

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

# ŽELEZOBETONOVÝ OBLOUKOVÝ MOST PŘES ŘEKU KRUPOU

REINFORCED ARCH BRIDGE OVER THE KRUPÁ RIVER

## PRÍLOHA B – STATICKÝ VÝPOČET

BAKALÁRSKA PRÁCA  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

FILIP ADLER

VEDÚCI PRÁCE  
SUPERVISOR

ING. JAN KOLÁČEK, PH.D.

BRNO 2014/2015

## OBSAH

1. GEOMETRIA A STATICKÝ MODEL	3
1.1. HYDROLOGICKÉ POMERY	3
1.2. PARAMETRE NOSNEJ KONŠTRUKCIE	5
2. ZAŤAŽENIE	6
2.1. STÁLE ZAŤAŽENIE	6
2.1.1. VLASTNÁ TIAŽ	6
2.1.2. OSTATNÉ STÁLÉ	6
2.2. PREMENNÉ ZAŤAŽENIE	6
2.2.1. MODEL ZAŤAŽENIA LM1	7
2.2.2. MODEL ZAŤAŽENIA LM3	7
2.2.3. MODEL ZAŤAŽENIA LM4	8
2.2.4. ZOSTAVY ZAŤAŽENIA DOPRAVOU	8
3. IDEALIZOVANÝ PRIESTOROVÝ MODEL	8
3.1. ROZNOS ZAŤAŽENIA	9
3.1.1. TS	9
3.1.2. ZVLÁŠTNE VOZIDLO	9
3.2. SPOLUPÔSOBIACE ŠÍRKY DOSKY S TRÁMOM	10
3.3. VNÚTORNÉ SILY NA TRÁME	10
3.4. KOMBINÁCIE PRE MSÚ – TRÁM	24
3.5. VNÚTORNÉ SILY NA OBLÚKU	25
3.6. VNÚTORNÉ SILY NA KYVNEJ STOJKE	26
4. DIMENZOVANIE – MEDZNÝ STAV ÚNOSNOSTI	27
4.1. MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY	27
4.2. KYVNÁ STOJKA	27
4.3. VRUBOVÝ KLÍB	32
4.4. OBLÚK	33
4.5. TRÁM	38
4.5.1. OHYB	38
4.5.2. ŠMYK	40
4.6. DOSKA	42
4.6.1. OHYB	42
4.6.2. ŠMYK	47
5. MEDZNÝ STAV POUŽITEĽNOSTI	49
5.1. OBMEDZENIE NAPÄTÍ	49
5.2. OBMEDZENIE TRHLÍN	51
5.3. OBMEDZENIE PRETVORENÍ	52
6. KOTEVNÉ A STYKOVACIE DĹŽKY	55
7. ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV	57

# 1. GEOMETRIA A STATICKÝ MODEL

## 1.1. HYDROLOGICKÉ POMERY

Pre novú nosnú konštrukciu mosta je nutné zabezpečiť vyhovujúci prietochný profil s primeranou minimálnou hodnotou voľnej výšky nad hladinou vody pri návrhovom a kontrolnom návrhovom prietoku. Posúdenie sa bude realizovať s ohľadom na parametre a typ mostu.

návrhová kategória mostného objektu: 2. kategória (v obci možná obchádzka)

hydrologické údaje: profil Staré Město (Krupá)

dáta - Povodí Moravy	M006 - 40136000
tok	Krupá
číslo hydrologického poradia	4-10-01-0220
profil	Staré Město
plocha povodí	62,64 km <sup>2</sup>
priemerná dlhodobá ročná výška zrážok (Pa)	1127 mm
priemerný dlhodobý prietok (Qa)	1,3 m <sup>3</sup> /s
trieda	III.

M-denné prietoky  $Q_{Md}$  v m<sup>3</sup>/s:

M [dní]	30	90	180	270	330	355	364
Q [m <sup>3</sup> /s]	3,04	1,84	1,15	0,72	0,46	0,31	0,18

N-ročné prietoky  $Q_N$  v m<sup>3</sup>/s:

N [rokov]	1	2	5	10	20	50	100
Q [m <sup>3</sup> /s]	19,0	27,0	36,0	45,0	52,0	60,0	67,0

$$\text{variačné rozpätie: } \frac{Q_{100}}{Q_1} = \frac{67}{19} = 3,526$$

priemerný prietok:  $Q_a=1,3 \text{ m}^3/\text{s}$

návrhový prietok:  $Q_{100}=67,0 \text{ m}^3/\text{s}$

kontrolný návrhový prietok:  $1.Q_{100}=67,0 \text{ m}^3/\text{s}$

minimálna voľná výška: 0,5m nad KNH, 1m nad NH(rozhodujúce)

parametre toku:

sklon koryta  $i=1,5\%$  (interpolácia z mapy)

súčiniteľ drsnosti koryta:  $n=0,025$  (bežne udržiavané koryto)

výška hladiny(určované iteráčne):

priemerný prietok:  $h=0,117\text{m}$

návrhový prietok(=KNH)  $h=1,243\text{m}$

priemerný prietok:

plocha profilu:  $A=1,129\text{m}^2$

omočený obvod:  $O=9,851\text{m}$

hydraulický polomer:  $R=A/O=1,129/9,851=0,115\text{m}$

rýchlostný súčiniteľ:  $C = \frac{1}{n} R^{1/6} = \frac{1}{0,025} 0,115^{1/6} = 27,894$

prietok:  $Q = C \cdot A \cdot \sqrt[2]{R \cdot i} = 27,894 \cdot 1,129 \cdot \sqrt[2]{0,115 \cdot 0,015} = 1,308 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

návrhový prietok(=KNH):

plocha profilu:  $A=13,533\text{m}^2$

omočený obvod:  $O=13,293\text{m}$

hydraulický polomer:  $R=A/O=13,533/13,293=1,018\text{m}$

rýchlostný súčiniteľ:  $C = \frac{1}{n} R^{1/6} = \frac{1}{0,025} 1,018^{1/6} = 40,12$

prietok:  $Q = C \cdot A \cdot \sqrt[2]{R \cdot i} = 40,12 \cdot 13,533 \cdot \sqrt[2]{1,018 \cdot 0,015} = 67,1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

posúdenie minimálnej voľnej výšky/šírky pod mostom:

vzdialenosť líca oblúku vo vrchole od dna koryta je  $3,15\text{m}$

voľná výška pri návrhovom prietoku:  $h = 3,15 - 1,243 - 0,5 = 1,407\text{m} > 1\text{m}$  **vyhovuje**

voľná šírka pri návrhovom prietoku:  $L_0 = 11,31\text{m}$   $2L_0/3 = 7,54\text{m}$

$\check{s} = 8,626\text{m} > 7,54\text{m}$  **vyhovuje**

doplňujúca podmienka oblúkových mostov  $NH < f/3$

$f = 2,144\text{m}$  (merané na spodnom líci klenby)

$f/3 = 0,715\text{m}$  (+0,906m vzdialenosť dna koryta od päty klenby)

návrhová hladina vo výške  $1,243\text{m}$

$h = 0,715 + 0,906 = 1,621\text{m} > 1,243\text{m}$  **vyhovuje**

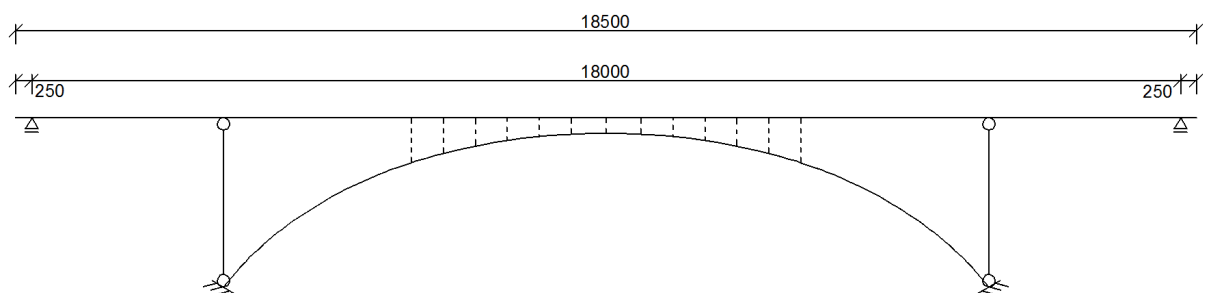
## 1.2. PARAMETRE NOSNEJ KONŠTRUKCIE

Nosná konštrukcia je riešená ako oblúková s hornou mostovkou. Prierez mostovky je priečne nábehovaná doska s dvoma podpornými trámami.

celková dĺžka mosta:	25,05m
dĺžka nosnej konštrukcie:	18,5m
rozpätie:	18m
dĺžka premostenia:	17,2m

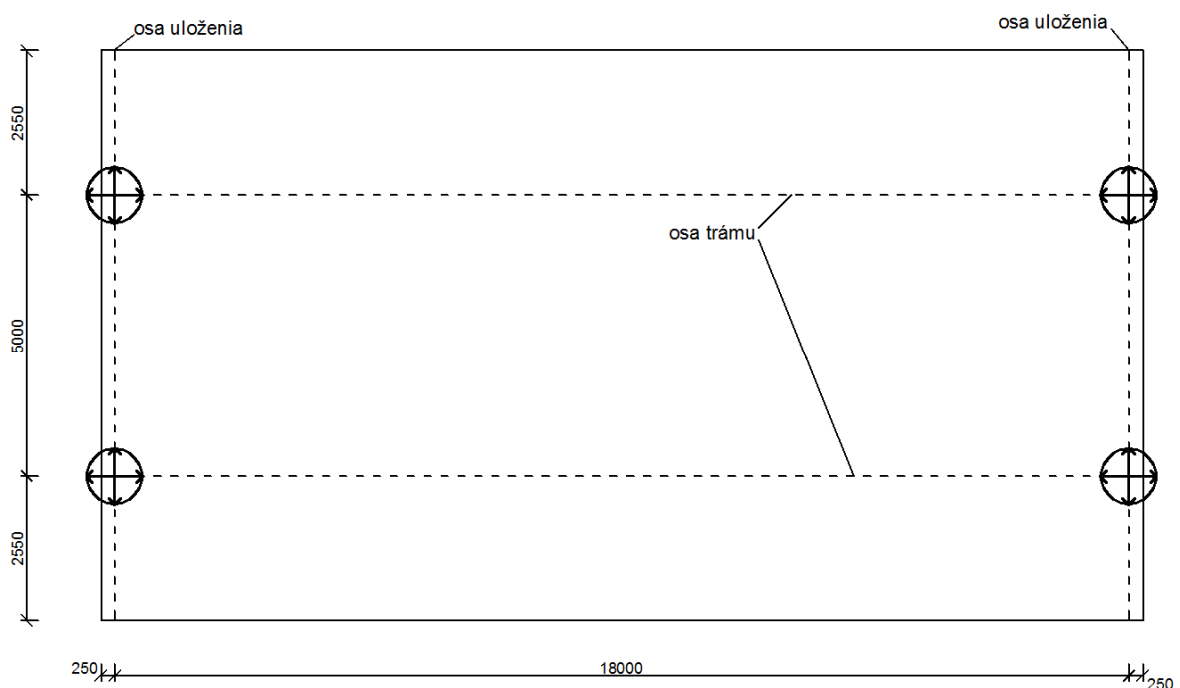
-uhol kríženia:  $\alpha=90^\circ$  (kolmý most)

-presah nosnej konštrukcie za osu uloženia: 250mm



predpis paraboly s počiatkom v ľavom votknutí oblúka:

$$y = -\frac{11}{180}x^2 + \frac{11}{15}x$$



## 2. ZAŽAŽENIE

Nasledujúce zaťaženia budú uvádzané v charakteristických hodnotách.

### 2.1. STÁLE ZAŽAŽENIE

#### 2.1.1. VLASTNÁ TIAŽ

plocha železobetónovej dosky  $A=3,48\text{m}^2$

objemová tiaž železobetónu  $\gamma=25\text{kN/m}^3$

$$g_{0k} = A \cdot \gamma = 3,48 \cdot 25 = 87\text{kN/m}$$

#### 2.1.2. OSTATNÉ STÁLE

<i>Prvok</i>		<i>jedn. zaťaženie</i>	<i>zaťažovacia plocha</i>	<i>zaťaženie</i>
železobetónová monolitická rímša		$25\text{kN/m}^3$	$2 \times 0,408\text{m}^2$	$20,4\text{kN/m}$
obrubník RONN EnviroDeck ED100		$6,35\text{kN/m}^3$	$2 \times 0,032\text{m}^2$	$0,406\text{kN/m}$
oceľové zábradlie		$0,5\text{kN/m}'$	2x	$1\text{kN/m}$
vozovka	ACO11+ 40mm	$24\text{kN/m}$	$0,3\text{m}^2$	$7,2\text{kN/m}$
	PSE emulzia	$0,003\text{kN/m}^2$	7,5m	$0,023\text{kN/m}$
	ACP16+ 80mm	$24\text{kN/m}^3$	$0,6\text{m}^2$	$14,4\text{kN/m}$
	AIP 10mm	$12\text{kN/m}^3$	$0,075\text{m}^2$	$0,9\text{kN/m}$
<b>CELKOM <math>g_{1k}=</math></b>				<b><math>44,329\text{kN/m}</math></b>

Pre dimenzovanie budú uvažované aj prípadné zmeny vozovky s hodnotami +40% pre suprium a -20% pre infimum.

$$g_{1k} = 44,329\text{kN/m}$$

$$g_{1k,\text{sup}} = 53,338\text{kN/m}$$

$$g_{1k,\text{inf}} = 39,824\text{kN/m}$$

### 2.2. PREMENNÉ ZAŽAŽENIE

Pre výpočty sú uvažované iba zvislé zaťaženia dopravou. Navrhovaný most prevádza cestu III. triedy. Pre danú komunikáciu neboli úradmi stanovené žiadne zvláštne predpisy, jedná sa o zbernú komunikáciu a preto ju zaraďujeme do skupiny 1.

-uvažované modely zaťaženia LM1,LM3,LM4

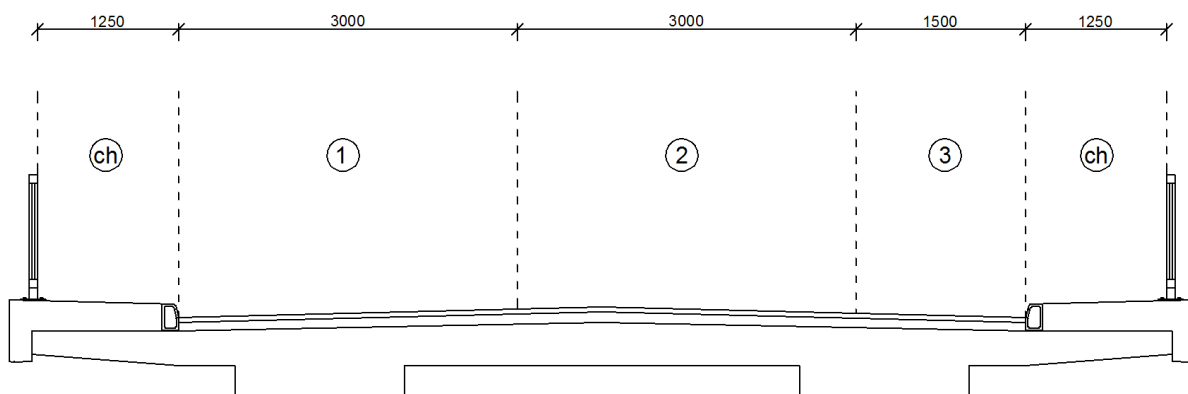
-neuvažuje sa zaťaženie teplotou

-šírkové usporiadanie na moste S7,5 – šírka medzi obrubami 7,5m

počet zaťažovacích pruhov

$$n_l = \text{Int}(w/3) = \text{Int}(7,5/3) = 2 \Rightarrow 2 \text{ zať. pruhy po } 3\text{m} + \text{prídavný } 1 \text{ pruh šírky } 1,5\text{m}$$

pre zaťaženie chodcami počítame s 2 zaťažovacími pruhmi (nejedná sa o núdzové chodníky)



### 2.2.1. MODEL ZAŤAŽENIA LM1

Model zaťaženie je tvorený - sústredeným zaťažením od dvojnápravy TS

- rovnomerným zaťažením UDL

pruh 1: TS  $\alpha_{Q1} \cdot Q_{1k} = 1,0 \cdot 300 = 300\text{kN}$

UDL  $\alpha_{q1} \cdot q_{1k} = 1,9 = 9\text{kN/m}^2$

pruh 2: TS  $\alpha_{Q2} \cdot Q_{2k} = 1,0 \cdot 200 = 200\text{kN}$

UDL  $\alpha_{q2} \cdot q_{2k} = 2,4 \cdot 2,5 = 6\text{kN/m}^2$

pruh 3: TS  $\alpha_{Q3} \cdot Q_{3k} = 1,0 = 0\text{kN}$

UDL  $\alpha_{q3} \cdot q_{3k} = 1,2 \cdot 2,5 = 3\text{kN/m}^2$

chodníky: UDL  $q_{ch} = 3\text{kN/m}^2$  (pre kombináciu  $g_{r1a}$ )

Každé koleso nápravy vyvodzuje zaťaženie  $0,5 \cdot Q_k$  na kontaktnej ploche  $0,4 \times 0,4\text{m}$ .

### 2.2.2. MODEL ZAŤAŽENIA LM3

Model predstavuje pohyb zvláštneho vozidla po moste. Pre cestu III. triedy (PK skupiny 1) sa uvažuje s vozidlom 900/150. Na zvyšku mosta sa počíta s vylúčenou dopravou.

- uvažuje sa pohyb vozidla v 1. pruhu a zaťažovacie pruhy bez krajníc a prúžkov

- 6 náprav po 150kN

- celková tiaž vozidla 900kN

- uvažuje sa normálna zaťažovacia rýchlosť ( $\leq 70\text{km/h}$ )

- dynamický súčiniteľ  $\varphi = 1,25$

### 2.2.3. MODEL ZAŤAŽENIA LM4

Jedná sa o zaťaženie davom ľudí. S týmto druhom zaťaženia počítame vo všetkých zaťažovacích pruhoch vozovky i oboch zaťažovacích pruhoch chodníkov.

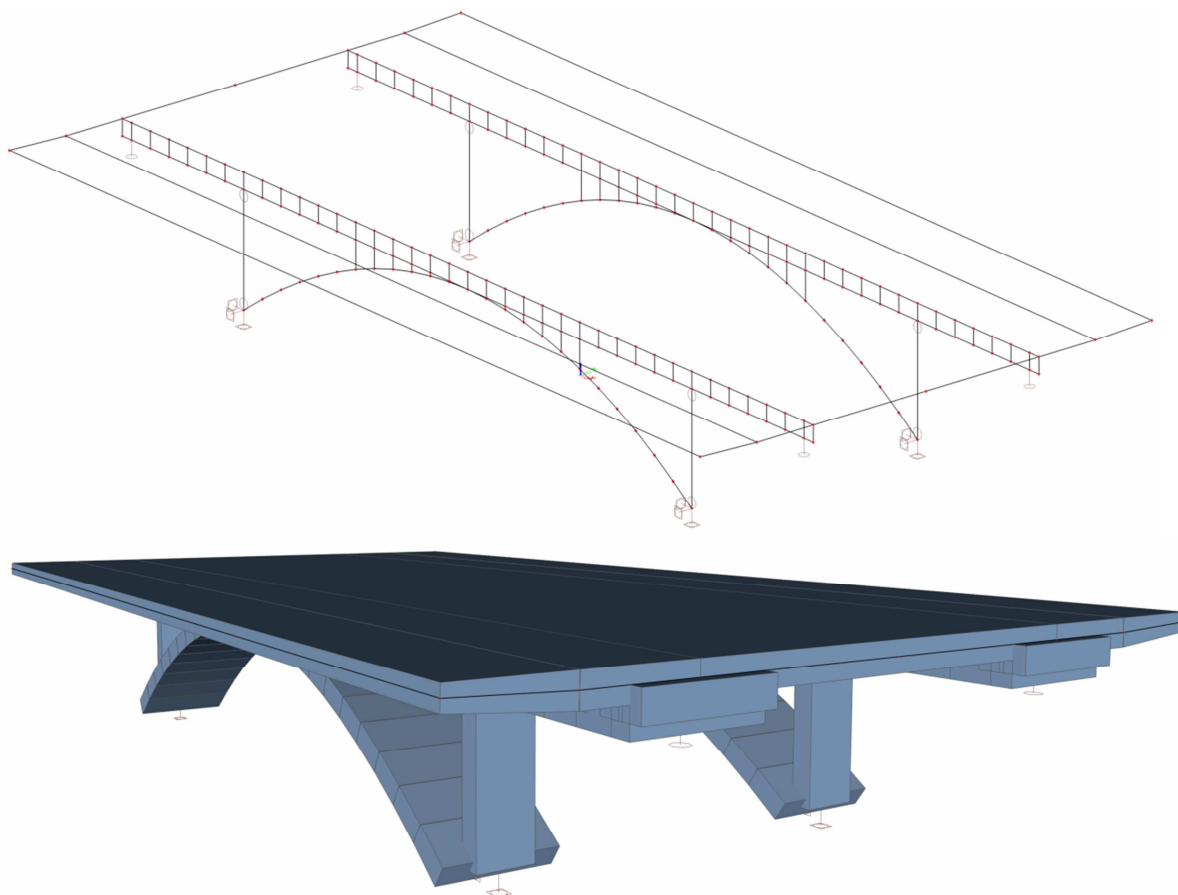
-uvažovaná hodnota plošného zaťaženia  $5\text{kN/m}^2$  (vrátane dynamického súčiniteľa)

### 2.2.4. ZOSTAVY ZAŤAŽENIA DOPRAVOU

Pri kombinovaní zaťažení boli spočítané hodnoty pre zostavy zaťaženia dopravou gr1a, gr4 a gr5. Pre zostavu gr1a bola uvažovaná tabuľková hodnota rovnomerného zaťaženia chodcami  $3\text{kN/m}^2$ .

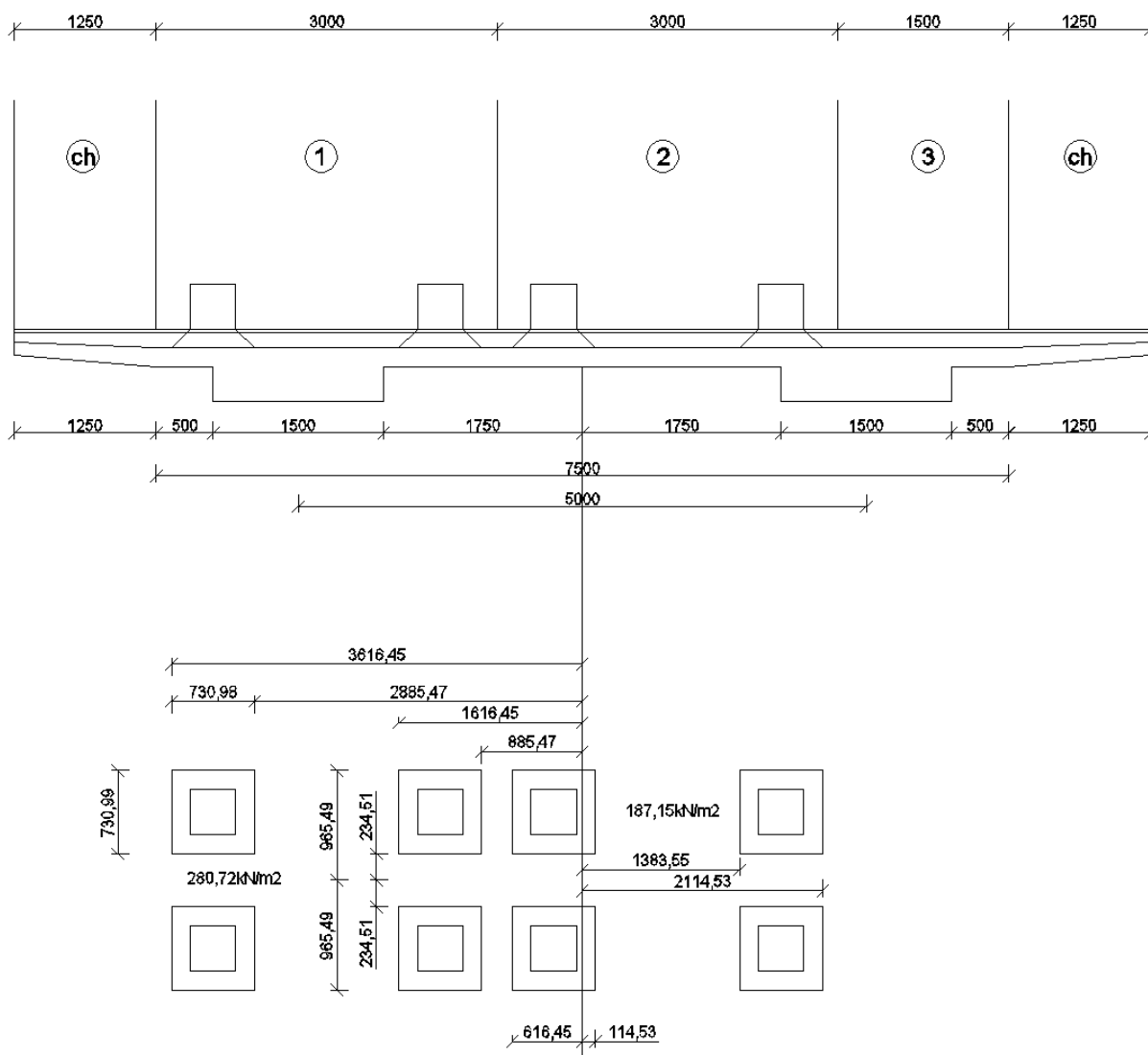
## 3. IDEALIZOVANÝ PRIESTOROVÝ MODEL

Idealizovaný priestorový model je tvorený kombináciou doskových a prútových prvkov. Prierez priečne nábehovanej dosky bol idealizovaný na rovnoplochý prierez s rovnou vrchnou hranou. Pre vystihnutie geometrie nosnej konštrukcie bol zvolený systém dosky na každej strane pozdĺžne podporovaný trámom reprezentovaným priestorovým prútom, ktorý je podoprený na kyvných stojkách, ložiskách a v strede geometriou splynie s parabolickým oblúkom. Oblúky sú v päťach riešené votknutím. Vo vzdialenosti 3m od stredu rozpätia bola výška stojky príliš malá a bolo pristúpené k úvahe prebetónovania priestoru medzi trámom a oblúkom v šírke prierezu stojky. Následne bol model vytvorený v prostredí programu Scia Engineer s príslušnými rozmermi a vypočítaný pomocou metódy MKP.

