max 2} = 12131 kN$$

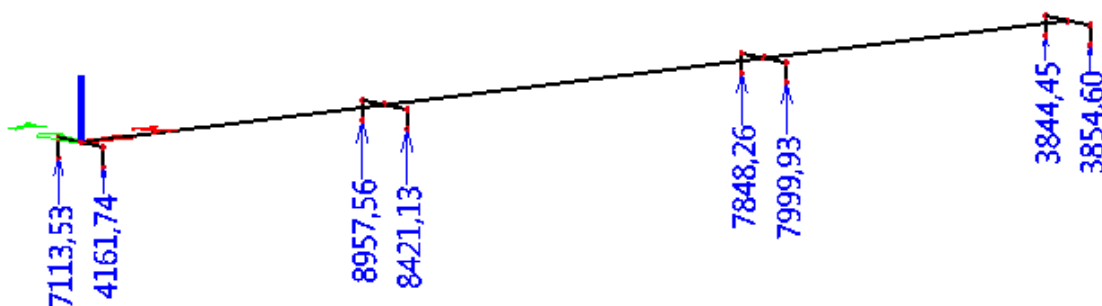
8.1.2 Maximálny krútiaci moment

Postavenie v pozdĺžnom smere pre maximálny krútiaci moment je zhodné ako postavenie pre maximálnu reakciu, líši sa len zaťažením. Rozhodujúca zostava je gr5 (vozidlo 1800/200). Zaťaženie vid'. 6.3.1.



Obrázok 8.5: Maximálny krútiaci moment nad oporou

$$T_{Ed} = 7901,3 kNm$$



Obrázok 8.6: Reakcie odpovedajúce postaveniu pre maximálny krútiaci moment nad oporou

Prepočet prierečníku na uzavretý tenkostenný prierez:

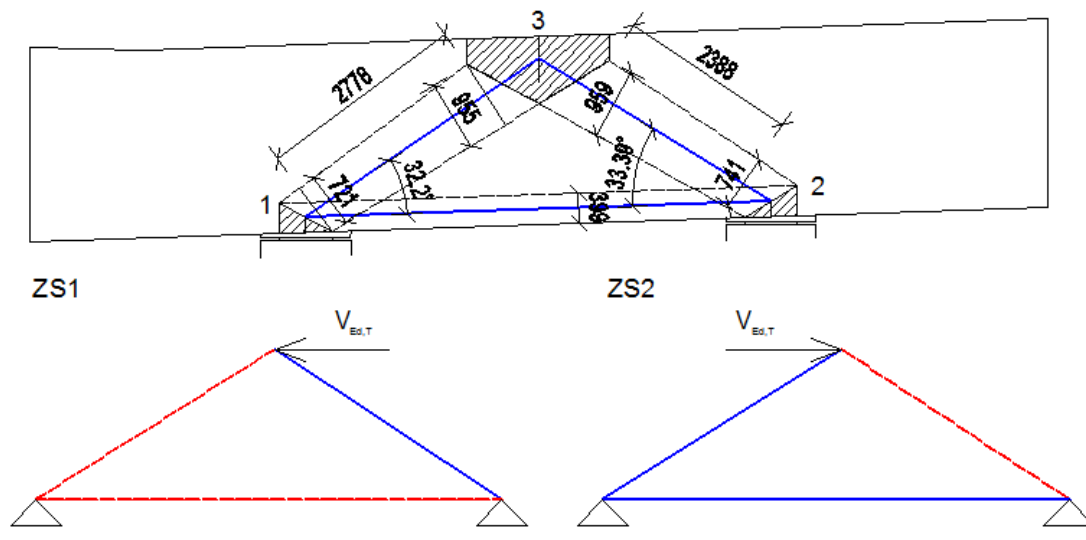
$$l_k = 12,532 m, A_k = 18,509957 m^2$$

Posuvající síla od krútenia v doske :

$$V_{Ed,T} = \frac{T_{Ed}}{2 \cdot A_k} \cdot l_k = \frac{7901,3}{2 \cdot 18,510} \cdot 12,532 = 2675 \text{ kN}$$

