



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

**ŽELEZNIČNÍ MOST PŘES VÁH MEZI OBCEMI
NEMŠOVÁ A TRENČIANSKA TEPLÁ**

RAIL BRIDGE OVER RIVER VÁH BETWEEN NEMŠOVÁ AND TRENČIANSKA TEPLÁ

PŘÍLOHA B.2 - STATICKÝ VÝPOČET VÝSLEDNÉ VARIANTY

SUPPLEMENT B.2 – STRUCTURAL DESIGN OF THE FINAL OPTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lívia Lezová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ PEŠEK, Ph.D.

BRNO 2022

OBSAH

1.	ÚVOD.....	4
2.	STATICKÉ RIEŠENIE	4
2.1	Popis konštrukcie	4
2.2	Pôdorysná schéma	5
2.3	Pohľad.....	5
2.4	Priečny rez	6
3.	PREDPOKLADY NÁVRHU	7
4.	VÝPOČTOVÝ MODEL.....	7
5.	MATERIÁL.....	8
6.	ZAŤAŽENIE	8
6.1	Stále zaťaženie.....	8
6.1.1	Vlastná tiaž.....	8
6.1.2	Ostatné stále zaťaženie	8
6.2	Premenné zaťaženie	9
6.2.1	Zvislé účinky koľajovej dopravy.....	9
6.2.2	Vodorovné účinky koľajovej dopravy.....	10
6.2.3	Klimatické zaťaženie	11
6.2.4	Aerodynamické zaťaženie.....	14
7.	KOMBINÁCIE	14
8.	VNÚTORNÉ SILY	15
9.	STABILITA KONŠTRUKCIE.....	16
10.	POSÚDENIE NA MEDZNÝ STAV ÚNOSNOSTI	16
10.1	MSÚ – STR	16
10.1.1	Trám	16
10.1.2	Oblúk	19
10.1.3	Tiahlo.....	26
10.1.4	Horné stuženie	27
10.1.5	Krajné horné priehradové stuženie.....	29
10.1.6	Stredné horné priehradové stuženie	31
10.1.7	Krajný priečnik.....	33
10.1.8	Priečnik v poli	34
10.1.9	Pozdĺžna výstuha 1	35
10.1.10	Pozdĺžna výstuha 4.....	35
10.2	MSÚ – EQU (preklopenie mostu).....	36
10.3	MSÚ – FAT (únava)	37
10.3.1	Pripojenie diafragmaty v tráme	38
10.3.2	Pripojenie priečnika k trámu	38

10.3.3	Zvarovaný spoj trámu	39
10.3.4	Tiahlo	40
10.3.5	Pripojenie tiahla k trámu.....	40
10.3.6	Krčný zvar krajného priečnika – dolná pásnica	41
10.3.7	Krčný zvar pozdĺžnej výstuhy	42
10.3.8	Spoj pozdĺžnej výstuhy s priečnikom.....	42
11.	POSÚDENIE NA MEDZNÝ STAV POUŽITEĽNOSTI	43
11.1	Zvislý priehyb nosnej konštrukcie mostu.....	43
11.2	Zvislé zrýchlenie vagónu z hľadiska pohody cestujúcich.....	45
12.	MODÁLNA ANALÝZA KONŠTRUKCIE	46
13.	ZAŤAŽITEĽNOSŤ MOSTU	48
13.1	Výpočet zaťažiteľnosti pre MSÚ – STR.....	48
13.1.1	Trám	48
13.1.2	Oblúk	49
13.1.3	Tiahlo.....	50
13.1.4	Krajné horné priehradové stuženie.....	51
13.1.5	Krajný priečnik.....	51
13.1.6	Pozdĺžna výstuha 1	52
13.2	Výpočet zaťažiteľnosti pre MSÚ – FAT (únava).....	52
13.2.1	Pripojenie diafragmaty v tráme	52
13.2.2	Pripojenie priečnika k trámu	52
13.2.3	Zvarový spoj trámu.....	53
13.2.4	Tiahlo.....	53
13.2.5	Pripojenie tiahla k trámu.....	53
13.2.6	Krčný zvar krajného priečnika – dolná pásnica	53
13.2.7	Krčný zvar pozdĺžnej výstuhy	53
13.2.8	Spoj pozdĺžnej výstuhy s priečnikom.....	54
13.3	Výpočet zaťažiteľnosti pre MSP	54
13.4	Tabuľka zaťažiteľnosti	55
14.	NÁVRH LOŽÍSK	56
14.1	Posuny v ložisku	60
14.1.1	Posun od teploty	60
14.1.2	Posun od priehybu	61
14.1.3	Celkové posuny v ložisku a návrh mostného záveru.....	61
15.	VÝKAZ MATERIÁLU.....	62

1. ÚVOD

Diplomová práce rieši návrh novej nosnej konštrukcie jednokoľajového železničného mostu cez rieku Váh na trati č. 123 medzi obcami Trenčianska Teplá a Nemšová. Nová mostná konštrukcia je navrhnutá ako dvojpoľový most s dolnou ortotrópnou mostovkou o rozpätí 100 + 100 m.



Obrázok 1: Pohľad z vtáčej perspektívy na navrhovanú konštrukciu

2. STATICKÉ RIEŠENIE

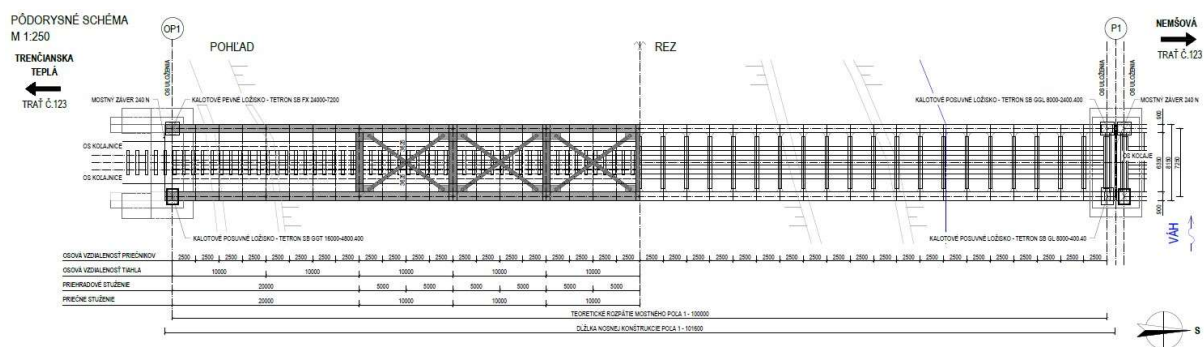
2.1 Popis konštrukcie

Mostná konštrukcia je tvorená dvojicou trámov vystužených oblúkom (Langerov trám) o rozpätí 100 m. Hlavnú nosnú konštrukciu tvorí trám, oblúk a tiahla. Trámy sú navrhnuté ako uzavreté zvarené prierezy výšky 3 000 mm a šírky 900 mm. Šírka hornej a dolnej pásnice je 1 000 mm. Trámy sú v osovej vzdialenosti 7 250 mm a sú vystužené plnostennými priechodovými diafragmatami v miestach pripojenia priečnikov. Oblúky sú navrhnuté ako uzavreté zvarené prierezy výšky 1 000 mm a šírky 900 mm. Šírka hornej pásnice je 1 000 mm, šírka dolnej pásnice je 900 mm. Oblúky sú vystužené plnostennými diafragmatami v štvrtinách a ploviciach osovej vzdialenosti medzi tiahľami. Tiahla sú navrhnuté zo za studena tvarovaných trubiek priemeru 273 mm a hrúbkou steny 12 mm v osovej vzdialenosti 10 000 mm. Tiahla sú na trám a oblúk pripojené cez styčnikové plechy. Stúženie oblúkov zabezpečujú horné priečne a diagonálne stuženia. Priečne stuženia sú navrhnuté zo za studena tvarovaných trubiek priemeru 813 mm a hrúbkou steny 16 mm. Diagonálne stuženia sú navrhnuté zo za studena tvarovaných trubiek priemeru 323,9 mm a hrúbkou steny 12 mm.

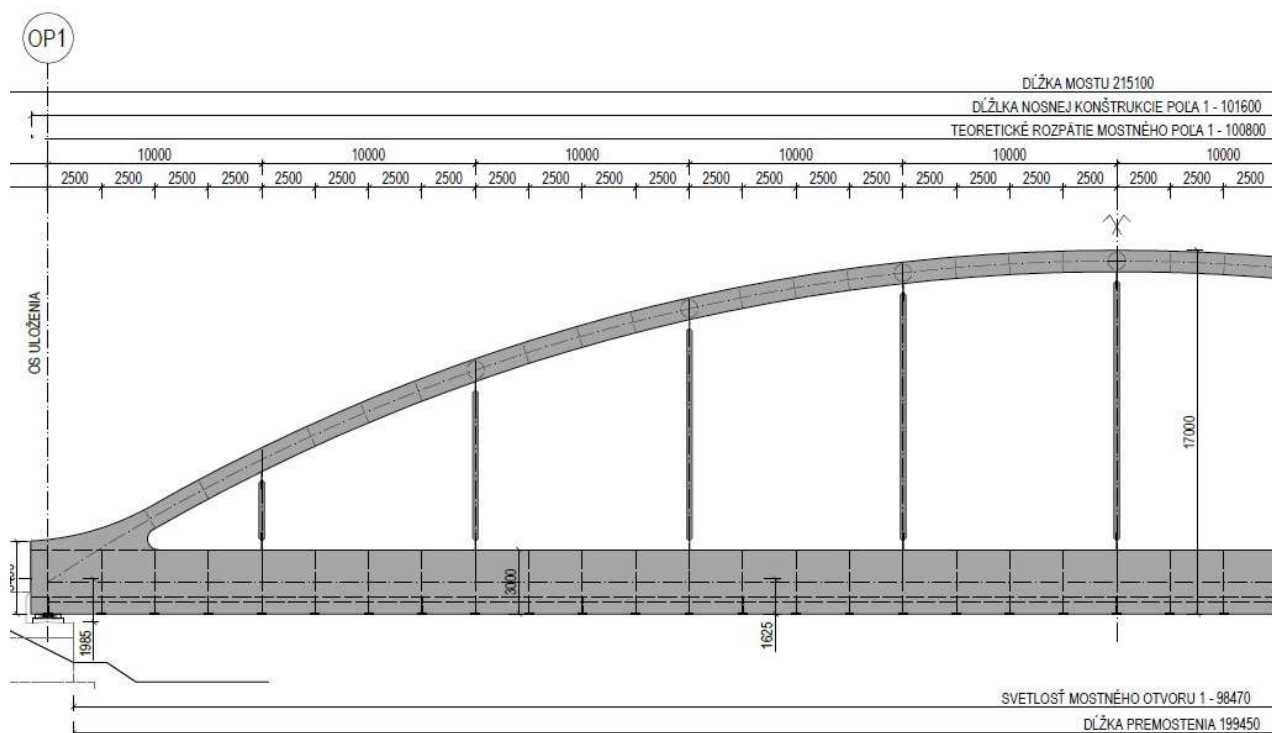
Mostovka je tvorená priečnymi a pozdĺžnymi výstuhami a mostovkovým plechom. Priečne výstupy sú v osovej vzdialenosti 2 500 mm. Priečnik je navrhnutý ako obrátený zvarený profil T o výške 800 mm a šírkou dolnej pásnice 400 mm. Pozdĺžna výstuha je navrhnutá v osových vzdialenostiach 500 mm ako plech hrúbky 25 mm a výšky 250 mm. Mostvkový plech je navrhnutý o hrúbke 16 mm.

Všetky konštrukčné a montážne spoje sú navrhnuté ako zvarované.

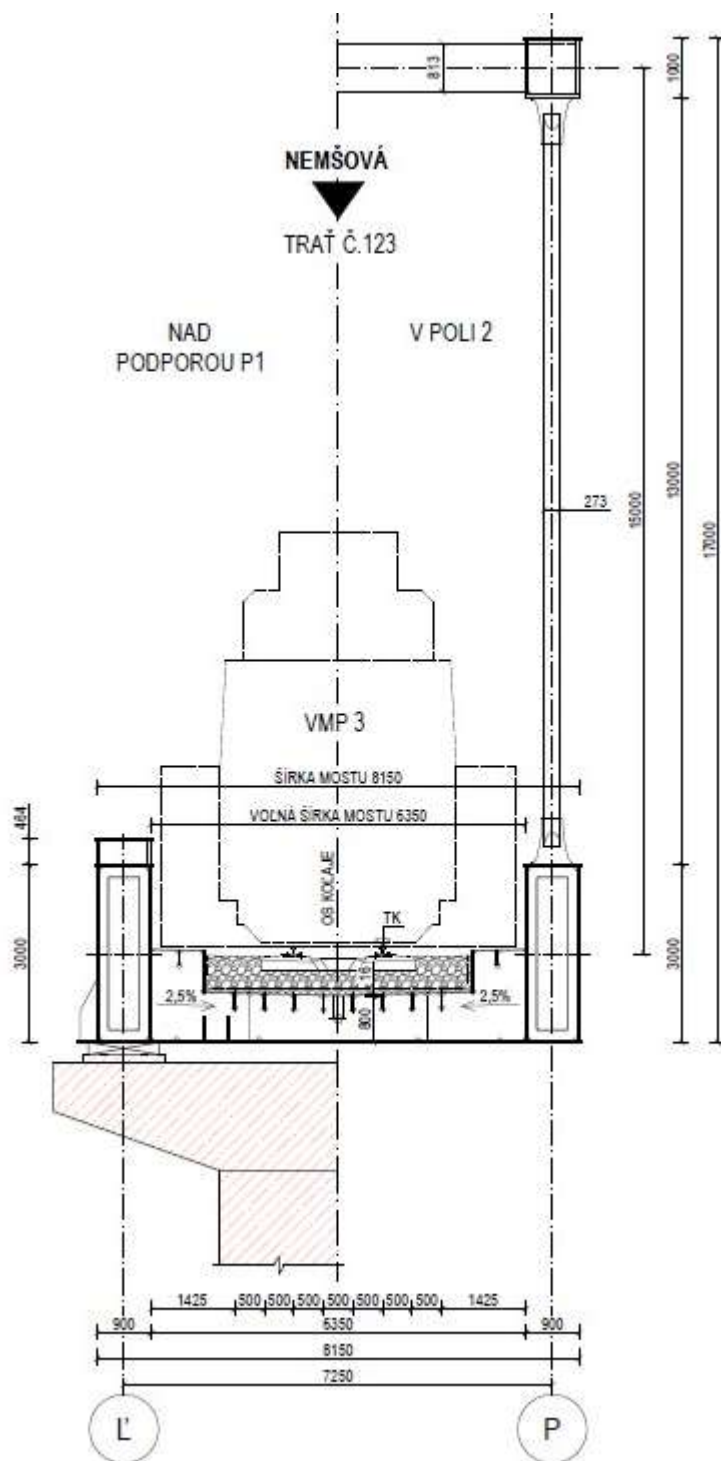
2.2 Pôdorysná schéma



2.3 Pohľad



2.4 Priečný rez

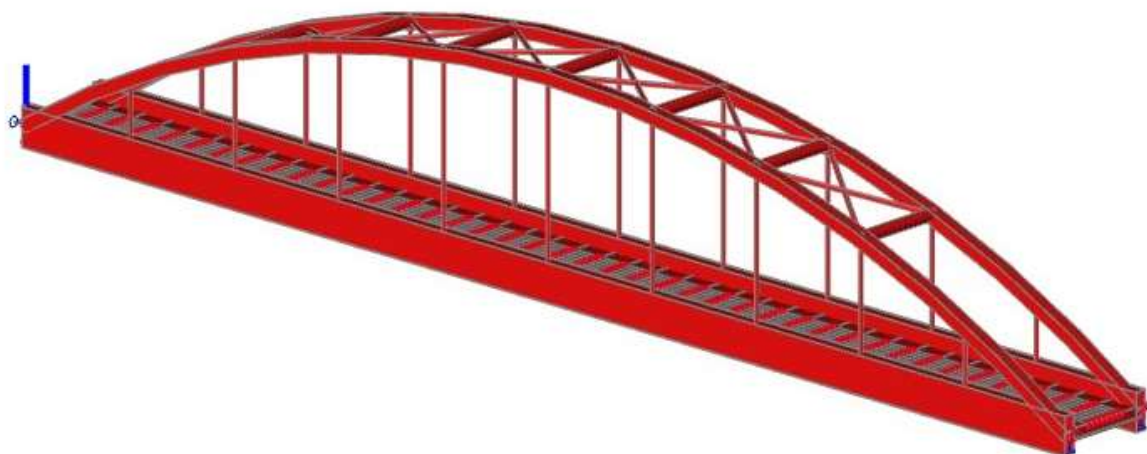


3. PREDPOKLADY NÁVRHU

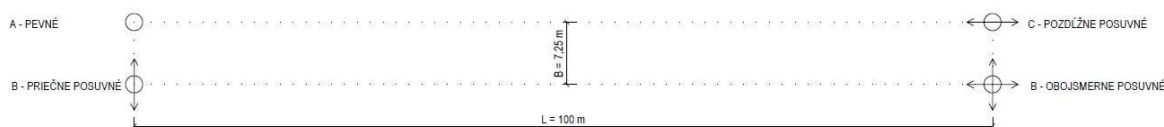
Konstrukcia železničného mostu je navrhnuté s dolnou ortotrópnou mostovkou s pozdĺžnym sklonom $\pm 0,0 \%$. Priechy sklon konštrukcie $2,5 \%$ je zanedbaný, plech mostovky je modelovaný vodorovne. Jednotlivé prvky konštrukcie sú navrhnuté a posúdené podľa platných noriem ČSN EN 1990, ČSN EN 1991, ČSN EN 1992 a ČSN EN 1993. Posúdenie je prevedené na základe najnepriaznivejšej kombinácie zaťaženia medzného stavu únosnosti (MSÚ) a medzného stavu použiteľnosti (MSP).

4. VÝPOČTOVÝ MODEL

Pre výpočtový model bol použitý program SCIA ENGINEER 19.1.4034 od spoločnosti Nemetschek. Pomocou programu boli prevedené výpočty vnútorných síl pre návrh prierezov a posúdenie konštrukcie. Bolo modelované jedno pole mostnej konštrukcie, keďže obe mostné polia sú rovnaké a navrhnuté ako prosté nosníky. Hlavná mostná konštrukcia bola modelovaná ako prúťový 3D model a uložená na podporách – jedna pevná, jedna posuvná v priečnom smere, jedna posuvná v pozdĺžnom smere a jedna posuvná v pozdĺžnom aj priečnom smere. Mostovka bola modelovaná pomocou doskostí a pripojená k hlavnému trámu.



Obrázok 5: Výpočtový 3D model konštrukcie



Obrázok 6: Schéma uloženia konštrukcie

5. MATERIÁL

Oceľ S355

Modul pružnosti	$E = 210 \text{ GPa}$
Objemová hmotnosť	$\gamma = 7850 \text{ kg/m}^3$
Medza klzu	$f_y = 355 \text{ MPa}$
Medza pevnosti v ťahu	$f_u = 490 \text{ MPa}$
Tepelná rozťažnosť	$\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$
Poissonov súčiniteľ	$\nu = 0,2$

6. ZAŤAŽENIE

Konštrukcia bola zaťažaná na základe noriem:

ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí: Obecná zatížení – objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb

ČSN EN 1991-1-4 Zatížení konstrukcí: Obecná zatížení – zatížení větrem

ČSN EN 1991-1-5 Zatížení konstrukcí: Obecná zatížení – zatížení teplotou

ČSN EN 1991-2 Zatížení konstrukcí: Zatížení mostů dopravou

6.1 Stále zaťaženie

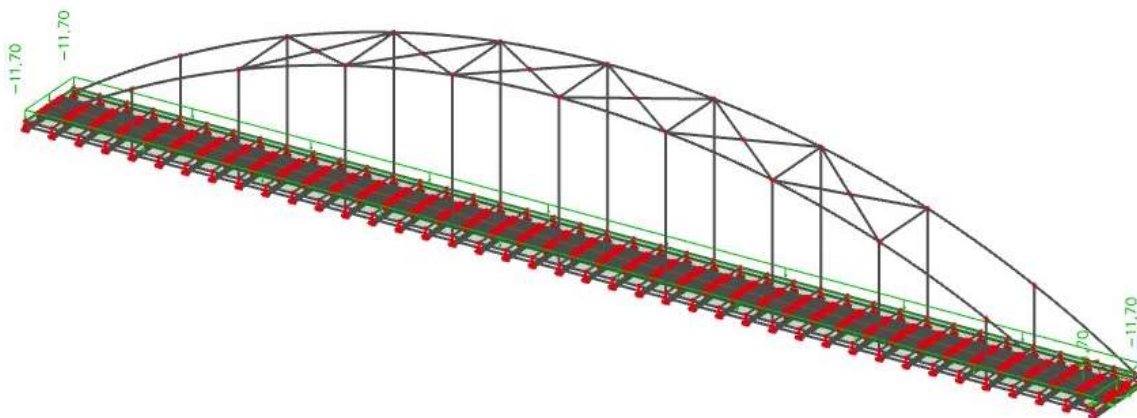
6.1.1 Vlastná tiaž

Vlastná tiaž konštrukcie bola automaticky vygenerovaná programom SCIA ENGINEER 19 na základe zadaných prierezov a materiálových charakteristík.

6.1.2 Ostatné stále zaťaženie

Železničný zvršok – koľajový rošt, izolácia, koľajové lôžko. Zaťaženie je rozpočítané na plochu mostovkového plechu a do modelu zadané ako rovnomerné plošné charakteristické spojité zaťaženie.

Koľajový rošt	$g = 0,29 \text{ kN/m}^2$
Izolácia	$g = 0,22 \text{ kN/m}^2$
Koľajové lôžko	$g = 11,24 \text{ kN/m}^2$
	$g_{1,k} = 11,7 \text{ kN/m}^2$



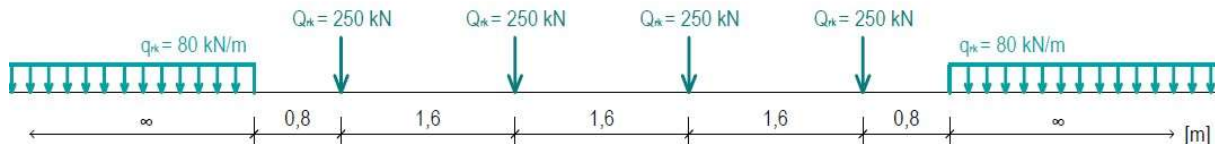
Obrázok 7: Ostatné stále zaťaženie

6.2 Premenné zaťaženie

6.2.1 Zvislé účinky koľajovej dopravy

a) Model zaťaženia LM71 – bežná železničná doprava

Model zaťaženia LM71 je zadany v najnepriaznivejších polohách. Zaťaženie je na konštrukciu zadane s excentricitou $e = 83$ mm od osi koľaje.



Obrázok 8: Usporiadanie modelu zaťaženia LM71 dľa ČSN EN 1991-2

$$q_{rk} = 80 \text{ kN/m}$$

$$Q_{rk} = 250 \text{ kN}$$

MSÚ STR - zaťaženie je násobené súčiniteľom klasifikovaného zvislého zaťaženia α a dynamickým súčiniteľom Φ_3 .

Súčiniteľ klasifikovaného zvislého zaťaženia $\alpha = 1,21$

Dynamický súčiniteľ $\Phi_3 = 1,05$ (viz. B.1 – Návrh, posouzení a multikriteriálne hodnotení variant)

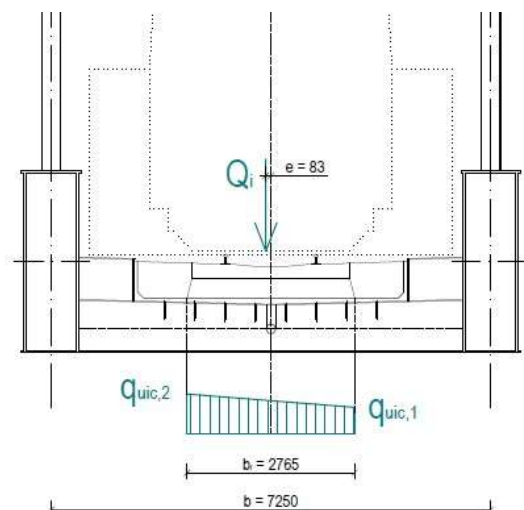
$$q_{LM71} = 101,6 \text{ kN/m}$$

$$Q_{LM71} = 317,6 \text{ kN}$$

Roznos zaťaženia pod pražcom:

Zaťaženie je roznášané v sklone 4:1 na zaťažovacej šírke $b_r = 2,765$ m s uvážením excentricity $e = 83$ mm od osi koľaje. Osamelé bremená $Q_{rk} = 250$ kN sú prerátané na spojité zaťaženie $q_{rk} = 156$ kN/m.