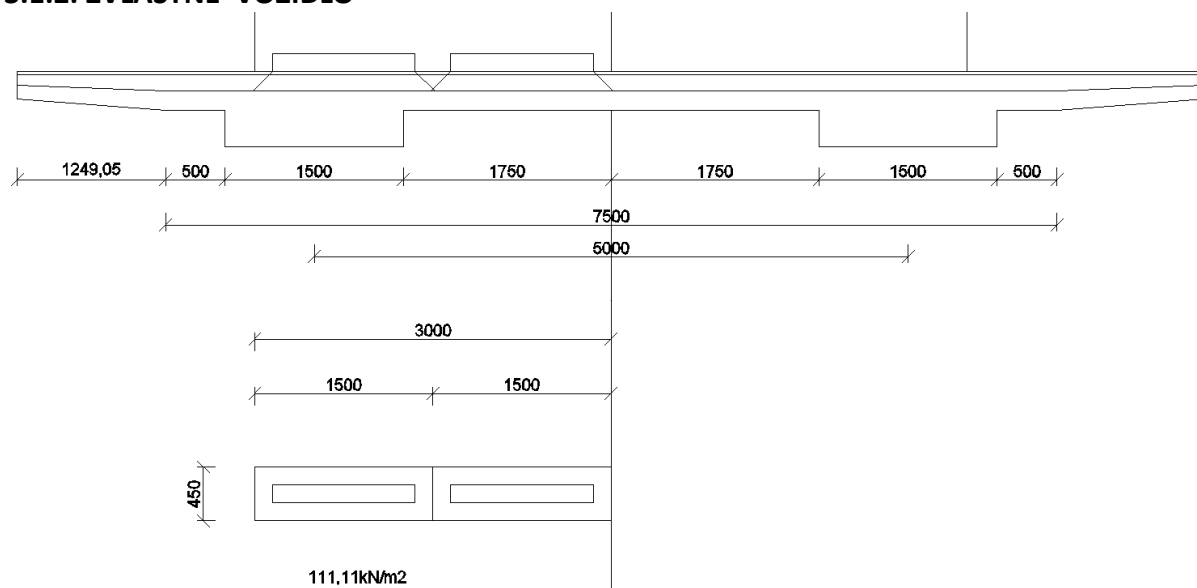


### 3.1. ROZNOS ZAŘAŽENIA

#### 3.1.1. TS

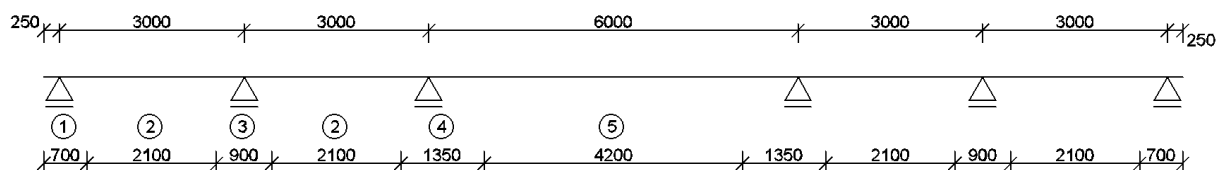


#### 3.1.2. ZVLÁŠTNÉ VOZIDLO



### 3.2. SPOLUPÔSOBIACE ŠÍRKY DOSKY S TRÁMOM

Pre jednotlivé miesta nosnej konštrukcie po dĺžke trámu boli podľa priebehu vnútorných síl na modeli nasledovne stanovené spolupôsobiacie šírky dosky s trámom:



pozn. kóty pod obrázkom sa vzťahujú na dĺžky  $l_0$  jednotlivých úsekov podľa kót na obrázkom

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

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

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

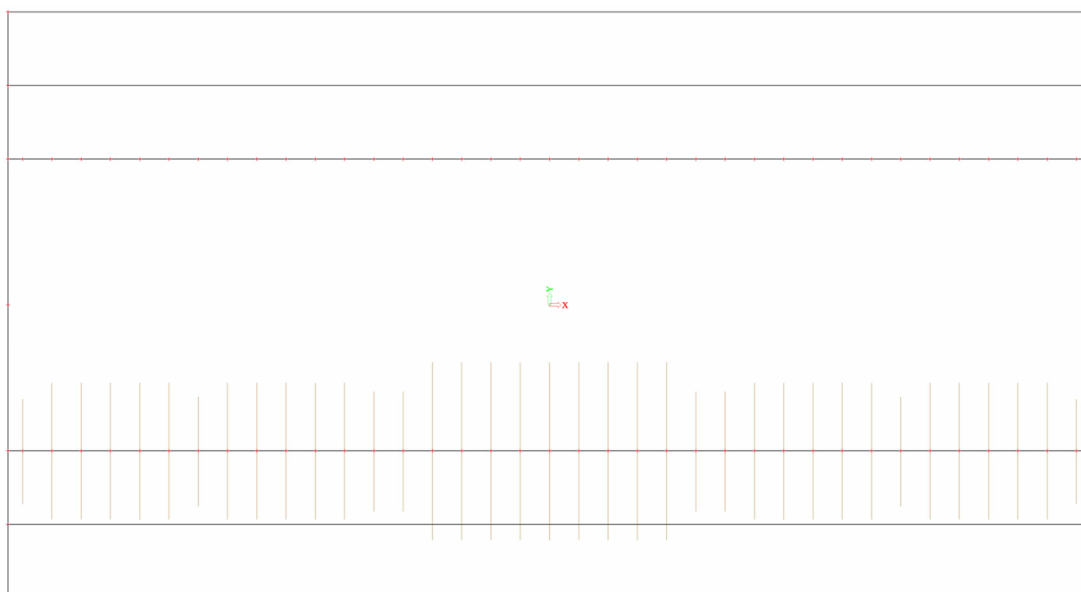
$$b_w = 1500\text{mm}$$

$$b_1 = b_2 = 1750\text{mm}$$

①	$b_{\text{eff},i} = 140\text{mm}$	$b_{\text{eff}} = 1780\text{mm}$
②	$b_{\text{eff},i} = 420\text{mm}$	$b_{\text{eff}} = 2340\text{mm}$
③	$b_{\text{eff},i} = 180\text{mm}$	$b_{\text{eff}} = 1860\text{mm}$
④	$b_{\text{eff},i} = 270\text{mm}$	$b_{\text{eff}} = 2040\text{mm}$
⑤	$b_{\text{eff},i} = 770\text{mm}$	$b_{\text{eff}} = 3040\text{mm}$

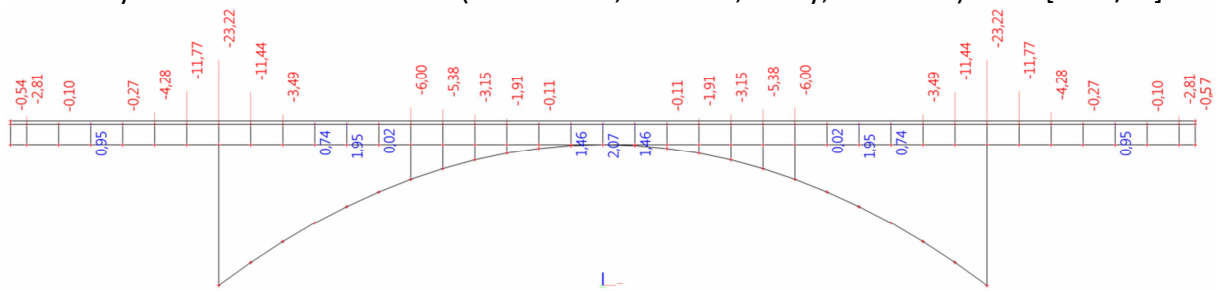
### 3.3. VNÚTORNÉ SILY NA TRÁME

Na základe spolupôsobiacich šírok boli na doske vytvorené kolmé rezy, z ktorých boli vnútorné sily integrované na šírku trámu.

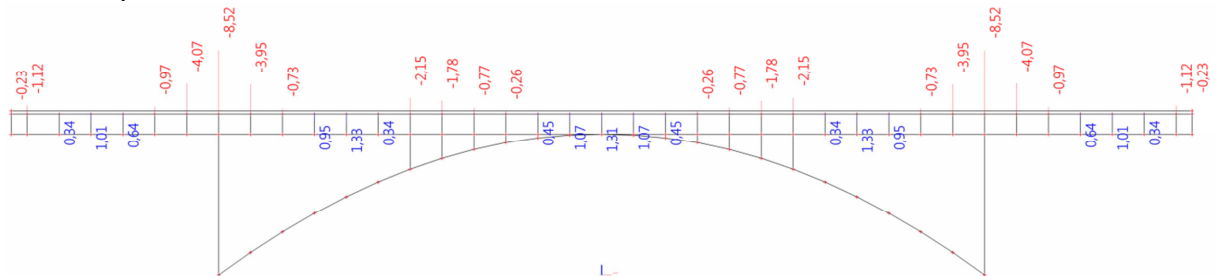


## Výpočet momentů M

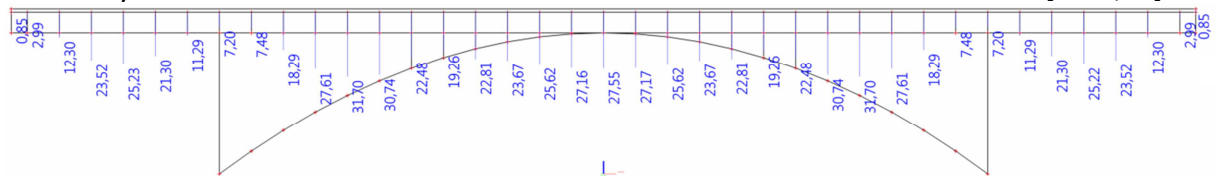
momenty  $m_x$  od stálého zatáženía (vlastná tiaž, vozovka, rímasy, zábradlie) [kNm/m]



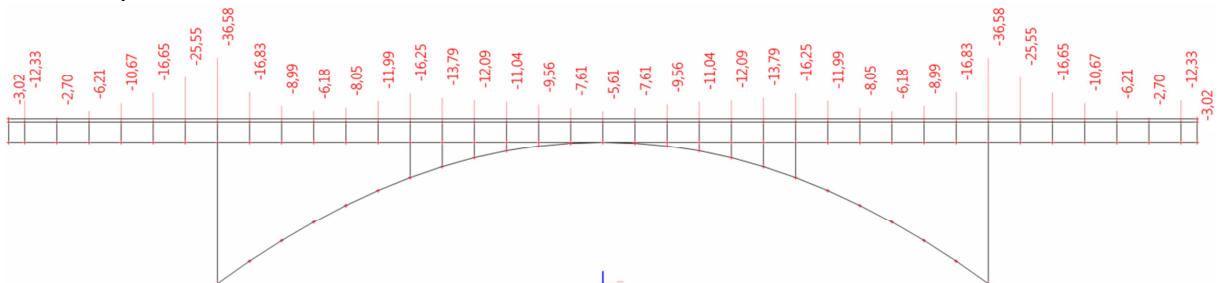
momenty  $m_x$  od UDL + chodcov [kNm/m]



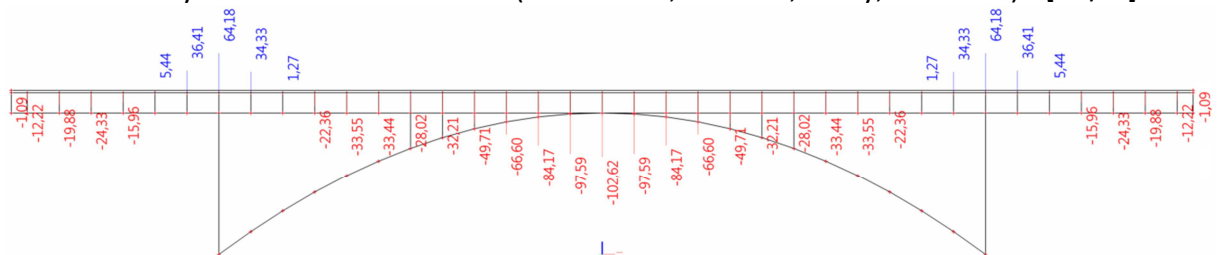
momenty  $m_x$  od TS – obálka maximum [kNm/m]



momenty  $m_x$  od TS – obálka minimum [kNm/m]

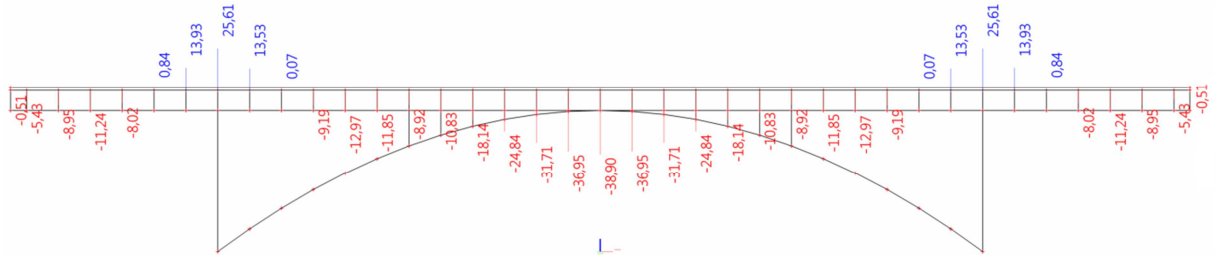


normálové sily  $n_x$  od stálého zatáženía (vlastná tiaž, vozovka, rímasy, zábradlie) [kN/m]



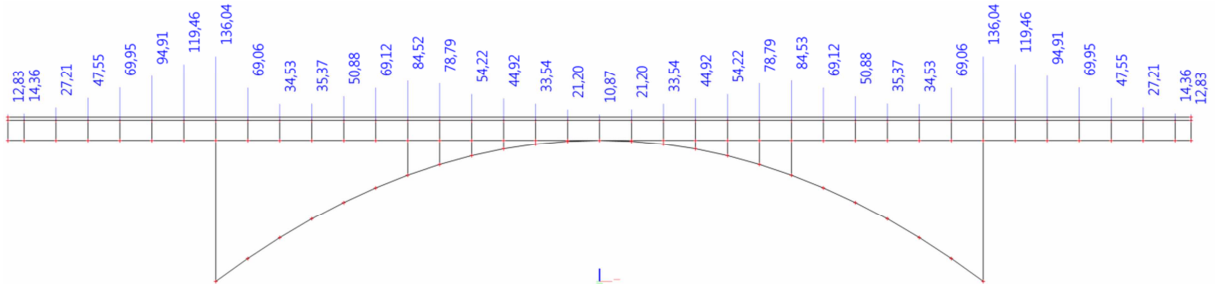
normálové sily  $n_x$  od UDL + chodcov

[kN/m]



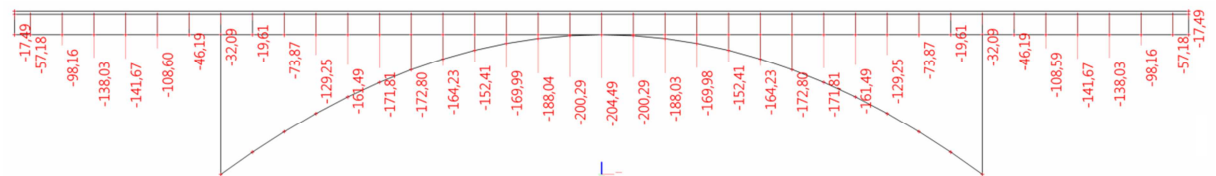
normálové sily  $n_x$  od TS – obálka maximum

[kN/m]



normálové sily  $n_x$  od TS – obálka minimum

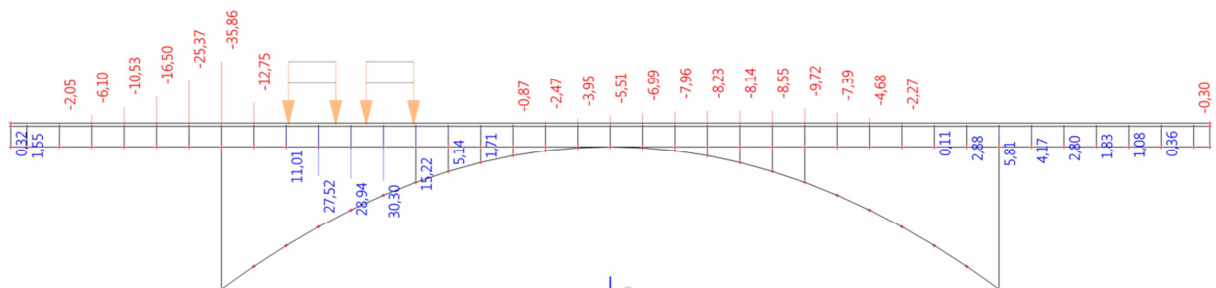
[kN/m]



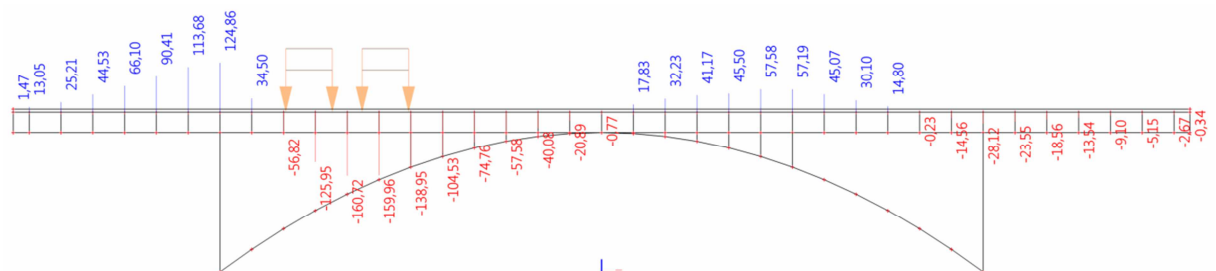
Boli určené kritické rezy v ktorých sú momenty a normálové sily najväčšie a preto boli vytiahnuté zaťažovacie stavy TS zodpovedné za tieto extrémne hodnoty.

