



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

P4. STATICKÝ VÝPOČET

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Erik Barkáč

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Josef Panáček

BRNO 2020

OBSAH

1	VSTUPNÉ PARAMETRE KONŠTRUKCIE	9
1.1	Identifikačné údaje	9
1.2	Základné parametre mostu a nosnej konštrukcie.....	10
1.3	Model konštrukcie	10
2	MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY	14
2.1	Betón	14
2.2	Predpínacia výstuž.....	14
2.3	Predpínacie tyče	15
2.4	Betonárska výstuž.....	15
3	KRYTIE VÝSTUŽE.....	16
3.1	Betonárska výstuž.....	16
3.1.1	Minimálne krytie výstuže.....	16
3.2	Predpínacia výstuž.....	17
3.2.1	Minimálne krytie výstuže.....	17
4	PRIEREZOVÉ CHARAKTERISTIKY	18
4.1	Stanovenie spolupôsobiacej šírky	18
4.2	Podpora 2 a 6.....	19
4.3	Podpora 3 – 5.....	20
4.4	Pole 1 a 6	21
4.5	Pole 2-5.....	22
4.6	Zhrnutie prierezových charakteristík.....	23
5	ZAŤAŽENIE.....	24
5.1	Vlastná tiaž	24
5.2	Ostatné stále	24
5.3	Zaťaženie dopravou.....	25
5.3.1	Rozdelenie vozovky do zaťažovacích pruhov	25

5.3.2	Regulačné súčinitele pre ČR	26
5.3.3	Model zaťaženia LM 1	26
5.3.4	Model zaťaženia LM3	27
5.4	Zaťaženie teplotou	28
5.4.1	Rovnomerná zložka teploty	28
5.4.2	Rozdielová zložka teploty	28
5.5	Pokles podpor	29
5.6	Zaťaženie snehom	29
5.7	Zaťaženie vetrom	29
6	NÁVRH PREDPÄTIA	30
6.1	Súdržné káble	30
6.2	Metóda vyrovnania zaťaženia	31
7	POSTUPNÁ VÝSTAVBA	33
7.1	Postup výstavby	33
7.2	Staveniskové zaťaženie	33
7.3	Popis fáz výstavby	34
7.3.1	Časová osa fáz výstavby	34
7.3.2	Obmedzenie napätia v betóne počas výstavby	35
7.3.3	Stanovenie zníženej charakteristickej pevnosti betónu	36
7.4	Výpočet fáz výstavby	36
7.4.1	I. Fáza	36
7.4.2	II. Fáza	37
7.4.3	III. Fáza	38
7.4.4	IV. Fáza	39
7.4.5	V. Fáza	40
7.4.6	VI. Fáza	41
7.4.7	VII. Fáza	42

7.5	Záver.....	43
8	KOMBINÁCIE	44
8.1	Kombinácie pre medzný stav použiteľnosti	44
8.2	Kombinácie pre medzný stav únosnosti	44
8.3	Súčinitele ψ pre mosty pozemných komunikácií	44
8.4	Bezpečnostné súčinitele	45
9	MEDZNÝ STAV ÚNOSNOSTI – ŽIVOTNOST'	45
9.1	Obmedzenie napätia	45
9.1.1	Tlakové napätia v betóne	45
9.1.2	Ťahové napätia v betóne.....	45
9.1.3	Ťahové napätia vo výstuži.....	46
9.2	Obmedzenie trhlín	46
9.3	Určenie účinkov od dopravy	46
9.3.1	Kombinácie -Podpora.....	46
9.3.2	Kombinácie – Pole	47
9.4	Posúdenie napätia v betóne	48
9.4.1	Charakteristická kombinácia v čase t_{∞}	48
9.4.2	Častá kombinácia v čase t_{∞}	49
9.4.3	Kvázistála kombinácia v čase t_{∞}	50
9.5	Posúdenie napätia v predpínacej výstuži.....	50
9.6	Obmedzenie deformácií konštrukcie	51
10	MEDZNÝ STAV ÚNOSNOSTI – OHYB	52
10.1	Kombinácie – pole	52
10.1.1	Kombinácia ohybových momentov	52
10.1.2	Normálové sily od účinkov predpätia	52
10.1.3	Materiálové a prierezové charakteristiky	53
10.1.4	Stanovenie základného napätia a pomerného pretvorenia	54

10.1.5	Silová podmienka.....	54
10.1.6	Prírastok pomerného pretvorenia	54
10.1.7	Pomerné pretvorenie	55
10.1.8	Napätie	55
10.1.9	Príspevok napätia v predpínacej výstuži	55
10.1.10	Prírastok sily v predpínacej výstuži.....	55
10.1.11	Splnenie silovej podmienky	55
10.1.12	Posúdenie únosnosti	56
10.1.13	Momentová únosnosť	56
10.2	Kombinácie – Podpora.....	58
10.2.1	Kombinácia ohybových momentov	58
10.2.2	Normálové sily od účinkov predpätia	58
10.2.3	Stanovenie základného napätia a pomerného pretvorenia	58
10.2.4	Silová podmienka.....	59
10.2.5	Prírastok pomerného pretvorenia	59
10.2.6	Pomerné pretvorenie	59
10.2.7	Napätie:	59
10.2.8	Príspevok napätia v predpínacej výstuži:	60
10.2.9	Prírastok sily v predpínacej výstuži	60
10.2.10	Splnenie silovej podmienky	60
10.2.11	Momentová únosnosť	60
11	MEDZNÝ STAV ÚNOSNOSTI PRI PÔSOBNÍ POSÚVAJÚCEJ SILY A KRÚTIACEHO MOMENTU	62
11.1	Zaťaženie	62
11.1.1	Zostava gr1a.....	62
11.1.2	Zostava gr5 1800/200.....	64
11.1.3	Zostava gr5 3000/240.....	66

11.2	Posúdenie – Rez č.1 vo vzdialenosti d od podpory	66
11.2.1	Posúdenie na maximálnu posúvajúcu silu a príslušný krútiaci moment...66	
11.2.2	Posúdenie na maximálny krútiaci moment a príslušnú posúvajúcu silu...71	
11.2.3	Vplyv pozdĺžneho šmyku.....	75
11.3	Posúdenie – Rez č.2 v mieste nulového momentu.....	84
11.3.1	Kombinácia maximálnej posúvajúcej sily a odpovedajúceho krútiaceho momentu.....	85
11.3.2	Kombinácia odpovedajúcej posúvajúcej sily a maximálneho krútiaceho momentu.....	86
11.3.3	Vplyv pozdĺžneho šmyku.....	87
11.4	Posúdenie – Rez č.3 18m od podpory.....	97
11.4.1	Kombinácia maximálnej posúvajúcej sily a príslušného krútiaceho momentu.....	98
11.4.2	Kombinácia maximálneho krútiaceho momentu a príslušnej posúvajúcej sily	98
11.4.3	Vplyv pozdĺžneho šmyku.....	100
12	MEDZNÝ STAV ÚNOSNOTI – PRIEČNY SMER.....	101
12.1	Model	101
12.2	Porovnanie modelov	102
12.3	Zaťaženie modelu	103
12.3.1	Maximálny ohybový moment M21 – gr1a	103
12.3.2	Maximálna posúvajúca sila V21 – gr1a.....	104
12.3.3	Maximálny ohybový moment M23.....	104
12.3.4	Maximálna posúvajúca sila V23	105
12.3.5	Maximálny ohybový moment M24.....	106
12.3.6	Maximálny ohybový moment M42.....	106
12.3.7	Maximálny ohybový moment M3 a M5	108
12.4	Interakcia priečneho ohybu a pozdĺ. šmyku reze č.1	108

12.4.1	Kombinácie zaťaženia.....	108
12.4.2	Potrebné plochy výstuží	109
12.4.3	Navrhnuté vystuženie.....	109
12.5	Interakcia priečneho ohybu a pozdĺ. šmyku reze č.2.....	110
12.5.1	Kombinácie zaťaženia.....	110
12.5.2	Potrebné plochy výstuží	111
12.5.3	Navrhnuté vystuženie.....	111
12.6	Interakcia priečneho ohybu a pozdĺ. šmyku reze č.3.....	112
12.6.1	Kombinácie zaťaženia.....	112
12.6.2	Potrebné plochy výstuží	113
12.6.3	Navrhnuté vystuženie.....	113
12.7	Návrh priečnej šmykovej výstuže.....	114
12.7.1	Kombinácia zaťažení	114
12.7.2	Overenie šmykovej únosnosti	115
13	PRIEČNIK	116
13.1	Geometria priečniku	116
13.2	Reakcie od jednotlivých kombinácií.....	116
13.3	Uloženie priečniku.....	117
13.4	Príhradová analógia	117
13.4.1	Geometria príhradového modelu.....	117
13.4.2	Vnútorne sily príhradového modelu.....	118
13.5	Posúdenie uzlových oblastí.....	118
13.5.1	Uzol typu C-C-C	118
13.5.2	Uzol typu C-T-T.....	119
13.6	Overenie napätia vo vzperách.....	120
13.6.1	Overenie tlačenej šikmej vzpery	120
13.6.2	Overenie tlačenej vodorovnej vzpery.....	120

13.6.3	Posúdenie priečných ťahov vo vzperách.....	121
13.7	Dimenzovanie tiahel	123
13.7.1	Dimenzovanie zvislého tiahla	123
13.7.2	Návrh betonárskej výstuže	123
13.7.3	Návrh predpínacích tyčí	123
13.7.4	Dimenzovanie vodorovného tiahla	125
13.8	Vplyv krútenia	125
13.8.1	Maximálny krútiaci moment v priečniku	125
13.8.2	Priehradový model na krútiaci moment	126
13.8.3	Návrh výstuže.....	127
13.9	Posúdenie lokálnej oblasti pod ložiskom.....	128
13.9.1	Posúdenie betónu v sústrednom tlaku	128
13.9.2	Posúdenie priečných ťahov v lokálnej oblasti	129
13.10	Posúdenie stability na preklopenie	130
13.10.1	Posúdenie stability	130
ZOZNAM POUŽITÝCH PRAMEŇOV A LITERATÚRY		131
Literatúra		131
Internet		131
Normy		131
ZOZNAM TABULIEK.....		132
ZOZNAM OBRÁZKOV		135

1 VSTUPNÉ PARAMETRE KONŠTRUKCIE

1.1 Identifikačné údaje

Stavba:	R 48 Frýdek-Místek, obchvat
ISPROFIN:	327 126 7018
Názov objektu:	SO 212 – Most cez Ostravic v km 4,080
Katastrálne územie	Místek
Okres:	Frýdek-Místek
Kraj:	Moravskoslezský
Objednávateľ:	Ředitelství silnic a dálnic ČR Na Pankráci 56 145 05 Praha 4
Investor:	Ředitelství silnic a dálnic ČR, Správa Ostrava Mojmírovců 5,709 81 Ostrava Trocnovská 794/9, 702 00 Ostrava, IČO 646 16 886
Uvažovaný správca mostu:	Ředitelství silnic a dálnic ČR, Správa Ostrava
Projektant:	Bc. Erik Barkáč Pivovarská 420/67 Ilava 01901
Pozemná komunikácia:	R 28,5/120
Premosťovaná prekážka:	Cesta I/48 (SO 101)
Staničenie:	km 3,973
Uhol kríženia:	100,000g
Premosťovaná prekážka:	řeka Ostravice I/48 (SO 101)
Staničenie:	km 4,101

Uhol kríženia:	79,654g
Premosťovaná prekážka:	Lesná cesta I/48 (SO 101)
Staničenie:	km 4,187
Uhol kríženia:	83,377g

1.2 Základné parametre mostu a nosnej konštrukcie.

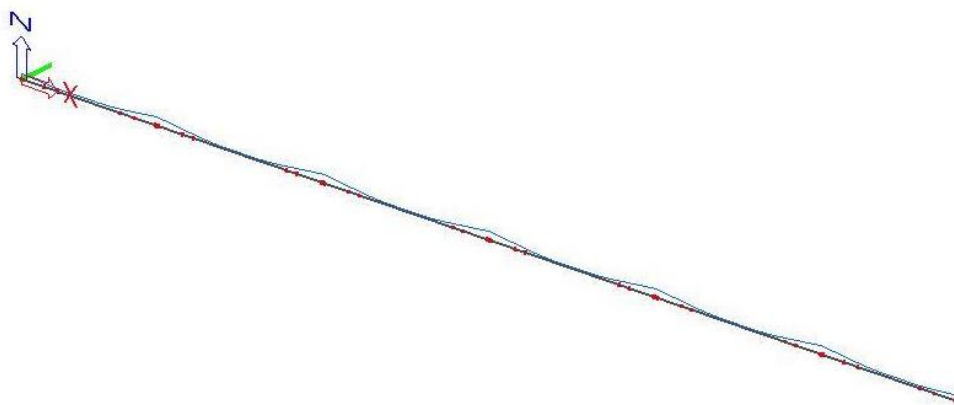
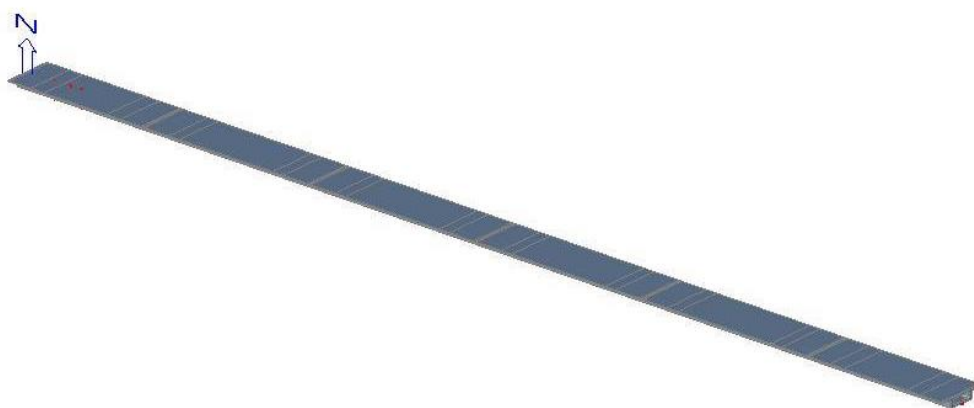
Dĺžka mostu:	285,00m
Dĺžka nosnej konštrukcie:	273,60m
Dĺžka premostenia:	270,00m
Rozpätie polí:	39,00 + 7x 48,00 + 39,00m
Šikmosť mostu:	v oblúku $R = 2100m$
Výška mostu nad terénom:	11,91m
Celková šírka mostu:	28,50m
Šírka nosnej konštrukcie:	28,00m
Voľná šírka mostu:	2 x 11,25m
Šírka núdzového chodníka:	2x 0,75m
Zaťaženie mostu:	pozemná komunikácia 1. skupiny podľa ČSN EN 1991-2

1.3 Model konštrukcie

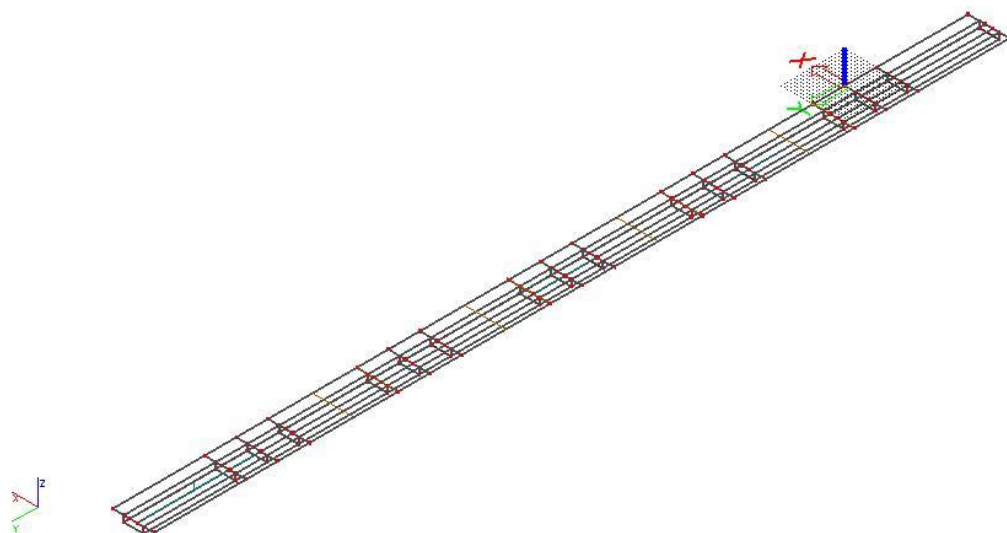
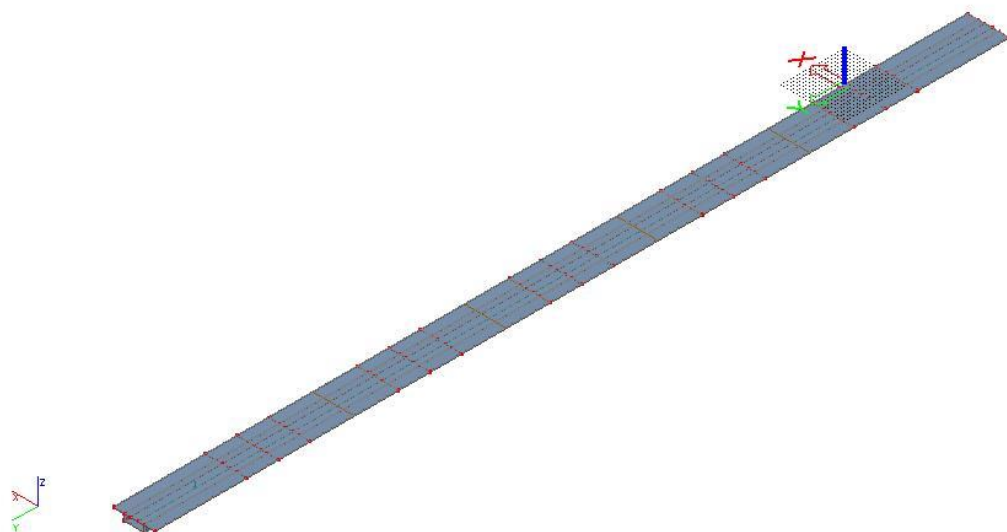
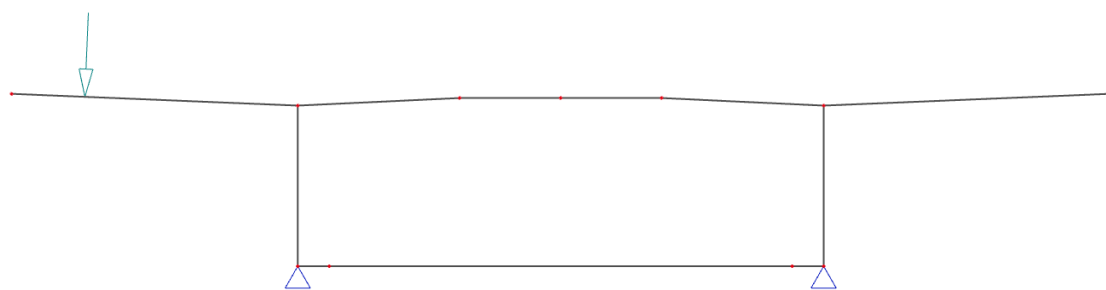
Statická analýza v pozdĺžnom smere je prevedená na dvoch modeloch. Oba modely zohľadňujú zmenu prierezu po dĺžke konštrukcie. Smerové zakrivenie konštrukcie a pozdĺžny sklon je zanedbaný.

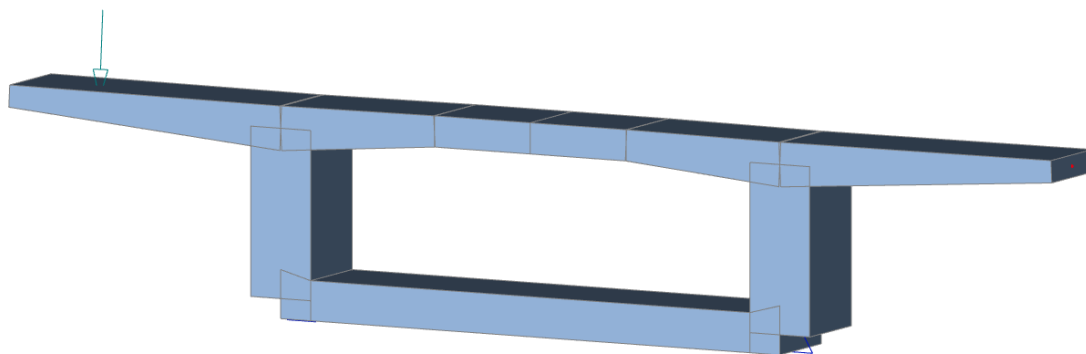
Prvý model je prút vytvorený v rovine XYZ, ktorý slúži na vyčíslenie vnútorných síl od zaťaženia, jedná sa najmä o krútiace momenty a pokles podpor.

Druhý model je vytvorený v rovine XZ a je použitý k časovo závislej analýze – TDA a predbežnému návrhu predpätia.

*Obr. 1- Nerendrovaný prútový model**Obr. 2- Rendrovaný prútový model**Obr. 3- Uloženie prútové modelu*

Pre analýzu v priečnom smere bola vytvorená doskostenová konštrukcia a prútový model o výseku 1m pre zistenie príčinkových čiar.

*Obr. 4- Nerendrovaný doskostenový model**Obr. 5- Rendrovaný doskostenový model**Obr. 6- Nerendrovaný výsek 1m*



Obr. 7- Rendrovaný výsek 1m

2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

2.1 Betón

Pevnostná trieda	C35/45
Charakteristická valcová pevnosť v tlaku:	$f_{ck} = 35 \text{ [MPa]}$
Súčiniteľ spoľahlivosti:	$\gamma_c = 1,5 \text{ [-]}$
Súčiniteľ účinkov zaťaženia na tlak:	$\alpha_{cc} = 0,9 \text{ [-]}$
Súčiniteľ účinkov zaťaženia na ťah:	$\alpha_{ct} = 1 \text{ [-]}$
Stredná hodnota pevnosti v ťahu:	$f_{ctm} = 3,2 \text{ [MPa]}$
5% kvantil pevnosti v ťahu:	$f_{ctk0,05} = 2,2 \text{ [MPa]}$
Medzné pretvorenie:	$\varepsilon_{cu3} = 3,5 \text{ [‰]}$
Modul pružnosti:	$E_{cm} = 34 \text{ [Gpa]}$
Návrhová pevnosť v tlaku:	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 21 \text{ [MPa]}$
Návrhová pevnosť v ťahu:	$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk0,05} / \gamma_c = 2,13 \text{ [MPa]}$

2.2 Predpínacia výstuž

Druh predpínacej výstuže:	Y 1770 S7-15,3-A
Charakteristická pevnosť v ťahu:	$f_{pk} = 1860 \text{ [MPa]}$
Charakteristické zmluvné napätie:	$f_{p0,1k} = 1600 \text{ [MPa]}$
Modul pružnosti:	$E_p = 195 \text{ [MPa]}$
Súčiniteľ spoľahlivosti:	$\gamma_s = 1,15 \text{ [MPa]}$
Priemer lana:	$\Phi_p = 15,3 \text{ [mm]}$
Plocha lana:	$A_p = 140 \text{ [mm}^2\text{]}$
Priemer kanálíka:	$\Phi_{duct} = 95 \text{ [mm]}$
Návrhová pevnosť v ťahu:	$f_{pd} = f_{p0,1k} / \gamma_s = 1391,3 \text{ [MPa]}$

2.3 Predpínacie tyče

Typ prepínacích tyčí:	40WR
Plocha predpínacej výstuže:	$A_p = 1257 \text{ mm}^2$
Charakteristická pevnosť:	$f_{pk} = 1050 \text{ MPa}$
Charakteristické zmluvné napätie:	$f_{p,01,k} = 945 \text{ MPa}$
Navrhovaná pevnosť:	$f_{pd} = f_{p,01,k} / \gamma_p = 945 / 1,15 = 821,74 \text{ MPa}$

2.4 Betonárska výstuž

Druh oceli:	B550B
Stupeň vplyvu prostredia:	XD1
Charakteristická pevnosť v ťahu:	$f_{yk} = 550 \text{ [MPa]}$
Modul pružnosti:	$E_s = 200 \text{ [MPa]}$
Súčiniteľ spoľahlivosti:	$\gamma_s = 1,15 \text{ [-]}$
Návrhová pevnosť v ťahu:	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 478,26 \text{ [MPa]}$
Návrhové pretvorenie na medzi klzu:	$\varepsilon_{yd} = f_{yd} / E_s = -0,000217 \text{ [-]}$

3 KRYTIE VÝSTUŽE

Trieda konštrukcie:	S4	
Stupeň vplyvu prostredia:	XC4, XD1, XF2	
Navrhovaná životnosť:	100 let	+ 2 triedy
Pevnostná trieda:	$\geq C45/55$	
Desková konštrukcia:	Nie	
Zaistenie zvláštnej kvality betónu:	Áno	1. Trieda
Výsledná trieda konštrukcie:	S5	

Minimálne krytie výstuže

Nominálna krycia vrstva: $C_{nom} = C_{min} + \Delta c_{dev}$

Minimálna krycia vrstva:

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

kde

- $c_{min,b}$ minimálna krycia vrstva z hľadiska súdržnosti
- $c_{min,dur}$ min. krycia vrstva z hlad. podmienok prostredia
- $\Delta c_{dur,y}$ prídavná hodnota z hľadiska spoľahlivosti
- $\Delta c_{dur,st}$ redukcia min. krycej vrstvy použitím ocele
- $\Delta c_{dur,add}$ redukcia min. krycej vrstvy použitím dodatočnej ochrany

3.1 Betonárska výstuž

3.1.1 Minimálne krytie výstuže

Stanovenie $c_{min,b}$

kde

- $c_{min,b} \geq \varphi$ alebo φ_n
- $c_{min,b} \geq (\varphi + 5mm)$ alebo $(\varphi_n + 5mm)$ pri $d_g > 32mm$
- $c_{min,b} \leq 80mm$
- φ primer vystuženého prutu
- φ_n náhradný priemer skupinovej vložky

d_g najväčší menovitý rozmer zrna kameniva

$$c_{min,b} = 28mm$$

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

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

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

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

$$= \max [28; 40; 10] \text{ mm} = 40mm$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 40 + 10 = 50mm$$

3.2 Predpínacia výstuž

3.2.1 Minimálne krytie výstuže

Stanovenie $c_{min,b}$

$$c_{min,b} \geq \varphi \text{ alebo } \varphi_n$$

$$c_{min,b} \geq (\varphi + 5mm) \text{ alebo } (\varphi_n + 5mm) \text{ pri } d_g > 32mm$$

φ priemer vystuženého prutu

φ_n náhradný priemer skupinovej vložky

d_g najväčší menovitý rozmer zrna kameniva

$$c_{min,b} = 95mm$$

$$c_{min,dur} = 60mm$$

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

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

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

$$= \max [95; 60; 10] \text{ mm} = 95mm$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 100 + 10 = 105mm$$

4 PRIEREZOVÉ CHARAKTERISTIKY

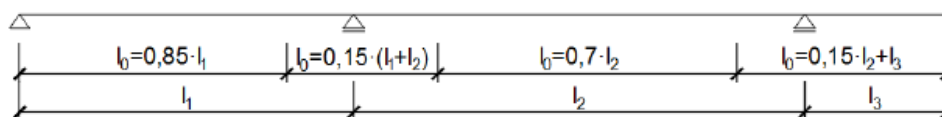
4.1 Stanovenie spolupôsobiacej šírky

$$b_{eff,i} = \sum b_{eff,i} + b_w \leq b$$

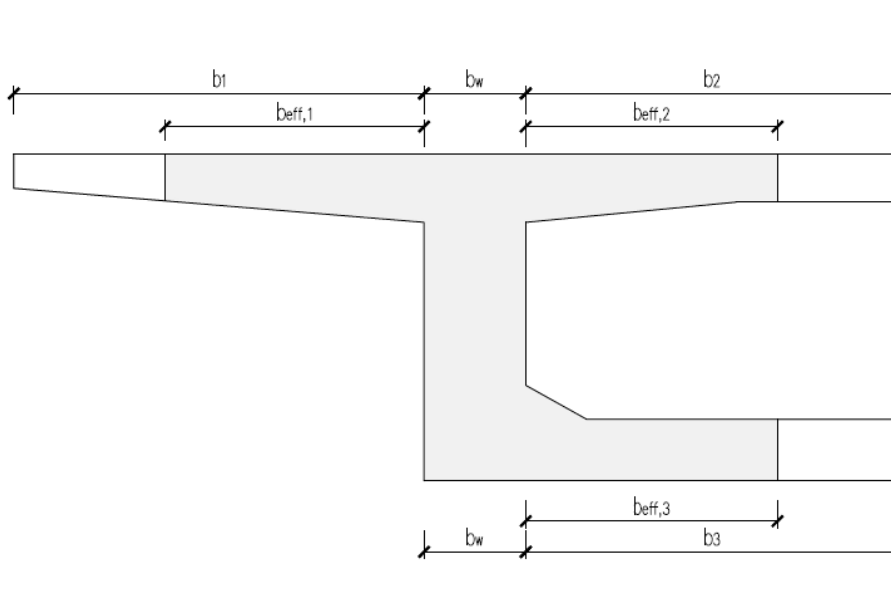
$$b_{eff,i} \leq b_i$$

$$b_{eff,i} = 0,2 \cdot b_i + 0,1 \cdot l_0 \leq 0,2 \cdot l_0$$

kde b_w šírka steny
 l_0 vzdialenosť nulových momentov
 b šírka dosky podľa Obr.



Obr. 8 - Vzdialenosť nulových ohybových momentov



Obr. 9- Spolupôsobiace šírky

4.2 Podpora 2 a 6

$$l_1 = 39,0 \text{ m}; l_2 = 48,0 \text{ m}$$

$$b_1 = 3,025 \text{ m}$$

$$b_2 = 2,750 \text{ m}$$

$$b_3 = 2,750 \text{ m}$$

$$b_w = 0,750 \text{ m}$$

$$l_0 = 0,15 \cdot (l_1 + l_2) = 0,15 \cdot (39,0 + 48,0) = 13,05 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 0,2 \cdot b_1 + 0,1 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 3,025 + 0,1 \cdot 13,05 = 1,910 \text{ m} \leq 0,2 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 13,05 \\ = 2,61 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 1,910 < b_1 = 3,025 \rightarrow \mathbf{b_{eff,1} = 1,910 \text{ m}}$$

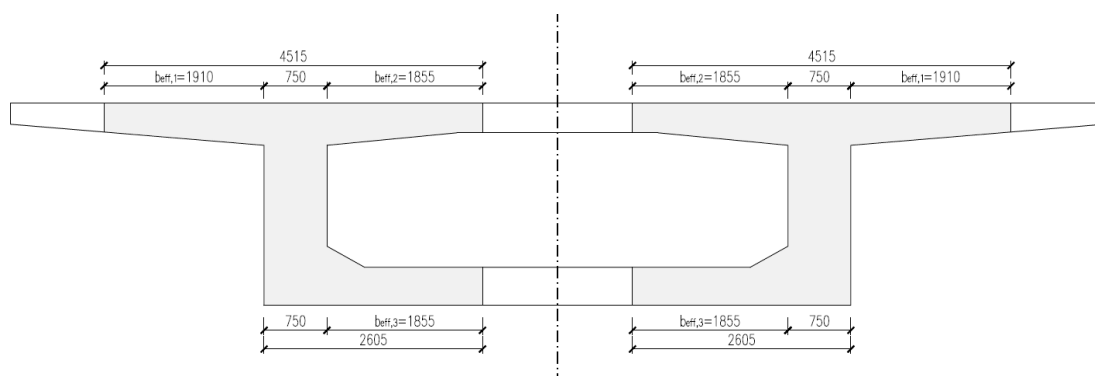
$$b_{eff,2} = 0,2 \cdot b_2 + 0,1 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 2,750 + 0,1 \cdot 13,05 = 1,855 \text{ m} \leq 0,2 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 13,05 \\ = 2,61 \text{ m}$$

$$b_{eff,2} = 1,855 < b_2 = 2,750 \rightarrow \mathbf{b_{eff,2} = 1,855 \text{ m}}$$

$$b_{eff,3} = 0,2 \cdot b_3 + 0,1 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 2,750 + 0,1 \cdot 13,05 = 1,855 \text{ m} \leq 0,2 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 13,05 \\ = 2,61 \text{ m}$$

$$b_{eff,3} = 1,855 < b_3 = 2,750 \rightarrow \mathbf{b_{eff,3} = 1,855 \text{ m}}$$

→ redukcia celého prierezu



Obr. 10- Efektívny prierez nad podporou 2 a 6

4.3 Podpora 3 – 5

$$l_2 = 48,0 \text{ m}; l_3 = 48,0 \text{ m}$$

$$b_1 = 3,025 \text{ m}$$

$$b_2 = 2,750 \text{ m}$$

$$b_3 = 2,750 \text{ m}$$

$$b_w = 0,750 \text{ m}$$

$$l_0 = 0,15 \cdot (l_2 + l_3) = 0,15 \cdot (48,0 + 48,0) = 14,40 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 0,2 \cdot b_1 + 0,1 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 3,025 + 0,1 \cdot 14,40 = 2,045 \text{ m} \leq 0,2 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 14,40 = 2,88 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 2,045 < b_1 = 3,025 \rightarrow b_{eff,1} = 2,045 \text{ m}$$

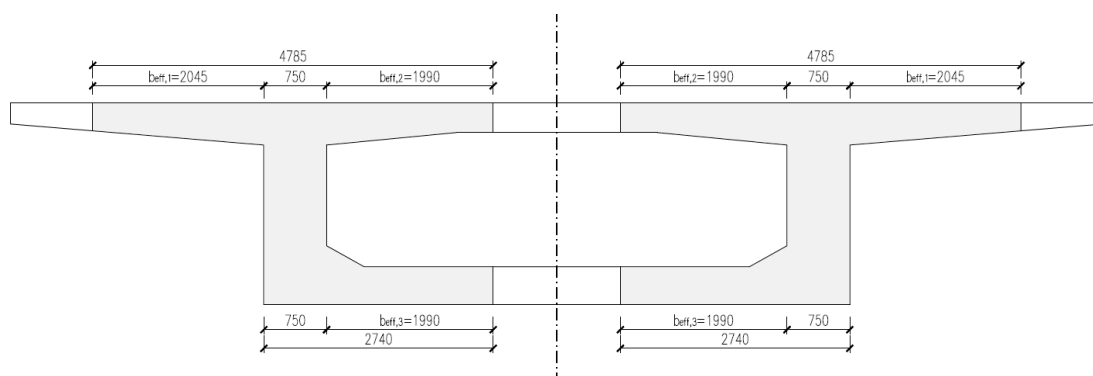
$$b_{eff,2} = 0,2 \cdot b_2 + 0,1 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 2,750 + 0,1 \cdot 14,40 = 1,990 \text{ m} \leq 0,2 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 14,40 = 2,88 \text{ m}$$

$$b_{eff,2} = 1,990 < b_2 = 2,750 \rightarrow b_{eff,2} = 1,990 \text{ m}$$

$$b_{eff,3} = 0,2 \cdot b_3 + 0,1 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 2,750 + 0,1 \cdot 14,40 = 1,990 \text{ m} \leq 0,2 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 14,40 = 2,88 \text{ m}$$

$$b_{eff,3} = 1,990 < b_3 = 2,750 \rightarrow b_{eff,3} = 1,990 \text{ m}$$

→ redukcia celého prierezu



Obr. 11 - Efektívny prierez nad podporou 3-5

4.4 Pole 1 a 6

V poli nedochádza k redukovaniu prierezových charakteristík.

$$l_1 = 39,0m$$

$$b_1 = 3,025 m$$

$$b_2 = 2,900 m$$

$$b_3 = 2,900 m$$

$$b_w = 0,600 m$$

$$l_0 = 0,85 \cdot l_1 = 0,85 \cdot 39,0 = 33,15m$$

$$b_{eff,1} = 0,2 \cdot b_1 + 0,1 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 3,025 + 0,1 \cdot 33,15 = 3,920m \leq 0,2 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 33,15 = 6,63m$$

$$b_{eff,1} = 3,920m \geq b_1 = 3,025 \rightarrow b_{eff,1} = 3,025m$$

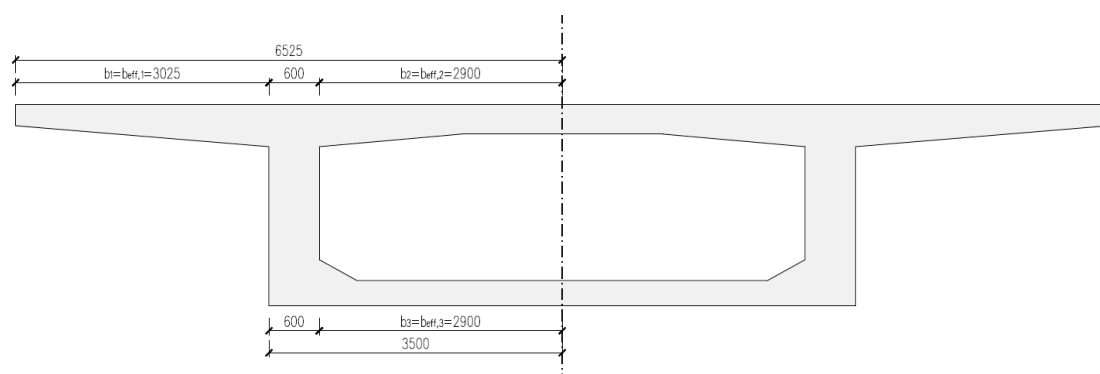
$$b_{eff,2} = 0,2 \cdot b_2 + 0,1 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 2,900 + 0,1 \cdot 33,15 = 3,895m \leq 0,2 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 33,15 = 6,63m$$

$$b_{eff,2} = 3,895 \geq b_2 = 2,900 \rightarrow b_{eff,2} = 2,900m$$

$$b_{eff,3} = 0,2 \cdot b_3 + 0,1 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 2,900 + 0,1 \cdot 33,15 = 3,895m \leq 0,2 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 33,15 = 6,63m$$

$$b_{eff,3} = 3,895 \geq b_3 = 2,900 \rightarrow b_{eff,3} = 2,900m$$

→ pôsobí celý prierez



Obr. 12 - Efektívny prierez v poli 1 a 6

4.5 Pole 2-5

V poli nedochádza k redukovaniu prierezových charakteristík.

$$l_2 = 48,0 \text{ m}$$

$$b_1 = 3,025 \text{ m}$$

$$b_2 = 2,900 \text{ m}$$

$$b_3 = 2,900 \text{ m}$$

$$b_w = 0,600 \text{ m}$$

$$l_0 = 0,7 \cdot l_1 = 0,7 \cdot 48,0 = 33,60 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 0,2 \cdot b_1 + 0,1 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 3,025 + 0,1 \cdot 33,60 = 3,965 \text{ m} \leq 0,2 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 33,60 = 6,72 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 3,965 \text{ m} \geq b_1 = 3,025 \rightarrow b_{eff,1} = 3,025 \text{ m}$$

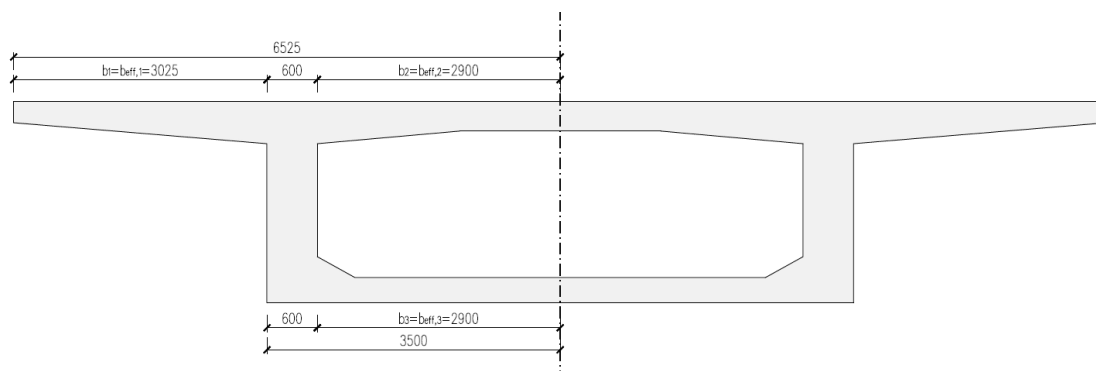
$$b_{eff,2} = 0,2 \cdot b_2 + 0,1 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 2,900 + 0,1 \cdot 33,60 = 3,940 \text{ m} \leq 0,2 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 33,60 = 6,63 \text{ m}$$

$$b_{eff,2} = 3,940 \geq b_2 = 2,900 \rightarrow b_{eff,2} = 2,900 \text{ m}$$

$$b_{eff,3} = 0,2 \cdot b_3 + 0,1 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 2,900 + 0,1 \cdot 33,60 = 3,940 \text{ m} \leq 0,2 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 33,60 = 6,63 \text{ m}$$

$$b_{eff,3} = 3,940 \geq b_3 = 2,900 \rightarrow b_{eff,3} = 2,900 \text{ m}$$

→ redukcia celého prierezu



Obr. 13- Efektívny prierez v poli 2-5

4.6 Zhrnutie prierezových charakteristík

Z výpočtu jasne vyplýva, že prierezové charakteristiky budú redukované iba nad podporami. V poliach k redukcii nedôjde pretože efektívne šírky nadobúdajú väčšie hodnoty, než sú skutočné šírky komory.

