

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Statický přepočet mostní konstrukce v TÚ 1441
Martinice v Krkonoších (mimo) – Rokytnice nad Jizerou (včetně) v km 18,003.

Vlastimil Hendrych

Bakalářská práce

2018

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vlastimil Hendrych**
Osobní číslo: **D14272**
Studijní program: **B3607 Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní stavitelství**
Název tématu: **Statický přepočít mostní konstrukce v TÚ 1441 Martinice
v Krkonoších (mimo) - Rokytnice nad Jizerou (včetně) v km
18,003**
Zadávající katedra: **Katedra dopravního stavitelství**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Předmětem bakalářské práce bude statický přepočít ocelové, trémové, plnostěnné, nýtované mostní konstrukce v traťovém úseku TÚ 1441 Martinice v Krkonoších (mimo) - Rokytnice nad Jizerou (včetně), v definičním úseku DÚ Poniklá - Jablonec nad Jizerou v km 18,003. Statický přepočít bude proveden dle platných norem s využitím Metodického pokynu pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů schváleného SŽDC dne 31.7.2015.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

ČSN EN 1990

ČSN EN 1991

ČSN EN 1993

Protokol o podrobné prohlídce mostního objektu v TÚ 1441 v km 18,003, T.

Okurka, SŽDC 2017

Ocelové konstrukce 30 - Ocelové mosty, Rotter T., Studnička J., ČVUT Praha 1999

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ladislav Řoutil, Ph.D.

Katedra dopravního stavitelství

Datum zadání bakalářské práce:

20. prosince 2017

Termín odevzdání bakalářské práce:

25. května 2018

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

L.S.

doc. Ing. Vladimír Doležal, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 3. ledna 2018

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice

V Pardubicích dne 7. 11. 2018

Vlastimil Hendrych

Poděkování:

Chtěl bych touto cestou poděkovat vedoucímu své bakalářské práce Ing. Ladislavu Řoutilovi, Ph.D. za odbornou pomoc a rady při zpracování mé bakalářské práce. Dále chci poděkovat Ing. Pavlu Novákovi z oblastního ředitelství SŽDC v Hradci Králové, správy mostů a tunelů, za poskytnutí podkladů a informací potřebných ke zpracování bakalářské práce.

ANOTACE

Předmětem bakalářské práce je statický přepočítání ocelové, trémové, plnostěnné, nýtované mostní konstrukce bez mostovky. Inundační most leží na jednokolejné železniční trati, v traťovém úseku TÚ 1441 Martinice v Krkonoších (mimo) – Rokytnice nad Jizerou (včetně), v definičním úseku DÚ 08 Poniklá – Jablonec nad Jizerou v km 18,003. Statický přepočítání bude proveden dle platných norem s využitím Metodického pokynu pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů schváleného SŽDC dne 31. 7. 2015

KLÍČOVÁ SLOVA

Statický výpočet, přepočítání, inundační most, ocelová konstrukce (nosník), plnostěnný nosník, mostovka, podélná (příčná) výztuha, traťový úsek, definiční úsek

TITLE

Static recalculatiön of bridge construction on the track section TS 1441 Martinice v Krkonoších (outside) – Rokytnice nad Jizerou (inclusive) at kilometre 18,003.

ANNOTATION

The subject of this bachelor's thesis is the static recalculatiön of the steel, plate beam girder riveted bridge construction without a bridge deck. Inundation bridge is situated on a single-track railway line at the track section TS 1441 Martinice v Krkonoších (outside) – Rokytnice nad Jizerou (inclusive), definitional section DS 08 Poniklá – Jablonec nad Jizerou at kilometre 18.003. Static recalculatiön will be made according to valid standards with the use of Methodical instruction for determination of railway bridge construction loading capacity approved by SŽDC on 31.07.2015.

KEYWORDS

Static calculatiön, recalculatiön, inundation bridge, steel structure (beam), plate girder, bridge deck, longitudinal (transverse) stiffener, railway track section, definitional section.

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK	- 10 -
SEZNAM ZKRATEK	- 13 -
SEZNAM ZNAČEK	- 14 -
0. ÚVOD	- 17 -
1. TECHNICKÁ ZPRÁVA	- 19 -
1.1 Nosná konstrukce	- 19 -
1.2 Spodní stavba	- 19 -
1.3 Železniční svršek	- 19 -
1.4 Vybavení mostu	- 20 -
1.5 Výroba a opravy	- 20 -
1.6 Základní údaje mostního objektu	- 20 -
2. FOTODOKUMENTACE	- 21 -
3. VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE	- 24 -
4. STATICKÝ PŘEPOČET DLE ČSN EN A METODICKÉHO POKYNU SŽDC	- 29 -
4.1 Vlastnosti materiálů	- 29 -
4.2 Hodnoty dílčích součinitelů	- 29 -
4.3 0 Stálá zatížení	- 31 -
4.4 Svislé proměnné zatížení železniční dopravou	- 33 -
4.4.1 Excentricita svislého proměnného zatížení	- 33 -
4.4.2 Podélné roznášení osamělé síly v modelu 71	- 33 -
4.4.3 Dynamické účinky pohyblivého svislého zatížení	- 33 -
4.4.4 Vliv odstředivé síly	- 34 -
4.4.5 Charakteristická hodnota zatížení bočním rázem	- 34 -
4.4.6 Zatížení rozjezdovými a brzdnými silami	- 34 -
4.5 Zatížení větrem	- 35 -
4.5.1 Zatížení větrem – mostní konstrukce	- 35 -
4.5.2 Zatížení větrem – doprava	- 36 -
4.6 Kombinace zatížení	- 36 -
4.7 Výpočtový model konstrukce	- 37 -