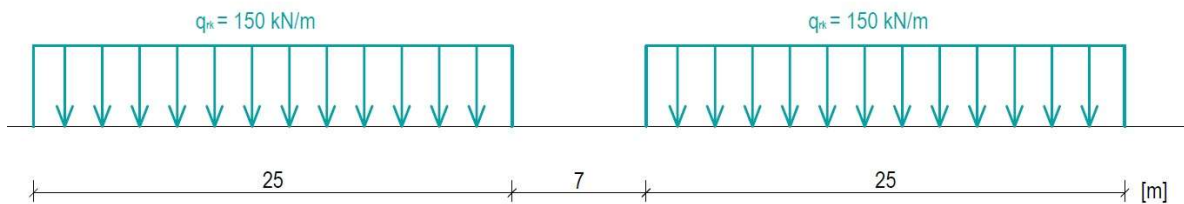
q_i [kN]	$q_{uic,1}$ [kN/m]	$q_{uic,2}$ [kN/m]
198,5	67,8	76,4
101,6	34,7	39,1



Obrázok 9: Roznos zaťaženia LM71 pod pražcom

b) Model zatáženia SW/2 – ťažká železničná doprava

Model zatáženia SW/2 je na konštrukciu zadáný v najnepriaznivejších polohách.



Obrázok 10: Usporiadanie modelu zatáženia SW/2 dľa ČSN EN 1991-2

$$q_{rk} = 150 \text{ kN/m}$$

MSÚ STR – zaťaženie je násobené hodnotou dynamického súčiniteľa Φ_3

Dynamický súčiniteľ $\Phi_3 = 1,05$ (viz. B.1 – Návrh, posouzení a multikriteriálne hodnocení variant)

$$q_{SW/2} = 157,5 \text{ kN/m}$$

6.2.2 Vodorovné účinky koľajovej dopravy

a) Odstredivé sily

Trať v priamej – neuvažujú sa.

b) Bočné rázy

Bočný ráz pôsobí vodorovne v úrovni temena koľajníc ako vodorovná osamelá sila. Zataženie sa kombinuje so zvislým zaťažením dopravou a násobí hodnotou súčiniteľa klasifikovaného zvislého zaťaženia α .

$$Q_{sk} = 100 \text{ kN}$$

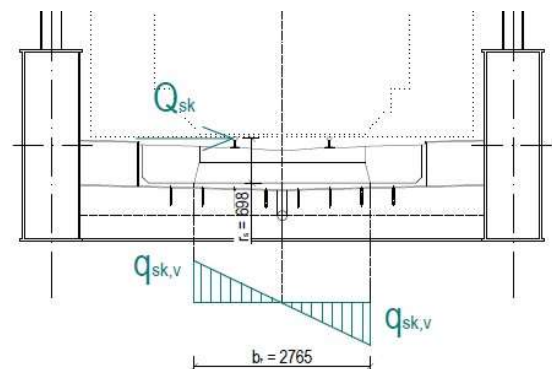
Súčiniteľ klasifikovaného zvislého zaťaženia $\alpha = 1,21$

$$Q_{sk} \cdot \alpha = 121 \text{ kN}$$

Roznos zaťaženia pod pražcom:

Zaťaženie je roznášané v sklone 4:1 na zatažovacej šírke $b_r = 2,765 \text{ m}$ a ramene $r_s = 0,698 \text{ m}$.

$$q_{sk,v} = 30,5 \text{ kN/m}$$



Obrázok 11: Roznos zaťaženia od bočných rázov pod pražcom

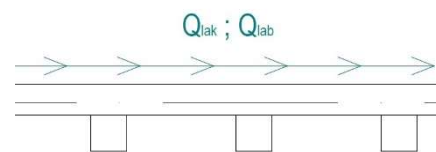
c) Zataženie od rozjazdu a brzdenia

Brzdne a rozjazdové sily pôsobia ako vodorovné sily v temene koľajníc v pozdĺžnom smere. Sú uvažované v najnepriaznivejšej polohe a zadané ako vodorovné spojité zataženie. Zataženie pôsobí zároveň so zvislým zatažením dopravou. Pre model zataženia LM71 sa brzdne a rozjazdové sily násobia hodnotou súčiniteľa klasifikovaného zvislého zataženia α .

Súčiniteľ klasifikovaného zvislého zataženia $\alpha = 1,21$

	Rozjazd Q_{lak}	$Q_{lak} \cdot \alpha$	Brzdzenie Q_{lbk}	$Q_{lbk} \cdot \alpha$
LM71	33 kN/m	39,9 kN/m	20 kN/m	24,2 kN/m
max	1000 kN/m	1210,0 kN/m	6000 kN/m	7260,0 kN/m
SW/2	33 kN/m	-	35 kN/m	-
max	1000 kN/m	-	nie je obmedzené	-

	$L_{a,b}$ [m]	$L_{b,a}$ [m]
LM71	30,3	300,0
SW/2	30,3	-



Obrázok 12: Brzdne a rozjazdové sily

Rozhodujúce sú brzdne sily.

d) Zataženie pri vykoľajení

Zanedbáva sa.

6.2.3 Klimatické zataženie

a) Vietor na nosnú konštrukciu

Základný dynamický tlak vetru q_b a základná rýchlosť vetra $v_{b,0}$ boli prevzaté z oficiálnych máp spoločnosti Dlubal na základe STN EN 1991-1-4.

Lokalita: obec Nemšová, Slovensko

Kategória terénu II.: $k_r = 0,19$, $z_0 = 0,3$ m, $z_{min} = 8$ m

Súčiniteľ orografie:	$C_0 =$	1,0
Súčiniteľ turbulencie:	$k_1 =$	1,0
Výška kcie nad terénom:	$z_e =$	10 m
Súčiniteľ drsnosti terénu:	$C_r = k_r \cdot \ln \left(\frac{z_e}{z_0} \right) =$	0,66
Základná rýchlosť vetra:	$v_{b,0} =$	24 m/s
Súčiniteľ smeru vetra:	$C_{dir} =$	1,0
Súčiniteľ ročného obdobia:	$C_{season} =$	1,0
Základná rýchlosť vetra:	$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} =$	24 m/s
Stredná rýchlosť vetra:	$v_{m,z} = C_r \cdot C_0 \cdot v_b =$	15,8 m/s
Základný dyn. tlak vetra:	$q_b =$	0,36 kN/m ²
Merná hmotnosť vzduchu:	$\rho =$	1,25 kg/m ³
Intenzita turbulencie vetra:	$I_{vz} = \frac{k_1}{C_0 \cdot \ln \left(\frac{z_e}{z_0} \right)} =$	0,285
Maximálny dyn. tlak vetra:	$q_p(z) = [1 + (7 \cdot I_{vz})] \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot v_{m,z}^2 =$	0,47 kN/m ²
Súčiniteľ expozície:	$C_e = \frac{q_p(z)}{q_b} =$	1,3
Súčiniteľ sily:	$C_{fx} = C_{fx,0} =$	2,1

Súčiniteľ zataženia vetrom: $C = c_e \cdot C_{f,x} =$

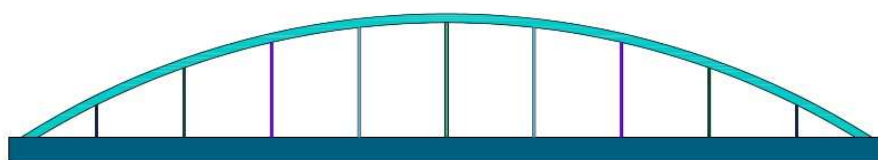
2,7

Zaťaženie pôsobí ako líniové vodorovné zaťaženie a je rozrátané na rovnomerné spojité zaťaženie pôsobiace na hlavných prvkoch nosnej konštrukcie. Tiahla sú rozložené symetricky, referenčná plocha je rátaná len pre prvú polovicu.

$$F_{w,k,i} = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,x,i}$$

$$f_{w,k,i} = F_{w,k,i} / l_i$$

Prvok	$A_{ref,x,i}$ [m ²]	$F_{w,k,i}$ [kN]	l_i [m]	$f_{w,k,i}$ [kN/m]
Trám	300,00	294,8	100,00	2,95
Oblúk	100,31	98,6	105,90	0,93
Tiahlo 1	1,00	1,0	3,66	0,27
Tiahlo 2	2,15	2,1	7,87	0,27
Tiahlo 3	2,94	2,9	10,76	0,27
Tiahlo 4	3,40	3,3	12,45	0,27
Tiahlo 5	3,55	3,5	13,00	0,27



$A_{ref,x,TRÁM}$
 $A_{ref,x,OBLÚK}$
 $A_{ref,x,TIAHLO1}$
 $A_{ref,x,TIAHLO2}$
 $A_{ref,x,TIAHLO3}$
 $A_{ref,x,TIAHLO4}$
 $A_{ref,x,TIAHLO5}$

Obrázok 13: Referenčné plochy pre zaťaženie vetrom na nosnú konštrukciu

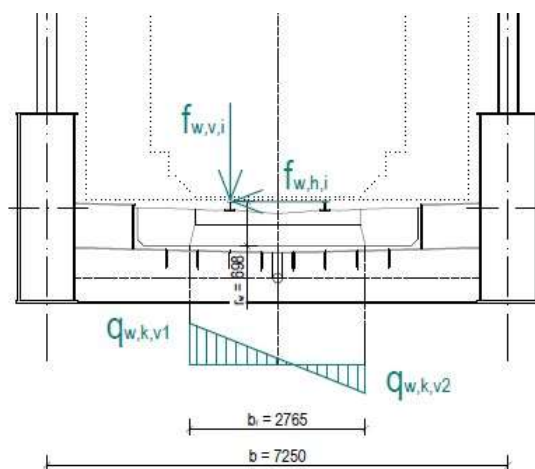
b) Vietor na nosnú konštrukciu a vlak

Zaťaženie pôsobí ako líniové vodorovné zaťaženie a je rozrátané na rovnomerné plošné zaťaženie pôsobiace na hlavných prvkoch nosnej konštrukcie. Je uvažované aj s roznosom pod pražcom. Zaťaženie je roznášané v sklone 4:1 na zaťažovacej šírke $b_r = 2,765$ m a ramene $r_w = 0,698$ m.

$$F_{w,k,i} = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,x,i}$$

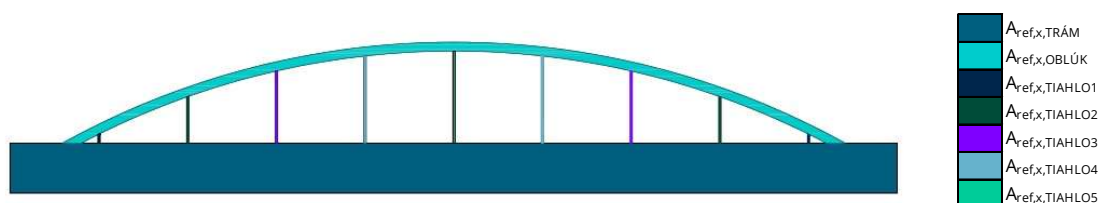
$$f_{w,h,i} = F_{w,k,i} / l_i$$

$$f_{w,v,i} = f_{w,h,i} \cdot r_w / b_r$$



Obrázok 14: Roznos zaťaženia vetrom na nosnú konštrukciu a vlak

Prvok	$A_{ref,x}$ [m ²]	$F_{w,h,i}$ [kN]	l_i [m]	$f_{w,h,i}$ [kN/m]	$f_{w,v,i}$ [kN/m]	$q_{w,k,v1}$ [kN/m]	$q_{w,k,v2}$ [kN/m]
Trám	562,45	599,8	100,00	6,00	0,58	0,451	0,136
Oblúk	89,80	95,8	89,81	1,07	0,10	0,080	0,024
Tiahlo 1	0,28	0,3	1,04	0,29	0,03	0,022	0,007
Tiahlo 2	1,43	1,5	5,25	0,29	0,03	0,022	0,007
Tiahlo 3	2,22	2,4	8,13	0,29	0,03	0,022	0,007
Tiahlo 4	2,68	2,9	9,82	0,29	0,03	0,022	0,007
Tiahlo 5	2,83	3,0	10,38	0,29	0,03	0,022	0,007



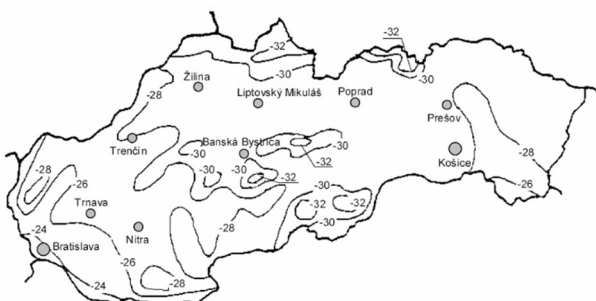
Obrázok 15: Referenčné plochy pre zaťaženie vetrom na nosnú konštrukciu a vlak

c) Pozdĺžny vietor

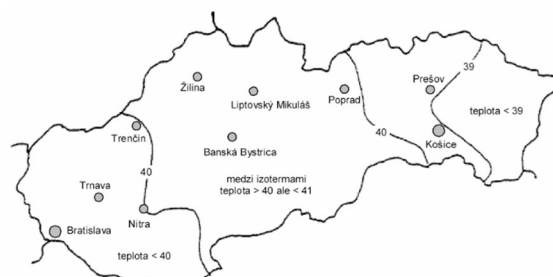
Zanedbáva sa.

d) Rovnomerná zmena teploty

Minimálna a maximálna teplota je prevzatá z teplotných máp v STN EN 1991-1-5. Zaťaženie je modelované pre skrátenie a predĺženie konštrukcie pôsobiace na celú konštrukciu.



Obrázok 16: Minimálna teplota vzduchu v tieni



Obrázok 17: Maximálna teplota vzduchu v tieni

Typ I. – oceľová konštrukcia

Minimálna teplota vzduchu v tieni:

$$T_{\min} = -28 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Maximálna teplota vzduchu v tieni:

$$T_{\max} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Minimálna rovnomerná zložka teploty:

$$T_{e,\min} = T_{\min} - 3 \text{ }^{\circ}\text{C} = -31 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Maximálna rovnomerná zložka teploty:

$$T_{e,\max} = T_{\max} + 16 \text{ }^{\circ}\text{C} = 56 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Upínacia teplota:

$$T_0 = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Skrátenie konštrukcie:

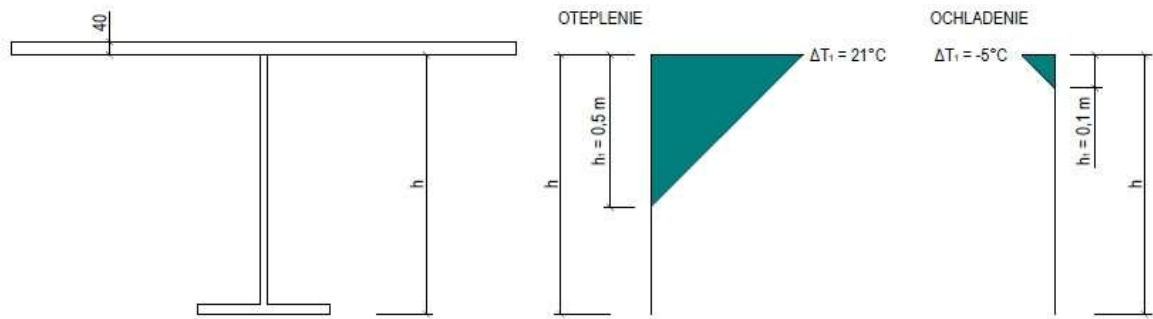
$$\Delta T_{N,\text{con}} = T_0 - T_{e,\min} = 41 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Predĺženie konštrukcie:

$$\Delta T_{N,\text{exp}} = T_{e,\max} - T_0 = 46 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

e) Nerovnomerná zložka teploty

Zaťaženie je modelované pre ochladenie a oteplenie konštrukcie pôsobiace na mostovku. Pre výpočet bol použitý postup 2 dľa ČSN EN 1991-1-5 – obrázok 6.2a.



Obrázok 18: Rozdiely teplôt pre nosné oceľové konštrukcie dľa ČSN EN 1991-1-5

Oteplenie konštrukcie: $\Delta T_1 = 21 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Ochladenie konštrukcie: $\Delta T_1 = -5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

6.2.4 Aerodynamické zaťaženie

Neuvažuje sa.

7. KOMBINÁCIE

Pre výpočet boli použité kombinácie 6.10a a 6.10b

$$6.10a \quad \gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,gr} \cdot \psi_{0,gr} \cdot Q_{k,gr} + \gamma_{Q,w} \cdot \psi_{0,w} \cdot Q_{kw} + \gamma_{Q,t} \cdot \psi_{0,t} \cdot Q_{k,t}$$

$$6.10b \quad \xi \cdot \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k + \gamma_{Q,w} \cdot \psi_{0,w} \cdot Q_{kw} + \gamma_{Q,t} \cdot \psi_{0,t} \cdot Q_{k,t}$$

Zostavy zaťažení a hodnoty súčiniteľov:

Stále zaťaženie	$\gamma_G = 1,35$	$\xi = 0,85$
gr11 (LM71 + brzdné sily + 0,5 · bočné rázy)	$\gamma_Q = 1,45$	$\psi_0 = 0,80$
gr12 (LM71 + 0,5 · brzdné sily + bočné rázy)	$\gamma_Q = 1,45$	$\psi_0 = 0,80$
gr16 (SW/2 + brzdné sily + 0,5 · bočné rázy)	$\gamma_Q = 1,20$	$\psi_0 = 0,80$
gr17 (SW/2 + 0,5 · brzdné sily + bočné rázy)	$\gamma_Q = 1,20$	$\psi_0 = 0,80$
Vietor na nosnú konštrukciu	$\gamma_Q = 1,50$	$\psi_0 = 0,75$
Vietor na nosnú konštrukciu a vlak	$\gamma_Q = 1,50$	$\psi_0 = 1,00$
Teplota	$\gamma_Q = 1,50$	$\psi_0 = 0,60$

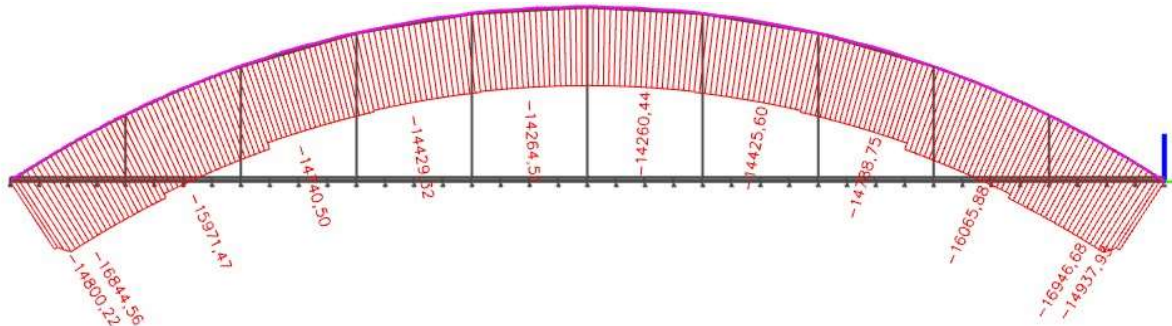
8. VNÚTORNÉ SILY

V program SCIA ENGINEER 19.1.4034 bol prevedený výpočet. Model bol zaťažený 24 zaťažovacími stavmi. Najnepriaznivejšie vnútorné sily pre MSÚ – STR vznikali pre trám v kombinácii 6.10b so zostavou zaťaženia gr11, vetrom na nosnú konštrukciu a ochladením. Pre ostatné prvky vznikali najnepriaznivejšie vnútorné sily v kombinácii 6.10b so zostavou zaťaženia gr12, vetrom na nosnú konštrukciu a ochladením. Výpis vnútorných síl je uvedený v prílohe C – *Výpis z programu*. Výpis zaťažovacích stavov je uvedený v nasledujúcej tabuľke:

Zaťažovací stav	Typ pôsobenia	Typ zaťaženia	Špecifikácia
MSÚ - STR			
ZS1 - Vlastná tiaž	stále	vlastná tiaž	-
ZS2 - Ostatné stále	stále	štandard	-
ZS3 - LM71 - max M	premenné	statické	štandard
ZS4 - LM71 - max V	premenné	statické	štandard
ZS5 - LM71 - krajný priečnik	premenné	statické	štandard
ZS6 - LM71 - priečnik v poli	premenné	statické	štandard
ZS7 - LM71 - pozdĺžna výstuha	premenné	statické	štandard
ZS8 - SW2 - max M	premenné	statické	štandard
ZS9 - SW2 - max V	premenné	statické	štandard
ZS10 - Bočné rázy	premenné	statické	štandard
ZS11 - Brzdne sily LM71	premenné	statické	štandard
ZS12 - Brzdne sily SW/2	premenné	statické	štandard
ZS13 - Vietor na nosnú konštrukciu	premenné	statické	štandard
ZS14 - Vietor na nosnú konštrukciu a vlak	premenné	statické	štandard
ZS15 - Teplota - skrátenie konštrukcie	premenné	statické	teplota
ZS16 - Teplota - predĺženie konštrukcie	premenné	statické	teplota
ZS17 - Teplota - oteplenie	premenné	statické	teplota
ZS18 - Teplota - ochladenie	premenné	statické	teplota
MSÚ - FAT			
ZS1 - LM71 - max M	premenné	statické	štandard
ZS2 - LM71 - krajný priečnik	premenné	statické	štandard
ZS3 - LM71 - pozdĺžna výstuha	premenné	statické	štandard
MSP			
ZS1 - LM71 - max M	premenné	statické	štandard
ZS2 - LM71 - max M_2	premenné	statické	štandard
ZS3 - SW2 - max M	premenné	statické	štandard

9. STABILITA KONŠTRUKCIE

Stabilitná analýza bola prevezená pre určenie súčiniteľa kritického zaťaženia α_{cr} . Ak je hodnota súčiniteľa kritického zaťaženia α_{cr} menšia alebo rovná hodnote 10 nemusí sa počítať s počiatočnými geometrickými imperfekciami. Ak je hodnota menšia ako 10 je potrebné rátať s počiatočnými geometrickými imperfekciami teóriou II. rádu. Súčiniteľ α_{cr} bol stanovený pre maximálnu normálovú silu v oblúku.



Obrázok 19: Priebeh normálovej sily N v oblúku podľa analýzy I. rádu

Súčiniteľ β bol stanovený dľa ČSN EN 1993-2 dľa obrázku D.4.

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$E = 210000 \text{ MPa}$$

$$s = 52,948 \text{ m}$$

$$L = 100 \text{ m}$$

$$I_y = 2,27E-02 \text{ m}^4$$

$$\beta = 0,35$$

$$N_{cr} = \left(\frac{\pi}{\beta \cdot s} \right)^2 \cdot E \cdot I_y = 136\,918 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 16\,946,68 \text{ kN}$$

$$\alpha_{cr} = N_{cr} / N_{Ed} = 8,079 < 10,0 \Rightarrow \text{výpočet podľa teórie II. rádu}$$

10. POSÚDENIE NA MEDZNÝ STAV ÚNOSNOSTI

10.1 MSÚ – STR

10.1.1 Trám

Prierez trámu bol posudzovaný v poli aj nad podporou na kombináciu ťahu a ohybu. Prierez trámu bol posúdený aj na šmyk.