Tab 1- Prierezové charakteristiky

	A [m ²]	I _v [m ⁴]	z _d [m]	z _h [m]	w _d [m ³]	w _h [m ³]
pole 1 a 6	9,287	7,278	1,485	0,915	4,901	7,954
pole 2 - 5	9,287	7,278	1,485	0,915	4,901	7,954
podpora P2 a P6	8,521	6,282	1,365	1,035	4,602	6,070
podpora P3 - P5	8,828	6,582	1,367	1,033	4,815	6,372

5 ZAŤAŽENIE

5.1 Vlastná tiaž

Vlastná tiaž je automaticky generovaná programom SCIA Engineer. Do vlastnej tiaže je zahrnutá aj tuhosť priečniku, ktorému je prepočítaná objemová hmotnosť.

Tab 2- Vlastná tiaž

	Plocha [m ²]	Obj.hmotnosť [kN/m ³]	Ťiaž [kN/m]	Zaťaženie [kN/m]
Pole	9,287	25	-	232,175
Podpora	10,615	25	-	265,375

Plocha prierezu v poli:

$$A_c = 9,287 \text{ m}^2$$

Plocha prierezu priečniku:

$$A_c = 18,061 \text{ m}^2$$

Vlastná tiaž:

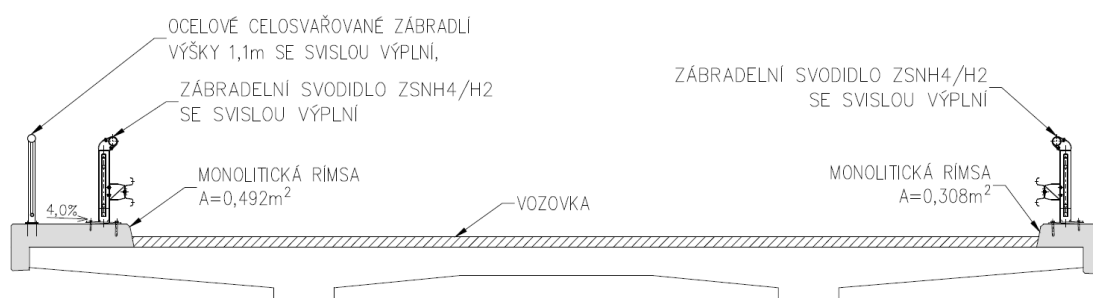
$$A_c \cdot \gamma_c = 18,061 \cdot 25 = 451,53 \text{ kN/m}^3$$

Náhradná objemová hmotnosť priečniku:

$$\gamma_{c,náhr} = 451,53 / 9,287 = 48,62 \text{ kN/m}^3$$

5.2 Ostatné stálie

Do ostatného stáleho zaťaženia spadá bezpečnostné vybavenie mostu, monolitické rímasy a cestný kryt, pričom jeho charakteristická hodnota zaťaženia sa navyšuje o 40%.



Obr. 14- Ostatné stálie zaťaženie

Tab 3- Ostatné stálie

	Plocha [m ²]	Obj.hmotnosť [kN/m ³]	Ťiaž [kN/m]	Zaťaženie [kN/m]
Vozovka	1,457	24	-	34,97
Pravá rímša	0,308	25	-	7,70
Ľavá rímša	0,492	25	-	12,30
Zábrad.zvodidlo	-	-	2 x 1	2,00
Zábradlie	-	-	1 x 0,5	0,50
Celkom				57,47
Celkom: sup (+40%)				80,46
Celkom : inf (-20%)				45,97

5.3 Zaťaženie dopravou

Zaťaženie dopravou je počítané podľa ČSN EN 1991-1-2, ktorá definuje štyri modely zaťaženia. Účinky osobnej a nákladnej a bežnej dopravy sú vyjadrené modelom zaťaženia LM1 a LM2. Zvláštne vozidlá pokryje model zaťaženia LM3. Model zaťaženia LM4 zahŕňa dav ľudí. Pre danú situáciu bude využitý model zaťaženia LM a LM3.

5.3.1 Rozdelenie vozovky do zaťažovacích pruhov

Tab 4- Zaťažovacie pruhy

Šírka vozovky w	Počet zaťažovacích pruhov n_l	Šírka zaťažovacieho pruhu	Šírka zostat.plochy
$w < 5,4 \text{ m}$	$n_l = 1$	3 m	$w - 3\text{m}$
$5,4 \text{ m} \leq w < 6 \text{ m}$	$n_l = 2$	$w / 2$	0
$6 \text{ m} \leq w$	$n_l = \text{Int}(w / 3)$	3 m	$w - 3 \times n_l$

Šírka vozovky:

$$w = 11,25 \text{ m}$$

Šírka zaťažovacieho pruhu:

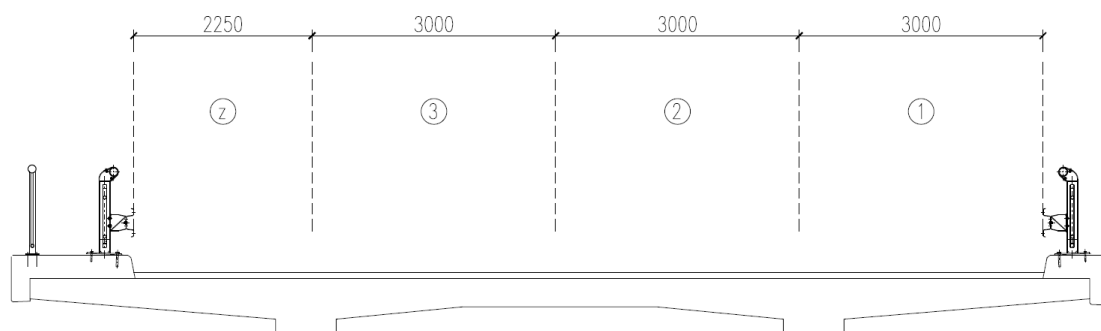
$$w_l = 3,00 \text{ m}$$

Počet zaťažovacích pruhov:

$$n_l = \text{Int}(w/3) = (11,25/3) = 3,75$$

Šírka zostávajúcej plochy:

$$w_z = 11,25 - 3 \cdot 3,00 = 2,25 \text{ m}$$



Obr. 15- Zaťažovacie pruhy na konštrukcii

5.3.2 Regulačné súčinitele pre ČR

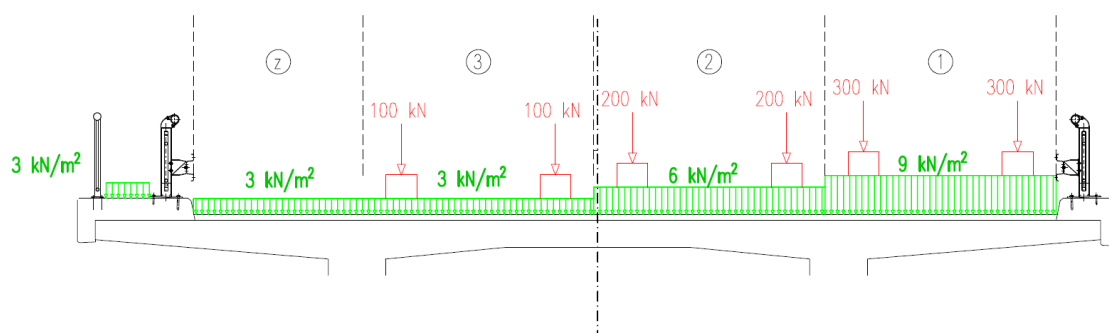
Tab 5- Regulačné súčinitele

Skupina pozemných komunikácií	α_{Q1}	α_{Q2}	α_{Q3}	α_{q1}	α_{q2}	$\alpha_{qi} (i > 2) \text{ a } \alpha_{qr}$
1	1	1	1	1	2,4	1,2
2	0,8	0,8	0,8	0,45	1,6	1,6

Jedná sa o diaľničný most, takže v diplomovej práci sú použité regulačné súčinitele 1. skupiny pozemných komunikácií.

5.3.3 Model zaťaženia LM 1

Efektívny prierez v poli 1 – 6



Obr. 16- Zaťažovací model LM1

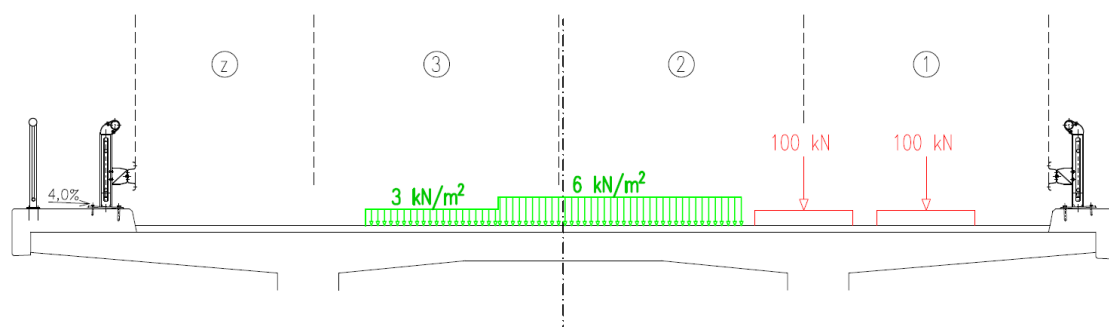
Tento model sa skladá zo sústreďeného zaťaženia (TS), keď každá náprava má tiaž $\alpha_Q Q_k$ a rovnomerného zaťaženia (UDL) o veľkosti $\alpha_q q_k$. Zaťaženie od dvoj nápravy a UDL bude modelované ako pohyblivé zaťaženie.

Tab 6- Model zaťaženia LM1

	Dvojnáprava TS			Rovnomerné zaťaženie UDL				
	α_{Oi} [-]	Q_{ik} [kN]	$\alpha_{Qi} \cdot Q_{ik}$ [kN]	α_{qi} [-]	q_{ik} [kN/m ²]	$\alpha_{qi} \cdot q_{ik}$ [kN/m ²]	W_i [m]	$\alpha_{qi} \cdot q_{ik} \cdot W_i$ [kN/m]
Pruh1	1	300	300	1	9	9	3	27
Pruh2	1	200	200	2,4	2,5	6	3	18
Pruh3	1	100	100	1,2	2,5	3	3	9
Pruh Z	-	-	-	1,2	2,5	3	2,25	6,75
Celkom	2 x 600kN			60,75kN/m				

5.3.4 Model zaťaženia LM3

Zvláštne vozidlo 1800/200 – 9 náprav po 200kN

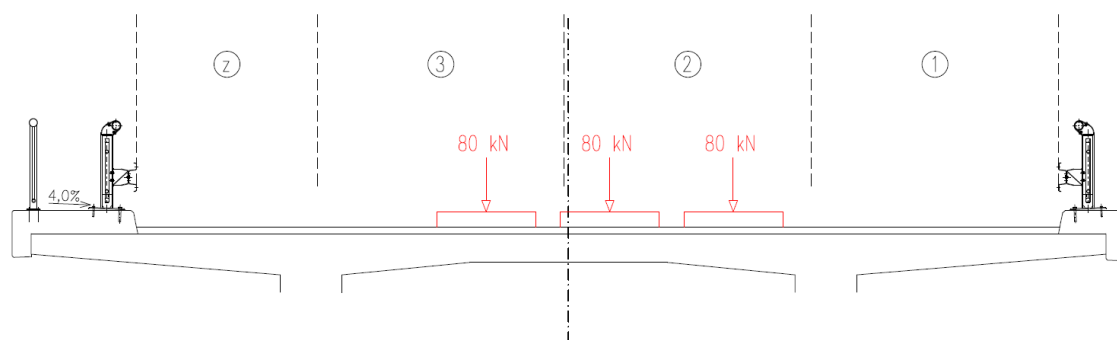


Obr. 17- Zvláštne vozidlo 1800/900

Vozidlo sa pohybuje normálnou rýchlosťou v pruhu 1. V ostatných pruhoch sa uvažuje s hodnotami z modelu zaťaženia LM1 bez zaťaženia od dvoj nápravy. Pre tento prípad sa vozovka definuje bez núdzových pruhov, krajníc a vodiacich prúžkov. Dynamický súčiniteľ $\phi = 1,25$.

Tab 7- Model zaťaženia LM3 1800/200

	Dvojnáprava TS			Rovnomerné zaťaženie UDL				
	ϕ [-]	Q_{ik} [kN]	$\alpha_{Qi} \cdot Q_{ik}$ [kN]	α_{qi} [-]	q_{ik} [kN/m ²]	$\alpha_{qi} \cdot q_{ik}$ [kN/m ²]	W_i [m]	$\alpha_{qi} \cdot q_{ik} \cdot W_i$ [kN/m]
Pruh1	1,25	200	250	-	-	-	-	-
Pruh2	-	-	-	2,4	2,5	6	3	18
Pruh Z	-	-	-	1,2	2,5	3	1,5	4,5
Celkom	9 x 250kN			22,50kN/m				

Zvláštne vozidlo 3000/240 – 12 náprav po 240kN + 1 náprava po 120kN

Obr. 18- Zvláštne vozidlo 3000/240

Ide o jediné vozidlo na moste, ktoré sa pohybuje v ideálnej stope v priestore všetkých zaťažovacích pruhov. Prijateľná odchýlka od ideálnej stopy je $\pm 0,5$ m. Dynamický súčiniteľ $\phi = 1,05$.

Tab 8- Model zaťaženia LM3 3000/240

Náprava po 240 kN			Náprava po 120 kN		
ϕ [-]	Q_{ik} [kN]	$\phi \cdot Q_{ik}$ [kN]	ϕ [-]	Q_{ik} [kN]	$\phi \cdot Q_{ik}$ [kN]
1,05	240	252	1,05	120	126
Celkom		12 x 252kN			1 x 126kN

5.4 Zaťaženie teplotou

Podľa ČSN EN 1991-1-5 sa do výpočtu zaraďuje ako tretí typ nosných konštrukcií mostov – betónová nosná konštrukcia (betónový komorový nosník).

5.4.1 Rovnomerná zložka teploty

V pozdĺžnom smere konštrukcie nie je bránené deformáciám, preto vyvodí rovnomerná zložka teploty iba tie deformácie, ktoré nemajú vplyv na priebeh vnútorných síl.

5.4.2 Rozdielová zložka teploty**Horný povrch:**

charakteristická rozdielová zložka teploty:

$$\Delta T_{M,exp} = 12^{\circ}\text{C}$$

súčiniteľ pre rôzne hrúbky mostného zvršku:

$$k_{sur} = 0,83$$

upravená rozdielová zložka: $\Delta T_{M,exp} = \Delta T_{M,exp} \cdot k_{sur} = 12 \cdot 0,83 = 10,5^{\circ}\text{C}$

Dolný povrch:

charakteristická rozdielová zložka teploty: $\Delta T_{M,con} = 8^{\circ}\text{C}$

súčiniteľ pre rôzne hrúbky mostného zvršku: $k_{sur} = 1,0$

upravená rozdielová zložka: $\Delta T_{M,con} = \Delta T_{M,con} \cdot k_{sur} = 8 \cdot 1,0 = 8^{\circ}\text{C}$

5.5 Pokles podpor

Konštrukcia je namáhaná rovnomerným poklesom podpor o veľkosti 5mm. Podpory môžu poklesnúť v ľubovoľnom počte a vo všetkých možných kombináciách.

5.6 Zat'azenie snehom

V diplomovej práci sa neuvažuje so zat'azením snehom.

5.7 Zat'azenie vetrom

V diplomovej práci sa neuvažuje so zat'azením vetrom.

6 NÁVRH PREDPÄTIA

Pri návrhu predpätia bola použitá metóda vyrovnania zaťaženia, kde bude vyrovnané 90 až 100 % stáleho zaťaženia, tj. vlastná tiaž a ostatné stále zaťaženie. Bol uvažovaný len jeden typ predpätia – súdržné kábel.

6.1 Súdržné káble

Predbežný návrh káblov slúži k zisteniu potrebného množstva predpínacej výstuže a získania dráhy teoretického káblu. Pre tieto potreby bol vymodelovaný priemerný kábel v programe Scia Engineer, ktorým bola vyrovnaná vlastná tiaž v časte t_{∞} . Straty boli odhadnuté na 10% krátkodobé a 15% za predpokladu, že boli manuálne odobrané z kotevného napätia a v kábli všetky možné straty boli znížené na nulu.

Predbežný návrh je 12 káblov po 19 lán Y-1860 S7-15,7 – A.

Avšak po prevedení fáz výstavby bol návrh upravený.

Reálny návrh je 12 káblov po 19 lán Y-1770 S7-15,3 – A.

Druh predpínacej výstuže:	Y 1770 S7-15,3-A
Charakteristická pevnosť v ťahu:	$f_{pk} = 1770 [MPa]$
Charakteristické zmluvné napätie:	$f_{p0,1k} = 1560 [MPa]$
Modul pružnosti:	$E_p = 195 [MPa]$
Súčiniteľ spoľahlivosti:	$\gamma_s = 1,15 [MPa]$
Priemer lana:	$\Phi_p = 15,3 [mm]$
Plocha lana:	$A_p = 140 [mm^2]$
Priemer kanálíka:	$\Phi_{duct} = 95 [mm]$
Návrhová pevnosť v ťahu:	$f_{pd} = f_{p0,1k} / \gamma_s = 1391,3 [MPa]$

6.1.1.1 Maximálne možné napínacie napätie

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

$$\sigma_{p,max} = \min\{0,8 \cdot 1770; 0,9 \cdot 1560\}$$

$$\sigma_{p,max} = \min\{1416; 1404\}$$

$$\sigma_{p,max} = \mathbf{1404 MPa}$$

6.1.1.2 Maximálne napätie po vnesení predpätia

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

$$\sigma_{p0,max} = \min\{0,75 \cdot 1770; 0,85 \cdot 1560\}$$

$$\sigma_{p0,max} = \min\{1327,5; 1326\}$$

$$\sigma_{p0,max} = 1326 \text{ MPa}$$

6.1.1.3 Odhad napätia po okamžitých stratách v čase t_0

$$\sigma_{pm,0} = 0,9 \cdot \sigma_{p0,max} = 0,9 \cdot 1404 = 1263,60 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{pm,0} = 1263,60 \text{ MPa} \leq \sigma_{p0,max} = 1326 \text{ MPa}$$

6.1.1.4 Odhad napätia po okamžitých a dlhodobých stratách v čase t_∞

$$\sigma_{pm,\infty} = 0,85 \cdot \sigma_{pm,0} = 0,85 \cdot 1263,60$$

$$\sigma_{pm,\infty} = 1074,06 \text{ MPa}$$

6.2 Metóda vyrovnania zaťaženia

Pri vyrovnávaní zaťaženia je počítané s predbežným návrhom predpätia.

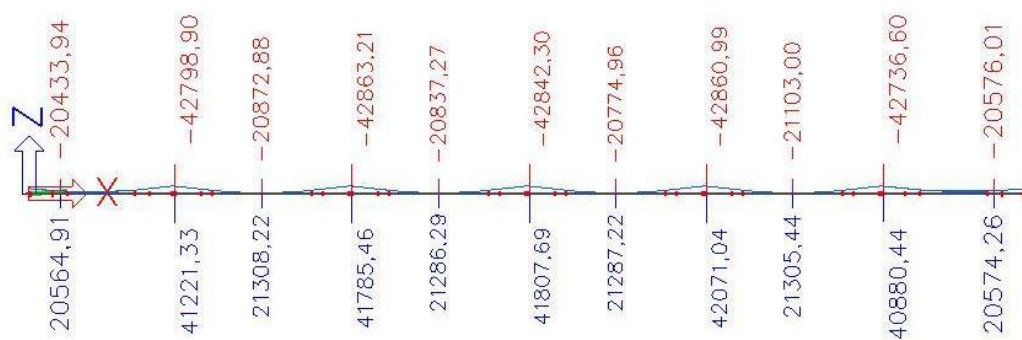
12 káblov po 19 lán Y-1860 S7-15,7 – A

Tab 9- Priebeh vnútorných síl v podpore

M [kNm]	P2	P3	P4	P5	P6
M_{g0}	42798,90	42863,21	42842,30	42860,99	42736,60
M_p	41221,33	41785,46	41807,69	42071,04	41880,44
Pomer	96,31%	97,49%	97,59%	98,16%	98,00%

Tab 10- Priebeh vnútorných síl v poli

M [kNm]	Pole 1	Pole 2	Pole 3	Pole 4	Pole 5	Pole 6
M_{g0}	20564,91	21308,22	21286,29	21287,22	21305,44	20576,01
M_p	20433,94	20872,88	20837,27	20774,96	21103,00	20574,26
Pomer	99,36%	97,96%	97,89%	97,59%	99,05%	99,99%



Obr. 19 - Vyrovnanie vlastnej tiaže

7 POSTUPNÁ VÝSTAVBA

V tejto časti výpočtu je popísaná fázovaná výstavba konštrukcie v jednotlivých časových úsekoch. Konštrukcia mení behom výstavby svoje statické schéma čiže dochádza k prerozdeleniu napätia v priereze vplyvom strát napätia vo výstuži a reologický javov.

7.1 Postup výstavby

Postupná výstavba bude prebiehať na pevnej skruži v smere staničenia od opery O1 k opere O7. Pole nebude odskružené až pokiaľ nebude predopnutý plný počet káblov. Pri takomto type výstavby budeme potrebovať 2 pevné skruže o rozpätí 48m.

Po vybetónovaní poľa č.1. dôjde k predopnutiu 50% káblov a po ďalšej fázy, ktorej sa vybetónuje pole č.2 dôjde k predopnutiu zostávajúcich 50% káblov v poli č.1. Tento proces prebehne za podskruženia oboch polí a po predopnutí dôjde k demontáži skruže v poli č.1 a pokračovaniu stavebného procesu smerom k O7.

7.2 Staveniskové zaťaženie

Behom výstavby bude uvažované so staveniskovým zaťažením o hodnote 1kN/m^2 avšak toto zaťaženie bude pričítané ručne po vytvorení všetkých možných zaťažovacích kombinácií ktoré môžu nastať v jednotlivých fázach výstavby konštrukcie.

7.3 Popis fáz výstavby

7.3.1 Časová osa fáz výstavby

Názov	
Typ	Časovo závislý výpočet
Konštrukcia	Mosty pozemných komunikácií
Súčinitele zaťaženia (iba pre normovo nezávislé kombinácie)	
Stále (dlhodobé) zaťaženia	
Gama min [-]	0,00
Gama max [-]	1,00
Predpätie	
Gama min [-]	0,00
Gama max [-]	1,00
Dlhodobá zložka premenného zaťaženia	
Faktor Psi [-]	0,30
TDA	
Súčinitele zaťaženia pre generované zaťažovacie stavy	
gama-dotvarovanie min [-]	1,00
gama-dotvarovanie max [-]	1,00
Čas - História	
Počet podintervalov	1,0
Vlhkosť [%]	70,00
Automatický výpočet podintervalu	<input type="checkbox"/> nie
Lokálna časová os	
Čas betonáže [deň]	0,00
Čas ošetrovania [deň]	4,00
Dĺžka ošetrovania spriahnutej časti prierezu [deň]	4,00
Líniová podpera (debnenie)	<input checked="" type="checkbox"/>
Čas uvoľnenia posunu v smere osi X [deň]	1,00
Čas uvoľnenia posunu v smere osi Z [deň]	20,00
Generovať výstupný textový súbor	<input type="checkbox"/>

Obr. 20- Nastavenie fáz výstavby

ST1 - 0_Betonáž I. Fáza
 ST2 - 9,9_ Predpínanie I. Fáza
 ST3 - 10,1_ Sledovanie I.
 ST4 - 20_ Betonáž II. Fáza
 ST5 - 29,9_ Predpínanie II. Fáza
 ST6 - 30,1_ Sledovanie II.
 ST7 - 40_ Betonáž III. Fáza
 ST8 - 49,9_ Predpínanie III. Fáza
 ST9 - 50,1_ Sledovanie III.
 ST10 - 60_ Betonáž IV. Fáza
 ST11 - 69,9_ Predpínanie IV. Fáza
 ST12 - 70,1_ Sledovanie IV.
 ST13 - 80_ Betonáž V. Fáza
 ST14 - 89,9_ Predpínanie V. Fáza
 ST15 - 90,1_ Sledovanie V.
 ST16 - 100_ Betonáž VI. Fáza
 ST17 - 109,8_ Predpínanie VI. Fáza
 ST18 - 109,9_ Predpínanie VII. Fáza
 ST19 - 120,1_ Sledovanie VI.
 ST20 - 140_ Ostatné stále
 ST21 - 365_ Provoz
 ST22 - 36500_ Životnosť

Obr. 21- Časová osa fáz výstavby

7.3.2 Obmedzenie napätia v betóne počas výstavby

Počas výstavby mostnej konštrukcie musí byť dodržaná podmienka $0,45 \cdot f_{ck}(t)$.

Pokiaľ napätie v betóne pre kvázistálu kombináciu neprekročí hodnotu $0,45 \cdot f_{ck}(t)$, môžeme uvažovať s lineárnym dotvarovaním betónu.

$$\sigma_c \leq 0,45 \cdot f_{ck}(t)$$

Vysoké hodnoty tlakových napätí v betóne môžu zapríčiniť vznik pozdĺžnych trhlín. Preto nesmie napätie pre charakteristickú kombináciu prekročiť kritickú úroveň $0,6 \cdot f_{ck}(t)$.

$$\sigma_c \leq 0,6 \cdot f_{ck}(t)$$

Ťahové napätie v betóne je pri predpätých konštrukciách obmedzené hodnotou $f_{ctm}(t)$ aby nedošlo k vzniku trhlín.

$$\sigma_c \leq f_{ctm}(t)$$

7.3.3 Stanovenie zníženej charakteristickej pevnosti betónu

Počas fáz výstavby v niektorých prípadoch betón nedosiahne svoju 30 dňovú pevnosť a preto bolo nutné tieto hodnoty prepočítať na dané časové intervaly.

Tab 11- Znížená charakteristická pevnosť betónu

t [dny]	s [-]	β_{cc} [-]	$f_{cm}(t)$ [MPa]	$f_{ck}(t)$ [MPa]	$f_{ctm}(t)$ [MPa]
10	0,25	0,85	36,43	28,34	2,70
20	0,25	0,96	41,07	33,07	3,06
> 28	-	-	-	35,00	3,20

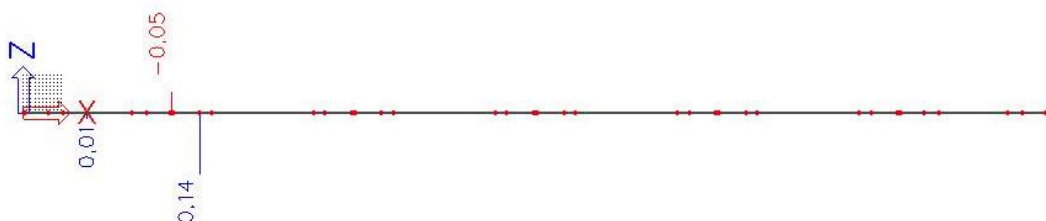
7.4 Výpočet fáz výstavby

7.4.1 I. Fáza

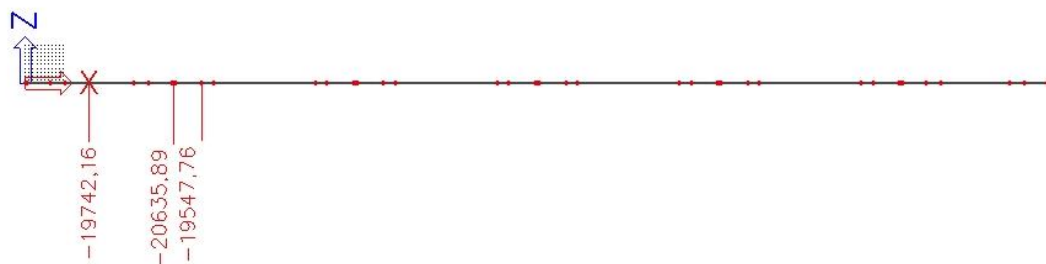
Je prevedená betonáž prvého poľa o dĺžke 39m a previslá časť poľa č.2 o dĺžke 7m. Po 10 dňoch dôjde k predopnutiu polovice káblov a to znamená, že v pracovnej spáre bude kotvené 6 súdržných káblov. Po predopnutí káblov **nie je** možné skruž demontovať.

Tab 12- Fáza I

Fáza I 10 dní	Vnútročné sily			Prierezové charakteristiky				Napatie		Posúdenie	
	N_p [kN]	M [kNm]	M_{stav} [kNm]	A_c [m ²]	I_c [m ⁴]	z_d [m]	z_h [m]	σ_d [MPa]	σ_h [MPa]	$0,45 \cdot f_{ck}$ [MPa]	f_{ctm} [MPa]
Pole 1	-19742,16	-	-	9,287	7,278	1,485	-0,915	-2,13	-2,13	-12,75	2,70
P2	-20635,89	-	-	10,615	6,282	1,365	-1,035	-1,94	-2,13	-12,75	2,70
Spára 1	-19547,76	-	-	9,287	7,278	1,485	-0,915	-2,10	-2,13	-12,75	2,70



Obr. 22- Priebeh ohybových momentov vo fázi I



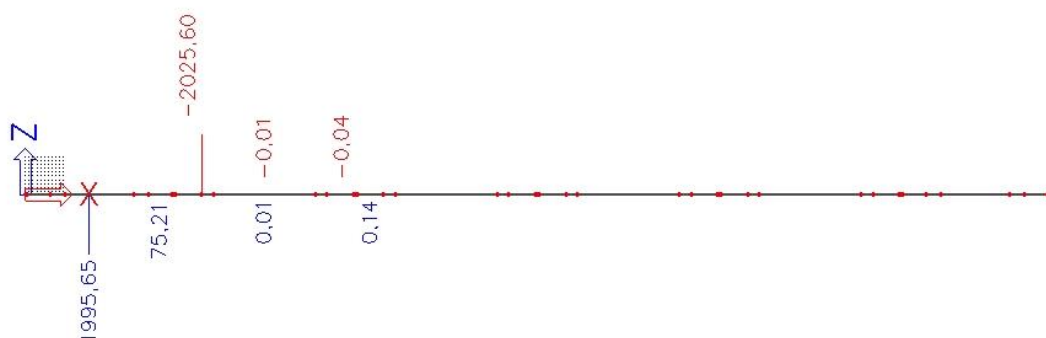
Obr. 23- Priebeh normálových síl vo fáze I

7.4.2 II. Fáza

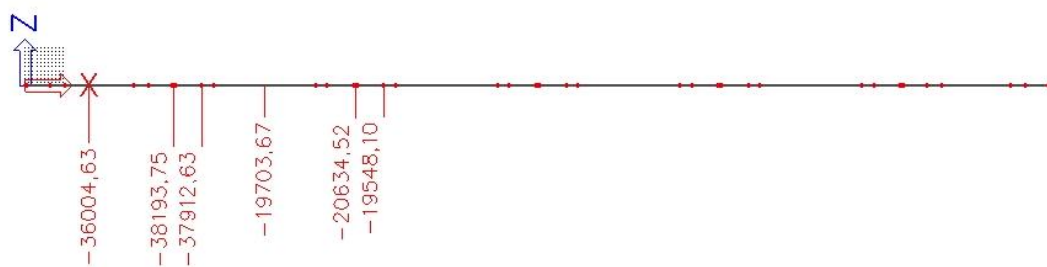
V tejto fáze je prevedená betonáž zvyšnej časti poľa č.2 o dĺžke 41m a previsnutého konca v poli č.3. Po betonáži poľa dôjde k predopnutiu priebežných káblov z poľa č.1 a k jeho odkruženiu.

Tab 13- Fáza II

Fáza II 30 dní	Vnútorné sily			Prierezové charakteristiky				Napatie		Posúdenie	
	N_p [kN]	M [kNm]	M_{stav} [kNm]	A_c [m ²]	I_c [m ⁴]	z_d [m]	z_h [m]	σ_d [MPa]	σ_h [MPa]	$0,45 \cdot f_{ck}$ [MPa]	f_{ctm} [MPa]
Pole 1	-36004,63	1995,65	1349,62	9,287	7,278	1,485	-0,915	-3,19	-4,30	-15,75	3,20
P2	-38193,75	75,21	-2389,75	10,615	6,282	1,365	-1,035	-4,10	-3,22	-15,75	3,20
Spára 1	-37912,63	-2025,60	-564,79	9,287	7,278	1,485	-0,915	-4,61	-3,76	-15,75	3,20
Pole 2	-19703,67	-	-	9,287	7,278	1,485	-0,915	-2,12	-2,12	-12,75	2,70
P3	-20634,52	-	-	10,615	6,582	1,367	-1,033	-1,94	-1,94	-12,75	2,70
Spára 2	-19548,10	-	-	9,287	7,278	1,485	-0,915	-2,10	-2,10	-12,75	2,70



Obr. 24- Priebeh ohybových momentov vo fázi II



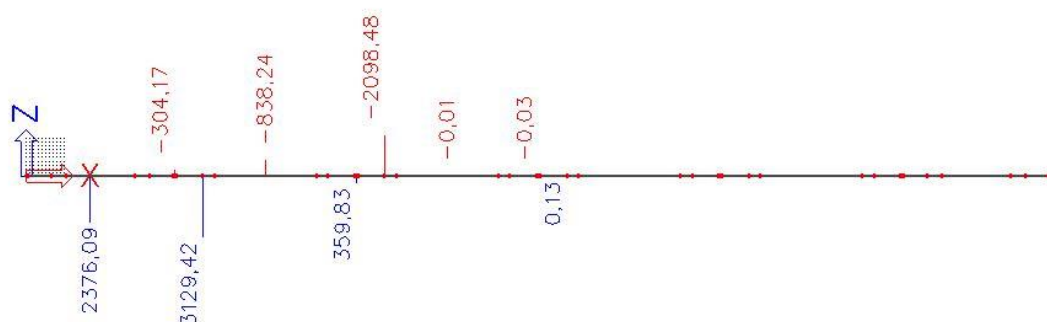
Obr. 25- Priebeh normálových síl vo fázi II

7.4.3 III. Fáza

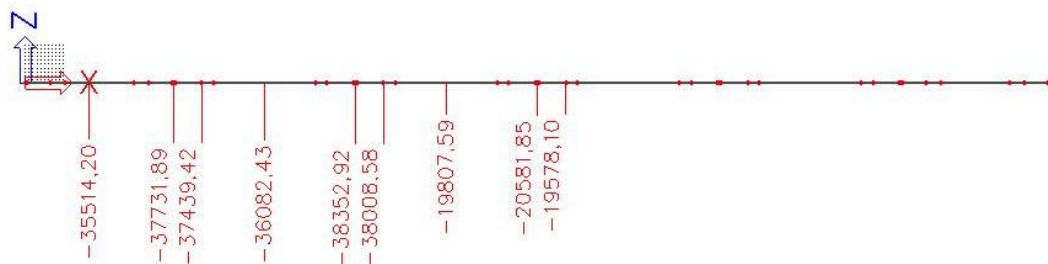
Betonáž poľa č.3 a previsnutej časti v poli č.4. Po predopnutí káblov odkruženie poľa č.2.

Tab 14- Fáza III

Fáza III 50 dní	Vnútorné sily			Prierezové charakteristiky				Napätie		Posúdenie	
	N_p [kN]	M [kNm]	M_{stav} [kNm]	A_c [m ²]	I_c [m ⁴]	z_d [m]	z_h [m]	σ_d [MPa]	σ_h [MPa]	$0,45 \cdot f_{ck}$ [MPa]	f_{ctm} [MPa]
Pole 1	-35514,20	2376,09	1349,62	9,287	7,278	1,485	-0,915	-3,06	-4,29	-15,75	3,20
P2	-37731,89	-304,17	-2389,75	10,615	6,282	1,365	-1,035	-4,14	-3,11	-15,75	3,20
Spára 1	-37439,42	3129,42	-564,79	9,287	7,278	1,485	-0,915	-3,51	-4,35	-15,75	3,20
Pole 2	-36082,43	-838,24	1202,20	9,287	7,278	1,485	-0,915	-3,81	-3,93	-15,75	3,20
P3	-38352,92	359,83	-2553,85	10,615	6,582	1,367	-1,033	-4,07	-3,27	-15,75	3,20
Spára 2	-38008,58	-2098,48	-572,61	9,287	7,278	1,485	-0,915	-4,64	-3,76	-15,75	3,20
Pole 3	-19807,59	-	-	9,287	7,278	1,485	-0,915	-2,13	-2,13	-12,75	2,70
P4	-20581,85	-	-	10,615	6,582	1,367	-1,033	-1,94	-1,94	-12,75	2,70
Spára 3	-19548,10	-	-	9,287	7,278	1,485	-0,915	-2,10	-2,10	-12,75	2,70



Obr. 26- Priebeh ohybových momentov vo fázi III



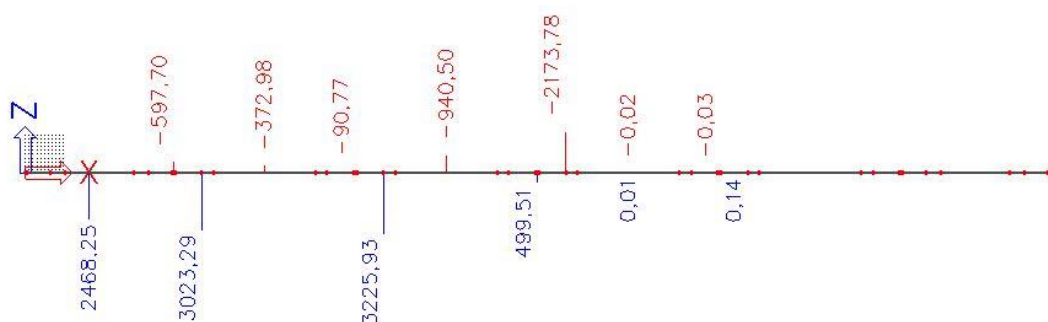
Obr. 27- Priebeh normálových síl vo fázi III

7.4.4 IV. Fáza

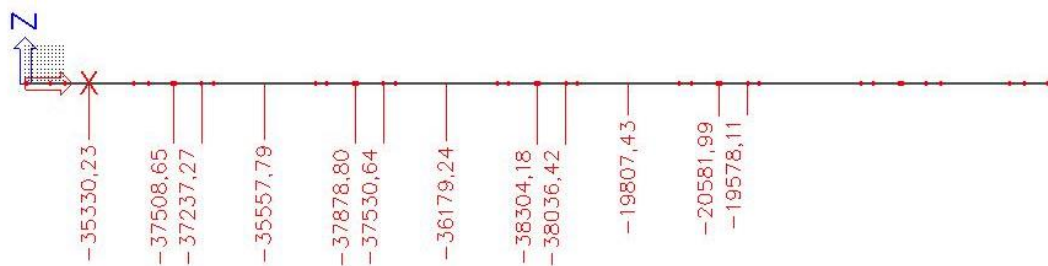
Betonáž poľa č.4 a previsnutej časti v poli č.5. Po predopnutí káblov odskruženie poľa č.3.