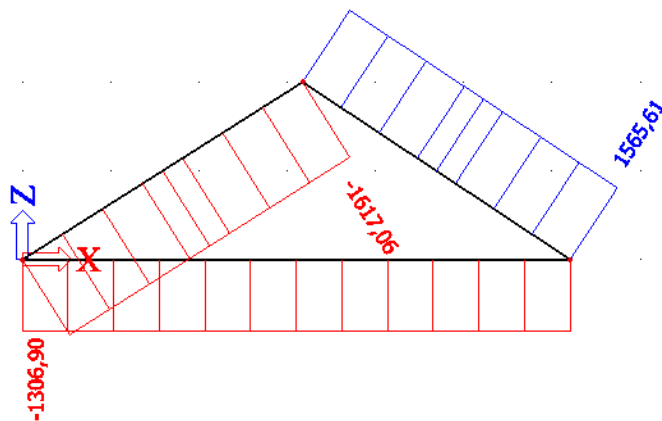
8.2 Dimenzovanie priečnika

8.2.1 Model priehradovej analógie

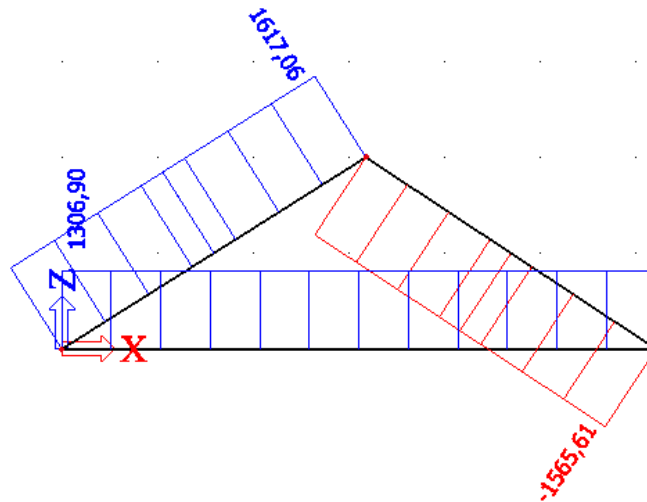


Obrázok 8.7: Použitý model priehradovej analógie a zaťaženie na model

Výsledné vnútorné sily



Obrázok 8.8: Vnútorné sily od zaťažovacieho stavu 1.



Obrázok 8.9: Vnútorne sily od zaťažovacieho stavu 2.

8.2.2 Podmienky spoľahlivosti pre jednotlivé prvky

Podmienka spoľahlivosti pre vzpery:

$$\sigma_{Rd,max} \geq \sigma_{Ed}, \quad \sigma_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_c}$$

Vzpera bez priečných ťahov: $\sigma_{Rd,max} = f_{cd}$

Vzpera s priečnymi ťahmi: $\sigma_{Rd,max} = \nu' \cdot \nu_2 \cdot f_{cd}$

$$\nu' = 1 - \frac{f_{ck}}{250} = 1 - \frac{40}{250} = 0,84, \quad \nu_2 = 0,6$$

$$\sigma_{Rd,max} = \nu' \cdot \nu_2 \cdot f_{cd} = 0,84 \cdot 0,6 \cdot 24 = 12,096 \text{ MPa}$$

Podmienka spoľahlivosti pre styčníky

a.) Styčník, v ktorom nie sú kotvené tiahla: $\sigma_{Rd,max} = k_1 \cdot \nu \cdot f_{cd}$, $\nu' = 0,84$, $k_1 = 1,0$

b.) Styčník, v ktorom je kotvené jedno tiahlo: $\sigma_{Rd,max} = k_2 \cdot \nu \cdot f_{cd}$, $\nu' = 0,84$,
 $k_2 = 0,85$

c.) Styčník s tlakovými aj ťahovými silami s tiahlymi kotvenými vo viacerých smeroch: $\sigma_{Rd,max} = k_3 \cdot \nu \cdot f_{cd}$, $\nu' = 0,75$, $k_3 = 0,85$

Návrh výstuže pre tiahla:

$$A_{s,req} = \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

8.2.3 Posúdenie vzpier

$$\text{Vzpera 1-2: } \sigma_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = \frac{1306,9}{2 \cdot 0,4} = 1,634 \text{ MPa} < 24 \text{ MPa}$$

$$\text{Vzpera 2-3: } \sigma_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = \frac{1565,61}{2 \cdot 0,741} = 1,056 \text{ MPa} < 12,096 \text{ MPa}$$

$$\text{Vzpera 3-1: } \sigma_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = \frac{1617,06}{2 \cdot 0,721} = 1,121 \text{ MPa} < 12,096 \text{ MPa}$$

Všetky vzpery vyhovují.

