


FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ		
VYPRACOVAL: BC. LUKÁŠ KURZ	VEDOUcí PRÁCE: DOC. DR. ING. JAKUB DOLEJŠ	
TÉMA DIPLOMOVÉ PRÁCE: REKONSTRUKCE LÁVKY PŘES BEROUNKU		MĚŘITKO:
		DATUM: 05/2016
NÁZEV PŘÍLOHY: STATICKÝ VÝPOČET		ČÍSLO PŘÍLOHY: 9

Obsah

1.	Úvod.....	8
1.1	Popis konstrukce	8
1.1.1	Podélný řez	9
1.1.2	Příčný řez	10
1.2	Použité programy	10
2.	Zatížení	10
2.1	Přehled uvažovaných zatížení.....	11
2.2	Zatěžovací stavy použité ve výpočtu	11
2.2.1	Zatížení stálá	11
2.2.2	Zatížení proměnná	11
2.2.2.1	Zatížení chodci.....	11
2.2.2.2	Zatížení větrem	12
2.2.2.3	Zatížení od servisního vozidla	14
2.3	Zatěžovací stavy – dřevěná mostovka	15
2.3.1	Výpočetní modely.....	15
2.3.2	Zatěžovací stavy na mostinu.....	15
2.3.3	Zatěžovací stavy na podélník.....	15
3.	Kombinace zatížení.....	16
3.1	Kombinace MSÚ	16
3.1.1	Součinitele zatížení	16
3.1.2	Použité kombinace zatížení	16
3.1.3	Kombinace pro návrh mostovky.....	17
3.1.3.1	Kombinace pro mostiny.....	17
3.1.3.2	Kombinace pro podélníky.....	17
3.2	Kombinace MSP	17

3.2.1	Součinitele zatížení	18
3.2.2	Použité kombinace zatížení	18
4.	Návrh a posouzení konstrukce v MSÚ	18
4.1	Dřevěná mostovka	18
4.1.1	Návrh a posouzení mostiny	18
4.1.1.1	Materiálové charakteristiky	19
4.1.1.2	Vnitřní síly	19
4.1.1.3	Průřezové charakteristiky	19
4.1.1.4	Posouzení	20
4.1.1.4.1	Jednoosý ohyb (v poli)	20
4.1.1.4.2	Příčná a torzní stabilita	20
4.1.1.4.3	Smyk (nad podporou)	20
4.1.2	Návrh a posouzení podélníku	21
4.1.2.1	Materiálové charakteristiky	21
4.1.2.2	Vnitřní síly	22
4.1.2.3	Průřezové charakteristiky	22
4.1.2.4	Posouzení	22
4.1.2.4.1	Jednoosý ohyb (v poli)	22
4.1.2.4.2	Příčná a torzní stabilita	23
4.1.2.4.3	Smyk (nad podporou)	23
4.2	Obloukový nosník	24
4.2.1	Materiálové charakteristiky	24
4.2.2	Průřezové charakteristiky	24
4.2.3	Zatřídění průřezu	25
4.2.4	Posouzení na tlak za ohybu	25
4.2.4.1	Rozhodující kombinace a vnitřní síly	25

4.2.4.2	Posouzení	26
4.2.5	Posouzení na smyk.....	28
4.2.5.1	Rozhodující kombinace a vnitřní síly	28
4.2.5.2	Posouzení	28
4.3	Hlavní nosník	29
4.3.1	Materiálové charakteristiky	29
4.3.2	Průřezové charakteristiky	30
4.3.3	Zatřídění průřezu.....	30
4.3.4	Posouzení na tah za ohybu.....	30
4.3.4.1	Rozhodující kombinace a vnitřní síly	30
4.3.4.2	Posouzení	31
4.3.5	Posouzení na smyk.....	31
4.3.5.1	Rozhodující kombinace a vnitřní síly	31
4.3.5.2	Posouzení	32
4.4	Táhla	33
4.4.1	Materiálové charakteristiky	33
4.4.2	Průřezové charakteristiky	33
4.4.3	Zatřídění průřezu.....	34
4.4.4	Posouzení na tah za ohybu.....	34
4.4.4.1	Rozhodující kombinace a vnitřní síly	34
4.4.4.2	Posouzení	35
4.4.5	Posouzení na tlak za ohybu.....	35
4.4.5.1	Rozhodující kombinace a vnitřní síly	35
4.4.5.2	Posouzení	36
4.4.6	Posouzení na smyk.....	37
4.4.6.1	Rozhodující kombinace a vnitřní síly	37

4.4.6.2	Posouzení	38
4.5	Příčnický	39
4.5.1	Materiálové charakteristiky	39
4.5.2	Průřezové charakteristiky	39
4.5.3	Zatřídění průřezu.....	40
4.5.4	Posouzení na tlak za ohybu s vlivem klopení	40
4.5.4.1	Rozhodující kombinace a vnitřní síly	40
4.5.4.2	Posouzení	41
4.5.4.2.1	Směr Y	41
4.5.4.2.2	Směr Z.....	42
4.5.4.2.3	Klopení.....	42
4.5.5	Posouzení na smyk.....	44
4.5.5.1	Rozhodující kombinace a vnitřní síly	44
4.5.5.2	Posouzení	44
4.6	Koncové příčnický.....	45
4.6.1	Materiálové charakteristiky	45
4.6.2	Průřezové charakteristiky	46
4.6.3	Zatřídění průřezu.....	46
4.6.4	Posouzení na tlak za ohybu s vlivem klopení.....	46
4.6.4.1	Rozhodující kombinace a vnitřní síly	46
4.6.4.2	Posouzení	47
4.6.4.2.1	Směr Y	48
4.6.4.2.2	Klopení.....	48
4.6.5	Posouzení na smyk.....	50
4.6.5.1	Rozhodující kombinace a vnitřní síly	50
4.6.5.2	Posouzení	50

4.7	Dolní zavětrování.....	51
4.7.1	Materiálové charakteristiky	51
4.7.2	Průřezové charakteristiky	51
4.7.3	Posouzení na prostý tah	51
4.7.3.1	Rozhodující kombinace a vnitřní síly	51
4.7.3.2	Posouzení	52
4.8	Horní ztužidla	52
4.8.1	Materiálové charakteristiky	52
4.8.2	Průřezové charakteristiky	53
4.8.3	Zatřídění průřezu.....	53
4.8.4	Posouzení na tah za ohybu.....	53
4.8.4.1	Rozhodující kombinace a vnitřní síly	53
4.8.4.2	Posouzení	54
4.8.5	Posouzení na tlak za ohybu.....	54
4.8.5.1	Rozhodující kombinace a vnitřní síly	54
4.8.5.2	Posouzení	55
4.8.6	Posouzení na smyk.....	56
4.8.6.1	Rozhodující kombinace a vnitřní síly	56
4.8.6.2	Posouzení	57
5.	Návrh a posouzení přípojí.....	57
5.1	Přípoj příčnicku k hlavnímu nosníku.....	58
5.1.1	Rozhodující vnitřní síly	58
5.1.2	Základní charakteristiky	58
5.1.3	Posouzení	58
5.1.3.1	Posouzení porušení povrchu pásu.....	59
5.1.3.2	Posouzení prolomení smykem	59

5.1.4	Posouzení koutového svaru	59
5.1.4.1	Posouzení svaru u pásnice	60
5.1.4.2	Posouzení svaru u stojiny	60
5.2	Přípoj koncového příčnicku k hlavnímu nosníku	60
5.2.1	Rozhodující vnitřní síly	61
5.2.2	Základní charakteristiky	61
5.2.3	Posouzení	61
5.2.3.1	Posouzení porušení povrchu pásu	62
5.2.3.2	Posouzení prolomení smykem	62
5.2.4	Posouzení koutového svaru	62
5.2.4.1	Posouzení svaru u pásnice	63
5.2.4.2	Posouzení svaru u stojiny	63
5.3	Přípoj táhel k hlavnímu nosníku	63
5.3.1	Rozhodující vnitřní síly	64
5.3.2	Základní charakteristiky	64
5.3.3	Posouzení porušení povrchu pásu	64
5.3.4	Posouzení prolomení smykem	65
5.3.5	Posouzení koutového svaru	65
5.3.5.1	Posouzení svaru	65
5.4	Přípoj krajního táhla k hlavnímu nosníku	66
5.4.1	Rozhodující vnitřní síly	66
5.4.2	Základní charakteristiky	66
5.4.3	Posouzení porušení povrchu pásu	66
5.4.4	Posouzení prolomení smykem	67
5.4.5	Posouzení koutového svaru	67
5.4.5.1	Posouzení svaru	67

6.	Návrh a posouzení konstrukce v MSP	68
6.1	Dynamické posouzení.....	68
6.2	Posouzení průhybu.....	69
6.2.1	Rozhodující kombinace a průhyb	69
7.	Návrh ložisek	69
7.1	Rovnoměrná teplota.....	70
7.2	Ložiska.....	70
8.	Podklady, literatura	72

1. Úvod

Navrhovaná konstrukce je součástí lávky přes Berounku spojující obec Hlásná Třebaň s obcí Zadní Třebaň. Diplomová práce včetně statického výpočtu se zabývá pouze třemi hlavními poli. Statický výpočet je proveden pouze pro jedno pole. Všechna tři pole jsou totožná.



Obrázek 1- Umístění lávky na mapě

1.1 Popis konstrukce

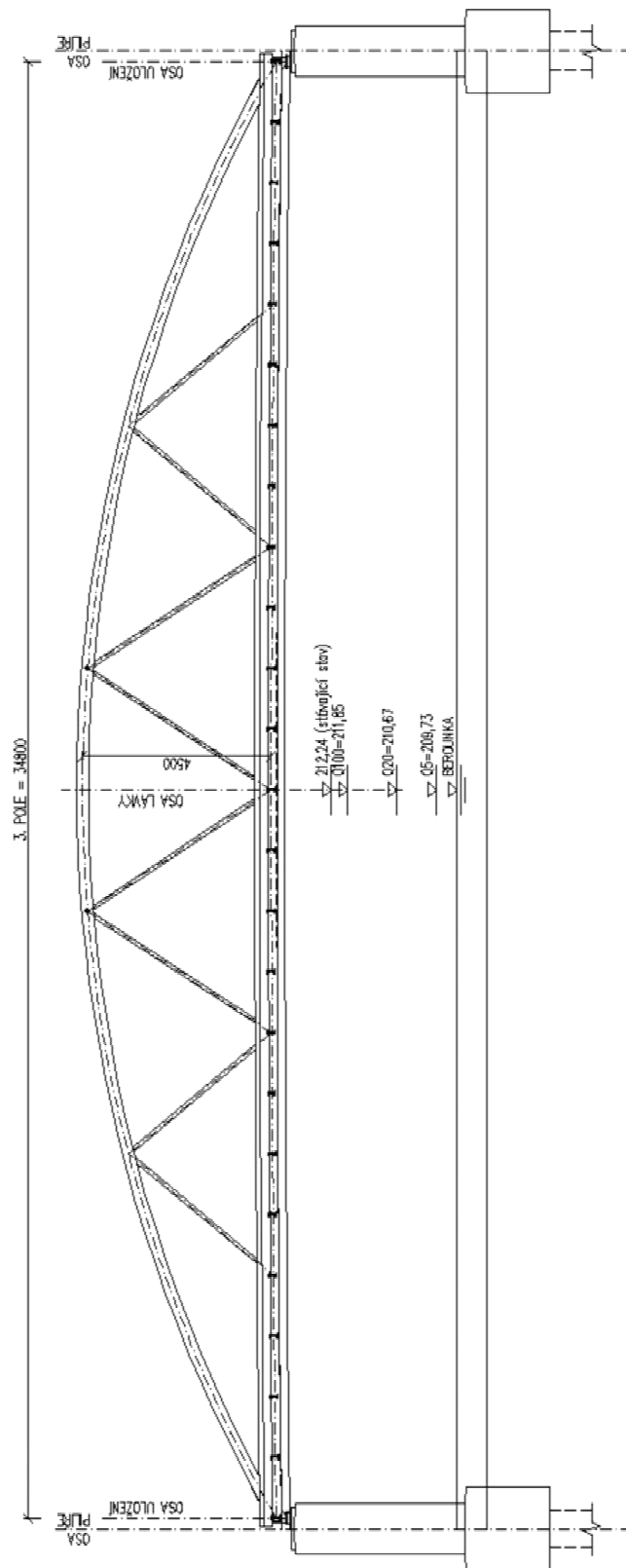
Jednotlivé pole lávky je rozpětí 34,8 metrů. Hlavní nosná konstrukce je tvořená z oceli s dřevěnou mostovkou. Ze statického hlediska se jedná o obloukovou konstrukci s dolní mostovkou. Jednotlivá pole jsou uložena na pilířích.

Délka nosné konstrukce: 34,8 m

Šířka nosné konstrukce: 4,0 m

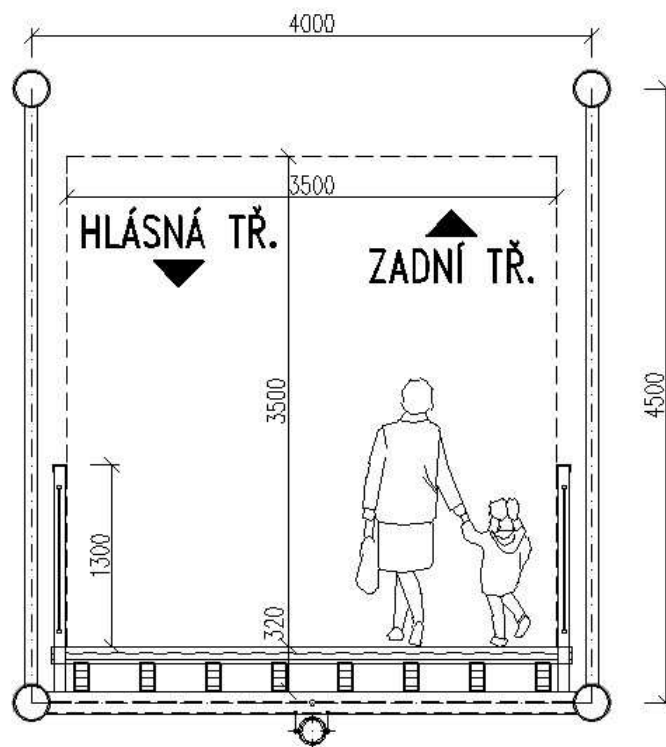
Maximální výška nosné konstrukce: 4,5 m

1.1.1 Podélný řez



Obrázek 2- Podélný řez

1.1.2 Příčný řez

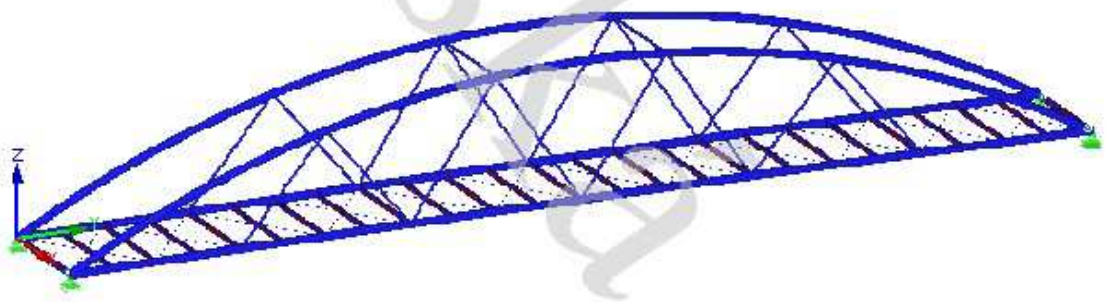


Obrázek 3 - Příčný řez

1.2 Použité programy

RFEM 5.0 3D – program pro statické výpočty MKP; studentská verze.

Firma Dlubal Software s.r.o.



Obrázek 4 - Výpočetní model

2. Zatížení

Zatížení jsou určena podle [1.], [2.], [3.].

2.1 Přehled uvažovaných zatížení

Stálá

- Vlastní tíha ocelové konstrukce
- Vlastní tíha dřevěné mostovky
- Vlastní tíha ocelového zábradlí
- Vlastní tíha plynovodního potrubí

Proměnná

- Zatížení lávky chodci
- Zatížení servisním vozidlem 3,5 t
- Zatížení větrem

2.2 Zatěžovací stavy použité ve výpočtu

2.2.1 Zatížení stálá

ZS1 – Stálé zatížení vlastní tíhy ocelové konstrukce. Automaticky generováno programem RFEM 5.0.

ZS2 – Dřevěná mostovka – výpočet výsledných sil použitých do modelu viz. část 4.1

ZS3 – Zábradlí 1,0 kN/m

ZS4 – Plynovodní potrubí – do modelu vneseny osamělé síly v místě uvažovaného upevnění plynového potrubí 0,58 kN

2.2.2 Zatížení proměnná

2.2.2.1 Zatížení chodci

Zatížení chodci je definováno jako rovnoměrné plošné zatížení 5,0 kN/m². V závislosti na zatěžovací délce lávky je možné zatížení redukovat. Redukce je provedena u všech zatěžovacích stavů dle vzorce:

$$q_{fk,L} = 2,0 + \frac{120}{(L + 30)}$$

Vzhledem k tomu, že výpočetní model v programu je vytvořen jako prutová konstrukce, plošná zatížení je nutné přepočítat na liniová zatížení. Zatížení chodců je přepočítáno a zaneseno do modelu na jednotlivé příčnický. Osová vzdálenost příčnicků je $L_p = 1,45$ m.

ZS5 – Zatížení chodci – celá délka lávky

$L = 34,8$ m

$$q_{fk,L} = 2,0 + \frac{120}{(34,8 + 30)} = 3,85 \frac{kN}{m^2}$$

Přepočet na příčnický: $q_{fk,L}' = L_p \cdot q_{fk,L} = 1,45 \cdot 3,85 = 5,58 \frac{kN}{m}$

Přepočet na krajní příčnick: $q_{fk,L}'' = \frac{L_p}{2} \cdot q_{fk,L} = \frac{1,45}{2} \cdot 3,85 = 2,79 \frac{kN}{m}$

ZS6 – Zatížení chodci – 1. polovina lávky

$L/2 = 17,4$ m

$$q_{fk,L/2} = 2,0 + \frac{120}{(17,4 + 30)} = 4,53 \frac{kN}{m^2}$$

Přepočet na příčnický: $q_{fk,L/2}' = L_p \cdot q_{fk,L} = 1,45 \cdot 4,53 = 6,57 \frac{kN}{m}$

Přepočet na krajní příčnick: $q_{fk,L/2}'' = \frac{L_p}{2} \cdot q_{fk,L} = \frac{1,45}{2} \cdot 4,53 = 3,28 \frac{kN}{m}$

ZS7 – Zatížení chodci – 2. polovina lávky

$L/2 = 17,4$ m

$$q_{fk,L/2} = 2,0 + \frac{120}{(17,4 + 30)} = 4,53 \frac{kN}{m^2}$$

Přepočet na příčnický: $q_{fk,L/2}' = L_p \cdot q_{fk,L} = 1,45 \cdot 4,53 = 6,57 \frac{kN}{m}$

Přepočet na krajní příčnick: $q_{fk,L/2}'' = \frac{L_p}{2} \cdot q_{fk,L} = \frac{1,45}{2} \cdot 4,53 = 3,28 \frac{kN}{m}$

2.2.2.2 *Zatížení větrem*

Zatížení větrem je uvažováno pro větrnou oblast lokality Zadní Třebaň. Pro výpočet působení sil je uvažováno s válcovými profily o průměru 300 mm. Zatížení v této kapitole jsou určena dle [3]

Základní rychlost větru: $v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$

Součinitel směru větru: $c_{dir} = 1,0$

Součinitel ročního období: $c_{season} = 1,0$

Větrová oblast (určená dle mapy větrových oblastí): $v_{b,0} = 25,0 \frac{m}{s}$

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25,0 = 25,0 \frac{m}{s}$$

Střední rychlost větru: $v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$

Parametr drsnosti terénu: $z_0 = 0,05 m$ (kategorie II – oblast s nízkou vegetací)

Výška konstrukce nad terénem: $z = 7,0 m$

$$\text{Součinitel terénu: } k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,05}\right)^{0,07} = 0,19$$

$$\text{Součinitel drsnosti terénu: } c_r(z) = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0} = 0,19 \cdot \ln \frac{7}{0,05} = 0,939$$

Součinitel orografie: $c_o(z) = 1,0$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,939 \cdot 1,0 \cdot 25,0 = 23,479 m/s$$

Maximální dynamický tlak větru: $q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$

Měrná hmotnost vzduchu: $\rho = 1,25 kg/m^3$

Součinitel turbulence: $k_i = 1,0$

$$\text{Intenzita turbulence: } I_v(z) = \frac{k_i}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{7}{0,05}\right)} = 0,202$$

$$\text{Základní dynamický tlak: } q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390,6 Nmm^{-2}$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,202] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 23,473 = 831,3 Nmm^{-2}$$

$$\text{Součinitel expozice: } c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} = \frac{831,3}{390,6} = 2,13$$

Síly od větru – prutový válcový prut: $f_w = c_s \cdot c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$

Součinitel velikosti konstrukce: $c_s = 1,0$

Dynamický součinitel: $c_d = 1,0$

Součinitel síly pro válce: $c_{f,0} = 1,0$

Průměr prutu (odhad): $b = 300 \text{ mm}$

Kinematická viskozita vzduchu: $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Maximální rychlost větru: $v(z_e) = \sqrt{2 \cdot q_p / \rho} = \sqrt{2 \cdot 831,3 / 1,25} = 36,47 \text{ m/s}$

Reynoldsovo číslo: $Re = \frac{b \cdot v(z_e)}{\nu} = \frac{0,3 \cdot 36,47}{15 \cdot 10^{-6}} = 729400$

Koeficient pro stříkaný nátěr: $k = 0,02$

Součinitel koncového efektu: $\psi_\lambda = 0,96$

Štíhlost: $\lambda = 70$

$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 1,0 \cdot 0,96 = 0,96$

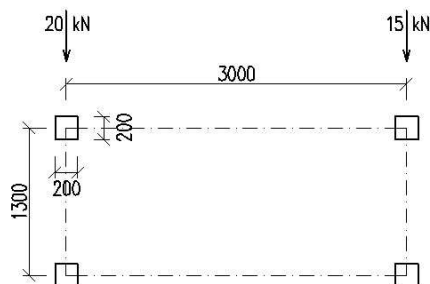
$A_{ref} = b \cdot l = 0,3 \cdot l \text{ m}^2$

$f_w = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,96 \cdot 831,3 \cdot 0,3 \cdot 1 = 0,24 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

2.2.2.3 Zatížení od servisního vozidla

Jako servisní vozidlo na lávce je v této diplomové práci použito vozidlo o hmotnosti 3,5 tuny. Toto vozidlo bylo zvoleno po konzultaci s vedoucím diplomové práce.