4.8	Průřezové charakteristiky hlavních nosníků	- 38 -
4.9	Vnitřní síly	- 40 -
5.	POSOUZENÍ HLAVNÍCH NOSNÍKŮ	- 44 -
5.1	Minimální a maximální hodnoty vnitřních sil nosníků	- 44 -
5.2	Posouzení hlavního nosníku (nezesíleného), klasifikace průřezu	- 49 -
5.2.1	Účinky boulení stěn vlivem normálových napětí v mezním stavu únosnosti a hodnoty účinných parametrů průřezu	- 49 -
5.2.2	Posouzení osově únosnosti	- 52 -
5.2.3	Posouzení ohybového momentu	- 52 -
5.2.4	Posouzení zatížitelnosti příčného řezu hlavního nosníku	- 52 -
5.2.5	Posouzení únosnosti prutu při jednoosém ohybu	- 53 -
5.2.6	Únosnost hlavního nosníku ve smyku	- 53 -
5.2.7	Interakce mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou	- 56 -
5.3	Posouzení hlavního nosníku 1 x zesíleného, klasifikace průřezu	- 57 -
5.3.1	Účinky boulení stěn vlivem normálových napětí v mezním stavu únosnosti a hodnoty účinných parametrů průřezu	- 57 -
5.3.2	Posouzení osově únosnosti	- 59 -
5.3.3	Posouzení ohybového momentu	- 60 -
5.3.4	Posouzení zatížitelnosti příčného řezu hlavního nosníku	- 60 -
5.3.5	Posouzení únosnosti prutu při jednoosém ohybu	- 61 -
5.3.6	Únosnost hlavního nosníku ve smyku	- 61 -
5.3.7	Interakce mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou	- 64 -
5.4	Posouzení hlavního nosníku 2 x zesíleného, klasifikace průřezu	- 65 -
5.4.1	Účinky boulení stěn vlivem normálových napětí v mezním stavu únosnosti a hodnoty účinných parametrů průřezu	- 65 -
5.4.2	Posouzení osově únosnosti	- 67 -
5.4.3	Posouzení ohybového momentu	- 68 -
5.4.4	Posouzení zatížitelnosti příčného řezu hlavního nosníku	- 68 -
5.4.5	Posouzení únosnosti prutu při jednoosém ohybu	- 69 -
5.4.6	Únosnost hlavního nosníku ve smyku	- 69 -

5.4.7	Interakce mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou	- 72 -
6.	POSOUZENÍ PŘÍČNÉHO ZTUŽENÍ A ZAVĚTROVÁNÍ	- 73 -
6.1	Minimální a maximální hodnoty vnitřních sil příčného ztužení	- 73 -
6.2	Posouzení příčného ztužení a zavětrování, průřezové charakteristiky	- 75 -
6.2.1	Posouzení osové únosnosti	- 75 -
6.2.2	Délky prutů a hodnoty normálových tlakových sil pro maximální kombinaci C O1 až CO 10, CO 11 a CO 12	- 76 -
6.2.3	Posouzení na vzpěr	- 78 -
6.2.4	Posouzení zatížitelnosti příčného ztužení hlavních nosníků	- 81 -
7.	ZÁVĚR	- 82 -
8.	POUŽITÁ LITERATURA	- 83 -

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek č. 1. – Vyznačení polohy mostu na mapě (www.mapy.cz)	- 17 -
Obrázek č. 2. – Vyznačení polohy mostu na letecké mapě (www.mapy.cz)	- 17 -
Obrázek č. 3. – Vyznačení polohy mostu na železniční mapě ČD (www.szdc.cz)	- 18 -
Obrázek č. 4. – Pohled na mostní konstrukci z PK od Jablonce nad Jizerou	- 21 -
Obrázek č. 5. – Pohled na mostní konstrukci od Poniklé	- 21 -
Obrázek č. 6. – Pohled na mostní konstrukci z železničního svršku ve směru Poniklá	- 22 -
Obrázek č. 7. – Pohled na mostní konstrukci z železničního svršku ve směru Jablonec nad Jizerou	- 22 -
Obrázek č. 8. – Detail vykonzolování chodníkové části mostní konstrukce	- 23 -
Obrázek č. 9. – Detail uložení mostní konstrukce	- 23 -
Obrázek č. 10. – Detail příčného vyztužení mostní konstrukce	- 23 -
Obrázek č. 11. – Půdorys	- 24 -
Obrázek č. 12. – Příčný řez	- 25 -
Obrázek č. 13. – Příčný řez s vozidlem	- 26 -
Obrázek č. 14. – Detail hlavních nosníků a příčného ztužení	- 26 -
Obrázek č. 15. – Podélný řez s vozidlem	- 27 -
Obrázek č. 16. – Zábradlí	- 28 -
Obrázek č. 17. – Prvky mostního objektu	- 32 -
Obrázek č. 18. – Model zatížení 71 a charakteristické hodnoty svislých zatížení	- 33 -
Obrázek č. 19. – Podélné roznášení osamělé síly	- 33 -
Obrázek č. 20. – Pohled na model ve směru jízdy	- 37 -
Obrázek č. 21. – Boční pohled na model	- 37 -
Obrázek č. 22. – Pohled na model seshora	- 38 -
Obrázek č. 23. – Pohled na model zezdola	- 38 -
Obrázek č. 24. – Průběh vnitřních sil na pravém nosníku od kombinace zatížení CO 5	- 44 -
Obrázek č. 25. – Průběh vnitřních sil na pravém nosníku od kombinace zatížení CO 6	- 45 -
Obrázek č. 26. – Průběh vnitřních sil na pravém nosníku od kombinace zatížení CO 8	- 45 -
Obrázek č. 27. – Průběh vnitřních sil na levém nosníku od kombinace zatížení CO 8	- 46 -