Tab 15- Fáza IV

Fáza IV 70 dní	Vnútorné sily			Prierezové charakteristiky				Napätie		Posúdenie	
	N_p [kN]	M [kNm]	M_{stav} [kNm]	A_c [m ²]	I_c [m ⁴]	z_d [m]	z_h [m]	σ_d [MPa]	σ_h [MPa]	$0,45 \cdot f_{ck}$ [MPa]	f_{ctm} [MPa]
Pole 1	-35330,23	2468,25	1349,62	9,287	7,278	1,485	-0,915	-3,03	-4,28	-15,75	3,20
P2	-37508,65	-597,70	-2389,75	10,615	6,282	1,365	-1,035	-4,18	-3,04	-15,75	3,20
Spára 1	-37237,27	3023,29	-564,79	9,287	7,278	1,485	-0,915	-3,51	-4,32	-15,75	3,20
Pole 2	-35557,79	-372,98	1202,20	9,287	7,278	1,485	-0,915	-3,66	-3,93	-15,75	3,20
P3	-37878,80	-90,77	-2553,85	10,615	6,582	1,367	-1,033	-4,12	-3,15	-15,75	3,20
Spára 2	-37530,64	3225,93	-572,61	9,287	7,278	1,485	-0,915	-3,50	-4,37	-15,75	3,20
Pole 3	-36179,24	-940,50	1202,20	9,287	7,278	1,485	-0,915	-3,84	-3,93	-15,75	3,20
P4	-38036,42	-509,33	-2553,85	10,615	6,582	1,367	-1,033	-4,22	-3,10	-15,75	3,20
Spára 3	-37034,94	499,51	-572,61	9,287	7,278	1,485	-0,915	-4,00	-3,98	-15,75	3,20
Pole 4	-19807,43	-	-	9,287	7,278	1,485	-0,915	-2,13	-2,13	-12,75	2,70
P5	-20581,99	-	-	10,615	6,582	1,367	-1,033	-1,94	-1,94	-12,75	2,70
Spára 4	-19578,11	-	-	9,287	7,278	1,485	-0,915	-2,11	-2,11	-12,75	2,70



Obr. 28- Priebeh ohybových momentov vo fázi IV



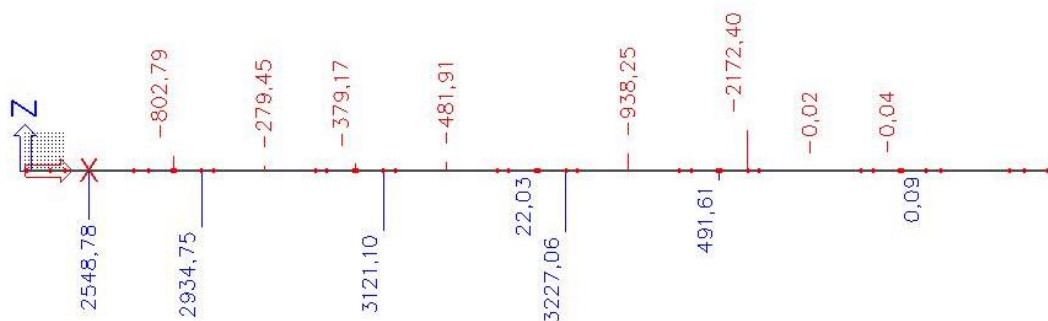
Obr. 29- Priebeh normálových síl vo fázi IV

7.4.5 V. Fáza

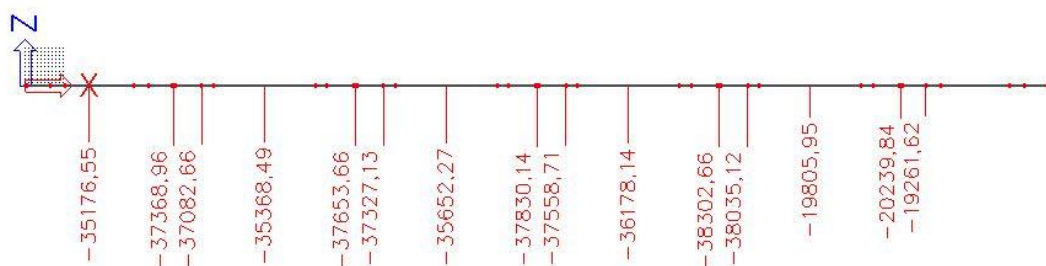
Betonáž poľa č.5 a previsnutej časti v poli č.6. Po predopnutí káblov odskrúženie poľa č.4.

Tab 16- Fáza V

Fáza V 90 dní	Vnútorné sily			Prierezové charakteristiky				Napätie		Posúdenie	
	N_p [kN]	M [kNm]	M_{stav} [kNm]	A_c [m ²]	I_c [m ⁴]	z_d [m]	z_h [m]	σ_d [MPa]	σ_h [MPa]	$0,45 \cdot f_{ck}$ [MPa]	f_{ctm} [MPa]
Pole 1	-35176,55	2548,78	1349,62	9,287	7,278	1,485	-0,915	-2,99	-4,28	-15,75	3,20
P2	-37368,96	-802,79	-2389,75	10,615	6,282	1,365	-1,035	-4,21	-2,99	-15,75	3,20
Spára 1	-37082,66	2934,75	-564,79	9,287	7,278	1,485	-0,915	-3,51	-4,29	-15,75	3,20
Pole 2	-35368,49	-279,45	1202,20	9,287	7,278	1,485	-0,915	-3,62	-3,92	-15,75	3,20
P3	-37653,66	-379,17	-2553,85	10,615	6,582	1,367	-1,033	-4,16	-3,09	-15,75	3,20
Spára 2	-37327,13	3121,10	-572,61	9,287	7,278	1,485	-0,915	-3,50	-4,34	-15,75	3,20
Pole 3	-35652,27	-481,91	1202,20	9,287	7,278	1,485	-0,915	-3,69	-3,93	-15,75	3,20
P4	-37830,14	22,03	-2553,85	10,615	6,582	1,367	-1,033	-4,09	-3,17	-15,75	3,20
Spára 3	-37558,71	3227,06	-572,61	9,287	7,278	1,485	-0,915	-3,50	-4,38	-15,75	3,20
Pole 4	-36178,14	-938,25	1020,20	9,287	7,278	1,485	-0,915	-3,88	-3,91	-15,75	3,20
P5	-38302,66	491,61	-2558,55	10,615	6,282	1,365	-1,035	-4,06	-3,27	-15,75	3,20
Spára 4	-38035,12	-2172,40	-574,40	9,287	7,278	1,485	-0,915	-4,66	-3,75	-15,75	3,20
Pole 5	-19805,95	-	-	9,287	7,278	1,485	-0,915	-2,13	-2,13	-12,75	2,70
P6	-20239,84	-	-	10,615	6,282	1,365	-1,035	-1,91	-1,91	-12,75	2,70
Spára 5	-19261,62	-	-	9,287	7,278	1,485	-0,915	-2,07	-2,07	-12,75	2,70



Obr. 30- Priebeh ohybových momentov vo fáze V



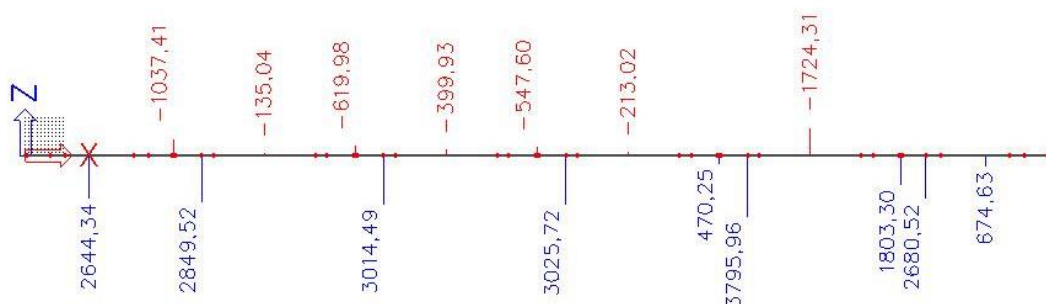
Obr. 31-Priebeh normálových síl vo fáze V

7.4.6 VI. Fáza

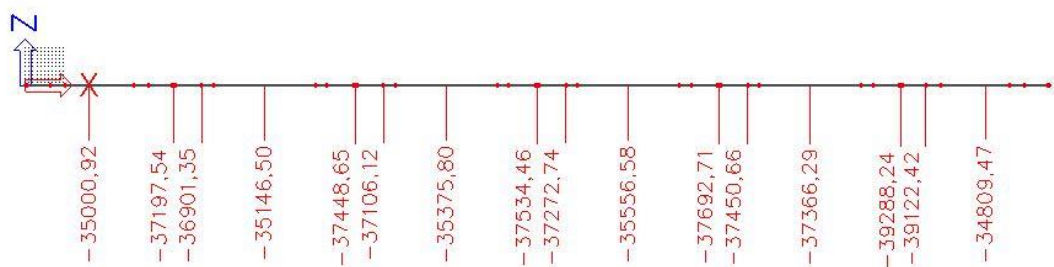
Dodetonovanie posledného poľa a predopnutie série káblov 6 a 7 a dokrúženie.

Tab 17-Fáza VI

Fáza VI 110 dní	Vnútorné sily			Prierezové charakteristiky				Napätie		Posúdenie	
	N_p [kN]	M [kNm]	M_{stav} [kNm]	A_c [m ²]	I_c [m ⁴]	z_d [m]	z_h [m]	σ_d [MPa]	σ_h [MPa]	$0,45 \cdot f_{ck}$ [MPa]	f_{ctm} [MPa]
Pole 1	-35000,92	2644,34	1349,62	9,287	7,278	1,485	-0,915	-2,95	-4,27	-15,75	3,20
P2	-37197,54	-1037,41	-2389,75	10,615	6,282	1,365	-1,035	-4,25	-2,94	-15,75	3,20
Spára 1	-36901,35	2849,52	-564,79	9,287	7,278	1,485	-0,915	-3,51	-4,26	-15,75	3,20
Pole 2	-35146,50	-135,04	1202,20	9,287	7,278	1,485	-0,915	-3,57	-3,92	-15,75	3,20
P3	-37448,65	-619,98	-2553,85	10,615	6,582	1,367	-1,033	-4,19	-3,03	-15,75	3,20
Spára 2	-37106,12	3014,49	-572,61	9,287	7,278	1,485	-0,915	-3,50	-4,30	-15,75	3,20
Pole 3	-35375,80	-399,93	1202,20	9,287	7,278	1,485	-0,915	-3,65	-3,91	-15,75	3,20
P4	-37534,46	-547,60	-2553,85	10,615	6,582	1,367	-1,033	-4,18	-3,05	-15,75	3,20
Spára 3	-37272,74	3025,72	-572,61	9,287	7,278	1,485	-0,915	-3,51	-4,32	-15,75	3,20
Pole 4	-35556,58	-213,02	1020,20	9,287	7,278	1,485	-0,915	-3,66	-3,93	-15,75	3,20
P5	-37692,71	470,25	-2558,55	10,615	6,282	1,365	-1,035	-4,00	-3,21	-15,75	3,20
Spára 4	-37450,66	3795,96	-574,40	9,287	7,278	1,485	-0,915	-3,38	-4,44	-15,75	3,20
Pole 5	-37366,29	-1724,31	1206,83	9,287	7,278	1,485	-0,915	-4,13	-3,96	-15,75	3,20
P6	-39288,24	1803,30	-2544,58	10,615	6,282	1,365	-1,035	-3,86	-3,58	-15,75	3,20
Spára 5	-39122,42	2680,52	-724,07	9,287	7,278	1,485	-0,915	-3,81	-4,46	-15,75	3,20
Pole 6	-34809,47	674,63	1337,44	9,287	7,278	1,485	-0,915	-3,34	-4,00	-12,75	2,70



Obr. 32- Priebeh ohybových momentov vo fázi VI



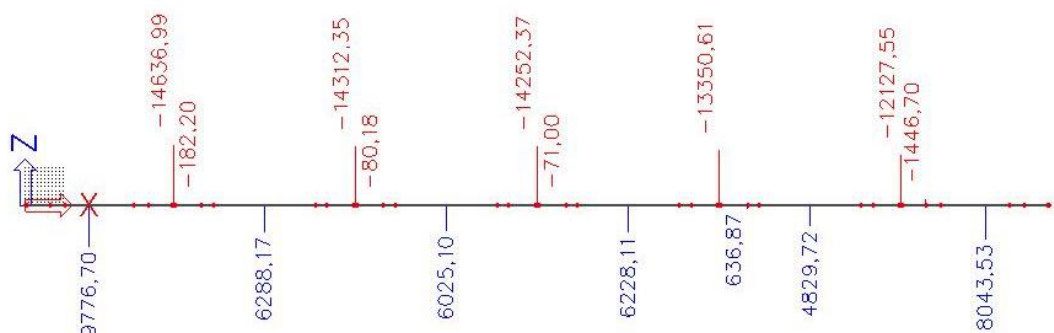
Obr. 33- Priebek normálových sil vo fázi VI

7.4.7 VII. Fáza

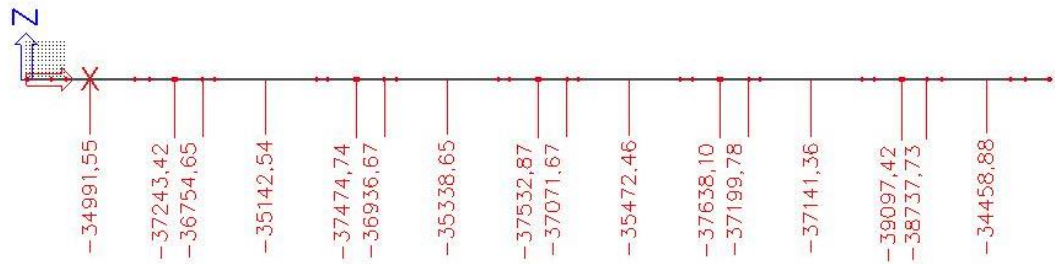
Zaťaženie mostu ostatným stálym zaťažením.

Tab 18- Fáza VII

Fáza VII 140 dní	Vnútorné sily			Prierezové charakteristiky				Napätie		Posúdenie	
	N_p [kN]	M [kNm]	M_{stav} [kNm]	A_c [m ²]	I_c [m ⁴]	z_d [m]	z_h [m]	σ_d [MPa]	σ_h [MPa]	$0,45 \cdot f_{ck}$ [MPa]	f_{ctm} [MPa]
Pole 1	-34991,55	9776,70	1349,62	9,287	7,278	1,485	-0,915	-1,50	-5,17	-15,75	3,20
P2	-37243,42	-14636,99	-2389,75	10,615	6,282	1,365	-1,035	-7,21	-0,70	-15,75	3,20
Spára 1	-36754,65	-182,20	-564,79	9,287	7,278	1,485	-0,915	-4,11	-3,86	-15,75	3,20
Pole 2	-35142,54	6288,17	1202,20	9,287	7,278	1,485	-0,915	-2,26	-4,73	-15,75	3,20
P3	-37474,74	-14312,35	-2553,85	10,615	6,582	1,367	-1,033	-7,03	-0,88	-15,75	3,20
Spára 2	-36936,67	-80,12	-572,61	9,287	7,278	1,485	-0,915	-4,11	-3,90	-15,75	3,20
Pole 3	-35338,65	6025,10	1202,20	9,287	7,278	1,485	-0,915	-2,33	-4,71	-15,75	3,20
P4	-37532,87	-14252,37	-2553,85	10,615	6,582	1,367	-1,033	-7,03	-0,90	-15,75	3,20
Spára 3	-37071,67	-71,00	-572,61	9,287	7,278	1,485	-0,915	-4,12	-3,91	-15,75	3,20
Pole 4	-35472,46	6228,11	1020,20	9,287	7,278	1,485	-0,915	-2,34	-4,73	-15,75	3,20
P5	-37638,10	-13350,61	-2558,55	10,615	6,282	1,365	-1,035	-7,00	-0,92	-15,75	3,20
Spára 4	-37199,78	636,87	-574,40	9,287	7,278	1,485	-0,915	-3,99	-4,01	-15,75	3,20
Pole 5	-37141,36	4829,72	1206,83	9,287	7,278	1,485	-0,915	-2,77	-4,76	-15,75	3,20
P6	-39097,42	-12127,55	-2544,58	10,615	6,282	1,365	-1,035	-6,87	-1,27	-15,75	3,20
Spára 5	-38737,73	-1446,70	-724,07	9,287	7,278	1,485	-0,915	-4,61	-3,90	-15,75	3,20
Pole 6	-34458,88	8043,53	1337,44	9,287	7,278	1,485	-0,915	-1,80	-4,89	-15,75	3,20



Obr. 34- Priebek ohybových momentov vo fázi VII



Obr. 35- Priebeh normálových síl vo fázi VII

7.5 Záver

Z výpočtu fáz výstavby je zrejmé, že konštrukcia splňuje všetky obmedzujúce podmienky.

Stráty predpätia boli generované programom SCIA ENGINEER a boli zahrnuté do výpočtu.

8 KOMBINÁCIE

8.1 Kombinácie pre medzný stav použiteľnosti

Tab 19

Kombinácie	Stále zaťaženie		Predpätie	Premenné zaťaženie	
	Nepriaznivé	Priaznive		Najúčinitejšie	Ostatné
Charakteristická	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	P	Q_{k1}	$\Psi_{0,i} Q_{k,1}$
Častá	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	P	$\Psi_{1,1} Q_{k,1}$	$\Psi_{2,i} Q_{k,1}$
Kvazistála	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	P	$\Psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\Psi_{2,i} Q_{k,1}$

8.2 Kombinácie pre medzný stav únosnosti

Tab 20

Trvalé a dočasné návrhové situácie	Stále zaťaženie		Predpätie	Hlavné premenné zaťaženie	Premenné zaťaženie	
	Nepriaznivé	Priaznive			Najúčinitejšie	Ostatné
6.10	$Y_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$Y_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$Y_P P$	$Y_{Q,1} Q_{k,1}$		$Y_{Q,1} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$
6.10a	$Y_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$Y_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$Y_P P$		$Y_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1}$	$Y_{Q,1} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$
6.10b	$\zeta Y_{Gj,sup}$	$Y_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$Y_P P$	$Y_{Q,1} Q_{k,1}$		$Y_{Q,1} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$
	$G_{kj,sup}$					

8.3 Súčinitele ψ pre mosty pozemných komunikácií

Tab 21

Zaťaženie	Značka		Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
doprava	gr1 a	TS (dvojnápravy)	0,75	0,75	0
		UDL(rovnomerné zaťaženie)	0,4	0,4	0
		chodci a cyklisti	0,4	0,4	0
	gr1 b (jednotlivá náprava)		0	0,75	0
	gr2 (vodorovné sily)		0	0	0
	gr3 (zaťaženie chodci)		0	0	0
	gr4 (zaťaženie davom ľudí)		0	0,75	0
	gr5 (zvláštne vozidla)		0	0	0
vietor	Fwk - trvalé navrhované situácie		0,8	0,2	0
	Fwk - prevedenie		0,8	-	0
	F·wk		1	-	0
teplota	Tk		0,6	0,6	0,5

8.4 Bezpečnostné súčinitele

$$\gamma_{Gj,sup} = 1,35$$

$$\gamma_{Gj,inf} = 1,00$$

$$\gamma_Q = 1,35$$

$$\gamma_Q = 1,50$$

$$\gamma_P = 1,00$$

$$\xi = 0,85$$

9 MEDZNÝ STAV ÚNOSNOSTI – ŽIVOTNOST

Konštrukcia musí byť funkčná po dobu svojej prevádzkovej životnosti. V medznom stave použiteľnosti tak budú overené vlastnosti konštrukcie na konci životnosti podľa ČSN EN 1992 – 1 – 1.

9.1 Obmedzenie napätia

9.1.1 Tlakové napätia v betóne

Vysoké hodnoty tlakových napätí spôsobujúce pozdĺžne trhliny.

$$\sigma_c \leq 0,6 \cdot f_{ck}(t)$$

Pokiaľ je splnená podmienky pre kvázistálu kombináciu, je možné uvažovať s lineárnym dotvarovaním betónu.

$$\sigma_c \leq 0,45 \cdot f_{ck}(t)$$

9.1.2 Ťahové napätia v betóne

Ťahové napätie v betóne je pri predpätých konštrukciách obmedzené hodnotou $f_{ctm}(t)$ aby nedošlo k vzniku trhlín.

$$\sigma_c \leq f_{ctm}(t)$$

9.1.3 Ťahové napätia vo výstuži

Obmedzením napätosti výstuže dôjde k zabráneniu vzniku nepružného pretvorenia , nadmernému rozširovaniu trhlín a deformácií.

$$\sigma_p \leq 0,75 \cdot f_{ck}(t)$$

9.2 Obmedzenie trhlín

Doporučená hodnota maximálnej šírky trhlín pre stupeň protikoróznej ochrany predpínacej výstuže PL2 je $w_{\max} = 0,2\text{mm}$. Pokiaľ bude pre častú kombináciu dodržaná podmienka :

$$\sigma_{c,t} \leq f_{ctm}, \rightarrow \text{trhliny nevzniknú}$$

9.3 Určenie účinkov od dopravy

9.3.1 Kombinácie -Podpora

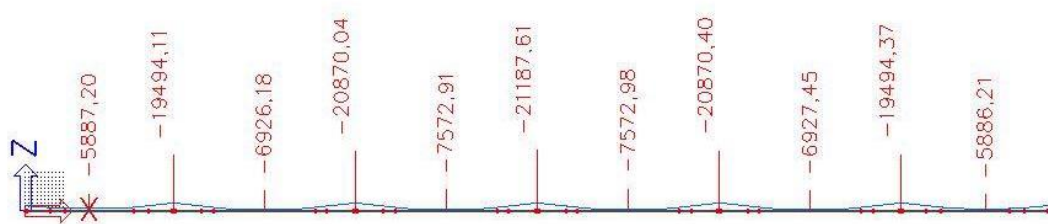
Z daných zaťažovacích sústav vyvolá extrémne účinky zaťažovacia sústava gr1a.

Tab 22- Priebeh momentov v podpore

		P2	P3	P4	P5	P6
gr1a	min	-19494,11	-20870,04	-21187,61	-20870,40	-19494,37
	max	3655,51	5078,05	5417,10	5078,69	3654,91
gr5 1800/200	min	-14490,89	-14776,5	-14872,98	-14776,48	-14489,65
	max	3317,77	3774,39	3881,01	3774,6	3317,23
gr5 3000/240	min	-12589,58	-12235,19	-12199,74	-12227,29	-12584,21
	max	3377,93	3281,19	3252,52	3279,18	3376,31

Tab 23- Priebeh normálových síl v podpore

		P2	P3	P4	P5	P6
Predpatie v kábloch [kN]	t_0	-37197,54	-37448,65	-37534,46	-37692,71	-39288,24
	t_{00}	-35345,08	-35444,66	-35419,02	-35399,46	-36615,65



Obr. 36- Priebeh ohybových momentov od gr1a

9.3.2 Kombinácie – Pole

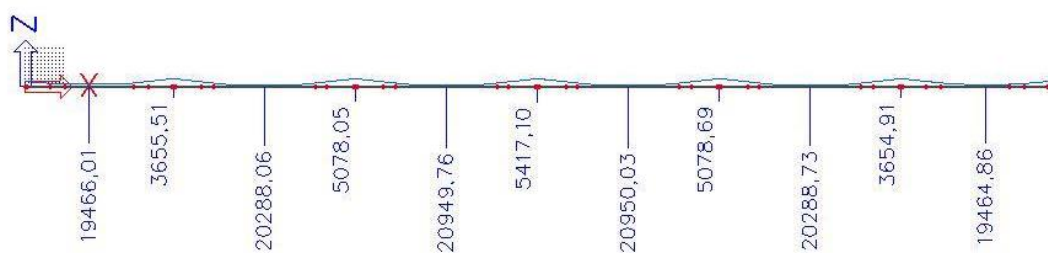
Z daných zaťažovacích sústav vyvolá extrémne účinky zaťažovacia sústava gr1a.

Tab 24-Priebeh momentov v poli

		Pole 1	Pole 2	Pole 3	Pole 4	Pole 5	Pole 6
gr1a	min	-5887,20	-6926,18	-7572,91	-7572,98	-6927,45	-5888,93
	max	19466,01	20288,06	20949,76	20950,03	20288,73	19464,86
gr5 1800/200	min	-5334,90	-5334,90	-5334,90	-5334,90	-5334,90	-5334,90
	max	18253,43	18629,88	18941,79	18941,89	18630,48	18252,03
gr5 3000/240	min	-5279,85	-4428,14	-4461,35	-4459,70	-4426,73	-5422,32
	max	18510,45	18731,88	18856,38	18856,52	18734,54	18525,61

Tab 25-Priebeh normálových síl v poli

		Pole 1	Pole 2	Pole 3	Pole 4	Pole 5	Pole 6
Predpatie v kábloch [kN]	t_0	-35000,92	-35146,50	-35375,80	-35556,58	-37366,29	-34809,47
	t_{00}	-33166,01	-33438,38	-33486,65	-33508,31	-34901,88	-31943,94



Obr. 37- Priebeh ohybových momentov od gr1a

9.4 Posúdenie napätia v betóne

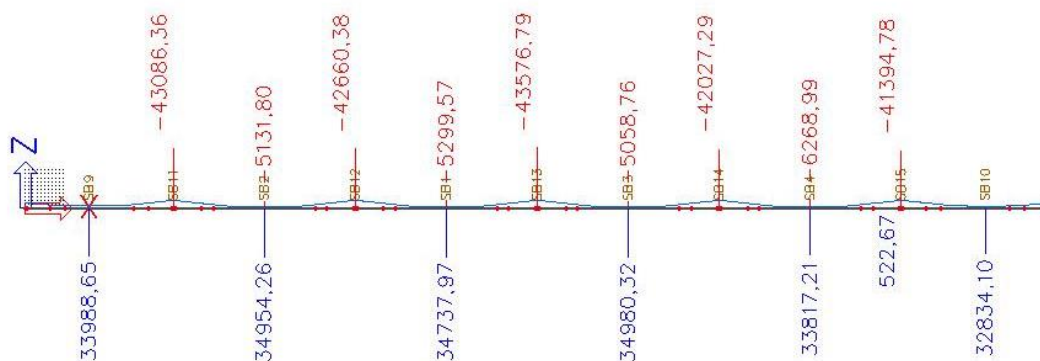
9.4.1 Charakteristická kombinácia v čase t_∞

Tab 26- Priebeh napätí v charakteristickej kombinácii v poli

Pole	Vnútorne sily		Prierezové charakteristiky				Napätie		Posúdenie
	N_p [kN]	M [kNm]	A_c [m ²]	I_c [m ⁴]	z_d [m]	z_h [m]	σ_d [MPa]	σ_h [MPa]	
Pole 1	-33166,01	33988,65	9,287	7,278	1,485	-0,915	3,36	-7,84	-21,00
Pole 2	-33438,38	34954,26	9,287	7,278	1,485	-0,915	3,53	-8,00	-21,00
Pole 3	-33486,65	34737,97	9,287	7,278	1,485	-0,915	3,48	-7,97	-21,00
Pole 4	-33508,31	34980,32	9,287	7,278	1,485	-0,915	3,53	-8,01	-21,00
Pole 5	-34901,88	33817,21	9,287	7,278	1,485	-0,915	3,14	-8,01	-21,00
Pole 6	-31943,94	32834,10	9,287	7,278	1,485	-0,915	3,26	-7,57	-21,00

Tab 27- Priebeh napätí v charakteristickej kombinácii v podpore

P	Vnútorne sily		Prierezové charakteristiky				Napätie		Posúdenie
	N_p [kN]	M [kNm]	A_c [m ²]	I_c [m ⁴]	z_d [m]	z_h [m]	σ_d [MPa]	σ_h [MPa]	
P2	-35345,08	-43086,36	10,615	6,282	1,365	-1,035	-12,69	3,77	-21,00
P3	-35444,66	-42660,38	10,615	6,582	1,367	-1,033	-12,20	3,36	-21,00
P4	-35419,02	-43576,79	10,615	6,582	1,367	-1,033	-12,39	3,50	-21,00
P5	-35399,46	-42027,29	10,615	6,582	1,367	-1,033	-12,06	3,26	-21,00
P6	-36615,65	-41394,78	10,615	6,282	1,365	-1,035	-12,44	3,37	-21,00



Obr. 38 - Priebeh ohybových momentov v charakteristickej kombinácii

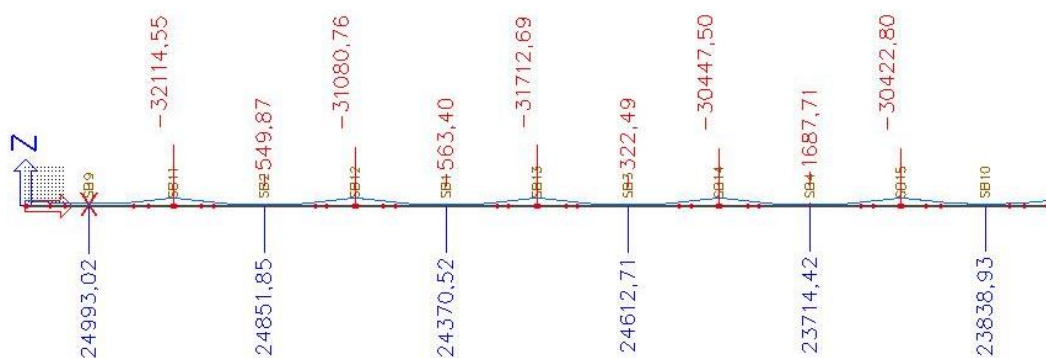
9.4.2 Častá kombinácia v čase t_{∞}

Tab 28-Priebeh napätí v častej kombinácii v poli

Pole	Vnútorne sily		Prierezové charakteristiky				Napätie		Posúdenie
	N_p [kN]	M [kNm]	A_c [m ²]	I_c [m ⁴]	z_d [m]	z_h [m]	σ_d [MPa]	σ_h [MPa]	
Pole 1	-33166,01	24993,02	9,287	7,278	1,485	-0,915	1,53	-6,71	3,20
Pole 2	-33438,38	24851,85	9,287	7,278	1,485	-0,915	1,47	-6,72	3,20
Pole 3	-33486,65	24370,52	9,287	7,278	1,485	-0,915	1,37	-6,67	3,20
Pole 4	-33508,31	24612,71	9,287	7,278	1,485	-0,915	1,41	-6,70	3,20
Pole 5	-34901,88	23714,42	9,287	7,278	1,485	-0,915	1,08	-6,74	3,20
Pole 6	-31943,94	23838,93	9,287	7,278	1,485	-0,915	1,42	-6,44	3,20

Tab 29-Priebeh napätí v častej kombinácii v podpore

P	Vnútorne sily		Prierezové charakteristiky				Napätie	
	N_p [kN]	M [kNm]	A_c [m ²]	I_c [m ⁴]	z_d [m]	z_h [m]	σ_d [MPa]	σ_h [MPa]
P2	-35345,08	-32114,55	10,615	6,282	1,365	-1,035	-10,31	1,96
P3	-35444,66	-31080,76	10,615	6,582	1,367	-1,033	-9,79	1,54
P4	-35419,02	-31712,69	10,615	6,582	1,367	-1,033	-9,92	1,64
P5	-35399,46	-30447,50	10,615	6,582	1,367	-1,033	-9,66	1,44
P6	-36615,65	-30422,80	10,615	6,282	1,365	-1,035	-10,06	1,56



Obr. 39- Priebeh ohybových momentov v častej kombinácii

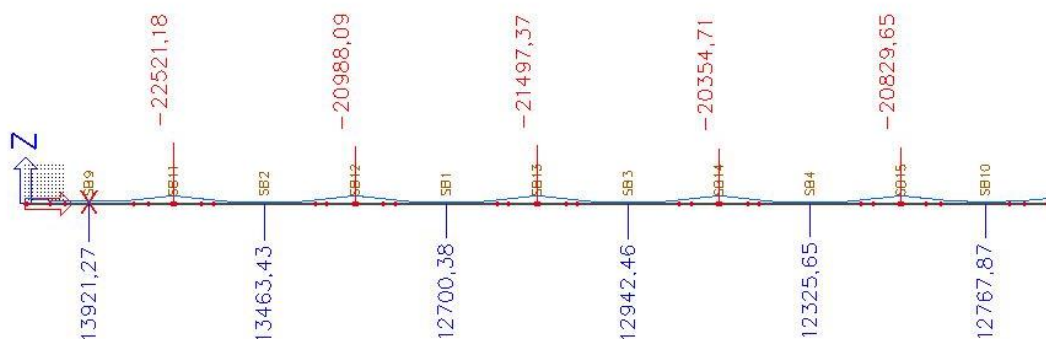
9.4.3 Kvázistála kombinácia v čase t_{∞}

Tab 30-Priebeh napätí v kvázistálej kombinácii v poli

Pole	Vnútročné sily		Prierezové charakteristiky				Napätie		Posúdenie
	N_p [kN]	M [kNm]	A_c [m ²]	I_c [m ⁴]	z_d [m]	z_h [m]	σ_d [MPa]	σ_h [MPa]	
Pole 1	-33166,01	13921,27	9,287	7,278	1,485	-0,915	-0,73	-5,32	-15,75
Pole 2	-33438,38	13463,43	9,287	7,278	1,485	-0,915	-0,85	-5,29	-15,75
Pole 3	-33486,65	12700,38	9,287	7,278	1,485	-0,915	-1,01	-5,20	-15,75
Pole 4	-33508,31	12942,46	9,287	7,278	1,485	-0,915	-0,97	-5,24	-15,75
Pole 5	-34901,88	12325,65	9,287	7,278	1,485	-0,915	-1,24	-5,31	-15,75
Pole 6	-31943,94	12767,87	9,287	7,278	1,485	-0,915	-0,83	-5,04	-15,75

Tab 31-Priebeh napätí v kvázistálej kombinácii v podpore

P	Vnútročné sily		Prierezové charakteristiky				Napätie		Posúdenie
	N_p [kN]	M [kNm]	A_c [m ²]	I_c [m ⁴]	z_d [m]	z_h [m]	σ_d [MPa]	σ_h [MPa]	
P2	-35345,08	-22521,18	10,615	6,282	1,365	-1,035	-8,22	-0,01	-15,75
P3	-35444,66	-20988,09	10,615	6,582	1,367	-1,033	-7,70	-0,05	-15,75
P4	-35419,02	-21497,37	10,615	6,582	1,367	-1,033	-7,80	-0,17	-15,75
P5	-35399,46	-20354,71	10,615	6,582	1,367	-1,033	-7,56	-0,14	-15,75
P6	-36615,65	-20829,55	10,615	6,282	1,365	-1,035	-7,98	-0,02	-15,75



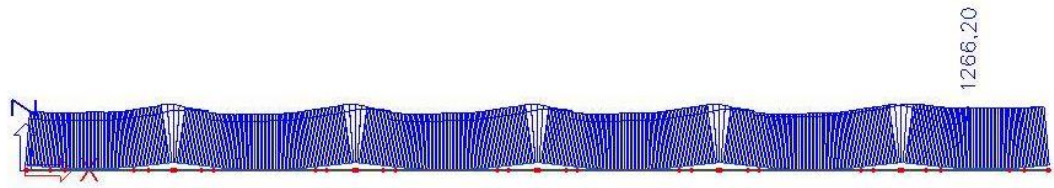
Obr. 40- Priebeh ohybových momentov v kvázistálej kombinácii

9.5 Posúdenie napätia v predpínacej výstuži

Posúdenie napätia prebehne v čase uvedenia mostu do premávky, keď už prebehli všetky krátkodobé straty.

$$\sigma_c \leq 0,75 \cdot f_{yk}$$

$$1266,20 \leq 0,75 \cdot 1770 = 1327,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



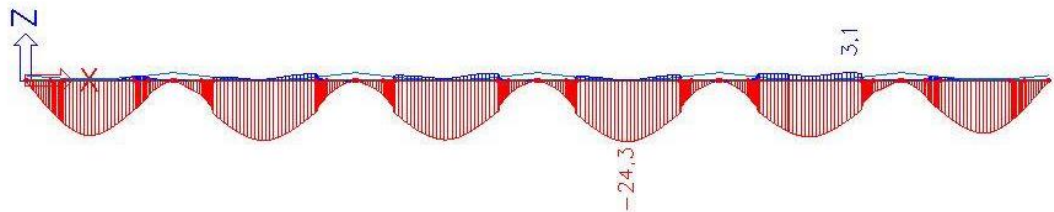
Obr. 41- Napätie v predpínacej výstuži v čase uvedenia do premávky

9.6 Obmedzenie deformácií konštrukcie

Prieťah konštrukcie bol zistený z častej hodnoty dopravy v čase životnosti mostu.

$$v_{lim} \leq \frac{L}{600} = \frac{39000}{600} = 65\text{mm}$$

$$v = 24,3 \leq 65\text{mm} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$



Obr. 42- Prieťah v životnosti mostu

10 MEDZNÝ STAV ÚNOSNOSTI – OHYB

Posudok je prevedený na kritických miestach v čase t_{∞} . Z kombinácií jasne vyplýva, že prierez bude najviac namáhaný v poli 2 a nad podporou 4.

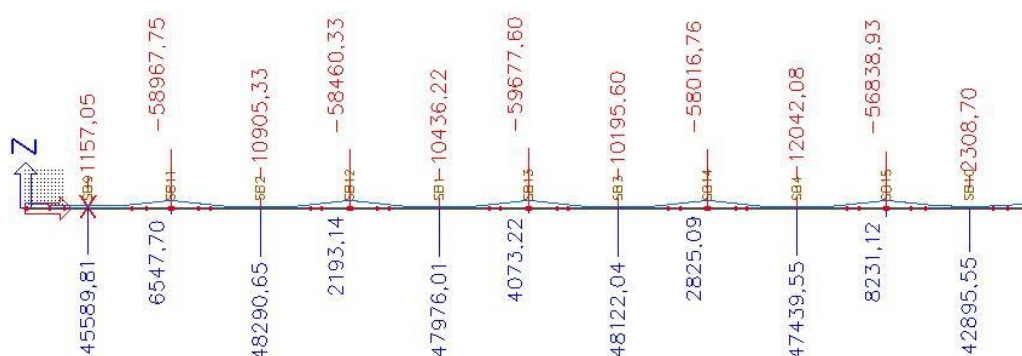
10.1 Kombinácie – pole

10.1.1 Kombinácia ohybových momentov

Rozhodujúca zostava je gr1a.