Schéma použitého servisního vozidla:



Obrázek 5 - Servisní vozidlo

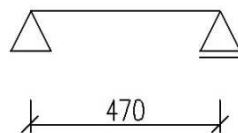
Zatížení od servisního vozidla je využito zejména pro určení vnitřních sil a reakcí v příčnicích a pro návrh dřevěné mostovky. Pro ostatní prvky lávky je vliv zatížení od chodců vyšší než zatížení od servisního vozidla.

- ZS9 – Vozidlo uprostřed lávky s umístěním hlavní nápravy nad prvním příčnickem
- ZS10 – Vozidlo uprostřed lávky s umístěním hlavní nápravy nad druhým příčnickem
- ZS11 – Vozidlo uprostřed lávky s umístěním hlavní nápravy nad prostředním příčnickem
- ZS12 – Vozidlo při kraji lávky s umístěním hlavní nápravy nad prvním příčnickem
- ZS13 – Vozidlo při kraji lávky s umístěním hlavní nápravy nad druhým příčnickem
- ZS14 – Vozidlo při kraji lávky s umístěním hlavní nápravy nad prostředním příčnickem

2.3 Zatěžovací stavy – dřevěná mostovka

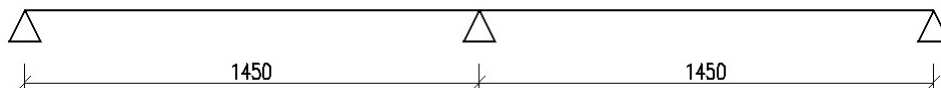
2.3.1 Výpočetní modely

Pro účely statického posouzení mostiny je použit model prostého nosníku.



Obrázek 6 - Výpočetní model pro mostiny

Pro účely statického posouzení podélníku je použit model spojitého nosníku.



Obrázek 7 - Výpočetní model pro podélníky

2.3.2 Zatěžovací stavy na mostinu

- ZS15 – Vlastní tíha mostiny
- ZS16 – Servisní vozidlo, kdy je kolo hlavní nápravy umístěno uprostřed nosníku
- ZS17 – Servisní vozidlo, kdy je kolo hlavní nápravy umístěno nad podporou

2.3.3 Zatěžovací stavy na podélník

- ZS18 – Vlastní tíha podélníku + vlastní tíha mostin
- ZS19 – Servisní vozidlo, kdy je kolo umístěno tak, aby vyvolalo maximální moment
- ZS20 – Servisní vozidlo, kdy je kolo hlavní nápravy umístěno nad podporou

3. Kombinace zatížení

3.1 Kombinace MSÚ

Návrh kombinací je proveden podle [1.].

Kombinace zatížení může být vyjádřena vztahem 6.10 nebo méně příznivým vztahem kombinace z výrazů 6.10a a 6.10b. Vzhledem k subtilnosti konstrukce, kdy výrazně vyšší podíl na zatížení lávky má proměnné zatížení, se jako nejnepříznivější varianta jeví kombinace zatížení 6.10b. Veškeré kombinace v této kapitole jsou počítána podle tohoto výrazu:

$$6.10b: 0,85 \cdot 1,35G_{kj,sup} + 1,35Q_{k,1} + 1,5\psi_{Q,i}Q_{k,j}$$

3.1.1 Součinitele zatížení

Dílní součinitele γ :

- pro stálé zatížení: $\gamma_G = 1,35$
- pro hlavní proměnné zatížení: $\gamma_{Q,1} = 1,35$
- pro další proměnná zatížení: $\gamma_{Q,i} = 1,5$

Kombinační součinitele ψ pro lávky pro chodce:

Zatížení	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Chodci	0,4	0,4	0
Servisní vozidlo	0	0	0
Vítr	0,3	0,2	0

Vzhledem k tomu, že u servisního vozidla jsou kombinační součinitele $\psi_j = 0$, jsou uvažovány pouze stavy, kdy je zatížení od servisního vozidla dominantní.

3.1.2 Použité kombinace zatížení

Stálé zatížení, dominantní zatížení chodci, redukované zatížení větrem

$$KZ1: 0,85 \cdot 1,35 \cdot (ZS1+ZS2+ZS3+ZS4) + 1,35 \cdot ZS5 + 1,5 \cdot 0,3 \cdot ZS8$$

$$\text{KZ2: } 0,85 \cdot 1,35 \cdot (\text{ZS1}+\text{ZS2}+\text{ZS3}+\text{ZS4}) + 1,35 \cdot \text{ZS6} + 1,5 \cdot 0,3 \cdot \text{ZS8}$$

$$\text{KZ3: } 0,85 \cdot 1,35 \cdot (\text{ZS1}+\text{ZS2}+\text{ZS3}+\text{ZS4}) + 1,35 \cdot \text{ZS7} + 1,5 \cdot 0,3 \cdot \text{ZS8}$$

Stálé zatížení, dominantní zatížení větrem, redukované zatížení chodci

$$\text{KZ4: } 0,85 \cdot 1,35 \cdot (\text{ZS1}+\text{ZS2}+\text{ZS3}+\text{ZS4}) + 1,5 \cdot \text{ZS8} + 1,35 \cdot 0,4 \cdot \text{ZS5}$$

$$\text{KZ5: } 0,85 \cdot 1,35 \cdot (\text{ZS1}+\text{ZS2}+\text{ZS3}+\text{ZS4}) + 1,5 \cdot \text{ZS8} + 1,35 \cdot 0,4 \cdot \text{ZS6}$$

$$\text{KZ6: } 0,85 \cdot 1,35 \cdot (\text{ZS1}+\text{ZS2}+\text{ZS3}+\text{ZS4}) + 1,5 \cdot \text{ZS8} + 1,35 \cdot 0,4 \cdot \text{ZS7}$$

Stálé zatížení, dominantní zatížení servisním vozidlem, redukované zatížení větrem

$$\text{KZ7: } 0,85 \cdot 1,35 \cdot (\text{ZS1}+\text{ZS2}+\text{ZS3}+\text{ZS4}) + 1,35 \cdot \text{ZS9} + 1,5 \cdot 0,3 \cdot \text{ZS8}$$

$$\text{KZ8: } 0,85 \cdot 1,35 \cdot (\text{ZS1}+\text{ZS2}+\text{ZS3}+\text{ZS4}) + 1,35 \cdot \text{ZS10} + 1,5 \cdot 0,3 \cdot \text{ZS8}$$

$$\text{KZ9: } 0,85 \cdot 1,35 \cdot (\text{ZS1}+\text{ZS2}+\text{ZS3}+\text{ZS4}) + 1,35 \cdot \text{ZS11} + 1,5 \cdot 0,3 \cdot \text{ZS8}$$

$$\text{KZ10: } 0,85 \cdot 1,35 \cdot (\text{ZS1}+\text{ZS2}+\text{ZS3}+\text{ZS4}) + 1,35 \cdot \text{ZS12} + 1,5 \cdot 0,3 \cdot \text{ZS8}$$

$$\text{KZ11: } 0,85 \cdot 1,35 \cdot (\text{ZS1}+\text{ZS2}+\text{ZS3}+\text{ZS4}) + 1,35 \cdot \text{ZS13} + 1,5 \cdot 0,3 \cdot \text{ZS8}$$

$$\text{KZ12: } 0,85 \cdot 1,35 \cdot (\text{ZS1}+\text{ZS2}+\text{ZS3}+\text{ZS4}) + 1,35 \cdot \text{ZS14} + 1,5 \cdot 0,3 \cdot \text{ZS8}$$

3.1.3 Kombinace pro návrh mostovky

3.1.3.1 Kombinace pro mostiny

$$\text{KZ13: } 1,35 \cdot \text{ZS15} + 1,5 \cdot \text{ZS16}$$

$$\text{KZ14: } 1,35 \cdot \text{ZS15} + 1,5 \cdot \text{ZS17}$$

3.1.3.2 Kombinace pro podélníky

$$\text{KZ15: } 1,35 \cdot \text{ZS18} + 1,5 \cdot \text{ZS19}$$

$$\text{KZ16: } 1,35 \cdot \text{ZS18} + 1,5 \cdot \text{ZS20}$$

3.2 Kombinace MSP

Návrh kombinací je proveden podle [1.]. Výraz pro výpočet kombinací:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{j \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

3.2.1 Součinitele zatížení

Zatížení	ψ_1	ψ_2
Chodci	0,4	0
Vítr	0,2	0
Ostatní	0,4	0

Největší účinky na průhyb mají kombinace, kdy jako dominantní působí zatížení od chodců. Vzhledem k této skutečnosti nejsou další kombinace uvažovány.

3.2.2 Použité kombinace zatížení

Stálé zatížení, dominantní zatížení chodci

KZ17: (ZS1+ZS2+ZS3+ZS4) +0,4 . ZS5

KZ18: (ZS1+ZS2+ZS3+ZS4) +0,4 . ZS6

KZ19: (ZS1+ZS2+ZS3+ZS4) +0,4 . ZS7

4. Návrh a posouzení konstrukce v MSÚ

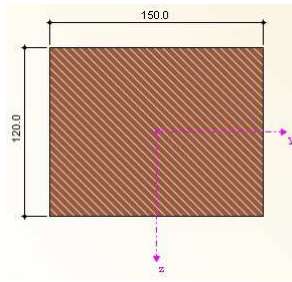
4.1 Dřevěná mostovka

Návrh a posouzení je provedeno podle [8.].

4.1.1 Návrh a posouzení mostiny

Mostiny jsou navrženy z dubového rostlého dřeva D30.

Je navržena mostina o výšce $h = 120$ mm a šířce $b = 150$ mm.



Obrázek 8 - Příčný řez mostinou

4.1.1.1 Materiálové charakteristiky

$$\gamma_m = 1,30$$

Pro rostlé dřevo o výšce u ohybu a šířce u tahu menší než 150 mm se mohou charakteristické hodnoty $f_{m,k}$ a $f_{t,0,k}$ zvětšit součinitelem k_h .

$$k_h = \min\left(\left(\frac{150}{h}\right)^{0,2}; 1,3\right)$$

h – výška pro ohýbané prvky nebo šířka pro tažené prvky v mm.

$$k_h = \min(1,05; 1,3) = 1,05$$

$$k_{mod} = 0,7$$

Pevnost v ohybu: $f_{m,k} = 30$ MPa

Pevnost ve smyku: $f_{v,k} = 4,0$ MPa

$E_{0,05} = 9200$ MPa

$$G_{0,05} = \frac{5}{6} \cdot G_{mean} = \frac{5}{6} \cdot 690 = 575 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 530 \text{ kg/m}^3$$

4.1.1.2 Vnitřní síly

Pro výpočet vnitřních sil byly použity kombinace:

$$\text{KZ13: } 1,35 \cdot \text{ZS15} + 1,5 \cdot \text{ZS16} \quad V_{zd} = 15,03 \text{ kN}$$

$$\text{KZ14: } 1,35 \cdot \text{ZS15} + 1,5 \cdot \text{ZS17} \quad M_{yd} = 1,8 \text{ kNm}$$

4.1.1.3 Průřezové charakteristiky

Výška mostiny $h = 120$ mm

Šířka mostiny	b =	150 mm
Moment setrvačnosti	I _y =	2,16 · 10 ⁷ mm ⁴
Moment setrvačnosti	I _z =	3,38 · 10 ⁷ mm ⁴
Elastický průřezový modul	W _{el,y} =	360000 mm ³
Torzní moment setrvačnosti	I _{tor} =	4,43 · 10 ⁷ mm ⁴

4.1.1.4 Posouzení

4.1.1.4.1 Jednoosý ohyb (v poli)

$$\sigma_{m,yd} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{1,8 \cdot 10^6}{360000} = 5 \text{ MPa}$$

$$f_{m,yd} = \frac{k_h \cdot k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_m} = \frac{1,05 \cdot 0,7 \cdot 30}{1,3} = 16,9 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{m,yd}}{f_{m,yd}} \leq 1,0 \quad \frac{5}{16,9} = 0,30 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

4.1.1.4.2 Příčná a torzní stabilita

$$l_{ef} = \frac{l}{0,8} + 2 \cdot h = \frac{470}{0,8} + 2 \cdot 120 = 828 \text{ mm}$$

Kritické napětí v ohybu

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{9200 \cdot 3,38 \cdot 10^7 \cdot 575 \cdot 4,43 \cdot 10^7}}{828 \cdot 360000} = 938,19 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{30}{938,19}} = 0,18 \leq 0,75 \quad \Rightarrow \quad k_{crit} = 1,0$$

Redukce pevnosti v důsledku příčné a torzní nestability. Torzní nestabilita nosníku nemá vliv na únosnost průřezu v ohybu.

4.1.1.4.3 Smyk (nad podporou)

$$\text{Pevnost ve smyku: } f_{v,d} = f_{v,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 4,0 \cdot \frac{0,7}{1,3} = 2,15 \text{ MPa}$$

$$k_{ef} = \frac{2}{3}$$

$$A_{eff} = h \cdot b \cdot k_{ef} = 120 \cdot 150 \cdot \frac{2}{3} = 12000 \text{ mm}^2$$

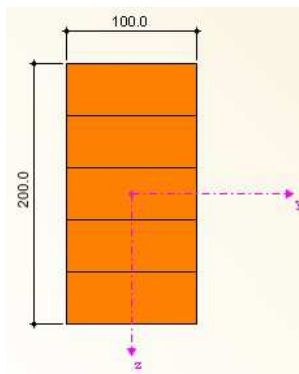
$$\text{Napětí ve smyku: } \tau_d = 1,5 \cdot V_{z,d} \cdot \frac{1000}{A_{eff}} = 1,5 \cdot 15,03 \cdot \frac{1000}{12000} = 1,88$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1,0 \quad \frac{1,88}{2,15} = \mathbf{0,87} \leq \mathbf{1,0} \quad \Rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

4.1.2 Návrh a posouzení podélníku

Podélníky jsou navrženy z lepeného lamelového dřeva GL24h.

Je navržen podélník o výšce $h = 200 \text{ mm}$ a šířce $b = 100 \text{ mm}$.



Obrázek 9 - Příčný řez podélníkem

4.1.2.1 Materiálové charakteristiky

$$\gamma_m = 1,25$$

Pro lepené lamelové dřevo o výšce u ohybu a šířce u tahu menší než 600 mm se mohou charakteristické hodnoty $f_{m,k}$ a $f_{t,0,k}$ zvětšit součinitelem k_h

$$k_h = \min\left(\left(\frac{600}{h}\right)^{0,1}; 1,1\right)$$

h – výška pro ohýbané prvky nebo šířka pro tažené prvky v mm.

$$k_h = \min(1,11; 1,1) = 1,1$$

$$k_{mod} = 0,7$$

Pevnost v ohybu: $f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$

Pevnost ve smyku: $f_{v,k} = 3,5 \text{ MPa}$

$$E_{0,05} = 9600 \text{ MPa}$$

$$G_{0,05} = 540 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 385 \text{ kg/m}^3$$

4.1.2.2 Vnitřní síly

Pro výpočet vnitřních sil byly použity kombinace:

$$\text{KZ15: } 1,35 \cdot \text{ZS18} + 1,5 \cdot \text{ZS19} \quad V_{zd} = 15,96 \text{ kN}$$

$$\text{KZ16: } 1,35 \cdot \text{ZS18} + 1,5 \cdot \text{ZS20} \quad M_{yd} = 5,08 \text{ kNm}$$

4.1.2.3 Průřezové charakteristiky

Výška mostiny	$h =$	200 mm
Šířka mostiny	$b =$	100 mm
Moment setrvačnosti	$I_y =$	$6,67 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$
Moment setrvačnosti	$I_z =$	$1,67 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$
Elastický průřezový modul	$W_{el,y} =$	$666666,7 \text{ mm}^3$
Torzní moment setrvačnosti	$I_{tor} =$	$4,58 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$

4.1.2.4 Posouzení

4.1.2.4.1 Jednoosý ohyb (v poli)

Určení součinitele k_r – zohledňuje snížení pevnosti lamel během výroby:

$$\text{tloušťka lamely nosníku} \quad t = 40 \text{ mm}$$

$$\text{výška nosníku ve vrcholu} \quad h_{ap} = 200 \text{ mm}$$

$$\text{vnitřní poloměr nosníku} \quad r_{in} = r - 0,5 \cdot h_{ap} = 1376000 - 0,5 \cdot 200 = 1375900 \text{ mm}$$

$$r_{in}/t = 1375900/40 = 34398 \geq 240 \quad \Rightarrow \quad k_r = 1,0$$

Určení součinitele k_l :

$$k_l = k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^3$$

úhel sklonu náběhu ve středu vrcholové oblasti: $\alpha_{ap} = 0$

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \tan \alpha_{ap} + 5,4 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} = 1,0$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \tan \alpha_{ap} = 0,35$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \tan \alpha_{ap} - 7,8 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} = 0,6$$

$$k_4 = 6 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} = 0$$

$$k_l = 1,0 + 0,35 \cdot \left(\frac{200}{1376000}\right) + 0,6 \cdot \left(\frac{200}{1376000}\right)^2 + 0 = 1,0$$

Napětí:

$$\sigma_{m,yd} = k_l \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 1,0 \cdot \frac{6 \cdot 5,08 \cdot 10^6}{100 \cdot 200^2} = 7,62 \text{ MPa}$$

$$f_{m,yd} = \frac{k_h \cdot k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_m} = \frac{1,1 \cdot 0,7 \cdot 24}{1,25} = 14,78 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{m,yd}}{f_{m,yd}} \leq 1,0 \quad \frac{7,62}{14,78} = \mathbf{0,52} \leq \mathbf{1,0} \quad \Rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

4.1.2.4.2 Příčná a torzní stabilita

$$l_{ef} = \frac{l}{0,9} + 2 \cdot h = \frac{1450}{0,9} + 2 \cdot 200 = 2011 \text{ mm}$$

Kritické napětí v ohybu

$$\begin{aligned} \sigma_{m,crit} &= \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{9600 \cdot 1,67 \cdot 10^7 \cdot 540 \cdot 4,58 \cdot 10^7}}{2011 \cdot 666666,7} \\ &= 147,37 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{147,37}} = 0,40 \leq 0,75 \quad \Rightarrow \quad k_{crit} = 1,0$$

Redukce pevnosti v důsledku příčné a torzní nestability. Torzní nestabilita nosníku nemá vliv na únosnost průřezu v ohybu.

4.1.2.4.3 Smyk (nad podporou)

$$\text{Pevnost ve smyku: } f_{v,d} = f_{v,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 3,5 \cdot \frac{0,7}{1,25} = 1,96 \text{ MPa}$$

$$k_{ef} = \frac{2}{3}$$

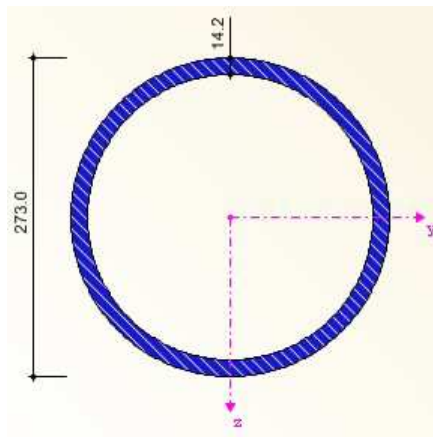
$$A_{eff} = h \cdot b \cdot k_{ef} = 200 \cdot 100 \cdot \frac{2}{3} = 13333,3 \text{ mm}^2$$

$$\text{Napětí ve smyku: } \tau_d = 1,5 \cdot V_{z,d} \cdot \frac{1000}{A_{eff}} = 1,5 \cdot 15,96 \cdot \frac{1000}{13333,3} = 1,80$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1,0 \quad \frac{1,80}{1,96} = 0,92 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

4.2 Obloukový nosník

Návrh a posouzení je provedeno podle [6.]