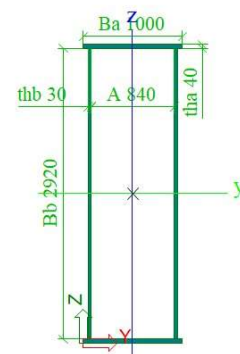
Zatriedenie prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,81$$

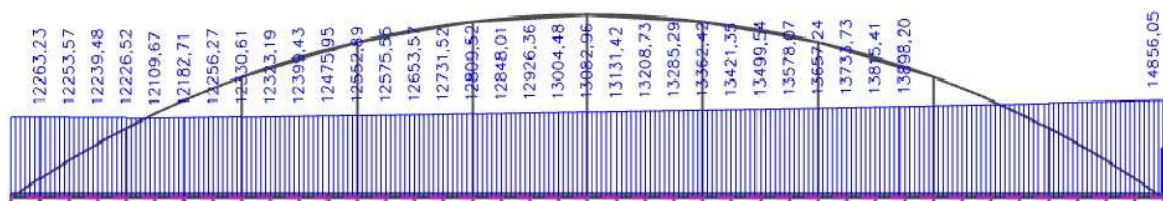
$$\text{pásnica: } c/t = 840/40 = 21 \leq 33 \cdot \varepsilon = 26,85 \Rightarrow \text{trieda 1}$$

$$\text{stojina: } c/t = 2920/30 = 97,3 \leq 124 \cdot \varepsilon = 100,89 \Rightarrow \text{trieda 3}$$

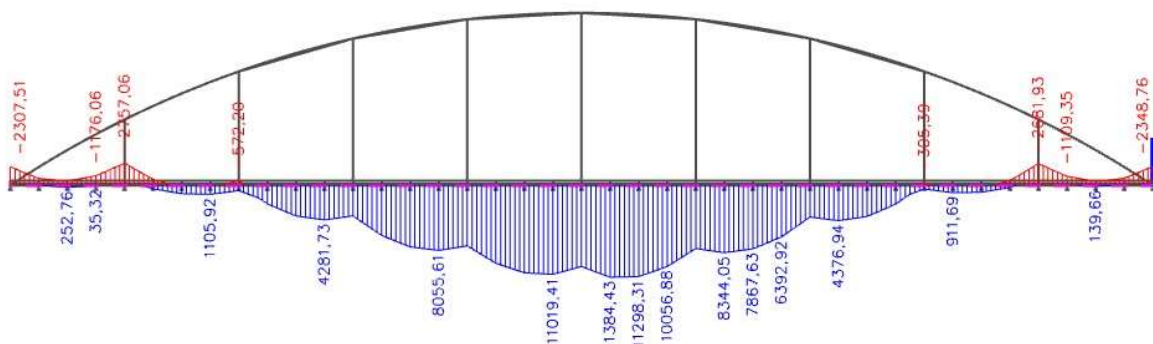
Trieda prierezu: 3



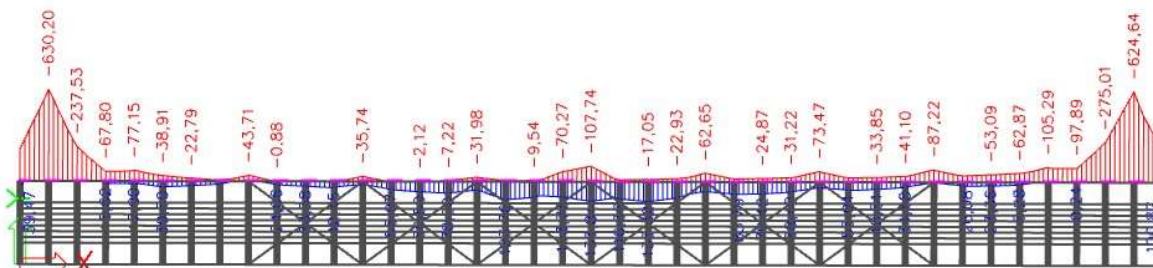
Obrázok 20: Prierez trámu



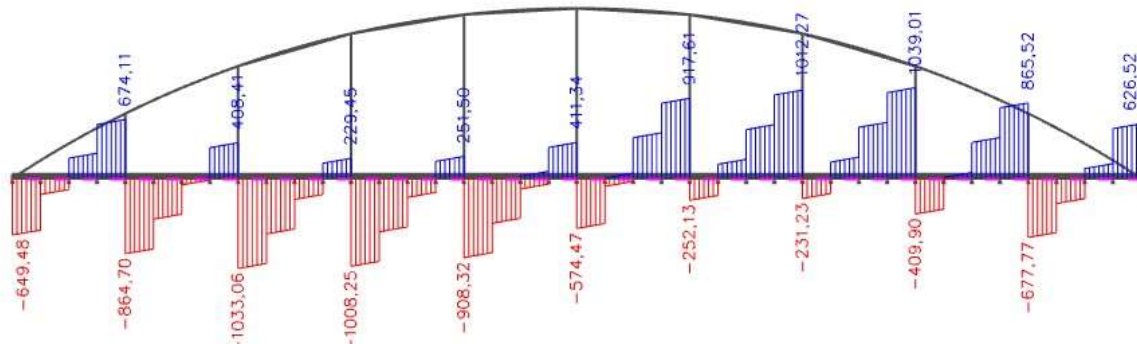
Obrázok 21: Pribeh normálovej sily N v tráme podľa analýzy II. rádu



Obrázok 22: Pribeh momentu M_y v tráme podľa analýzy II. rádu



Obrázok 23: Pribeh momentu M_z v tráme podľa analýzy II. rádu



Obrázok 24: Pribeh posúvajúcej sily V_z v tráme podľa analýzy II. rádu

Prierez v poli

$$\begin{aligned} f_y &= 355 \text{ MPa} \\ A &= 2,55\text{E-}01 \text{ m}^2 \\ W_{el,y} &= 2,00\text{E-}01 \text{ m}^3 \\ W_{el,z} &= 7,97\text{E-}02 \text{ m}^3 \\ \gamma_{M0} &= 1,0 \\ N_{Ed} &= 13\,082,96 \text{ kN} \\ M_{y,Ed} &= 11\,384,43 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed} &= 107,74 \text{ kNm} \\ \sigma_{x,Ed} &= \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{el,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{el,z}} = 109,59 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sqrt{\sigma_{x,Ed}^2} \cdot \frac{\gamma_{M0}}{f_y} \leq 1,0$$

Jednotkový posudok	0,309 ≤ 1,0
Využitie	30,9 %

=> VYHOVUJE

Šmyk – V_{Ed} z obr. 24

$$\begin{aligned} A_v &= 1,75\text{E-}01 \text{ m}^2 \\ V_{Ed} &= 1\,039,01 \text{ kN} \\ V_{c,Rd} &= (A_v \cdot f_y) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = 35\,908,88 \text{ kN} \\ \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} &\leq 1,0 \end{aligned}$$

Jednotkový posudok	0,029 ≤ 1,0
Využitie	2,9 %

=> VYHOVUJE

Prierez nad podporou

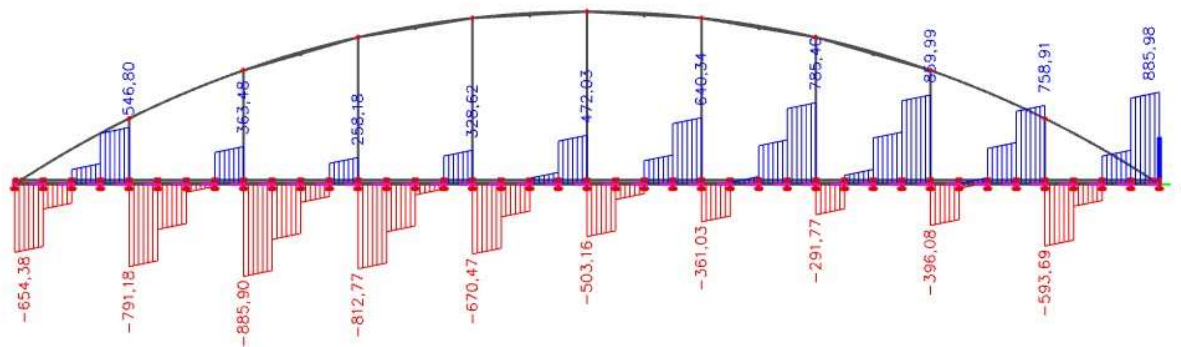
$$\begin{aligned} f_y &= 355 \text{ MPa} \\ A &= 2,55\text{E-}01 \text{ m}^2 \\ W_{el,y} &= 2,00\text{E-}01 \text{ m}^3 \\ W_{el,z} &= 7,97\text{E-}02 \text{ m}^3 \\ \gamma_{M0} &= 1,0 \\ N_{Ed} &= 14\,856,05 \text{ kN} \\ M_{y,Ed} &= 2\,348,76 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed} &= 624,64 \text{ kNm} \\ \sigma_{x,Ed} &= \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{el,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{el,z}} = 77,81 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sqrt{\sigma_{x,Ed}^2} \cdot \frac{\gamma_{M0}}{f_y} \leq 1,0$$

Jednotkový posudok	0,219 ≤ 1,0
Využitie	21,9 %

=> VYHOVUJE

Šmyk – V_{Ed} z obr. 25



Obrázok 25: Priebeh posúvajúcej sily V_z v tráme pre maximálny účinok nad podporou podľa analýzy II. rádu

$$A_v = 1,75E-01 \text{ m}^2$$

$$V_{Ed} = 885,98 \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd} = (A_v \cdot f_y) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = 35\,908,88 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Jednotkový posudok	0,025 ≤ 1,0
Využitie	2,5 %

=> VYHOVUJE

10.1.2 Oblúk

Prierez oblúka bol posudzovaný v poli aj nad podporou na kombináciu vzperu a ohybu. Súčiniteľ β bol stanovený dľa ČSN EN 1993-2. Pre vybočenie v rovine dľa obrázku D.4 a pre vybočenie z roviny dľa obrázku D.5 a tabuľky D.1. Prierez oblúka bol posúdený aj na šmyk.

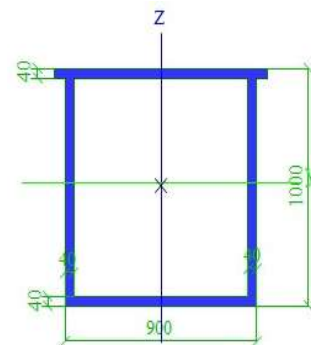
Zatriedenie prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,81$$

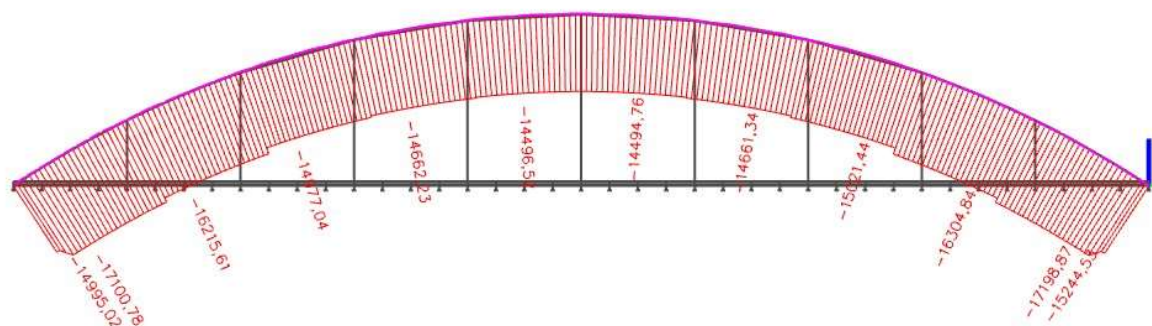
$$\text{pásnica: } c/t = 820/40 = 20,5 \leq 33 \cdot \varepsilon = 26,85 \Rightarrow \text{trieda 1}$$

$$\text{stojina: } c/t = 920/30 = 30,67 \leq 72 \cdot \varepsilon = 58,58 \Rightarrow \text{trieda 1}$$

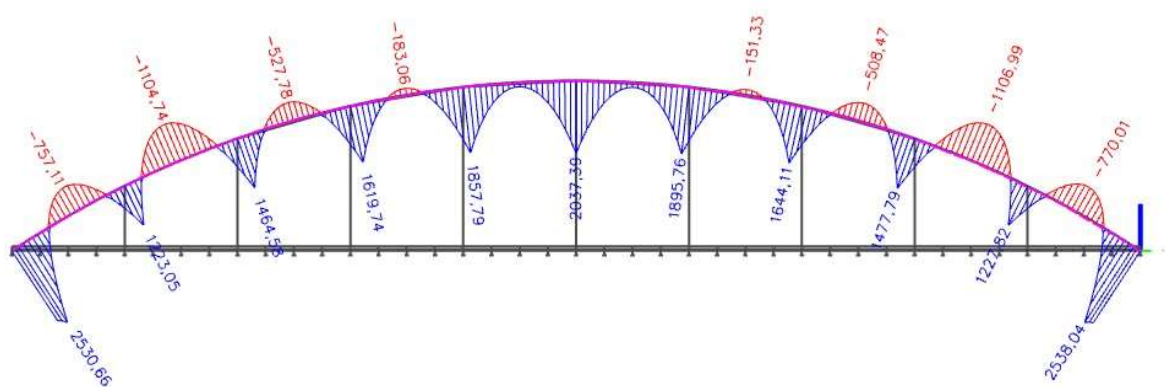
Trieda prierezu: 1



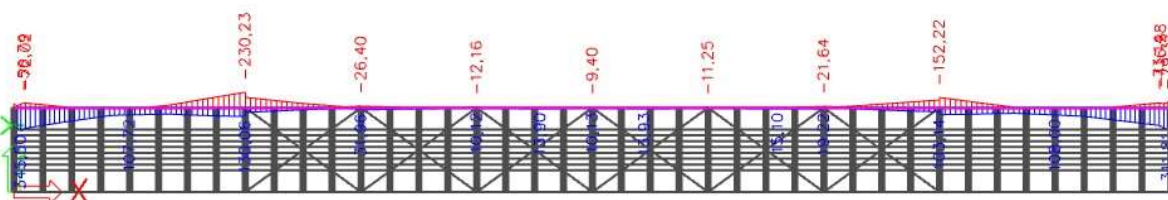
Obrázok 26: Prierez oblúka



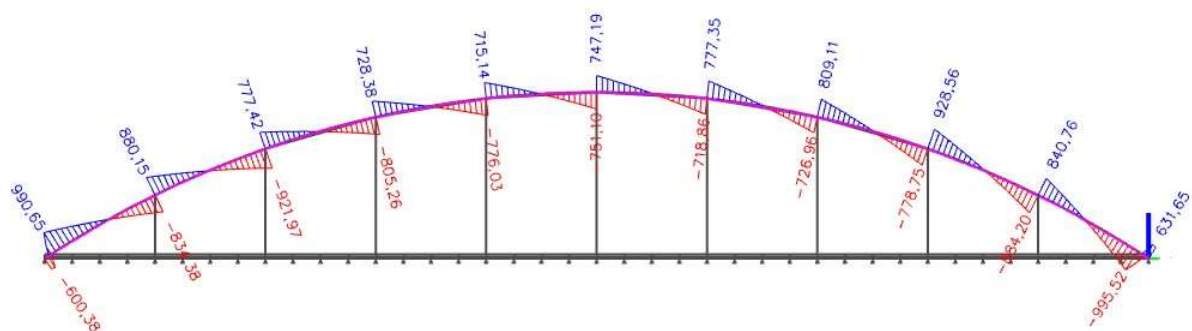
Obrázok 27: Priebek normálovej sily N v oblúku podľa analýzy II. rádu



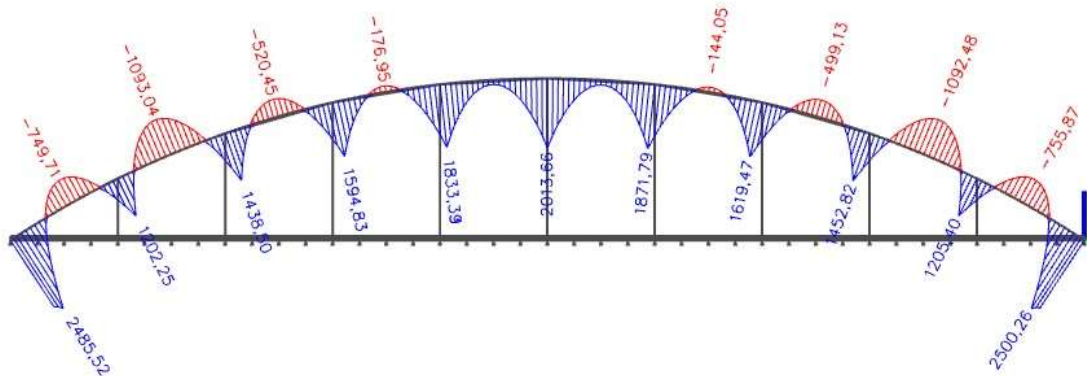
Obrázok 28: Priebek momentu M_y v oblúku podľa analýzy II. rádu



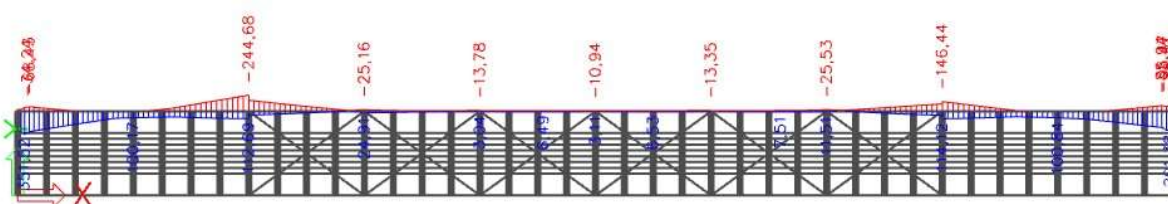
Obrázok 29: Priebek momentu M_z v oblúku podľa analýzy II. rádu



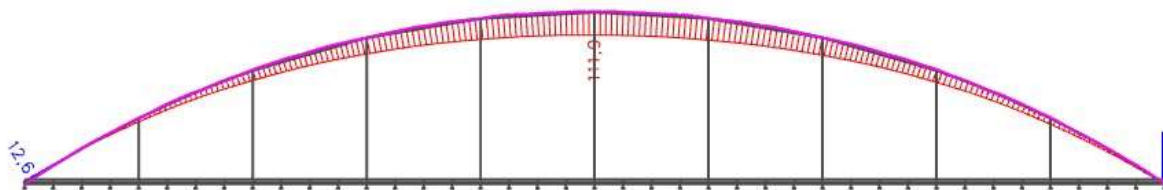
Obrázok 30: Priebek posúvajúcej sily V_z v oblúku podľa analýzy II. rádu



Obrázok 31: Priebeh momentu M_y v oblúku podľa analýzy I. rádu



Obrázok 32: Priebeh momentu M_z v oblúku podľa analýzy I. rádu



Obrázok 33: Maximálny priebeh δ v oblúku

Prierez v poli

$f_y =$	355 MPa
$E =$	210000 MPa
$s =$	52,948 m
$L =$	100 m
$A =$	1,50E-01 m ²
$W_{pl,y} =$	5,34E-02 m ³
$W_{pl,z} =$	4,97E-02 m ³
$W_{el,y} =$	4,42E-02 m ³
$I_y =$	2,27E-02 m ⁴
$I_z =$	1,94E-02 m ⁴
$I_t =$	2,89E-02 m ⁴
$\gamma_{M0} =$	1,0
$\gamma_{M1} =$	1,1

Vybočenie v rovine

$$\beta = 0,35$$

$$N_{cr,y} = \left(\frac{\pi}{\beta \cdot s} \right)^2 \cdot E \cdot I_y = 136\,918 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \frac{\sqrt{A \cdot f_y}}{N_{cr,y}} = 0,623$$

krivka vzpernej pevnosti c

$$\alpha = 0,49$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) \cdot \lambda_y^2] = 0,798$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 0,772$$

Vybočenie z roviny

$$\beta = 0,95$$

$$N_{cr,z} = \left(\frac{\pi}{\beta \cdot l} \right)^2 \cdot E \cdot I_z = 197\,828 \text{ kN}$$

$$\lambda_z = \frac{\sqrt{A \cdot f_y}}{N_{cr,z}} = 0,518$$

krivka vzpernej pevnosti c

$$\alpha = 0,49$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0,2) \cdot \lambda_z^2] = 0,712$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0,833$$

$$N_{Ed} = 14\,496,52 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd,y} = \chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 40\,988,15 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd,z} = \chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 44\,228,37 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 2\,037,39 \text{ kNm}$$

$$M_{y,c,Rd} = W_{el,y} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 18\,942,09 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 230,23 \text{ kNm}$$

$$M_{z,c,Rd} = W_{el,z} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 17\,660,54 \text{ kNm}$$

$$\delta_x = 0,111 \text{ mm}$$

$$M_{y,Ed}^{I.} = 2\,013,66 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed}^{I.} = 244,68 \text{ kNm}$$

$$C_{m,y} = 1 + \left(\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y \cdot \delta_x}{L^2 \cdot M_{y,Ed}^{I.}} - 1 \right) \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} = 1,027$$

$$C_{m,z} = 1 + \left(\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z \cdot \delta_x}{L^2 \cdot M_{z,Ed}^{I.}} - 1 \right) \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} = 1,134$$

$$k_{yy} = C_{m,y} \cdot \left(1 + \lambda_y - 0,2 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{R,k}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0,517$$

$$k_{yy} \leq C_{m,y} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{R,k}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0,654$$

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \left(1 + (2 \cdot \lambda_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{R,k}} \right) = 0,534$$

$$k_{zz} \leq C_{m,z} \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{R,k}} \right) = 0,669$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,320$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,310$$

$$\Delta M_{y,Ed} = \Delta M_{z,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$

$$\chi_{LT} = 1,000$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{R,k}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

Jednotkový posudok	0,413 ≤ 1,0
---------------------------	--------------------

Využitie	41,3 %
-----------------	---------------

=> VYHOVUJE

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{R,k}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

Jednotkový posudok	0,368 ≤ 1,0
---------------------------	--------------------

Využitie	36,8 %
-----------------	---------------

=> VYHOVUJE

Šmyk

$$A_v = 7,36E-02 \text{ m}^2$$

$$V_{Ed} = 751,1 \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd} = (A_v \cdot f_y) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = 15085,0 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Jednotkový posudok	0,050 ≤ 1,0
---------------------------	--------------------

Využitie	5,0 %
-----------------	--------------

=> VYHOVUJE

Prierez nad podporou

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$E = 210000 \text{ MPa}$$

$$S = 52,948 \text{ m}$$

$$L = 100 \text{ m}$$

$$A = 1,50E-01 \text{ m}^2$$

$$W_{pl,y} = 5,34E-02 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 4,97E-02 \text{ m}^3$$

$$W_{el,y} = 4,42E-02 \text{ m}^3$$

$$I_y = 2,27E-02 \text{ m}^4$$

$$I_z = 1,94E-02 \text{ m}^4$$

$$I_t = 2,89E-02 \text{ m}^4$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

$$\gamma_{M1} = 1,1$$

Vybočenie v rovine

$$\beta = 0,35$$

$$N_{cr,y} = \left(\frac{\pi}{\beta \cdot s} \right)^2 \cdot E \cdot I_y = 136\,918 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \frac{\sqrt{A \cdot f_y}}{N_{cr,y}} = 0,623$$

krivka vzpernej pevnosti c

$$\alpha = 0,49$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) \cdot \lambda_y^2] = 0,798$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 0,772$$

Vybočenie z roviny

$$\beta = 0,95$$

$$N_{cr,z} = \left(\frac{\pi}{\beta \cdot l} \right)^2 \cdot E \cdot I_z = 197\,828 \text{ kN}$$

$$\lambda_z = \frac{\sqrt{A \cdot f_y}}{N_{cr,z}} = 0,518$$

krivka vzpernej pevnosti c

$$\alpha = 0,49$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0,2) \cdot \lambda_z^2] = 0,712$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0,833$$

$$N_{Ed} = 17\,100,78 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd,y} = \chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 40\,988,15 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd,z} = \chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 44\,228,37 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 2\,530,66 \text{ kNm}$$

$$M_{y,c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 18\,942,09 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 343,00 \text{ kNm}$$

$$M_{z,c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 17\,660,54 \text{ kNm}$$

$$\delta_x = 0,0126 \text{ mm}$$

$$M_{y,Ed}^L = 2\,013,66 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed}^L = 244,68 \text{ kNm}$$

$$C_{m,y} = 1 + \left(\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y \cdot \delta_x}{L^2 \cdot M_{y,Ed}^L} - 1 \right) \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} = 1,004$$

$$C_{m,z} = 1 + \left(\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z \cdot \delta_x}{L^2 \cdot M_{z,Ed}^L} - 1 \right) \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} = 1,018$$

$$k_{yy} = C_{m,y} \cdot \left(1 + \lambda_y - 0,2 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{R,k}} \right) = 0,596$$

$$k_{yy} \leq C_{m,y} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{R,k}} \right) = 0,754$$

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \left(1 + (2 \cdot \lambda_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{R,k}} \right) = 0,565$$

$$k_{zz} \leq C_{m,z} \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{R,k}} \right) = 0,708$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,339$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,357$$

$$\Delta M_{y,Ed} = \Delta M_{z,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$

$$\chi_{LT} = 1,000$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{R,k}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

Jednotkový posudok	0,503 ≤ 1,0	=> VYHOVUJE
Využitie	50,3 %	

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{R,k}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

Jednotkový posudok	0,445 ≤ 1,0	=> VYHOVUJE
Využitie	44,5 %	

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,339$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,357$$

$$\Delta M_{y,Ed} = \Delta M_{z,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$

$$\chi_{LT} = 1,000$$

Šmyk

$$A_v = 7,36E-02 \text{ m}^2$$

$$V_{Ed} = 995,5 \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd} = (A_v \cdot f_y) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = 15085,0 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Jednotkový posudok	0,066 ≤ 1,0	=> VYHOVUJE
Využitie	6,6 %	

10.1.3 Tiahlo

Bolo posudzované najkratšie tiahlo (najvyššia hodnota normálovej sily) na ťah. Prierez tiahla bol posúdený aj na šmy.

Zatriedenie prierezu:

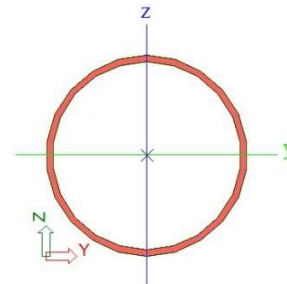
$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,81$$

$$d/t = 273/12 = 22,75 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 33,10$$

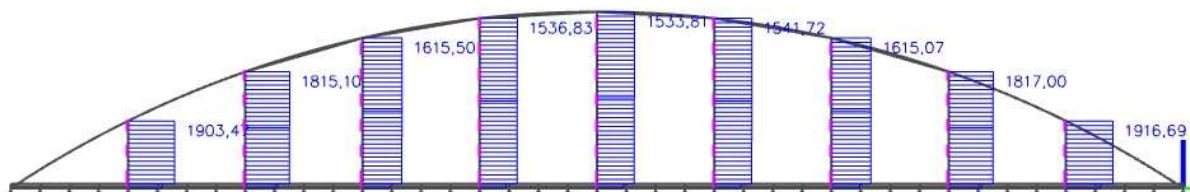
=> trieda 1

Trieda prierezu: 1

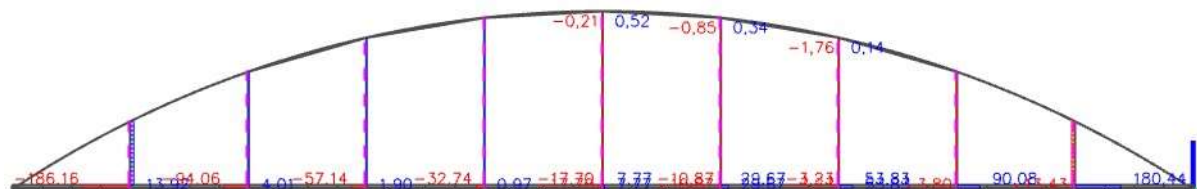
TR 273.0/12.0



Obrázok 34: Prierez tiahla



Obrázok 35: Priebeh normálovej sily N v tiahle podľa analýzy II. rádu



Obrázok 36: Priebeh posúvajúcej sily Vz v tiahle podľa analýzy II. rádu

$f_y =$	355 MPa
$A =$	9,84E-03 m ²
$\gamma_{M0} =$	1,0
$N_{Ed} =$	1916,69 kN
$N_{t,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} =$	3493,2 kN

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

Jednotkový posudok
Využitie

0,549 ≤ 1,0
54,9 %

=> VYHOVUJE

Šmyk

$$A_v = 6,26E-03 \text{ m}^2$$

$$V_{Ed} = 186,16 \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd} = (A_v \cdot f_y) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = 1283,93 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Jednotkový posudok	0,145 ≤ 1,0
Využitie	14,5 %

=> VYHOVUJE

10.1.4 Horné stuženie

Bolo posudzované stuženie, v ktorom bola najvyššia ťahová sila (stuženie 2) a najvyšší moment (stuženie 1). Prierez stuženia bol posúdený na kombináciu ťahu a ohybu a bol posúdený aj na šmyk.