Obrázek č. 28. – Průběh vnitřních sil na levém nosníku od kombinace zatížení CO 9	- 46 -
Obrázek č. 29. – Průběh vnitřních sil na pravém nosníku od kombinace zatížení CO 11	- 47 -
Obrázek č. 30. – Průběh vnitřních sil na levém nosníku od kombinace zatížení CO 11	- 47 -
Obrázek č. 31. – Průběh vnitřních sil na pravém nosníku od kombinace zatížení CO 12	- 48 -
Obrázek č. 32. – Průběh vnitřních sil na levém nosníku od kombinace zatížení CO 12	- 48 -
Obrázek č. 33. – Hlavní nosník	- 49 -
Obrázek č. 34. – Průběh napětí na stojně	- 50 -
Obrázek č. 35. – Hlavní nosník 1x zesílený	- 57 -
Obrázek č. 36. – Hlavní nosník 2x zesílený	- 65 -
Obrázek č. 37. – Průběh normálových sil na 2. příčném ztužení nosníků od kombinace zatížení CO 9	- 74 -
Obrázek č. 38. – Průběh normálových sil na 7. příčném ztužení levého nosníku od kombinace zatížení CO 9	- 74 -
Obrázek č. 39. – Průběh normálových sil na 2. příčném ztužení nosníků od kombinace zatížení CO 11	- 74 -
Obrázek č. 40. – Průběh normálových sil na 7. příčném ztužení levého nosníku od kombinace zatížení CO 11	- 74 -
Obrázek č. 41. – Průběh normálových sil na 4. příčném ztužení nosníků od kombinace zatížení CO 12	- 74 -
Obrázek č. 42. – Průběh normálových sil na 5. příčném ztužení nosníků od kombinace zatížení CO 12	- 74 -
Obrázek č. 43. – Příčné ztužení	- 75 -
Obrázek č. 44. – Průběh normálových tlakových sil na horním a dolním příčném ztužení od kombinací zatížení CO 8, CO 11 a CO 12	- 76 -
Obrázek č. 45. – Průběh normálových tlakových sil na diagonálním ztužení od kombinací zatížení CO 9, CO 11 a CO 12	- 77 -
Obrázek č. 46. – Průběh normálových tlakových sil na diagonálním ztužení od kombinací zatížení CO 8, CO 11 a CO 12	- 77 -

Tabulka č. 1. – Vlastnosti oceli dle roku výroby	- 29 -
Tabulka č. 2. – Objemové hmotnosti materiálů	- 29 -
Tabulka č. 3. – Úroveň spolehlivosti stávajících mostních objektů	- 30 -
Tabulka č. 4. – Hodnoty dílčího součinitele spolehlivosti $\gamma_{M,i}$	- 31 -
Tabulka č. 5. – Hmotnosti jednotlivých částí jednoho hlavního nosníku	- 38 -
Tabulka č. 6. – Průřezové charakteristiky hlavních nosníků	- 39 -
Tabulka č. 7. – Extrémy vnitřních sil pro zatěžovací kombinaci CO 1	- 40 -
Tabulka č. 8. – Extrémy vnitřních sil pro zatěžovací kombinaci CO 2	- 40 -
Tabulka č. 9. – Extrémy vnitřních sil pro zatěžovací kombinaci CO 3	- 40 -
Tabulka č. 10. – Extrémy vnitřních sil pro zatěžovací kombinaci CO 4	- 41 -
Tabulka č. 11. – Extrémy vnitřních sil pro zatěžovací kombinaci CO 5	- 41 -
Tabulka č. 12. – Extrémy vnitřních sil pro zatěžovací kombinaci CO 6	- 41 -
Tabulka č. 13. – Extrémy vnitřních sil pro zatěžovací kombinaci CO 7	- 42 -
Tabulka č. 14. – Extrémy vnitřních sil pro zatěžovací kombinaci CO 8	- 42 -
Tabulka č. 15. – Extrémy vnitřních sil pro zatěžovací kombinaci CO 9	- 42 -
Tabulka č. 16. – Extrémy vnitřních sil pro zatěžovací kombinaci CO 10	- 43 -
Tabulka č. 17. – Extrémy vnitřních sil pro zatěžovací kombinaci CO 11	- 43 -
Tabulka č. 18. – Extrémy vnitřních sil pro zatěžovací kombinaci CO 12	- 43 -
Tabulka č. 19. – Extrémy normálových sil na příhradovém ztužení od vlastní tíhy	- 73 -
Tabulka č. 20. – Extrémy normálových sil na příčném ztužení od kombinace zatížení CO 9	- 73 -
Tabulka č. 21. – Extrémy normálových sil na příčném ztužení od kombinace zatížení CO 11	- 73 -
Tabulka č. 22. – Extrémy normálových sil na příčném ztužení od kombinace zatížení CO 12	- 73 -

SEZNAM ZKRATEK

ČD	České dráhy
ČSN	Česká státní norma
DÚ	definiční úsek
EN	Evropská norma
MP	metodický pokyn
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty
TÚ	traťový úsek
UIC	Mezinárodní železniční unie (International union of railways)
UIC 71	model zatížení

SEZNAM ZNAČEK

α_1	míra imperfekcí
α_E	součinitel citlivosti metody FORM pro zatížení, $\alpha_E = -0,7$
α_R	součinitel citlivosti metody FORM pro odolnost, $\alpha_R = -0,8$
β_t	index spolehlivosti uvažovaný dle MP SŽDC, podle stáří nosného prvku
γ_G	dílčí součinitel účinků stálého zatížení
$\gamma_{M,i}$	dílčí součinitel spolehlivosti konstrukčních ocelí vyrobených do roku 1968
γ_{Rd}	dílčí součinitel zohledňující nejistoty modelu únosnosti; pro $\gamma_{M,0} = 1,0$, pro $\gamma_{M,1} = 1,1$
γ_{Sd}	dílčí součinitel zohledňující nejistoty modelu odezvy stálého zatížení, $\gamma_{Sd} = 1,05$
γ_Q	dílčí součinitel účinků proměnných klimatických zatížení
κ_k, κ_d	konstanty související s úpravou hodnoty indexu spolehlivosti
λ	součinitel efektivní štíhlosti
$\bar{\lambda}$	poměrná štíhlost prutu
λ_1	srovnávací štíhlost
$\bar{\lambda}_p$	desková štíhlost
$\bar{\lambda}_w$	upravená štíhlost
$\lambda_{y,z}$	štíhlost prutu
φ	součinitel plnost
Φ	distribuční funkce normovaného normálního rozdělení
Φ_3	dynamický součinitel pro standardně udržovanou kolej
χ	součinitel vzpěrnosti pro příslušný směr vybočení
χ_w	součinitel příspěvku stojiny
ψ	součinitel vyjadřující poměr napětí v horních a dolních vláken stojiny
ψ_0, ψ_1	kombinační součinitelé
ψ_λ	součinitel koncového efektu
ρ	měrná hmotnost vzduchu očekávaná při silné vichřici
$\sigma'_{1,2}$	napětí v horních / dolních vláknech průřezu [MPa]
$\sigma_{1,2}$	napětí v horních / dolních vláknech stojiny [MPa]
A_C	celková plocha obálky [m^2]; plocha plného průřezu tlačené části stojiny [m^2]
A	vzdálenost příčniců [mm]
A_{net}	plocha oslabeného průřezu [m^2]
a_R	koeficient nesymetrie rozdělení meze kluzu oceli