extrémny moment nad podporou –  $m_x$  a k nemu odpovedajúce  $n_x$

$m_x$

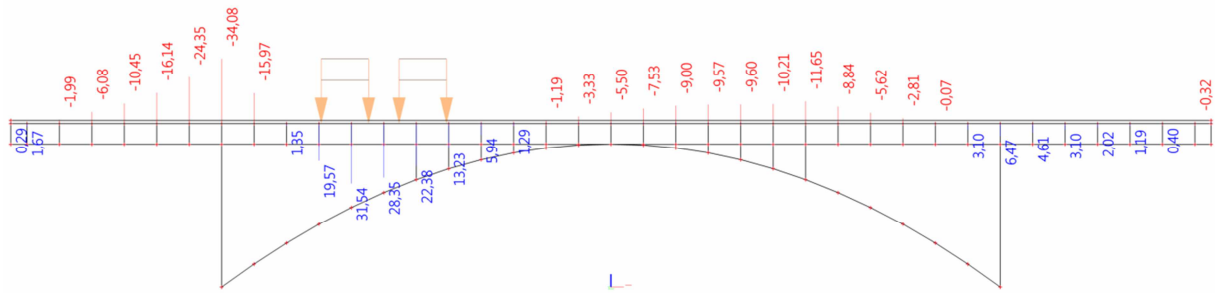


$n_x$

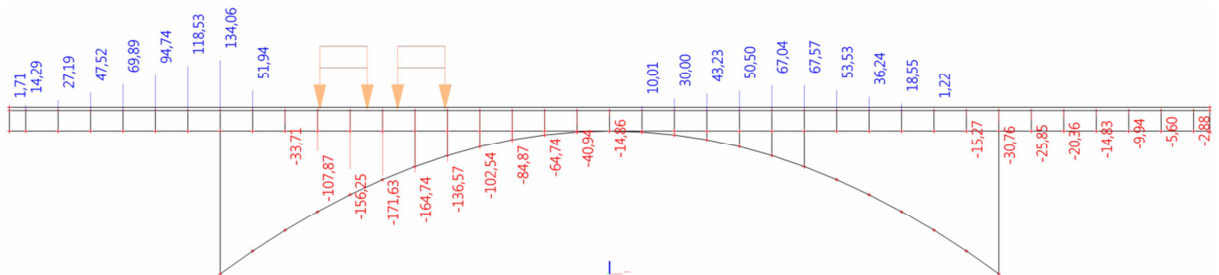


extrémny moment v poli –  $m_x$  a k nemu odpovedajúce  $n_x$

$m_x$

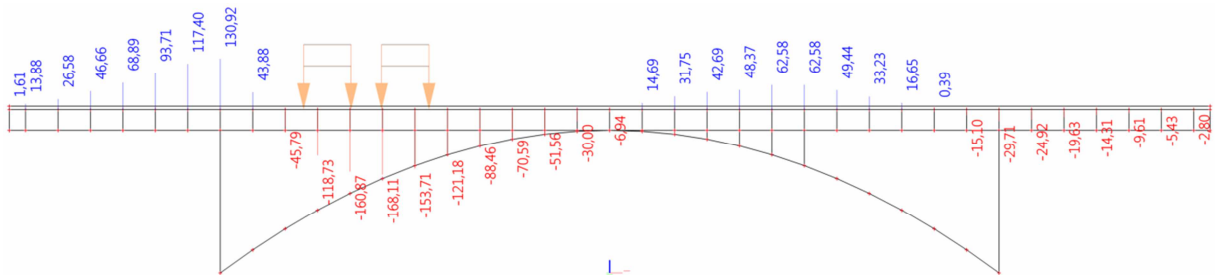


$n_x$

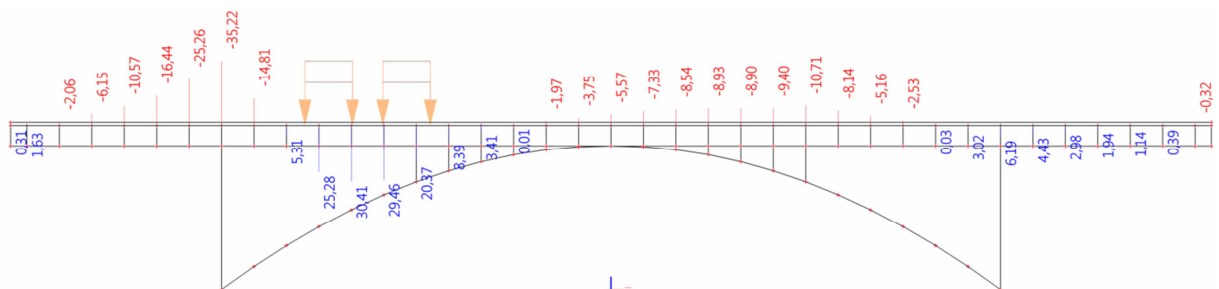


extrémna normálová sila v poli –  $n_x$  a k nemu odpovedajúce  $m_x$

$n_x$

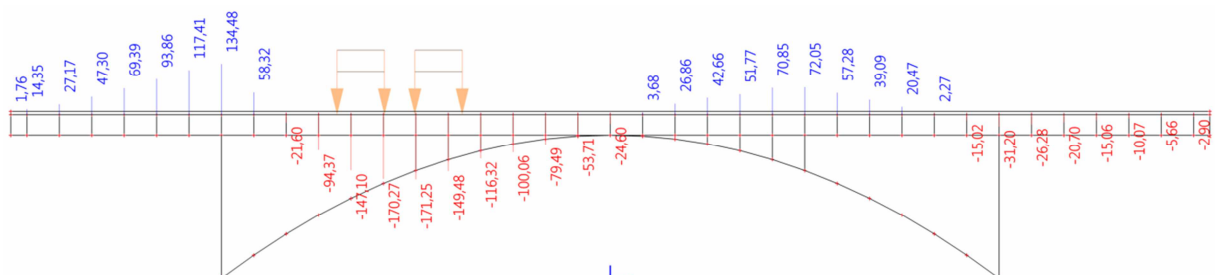


$m_x$

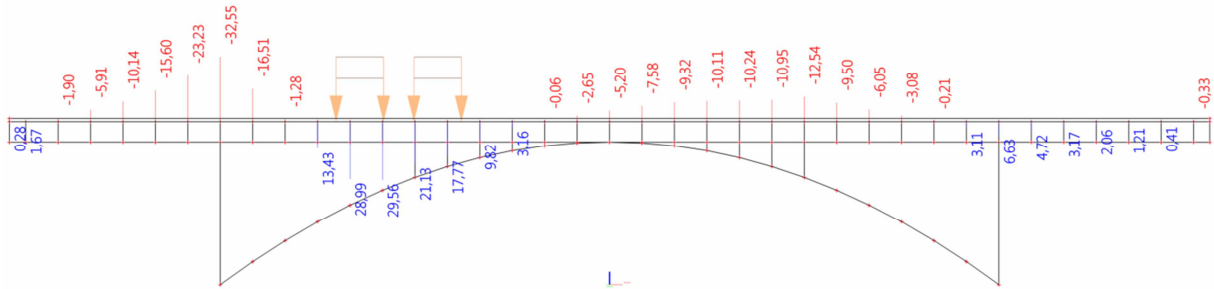


extrémna normálová sila nad podporou –  $n_x$  a k nej odpovedajúci moment

$n_x$

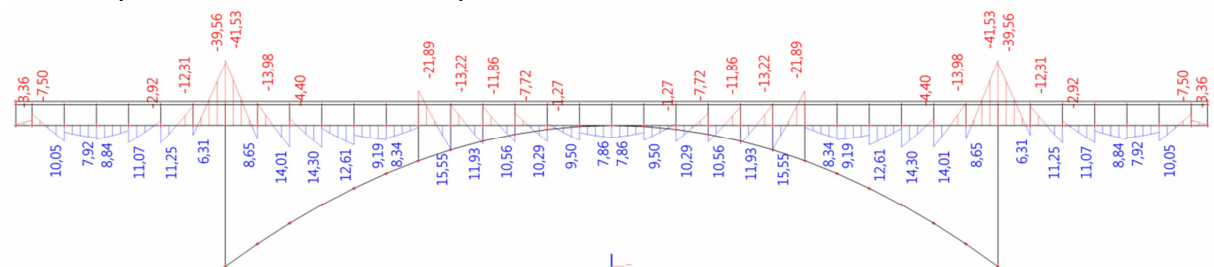


mx

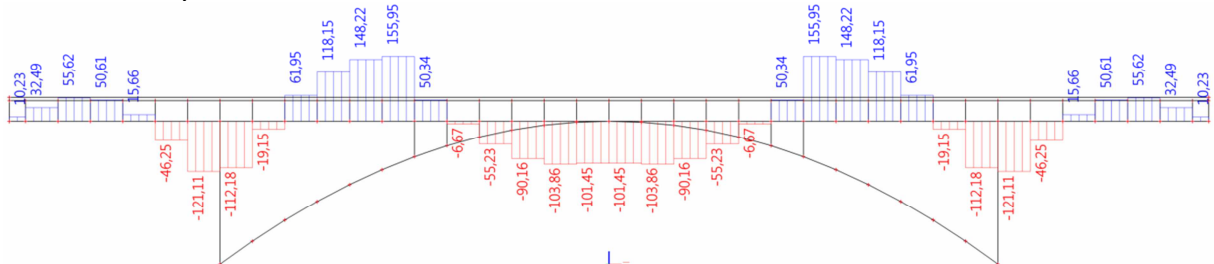


V tých istých zaťažovacích stavoch majú nasledujúce výsledky vnútorné sily na tráme:

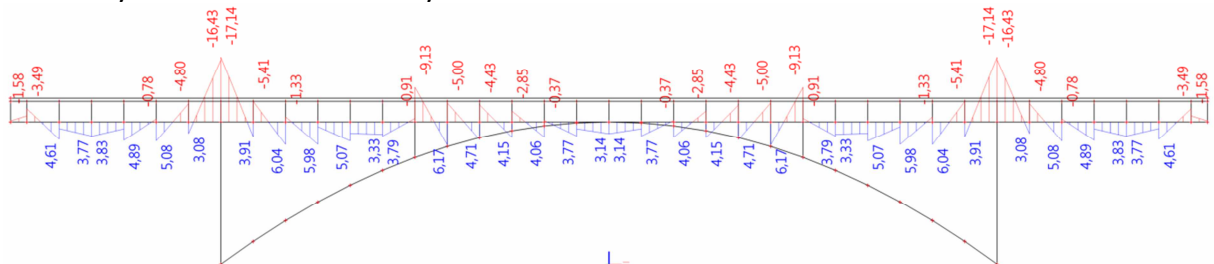
momenty od stálego zaťaženia - My



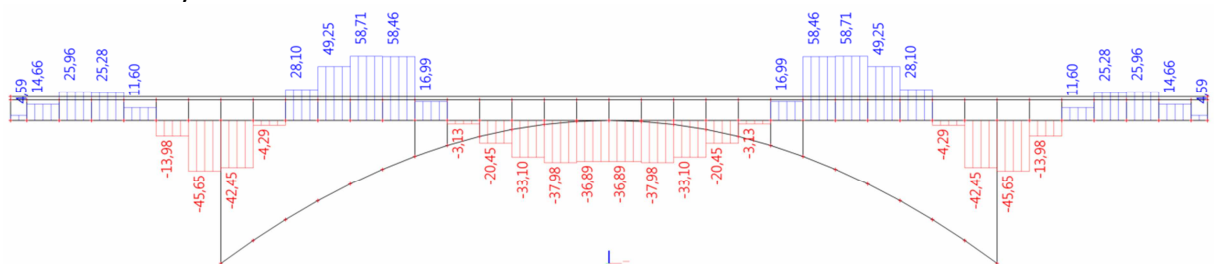
normálové sily od stálego zaťaženia - N



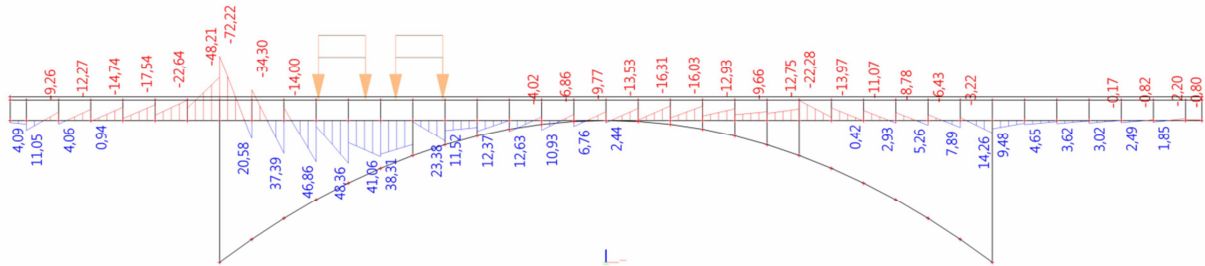
momenty od UDL + chodcov - My



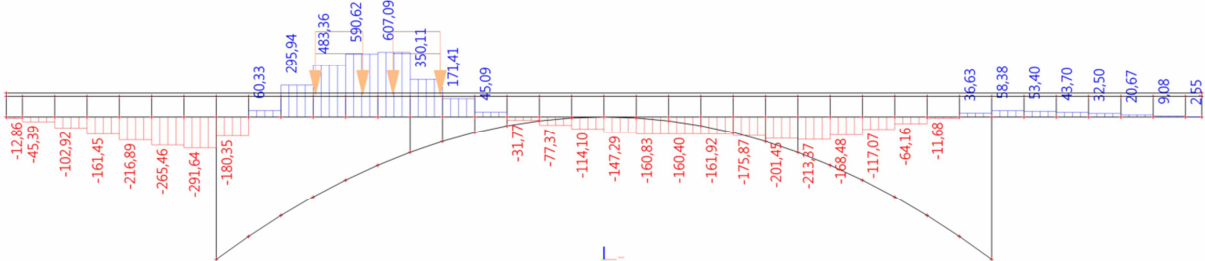
normálové sily od UDL + chodcov - N



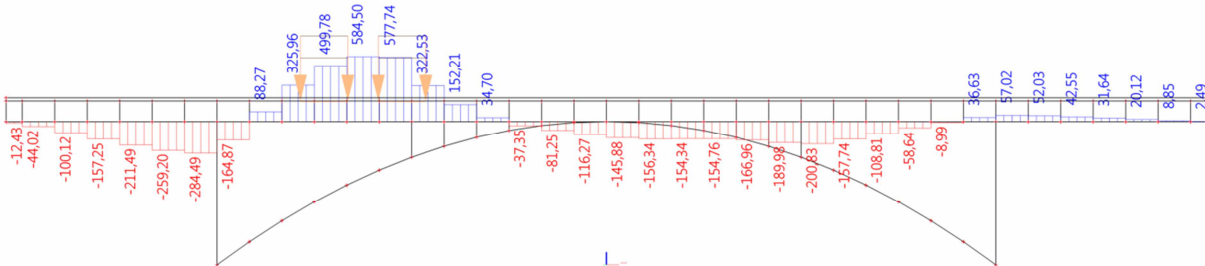
maximální moment v poli –My



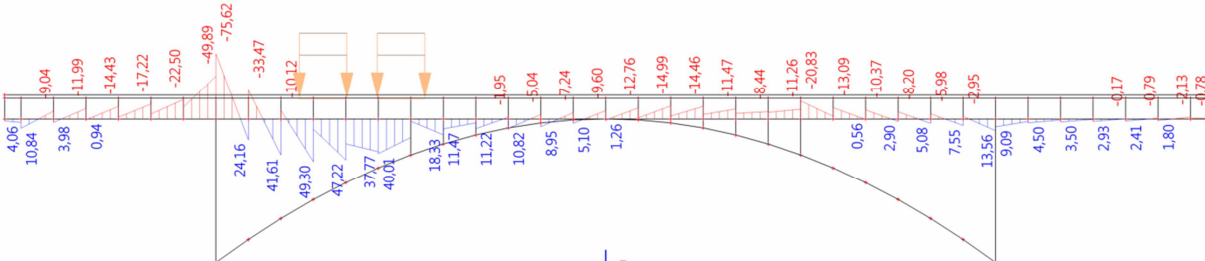
odpovídající N



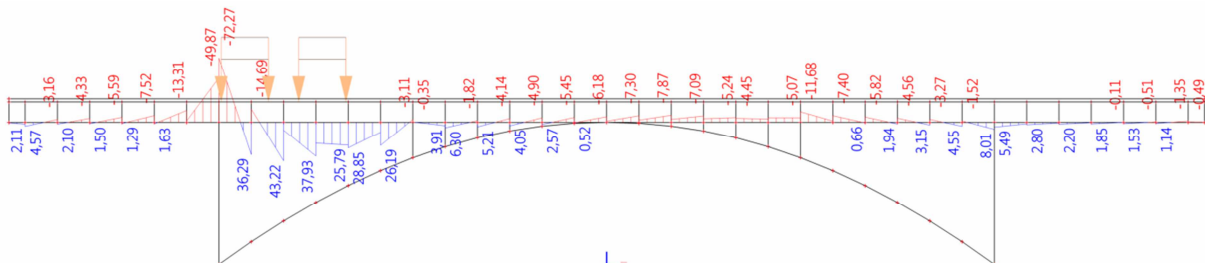
maximální normálová síla v poli – N



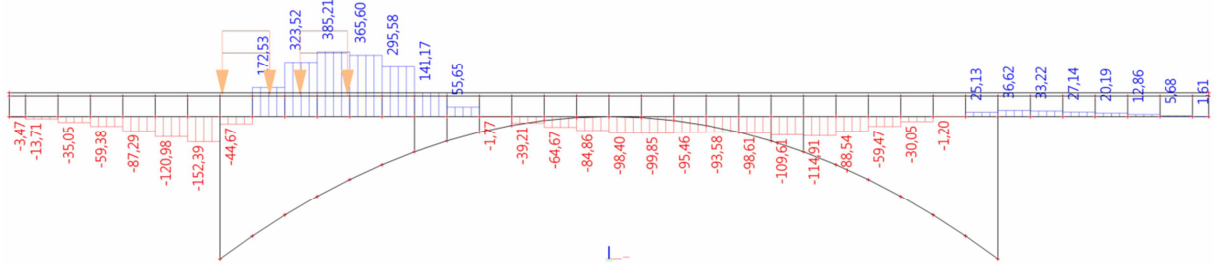
odpovídající My



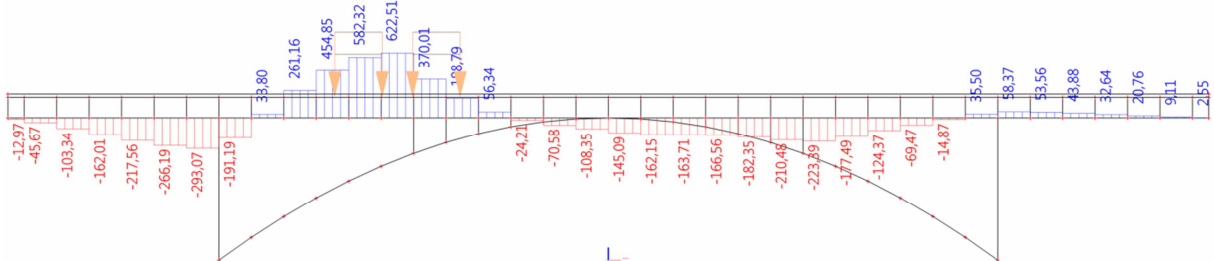
maximální moment nad podporou - My



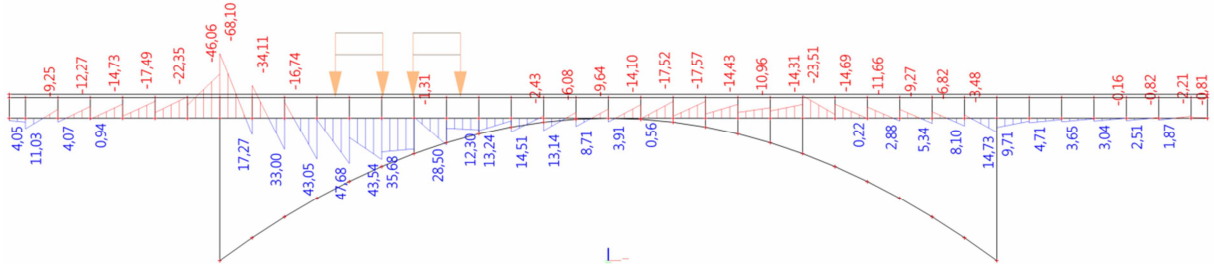
odpovídající N



maximální normálová síla nad podporou -N

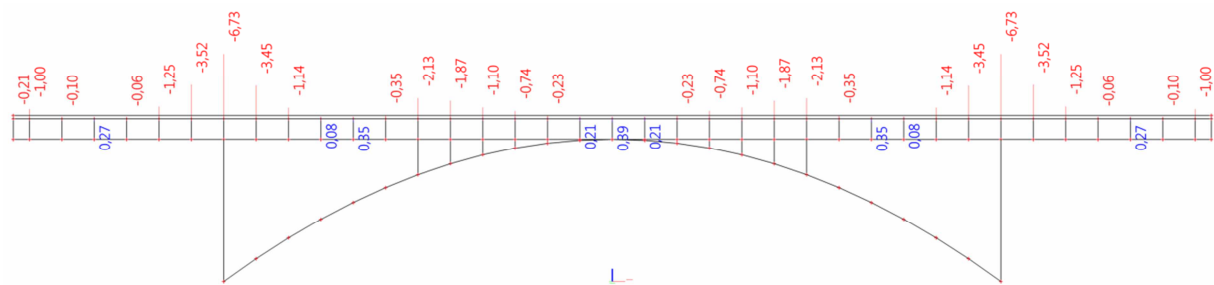


odpovídající M

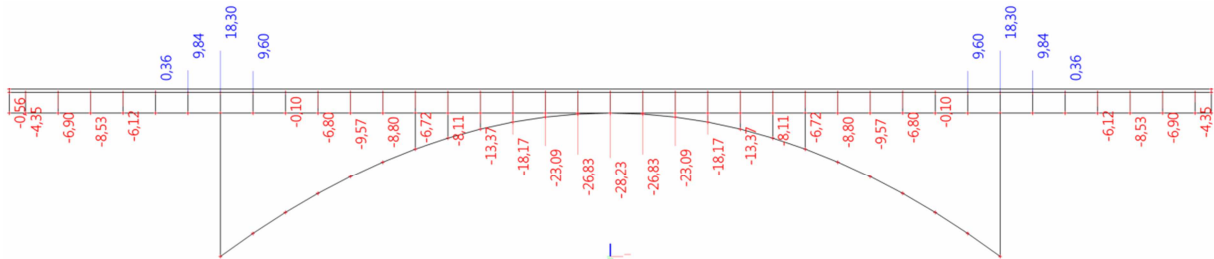


Následuje vytáhnutí hodnot pre zaťaženie chodcami LM4 - doska:

moment od zaťaženia chodcami - mx

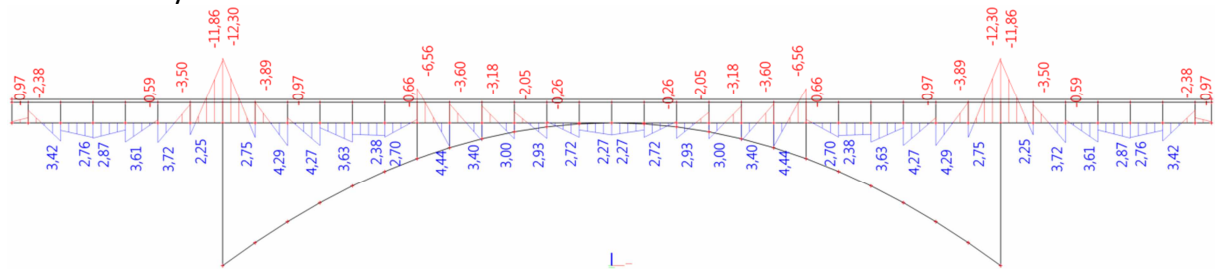


normálové síly od zaťaženia chodcami - nx

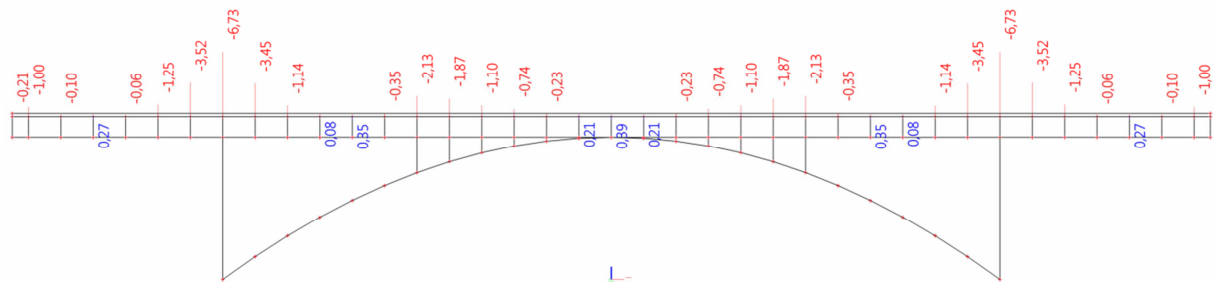


Hodnoty LM4 pre trám:

moment -  $M_y$

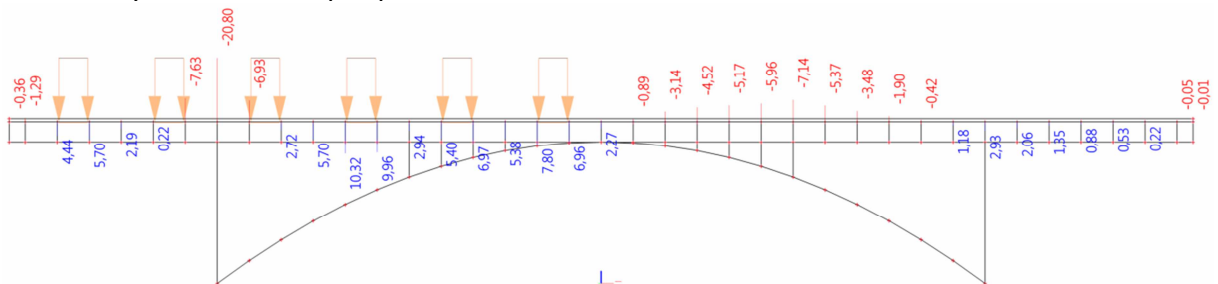


normálové sily -  $N$

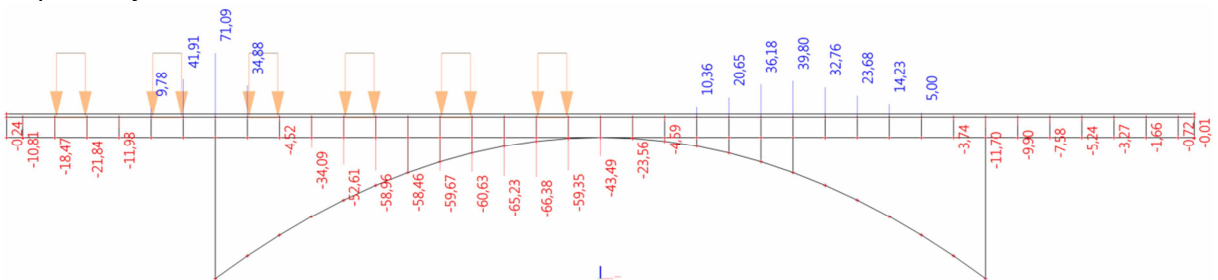


Vyhodnotenie vnútorných síl pre LM3 – doska:

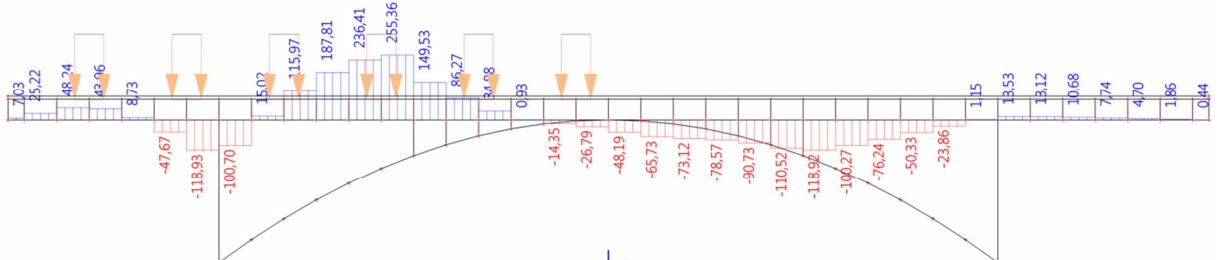
maximálny moment nad podporou  $m_x$



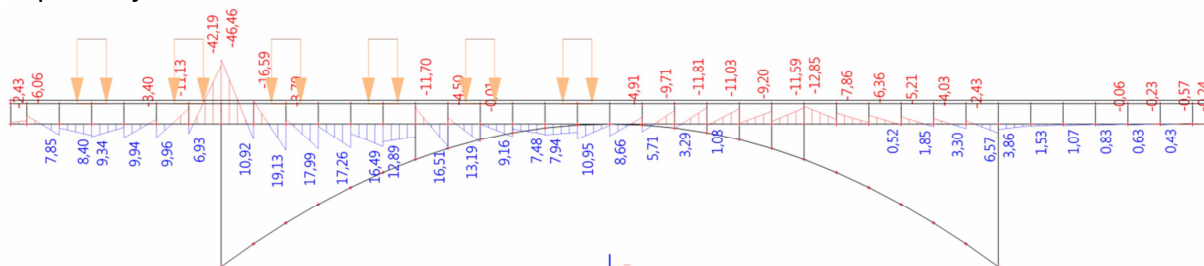
odpovedajúce  $n_x$



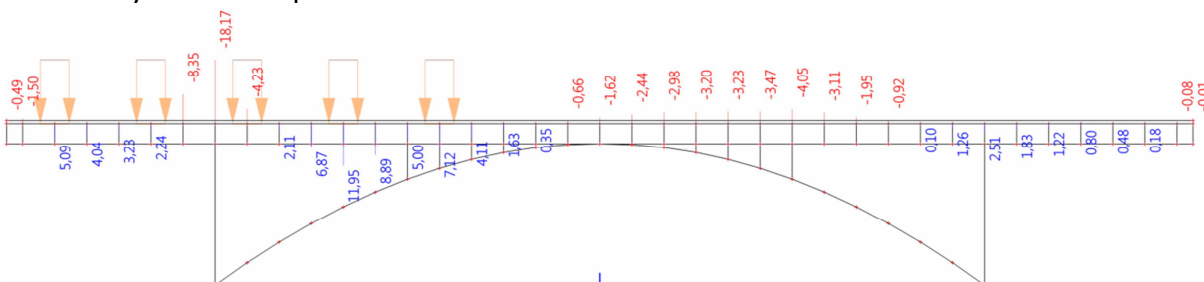
maximálna normálová sila nad podporou  $n_x$



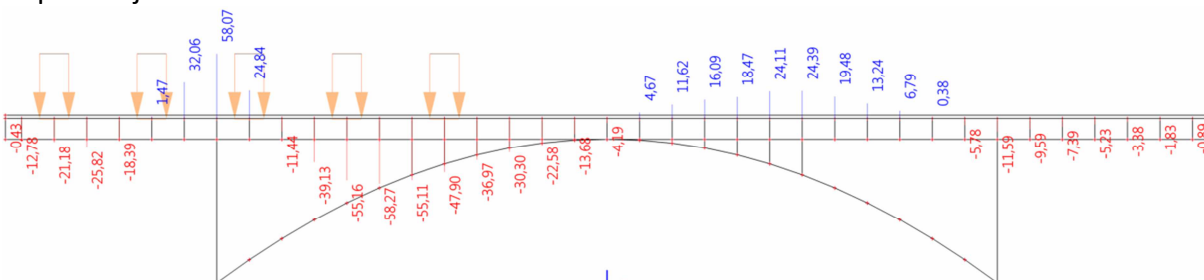
odpovídající  $m_x$



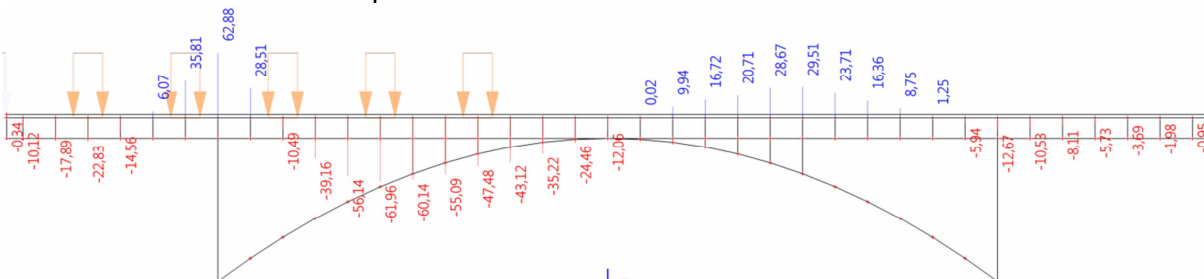
maximální moment v poli  $m_x$



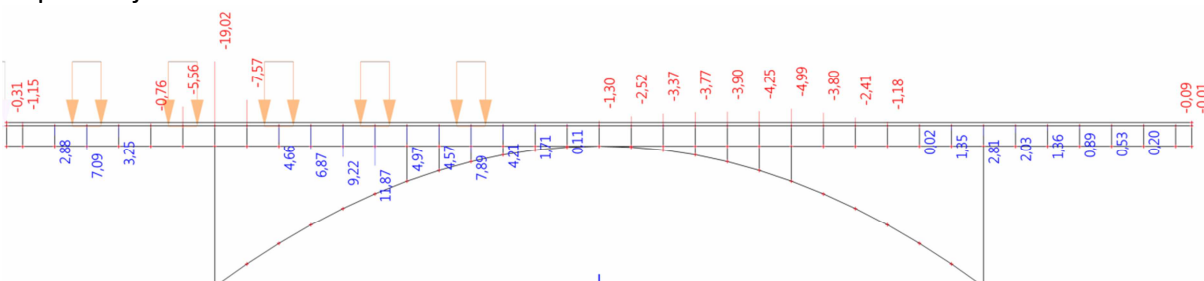
odpovídající  $n_x$



maximální normálová síla v poli  $n_x$

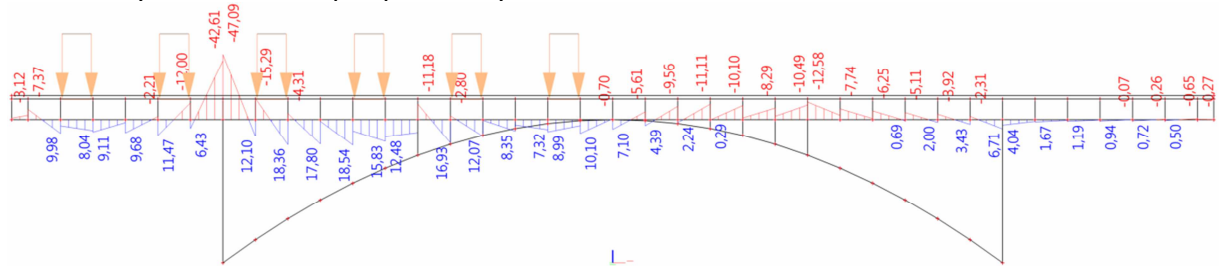


odpovídající  $m_x$

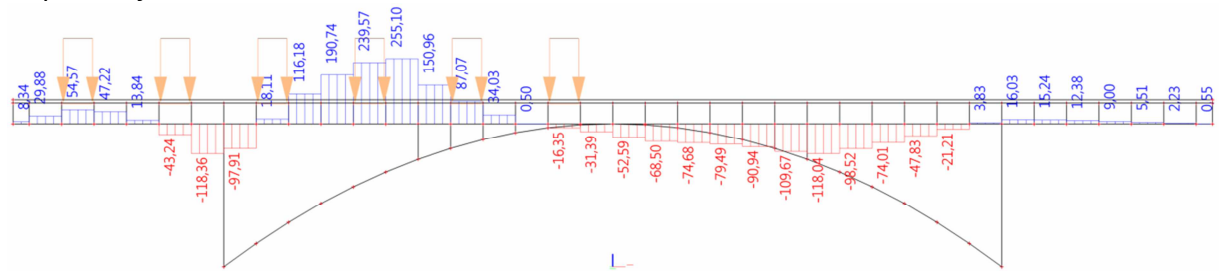


Vnúťorné sily pre LM3 – trám:

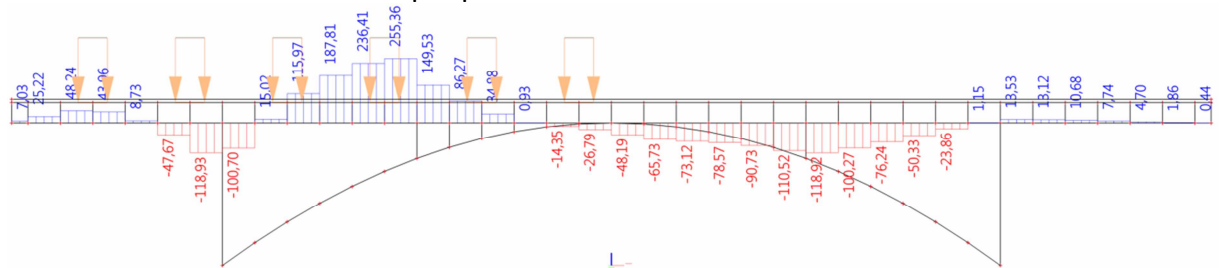
maximálny moment nad podporou  $M_y$



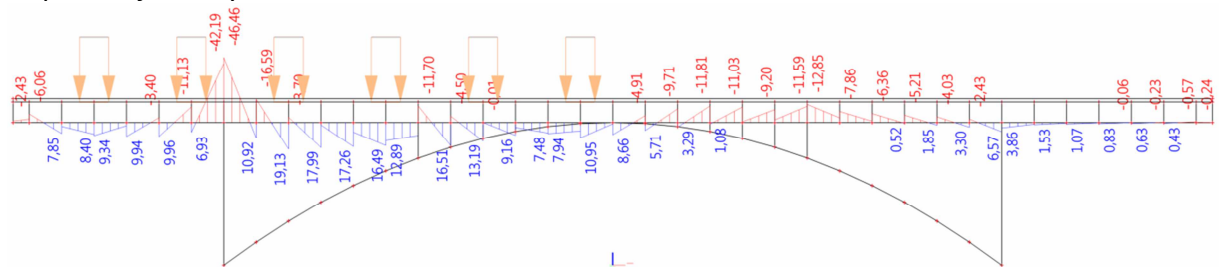
odpovedajúce N



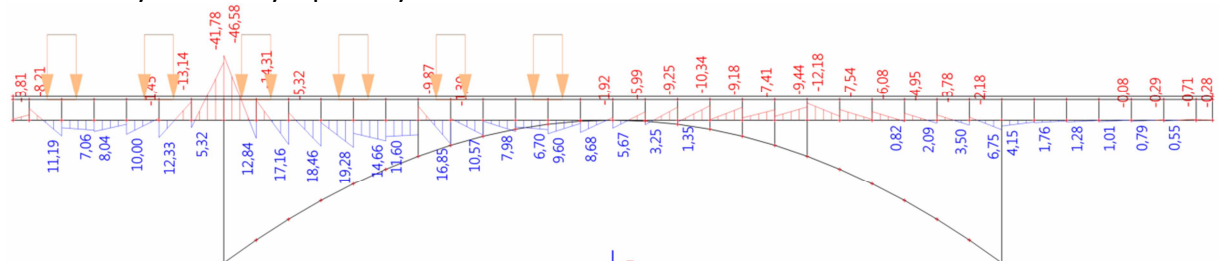
maximálna normálová sila nad podporou N



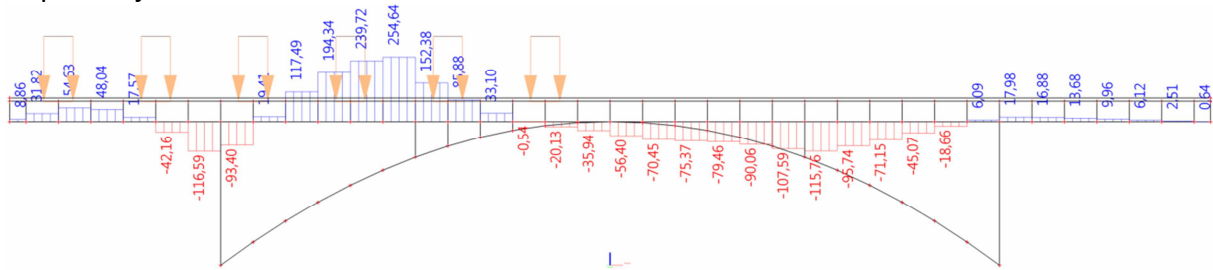
odpovedajúce  $M_y$



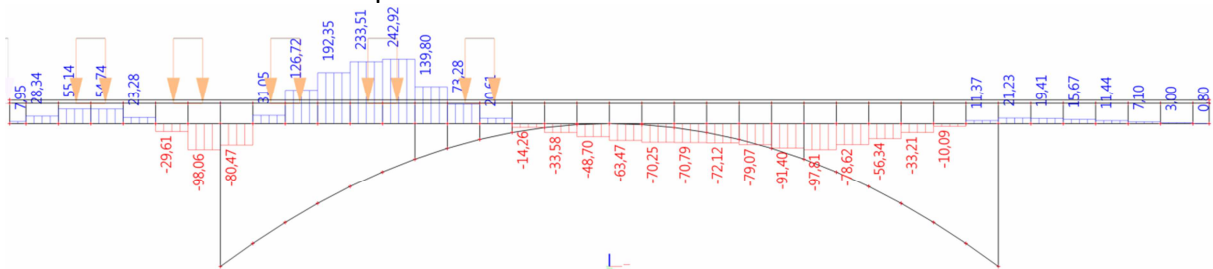
maximálny momenty v poli  $M_y$



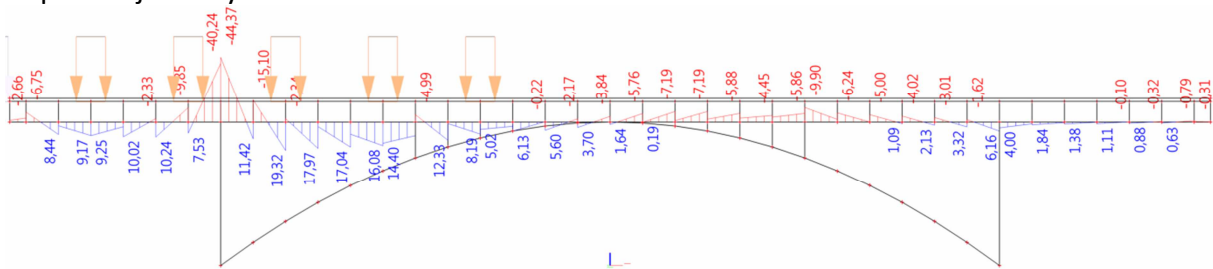
odpovídající N



maximální normálová síla v poli N



odpovídající  $M_y$



V tabulce sú prehľadne usporiadané výpočty momentov pre jednotlivé počítané miesta:

excentricity k spoločnému ťažisku:

$$e_t = 0,25\text{m}$$

$$e_d = -0,07\text{m}$$

spolupôsobiacie šírky - nad podporou  $b_{eff} = 1,86\text{m}$

- v poli  $b_{eff} = 2,34\text{m}$

Vzorec použitý v tabulke pre výpočet celkového momentu od daného zaťaženia:

$$M = [M_D + N_d \cdot e_d] \cdot b_{eff} + M_t + N_t \cdot e_t$$

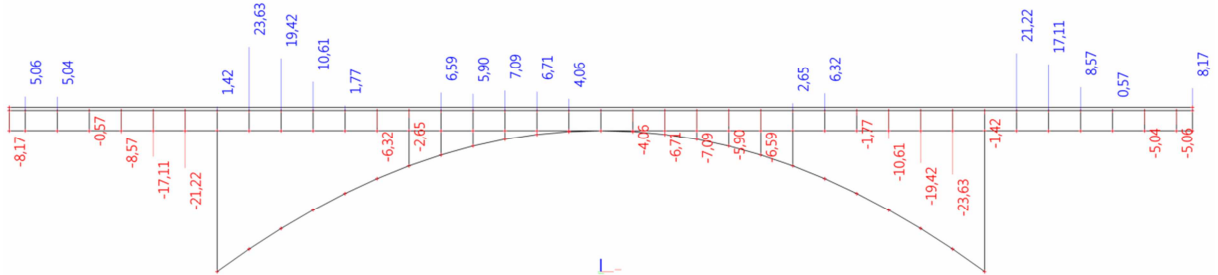
<i>zaťaženie</i>	<i>miesto</i>	<i>extrém</i>	<i>doska/trám</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>M(+/-) [kNm]</i>
<b>stále</b>	podpora	-	doska	-23,22	64,18	<b>-121,12</b>
			trám	-41,53	-112,18	
	pole	-	doska	1,95	-33,59	<b>53,90</b>
			trám	14,30	118,15	
<b>UDL+chodci</b>	podpora	-	doska	-8,52	25,61	<b>-46,93</b>
			trám	-17,14	-42,45	
	pole	-	doska	1,33	-12,97	<b>25,89</b>
			trám	5,98	58,71	
<b>TS</b>	podpora	max M	doska	-35,86	124,86	-166,39
			trám	-72,27	-44,67	
		max N	doska	-32,55	134,48	<b>-193,95</b>
			trám	-68,10	-191,19	
	pole	max M	doska	31,54	-156,25	<b>295,41</b>
			trám	48,36	590,62	
		max N	doska	30,41	-160,78	290,84
			trám	47,22	584,5	
<b>LM3</b>	podpora	max M	doska	-20,8	71,09	<b>-119,51</b>
			trám	-47,09	-97,91	
		max N	doska	-20,25	71,18	-118,57
			trám	-46,16	-100,7	
	pole	max M	doska	11,95	-55,16	<b>109,65</b>
			trám	17,89	219,06	
		max N	doska	9,22	-56,14	106,19
			trám	17,04	233,51	
<b>LM4</b>	podpora	-	doska	-6,73	18,30	<b>-35,04</b>
			trám	-12,30	-31,37	
	pole	-	doska	0,35	-9,57	<b>15,19</b>
			trám	4,27	34,14	

Z vypočítaných hodnôt môžeme konštatovať, že pre získanie maximálnych momentov bude pre momenty rozhodujúca zostava **gr1a** zložená z TS, UDL a chodcov.

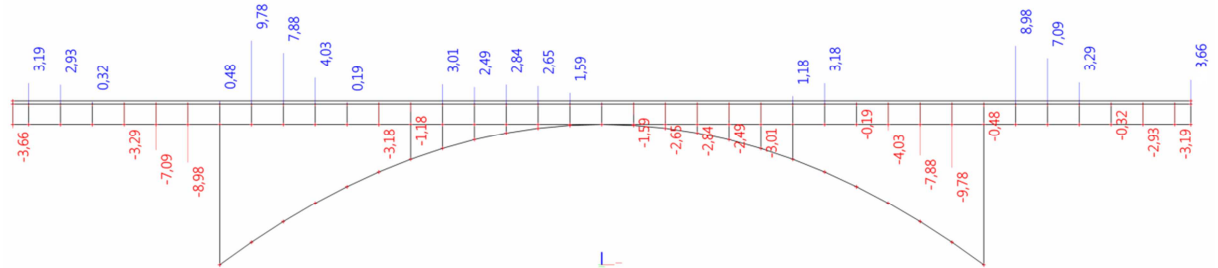
## Posuvající síly V

posuvající síly na dosce:

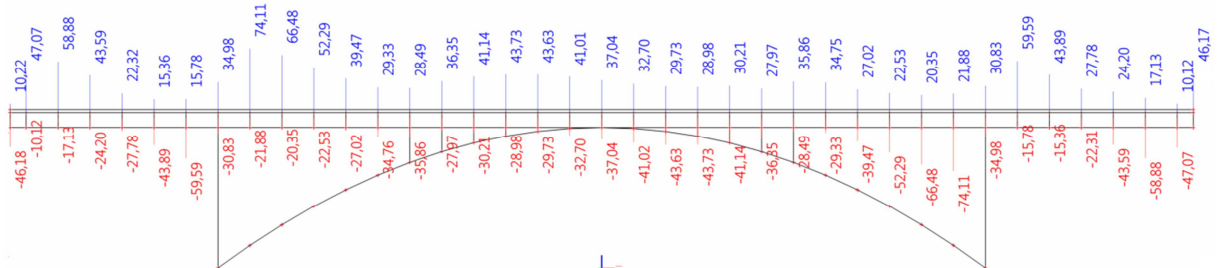
stále zatáženie -vx



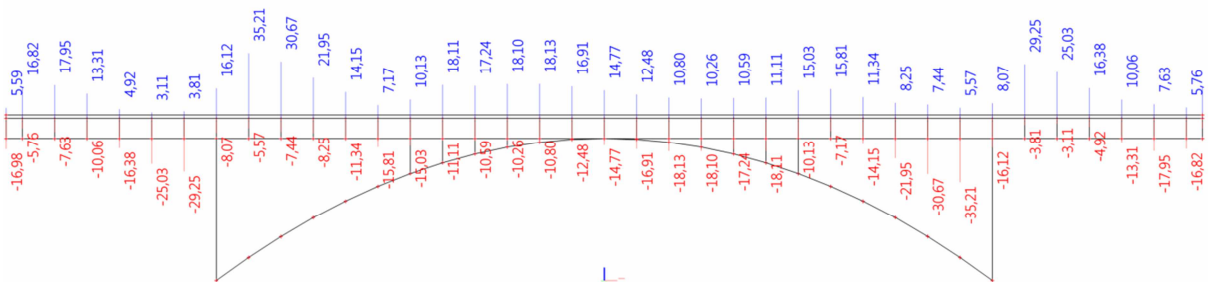
UDL+chodci -vx



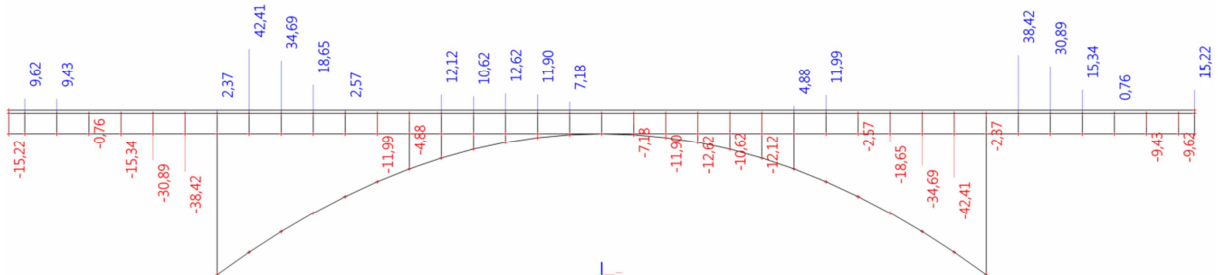
TS -vx



LM3 -vx

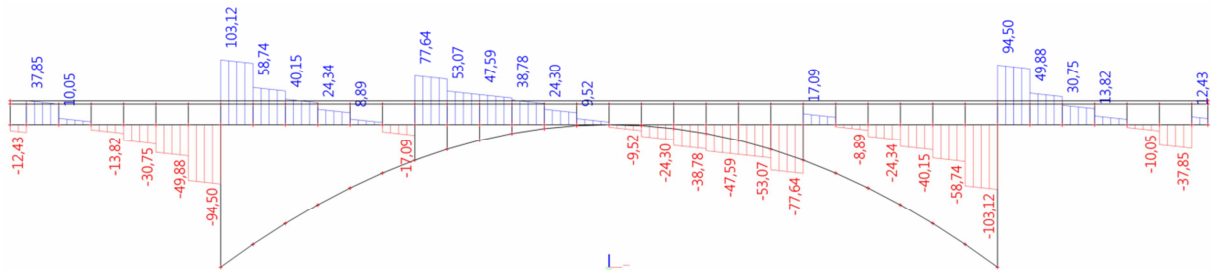


LM4 -vx

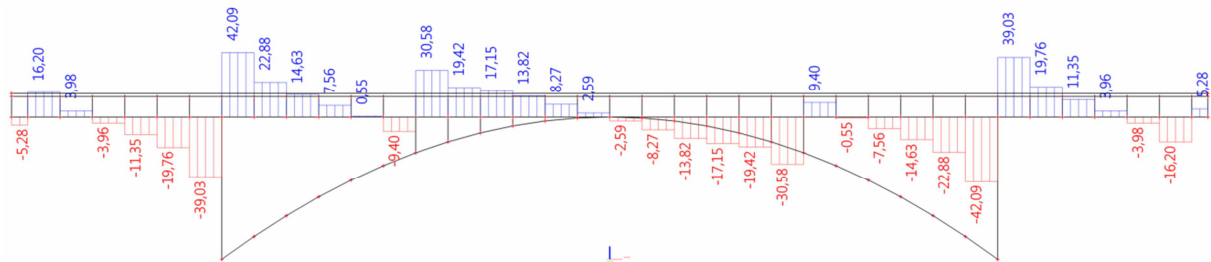


posouvající síly na trámu:

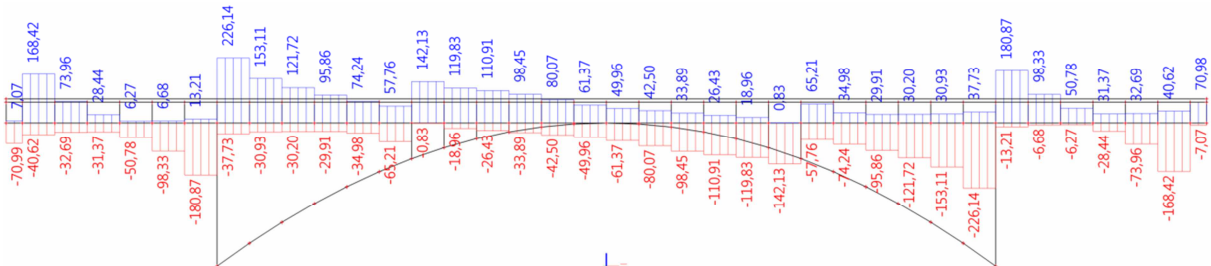
stále  $-V_z$



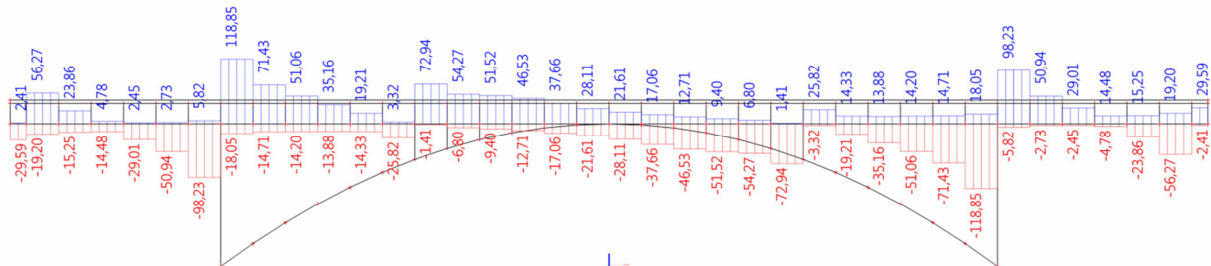
UDL+chodci  $-V_z$



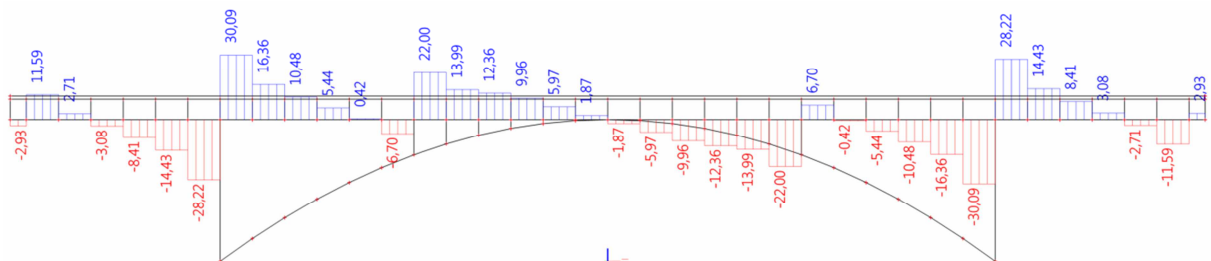
TS  $-V_z$



LM3  $-V_z$



LM4  $-V_z$



Spolupôsobíaca šírka dosky nad kypnou stojkou:

$$b_{\text{eff}} = 1,86\text{m}$$

Vzorec použitý v tabulce pro výpočet celkové působící posouvající síly V:

$$V = v_x \cdot b_{eff} + V_z$$

<i>zaťaženie</i>	<i>vx</i>	<i>Vz</i>	<i>V</i>
<b>stále</b>	1,42	103,12	<b>105,76</b>
<b>UDL+chodci</b>	0,48	42,09	<b>42,98</b>
<b>TS</b>	34,98	226,14	<b>291,20</b>
<b>LM3</b>	16,12	118,85	<b>148,83</b>
<b>LM4</b>	2,37	30,09	<b>34,50</b>

Z daných zaťažení největší posouvající síly vyvodzuje zosťava **gr1a** zložená z TS, UDL a chodcov.

### 3.4. KOMBINÁCIE PRE MSÚ - TRÁM

moment pre zosťavu gr1a

podpora	charakteristická	$M = -193,95 - 46,93 = -240,88 \text{ kNm}$
	častá	$M = 0,75 \cdot (-193,95) + 0,4 \cdot (-46,93) = -164,23 \text{ kNm}$
pole	charakteristická	$M = 295,41 + 25,89 = 321,3 \text{ kNm}$
	častá	$M = 0,75 \cdot 295,41 + 0,4 \cdot 25,89 = 231,91 \text{ kNm}$

posouvající síla pro zosťavu gr1a

charakteristická	$V = 291,2 + 42,98 = 334,18 \text{ kN}$
častá	$V = 0,75 \cdot 291,2 + 0,4 \cdot 42,98 = 235,59 \text{ kN}$

**6.10a**  $\gamma_{Gj,sup} \cdot G_{kj,sup} + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot \Psi_{01} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Qi} \cdot \Psi_{0i} \cdot Q_{ki}$

$$M_{Ed} = 1,35 \cdot 53,90 + 0 + 1,35 \cdot 231,91 + 0 = 385,84 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 1,35 \cdot (-121,12) + 0 + 1,35 \cdot (-164,23) + 0 = -385,22 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot 105,76 + 0 + 1,35 \cdot 235,59 + 0 = 460,82 \text{ kN}$$

**6.10b**  $\zeta \cdot \gamma_{Gj,sup} \cdot G_{kj,sup} + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Qi} \cdot \Psi_{0i} \cdot Q_{ki}$

$$M_{Ed} = 0,85 \cdot 1,35 \cdot 53,90 + 0 + 1,35 \cdot 321,3 + 0 = 495,61 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 0,85 \cdot 1,35 \cdot (-121,12) + 0 + 1,35 \cdot (-240,88) + 0 = -464,17 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 0,85 \cdot 1,35 \cdot 105,76 + 0 + 1,35 \cdot 334,18 + 0 = 572,5 \text{ kN}$$

rozhoduje 6.10b

návrhové hodnoty  $M_{Ed} = 495,61 \text{ kNm}$

$M_{Ed} = -464,17 \text{ kNm}$

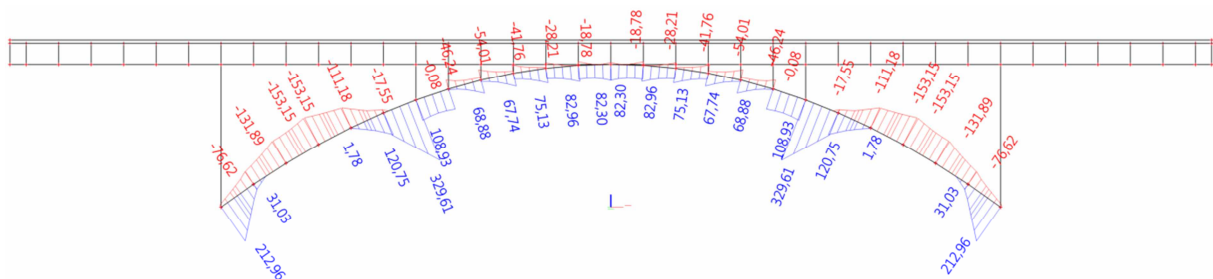
$V_{Ed} = 572,5 \text{ kN}$

### 3.5. VNÚTORNÉ SILY NA OBLÚKU

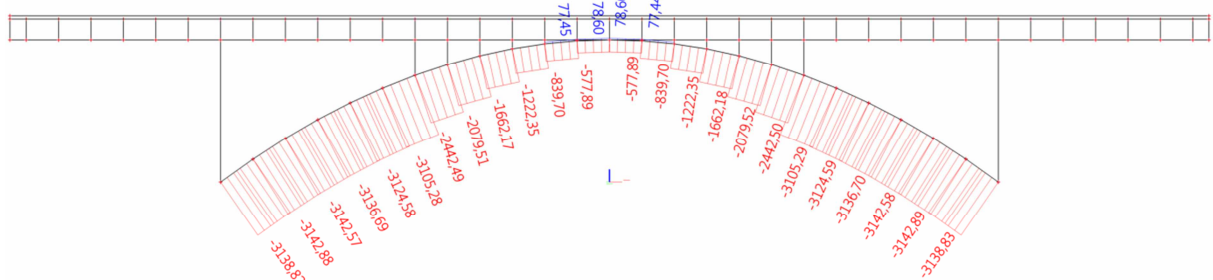
Pre vnútorné sily boli rovnako ako v prípade trámy rozhodujúce účinky zostavy zaťaženia LM1. Pre zlepšenie prehľadnosti uvádzam preto výsledky iba od kombinácie z programu SCIA zahrňajúce účinky vlastnej tiaže, stáleho zaťaženia a zostavy gr1a.

maximálne momenty a normálové sily

$M_y$

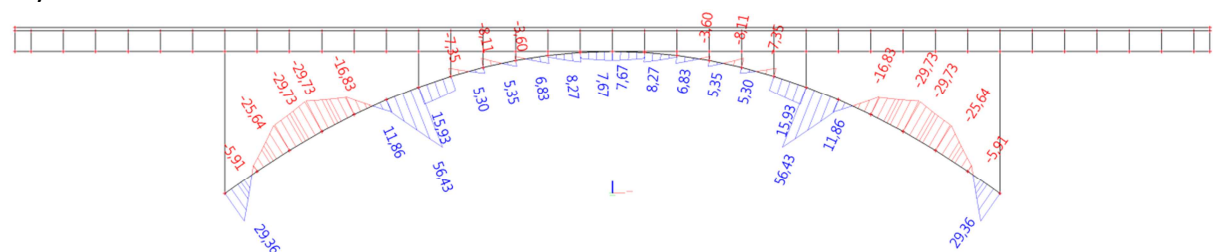


$N$

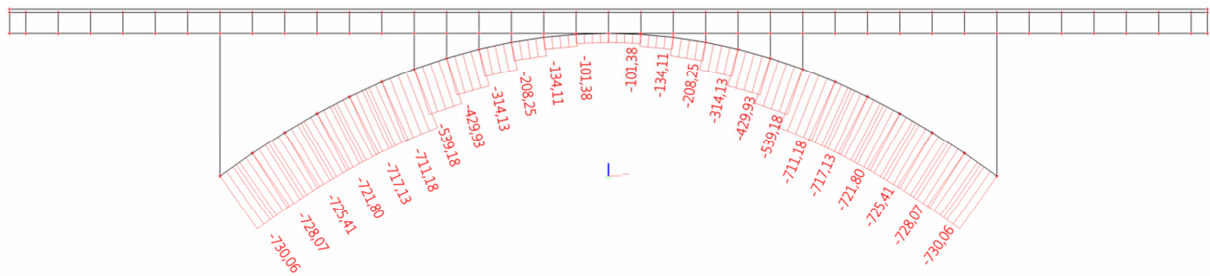


minimálne normálové sily a momenty (stále zaťaženie v charakteristickej kombinácii)

$M_y$



N



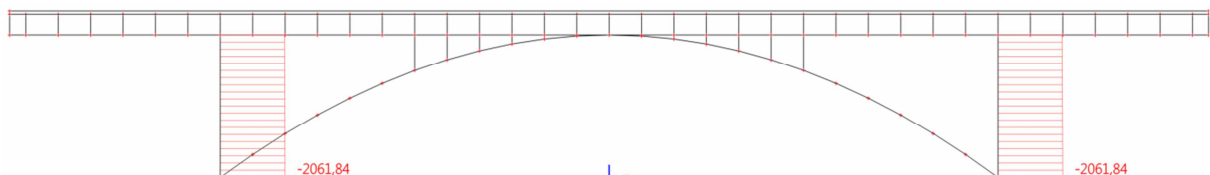
Pre ďalší výpočet budem uvažovať tieto kombinácie odpovedajúcich momentov a normálových síl:

	M [kNm]	N [kN]
1	329,61	-3105,28
2	-153,15	-3136,69
3	212,96	-3138,82
4	56,43	-711,18

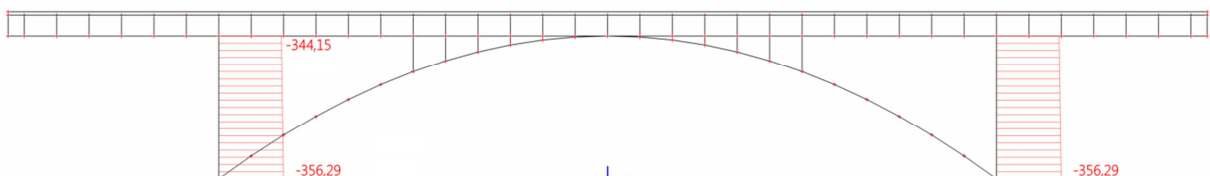
### 3.6. VNÚTORNÉ SILY NA KYVNEJ STOJKE

Analogickým postupom ako na oblúku bolo prístupné k výsledkom. Rozdiel tvorí konštrukčné riešenie vzhľadom na to, že na konci stojky sú umiestnené klíby nevznikajú tu žiadne primárne momenty. Preto sú uvádzané iba hodnoty pre maximálnu a minimálnu normálovú silu:

maximálna N



minimálna N



Pre ďalšie výpočty kyvnej stojky budem uvažovať nasledovné normálové sily

	N [kN]
1	-2061,84
2	-344,15

## 4. DIMENZOVANIE - MEDZNÝ STAV ÚNOSNOSTI

### 4.1. MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

Betón C35/45	$f_{ck} = 35\text{MPa}$
	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0,85 \cdot 35 / 1,5 = 19,833\text{MPa}$
	$f_{ctm} = 3,2\text{MPa}$
	$\epsilon_{cu3} = 3,5\text{‰}$
	$E_{cm} = 34\text{ GPa}$
Oceľ B550B	$f_{yk} = 550\text{MPa}$
	$f_{yd} = 550 / 1,15 = 478,26\text{MPa}$
	$E_s = 200\text{GPa}$
	$\epsilon_{yd} = 478,26 \cdot 10^6 / 200 \cdot 10^9 = 2,3\text{‰}$

#### Výpočet krytí

krytí pro třmínky  $\phi 8\text{mm}$

konstrukční třída S6

třída prostředí XC4, XF2, XD1

$$c_{\min, \text{dur}} = 45\text{mm}$$

$$c_{\min} = \max(c_{\min, b}; c_{\min, \text{dur}}; 10\text{mm}) = \max(8, 45, 10) = 45\text{mm}$$

$$c_{\text{nom}} = c_{\min} + \Delta c_{\text{dev}} = 45 + 10 = 55\text{mm}$$

krytí třmínků navrženo na hodnotu 55mm

$$\text{krytí výztuže } c_{\text{nom}} = 55 + \phi 8 = 63\text{mm}$$

### 4.2. KYVNÁ STOJKA

#### Geometria prvku:

$$h = 0,3\text{m}$$

$$b = 1\text{m}$$

$$L = 2,05\text{m}$$

$$\text{polomer zotrvačnosti } i = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{0,3}{\sqrt{12}} = 0,087\text{m}$$

$$\text{účinná délka } L_0 = L = 2,05\text{m (klíby na oboch stranách)}$$

$$\text{počiatková imperfekcia } e_0 = L_0/400 = 2050/400 = 5,125\text{mm}$$

$$\text{štíhlost } \lambda = L_0/i = 2,05/0,087 = 23,56$$

Predbežne navrhujem symetricky vystužený prierez s **4x $\phi$ 12mm** po každej strane.

$$A_s = 4,524 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

Dotvarovanie je uvažované pre čas životnosti konštrukcie súčiniteľom dotvarovania pre prostredie s uvažovanou relatívnou vlhkosťou 80% o hodnote:

$$A_c = 0,3\text{m}^2 \quad u = 2,6\text{m} \quad \Rightarrow h_0 = 2 \cdot A_c / u = 231\text{mm}$$

$$\varphi(t_0, t_\infty) = 1,66 \quad (\text{hodnota odčítaná z nomogramu})$$

### Úprava návrhových momentov:

$$1. \text{ kombinácia} \quad N_{Ed} = 2061,84\text{kN} \quad M_{Ed} = 0\text{kNm}$$

$$e_1 = 0\text{m}$$

$$A = \frac{1}{1+0,2 \cdot \varphi_{ef}} = \frac{1}{1+0,2 \cdot 1,66} = 0,751$$

$$B = \sqrt{1 + 2 \cdot \omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,036} = 1,035$$

$$C = 1,7 - r_m \Rightarrow (r_m = 0/0) \Rightarrow C = 0,7$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{\frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}}}} = \frac{20 \cdot 0,751 \cdot 1,035 \cdot 0,7}{\sqrt{\frac{2061840}{0,3 \cdot 19833000}}} = 18,86 < \lambda \Rightarrow \text{uvažujem účinky druhého rádu}$$

$$\varepsilon_{yd} = 0,0024$$

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45 \cdot d} = \frac{0,0024}{0,45 \cdot 0,225} = 0,0237$$

$$\beta = 0,35 + f_{ck}/200 - \lambda/150 = 0,35 + 35/200 - 23,56/150 = 0,368$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} = 1 + 0,368 \cdot 1,66 = 1,61$$

$$n_u = 1 + \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = 1 + \frac{4,524 \cdot 10^{-4} \cdot 478,26 \cdot 10^6}{0,3 \cdot 19833 \cdot 10^6} = 1,036$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{2061840}{0,3 \cdot 19833000} = 0,347$$

$$n_{bal} = 0,4$$

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_{bal} - n} = \frac{1,036 - 0,347}{0,4 - 0,347} = 1,083 < 1 \Rightarrow \text{uvažuju } K_r = 1$$

$$\frac{1}{r} = K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{1}{r_0} = 1,1,61 \cdot 0,0237 = 0,038$$

$$e_2 = \frac{1}{r} \cdot \frac{L_0^2}{\pi^2} = 0,038 \cdot \frac{2,05^2}{\pi^2} = 15,755 \text{ mm}$$

$$e_d = e_1 + e_i + e_2 = 0 + 5,125 + 15,755 = 20,88 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = N_{Ed} \cdot e_d = 2061,84 \cdot 0,02088 = 43,05 \text{ kNm}$$

$$\text{bod 1 } [M_{Ed}; N_{Ed}] = [43,05; 2061,84]$$

2. kombinácia

$$N_{Ed} = 344,15 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 0 \text{ kNm}$$

$$e_1 = 0 \text{ m}$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{\frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}}}} = \frac{20 \cdot 0,751 \cdot 1,036 \cdot 0,7}{\sqrt{\frac{344150}{0,3 \cdot 19833000}}} = 46,2 > \lambda \Rightarrow \text{neuvažujem účinky druhého rádu}$$

$$e_d = e_1 + e_i + e_2 = 0 + 5,125 + 0 = 5,125 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = N_{Ed} \cdot e_d = 344,15 \cdot 0,005125 = 1,76 \text{ kNm}$$

$$\text{bod 2 } [M_{Ed}; N_{Ed}] = [1,76; 344,15]$$

Výpočet bodov interakčného diagramu:

**BOD 0**

$$N_{Rd0} = b \cdot h \cdot f_{cd} + A_s \cdot \sigma_s = 1,0 \cdot 3,19,833 \cdot 10^6 + 4,524 \cdot 10^{-4} \cdot 400 \cdot 10^6 = 6382,63 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = 0 \text{ kNm}$$

**BOD 1**

$$\varepsilon_{s1} = 0 \quad x = d = 0,225 \text{ m} \quad \varepsilon_{s2} = 0,15 \cdot 3,5 / 0,225 = 2,3\text{‰} = f_{yd}$$

$$N_{Rd1} = b \cdot 0,8 \cdot d \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd} = 1,0 \cdot 8,0,225 \cdot 19,833 \cdot 10^6 + 4,524 \cdot 10^{-4} \cdot 478,26 \cdot 10^6 = 3786,3 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = b \cdot 0,8 \cdot d \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - 0,8 \cdot d) + A_s \cdot f_{yd} \cdot z_2 = 1,0 \cdot 8,0,225 \cdot 19,833 \cdot 10^6 \cdot 0,5 \cdot (0,3 - 0,8 \cdot 0,225) + 4,524 \cdot 10^{-4} \cdot 478,26 \cdot 10^6 \cdot 0,075 = 230,42 \text{ kNm}$$

**BOD 2**

$$x_{bal} = \varepsilon_{cu3} \cdot d / (\varepsilon_{yd} + \varepsilon_{cu3}) = 3,5 \cdot 0,225 / (2,28 + 3,5) = 0,1362 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{s1} = 3,5 \cdot (0,225 - 0,1362) / 0,1362 = 2,28\% = \varepsilon_{yd} \quad \varepsilon_{s2} = 1,573\text{‰} \quad (\sigma_s = 330,33 \text{ MPa})$$

$$N_{Rd2} = b \cdot 0,8 \cdot x_{bal} \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd} - A_s \cdot \sigma_s = 1,0 \cdot 8,0 \cdot 1362 \cdot 19,833 \cdot 10^6 + 4,524 \cdot 10^{-4} \cdot 478,26 \cdot 10^6 - 4,524 \cdot 10^{-4} \cdot 330,33 \cdot 10^6 = 2227,93 \text{ kN}$$

$$M_{Rd2} = b \cdot 0,8 \cdot x_{bal} \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - 0,8 \cdot x_{bal}) + A_s \cdot f_{yd} \cdot z_2 + A_s \cdot \sigma_s \cdot z_1 = 1,0 \cdot 8,0 \cdot 1362 \cdot 19,833 \cdot 10^6 \cdot 0,5 \cdot (0,3 - 0,8 \cdot 0,1362) + 4,524 \cdot 10^{-4} \cdot 478,26 \cdot 10^6 \cdot 0,075 + 4,524 \cdot 10^{-4} \cdot 330,33 \cdot 10^6 \cdot 0,075 = 211,44 \text{ kNm}$$

**BOD 3**

$$N_{Rd3} = 0 \text{ kN} = b \cdot 0,8 \cdot x \cdot f_{cd} - A_s \cdot f_{yd} \Rightarrow x = 0,0136 \text{ m} \quad \varepsilon_{s1} = 54,4\text{‰} > \varepsilon_{yd}$$

$$M_{Rd3} = b \cdot 0,8 \cdot x \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - 0,8 \cdot x) + A_s \cdot f_{yd} \cdot d_z = 1,0 \cdot 8,0 \cdot 0,0136 \cdot 19,833 \cdot 10^6 \cdot 0,5 \cdot (0,3 - 0,8 \cdot 0,0136) + 4,524 \cdot 10^{-4} \cdot 478,26 \cdot 10^6 \cdot 0,075 = 47,42 \text{ kNm}$$

**Overenie konštrukčných zásad:**

$$A_{s,min} = \frac{0,1 \cdot N_{Ed,max}}{f_{yd}} = \frac{0,1 \cdot 2061840}{478,26 \cdot 10^6} = 4,311 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_s = 4,524 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 > A_{s,min} \quad \text{vyhovuje}$$

$$A_s < 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1,0 \cdot 3 = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \quad \text{vyhovuje}$$

**Návrh priečnej výstuže**

$$\text{priemer výstuže} > 6 \text{ mm}$$

$$> 12/4 = 3 \text{ mm} \Rightarrow \text{navrhujem } \phi 8 \text{ mm}$$

$$s_{cl,t} < 15 \cdot \phi_{l,min} = 180 \text{ mm}$$

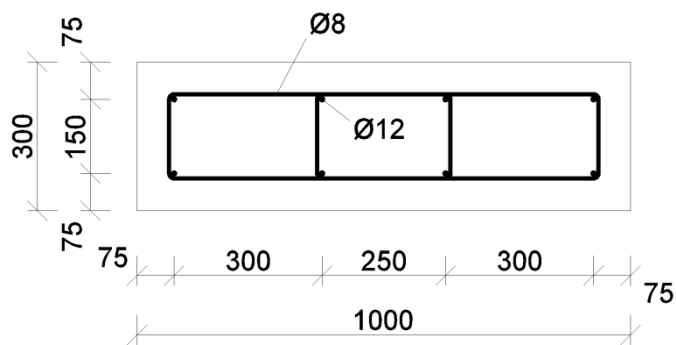
$$< b = 300 \text{ mm}$$

$$< 300 \text{ mm}$$

$$\text{navrhujem } s = 150 \text{ mm}$$

U päty a hlavy kyvnéj stojky bude dimenzovaný vrubový kĺb do väčšej vzdialenosti a preto neuvažujem konštrukčné zhutnenie strmienkov.