Zatriedenie prierezu:

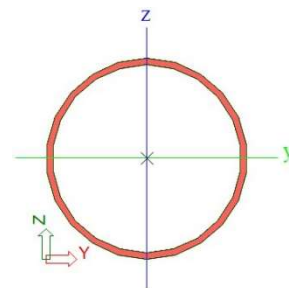
$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,81$$

$$d/t = 813/16 = 50,81 \leq 90 \cdot \varepsilon^2 = 59,58$$

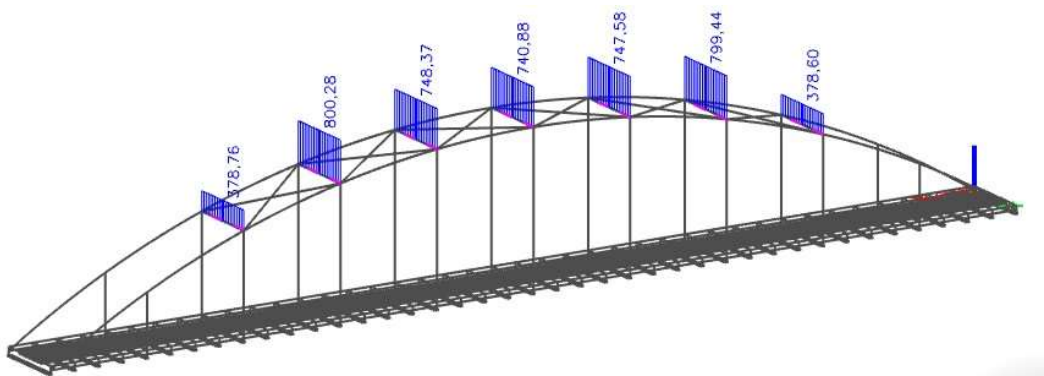
Trieda prierezu: 3

=> trieda 3

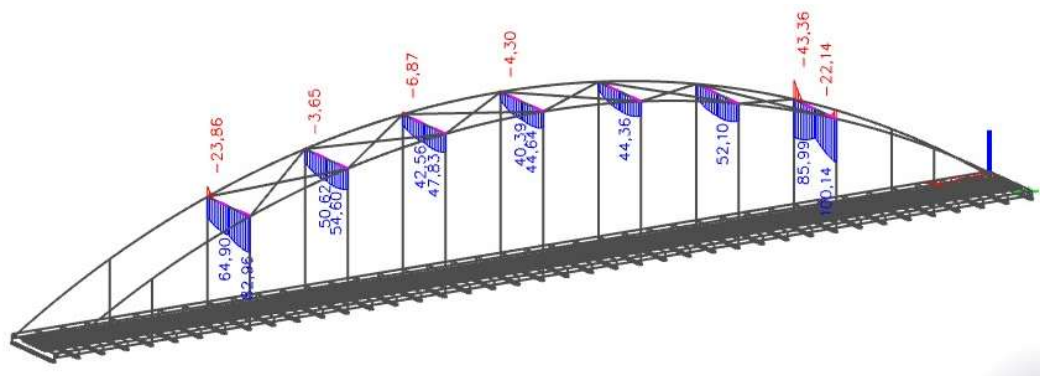
TR 813.0/16.0



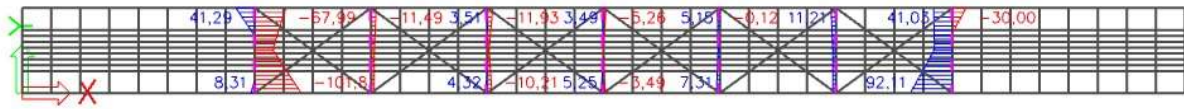
Obrázok 37: Prierez horného stuženia



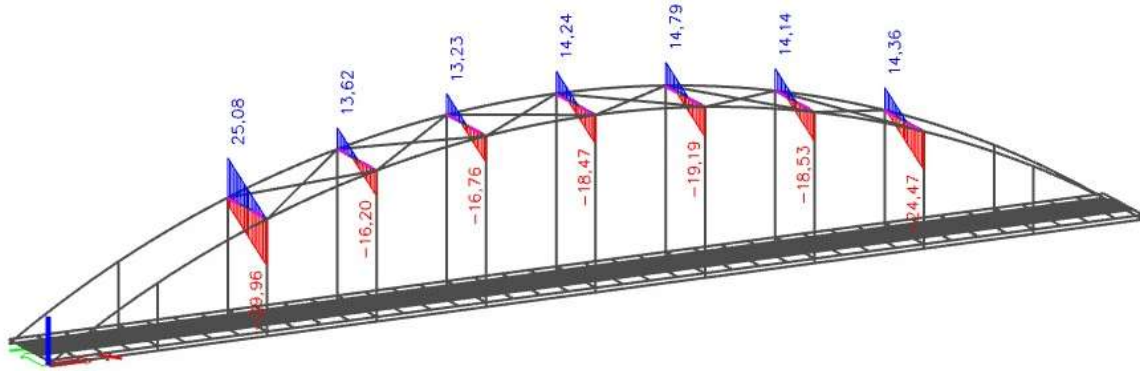
Obrázok 38: Priebeh normálovej sily N v hornom stužení podľa analýzy II. rádu



Obrázok 39: Priebeh momentu My v hornom stužení podľa analýzy II. rádu



Obrázok 40: Priebeh momentu M_z v hornom stužení podľa analýzy II. rádu



Obrázok 41: Priebeh posúvajúcej sily V_z v hornom stužení podľa analýzy II. rádu

Horné stuženie 1

$f_y =$	355 MPa
$A =$	4,01E-02 m ²
$W_{el,y} =$	7,83E-03 m ³
$W_{el,z} =$	7,83E-03 m ³
$\gamma_{M0} =$	1,0
$N_{Ed} =$	378,76 kN
$M_{y,Ed} =$	82,06 kNm
$M_{z,Ed} =$	101,80 kNm

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{el,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{el,z}} = 32,93 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{x,Ed}^2} \cdot \frac{\gamma_{M0}}{f_y} \leq 1,0$$

Jednotkový posudok	0,093 ≤ 1,0
Využitie	9,3 %

=> VYHOVUJE

Šmyk

$A_v =$	2,55E-02 m ²
$V_{Ed} =$	29,96 kN
$V_{c,Rd} = (A_v \cdot f_y) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) =$	5232,29 kN

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Jednotkový posudok	0,006 ≤ 1,0
Využitie	0,6 %

=> VYHOVUJE

Horné stuženie 2

$$\begin{aligned}
 f_y &= 355 \text{ MPa} \\
 A &= 4,01\text{E-}02 \text{ m}^2 \\
 W_{el,y} &= 7,83\text{E-}03 \text{ m}^3 \\
 W_{el,z} &= 7,83\text{E-}03 \text{ m}^3 \\
 \gamma_{M0} &= 1,0 \\
 N_{Ed} &= 800,28 \text{ kN} \\
 M_{y,Ed} &= 54,6 \text{ kNm} \\
 M_{z,Ed} &= 11,49 \text{ kNm} \\
 \sigma_{x,Ed} &= \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{el,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{el,z}} = 28,40 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\sqrt{\sigma_{x,Ed}^2} \cdot \frac{\gamma_{M0}}{f_y} \leq 1,0$$

Jednotkový posudok	0,080 ≤ 1,0	=> VYHOVUJE
Využitie	8,0 %	

Šmyk

$$\begin{aligned}
 A_v &= 2,55\text{E-}02 \text{ m}^2 \\
 V_{Ed} &= 18,53 \text{ kN} \\
 V_{c,Rd} &= (A_v \cdot f_y) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = 5232,29 \text{ kN} \\
 \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} &\leq 1,0
 \end{aligned}$$

Jednotkový posudok	0,004 ≤ 1,0	=> VYHOVUJE
Využitie	0,4 %	

10.1.5 Krajné horné priehradové stuženie

Prierez stuženia bol posúdený na vzper. Vzperné dĺžky boli určené dľa ČSN EN 1993-2 z tabuľky D.2. Prierez bol posúdený aj na šmyk. Hodnoty ohybových momentov M_y a M_z sú zanedbateľné.

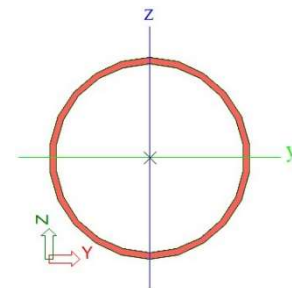
Zatriedenie prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,81$$

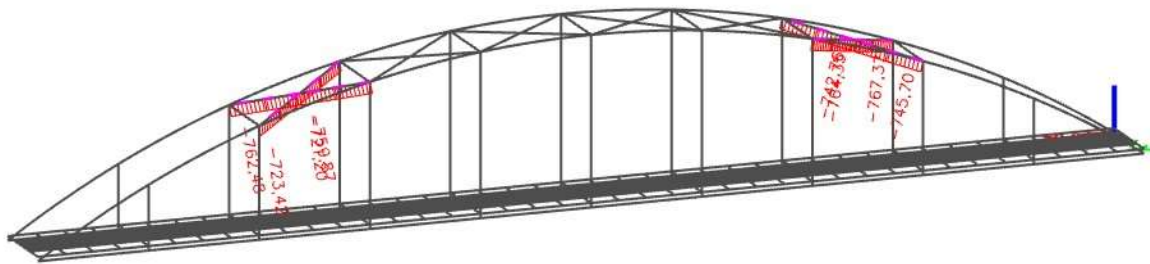
$$d/t = 323,9/12 = 26,99 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 33,10 \quad \Rightarrow \text{trieda 1}$$

Trieda prierezu: 1

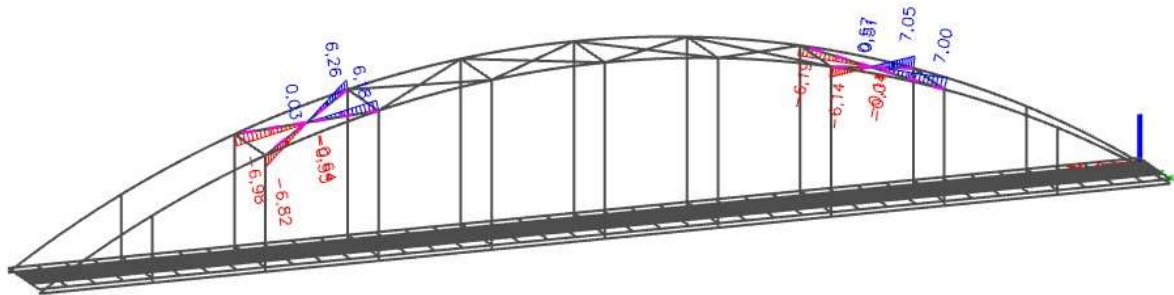
TR 323.9/12.0



Obrázok 42: Prierez horného priehradového stuženia



Obrázok 43: Priebeh normálovej sily N v krajnom hornom priehradovom stužení podľa analýzy II. rádu



Obrázok 44: Priebeh posúvajúcej sily V_z v krajnom hornom priehradovom stužení podľa analýzy II. rádu

$f_y =$	355 MPa
$E =$	210000 MPa
$\gamma_{M1} =$	1,1
$L =$	12,68 m
$\beta =$	0,96
$L_{cr} =$	12,1728 m
$A =$	1,18E-02 m ²
$I_y =$	1,43E-04 m ⁴
$N_{cr} = \left(\frac{\pi}{L_{cr}} \right)^2 \cdot E \cdot I_y =$	2003,00 kN
$\lambda = \sqrt{(A \cdot f_y) / N_{cr}} =$	1,4462
krivka vzpernej pevnosti c	
$\alpha =$	0,49
$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) \cdot \lambda^2] =$	1,851
$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} =$	0,333
$N_{Ed} =$	767,32 kN
$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} =$	1266,72 kN
$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$	

Jednotkový posudok	0,606 ≤ 1,0
Využitie	60,6 %

=> VYHOVUJE

Šmyk

$$A_v = 7,51E-03 \text{ m}^2$$

$$V_{Ed} = 7,1 \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd} = (A_v \cdot f_y) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = 1539,7 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Jednotkový posudok	0,005 ≤ 1,0
Využitie	0,5 %

=> VYHOVUJE

10.1.6 Stredné horné priehradové stuženie

Prierez stuženia bol posúdený na vzper. Vzperné dĺžky boli určené dľa ČSN EN 1993-2 z tabuľky D.2. Prierez bol posúdený aj na šmyk. Hodnoty ohybových momentov M_y a M_z sú zanedbateľné.

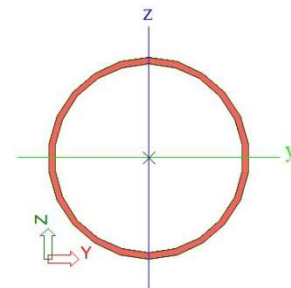
Zatriedenie prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,81$$

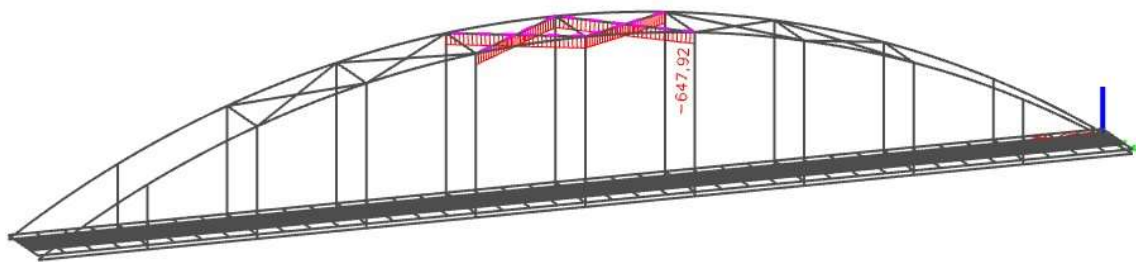
$$d/t = 323,9/12 = 26,99 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 33,10 \quad \Rightarrow \text{trieda 1}$$

Trieda prierezu: 1

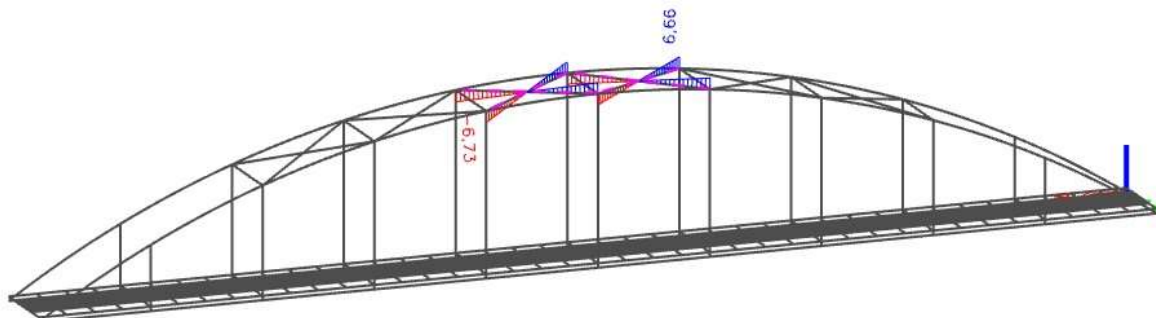
TR 323.9/12.0



Obrázok 45: Prierez horného priehradového stuženia



Obrázok 46: Priebeh normálovej sily N v strednom hornom priehradovom stužení podľa analýzy II. rádu



Obrázok 47: Priebeh posúvajúcej sily V_z v strednom hornom priehradovom stužení podľa analýzy II. rádu

$f_y =$	355 MPa
$E =$	210000 MPa
$\gamma_{M1} =$	1,1
$L =$	12,364 m
$\beta =$	0,98
$L_{cr} =$	12,1167 m
$A =$	1,18E-02 m ²
$I_y =$	1,43E-04 m ⁴
$N_{cr} = \left(\frac{\pi}{L_{cr}} \right)^2 \cdot E \cdot I_y =$	2021,58 kN
$\lambda = \sqrt{(A \cdot f_y) / N_{cr}} =$	1,439
krivka vzpernej pevnosti c	
$\alpha =$	0,49
$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) \cdot \lambda^2] =$	1,840
$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} =$	0,335
$N_{Ed} =$	647,92 kN
$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} =$	1275,60 kN
$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$	

Jednotkový posudok	0,508 ≤ 1,0
Využitie	50,8 %

=> VYHOVUJE

Šmyk

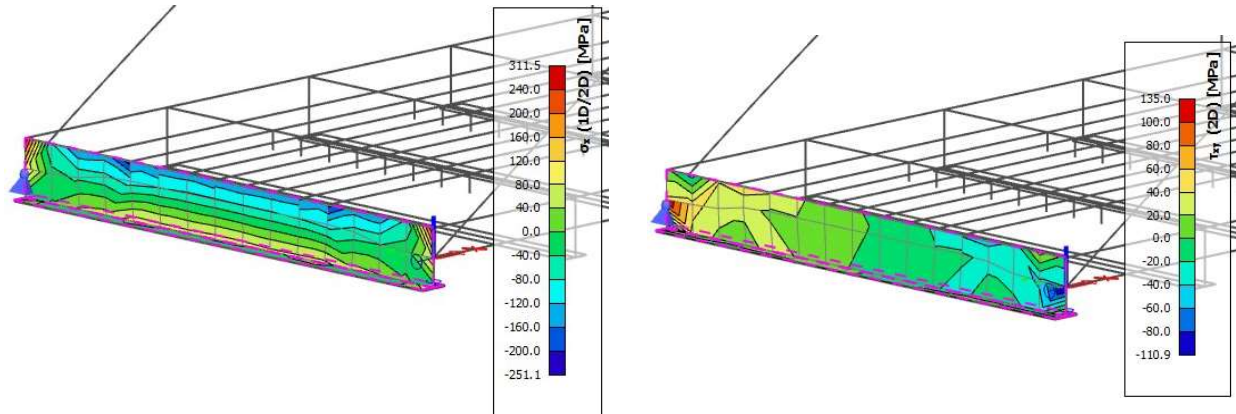
$A_v =$	7,51E-03 m ²
$V_{Ed} =$	6,7 kN
$V_{c,Rd} = (A_v \cdot f_y) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) =$	1539,7 kN
$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$	

Jednotkový posudok	0,004 ≤ 1,0
Využitie	0,4 %

=> VYHOVUJE

10.1.7 Krajný priečník

Výpočet premenného zaťaženia od dopravy viz. *B.1 – Návrh, posouzení a multikriteriálne hodnotení variant*. Keďže priečník bol modelovaný ako doskostenový plošný prvok, posúdenie bolo prevedené na základe odčítaných napätí z programu SCIA ENGINEER 19.1.4034.



Obrázok 48: Normálové a šmykové napätie v krajnom priečníku podľa analýzy II. rádu

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

$$\sigma_{x,Ed} = 311,50 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{x,Ed}^2} \cdot \frac{\gamma_{M0}}{f_y} \leq 1,0$$

Jednotkový posudok	0,877 ≤ 1,0
Využitie	87,7 %

=> VYHOVUJE

$$\tau_{Ed} = 135,00 \text{ MPa}$$

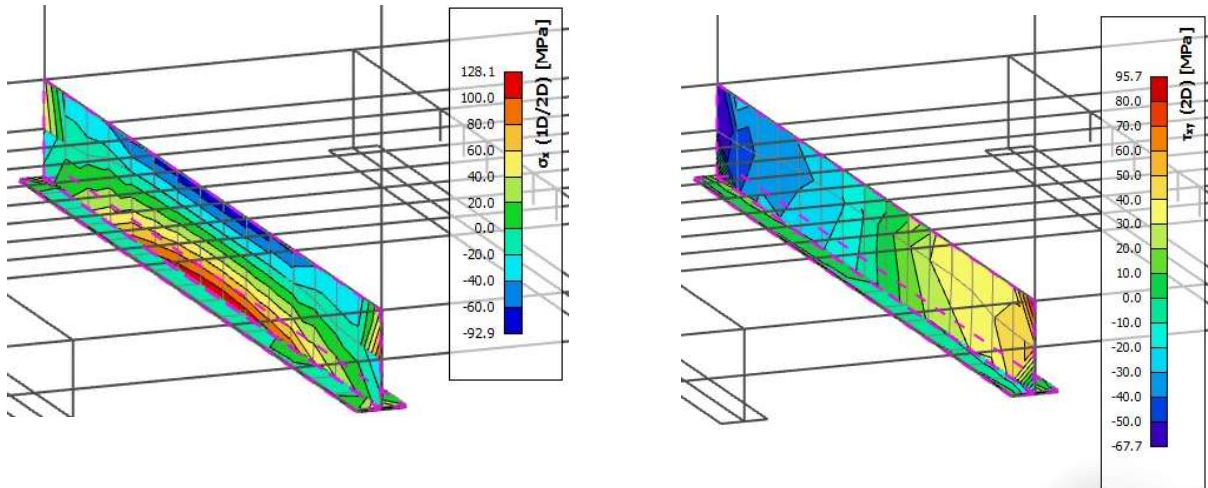
$$\sqrt{3 \cdot \tau_{Ed}^2} \cdot \frac{\gamma_{M0}}{f_y} \leq 1,0$$

Jednotkový posudok	0,659 ≤ 1,0
Využitie	65,9 %

=> VYHOVUJE

10.1.8 Priechnik v poli

Výpočet premenného zaťaženia od dopravy viz. B.1 – *Návrh, posouzení a multikriteriálne hodnotení variant*. Keďže priechnik bol modelovaný ako doskostenový plošný prvok, posúdenie bolo prevedené na základe odčítaných napätí z programu SCIA ENGINEER 19.1.4034.



Obrázok 49: Normálové a šmykové napätie v priechniku v poli podľa analýzy II. rádu

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

$$\sigma_{x,Ed} = 128,10 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{x,Ed}^2} \cdot \frac{\gamma_{M0}}{f_y} \leq 1,0$$

Jednotkový posudok	0,361 ≤ 1,0
Využitie	36,1 %

=> VYHOVUJE

$$\tau_{Ed} = 95,70 \text{ MPa}$$

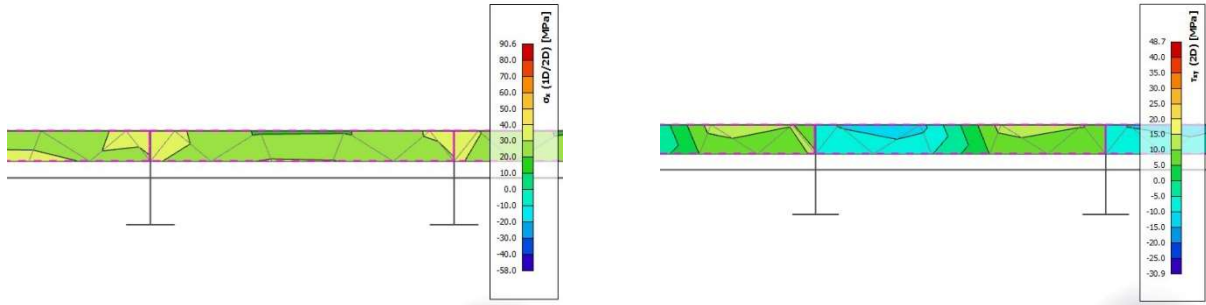
$$\sqrt{3 \cdot \tau_{Ed}^2} \cdot \frac{\gamma_{M0}}{f_y} \leq 1,0$$

Jednotkový posudok	0,467 ≤ 1,0
Využitie	46,7 %

=> VYHOVUJE

10.1.9 Pozdĺžna výstuha 1

Výpočet premenného zaťaženia od dopravy viz. B.1 – *Návrh, posouzení a multikriteriálne hodnotení variant*. Keďže pozdĺžna výstuha bola modelovaná ako stenový plošný prvok, posúdenie bolo prevedené na základe odčítaných napätí z programu SCIA ENGINEER 19.1.4034.