8.2.4 Posúdenie styčnickov

Styčnick 1 a 2 (C-T-T pre najkritickejší prípad):

$$\sigma_{Ed} = \frac{R_{Ed}}{A_c} = \frac{826,07}{2 \cdot 0,7} = 0,590 \text{ MPa} < 15,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Ed} = \frac{N_{Ed}^{1-2}}{A_c} = \frac{1306,9}{2 \cdot 0,4} = 1,634 \text{ MPa} < 15,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Ed} = \frac{N_{Ed}^{3-1}}{A_c} = \frac{1617,06}{2 \cdot 0,721} = 1,121 \text{ MPa} < 15,3 \text{ MPa}$$

$$\text{Styčnick 3: } \sigma_{Ed} = \frac{N_{Ed}^{3-1}}{A_c} = \frac{1617,06}{2 \cdot 0,955} = 0,847 \text{ MPa} < 15,3 \text{ MPa}$$

Všetky styčníky vyhovují.

8.2.5 Dimenzovanie tiahiel

Podmienkou použitia daného priehradového modelu je nadimenzovanie výstuže v hornej

$$\text{doske: } A_{s,req} = \frac{V_{Ed,T} / 2}{f_{yd}} = \frac{2675 / 2}{434,8} = 30,76 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ - rovnaká výstuž aj pre tiaho 1-2}$$

$$\text{Tiaho 2-3: } A_{s,req} = \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{1566}{434,8} = 36,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,req,y} = A_{s,req} \cdot \sin \alpha = 36,01 \cdot \sin 32,2 = 19,19 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

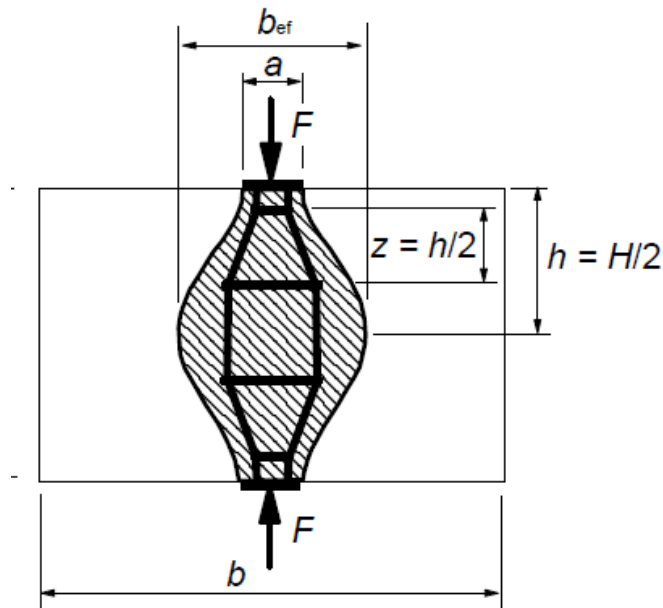
$$A_{s,req,x} = A_{s,req} \cdot \cos \alpha = 36,01 \cdot \cos 32,2 = 30,47 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Tiaho 3-1: } A_{s,req} = \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{1617}{434,8} = 37,19 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,req,y} = A_{s,req} \cdot \sin \alpha = 37,19 \cdot \sin 33,39 = 20,47 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,req,x} = A_{s,req} \cdot \cos \alpha = 37,19 \cdot \cos 33,39 = 31,05 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

8.2.6 Priečne ťahy vo vzpere 1-3



$$b_{ef} = 0,5H + 0,65a; a \leq h$$

Obrázok 8.10: Priečne ťahy vo vzpere, obrázok prevzatý z [5]

Priečny ťah:

$$T = \frac{1}{4} \cdot \left(1 - 0,7 \frac{a}{h}\right) \cdot F = \frac{1}{4} \cdot \left(1 - 0,7 \cdot \frac{0,721}{2,775/2}\right) \cdot 1617 = 225,4 \text{ kN}$$

Potrebná výstuž:

$$A_{s,req} = \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{225,4}{434,8} = 5,18 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,req,x} = A_{s,req} \cdot \sin \alpha = 5,18 \cdot \sin 33,39 = 2,85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,req,y} = A_{s,req} \cdot \cos \alpha = 5,18 \cdot \cos 33,39 = 4,33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Konečný návrh výstuže bude zhrnutý až v superpozícii s výstužou potrebnou pre kotevnú oblasť.