Obrázek 10 - Průřez obloukového nosníku

4.2.1 Materiálové charakteristiky

Ocel S355 J2+N

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

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$E = 210\,000 \text{ MPa}$$

$$G = 81\,000 \text{ MPa}$$

$$\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$$\varepsilon = 0,81$$

4.2.2 Průřezové charakteristiky

Vnější průměr

D = 273 mm

Tloušťka stěny	$s =$	14,2 mm
Plocha průřezu	$A =$	11545,2 mm ²
Smyková plocha	$A_V =$	5735mm ²
Moment setrvačnosti	$I_y = I_z =$	9,7 · 10 ⁷ mm ⁴
Elastický průřezový modul	$W_{el,y} = W_{el,z} =$	710254 mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = W_{pl,z} =$	952034 mm ³

4.2.3 Zatřídění průřezu

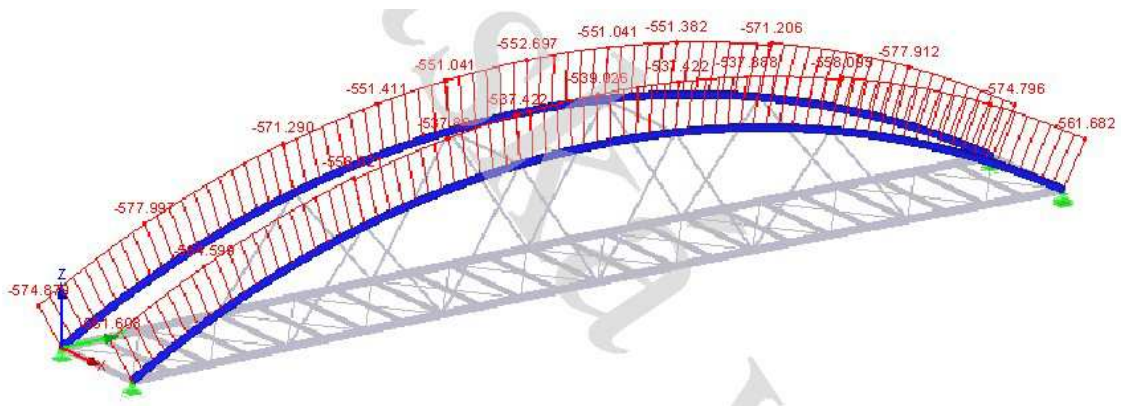
$$\frac{D}{s} = \frac{273}{14,2} = 19,2 < 50\varepsilon^2 = 33,1 \quad \Rightarrow \text{Průřez I. třídy}$$

4.2.4 Posouzení na tlak za ohybu

Ve výpočetním modelu RFEM byl spočítán kritický součinitel a následně spočítána síla N_{CR} . Posudek pro tlak za ohybu vychází z těchto hodnot.

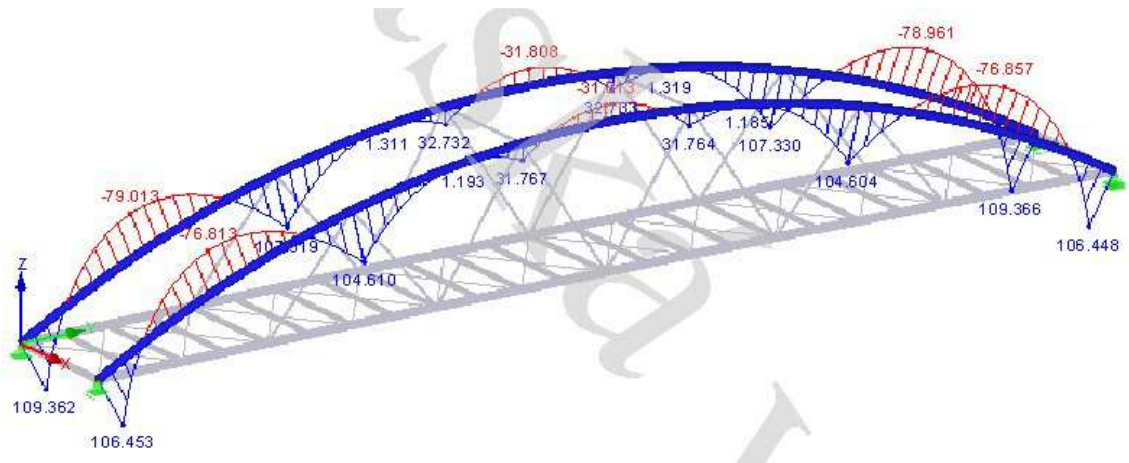
4.2.4.1 Rozhodující kombinace a vnitřní síly

$$KZ1: 0,85 \cdot 1,35 \cdot (ZS1+ZS2+ZS3+ZS4) + 1,35 \cdot ZS5 + 1,5 \cdot 0,3 \cdot ZS8$$



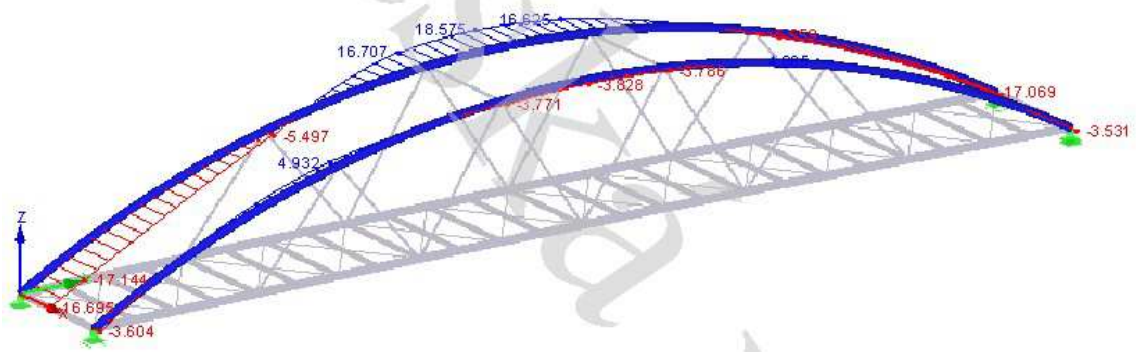
Obrázek 11 - Obloukový nosník - N_{ED}

$$N_{ED} = -577,9 \text{ kN}$$



Obrázek 12 - Obloukový nosník - $M_{y,ED}$

$$M_{y,ED} = 107,3 \text{ kNm}$$



Obrázek 13 - Obloukový nosník - $M_{z,ED}$

$$M_{z,ED} = -5,5 \text{ kNm}$$

4.2.4.2 Posouzení

$$N_{RK} = A \cdot f_y = 11545,2 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 4098,5 \text{ kN}$$

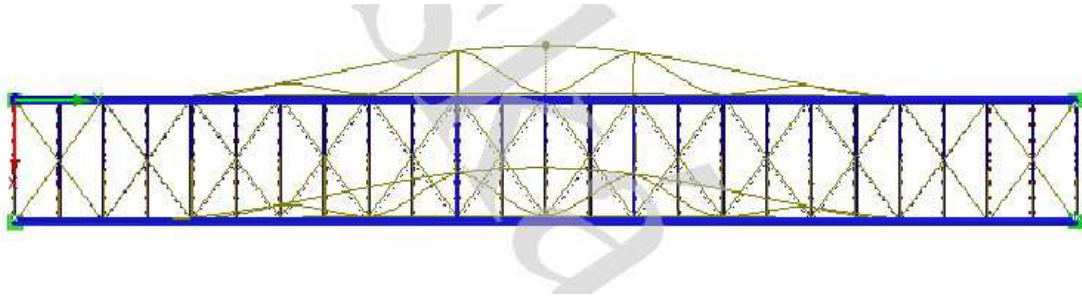
$$M_{y,RK} = W_{pl,y} \cdot f_y = 952034 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 338,0 \text{ kNm}$$

$$M_{z,RK} = W_{pl,z} \cdot f_y = 952034 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 338,0 \text{ kNm}$$

Jelikož je uvažováno vybočení s posuvem styčniců, součinitele ekvivalentního konstantního momentu jsou:

$$C_{my} = C_{mz} = 0,9$$

Výstup ze softwaru RF – Stability: $\alpha_{cr} = 2,82$



Obrázek 14 - Obloukový nosník - α_{cr}

$$N_{CR} = \alpha \cdot N_{ED} = 2,82 \cdot 577,9 = 1629,7 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{CR}}} = \sqrt{\frac{11545,2 \cdot 355}{1629700}} = 1,59$$

$$\alpha = 0,21 \text{ (křivka vztěrnosti a)}$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (1,59 - 0,2) + 1,59^2) = 1,90$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,90 + \sqrt{1,90^2 - 1,59^2}} = 0,34$$

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

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} c_{my} \left[1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \frac{N_{ED}}{\chi \gamma_{M1} \frac{N_{RK}}{\chi}} \right] \\ c_{my} \left[1 + 0,8 \frac{N_{ED}}{\chi \gamma_{M1} \frac{N_{RK}}{\chi}} \right] \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{l} 0,9 \left[1 + (1,59 - 0,2) \frac{577,9}{0,34 \frac{4098,5}{1,1}} \right] \\ 0,9 \left[1 + 0,8 \frac{577,9}{0,34 \frac{4098,5}{1,1}} \right] \end{array} \right) = \min (1,47; 1,23)$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,23 = 0,74$$

$$k_{zz} = \min \left(\begin{array}{l} c_{mz} \left[1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \frac{N_{ED}}{\chi \gamma_{M1} \frac{N_{RK}}{\chi}} \right] \\ c_{mz} \left[1 + 0,8 \frac{N_{ED}}{\chi \gamma_{M1} \frac{N_{RK}}{\chi}} \right] \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{l} 0,9 \left[1 + (1,59 - 0,2) \frac{577,9}{0,34 \frac{4098,5}{1,1}} \right] \\ 0,9 \left[1 + 0,8 \frac{577,9}{0,34 \frac{4098,5}{1,1}} \right] \end{array} \right) = \min (1,47; 1,23)$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,23 = 0,74$$

Posouzení - směr Y

$$\frac{N_{ED}}{\chi_y N_{RK} \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,ED}}{M_{y,RK} \gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,ED}}{M_{z,RK} \gamma_{M1}} = \frac{577,9}{0,34 \cdot 4098,5 \cdot 1,1} + 1,23 \frac{107,3}{338,0 \cdot 1,1} + 0,74 \frac{5,5}{338,0 \cdot 1,1} = 0,90$$

$$0,90 \leq 1,0$$

=> VYHOVUJE

Posouzení – směr Z

$$\frac{N_{ED}}{\frac{\chi_y N_{RK}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,ED}}{\frac{M_{y,RK}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,ED}}{\frac{M_{z,RK}}{\gamma_{M1}}} = \frac{577,9}{\frac{0,34 \cdot 4098,5}{1,1}} + 0,74 \frac{107,3}{\frac{338,0}{1,1}} + 1,23 \frac{5,5}{\frac{338,0}{1,1}} = 0,69$$

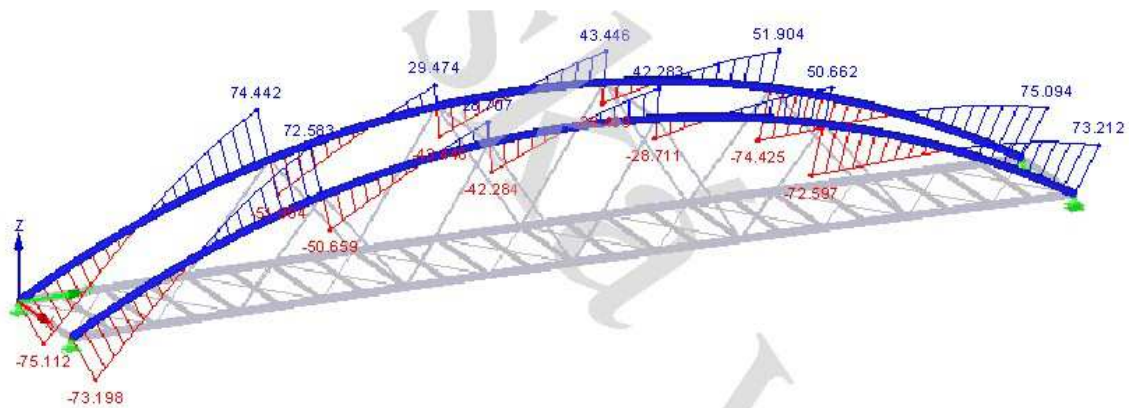
$$0,69 \leq 1,0$$

=> **VYHOVUJE**

4.2.5 Posouzení na smyk

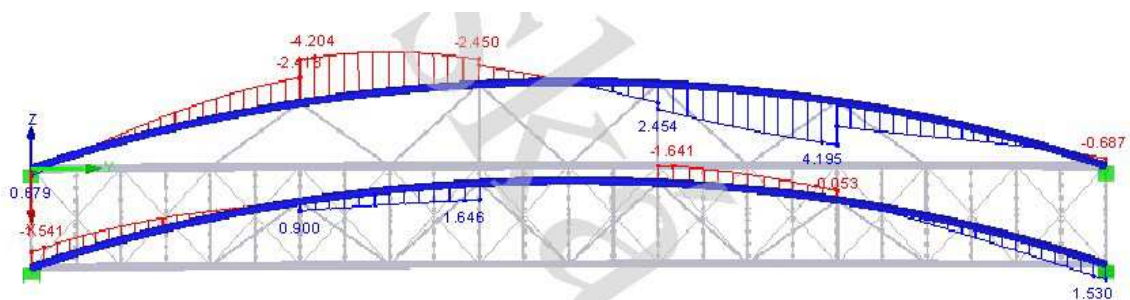
4.2.5.1 Rozhodující kombinace a vnitřní síly

$$KZ1: 0,85 \cdot 1,35 \cdot (ZS1+ZS2+ZS3+ZS4) + 1,35 \cdot ZS5 + 1,5 \cdot 0,3 \cdot ZS8$$



Obrázek 15 - Obloukový nosník - $V_{z,ED}$

$$V_{z,ED} = 75,7 \text{ kN}$$



Obrázek 16 - Obloukový nosník - $V_{y,ED}$

$$V_{y,ED} = 4,2 \text{ kN}$$

4.2.5.2 Posouzení

$$A_{v,z} = 5735 \text{ mm}^2$$

$$V_{z,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{5735 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 1175,4 \text{ kN}$$

$$V_{z,ED} < V_{z,Rd}/2$$

$$75,7 \text{ kN} < 587,7 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{MALÝ SMYK}$$

Jelikož se jedná o malý smyk, není nutné dále posuzovat. \Rightarrow **PRŮŘEZ VYHOVUJE**

$$A_{v,y} = 5735 \text{ mm}^2$$

$$V_{y,Rd} = \frac{A_{vy} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{5735 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 1175,4 \text{ kN}$$

$$V_{y,ED} < V_{y,Rd}/2$$

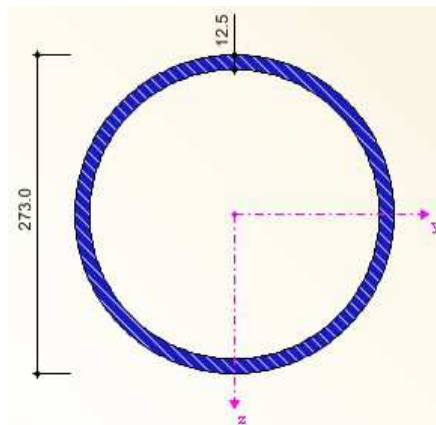
$$4,1 \text{ kN} < 587,7 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{MALÝ SMYK}$$

Jelikož se jedná o malý smyk, není nutné dále posuzovat. \Rightarrow **PRŮŘEZ VYHOVUJE**

\Rightarrow **OBLOUKOVÝ NOSNÍK VYHOVUJE.**

4.3 Hlavní nosník

Návrh a posouzení je provedeno podle [6.].



Obrázek 17 - Průřez hlavního nosníku

4.3.1 Materiálové charakteristiky

Ocel S355 J2+N

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

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$E = 210\,000 \text{ MPa}$$

$$G = 81\,000 \text{ MPa}$$

$$\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$$\varepsilon = 0,81$$

4.3.2 Průřezové charakteristiky

Vnější průměr	D =	273 mm
Tloušťka stěny	s =	12,5 mm
Plocha průřezu	A =	10229,8 mm ²
Smyková plocha	A _V =	5079,2mm ²
Moment setrvačnosti	I _y = I _z =	8,7 · 10 ⁷ mm ⁴
Elastický průřezový modul	W _{el,y} = W _{el,z} =	637176 mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,y} = W _{pl,z} =	848904 mm ³

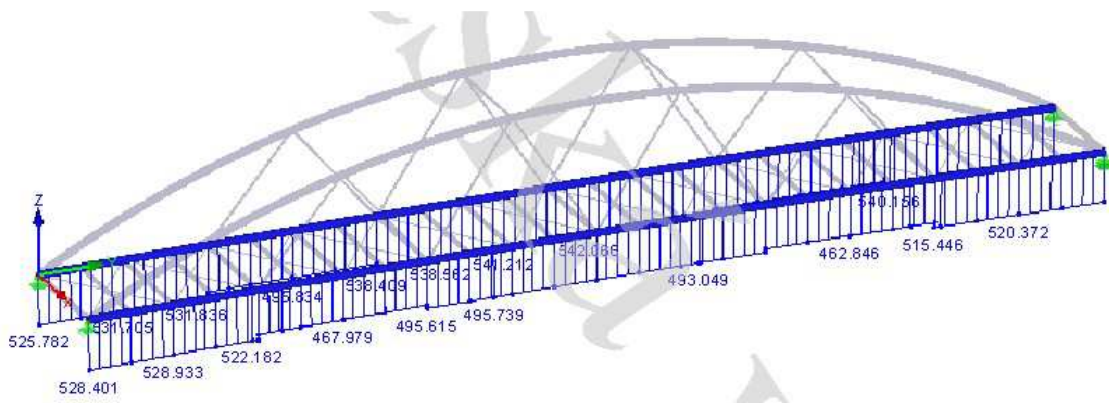
4.3.3 Zatřídění průřezu

$$\frac{D}{s} = \frac{273}{12,5} = 21,8 < 50\varepsilon^2 = 33,1 \quad \Rightarrow \text{Průřez I. třídy}$$

4.3.4 Posouzení na tah za ohybu

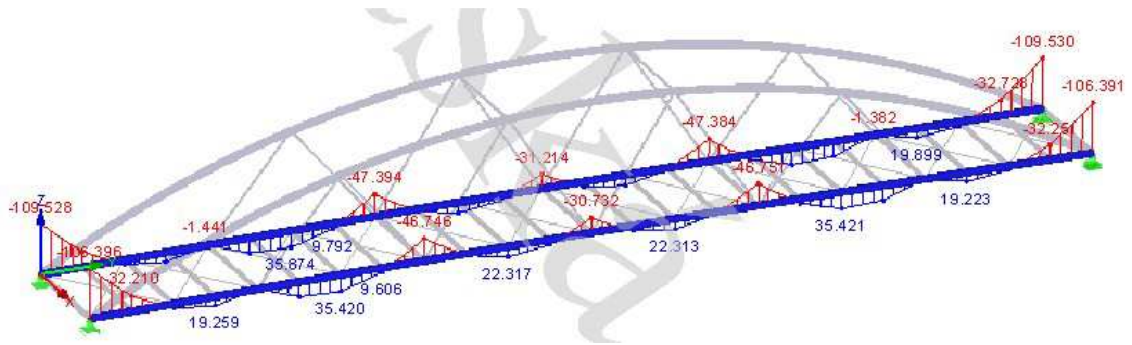
4.3.4.1 Rozhodující kombinace a vnitřní síly

$$\text{KZ1: } 0,85 \cdot 1,35 \cdot (\text{ZS1} + \text{ZS2} + \text{ZS3} + \text{ZS4}) + 1,35 \cdot \text{ZS5} + 1,5 \cdot 0,3 \cdot \text{ZS8}$$



