

PŘEBĚŽNÝ NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ
LÁVKY PRO CHODCE

Příloha č. 1

OBSAH

1. Úvodní údaje	2
2. Výpočty	2
3. Rozbor zatěžovacích stavů	2
4. Kombinace zatěžovacích stavů	3
5. Varianta č. 1 – oblouková konstrukce	3
5.1. Technický popis konstrukce	3
5.2. Parametry výpočetního modelu	4
5.3. Vnitřní síly	7
5.4. Posouzení v MSÚ	9
5.5. Posouzení v MSP	11
5.6. Stanovení hmotnosti hlavní nosné konstrukce	11
6. Varianta č. 2 – zavěšená konstrukce	12
6.1. Technický popis konstrukce	12
6.2. Parametry výpočetního modelu	14
6.3. Vnitřní síly	17
6.4. Posouzení v MSÚ	19
6.5. Posouzení v MSP	22
6.6. Stanovení hmotnosti hlavní nosné konstrukce	22
7. Varianta č. 3 – visutá konstrukce	23
7.1. Technický popis konstrukce	23
7.2. Parametry výpočetního modelu	24
7.3. Parametry výpočetního modelu	27
7.4. Posouzení v MSÚ	29
7.5. Posouzení v MSP	32
7.6. Stanovení hmotnosti hlavní nosné konstrukce	32
8. Vyhodnocení variant	33
9. Závěr	33

1. Úvodní údaje

Předložená zpráva se zabývá návrhem a posouzením předběžných variant řešení lávky pro chodce ve Strakonících přes řeku Otavu u Strakonického hradu. Součástí zadání je dodržet minimální průchozí prostor šířky 4 m. Ve zprávě jsou u každé varianty navrženy a posouzeny všechny hlavní nosné prvky konstrukce, výsledkem každé varianty řešení je stanovení celkové hmotnosti všech nosných prvků. Na závěr jsou jednotlivé varianty porovnány z hlediska celkové hmotnosti, náročnosti montáže, estetiky a vhodnosti umístění v dané lokalitě.

2. Výpočty

Výpočet a posouzení jednotlivých prvků bylo provedeno dle příslušných podkladů a normových předpisů. Jednotlivé prvky byly posouzeny z hlediska I a II. mezního stavu únosnosti a použitelnosti.

3. Rozbor zatěžovacích stavů

Stálé zatížení:

Zatížení vlastní tíhou konstrukce je započteno softwarem Dlubal RFEM.

Ostatní stálé zatížení:

Ve všech variantách je navržena pochozí vrstva mostovky ze dřeva tl. 0,05 m a vždy je lávka po obou stranách opatřena zábradlím výšky 1,1 m.

	b (m)	kN/m ³	kN/m
Zábradlí	-	-	1
Dřevo tl. 0,05 m	4	6,4	1,28
Celkem			2,28

Proměnné zatížení:

V rámci porovnání jednotlivých variant bude uvažováno pouze zatížení chodci.

	b (m)	kN/m ²	kN/m
Svíslé - q_{fk}	4	5	20
Vodorovné - 10% z q_{fk}	4	0,5	2

4. Kombinace zatěžovacích stavů

Pro sestavení kombinací zatěžovacích stavů byl použit kombinační předpis 6.10:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Kde: $\gamma_G = 1,35$

$\gamma_Q = 1,35$

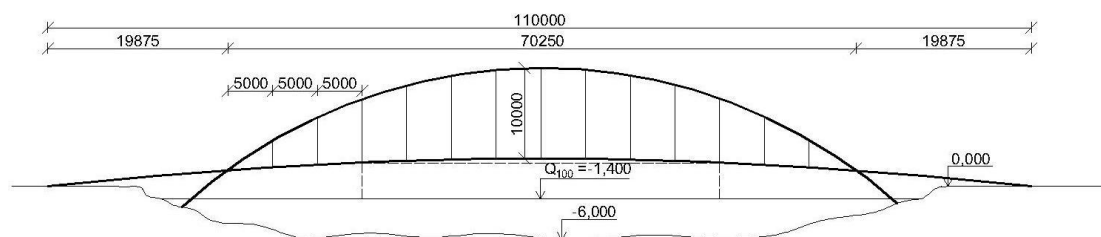
$\gamma_P = 1,00$

$\psi_0 = 0,4$

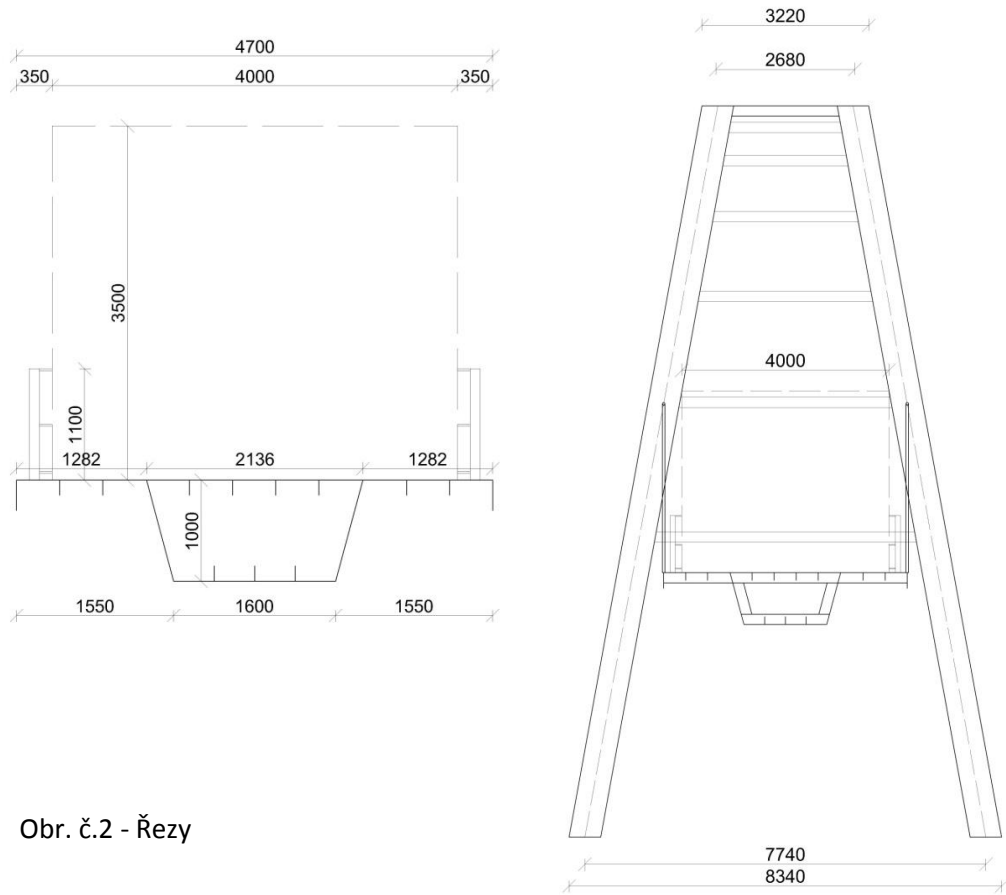
5. Varianta č. 1 – oblouková konstrukce

5.1. Technický popis konstrukce

V první variantě je lávka pro chodce navržena jako oblouková konstrukce, jejíž všechny nosné prvky jsou rozmístěny symetricky. Vzepětí oblouku činí 10 m, rozpětí lávky je 110 m. Průchozí prostor je navržen o šířce 4 m, po stranách je opatřen zábradlím výšky 1,1 m. Mostovka je po své délce navržena jako vypuklý oblouk s poloměrem $R=480$ m, výškový rozdíl mezi začátkem a vrcholem oblouku je 3,11 m. Takto zakřivená mostovka je navržena z důvodu dodržení minimálního průplavního prostoru pod lávkou. Dvojice hlavních nosných oblouků je navržena s proměnným průřezem a oblouky se k sobě postupně přibližují až na osovou vzdálenost 2,68 m, v místě uložení do základu je navržen obdélníkový průřez 200/450/20, tento průřez je zachován až k místu uchycení první dvojice závěsů, od toho místa začíná profil plynule přecházet na 100/200/20, cílové rozměry průřezu jsou dosaženy v místě uchycení třetí dvojice závěsů. Oblouky jsou vždy mezi sebou ztuženy v místě uchycení závěsů. Celkem je navrženo třináct dvojic závěsů uchycených mezi hlavní nosný oblouk a trám mostovky, osová vzdálenost mezi závěsy je 5 m. Krajní dvojice závěsů jsou Macalloy M36, ostatní Macalloy M24. Trám mostovky je ocelový komorový nosník s tl. plechu 5 mm, v místech uchycení závěsů a dále po 5 m je komorový nosník zesílen.



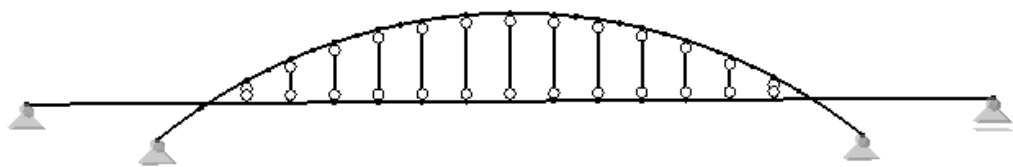
Obr. č.1 - Schéma konstrukce



Obr. č.2 - Řezy

5. 2. Parametry výpočetního modelu

Výpočetní model byl vytvořen rovinný (2D) a byl počítán teorií 2. řádu.



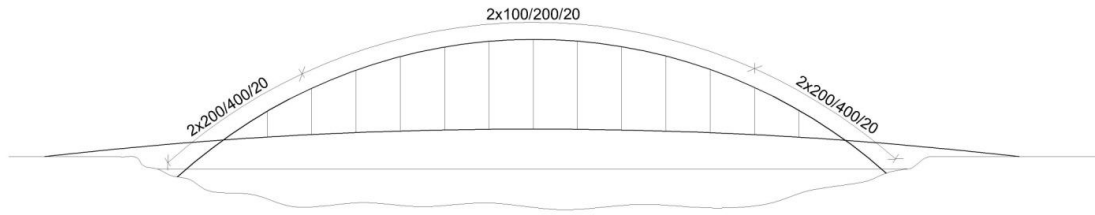
Obr. č.3 - Výpočetní model

Navržené průřezy:

Všechny prvky nosné konstrukce jsou navrženy z oceli S355

Hlavní nosná oblouková konstrukce (rozdělení dle obrázku č.4):

- 2x200/450/20 mm
- 2x100/200/20 mm



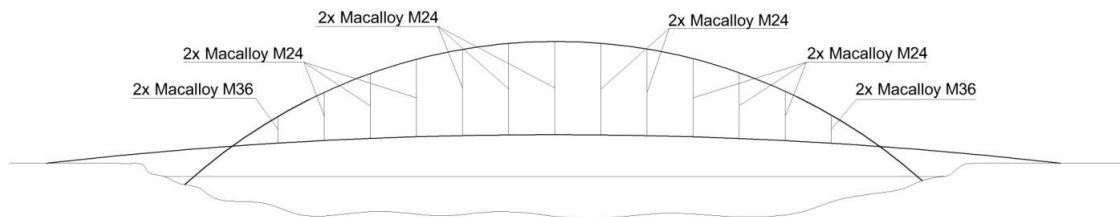
Obr. č.4 - Rozmístění průřezů na nosném oblouku

Trám:

- Komerový nosník (viz Obr č.2) – stěny tl. 5 mm

Závěsy (rozdělení dle obrázku č.5):

- Macalloy M36
- Macalloy M24

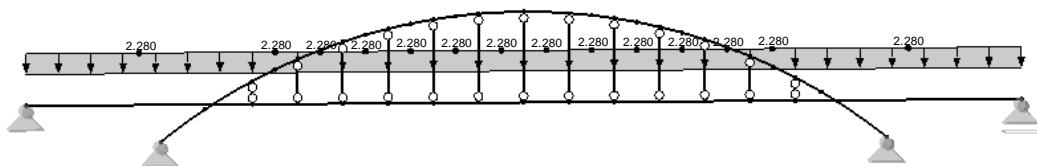


Obr. č.5 - Rozmístění táhel

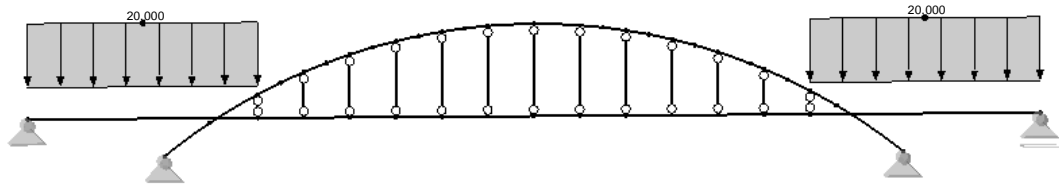
Zatěžovací stavy:

Byly vytvořeny dva modely, první model slouží pro návrh trámu, v tomto modelu se uvažuje se zatížením přes celou šířku mostu. Druhý model slouží pro návrh táhel a hlavní nosné obloukové konstrukce, v tomto modelu je uvažováno s přenosem poloviny zatížení do každého oblouku. Níže uvádím hodnoty zatížení pro celou šířku mostu (pro návrh trámu).