A_{ref}	referenční plocha [m^2]
b_0	neúčinná délka stojiny [mm]
b_c	tlačená délka stojiny [mm]
b_{eff}	účinná délka tlačené stojiny / přečnávající části pásnice [mm]
b_{e1}	délka účinné části stojiny v oblasti pásnice [mm]
b_{e2}	délka účinné části stojiny v oblasti neutrální osy [mm]
b_f	šířka pásnice [mm]
c	součinitel zatížení větrem; délka přečnávající části pásnice [mm]
c_0	součinitel ortografie
c_{dir}	součinitel směru větru
c_e	součinitel expozice
C_e	parametr typu krajiny
c_f	součinitel sil pro zatížení nosné konstrukce mostu větrem ve směru x
$c_{f,0}$	součinitel síly bez vlivu proudění kolem volných konců
c_{SEASON}	součinitel ročního období
d	délka stojiny [mm]
f	redukční součinitel
F_w	síla větru ve směru x kN/m^2
g	gravitační zrychlení, $g = 9,81 m \cdot s^{-2}$
i_y, i_z	poloměr setrvačnosti k ose y, z [mm]
I_y, I_z	moment setrvačnosti k ose y, z [mm^4]
$k_{\alpha,x}$	statický součinitel odpovídající pravděpodobnosti výskytu charakteristické hodnoty meze kluzu oceli (5 % kvantil), $k_{\alpha,x} = 1,645$
k_σ	součinitel kritického napětí
k_τ	součinitel kritického napětí ve smyku
k_l	součinitel turbulence větru
L_Φ	náhradní délka [m]
L_{cr}	vzpěrná délka pro příslušný směr vybočení [mm]
L_f	přičiňující délka zatížené části koleje v oblouku na mostě, která je nejnepříznivější pro návrh uvažovaného nosného prvku
m_a	poměrná střední hodnota průřezové charakteristiky
M	moment síly [$kN \cdot m$]

$M_{y,Rd}$	návrhová hodnota únosnosti ohybového momentu [$kN \cdot m$]
N	poměr plánované zbytkové životnosti v letech a základního referenčního intervalu
N	normálová síla [kN]
N_{Rd}	návrhová hodnota únosnosti normálové síly v tahu / tlaku [kN]
$N_{b,Rd}$	výpočtová vzpěrná únosnost [kN]
$N_{u,Rd}$	výpočtová únosnost oslabeného průřezu v tahu [kN]
Q_{tk}	charakteristická hodnota odstředivých sil [kN]
q_{tk}	charakteristická hodnota odstředivých sil [kN/m]
Q_{vk}	charakteristická hodnota svislého zatížení pro model zatížení 71 [kN]
q_{vk}	charakteristická hodnota svislého zatížení pro model zatížení 71 [kN/m]
r	osová vzdálenost mezi kolovými silami [m]; poloměr zakřivení oblouku [m]
t_f	tloušťka pásnice [mm]
t_w	tloušťka stojiny [mm]
v	maximální rychlost [m/s]
v_a	variační koeficient průřezové charakteristiky
v_b	základní rychlost větru [m/s]
$v_{b,0}$	rychlost větru dle kategorie [m/s]
v_R	variační koeficient meze kluzu oceli
V	maximální rychlost [km/h]; posouvající síla [kN]
$V_{b,Rd}$	výpočtová únosnost ve smyku [kN]
v_G	variační koeficient stálého zatížení; $v_G = 0,10/0,05$ pro prvky nekontrolované /kontrolované měřením
v_Q	variační koeficient proměnného klimatického zatížení, $v_Q = 0,12 - 0,13$
$v_{Q,71}$	variační koeficient proměnného zatížení železniční dopravou
$W_{el,y}$	pružný modul průřezu k ose y k horním (dolním) vláknům [m^3];
$W_{el,z}$	pružný modul průřezu k ose z k horním (dolním) vláknům [m^3]
$W_{ply,z}$	plastický modul průřezu k hlavní ose y, z [m^3]
z_0	parametr drsnosti
z_d	vzdálenost dolních vláken od těžiště [mm]
z_h	vzdálenost horních vláken od těžiště [mm]
Z_{LM71}	zatížitelnost prvku mostního objektu
z_{min}	minimální výška [m]

0. ÚVOD

Předmětem této bakalářské práce je statický přepočítání ocelové, trámové, plnostěnné, nýtované mostní konstrukce vyrobené v roce 1899. Most se nachází v Libereckém kraji, v okrese Semily, jižně od města Jablonec nad Jizerou, severně od křížení s pozemní komunikací I/14 – odtud vžitý název mostu „Jablonec za přejezdem“.