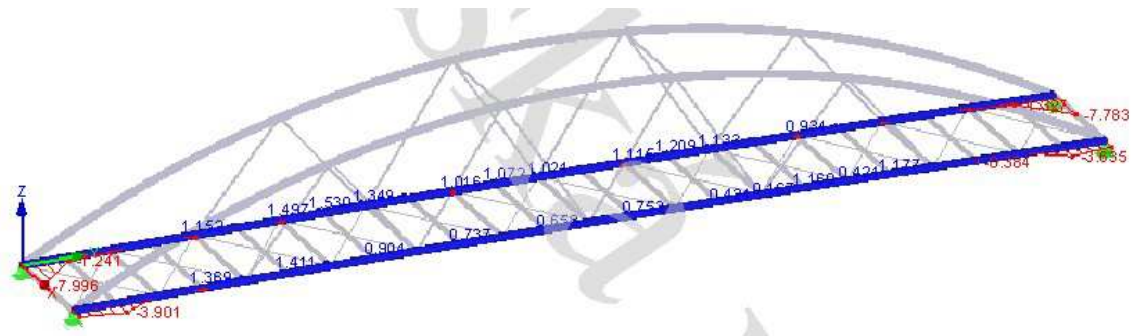
Obrázek 18 - Hlavní nosník - N_{ED}

$$N_{ED} = 542,1 \text{ kN}$$



Obrázek 19 - Hlavní nosník - $M_{y,ED}$

$$M_{y,ED} = 22,8 \text{ kNm}$$



Obrázek 20 - Hlavní nosník - $M_{z,ED}$

$$M_{z,ED} = -1,08 \text{ kNm}$$

4.3.4.2 Posouzení

$$N_{RK} = A \cdot f_y = 10229,8 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 3631,6 \text{ kN}$$

$$M_{y,RK} = W_{pl,y} \cdot f_y = 848904 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 301,4 \text{ kNm}$$

$$M_{z,RK} = W_{pl,z} \cdot f_y = 848904 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 301,4 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{ED}}{\gamma_{M1} N_{RK}} + \frac{M_{y,ED}}{\gamma_{M1} M_{y,RK}} + \frac{M_{z,ED}}{\gamma_{M1} M_{z,RK}} = \frac{542,1}{1,1 \cdot 3631,6} + \frac{22,8}{1,1 \cdot 301,4} + \frac{1,08}{1,1 \cdot 301,4} = 0,21$$

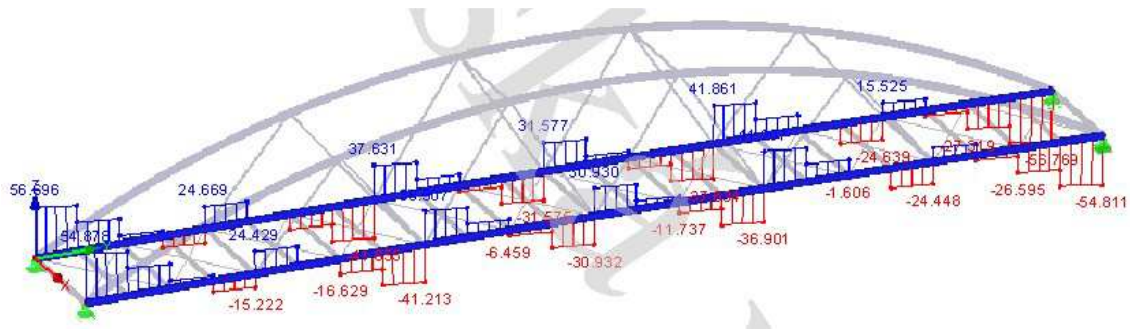
$$0,21 \leq 1,0$$

=> **VYHOVUJE**

4.3.5 Posouzení na smyk

4.3.5.1 Rozhodující kombinace a vnitřní síly

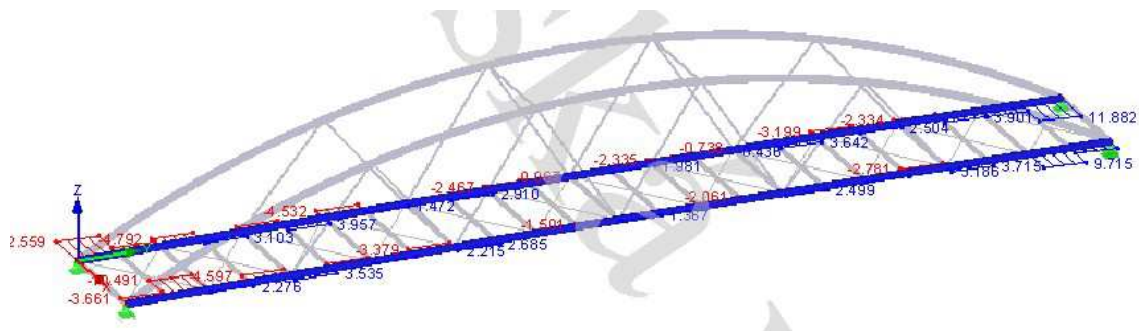
$$KZ1: 0,85 \cdot 1,35 \cdot (ZS1+ZS2+ZS3+ZS4) + 1,35 \cdot ZS5 + 1,5 \cdot 0,3 \cdot ZS8$$



Obrázek 21 - Hlavní nosník - $V_{z,ED}$

$$V_{z,ED} = 56,7 \text{ kN}$$

$$KZ4: 0,85 \cdot 1,35 \cdot (ZS1+ZS2+ZS3+ZS4) + 1,5 \cdot ZS8 + 1,35 \cdot 0,4 \cdot ZS5$$



Obrázek 22 - Hlavní nosník - $V_{y,ED}$

$$V_{y,ED} = 12,6 \text{ kN}$$

4.3.5.2 Posouzení

$$A_{V,z} = 5079,2 \text{ mm}^2$$

$$V_{z,Rd} = \frac{A_{Vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{5079,2 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 1041,0 \text{ kN}$$

$$V_{z,ED} < V_{z,Rd}/2$$

$$56,7 \text{ kN} < 520,5 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{MALÝ SMYK}$$

Jelikož se jedná o malý smyk, není nutné dále posuzovat. \Rightarrow **PRŮŘEZ VYHOVUJE**

$$A_{V,y} = 5079,2 \text{ mm}^2$$

$$V_{y,Rd} = \frac{A_{Vy} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{5079,2 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 1041,0 \text{ kN}$$

$$V_{y,ED} < V_{y,Rd}/2$$

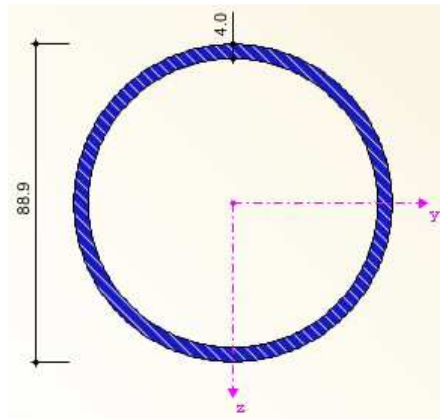
$$12,6 \text{ kN} < 520,5 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{MALÝ SMYK}$$

Jelikož se jedná o malý smyk, není nutné dále posuzovat. => **PRŮŘEZ VYHOVUJE**

=> **HLAVNÍ NOSNÍK VYHOVUJE.**

4.4 Táhla

Návrh a posouzení je provedeno podle [6.].



Obrázek 23 - Průřez táhlem

4.4.1 Materiálové charakteristiky

Ocel S355 J2+N

$f_y = 355 \text{ MPa}$

$f_u = 510 \text{ MPa}$

$E = 210\,000 \text{ MPa}$

$G = 81\,000 \text{ MPa}$

$\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

$\varepsilon = 0,81$

4.4.2 Průřezové charakteristiky

Vnější průměr	D =	88,9 mm
Tloušťka stěny	s =	4 mm
Plocha průřezu	A =	$1066,9 \text{ mm}^2$
Smyková plocha	$A_V =$	$529,7 \text{ mm}^2$
Moment setrvačnosti	$I_y = I_z =$	$4,8 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$

Elastický průřezový modul

$$W_{el,y} = W_{el,z} = 398917 \text{ mm}^3$$

Plastický průřezový modul

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 28853,4 \text{ mm}^3$$

4.4.3 Zatřídění průřezu

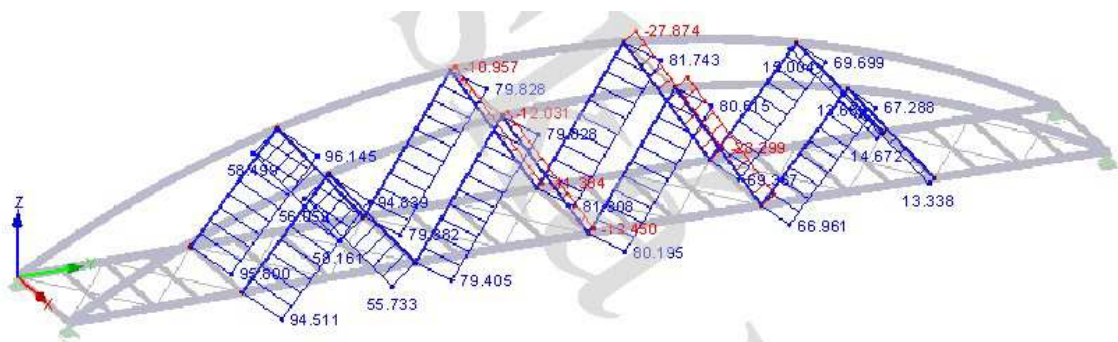
$$\frac{D}{s} = \frac{88,9}{4} = 22,2 < 50\varepsilon^2 = 33,1$$

=> Průřez I. třídy

4.4.4 Posouzení na tah za ohybu

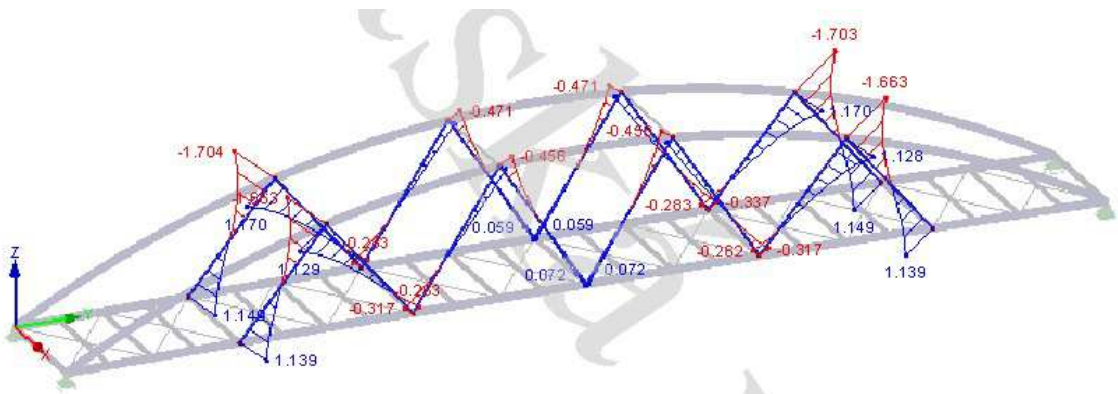
4.4.4.1 Rozhodující kombinace a vnitřní síly

$$\text{KZ2: } 0,85 \cdot 1,35 \cdot (\text{ZS1} + \text{ZS2} + \text{ZS3} + \text{ZS4}) + 1,35 \cdot \text{ZS6} + 1,5 \cdot 0,3 \cdot \text{ZS8}$$



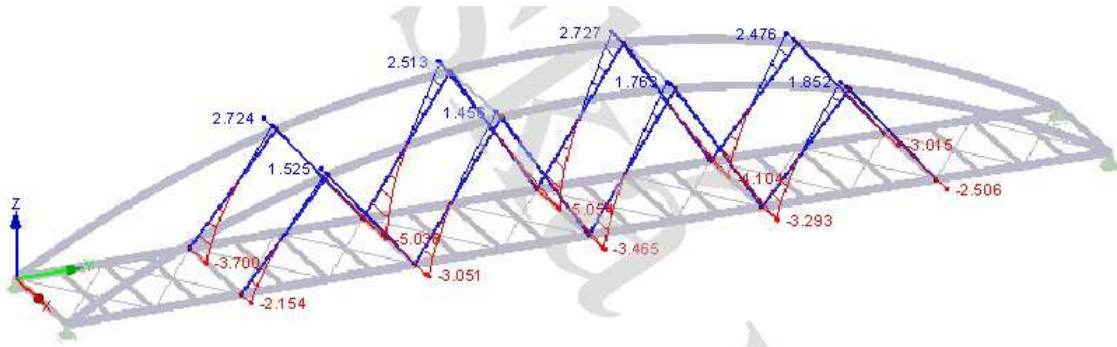
Obrázek 24 – Tábla, tah - N_{ED}

$$N_{ED} = 96,1 \text{ kN}$$



Obrázek 25 – Tábla, tah - $M_{y,ED}$

$$M_{y,ED} = -1,7 \text{ kNm}$$



Obrázek 26 – Táhla, tah - $M_{z,ED}$

$$M_{z,ED} = -3,7 \text{ kNm}$$

4.4.4.2 Posouzení

$$N_{RK} = A \cdot f_y = 1066,9 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 378,8 \text{ kN}$$

$$M_{y,RK} = W_{pl,y} \cdot f_y = 28853,4 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 10,2 \text{ kNm}$$

$$M_{z,RK} = W_{pl,z} \cdot f_y = 28853,4 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 10,2 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{RK}} + \frac{M_{y,ED}}{M_{y,RK}} + \frac{M_{z,ED}}{M_{z,RK}} = \frac{96,1}{378,8} + \frac{1,7}{10,2} + \frac{3,7}{10,2} = 0,71$$

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

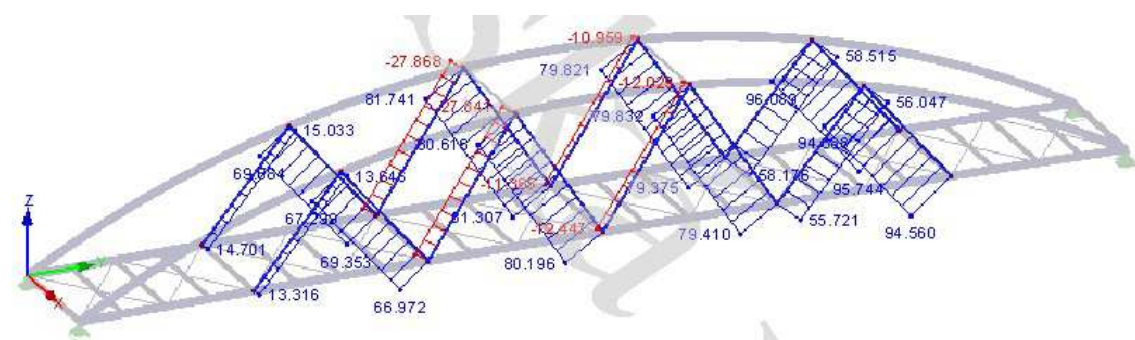
$$0,71 \leq 1,0$$

\Rightarrow VYHOVUJE

4.4.5 Posouzení na tlak za ohybu

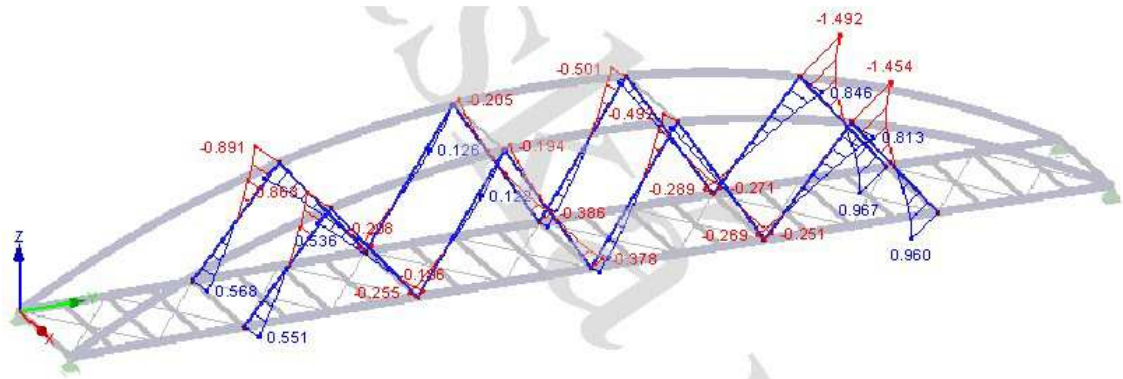
4.4.5.1 Rozhodující kombinace a vnitřní síly

$$\text{KZ3: } 0,85 \cdot 1,35 \cdot (\text{ZS1} + \text{ZS2} + \text{ZS3} + \text{ZS4}) + 1,35 \cdot \text{ZS7} + 1,5 \cdot 0,3 \cdot \text{ZS8}$$



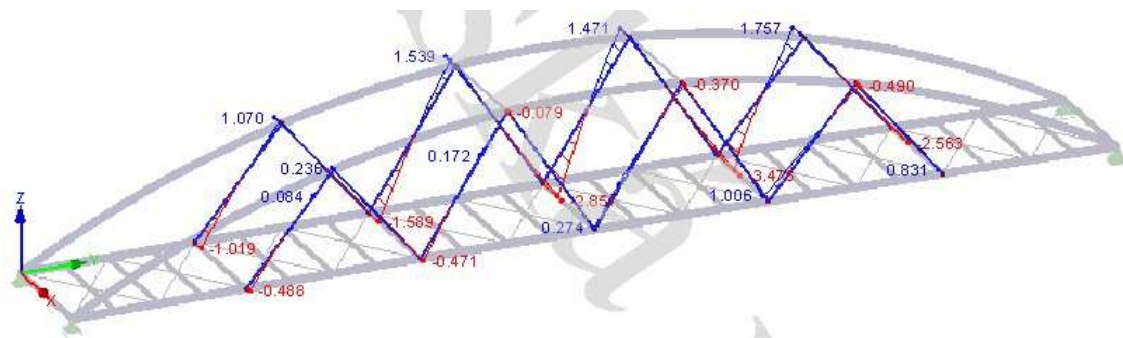
Obrázek 27 - Táhla, tlak - N_{ED}

$$N_{ED} = -28,0 \text{ kN}$$



Obrázek 28 - Táhla, tlak - $M_{y,ED}$

$$M_{y,ED} = -0,2 \text{ kNm}$$



Obrázek 29 - Táhla, tlak - $M_{z,ED}$

$$M_{z,ED} = -1,6 \text{ kNm}$$

4.4.5.2 Posouzení

$$N_{RK} = A \cdot f_y = 1066,9 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 378,8 \text{ kN}$$

$$M_{y,RK} = W_{pl,y} \cdot f_y = 28853,4 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 10,2 \text{ kNm}$$

$$M_{z,RK} = W_{pl,z} \cdot f_y = 28853,4 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 10,2 \text{ kNm}$$

Jelikož je uvažováno vybočení s posuvem styčnicků, součinitele ekvivalentního konstantního momentu jsou:

$$C_{my} = C_{mz} = 0,9$$

Vzpěrná délka táhla (brána jako polovina délky posuzovaného táhla).

$$L_{cr} = 2631,5 \text{ mm}$$

$$N_{CR} = \left(\frac{\pi}{L_{cr}}\right)^2 \cdot E \cdot I_y = \left(\frac{\pi}{2631,5}\right)^2 \cdot 210000 \cdot 4,8 \cdot 10^7 = 14327,7 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{CR}}} = \sqrt{\frac{1066,9 \cdot 355}{14327700}} = 0,16$$

$$\alpha = 0,21 \text{ (křivka vzpěrnosti a)}$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (0,16 - 0,2) + 0,16^2) = 0,51$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,51 + \sqrt{0,51^2 - 0,16^2}} = 1,01$$

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

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} c_{my} \left[1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \frac{N_{ED}}{\chi \gamma_{M1} N_{RK}} \right] \\ c_{my} \left[1 + 0,8 \frac{N_{ED}}{\chi \gamma_{M1} N_{RK}} \right] \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{l} 0,9 \left[1 + (0,16 - 0,2) \frac{28,0}{1,01 \cdot \frac{378,8}{1,1}} \right] \\ 0,9 \left[1 + 0,8 \frac{28,0}{1,01 \cdot \frac{378,8}{1,1}} \right] \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{l} \mathbf{0,90} \\ \mathbf{0,96} \end{array} \right)$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,90 = 0,54$$

$$k_{zz} = \min \left(\begin{array}{l} c_{mz} \left[1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \frac{N_{ED}}{\chi \gamma_{M1} N_{RK}} \right] \\ c_{mz} \left[1 + 0,8 \frac{N_{ED}}{\chi \gamma_{M1} N_{RK}} \right] \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{l} 0,9 \left[1 + (0,16 - 0,2) \frac{28,0}{1,01 \cdot \frac{378,8}{1,1}} \right] \\ 0,9 \left[1 + 0,8 \frac{28,0}{1,01 \cdot \frac{378,8}{1,1}} \right] \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{l} \mathbf{0,90} \\ \mathbf{0,96} \end{array} \right)$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,90 = 0,54$$