Tab 32- Priebeh ohybových momentov v poli

M [kNm]		Pole 1	Pole 2	Pole 3	Pole 4	Pole 5	Pole 6
gr1a	STR/GEO B	45589,81	48290,65	47976,01	48122,04	47439,55	42898,55
gr5 (1800/200)	STR/GEO B	42403,57	45026,06	43404,04	43871,15	44289,03	38907,73
gr5 (3000/240)	STR/GEO B	44303,38	46195,27	45156,03	45301,81	45350,54	41631,32



Obr. 43- Priebeh ohybových momentov od gr1a

10.1.2 Normálové sily od účinkov predpätia

Tab 33- Priebeh normálových síl v poli

		Pole 1	Pole 2	Pole 3	Pole 4	Pole 5	Pole 6
Predpätie v kábloch [kN]	t_0	-35000,92	-35146,50	-35375,80	-35556,58	-37366,29	-34809,47
	t_{00}	-33166,01	-33438,38	-33486,65	-33508,31	-34901,88	-31943,94

10.1.3 Materiálové a prierezové charakteristiky

Charakteristická valcová pevnosť v tlaku:	$f_{ck} = 35 \text{ [MPa]}$
Stredná hodnota pevnosti v ťahu:	$f_{ctm} = 3,2 \text{ [MPa]}$
Medzné pretvorenie:	$\varepsilon_{cu3} = 3,5 \text{ [‰]}$
Modul pružnosti:	$E_{cm} = 34 \text{ [GPa]}$
Návrhová pevnosť v tlaku:	$f_{cd} = 21 \text{ [MPa]}$
Návrhová pevnosť v ťahu:	$f_{ctd} = 2,13 \text{ [MPa]}$

Charakteristická pevnosť v ťahu:	$f_{pk} = 1770 \text{ [MPa]}$
Charakteristické zmluvné napätie:	$f_{p0,1k} = 1560 \text{ [MPa]}$
Modul pružnosti:	$E_p = 195 \text{ [MPa]}$
Návrhová pevnosť v ťahu:	$f_{pd} = 1356,52 \text{ [MPa]}$
Limitné pretvorenie:	$\varepsilon_{uk} = 20\text{‰}$ $\varepsilon_{ud} = 1,1 \cdot \varepsilon_{uk} = 22,22\text{‰}$
Pretvorenie na medzi klzu:	$\varepsilon_{pd} = f_{pd} / E_p = 6,96\text{‰}$

$$f_{pd,u} = f_{pd} + \frac{\varepsilon_{ud} - \varepsilon_{pd}}{\varepsilon_{uk} - \varepsilon_{pd}} \cdot \left(\frac{f_{pk}}{\gamma_s} - f_{pd} \right)$$

$$f_{pd,u} = 1356,52 + \frac{20 - 6,96}{22,22 - 6,96} \cdot \left(\frac{1770}{1,15} - 1356,52 \right) = 1512,56 \text{ MPa}$$

Plocha prierezu:	$A_{c,eff} = 9,287 \text{ m}^2$
Moment zotrvačnosti:	$I_{c,eff} = 7,278 \text{ m}^4$
Celková plocha predpínacej výstuže:	$A_p = 0,03192 \text{ m}^2$
Plocha predpínacej výstuže v jednej rade	$A_{p,i} = 0,01064 \text{ m}^2$
Účinná výška:	$h_{p,1} = 2,250 \text{ m}$ $h_{p,2} = 2,150 \text{ m}$ $h_{p,3} = 2,050 \text{ m}$

10.1.4 Stanovenie základného napätia a pomerného pretvorenia

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_{c,eff}} + \frac{M_{Ed}}{I_{c,eff}} \cdot z = \frac{-33438,38 \cdot 10^3}{9,287} + \frac{34954,26 \cdot 10^3}{7,278} \cdot 1,485 = \mathbf{3,53 MPa}$$

$$\sigma_{p,\infty} = \frac{P_{m,\infty}}{A_p} = \frac{-33438,14 \cdot 10^3}{319200} = \mathbf{1047,56 MPa}$$

$$\sigma_{p,\infty}^0 = \sigma_{p,t} - \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \sigma_{cp} = 1047,56 - \frac{195}{34} \cdot 3,53 = \mathbf{1011,70 MPa}$$

$$\varepsilon_{p,\infty}^0 = \frac{\sigma_{p,\infty}}{E_p} = \frac{1011,70}{195000} = \mathbf{0,005188}$$

$$\Delta\varepsilon_{pd} = \varepsilon_{pd} - \varepsilon_{p,\infty}^0 = 0,00696 - 0,005188 = \mathbf{0,00177}$$

$$\Delta\varepsilon_{ud} = \varepsilon_{ud} - \varepsilon_{p,\infty}^0 = 0,02 - 0,005188 = \mathbf{0,01481}$$

10.1.5 Silová podmienka

$$N_{Ed} \approx N_{Rd} = F_{cc} - \Delta F_{p1} - \Delta F_{p2} - \Delta F_{p3}$$

V programe Excel bola zistená potrebná výška tlačenej časti betónu a následne dopočítaná silová podmienka.

$$x = \mathbf{223,127 mm \approx 0,223 m}$$

$$A_{cc} = \lambda \cdot x \cdot b_{NK} = 0,8 \cdot 223,127 \cdot 13050 = \mathbf{2,329 m^2}$$

$$F_{cc} = A_{cc} \cdot f_{cd} = 2,329 \cdot 21000 = \mathbf{48926,36 kN}$$

10.1.6 Prírastok pomerného pretvorenia

$$\Delta\varepsilon_{p1} = \Delta\varepsilon_{ud} \cdot \frac{h_{p1} - x}{h_{p1} - x} = 0,0148 \cdot \frac{22625 - 0,223}{2,2625 - 0,223} = \mathbf{0,0148}$$

$$\Delta\varepsilon_{p2} = \Delta\varepsilon_{ud} \cdot \frac{h_{p2} - x}{h_{p1} - x} = 0,0148 \cdot \frac{2,0825 - 0,223}{2,2625 - 0,223} = \mathbf{0,0135}$$

$$\Delta\varepsilon_{p3} = \Delta\varepsilon_{ud} \cdot \frac{h_{p3} - x}{h_{p1} - x} = 0,0148 \cdot \frac{1,9025 - 0,223}{2,2625 - 0,223} = \mathbf{0,0122}$$

10.1.7 Pomerné pretvorenie

$$\varepsilon_{p1} = \varepsilon_{p,\infty}^0 + \Delta\varepsilon_{p1} = 0,0052 + 0,0148 = \mathbf{0,02}$$

$$\varepsilon_{p2} = \varepsilon_{p,\infty}^0 + \Delta\varepsilon_{p2} = 0,0052 + 0,0135 = \mathbf{0,0187}$$

$$\varepsilon_{p3} = \varepsilon_{p,\infty}^0 + \Delta\varepsilon_{p3} = 0,0052 + 0,0122 = \mathbf{0,0174}$$

10.1.8 Napätie

$$\sigma_{pi} = f_{pd} + \frac{\varepsilon_{ud} - \varepsilon_{pd}}{\varepsilon_{uk} - \varepsilon_{pd}} \cdot \left(\frac{f_{pk}}{\gamma_s} - f_{pd} \right)$$

$$\sigma_{p1} = 1356,52 + \frac{0,02 - 0,00696}{0,02222 - 0,00696} \cdot \left(\frac{1770}{1,15} - 1356,52 \right) = \mathbf{1512,56 MPa}$$

$$\sigma_{p2} = 1356,52 + \frac{0,0187 - 0,00696}{0,02222 - 0,00696} \cdot \left(\frac{1770}{1,15} - 1356,52 \right) = \mathbf{1496,92 MPa}$$

$$\sigma_{p3} = 1356,52 + \frac{0,0174 - 0,00696}{0,02222 - 0,00696} \cdot \left(\frac{1770}{1,15} - 1356,52 \right) = \mathbf{1481,28 MPa}$$

10.1.9 Príspevok napätia v predpínacej výstuži

$$\Delta\sigma_{p1} = \sigma_{p1} - \sigma_{p,\infty}^0 = 1512,56 - 1011,70 = \mathbf{500,86 MPa}$$

$$\Delta\sigma_{p2} = \sigma_{p2} - \sigma_{p,\infty}^0 = 1496,92 - 1011,70 = \mathbf{485,22 MPa}$$

$$\Delta\sigma_{p3} = \sigma_{p3} - \sigma_{p,\infty}^0 = 1481,28 - 1011,70 = \mathbf{469,58 MPa}$$

10.1.10 Prírastok sily v predpínacej výstuži

$$\Delta F_{p1} = \sigma_{p1} \cdot A_{p1} = 500,86 \cdot 10^3 \cdot 0,11 = \mathbf{5329,15 kN}$$

$$\Delta F_{p2} = \sigma_{p2} \cdot A_{p2} = 485,22 \cdot 10^3 \cdot 0,11 = \mathbf{5162,74 kN}$$

$$\Delta F_{p3} = \sigma_{p3} \cdot A_{p3} = 469,58 \cdot 10^3 \cdot 0,11 = \mathbf{4996,33 kN}$$

10.1.11 Splnenie silovej podmienky

$$N_{Rd} = F_{cc} - \Delta F_{p1} - \Delta F_{p2} - \Delta F_{p3}$$

$$N_{Rd} = 48926,36 - 5329,15 - 5162,74 - 4996,33 = \mathbf{33438,14 kN}$$

$$N_{Rd} = \mathbf{33438,14 kN} \approx N_{Ed} = \mathbf{33438,14 kN}$$

10.1.12 **Posúdenie únosnosti**

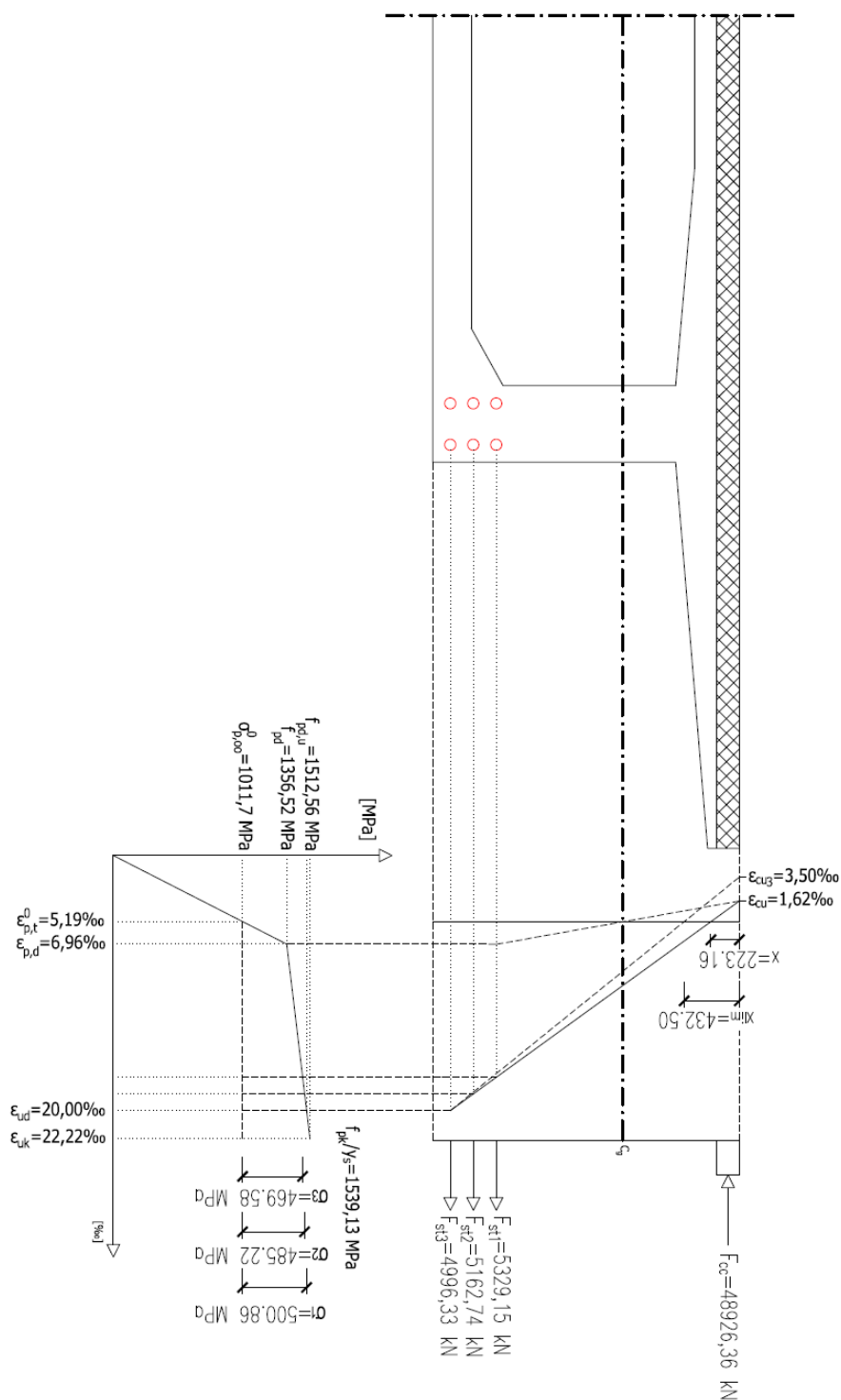
$$\varepsilon_c = \frac{\Delta\varepsilon_{p1} \cdot x}{h_{p1} - x} = \frac{0,0148 \cdot 0,223}{2,2625 - 0,223} = 1,618\text{‰} \leq \varepsilon_{cu3} = 3,5\text{‰}$$

10.1.13 **Momentová únosnosť**

$$M_{Rd} = F_{cc} \cdot z_{cc} + \Delta F_{p1} \cdot z_{p1} + \Delta F_{p2} \cdot z_{p2} + \Delta F_{p3} \cdot z_{p3}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= 48926,36 \cdot 0,826 + 5329,15 \cdot 1,348 + 5162,74 \cdot 1,168 + 4996,33 \cdot 0,98 \\ &= \mathbf{58\,642,60\,kN} \end{aligned}$$

$$\mathbf{M_{Rd} = 58\,642,60\,kNm > M_{Ed} = 48289,39\,kNm}$$



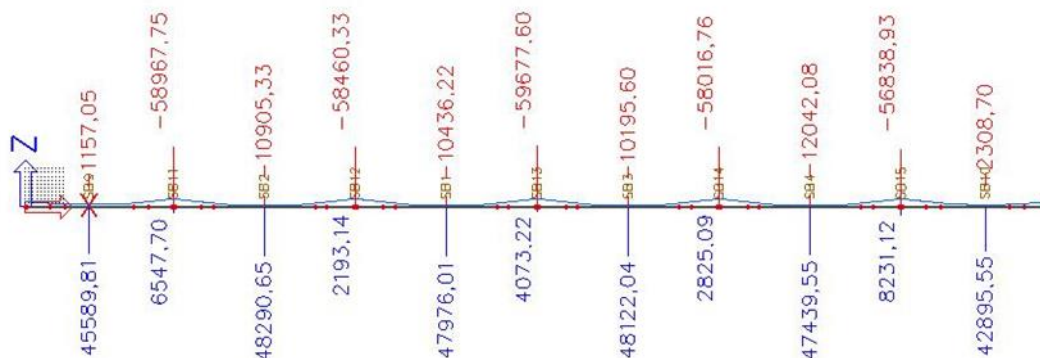
Obr. 44-Grafické overenie momentovej únosnosti v poli

10.2 Kombinácie – Podpora

10.2.1 Kombinácia ohybových momentov

Tab 34- Priebek ohybových momentov v podpore

M [kNm]		P2	P3	P4	P5	P6
gr1a	STR/GEO B	-58967,75	-58460,33	-59677,60	-58016,76	-56838,39
gr5 (1800/200)	STR/GEO B	-51426,95	-49161,66	-49834,64	-48896,76	-48882,96
gr5 (3000/240)	STR/GEO B	-49653,87	-46795,37	-47540,54	-46354,44	-47510,62



Obr. 45- Priebek ohybových momentov od gr1a

10.2.2 Normálové sily od účinkov predpätia

Tab 35- Priebek normálových síl v podpore

		P2	P3	P4	P5	P6
Predpätie v kábloch [kN]	t_0	-37197,54	-37448,65	-37534,46	-37692,71	-39288,24
	t_{00}	-35345,08	-35444,66	-35419,02	-35399,46	-36615,65

10.2.3 Stanovenie základného napätia a pomerného pretvorenia

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_{c,eff}} + \frac{M_{Ed}}{I_{c,eff}} \cdot z = \frac{-35419,02 \cdot 10^3}{10,615} + \frac{43576,39 \cdot 10^3}{6,528} \cdot 1,033 = 3,558 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p,\infty} = \frac{P_{m,\infty}}{A_p} = \frac{-35419,47 \cdot 10^3}{319200} = 1109,63 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p,\infty}^0 = \sigma_{p,t} - \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \sigma_{cp} = 1109,63 - \frac{195}{34} \cdot 3,558 = \mathbf{1066,28 \text{ MPa}}$$

$$\varepsilon_{p,\infty}^0 = \frac{\sigma_{p,\infty}}{E_p} = \frac{1066,28}{195000} = \mathbf{0,00547}$$

$$\Delta\varepsilon_{pd} = \varepsilon_{pd} - \varepsilon_{p,\infty}^0 = 0,00696 - 0,00547 = \mathbf{0,00149}$$

$$\Delta\varepsilon_{ud} = \varepsilon_{ud} - \varepsilon_{p,\infty}^0 = 0,0222 - 0,00547 = \mathbf{0,01673}$$

10.2.4 Silová podmienka

V programe Excel bola zistená potrebná výška tlačenej časti betónu a následne dopočítaná silová podmienka.

$$N_{Ed} \approx N_{Rd} = F_{cc} - \Delta F_{p1} - \Delta F_{p2} - \Delta F_{p3}$$

$$x = \mathbf{616,84 \text{ mm} \approx 0,0617 \text{ m}}$$

$$A_{cc} = 2,239 \text{ m}^2 - \text{odčítané z Autocadu}$$

$$F_{cc} = A_{cc} \cdot f_{cd} = \mathbf{47026,25 \text{ kN}}$$

10.2.5 Prírastok pomerného pretvorenia

$$\Delta\varepsilon_{p1} = |\varepsilon_{cu3}| \cdot \left(\frac{h_{p1}}{x} - 1 \right) = 0,0035 \cdot \left(\frac{1,9025}{0,0617} - 1 \right) = \mathbf{0,00729}$$

$$\Delta\varepsilon_{p2} = |\varepsilon_{cu3}| \cdot \left(\frac{h_{p2}}{x} - 1 \right) = 0,0035 \cdot \left(\frac{2,0825}{0,0617} - 1 \right) = \mathbf{0,00831}$$

$$\Delta\varepsilon_{p3} = |\varepsilon_{cu3}| \cdot \left(\frac{h_{p3}}{x} - 1 \right) = 0,0035 \cdot \left(\frac{2,2625}{0,0617} - 1 \right) = \mathbf{0,00933}$$

10.2.6 Pomerné pretvorenie

$$\varepsilon_{p1} = \varepsilon_{p,\infty}^0 + \Delta\varepsilon_{p1} = 0,00547 + 0,00729 = \mathbf{0,0128}$$

$$\varepsilon_{p2} = \varepsilon_{p,\infty}^0 + \Delta\varepsilon_{p2} = 0,00547 + 0,00831 = \mathbf{0,0138}$$

$$\varepsilon_{p3} = \varepsilon_{p,\infty}^0 + \Delta\varepsilon_{p3} = 0,00547 + 0,00933 = \mathbf{0,0148}$$

10.2.7 Napätie:

$$\sigma_{pi} = f_{pd} + \frac{\varepsilon_{ud} - \varepsilon_{pd}}{\varepsilon_{uk} - \varepsilon_{pd}} \cdot \left(\frac{f_{pk}}{\gamma_s} - f_{pd} \right)$$

$$\sigma_{p1} = 1356,52 + \frac{0,0128 - 0,00696}{0,02222 - 0,00696} \cdot \left(\frac{1770}{1,15} - 1356,52 \right) = \mathbf{1417,60 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{p2} = 1356,52 + \frac{0,0138 - 0,00696}{0,02222 - 0,00696} \cdot \left(\frac{1770}{1,15} - 1356,52 \right) = \mathbf{1428,20 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{p3} = 1356,52 + \frac{0,0148 - 0,00696}{0,02222 - 0,00696} \cdot \left(\frac{1770}{1,15} - 1356,52 \right) = \mathbf{1438,81 \text{ MPa}}$$

10.2.8 Príspevok napätia v predpínacej výstuži:

$$\Delta\sigma_{p1} = \sigma_{p1} - \sigma_{p,\infty}^0 = 1512,56 - 1066,28 = \mathbf{351,32 \text{ MPa}}$$

$$\Delta\sigma_{p2} = \sigma_{p2} - \sigma_{p,\infty}^0 = 1428,20 - 1066,28 = \mathbf{361,92 \text{ MPa}}$$

$$\Delta\sigma_{p3} = \sigma_{p3} - \sigma_{p,\infty}^0 = 1438,81 - 1066,28 = \mathbf{372,53 \text{ MPa}}$$

10.2.9 Prírastok sily v predpínacej výstuži

$$\Delta F_{p1} = \sigma_{p1} \cdot A_{p1} = 351,32 \cdot 10^3 \cdot 0,11 = \mathbf{3738,04 \text{ kN}}$$

$$\Delta F_{p2} = \sigma_{p2} \cdot A_{p2} = 361,92 \cdot 10^3 \cdot 0,11 = \mathbf{3850,83 \text{ kN}}$$

$$\Delta F_{p3} = \sigma_{p3} \cdot A_{p3} = 372,53 \cdot 10^3 \cdot 0,11 = \mathbf{3963,72 \text{ kN}}$$

10.2.10 Splnenie silovej podmienky

$$N_{Rd} = F_{cc} - \Delta F_{p1} - \Delta F_{p2} - \Delta F_{p3}$$

$$N_{Rd} = 47026,25 - 3738,04 - 3850,83 - 3963,72 = 35473,66 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = \mathbf{35473,66 \text{ kN}} \approx N_{Ed} = \mathbf{35474,72 \text{ kN}}$$

Posúdenie únosnosti

$$x_{bal,1} = h_{p3} \cdot \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \Delta\varepsilon_{pd}} = 2,2625 \cdot \frac{0,0035}{0,0035 - 0,00149} = \mathbf{1,580m}$$

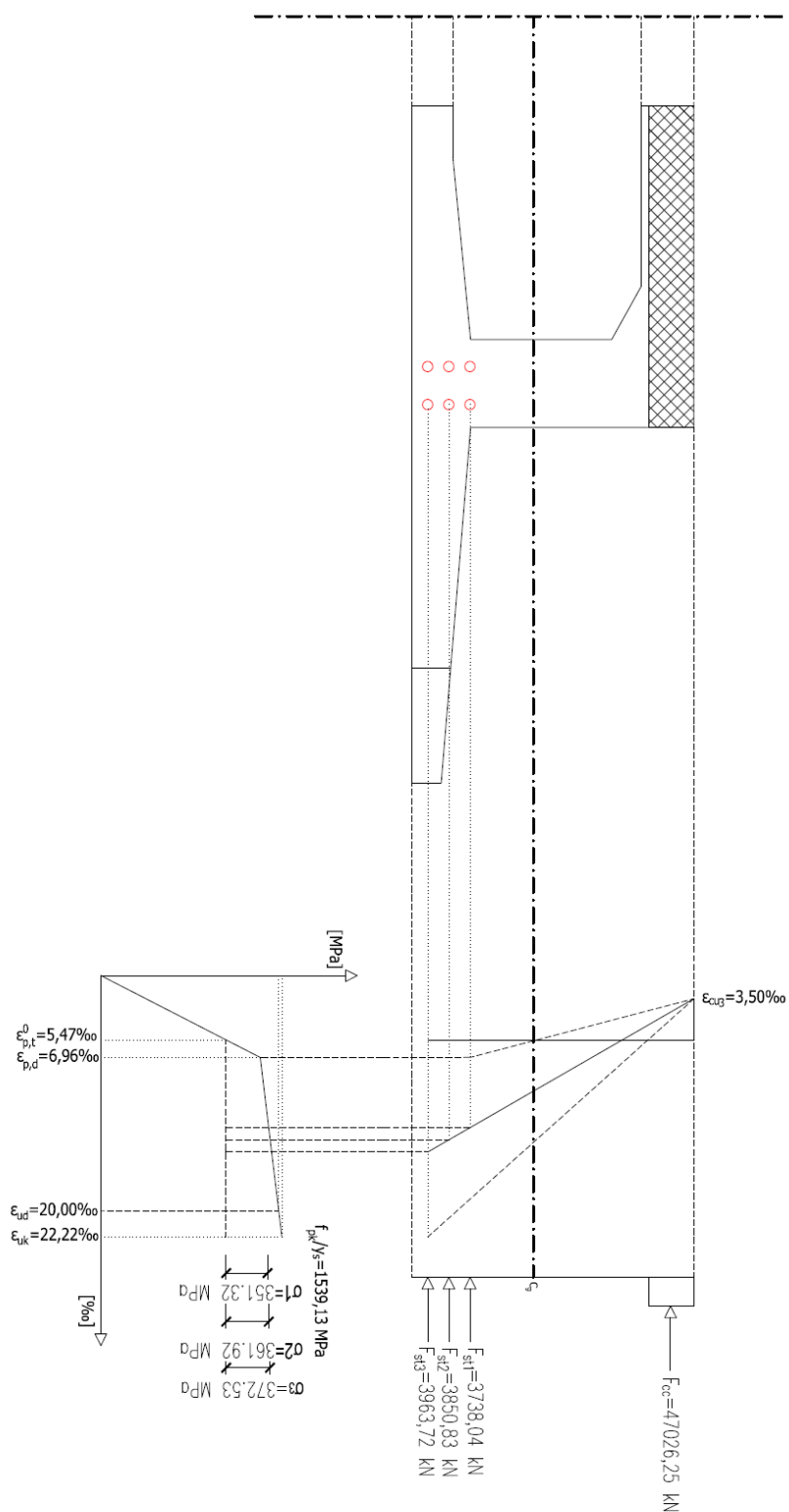
$$x = 0,617m \leq x_{bal,1} = 1,580m$$

10.2.11 Momentová únosnosť

$$M_{Rd} = F_{cc} \cdot z_{cc} + \Delta F_{p1} \cdot z_{p1} + \Delta F_{p2} \cdot z_{p2} + \Delta F_{p3} \cdot z_{p3}$$

$$M_{Rd} = 47026,25 \cdot 1,17 + 3738,04 \cdot 0,54 + 3850,83 \cdot 0,72 + 3963,72 \cdot 0,9 \\ = \mathbf{63504,34,60 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd} = 63504,34,60 \text{ kN} > M_{Ed} = 59670,81 \text{ kNm}$$



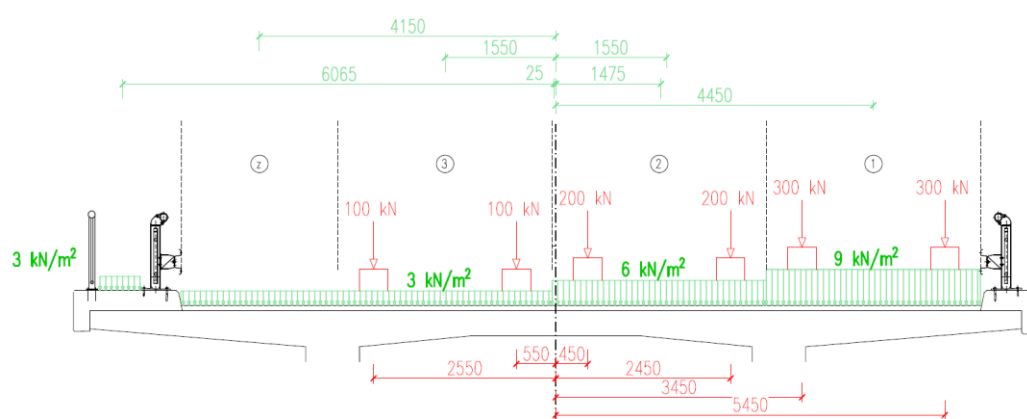
Obr. 46-Grafické overenie momentovej únosnosti v podpore

11 MEDZNÝ STAV ÚNOSNOSTI PRI PÔSOBNÍ POSÚVAJÚCEJ SILY A KRÚTIACEHO MOMENTU

11.1 Zat'azenie

11.1.1 Zostava gr1a

11.1.1.1 $V_{Ed,max}$ a $T_{Ed,odp}$



Obr. 47- Rozmiestnenie zaťaženia pre daný prípad účinkov na konštrukciu

Výpočet sústredného zaťaženia od dvojnápravy (TS)

$$M_{TS} = 300 \cdot 5,45 + 300 \cdot 3,45 + 200 \cdot 2,45 + 200 \cdot 0,45 - 100 \cdot 0,55 - 100 \cdot 2,55$$

$$= \mathbf{2940 \text{ kNm}}$$

$$Q_{TS} = 2 \cdot 300 + 2 \cdot 200 + 2 \cdot 100 = \mathbf{1200 \text{ kN}}$$

$$e_{TS} = M_{TS}/Q_{TS} = 2940/1200 = \mathbf{2,45 \text{ m}}$$

Výpočet rovnomerného zaťaženia (UDL)

Pruh 1 $q_1 \cdot w_1 = 9 \cdot 3 = 27 \text{ kN/m}$

Pruh 2 $q_2 \cdot w_2 = 6 \cdot 3 = 18 \text{ kN/m}$

Pruh 3 $q_3 \cdot w_3 = 3 \cdot 3 = 9 \text{ kN/m}$

Hodnota 25mm bola zanedbaná a bolo uvažované s plným pruhom w_3 .

Pruh Z $q_z \cdot w_z = 3 \cdot 2,25 = 6,75 \text{ kN/m}$

Chodník $q_{ch} \cdot w_{ch} = 3 \cdot 0,5 = 2,25 \text{ kN/m}$

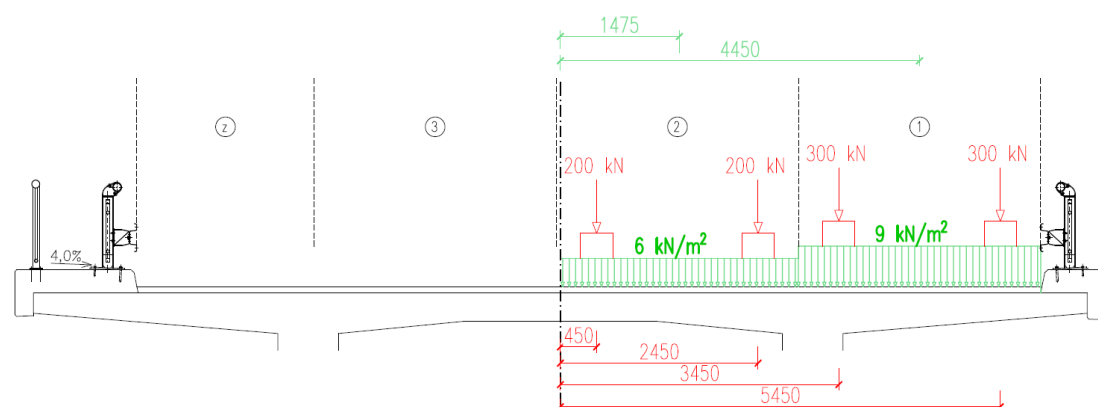
$$M_{UDL} = 27 \cdot 4,45 + 18 \cdot 1,475 - 9 \cdot 1,55 - 6,75 \cdot 4,150 - 2,25 \cdot 6,06$$

$$= \mathbf{91,09 \text{ kNm/m}}$$

$$q_{UDL} = 27 + 18 + 9 + 6,75 + 2,25 = \mathbf{63 \text{ kN/m}}$$

$$e_{UDL} = M_{UDL}/q_{UDL} = 91,09/1200 = \mathbf{1,45 \text{ m}}$$

11.1.1.2 $V_{Ed,odp}$ a $T_{Ed,max}$



Obr. 48- Rozmiestnenie zaťaženia pre daný prípad účinkov na konštrukciu

Výpočet sústredného zaťaženia od dvojnápravy (TS)

$$M_{TS} = 300 \cdot 5,45 + 300 \cdot 3,45 + 200 \cdot 2,45 + 200 \cdot 0,45 = \mathbf{3250 \text{ kNm}}$$

$$Q_{TS} = 2 \cdot 300 + 2 \cdot 200 = \mathbf{1000 \text{ kN}}$$

$$e_{TS} = M_{TS}/Q_{TS} = 3250/1000 = \mathbf{3,25 \text{ m}}$$

Výpočet rovnomerného zaťaženia (UDL)

Pruh 1 $q_1 \cdot w_1 = 9 \cdot 3 = 27 \text{ kN/m}$

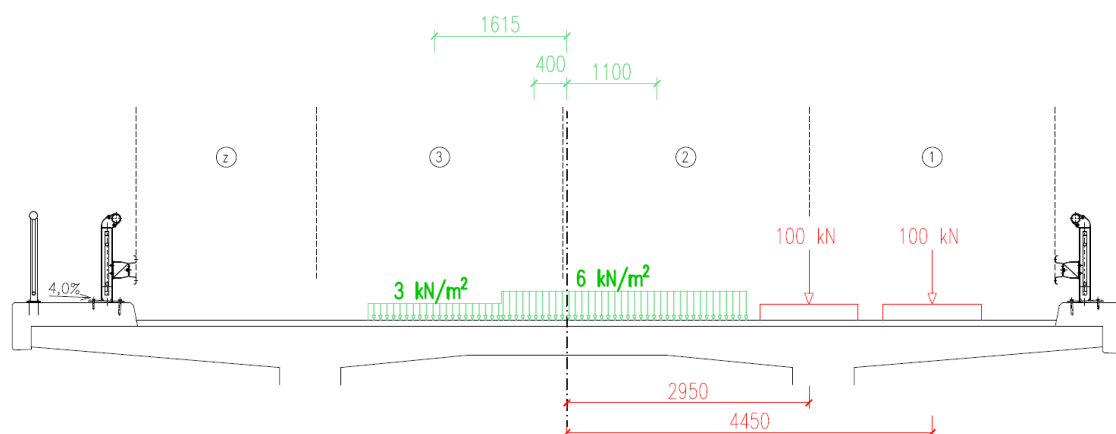
Pruh 2 $q_2 \cdot w_2 = 6 \cdot 3 = 18 \text{ kN/m}$

$$M_{UDL} = 27 \cdot 4,45 + 18 \cdot 1,475 = \mathbf{146,70 \text{ kNm/m}}$$

$$q_{UDL} = 27 + 18 = \mathbf{45 \text{ kN/m}}$$

$$e_{UDL} = M_{UDL}/q_{UDL} = 146,70/45 = \mathbf{3,26 \text{ m}}$$

11.1.2 Zostava gr5 1800/200

11.1.2.1 $V_{Ed,max}$ a $T_{Ed,odp}$ 

Obr. 49- Rozmiestnenie zaťaženia pre daný prípad účinkov na konštrukciu

Výpočet sústredného zaťaženia od dvojnápravy

Pre prípad zvláštneho vozidla 1800/200 bol použitý dynamický súčiniteľ $\phi = 1,25$.

$$M_{TS} = 1,25 \cdot 100 \cdot 2,95 + 1,25 \cdot 100 \cdot 4,45 = 925 \text{ kNm}$$

$$Q_{TS} = 2 \cdot 125 = 250 \text{ kN}$$

$$e_{TS} = M_{TS}/Q_{TS} = 925/250 = 3,7 \text{ m}$$

Výpočet rovnomerného zaťaženia (UDL)

$$\text{Pruh 2} \quad q_{2,1} \cdot w_{2,1} = 6 \cdot 2,18 = 13,08 \text{ kN/m}$$

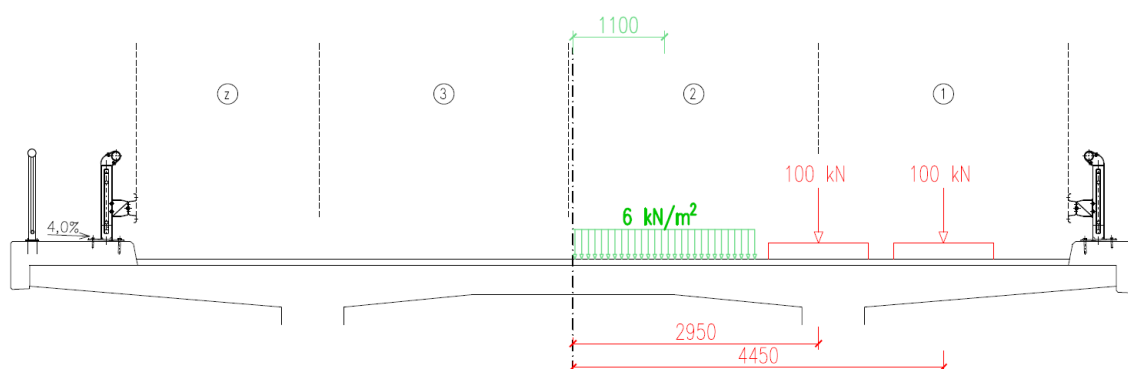
$$q_{2,2} \cdot w_{2,2} = 6 \cdot 0,82 = 4,92 \text{ kN/m}$$

$$\text{Pruh 3} \quad q_3 \cdot w_3 = 3 \cdot 1,625 = 4,875 \text{ kN/m}$$

$$M_{UDL} = 13,08 \cdot 1,1 - 4,92 \cdot 0,4 - 4,875 \cdot 1,615 = 4,55/\text{m}$$

$$q_{UDL} = 13,08 + 4,92 + 4,875 = 22,875 \text{ kN/m}$$

$$e_{UDL} = M_{UDL}/q_{UDL} = 4,55/22,875 = 0,20 \text{ m}$$

11.1.2.2 $V_{Ed,odp}$ a $T_{Ed,max}$ 

Obr. 50- Rozmiestnenie zaťaženia pre daný prípad účinkov na konštrukciu

Výpočet sústredného zaťaženia od dvojnápravy

Pre prípad zvláštneho vozidla 1800/200 bol použitý dynamický súčiniteľ $\phi = 1,25$.

$$M_{TS} = 1,25 \cdot 100 \cdot 2,95 + 1,25 \cdot 100 \cdot 4,45 = \mathbf{925 \text{ kNm}}$$

$$Q_{TS} = 2 \cdot 125 = \mathbf{250 \text{ kN}}$$

$$e_{TS} = M_{TS}/Q_{TS} = 925/250 = \mathbf{3,7 \text{ m}}$$

Výpočet rovnomerného zaťaženia (UDL)

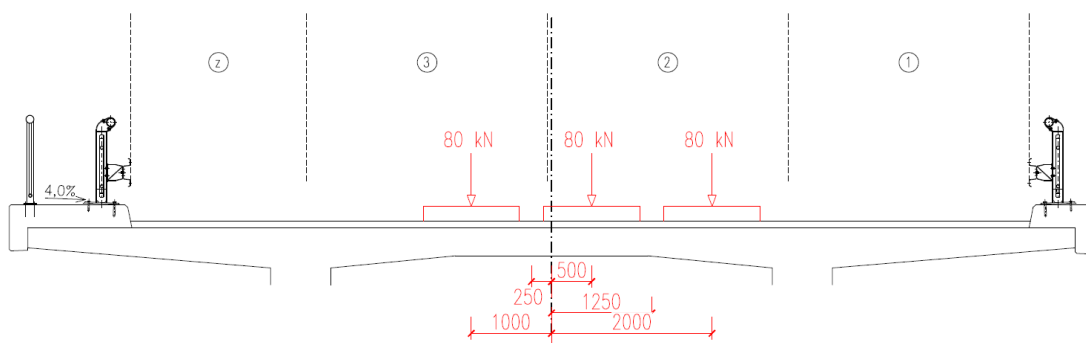
$$\text{Pruh 2} \quad q_{2,1} \cdot w_{2,1} = 6 \cdot 2,18 = 13,08 \text{ kN/m}$$

$$M_{UDL} = 13,08 \cdot 1,1 = \mathbf{14,39/m}$$

$$q_{UDL} = 13,08 = \mathbf{13,08 \text{ kN/m}}$$

$$e_{UDL} = M_{UDL}/q_{UDL} = 14,39/13,08 = \mathbf{1,1 \text{ m}}$$

11.1.3 Zostava gr5 3000/240

11.1.3.1 $V_{Ed,max}$ a $T_{Ed,odp}$ 

Obr. 51- Rozmiestnenie zaťaženia pre daný prípad účinkov na konštrukciu

Pre prípad zvláštneho vozidla 3000/240 bol použitý dynamický súčiniteľ $\phi = 1,05$. Jedná sa o vozidlo, ktoré sa pohybuje v ideálnej stope a to je osou mostu. Počas prejazdu zvláštneho vozidla bude vylúčená ostatná doprava na moste.

$$M_{TS} = 1,05 \cdot 80 \cdot 2 + 1,05 \cdot 80 \cdot 0,5 - 1,05 \cdot 80 = 126 \text{ kNm}$$

$$Q_{TS} = 3 \cdot 84 = 252 \text{ kN}$$

$$e_{TS} = M_{TS}/Q_{TS} = 126/252 = 3,7 \text{ m}$$

11.2 Posúdenie – Rez č.1 vo vzdialenosti d od podpory

11.2.1 Posúdenie na maximálnu posúvajúcu silu a príslušný krútiaci moment

Tab 36 - Priebeh vnútorných síl v danej kombinácii

Podpora zprava			P2	P3	P4	P5	P6
$V_{Ed,max}$	gr1a	STR/GEO B	7412,48	7486,56	7481,33	7508,92	7331,88
	gr5 (1800/200)	STR/GEO B	6615,08	6641,51	6637,00	6710,14	6645,76
	gr5 (3000/240)	STR/GEO B	7109,52	7123,61	7118,73	7198,24	7180,37
$T_{Ed,odp}$	gr1a	STR/GEO B	6150,83	6723,24	6723,24	6723,24	6723,24
	gr5 (1800/200)	STR/GEO B	7720,29	8045,24	8045,24	8045,24	8045,24
	gr5 (3000/240)	STR/GEO B	1568,23	1568,23	1568,23	1568,23	1568,23

Tab 37- Priebeh vnútorných síl v danej kombinácii

Podpora zľava			P2	P3	P4	P5	P6
$V_{Ed,max}$	gr1a	STR/GEO B	-7068,66	-7301,22	-7173,24	-7194,26	-6974,01
	gr5 (1800/200)	STR/GEO B	-6172,02	-6363,80	-6352,10	-6534,68	-6201,29
	gr5 (3000/240)	STR/GEO B	-6861,16	-6937,72	-6758,47	-6779,60	-6620,50
$T_{Ed,odp}$	gr1a	STR/GEO B	-6596,26	-6596,26	-6596,26	-6596,26	-6008,38
	gr5 (1800/200)	STR/GEO B	-7885,04	-7885,04	-7885,04	-7885,04	-7858,27
	gr5 (3000/240)	STR/GEO B	-1598,12	-1598,12	-1598,12	-1598,12	-1488,27

Posúdenie steny komorového nosníku

Posúdenie bude prevedené na priereze, kde vzniká najväčšia posúvajúca sila. Jedná sa o P5 zprava.

$$V_{Ed,gr1a,P5,P} = 7508,92 \text{ kN}$$

Rozhodnutie o vzniku trhlín

$$N_{Ed} = -34948,32 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = -45551,36 \text{ kNm}$$

Plocha prierezu:

$$A_{c,eff} = 10,615 \text{ m}^2$$

Moment zotrvačnosti:

$$I_{c,eff} = 6,282 \text{ m}^4$$

Vzdialenosť ťažiska od horných vlákien

$$z_h = 1,035 \text{ m}$$

Vzdialenosť ťažiska od dolných vlákien

$$z_d = 1,365 \text{ m}$$

Celková plocha predpínacej výstuže:

$$A_p = 0,03192 \text{ m}^2$$

Plocha predpínacej výstuže v jednej rade

$$A_{p,i} = 0,01064 \text{ m}^2$$

Účinná výška:

$$d = 2,150 \text{ m}$$

$$\sigma_{c,h} = \frac{N_{Ed}}{A_{c,eff}} + \frac{M_{Ed}}{I_{c,eff}} \cdot z_h = \frac{-34948,32 \cdot 10^3}{10,615} + \frac{-45551,36 \cdot 10^3}{6,282} \cdot (-1,035)$$

$$= 4,21 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{2,2}{1,5} = 1,47 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,h} = 4,21 \text{ MPa} > f_{ctd} = 1,47 \text{ MPa} \rightarrow \text{VZNIK TRHLÍN}$$