Obrázok 50: Normálové a šmykové napätie v pozdĺžnej výstuhe 1 podľa analýzy II. rádu

$$\begin{aligned} f_y &= 355 \text{ MPa} \\ \gamma_{M0} &= 1,0 \\ \sigma_{x,Ed} &= 90,60 \text{ MPa} \\ \tau_{Ed} &= 48,70 \text{ MPa} \end{aligned}$$

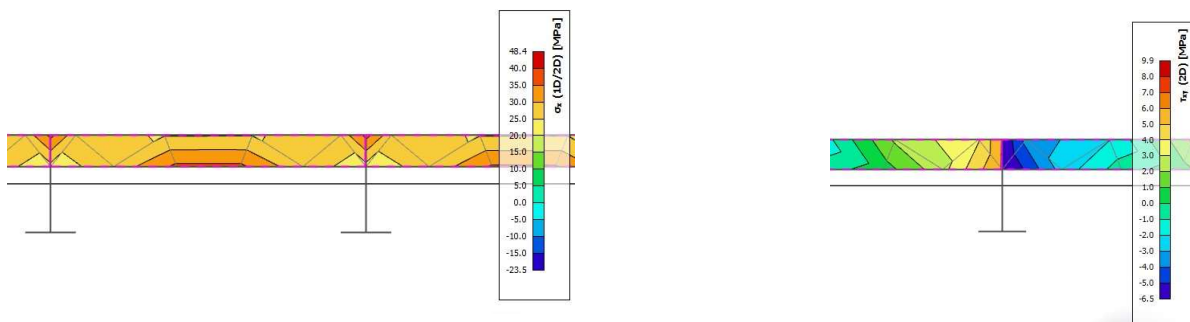
$$\sqrt{\sigma_{x,Ed,i}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed,i}^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Posudok	123,788 ≤ 355,0
Využitie	34,9 %

=> VYHOVUJE

10.1.10 Pozdĺžna výstuha 4

Výpočet premenného zaťaženia od dopravy viz. B.1 – *Návrh, posouzení a multikriteriálne hodnotení variant*. Keďže pozdĺžna výstuha bola modelovaná ako stenový plošný prvok, posúdenie bolo prevedené na základe odčítaných napätí z programu SCIA ENGINEER 19.1.4034.



Obrázok 51: Normálové a šmykové napätie v pozdĺžnej výstuhe 4 podľa analýzy II. rádu

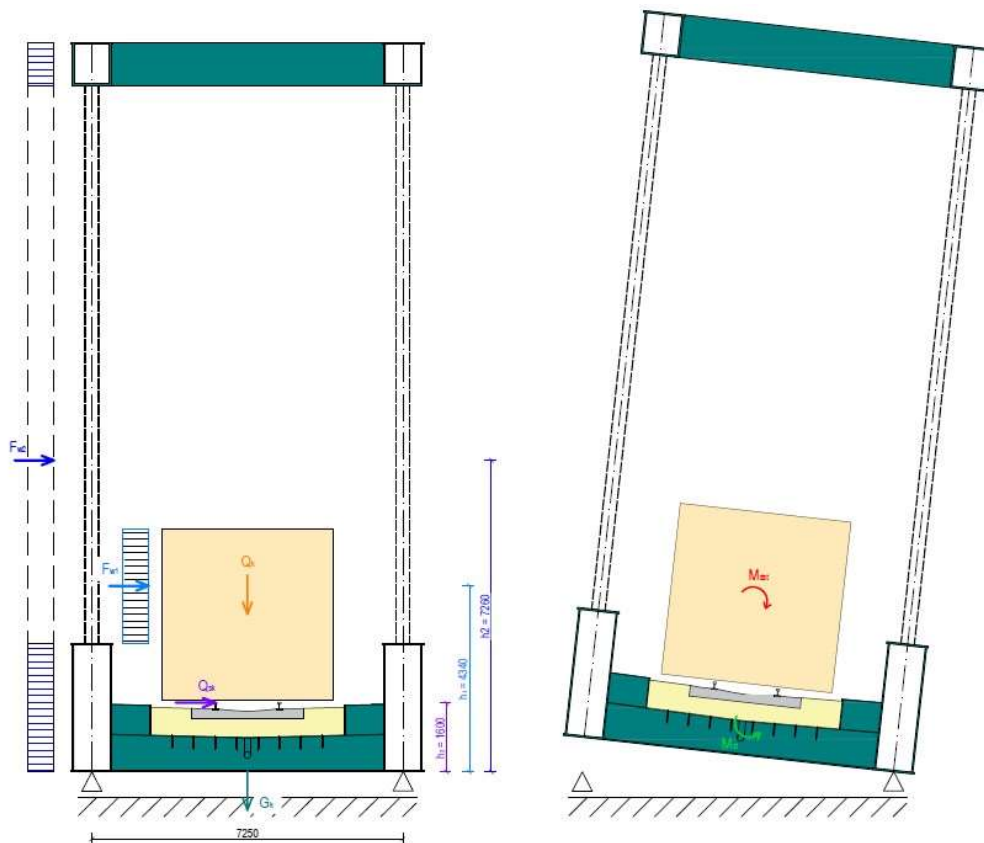
$$\begin{aligned} f_y &= 355 \text{ MPa} \\ \gamma_{M0} &= 1,0 \\ \sigma_{x,Ed} &= 48,40 \text{ MPa} \\ \tau_{Ed} &= 9,90 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sqrt{\sigma_{x,Ed,i}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed,i}^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Posudok	51,348 ≤ 355,0
Využitie	14,5 %

=> VYHOVUJE

10.2 MSÚ – EQU (preklopenie mostu)



Obrázok 52: Preklopenie mostu

DESTABILIZUJÚCE ÚČINKY

Vietor na nezaťažený vlak

$$F_{w1,k} = 267,4 \text{ kN}$$

$$h_1 = 4,34 \text{ m}$$

Vietor na most

$$F_{w2,k} = 232,1 \text{ kN}$$

$$h_2 = 7,26 \text{ m}$$

Bočné rázy

$$Q_{sk} = 121,0 \text{ kN}$$

$$h_3 = 1,6 \text{ m}$$

$$K_1: M_{dst} = \gamma_Q \cdot (F_{w1,k} \cdot h_1 + F_{w2,k} \cdot h_2) + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot Q_{sk} \cdot h_3$$

$$K_2: M_{dst} = \gamma_Q \cdot Q_{sk} \cdot h_3 + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot (F_{w1,k} \cdot h_1 + F_{w2,k} \cdot h_2)$$

$$\gamma_G = 0,95$$

$$\gamma_Q = \begin{cases} 1,50 & \text{pre vietor} \end{cases}$$

$$\gamma_Q = \begin{cases} 1,45 & \text{pre bočné rázy} \end{cases}$$

$$\psi_0 = \begin{cases} 1,00 & \text{pre bočné rázy} \end{cases}$$

$$\psi_0 = \begin{cases} 0,75 & \text{pre vietor} \end{cases}$$

$$K_1: M_{dst} = 4\,549,1 \text{ kNm}$$

$$K_2: M_{dst} = 3\,482,0 \text{ kNm}$$

STABILIZUJÚCE ÚČINKY

Vlastná tiaž

$$G_k = 17\,360,0 \text{ kN}$$

$$r_{Gk} = 3,625 \text{ m}$$

Nezaťažený vlak

$$q_k = 10 \text{ kN/m}$$

$$L = 100 \text{ m}$$

$$Q_k = 100,0 \text{ kN}$$

$$r_{Qk} = 3,625 \text{ m}$$

$$M_{st} = \gamma_G \cdot G_k \cdot r_{Gk} + \gamma_G \cdot Q_k \cdot r_{Qk}$$

$$M_{st} = 60\,128,0 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE

10.3 MSÚ – FAT (únava)

Ekvivalentný rozkmit napätí pre $2 \cdot 10^6$ cyklov:

$$\Delta\sigma_{E,2} = \lambda \cdot \Delta\sigma_p$$

$$\Delta\sigma_p = |\sigma_{p,max} - \sigma_{p,min}|$$

$$\sigma_{p,min} = 0 \text{ MPa}$$

$$\lambda_1 = 0,6$$

dľa tab. 9.3 ČSN EN 1993-2 - rozpätie 100 m

$$\lambda_2 = 1,00$$

dľa tab. 9.5 ČSN EN 1993-2 - $25 \cdot 10^6$ t/koľaj za rok

$$\lambda_3 = 1,00$$

dľa tab. 9.6 ČSN EN 1993-2 - živ. 100 rokov

$$\lambda_4 = 1,00$$

dľa tab. 9.7 ČSN EN 1993-2 - jednokoľajná trať

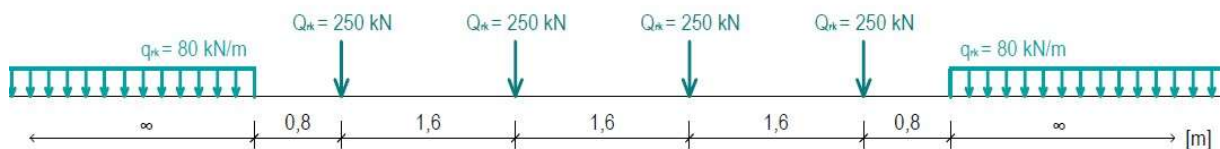
$$\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 0,6 \leq \lambda_{max} = 1,40$$

$$\text{Súčiniteľ únavového zaťaženia } \gamma_{Ff} = 1,00$$

$$\text{Súčiniteľ únavovej pevnosti } \gamma_{Mf} = 1,35$$

Únavové zaťaženie:

Model zaťaženia LM71 je zadaný v najnepriaznivejších polohách. Zaťaženie je na konštrukciu zadané s excentricitou $e = 83$ mm od osi koľaje a násobené dynamickým súčiniteľom Φ_2 .



Obrázok 53: Usporiadanie modelu zaťaženia LM71 dľa ČSN EN 1991-2

$$q_{rk} = 80 \text{ kN/m}$$

$$Q_{rk} = 250 \text{ kN}$$

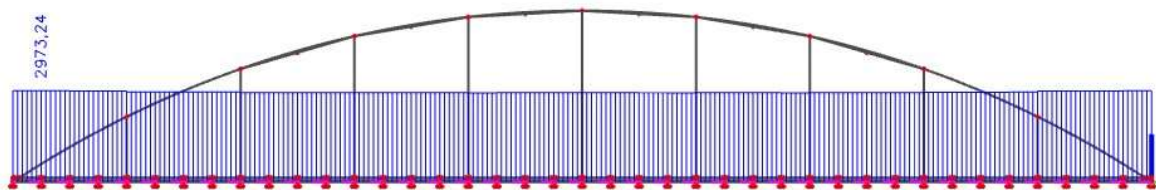
Roznos zaťaženia pod pražcom:

Zaťaženie je roznášané v sklone 4:1 na zaťažovacej šírke $b_r = 2,765$ m s uvážením excentricity $e = 83$ mm od osi koľaje (viz. obr. 9). Osamelé bremená $Q_{rk} = 250$ kN sú prerátané na spojité zaťaženie $q_{rk} = 156$ kN/m.

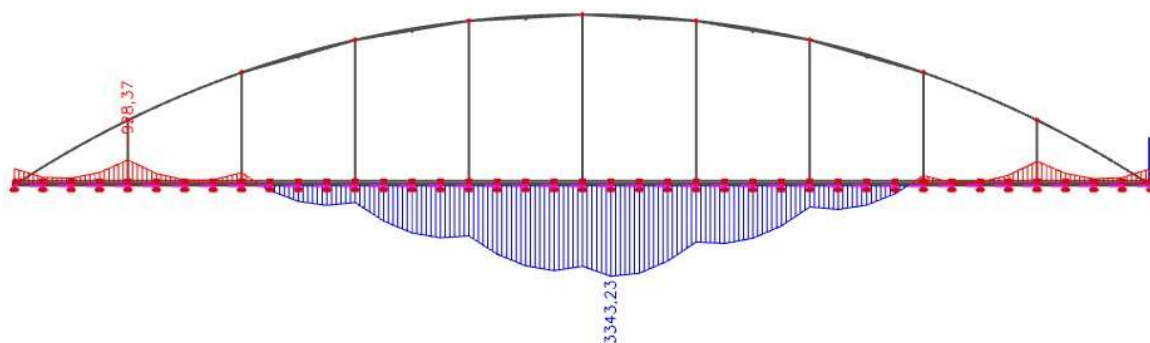
$$\Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\theta} - 0,2} + 0,82$$

Prvok	Φ_2	q_i [kN]	$q_{uic,1}$ [kN/m]	$q_{uic,2}$ [kN/m]
hlavná nosná konštrukcia	1,0	156,25	53,33	60,10
	1,0	80	27,30	30,77
krajný priečnik	1,67	260,94	89,06	100,36
	1,67	133,60	45,60	51,38
pozdĺžna výstuha 1	1,39	217,19	74,13	83,53
	1,39	111,20	37,95	42,77

10.3.1 Pripojenie diafragmaty v tráme

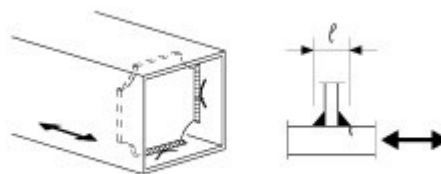


Obrázok 54: Pribeh normálovej sily N v tráme pre MSÚ FAT



Obrázok 55: Pribeh momentu M_y v tráme pre MSÚ FAT

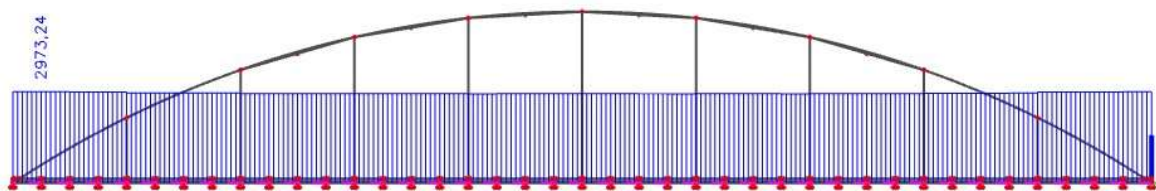
$A =$	2,55E-01 m ²
$W_y =$	2,00E-01 m ³
$N =$	2973,2 kN
$M_y =$	3343,2 kNm
$\sigma_{p,max} = N/A + M_y/W_y =$	28,38 MPa
$\Delta\sigma_{E,2} =$	17,03 MPa
Kategória detailu:	71 dľa tab. 8.4 ČSN EN 1993-2
$k_s =$	0,91
$\Delta\sigma_c =$	64,63 MPa



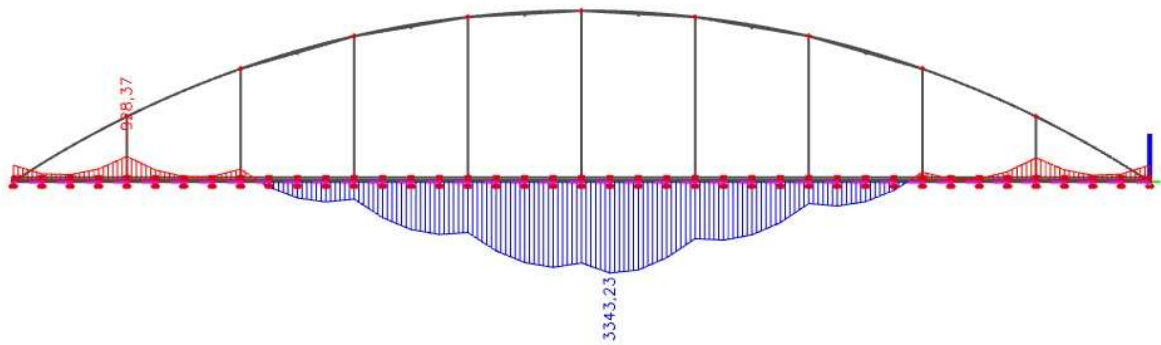
Obrázok 56: Kategória detailu 71

$$\frac{\gamma_{FF} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}} = 0,356 \leq 1,0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

10.3.2 Pripojenie priečnika k trámu

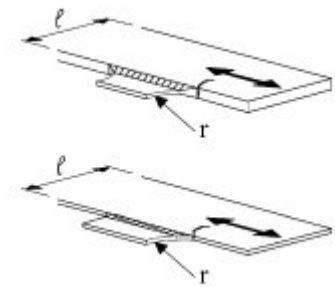


Obrázok 57: Pribeh normálovej sily N v tráme pre MSÚ FAT



Obrázok 58: Priebeh momentu M_y v tráme pre MSÚ FAT

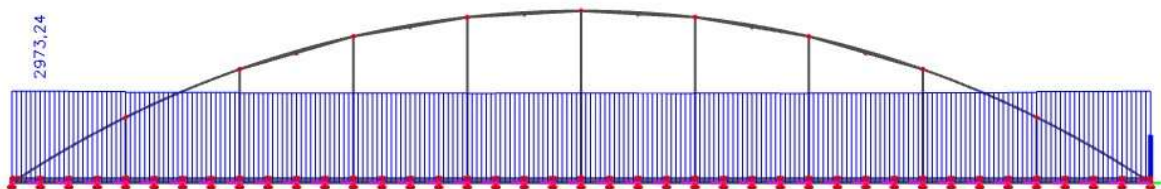
$A =$	2,55E-01 m ²
$W_y =$	2,00E-01 m ³
$N =$	2973,2 kN
$M_y =$	3343,2 kNm
$\sigma_{p,max} = N/A + M_y/W_y =$	28,38 MPa
$\Delta\sigma_{E,2} =$	17,03 MPa
Kategória detailu:	90 dľa tab. 8.4 ČSN EN 1993-2
$k_s =$	0,91
$\Delta\sigma_c =$	81,93 MPa



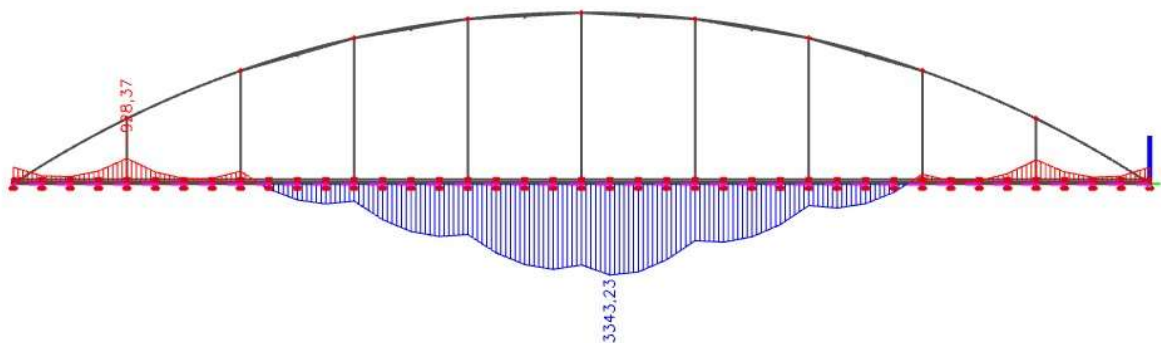
Obrázok 59: Kategória detailu 90

$$\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}} = 0,281 \leq 1,0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

10.3.3 Zvarovaný spoj trámu

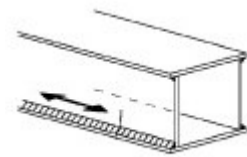


Obrázok 60: Priebeh normálovej sily N v tráme pre MSÚ FAT



Obrázok 61: Priebeh momentu M_y v tráme pre MSÚ FAT

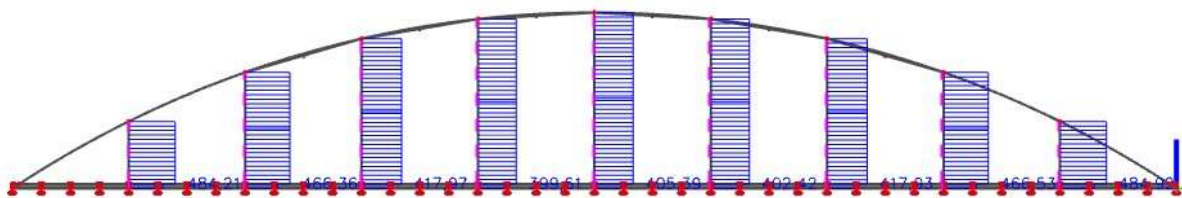
$$\begin{aligned} A &= 2,55E-01 \text{ m}^2 \\ W_y &= 2,00E-01 \text{ m}^3 \\ N &= 2973,2 \text{ kN} \\ M_y &= 3343,2 \text{ kNm} \\ \sigma_{p,\max} &= N/A + M_y/W_y = 28,38 \text{ MPa} \\ \Delta\sigma_{E,2} &= 17,03 \text{ MPa} \\ \text{Kategória detailu:} & 100 \quad \text{dľa tab. 8.2 ČSN EN 1993-2} \\ k_s &= 0,91 \\ \Delta\sigma_c &= 91,03 \text{ MPa} \end{aligned}$$



Obrázok 62: Kategória detailu 100

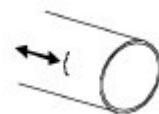
$$\frac{\gamma_{FF} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}} = 0,253 \leq 1,0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

10.3.4 Tiahlo



Obrázok 63: Priebeh normálovej sily N v tiahle pre MSÚ FAT

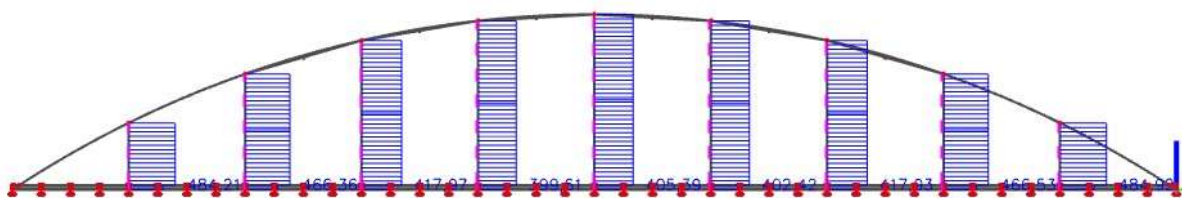
$$\begin{aligned} A &= 9,84E-03 \text{ m}^2 \\ N &= 484,9 \text{ kN} \\ \sigma_{p,\max} &= N/A = 49,28 \text{ MPa} \\ \Delta\sigma_{E,2} &= 29,57 \text{ MPa} \\ \text{Kategória detailu:} & 160 \quad \text{dľa tab. 8.1 ČSN EN 1993-2} \\ \Delta\sigma_c &= 160,00 \text{ MPa} \end{aligned}$$



Obrázok 64: Kategória detailu 160

$$\frac{\gamma_{FF} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}} = 0,249 \leq 1,0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

10.3.5 Pripojenie tiahla k trámu



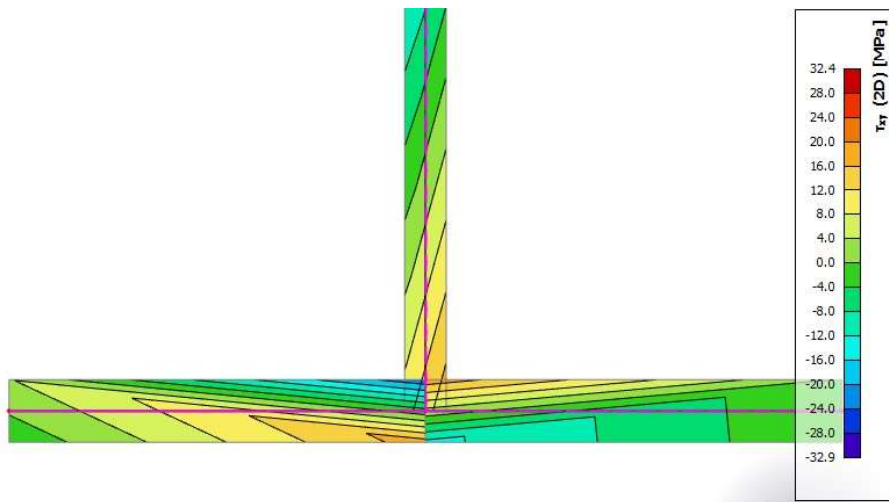
Obrázok 65: Priebeh normálovej sily N v tiahle pre MSÚ FAT

$$\begin{aligned}
 A &= 9,84E-03 \text{ m}^2 \\
 N &= 484,9 \text{ kN} \\
 \sigma_{p,max} &= N/A = 49,28 \text{ MPa} \\
 \Delta\sigma_{E,2} &= 29,57 \text{ MPa} \\
 \text{Kategorie detailu:} & 71 \quad \text{dřa tab. 8.6 ČSN EN 1993-2} \\
 \Delta\sigma_c &= 71,00 \text{ MPa} \\
 \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}} &= 0,562 \leq 1,0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}
 \end{aligned}$$



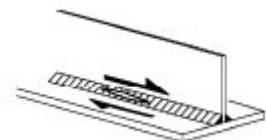
Obrázok 66: Kategória detailu 71

10.3.6 Krčný zvar krajného priečnika – dolná pásnica



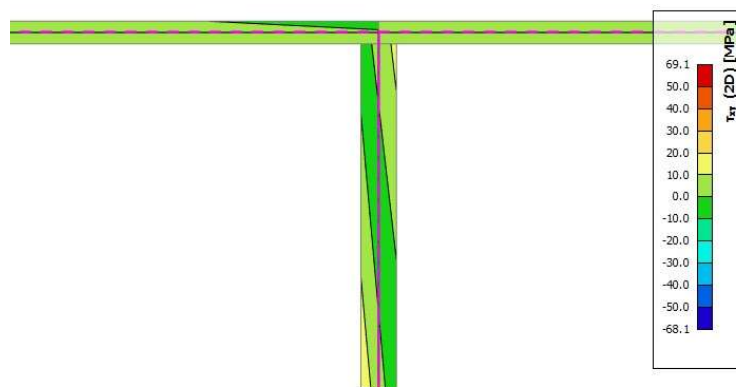
Obrázok 67: Rozkmit šmykových napätí v krajnom priečniku

$$\begin{aligned}
 \tau_{p,max} &= 24,00 \text{ MPa} \\
 \Delta\tau_{E,2} &= 14,40 \text{ MPa} \\
 \text{Kategorie detailu:} & 80 \quad \text{dřa tab. 8.6 ČSN EN 1993-2} \\
 k_s &= 0,91 \\
 \Delta\tau_c &= 72,82 \text{ MPa} \\
 \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E,2}}{\frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Mf}}} &= 0,267 \leq 1,0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}
 \end{aligned}$$