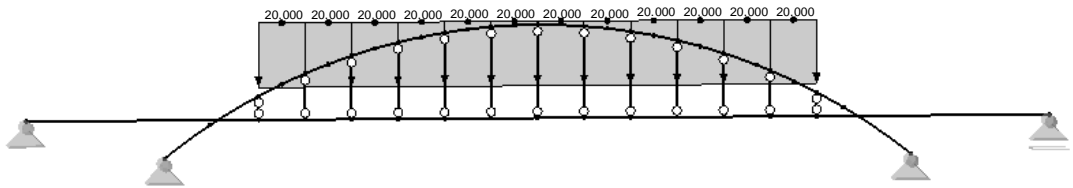
Veškeré hodnoty zatížení jsou uvedeny v jednotkách kN/m.



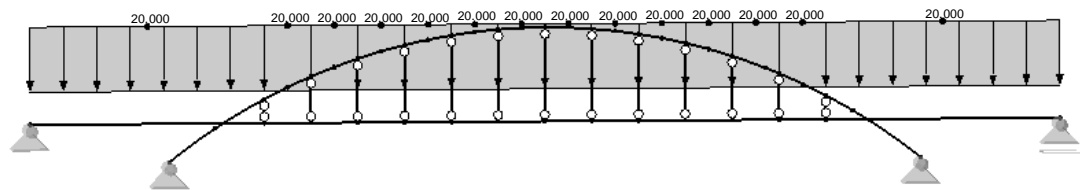
Obr. č.6 - Zatížení ostatní stálé



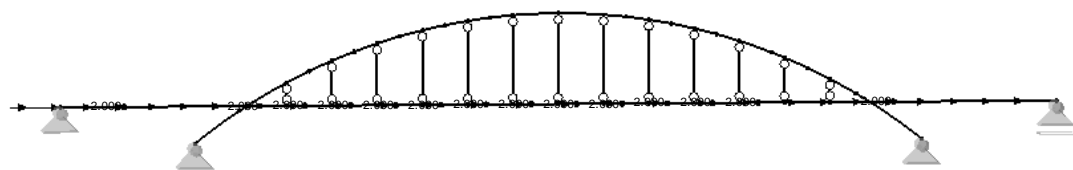
Obr. č.7 - Zatížení chodci v krajních polích



Obr. č.8 - Zatížení chodci ve středním poli



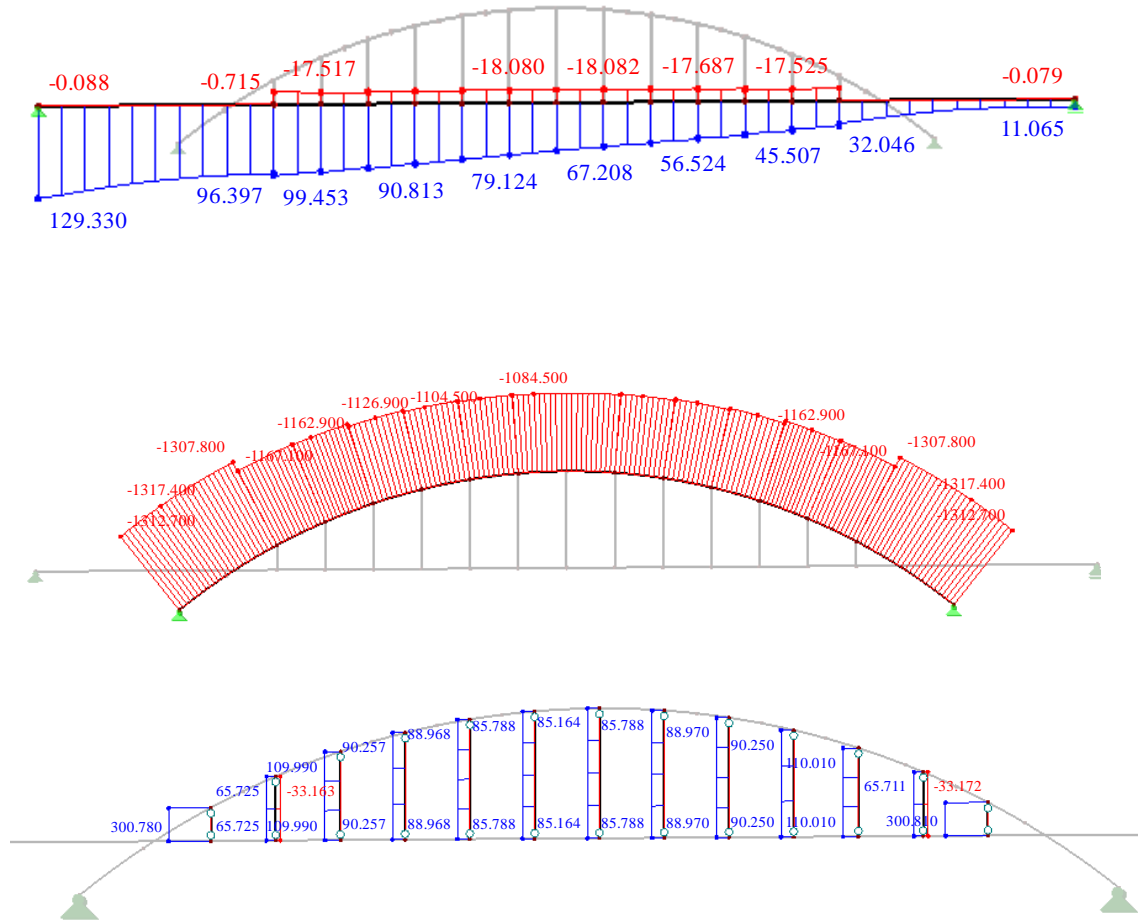
Obr. č.9 - Zatížení chodci na celé lánce



Obr. č.10 - Vodorovná složka zatížení od chodců

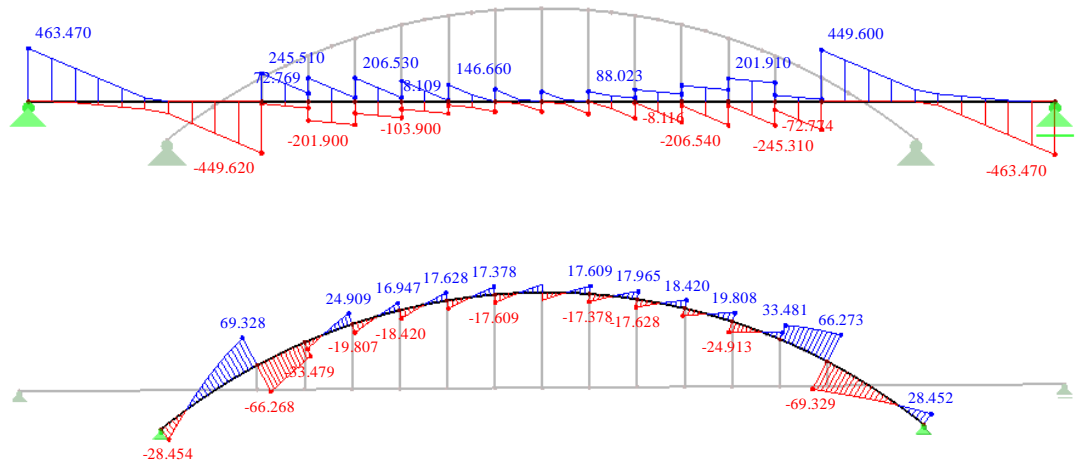
5.3. Vnitřní síly

Níže jsou uvedeny obálky všech vnitřních sil.

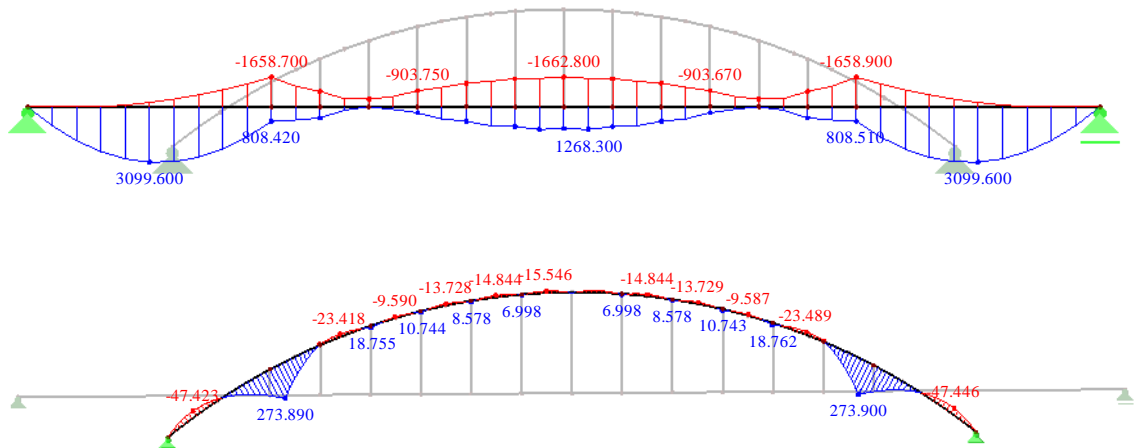


Obr. č.11 – Normálové síly N (kN)

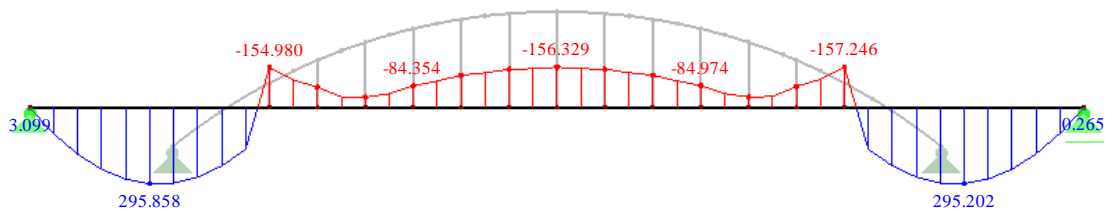
VARIANTA Č.1 – OBLOUKOVÁ KONSTRUKCE



Obr. č.12 – Posouvající síly V (kN)



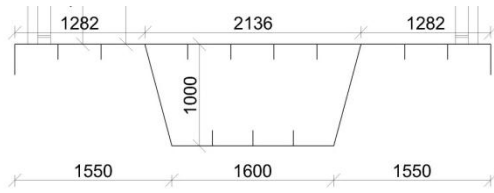
Obr. č.13 – Ohybové momenty M (kNm)



Obr. č.14 – Celkové napětí σ (MPa)

5. 4. Posouzení v MSÚ

Trám: Ocel S355, tl. plechu = 6 mm



Obr. č.15 – Rozměry průřezu trámu

$$\sigma_{\max} = 256,6 \text{ MPa} < \frac{f_{yd}}{\gamma_{m0}} = \frac{355}{1,15} = 308,7 \text{ MPa} \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Hlavní nosný oblouk:

Posouzení vpěrné únosnosti tlačенého prvku

Prvek: Oblouk		
Profil: 100/200/20		b = 200
Ocel: S355		t = 20
f_{y0}: 355 MPa		
Průřezové charakteristiky:		Třída průřezu: 1
A = 1,04E-02 m ²		d/t = 10 < 33 · ε ² = 21,85
I _y = 4,62E-05 m ⁴		
I _z = 1,38E-05 m ⁴		
i _y = 6,60E-02 m		
i _z = 6,60E-02 m		