Návrhová únosnosť nevystuženého potrahaného prierezu

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \geq V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

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

$d = 2,150\text{m}$ – účinná výška

$$k = 1 + \left(\frac{200}{d}\right)^{0,5} = 1 + \left(\frac{200}{2150}\right)^{0,5} = 1,304 \leq 2,0$$

$A_{sl} = 0,016\text{m}^2$ – plocha výstuže v jednej stene (6x19 lán))

$$b_w = b - 0,5 \cdot \sum \emptyset = 0,75 - 0,5 \cdot (0,095 + 0,095) = 0,655\text{m}$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b \cdot d} = \frac{0,016}{0,655 \cdot 2,150} = 0,0113 \leq 0,02$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_{c,eff}} = \frac{34948,32 \cdot 10^3}{10,615} = \mathbf{3,34\ MPa} \leq 0,2 \cdot f_{cd} = 0,2 \cdot 21 = 4,2\ MPa$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,30^{\frac{3}{2}} \cdot 35^{\frac{1}{2}} = \mathbf{0,307\ MPa}$$

$$k_1 = 0,15$$

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = (0,307 + 0,15 \cdot 3,34) \cdot 0,655 \cdot 2,150 = \mathbf{1137,86\ kN}$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 0,3 \cdot (100 \cdot 0,0113 \cdot 35)^{\frac{1}{3}} + 0,15 \cdot 3,34] \cdot 655 \cdot 2150 = \mathbf{1454,02\ kN}$$

$$V_{Rd,c} = \mathbf{1454,02\ kN} > V_{Rd,c,min} = \mathbf{1137,86\ kN}$$

$$V_{Rd,c} = \mathbf{1454,02\ kN} < V_{Ed} = \mathbf{7508,92/2 = 3754,46\ kN}$$

→ **NÁVRH ŠMYKOVEJ VÝSTUŽE**

Únosnosť tlačenej diagonály – šmyk

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

$$\alpha_{cw} = 1 + \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}} = 1 + \frac{3,34}{21} = \mathbf{1,159}$$

$$v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right) = \mathbf{0,516}$$

$$z = 1,875\text{m}$$

$$\theta = 40^\circ$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z}{\cot\theta + \tan\theta} = \frac{1,159 \cdot 0,516 \cdot 21 \cdot 10^3 \cdot 0,655 \cdot 1,875}{\cot 40 + \tan 40} = 7635,60\text{kN}$$

$$V_{Rd,max} = 7635,60\text{kN} > V_{Ed,S} + V_{Ed,T} = 3754,46 + 1704,39 = 5458,85\text{kN} \\ \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Únosnosť na medzi vzniku trhlín

$$T_{Rd,c} = f_{ctd} \cdot t_{eff} \cdot 2 \cdot A_k = 1,47 \cdot 10^3 \cdot 0,713 \cdot 12,327 = 25840,10\text{kNm}$$

Únosnosť tlačenej diagonály - krútenie

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

$$\alpha_{cw} = 1 + \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}} = 1 + \frac{3,34}{21} = 1,159$$

$$v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right) = 0,516$$

$$A_k = 12,327\text{m}^2$$

$$u_k = 17,27\text{m}^2$$

$$t_{eff} = \frac{A_k}{u_k} = \frac{12,327}{17,270} = 0,713\text{m} < t_w = 0,75\text{m}$$

$$\theta = 40^\circ$$

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

$$T_{Rd,max} = 2 \cdot 0,516 \cdot 1,159 \cdot 21 \cdot 10^3 \cdot 12,327 \cdot 0,713 \cdot \sin 40 \cdot \cos 40 \\ = 10,870\text{kNm}$$

$$T_{Rd,max} = 10,870\text{kNm} > T_{Ed,odp} = 6723,24\text{kNm}$$

$$T_{Rd,max} = 10,870\text{kNm} > T_{Ed,odp} = 8045,24\text{kNm}$$

→ BEZ VZNIKU TRHLÍN OD KRÚTENIA

Interakcia šmyku a krútenia

$$\frac{T_{Ed,odp}}{T_{Rd,c}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}} = \frac{8045,24}{25840,10} + \frac{3798,76}{1454,02} = 2,92 > 1,0$$

→ **NÁVRH ŠMYKOVEJ VÝSTUŽE**

Návrh šmykovej výstuže

$$V_{Ed,S} = 3754,46 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,T} = \frac{T_{Ed,odp}}{2 \cdot A_k} \cdot l_k = \frac{6723,24}{2 \cdot 12,327} \cdot 6,25 = 1704,39 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,S} + V_{Ed,T} = 3754,46 + 1704,39 = \mathbf{5458,85 \text{ kN}}$$

$$\frac{A_{sw}}{s_l} \approx \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{ywd} \cdot \cotg\theta} = \frac{5458,85}{1,875 \cdot 478,26 \cdot 10^3 \cdot \cotg40} = \mathbf{0,0051 m^2/m}$$

Navrhnutý profil: $\emptyset = 16mm$

Počet strihov: $n = 4$

Vzdialenosť v pozdĺžnom smere: $s_l = 0,15m$

Celková plocha: $A_{sw} = 8,04 \cdot 10^{-4} m^2$

Pevnosť strmeňov: $f_{ywd} = 478,26MPa$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s_l} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cotg\theta = \frac{8,04 \cdot 10^{-4}}{0,15} \cdot 1,875 \cdot 478,26 \cdot 10^3 \cdot \cotg40$$

$$V_{Rd,s} = \mathbf{5728,17 \text{ kN}} > V_{Ed} = 5458,85 \text{ kN} \rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

Maximálna plocha výstuže

$$\frac{A_{sw,max}}{s_l} = \frac{0,5 \cdot \alpha_{cw} \cdot \nu_1 \cdot f_{cd} \cdot b_w}{f_{ywd}} = \frac{0,5 \cdot 1,159 \cdot 0,516 \cdot 21 \cdot 10^3 \cdot 0,655}{478,26 \cdot 10^3}$$

$$= \mathbf{0,00946 m^2/m}$$

$$\frac{A_{sw}}{s_l} = 0,0051 m^2/m \leq \frac{A_{sw,max}}{s_l} = 0,00946 m^2/m \rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

11.2.2 Posúdenie na maximálny krútiaci moment a príslušnú posúvajúcu silu

Tab 38- Priebeh vnútorných síl v danej kombinácii

Podpora zprava			P2	P3	P4	P5	P6
$T_{Ed,max}$	gr1a	STR/GEO B	7962,36	8879,94	8879,94	8879,94	8879,94
	gr5 (1800/200)	STR/GEO B	7973,95	8359,36	8359,36	8359,36	8359,36
	gr5 (3000/240)	STR/GEO B	1568,23	1666,85	1667,85	1668,85	1669,85
$V_{Ed,odp}$	gr1a	STR/GEO B	6618,19	6658,79	6652,63	6722,49	6694,98
	gr5 (1800/200)	STR/GEO B	6441,76	6464,39	6459,95	6536,67	6503,92
	gr5 (3000/240)	STR/GEO B	7109,52	7123,61	7118,73	7198,24	7180,37

Tab 39- Priebeh vnútorných síl v danej kombinácii

Podpora zlava			P2	P3	P4	P5	P6
$T_{Ed,max}$	gr1a	STR/GEO B	-8702,38	-8702,38	-8702,38	-8702,38	-7759,76
	gr5 (1800/200)	STR/GEO B	-8347,89	-8347,89	-8347,89	-8347,89	-7960,06
	gr5 (3000/240)	STR/GEO B	-1598,12	-1598,12	-1598,12	-1598,12	-1488,27
$V_{Ed,odp}$	gr1a	STR/GEO B	-6477,03	-6571,61	-6396,66	-6417,44	-6231,78
	gr5 (1800/200)	STR/GEO B	-6032,87	-6212,68	-6197,24	-6379,70	-6049,79
	gr5 (3000/240)	STR/GEO B	-6861,16	-6937,72	-6758,47	-6779,60	-6620,50

Únosnosť na medzi vzniku trhlin

$$A_k = 12,327 \text{ m}^2$$

$$u_k = 17,27 \text{ m}^2$$

$$t_{eff} = \frac{A_k}{u_k} = \frac{12,327}{17,270} = 0,713 \text{ m}$$

$$T_{Rd,c} = f_{ctd} \cdot t_{eff} \cdot 2 \cdot A_k = 1,47 \cdot 10^3 \cdot 0,713 \cdot 12,327 = \mathbf{25840,10 \text{ kNm}}$$

Únosnosť tlačenej diagonály - krútenie

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

$$\alpha_{cw} = 1 + \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}} = 1 + \frac{3,34}{21} = \mathbf{1,159}$$

$$v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right) = \mathbf{0,516}$$

$$A_k = 12,327 \text{ m}^2$$

$$u_k = 17,27 \text{ m}^2$$

$$t_{eff} = \frac{A_k}{u_k} = \frac{12,327}{17,270} = \mathbf{0,713m} < t_w = 0,75m$$

$$\theta = 40^\circ$$

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

$$T_{Rd,max} = 2 \cdot 0,516 \cdot 1,159 \cdot 21 \cdot 10^3 \cdot 12,327 \cdot 0,713 \cdot \sin 40^\circ \cdot \cos 40^\circ \\ = \mathbf{10,870 \text{ kNm}}$$

$$T_{Rd,max} = \mathbf{10,870 \text{ kNm}} > T_{Ed,max} = \mathbf{8879,94 \text{ kNm}}$$

→ **BEZ VZNIKU TRHLÍN OD KRÚTENIA**

Overenie šmykovej výstuže na zachytenie medzného stavu od krútenia

$$V_{Ed,S} = 3208,72 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,T} = \frac{T_{Ed,odp}}{2 \cdot A_k} \cdot l_k = \frac{8879,94}{2 \cdot 12,327} \cdot 6,25 = 2251,14 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,S} + V_{Ed,T} = 3208,72 + 2251,14 = \mathbf{5459,86 \text{ kN}}$$

$$\frac{A_{sw}}{s_l} \approx \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{ywd} \cdot \cotg\theta} = \frac{5458,85}{1,875 \cdot 478,26 \cdot 10^3 \cdot \cotg 40^\circ} = \mathbf{0,0051 \text{ m}^2/\text{m}}$$

Navrhnutý profil: $\varnothing = 16 \text{ mm}$

Počet strihov: $n = 4$

Vzdialenosť v pozdĺžnom smere: $s_l = 0,15 \text{ m}$

Celková plocha: $A_{sw} = 8,04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

Pevnosť strmeňov: $f_{ywd} = 478,26 \text{ MPa}$

$$V_{Rd,S} = \frac{A_{sw}}{s_l} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cotg\theta = \frac{8,04 \cdot 10^{-4}}{0,15} \cdot 1,875 \cdot 478,26 \cdot 10^3 \cdot \cotg 40^\circ$$

$$V_{Rd,S} = \mathbf{5728,17 \text{ kN}} > V_{Ed} = \mathbf{5459,86 \text{ kN}} \rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

Návrhová únosnosť nevystuženého potrhaného prierezu

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \geq V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

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

$d = 2,150\text{m}$ – účinná výška

$$k = 1 + \left(\frac{200}{d}\right)^{0,5} = 1 + \left(\frac{200}{2150}\right)^{0,5} = 1,304 \leq 2,0$$

$A_{sl} = 0,016\text{m}^2$ – plocha výstuže v jednej stene (6x19 lán))

$$b_w = b - 0,5 \cdot \sum \emptyset = 0,75 - 0,5 \cdot (0,095 + 0,095) = 0,655\text{m}$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b \cdot d} = \frac{0,016}{0,655 \cdot 2,150} = 0,0113 \leq 0,02$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_{c,eff}} = \frac{35442,42 \cdot 10^3}{10,615} = \mathbf{3,34\ MPa} \leq 0,2 \cdot f_{cd} = 0,2 \cdot 21 = 4,2\ MPa$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,30^{\frac{3}{2}} \cdot 35^{\frac{1}{2}} = \mathbf{0,307\ MPa}$$

$$k_1 = 0,15$$

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = (0,307 + 0,15 \cdot 3,34) \cdot 0,655 \cdot 2,150 = \mathbf{1137,86\ kN}$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 0,3 \cdot (100 \cdot 0,0113 \cdot 35)^{\frac{1}{3}} + 0,15 \cdot 3,34] \cdot 655 \cdot 2150 = \mathbf{1454,02\ kN}$$

$$V_{Rd,c} = \mathbf{1454,02\ kN} > V_{Rd,c,min} = \mathbf{1137,86\ kN}$$

$$V_{Rd,c} = \mathbf{1454,02\ kN} < V_{Ed} = \mathbf{5459,86\ kN} \rightarrow \mathbf{NÁVRH ŠMYKOVEJ VÝSTUŽE}$$

Únosnosť tlačenej diagonály – šmyk

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

$$\alpha_{cw} = 1 + \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}} = 1 + \frac{3,34}{21} = \mathbf{1,159}$$

$$v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right) = \mathbf{0,516}$$

$$z = 1,875\text{m}$$

$$\theta = 40^\circ$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z}{\cot \theta + \tan \theta} = \frac{1,159 \cdot 0,516 \cdot 21 \cdot 10^3 \cdot 0,655 \cdot 1,875}{\cot 40^\circ + \tan 40^\circ} = 7635,60 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = 7635,60 \text{ kN} > 5459,86 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Interakcia krútenia a šmyku

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} + \frac{V_{Ed,odp}}{V_{Rd,max}} = \frac{8702,38}{25840,10} + \frac{3361,25}{7635,60} = 0,78 > 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Stupeň šmykového vystuženia

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s_l} = \frac{6,28 \cdot 10^{-4}}{0,655 \cdot 0,14} = 0,00684$$

$$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot \frac{f_{ck}^{1/2}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{35^{1/2}}{500} = 0,000947$$

$$\rho_w = 0,00684 \geq \rho_{w,min} = 0,000947 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Návrh pozdĺžnej šmykovej výstuže

Tab 40- Návrh pozdĺžnej šmykovej výstuže

$V_{Ed,max} T_{Ed,odp}$					$V_{Ed,odp} T_{Ed,max}$			
	gr1a L	gr5 L	gr1a P	gr5 P	gr1a L	gr5 L	gr1a P	gr5 P
V_{Ed}	7194,26	6534,68	7508,92	6710,14	6417,44	6379,70	6722,49	6536,67
T_{Ed}	6596,26	7885,04	6723,24	8045,24	8702,38	8347,89	8879,94	8359,36
H_{Ed}	14080,41	14370,25	14561,42	14713,09	14912,86	14571,95	15424,63	14768,59

$$H_{Ed} = \left(V_{Ed} + \frac{T_{Ed} \cdot u_k}{2 \cdot A_k} \right) \cdot \cot \theta = \left(6722,49 + \frac{8879,94 \cdot 17,270}{2 \cdot 12,327} \right) \cdot \cot 40^\circ = 15424,63 \text{ kN}$$

$$A_{s,req} = \frac{H_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{15424,63}{478,26 \cdot 10^3} = 0,032 \text{ m}^2$$

Navrhnutý profil:

$$\theta = 14 \text{ mm}$$

Plocha jedného prútu:

$$A_{d,1} = 1,539 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A_{s,req}}{A_{d,1}} = \frac{0,032}{1,539 \cdot 10^{-4}} = 207 \text{ ks} \rightarrow \text{Navrhnuté } 220 \text{ ks } \varnothing 14 \text{ po } 200 \text{ mm}$$

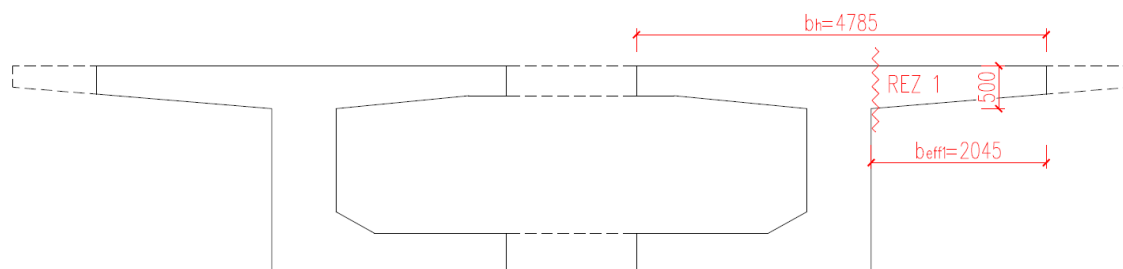
$$F_{Ed} = n \cdot A_{d,1} \cdot f_{yd} = 220 \cdot 1,539 \cdot 478,26 \cdot 10^3 = \mathbf{16187,50 \text{ kN}}$$

$$\frac{H_{Ed}}{F_{Ed}} = \frac{15424,63}{16187,50} = \mathbf{0,95} < 1,0$$

11.2.3 Vplyv pozdĺžneho šmyku

Vypočítané hodnoty budú posúdené v interakcii s priečnym ohybom d'alšej kapitole .

Rez 1



Obr. 52- Rez 1

11.2.3.1 Kombinácia $V_{Ed,max}$; $T_{Ed,odp}$

$$V_{Ed,max} = 7508,92 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \frac{V_{Ed,max}}{2} = \frac{7508,92}{2} = \mathbf{3754,46 \text{ kN}}$$

$$T_{Ed,odp} = \mathbf{6723,24 \text{ kNm}}$$

$$\Delta x = 1 \text{ m}$$

$$z = 1,875 \text{ m}$$

$$\Delta F_{cc} = \frac{V_{Ed}}{z} \cdot \Delta x = \frac{3754,46}{1,875} \cdot 1,0 = \mathbf{2002,38 \text{ kN}}$$

$$\Delta F_{d,1} = \Delta F_{cc} \cdot \frac{b_1}{b_h} = 2002,38 \cdot \frac{2,045}{4,785} = \mathbf{855,77 \text{ kN}}$$

$$v_{Ed,V1} = \frac{\Delta F_{d,1}}{\Delta x \cdot h_{ef,1}} = \frac{855,77}{1,0 \cdot 0,5} = \mathbf{1,712 \text{ MPa}}$$

$$v_{Ed,T1} = \mathbf{0 \text{ MPa}}$$

$$v_{Ed,1} = v_{Ed,V1} + v_{Ed,T1} = 0 + 1,712 = \mathbf{1,712 \text{ MPa}} \rightarrow \text{rozhoduje}$$

$$v_{Ed} \leq 0,4 \cdot f_{ctd} = 0,4 \cdot 1,47 = 0,588 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed} = 1,712 \text{ MPa} > 0,588 \text{ MPa}$$

→ **Nutné navrhnuť pozdĺžnu šmykovú výstuž výpočtom.**

Posúdenie únosnosti tlačenej diagonály

$$v = v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right) = 0,516$$

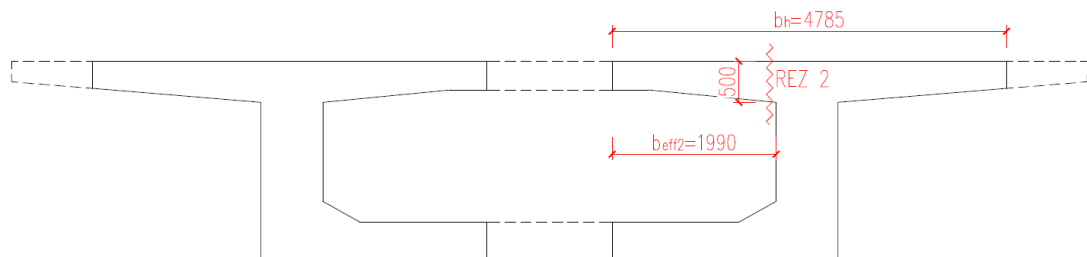
$$v_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot \sin 0_f \cdot \cos 0_f = 0,516 \cdot 21 \cdot \sin 40^\circ \cdot \cos 40^\circ = 5,336 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 5,336 \text{ MPa} > v_{Ed,1} = 1,712 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Nutná plocha výstuže

$$\frac{A_{sf,1}}{s_f} = \frac{v_{Ed,1} \cdot h_{ef,1}}{f_{yd} \cdot \cotg \theta} = \frac{1,712 \cdot 0,50}{434,78 \cdot \cotg 40^\circ} = 0,001504 \text{ m}^2/\text{m}$$

Rez 2



Obr. 53-Rez 2

11.2.3.2 Kombinácia $V_{Ed,max}$; $T_{Ed,odp}$

$$V_{Ed,max} = 7508,92 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \frac{V_{Ed,max}}{2} = \frac{7508,92}{2} = 3754,46 \text{ kN}$$

$$T_{Ed,odp} = 6723,24 \text{ kNm}$$

$$\Delta x = 1 \text{ m}$$

$$z = 1,875 \text{ m}$$

$$\Delta F_{cc} = \frac{V_{Ed}}{z} \cdot \Delta x = \frac{3754,46}{1,875} \cdot 1,0 = 2002,38 \text{ kN}$$

$$\Delta F_{d,2} = \Delta F_{cc} \cdot \frac{b_2}{b_h} = 2002,38 \cdot \frac{1,99}{4,785} = 832,76 \text{ kN}$$

$$v_{Ed,v2} = \frac{\Delta F_{d,2}}{\Delta x \cdot h_{ef,2}} = \frac{832,76}{1,0 \cdot 0,5} = 1,666 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,T2} = \frac{T_{Ed,odp}}{2 \cdot A_k \cdot h_{f,2}} = \frac{6723,24}{2 \cdot 12,327 \cdot 0,5} = 0,560 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,2} = v_{Ed,V2} + v_{Ed,T2} = 1,666 + 0,560 = 2,226 \text{ MPa} \rightarrow \text{rozhoduje}$$

$$v_{Ed} \leq 0,4 \cdot f_{ctd} = 0,4 \cdot 1,47 = 0,588 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed} = 2,226 \text{ MPa} > 0,588 \text{ MPa}$$

→ **Nutné navrhnuť pozdĺžnu šmykovú výstuž výpočtom.**

Posúdenie únosnosti tlačenej diagonály

$$v = v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right) = 0,516$$

$$v_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot \sin 0_f \cdot \cos 0_f = 0,516 \cdot 21 \cdot \sin 40^\circ \cdot \cos 40^\circ = 5,336 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 5,336 \text{ MPa} > v_{Ed,2} = 2,226 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Nutná plocha výstuže

$$\frac{A_{sf,2}}{s_f} = \frac{v_{Ed,2} \cdot h_{ef,2}}{f_{yd} \cdot \cotg 0} = \frac{1,503 \cdot 0,50}{434,78 \cdot \cotg 40^\circ} = 0,001955 \text{ m}^2/\text{m}$$

11.2.3.3 Kombinácia $V_{Ed,odp}$; $T_{Ed,max}$

$$V_{Ed,max} = 6722,49 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \frac{V_{Ed,max}}{2} = \frac{6722,49}{2} = 3361,245 \text{ kN}$$

$$T_{Ed,odp} = 8879,94 \text{ kNm}$$

$$\Delta x = 1 \text{ m}$$

$$z = 1,875 \text{ m}$$

$$\Delta F_{cc} = \frac{V_{Ed}}{z} \cdot \Delta x = \frac{3361,245}{1,875} \cdot 1,0 = 1792,66 \text{ kN}$$

$$\Delta F_{d,2} = \Delta F_{cc} \cdot \frac{b_2}{b_h} = 1792,66 \cdot \frac{1,99}{4,785} = 745,54 \text{ kN}$$

$$v_{Ed,V2} = \frac{\Delta F_{d,2}}{\Delta x \cdot h_{ef,2}} = \frac{745,54}{1,0 \cdot 0,5} = 1,491 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,T2} = \frac{T_{Ed,odp}}{2 \cdot A_k \cdot h_{f,2}} = \frac{8879,94}{2 \cdot 12,327 \cdot 0,5} = 0,740 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,2} = v_{Ed,V2} + v_{Ed,T2} = 1,491 + 0,740 = \mathbf{2,231MPa} \rightarrow \text{rozhoduje}$$

$$v_{Ed} \leq 0,4 \cdot f_{ctd} = 0,4 \cdot 1,47 = 0,588MPa$$

$$v_{Ed} = 2,231MPa > 0,588MPa$$

→ **Nutné navrhnuť pozdĺžnu šmykovú výstuž výpočtom.**

Posúdenie únosnosti tlačenej diagonály

$$v = v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right) = 0,516$$

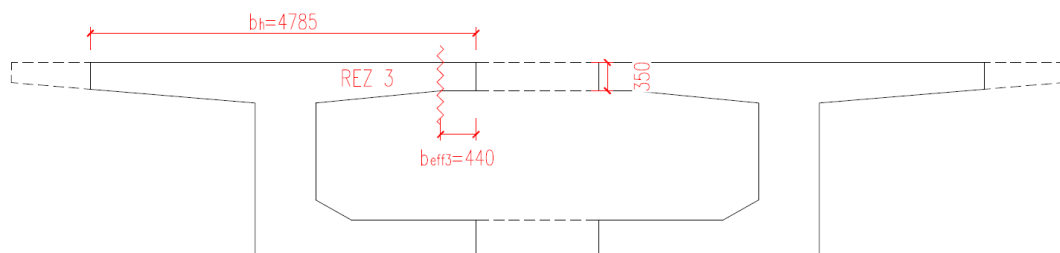
$$v_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot \sin \theta_f \cdot \cos \theta_f = 0,516 \cdot 21 \cdot \sin 40^\circ \cdot \cos 40^\circ = 5,336MPa$$

$$v_{Rd,max} = 5,336MPa > v_{Ed,2} = \mathbf{2,231MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Nutná plocha výstuže

$$\frac{A_{sf,2}}{s_f} = \frac{v_{Ed,2} \cdot h_{ef,2}}{f_{yd} \cdot \cotg \theta} = \frac{2,231 \cdot 0,50}{434,78 \cdot \cotg 40^\circ} = \mathbf{0,001960m^2/m}$$

Rez 3



Obr. 54-Rez 3

11.2.3.4 Kombinácia $V_{Ed,max}$; $T_{Ed,odp}$

$$V_{Ed,max} = 7508,92kN$$

$$V_{Ed} = \frac{V_{Ed,max}}{2} = \frac{7508,92}{2} = \mathbf{3754,46kN}$$

$$T_{Ed,odp} = \mathbf{6723,24kNm}$$

$$\Delta x = 1m$$

$$z = 1,875m$$

$$\Delta F_{cc} = \frac{V_{Ed}}{z} \cdot \Delta x = \frac{3754,46}{1,875} \cdot 1,0 = \mathbf{2002,38kN}$$

$$\Delta F_{d,3} = \Delta F_{cc} \cdot \frac{b_3}{b_h} = 2002,38 \cdot \frac{0,44}{4,785} = \mathbf{184,13kN}$$

$$v_{Ed,V3} = \frac{\Delta F_{d,3}}{\Delta x \cdot h_{ef,3}} = \frac{184,13}{1,0 \cdot 0,35} = \mathbf{0,526MPa}$$

$$v_{Ed,T3} = \frac{T_{Ed,odp}}{2 \cdot A_k \cdot h_{f,3}} = \frac{6723,24}{2 \cdot 12,327 \cdot 0,35} = \mathbf{0,800MPa}$$

$$v_{Ed,3} = v_{Ed,V3} + v_{Ed,T3} = 0,526 + 0,800 = \mathbf{1,326MPa} \rightarrow \text{rozhoduje}$$

$$v_{Ed} \leq 0,4 \cdot f_{ctd} = 0,4 \cdot 1,47 = 0,588MPa$$

$$v_{Ed} = 1,326MPa > 0,588MPa$$

→ **Nutné navrhnuť pozdĺžnu šmykovú výstuž výpočtom.**

Posúdenie únosnosti tlačenej diagonály

$$v = v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right) = 0,516$$

$$v_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot \sin 0_f \cdot \cos 0_f = 0,516 \cdot 21 \cdot \sin 40^\circ \cdot \cos 40^\circ = 5,336MPa$$

$$v_{Rd,max} = 5,336MPa > v_{Ed,3} = \mathbf{1,326MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Nutná plocha výstuže

$$\frac{A_{sf,3}}{s_f} = \frac{v_{Ed,3} \cdot h_{ef,3}}{f_{yd} \cdot \cotg 0} = \frac{1,326 \cdot 0,35}{434,78 \cdot \cotg 40^\circ} = \mathbf{0,000816m^2/m}$$

11.2.3.5 Kombinácia $V_{Ed,odp}$; $T_{Ed,max}$

$$V_{Ed,max} = 6722,49kN$$

$$V_{Ed} = \frac{V_{Ed,max}}{2} = \frac{6722,49}{2} = \mathbf{3361,245kN}$$

$$T_{Ed,odp} = \mathbf{8879,94kNm}$$

$$\Delta x = 1m$$

$$z = 1,875m$$

$$\Delta F_{cc} = \frac{V_{Ed}}{z} \cdot \Delta x = \frac{3361,245}{1,875} \cdot 1,0 = \mathbf{1792,66kN}$$

$$\Delta F_{d,3} = \Delta F_{cc} \cdot \frac{b_3}{b_h} = 1792,66 \cdot \frac{0,44}{4,785} = \mathbf{164,84kN}$$

$$v_{Ed,V3} = \frac{\Delta F_{d,3}}{\Delta x \cdot h_{ef,3}} = \frac{164,84}{1,0 \cdot 0,35} = \mathbf{0,471MPa}$$

$$v_{Ed,T3} = \frac{T_{Ed,odp}}{2 \cdot A_k \cdot h_{f,3}} = \frac{8879,94}{2 \cdot 12,327 \cdot 0,35} = \mathbf{1,057MPa}$$

$$v_{Ed,3} = v_{Ed,V3} + v_{Ed,T3} = 0,471 + 1,057 = \mathbf{1,528MPa} \rightarrow \text{rozhoduje}$$

$$v_{Ed} \leq 0,4 \cdot f_{ctd} = 0,4 \cdot 1,47 = 0,588MPa$$

$$v_{Ed} = 1,528MPa > 0,588MPa$$

→ **Nutné navrhnuť pozdĺžnu šmykovú výstuž výpočtom.**

Posúdenie únosnosti tlačenej diagonály

$$v = v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right) = 0,516$$

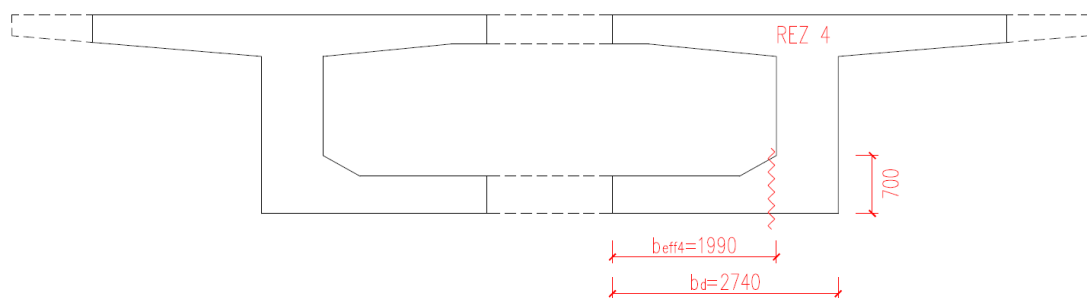
$$v_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot \sin 0_f \cdot \cos 0_f = 0,516 \cdot 21 \cdot \sin 40^\circ \cdot \cos 40^\circ = 5,336MPa$$

$$v_{Rd,max} = 5,336MPa > v_{Ed,3} = \mathbf{1,528MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Nutná plocha výstuže

$$\frac{A_{sf,3}}{s_f} = \frac{v_{Ed,3} \cdot h_{ef,3}}{f_{yd} \cdot \cotg 0} = \frac{1,528 \cdot 0,35}{434,78 \cdot \cotg 40^\circ} = \mathbf{0,000940m^2/m}$$

Rez 4



Obr. 55- Rez 4

11.2.3.6 **Kombinácia** $V_{Ed,max}$; $T_{Ed,odp}$

$$V_{Ed,max} = 7508,92 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \frac{V_{Ed,max}}{2} = \frac{7508,92}{2} = \mathbf{3754,46 \text{ kN}}$$

$$T_{Ed,odp} = \mathbf{6723,24 \text{ kNm}}$$

$$\Delta x = 1 \text{ m}$$

$$z = 1,875 \text{ m}$$

$$\Delta F_{cc} = \frac{V_{Ed}}{z} \cdot \Delta x = \frac{3754,46}{1,875} \cdot 1,0 = \mathbf{2002,38 \text{ kN}}$$

$$\Delta F_{d,4} = \Delta F_{cc} \cdot \frac{b_4}{b_d} = 2002,38 \cdot \frac{1,99}{2,74} = \mathbf{1454,28 \text{ kN}}$$

$$v_{Ed,V4} = \frac{\Delta F_{d,4}}{\Delta x \cdot h_{ef,4}} = \frac{1454,28}{1,0 \cdot 0,7} = \mathbf{2,078 \text{ MPa}}$$

$$v_{Ed,T4} = \frac{T_{Ed,odp}}{2 \cdot A_k \cdot h_{f,4}} = \frac{6723,24}{2 \cdot 12,327 \cdot 0,7} = \mathbf{0,400 \text{ MPa}}$$

$$v_{Ed,4} = v_{Ed,V4} + v_{Ed,T4} = 2,078 + 0,400 = \mathbf{2,478 \text{ MPa}} \rightarrow \text{rozhoduje}$$

$$v_{Ed} \leq 0,4 \cdot f_{ctd} = 0,4 \cdot 1,47 = 0,588 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed} = 2,478 \text{ MPa} > 0,588 \text{ MPa}$$

→ *Nutné navrhnuť pozdĺžnu šmykovú výstuž výpočtom.*

Posúdenie únosnosti tlačenej diagonály

$$v = v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right) = 0,516$$

$$v_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot \sin 0_f \cdot \cos 0_f = 0,516 \cdot 21 \cdot \sin 40^\circ \cdot \cos 40^\circ = 5,336 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 5,336 \text{ MPa} > v_{Ed,4} = \mathbf{2,478 \text{ MPa}} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Nutná plocha výstuže

$$\frac{A_{sf,4}}{s_f} = \frac{v_{Ed,4} \cdot h_{ef,4}}{f_{yd} \cdot \cotg 0} = \frac{2,478 \cdot 0,7}{434,78 \cdot \cotg 40^\circ} = \mathbf{0,003047 \text{ m}^2/\text{m}}$$

11.2.3.7 **Kombinácia** $V_{Ed,odp}$; $T_{Ed,max}$

$$V_{Ed,max} = 6722,49 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \frac{V_{Ed,max}}{2} = \frac{6722,49}{2} = 3361,245 \text{ kN}$$

$$T_{Ed,odp} = 8879,94 \text{ kNm}$$

$$\Delta x = 1 \text{ m}$$

$$z = 1,875 \text{ m}$$

$$\Delta F_{cc} = \frac{V_{Ed}}{z} \cdot \Delta x = \frac{3361,245}{1,875} \cdot 1,0 = 1792,66 \text{ kN}$$

$$\Delta F_{d,4} = \Delta F_{cc} \cdot \frac{b_4}{b_d} = 1792,66 \cdot \frac{1,99}{2,74} = 1301,97 \text{ kN}$$

$$v_{Ed,V4} = \frac{\Delta F_{d,4}}{\Delta x \cdot h_{ef,4}} = \frac{1301,97}{1,0 \cdot 0,7} = 1,860 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,T4} = \frac{T_{Ed,odp}}{2 \cdot A_k \cdot h_{f,4}} = \frac{8879,94}{2 \cdot 12,327 \cdot 0,7} = 0,529 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,4} = v_{Ed,V4} + v_{Ed,T4} = 1,860 + 0,529 = 2,389 \text{ MPa} \rightarrow \text{rozhoduje}$$

$$v_{Ed} \leq 0,4 \cdot f_{ctd} = 0,4 \cdot 1,47 = 0,588 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed} = 2,389 \text{ MPa} > 0,588 \text{ MPa}$$

→ *Nutné navrhnuť pozdĺžnu šmykovú výstuž výpočtom.*

Posúdenie únosnosti tlačenej diagonály

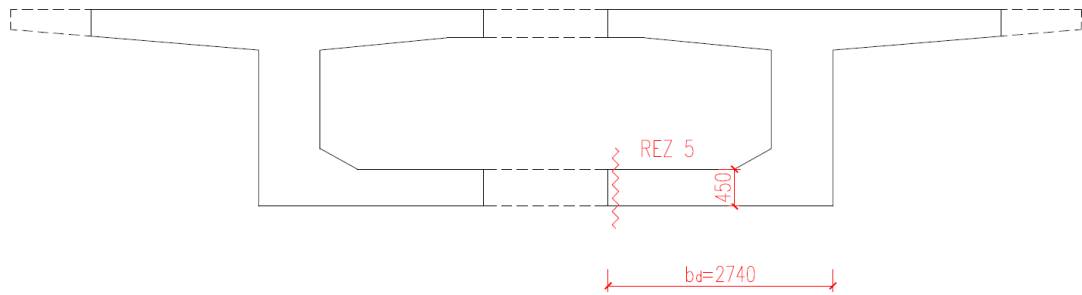
$$v = v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right) = 0,516$$

$$v_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot \sin 0_f \cdot \cos 0_f = 0,516 \cdot 21 \cdot \sin 40^\circ \cdot \cos 40^\circ = 5,336 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 5,336 \text{ MPa} > v_{Ed,4} = 2,389 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Nutná plocha výstuže

$$\frac{A_{sf,4}}{s_f} = \frac{v_{Ed,4} \cdot h_{ef,4}}{f_{yd} \cdot \cotg 0} = \frac{2,389 \cdot 0,7}{434,78 \cdot \cotg 40^\circ} = 0,002938 \text{ m}^2/\text{m}$$

Rez 5

Obr. 56 Rez -5

11.2.3.8 Kombinácia $V_{Ed,odp}$; $T_{Ed,max}$

$$v_{Ed,V5} = 0 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,T5} = \frac{T_{Ed,odp}}{2 \cdot A_k \cdot h_{f,5}} = \frac{6723,24}{2 \cdot 12,327 \cdot 0,45} = 0,822 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,4} = v_{Ed,V4} + v_{Ed,T4} = 0 + 0,822 = 0,822 \text{ MPa} \rightarrow \text{rozhoduje}$$

$$v_{Ed} \leq 0,4 \cdot f_{ctd} = 0,4 \cdot 1,47 = 0,588 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed} = 0,822 \text{ MPa} > 0,588 \text{ MPa}$$

→ Nutné navrhnuť pozdĺžnu šmykovú výstuž výpočtom.