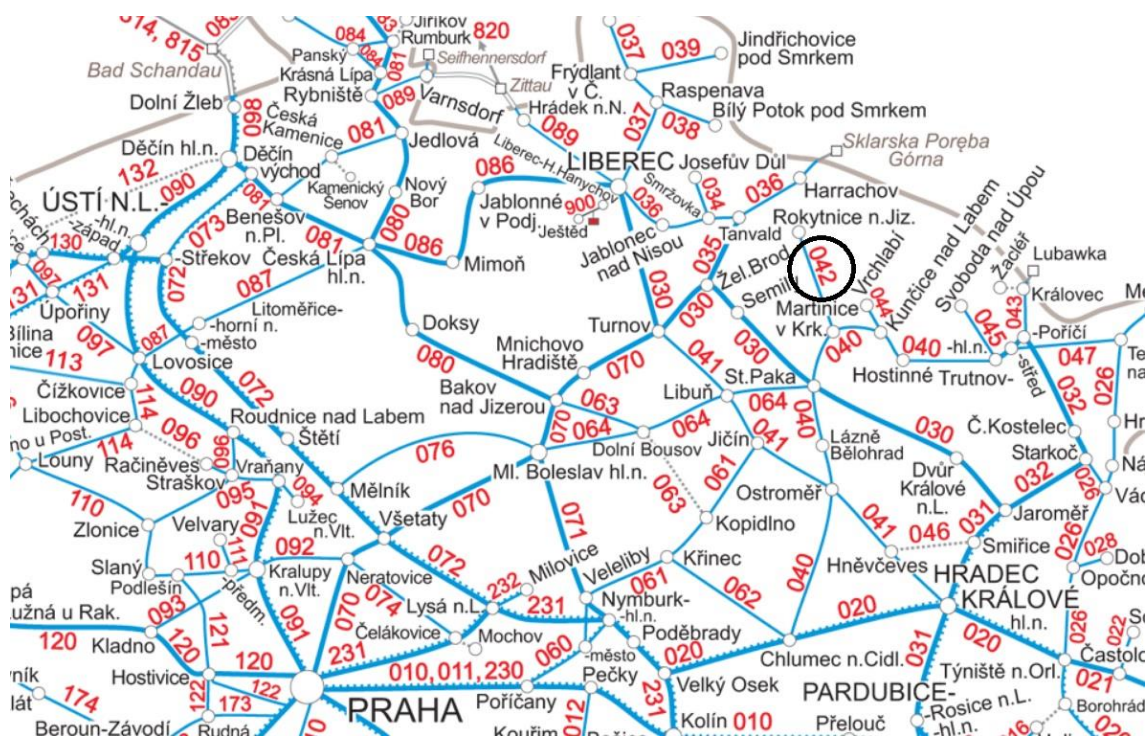


Obrázek 1 – Vyznačení polohy mostu na mapě (www.mapy.cz)



Obrázek 2 – Vyznačení polohy mostu na letecké mapě (www.mapy.cz)

Inundační most leží na jednokolejné železniční trati ČD číslo 042, v traťovém úseku TÚ 1441 Martinice v Krkonoších (mimo) – Rokytnice nad Jizerou (včetně), v definičním úseku DÚ 08 Poniklá – Jablonec nad Jizerou, v kilometru 18,003.



Obrázek 3 - Vyznačení polohy mostu na železniční mapě ČD (www.szdc.cz)

1. TECHNICKÁ ZPRÁVA

1.1 Nosná konstrukce

Konstrukce mostu je ocelová, trámová, plnostěnná, nýtovaná, prostě uložená. Ukončení konstrukce je šikmé. Délka nosné konstrukce je 9,91 m. Hlavní nosníky jsou plnostěnné, nýtované o délce 9,91 m a výšce 1,03 m. Osová vzdálenost hlavních nosníků je 1,80 m. Příčné ztužení je příhradové, nýtované o délce 1,76 m, výšce 0,89 m a osově vzdálenosti 1,55 m. Dolní podélné ztužení hlavních nosníků je provedeno z diagonálně spojených profilů „L“. Ložiska na opěře č. 1 jsou ocelová desková pevná, na opěře č. 2 jsou ocelová desková pohyblivá.

1.2 Spodní stavba

Spodní stavba je vyžděna z kamene v pravidelném řádkování. Výška dříku opěry č. 1 je 2,05 m, opěry č. 2 pak 1,95 m. Šířka opěr je 5,95 m. Závěrné zídky jsou také provedeny z kamene. Výška závěrných zídek je 1,25 m. Úložné prahy jsou provedeny z kamenných kvádrů. Křídla jsou také z kamene vyžděné nepravidelným řádkováním. Levá křídla jsou kolmá, pravá šikmá.

1.3 Železniční svršek

Převáděná železniční trať je v levém oblouku, na objektu tvořena kolejnicemi „T“ s žebrovými tuhými podkladnicemi. Před a za objektem kolejnicemi S49 s rozponovými podkladnicemi. Na objektu je 18 kusů mostnic o rozměrech 245 x 250 x 2400 mm. Světlost mezi mostnicemi je 310–495 mm. Mostnice jsou dubové, opáskované, na začátku a na konci jsou uloženy na hlavním nosníku a v kolejovém loži. Mostnice jsou uloženy plošně, připevněné svislými mostnicovými šrouby. Vpravo jsou vypořádány ocelovou deskou o výšce od 0 do 40 mm. Na opěrách jsou použity dubové pozednice bez opáskování a čelních spon proti štěpení. Rozměr pozednic jsou 160 x 220 x 2500 mm. Osová vzdálenost pražec (mostnice) – pozednice – mostnice (pražec) je na začátku mostu 590 mm a 720 mm a na konci 795 mm a 565 mm.

1.4 Vybavení mostu

Podlahy mezi kolejnicemi a chodníkové podlahy jsou z kompozitových roštů ukončené rýhovaným plechem. Zábradlí je ocelové, svařované z profilu „L“ s jedním madlem a dvěma příčlemi. Výška zábradlí vlevo i vpravo je min. 1020 mm. Délka zábradlí vlevo je 12,94 m, vpravo 12,76 m. Dilatace je umožněna pomocí šroubových spojů s možností posunu. Vpravo i vlevo je 8 ks sloupků, které jsou upevněny k chodníkovým konzolám. Vlevo z vnitřní a vnější části zábradlí jsou vedeny kabelové žlaby. Na mostním objektu nejsou žádné bezpečnostní prvky.

1.5 Výroba a opravy

Most byl vyroben v roce 1899. V roce 1954 byla provedena obnova protikorozní ochrany a v roce 2017 byl obnoven nátěr na nosné konstrukci.

1.6 Základní údaje mostního objektu

- Délka mostu: 15,40 m
- Šířka mostu projektová: 5,22 m
- Šířka mostu skutečná: 5,15 m
- Výška mostu: 3,67 m
- Délka přemostění: 9,06 m
- Rozpětí mostu: 9,40 m
- Úhel křížení: cca 40°
- Šikmost objektu: šikmost levá
- Počet kolejí: 1
- Počet nosných konstrukcí: 1
- Počet otvorů: 1
- Přemostěná překážka: občasný vodní tok

2. FOTODOKUMENTACE

Fotografie jsem nafotil v dubnu 2017, při podrobné mostní prohlídce.