8.3 Návrh a posúdenie kotevnej oblasti

8.3.1 Návrh a posúdenie kotiev v dostrednom tlaku

Pre kotvy 1 – 10:

$$F_{Ed} = \sigma_{p,max} \cdot A_p = 1410 \cdot 19 \cdot 150 \cdot 10^{-3} = 4018,5 \text{ kN}$$

$$b_1 = d_1 = 340 \text{ mm}, A_{c0} = 115600 \text{ mm}^2, b_2 = d_2 = 620 \text{ mm}$$

$$b_2 \leq 3 \cdot b_1 \Rightarrow 620 \text{ mm} \leq 3 \cdot 340 = 1020 \text{ mm}$$

$$d_2 \leq 3 \cdot d_1 \Rightarrow 620 \text{ mm} \leq 3 \cdot 340 = 1020 \text{ mm}$$

$$h \geq (b_2 - b_1) \Rightarrow 300 \text{ mm} \geq (620 - 340) = 280 \text{ mm}$$

$$h \geq (d_2 - d_1) \Rightarrow 300 \text{ mm} \geq (620 - 340) = 280 \text{ mm}$$

$$F_{Rd,u} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \leq 3,0 \cdot f_{cd} \cdot A_{c0}$$

$$F_{Rd,u} = 115600 \cdot 24 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{384400}{115600}} = 5059 \text{ kN}$$

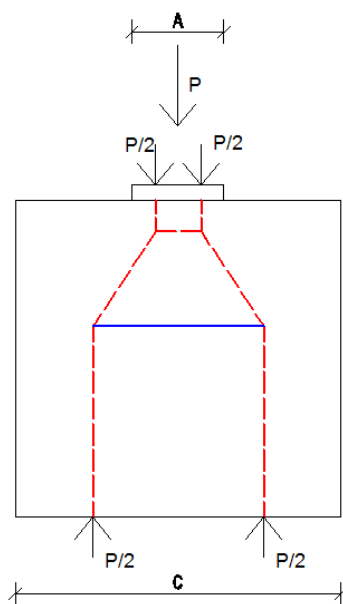
$$F_{Rd,u} = 5270 \text{ kN} \leq 3 \cdot 24 \cdot 115600 \cdot 10^{-3} = 8323 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} \leq F_{Rd,u}$$

$$4018,5 \text{ kN} \leq 5059 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.3.2 Posúdenie kotevného zväzku

V nasledujúcich výpočtoch kotevnej oblasti a aj vo výpočtoch nadložiskovej výstuže bude používaný model priehradovej analógie na obrázku.



Obrázok 8.11: Priehradová analógia používaná pre návrh výstuže v kotevnej oblasti a nad ložiskami.

Lokálna oblasť pod kotvou

$$F_{Ed} = P_{\max} \cdot \gamma_p = 4018,5 \cdot 1,2 = 4822,2 \text{ kN}$$

$$cc' = \frac{P_{\max}}{0,6 \cdot f_{ck}(t)} = \frac{4822,2}{0,6 \cdot 29,4 \cdot 10^3} = 0,273 \text{ m} \Rightarrow c = c' = \sqrt{0,273} = 0,522 \text{ m}$$

$$\frac{c}{a} = \frac{c'}{a'} = \frac{0,522}{0,340} = 1,535 < 1,25 \cdot \sqrt{\frac{cc'}{aa'}} = 1,25 \cdot \sqrt{\frac{0,522^2}{0,340^2}} = 1,919$$

$$T_{bu} = \frac{1}{4} \cdot \frac{c-a}{c} \cdot F_{Ed} = \frac{1}{4} \cdot \frac{0,522-0,34}{0,34} \cdot 4822,2 = 645,32 \text{ kN}$$

$$A_{s,req} = \frac{T_{bu}}{\sigma_{sd}} = \frac{645,32}{250 \cdot 10^3} = 25,813 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{min} = 0,15 \cdot F_{Ed} / \sigma_{sd} = 0,15 \cdot 4822,2 / 250000 = 28,933 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,req} = 25,813 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < A_{s,min} = 28,933 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow A_{s,req} = 28,933 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Navrhujem $20 \times \phi 14$, $A_{s,prov} = 30,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ – vo výkrese betonárskej výstuže položka 53.