Vpěrné délky:

$\alpha_{crit} = 3,45$ převzato z RF-STABILITY - Stabilitní analýza

$L_{cr,y} = \pi \sqrt{\frac{EI}{N_{cr}}}$ kde $N_{cr} = \alpha_{cr} \cdot N_{st}$ $L_{cr,y} = 4,87 \text{ m}$

$L_{cr,z} = 5,50 \text{ m}$

Namáhání:

$N_{ed} = 1172,4 \text{ kN}$

Vybočení v rovině:

součinitel imperfekce:

$\alpha = 0,49$ křivka: c

poměrná štíhlost:

$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{4,87}{6,60E-02} = 0,00$

$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,40$

$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{0,00}{76,40} = 0,000$

součinitel vzpěrnosti:

$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 1,109$

kde:

$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,451$

Vybočení z roviny:

součinitel imperfekce:

$\alpha = 0,49$ křivka: c

poměrná štíhlost:

$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{5,50}{6,60E-02} = 83,33$

$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,40$

$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{83,33}{76,40} = 1,091$

součinitel vzpěrnosti:

$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0,489$

kde:

$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 1,313$

Vzpěrná únosnost tlačенého prutu:

$\chi = \min(\chi_y, \chi_z) = 0,489$

$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,489 \cdot 0,0104 \cdot 355 \cdot 000}{1,15} = 1570 \text{ kN}$

Využití:

$\frac{N_{ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{1172,4}{1570} = 0,75 < 1 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$

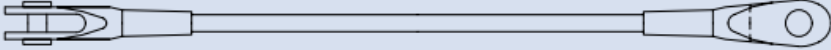
Posouzení vpěrné únosnosti tlačенého prvku

Prvek: Oblouk		
Profil:	200/450/20	b= 450
Ocel:	S355	t= 20
f_{yd} =	355 MPa	
Průřezové charakteristiky:		Třída průřezu: 2
A=	2,44E-02 m ²	d/t= 22,5 > 33.ε ² = 21,85
I_y =	6,00E-04 m ⁴	
I_z =	1,60E-04 m ⁴	
i_y =	1,57E-01 m	
i_z =	8,10E-02 m	
Vpěrné délky:		
α_{crit} =	3,45	převzato z RF-STABILITY - Stabilitní analýza
$L_{cr,y}$ =	$\pi \sqrt{\frac{EI}{N_{cr}}}$ kde $N_{cr} = \alpha_{cr} \cdot N_{Ed}$	$L_{cr,y} = 16,55$ m
$L_{cr,z}$ =	12,10	m
Namáhání:		
N_{Ed} =	1315,2	kN
Vybočení v rovině:		Vybočení z roviny:
součinitel imperfekce:	$\alpha = 0,49$	součinitel imperfekce:
	křivka: c	$\alpha = 0,49$
	křivka: c	
poměrná štíhlost:		poměrná štíhlost:
$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{16,55}{1,57E-01} = 105,43$		$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{12,10}{8,10E-02} = 149,38$
$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,40$		$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,40$
$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{105,43}{76,40} = 1,380$		$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{149,38}{76,40} = 1,955$
součinitel vzpěrnosti:		součinitel vzpěrnosti:
$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = 0,357$		$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = 0,204$
kde:		kde:
$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \lambda^2] = 1,7413$		$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \lambda^2] = 2,842$
Vzpěrná únosnost tlačенého prutu:		
$\chi = \min(\chi_y, \chi_z) = 0,204$		
$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,204 \cdot 0,0244 \cdot 355 \cdot 000}{1,15} = 1536$ kN		
Využití:		
$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{1315,2}{1536} = 0,86 < 1 \rightarrow$ VYHOVUJE		

Závěsy: Posouzeno dle tabulek únosnosti stanovených výrobcem (Obr. č.16)

Tabulka 1: Vlastnosti táhel Macalloy ve standardním provedení a v nerez provedení

Závět	jednotka	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90*	M100*
Průměr táhla	mm	10	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72	82	87	97
Minimální mez kluzu	kN	25	36	69	108	156	249	364	501	660	912	1204	1756	2239	2533	3172
Minimální mez pevnosti	kN	33	48	91	143	207	330	483	665	875	1209	1596	2329	2969	3358	4206
Hmotnost táhla	Kg/m	0,50	0,75	1,40	2,20	3,00	4,80	7,10	9,40	12,50	16,70	22,20	32,00	41,50	46,70	58,00



Obr. č.16 – tabulka únosností táhel Macalloy

Macalloy M36:

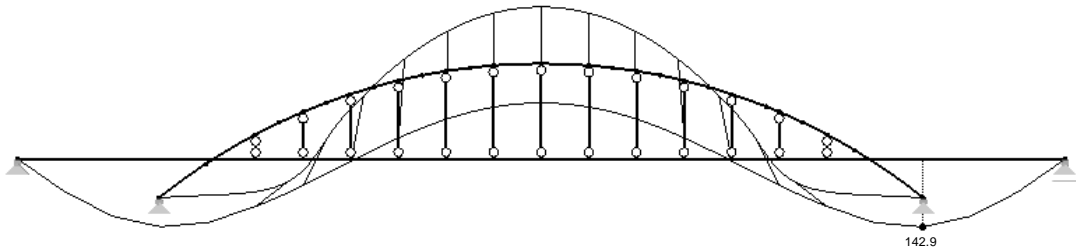
$$N_{Rd}=364 \text{ kN} > N_{ed}=300,8 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Macalloy M24:

$$N_{Rd} = 156 \text{ kN} > N_{ed} = 110 \text{ kN} \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

5.5. Posouzení v MSP

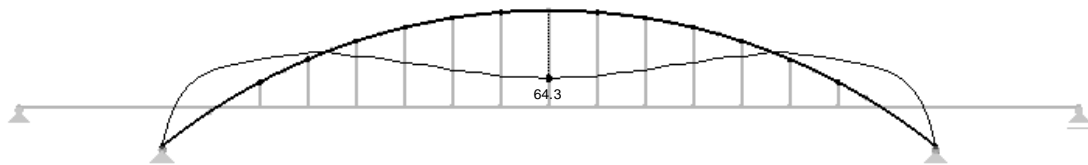
Průhyb trámu (mm): Od charakteristického proměnného zatížení. (Obr. č.17)



$$\delta_{\max} = 142,9 \text{ mm} < \delta_{\text{lim}} = \frac{L}{300} = \frac{110\,000}{300} = 366 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Průhyb Hlavního nosného oblouku (mm): Od charakteristického proměnného zatížení.

(Obr. č.18)



$$\delta_{\max} = 64,3 \text{ mm} < \delta_{\text{lim}} = \frac{L}{300} = \frac{86\,710}{300} = 289 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

5.6. Stanovení hmotnosti hlavní nosné konstrukce

Trám: 45 050 kg

Výztuhy trámu: 10 103 kg

Hlavní nosný oblouk: 21 919 kg

Vyztužení oblouku: 3 425 kg

Táhla: 600 kg

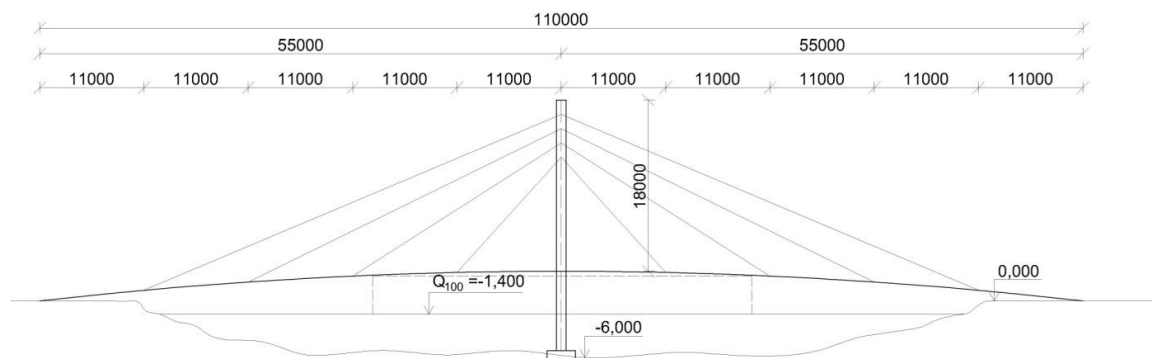
Celkem: 81 097 kg

6. Varianta č. 2 – zavěšená konstrukce

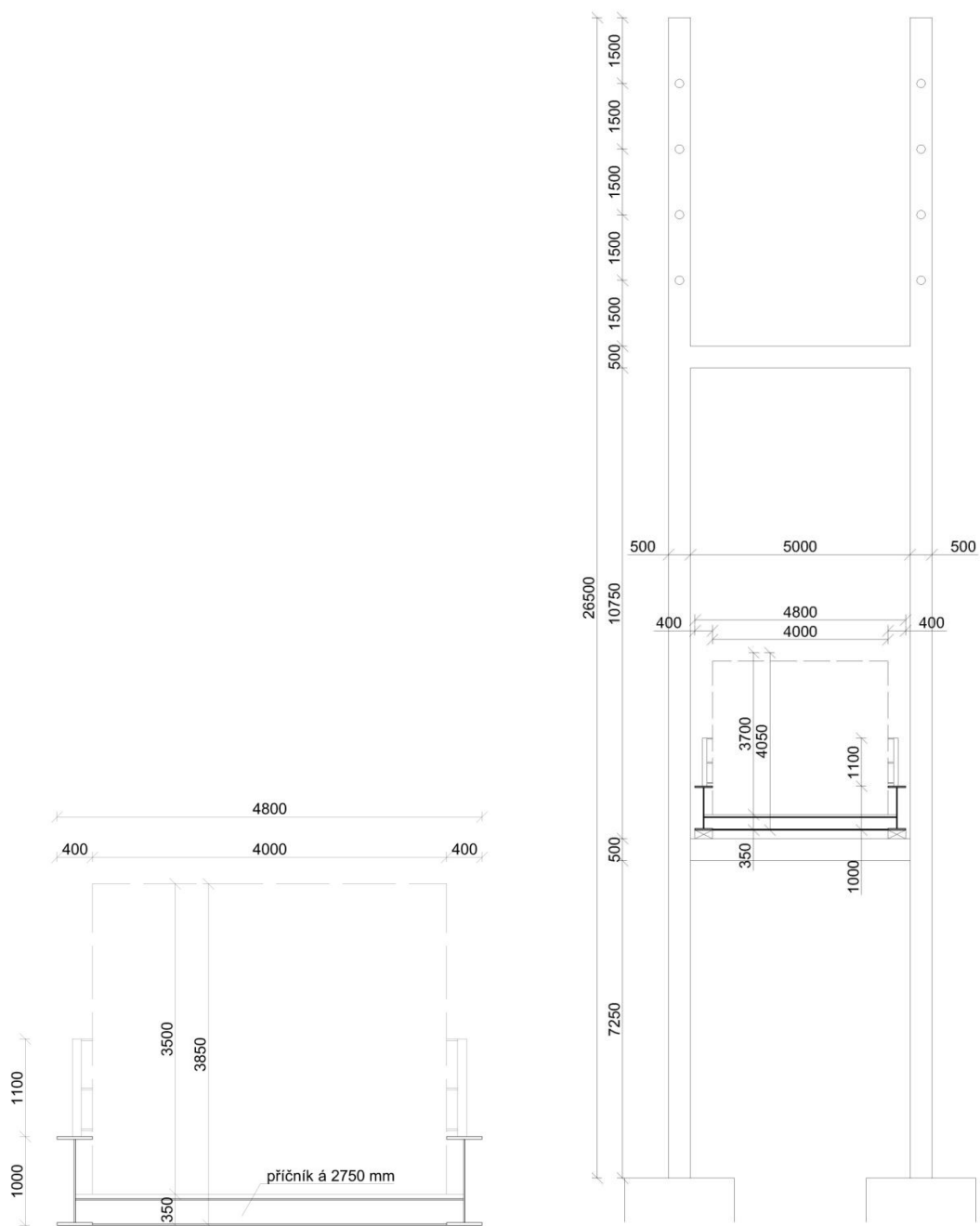
6.1. Technický popis konstrukce

V druhé variantě je lávka pro chodce navržena jako zavěšená konstrukce s dvojicí pylonů uprostřed rozpětí lávky, jejíž všechny nosné prvky jsou rozmístěny symetricky. Rozpětí obou polí je 55 m. Průchozí prostor je navržen o šířce 4 m, po stranách je opatřen zábradlím výšky 1,1 m. Mostovka je po své délce navržena jako vypuklý oblouk s poloměrem $R=480$ m, výškový rozdíl mezi začátkem a vrcholem oblouku je 3,11 m. Takto zakřivená mostovka je navržena z důvodu dodržení minimálního průplavního prostoru pod lávkou. Pylony zasahují do výšky 18 m nad vrchol mostovky, celková délka pylonu je 26,5 m. Průřez pylonu je čtvercový 500/500/25 mm. Pylony jsou vzájemně propojeny 1,5 m pod místem uchycení spodních závěsů a dále pod úrovní trámu. Do každého pylonu je symetricky zakotveno 8 závěsů, závěsy jsou navrženy jako spirálové jednopramenné lano $\varnothing 50$ mm. Závěsy jsou symetricky předepruty z důvodu vyrovnání průhybů na hodnotu $\pm 0,00$ od stálého zatížení. Trám mostovky je navržen svařovaného průřezu I 1000/500/20/40 mm, trám je ztužen příčníky svařovaného průřezu I 300/150/8/15 po vzdálenosti 2,75 m.