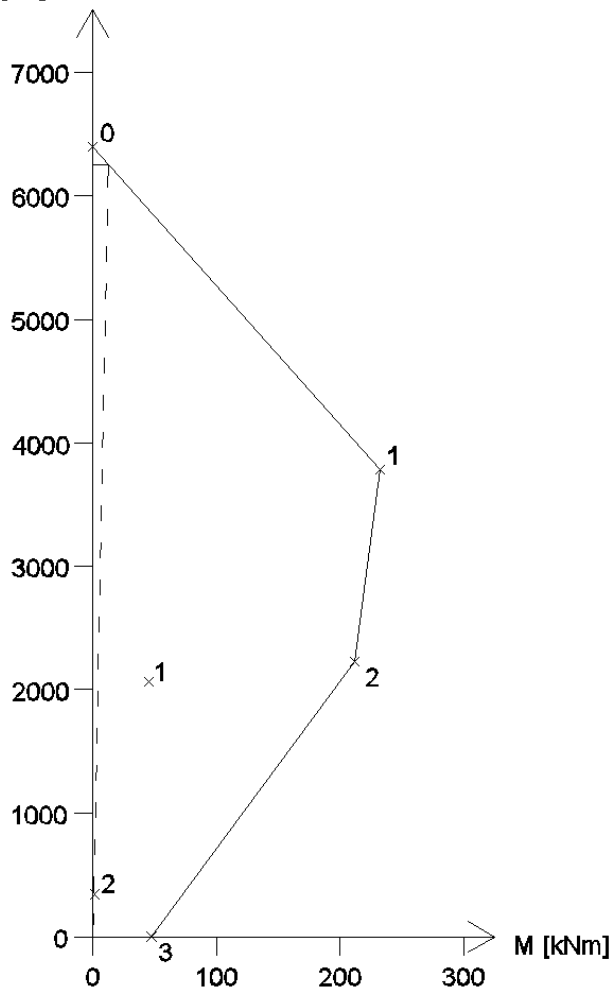
### Navrhnutý prierez



### Interakčný diagram

$$e_0 = \max(h/30; 20) = \max(300/30; 20) = 20 \text{ mm}$$

N [kN]



	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]
1	2061,84	45,15
2	344,15	1,76

	$N_{Rd}$ [kN]	$M_{Rd}$ [kNm]
0	6382,63	0
1	3786,3	230,42
2	2227,93	211,44
3	0	47,42

$$e_0 = 20 \text{ mm}$$

$$L = L_0 = 2050 \text{ mm}$$

$$e_i = 5,125 \text{ mm}$$

$$\lambda = 23,56$$

Predbežne navrhnutý prierez a výstuž s veľkou rezervou vyhovujú. Predimenzovanie prierezu sa pripúšťa kvôli konštrukčným zásadám vrubových kĺbov (viď. kapitola 4.3).

### 4.3. VRUBOVÝ KLÍB

Geometria vrubového klíbu:  $h = 0,3\text{m}$

$$a = h/3 = 0,1\text{m}$$

#### Výpočet nutnej plochy výstuže

$$F = N_{Ed,max} = 2061,84\text{kN}$$

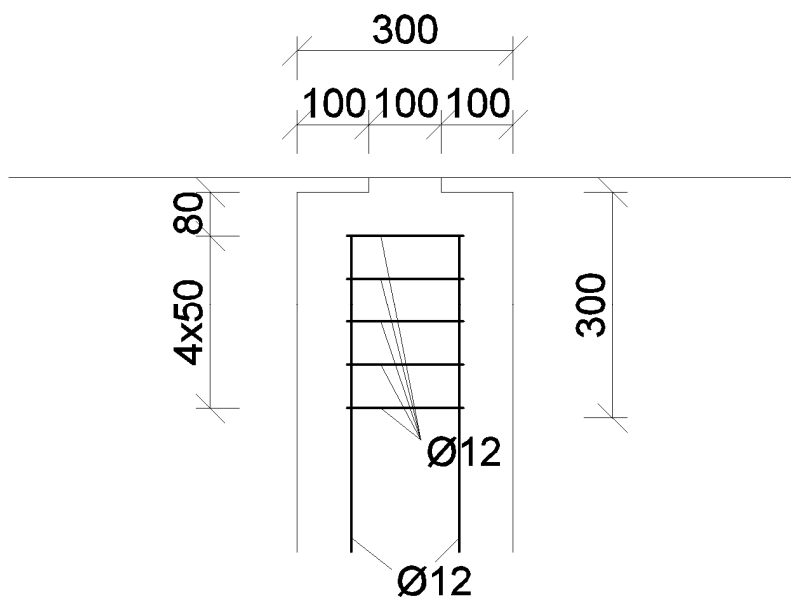
$$H = \frac{F}{3} \cdot \frac{h-a}{h} = \frac{2061,84}{3} \cdot \frac{0,3-0,1}{0,3} = 458,187\text{kN}$$

$$A_{sw} = \frac{H}{f_{ywd}} = \frac{458187}{478,26 \cdot 10^6} = 9,58 \cdot 10^{-4}\text{m}^2$$

podľa konštrukčných zásad  $s_{min} = \max(1,2 \cdot \phi ; dg+5 ; 20) = \max(1,2 \cdot 12 ; 32+5 ; 20) = 37\text{mm}$

navrhujem  **$\phi 12$  á 50mm** ...  $A_s = 1,131 \cdot 10^{-3}\text{m}^2$

rozmiestnenie výstuže do výšky  $h = 300\text{mm}$



Pre výpočet zachytenia posúvajúcej sily, ktoré sú nulové bude vrubový klíb vystužený iba konštrukčne **4 tržmi  $\phi 12$** .

#### 4.4. OBLÚK

##### Geometria prvku:

$$h = 0,3\text{m}$$

$$b = 1,5\text{m}$$

$$L = 3,436\text{m}$$

$$\text{polomer zotrvačnosti } i = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{0,3}{\sqrt{12}} = 0,087\text{m}$$

$$\text{účinná délka } L_0 = L/2 = 1,718\text{m (votknutie na oboch stranách)}$$

$$\text{počiatková imperfekcia } e_0 = L_0/400 = 3436/400 = 8,6\text{mm}$$

$$\text{štíhlosť } \lambda = L_0/i = 1,718/0,087 = 19,75$$

Predbežne navrhujem symetricky vystužený prierez s **10x $\phi$ 12mm** po každej strane.

$$A_s = 1,131 \cdot 10^{-3} \text{m}^2$$

Dotvarovanie je uvažované pre čas životnosti konštrukcie súčiniteľom dotvarovania pre prostredie s uvažovanou relatívnou vlhkosťou 80% o hodnotu:

$$A_c = 0,45\text{m}^2 \quad u = 3,6\text{m} \quad \Rightarrow h_0 = 2 \cdot A_c / u = 250\text{mm}$$

$$\varphi(t_0, t_\infty) = 1,64 \quad (\text{odčítané z nomogramu})$$

##### Úprava návrhových momentov:

$$1. \text{ kombinácia} \quad N_{Ed} = 3105,28\text{kN} \quad M_{Ed} = 329,61\text{kNm}$$

$$e_1 = 329,61/3105,28 = 0,1061\text{m} = 106,1\text{mm}$$

$$A = \frac{1}{1+0,2 \cdot \varphi_{ef}} = \frac{1}{1+0,2 \cdot 1,64} = 0,753$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1,131 \cdot 10^{-3} \cdot 478,26 \cdot 10^6}{0,45 \cdot 19,833 \cdot 10^6} = 0,061$$

$$B = \sqrt{1 + 2 \cdot \omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,061} = 1,059$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - 212,96/329,61 = 1,054$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{\frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}}}} = \frac{20 \cdot 0,753 \cdot 1,059 \cdot 1,054}{\sqrt{\frac{3105280}{0,45 \cdot 19833000}}} = 28,5 > \lambda \Rightarrow \text{neuvažujem účinky II. rádu}$$

$$e_d = e_1 + e_i + e_2 = 106,1 + 8,6 + 0 = 114,7\text{mm}$$

$$M_{Ed} = N_{Ed} \cdot e_d = 3105,28 \cdot 0,1147 = 356,18 \text{ kNm}$$

$$\text{bod 1 } [M_{Ed}; N_{Ed}] = [356,18; 3105,28]$$

$$2. \text{ kombinácia} \quad N_{Ed} = 3136,69 \text{ kN} \quad M_{Ed} = 153,15 \text{ kNm}$$

$$e_1 = 153,15 / 3136,69 = 0,0488 \text{ m} = 48,8 \text{ mm}$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{\frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}}}} = \frac{20 \cdot 0,753 \cdot 1,059 \cdot 1,054}{\sqrt{\frac{3136690}{0,45 \cdot 19833000}}} = 28,4 > \lambda \Rightarrow \text{neuvažujem účinky II. rádu}$$

$$e_d = e_1 + e_i + e_2 = 48,8 + 8,6 + 0 = 57,4 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = N_{Ed} \cdot e_d = 3136,69 \cdot 0,0574 = 180,05 \text{ kNm}$$

$$\text{bod 2 } [M_{Ed}; N_{Ed}] = [180,05; 3136,69]$$

$$3. \text{ kombinácia} \quad N_{Ed} = 3138,82 \text{ kN} \quad M_{Ed} = 212,96 \text{ kNm}$$

$$e_1 = 212,96 / 3138,82 = 0,0678 \text{ m} = 67,8 \text{ mm}$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{\frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}}}} = \frac{20 \cdot 0,753 \cdot 1,059 \cdot 1,054}{\sqrt{\frac{3138820}{0,45 \cdot 19833000}}} = 28,3 > \lambda \Rightarrow \text{neuvažujem účinky II. rádu}$$

$$e_d = e_1 + e_i + e_2 = 67,8 + 8,6 + 0 = 76,4 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = N_{Ed} \cdot e_d = 3138,82 \cdot 0,0764 = 239,81 \text{ kNm}$$

$$\text{bod 3 } [M_{Ed}; N_{Ed}] = [239,81; 3138,82]$$

$$4. \text{ kombinácia} \quad N_{Ed} = 711,18 \text{ kN} \quad M_{Ed} = 56,43 \text{ kNm}$$

$$e_1 = 56,43 / 711,18 = 0,0793 \text{ m} = 79,3 \text{ mm}$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - 29,36 / 56,43 = 1,18$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{\frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}}}} = \frac{20 \cdot 0,753 \cdot 1,059 \cdot 1,18}{\sqrt{\frac{711180}{0,45 \cdot 19833000}}} = 66,7 > \lambda \Rightarrow \text{neuvažujem účinky II. rádu}$$

$$e_d = e_1 + e_i + e_2 = 79,3 + 8,6 + 0 = 87,9 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = N_{Ed} \cdot e_d = 711,18 \cdot 0,0879 = 62,51 \text{ kNm}$$

$$\text{bod 4 } [M_{Ed}; N_{Ed}] = [62,51; 711,18]$$

**Výpočet bodů interakčního diagramu:****BOD 0**

$$N_{Rd0} = b \cdot h \cdot f_{cd} + A_s \cdot \sigma_s = 1,5 \cdot 0,3 \cdot 19,833 \cdot 10^6 + 1,131 \cdot 10^{-3} \cdot 400 \cdot 10^6 = 9377,25 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = 0 \text{ kNm}$$

**BOD 1**

$$\epsilon_{s1} = 0 \quad x = d = 0,225 \text{ m} \quad \epsilon_{s2} = 0,15 \cdot 3,5 / 0,225 = 2,3\text{‰} = f_{yd}$$

$$N_{Rd1} = b \cdot 0,8 \cdot d \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd} = 1,5 \cdot 0,8 \cdot 0,225 \cdot 19,833 \cdot 10^6 + 1,131 \cdot 10^{-3} \cdot 478,26 \cdot 10^6 = 5895,82 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = b \cdot 0,8 \cdot d \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - 0,8 \cdot d) + A_s \cdot f_{yd} \cdot z_2 = 1,5 \cdot 0,8 \cdot 0,225 \cdot 19,833 \cdot 10^6 \cdot 0,5 \cdot (0,3 - 0,8 \cdot 0,225) + 1,131 \cdot 10^{-3} \cdot 478,26 \cdot 10^6 \cdot 0,075 = 361,86 \text{ kNm}$$

**BOD 2**

$$x_{bal} = \epsilon_{cu3} \cdot d / (\epsilon_{yd} + \epsilon_{cu3}) = 3,5 \cdot 0,225 / (2,28 + 3,5) = 0,1362 \text{ m}$$

$$\epsilon_{s1} = 3,5 \cdot (0,225 - 0,1362) / 0,1362 = 2,28\text{‰} = \epsilon_{yd} \quad \epsilon_{s2} = 1,573\text{‰} \quad (\sigma_s = 330,33 \text{ MPa})$$

$$N_{Rd2} = b \cdot 0,8 \cdot x_{bal} \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd} - A_s \cdot \sigma_s = 1,5 \cdot 0,8 \cdot 0,1362 \cdot 19,833 \cdot 10^6 + 1,131 \cdot 10^{-3} \cdot 478,26 \cdot 10^6 - 1,131 \cdot 10^{-3} \cdot 330,33 \cdot 10^6 = 3408,81 \text{ kN}$$

$$M_{Rd2} = b \cdot 0,8 \cdot x_{bal} \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - 0,8 \cdot x_{bal}) + A_s \cdot f_{yd} \cdot z_2 + A_s \cdot \sigma_s \cdot z_1 = 1,5 \cdot 0,8 \cdot 0,1362 \cdot 19,833 \cdot 10^6 \cdot 0,5 \cdot (0,3 - 0,8 \cdot 0,1362) + 1,131 \cdot 10^{-3} \cdot 478,26 \cdot 10^6 \cdot 0,075 + 1,131 \cdot 10^{-3} \cdot 330,33 \cdot 10^6 \cdot 0,075 = 378,22 \text{ kNm}$$

**BOD 3**

$$N_{Rd3} = 0 \text{ kN} = b \cdot 0,8 \cdot x \cdot f_{cd} - A_s \cdot f_{yd} \quad \Rightarrow x = 0,0227 \text{ m} \quad \epsilon_{s1} = 34,69\text{‰} > \epsilon_{yd}$$

$$M_{Rd3} = b \cdot 0,8 \cdot x \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - 0,8 \cdot x) + A_s \cdot f_{yd} \cdot d_z = 1,5 \cdot 0,8 \cdot 0,0227 \cdot 19,833 \cdot 10^6 \cdot 0,5 \cdot (0,3 - 0,8 \cdot 0,0227) + 1,131 \cdot 10^{-3} \cdot 478,26 \cdot 10^6 \cdot 0,075 = 116,7 \text{ kNm}$$

**BOD PRE OVERENIE PRE SILU N=3105,28kN**

za pomoci excelu a iteračního postupu byla určena výška tlačenej oblasti

x [m]	$\epsilon_{s1}$	$\epsilon_{s2}$	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$F_{s1}$	$F_{s2}$	$F_c$	$N_{Rd}$ [N]
0,1368625	0,001582	-0,00225	316,40332	-450,79	357852,2	-509844	3257273	3105281

$$N_{Rd,N} = 3105,28 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,N} = F_{s1} \cdot z_1 + F_{s2} \cdot z_2 + F_c \cdot z_c = 357,8522 \cdot 0,075 + 509,844 \cdot 0,075 + 3257,273 \cdot 0,5 \cdot (0,3 - 0,8 \cdot 0,1368625) = 375,25 \text{ kNm}$$

**Overenie konštrukčných zásad:**

$$A_{s,min} = \frac{0,1 \cdot N_{Ed,max}}{f_{yd}} = \frac{0,1 \cdot 3138820}{478,26 \cdot 10^6} = 6,563 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_s = 1,131 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 > A_{s,min} \quad \text{vyhovuje}$$

$$A_s < 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1,0,45 = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \quad \text{vyhovuje}$$

**Návrh priečnej výstuže**

$$\text{priemer výstuže} > 6 \text{ mm}$$

$$> 12/4 = 3 \text{ mm} \quad \Rightarrow \text{navrhujem } \phi 8 \text{ mm}$$

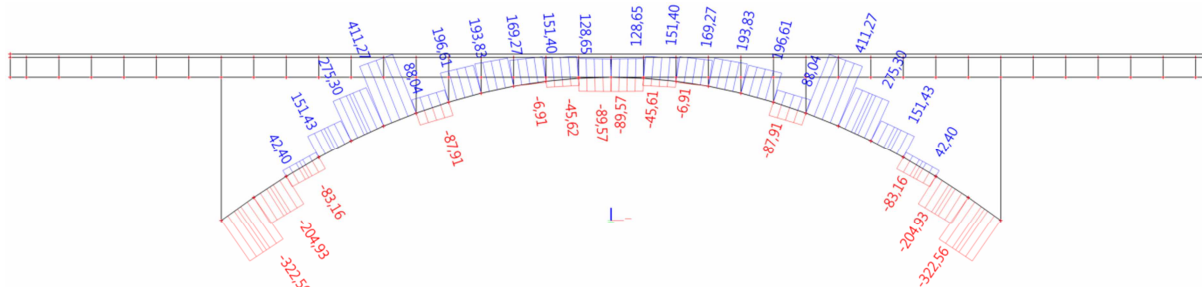
$$s_{cl,t} < 15 \cdot \phi_{min} = 180 \text{ mm}$$

$$< b = 300 \text{ mm}$$

$$< 300 \text{ mm}$$

$$\text{navrhujem } s = 150 \text{ mm}$$

Priebeh posúvajúcich síl  $V_{Ed}$  na oblúku:

**Únosnosť v šmyku:**

$$C_{Rd,c} = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{225}} = 1,943$$

$$\rho = A_s \cdot 100\% / d = 1,131 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{100}{0,225} = 0,503\% < 2\%$$

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{\rho \cdot f_{ck}} \cdot b \cdot d = 0,12 \cdot 1,943 \cdot \sqrt[3]{0,503 \cdot 35} \cdot 1500 \cdot 225 = 204,71 \text{ kN}$$

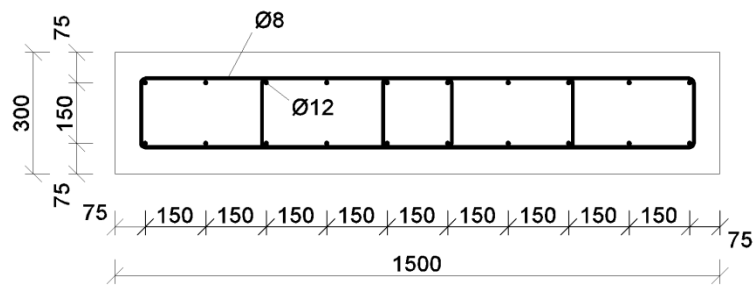
$$V_{Rd,c} < V_{Ed} \Rightarrow \text{navrhujem zhustenie strmienkov na } s = 100 \text{ mm}$$

$$A_{sw} = 6,0,008^2 \cdot \pi / 4 = 3,016 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad 6\text{-strižné } \phi 8$$

$$V_{Rd,s} = A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot \cot \theta / s = 3,016 \cdot 10^{-4} \cdot 478,26 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,225 \cdot \cot(30^\circ) / 0,1 = 505,92 \text{ kN}$$

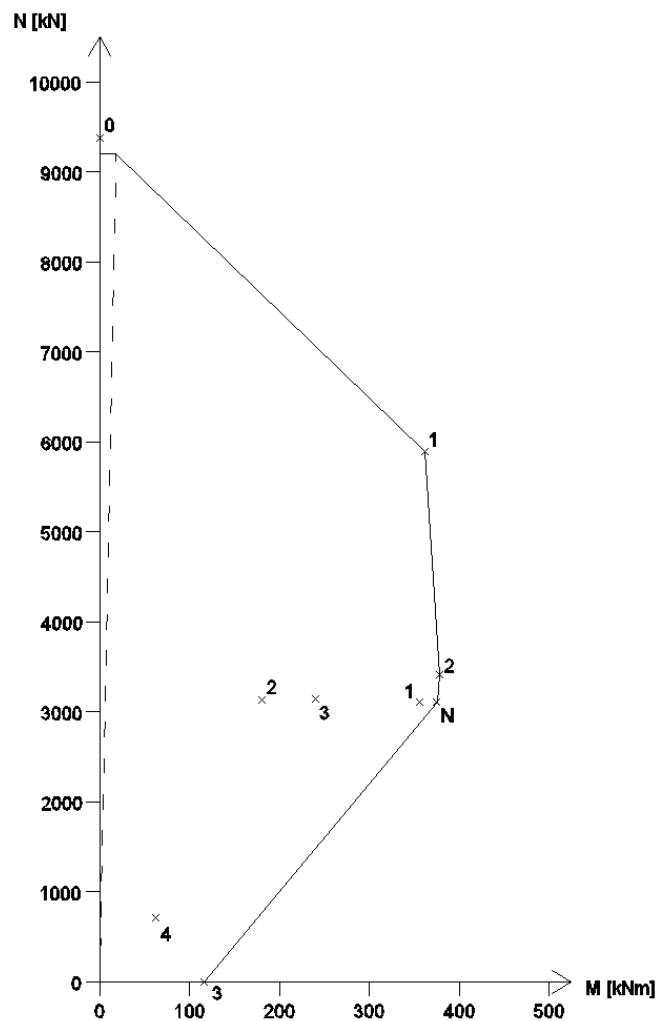
$$V_{Rd,s} > V_{Ed} = 411,27 \text{ kN} \quad \text{vyhovuje}$$

## Navrhnutý prierez



## Interakčný diagram

$$e_0 = \max(h/30; 20) = \max(300/30; 20) = 20 \text{ mm}$$



	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]
1	3105,28	356,18
2	3136,69	180,05
3	3138,82	239,81
4	711,18	62,51

	$N_{Rd}$ [kN]	$M_{Rd}$ [kNm]
0	9377,25	0
1	5895,82	361,86
2	3408,81	378,22
N	3105,28	375,25
3	0	116,7

$$e_0 = 20 \text{ mm}$$

$$L/2 = L_0 = 1718 \text{ mm}$$

$$e_i = 8,6 \text{ mm}$$

$$\lambda = 19,75$$

Predbežne navrhnutý prierez a výstuž vyhovujú. Prierez je využitý veľmi efektívne (94,9%) a nie je potreba ho ďalej upravovať.