Obrázek 4 – Pohled na mostní konstrukci z PK od Jablonce nad Jizerou



Obrázek 5 – Pohled na mostní konstrukci od Poniklé



Obrázek 6 – Pohled na mostní konstrukci z železničního svršku ve směru Poniklá



Obrázek 7 – Pohled na mostní konstrukci z železničního svršku ve směru Jablonec nad Jizerou



*Obrázek 8 – Detail vykonzolování chodníkové části
mostní konstrukce*

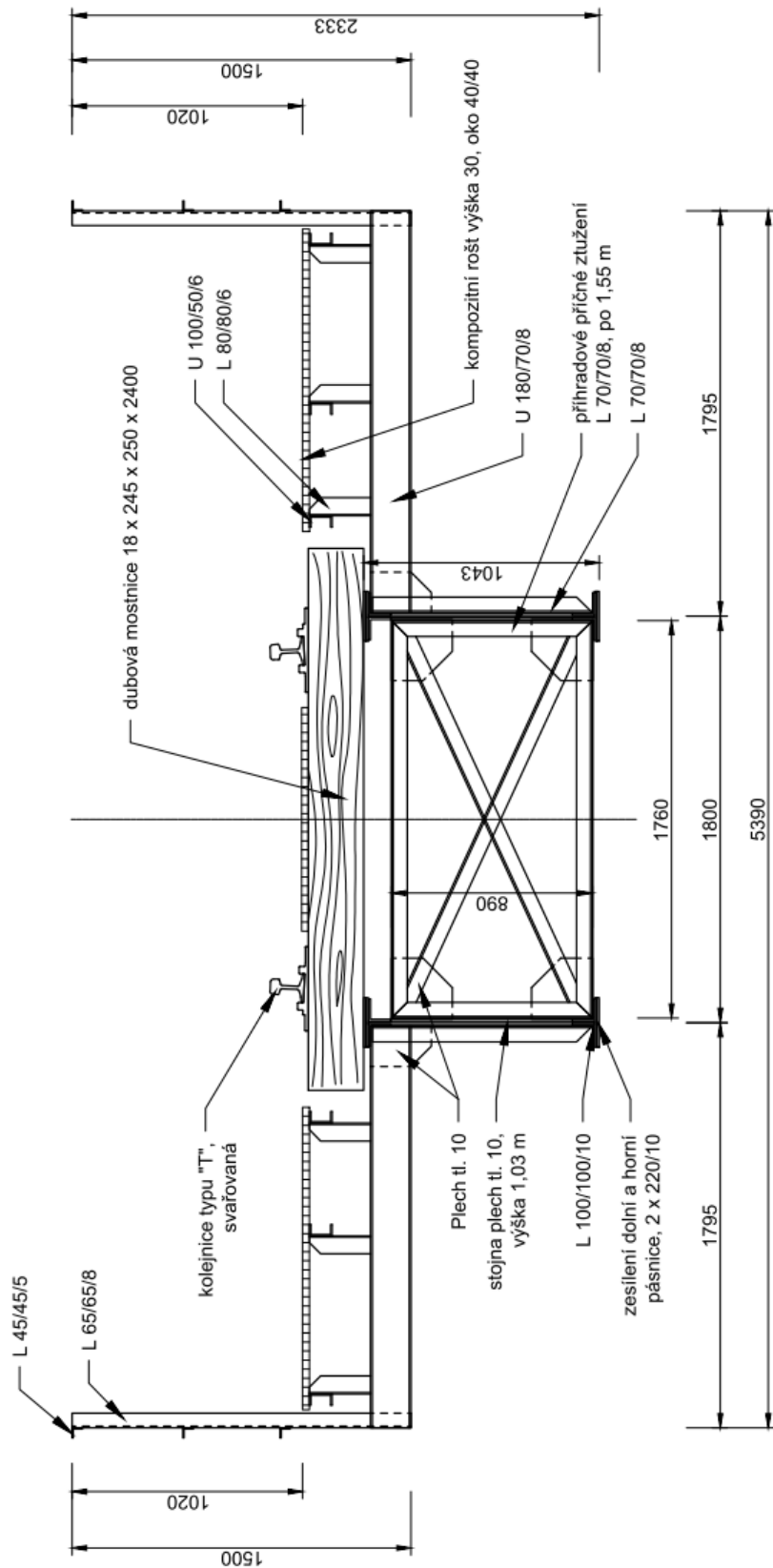


Obrázek 9 – Detail uložení mostní konstrukce



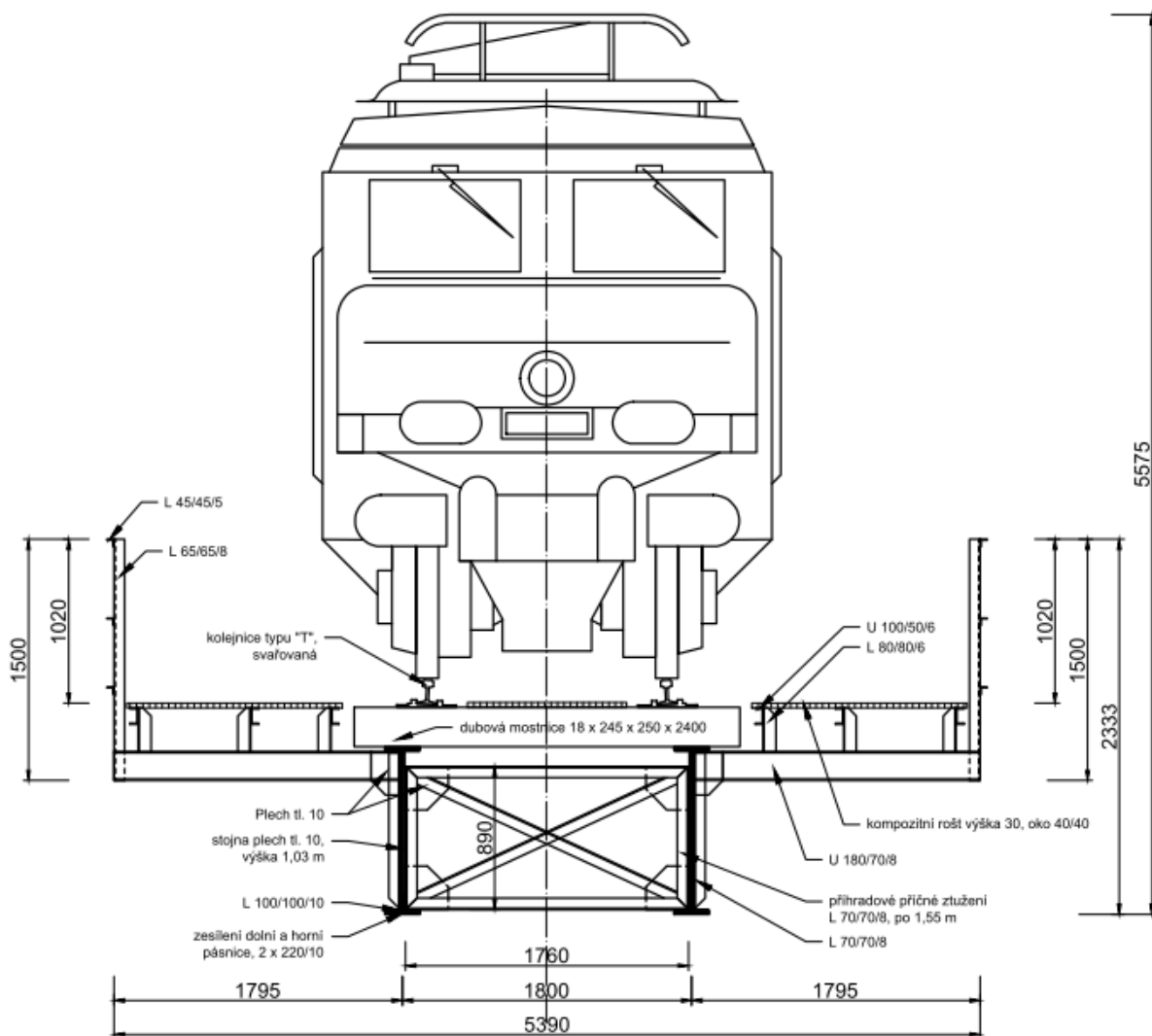
Obrázek 10 – Detail příčného vyztužení mostní konstrukce