Posouzení – směr Y

$$\frac{N_{ED}}{\chi_y N_{RK} \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,ED}}{M_{y,RK} \gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,ED}}{M_{z,RK} \gamma_{M1}} = \frac{28,0}{1,01 \cdot 378,8 \cdot 1,1} + 0,90 \frac{0,2}{10,2 \cdot 1,1} + 0,54 \frac{1,6}{10,2 \cdot 1,1} = 0,19$$

$$\mathbf{0,19 \leq 1,0}$$

=> VYHOVUJE

Posouzení – směr Z

$$\frac{N_{ED}}{\chi_y N_{RK} \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,ED}}{M_{y,RK} \gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,ED}}{M_{z,RK} \gamma_{M1}} = \frac{28,0}{1,01 \cdot 378,8 \cdot 1,1} + 0,54 \frac{0,2}{10,2 \cdot 1,1} + 0,90 \frac{1,6}{10,2 \cdot 1,1} = 0,22$$

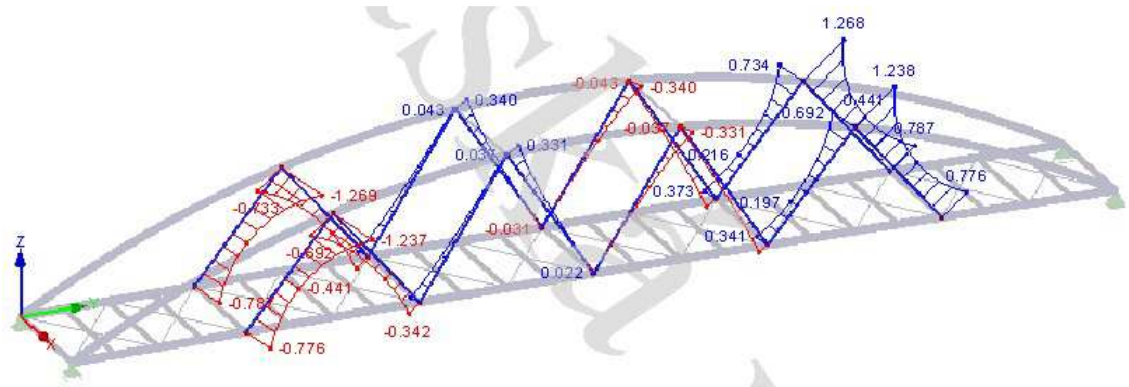
$$\mathbf{0,22 \leq 1,0}$$

=> VYHOVUJE

4.4.6 Posouzení na smyk

4.4.6.1 Rozhodující kombinace a vnitřní síly

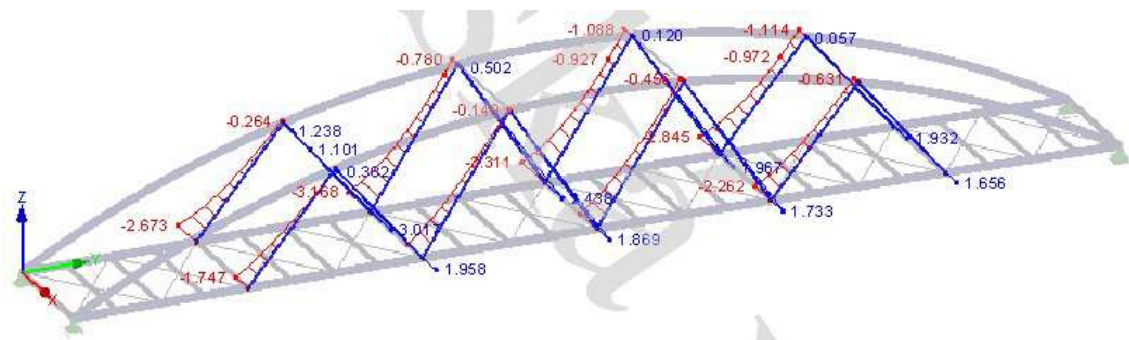
$$KZ1: 0,85 \cdot 1,35 \cdot (ZS1+ZS2+ZS3+ZS4) + 1,35 \cdot ZS5 + 1,5 \cdot 0,3 \cdot ZS8$$



Obrázek 30 - Táhla - $V_{z,ED}$

$$V_{z,ED} = 1,3 \text{ kN}$$

$$KZ5: 0,85 \cdot 1,35 \cdot (ZS1+ZS2+ZS3+ZS4) + 1,5 \cdot ZS8 + 1,35 \cdot 0,4 \cdot ZS6$$



Obrázek 31 - Táhla - $V_{y,ED}$

$$V_{y,ED} = -3,3 \text{ kN}$$

4.4.6.2 Posouzení

$$A_{v,z} = 529,7 \text{ mm}^2$$

$$V_{z,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{529,7 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 108,6 \text{ kN}$$

$$V_{z,ED} < V_{z,Rd}/2$$

$$1,3 \text{ kN} < 54,3 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{MALÝ SMYK}$$

Jelikož se jedná o malý smyk, není nutné dále posuzovat. \Rightarrow **PRŮŘEZ VYHOVUJE**

$$A_{v,y} = 529,7 \text{ mm}^2$$

$$V_{y,Rd} = \frac{A_{vy} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{529,7 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 108,6 \text{ kN}$$

$$V_{y,ED} < V_{y,Rd}/2$$

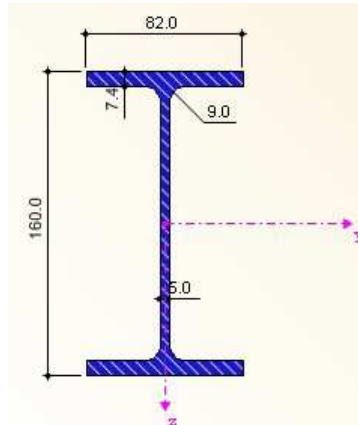
$3,3 \text{ kN} \leq 54,3 \text{ kN} \Rightarrow$ MALÝ SMYK

Jelikož se jedná o malý smyk, není nutné dále posuzovat. \Rightarrow PRŮŘEZ VYHOVUJE

\Rightarrow TÁHLA VYHOVUJÍ.

4.5 Příčnický

Návrh a posouzení je provedeno podle [6.].



Obrázek 32 - Průřez příčnický

4.5.1 Materiálové charakteristiky

Ocel S355 J2+N

$f_y = 355 \text{ MPa}$

$f_u = 510 \text{ MPa}$

$E = 210\,000 \text{ MPa}$

$G = 81\,000 \text{ MPa}$

$\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

$\varepsilon = 0,81$

4.5.2 Průřezové charakteristiky

Výška profilu $h = 160 \text{ mm}$

Šířka profilu $b = 82 \text{ mm}$

Tloušťka stojiny $s = 5 \text{ mm}$

Tloušťka pásnice $t = 7,4 \text{ mm}$

Plocha průřezu	$A =$	2010 mm ²
Smyková plocha	$A_{V,y} =$	1016,8 mm ²
Smyková plocha	$A_{V,z} =$	733,3 mm ²
Moment setrvačnosti	$I_y =$	8,69 · 10 ⁶ mm ⁴
Moment setrvačnosti	$I_z =$	6,83 · 10 ⁵ mm ⁴
Moment tuhosti v kroucení	$I_t =$	36200 mm ⁴
Výsečový moment setrvačnosti	$I_{\omega} =$	3,96 · 10 ⁹ mm ⁶
Elastický průřezový modul	$W_{el,y} =$	109000 mm ³
Elastický průřezový modul	$W_{el,z} =$	16700 mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} =$	123800 mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z} =$	26100 mm ³

4.5.3 Zatřídění průřezu

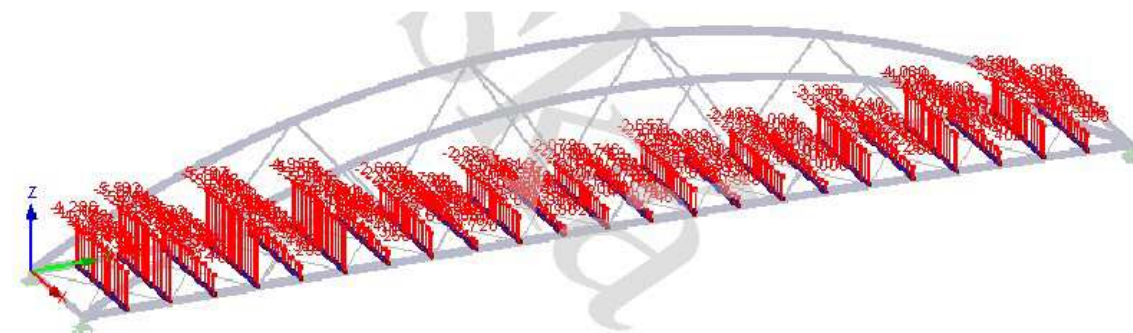
Pásnice: $\frac{c}{t} = \frac{38,5}{7,4} = 5,2 < 9\varepsilon = 7,3 \quad \Rightarrow$ Průřez I. třídy

Stojina: $\frac{c}{t} = \frac{145,2}{5} = 29,0 < 72\varepsilon = 58,6 \quad \Rightarrow$ Průřez I. třídy

4.5.4 Posouzení na tlak za ohybu s vlivem klopení

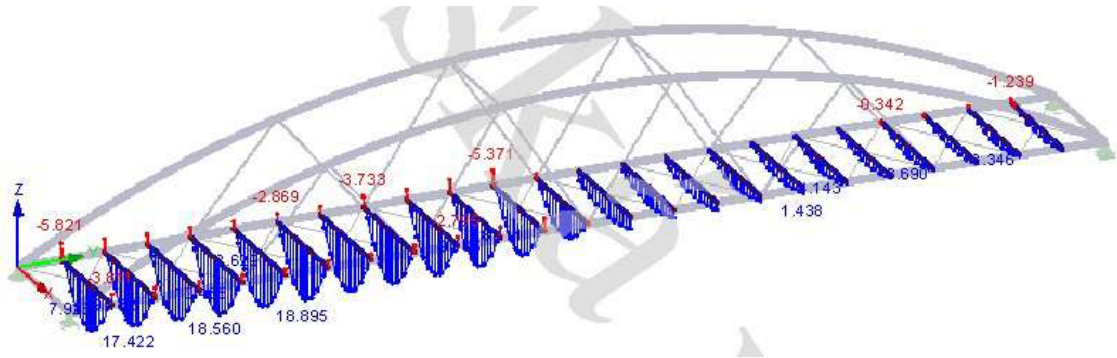
4.5.4.1 Rozhodující kombinace a vnitřní síly

KZ2: 0,85 · 1,35 · (ZS1+ZS2+ZS3+ZS4) + 1,35 · ZS6 + 1,5 · 0,3 · ZS8



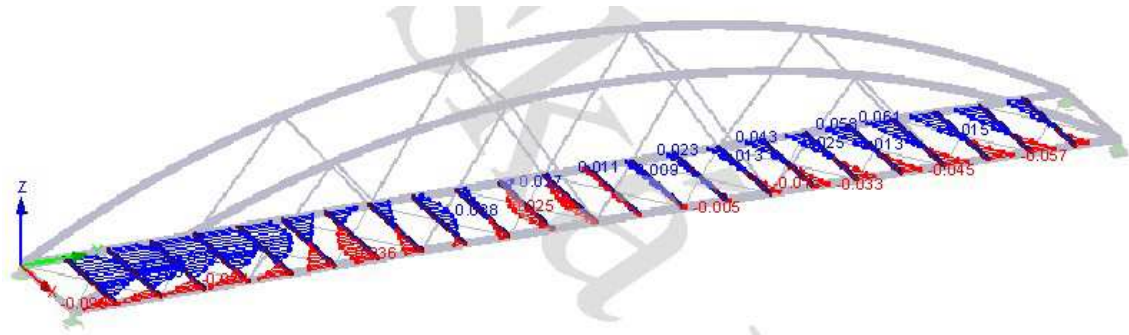
Obrázek 33 - Příčnůky - N_{ED}

$N_{ED} = -5,3 \text{ kN}$



Obrázek 34 - Příčnický - $M_{y,ED}$

$$M_{y,ED} = 18,9 \text{ kNm}$$



Obrázek 35 - Příčnický - $M_{z,ED}$

$$M_{z,ED} = 0,03 \text{ kNm}$$

4.5.4.2 Posouzení

$$N_{RK} = A \cdot f_y = 2010 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 713,6 \text{ kN}$$

$$M_{y,RK} = W_{pl,y} \cdot f_y = 123800 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 43,9 \text{ kNm}$$

$$M_{z,RK} = W_{pl,z} \cdot f_y = 26100 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 9,3 \text{ kNm}$$

Součinitele ekvivalentního konstantního momentu jsou brány jako bezpečné hodnoty:

$$C_{my} = C_{mz} = 0,9$$

Vzpěrná délka příčnicku (brána jako celková délka příčnicku).

$$L_{cr} = 4000 \text{ mm}$$

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

4.5.4.2.1 Směr Y

$$N_{CR,y} = \left(\frac{\pi}{L_{cr}} \right)^2 \cdot E \cdot I_y = \left(\frac{\pi}{4000} \right)^2 \cdot 210000 \cdot 8,69 \cdot 10^6 = 1125,7 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{CR,y}}} = \sqrt{\frac{2010 \cdot 355}{1125700}} = 0,80$$

$\alpha = 0,21$ (křivka vzpěrnosti a)

$$\phi_y = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (0,8 - 0,2) + 0,8^2) = 0,88$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,88 + \sqrt{0,88^2 - 0,80^2}} = 0,80$$

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{c} c_{my} \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{ED}}{\chi_y \gamma_{M1} N_{RK}} \right] \\ c_{my} \left[1 + 0,8 \frac{N_{ED}}{\chi_y \gamma_{M1} N_{RK}} \right] \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} 0,9 \left[1 + (0,80 - 0,2) \frac{5,3}{0,80 \frac{713,6}{1,1}} \right] \\ 0,9 \left[1 + 0,8 \frac{5,3}{0,80 \frac{713,6}{1,1}} \right] \end{array} \right) = \min (0,90)$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,90 = 0,54$$

4.5.4.2.2 Směr Z

$$N_{CR,z} = \left(\frac{\pi}{L_{cr}} \right)^2 \cdot E \cdot I_z = \left(\frac{\pi}{4000} \right)^2 \cdot 210000 \cdot 6,83 \cdot 10^5 = 88,5 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{CR,z}}} = \sqrt{\frac{2010 \cdot 355}{88500}} = 2,84$$

$\alpha = 0,34$ (křivka vzpěrnosti b)

$$\phi_z = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,34 \cdot (2,84 - 0,2) + 2,84^2) = 4,98$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{4,98 + \sqrt{4,98^2 - 2,84^2}} = 0,11$$

$$k_{zz} = \min \left(\begin{array}{c} c_{mz} \left[1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{ED}}{\chi_z \gamma_{M1} N_{RK}} \right] \\ c_{mz} \left[1 + 0,8 \frac{N_{ED}}{\chi_z \gamma_{M1} N_{RK}} \right] \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} 0,9 \left[1 + (2,84 - 0,2) \frac{5,3}{0,11 \frac{713,6}{1,1}} \right] \\ 0,9 \left[1 + 0,8 \frac{5,3}{0,11 \frac{713,6}{1,1}} \right] \end{array} \right) = \min (1,05)$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,94 = 0,57$$

4.5.4.2.3 Klopení

$$C_1 = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$z_g = 32 \text{ mm}$$

$$k_z = 0,5$$

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 32}{0,5 \cdot 4000} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 6,83 \cdot 10^5}{81000 \cdot 36200}} = 0,35$$

$$k_w = 1,0$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 4000} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 3,96 \cdot 10^9}{81000 \cdot 36200}} = 0,56$$

$$\begin{aligned} \mu_{CR} &= \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g)} - (C_2 \cdot \zeta_g) \right] \\ &= \frac{1,13}{0,5} \cdot \left[\sqrt{1 + 0,56^2 + (0,46 \cdot 0,35)} - (0,46 \cdot 0,35) \right] = 2,25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{CR} &= \mu_{CR} \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 2,25 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 6,83 \cdot 10^5 \cdot 81000 \cdot 36200}}{4000} \\ &= 36,21 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{CR}}} = \sqrt{\frac{123800 \cdot 355}{36,21 \cdot 10^6}} = 1,10$$

$$\alpha_{LT} = 0,34 \text{ (křivka vzpěrnosti b)}$$

$$\begin{aligned} \phi_{LT} &= 0,5 \cdot \left(1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right) = 0,5 \cdot \left(1 + 0,34 \cdot (1,10 - 0,2) + 1,10^2 \right) \\ &= 1,26 \end{aligned}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,26 + \sqrt{1,26^2 - 1,10^2}} = 0,53$$

Posouzení – směr Y

$$\frac{N_{ED}}{\chi_y \cdot N_{RK}} + k_{yy} \frac{M_{y,ED}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,RK}} + k_{yz} \frac{M_{z,ED}}{M_{z,RK}} = \frac{5,3}{0,80 \cdot 713,6} + 0,90 \frac{18,9}{1,10 \cdot 43,9} + 0,57 \frac{0,03}{9,3} = 0,81$$

$$0,81 \leq 1,0$$

=> VYHOVUJE

Posouzení – směr Z

$$\frac{N_{ED}}{\gamma_{M1} \cdot N_{RK}} + k_{zy} \frac{M_{y,ED}}{\gamma_{M1} \cdot M_{y,RK}} + k_{zz} \frac{M_{z,ED}}{\gamma_{M1} \cdot M_{z,RK}} = \frac{5,3}{1,1} + 0,54 \frac{18,9}{1,1} + 0,94 \frac{0,03}{1,1} = 0,56$$

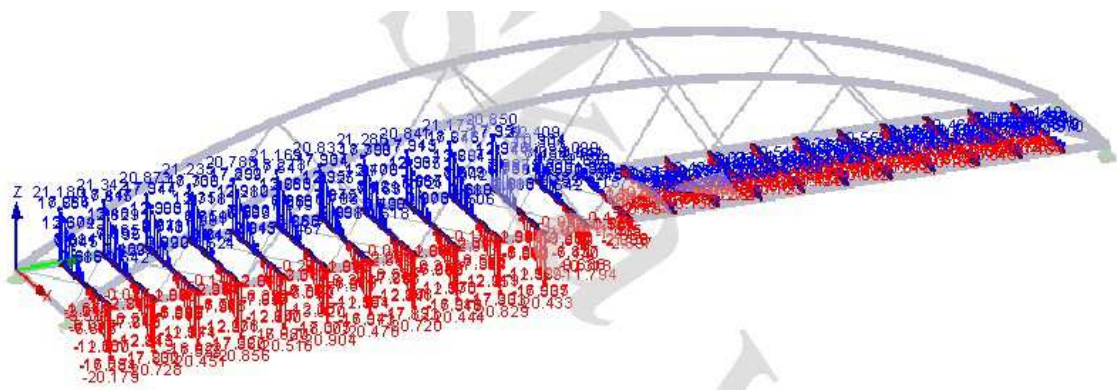
$$0,56 \leq 1,0$$

=> **VYHOVUJE**

4.5.5 Posouzení na smyk

4.5.5.1 Rozhodující kombinace a vnitřní síly

KZ2: 0,85 · 1,35 · (ZS1+ZS2+ZS3+ZS4) + 1,35 · ZS6 + 1,5 · 0,3 · ZS8



Obrázek 36 - Příčnický - $V_{z,ED}$

$$V_{z,ED} = 21,1 \text{ kN}$$



Obrázek 37 - Příčnický - $V_{y,ED}$

$$V_{y,ED} = 0,14 \text{ kN}$$

4.5.5.2 Posouzení

$$A_{v,z} = 733,3 \text{ mm}^2$$

$$V_{z,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{733,3 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 150,3 \text{ kN}$$

$$V_{z,ED} < V_{z,Rd}/2$$

$$21,1 \text{ kN} < 75,2 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{MALÝ SMYK}$$

Jelikož se jedná o malý smyk, není nutné dále posuzovat. => **PRŮŘEZ VYHOVUJE**

$$A_{v,y} = 1016,8 \text{ mm}^2$$

$$V_{y,Rd} = \frac{A_{vy} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{1016,8 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 208,4 \text{ kN}$$

$$V_{y,ED} < V_{y,Rd}/2$$

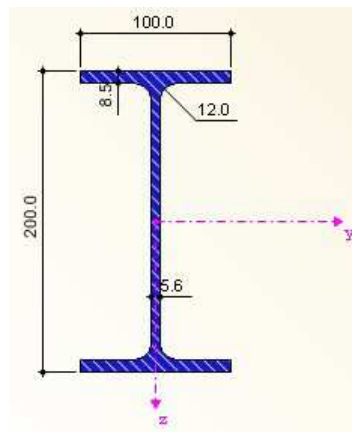
$$0,14 \text{ kN} < = 104,2 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{MALÝ SMYK}$$

Jelikož se jedná o malý smyk, není nutné dále posuzovat. \Rightarrow **PRŮŘEZ VYHOVUJE**

\Rightarrow **PŘÍČNÍKY VYHOVUJÍ.**

4.6 Koncové příčnky

Návrh a posouzení je provedeno podle [6.].