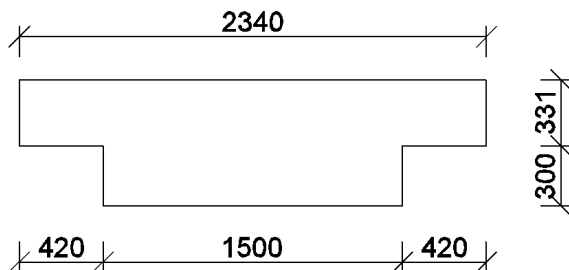
## 4.5. TRÁM

### 4.5.1. OHYB

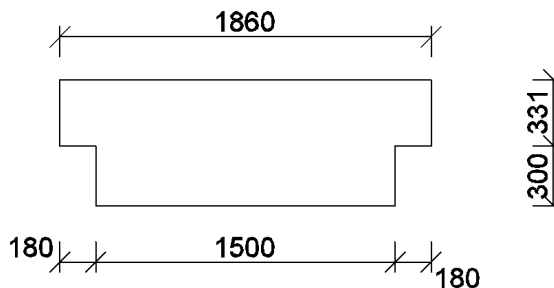
Návrhové hodnoty v poli  $M_{Ed} = 495,61 \text{ kNm}$   
nad podporou  $M_{Ed} = -464,17 \text{ kNm}$

Spolupôsobiaci prierez dosky s trámom:

V poli



Nad podporou



Pole:

návrh **10x $\phi 18$**  ... $A_s = 2,545 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

$d = 559 \text{ mm}$

$$F_c = F_s \Rightarrow x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{2,545 \cdot 10^{-3} \cdot 478,26 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 19,833 \cdot 10^6} = 0,0767 \text{ m}$$

$$z = d - 0,8 \cdot x / 2 = 559 - 0,8 \cdot 76,7 / 2 = 528 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z = 2,545 \cdot 10^{-3} \cdot 478,26 \cdot 10^6 \cdot 0,528 = 642,67 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} > M_{Ed} = 495,61 \text{ kNm} \quad \textbf{vyhovuje}$$

overenie pretvorenia  $\frac{x}{d} \leq \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}}$

$$\frac{76,7}{559} \leq \frac{3,5}{3,5 + 2,39}$$

$$0,137 < 0,594 \quad \textbf{vyhovuje}$$

konštrukčné zásady

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot (3,5/550) \cdot 1,941 \cdot 0,559 = 1,64 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1,941 \cdot 0,559 = 1,39 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1,941 \cdot 0,631 = 4,9 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \quad \textbf{vyhovuje}$$

**Podpora:**

$$\text{návrh } 12 \times \phi 14 \dots A_s = 1,847 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$d = 560 \text{ mm}$$

$$F_c = F_s \Rightarrow \chi = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{1,847 \cdot 10^{-3} \cdot 478,26 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 19,833 \cdot 10^6} = 0,0557 \text{ m}$$

$$z = d - 0,8 \cdot \chi / 2 = 560 - 0,8 \cdot 55,7 / 2 = 538 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z = 1,847 \cdot 10^{-3} \cdot 478,26 \cdot 10^6 \cdot 0,538 = 475,24 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} > M_{Ed} = 464,17 \text{ kNm} \quad \textbf{vyhovuje}$$

$$\text{overenie pretvorenia} \quad \frac{\chi}{d} \leq \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}}$$

$$\frac{55,7}{560} \leq \frac{3,5}{3,5 + 2,39}$$

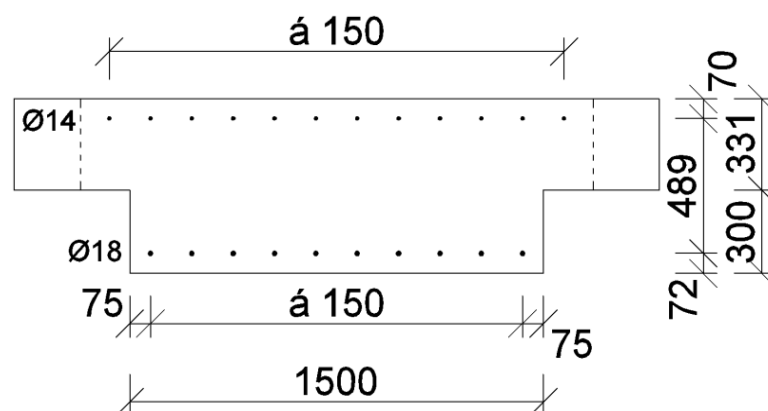
$$0,099 < 0,594 \quad \textbf{vyhovuje}$$

**konštrukčné zásady**

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot (3,5/550) \cdot 1,689 \cdot 0,56 = 1,431 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1,689 \cdot 0,56 = 1,23 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1,689 \cdot 0,631 = 4,26 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \quad \textbf{vyhovuje}$$

**Navrhnutý prierez**

**4.5.2. ŠMYK**

Návrhové hodnoty  $V_{Ed} = 572,5 \text{ kN}$

**Únosnost bez šmykové výstuže**

$$C_{Rd,c} = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{559}} = 1,598$$

$$\rho = A_s \cdot 100\% / d = 2,545 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{100}{0,559} = 0,455\% < 2\%$$

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{\rho \cdot f_{ck}} \cdot b \cdot d = 0,12 \cdot 1,598 \cdot \sqrt[3]{0,455 \cdot 35} \cdot 1500 \cdot 559 = 404,533 \text{ kN}$$

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{1,5} \cdot f_{ck}^{0,5} = 0,035 \cdot 1,598^{1,5} \cdot 35^{0,5} = 0,418$$

$$V_{Rd,\min} = v_{\min} \cdot b \cdot d = 0,418 \cdot 1,5 \cdot 0,559 = 350,493 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} < V_{Ed} \Rightarrow \text{navrhujem strmienky po } s = 200 \text{ mm}$$

**Únosnost šmykové výstuže**

$$A_{sw} = 6,0008^2 \cdot \pi / 4 = 3,016 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{Rd,s} = A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot \cot \theta / s = 3,016 \cdot 10^{-4} \cdot 478,26 \cdot 10^6 \cdot 0,528 \cdot \cot(30^\circ) / 0,2 = 674,789 \text{ kN}$$

**Overenie únosnosti tlačenej diagonály**

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

$$V_{Rd,\max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_t \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta} = \frac{1 \cdot 1,5 \cdot 0,528 \cdot 0,516 \cdot 19,833 \cdot 10^6}{\cot(30^\circ) + \tan(30^\circ)} = 3509,651 \text{ kN}$$

**Šmyková únosnosť**

$$V_{Rd} = \min[V_{Rd,s} ; V_{Rd,\max}] = \max[674,789 ; 3509,651] = 674,789 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} > V_{Ed} \quad \text{vyhovuje}$$

**Pozdĺžny šmyk**

$$\Delta x = x/2 = 1200/2 = 600\text{mm}$$

$$F_{cc(M0)} = M/z = 0/0,52 = 0\text{kN}$$

$$F_{cc(Mmax)} = M/z = 495,61/0,528 = 938,655\text{kN}$$

$$\Delta F_{cc} = 938,655 - 0 = 938,655\text{kN}$$

$$\Delta F_d = \Delta F_{cc} \cdot b_{eff,i}/b_{eff} = 938,655 \cdot 0,42/2,34 = 168,477\text{kN}$$

$$v_{Ed} = \Delta F_d/(h_f \cdot \Delta x) = 168477/(0,31 \cdot 0,6) = 0,906\text{MPa} < 0,4 \cdot f_{ctd} = 0,4 \cdot 2,333 = 0,933\text{MPa}$$

$$v_{Ed} < v_{fcd} \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta = 0,516 \cdot 19,833 \cdot 10^6 \cdot \sin(30^\circ) \cdot \cos(30^\circ) = 4,431\text{MPa}$$

Spojenie trámu s doskou vyhovuje na pozdĺžny šmyk a nie je potrebné navrhovať prídavnú výstuž.

**Konštrukčné zásady**

stupeň vystuženia  $\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_t \cdot s} = \frac{3,016 \cdot 10^{-4}}{1,5 \cdot 0,2} = 1,005 \cdot 10^{-3}$

minimálny stupeň vystuženia  $\rho_{w,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{35}}{550} = 8,605 \cdot 10^{-4}$

$\rho_w > \rho_{w,min}$  **vyhovuje**

osová vzdialenosť strmienkov  $s_{l,max} = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,559 = 0,419\text{m} > 0,4\text{m}$

$s = 0,2\text{m} < s_{l,max} = 0,4\text{m}$  **vyhovuje**

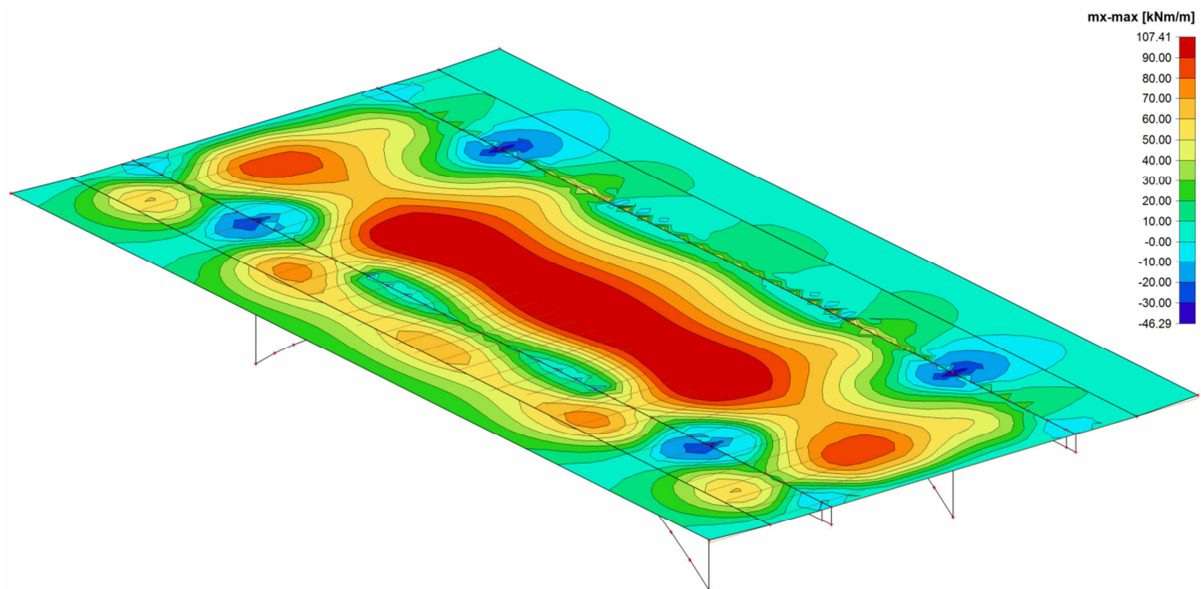
vzdialenosť vetví strmienkov  $s_{t,max} = 0,75 \cdot d = 0,419\text{m} < 0,6\text{m}$

$s = 0,3\text{m} < s_{t,max} = 0,419$  **vyhovuje**

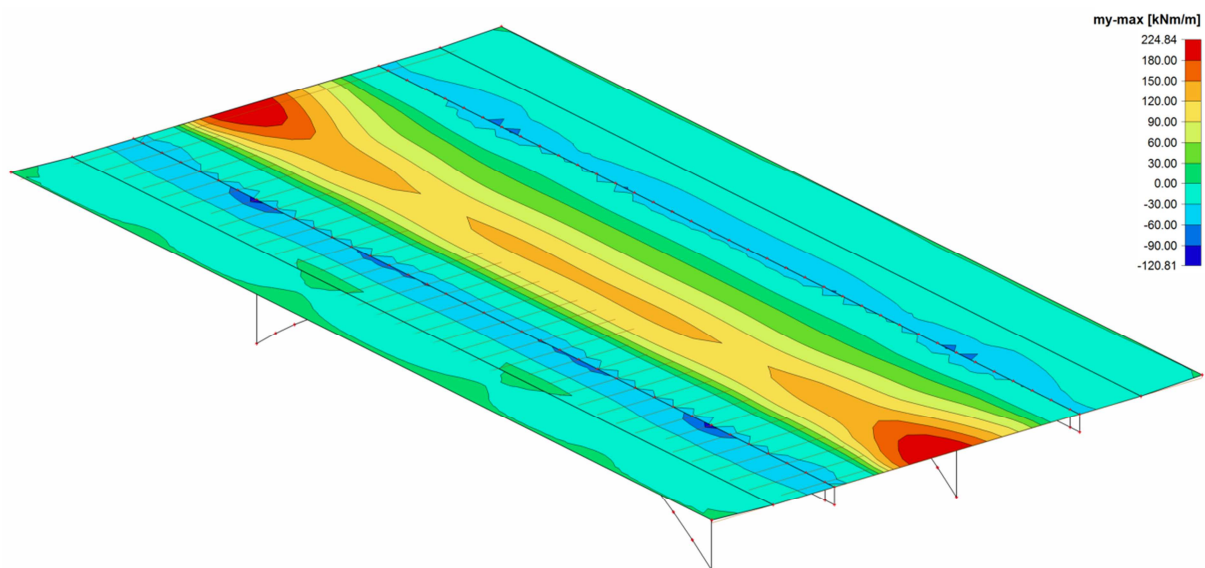
## 4.6. DOSKA

### 4.6.1. OHYB

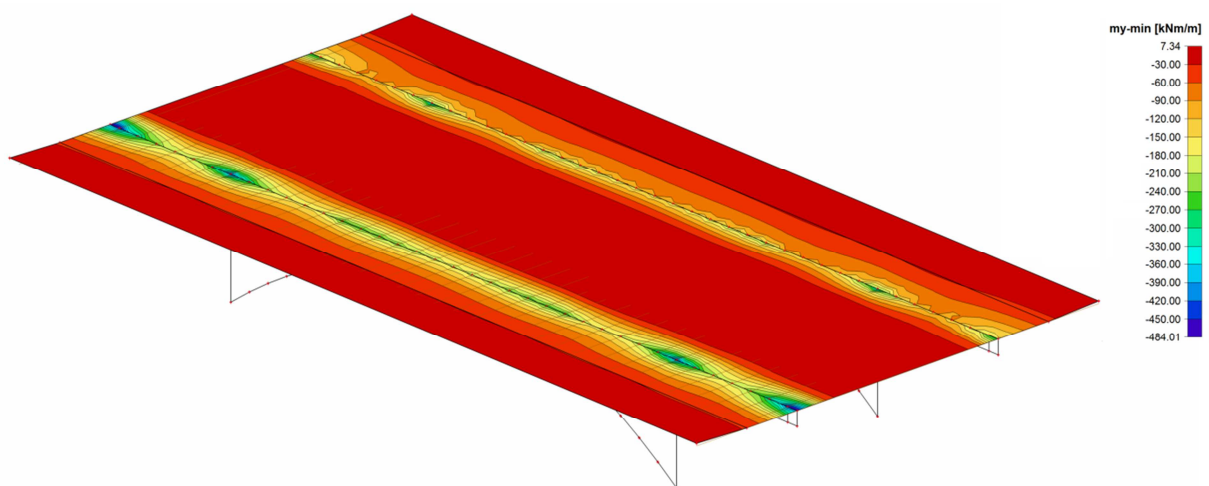
hodnoty  $m_x$



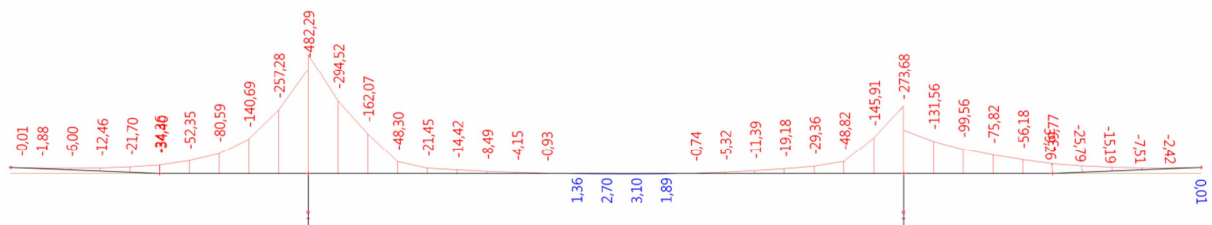
hodnoty  $m_y$  - maximum



hodnoty  $m_y$  - minimum



vykreslenie hodnôt na reze nad podporou



**Návrhové hodnoty**    pozdĺžny smer (miesta bez spolupôsobenia s trámom)

v poli                     $M_{Ed} = 107,41 \text{ kNm/m}$

nad podporou  $M_{Ed} = -53,84 \text{ kNm/m}$

priečny smer (trámy tvoria podpory pre dosku)

v poli                     $M_{Ed} = 224,84 \text{ kNm/m}$

nad podporou  $M_{Ed} = -482,29 \text{ kNm/m}$

**Pozdĺžny smer – pole (riešenie na 1bm)**

návrh  $\phi 14 \text{ á } 150 \text{ mm} \dots A_s = 1,026 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

$d = 261 \text{ mm}$

$$F_c = F_s \Rightarrow x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{1,026 \cdot 10^{-3} \cdot 478,26 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 19,833 \cdot 10^6} = 0,0309 \text{ m}$$

$$z = d - 0,8 \cdot x / 2 = 261 - 0,8 \cdot 30,9 / 2 = 248,6 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z = 1,026 \cdot 10^{-3} \cdot 478,26 \cdot 10^6 \cdot 0,2486 = 121,99 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} > M_{Ed} = 107,41 \text{ kNm} \quad \textbf{vyhovuje}$$

overenie pretvorenia  $\frac{x}{d} \leq \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}}$

$$\frac{30,9}{261} \leq \frac{3,5}{3,5 + 2,39}$$

$$0,118 < 0,594 \quad \textbf{vyhovuje}$$

konštrukčné zásady

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot (3,5/550) \cdot 1,0 \cdot 261 = 3,948 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 261 = 3,393 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1,0 \cdot 331 = 1,32 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \quad \textbf{vyhovuje}$$

### Pozdĺžny smer – záporný moment (riešenie na 1bm)

návrh **ϕ14á150mm** ...  $A_s = 1,026 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

$$d = 261 \text{ mm}$$

$$F_c = F_s \Rightarrow x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{1,026 \cdot 10^{-3} \cdot 478,26 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 19,833 \cdot 10^6} = 0,0309 \text{ m}$$

$$z = d - 0,8 \cdot x / 2 = 261 - 0,8 \cdot 30,9 / 2 = 248,6 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z = 1,026 \cdot 10^{-3} \cdot 478,26 \cdot 10^6 \cdot 0,2466 = 121,99 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} > M_{Ed} = 53,84 \text{ kNm} \quad \textbf{vyhovuje}$$

overenie pretvorenia  $\frac{x}{d} \leq \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}}$

$$\frac{30,9}{261} \leq \frac{3,5}{3,5 + 2,39}$$

$$0,118 < 0,594 \quad \textbf{vyhovuje}$$

konstrukční zásady

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot (3,5/550) \cdot 1.0 \cdot 261 = 3,948 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

$$A_{s,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1.0 \cdot 261 = 3,393 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1.0 \cdot 331 = 1,32 \cdot 10^{-2} \text{m}^2$$

vyhovuje

Pričný smer – pole (riešenie na 1bm)

$$\text{návrh } \Phi 18 \text{ á } 100 \text{mm} \dots A_s = 2,545 \cdot 10^{-3} \text{m}^2$$

$$d = 261 - 7 - 9 = 245 \text{mm}$$

$$F_c = F_s \Rightarrow x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{2,545 \cdot 10^{-3} \cdot 478,26 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 19,833 \cdot 10^6} = 0,0767 \text{m}$$

$$z = d - 0,8 \cdot x / 2 = 245 - 0,8 \cdot 76,7 / 2 = 214 \text{mm}$$

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z = 2,545 \cdot 10^{-3} \cdot 478,26 \cdot 10^6 \cdot 0,214 = 260,47 \text{kNm}$$

$$M_{Rd} > M_{Ed} = 224,84 \text{kNm}$$

vyhovuje

$$\text{overenie pretvorenia} \quad \frac{x}{d} \leq \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}}$$

$$\frac{76,7}{245} \leq \frac{3,5}{3,5 + 2,39}$$

$$0,313 < 0,594 \text{ vyhovuje}$$

konstrukční zásady

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot (3,5/550) \cdot 1.0 \cdot 245 = 4,054 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

$$A_{s,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1.0 \cdot 245 = 3,185 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1.0 \cdot 331 = 1,32 \cdot 10^{-2} \text{m}^2$$

vyhovuje

**Priečný smer – podpora (riešenie na 1bm)**

redukcia momentu nad podporou

$$F_{Ed} = 1301,08 \text{ kN}$$

$$t/8 = 1500/8 = 187,5 \text{ mm}$$

$$\Delta M_{Ed} = F_{Ed} \cdot t/8 = 1301,08 \cdot 0,1875 = 243,95 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,red} = M_{Ed} - \Delta M_{Ed} = 482,29 - 243,95 = 238,34 \text{ kNm}$$

$$\text{návrh } \phi 18 \text{ á } 100 \text{ mm} \dots A_s = 2,545 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$d = 261 - 7 - 9 = 245 \text{ mm}$$

$$F_c = F_s \Rightarrow \chi = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{2,545 \cdot 10^{-3} \cdot 478,26 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 19,833 \cdot 10^6} = 0,0767 \text{ m}$$

$$z = d - 0,8 \cdot \chi / 2 = 245 - 0,8 \cdot 76,7 / 2 = 214 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z = 2,545 \cdot 10^{-3} \cdot 478,26 \cdot 10^6 \cdot 0,214 = 260,47 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} > M_{Ed,red} = 238,34 \text{ kNm} \quad \textbf{vyhovuje}$$

overenie pretvorenia

$$\frac{\chi}{d} \leq \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}}$$

$$\frac{76,7}{245} \leq \frac{3,5}{3,5 + 2,39}$$

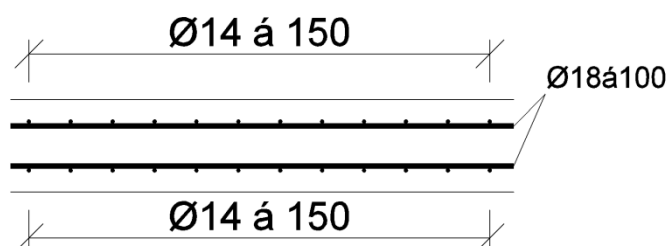
$$0,313 < 0,594 \quad \textbf{vyhovuje}$$

konštrukčné zásady

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot (3,5/550) \cdot 1,0 \cdot 245 = 4,054 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

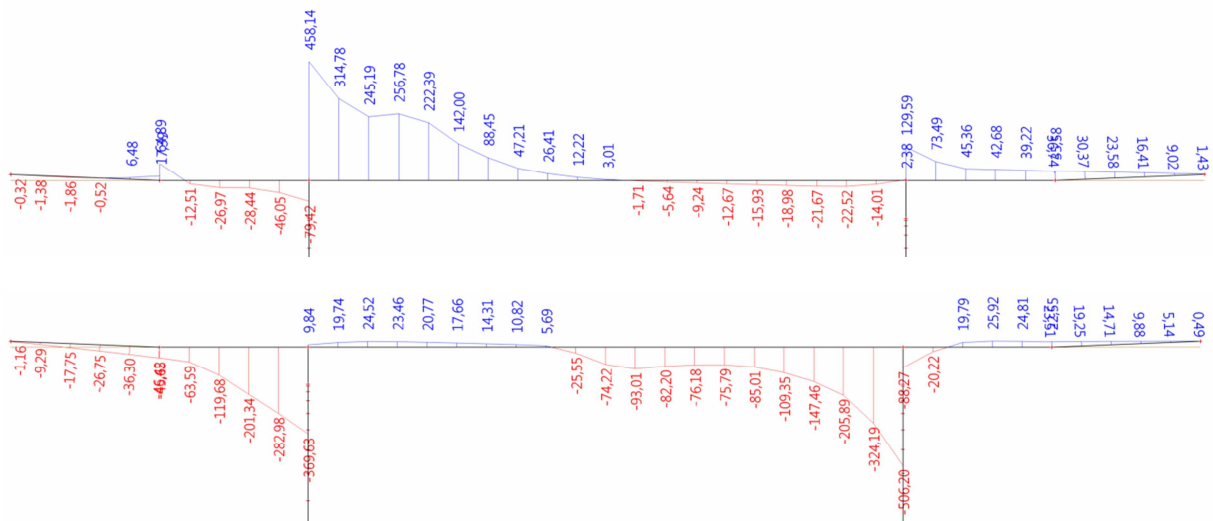
$$A_{s,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 245 = 3,185 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1,0 \cdot 331 = 1,32 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

**vyhovuje****Navrhnuté vystuženie prierezu dosky:**

## 4.6.2. ŠMYK

Posouvající síly zobrazené v najnamáhanejšom reze (maximum, minimum):



Hodnoty posuvajúcich síl budú pre návrh šmykovej výstuže odčítané na líci trámu.