Povrch čela kotevnej oblasti

$$T_{sp} = 0,03 \cdot F_{Ed} = 0,03 \cdot 4822,2 = 144,666 \text{ kN}$$

$$A_{s,req} = \frac{T_{sp}}{\sigma_{sd}} = \frac{144,666}{250 \cdot 10^3} = 5,787 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \text{Návrh } 4 \times \phi 14 \quad A_s = 6,16 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ v zvislom}$$

smere a $2 \times \phi 20 \quad A_s = 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ vo vodorovnom smere.

Vo výkrese betonárskej výstuže položky 45 – 52.

Celková sila v kotevnej oblasti

Zvislý smer:

$$\Sigma F_{Ed} = 5 \cdot 4822,2 = 24111 \text{ kN}$$

$$c'_\Sigma = 1616 \text{ mm}$$

$$a'_\Sigma = \min \left(x_d + x_h, x_d + \frac{1}{2} c'_\Sigma, x_h + \frac{1}{2} c'_\Sigma \right) = \min (427 + 284; 427 + 808; 284 + 808) = 711 \text{ mm}$$

$$T_\Sigma = \frac{1}{4} \cdot \frac{c'_\Sigma - a'_\Sigma}{a'_\Sigma} \cdot \Sigma F_{Ed} = \frac{1}{4} \cdot \frac{1616 - 711}{1616} \cdot 24111 = 3375,7 \text{ kN}$$

$$A_{s,req} = \frac{T_\Sigma}{\sigma_{sd}} = \frac{3375,7}{250 \cdot 10^3} = 135,03 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{min} = 0,15 \cdot \Sigma F_{Ed} / \sigma_{sd} = 0,15 \cdot 24111 / 250000 = 144,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} \geq A_{s,req} \Rightarrow A_{s,req} = 135,03 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Vodorovný smer:

$$\Sigma F_{Ed} = 5 \cdot 4822,2 = 24111 \text{ kN}$$

$$c'_\Sigma = 6270 \text{ mm}$$

$$a'_\Sigma = \min \left(x_d + x_h, x_d + \frac{1}{2} c'_\Sigma, x_h + \frac{1}{2} c'_\Sigma \right) = \min (850 + 850; 850 + 3135; 850 + 3135) = 1700 \text{ mm}$$

$$T_\Sigma = \frac{1}{4} \cdot \frac{c'_\Sigma - a'_\Sigma}{a'_\Sigma} \cdot \Sigma F_{Ed} = \frac{1}{4} \cdot \frac{6270 - 1700}{6270} \cdot 24111 = 4393,43 \text{ kN}$$

$$A_{s,req} = \frac{T_{\Sigma}}{\sigma_{sd}} = \frac{4393,4}{250 \cdot 10^3} = 175,7 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$A_{min} = 0,15 \cdot \Sigma F_{Ed} / \sigma_{sd} = 0,15 \cdot 24111 / 250000 = 144,7 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$A_{s,req} > A_{s,min} \Rightarrow A_{s,req} = 175,7 \cdot 10^{-4} m^2$$

8.4 Výsledná výstuž v oblasti priečniku

Výstuž v hornej doske:

$$A_{s,req} = 30,76 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$\text{Navrhujem } 12 \times \phi 28, A_{s,prov} = 73,92 \cdot 10^{-4} m^2$$

Vo výkrese betonárskej výstuže položky 33 a 34.

Výstuž v dolnej doske:

$$A_{s,req} = 30,76 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$\text{Navrhujem } 18 \times \phi 28, A_{s,prov} = 110,88 \cdot 10^{-4} m^2$$

Vo výkrese betonárskej výstuže položka 34.

Zvislá výstuž v oblasti tiahiel:

$$A_{s,req} = 20,47 \cdot 10^{-4} + 4,33 \cdot 10^{-4} = 24,8 \cdot 10^{-4} m^2$$

Pozn. bola pripočítaná výstuž na zachytenie priečných ťahov vo vzpere.

$$\text{Navrhujem } 54 \times \phi 14, A_{s,prov} = 83,16 \cdot 10^{-4} m^2$$

Vo výkrese betonárskej výstuže položky 38 a 39.