Obrázek 38 - Průřez koncovým příčnkem

4.6.1 Materiálové charakteristiky

Ocel S355 J2+N

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

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$E = 210\,000 \text{ MPa}$$

$$G = 81\,000 \text{ MPa}$$

$$\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$$\varepsilon = 0,81$$

4.6.2 Průřezové charakteristiky

Výška profilu	$h =$	200 mm
Šířka profilu	$b =$	100 mm
Tloušťka stojiny	$s =$	5,6 mm
Tloušťka pásnice	$t =$	5,5 mm
Plocha průřezu	$A =$	2850 mm ²
Smyková plocha	$A_{V,y} =$	1422,7 mm ²
Smyková plocha	$A_{V,z} =$	1035,4 mm ²
Moment setrvačnosti	$I_y =$	1,94 · 10 ⁷ mm ⁴
Moment setrvačnosti	$I_z =$	1,42 · 10 ⁶ mm ⁴
Moment tuhosti v kroucení	$I_t =$	70200 mm ⁴
Výsečový moment setrvačnosti	$I_{\omega} =$	1,3 · 10 ¹⁰ mm ⁶
Elastický průřezový modul	$W_{el,y} =$	194000 mm ³
Elastický průřezový modul	$W_{el,z} =$	28500 mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} =$	220000 mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z} =$	44612,2 mm ³

4.6.3 Zatřídění průřezu

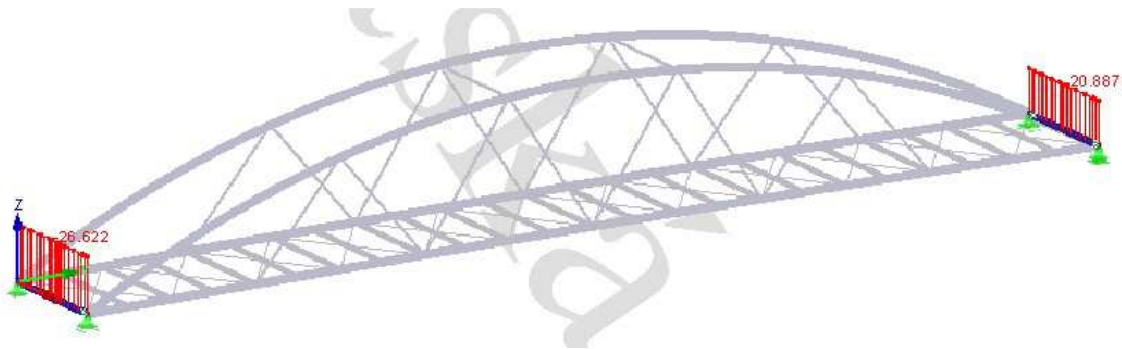
Pásnice: $\frac{c}{t} = \frac{35,2}{8,5} = 4,12 < 9\varepsilon = 7,3 \quad \Rightarrow$ Průřez I. třídy

Stojina: $\frac{c}{t} = \frac{159}{5,6} = 28,4 < 72\varepsilon = 58,6 \quad \Rightarrow$ Průřez I. třídy

4.6.4 Posouzení na tlak za ohybu s vlivem klopení

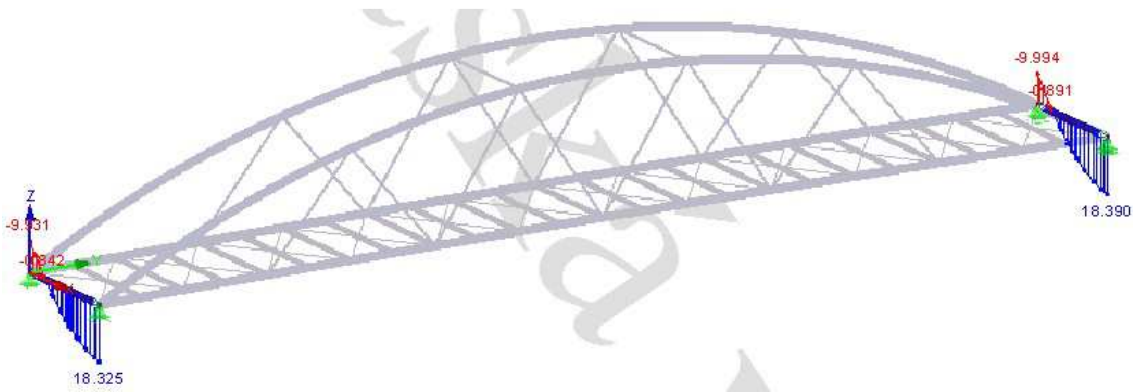
4.6.4.1 Rozhodující kombinace a vnitřní síly

KZA: $0,85 \cdot 1,35 \cdot (ZS1+ZS2+ZS3+ZS4) + 1,5 \cdot ZS8 + 1,35 \cdot 0,4 \cdot ZS5$



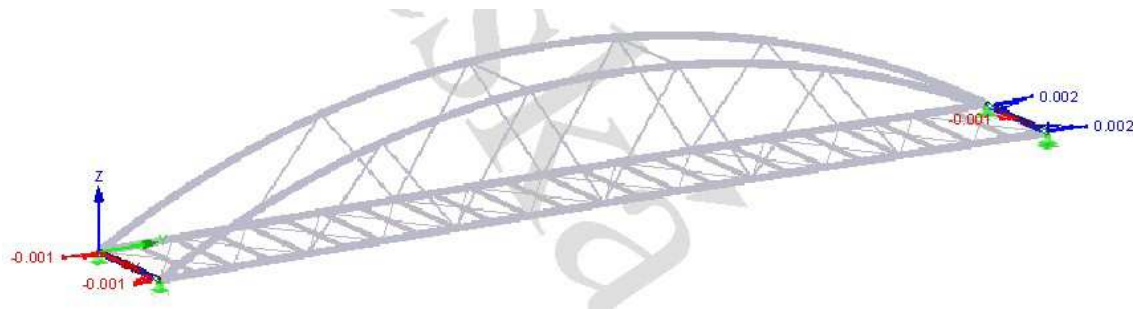
Obrázek 39 - Koncové příčnky - N_{ED}

$$N_{ED} = -26,6 \text{ kN}$$



Obrázek 40 - Koncové příčnky - $M_{y,ED}$

$$M_{y,ED} = 18,3 \text{ kNm}$$



Obrázek 41 - Koncové příčnky - $M_{z,ED}$

$$M_{z,ED} = -0,001 \text{ kNm}$$

Vzhledem k tomu, že momenty $M_{z,ED}$ jsou téměř nulové, budou jeho účinky zanedbány.

4.6.4.2 Posouzení

$$N_{RK} = A \cdot f_y = 2850 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 1011,8 \text{ kN}$$

$$M_{y,RK} = W_{pl,y} \cdot f_y = 220000 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 78,1 \text{ kNm}$$

Součinitele ekvivalentního konstantního momentu jsou brány jako bezpečné hodnoty:

$$C_{my} = 0,9$$

Vzpěrná délka příčnicku (brána jako celková délka příčnicku).

$$L_{cr} = 4000 \text{ mm}$$

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

4.6.4.2.1 Směr Y

$$N_{CR,y} = \left(\frac{\pi}{L_{cr}}\right)^2 \cdot E \cdot I_y = \left(\frac{\pi}{4000}\right)^2 \cdot 210000 \cdot 1,94 \cdot 10^7 = 2513,05 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{CR,y}}} = \sqrt{\frac{2850 \cdot 355}{2513050}} = 0,63$$

$\alpha = 0,21$ (křivka vzpěrnosti a)

$$\begin{aligned} \phi_y &= 0,5 \cdot \left(1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2\right) = 0,5 \cdot \left(1 + 0,21 \cdot (0,63 - 0,2) + 0,63^2\right) \\ &= 0,75 \end{aligned}$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,75 + \sqrt{0,75^2 - 0,63^2}} = 0,88$$

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} c_{my} \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{ED}}{\chi_y \gamma_{M1} N_{RK}} \right] \\ c_{my} \left[1 + 0,8 \frac{N_{ED}}{\chi_y \gamma_{M1} N_{RK}} \right] \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{l} 0,9 \left[1 + (0,63 - 0,2) \frac{26,6}{0,88 \frac{1011,8}{1,1}} \right] \\ 0,9 \left[1 + 0,8 \frac{26,6}{0,88 \frac{1011,8}{1,1}} \right] \end{array} \right) = \min (0,91)$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,91 = 0,55$$

4.6.4.2.2 Klopení

$$C_1 = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$z_g = 32 \text{ mm}$$

$$k_z = 0,5$$

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 32}{0,5 \cdot 4000} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 1,42 \cdot 10^6}{81000 \cdot 70200}} = 0,36$$

$$k_w = 1,0$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 4000} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 1,3 \cdot 10^{10}}{81000 \cdot 70200}} = 0,73$$

$$\begin{aligned} \mu_{CR} &= \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g)} - (C_2 \cdot \zeta_g) \right] \\ &= \frac{1,13}{0,5} \cdot \left[\sqrt{1 + 0,73^2 + (0,46 \cdot 0,36)} - (0,46 \cdot 0,36) \right] = 2,44 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{CR} &= \mu_{CR} \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 2,44 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 1,42 \cdot 10^6 \cdot 81000 \cdot 70200}}{4000} \\ &= 78,88 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{CR}}} = \sqrt{\frac{220000 \cdot 355}{78,88 \cdot 10^6}} = 1,0$$

$$\alpha_{LT} = 0,34 \text{ (křivka vzpěrnosti b)}$$

$$\begin{aligned} \phi_{LT} &= 0,5 \cdot \left(1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right) = 0,5 \cdot \left(1 + 0,34 \cdot (1,0 - 0,2) + 1,0^2 \right) \\ &= 1,13 \end{aligned}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,13 + \sqrt{1,13^2 - 1,0^2}} = 0,60$$

Posouzení – směr Y

$$\frac{N_{ED}}{\chi_y \cdot N_{RK}} + k_{yy} \frac{M_{y,ED}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,RK}} = \frac{26,6}{\frac{0,88 \cdot 1011,8}{1,1}} + 0,91 \frac{18,3}{\frac{0,60 \cdot 78,1}{1,1}} = 0,63$$

$$0,63 \leq 1,0$$

=> VYHOVUJE

Posouzení – směr Z

$$\frac{N_{ED}}{\chi_y \cdot N_{RK}} + k_{zy} \frac{M_{y,ED}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,RK}} = \frac{26,6}{\frac{0,88 \cdot 1011,8}{1,1}} + 0,55 \frac{18,3}{\frac{0,60 \cdot 78,1}{1,1}} = 0,42$$

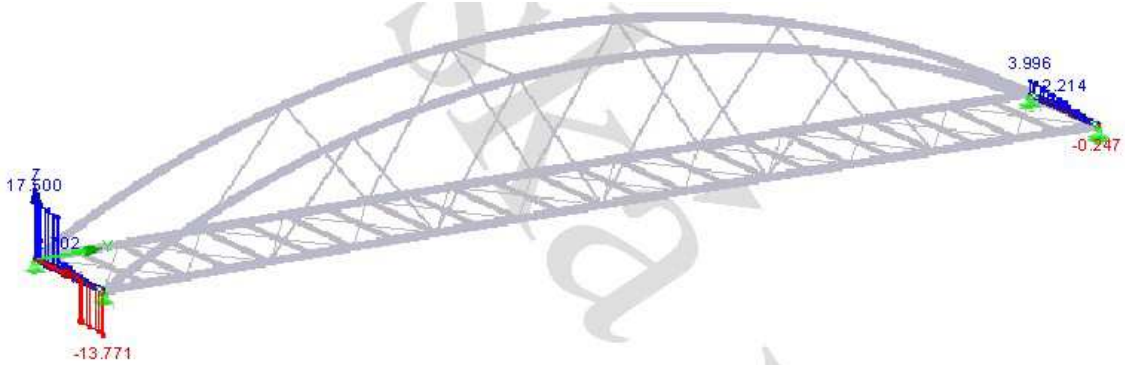
$$0,42 \leq 1,0$$

=> VYHOVUJE

4.6.5 Posouzení na smyk

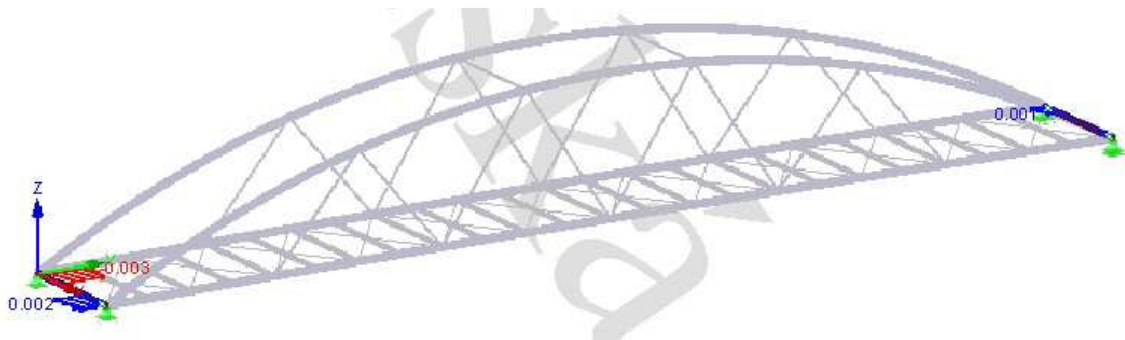
4.6.5.1 Rozhodující kombinace a vnitřní síly

KZ7: $0,85 \cdot 1,35 \cdot (ZS1+ZS2+ZS3+ZS4) + 1,35 \cdot ZS9 + 1,5 \cdot 0,3 \cdot ZS8$



Obrázek 42 - Koncové příčnicky - $V_{z,ED}$

$$V_{z,ED} = 17,5 \text{ kN}$$



Obrázek 43 - Koncové příčnicky - $V_{y,ED}$

$$V_{y,ED} = 0,003 \text{ kN}$$

Vzhledem k tomu, že síla $V_{y,ED}$ je téměř nulová, nebude síla na smyk posuzována.

4.6.5.2 Posouzení

$$A_{V,z} = 1035,4 \text{ mm}^2$$

$$V_{z,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{1035,4 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 212,2 \text{ kN}$$

$$V_{z,ED} < V_{z,Rd}/2$$

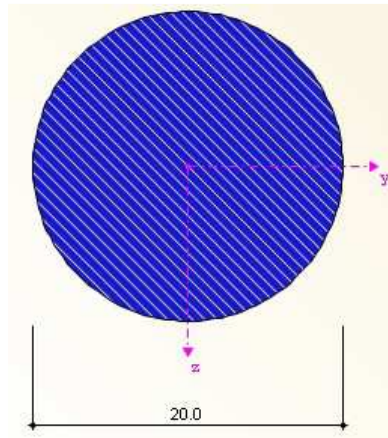
$$17,5 \text{ kN} < 106,1 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{MALÝ SMYK}$$

Jelikož se jedná o malý smyk, není nutné dále posuzovat. \Rightarrow **PRŮŘEZ VYHOVUJE**

\Rightarrow **KONCOVÉ PŘÍČNÍKY VYHOVUJÍ.**

4.7 Dolní zavětrování

Návrh a posouzení je provedeno podle [6.].



Obrázek 44 - Průřez dolního zavětrování

4.7.1 Materiálové charakteristiky

Ocel S355 J2+N

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

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$E = 210\,000 \text{ MPa}$$

$$G = 81\,000 \text{ MPa}$$

$$\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$$\varepsilon = 0,81$$

4.7.2 Průřezové charakteristiky

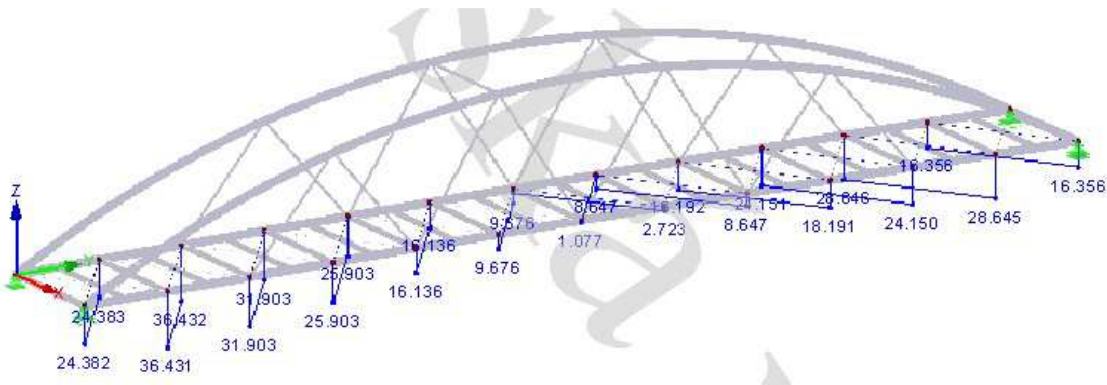
Průměr $D = 20 \text{ mm}$

Plocha průřezu $A = 314,2 \text{ mm}^2$

4.7.3 Posouzení na prostý tah

4.7.3.1 Rozhodující kombinace a vnitřní síly

KZA: $0,85 \cdot 1,35 \cdot (ZS1+ZS2+ZS3+ZS4) + 1,5 \cdot ZS8 + 1,35 \cdot 0,4 \cdot ZS5$



Obrázek 45 - Dolní zavětrování - N_{ED}

$$N_{ED} = 36,4 \text{ kN}$$

4.7.3.2 Posouzení

$$N_{RK} = A \cdot f_y = 314,2 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 111,54 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{RK}} = \frac{36,4}{111,54} = 0,36$$

γ_{M1}

1,1

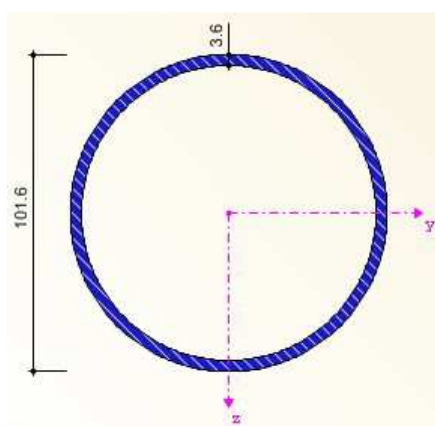
$$0,36 \leq 1,0$$

\Rightarrow VYHOVUJE

\Rightarrow DOLNÍ ZTUŽIDLA VYHOVUJÍ.

4.8 Horní ztužidla

Návrh a posouzení je provedeno podle [6.].