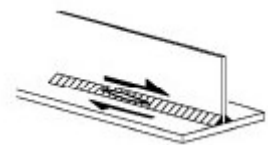
Obrázok 68: Kategória detailu 80

10.3.7 Krčný zvar pozdlžnej výstuhy



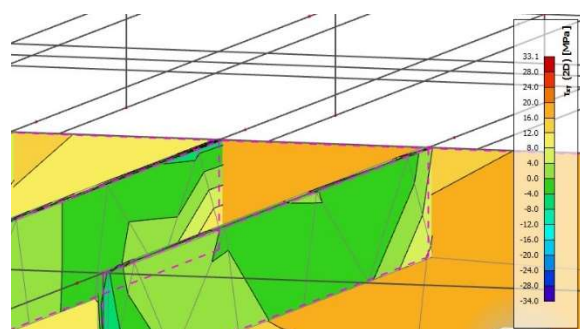
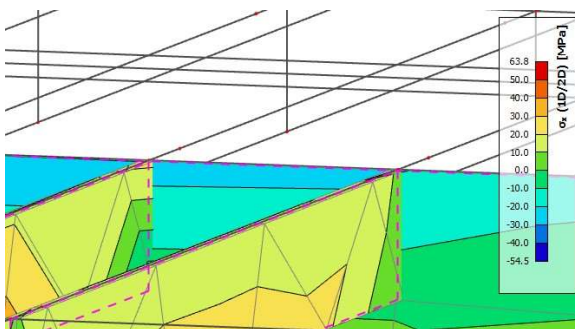
Obrázok 69: Rozkmit šmykových napätí v pozdlžnej výstuhe

$\tau_{p,max} =$	20,00 MPa	
$\Delta\tau_{E,2} =$	12,00 MPa	
Kategória detailu:	80	dľa tab. 8.6 ČSN EN 1993-2
$\Delta\tau_c =$	80,00 MPa	
$\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E,2}}{\frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Mf}}} =$	0,203	$\leq 1,0 \Rightarrow$ VYHOVUJE



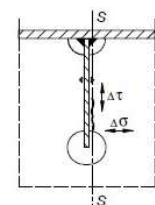
Obrázok 69: Kategória detailu 80

10.3.8 Spoj pozdlžnej výstuhy s priečnikom



Obrázok 71: Rozkmit normálových a šmykových napätí v pozdlžnej výstuhe

$\sigma_{p,max} =$	40,00 MPa
$\tau_{p,max} =$	20,00 MPa
$\Delta\sigma_{E,2} =$	24,00 MPa
$\Delta\tau_{E,2} =$	12,00 MPa
$\Delta\sigma_{E,q} = \frac{1}{2} \cdot \left(\Delta\sigma_{E,2} + \sqrt{\Delta\sigma_{E,2}^2 + 4 \cdot \Delta\tau_{E,2}^2} \right) =$	28,97 MPa



Obrázok 71: Kategória detailu 56

Kategória detailu:	56	dľa tab. 8.9 ČSN EN 1993-2
$\Delta\sigma_c =$	56,00 MPa	
$\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,q}}{\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}} =$	0,698	$\leq 1,0 \Rightarrow$ VYHOVUJE

11. POSÚDENIE NA MEDZNÝ STAV POUŽITEĽNOSTI

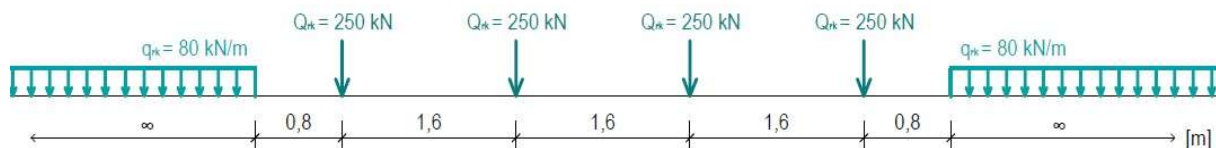
11.1 Zvislý prieťah nosnej konštrukcie mostu

Klasifikované charakteristické zvislé zaťaženie

Model zaťaženia LM71 (viz. kap. 6.2.1) – charakteristické hodnoty zaťaženia násobené hodnotou súčiniteľa klasifikovaného zvislého zaťaženia $\alpha = 1,21$.

$$q_{LM71} = 90,6 \text{ kN/m}$$

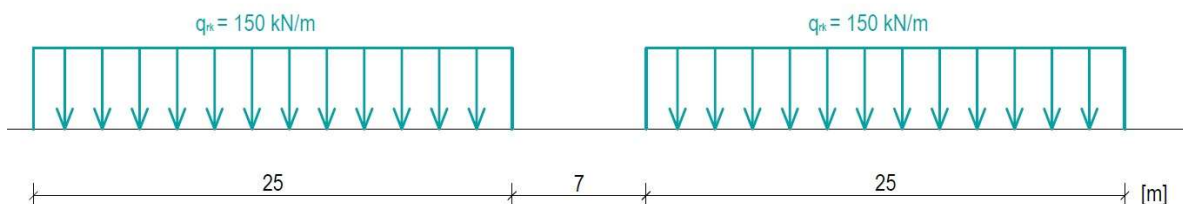
$$Q_{LM71} = 302,5 \text{ kN}$$



Obrázok 72: Usporiadanie modelu zaťaženia LM71 dľa ČSN EN 1991-2

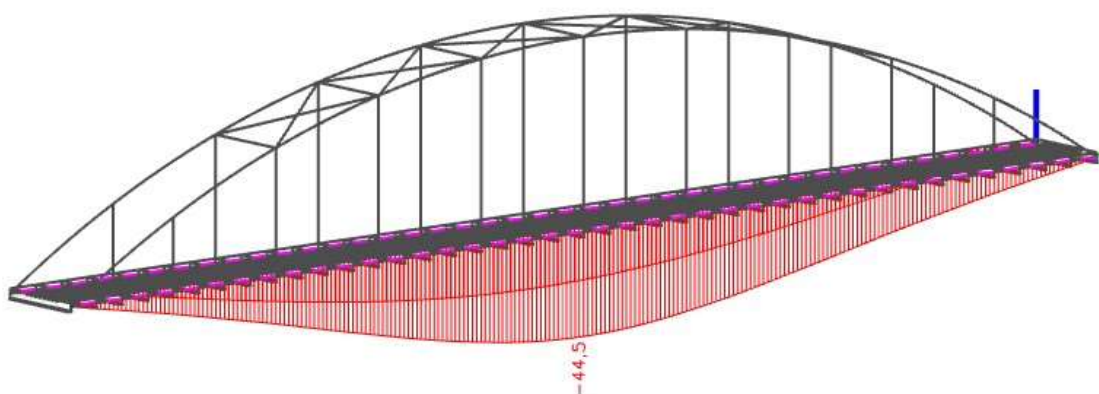
Model zaťaženia SW/2 (viz. kap. 6.2.1).

$$q_{SW/2} = 150 \text{ kN/m}$$



Obrázok 73: Usporiadanie modelu zaťaženia SW/2 dľa ČSN EN 1991-2

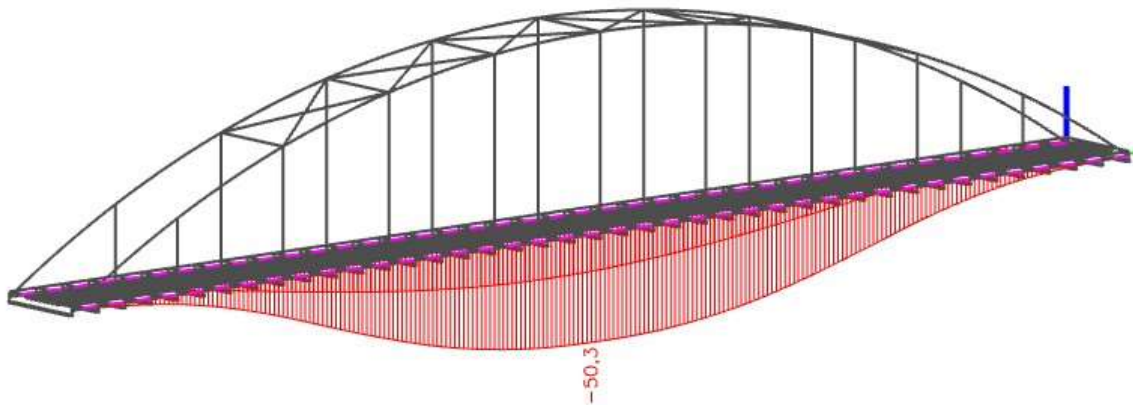
Posúdenie



Obrázok 74: Maximálny prieťah u_z od zvislého zaťaženia dopravou - model zaťaženia LM71

$$u_{z,LM71} = 45 \text{ mm} \leq u_{lim} = L/600 = 100\,000/1\,66,67 \text{ mm}$$

VYHOVUJE



Obrázok 75: Maximálny priehyb u_z od zvislého zaťaženia dopravou - model zaťaženia SW/2

$$u_{z,SW/2} = 50 \text{ mm} \leq u_{\text{lim}} = L/600 = 100\,000/166,67 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

Výrobné nadvýšenie

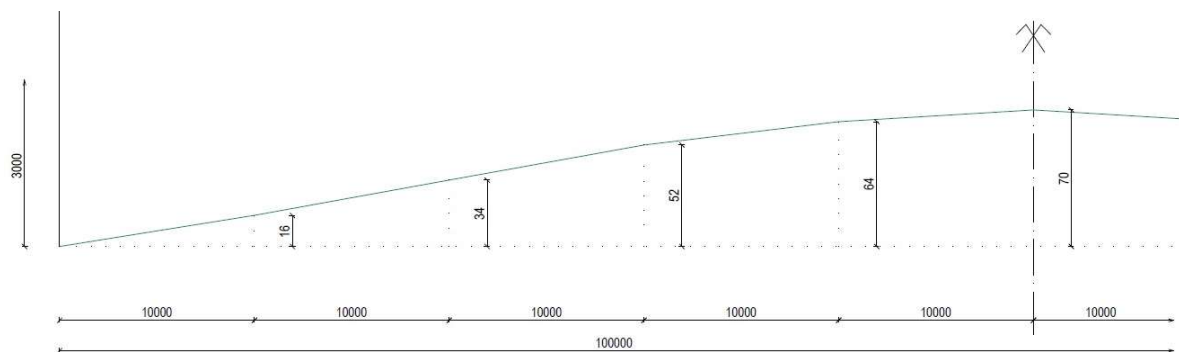
$L \geq 20 \text{ m} \Rightarrow$ navrhujem výrobné nadvýšenie

$$w_g = 55,7 \text{ mm}$$

$$w_q = 50,3 \text{ mm}$$

Výrobné nadvýšenie v strede rozpätia:

$$w_c = w_g + (w_q / 4) = 68,3 \text{ mm} \Rightarrow \text{navrhujem výrobné nadvýšenie } w_c = 70 \text{ mm}$$



Obrázok 76: Navrhnuté nadvýšenie mostu

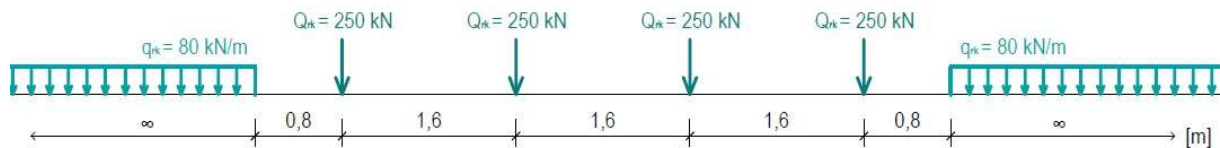
11.2 Zvislé zrychlenie vagónu z hľadiska pohody cestujúcich

Klasifikované charakteristické zvislé zaťaženie

Model zaťaženia LM71 (viz. kap. 6.2.1) – charakteristické hodnoty zaťaženia násobené hodnotou dynamického súčiniteľa $\Phi_3 = 1,05$.

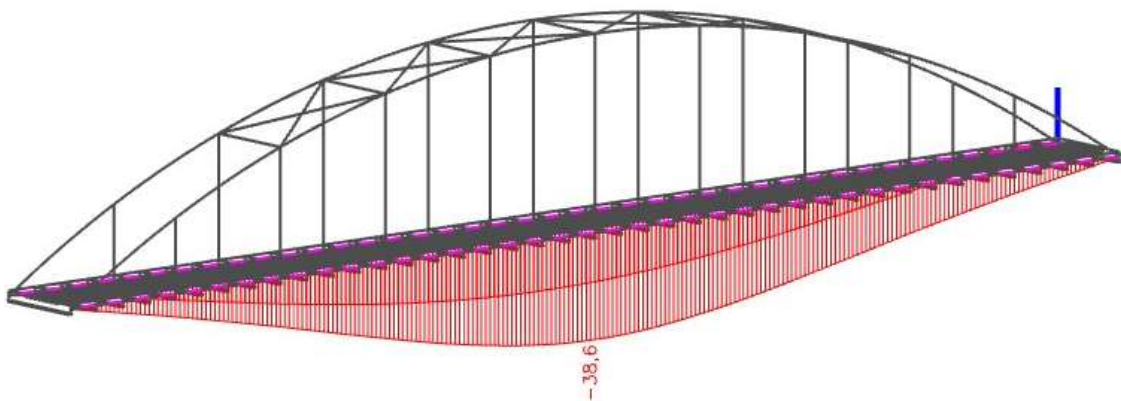
$$q_{LM71} = 84,0 \text{ kN/m}$$

$$Q_{LM71} = 262,5 \text{ kN}$$

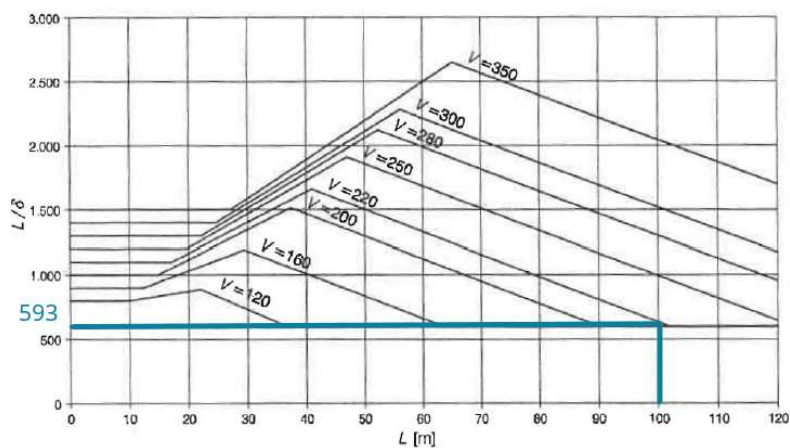


Obrázok 77: Usporiadanie modelu zaťaženia LM71 dľa ČSN EN 1991-2

Posúdenie



Obrázok 78: Zvislý priebeh δ od zvislého zaťaženia dopravou - model zaťaženia LM71



Obrázok 79: Graf L/δ

$$\begin{aligned} L &= 100 \text{ m} \\ L/\delta &= 593 \\ \delta &= 38,6 \text{ mm} \leq \delta_{\text{lim}} = L / [(L/\delta) \cdot 0,7] = 240,91 \text{ mm} \end{aligned}$$

VYHOVUJE

12. MODÁLNÁ ANALÝZA KONŠTRUKCE

Modální analýza bola prevedená v programe SCIA ENGINEER 20.0.3019 od spoločnosti Nemetschek. Konštrukcia bola modelovaná rovnako, ako v programe SCIA ENGINEER 19.1.4034. Pre účely modálnej analýzy boli modely zaťažené len vlastnou tiažou konštrukcie a ostatným stálym zaťažením, z ktorých boli následne vygenerované hmoty. Pomocou programu bola prevedená analýza vlastných tvarov konštrukcie (10 tvarov). Prvá vlastná frekvencia kmitania bola následne použitá pre rozhodnutie, či bude nutné previesť dynamickú analýzu mostu.

Vlastné frekvencie konštrukcie sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

VLASTNÝ TVAR	f [Hz]
1	1,07
2	1,58
3	1,75
4	2,01
5	2,33
6	2,52
7	2,57
8	2,58
9	2,58
10	2,58

$$L = 100 \text{ m}$$

Hranice:

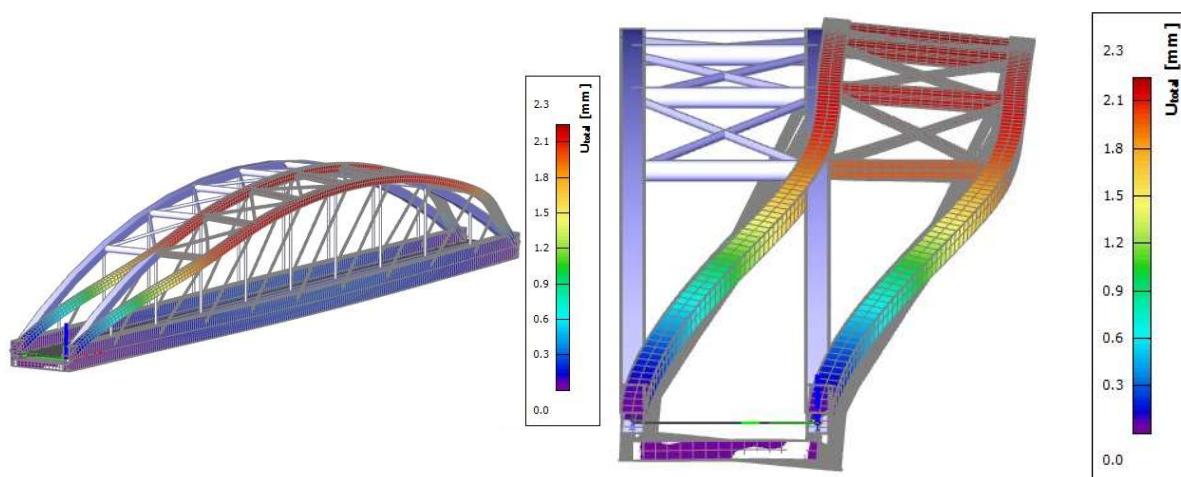
$$1. = 94,76 \cdot L^{-0,748} = 3,024 \text{ Hz}$$

$$2. = 23,58 \cdot L^{-0,592} = 1,544 \text{ Hz}$$

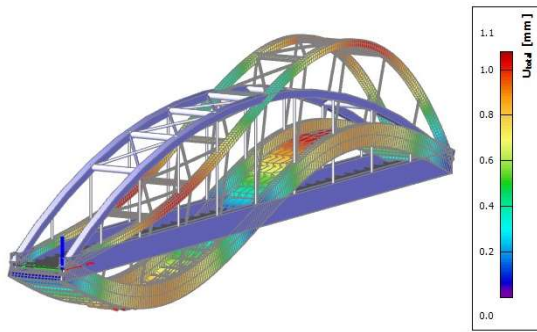
$$1. = 1,544 \text{ Hz} > \mathbf{1,07 \text{ Hz}} < 2. = 3,024 \text{ Hz}$$

Je nutná dynamická analýza

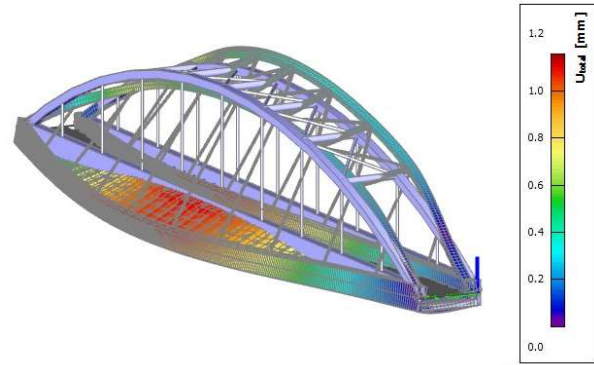
Dynamická analýza sa v rámci diplomovej práce neprevádzala.



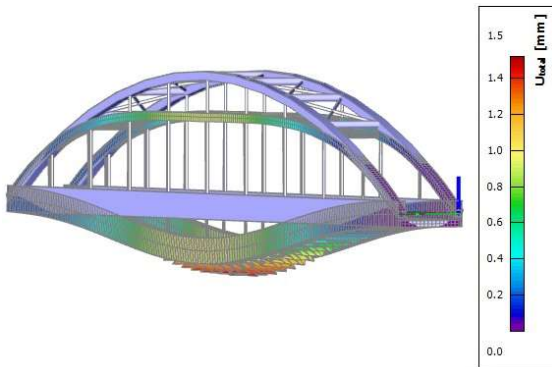
Obrázok 80: Prvý vlastný tvar



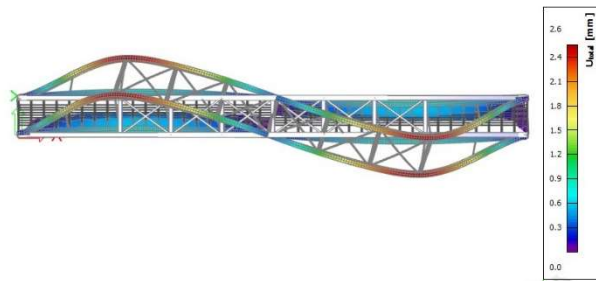
Obrázok 81: Druhý vlastný tvar



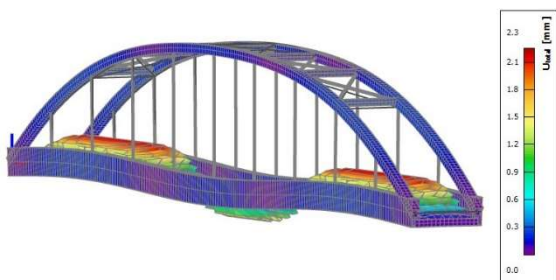
Obrázok 82: Tretí vlastný tvar



Obrázok 83: Štvrtý vlastný tvar



Obrázok 84: Piaty vlastný tvar



Obrázok 85: Šiesty vlastný tvar



Obrázok 86: Siedmy vlastný tvar

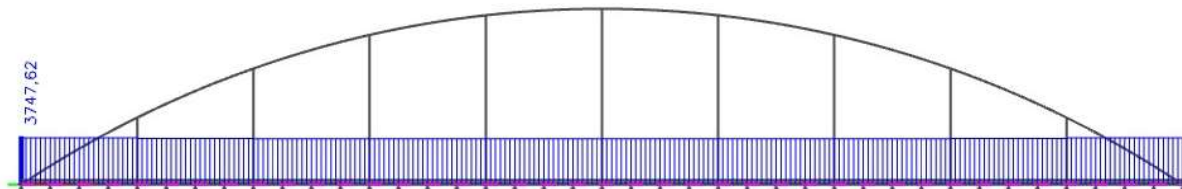
13. ZAŘAŽITELNOST MOSTU

13.1 Výpočet zařažitelnosti pre MSÚ – STR

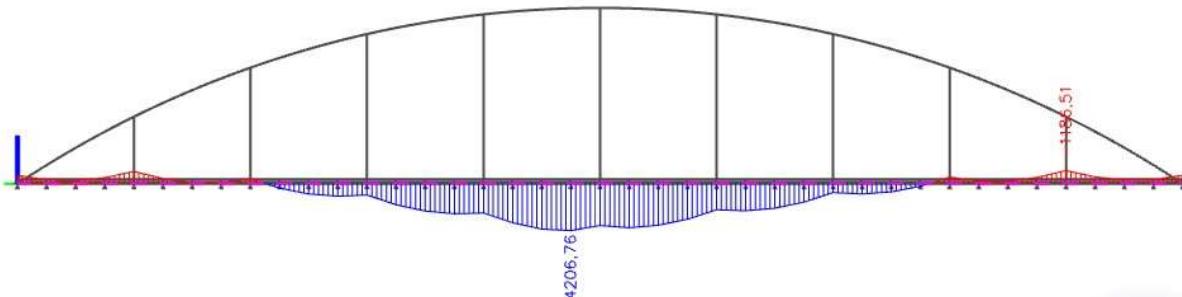
Výpočet zařažitelnosti bol prevedený pre prierezy nosnej konštrukcie s najväčším využitím.