Vodorovná výstuž v oblasti tiahiel:

$$A_{s,req} = 31,05 \cdot 10^{-4} + 2,85 \cdot 10^{-4} = 33,9 \cdot 10^{-4} m^2$$

Pozn. bola pripočítaná výstuž na zachytenie priečných ťahov vo vzpere.

$$\text{Navrhujem } 39 \times \phi 16, A_{s,prov} = 78,39 \cdot 10^{-4} m^2$$

Vo výkrese betonárskej výstuže položky 35 a 36.

Výstuž na kotevnú oblasť:

$$\text{Vodorovná výstuž: } A_{s,req} = 175,7 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$\text{Navrhujem zvarované siete 6ks, } 12 \times \phi 16, A_{s,prov} = 144,72 \cdot 10^{-4} m^2$$

Zvyšok zachytí rezerva vo vodorovnej výstuži v oblasti tiahiel.

$$A_{s,celk} = 144,72 \cdot 10^{-4} + 78,39 \cdot 10^{-4} - 33,9 \cdot 10^{-4} = 189,21 \cdot 10^{-4} m^2 > A_{s,req} = 175,7 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$\text{Zvislá výstuž: } A_{s,req} = 135,03 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$\text{Navrhujem zvarované siete 6ks, } 14 \times \phi 16, A_{s,prov} = 168,84 \cdot 10^{-4} m^2$$

Vo výkrese betonárskej výstuže položka S1.

8.5 Nadložisková výstuž

8.5.1 Posúdenie v dostrednom tlaku

Ložisko nad oporou

$$R_{Ed, \max 1} = 7178 \text{ kN}$$

$$b_1 = 900 \text{ mm}, d_1 = 900 \text{ mm}, A_{c0} = 810000 \text{ mm}^2, b_2 = d_2 = 1355 \text{ mm}, A_{c1} = 1836025 \text{ mm}^2$$

$$b_2 \leq 3 \cdot b_1 \Rightarrow 1355 \text{ mm} \leq 3 \cdot 900 = 2700 \text{ mm}$$

$$h \geq (b_2 - b_1) \Rightarrow 800 \text{ mm} \geq (1355 - 900) = 455 \text{ mm}$$

$$F_{Rd,u} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \leq 3,0 \cdot f_{cd} \cdot A_{c0}$$

$$F_{Rd,u} = 810000 \cdot 24 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{1836025}{810000}} = 29268 \text{ kN}$$

$$F_{Rd,u} = 29268 \text{ kN} \leq 3 \cdot 24 \cdot 810000 \cdot 10^{-3} = 58320 \text{ kN}$$

$$R_{Ed, \max 1} \leq F_{Rd,u}$$

$$7178 \text{ kN} \leq 29268 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Ložisko nad podporou 2 a 3

$$R_{Ed, \max 2} = 12131 \text{ kN}$$

$$R_{Ed, \max 2} \leq F_{Rd,u}$$

$$12131 \text{ kN} \leq 29268 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.5.2 Návrh výstuže na priečne ťahy

Ložisko nad oporou

$$R_{Ed} = 7178 \text{ kN}$$

$$c = c' = 1190 \text{ mm}, a = a' = 900 \text{ mm}$$

$$cc' \geq \frac{R_{Ed}}{0,6 \cdot f_{ck}} = \frac{7178}{0,6 \cdot 40 \cdot 10^3} = 0,299 \text{ m} \Rightarrow c = c' = 1190 \geq \sqrt{0,299} = 0,547 \text{ m}$$

$$\frac{c}{a} = \frac{1190}{900} = 1,32 < 1,25 \cdot \sqrt{\frac{cc'}{aa'}} = 1,25 \cdot \sqrt{\frac{1190^2}{900^2}} = 1,65$$

$$T_{bu} = \frac{1}{4} \cdot \frac{c-a}{c} \cdot R_{Ed} = \frac{1}{4} \cdot \frac{1190-900}{1190} \cdot 7178 = 437,3 \text{ kN}$$

$$A_{s, req} = \frac{T_{bu}}{\sigma_{sd}} = \frac{437,3}{250 \cdot 10^3} = 17,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{\min} = 0,15 \cdot F_{Ed} / \sigma_{sd} = 0,15 \cdot 7178 / 250000 = 43,068 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s, req} = 17,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < A_{s, \min} = 43,07 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \text{Navrhjem } \phi 14 \times 28 \quad A_{s, prov} = 43,12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Vo výkrese betonárskej výstuže položky 31 a 32.