Příčný řez M 1:30



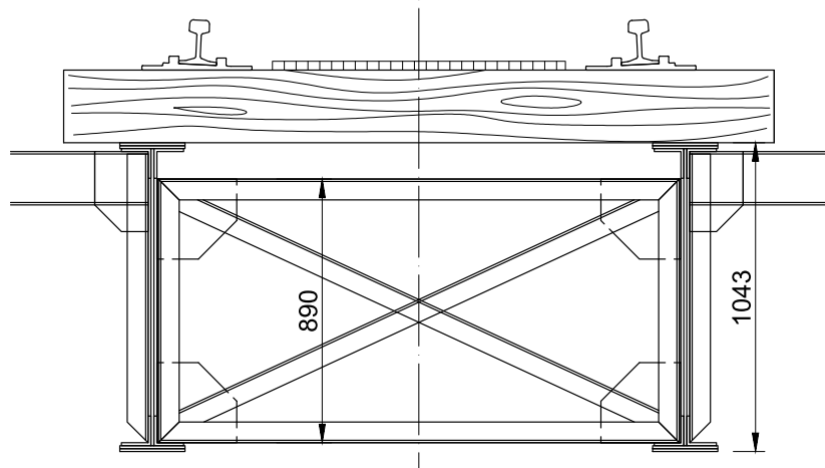
Obrázek 12 – Příčný řez (kótováno v [mm])

Příčný řez s vozidlem M 1:50



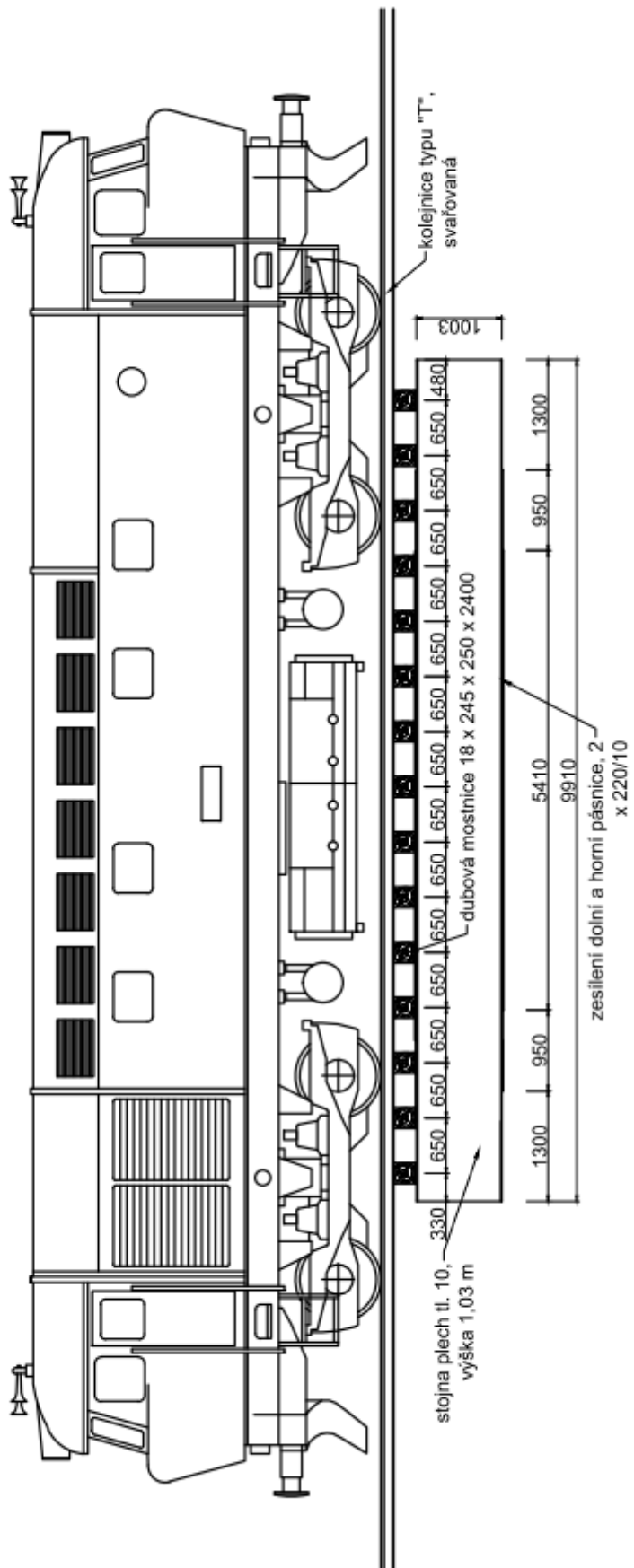
Obrázek 13 – Příčný řez s vozidlem (kótováno v [mm])