Obrázek 46 - Průřez horním ztužidlem

4.8.1 Materiálové charakteristiky

Ocel S355 J2+N

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

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$E = 210\,000 \text{ MPa}$$

$$G = 81\,000 \text{ MPa}$$

$$\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$$\varepsilon = 0,81$$

4.8.2 Průřezové charakteristiky

Vnější průměr	D =	101,6 mm
Tloušťka stěny	s =	3,6 mm
Plocha průřezu	A =	1108,4 mm ²
Smyková plocha	A _V =	550 mm ²
Moment setrvačnosti	I _y = I _z =	1,3 · 10 ⁶ mm ⁴
Elastický průřezový modul	W _{el,y} = W _{el,z} =	26227,8 mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,y} = W _{pl,z} =	34590 mm ³

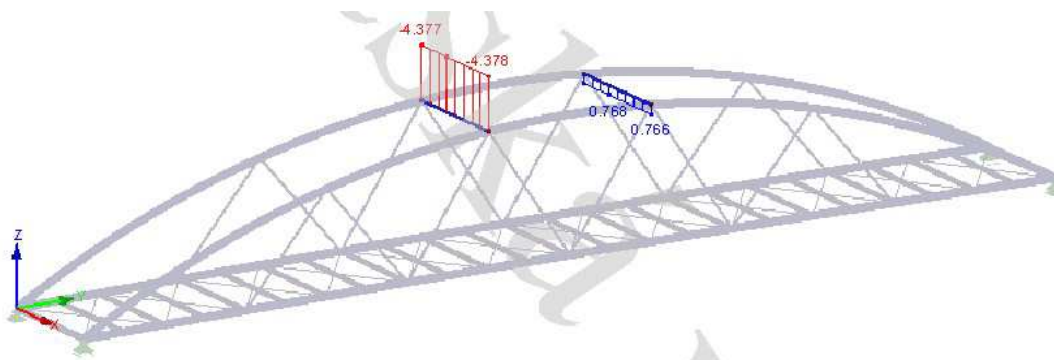
4.8.3 Zatřídění průřezu

$$\frac{D}{s} = \frac{101,6}{3,6} = 28,2 < 50\varepsilon^2 = 33,1 \quad \Rightarrow \text{Průřez I. třídy}$$

4.8.4 Posouzení na tah za ohybu

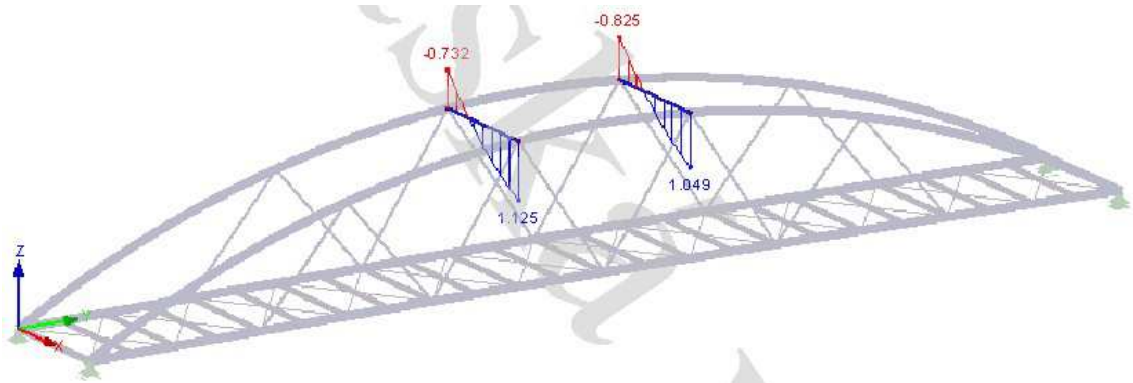
4.8.4.1 Rozhodující kombinace a vnitřní síly

$$\text{KZ2: } 0,85 \cdot 1,35 \cdot (\text{ZS1} + \text{ZS2} + \text{ZS3} + \text{ZS4}) + 1,35 \cdot \text{ZS6} + 1,5 \cdot 0,3 \cdot \text{ZS8}$$



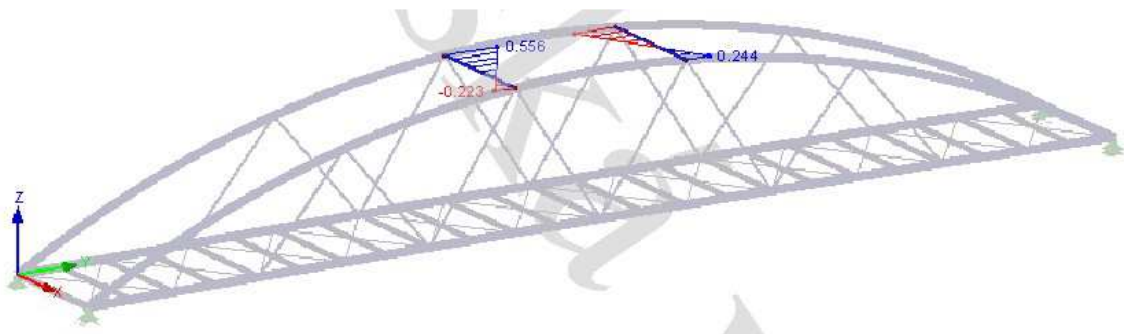
Obrázek 47 - Horní ztužidlo - N_{ED}

$$N_{ED} = 0,8 \text{ kNm}$$



Obrázek 48 - Horní ztužidlo - $M_{y,ED}$

$$M_{y,ED} = 1,05 \text{ kNm}$$



Obrázek 49 - Horní ztužidlo - $M_{z,ED}$

$$M_{z,ED} = 0,44 \text{ kNm}$$

4.8.4.2 Posouzení

$$N_{RK} = A \cdot f_y = 1108,4 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 393,4 \text{ kN}$$

$$M_{y,RK} = W_{pl,y} \cdot f_y = 34590 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 12,3 \text{ kNm}$$

$$M_{z,RK} = W_{pl,z} \cdot f_y = 34590 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 12,3 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{RK}} + \frac{M_{y,ED}}{M_{y,RK}} + \frac{M_{z,ED}}{M_{z,RK}} = \frac{0,8}{393,4} + \frac{1,05}{12,3} + \frac{0,44}{12,3} = 0,11$$

$$0,11 \leq 1,0$$

=> VYHOVUJE

4.8.5 Posouzení na tlak za ohybu

4.8.5.1 Rozhodující kombinace a vnitřní síly

$$KZ2: 0,85 \cdot 1,35 \cdot (ZS1+ZS2+ZS3+ZS4) + 1,35 \cdot ZS6 + 1,5 \cdot 0,3 \cdot ZS8$$

$$N_{ED} = -4,4 \text{ kNm}$$

$$M_{y,ED} = 1,13 \text{ kNm}$$

$$M_{z,ED} = 0,55 \text{ kNm}$$

4.8.5.2 Posouzení

$$N_{RK} = A \cdot f_y = 1108,4 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 393,4 \text{ kN}$$

$$M_{y,RK} = W_{pl,y} \cdot f_y = 34590 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 12,3 \text{ kNm}$$

$$M_{z,RK} = W_{pl,z} \cdot f_y = 34590 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 12,3 \text{ kNm}$$

Jelikož je uvažováno vybočení s posuvem styčniců, součinitele ekvivalentního konstantního momentu jsou:

$$C_{my} = C_{mz} = 0,9$$

Vzpěrná délka horního ztužidla (brána jako polovina délky).

$$L_{cr} = 2000 \text{ mm}$$

$$N_{CR} = \left(\frac{\pi}{L_{cr}}\right)^2 \cdot E \cdot I_y = \left(\frac{\pi}{2000}\right)^2 \cdot 210000 \cdot 1,3 \cdot 10^6 = 24804 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{CR}}} = \sqrt{\frac{1108,4 \cdot 355}{24804000}} = 0,13$$

$$\alpha = 0,21 \text{ (křivka vzpěrnosti a)}$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (0,13 - 0,2) + 0,13^2) = 0,50$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,50 + \sqrt{0,50^2 - 0,13^2}} = 1,02$$

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

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} c_{my} \left[1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \frac{N_{ED}}{\chi \gamma_{M1} \frac{N_{RK}}{\chi \gamma_{M1}}} \right] \\ c_{my} \left[1 + 0,8 \frac{N_{ED}}{\chi \gamma_{M1}} \right] \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{l} 0,9 \left[1 + (0,13 - 0,2) \frac{4,4}{1,02 \frac{393,4}{1,1}} \right] \\ 0,9 \left[1 + 0,8 \frac{4,4}{1,02 \frac{393,4}{1,1}} \right] \end{array} \right) = \min (0,90)$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,90 = 0,54$$

$$k_{zz} = \min \left(\begin{array}{l} c_{mz} \left[1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \frac{N_{ED}}{\chi \frac{N_{RK}}{\gamma_{M1}}} \right] \\ c_{mz} \left[1 + 0,8 \frac{N_{ED}}{\chi \frac{N_{RK}}{\gamma_{M1}}} \right] \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{l} 0,9 \left[1 + (0,13 - 0,2) \frac{4,4}{1,02 \frac{393,4}{1,1}} \right] \\ 0,9 \left[1 + 0,8 \frac{4,4}{1,02 \frac{393,4}{1,1}} \right] \end{array} \right) = \min (0,90) \quad (0,91)$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,91 = 0,54$$

Posouzení – směr Y

$$\frac{N_{ED}}{\chi_y N_{RK}} + k_{yy} \frac{M_{y,ED}}{M_{y,RK}} + k_{yz} \frac{M_{z,ED}}{M_{z,RK}} = \frac{4,4}{1,02 \cdot 393,4} + 0,90 \frac{1,13}{12,3} + 0,54 \frac{0,55}{12,3} = 0,13$$

$$0,13 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení – směr Z

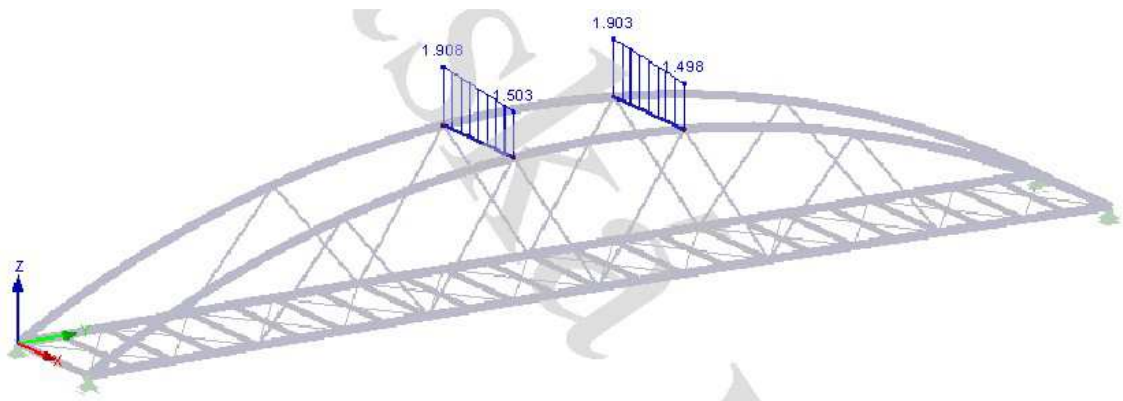
$$\frac{N_{ED}}{\chi_y N_{RK}} + k_{zy} \frac{M_{y,ED}}{M_{y,RK}} + k_{zz} \frac{M_{z,ED}}{M_{z,RK}} = \frac{4,4}{1,02 \cdot 393,4} + 0,54 \frac{1,13}{12,3} + 0,90 \frac{0,55}{12,3} = 0,09$$

$$0,09 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

4.8.6 Posouzení na smyk

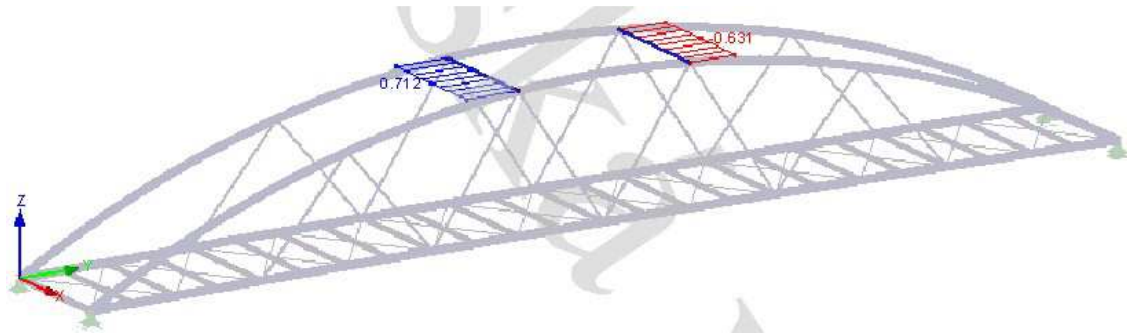
4.8.6.1 Rozhodující kombinace a vnitřní síly

$$\text{KZ4: } 0,85 \cdot 1,35 \cdot (\text{ZS1} + \text{ZS2} + \text{ZS3} + \text{ZS4}) + 1,5 \cdot \text{ZS8} + 1,35 \cdot 0,4 \cdot \text{ZS5}$$



Obrázek 50 - Horní ztužidlo - $V_{z,ED}$

$$V_{z,ED} = 1,9 \text{ kN}$$



Obrázek 51 - Horní ztužidlo - $V_{y,ED}$

$$V_{y,ED} = 0,7 \text{ kN}$$

4.8.6.2 Posouzení

$$A_{V,z} = 550 \text{ mm}^2$$

$$V_{z,Rd} = \frac{A_{Vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{550 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 112,7 \text{ kN}$$

$$V_{z,ED} < V_{z,Rd}/2$$

$$1,9 \text{ kN} < 56,4 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{MALÝ SMYK}$$

Jelikož se jedná o malý smyk, není nutné dále posuzovat. \Rightarrow **PRŮŘEZ VYHOVUJE**

$$A_{V,y} = 550 \text{ mm}^2$$

$$V_{y,Rd} = \frac{A_{Vy} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{550 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 112,7 \text{ kN}$$

$$V_{y,ED} < V_{y,Rd}/2$$

$$0,7 \text{ kN} < 56,4 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{MALÝ SMYK}$$

Jelikož se jedná o malý smyk, není nutné dále posuzovat. \Rightarrow **PRŮŘEZ VYHOVUJE**

\Rightarrow **HORNÍ ZTUŽIDLA VYHOVUJÍ.**

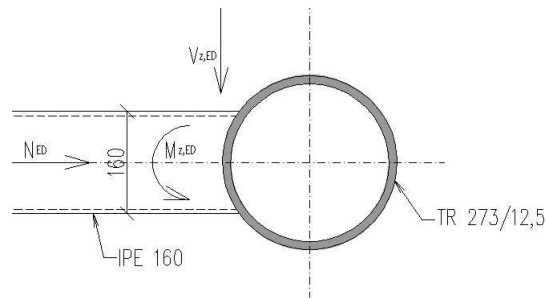
Nevyužití průřezu u horních ztužidel je z důvodu lepší stability konstrukce.

5. Návrh a posouzení přípojí

Všechny přípoje navržené na konstrukci jsou svařované. Všechny návrhy a posouzení jsou podle [6.] a [7.].

5.1 Přípoj příčnicku k hlavnímu nosníku

Jedná se o přípoj IPE 160 na TR 273/12,5.



Obrázek 52 - Přípoj příčnicku na hl. nosník

5.1.1 Rozhodující vnitřní síly

$$N_{ED} = -19,3 \text{ kN}$$

$$M_{y,ED} = 9,4 \text{ kNm}$$

$$V_{z,ED} = 21,1 \text{ kN}$$

5.1.2 Základní charakteristiky

Hl. nosník $d_0 = 273 \text{ mm}$

$$t_0 = 12,5 \text{ mm}$$

Příčnick $h_1 = 160 \text{ mm}$

$$b_1 = 82 \text{ mm}$$

$$A = 2010 \text{ mm}^2$$

$$W_y = 108700 \text{ mm}^3$$

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

$$\gamma_{M5} = 1,00$$

5.1.3 Posouzení

$$\sigma_{max,Ed} = \frac{N_{ED}}{A} + \frac{M_{y,ED}}{W_y} = \frac{19300}{2010} + \frac{9360000}{108700} = 95,7 \text{ MPa}$$

$$n_p = \frac{\sigma_{max,Ed}}{f_y} = \frac{95,7}{355} = 0,27$$

$$\eta = \frac{h_1}{d_0} = \frac{160}{273} = 0,59$$

$$\beta = \frac{b_1}{d_0} = \frac{82}{273} = 0,30 < 0,4 \Rightarrow \beta = 0,4$$

$$k_p = 1 - 0,3 \cdot n_p \cdot (1 + n_p) = 1 - 0,3 \cdot 0,27 \cdot (1 + 0,27) = 0,90 < 1,0$$

$$N_{1,Rd} = k_p \cdot f_y \cdot t_0^2 \cdot \frac{(4 + 20 \cdot \beta^2) \cdot (1 + 0,25 \cdot \eta)}{\gamma_{M5}}$$

$$= 0,90 \cdot 355 \cdot 12,5^2 \cdot \frac{(4 + 20 \cdot 0,40^2) \cdot (1 + 0,25 \cdot 0,59)}{1,0 \cdot 1000} = 410,8 \text{ kN}$$

$$M_{10,Rd} = 0,5 \cdot b_1 \cdot N_{1,Rd} = 0,5 \cdot 0,082 \cdot 410,8 = 16,8 \text{ kNm}$$

5.1.3.1 Posouzení porušení povrchu pásu

$$\frac{N_{ED}}{N_{1,Rd}} + \frac{M_{y,ED}}{M_{10,Rd}} = \frac{19,3}{410,8} + \frac{9,4}{16,8} = 0,60$$

$$0,60 \leq 1,0$$

\Rightarrow VYHOVUJE

5.1.3.2 Posouzení prolomení smykem

$$\left(\frac{N_{ED}}{A} + \frac{M_{y,ED}}{W_y} \right) \cdot t_1 < 2 \cdot t_0 \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

$$\left(\frac{19300}{2010} + \frac{9360000}{108700} \right) \cdot 5 < 2 \cdot 12,5 \cdot \frac{355}{\sqrt{3}}$$

$$478,7 \text{ MPa} < 5124 \text{ MPa}$$

\Rightarrow VYHOVUJE

5.1.4 Posouzení koutového svaru

Velikost koutového svaru

$$a_w = 5 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti příčnicku

$$I_y = 8693000 \text{ mm}^4$$

Moment setrvačnosti příčnicku se svarem

$$I_w = 21869780 \text{ mm}^4$$

Moment setrvačnosti pouze svaru

$$I_{we} = 13176851 \text{ mm}^4$$

Délka svaru

$$l_{w,1} = 647 \text{ mm}$$

Plocha svaru

$$A_{w,1} = l_{w,1} \cdot a_w = 647 \cdot 5 = 3235 \text{ mm}^2$$

Vzdálenost těžiště od horního svaru

$$z_1 = 85 \text{ mm}$$

Vzdálenost těžiště od spodního svaru	$z_2 = 85 \text{ mm}$
Korelační součinitel pro ocel S355	$\beta_w = 0,9$
	$f_u = 510 \text{ MPa}$ (ocel S355)
	$\gamma_{M2} = 1,25$

5.1.4.1 Posouzení svaru u pásnice

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\frac{M_{y,ED} \cdot z_1}{I_{we}} + \frac{N_{ED}}{A_{w,1}}}{\sqrt{2}} = \frac{\frac{9360000 \cdot 85}{13176851} + \frac{19300}{3235}}{\sqrt{2}} = 56,7 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{56,7^2 + 3 \cdot (56,7^2)} < \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$113,4 \text{ MPa} < 453,3 \text{ MPa}$$

=> VYHOVUJE

5.1.4.2 Posouzení svaru u stojiny

Délka svaru u stojiny $l_{w,2} = 254 \text{ mm}$

Plocha svaru $A_{w,2} = l_{w,2} \cdot a_w = 254 \cdot 5 = 1270 \text{ mm}^2$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\frac{M_{y,ED} \cdot z_1}{I_{we}} + \frac{N_{ED}}{A_{w,1}}}{\sqrt{2}} = \frac{\frac{9360000 \cdot 85}{13176851} + \frac{19300}{3235}}{\sqrt{2}} = 56,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{ED}}{A_{w,2}} = \frac{19300}{1270} = 15,2 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{56,7^2 + 3 \cdot (15,2^2 + 56,7^2)} < \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

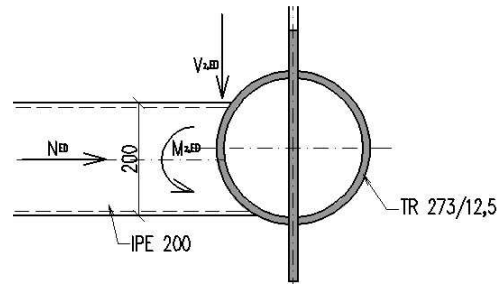
$$116,4 \text{ MPa} < 453,3 \text{ MPa}$$

=> VYHOVUJE

=> PŘÍPOJ VYHOVUJE.

5.2 Přípoj koncového příčnicku k hlavnímu nosníku

Jedná se o přípoj IPE 200 na TR 273/12,5.