Ložisko nad podporou 2 a 3

$$R_{Ed} = 12131 kN$$

$$c = c' = 1190 mm, \quad a = a' = 900 mm$$

$$cc' \geq \frac{R_{Ed}}{0,6 \cdot f_{ck}} = \frac{12131}{0,6 \cdot 40 \cdot 10^3} = 0,505 m \Rightarrow c = c' = 1190 \geq \sqrt{0,505} = 0,711 m$$

$$\frac{c}{a} = \frac{1190}{900} = 1,32 < 1,25 \cdot \sqrt{\frac{cc'}{aa'}} = 1,25 \cdot \sqrt{\frac{1190^2}{900^2}} = 1,65$$

$$T_{bu} = \frac{1}{4} \cdot \frac{c-a}{c} \cdot R_{Ed} = \frac{1}{4} \cdot \frac{1190-900}{1190} \cdot 12131 = 739,05 kN$$

$$A_{s,req} = \frac{T_{bu}}{\sigma_{sd}} = \frac{739,05}{250 \cdot 10^3} = 29,56 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$A_{min} = 0,15 \cdot F_{Ed} / \sigma_{sd} = 0,15 \cdot 7178 / 250000 = 43,068 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$A_{s,req} = 29,56 \cdot 10^{-4} m^2 < A_{s,min} = 43,07 \cdot 10^{-4} m^2 \Rightarrow \text{Navrhjem } \phi 14 \times 28$$

$$A_{s,prov} = 43,12 \cdot 10^{-4} m^2$$

Vo výkrese betonárskej výstuže položky 31 a 32.

8.5.3 Povrch čela náliatku**Ložisko nad oporou**

$$R_{Ed} = 7178 kN$$

$$T_{sp} = 0,03 \cdot R_{Ed} = 0,03 \cdot 7178 = 215,34 kN$$

$$A_{s,req} = \frac{T_{sp}}{\sigma_{sd}} = \frac{215,34}{250 \cdot 10^3} = 8,61 \cdot 10^{-4} m^2 \Rightarrow \text{Návrh } 10 \times \phi 14 \quad A_s = 15,4 \cdot 10^{-4} m^2$$

Vo výkrese betonárskej výstuže položka 30.

Ložisko nad podporou 2 a 3

$$R_{Ed} = 12131 kN$$

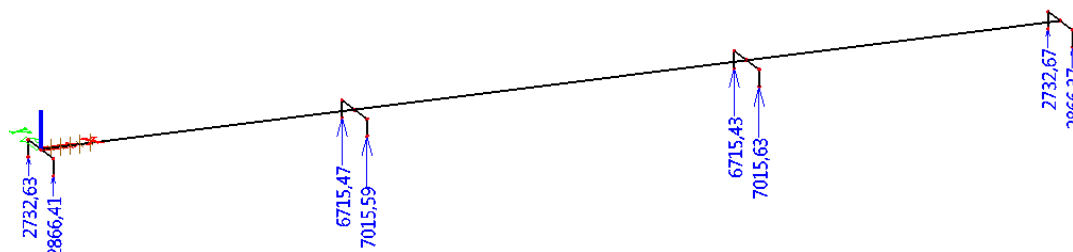
$$T_{sp} = 0,03 \cdot R_{Ed} = 0,03 \cdot 12131 = 363,93 kN$$

$$A_{s,req} = \frac{T_{sp}}{\sigma_{sd}} = \frac{363,93}{250 \cdot 10^3} = 14,55 \cdot 10^{-4} m^2 \Rightarrow \text{Návrh } 10 \times \phi 14 \quad A_s = 15,4 \cdot 10^{-4} m^2$$