Posúdenie únosnosti tlačenej diagonály

$$v = v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right) = 0,516$$

$$v_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot \sin \theta_f \cdot \cos \theta_f = 0,516 \cdot 21 \cdot \sin 40^\circ \cdot \cos 40^\circ = 5,336 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 5,336 \text{ MPa} > v_{Ed,5} = 0,822 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Nutná plocha výstuže

$$\frac{A_{sf,5}}{s_f} = \frac{v_{Ed,5} \cdot h_{ef,5}}{f_{yd} \cdot \cotg \theta} = \frac{0,822 \cdot 0,45}{434,78 \cdot \cotg 40^\circ} = 0,000650 \text{ m}^2/\text{m}$$

Prehľad napätí pre rez č.1

Tab 41- Prehľad napätí v reze č.1

		$V_{Ed,Vi}$	$T_{Ed,Ti}$	V_{Ed}	$A_{sf,ref} [m^2/m]$
Rez 1	$V_{ed,max} T_{ed,odp}$	1,712	0	1,712	0,001504
Rez 2	$V_{ed,max} T_{ed,odp}$	1,666	0,560	2,226	0,001955
	$V_{ed,odp} T_{ed,max}$	1,491	0,740	2,231	0,001960
Rez 3	$V_{ed,max} T_{ed,odp}$	0,526	0,800	1,326	0,000816
	$V_{ed,odp} T_{ed,max}$	0,471	1,057	1,528	0,000940
Rez 4	$V_{ed,max} T_{ed,odp}$	2,078	0,400	2,478	0,003047
	$V_{ed,odp} T_{ed,max}$	1,860	0,529	2,389	0,002938
Rez 5	$V_{ed,odp} T_{ed,max}$	0,000	0,822	0,822	0,000650

11.3 Posúdenie – Rez č.2 v mieste nulového momentu

Tab 42-Priebeh vnútorných síl v danej kombinácii

Rez č.2		Pole 5	Rez č.2		Pole 5
$V_{Ed,max}$	gr1a	4662,57	$V_{Ed,odp}$	gr1a	3458,30
	gr5 (1800/200)	3985,47		gr5 (1800/200)	3147,57
	gr5 (3000/240)	4459,70		gr5 (3000/240)	4459,70
$T_{Ed,odp}$	gr1a	4768,45	$T_{Ed,max}$	gr1a	6136,16
	gr5 (1800/200)	6327,24		gr5 (1800/200)	6624,56
	gr5 (3000/240)	1368,01		gr5 (3000/240)	1368,01

Rozhodnutie o vzniku trhlin

$$N_{Ed} = - 33207,66 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = + 27866,93 \text{ kNm}$$

Prierezové charakteristiky:

Plocha prierezu: $A_{c,eff} = 9,287 \text{ m}^2$

Moment zotrvačnosti: $I_{c,eff} = 7,278 \text{ m}^4$

Vzdialenosť ťažiska od horných vlákien $z_h = 0,915 \text{ m}$

Vzdialenosť ťažiska od dolných vlákien $z_d = 1,485 \text{ m}$

Celková plocha predpínacej výstuže: $A_p = 0,03192 \text{ m}^2$

Plocha predpínacej výstuže v jednej rade $A_{p,i} = 0,01064 \text{ m}^2$

Účinná výška: $d = 2,150 \text{ m}$

$$\sigma_{c,h} = \frac{N_{Ed}}{A_{c,eff}} + \frac{M_{Ed}}{I_{c,eff}} \cdot z_h = \frac{-33207,66 \cdot 10^3}{9,287} + \frac{+27866,93 \cdot 10^3}{7,278} \cdot (1,485)$$

$$= 2,53 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk,0.05}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{2,2}{1,5} = 1,47 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,h} = 2,53 \text{ MPa} > f_{ctd} = 1,47 \text{ MPa} \rightarrow \text{VZNIK TRHLÍN}$$

11.3.1 Kombinácia maximálnej posúvajúcej sily a odpovedajúceho krútiaceho momentu

$$V_{Ed,S} = 2331,28 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,T} = \frac{T_{Ed,odp}}{2 \cdot A_k} \cdot l_k = \frac{4768,75}{2 \cdot 12,327} \cdot 6,4 = 1237,93 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,max} = V_{Ed,S} + V_{Ed,T} = 2331,28 + 1237,93 = 3569,21 \text{ kN}$$

$$\frac{A_{sw}}{s_l} \approx \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta} = \frac{3569,21}{1,875 \cdot 478,26 \cdot 10^3 \cdot \cot 40} = 0,0033 \text{ m}^2/\text{m}$$

Navrhnutý profil: $\emptyset = 14 \text{ mm}$

Počet strihov: $n = 4$

Vzdialenosť v pozdĺžnom smere: $s_l = 0,15 \text{ m}$

Celková plocha: $A_{sw} = 6,16 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

Pevnosť strmeňov: $f_{ywd} = 478,26 \text{ MPa}$

$$V_{Rd,S} = \frac{A_{sw}}{s_l} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = \frac{6,16 \cdot 10^{-4}}{0,15} \cdot 1,875 \cdot 478,26 \cdot 10^3 \cdot \cot 40$$

$$V_{Rd,S} = 4388,75 \text{ kN} > V_{Ed} = 3569,21 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

11.3.2 Kombinácia odpovedajúcej posúvajúcej sily a maximálneho krútiaceho momentu

$$V_{Ed,S} = 1573,19 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,T} = \frac{T_{Ed,max}}{2 \cdot A_k} \cdot l_k = \frac{6624,65}{2 \cdot 12,327} \cdot 6,4 = 1719,71 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,max} = V_{Ed,S} + V_{Ed,T} = 1573,19 + 1719,71 = \mathbf{3292,90 \text{ kN}}$$

Navrhnutý profil: $\emptyset = 14 \text{ mm}$

Počet strihov: $n = 4$

Vzdialenosť v pozdĺžnom smere: $s_l = 0,15 \text{ m}$

Celková plocha: $A_{sw} = 6,16 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

Pevnosť strmeňov: $f_{ywd} = 478,26 \text{ MPa}$

$$V_{Rd,s} = 4388,75 \text{ kN} > V_{Ed} = 3292,90 \text{ kN} \rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

Návrh pozdĺžnej šmykovej výstuže

Tab 43-Návrh pozdĺžnej šmykovej výstuže

	$V_{Ed,max} T_{Ed,odp}$		$V_{Ed,odp} T_{Ed,max}$	
	gr1a	gr5	gr1a	gr5
V_{ed}	4662,57	3985,47	3458,30	3147,57
T_{ed}	4768,45	6327,24	6136,16	6624,56
H_{ed}	7950,81	8348,63	7689,69	7715,76

$$H_{Ed} = \left(V_{Ed} + \frac{T_{Ed} \cdot u_k}{2 \cdot A_k} \right) \cdot \cotg \theta = \left(3985,47 + \frac{6327,24 \cdot 17,270}{2 \cdot 12,327} \right) \cdot \cotg 40^\circ$$

$$= \mathbf{8348,63 \text{ kN}}$$

$$A_{s,req} = \frac{H_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{8348,63}{478,26 \cdot 10^3} = \mathbf{0,018 \text{ m}^2}$$

Navrhnutý profil: $\theta = 12 \text{ mm}$

Plocha jedného prútu: $A_{d,1} = 1,131 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

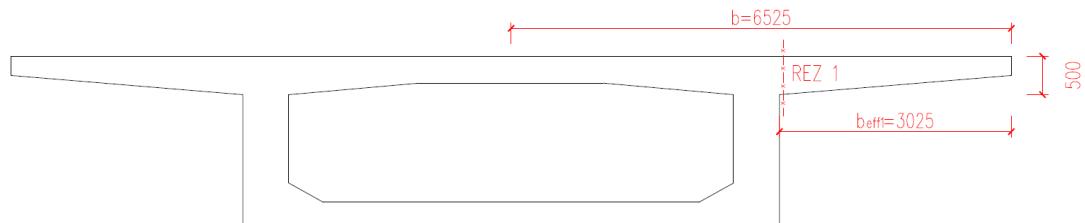
$$n = \frac{A_{s,req}}{A_{d,1}} = \frac{0,018}{1,131 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{159 \text{ ks}} \rightarrow \mathbf{Navrhnuté 220 \text{ ks } \emptyset 12 \text{ po } 200 \text{ mm}}$$

$$F_{Ed} = n \cdot A_{d,1} \cdot f_{yd} = 220 \cdot 1,131 \cdot 10^{-4} \cdot 478,26 \cdot 10^3 = \mathbf{11900,06 \text{ kN}}$$

$$\frac{H_{Ed}}{F_{Ed}} = \frac{8348,63}{11900,06} = \mathbf{0,71} < 1,0$$

11.3.3 Vplyv pozdĺžneho šmyku

REZ 1



Obr. 57-Rez 1

$$V_{Ed,max} = 4662,57 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \frac{V_{Ed,max}}{2} = \frac{4662,57}{2} = \mathbf{2331,285 \text{ kN}}$$

$$T_{Ed,odp} = \mathbf{4768,45 \text{ kNm}}$$

$$\Delta x = 1 \text{ m}$$

$$z = 1,875 \text{ m}$$

$$\Delta F_{cc} = \frac{V_{Ed}}{z} \cdot \Delta x = \frac{1782,66}{1,875} \cdot 1,0 = \mathbf{1243,35 \text{ kN}}$$

$$\Delta F_{d,1} = \Delta F_{cc} \cdot \frac{b_1}{b_h} = 1243,35 \cdot \frac{3,025}{6,525} = \mathbf{576,42 \text{ kN}}$$

$$v_{Ed,V1} = \frac{\Delta F_{d,1}}{\Delta x \cdot h_{ef,1}} = \frac{576,42}{1,0 \cdot 0,5} = \mathbf{1,153 \text{ MPa}}$$

$$v_{Ed,T1} = 0 \text{ MPa} - \text{konzola neprenáša krútiaci moment}$$

Celkové napätie

$$v_{Ed,1} = v_{Ed,V1} + v_{Ed,T1} = 1,153 + 0 = \mathbf{1,153 \text{ MPa}}$$

$$v_{Ed} \leq 0,4 \cdot f_{ctd} = 0,4 \cdot 1,47 = 0,588 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed} = 0,881 \text{ MPa} > 0,588 \text{ MPa}$$

→ Nutné navrhnuť pozdĺžnu šmykovú výstuž výpočtom.

Posúdenie únosnosti tlačenej diagonály

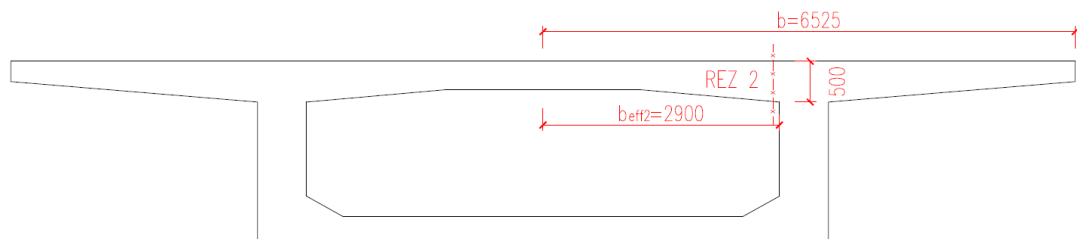
$$v = v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right) = 0,516$$

$$v_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot \sin 0_f \cdot \cos 0_f = 0,516 \cdot 21 \cdot \sin 40^\circ \cdot \cos 40^\circ = 5,336 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 5,336 \text{ MPa} > v_{Ed,1} = \mathbf{0,881 \text{ MPa}} \rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

Nutná plocha výstuže

$$\frac{A_{sf,1}}{s_f} = \frac{v_{Ed,1} \cdot h_{ef,1}}{f_{yd} \cdot \cotg 0} = \frac{0,881 \cdot 0,50}{478,26 \cdot \cotg 40^\circ} = \mathbf{0,001013 \text{ m}^2/\text{m}}$$

REZ 2

Obr. 58-Rez 2

11.3.3.1 Kombinácia $V_{Ed,max}$; $T_{Ed,odp}$

$$V_{Ed,max} = 4662,57 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \frac{V_{Ed,max}}{2} = \frac{4662,57}{2} = \mathbf{2331,285 \text{ kN}}$$

$$T_{Ed,odp} = \mathbf{4768,45 \text{ kNm}}$$

$$\Delta x = 1 \text{ m}$$

$$z = 1,875 \text{ m}$$

$$\Delta F_{cc} = \frac{V_{Ed}}{z} \cdot \Delta x = \frac{1782,66}{1,875} \cdot 1,0 = \mathbf{1243,35 \text{ kN}}$$

$$\Delta F_{d,2} = \Delta F_{cc} \cdot \frac{b_2}{b_h} = 1243,35 \cdot \frac{2,9}{6,525} = \mathbf{552,60 \text{ kN}}$$

$$v_{Ed,V2} = \frac{\Delta F_{d,2}}{\Delta x \cdot h_{ef,2}} = \frac{552,60}{1,0 \cdot 0,5} = \mathbf{1,105 \text{ MPa}}$$

$$v_{Ed,T2} = \frac{T_{Ed,odp}}{2 \cdot A_k \cdot h_{f,2}} = \frac{4768,45}{2 \cdot 12 \cdot 0,5} = \mathbf{0,397MPa}$$

Celkové napätie:

$$v_{Ed,2} = v_{Ed,V2} + v_{Ed,T2} = 1,105 + 0,397 = \mathbf{1,503MPa} \rightarrow \text{rozhoduje}$$

$$v_{Ed} \leq 0,4 \cdot f_{ctd} = 0,4 \cdot 1,47 = 0,588MPa$$

$$v_{Ed} = 1,503MPa > 0,588MPa$$

\rightarrow **Nutné navrhnúť pozdĺžnu šmykovú výstuž výpočtom.**

Posúdenie únosnosti tlačenej diagonály

$$v = v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right) = 0,516$$

$$v_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot \sin 0_f \cdot \cos 0_f = 0,516 \cdot 21 \cdot \sin 40^\circ \cdot \cos 40^\circ = 5,336MPa$$

$$v_{Rd,max} = 5,336MPa > v_{Ed,2} = \mathbf{1,503MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Nutná plocha výstuže

$$\frac{A_{sf,2}}{s_f} = \frac{v_{Ed,2} \cdot h_{ef,2}}{f_{yd} \cdot \cotg 0} = \frac{1,503 \cdot 0,50}{478,26 \cdot \cotg 40^\circ} = \mathbf{0,001320m^2/m}$$

11.3.3.2 Kombinácia $V_{Ed,odp}$; $T_{Ed,max}$

$$V_{Ed,max} = 3458,3kN$$

$$V_{Ed} = \frac{V_{Ed,max}}{2} = \frac{3458,3}{2} = \mathbf{1729,15kN}$$

$$T_{Ed,odp} = \mathbf{6136,16kNm}$$

$$\Delta x = 1m$$

$$z = 1,875m$$

$$\Delta F_{cc} = \frac{V_{Ed}}{z} \cdot \Delta x = \frac{1729,15}{1,875} \cdot 1,0 = \mathbf{922,21kN}$$

$$\Delta F_{d,2} = \Delta F_{cc} \cdot \frac{b_2}{b_h} = 922,21 \cdot \frac{2,9}{6,525} = \mathbf{406,87kN}$$

$$v_{Ed,V2} = \frac{\Delta F_{d,2}}{\Delta x \cdot h_{ef,2}} = \frac{406,87}{1,0 \cdot 0,5} = \mathbf{0,820MPa}$$

$$v_{Ed,T2} = \frac{T_{Ed,odp}}{2 \cdot A_k \cdot h_{f,2}} = \frac{6136,16}{2 \cdot 12 \cdot 0,5} = \mathbf{0,511MPa}$$

Celkové napätie:

$$v_{Ed,2} = v_{Ed,V2} + v_{Ed,T2} = 0,820 + 0,511 = \mathbf{1,331MPa} \rightarrow \text{rozhoduje}$$

$$v_{Ed} \leq 0,4 \cdot f_{ctd} = 0,4 \cdot 1,47 = 0,588MPa$$

$$v_{Ed} = 1,331MPa > 0,588MPa$$

→ **Nutné navrhnuť pozdĺžnu šmykovú výstuž výpočtom.**

Posúdenie únosnosti tlačenej diagonály

$$v = v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right) = 0,516$$

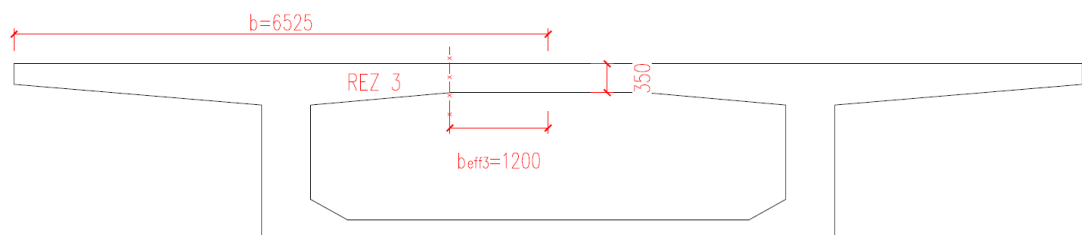
$$v_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot \sin \theta_f \cdot \cos \theta_f = 0,516 \cdot 21 \cdot \sin 40^\circ \cdot \cos 40^\circ = 5,336MPa$$

$$v_{Rd,max} = 5,336MPa > v_{Ed,2} = \mathbf{1,331MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Nutná plocha výstuže

$$\frac{A_{sf,2}}{s_f} = \frac{v_{Ed,2} \cdot h_{ef,2}}{f_{yd} \cdot \cotg \theta} = \frac{1,331 \cdot 0,50}{478,26 \cdot \cotg 40^\circ} = \mathbf{0,001169m^2/m}$$

REZ 3



Obr. 59-Rez 3

11.3.3.3 Kombinácia $V_{Ed,max}$; $T_{Ed,odp}$

$$V_{Ed,max} = 4662,57kN$$

$$V_{Ed} = \frac{V_{Ed,max}}{2} = \frac{4662,57}{2} = \mathbf{2331,285kN}$$

$$T_{Ed,odp} = \mathbf{4768,45kNm}$$

$$\Delta x = 1m$$

$$z = 1,875m$$

$$\Delta F_{cc} = \frac{V_{Ed}}{z} \cdot \Delta x = \frac{2331,285}{1,875} \cdot 1,0 = \mathbf{1243,35kN}$$

$$\Delta F_{d,3} = \Delta F_{cc} \cdot \frac{b_3}{b_h} = 1243,35 \cdot \frac{1,2}{6,525} = \mathbf{228,66kN}$$

$$v_{Ed,V3} = \frac{\Delta F_{d,3}}{\Delta x \cdot h_{ef,3}} = \frac{228,66}{1,0 \cdot 0,35} = \mathbf{0,653MPa}$$

$$v_{Ed,T3} = \frac{T_{Ed,odp}}{2 \cdot A_k \cdot h_{f,3}} = \frac{4768,45}{2 \cdot 12 \cdot 0,35} = \mathbf{0,568MPa}$$

Celkové napätie:

$$v_{Ed,3} = v_{Ed,V3} + v_{Ed,T3} = 0,653 + 0,568 = \mathbf{1,221MPa} \rightarrow \text{rozhoduje}$$

$$v_{Ed} \leq 0,4 \cdot f_{ctd} = 0,4 \cdot 1,47 = 0,588MPa$$

$$v_{Ed} = 1,221MPa > 0,588MPa$$

\rightarrow **Nutné navrhnuť pozdĺžnu šmykovú výstuž výpočtom.**

Posúdenie únosnosti tlačenej diagonály

$$v = v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right) = 0,516$$

$$v_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot \sin 0_f \cdot \cos 0_f = 0,516 \cdot 21 \cdot \sin 40^\circ \cdot \cos 40^\circ = 5,336MPa$$

$$v_{Rd,max} = 5,336MPa > v_{Ed,3} = \mathbf{1,221MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Nutná plocha výstuže

$$\frac{A_{sf,3}}{s_f} = \frac{v_{Ed,3} \cdot h_{ef,3}}{f_{yd} \cdot \cotg 0} = \frac{1,221 \cdot 0,35}{478,26 \cdot \cotg 40^\circ} = \mathbf{0,000751m^2/m}$$

11.3.3.4 Kombinácia $V_{Ed,odp}$; $T_{Ed,max}$

$$V_{Ed,max} = 3458,3kN$$

$$V_{Ed} = \frac{V_{Ed,max}}{2} = \frac{3458,3}{2} = \mathbf{1729,15kN}$$

$$T_{Ed,odp} = \mathbf{6136,16kNm}$$

$$\Delta x = 1m$$

$$z = 1,875m$$

$$\Delta F_{cc} = \frac{V_{Ed}}{z} \cdot \Delta x = \frac{1729,15}{1,875} \cdot 1,0 = \mathbf{922,21kN}$$

$$\Delta F_{d,3} = \Delta F_{cc} \cdot \frac{b_3}{b_h} = 922,21 \cdot \frac{1,2}{6,525} = \mathbf{169,60kN}$$

$$v_{Ed,V3} = \frac{\Delta F_{d,3}}{\Delta x \cdot h_{ef,3}} = \frac{169,60}{1,0 \cdot 0,35} = \mathbf{0,485MPa}$$

$$v_{Ed,T3} = \frac{T_{Ed,odp}}{2 \cdot A_k \cdot h_{f,3}} = \frac{6136,16}{2 \cdot 12 \cdot 0,35} = \mathbf{0,730MPa}$$

Celkové napätie:

$$v_{Ed,3} = v_{Ed,V3} + v_{Ed,T3} = 0,485 + 0,730 = \mathbf{1,215MPa} \rightarrow \text{rozhoduje}$$

$$v_{Ed} \leq 0,4 \cdot f_{ctd} = 0,4 \cdot 1,47 = 0,588MPa$$

$$v_{Ed} = 1,221MPa > 0,588MPa$$

→ *Nutné navrhnuť pozdĺžnu šmykovú výstuž výpočtom.*

Posúdenie únosnosti tlačenej diagonály

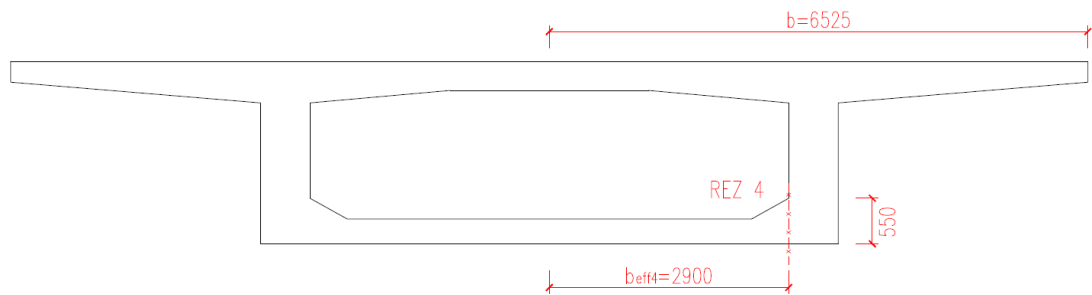
$$v = v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right) = 0,516$$

$$v_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot \sin \theta_f \cdot \cos \theta_f = 0,516 \cdot 21 \cdot \sin 40^\circ \cdot \cos 40^\circ = 5,336MPa$$

$$v_{Rd,max} = 5,336MPa > v_{Ed,3} = \mathbf{1,215MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Nutná plocha výstuže

$$\frac{A_{sf,3}}{s_f} = \frac{v_{Ed,3} \cdot h_{ef,3}}{f_{yd} \cdot \cotg \theta} = \frac{1,215 \cdot 0,35}{478,26 \cdot \cotg 40^\circ} = \mathbf{0,000747m^2/m}$$

REZ 4

Obr. 60 -Rez 4

11.3.3.5 Kombinácia $V_{Ed,max}$; $T_{Ed,odp}$

$$V_{Ed,max} = 4662,57 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \frac{V_{Ed,max}}{2} = \frac{4662,57}{2} = 2331,285 \text{ kN}$$

$$T_{Ed,odp} = 4768,45 \text{ kNm}$$

$$\Delta x = 1 \text{ m}$$

$$z = 1,875 \text{ m}$$

$$\Delta F_{cc} = \frac{V_{Ed}}{z} \cdot \Delta x = \frac{2331,285}{1,875} \cdot 1,0 = 1243,35 \text{ kN}$$

$$\Delta F_{d,4} = \Delta F_{cc} \cdot \frac{b_4}{b_d} = 1243,35 \cdot \frac{2,9}{3,5} = 1030,21 \text{ kN}$$

$$v_{Ed,V4} = \frac{\Delta F_{d,4}}{\Delta x \cdot h_{ef,4}} = \frac{1030,21}{1,0 \cdot 0,55} = 1,873 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,T4} = \frac{T_{Ed,odp}}{2 \cdot A_k \cdot h_{f,4}} = \frac{4768,45}{2 \cdot 12 \cdot 0,55} = 0,361 \text{ MPa}$$

Celkové napätie:

$$v_{Ed,4} = v_{Ed,V4} + v_{Ed,T4} = 1,873 + 0,361 = 2,234 \text{ MPa} \rightarrow \text{rozhoduje}$$

$$v_{Ed} \leq 0,4 \cdot f_{ctd} = 0,4 \cdot 1,47 = 0,588 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed} = 2,234 \text{ MPa} > 0,588 \text{ MPa}$$

→ **Nutné navrhnuť pozdĺžnu šmykovú výstuž výpočtom.**

Posúdenie únosnosti tlačenej diagonály

$$v = v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right) = 0,516$$

$$v_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot \sin 0_f \cdot \cos 0_f = 0,516 \cdot 21 \cdot \sin 40^\circ \cdot \cos 40^\circ = 5,336 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 5,336 \text{ MPa} > v_{Ed,4} = \mathbf{2,234 \text{ MPa}} \rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

Nutná plocha výstuže

$$\frac{A_{sf,4}}{s_f} = \frac{v_{Ed,4} \cdot h_{ef,4}}{f_{yd} \cdot \cotg 0} = \frac{2,234 \cdot 0,55}{478,26 \cdot \cotg 40^\circ} = \mathbf{0,002159 \text{ m}^2/\text{m}}$$

11.3.3.6 Kombinácia $V_{Ed,odp}$; $T_{Ed,max}$

$$V_{Ed,max} = 3458,3 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \frac{V_{Ed,max}}{2} = \frac{3458,3}{2} = \mathbf{1729,15 \text{ kN}}$$

$$T_{Ed,odp} = \mathbf{6136,16 \text{ kNm}}$$

$$\Delta x = 1 \text{ m}$$

$$z = 1,875 \text{ m}$$

$$\Delta F_{cc} = \frac{V_{Ed}}{z} \cdot \Delta x = \frac{1729,15}{1,875} \cdot 1,0 = \mathbf{922,21 \text{ kN}}$$

$$\Delta F_{d,4} = \Delta F_{cc} \cdot \frac{b_4}{b_d} = 922,21 \cdot \frac{2,9}{3,5} = \mathbf{764,12 \text{ kN}}$$

$$v_{Ed,V4} = \frac{\Delta F_{d,4}}{\Delta x \cdot h_{ef,4}} = \frac{764,12}{1,0 \cdot 0,55} = \mathbf{1,389 \text{ MPa}}$$

$$v_{Ed,T4} = \frac{T_{Ed,odp}}{2 \cdot A_k \cdot h_{f,4}} = \frac{6136,16}{2 \cdot 12 \cdot 0,55} = \mathbf{0,465 \text{ MPa}}$$

Celkové napätie:

$$v_{Ed,4} = v_{Ed,V4} + v_{Ed,T4} = 1,389 + 0,465 = \mathbf{1,854 \text{ MPa}} \rightarrow \mathbf{rozhoduje}$$

$$v_{Ed} \leq 0,4 \cdot f_{ctd} = 0,4 \cdot 1,47 = 0,588 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed} = 1,854 \text{ MPa} > 0,588 \text{ MPa}$$

→ **Nutné navrhnuť pozdĺžnu šmykovú výstuž výpočtom.**

Posúdenie únosnosti tlačenej diagonály

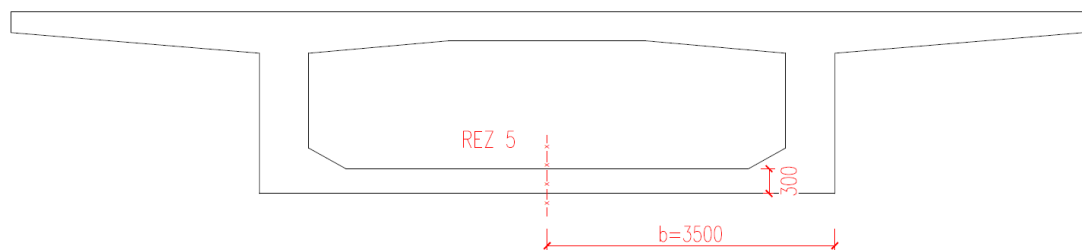
$$v = v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right) = 0,516$$

$$v_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot \sin 0_f \cdot \cos 0_f = 0,516 \cdot 21 \cdot \sin 40^\circ \cdot \cos 40^\circ = 5,336 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 5,336 \text{ MPa} > v_{Ed,4} = \mathbf{1,854 \text{ MPa}} \rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

Nutná plocha výstuže

$$\frac{A_{sf,4}}{s_f} = \frac{v_{Ed,4} \cdot h_{ef,4}}{f_{yd} \cdot \cotg 0} = \frac{1,854 \cdot 0,55}{478,26 \cdot \cotg 40^\circ} = \mathbf{0,001792 \text{ m}^2/\text{m}}$$

Rez 5

Obr. 61- Rez 5

11.3.3.7 Kombinácia $V_{Ed,max}$; $T_{Ed,odp}$

$$V_{Ed,max} = 4662,57 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \frac{V_{Ed,max}}{2} = \frac{4662,57}{2} = \mathbf{2331,285 \text{ kN}}$$

$$T_{Ed,odp} = \mathbf{4768,45 \text{ kNm}}$$

$$\Delta x = 1 \text{ m}$$

$$z = 1,875 \text{ m}$$

$$\Delta F_{cc} = \frac{V_{Ed}}{z} \cdot \Delta x = \frac{2331,285}{1,875} \cdot 1,0 = \mathbf{1243,35 \text{ kN}}$$

$$\Delta F_{d,5} = \Delta F_{cc} \cdot \frac{b_5}{b_h} = 1243,35 \cdot \frac{2,9}{3,5} = \mathbf{1030,21 \text{ kN}}$$

$$v_{Ed,V5} = \mathbf{0 \text{ MPa}}$$

$$v_{Ed,T5} = \frac{T_{Ed,odp}}{2 \cdot A_k \cdot h_{f,5}} = \frac{6624,56}{2 \cdot 12 \cdot 0,30} = \mathbf{0,920 \text{ MPa}}$$

Celkové napätie:

$$v_{Ed,5} = v_{Ed,V5} + v_{Ed,T5} = 0 + 0,920 = \mathbf{0,920MPa} \rightarrow \text{rozhoduje}$$

$$v_{Ed} \leq 0,4 \cdot f_{ctd} = 0,4 \cdot 1,47 = 0,588MPa$$

$$v_{Ed} = 0,920MPa > 0,588MPa$$

→ **Nutné navrhnuť pozdĺžnu šmykovú výstuž výpočtom.**

Posúdenie únosnosti tlačenej diagonály

$$v = v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right) = 0,516$$

$$v_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot \sin 0_f \cdot \cos 0_f = 0,516 \cdot 21 \cdot \sin 40^\circ \cdot \cos 40^\circ = 5,336MPa$$

$$v_{Rd,max} = 0,920MPa > v_{Ed,5} = \mathbf{0,920MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Nutná plocha výstuže

$$\frac{A_{sf,5}}{s_f} = \frac{v_{Ed,5} \cdot h_{ef,5}}{f_{yd} \cdot \cotg 0} = \frac{0,920 \cdot 0,30}{478,26 \cdot \cotg 40^\circ} = \mathbf{0,000485m^2/m}$$

Prehľad napätí pre rez č.2

Tab 44-Prehľad napätí v reze č.2

		$V_{Ed,Vi}$	$T_{ed,Ti}$	V_{Ed}	$A_{sf,ref} [m^2/m]$
Rez 1	$V_{ed,max} T_{ed,odp}$	1,153	0	1,153	0,001013
Rez 2	$V_{ed,max} T_{ed,odp}$	1,105	0,397	1,503	0,001320
	$V_{ed,odp} T_{ed,max}$	0,820	0,511	1,331	0,001169
Rez 3	$V_{ed,max} T_{ed,odp}$	0,653	0,568	1,221	0,000751
	$V_{ed,odp} T_{ed,max}$	0,485	0,730	1,215	0,000747
Rez 4	$V_{ed,max} T_{ed,odp}$	1,873	0,361	2,234	0,002159
	$V_{ed,odp} T_{ed,max}$	1,389	0,465	1,854	0,001792
Rez 5	$V_{ed,odp} T_{ed,max}$	0,000	0,920	0,920	0,000485

11.4 Posúdenie – Rez č.3 18m od podpory

Tab 45- Priebeh vnútorných síl v danom reze

Rez č.3		Pole 5	Rez č.3		Pole 5
$V_{Ed,max}$	gr1a	3047,09	$V_{Ed,odp}$	gr1a	2906,71
	gr5 (1800/200)	2671,24		gr5 (1800/200)	2499,47
	gr5 (3000/240)	2832,96		gr5 (3000/240)	2832,96
$T_{Ed,odp}$	gr1a	3576,86	$T_{Ed,max}$	gr1a	4496,15
	gr5 (1800/200)	4295,50		gr5 (1800/200)	4495,29
	gr5 (3000/240)	887,89		gr5 (3000/240)	887,89

Rozhodnutie o vzniku trhlín

$$N_{Ed} = - 34487,14 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = + 41078,20 \text{ kNm}$$

Prierezové charakteristiky:

Plocha prierezu:

$$A_{c,eff} = 9,287 \text{ m}^2$$

Moment zotrvačnosti:

$$I_{c,eff} = 7,278 \text{ m}^4$$

Vzdialenosť ťažiska od horných vlákien

$$z_h = 0,915 \text{ m}$$

Vzdialenosť ťažiska od dolných vlákien

$$z_d = 1,485 \text{ m}$$

Celková plocha predpínacej výstuže:

$$A_p = 0,03192 \text{ m}^2$$

Plocha predpínacej výstuže v jednej rade

$$A_{p,i} = 0,01064 \text{ m}^2$$

Účinná výška:

$$d = 2,150 \text{ m}$$

$$\sigma_{c,h} = \frac{N_{Ed}}{A_{c,eff}} + \frac{M_{Ed}}{I_{c,eff}} \cdot z_h = \frac{-34487,14 \cdot 10^3}{9,287} + \frac{+41078,20 \cdot 10^3}{7,278} \cdot (1,485)$$

$$= 4,67 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk,0.05}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{2,2}{1,5} = 1,47 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,h} = 4,67 \text{ MPa} > f_{ctd} = 1,47 \text{ MPa} \rightarrow \text{VZNIK TRHLÍN}$$

11.4.1 Kombinácia maximálnej posúvajúcej sily a príslušného krútiaceho momentu

$$V_{Ed,S} = 1523,54 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,T} = \frac{T_{Ed,odp}}{2 \cdot A_k} \cdot l_k = \frac{3576,86}{2 \cdot 12,327} \cdot 6,4 = 928,52 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,max} = V_{Ed,S} + V_{Ed,T} = 1523,54 + 928,52 = \mathbf{2452,06 \text{ kN}}$$

$$\frac{A_{sw}}{s_l} \approx \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{ywd} \cdot \cotg\theta} = \frac{2452,06}{1,875 \cdot 478,26 \cdot 10^3 \cdot \cotg40} = \mathbf{0,0029 m^2/m}$$

$$\text{Navrhnutý profil:} \quad \varnothing = 12mm$$

$$\text{Počet strihov:} \quad n = 4$$

$$\text{Vzdialenosť v pozdĺžnom smere:} \quad s_l = 0,15m$$

$$\text{Celková plocha:} \quad A_{sw} = 4,52 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$\text{Pevnosť strmeňov:} \quad f_{ywd} = 478,26 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s_l} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cotg\theta = \frac{4,52 \cdot 10^{-4}}{0,15} \cdot 1,875 \cdot 478,26 \cdot 10^3 \cdot \cotg40$$

$$V_{Rd,s} = \mathbf{3320,31 \text{ kN}} > V_{Ed} = \mathbf{2352,06 \text{ kN}} \rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

11.4.2 Kombinácia maximálneho krútiaceho momentu a príslušnej posúvajúcej sily

$$V_{Ed,S} = 1453,35 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,T} = \frac{T_{Ed,max}}{2 \cdot A_k} \cdot l_k = \frac{4496,15}{2 \cdot 12,327} \cdot 6,4 = 1167,16 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,max} = V_{Ed,S} + V_{Ed,T} = 1453,35 + 1167,16 = \mathbf{2620,51 \text{ kN}}$$

$$\text{Navrhnutý profil:} \quad \varnothing = 14mm$$

$$\text{Počet strihov:} \quad n = 4$$

$$\text{Vzdialenosť v pozdĺžnom smere:} \quad s_l = 0,15m$$

$$\text{Celková plocha:} \quad A_{sw} = 6,16 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$\text{Pevnosť strmeňov:} \quad f_{ywd} = 478,26 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,s} = \mathbf{3320,31 \text{ kN}} > V_{Ed} = \mathbf{2352,06 \text{ kN}} \rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

Návrh pozdĺžnej šmykovej výstuže

Tab 46-Návrh pozdĺžnej šmykovej výstuže

	$V_{Ed,max} T_{Ed,odp}$		$V_{Ed,odp} T_{Ed,max}$	
	gr1a	gr5	gr1a	gr5
V_{Ed}	3047,09	2671,24	2906,71	2499,47
T_{Ed}	3576,86	4295,50	4496,15	4495,29
H_{Ed}	5513,63	5633,35	6007,18	5599,35

$$H_{Ed} = \left(V_{Ed} + \frac{T_{Ed} \cdot u_k}{2 \cdot A_k} \right) \cdot \cotg \theta = \left(2906,71 + \frac{4496,15 \cdot 17,270}{2 \cdot 12,327} \right) \cdot \cotg 40^\circ$$

$$= 6007,18 \text{ kN}$$

$$A_{s,req} = \frac{H_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{6007,18}{478,26 \cdot 10^3} = 0,013 \text{ m}^2$$

Navrhnutý profil:

$$\theta = 10 \text{ mm}$$

Plocha jedného prútu:

$$A_{d,1} = 0,785 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A_{s,req}}{A_{d,1}} = \frac{0,013}{0,785 \cdot 10^{-4}} = 165 \text{ ks} \rightarrow \text{Navrhnuté } 220 \text{ ks } \varnothing 10 \text{ po } 200 \text{ mm}$$

$$F_{Ed} = n \cdot A_{d,1} \cdot f_{yd} = 220 \cdot 0,785 \cdot 10^{-4} \cdot 478,26 \cdot 10^3 = 8259,55 \text{ kN}$$

$$\frac{H_{Ed}}{F_{Ed}} = \frac{6007,18}{8259,55} = 0,72 < 1,0$$

11.4.3 Vplyv pozdĺžneho šmyku

Prehľad napätí pre rez č.3

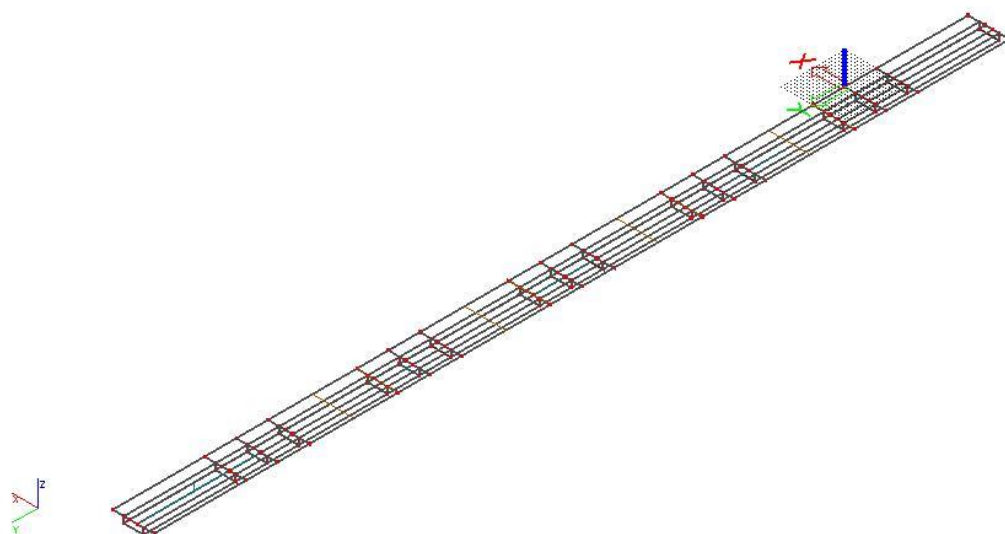
Tab 47- Prehľad napätí v reze č.3

		$V_{Ed,Vi}$	$T_{ed,Ti}$	V_{Ed}	$A_{sf,ref} [m^2/m]$
Rez 1	$V_{ed,max} T_{ed,odp}$	0,940	0	0,940	0,000826
Rez 2	$V_{ed,max} T_{ed,odp}$	0,735	0,286	1,020	0,000896
	$V_{ed,odp} T_{ed,max}$	0,853	0,278	1,130	0,000993
Rez 3	$V_{ed,max} T_{ed,odp}$	0,434	0,408	0,842	0,000518
	$V_{ed,odp} T_{ed,max}$	0,504	0,396	0,901	0,000554
Rez 4	$V_{ed,max} T_{ed,odp}$	1,245	0,260	1,505	0,001454
	$V_{ed,odp} T_{ed,max}$	1,445	0,252	1,698	0,001640
Rez 5	$V_{ed,odp} T_{ed,max}$	0,000	0,624	0,624	0,000329

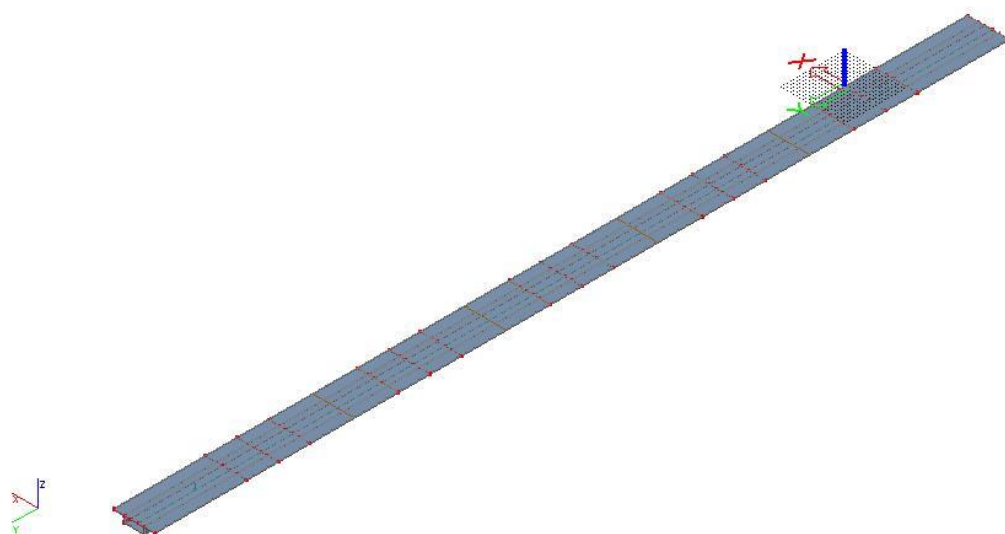
12 MEDZNÝ STAV ÚNOSNOTI – PRIEČNY SMER

Statická analýza je riešená vymodelovaním doskostenového modelu konštrukcie. Pre vyvolanie extrémnych účinkov od dopravy bol vymodelovaný taktiež prúťový model, ktorý slúžil pre zistenie príčinkových čiar a kontrolu správneho chovania doskostenového modelu.