13.1.1 Trám

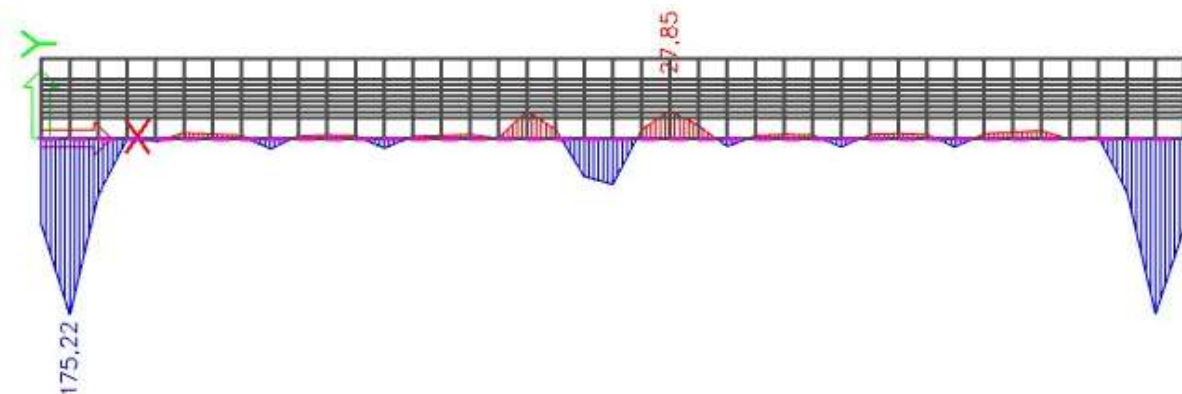
Prierez v poli



Obrázok 89: Pribeh normálovej sily N v tráme od zaťaženia dopravou - model zaťaženia LM71

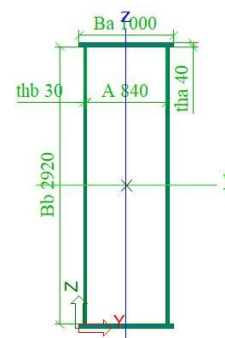


Obrázok 90: Pribeh momentu M_y v tráme od zaťaženia dopravou - model zaťaženia LM71



Obrázok 91: Pribeh momentu M_z v tráme od zaťaženia dopravou - model zaťaženia LM71

$A =$	2,55E-01 m ²
$W_{el,y} =$	2,00E-01 m ³
$W_{el,z} =$	7,97E-02
$N_{Ed} =$	13083,0 kN
$M_{Edy} =$	11384,4 kNm
$M_{Edz} =$	107,7 kNm
$N_{Ed,LM71} =$	3747,6 kN
$M_{Ed,y,LM71} =$	4206,8 kNm
$M_{Ed,z,LM71} =$	27,9 kNm



Obrázok 92: Prierez trámu

$$N_{rs,Ed} = N_{Ed} - N_{Ed,LM71} =$$

$$M_{rs,y,Ed} = M_{Ed,y} - M_{Ed,y,LM71} =$$

$$M_{rs,z,Ed} = M_{Ed,z} - M_{Ed,z,LM71} =$$

$$R_d = f_y =$$

$$\sigma_{rs,Ed} = \frac{N_{rs,Ed}}{A} + \frac{M_{rs,y,Ed}}{W_{el,y}} + \frac{M_{rs,z,Ed}}{W_{el,z}} =$$

$$\sigma_{LM71,Ed} = \frac{N_{Ed,LM71}}{A} + \frac{M_{Ed,y,LM71}}{W_{el,y}} + \frac{M_{Ed,z,LM71}}{W_{el,z}} =$$

$$Z_{LM71} = (f_y - \sigma_{rs,Ed}) / \sigma_{LM71,Ed} =$$

$$9335,3 \text{ kN}$$

$$7177,7 \text{ kNm}$$

$$79,9 \text{ kNm}$$

$$355 \text{ MPa}$$

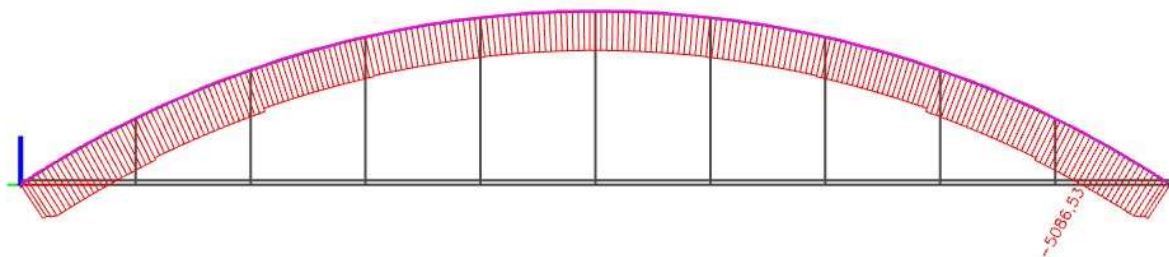
$$73,50 \text{ MPa}$$

$$33,77 \text{ MPa}$$

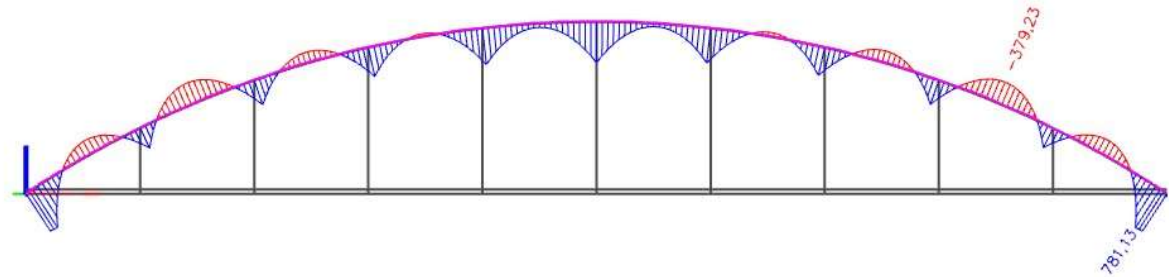
$$8,34$$

13.1.2 Oblúk

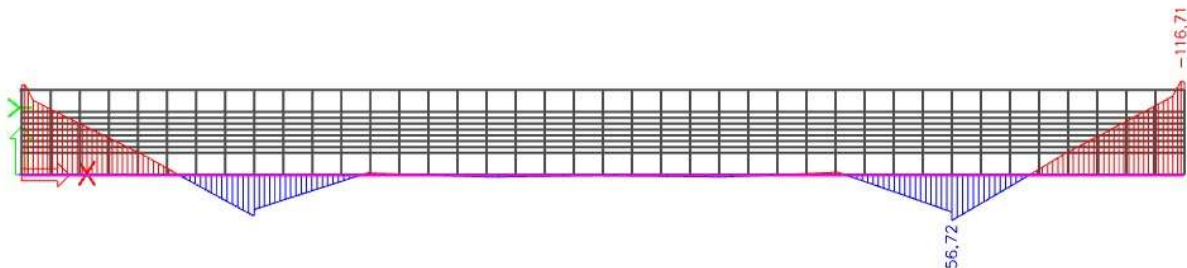
Prierez nad podporou



Obrázok 93: Priebeh normálovej sily N v oblúku od zaťaženia dopravou - model zaťaženia LM71

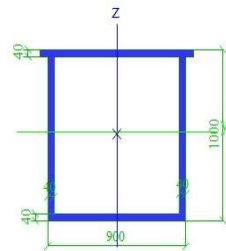


Obrázok 94: Priebeh momentu M_y v oblúku od zaťaženia dopravou - model zaťaženia LM71



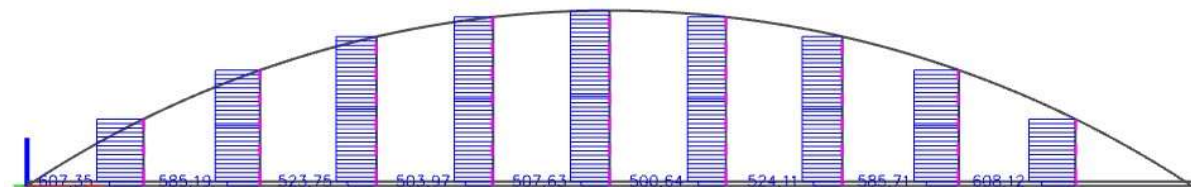
Obrázok 95: Priebeh momentu M_z v oblúku od zaťaženia dopravou - model zaťaženia LM71

$A =$	1,50E-01 m ²
$W_{y,pl} =$	5,34E-02 m ³
$W_{z,pl} =$	4,97E-02
$\chi_y =$	0,772
$\chi_{LT} =$	1,000
$k_{yy} =$	0,754
$k_{yz} =$	0,339
$N_{Ed} =$	17100,8 kN
$M_{Ed,y} =$	2530,7 kNm
$M_{Ed,z} =$	343,0 kNm
$N_{Ed,LM71} =$	5086,5 kN
$M_{Ed,y,LM71} =$	781,1 kNm
$M_{Ed,z,LM71} =$	116,7 kNm
$N_{rs,Ed} = N_{Ed} - N_{Ed,LM71} =$	12014,3 kN
$M_{rs,y,Ed} = M_{Ed,y} - M_{Ed,y,LM71} =$	1749,5 kNm
$M_{rs,z,Ed} = M_{Ed,z} - M_{Ed,z,LM71} =$	
$R_d = f_y =$	355 MPa
$\sigma_{rs,Ed} = \frac{N_{rs,Ed}}{\chi_y \cdot A} + k_{yy} \cdot \frac{M_{rs,y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{rs,z,Ed}}{W_{pl,z}} =$	129 MPa
$\sigma_{LM71,Ed} = \frac{N_{Ed,LM71}}{\chi_y \cdot A} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed,y,LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{Ed,z,LM71}}{W_{pl,z}} =$	56 MPa
$Z_{LM71} = (f_y - \sigma_{rs,Ed}) / \sigma_{LM71,Ed} =$	4,05



Obrázok 96: Prierez oblúka

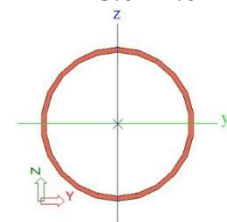
13.1.3 Tiahlo



Obrázok 97: Priebeg normálovej sily N v tiahle od zaťaženia dopravou - model zaťaženia LM71

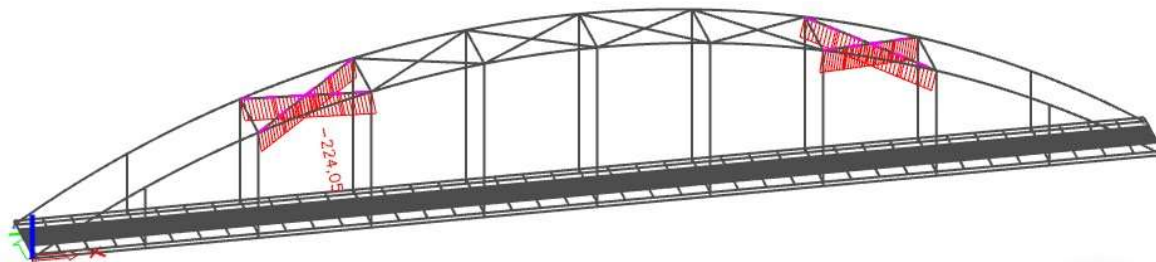
$A =$	9,84E-03 m ²
$f_y =$	355 MPa
$N_{Ed} =$	1916,69 kN
$N_{Ed,LM71} =$	608,12 kN
$N_{rs,Ed} = N_{Ed} - N_{Ed,LM71} =$	1308,57 kN
$N_{Rd} =$	3493,20 kN
$Z_{LM71} = (N_{Rd} - N_{rs,Ed}) / N_{LM71,Ed} =$	3,59

TR 273.0/12.0



Obrázok 98: Prierez tiaha

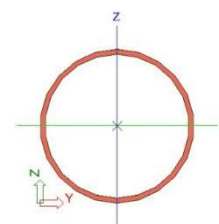
13.1.4 Krajné horné priehradové stuženie



Obrázok 99: Priebeh normálovej sily N v hornom priehradovom stužení od zaťaženia dopravou - model zaťaženia LM71

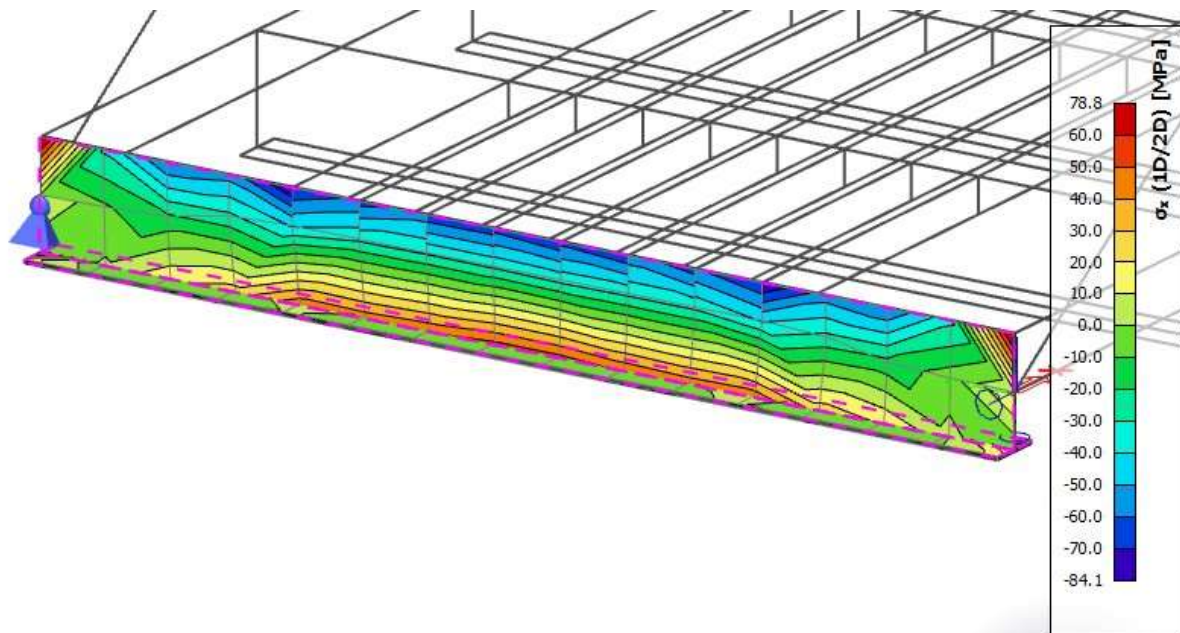
$A =$	1,18E-02 m ²
$N_{Ed} =$	767,3 kN
$N_{Ed,LM71} =$	224,1 kN
$N_{rs,Ed} = N_{Ed} - N_{Ed,LM71} =$	543,3 kN
$N_{Rd} =$	1266,72 kN
$Z_{LM71} = (N_{Rd} - N_{rs,Ed}) / N_{LM71,Ed} =$	3,23

TR 323.9/12.0



Obrázok 100:
Prierez stuženia

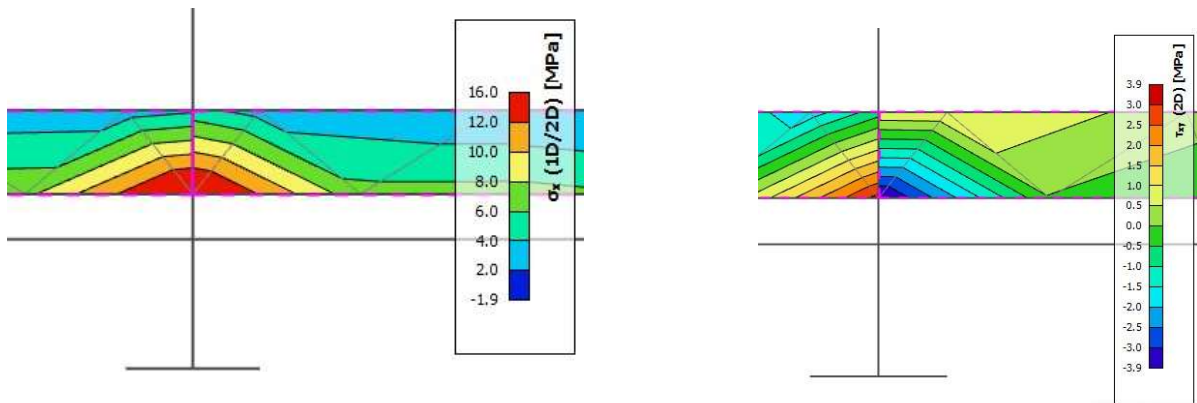
13.1.5 Krajný priečník



Obrázok 101: Priebeh normáloveho napätia v krajnom priečniku od zaťaženia dopravou - model zaťaženia LM71

$\sigma_{Ed} =$	311,50 MPa
$\sigma_{LM71,Ed} =$	78,80 MPa
$\sigma_{rs,Ed} = \sigma_{Ed} - \sigma_{LM71,Ed} =$	232,7 MPa
$\sigma_{Rd} = f_y$	355,0 MPa
$Z_{LM71} = (f_y - \sigma_{rs,Ed}) / \sigma_{LM71,Ed} =$	1,55

13.1.6 Pozdlžna výstuha 1



Obrázok 102: Pribeh normálového a šmykového napätia v krajnom priečniku od zaťaženia dopravou – model zaťaženia LM71

$\sigma_{Ed} =$	90,60 MPa
$\tau_{Ed} =$	48,70 MPa
$\sigma_{LM71,Ed} =$	16,00 MPa
$\tau_{LM71,Ed} =$	3,90 MPa
$\sigma_{rs,Ed} = \sigma_{Ed} - \sigma_{LM71,Ed} =$	74,60 MPa
$\tau_{rs,Ed} = \tau_{Ed} - \tau_{LM71,Ed} =$	44,80 MPa
$f_y =$	355 MPa

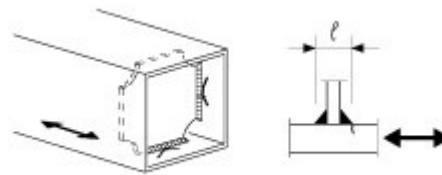
$$Z_{LM71} = \frac{f_y - \sqrt{\sigma_{rs,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{rs,Ed}^2}}{\sqrt{\sigma_{LM71,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{LM71,Ed}^2}} = 14,24$$

13.2 Výpočet zaťažiteľnosti pre MSÚ – FAT (únava)

13.2.1 Pripojenie diafragmaty v tráme

$\Delta\sigma_c =$	64,63 MPa
$\Delta\sigma_{E,2} =$	17,03 MPa
$\gamma_{Mf} =$	1,45
$\gamma_{Ff} =$	1,00

$$Z_{LM71} = \frac{\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}}{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}} = 2,62$$

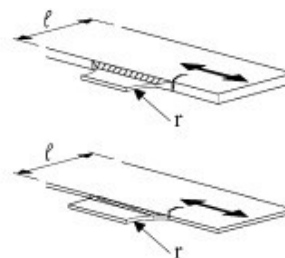


Obrázok 103: Kategória detailu 71

13.2.2 Pripojenie priečnika k trámu

$\Delta\sigma_c =$	81,93 MPa
$\Delta\sigma_{E,2} =$	17,03 MPa
$\gamma_{Mf} =$	1,45
$\gamma_{Ff} =$	1,00

$$Z_{LM71} = \frac{\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}}{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}} = 3,32$$



Obrázok 104: Kategória detailu 90

13.2.3 Zvarový spoj trámu

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_c &= 91,03 \text{ MPa} \\ \Delta\sigma_{E,2} &= 17,03 \text{ MPa} \\ \gamma_{Mf} &= 1,45 \\ \gamma_{Ff} &= 1,00\end{aligned}$$

$$Z_{LM71} = \frac{\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}}{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}} = 3,69$$

13.2.4 Tiahlo

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_c &= 160,00 \text{ MPa} \\ \Delta\sigma_{E,2} &= 29,57 \text{ MPa} \\ \gamma_{Mf} &= 1,45 \\ \gamma_{Ff} &= 1,00\end{aligned}$$

$$Z_{LM71} = \frac{\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}}{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}} = 3,73$$

13.2.5 Pripojenie tiahla k trámu

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_c &= 71,00 \text{ MPa} \\ \Delta\sigma_{E,2} &= 29,57 \text{ MPa} \\ \gamma_{Mf} &= 1,45 \\ \gamma_{Ff} &= 1,00\end{aligned}$$

$$Z_{LM71} = \frac{\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}}{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}} = 1,66$$

13.2.6 Krčný zvar krajného priečnika – dolná pásnica

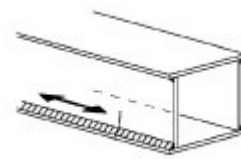
$$\begin{aligned}\Delta\tau_c &= 72,82 \text{ MPa} \\ \Delta\tau_{E,2} &= 14,40 \text{ MPa} \\ \gamma_{Mf} &= 1,45 \\ \gamma_{Ff} &= 1,00\end{aligned}$$

$$Z_{LM71} = \frac{\frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Mf}}}{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E,2}} = 3,49$$

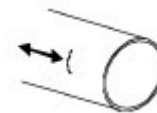
13.2.7 Krčný zvar pozdĺžnej výstuhy

$$\begin{aligned}\Delta\tau_c &= 80,00 \text{ MPa} \\ \Delta\tau_{E,2} &= 12,00 \text{ MPa} \\ \gamma_{Mf} &= 1,45 \\ \gamma_{Ff} &= 1,00\end{aligned}$$

$$Z_{LM71} = \frac{\frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Mf}}}{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E,2}} = 4,60$$



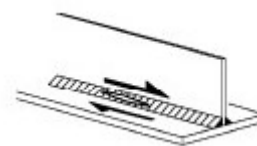
Obrázok 105: Kategória detailu 100



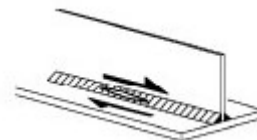
Obrázok 106: Kategória detailu 160



Obrázok 107: Kategória detailu 71



Obrázok 108: Kategória detailu 80



Obrázok 109: Kategória detailu 80

13.2.8 Spoj pozdĺžnej výstuhy s priečnikom

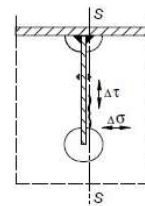
$$\Delta\sigma_c = 56,00 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{Eq} = 28,97 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{Mf} = 1,45$$

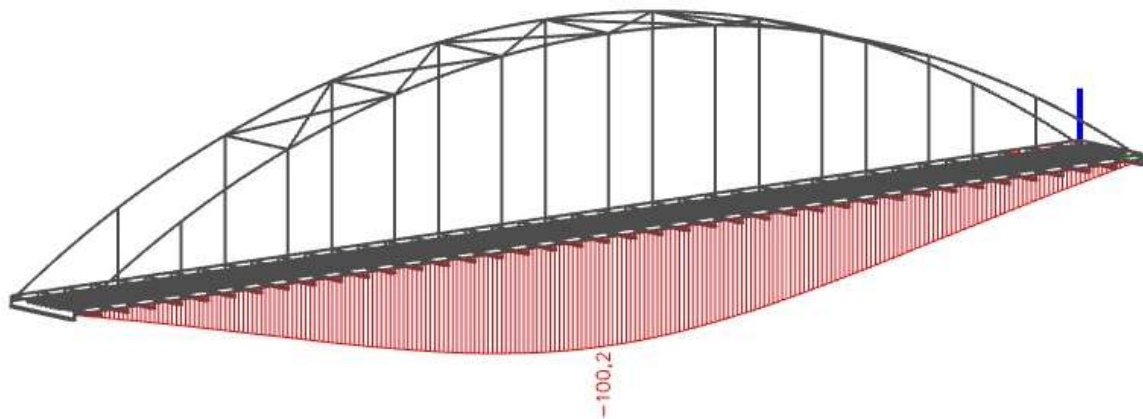
$$\gamma_{Ff} = 1,00$$

$$Z_{LM71} = \frac{\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}}{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{Eq}} = 1,33$$



Obrázok 110: Kategória detailu 56

13.3 Výpočet zaťažiteľnosti pre MSP



Obrázok 111: Maximálny celkový prieťah δ

$$\delta = 100,2 \text{ mm}$$

$$\delta_{LM71} = 44,5 \text{ mm}$$

$$\delta_{rs} = 55,7 \text{ mm}$$

$$w_c = 70,0 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = 166,7 \text{ mm}$$

$$Z_{LM71} = \frac{\delta_{lim} - (\delta_{rs} - w_c)}{\delta_{LM71}} = 4,07$$

13.4 Tabuľka zaťažiteľnosti

km: 2,772

A. Identifikácia mostu

TÚ (číslo, názov):

trať č. 123, Trenčianska Teplá - Horné Srnie - Vlársky Prúšmyk

DÚ (číslo, názov):

trať č. 123, Trenčianska Teplá - Nemšová

B. Identifikácia časti mostu

časť mostu:

Hlavná nosná konštrukcia

por. číslo (v smere staničenia):

2

pod koľajou č.:

1

C. Doplňujúce údaje časti mostu

kategória zaťažiteľnosti:

C

Výpočtový model: priestorový prúto-doskostenový

Geometria koľaje uvažovaná v prepočte časti mostu (v smere staničenia)

polomer oblúka [m]

prevýšenie koľaje [mm]

excentricita koľaje voči mostu [mm]

na začiatku	na konci
priama	priama
0	0
0	0

Por.č.	Prvok vč. umiestnenia	Detail	Namáhanie	k _i	Typ	L _φ	Φ _i	Y _{Q,LM71}	Č.str.stat. výpočtu	Z _{LM71}
Posúdenia z hľadiska MSÚ STR										
1	hlavný nosník	trám	NN	1	N, M	100,0	1,05	1,45	B.2 - 48,49	8,34
2	hlavný nosník	oblúk	NN	1	N, M	100,0	1,05	1,45	B.2 - 49,50	3,92
3	hlavný nosník	tiahlo	NN	1	N	100,0	1,05	1,45	B.2 - 50	3,59
4	hlavný nosník	horné stuženie	NN	1	N	100,0	1,05	1,45	B.2 - 51	3,23
5	mostovka	krajný priečnik	NN	1	M	3,6	2,00	1,45	B.2 - 51	1,55
6	mostovka	pozdĺžna výstuha 1	NN, ŠN	1	M, V	7,5	1,58	1,45	B.2 - 52	14,24
Minimálna zaťažiteľnosť										1,55