Obr. 7.1a. - Schéma konstrukce:



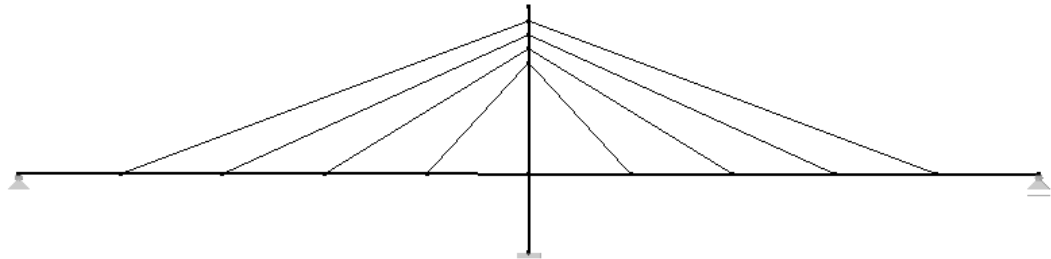
Obr. č.19 - Schéma konstrukce



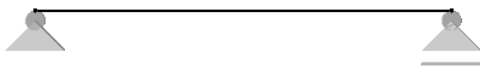
Obr. č.20 - Řezy

6.2. Parametry výpočetního modelu

Výpočetní model byl vytvořen rovinný (2D) a byl počítán teorií 2. řádu.



Obr č.21 - Výpočetní model pro trám, závěsy a pylon – závěsy nadefinovány jako tahový prut



Obr č.22 - Výpočetní model pro příčníky

Navržené průřezy:

Všechny prvky nosné konstrukce jsou navrženy z oceli S355

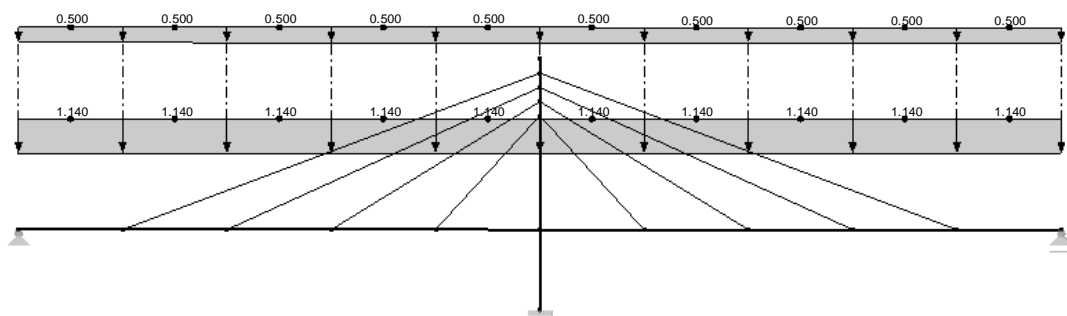
- Trám: I 1000/500/20/40
- Pylon: 500/500/25
- Příčníky: I 300/150/8/15
- Závěsy: Lana \varnothing 50 mm

Zatěžovací stavy:

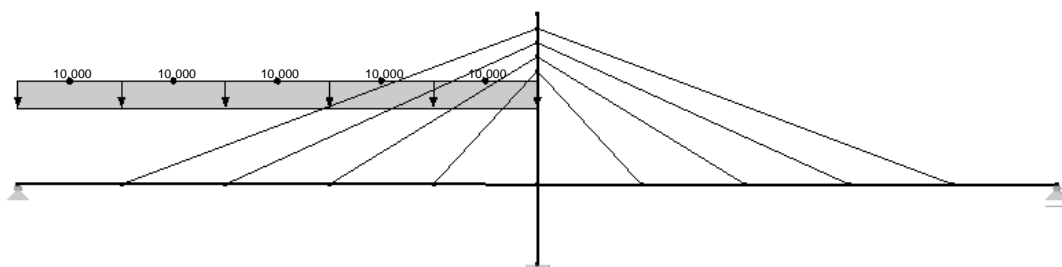
Ve výpočetním modelu pro trám, závěsy a pylon (Obr.č.21) je uvažováno s poloviční zatěžovací šířkou, protože most je symetrický okolo své příčné osy, je tedy zjednodušeně uvažováno symetrické namáhání všech prvků kolem příčné osy mostu.

Veškeré hodnoty zatížení jsou uvedeny v jednotkách kN/m, výjimku tvoří zatěžovací stav - Obr. č.30 – předpínací síly v závěsech, kde jsou hodnoty uvedeny v kN.

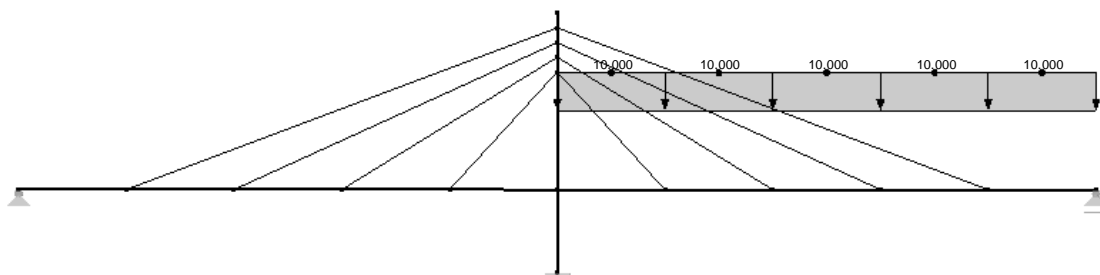
Obr. č.23- Zatížení ostatní stálé:



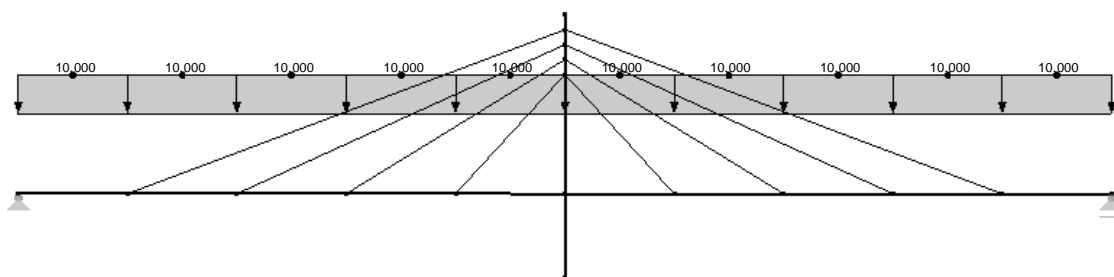
Obr. č.24 - Zatížení chodci na levé polovině lávky:



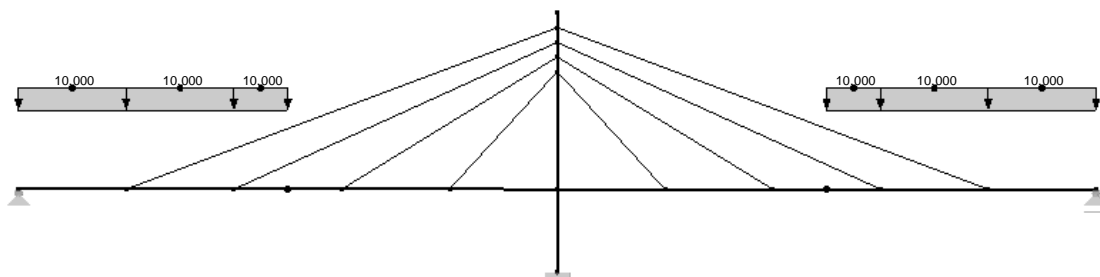
Obr. č.25 - Zatížení chodci na pravé polovině lávky:



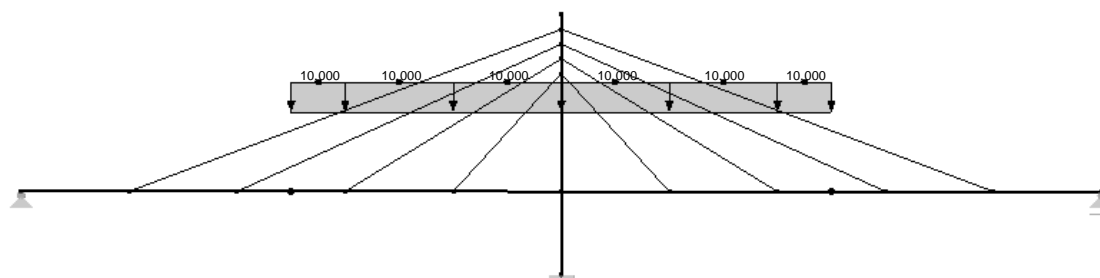
Obr. č.26 - Zatížení chodci po celé délce:



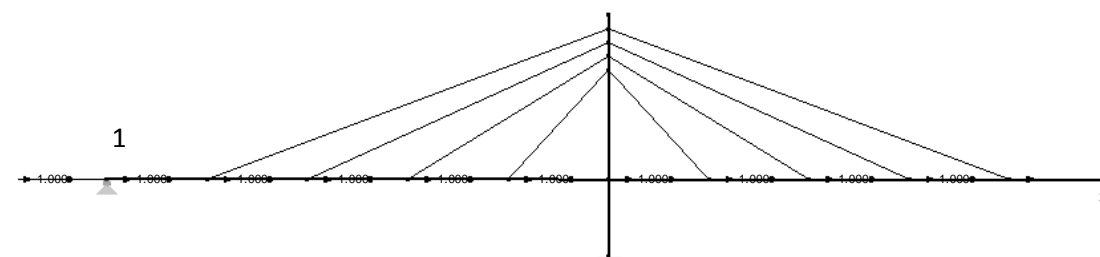
Obr. č.27 - Zatížení chodci na krajních ¼ lávky:



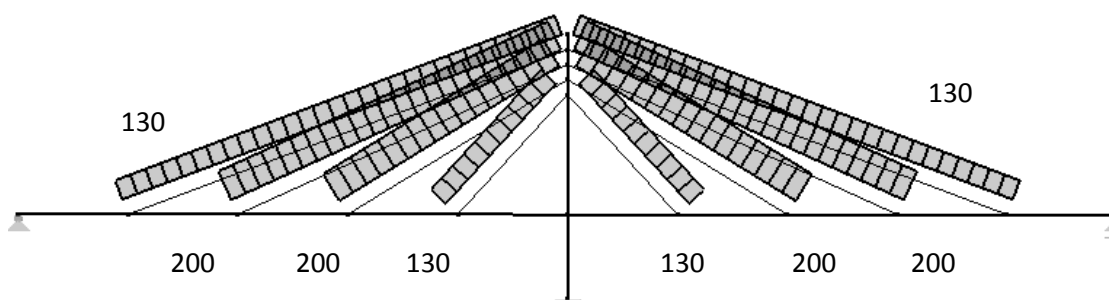
Obr. č.28 - Zatížení chodci uprostřed lávky:



Obr. č.29 - Vodorovná složka zatížení od chodců:



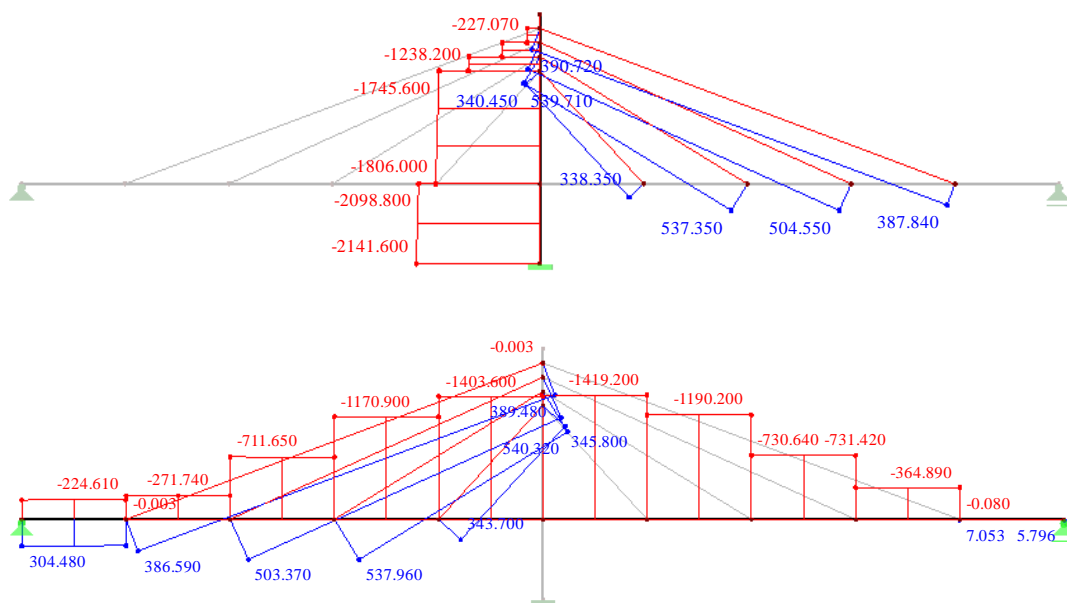
Obr. č.30 – předpínací síly v závěsech:



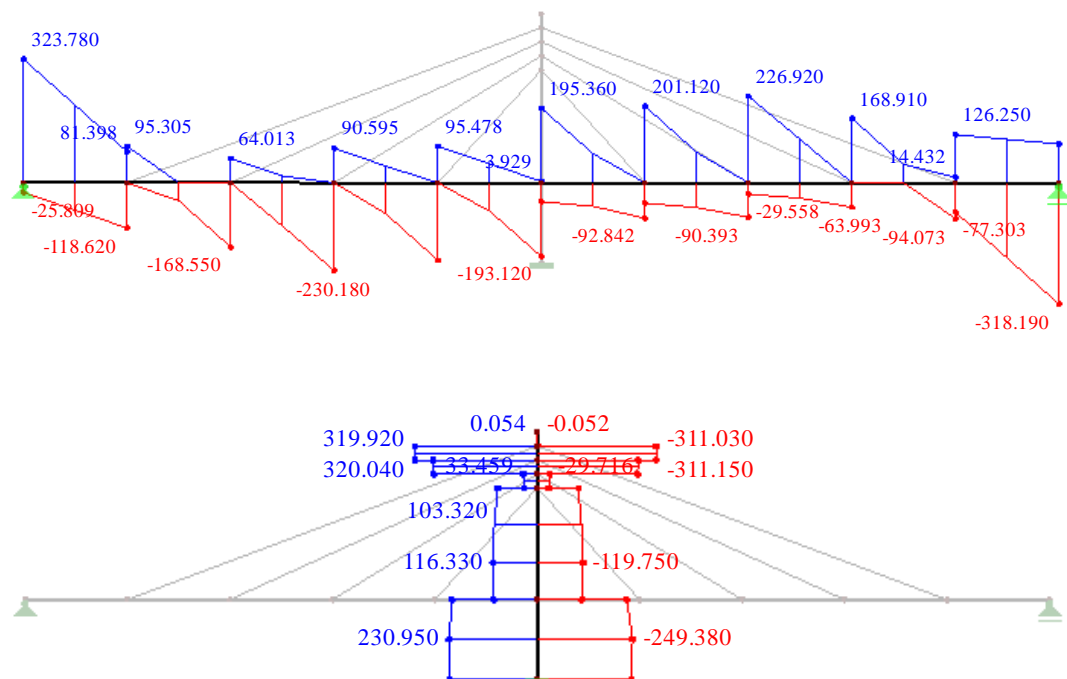
6.3. Vnitřní síly

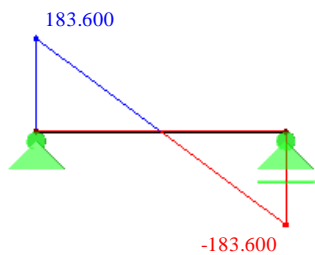
Níže jsou uvedeny obálky všech vnitřních sil.

Obr. č.31 – Normálové síly N (kN):

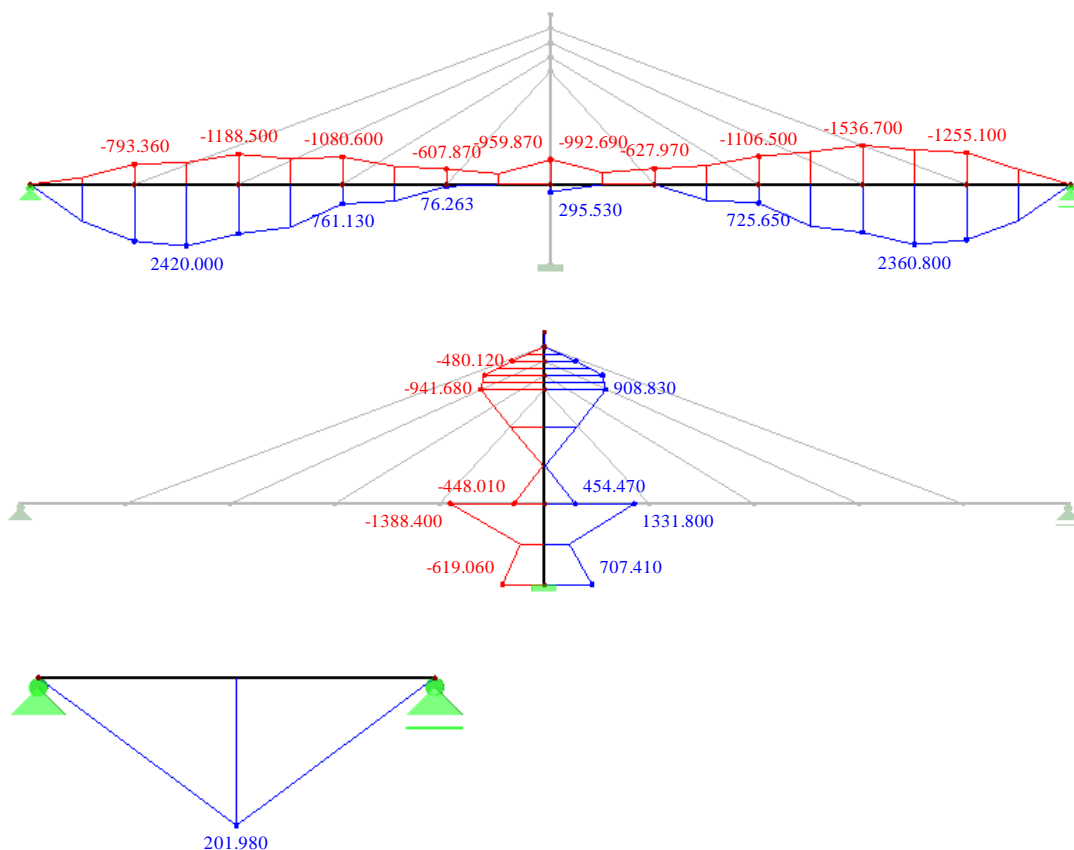


Obr. č.32 – Posouvající síly V (kN):

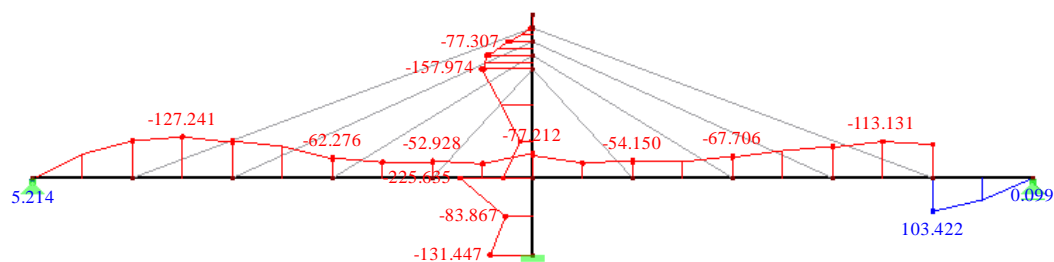




Obr. č.33 – Ohybové momenty M (kNm):

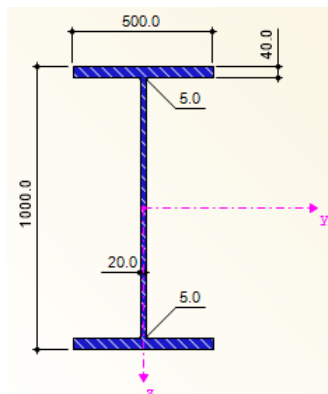


Obr. č.34 – Celkové napětí σ (MPa):



6. 4. Posouzení v MSÚ

Trám: Ocel S355, I 1000/500/20/40

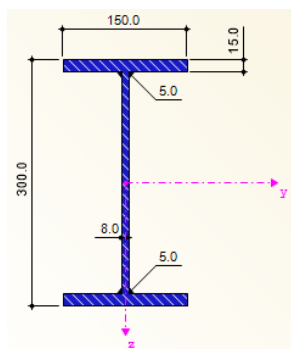


Obr. č.35 – Rozměry průřezu

$$\sigma_{\max} = 127,24 \text{ MPa} < \frac{f_{yd}}{\gamma_{m0}} = \frac{355}{1,15} = 308,7 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Rozhodující pro návrh trámu je MSP

Příčník: Ocel S355, I 300/150/8/15



Obr. č.36 – Rozměry průřezu

Posouzení prvku na ohyb a smyk

Prvek:	Příčník		$c_1=66$
Profil:	I 300/150/8/15		$t_1=15$
Ocel:	S355		$c_2=260$
	$f_{yd}=355$	MPa	$t_2=8$
Průřezové charakteristiky:			Třída průřezu: 1
	$A_{vz}=2,16E-03$	m^2	$c_1/t_1=4,40 < 9 \cdot \epsilon=7,29$
	$W_{pl,y}=7,87E-04$	m^3	$c_2/t_2=32,5 < 72 \cdot \epsilon=58,32$
Namáhání:			
	$M_{ed}=202$	kNm	
	$V_{ed}=183,6$	kN	

Únosnost v ohybu:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} / \gamma_{m0} = 7,87E-04 \cdot 355000 / 1 = 279,40$$

Využití:

$$\frac{M_{ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{202}{279,40} = 0,72 < 1 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

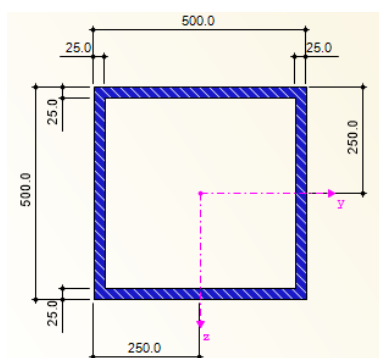
Únosnost ve smyku:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{2,16E-3 \cdot 355000}{\sqrt{3}} = 442,71 \text{ kN}$$

Využití:

$$\frac{V_{ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{183,6}{442,71} = 0,41 < 1 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Pylon: Ocel S355, 500/500/25