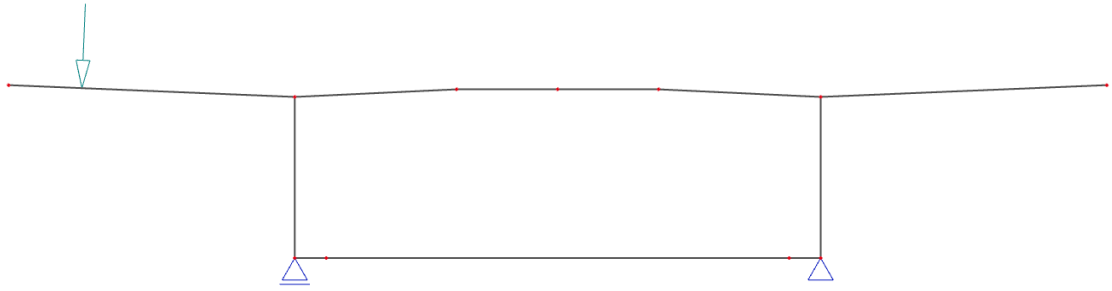
12.1 Model



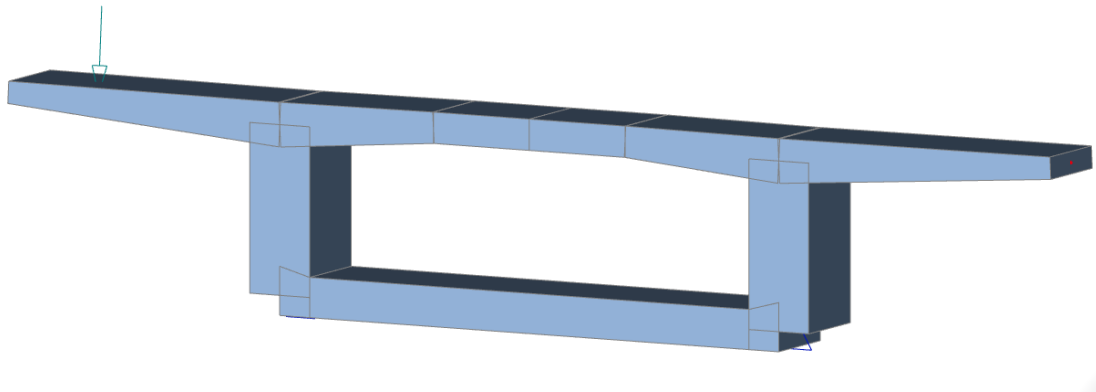
Obr. 62- Doskostenový model



Obr. 63- Rendrovaný doskostenový model

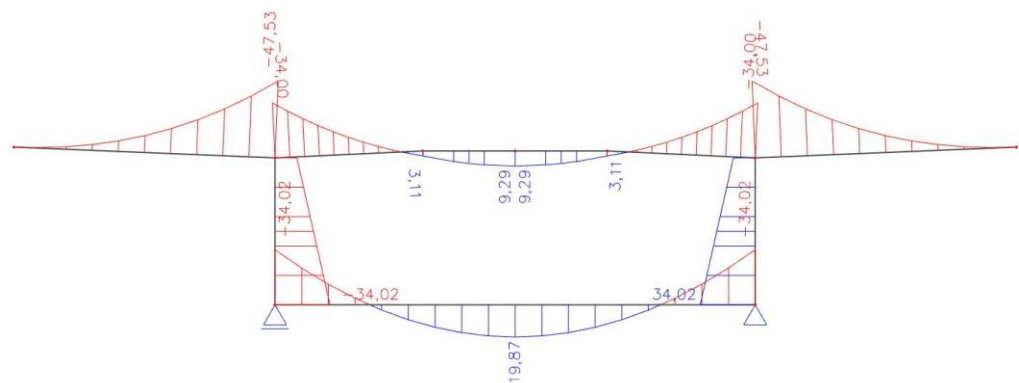


Obr. 64- Prútový model o šírke 1m

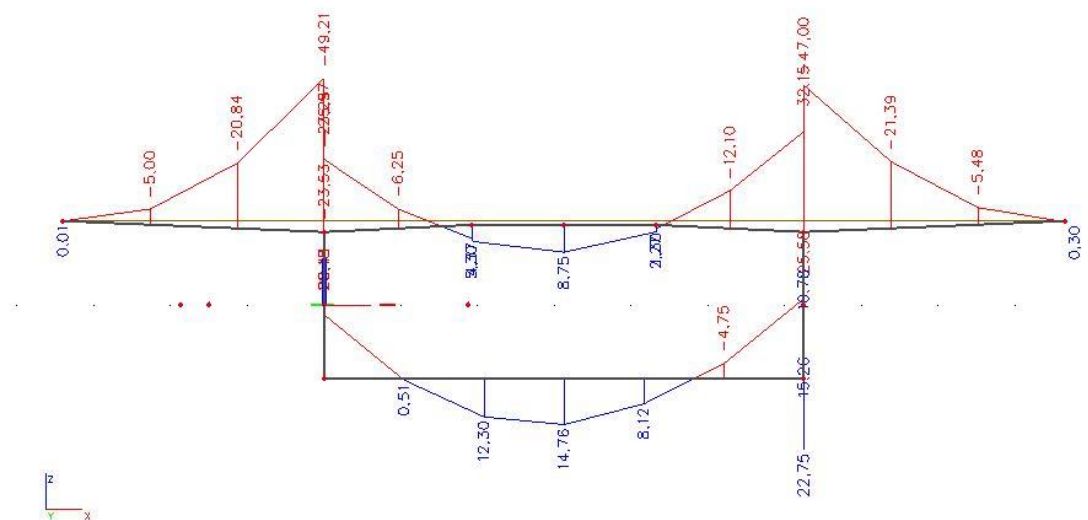


Obr. 65- Rendrovaný prútový model o šírke 1m

12.2 Porovnanie modelov



Obr. 66- Priebeh momentov od vlastnej tiaže na prutovom modeli

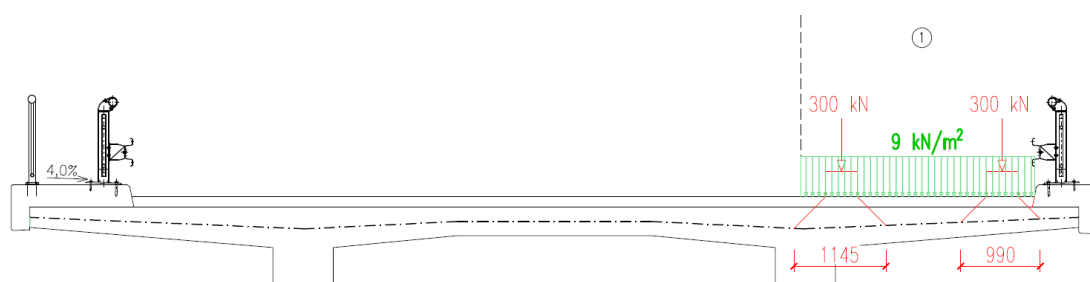


Obr. 67- Pribeh vlastnej tiaže na doskostenovom modeli

12.3 Zat'azenie modelu

Pre doskostenový model sú prevedené roznosy do strednice dosky a následne zadané do programu podľa príčinkových čiar za účelom vyvolania maximálnych hodnôt pre dané vnútorné sily.

12.3.1 Maximálny ohybový moment M21 – gr1a

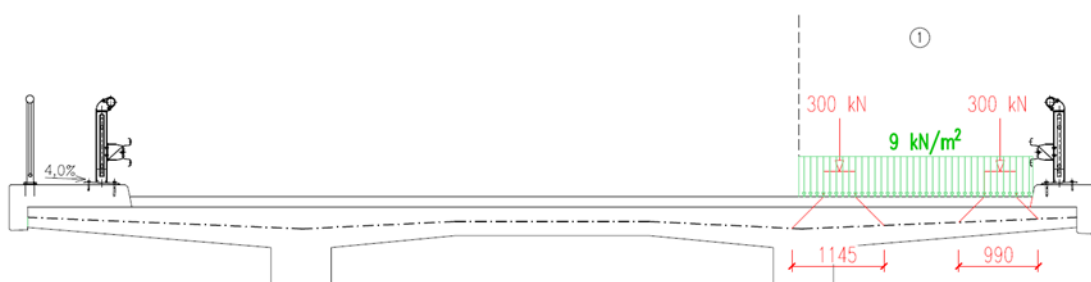


Obr. 68- Postavenie zat'azenia pre danú situáciu

Roznos kolesových náprav

Tab 48- Roznos kolesových náprav pre danú zaťažovaciu situáciu

	TS [kN]	$b_{\text{prične}}$ [m]	$b_{\text{podélna}}$ [m]	A_r [kN]	q [kN/m ²]
Pravá Náprava	150	0,99	1	0,99	151,52
Ľavá Náprava	150	1,145	1,16	1,3282	112,93

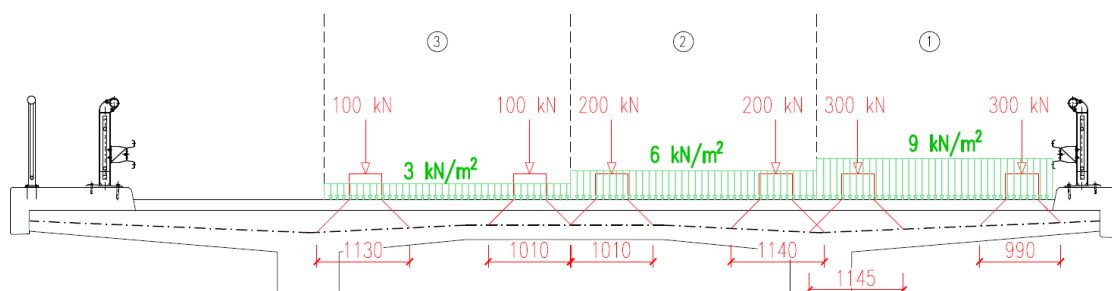
12.3.2 Maximálna posúvajúca sila V21 – gr1a

Obr. 69- Postavenie zaťaženia pre danú situáciu

Roznos kolesových náprav

Tab 49- Roznos kolesových náprav pre danú zaťažovaciu situáciu

	TS [kN]	$b_{\text{prične}}$ [m]	$b_{\text{podélna}}$ [m]	A_r [kN]	q [kN/m ²]
Pravá Náprava	150	0,99	1	0,99	151,52
Ľavá Náprava	150	1,145	1,16	1,3282	112,93

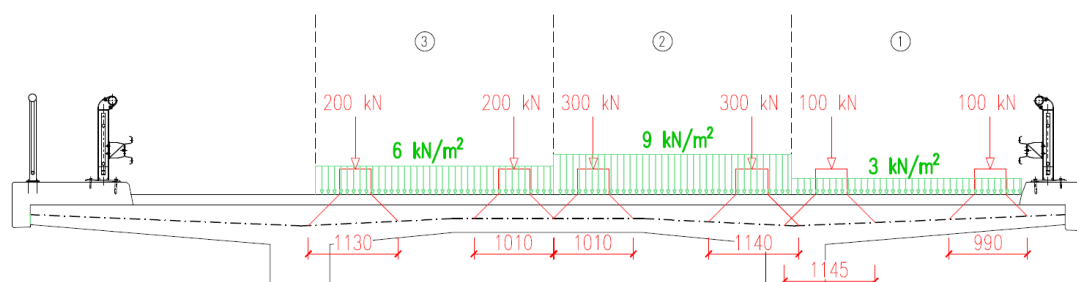
12.3.3 Maximálny ohybový moment M23

Obr. 70- Postavenie zaťaženia pre danú situáciu

Roznos kolesových náprav

Tab 50-Roznos kolesových náprav pre danú zaťažovaciu situáciu

	TS [kN]	$b_{\text{prične}}$ [m]	$b_{\text{podélna}}$ [m]	A_r [kN]	q [kN/m ²]
Pravá Náprava	150	0,99	1	0,99	151,52
Ľavá Náprava	150	1,145	1,16	1,3282	112,93
Pravá Náprava	100	1,14	1,16	1,3224	75,62
Ľavá Náprava	100	1,01	1,01	1,0201	98,03
Pravá Náprava	50	1,01	1,01	1,0201	49,01
Ľavá Náprava	50	1,13	1,16	1,3108	38,14

12.3.4 Maximálna posúvajúca sila V23

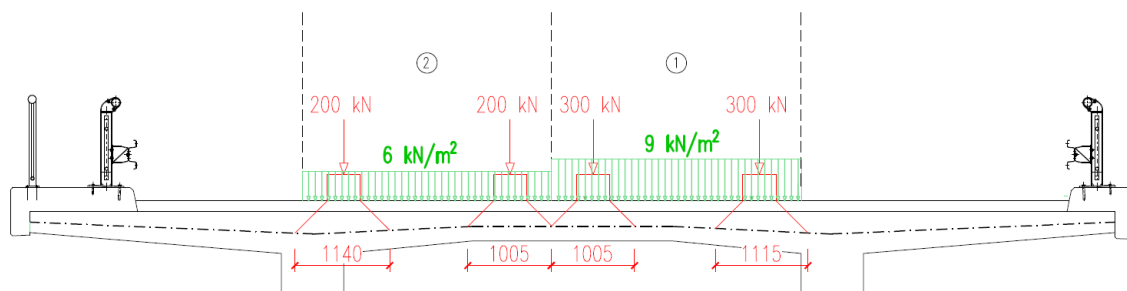
Obr. 71- Postavenie zaťaženia pre danú situáciu

Roznos kolesových náprav

Tab 51-Roznos kolesových náprav pre danú zaťažovaciu situáciu

	TS [kN]	$b_{\text{prične}}$ [m]	$b_{\text{podélna}}$ [m]	A_r [kN]	q [kN/m ²]
Pravá Náprava	150	0,99	1	0,99	151,52
Ľavá Náprava	150	1,145	1,16	1,3282	112,93
Pravá Náprava	100	1,14	1,16	1,3224	75,62
Ľavá Náprava	100	1,01	1,01	1,0201	98,03
Pravá Náprava	50	1,01	1,01	1,0201	49,01
Ľavá Náprava	50	1,13	1,16	1,3108	38,14

12.3.5 Maximálny ohybový moment M24



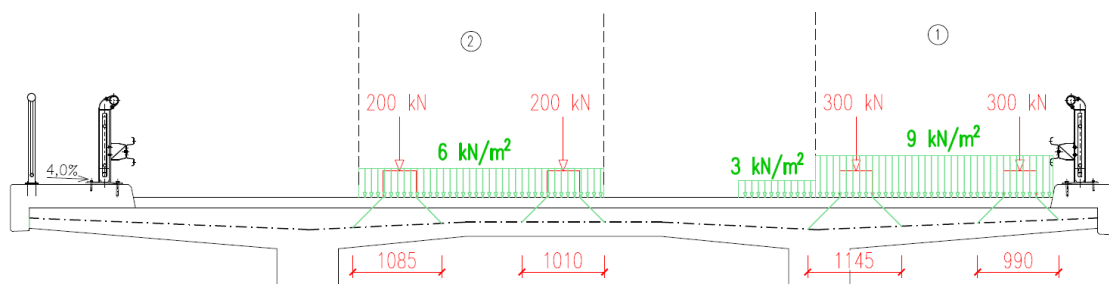
Obr. 72- Postavenie zaťaženia pre danú situáciu

Roznos kolových náprav

Tab 52-Roznos kolových náprav pre danú zaťažovaciu situáciu

	TS [kN]	$b_{\text{prične}}$ [m]	$b_{\text{podélna}}$ [m]	A_r [kN]	q [kN/m ²]
Pravá Náprava	150	1,115	1,11	1,23765	121,20
Ľavá Náprava	150	1,005	1,01	1,01505	147,78
Pravá Náprava	100	1,005	1,01	1,01505	98,52
Ľavá Náprava	100	1,14	1,16	1,3224	75,62

12.3.6 Maximálny ohybový moment M42

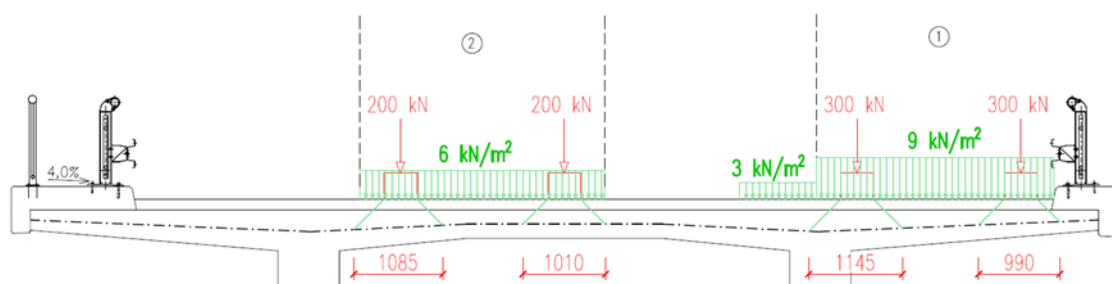


Obr. 73- Postavenie zaťaženia pre danú situáciu

Roznos kolesových náprav

Tab 53-Roznos kolesových náprav pre danú zaťažovaciu situáciu

	TS [kN]	$b_{\text{prične}}$ [m]	$b_{\text{podélna}}$ [m]	A_r [kN]	q [kN/m ²]
Pravá Náprava	150	0,99	1	0,99	151,52
Ľavá Náprava	150	1,145	1,16	1,3282	112,93
Pravá Náprava	100	1,005	1,01	1,01505	98,52
Ľavá Náprava	100	1,085	1,16	1,2586	79,45

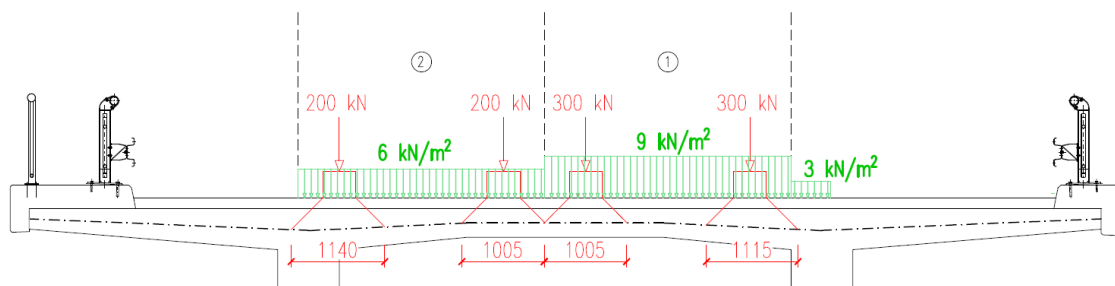


Obr. 74- Postavenie zaťaženia pre danú situáciu

Roznos kolesových náprav

Tab 54-Roznos kolesových náprav pre danú zaťažovaciu situáciu

	TS [kN]	$b_{\text{prične}}$ [m]	$b_{\text{podélna}}$ [m]	A_r [kN]	q [kN/m ²]
Pravá Náprava	150	0,99	1	0,99	151,52
Ľavá Náprava	150	1,145	1,16	1,3282	112,93
Pravá Náprava	100	1,005	1,01	1,01505	98,52
Ľavá Náprava	100	1,085	1,16	1,2586	79,45

12.3.7 Maximálny ohybový moment **M3** a **M5**

Obr. 75- Postavenie zaťaženia pre danú situáciu

Roznos kolesových náprav

Tab 55-Roznos kolesových náprav pre danú zaťažovaciu situáciu

	TS [kN]	$b_{\text{prične}}$ [m]	$b_{\text{podélna}}$ [m]	A_r [kN]	q [kN/m ²]
Pravá Náprava	150	1,115	1,11	1,23765	121,20
Ľavá Náprava	150	1,005	1,01	1,01505	147,78
Pravá Náprava	100	1,005	1,01	1,01505	98,52
Ľavá Náprava	100	1,14	1,16	1,3224	75,62

12.4 Interakcia priečneho ohybu a pozdĺ. šmyku reze č.1

12.4.1 Kombinácie zaťaženia

Tab 56- Priebeh vnútorných síl danom reze

		M2,1 [kNm]	M2,3 [kNm]	M2,4 [kNm]	M3 [kNm]	M42 [kNm]	M45 [kNm]	M5 [kNm]
gr1a	6.10a	-332,50	-247,99	-204,66	82,65	-108,36	-78,23	30,63
	6.10b	-378,90	-292,13	-239,14	103,27	-124,97	-82,17	30,28
gr5	6.10a	NEBOLA UVAŽOVANÁ						
	6.10b							

12.4.2 Potřebné plochy výstuží

Tab 57- Potřebné plochy vystuženia

$A_{s,šmyk} [m^2]$		1,50E-03	1,96E-03	9,40E-04	3,05E-03	6,50E-04
horný okraj						
1) %		25%	25%	25%	25%	25%
2) %		50%	50%	50%	50%	50%
dolný okraj						
1) %		25%	25%	25%	25%	25%
2) %		50%	50%	50%	50%	50%
Rez		21	23	3	45	5
$A_{s,ohyb} [m^2]$		2,09E-03	1,70E-03	7,54E-04	5,24E-04	5,24E-04
horný okraj						
1) %		1,1	1,1	1,1	1,2	1,2
dolný okraj						
1) %		1,2	1,2	1,2	1,1	1,1

Tab 58- Interakcia plôch vystuženia

HORNÝ OKRAJ $A_{s,šmyk} \cdot \% + A_{s,ohyb} \cdot \%$	2,68E-03	2,35E-03	1,06E-03	1,39E-03	7,91E-04
HORNÝ OKRAJ $A_{s,šmyk} \cdot 50\%$	7,52E-04	9,78E-04	4,70E-04	1,52E-03	3,25E-04
DOLNÝ OKRAJ $A_{s,šmyk} \cdot \% + A_{s,ohyb} \cdot \%$	2,89E-03	2,52E-03	1,14E-03	1,34E-03	7,38E-04
DOLNÝ OKRAJ $A_{s,šmyk} \cdot 50\%$	7,52E-04	9,78E-04	4,70E-04	1,52E-03	3,25E-04

12.4.3 Navrhnuté vystuženie

REZ 21:	horný povrch	Ø22 po 140 mm	$A_{st,req} = 0,002961 m^2$
	dolný povrch	Ø22 po 140 mm	$A_{st,req} = 0,002961 m^2$
REZ 23:	horný povrch	Ø22 po 140 mm	$A_{st,req} = 0,002961 m^2$
	dolný povrch	Ø22 po 140 mm	$A_{st,req} = 0,002961 m^2$

REZ 3:	horný povrch	Ø14 po 140 mm	$A_{st,req} = 0,001099 m^2$
	dolný povrch	Ø16 po 140 mm	$A_{st,req} = 0,001064 m^2$
REZ 45:	horný povrch	Ø18 po 140 mm	$A_{st,req} = 0,001524 m^2$
	dolný povrch	Ø18 po 140 mm	$A_{st,req} = 0,001524 m^2$
REZ 5:	horný povrch	Ø12 po 140 mm	$A_{st,req} = 0,000807 m^2$
	dolný povrch	Ø12 po 140 mm	$A_{st,req} = 0,000807 m^2$

12.5 Interakcia priečneho ohybu a pozdĺ. šmyku reze č.2

12.5.1 Kombinácie zat'azenia

Tab 59-Priebeh vnútorných síl danom reze

		M2,1 [kNm]	M2,3 [kNm]	M2,4 [kNm]	M3 [kNm]	M42 [kNm]	M45 [kNm]	M5 [kNm]
gr1a	6.10a	-331,34	-236,61	-179,45	82,68	-137,47	-84,53	22,37
	6.10b	-350,43	-282,61	-196,26	88,18	-153,77	-104,14	18,76
gr5	6.10a	NEBOLA UVAŽOVANÁ						
	6.10b							

12.5.2 Potřebné plochy výstuží

Tab 60-Potrebné plochy vystuženia

Rez	21	23	3	45	5
$A_{s,šmyk} [m^2]$	1,01E-03	1,17E-03	7,47E-04	1,79E-03	4,85E-04
horný okraj					
1) %	25%	25%	25%	25%	25%
2) %	50%	50%	50%	50%	50%
dolný okraj					
1) %	25%	25%	25%	25%	25%
2) %	50%	50%	50%	50%	50%
Rez	21	23	3	45	5
$A_{s,ohyb} [m^2]$	1,82E-03	1,44E-03	8,08E-04	5,61E-04	8,08E-04
horný okraj					
1) %	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2
dolný okraj					
1) %	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1

Tab 61-- Interakcia plôch vystuženia

HORNÝ OKRAJ $A_{s,šmyk} \cdot \% + A_{s,ohyb} \cdot \%$	2,25E-03	1,87E-03	1,08E-03	1,12E-03	1,09E-03
HORNÝ OKRAJ $A_{s,šmyk} \cdot 50\%$	5,06E-04	5,85E-04	3,74E-04	8,96E-04	2,42E-04
DOLNÝ OKRAJ $A_{s,šmyk} \cdot \% + A_{s,ohyb} \cdot \%$	2,43E-03	2,02E-03	1,16E-03	1,07E-03	1,01E-03
DOLNÝ OKRAJ $A_{s,šmyk} \cdot 50\%$	5,06E-04	5,85E-04	3,74E-04	8,96E-04	2,42E-04

12.5.3 Navrhnuté vystuženie

REZ 21:	horný povrch	Ø20 po 140 mm	$A_{st,req} = 0,002561 m^2$
	dolný povrch	Ø20 po 140 mm	$A_{st,req} = 0,002561 m^2$
REZ 23:	horný povrch	Ø20 po 140 mm	$A_{st,req} = 0,002561 m^2$
	dolný povrch	Ø20 po 140 mm	$A_{st,req} = 0,002561 m^2$

REZ 3:	horný povrch	Ø14 po 140 mm	$A_{st,req} = 0,001099 m^2$
	dolný povrch	Ø16 po 140 mm	$A_{st,req} = 0,001432 m^2$
REZ 45:	horný povrch	Ø14 po 140 mm	$A_{st,req} = 0,001099 m^2$
	dolný povrch	Ø14 po 140 mm	$A_{st,req} = 0,001099 m^2$
REZ 5:	horný povrch	Ø14 po 140 mm	$A_{st,req} = 0,001099 m^2$
	dolný povrch	Ø14 po 140 mm	$A_{st,req} = 0,001099 m^2$

12.6 Interakcia priečneho ohybu a pozdĺ. šmyku reze č.3

12.6.1 Kombinácie zat'azenia

Tab 62- Priebeh vnútorných síl v danom reze

		M2,1 [kNm]	M2,3 [kNm]	M2,4 [kNm]	M3 [kNm]	M42 [kNm]	M45 [kNm]	M5 [kNm]
gr1a	6.10a	-331,34	-236,61	-179,45	82,68	-137,47	-84,53	22,37
	6.10b	-350,43	-282,61	-196,26	88,18	-153,77	-104,14	18,76
gr5	6.10a	NEBOLA UVAŽOVANÁ						
	6.10b							

12.6.2 Potřebné plochy výstuží

Tab 63-Potrebné plochy vystuženia

Rez	21	23	3	45	5
$A_{s,šmyk} [m^2]$	8,26E-04	9,93E-04	5,54E-04	1,64E-03	3,29E-04
horný okraj					
1) %	25%	25%	25%	25%	25%
2) %	50%	50%	50%	50%	50%
dolný okraj					
1) %	25%	25%	25%	25%	25%
2) %	50%	50%	50%	50%	50%
Rez	21	23	3	45	5
$A_{s,ohyb} [m^2]$	1,70E-03	1,34E-03	7,54E-04	5,24E-04	5,24E-04
horný okraj					
1) %	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2
dolný okraj					
1) %	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1

Tab 64-Iterakcia plôch vystuženia

HORNÝ OKRAJ $A_{s,šmyk} \cdot \% + A_{s,ohyb} \cdot \%$	2,07E-03	1,72E-03	9,68E-04	1,04E-03	7,11E-04
HORNÝ OKRAJ $A_{s,šmyk} \cdot 50\%$	4,13E-04	4,96E-04	2,77E-04	8,20E-04	1,65E-04
DOLNÝ OKRAJ $A_{s,šmyk} \cdot \% + A_{s,ohyb} \cdot \%$	2,24E-03	1,86E-03	1,04E-03	9,86E-04	6,58E-04
DOLNÝ OKRAJ $A_{s,šmyk} \cdot 50\%$	4,13E-04	4,96E-04	2,77E-04	8,20E-04	1,65E-04

12.6.3 Navrhnuté vystuženie

REZ 21:	horný povrch	$\emptyset 20$ po 140 mm	$A_{st,req} = 0,002244 m^2$
	dolný povrch	$\emptyset 20$ po 140 mm	$A_{st,req} = 0,002244 m^2$
REZ 23:	horný povrch	$\emptyset 18$ po 140 mm	$A_{st,req} = 0,001817 m^2$
	dolný povrch	$\emptyset 18$ po 140 mm	$A_{st,req} = 0,001817 m^2$
REZ 3:	horný povrch	$\emptyset 14$ po 140 mm	$A_{st,req} = 0,001099 m^2$

	dolný povrch	Ø14 po 140 mm	$A_{st,req} = 0,001099 m^2$
REZ 45:	horný povrch	Ø14 po 140 mm	$A_{st,req} = 0,001099 m^2$
	dolný povrch	Ø14 po 140 mm	$A_{st,req} = 0,001099 m^2$
REZ 5:	horný povrch	Ø12 po 140 mm	$A_{st,req} = 0,000807 m^2$
	dolný povrch	Ø12 po 140 mm	$A_{st,req} = 0,000807 m^2$

12.7 Návrh priečnej šmykovej výstuže

Návrh šmykovej výstuže je nadimenzovaný na posúvajúce sily v reze č.1.

12.7.1 Kombinácia zaťažení

Tab 65-Priebeh vnútorných síl danom reze

		V21 [kN]	V23 P[kN]	V45 P[kN]
gr1a	6.10a	237,48	253,16	95,63
	6.10b	281,43	327,54	84,35
gr5	6.10a	NEBOLO UVAŽOVANÉ		
	6.10b			

12.7.2 Overenie šmykovej únosnosti

Tab 66- Návrh šmykovej výstuže

REZ	21	23	45
h rez	0,5	0,5	0,55
Φ v reze [m]	0,022	0,022	0,016
Φ spony [m]	0,01	0,01	0,01
d [m]	0,423	0,423	0,479
k	1,688	1,688	1,646
ρ_l	0,006	0,006	0,003
v_{\min} [MPa]	0,454	0,454	0,437
$V_{Rdc,s}$ [kN]	241,717	241,717	207,159
$V_{Rdc,min}$ [kN]	192,02	192,02	209,48
$V_{Rd,c}$ [kN]	192,023	192,023	207,159
V_{ED} [kN]	281,43	327,54	95,63
$V_{ed} \leq V_{Rd,c}$	ŠMYKOVÁ VÝZTUŽ	ŠMYKOVÁ VÝZTUŽ	OK

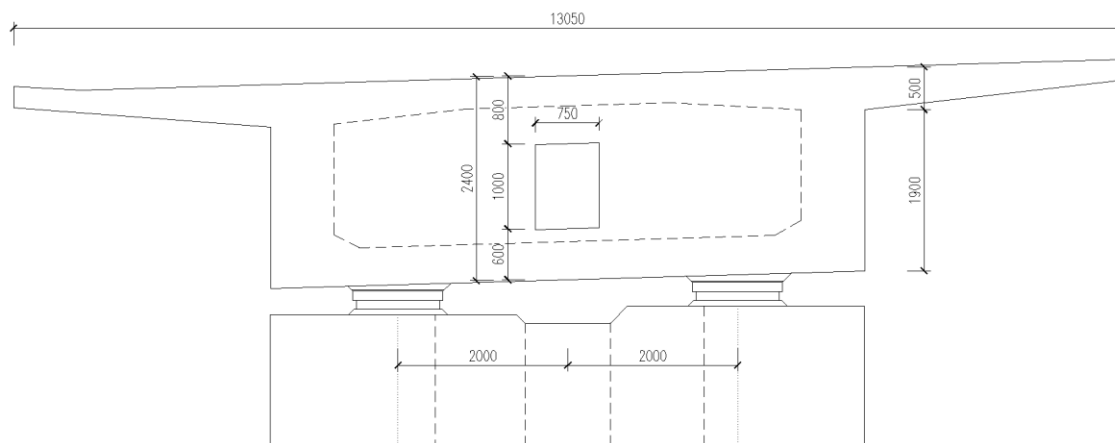
Tab 67- Posúdenie šmykovej výstuže

REZ	21	23	45
Φ spony [m]	0,01	0,01	0,01
st [m]	0,2	0,2	0,44
s_{tmax} [m]	1,39	1,39	1,57
s [m]	0,28	0,28	0,2
s_{max} [m]	0,70	0,70	0,79
A_{sw}	3,93E-04	3,93E-04	1,78E-04
$V_{Rd,max}$ [kN]	2167,09	2196,61	
v_1	0,516	0,516	
$V_{rd,s}$ [kN]	324,67	329,09	
$V_{Ed} / V_{Rd,max}$	12,99%	14,91%	
$V_{Ed} / V_{Rd,s}$	86,68%	99,53%	
ρ_w	1,40E-03	1,40E-03	8,92E-04
$\rho_{w,min}$	8,61E-04	8,61E-04	8,61E-04
$\rho_w > \rho_{w,min}$	OK	OK	OK

REZ 21: **Ø10 po 280 mm**REZ 23: **Ø10 po 280 mm**REZ 45: **konštrukčná výstuž**

13 PRIEČNIK

13.1 Geometria priečniku

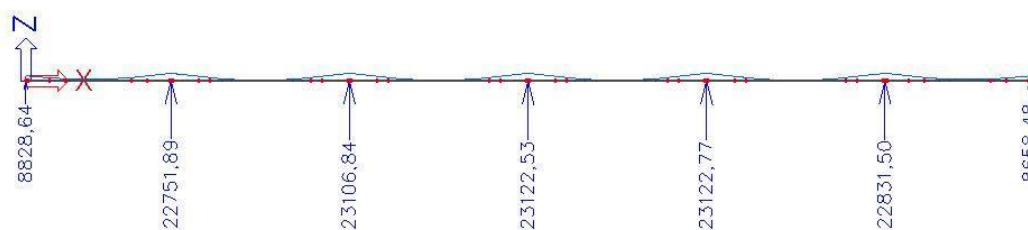


Obr. 76- Uloženie priečniku

13.2 Reakcie od jednotlivých kombinácií

Tab 68- Reakcie od gr1a

	R_z [kN]	$R_z/2$ [kN]	T_{Ed}	R_{zTEd}	$R_{z_{max}} \text{ \& } R_{z_{min}}$	
gr1a	23122,77	11561,39	8879,94	2251,14	$R_{z_{max}}$	13668,60
					$R_{z_{min}}$	9166,31
gr5	20351,1	10175,5	8359,36	2119,17	$R_{z_{max}}$	12294,71
					$R_{z_{min}}$	8056,37



Obr. 77-Reakcie od gr1a

13.3 Uloženie priečniku

Pre uloženie priečniku je na základe reakcií zvolené ložisko FX 16000-800.

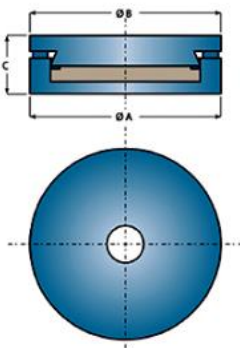
Pevné hrncové ložisko TETRON CD® / FX

Popis ložiska:
FX 12000 - 600

Typ hrncového ložiska

Maximální vertikální síla při užitém zatížení (kN)

Výsledná horizontální síla při užitém zatížení (kN)



Popis	Ø A (mm)	Ø B (mm)	C (mm)	Hmotnost (kg)
FX 500 - 50	180	200	69	15
FX 1000 - 100	255	265	69	25
FX 1500 - 150	295	320	78	40
FX 2000 - 200	345	365	88	60
FX 2500 - 250	385	415	93	75
FX 3000 - 300	420	450	97	95
FX 3500 - 350	460	490	97	110
FX 4000 - 400	480	520	107	135
FX 4500 - 450	510	560	117	170
FX 5000 - 500	570	600	106	205
FX 6000 - 500	580	640	136	255
FX 7000 - 500	620	670	145	305
FX 8000 - 500	660	710	145	340
FX 9000 - 500	690	750	164	430
FX 10000 - 500	730	795	165	470
FX 12000 - 600	835	865	162	565
FX 14000 - 700	905	935	170	685
FX 16000 - 800	945	997	190	865
FX 18000 - 900	1000	1055	209	1085
FX 20000 - 1000	1095	1125	197	1135
FX 24000 - 1200	1190	1220	216	1475
FX 28000 - 1400	1260	1320	285	2400
FX 30000 - 1500	1305	1375	294	2670
FX 35000 - 1750	1415	1475	312	3280
FX 40000 - 2000	1515	1585	321	3865
FX 45000 - 2250	1610	1680	330	4415
FX 50000 - 2500	1700	1770	368	5620

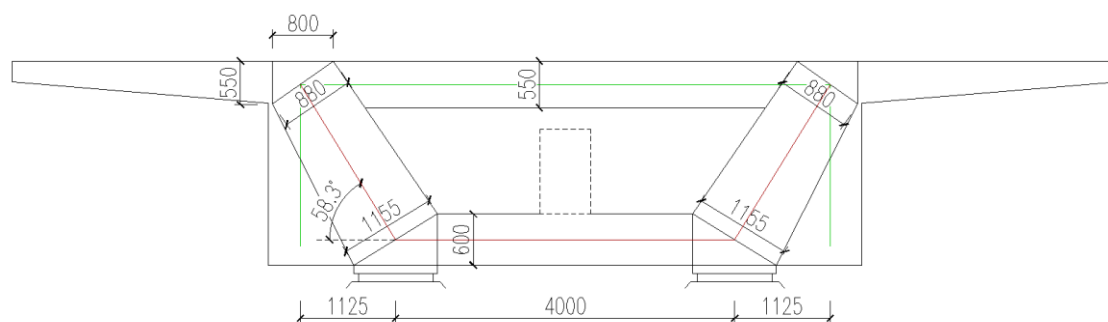
Hodnoty v tabulce jsou uvedeny jako příklad

Obr. 78- Hrncové ložisko Freyssinet [10]

13.4 Příhradová analógie

13.4.1 Geometria príhradového modelu

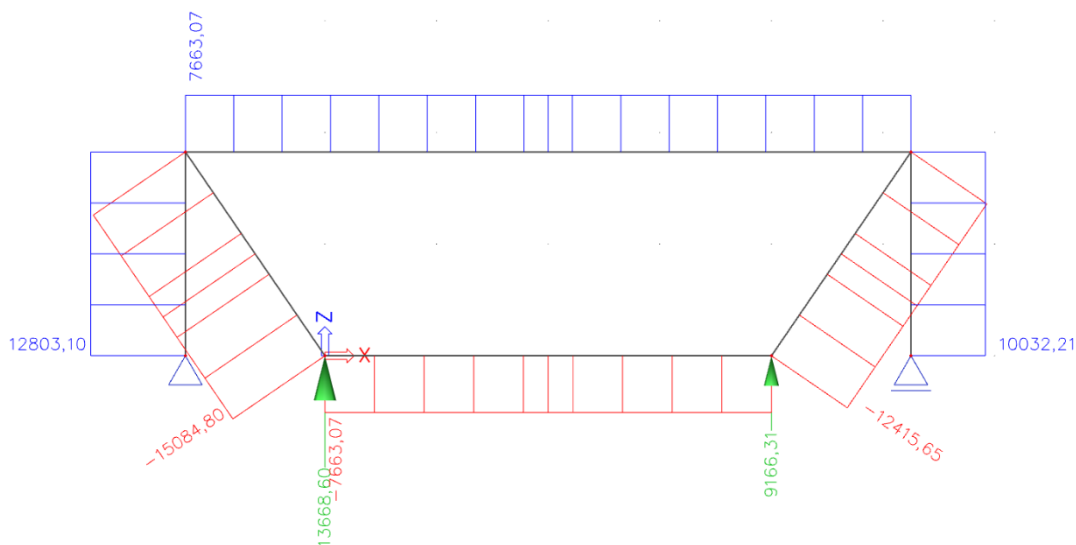
Na obrázku su vzpery vyznačené červenou a tiahla modrou farbou.