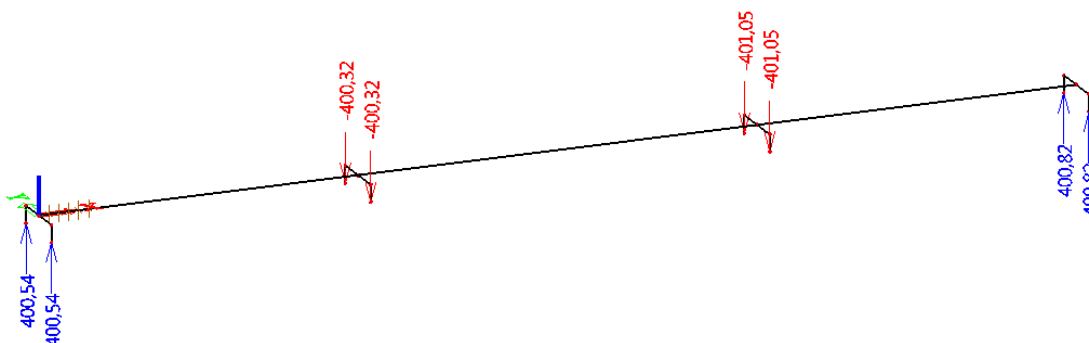
Vo výkrese betonárskej výstuže položka 30.

9 Preklopenie

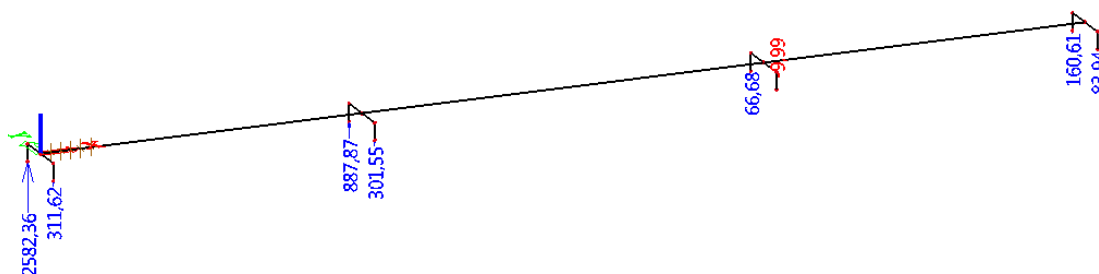
9.1 Vnúťorné sily



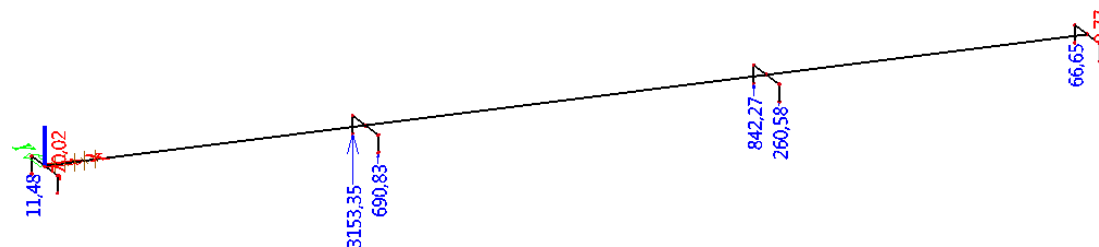
Obrázok 9.1: Reakcie od charakteristickej hodnoty stáleho zaťaženia ($g_{0k} + g_{1k,inf}$).



Obrázok 9.2: Reakcie od predpätia $p_{k,tq}$:



Obrázok 9.3: Reakcie od vozidla 1800/200 – najnepriaznivejšie postavenie opor.



Obrázok 9.4: Reakcie od vozidla 1800/200 – najnepriaznivejšie postavenie pre podporu 2.

9.2 Posúdenie bezpečnosti proti preklopeniu

$$(R_g + R_p) \cdot \gamma_g + R_{q,\min} \cdot \gamma_q \geq 0$$

Podpora 1:

$$(2866,41 + 400,54) \cdot 0,95 + 311,62 \cdot 1,35 \geq 0$$

$$3524,3 > 0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Podpora 2:

$$(2866,41 - 400,32) \cdot 0,95 + 690,83 \cdot 1,35 \geq 0$$

$$3275,4 > 0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Ložiska sa nedvíhajú, konštrukcia vyhovuje na bezpečnosť proti preklopeniu.

10 Odkazy a zdroje

Použitá literatúra je uvedená v závere textovej časti.