Obrázek 53 - Připoj koncového příčnicku na hl. nosník

5.2.1 Rozhodující vnitřní síly

$$N_{ED} = -26,6 \text{ kN}$$

$$M_{y,ED} = 18,3 \text{ kNm}$$

$$V_{z,ED} = 12,3 \text{ kN}$$

5.2.2 Základní charakteristiky

Hl. nosník $d_0 = 273 \text{ mm}$

$$t_0 = 12,5 \text{ mm}$$

Příčnick $h_1 = 200 \text{ mm}$

$$b_1 = 100 \text{ mm}$$

$$A = 2850 \text{ mm}^2$$

$$W_y = 194300 \text{ mm}^3$$

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

$$\gamma_{M5} = 1,00$$

5.2.3 Posouzení

$$\sigma_{max,Ed} = \frac{N_{ED}}{A} + \frac{M_{y,ED}}{W_y} = \frac{26600}{2850} + \frac{18300000}{194300} = 103,5 \text{ MPa}$$

$$n_p = \frac{\sigma_{max,Ed}}{f_y} = \frac{103,5}{355} = 0,29$$

$$\eta = \frac{h_1}{d_0} = \frac{200}{273} = 0,73$$

$$\beta = \frac{b_1}{d_0} = \frac{100}{273} = 0,37 < 0,4 \Rightarrow \beta = 0,4$$

$$k_p = 1 - 0,3 \cdot n_p \cdot (1 + n_p) = 1 - 0,3 \cdot 0,29 \cdot (1 + 0,29) = 0,89 < 1,0$$

$$N_{1,Rd} = k_p \cdot f_y \cdot t_0^2 \cdot \frac{(4 + 20 \cdot \beta^2) \cdot (1 + 0,25 \cdot \eta)}{\gamma_{M5}}$$

$$= 0,89 \cdot 355 \cdot 12,5^2 \cdot \frac{(4 + 20 \cdot 0,40^2) \cdot (1 + 0,25 \cdot 0,73)}{1,0 \cdot 1000} = 419,1 \text{ kN}$$

$$M_{1o,Rd} = 0,5 \cdot b_1 \cdot N_{1,Rd} = 0,5 \cdot 0,1 \cdot 419,1 = 21,0 \text{ kNm}$$

5.2.3.1 Posouzení porušení povrchu pásu

$$\frac{N_{ED}}{N_{1,Rd}} + \frac{M_{y,ED}}{M_{1o,Rd}} = \frac{26,6}{419,1} + \frac{18,3}{21,0} = 0,94$$

$$0,94 \leq 1,0$$

=> VYHOVUJE

5.2.3.2 Posouzení prolomení smykem

$$\left(\frac{N_{ED}}{A} + \frac{M_{y,ED}}{W_y} \right) \cdot t_1 < 2 \cdot t_0 \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

$$\left(\frac{26600}{2850} + \frac{18300000}{194300} \right) \cdot 5 < 2 \cdot 12,5 \cdot \frac{355}{\sqrt{3}}$$

$$517,6 \text{ MPa} < 5124 \text{ MPa}$$

=> VYHOVUJE

5.2.4 Posouzení koutového svaru

Velikost koutového svaru

$$a_w = 5 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti příčnicku

$$I_y = 19430000 \text{ mm}^4$$

Moment setrvačnosti příčnicku se svarem

$$I_w = 44464641 \text{ mm}^4$$

Moment setrvačnosti pouze svaru

$$I_{we} = 25034641 \text{ mm}^4$$

Délka svaru

$$l_{w,1} = 792 \text{ mm}$$

Plocha svaru

$$A_{w,1} = l_{w,1} \cdot a_w = 792 \cdot 5 = 3960 \text{ mm}^2$$

Vzdálenost těžiště od horního svaru

$$z_1 = 105 \text{ mm}$$

Vzdálenost těžiště od spodního svaru

$$z_2 = 105 \text{ mm}$$

Korelační součinitel pro ocel S355

$$\beta_w = 0,9$$

$$f_u = 510 \text{ MPa (ocel S355)}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

5.2.4.1 Posouzení svaru u pásnice

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\frac{M_{y,ED} \cdot z_1}{I_{we}} + \frac{N_{ED}}{A_{w,1}}}{\sqrt{2}} = \frac{\frac{18300000 \cdot 105}{25034641} + \frac{26600}{3960}}{\sqrt{2}} = 65,7 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{65,7^2 + 3 \cdot (65,7^2)} < \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$131,4 \text{ MPa} < 453,3 \text{ MPa}$$

=> VYHOVUJE

5.2.4.2 Posouzení svaru u stojiny

Délka svaru u stojiny

$$l_{w,2} = 318 \text{ mm}$$

Plocha svaru

$$A_{w,2} = l_{w,2} \cdot a_w = 318 \cdot 5 = 1590 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\frac{M_{y,ED} \cdot z_1}{I_{we}} + \frac{N_{ED}}{A_{w,1}}}{\sqrt{2}} = \frac{\frac{18300000 \cdot 105}{25034641} + \frac{26600}{3960}}{\sqrt{2}} = 65,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{ED}}{A_{w,2}} = \frac{26600}{1590} = 16,7 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{65,7^2 + 3 \cdot (16,7^2 + 65,7^2)} < \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

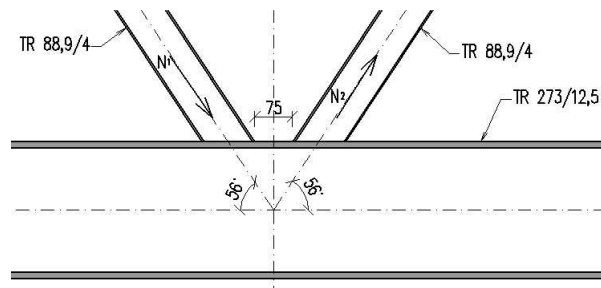
$$134,6 \text{ MPa} < 453,3 \text{ MPa}$$

=> VYHOVUJE

=> PŘÍPOJ VYHOVUJE.

5.3 Přípoj táhel k hlavnímu nosníku

Jedná se o přípoj dvou TR 88,9/4 na TR 273/12,5.



Obrázek 54 - Příklad připojení táhel na hl. nosník

5.3.1 Rozhodující vnitřní síly

$$N_{ED,1} = 47,5 \text{ kN}$$

$$N_{ED,2} = 47,5 \text{ kN}$$

5.3.2 Základní charakteristiky

Hl. nosník $d_0 = 273 \text{ mm}$

$$t_0 = 12,5 \text{ mm}$$

Táhla $d_1 = d_2 = 88,9 \text{ mm}$

$$t_1 = t_2 = 4 \text{ mm}$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 = 56^\circ$$

$$g = 75 \text{ mm}$$

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

$$\gamma_{M5} = 1,00$$

5.3.3 Posouzení porušení povrchu pásu

$$k_p = 1,0 \text{ (platí pro tah)}$$

$$k_g = 1,73$$

$$N_{1,Rd} = N_{2,Rd} = \frac{\frac{k_g \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \varphi_1} \cdot \left(1,8 + 10,2 \cdot \frac{d_1}{d_0}\right)}{\gamma_{M5}}$$

$$= \frac{\frac{1,73 \cdot 1,0 \cdot 355 \cdot 10^6 \cdot 0,0125^2}{\sin 56^\circ} \cdot \left(1,8 + 10,2 \cdot \frac{88,9}{273}\right)}{1,0} = 592,8 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{1,Rd}} = \frac{47,5}{592,8} = 0,08$$

$$0,08 \leq 1,0$$

=> VYHOVUJE

5.3.4 Posouzení prolomení smykem

$$d_i \leq d_0 - 2 \cdot t_0$$

$$88,9 \leq 273 - 25 = 248$$

$$N_{1,Rd} = N_{2,Rd} = \frac{\frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \frac{1 + \sin \varphi_1}{2 \cdot \sin \varphi_1^2}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{355 \cdot 10^6}{\sqrt{3}} \cdot 0,0125 \cdot \pi \cdot 0,0889 \cdot \frac{1 + \sin 56^\circ}{2 \cdot \sin 56^\circ{}^2}}{1,0}$$
$$= 952,1 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{1,Rd}} = \frac{47,5}{952,1} = 0,05$$

$$0,05 \leq 1,0$$

=> VYHOVUJE

5.3.5 Posouzení koutového svaru

Velikost koutového svaru

$$a_w = 5 \text{ mm}$$

Délka svaru

$$l_{w,1} = 295 \text{ mm}$$

Plocha svaru

$$A_{w,1} = l_{w,1} \cdot a_w = 295 \cdot 5 = 1475 \text{ mm}^2$$

Korelační součinitel pro ocel S355

$$\beta_w = 0,9$$

$$f_u = 510 \text{ MPa (ocel S355)}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

5.3.5.1 Posouzení svaru

Délka svaru

$$l_{w,2} = 148 \text{ mm}$$

Plocha svaru

$$A_{w,2} = l_{w,2} \cdot a_w = 148 \cdot 5 = 740 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\frac{N_{ED}}{A_{w,1}}}{\sqrt{2}} = \frac{\frac{47500}{1475}}{\sqrt{2}} = 22,8 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{ED}}{A_{w,2}} = \frac{47500}{740} = 64,2 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{22,8 + 3 \cdot (64,2^2 + 22,8^2)} < \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

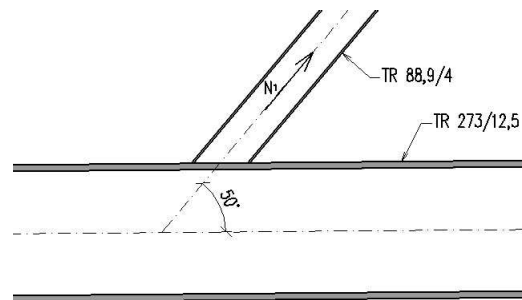
$$118,1 \text{ MPa} < 453,3 \text{ MPa}$$

=> VYHOVUJE

=> PŘÍPOJ VYHOVUJE.

5.4 Přípoj krajního táhla k hlavnímu nosníku

Jedná se o přípoj TR 88,9/4 na TR 273/12,5.



Obrázek 55 - Přípoj krajního táhla na hl. nosník

5.4.1 Rozhodující vnitřní síly

$$N_{ED,1} = 95,8 \text{ kN}$$

5.4.2 Základní charakteristiky

Hl. nosník $d_0 = 273 \text{ mm}$

$$t_0 = 12,5 \text{ mm}$$

Táhlo $d_1 = 88,9 \text{ mm}$

$$t_1 = 4 \text{ mm}$$

$$\varphi_1 = 50^\circ$$

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

$$\gamma_{M5} = 1,00$$

5.4.3 Posouzení porušení povrchu pásu

$$k_p = 1,0 \text{ (platí pro tah)}$$

$$\gamma = \frac{d_0}{2 \cdot t_0} = \frac{273}{2 \cdot 12,5} = 10,9$$

$$\beta = \frac{d_1}{d_0} = \frac{88,9}{273} = 0,33$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{\gamma^{0,2} \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \varphi_1} \cdot (2,8 + 14,2 \cdot \beta^2)}{\gamma_{M5}}$$

$$= \frac{\frac{10,9^{0,2} \cdot 1,0 \cdot 355 \cdot 10^6 \cdot 0,0125^2}{\sin 50^\circ} \cdot (2,8 + 14,2 \cdot 0,33^2)}{1,0} = 507,5 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{1,Rd}} = \frac{95,8}{507,5} = 0,19$$

$$0,19 \leq 1,0$$

=> VYHOVUJE

5.4.4 Posouzení prolomení smykem

$$d_i \leq d_0 - 2 \cdot t_0$$

$$88,9 \leq 273 - 25 = 248$$

$$N_{1,Rd} = N_{2,Rd} = \frac{\frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \frac{1 + \sin \varphi_1}{2 \cdot \sin \varphi_1^2}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{355 \cdot 10^6}{\sqrt{3}} \cdot 0,0125 \cdot \pi \cdot 0,0889 \cdot \frac{1 + \sin 50^\circ}{2 \cdot \sin 50^\circ{}^2}}{1,0}$$

$$= 824,8 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{1,Rd}} = \frac{95,8}{824,8} = 0,12$$

$$0,12 \leq 1,0$$

=> VYHOVUJE

5.4.5 Posouzení koutového svaru

Velikost koutového svaru

$$a_w = 5 \text{ mm}$$

Délka svaru

$$l_{w,1} = 295 \text{ mm}$$

Plocha svaru

$$A_{w,1} = l_{w,1} \cdot a_w = 295 \cdot 5 = 1475 \text{ mm}^2$$

Korelační součinitel pro ocel S355

$$\beta_w = 0,9$$

$$f_u = 510 \text{ MPa (ocel S355)}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

5.4.5.1 Posouzení svaru

Délka svaru

$$l_{w,2} = 148 \text{ mm}$$

Plocha svaru

$$A_{w,2} = l_{w,2} \cdot a_w = 148,5 = 740 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{ED}}{A_{w,1}} = \frac{95800}{1475} = 45,9 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{ED}}{A_{w,2}} = \frac{95800}{740} = 129,5 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{45,9^2 + 3 \cdot (129,5^2 + 45,9^2)} < \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$238,1 \text{ MPa} < 453,3 \text{ MPa}$$

=> VYHOVUJE

=> PŘÍPOJ VYHOVUJE.

6. Návrh a posouzení konstrukce v MSP

V mezním stavu použitelnosti se ověřuje pohoda uživatelů lávky na základě dynamického posouzení podle [2.] a průhyb podle kombinací z kapitoly 3.2.

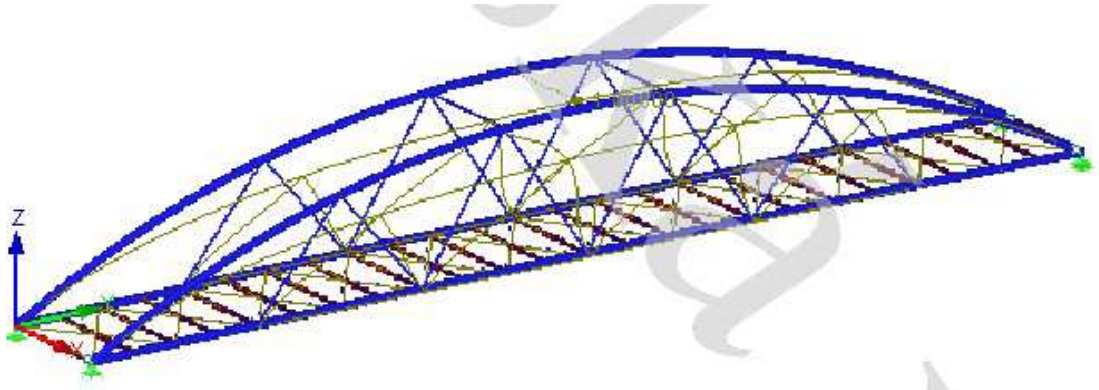
6.1 Dynamické posouzení

Určení vlastních frekvencí je určeno pomocí přídavného modu RF-Dynam Pro. Tyto vlastní frekvence je nutné ověřovat pouze, pokud spadají do intervalů:

- Ve svislém směru 1 – 3 Hz.
- Ve vodorovném směru 0,5 – 1,5 Hz.

Posouzení se provádí na lávce nezátížené chodci. Pro náš případ spadá do intervalů pouze jedna vlastní frekvence.

Tvar č.	Vlastní číslo λ [1/s ²]	Vl. kruh. frekvence ω [rad/s]	Vl. frekvence f [Hz]	Vl. perioda T [s]
1	90,60	9,52	1,52	0,66



Obrázek 56 - 1. vlastní tvar kmitání

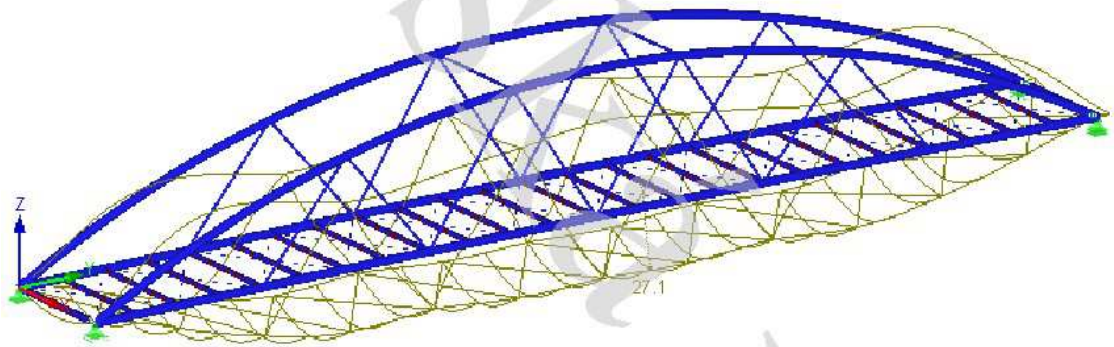
Vzhledem ke skutečnosti, že ale ani tento tvar neodpovídá pohybu chodce (vybočení oblouku v příčném směru), není nutné provádět dynamické posuzování lávky.

6.2 Posouzení průhybu

Maximální povolený průhyb je stanoven podle [5.] na hodnotu $L/250$.

6.2.1 Rozhodující kombinace a průhyb

KZ17: $(ZS1+ZS2+ZS3+ZS4) + 0,4 \cdot ZS5$



Obrázek 57 - Maximální průhyb konstrukce

$$\delta_{z,lim} = \frac{L}{250} = \frac{34800}{250} = 139 \text{ mm}$$

$$\delta_z = 27,1 \text{ mm} < \delta_{z,lim} = 139 \text{ mm} \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

7. Návrh ložisek

Pro návrh ložisek je třeba znát rovnoměrné ohřátí a ochlazení konstrukce.

7.1 Rovnoměrná teplota

Z teplotní mapy byly pro danou oblast určeny hodnoty maximální teploty $T_{\max} = 39^{\circ}\text{C}$ a minimální teploty $T_{\min} = -31^{\circ}\text{C}$. Základní teploty vzduchu je $T_0 = 10^{\circ}\text{C}$. Výpočet je proveden podle [4.].

Výpočet extrémů teplot:

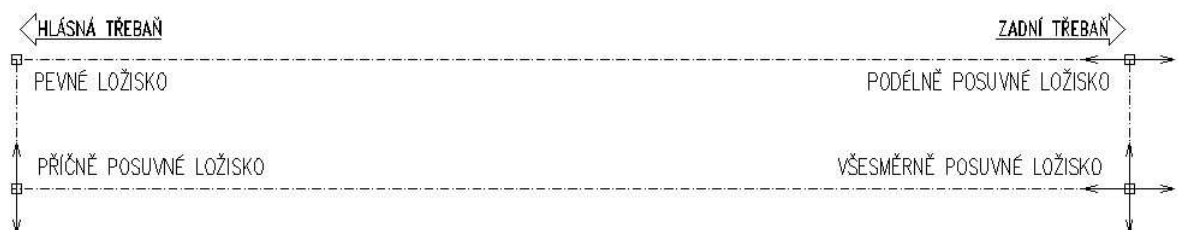
$$T_{e,\max} = T_{\max} + 16 = 39 + 16 = 55^{\circ}\text{C}$$

$$T_{e,\min} = T_{\min} + 8 = -31 + 8 = -23^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{N,\text{NOC}} = -T_0 + T_{e,\min} = -10 - 23 = -33^{\circ}\text{C}$$

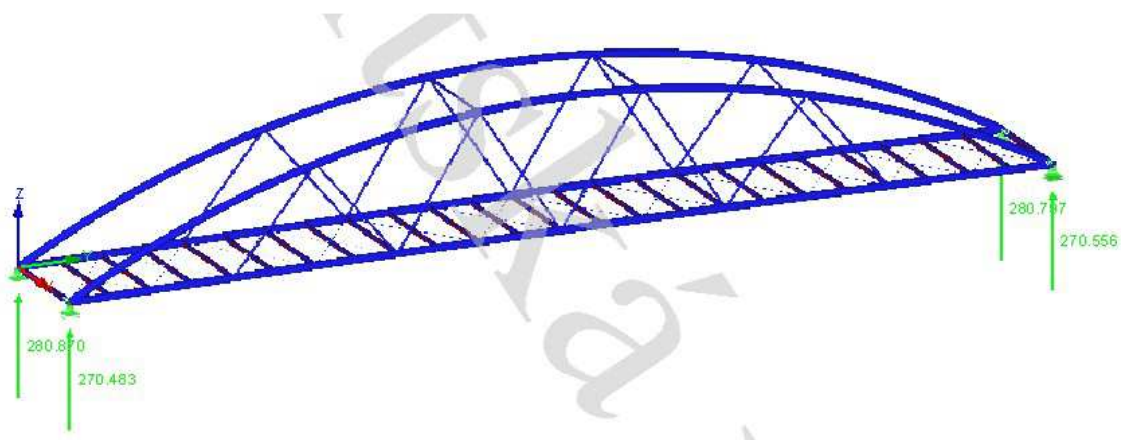
$$\Delta T_{N,\text{EXP}} = -T_0 + T_{e,\max} = -10 + 56 = 45^{\circ}\text{C}$$

7.2 Ložiska



Obrázek 58 - Rozložení ložisek

Ložiska jsou navržena elastomerová od firmy Helmos. Jako parametry pro návrh jsou brány hodnoty posunů vlivem ohřátí a ochlazení konstrukce a schopnost přenést maximální reakci.



Obrázek 59 - Maximální reakce v ložiskách

$$R_{z,\max} = 280,8 \text{ kN}$$

$$u_{x,max} = 2,2 \text{ mm}$$

$$u_{x,min} = -1,6 \text{ mm}$$

$$u_{y,max} = 18,8 \text{ mm}$$

$$u_{y,min} = -14,2 \text{ mm}$$

Parametry navržených elastomerových ložisek:

Půdorysné rozměry	200 x 250 mm
Výška elastomerového bloku	63 mm
Maximální zatížení	625 kN
Maximální příčný posun	± 10 mm
Maximální podélný posun	± 30 mm

8. Podklady, literatura

- [1.] ČSN EN 1990 Eurokód: *Zásady navrhování konstrukcí*, Praha ČNI, 2005
- [2.] ČSN EN 1991-2 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou*, Praha ČNI, 2005
- [3.] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*, Praha: ČNI, 2007
- [4.] ČSN EN 1991-1-5 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou*, Praha: ČNI, 2005
- [5.] ČSN EN 1993-2 Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 2, Ocelové mosty*, Praha ČNI, 2008
- [6.] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1, Obecná pravidla pro pozemní stavby*, Praha ČNI, 2011
- [7.] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8, Navrhování styčníků*, Praha ČNI, 2011
- [8.] ČSN EN 1995-1-5 Eurokód 3: *Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1, Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*, Praha ČNI, 2006
- [9.] ČSN EN 73 6201: *Projektování mostních objektů*, Praha ČNI, 2008
- [10.] SOKOL, Zdeněk; WALD, František. *Ocelové konstrukce, Tabulky*, Vydavatelství ČVUT, 2013