Obr. 79- Geometria príhradovej analógie

13.4.2 Vnútorné sily príhradového modelu

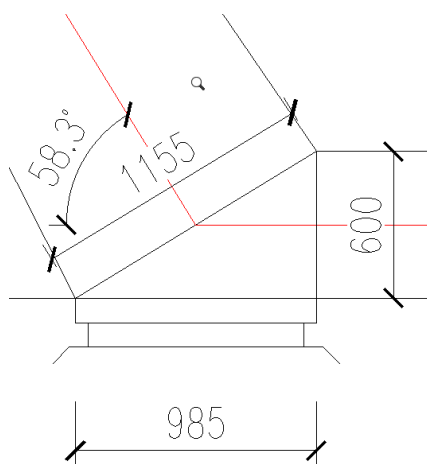
Pri namáhaní priečniku vyvolá extrémne účinky kombinácia gr1a.



Obr. 80- Vnútorné sily priehradového modelu

13.5 Posúdenie uzlových oblastí

13.5.1 Uzol typu C-C-C



Obr. 81- Uzol CCC

Pevnosť betónu v tlaku:

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

Šírka priečniku:

$$b = 1,2 \text{ m}$$

Šírka uzlu:

$$w = 1,155 \text{ m}$$

Výška uzlu:	$h = 0,6 \text{ m}$
Rozmery ložiska:	$b_l = 0,985 \text{ m}$
Súčiniteľ:	$k_1 = 1,0$
Vplyv priečných ťahov	$\nu = 1 - \frac{f_{ck}}{250} = 0,86$

Osové sily v uzle: $N_{R,Ed} = -13668,60 \text{ kN}$

$$N_{6,Ed} = -15084,80 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = -7663,07 \text{ kN}$$

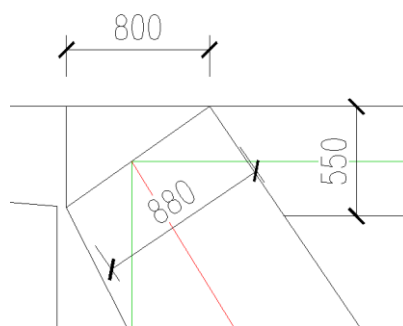
$$f_c^{max} = k_1 \cdot \nu \cdot f_{cd} = 1,0 \cdot 0,86 \cdot 21 = 18,060 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,1} = \frac{N_{1,Ed}}{h \cdot b} = \frac{7663,07 \cdot 10^3}{0,600 \cdot 1,2} = 10,63 \text{ MPa} < f_c^{max} = 18,060 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,6} = \frac{N_{6,Ed}}{w \cdot b} = \frac{15084,80 \cdot 10^3}{1,155 \cdot 1,2} = 10,88 \text{ MPa} < f_c^{max} = 18,060 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,6} = \frac{N_{R,Ed}}{b_l \cdot b} = \frac{13668,60 \cdot 10^3}{0,985 \cdot 1,2} = 11,563 \text{ MPa} < f_c^{max} = 18,060 \text{ MPa}$$

13.5.2 Uzol typu C-T-T



Obr. 82- Uzol CTT

Pevnosť betónu v tlaku:	$f_{cd} = 21 \text{ MPa}$
Šírka priečniku:	$b = 1,2 \text{ m}$
Šírka uzlu:	$w = 0,880 \text{ m}$
Výška uzlu:	$h = 0,55 \text{ m}$
Dĺžka uzlu:	$l = 0,72 \text{ m}$
Súčiniteľ:	$k_3 = 0,75$
Vplyv priečných ťahov	$\nu = 1 - \frac{f_{ck}}{250} = 0,86$

Osové sily v uzle: $N_{5,Ed} = 12803,10 \text{ kN}$

$$N_{6,Ed} = -15084,80 \text{ kN}$$

$$N_{7,Ed} = 7663,07 \text{ kN}$$

$$f_c^{max} = k_3 \cdot v \cdot f_{cd} = 1,0 \cdot 0,86 \cdot 21 = 13,55 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,1} = \frac{N_{5,Ed}}{l \cdot b} = \frac{12803,10 \cdot 10^3}{0,80 \cdot 1,2} = 13,36 \text{ MPa} < f_c^{max} = 13,55 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,6} = \frac{N_{6,Ed}}{w \cdot b} = \frac{15084,80 \cdot 10^3}{0,88 \cdot 1,2} = 13,34 \text{ MPa} < f_c^{max} = 13,55 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,7} = \frac{N_{7,Ed}}{h \cdot b} = \frac{7663,07 \cdot 10^3}{0,55 \cdot 1,2} = 11,610 \text{ MPa} < f_c^{max} = 13,55 \text{ MPa}$$

13.6 Overenie napätia vo vzperách

13.6.1 Overenie tlačenej šikmej vzpery

Pevnosť betónu v tlaku: $f_{cd} = 21 \text{ MPa}$

Šírka priečniku: $b = 1,2 \text{ m}$

Šírka vzpery: $w = 1,155 \text{ m}$

Rozmery ložiska: $b_l = 0,985 \text{ m}$

Súčiniteľ: $k_1 = 0,6$

Vplyv priečných ťahov $v = 1 - \frac{f_{ck}}{250} = 0,86$

Osové sily v uzle: $N_{6,Ed} = -15084,80 \text{ kN}$

$$f_c^{max} = k_1 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,6 \cdot 0,86 \cdot 21 = 10,84 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,1} = \frac{N_{6,Ed}}{l \cdot b} = \frac{15084,80 \cdot 10^3}{1,155 \cdot 1,2} = 10,43 \text{ MPa} < f_c^{max} = 10,84 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

13.6.2 Overenie tlačenej vodorovnej vzpery

Pevnosť betónu v tlaku: $f_{cd} = 21 \text{ MPa}$

Šírka priečniku: $b = 1,2 \text{ m}$

Šírka vzpery: $w = 0,6 \text{ m}$

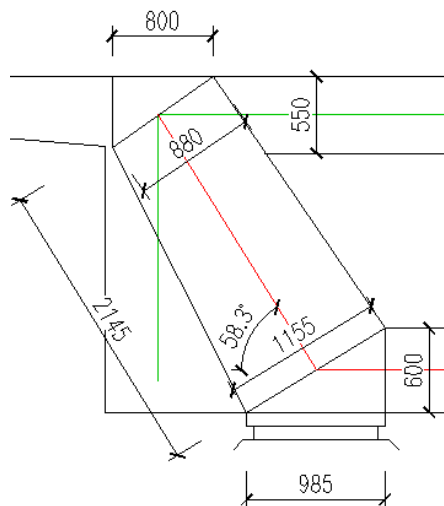
Súčiniteľ: $k_2 = 1,0$

Osové sily v uzle: $N_{1,Ed} = -7663,07 \text{ kN}$

$$f_c^{max} = k_1 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,6 \cdot 0,86 \cdot 21 = 10,84 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,1} = \frac{N_{6,Ed}}{w \cdot b} = \frac{7663,07 \cdot 10^3}{0,6 \cdot 1,2} = 10,63 \text{ MPa} < f_c^{max} = 21 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

13.6.3 Posúdenie priečných ťahov vo vzperách



Obr. 83- Posúdenie priečných ťahov vo vzperách

Pevnosť betónu v tlaku:

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

Šírka priečniku:

$$b = 1,2 \text{ m}$$

Šírka vzpery:

$$a = 0,88 \text{ m}$$

Sklon vzpery:

$$\alpha = 58,3$$

Dĺžka vzpery:

$$H = 2,145 \text{ m}$$

$$h = \frac{H}{2} = \frac{2,145}{2} = 1,0725 \text{ m}$$

Osové sily:

$$N_{6,Ed} = -15084,80 \text{ kN}$$

$$T = \frac{1}{4} \cdot \left(1 - 0,7 \frac{a}{h}\right) \cdot F = \frac{1}{4} \cdot \left(1 - 0,7 \frac{0,88}{1,0725}\right) \cdot 15084,80 = 1605,17 \text{ kN}$$

Potrebná plocha výstuže:

$$A_{s,req} = \frac{T}{f_{yd}} = \frac{1605,17 \cdot 10^3}{478,26 \cdot 10^6} = 3,35 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s,req,y} = A_{s,req} \cdot \cos \alpha = 3,35 \cdot 10^{-3} \cdot \cos 58,3 = 1,76 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s,req,z} = A_{s,req} \cdot \sin \alpha = 3,35 \cdot 10^{-3} \cdot \sin 58,3 = 2,85 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Navrhnutý profil:

$$\varnothing = 14mm$$

Plocha jednoho prutu:

$$A_{st,1} = 1,539 \cdot 10^{-4} m^2$$

Potrebný počet kusov:

$$n_{skut,y} = 15ks \text{ (3 rady po 5ks)}$$

Celková plocha výstuže:

$$A_{skut,y} = 2,31 \cdot 10^{-3} m^2$$

Potrebný počet kusov:

$$n_{skut,z} = 20ks \text{ (4 rady po 5ks)}$$

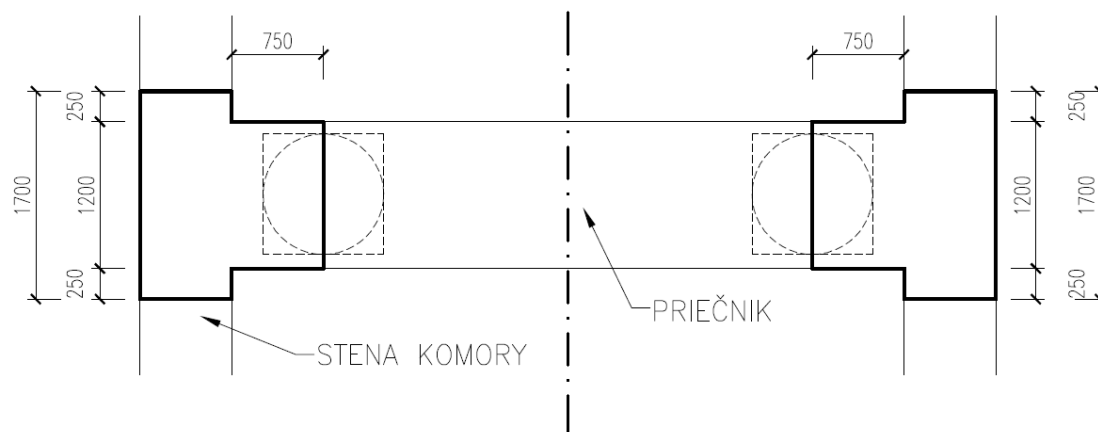
Celková plocha výstuže:

$$A_{skut,z} = 3,08 \cdot 10^{-3} m^2$$

13.7 Dimenzovanie tiahel

13.7.1 Dimenzovanie zvislého tiahla

Sila v tiahle bude prenesená pomocou predpínacích tyčí a betonárskej výstuže. Toto vystuženie bude umiestnené do vyhradenej oblasti prierečníku.



Obr. 84- Dimenzovanie zvislého tiahla

13.7.2 Návrh betonárskej výstuže

Betonárska výstuž je navrhnutá tak aby preniesla 50% sily v tiahle.

Sila v tiahle: $N_{5,Ed} = 12803,10 \text{ kN}$

Navrhnutý profil: $\emptyset = 22 \text{ mm}$

Plocha jedného prutu: $A_{st,1} = 3,80 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

Potrebný počet kusov:

$$n = \frac{0,5 \cdot N_{5,Ed}}{A_{st,1} \cdot f_{yd}} = \frac{0,5 \cdot 12803,10 \cdot 10^3}{6,16 \cdot 10^{-4} \cdot 478,26 \cdot 10^6} = 35,21 \text{ ks}$$

Skutočný počet kusov: $n_{skut} = 40 \text{ ks}$

Celková plocha výstuže: $A_{skut} = 1,52 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$

$$N_{5,Rd} = A_{skut} \cdot f_{yd} = 1,52 \cdot 10^{-2} \cdot 478,26 \cdot 10^6 = 7269,55 \text{ kN}$$

$$N_{5,Ed} = 0,5 \cdot N_{5,Ed} = 0,5 \cdot 12803,10 \cdot 10^3 = 6401,55 \text{ kN}$$

13.7.3 Návrh predpínacích tyčí

Predpínacie tyče sú navrhnuté tak, aby preniesli zostávajúcu silu v tiahle.

$$N_{5,Ed,P} = N_{5,Ed} - N_{5,Ed,st} = 12803,10 - 7269,55 = \mathbf{5533,55\ kN}$$

Druh predpínacích tyčí:	40WR
Charakteristická pevnosť v ťahu:	$f_{pk} = 1050\ MPa$
Charakteristické zmluvné napätie:	$f_{p,01,k} = 945\ MPa$
Návrhová pevnosť v ťahu:	$f_{pd} = 821,74\ MPa$
Maximálne kotevné napätie:	$\sigma_{p,max} = 840\ MPa$
Napätie po krát. stratách:	$\sigma_{pm0} = 0,85 \cdot \sigma_{p,max} = 714\ MPa$
Napätie po dlhodobých stratách:	$\sigma_{pm,\infty} = 0,9 \cdot \sigma_{pm0} = 642,6\ MPa$
Predpínacia sila:	$P_{m,\infty} = A_p \cdot \sigma_{pm,\infty} = 807,75\ kN$

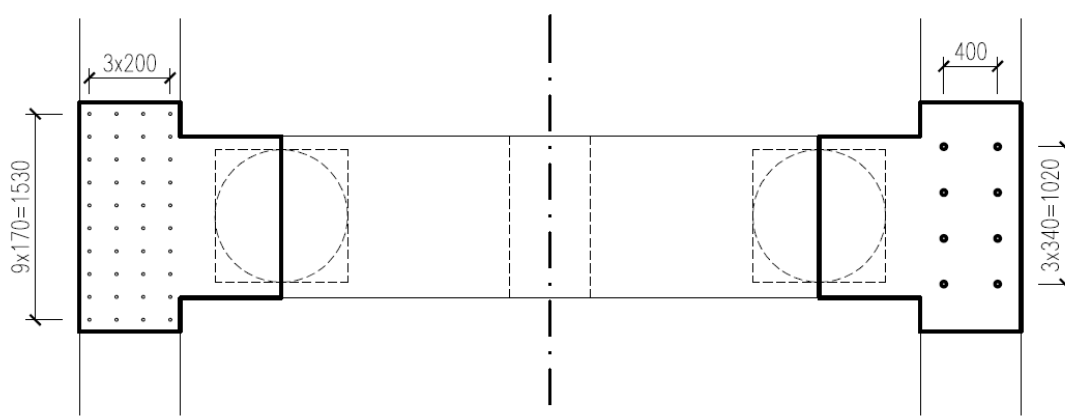
$$n = \frac{N_{5,Ed,P}}{P_{m,\infty}} = \frac{5533,55 \cdot 10^3}{807,75 \cdot 10^3} = \mathbf{6,85\ ks}$$

$$\text{Skutočný počet kusov:} \quad \mathbf{n_{skut} = 8\ ks}$$

$$\text{Celková plocha výstuže:} \quad \mathbf{A_{p,skut} = 1,0 \cdot 10^{-2}\ m^2}$$

$$N_{5,Rd} = N_{5,Rd,st} + N_{5,Rd,P} = 7269,55 + 6425,00 = \mathbf{13694,55\ kN}$$

$$N_{5,Ed} = \mathbf{12803,10} < N_{5,Rd} = \mathbf{13694,55\ kN} \rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$



Obr. 85- Schéma vystuženia priečniku

Viz príloha P4 – Statický výpočet

13.7.4 Dimenzovanie vodorovného tiahla

Potrebná plocha výstuže bude pripočítaná k ploche výstuže potrebnej pre prenesenie krútenia.

Sila v tiahle:

$$N_{5,Ed} = 7663,07 \text{ kN}$$

Potrebná plocha výstuže:

$$A_{s,req} = \frac{N_{7,Ed}}{f_{yd}} = \frac{7663,07 \cdot 10^3}{478,26 \cdot 10^6} = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

13.8 Vplyv krútenia

Najväčšie krútiace účinky vyvolá zaťažovacia zostava grla. Hodnoty krútiacich momentov sú uvedené v kapitole 11.3.3.3.

13.8.1 Maximálny krútiaci moment v priečniku

Krútiaci moment:

$$T_{Ed,L} = -8702,38 \text{ kNm}$$

$$T_{Ed,P} = 8879,79 \text{ kNm}$$

Celkový krútiaci moment:

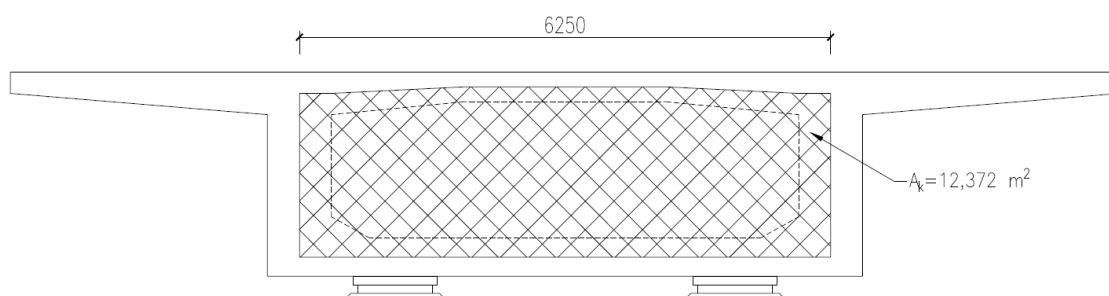
$$T_{Ed,max} = T_{Ed,L} + T_{Ed,P} = 8702,38 + 8879,79 = 17582,17 \text{ kNm}$$

Plocha účinná na krútenie:

$$A_k = 12,327 \text{ m}^2$$

Šírka:

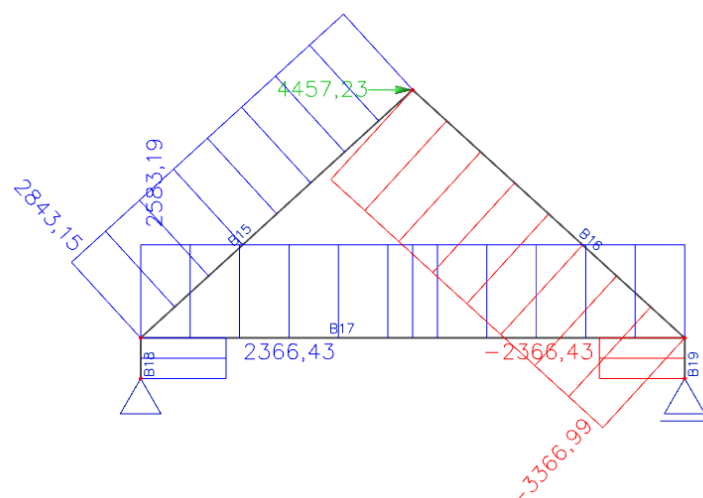
$$b_k = 6,25 \text{ m}$$



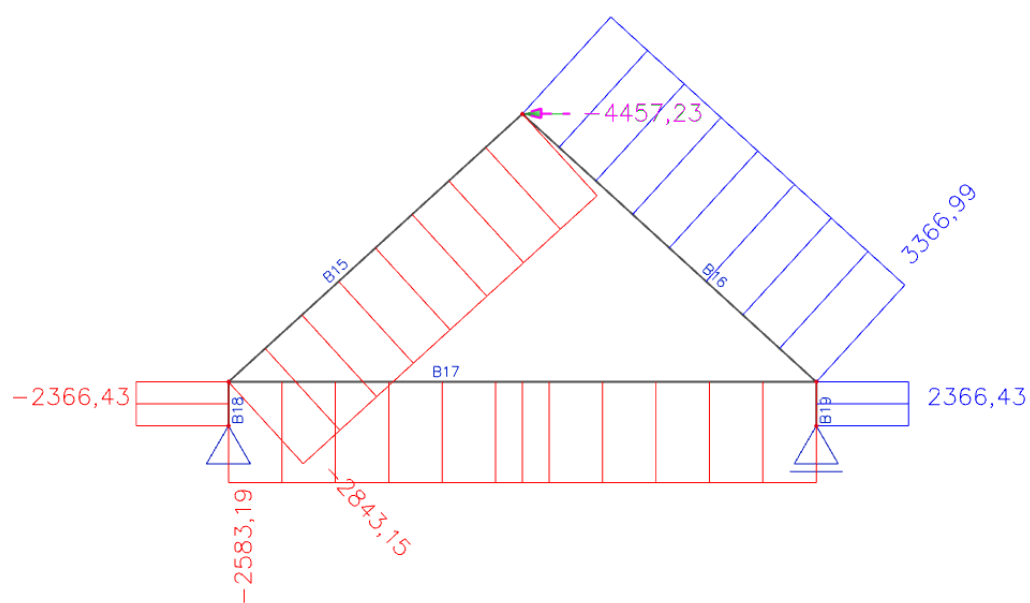
Obr. 86- Plocha vzdorujúca krúteniu

$$V_{Ed,T} = \frac{T_{Ed,max}}{2 \cdot A_k} \cdot b_k = \frac{17582,17}{2 \cdot 12,327} \cdot 6,25 = 4457,23 \text{ kN}$$

13.8.2 Priehradový model na krútiaci moment



Obr. 87 Priehradový model na krútiaci moment



Obr. 88- Priehradový model krútiaci moment

13.8.3 Návrh výstuže

13.8.3.1 Horná vodorovná výstuž

Pre prenos šmykové toku je nutné na vrhnúť výstuž na silu $V_{Ed,T}/2$ a k tejto sile následne pripočítať potrebnú plochu výstuže z vodorovného tiahla.

$$A_{s,req,T} = \frac{V_{Ed,T}/2}{f_{yd}} = \frac{4457,23 \cdot 10^3/2}{478,26 \cdot 10^6} = 4,65 \cdot 10^{-3} m^2$$

Celková plocha výstuže:

$$A_{skut} = A_{s,req,T} + A_{s,req,7} = 4,65 \cdot 10^{-3} + 1,6 \cdot 10^{-2} = 2,06 \cdot 10^{-2} m^2$$

Navrhnutý profil:

$$\emptyset = 30mm$$

Plocha jedného prútu:

$$A_{st,1} = 7,07 \cdot 10^{-4} m^2$$

Skutočný počet kusov:

$$n_{skut} = 30 ks \text{ (5 rád po 6ks)}$$

Celková plocha výstuže:

$$A_{skut} = 21,2 \cdot 10^{-3} m^2$$

13.8.3.2 Šikmá výstuž

Osové sily:

$$N_{16,Ed} = 3366,99 kN$$

$$N_{20,Ed} = 2843,15 kN$$

Potrebná plocha výstuže:

$$A_{s,req} = \frac{N_{16,Ed}}{f_{yd}} = \frac{3366,99 \cdot 10^3}{478,26 \cdot 10^6} = 7,04 \cdot 10^{-3} m^2$$

Navrhnutý profil:

$$\emptyset = 25mm$$

Plocha jedného prútu:

$$A_{st,1} = 4,91 \cdot 10^{-4} m^2$$

Skutočný počet kusov:

$$n_{skut} = 18 ks \text{ (3 rady po 6ks)}$$

Celková plocha výstuže:

$$A_{skut} = 8,84 \cdot 10^{-3} m^2$$

13.8.3.3 Dolná vodorovná výstuž

Osové sily:

$$N_{17,Ed} = 2366,43 kN$$

Potrebná plocha výstuže:

$$A_{s,req} = \frac{N_{17,Ed}}{f_{yd}} = \frac{2366,43 \cdot 10^3}{478,26 \cdot 10^6} = 4,94 \cdot 10^{-3} m^2$$

Navrhnutý profil:	$\varnothing = 20mm$
Plocha jedného prutu:	$A_{st,1} = 3,14 \cdot 10^{-4} m^2$
Skutočný počet kusov:	$n_{skut} = 18 ks$ (3 rady po 6ks)
Celková plocha výstuže:	$A_{skut} = 5,65 \cdot 10^{-3} m^2$

13.9 Posúdenie lokálnej oblasti pod ložiskom

13.9.1 Posúdenie betónu v sústrednom tlaku

Maximálna reakcia na ložisko: $R_{max} = 13668,60 kN$

Pevnosť betónu v tlaku: $f_{cd} = 21 MPa$

$$b_0 = 0,98m$$

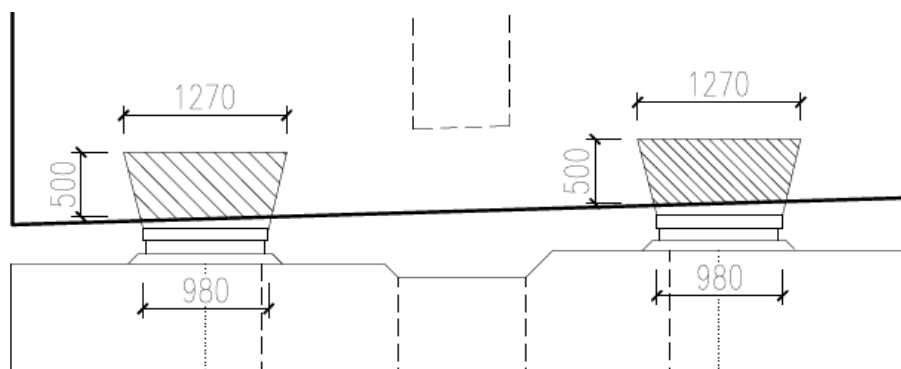
$$b_1 = 1,27m$$

$$A_{co} = b_0 \cdot d_0 = 0,98 \cdot 0,98 = 0,96 m^2$$

$$A_{c1} = b_1 \cdot d_1 = 1,27 \cdot 1,27 = 1,61 m^2$$

$$Frd_u = A_{co} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{co}}} = 0,096 \cdot 21 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{\frac{1,61}{0,96}} = 26107,65 kN$$

$$Frd_u = 1329,964 kN > R_{max} = 13668,60 kN \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$



Obr. 89- Lokálna oblasť ložiska

13.9.2 Posúdenie priečných ťahov v lokálnej oblasti

$$R_{max} = 13668,60 \text{ kN}$$

$$c \cdot c' = \frac{R_{max}}{0,6 \cdot f_{ck}} = \frac{13668,60 \cdot 10^3}{0,6 \cdot 35 \cdot 10^6} = 0,065 \text{ m}^2$$

$$c = c' \geq \sqrt{0,065} = 0,806 \text{ m}$$

$$c = c' = 1,1 \text{ m}$$

$$a = a' = 0,98 \text{ m}$$

$$\frac{c}{a} = \frac{c'}{a'} \leq 1,25 \cdot \sqrt{\frac{c \cdot c'}{a \cdot a'}} \rightarrow \frac{1,1}{0,98} = 1,12 \leq 1,25 \cdot \sqrt{\frac{1,1 \cdot 1,1}{0,98 \cdot 0,98}} = 1,4$$

$$T_{bu} = \frac{1}{4} \cdot \frac{c' - a}{c'} \cdot R_{max} = \frac{1}{4} \cdot \frac{1,1 - 0,98}{1,1} \cdot 13668,60 \cdot 10^3 = 372,78 \text{ kN}$$

Potrebná plocha výstuže:

$$A_{s,req} = \frac{T_{bu}}{f_{yd}} = \frac{372,78 \cdot 10^3}{478,26 \cdot 10^6} = 7,79 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Minimálna plocha výztuže:

$$A_{s,req} = 0,15 \cdot \frac{13668,60}{f_{yd}} = \frac{13668,60 \cdot 10^3}{478,26 \cdot 10^6} = 2,857 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Navrhnutý profil:

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

Plocha jedného prútu:

$$A_{st,1} = 1,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Skutočný počet kusov:

$$n_{skut} = 36 \text{ ks (4 ks mriežok } 3 \times 3)$$

Celková plocha výstuže:

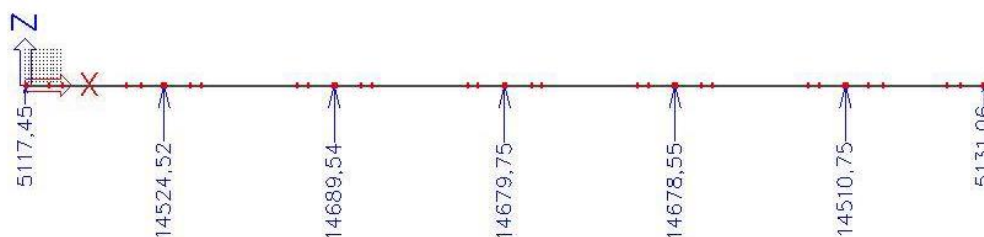
$$A_{skut} = 4,068 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

13.10 Posúdenie stability na preklopenie

$$R_{max} = 14679,75 / 2 = 7339,875 \text{ kN}$$

$$T_{ed,max} = 8879,79 \text{ kNm}$$

$$\text{Vzdialenosť ložiska} = 4 \text{ m}$$



Obr. 90- Reakcie od vlastnej tiaže

13.10.1 Posúdenie stability

Reakcie od vlastnej tiaže sú k posudku dostačujúce, preto reakcie od premenného zaťaženia neboli v tomto posudku uvažované.

$$\frac{R_g}{2} \geq \frac{T_{ed,max}}{a} = \frac{7339,875}{2} \geq \frac{8879,79}{4} = 3669,93 \geq 2219,94 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

ZOZNAM POUŽITÝCH PRAMEŇOV A LITERATÚRY

Literatúra

- [1] J. Procházka, J. Šmejkal, J.L. Vitek, J. Vašková:
- [2] Navrhování betonových konstrukcí. Příručka k normám ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1992-1-2, ČKAIT 2010
- [3] J. Navrátil: Předpjaté betonové konstrukce, CERM 2008
- [4] J. Stráský, R. Nečas, L. Klusáček, J. Panáček:
- [5] Betonové mosty I, opory VUT 2006
- [6] J. Stráský: Betonové mosty, ČKAIT 2006
- [7] IG prieskum ktorý bol súčasťou podkladov

Internet

- [1] Podklady pre ložiska a predpínací systém - <http://www.freyssinet.cz/>
- [2] Prednášky z predmetu BL12 - www.necasradim.cz
- [3] Tabulky k předmětu BL01 - <http://www.fce.vutbr.cz/BZK/svarickova.i/pdf/BL01/Tabulky.pdf>
- [4] Mostné odvodňovače – www.vlcek.cz

Normy

- [1] ČSN 73 6201: Projektování mostních objektů
- [2] ČSN 73 6214: Navrhování betonových mostních konstrukcí
- [3] ČSN EN 1990 A A1: Zásady navrhování konstrukcí
- [4] ČSN EN 1991-1-5: Zatížení teplotou
- [5] ČSN EN 1991-2: Zatížení mostů dopravou
- [6] ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [7] ČSN EN 1992-2: Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady

ZOZNAM TABULIEK

Tab 1- Prierezové charakteristiky	23
Tab 2- Vlastná tiaž	24
Tab 3- Ostatné stále.....	25
Tab 4- Zaťažovacie pruhy	25
Tab 5- Regulačné súčinitele	26
Tab 6- Model zaťaženia LM1	27
Tab 7- Model zaťaženia LM3 1800/200	27
Tab 8- Model zaťaženia LM3 3000/240	28
Tab 9- Priebeh vnútorných síl v podpore.....	31
Tab 10- Priebeh vnútorných síl v poli.....	31
Tab 11- Znížená charakteristická pevnosť betónu	36
Tab 12- Fáza I	36
Tab 13- Fáza II.....	37
Tab 14- Fáza III.....	38
Tab 15- Fáza IV	39
Tab 16- Fáza V.....	40
Tab 17-Fáza VI	41
Tab 18- Fáza VII.....	42
Tab 19.....	44
Tab 20.....	44
Tab 21.....	44
Tab 22- Priebeh momentov v podpore.....	46
Tab 23- Priebeh normálových síl v podpore.....	46
Tab 24-Priebeh momentov v poli.....	47
Tab 25-Priebeh normálových síl v poli.....	47
Tab 26- Priebeh napätí v charakteristickej kombinácii v poli.....	48
Tab 27- Priebeh napätí v charakteristickej kombinácii v podpore.....	48
Tab 28-Priebeh napätí v častej kombinácii v poli.....	49
Tab 29-Priebeh napätí v častej kombinácii v podpore	49
Tab 30-Priebeh napätí v kvázistálej kombinácii v poli.....	50
Tab 31-Priebeh napätí v kvázistálej kombinácii v podpore	50
Tab 32- Priebeh ohybových momentov v poli.....	52

Tab 33-Priebeh normálových síl v poli.....	52
Tab 34-Priebeh ohybových momentov v podpore	58
Tab 35- Priebeh normálových síl v podpore	58
Tab 36 - Priebeh vnútorných síl v danej kombinácii	66
Tab 37- Priebeh vnútorných síl v danej kombinácii	67
Tab 38- Priebeh vnútorných síl v danej kombinácii	71
Tab 39- Priebeh vnútorných síl v danej kombinácii	71
Tab 40- Návrh pozdĺžnej šmykovej výstuže	74
Tab 41- Prehľad napätí v reze č.1	84
Tab 42-Priebeh vnútorných síl v danej kombinácii	84
Tab 43-Návrh pozdĺžnej šmykovej výstuže	86
Tab 44-Prehľad napätí v reze č.2	96
Tab 45- Priebeh vnútorných síl v danom reze	97
Tab 46-Návrh pozdĺžnej šmykovej výstuže	99
Tab 47- Prehľad napätí v reze č.3	100
Tab 48- Roznos kolesových náprav pre danú zaťažovaciu situáciu	104
Tab 49-Roznos kolesových náprav pre danú zaťažovaciu situáciu	104
Tab 50-Roznos kolesových náprav pre danú zaťažovaciu situáciu	105
Tab 51-Roznos kolesových náprav pre danú zaťažovaciu situáciu	105
Tab 52-Roznos kolesových náprav pre danú zaťažovaciu situáciu	106
Tab 53-Roznos kolesových náprav pre danú zaťažovaciu situáciu	107
Tab 54-Roznos kolesových náprav pre danú zaťažovaciu situáciu	107
Tab 55-Roznos kolesových náprav pre danú zaťažovaciu situáciu	108
Tab 56- Priebeh vnútorných síl danom reze	108
Tab 57- Potrebné plochy vystuženia	109
Tab 58- Interakcia plôch vystuženia	109
Tab 59-Priebeh vnútorných síl danom reze	110
Tab 60-Potrebné plochy vystuženia	111
Tab 61-- Interakcia plôch vystuženia	111
Tab 62- Priebeh vnútorných síl v danom reze	112
Tab 63-Potrebné plochy vystuženia	113
Tab 64-Iterakcia plôch vystuženia	113
Tab 65-Priebeh vnútorných síl danom reze	114
Tab 66- Návrh šmykovej výstuže	115

Tab 67- Posúdenie šmykovej výstuže	115
Tab 68- Reakcie od gr1a	116

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1- Nerendrovaný prútový model.....	11
Obr. 2- Rendrovaný prútový model	11
Obr. 3- Uloženie prútové modelu.....	11
Obr. 4- Nerendrovaný doskostenový model	12
Obr. 5- Rendrovaný doskostenový model.....	12
Obr. 6- Nerendrovaný výsek 1m.....	12
Obr. 7- Rendrovaný výsek 1m	13
Obr. 8 - Vzďialenosť nulových ohybových momentov	18
Obr. 9- Spolupôsobiacie šírky	18
Obr. 10- Efektívny prierez nad podporou 2 a 6	19
Obr. 11 - Efektívny prierez nad podporou 3-5	20
Obr. 12 - Efektívny prierez v poli 1 a 6	21
Obr. 13- Efektívny prierez v poli 2-5.....	22
Obr. 14- Ostatné stále zaťaženie	24
Obr. 15- Zaťažovacie pruhy na konštrukcii	26
Obr. 16- Zaťažovací model LM1	26
Obr. 17- Zvláštne vozidlo 1800/900	27
Obr. 18- Zvláštne vozidlo 3000/240	28
Obr. 19 - Vyrovnanie vlastnej tiaže	32
Obr. 20- Nastavenie fáz výstavby	34
Obr. 21- Časová osa fáz výstavby.....	35
Obr. 22- Priebeh ohybových momentov vo fázi I.....	36
Obr. 23- Priebeh normálových síl vo fázi I	37
Obr. 24- Priebeh ohybových momentov vo fázi II	37
Obr. 25-Priebeh normálových síl vo fázi II	38
Obr. 26- Priebeh ohybových momentov vo fázi III	38
Obr. 27- Priebeh normálových síl vo fázi III	39
Obr. 28- Priebeh ohybových momentov vo fázi IV	39
Obr. 29- Priebeh normálových síl vo fázi IV	40
Obr. 30- Priebeh ohybových momentov vo fázi V.....	40
Obr. 31-Priebeh normálových síl vo fázi V	41
Obr. 32- Priebeh ohybových momentov vo fázi VI.....	41

Obr. 33- Priebek normálových síl vo fázi VI.....	42
Obr. 34- Priebek ohybových momentov vo fázi VII.....	42
Obr. 35- Priebek normálových síl vo fázi VII	43
Obr. 36- Priebek ohybových momentov od grla	47
Obr. 37- Priebek ohybových momentov od grla	47
Obr. 38 - Priebek ohybových momentov v charakteristickej kombinácii.....	48
Obr. 39- Priebek ohybových momentov v častej kombinácii	49
Obr. 40- Priebek ohybových momentov v kvázistálej kombinácii	50
Obr. 41- Năpatie v predpínacej výstuži v čase uvedenia do premávky	51
Obr. 42- Priehyb v životnosti mostu	51
Obr. 43- Priebek ohybových momentov od grla	52
Obr. 44- Grafické overenie momentovej únosnosti v poli.....	57
Obr. 45- Priebek ohybových momentov od grla	58
Obr. 46- Grafické overenie momentovej únosnosti v podpore	61
Obr. 47- Rozmiestnenie zaťaženia pre daný prípad účinkov na konštrukciu	62
Obr. 48- Rozmiestnenie zaťaženia pre daný prípad účinkov na konštrukciu	63
Obr. 49- Rozmiestnenie zaťaženia pre daný prípad účinkov na konštrukciu	64
Obr. 50- Rozmiestnenie zaťaženia pre daný prípad účinkov na konštrukciu	65
Obr. 51- Rozmiestnenie zaťaženia pre daný prípad účinkov na konštrukciu	66
Obr. 52- Rez 1	75
Obr. 53- Rez 2	76
Obr. 54- Rez 3	78
Obr. 55- Rez 4	80
Obr. 56 Rez -5	83
Obr. 57- Rez 1	87
Obr. 58- Rez 2	88
Obr. 59- Rez 3	90
Obr. 60 - Rez 4	93
Obr. 61- Rez 5	95
Obr. 62- Detskostenový model	101
Obr. 63- Rendrovaný detskostenový model.....	101
Obr. 64- Prúťový model o šírke 1m.....	102
Obr. 65- Rendrovaný prúťový model o šírke 1m	102
Obr. 66- Priebek momentov od vlastnej tiaže na prúťovom modeli	102

Obr. 67- Priebeh vlastnej tiaže na doskostenovom modeli	103
Obr. 68- Postavenie zaťaženia pre danú situáciu	103
Obr. 69- Postavenie zaťaženia pre danú situáciu	104
Obr. 70- Postavenie zaťaženia pre danú situáciu	104
Obr. 71- Postavenie zaťaženia pre danú situáciu	105
Obr. 72- Postavenie zaťaženia pre danú situáciu	106
Obr. 73- Postavenie zaťaženia pre danú situáciu	106
Obr. 74- Postavenie zaťaženia pre danú situáciu	107
Obr. 75- Postavenie zaťaženia pre danú situáciu	108
Obr. 76- Uloženie priečniku.....	116
Obr. 77-Reakcie od gr1a	116
Obr. 78- Hrnkové ložisko Freyssinet [10].....	117
Obr. 79- Geometria príhradovej analógie	117
Obr. 80- Vnútorne sily prihradového modelu	118
Obr. 81- Uzol CCC	118
Obr. 82- Uzol CTT.....	119
Obr. 83- Posúdenie priečných ťahov vo vzperách	121
Obr. 84- Dimenzovanie zvislého tiahla.....	123
Obr. 85- Schéma vystuženia priečniku	124
Obr. 86- Plocha vzdorujúca krúteniu	125
Obr. 87Prihradový model na krútiaci moment.....	126
Obr. 88- Prihradový model krútiaci moment	126
Obr. 89- Lokálna oblasť ložiska.....	128
Obr. 90- Reakcie od vlastnej tiaže	130