Obr. č.37 – Rozměry průřezu

Posouzení vřerné únosnosti tlačeného prvku

Prvek:	Pylon		
Profil:	500/500/25		
Ocel:	S355		
	$f_{y0} =$	355	MPa
Průřezové charakteristiky:		Třída průřezu:	1
	A =	4,75E-02	m ³
	I _y =	1,79E-03	m ⁴
	I _z =	1,79E-03	m ⁴
	i _y =	1,94E-01	m
	i _z =	1,94E-01	m
	c/t =	20,00	<33ε ² = 21,85
	c =	500	t = 25

Vpěrné délky:

$\alpha_{crit,y} = 272,27$ převzato z RF-STABILITY - Stabilitní analýza
 $\alpha_{crit,z} = 21,99$ převzato z RF-STABILITY - Stabilitní analýza

$L_{cr,y} = \pi \sqrt{\frac{EI}{N_{cr}}}$ kde $N_{cr} = \alpha_{cr} \cdot N_{Ed}$ $L_{cr,y} = 2,52$ m
 $L_{cr,z} = \pi \sqrt{\frac{EI}{N_{cr}}}$ kde $N_{cr} = \alpha_{cr} \cdot N_{Ed}$ $L_{cr,z} = 8,88$ m

Namáhání:

$N_{Ed} = 2141,3$ kN

Vybočení v rovině:

součinitel imperfekce: $\alpha = 0,49$ křivka: c
 poměrná štíhlost: $\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2,52}{1,94E-01} = 0,00$
 $\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,40$
 $\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{0,00}{76,40} = 0,000$
 součinitel vzpěrnosti: $\chi_y = \frac{1}{\phi \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = 1,109$
 kde: $\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \lambda^2] = 0,451$

Vybočení z roviny:

součinitel imperfekce: $\alpha = 0,49$ křivka: c
 poměrná štíhlost: $\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{8,88}{1,94E-01} = 45,77$
 $\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,40$
 $\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{45,77}{76,40} = 0,599$
 součinitel vzpěrnosti: $\chi_z = \frac{1}{\phi \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = 0,786$
 kde: $\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \lambda^2] = 0,777$

Vzpěrná únosnost tlačeného prutu:

$\chi = \min(\chi_y, \chi_z) = 0,786$
 $N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,786 \cdot 4,75E-2 \cdot 355 \cdot 000}{1,15} = 11524$ kN

Využití:

$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{2141,3}{11524} = 0,19 < 1 \rightarrow$ **VYHOVUJE**

Rozhodující pro návrh pylonu je MSP.

Závěsy: Spirálové jednopramenné lano $\varnothing 50$ mm

$f_u =$	1570	MPa
$d_s =$	50	mm
$K =$	0,51	součinitel síly při přetržení
$f =$	0,58	součinitel plnosti

$$A_m = (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot f = 1138,8 \text{ mm}^2$$

$$F_{uk} = A_m \cdot f_{uk} = 1788 \text{ kN}$$

$$F_k = (d^2 \cdot f_u \cdot K) / 1000 = 2002 \text{ kN}$$

$$\gamma_R = 1$$

$$F_{Rd} = \min(F_{uk} / 1,5 \cdot \gamma_R; F_k / \gamma_R) = 1192 \text{ kN}$$

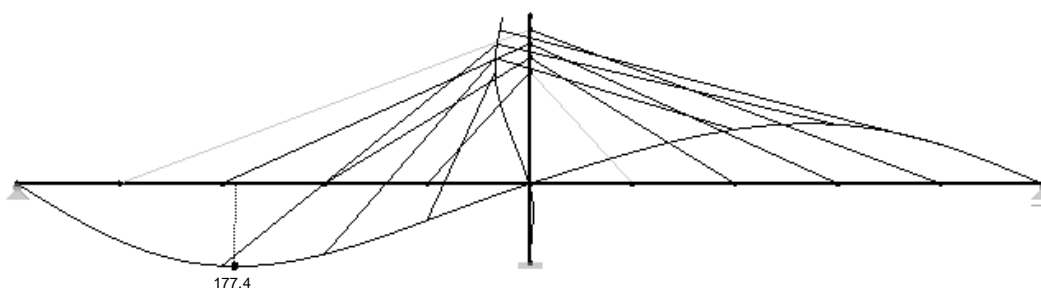
$$F_{ed} = 520 \text{ kN}$$

$$F_{ed} / F_{Rd} = 0,436 < 1$$

→ VYHOVUJE

6. 5. Posouzení v MSP

Průhyb trámu (mm): Od charakteristického proměnného zatížení. (Obr. č.38)



$$\delta_{\max} = 177,4 \text{ mm} < \delta_{\text{lim}} = \frac{L}{300} = \frac{55\,000}{300} = 183,3 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6. 6. Stanovení hmotnosti hlavní nosné konstrukce

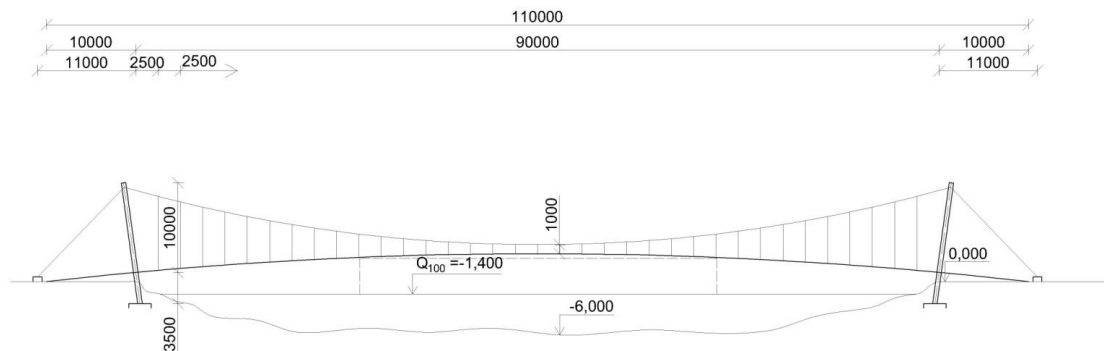
-	Trám:	100 848 kg
-	Příčnický:	8 368 kg
-	Pylony:	19 764 kg
-	Vyztužení pylonů:	3 730 kg
-	Závěsy:	6 517 kg
-	Celkem:	<u>139 227 kg</u>

7. Varianta č. 3 – visutá konstrukce

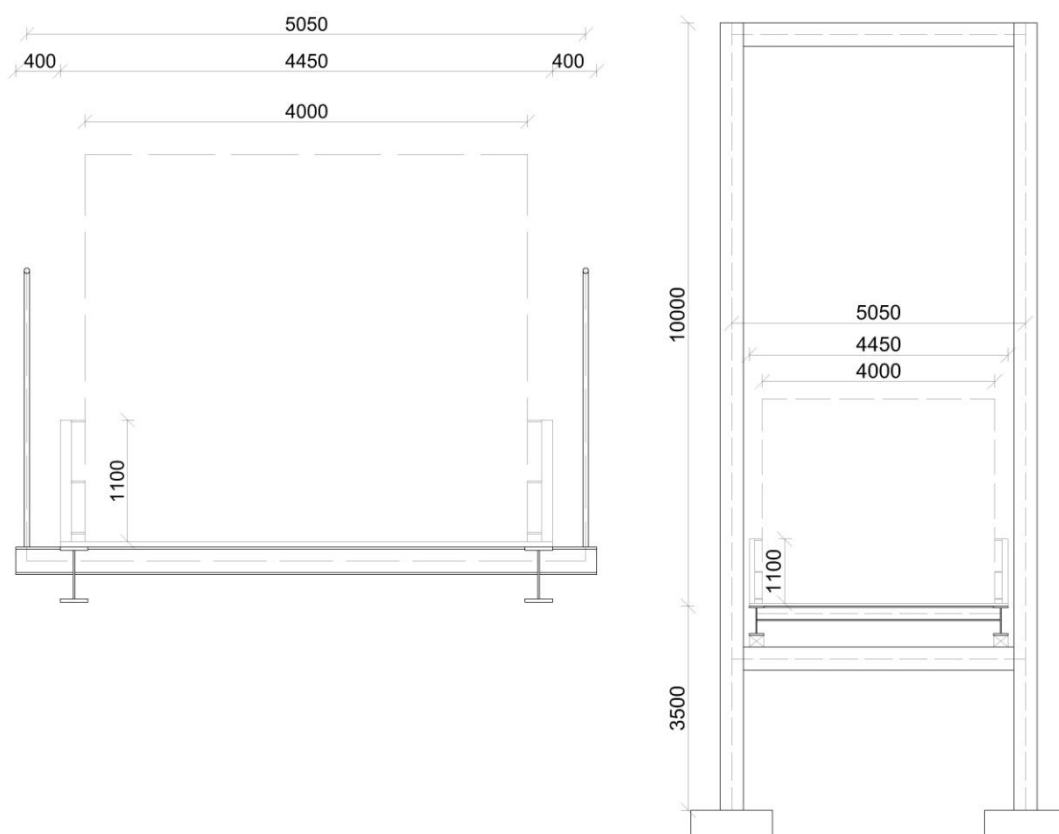
7.1. Technický popis konstrukce

Ve třetí variantě je lávka pro chodce navržena jako visutá konstrukce s dvojicí pylonů 10 m od obou konců lávky. Rozpětí hlavního pole je 90 m, vzepětí visuté lana činí 6,4 m. Všechny nosné prvky jsou rozmístěny symetricky. Průchozí prostor je navržen o šířce 4m, po stranách je opatřen zábradlím výšky 1,1 m. Mostovka je po své délce navržena jako vypuklý oblouk s poloměrem $R=480$ m, výškový rozdíl mezi začátkem a vrcholem oblouku je 3,11 m. Takto zakřivená mostovka je navržena z důvodu dodržení minimálního průplavního prostoru pod lávkou. Pylony zasahují do výšky 10 m nad mostovku, celková délka pylonu je 13,5 m. Průřez pylonu je čtvercový 500/500/25 mm. Pylony jsou ve vrcholu vzájemně propojeny. Do každého pylonu je u vrcholu uchyceno visuté lano z uzavřeného spirálového lana $\varnothing 140$ mm, které je předepnuto silou 550 kN. Závěsy jsou z tyčí $\varnothing 15$ mm, jejich osová vzdálenost je 2,5 m. Trám mostovky je navržen svařovaného průřezu I 600/300/15/30, trám je ztužen příčníky svařovaného průřezu I 300/150/8/15 po vzdálenosti 2,5 m.

Obr. č.39 - Schéma konstrukce:



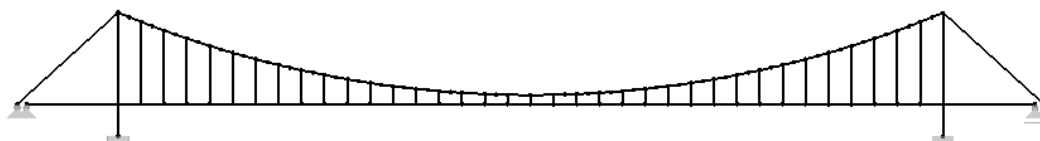
Obr č.40 – Řezy:



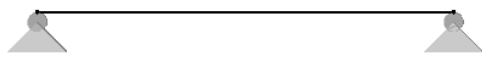
7. 2. Parametry výpočetního modelu

Výpočetní model byl vytvořen rovinný (2D) a byl počítán teorií 2. řádu.

Obr č.41- Výpočetní model pro trám, závěsy, pylon a visuté lano – visuté lano a závěsy nadefinovány jako lano



Obr č.42 - Výpočetní model pro příčníky



Navržené průřezy:

Všechny nelanové prvky nosné konstrukce jsou navrženy z oceli S355.