**Návrhová hodnota**  $V_{Ed} = 256,78 \text{ kN/m}$

rieším 1bm =>  $V_{Ed} = 256,78 \text{ kN}$

Únosnosť dosky bez šmykovej výstuže:

$$C_{Rd,c} = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{261}} = 1,875$$

$$\rho = A_s \cdot 100\% / d = 1,026 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{100}{0,261} = 0,393\% < 2\%$$

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{\rho \cdot f_{ck} \cdot b \cdot d} = 0,12 \cdot 1,875 \cdot \sqrt[3]{0,393 \cdot 35 \cdot 1000 \cdot 261} = 140,705 \text{ N}$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{1,5} \cdot f_{ck}^{0,5} = 0,035 \cdot 1,875^{1,5} \cdot 35^{0,5} = 0,532$$

$$V_{Rd,min} = v_{min} \cdot b \cdot d = 0,532 \cdot 1000 \cdot 261 = 138,852 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} < V_{Ed} \Rightarrow \text{navrhujem strmienky po } s = 150 \text{ mm}$$

**Únosnost šmykové výstuže**

$$A_{sw} = 5,0,008^2 \cdot \pi / 4 = 2,513 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad 5\text{-strižný } \phi 8 \text{ na } 1\text{bm}$$

$$V_{Rd,s} = A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot \cot \theta / s = 2,513 \cdot 10^{-4} \cdot 478,26 \cdot 10^6 \cdot 0,2486 \cdot \cot(30^\circ) / 0,15 = 345,007 \text{ kN}$$

**Overenie únosnosti tlačenej diagonály**

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

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_t \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta} = \frac{1 \cdot 1,0 \cdot 2486 \cdot 0,516 \cdot 19,833 \cdot 10^6}{\cot(30^\circ) + \tan(30^\circ)} = 1101,641 \text{ kN}$$

**Šmyková únosnosť**

$$V_{Rd} = \min[V_{Rd,s} ; V_{Rd,max}] = \max[345,007 ; 1101,641] = 345,007 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} > V_{Ed} = 256,78 \text{ kN} \quad \textbf{vyhovuje}$$

**Konstrukčné zásady**

$$\text{stupeň vystuženia} \quad \rho_w = \frac{A_{sw}}{b_t \cdot s} = \frac{2,513 \cdot 10^{-4}}{1,0 \cdot 15} = 1,675 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{minimálny stupeň vystuženia} \quad \rho_{w,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{35}}{550} = 8,605 \cdot 10^{-4}$$

$$\rho_w > \rho_{w,min} \quad \textbf{vyhovuje}$$

$$\text{osová vzdialenosť strmienkov} \quad s_{l,max} = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,271 = 0,203 \text{ m}$$

$$s = 0,15 \text{ m} < s_{l,max} = 0,203 \text{ m} \quad \textbf{vyhovuje}$$

$$\text{vzdialenosť vetví strmienkov} \quad s_{t,max} = 0,75 \cdot d = 0,203 \text{ m}$$

$$s = 0,2 \text{ m} < s_{t,max} = 0,203 \text{ m} \quad \textbf{vyhovuje}$$

## 5. MEDZNÝ STAV POUŽITEĽNOSTI

### 5.1. OBMEDZENIE NAPÄTÍ

Posúdenie obmedzenia napätí bude posudzované najskôr pre čas  $t_0$ , v ktorom sa overí vznik trhlín a podľa výsledkov sa následne posúdi napätie v betóne a výstuži od príslušných kombinácií v čase  $t_{00}$ .

napätie riešime na ideálnom priereze

zaťaženie:  $M_{lt} = M_{gk} = 53,9 \text{ kNm}$

$$M_{st} = M_{qk} = 321,3 \text{ kNm}$$

$$M_{st'} = M_{qk, \psi_1} = 231,91 \text{ kNm}$$

Hodnoty súčiniteľov pre dotvarovanie v časoch  $t_0$  (28 dní) a  $t_s$  (7 dní) boli stanovené podľa nomogramu pre normálne tuhnúci cement (N) triedu betónu C35/45 pri uvažovanej relatívnej vlhkosti prostredia  $RH = 80\%$ .

$$A_c = 1,5 \cdot 0,3 + 2,34 \cdot 0,332 = 1,22454 \text{ m}^2$$

$$u = 1,5 + 2,34 + 2 \cdot (0,3 + 0,42) = 5,28 \text{ m}$$

$$h_0 = 2 \cdot A_c / u = 2 \cdot 1,22454 / 5,28 = 464 \text{ mm}$$

$$\varphi(t_\infty, t_0) = 1,6$$

$$\varphi(t_\infty, t_s) = 2,0$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$E_{cm} = 34 \text{ GPa}$$

$$E_{c, \text{eff}} = E_{cm} / (1 + \varphi(t_\infty, t_0)) = 34 / (1 + 1,6) = 13,077 \text{ GPa}$$

$$E_{c, \text{eff}}' = \frac{(M_{st} + M_{lt}) \cdot E_{cm}}{M_{st} + (1 + \varphi(t_\infty, t_0)) \cdot M_{lt}} = \frac{(321,3 + 53,9) \cdot 34}{321,3 + (1 + 1,6) \cdot 53,9} = 27,646 \text{ GPa}$$

$$E_{c, \text{eff}}'' = \frac{(M_{st'} + M_{lt}) \cdot E_{cm}}{M_{st'} + (1 + \varphi(t_\infty, t_0)) \cdot M_{lt}} = \frac{(231,91 + 53,9) \cdot 34}{231,91 + (1 + 1,6) \cdot 53,9} = 26,119 \text{ GPa}$$

$$\alpha_{e,st} = E_s/E_{cm} = 200/34 = 5,882$$

$$\alpha_{e,lt} = E_s/E_{c,eff} = 200/13,077 = 15,294$$

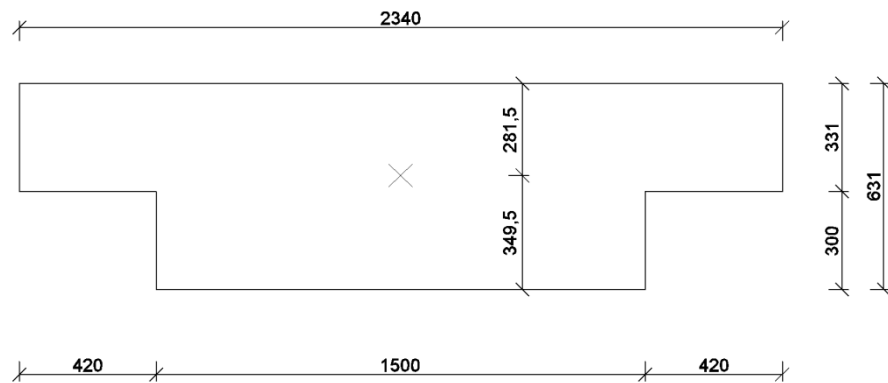
$$\alpha_{e,lt}' = E_s/E_{c,eff}' = 200/27,646 = 7,234$$

$$\alpha_{e,lt}'' = E_s/E_{c,eff}'' = 200/26,119 = 7,657$$

Výpočet prierezových charakteristík prierezu:

$$S_y = 1,5 \cdot 0,3 \cdot 0,15 + 2,34 \cdot 0,331 \cdot 0,4655 = 0,428 \text{ m}^3$$

$$z_t = 0,3495 \text{ m} \quad z_t' = 0,2815 \text{ m}$$



$$I_c = (1/12) \cdot 1,5 \cdot 0,3^3 + 1,5 \cdot 0,3 \cdot (0,3495 - 0,15)^2 + (1/12) \cdot 2,34 \cdot 0,331^2 + 2,34 \cdot 0,331 \cdot (0,2815 - 0,1655)^2 = 3,878 \cdot 10^{-2} \text{ m}^4$$

### Posúdenie pre častú kombináciu

$$M_{Ek} = M_{st}' + M_{lt} = 231,91 + 53,9 = 285,81 \text{ kNm}$$

plný prierez

$$A_i = A_c + \alpha_{e,st} \cdot A_{st} = 1,22454 + 5,882 \cdot 2,036 \cdot 10^{-3} = 1,2365 \text{ m}^2$$

$$a_{gi} = x_i = \frac{(A_c \cdot a_g + \alpha_{e,st} \cdot A_{st} \cdot d)}{A_i} = \frac{1,22454 \cdot 0,2815 + 5,882 \cdot 2,036 \cdot 10^{-3} \cdot 0,557}{1,2365} = 0,2842 \text{ m}$$

$$I_i = I_c + A_c \cdot (a_{gi} - z_t')^2 + \alpha_{e,st} \cdot A_{st} \cdot (d - a_{gi})^2 = 3,878 \cdot 10^{-2} + 1,22454 \cdot (0,2842 - 0,2815)^2 + 5,882 \cdot 2,036 \cdot 10^{-3} \cdot (0,557 - 0,2842)^2 = 0,03968 \text{ m}^4$$

$$\sigma_{c1} = \frac{M_{Ek} \cdot (h - a_{gi})}{I_i} = \frac{285810 \cdot (0,631 - 0,2842)}{0,03968} = 2,498 \text{ MPa}$$

$$f_{ct,eff} = f_{ctm} = 3,5\text{MPa} > \sigma_{c1} \Rightarrow \text{trhliny nevzniknú}$$

### Posúdenie pre charakteristickú kombináciu

$$M_{Ek} = M_{st}' + M_{lt} = 321,3 + 53,9 = 375,2\text{kNm}$$

plný prierez

$$\sigma_{c1} = \frac{M_{Ek} \cdot (h - a_{gi})}{I_i} = \frac{375200 \cdot (0,631 - 0,2842)}{0,03968} = 3,279\text{MPa} < 3,5\text{MPa} = f_{ctm} \text{ nevzniknú trhliny}$$

$$\sigma_{c2} = \frac{M_{Ek} \cdot a_{gi}}{I_i} = \frac{375200 \cdot 0,2842}{0,03968} = 2,687\text{MPa} < 0,6f_{ck} = 21\text{MPa}$$

$$\sigma_{st} = \frac{\alpha_{e,st} \cdot M_{Ek} \cdot (h - a_{gi})}{I_i} = \frac{5,882 \cdot 375200 \cdot (0,631 - 0,2842)}{0,03968} = 19,288\text{MPa} < 0,8 \cdot f_{yk} = 440\text{MPa}$$

✓ vyhovie pre charakteristickú kombináciu

### Posúdenie pre kvázistálu kombináciu

$$M_{Ek,\psi 2} = M_{gk} = 53,9\text{kNm}$$

plný prierez

$$\sigma_{c1} = \frac{M_{Ek} \cdot (h - a_{gi})}{I_i} = \frac{53900 \cdot (0,631 - 0,2842)}{0,03968} = 0,471\text{MPa} < 3,5\text{MPa} = f_{ctm} \text{ nevzniknú trhliny}$$

$$\sigma_{c2} = \frac{M_{Ek} \cdot a_{gi}}{I_i} = \frac{53900 \cdot 0,2842}{0,03968} = 0,386\text{MPa} < 0,45f_{ck} = 15,75\text{MPa}$$

✓ vyhovie na kvázistálu kombináciu

Prierez vyhovuje pre posudok obmedzenia napätí v priereze pre všetky kombinácie.

## 5.2. OBMEDZENIE TRHLÍN

Posudok pre výpočet šírky a obmedzenie trhlín nemusí byť prevedený, pretože sa prierez nepotrhá a teda šírka trhlín je nulová. Prierez vyhovie na obmedzenie trhlín.

### 5.3. OBMEDZENIE PRETVORENÍ

#### Krátkodobé účinky

častá kombinácia – plný prierez

$$I_i = 0,03968 \text{ m}^4$$

$$E_{c,eff''} = 26,119 \text{ GPa}$$

$$M_{cr,st} = f_{ctm} \cdot I_i / (h - a_{gi}) = 3,5 \cdot 10^6 \cdot 0,03968 / (0,631 - 0,2842) = 400,461 \text{ kNm}$$

$$\xi_{st} = 0$$

$$(1/r)_{\xi} = \frac{M_{Ek,\psi 1}}{E_{c,eff''} \cdot I_i} = \frac{285810}{26,119 \cdot 10^9 \cdot 0,03968} = 2,758 \cdot 10^{-4}$$

kvázistála kombinácia – plný prierez

$$(1/r)_{kv} = \frac{M_{Ek,\psi 2}}{E_{cm} \cdot I_i} = \frac{53900}{34 \cdot 10^9 \cdot 0,03968} = 3,995 \cdot 10^{-5}$$

celková krivosť

$$(1/r)_{st} = (1/r)_{\xi} - (1/r)_{kv} = 2,758 \cdot 10^{-4} - 3,995 \cdot 10^{-5} = 2,3585 \cdot 10^{-4}$$

prieťah  $v_{st} = (5/48) \cdot 2,3585 \cdot 10^{-4} \cdot 3^2 = 0,22 \text{ mm}$

#### Dlhodobé účinky

kvázistála kombinácia – plný prierez

$$(1/r)_{lt} = \frac{M_{Ek,\psi 2}}{E_{c,eff} \cdot I_i} = \frac{53900}{13,077 \cdot 10^9 \cdot 0,03968} = 1,039 \cdot 10^{-4}$$

prieťah  $v_{lt} = (5/48) \cdot 1,039 \cdot 10^{-4} \cdot 3^2 = 0,1 \text{ mm}$

#### Zmršťovanie

betón bude ošetrovaní 7 dní

$$E_{c,eff,s} = E_{cm} / (1 + \varphi(t_{00}, t_s)) = 34 / (1 + 2) = 11,333 \text{ GPa}$$

$$\alpha_{e,s} = E_s / E_{c,eff,s} = 200 / 11,333 = 17,647$$

plný prierez

$$A_i = A_c + \alpha_{e,s} \cdot A_{st} = 1,22454 + 17,647 \cdot 2,036 \cdot 10^{-3} = 1,26047 \text{ m}^2$$

$$a_{gi} = \frac{(A_c \cdot a_g + \alpha_{e,s} \cdot A_{st} \cdot d)}{A_i} = \frac{1,22454 \cdot 0,2815 + 17,647 \cdot 2,036 \cdot 10^{-3} \cdot 0,557}{1,26047} = 0,289 \text{ m}$$

$$S_i = A_s \cdot (d - a_{gi}) = 2,036 \cdot 10^{-3} \cdot (0,557 - 0,289) = 5,4565 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$I_i = I_c + A_c \cdot (a_{gi} - z_t')^2 + \alpha_{e,s} \cdot A_{st} \cdot (d - a_{gi})^2 = 3,878 \cdot 10^{-2} + 1,22454 \cdot (0,289 - 0,2815)^2 + 17,647 \cdot 2,036 \cdot 10^{-3} \cdot (0,557 - 0,289)^2 = 0,04143 \text{ m}^4$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot I_i \cdot (h - a_{gi}) = 3,5 \cdot 10^6 \cdot 0,04143 \cdot (0,631 - 0,289) = 49,592 \text{ kNm}$$

$$M_{lt} = M_{gk} = 53,9 \text{ kNm}$$

potrhaný prierez

$$x_{ir} = \frac{\alpha_{e,s}}{b} \cdot (A_{st} + A_{sc}) \cdot \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2b}{\alpha_{e,s}} \cdot \frac{A_{st} \cdot d + A_{sc} \cdot d_2}{(A_{st} + A_{sc})^2}} \right] = \frac{17,647}{1,941} \cdot (2,036 \cdot 10^{-3} + 1,847 \cdot 10^{-3}) \cdot \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 1,941}{17,647} \cdot \frac{2,036 \cdot 10^{-3} \cdot 0,557 + 1,847 \cdot 10^{-3} \cdot 0,559}{(2,036 \cdot 10^{-3} + 1,847 \cdot 10^{-3})^2}} \right] = 0,166 \text{ m}$$

$$S_{ir} = 2,036 \cdot 10^{-3} \cdot (0,557 - 0,166) = 7,961 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$I_{ir} = (1/3) \cdot 1,941 \cdot 0,166^3 + 17,647 \cdot 2,036 \cdot 10^{-3} \cdot (0,557 - 0,166)^2 = 8,452 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

autogénna zložka zmršťovania

$$\varepsilon_{ca(00)} = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 2,5 \cdot (35 - 10) \cdot 10^{-6} = 6,25 \cdot 10^{-5}$$

$$\beta_{as} = 1 - e^{-0,2 \cdot \sqrt{t}} = 1 - e^{-0,2 \cdot \sqrt{7}} = 0,411$$

$$\varepsilon_{ca} = \varepsilon_{ca(00)} \cdot \beta_{as} = 6,25 \cdot 10^{-5} \cdot 0,411 = 2,568 \cdot 10^{-5}$$

zmršťovanie vysychaním

$$\beta_{ds}(t_{oo}, t_s) = \frac{t - t_s}{t - t_s + 0,04 \sqrt{h_0^3}} = \frac{36500 - 7}{36500 - 7 + 0,04 \cdot \sqrt{464^3}} = 0,989$$

$$\beta_{RH} = 1,55 \cdot [1 - (RH/RH_o)^3] = 1,55 \cdot [1 - 0,8^3] = 0,7564$$

$$k_h \Rightarrow h_0 = 300\text{mm} \quad k_h = 0,75$$

$$h_0 = 500\text{mm} \quad k_h = 0,7$$

$$\text{interpolácia} \quad h_0 = 464\text{mm} \quad k_h = 0,709$$

$$f_{cm} = 43\text{MPa}$$

$$\text{cement N} \Rightarrow \alpha_{ds1} = 4 \quad \alpha_{ds2} = 0,12$$

$$\epsilon_{cd,0} = 0,85 \cdot [(220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot e^{-\alpha_{ds2} \cdot f_{cm}/f_{cmo}}] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH} =$$

$$= 0,85 \cdot [(220 + 110 \cdot 4) \cdot e^{-0,12 \cdot 43/10}] \cdot 10^{-6} \cdot 0,7564 = 2,53 \cdot 10^{-4}$$

$$\epsilon_{cd} = \beta_{ds}(t_{oo}, t_s) \cdot k_h \cdot \epsilon_{cd,0} = 0,989 \cdot 0,709 \cdot 2,53 \cdot 10^{-4} = 1,774 \cdot 10^{-4}$$

celkové účinky zmršťovania

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{ca} + \epsilon_{cd} = 2,568 \cdot 10^{-5} + 1,774 \cdot 10^{-4} = 2,031 \cdot 10^{-4}$$

$$(1/r_{cs})_i = 2,031 \cdot 10^{-4} \cdot 17,647 \cdot 5,4565 \cdot 10^{-4} / 0,04143 = 4,72 \cdot 10^{-5}$$

$$(1/r_{cs})_{ir} = 2,031 \cdot 10^{-4} \cdot 17,647 \cdot 7,961 \cdot 10^{-4} / 0,008452 = 3,376 \cdot 10^{-4}$$

$$\xi_{lt} = 1 - 1 \cdot (49,592/53,9)^2 = 0,153$$

$$(1/r_{cs}) = \xi_{lt} \cdot (1/r_{cs})_i + (1 - \xi_{lt}) \cdot (1/r_{cs})_{ir} = 0,153 \cdot 4,72 \cdot 10^{-5} + (1 - 0,153) \cdot 3,376 \cdot 10^{-4} = 2,932 \cdot 10^{-4}$$

priehyb od zmršťovania

$$v_s = (1/8) \cdot (1/r_{cs}) \cdot L^2 = (1/8) \cdot 2,932 \cdot 10^{-4} \cdot 3^2 = 0,33\text{mm}$$

**celkový priehyb**

$$v = v_{st} + v_{lt} + v_s = 0,22 + 0,1 + 0,33 = 0,65\text{mm}$$

$$v_{lim} = L/350 = 3000/350 = 8,57\text{mm}$$

$$v < v_{lim} \quad \textbf{vyhovuje}$$

Prierez v rezervou vyhovuje podmienkam daným pre priehyb.

**6. KOTEVNÉ A STYKOVACIE DÍŽKY**

Výpočet nutnej kotevnej a stykovacej dĺžky pre vložky betonárskej výstuže:

**medzné napätie v súdržnosti**

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05} / \gamma_c = 1.2,2/1,5 = 1,467\text{MPa}$$

$$\eta_1 = 1,0 \text{ (dobré podmienky)} \quad \eta_2 = 1,0 \text{ pre } \phi < 32\text{mm}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,467 = 3,301\text{MPa}$$

**Kotevné dĺžky pre  $\phi 18\text{mm}$** 

základná kotevná dĺžka:

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{18}{4} \cdot \frac{478,26 \cdot 10^6}{3,301 \cdot 10^6} = 652\text{mm}$$

návrhová kotevná dĺžka:

$$\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - 3 \cdot \phi) / \phi = 1 - 0,15 \cdot (71 - 3 \cdot 18) / 18 = 0,858 \quad (\text{vplyv krycej vrstvy})$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1,0 \cdot 0,858 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 652 = 560\text{mm}$$

minimálna kotevná dĺžka:

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd} ; 10 \cdot \phi ; 100\text{mm}) = \max(0,3 \cdot 652 ; 10 \cdot 18 ; 100) = \max(196 ; 180 ; 100) = 196\text{mm}$$

**Kotevné dížky pre  $\phi 14\text{mm}$** 

základná kotevná dĺžka:

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{14}{4} \cdot \frac{478,26 \cdot 10^6}{3,301 \cdot 10^6} = 507\text{mm}$$

návrhová kotevná dĺžka:

$$\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - 3 \cdot \phi) / \phi = 1 - 0,15 \cdot (71 - 3 \cdot 14) / 14 = 0,689 \quad (\text{vplyv krycej vrstvy})$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1,0 \cdot 0,689 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 507 = 350\text{mm}$$

minimálna kotevná dĺžka:

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd} ; 10 \cdot \phi ; 100\text{mm}) = \max(0,3 \cdot 507 ; 10 \cdot 14 ; 100) = \max(152 ; 140 ; 100) = 152\text{mm}$$

**Presahová dĺžka pre  $\phi 18\text{mm}$** 

nutná presahová dĺžka:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 5,652 = 978\text{mm}$$

minimálna presahová dĺžka:

$$l_{0,min} = \max(0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} ; 15 \cdot \phi ; 200\text{mm}) = \max(0,3 \cdot 1,1 \cdot 5,652 ; 15 \cdot 18 ; 200) = \max(293 ; 270 ; 200) = 293\text{mm}$$

**Presahová dĺžka pre  $\phi 14\text{mm}$** 

nutná presahová dĺžka:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 5,507 = 761\text{mm}$$

minimálna presahová dĺžka:

$$l_{0,min} = \max(0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} ; 15 \cdot \phi ; 200\text{mm}) = \max(0,3 \cdot 1,1 \cdot 5,507 ; 15 \cdot 14 ; 200) = \max(228 ; 210 ; 200) = 228\text{mm}$$

## 7. ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

V tejto kapitole sú uvedené a vysvetlené skratky a symboly použité v tejto prílohe. V prípade, že sa tu niektorá skratka nevyskytuje, bola dostatočne vysvetlená priamo v texte.

### PÍSMENÁ LATINSKEJ ABECEDY

A	plocha
$A_c$	plocha betónového prierezu
$A_s$	prierezová plocha betonárskej výstuže
$A_{sw}$	prierezová plocha šmykovej výstuže
b	šírka
$b_t$	náhradná šírka
c	krytie výstuže
d	účinná výška prierezu
e	excentricita (indexy odpovedajú prvkom)
$E_{cm}$	sečnový modul pružnosti betónu
$E_{c,eff}$	účinný (efektívny) modul pružnosti betónu
$E_s$	návrhová hodnota modulu pružnosti betonárskej oceli
F	sila
$F_{cc}$	sila v tlačenej časti betónu
$F_s$	sila vo výstuži
$F_{Ed}$	návrhová hodnota pôsobiacej sily
$f_{cd}$	návrhová pevnosť betónu v tlaku
$f_{ck}$	charakteristická valcová pevnosť betónu v tlaku po 28 dňoch
$f_{ctm}$	priemerná hodnota pevnosti betónu v dostrednom ťahu
$f_{cm}$	priemerná hodnota pevnosť betónu v tlaku
$f_{cmo}$	hodnota daná normou na hodnotu 10 MPa

$f_{ctk,0,05}$	hodnota 5% kvantilu pre pevnosť betónu v ťahu
$f_{yd}$	návrhová medza klzu betonárskej oceli
$f_{yk}$	charakteristická medza klzu betonárskej oceli
$g_k$	charakteristická hodnota stáleho zaťaženia na plochu
$g_d$	návrhová hodnota stáleho zaťaženia na plochu
$h$	výška
$I_c$	moment zotrvačnosti betónového prierezu
$I_i$	moment zotrvačnosti ideálneho prierezu
$I_{i,r}$	moment zotrvačnosti ideálneho potrhaného prierezu
$k$	súčiniteľ (všeobecne)
$l$	dĺžka
$M$	ohybový moment
$M_{Ed}$	návrhová hodnota pôsobiaceho ohybového momentu
$M_{Rd}$	návrhová hodnota momentu únosnosti
$N$	normálová sila
$N_{Ed}$	návrhová hodnota pôsobiacej normálovej sily
$q_k$	charakteristická hodnota premenného zaťaženia na plochu
$q_d$	návrhová hodnota premenného zaťaženia na plochu
$Q_k$	charakteristické premenné zaťaženie osamelým bremenom
$Q_N$	N-ročný prietok
$R$	reakcia
$s$	vzdialenosť výstuže v priečnom smere
$S$	statický moment
$t$	čas
$v$	priehyb
$v_{lt}$	priehyb od dlhodobej zložky

$v_{st}$	prieťah od krátkodobej zložky
$V$	posúvajúca sila
$V_{Ed}$	návrhová hodnota pôsobiacej posúvajúcej sily
$V_{Rd}$	návrhová hodnota únosnosti v šmyku
$x$	výška tlačenej oblasti
$\Delta x$	vzdialenosť miesta s nulovým a maximálnym ohybovým momentom
$z$	rameno vnútorných síl
$z_t, z_t'$	vzdialenosti ťažiska od krajných vlákien prierezu

### PÍSMENÁ GRÉCKEJ ABECEDY

$\alpha_{cc}$	súčiniteľ nepriaznivých dlhodobých účinkov zaťaženia pre betón v tlaku
$\alpha_{ct}$	súčiniteľ nepriaznivých dlhodobých účinkov zaťaženia pre betón v ťahu
$\alpha_e$	pomer modulov pružnosti oceli a betónu
$\beta$	súčinitele zohľadňujúce čas trvania pre dotvarovanie a zmršťovanie
$\gamma$	súčinitele materiálu, prípadne typu zaťaženia
$\varepsilon$	pomerné pretvorenie
$\zeta$	rozdeľovací súčiniteľ
$\theta$	uhol trhlín
$\lambda$	štíhlosť
$\rho$	stupeň vystuženia
$\sigma$	napätie (všeobecne)
$\varphi$	dynamický súčiniteľ
$\varphi(t_1, t_2)$	súčiniteľ dotvarovania
$\phi$	priemer
$\psi$	súčiniteľ reprezentatívnych hodnôt premenného zaťaženia
$\omega$	mechanický stupeň vystuženia