Posúdenia z hľadiska MSÚ FAT

7	hlavný nosník	pripoj trám-priečnik	únava - NN	1	N, M	100	1,00	1,00	B.2 - 52	2,62
8	hlavný nosník	pripoj trám-tiahlo	únava - NN	1	N, M	100	1,00	1,00	B.2 - 53	1,66
9	hlavný nosník	pripoj priečnik-p.v.	únava - NN	1	N	100	1,00	1,00	B.2 - 54	1,33
Minimálna zaťažiteľnosť										1,33

Posúdenia z hľadiska MSP

10	hlavný nosník	trám	prieťah	-	-	-	-	1,00	B.2 - 54	4,07
Minimálna zaťažiteľnosť										4,07

CELKOVÁ MINIMÁLNA ZATAŽITEĽNOSŤ

1,33

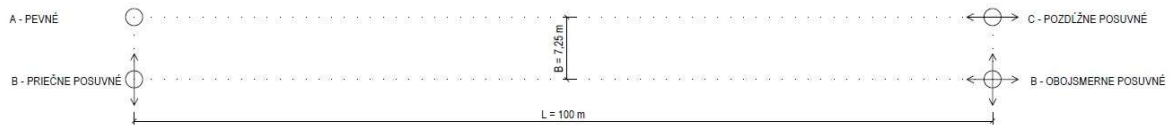
Dňa:

31 / 12 / 2021

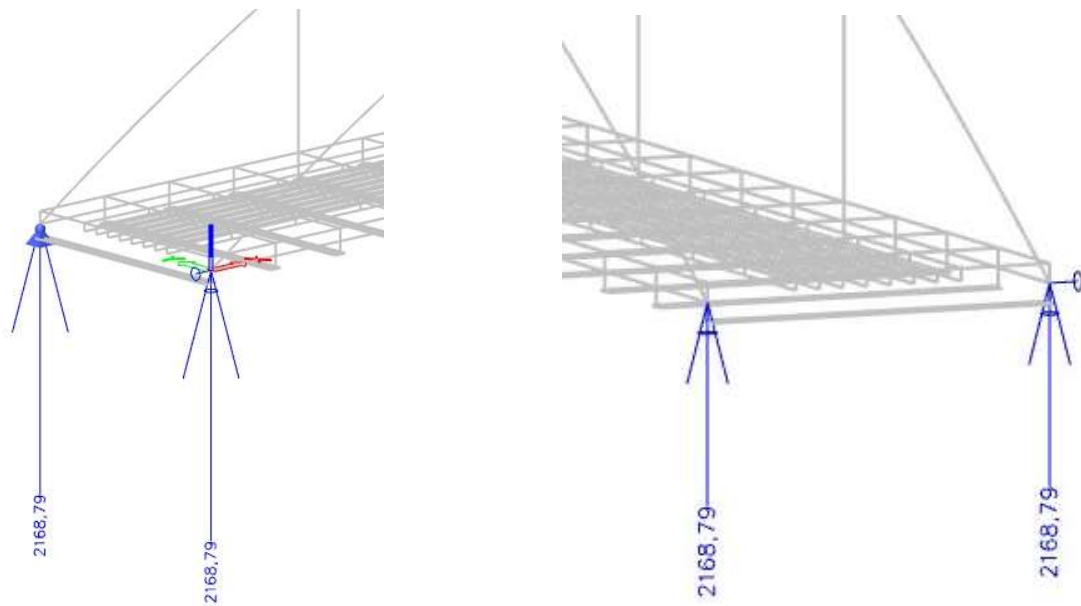
zatažiteľnosť určil: Bc. Lezová Lúvia

14. NÁVRH LOŽÍSK

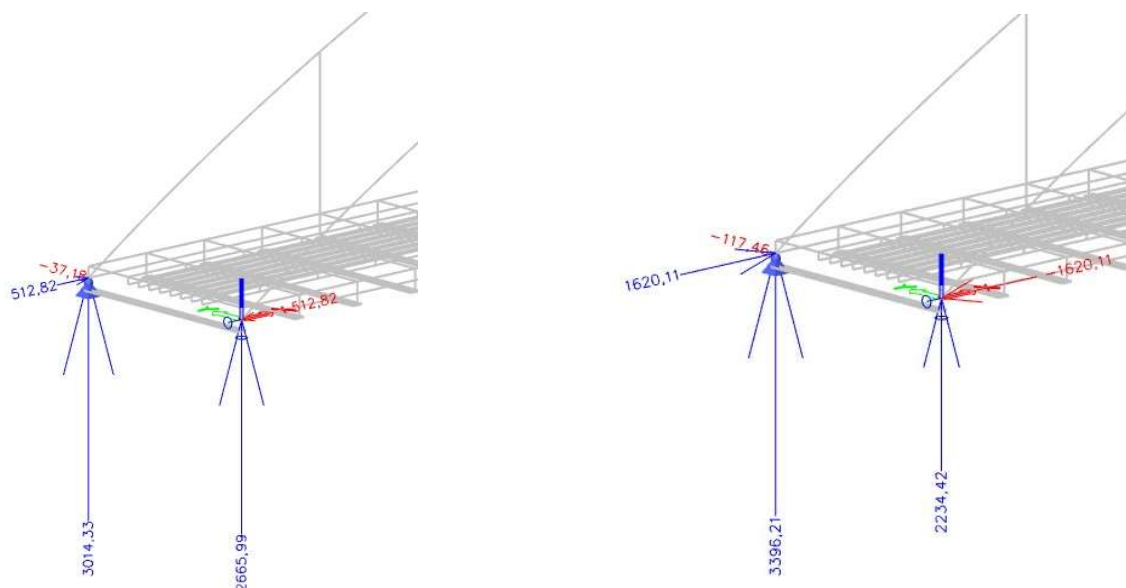
Konstrukcia je uložená na podporách - jedna pevná (A), jedna posuvná v priečnom smere (B), jedna posuvná v pozdĺžnom smere (C) a jedna posuvná v pozdĺžnom aj priečnom smere (D).



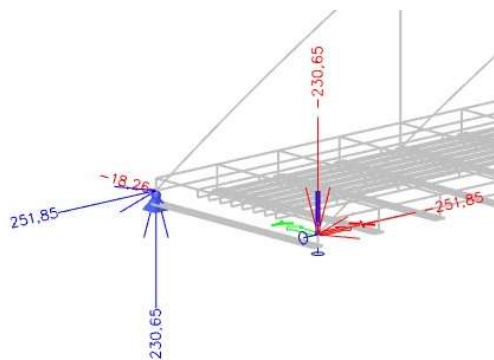
Obrázok 112: Schéma návrhu ložísk



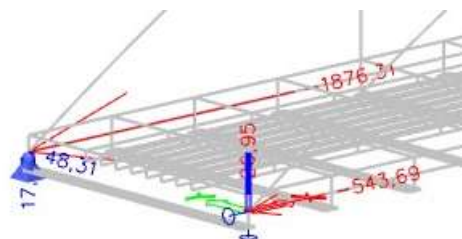
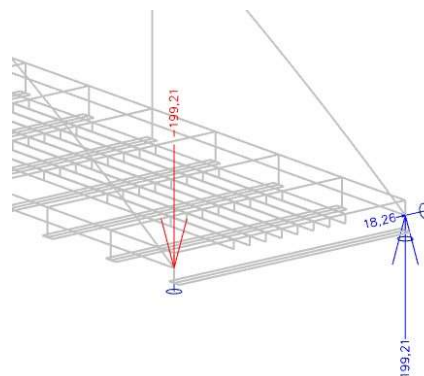
Obrázok 113: Reakcie od stáleho zaťaženia



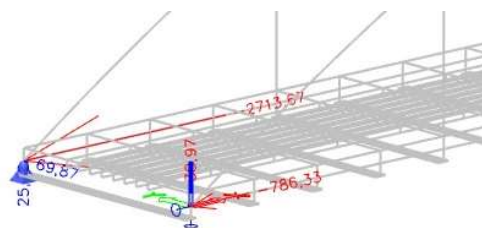
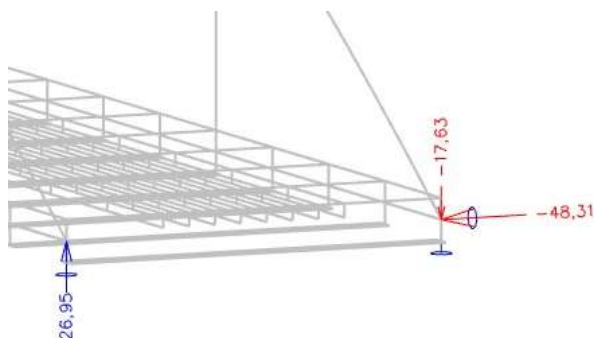
Obrázok 114: Reakcie od zaťaženia od dopravy – vľavo model zaťaženia LM71, vpravo model zaťaženia SW/2, hodnoty platia aj pre ložiská C a D



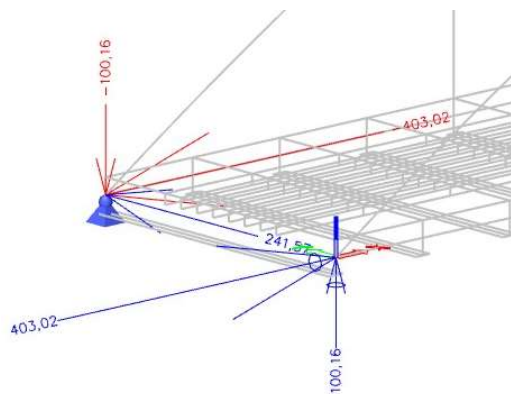
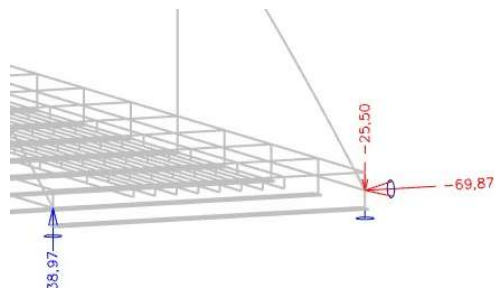
Obrázok 115: Reakcie od zaťaženia bočnými rázmi



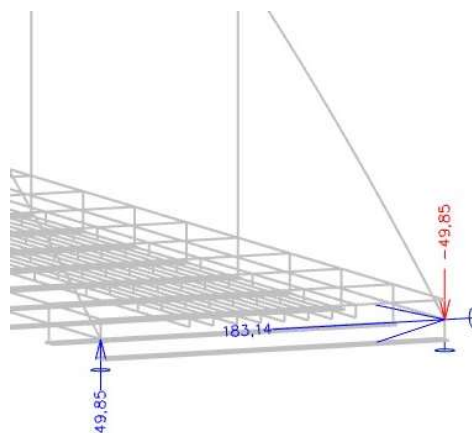
Obrázok 116: Reakcie od zaťaženia brzdnými silami od LM71

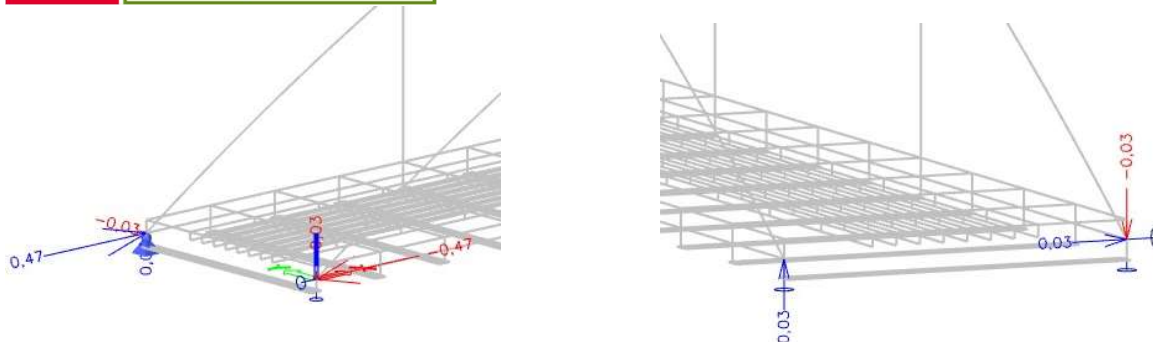


Obrázok 117: Reakcie od zaťaženia brzdnými silami od SW/2



Obrázok 118: Reakcie od zaťaženia vetrom na nosnú konštrukciu a vlak





Obrázok 119: Reakcie od zaťaženia teplotou – oteplením

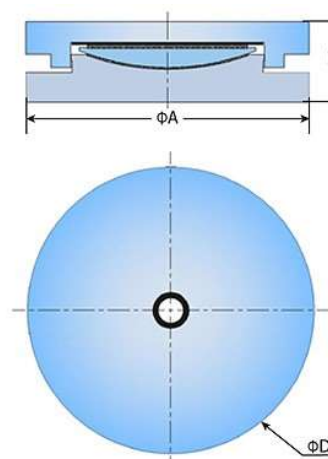
Hodnoty reakcií sú prehľadne zoradené v nasledujúcej tabuľke:

ZS	A Pevné ložisko			B Priečne posuvné ložisko		
	R _x [kN]	R _y [kN]	R _z [kN]	R _x [kN]	R _y [kN]	R _z [kN]
Stále zaťaženie	-	-	2168,79	-	-	2168,79
LM71	512,82	37,18	3014,33	512,82	-	2665,99
SW/2	1620,11	117,46	3396,21	1620,11	-	2234,42
Bočné rázy	251,85	18,26	230,65	251,85	-	230,65
Brzdné sily LM71	1876,31	48,31	17,63	543,69	-	26,95
Brzdné sily SW/2	2713,67	69,87	25,50	786,33	-	38,97
Vietor na NK a vlak	403,02	241,57	100,16	403,02	-	100,16
Teplota - oteplenie	0,47	0,03	0,03	0,47	-	0,03

ZS	C Pozdĺžne posuvné ložisko			D Obojsmerne posuvné ložisko		
	R _x [kN]	R _y [kN]	R _z [kN]	R _x [kN]	R _y [kN]	R _z [kN]
Stále zaťaženie	-	-	2168,79	-	-	2168,79
LM71	-	37,18	3014,33	-	-	2665,99
SW/2	-	117,46	3396,21	-	-	2234,42
Bočné rázy	-	18,26	199,21	-	-	199,21
Brzdné sily LM71	-	48,31	17,63	-	-	26,95
Brzdné sily SW/2	-	69,87	25,50	-	-	38,97
Vietor na NK a vlak	-	183,14	49,85	-	-	49,85
Teplota - oteplenie	-	0,03	0,03	-	-	0,03

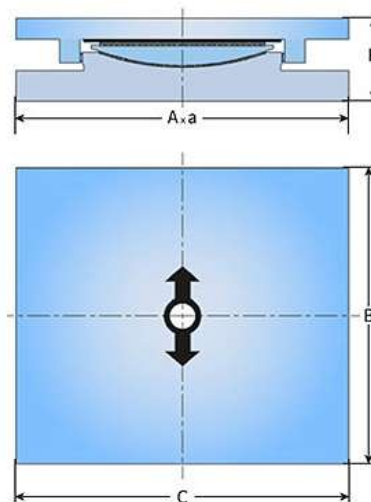
Kombinácie zaťažení boli prevedené dľa kap.7.

KOMBINÁCIE		A Pevné ložisko		
		Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]
K1 (s gr11)	6.10a	3522,4	472,1	6729,0
	6.10b	4251,8	499,6	7202,5
K2 (s gr12)	6.10a	2580,2	454,7	6852,5
	6.10b	3074,0	477,8	7357,0
K3 (s gr16)	6.10a	4886,3	551,0	6473,7
	6.10b	5956,6	598,1	6883,4
K4 (s gr17)	6.10a	3704,6	526,2	6572,2
	6.10b	4479,5	567,2	6991,2
Návrh		K3 6.10b	K4 6.10b	K2 6.10b
		5957	598	7357
Kalotové I. Freyssinet		TETRON SB FX 24000-7200		



Obrázok 120: Pevné ložisko

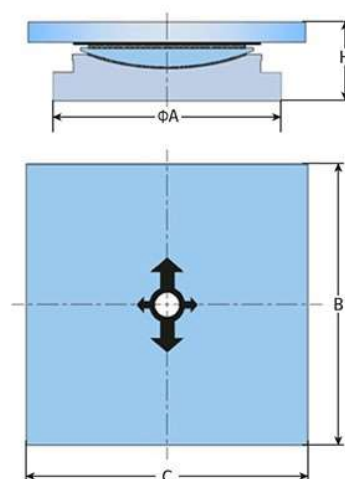
KOMBINÁCIE		B Priečne posuvné ložisko		
		Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]
K1 (s gr11)	6.10a	1976,6	-	6335,7
	6.10b	2319,5	-	6710,9
K2 (s gr12)	6.10a	1807,3	-	6453,9
	6.10b	2107,9	-	6858,6
K3 (s gr16)	6.10a	3036,0	-	5371,3
	6.10b	3643,8	-	5505,4
K4 (s gr17)	6.10a	2779,5	-	5463,3
	6.10b	3323,1	-	5597,1
Návrh		K3 6.10b	-	K2 6.10b
		3644	-	6859
Kalotové I. Freyssinet		TETRON SB GGT 16000-4800.400		



Obrázok 121: Posuvné ložisko v priečnom alebo pozdĺžnom smere

KOMBINÁCIE		C Pozdĺžne posuvné ložisko		
		Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]
K1 (s gr11)	6.10a	-	384,5	6635,3
	6.10b	-	411,9	7104,3
K2 (s gr12)	6.10a	-	367,1	6740,6
	6.10b	-	390,1	7235,9
K3 (s gr16)	6.10a	-	463,3	6383,1
	6.10b	-	510,5	6789,1
K4 (s gr17)	6.10a	-	438,6	6466,5
	6.10b	-	479,5	6878,0
Návrh		-	K4 6.10b	K2 6.10b
		-	510	7236
Kalotové I. Freyssinet		TETRON SB GGL 8000-2400.400		

KOMBINÁCIE		D		
		Obojsmerne posuvné ložisko		
		Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]
K1 (s gr11)	6.10a	-	-	6242,0
	6.10b	-	-	6612,7
K2 (s gr12)	6.10a	-	-	6341,9
	6.10b	-	-	6737,6
K3 (s gr16)	6.10a	-	-	5280,7
	6.10b	-	-	5411,1
K4 (s gr17)	6.10a	-	-	5357,7
	6.10b	-	-	5483,9
Návrh		-	-	K2 6.10b
		-	-	6738
Kalotové I. Freyssinet		TETRON SB GL 8000-400.40		



Obrázok 122: Ložisko posuvné v priečnom aj pozdĺžnom smere

14.1 Posuny v ložisku

14.1.1 Posun od teploty

Teplota vzduchu v tieni

$$T_{\max} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\min} = -28 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Rovnomerná zložka teploty

$$T_{\max} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\min} = -3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{e,\max} = 56 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{e,\min} = -31 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Teplota pri zabudovaní ložiska do konštrukcie:

$$T_0 = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Rezerva pre návrh ložísk

$$20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{N,\exp} = T_{e,\max} - T_0 + 20 = 66 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{N,\text{con}} = T_{e,\min} - T_0 - 20 = -61 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_N = \Delta T_{N,\exp} - \Delta T_{N,\text{con}} = 127 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$L = 100 \text{ m}$$

$$\alpha = 1,20\text{E-}05 \text{ K}^{-1}$$

Predĺženie

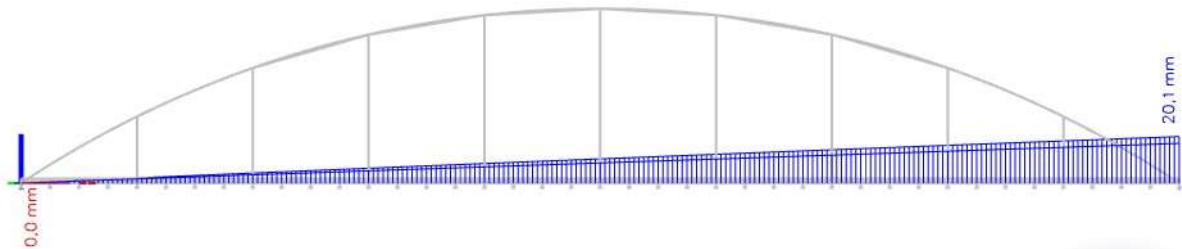
$$\Delta L^+ = \alpha \cdot \Delta T_{N,\exp} \cdot L = 79,20 \text{ mm}$$

Skrátenie

$$\Delta L^- = \alpha \cdot \Delta T_{N,\text{con}} \cdot L = -73,20 \text{ mm}$$

14.1.2 Posun od priehybu

Pri určení posunu od priehybu nebol uvažovaný spôsob prevedenia montáže, keďže o spôsobe prevedenia montáže konštrukcie rozhodne zhotoviteľ.



Obrázok 123: Posun od priehybu

$$\Delta L_p = 20,1 \text{ mm}$$

14.1.3 Celkové posuny v ložisku a návrh mostného záveru

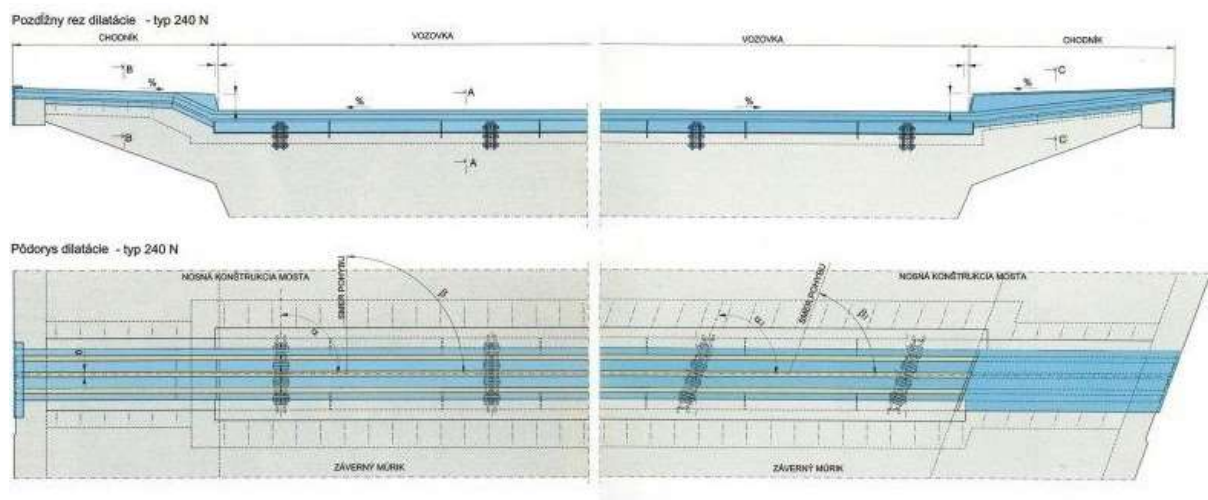
c) Celkové posuny v ložisku

$$\Delta L^+ = \Delta L_T^+ + \Delta L_p = 99,3 \text{ mm}$$

$$\Delta L^- = \Delta L_T^- = -73,2 \text{ mm}$$

$$\Delta L = |\Delta L^+| + |\Delta L^-| = 172,5 \text{ mm}$$

Bol navrhnutý nožnicový mostný záver 240 N od spoločnosti Doprastav, a.s.



Obrázok 124: Mostný záver 240 N

Technické parametre ložísk a mostného záveru viz. *Příloha E – Ostatní přílohy*.

15. VÝKAZ MATERIÁLU

PRVOK	t [mm]	b [m]	L [m]	ks	m [t]
TRÁM	40	1,00	100,00	4	126
	30	2,92	100,00	4	275
OBLÚK	40	0,90	105,90	4	120
	40	0,92	105,90	4	122
PRIEČNIK	30	0,40	7,25	40	27
	20	0,75	7,25	40	34
POZDĚŽNA VÝSTUHA	25	0,25	2,50	320	39
MOSTOVKOVÝ PLECH	16	7,25	100,00	1	91

PRVOK	d [mm]	t [mm]	A [m ²]	L [m]	ks	m [t]
TIAHLO	273	12	9,84E-03	5,72	4	0,44
	273	12	9,84E-03	9,90	4	0,76
	273	12	9,84E-03	12,77	4	0,99
	273	12	9,84E-03	14,45	4	1,12
	273	12	9,84E-03	15,00	2	1,16
HORNÉ STUŽENIE	813	16	4,01E-02	7,25	8	2,28
HORNÉ STUŽENIE - PRIEHRADA	323,9	12	1,18E-02	6,34	8	0,59
	323,9	12	1,18E-02	6,23	8	0,58
	323,9	12	1,18E-02	6,18	8	0,57

PLECHY	HMOTNOST' [t]				
Hrúbka plechu [mm]	40	30	25	20	16
Σ 1 POLE	368	302	39	34	91
Σ 2 POLIA	735	605	79	69	182

TRUBKY TR - tvarované za studena	HMOTNOST' [t]		
Priemer d [mm]	273	323,9	813
Hrúbka steny t [mm]	12	12	16
Σ 1 POLE	4	2	2
Σ 2 POLIA	9	5	3