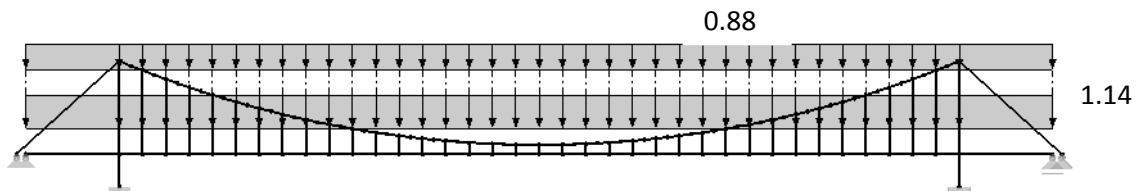
- Trám: I 600/300/15/30
- Pylon: 500/500/25
- Příčnický: I 300/150/8/15
- Visuté lano: $\varnothing 140$ mm
- Závěsy: Tyče $\varnothing 15$ mm

Zatěžovací stavy:

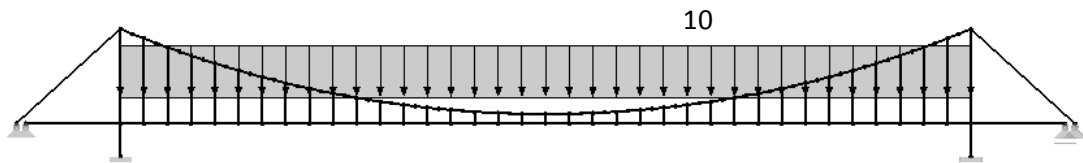
Ve výpočetním modelu pro trám, závěsy a pylon (Obr. č.41) je uvažováno s poloviční zatěžovací šířkou, protože most je symetrický okolo své příčné osy, je tedy zjednodušeně uvažováno symetrické namáhání všech prvků kolem příčné osy mostu.

Veškeré hodnoty zatížení jsou uvedeny v jednotkách kN/m, výjimku tvoří zatěžovací stav - Obr. č.50 – předpínací síla ve visutém lanu, kde jsou hodnoty uvedeny v kN.

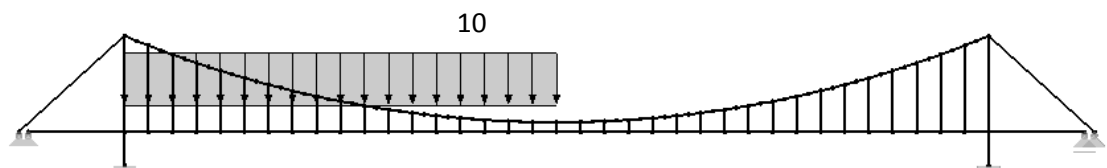
Obr. č.43 - Zatížení ostatní stálé:



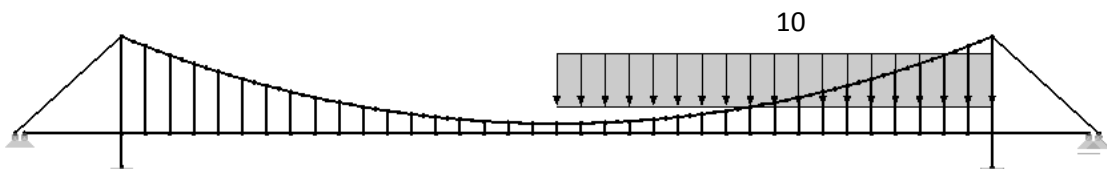
Obr. č.44 - Zatížení chodci ve středním poli:



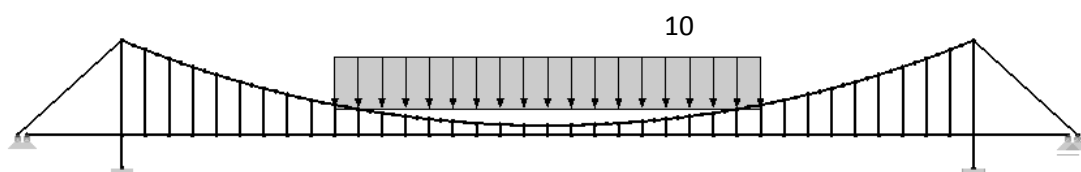
Obr. č.45 - Zatížení chodci na levé polovině středního pole:



Obr. č.46 - Zatížení chodci na pravé polovině středního pole:



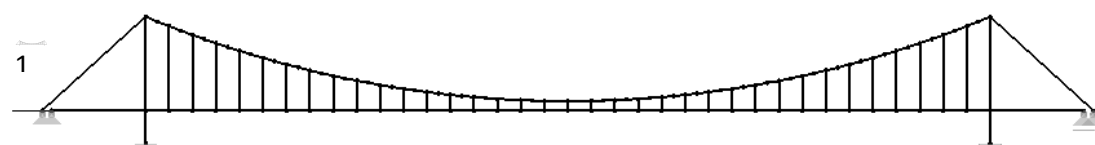
Obr. č.47 - Zatížení chodci uprostřed středního pole:



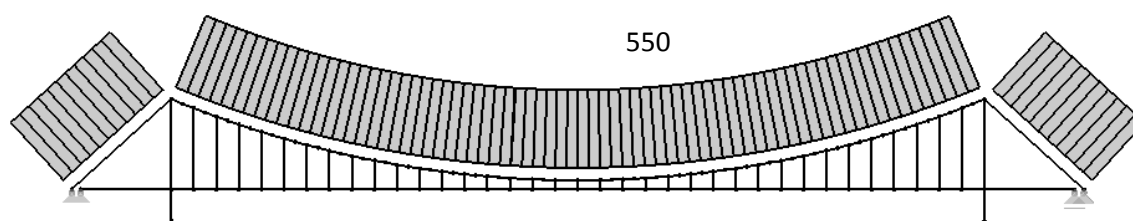
Obr. č.48 - Zatížení chodci v místě pylonů:



Obr. č.49 - Vodorovná složka zatížení od chodců:



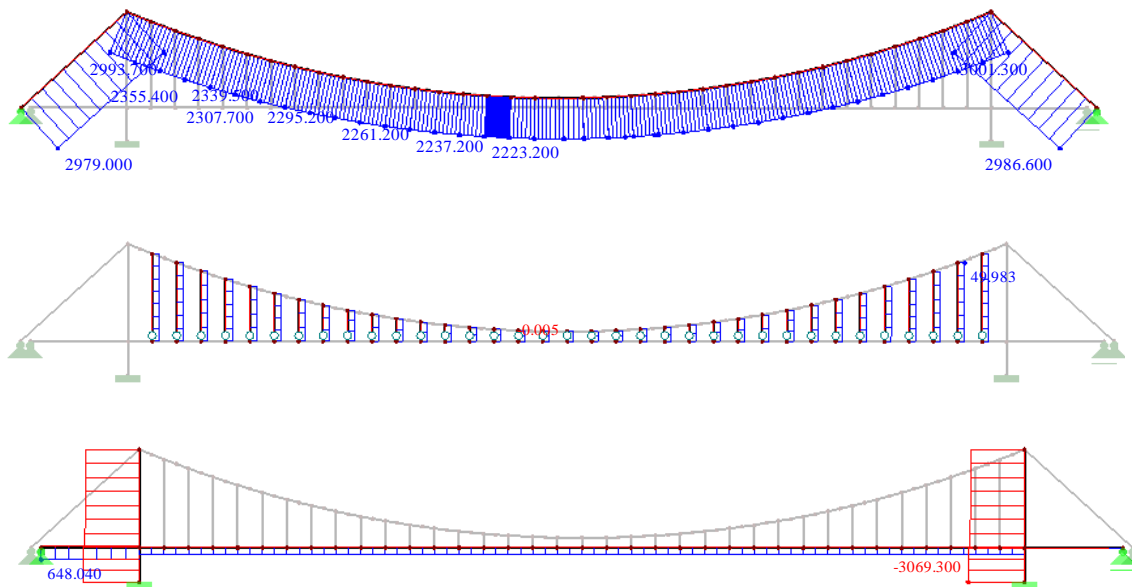
Obr. č. 50 – předpínací síly ve visutém laně:



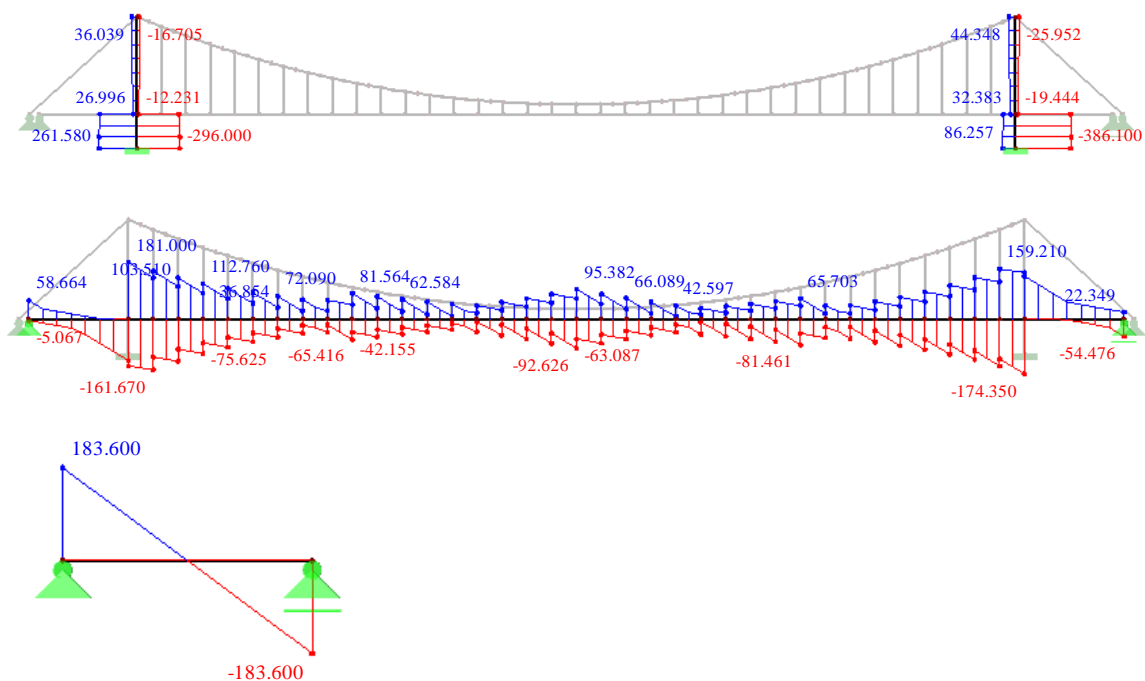
7.3. Parametry výpočetního modelu

Níže jsou uvedeny obálky všech vnitřních sil.

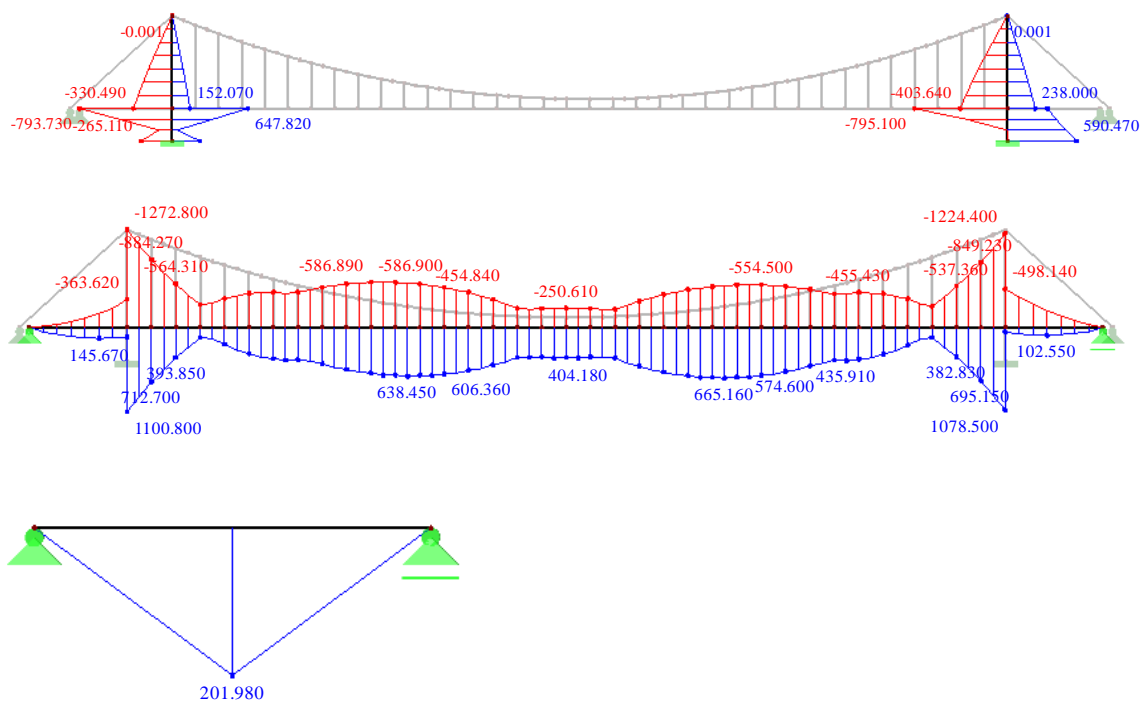
Obr. č.51 – Normálové síly N (kN):



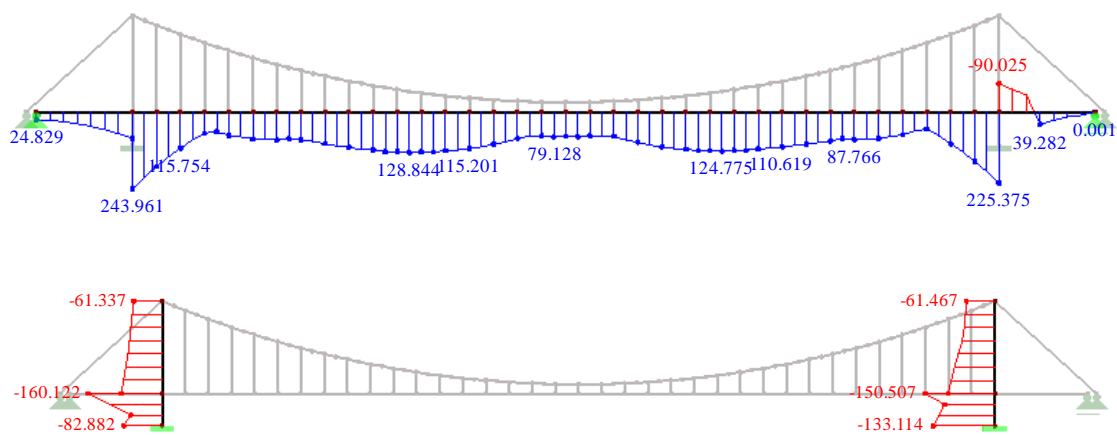
Obr. č.52 – Posouvající síly V (kN):



Obr. č.53 – Ohybové momenty (kNm):

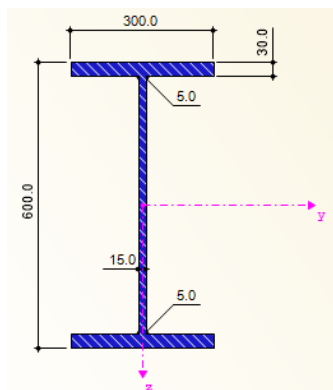


Obr. č.54 – Celkové napětí σ (MPa):



7. 4. Posouzení v MSÚ

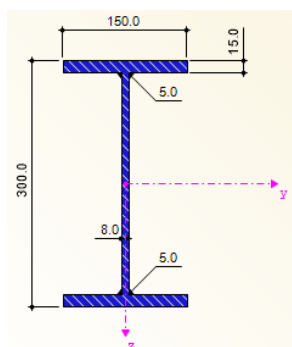
Trám: Ocel S355, I 600/300/15/30



Obr. č.55 – Rozměry průřezu

$$\sigma_{\max} = 244 \text{ MPa} < \frac{f_{yd}}{\gamma_{m0}} = \frac{355}{1,15} = 308,7 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Příčník: Ocel S355, I 300/150/8/15



Obr. č.56 – Rozměry průřezu

Posouzení prvku na ohyb a smyk

Prvek:	Příčník		$c_1=66$
Profil:	I 300/150/8/15		$t_1=15$
Ocel:	S355		$c_2=260$
	$f_{yd}=355$	MPa	$t_2=8$
Průřezové charakteristiky:			Třída průřezu: 1
	$A_{vz}=2,16E-03$	m^2	$c_1/t_1=4,40 < 9 \cdot \epsilon=7,29$
	$W_{pl}=W_{pl,y}=7,87E-04$	m^3	$c_2/t_2=32,5 < 72 \cdot \epsilon=58,32$
Namáhání:			
	$M_{ed}=202$	kNm	
	$V_{ed}=183,6$	kN	

Únosnost v ohybu:

$$M_{c,Rd} = W \cdot f_y / \gamma_{m0} = 7,87E-04 \cdot 355000 / 1 = 279,40$$

Využití:

$$\frac{M_{ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{202}{279,40} = 0,72 < 1 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

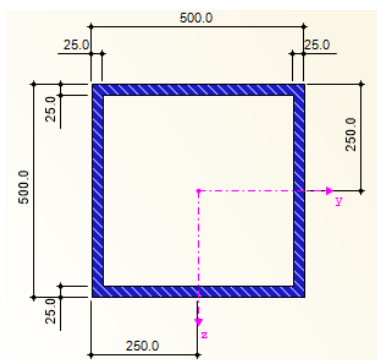
Únosnost ve smyku:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{2,16E-3 \cdot 355000}{\sqrt{3}} = 442,71 \text{ kN}$$

Využití:

$$\frac{V_{ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{183,6}{442,71} = 0,41 < 1 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Pylon: Ocel S355, 500/500/25



Obr. č.57 – Rozměry průřezu

Posouzení vřpné únosnosti tlačeného prvku

Prvek:	Pylon		
Profil:	500/500/25		
Ocel:	S355		
	$f_{yd} =$	355	MPa
Průřezové charakteristiky:	Třída průřezu:	1	$c =$ 500
	$A =$	4,75E-02 m ³	$c/t =$ 20,00 < $33\epsilon^2 =$ 21,85 $t =$ 25
	$I_y =$	1,79E-03 m ⁴	
	$I_z =$	1,79E-03 m ⁴	
	$i_y =$	1,94E-01 m	
	$i_z =$	1,94E-01 m	

Vzpěrné délky:

$\alpha_{crit,y} =$	11,87	převzato z RF-STABILITY - Stabilitní analýza
$\alpha_{crit,z} =$	2,59	převzato z RF-STABILITY - Stabilitní analýza
$L_{cr,y} = \pi \sqrt{\frac{EI}{N_{cr}}}$	kde $N_{cr} = \alpha_{cr} \cdot N_{E0}$	$L_{cr,y} =$ 10,26 m
$L_{cr,z} = \pi \sqrt{\frac{EI}{N_{cr}}}$	kde $N_{cr} = \alpha_{cr} \cdot N_{E0}$	$L_{cr,z} =$ 21,97 m

Namáhání:

$N_{ed} =$ 2970 kN

Vybočení v rovině:

součinitel imperfekce: $\alpha =$ 0,49 křivka: c

poměrná štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{10,26}{1,94E-01} = 0,00$$

$$\lambda_z = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,40$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{0,00}{76,40} = 0,000$$

součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = 1,109$$

kde:

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \lambda^2] = 0,451$$

Vybočení z roviny:

součinitel imperfekce: $\alpha =$ 0,49 křivka: c

poměrná štíhlost:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{21,97}{1,94E-01} = 113,23$$

$$\lambda_x = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,40$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{113,23}{76,40} = 1,482$$

součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = 0,320$$

kde:

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \lambda^2] = 1,913$$

Vzpěrná únosnost tlačeného prutu:

$$\chi = \min(\chi_y, \chi_z) = 0,320$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,786 \cdot 4,75E-2 \cdot 355 \cdot 000}{1,15} = 4698 \text{ kN}$$

Využití:

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{2970}{4698} = 0,63 < 1 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Závěsy: Ocel S355, tyče Ø15 mm

Posouzení prvku na tah

Prvek:	Závěsy
Profil:	Tyč Ø15
Ocel:	S355
	$f_{yd} =$ 355 MPa

Průřezové charakteristiky:

$A =$ 1,77E-04 m²

Namáhání:

$N_{ed} =$ 50 kN

Únosnost v tahu:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} = 1,77E-04 \cdot 355000 = 62,73 \text{ kN}$$

Využití:

$$\frac{N_{ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{50}{62,73} = 0,80 < 1 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Visuté lano: Uzavřené spirálové lano Ø140 mm

$f_u =$	1570	N/mm ²	MPa
$d_s =$	140	mm	
$K =$	0,643	součinitel síly při přetržení	
$f =$	0,7	součinitel plnosti	

$$A_m = (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot f = 10775,7 \text{ mm}^2$$

$$F_{uk} = A_m \cdot f_{uk} = 16918 \text{ kN}$$

$$F_k = (d^2 \cdot f_u \cdot K) / 1000 = 19786 \text{ kN}$$

$$\gamma_R = 1$$

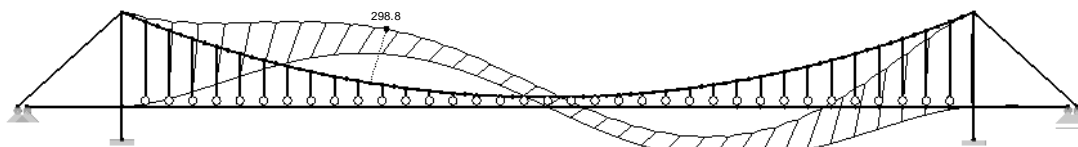
$$F_{Rd} = \min(F_{uk} / 1,5 \cdot \gamma_R; F_k / \gamma_R) = 11279 \text{ kN}$$

$$F_{ed} = 2987 \text{ kN}$$

$$F_{ed} / F_{Rd} = 0,265 < 1$$

7. 5. Posouzení v MSP

Průhyb (mm): Od charakteristického proměnného zatížení. (Obr. č.58)



$$\delta_{\max} = 298,8 \text{ mm} < \delta_{\lim} = \frac{L}{300} = \frac{90\,000}{300} = 300 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

7. 6. Stanovení hmotnosti hlavní nosné konstrukce

-	Trám:	45 078 kg
-	Příčníky:	11 506 kg
-	Pylony:	20 137 kg
-	Vyztužení pylonů:	6 936 kg
-	Závěsy:	1 457 kg
-	Visuté lano	26 645 kg
-	Celkem:	<u>111 759 kg</u>

8. Vyhodnocení variant

Všechny tři varianty budou níže porovnány z hlediska celkové hmotnosti nosné konstrukce, náročnosti montáže, estetického hlediska a vhodnosti umístění v dané lokalitě (Strakonice, u hradu).

Tab. 8a – Celková hmotnost konstrukce

Varianta	Celková hmotnost nosné konstrukce (kg)
č. 1 - Oblouková konstrukce	81 097
č. 2 - Zavěšená konstrukce	139 227
č. 3 – Visutá konstrukce	111 759

Tab. 8b – Porovnání jednotlivých variant řešení

Varianta	Hmotnost	estetika	umístění	Náročnost montáže	Výsledné hodnocení
č. 1	1	3	2	1	1,75
č. 2	3	2	3	2	2,50
č. 3	2	1	1	3	1,75

9. Závěr

V předložené zprávě byly vypracovány celkem tři varianty řešení lávky pro chodce ve Strakonících, v blízkosti Strakonického hradu, přes řeku Otavu. První řešenou variantou byla Oblouková konstrukce, která je nejvíce vyhovující z hlediska celkové hmotnosti konstrukce a náročnosti montáže, avšak z oproti ostatním variantám je dle mého názoru nejméně estetická. Druhá varianta byla řešena pomocí zavěšené konstrukce, z důvodu zajištění tahu v závěsech je navržen ve srovnání s ostatními variantami mnohem masivnější trám, z tohoto důvodu je celková hmotnost nejvyšší. Nejhorší hodnocení vzhledem ke vhodnosti umístění jsem udělil této variantě z důvodu velké výšky pylonů a „zastínění“ pohledu na historický hrad. Poslední variantou je visutá konstrukce, která je dle mého názoru nejvhodnější volbou pro danou lokalitu a také je velice estetická, celková hmotnost konstrukce se v porovnání s ostatními variantami pohybuje přibližně uprostřed.

Z výsledků vyhodnocení jednotlivých variant je patrné, že výsledná varianta bude zvolena buď oblouková konstrukce, nebo visutá konstrukce.

Z osobních preferencí a zájmu volím výslednou variantou visutou konstrukci.