Detail hlavních nosníků a příčného ztužení M 1:15



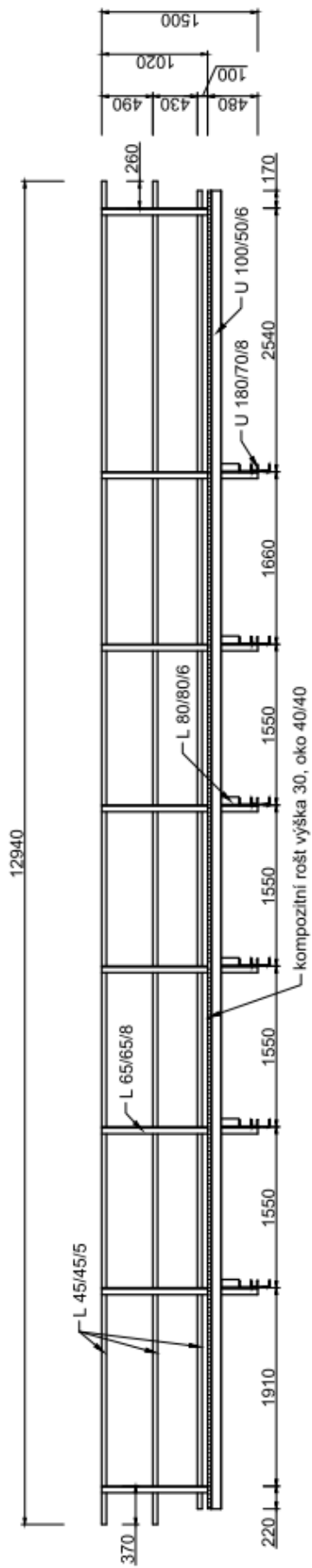
Obrázek 14 – Detail hlavních nosníků a příčného ztužení (kótováno v [mm])

Podélný řez mostem s vozidlem M 1:100

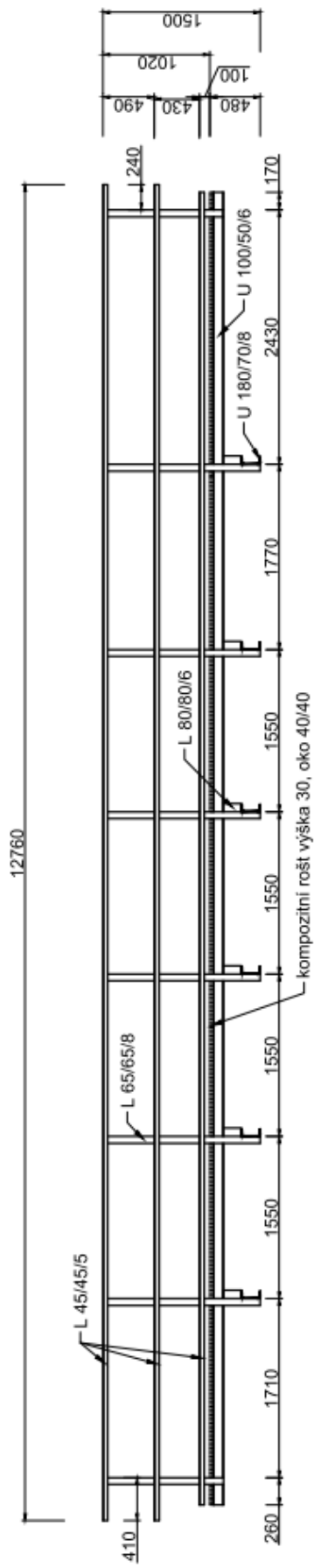


Obrázek 15 – Podélný řez s vozidlem (kótováno v [mm])

Pohled na levé zábradlí M 1:75



Pohled na pravé zábradlí M 1:75



Obrázek 16 – Zábradlí (kótováno v [mm])

4. STATICKÝ PŘEPOČET DLE ČSN EN A METODICKÉHO POKYNU SŽDC

4.1 Vlastnosti materiálů

Vlastnosti ocelí stanovíme dle tabulky A.1 MP SŽDC [1]. Základní fyzikální vlastnosti oceli uvažujeme dle ČSN EN 1993-1-1. Vlastnosti ostatních materiálů stanovíme dle ČSN EN 1991-1-1 nebo technických listů výrobců.

Rok výroby	Materiál pevnostní třídy	Dovolené namáhání σ_{adm} [MPa]	Zaručená mez kluzu f_y [MPa]	Mez pevnosti f_u [MPa]
1895–1904	svářkové železo	130	210	340
	nýty		200	310
	přesné šrouby		300	500

Tabulka 1 – Vlastnosti oceli, nýtů a přesných šroubů

Materiál	Objemová hmotnost
Ocel	7850 kg/m ³
Dubové mostnice	760 kg/m ³
kompozitní rošty výška 30, oko 38/38	15 kg/m ²

Tabulka 2 – Objemové hmotnosti materiálů

4.2 Hodnoty dílčích součinitelů

Pro posuzování stávajících mostních objektů lze s využitím matematické teorie pravděpodobnosti připustit nižší hladinu spolehlivosti než u novostaveb. SŽDC zpracovala pro nosné prvky stávajících objektů, v závislosti na jejich stáří a zbytkové životnosti, úrovně spolehlivosti, které jsou definovány pomocí součinitele β_t , viz. následující tabulka.

Zbytková životnost (roky)	Úroveň hladiny společnosti daná indexem spolehlivosti β_t podle stáří nosného prvku v letech								
	≤ 10	20	30	40	50	60	70	80	≥ 90
5	3,358	3,212	3,112	3,035	2,972	2,918	2,871	2,829	2,791
10	3,468	3,356	3,274	3,209	3,155	3,108	3,066	3,029	2,996
20	3,545	3,467	3,405	3,354	3,310	3,271	3,236	3,205	
30	3,576	3,516	3,466	3,424	3,386	3,352	3,322		
40	3,593	3,544	3,502	3,465	3,433	3,403			
50	3,604	3,563	3,526	3,494	3,465				
60	3,611	3,575	3,543	3,515					
70	3,617	3,585	3,557						
80	3,621	3,592							
90	3,624								

Tabulka 3 – Úroveň spolehlivosti stávajících mostních objektů

Stáří posuzovaného mostu je 119 let, tzn. budeme uvažovat zbytkovou životnost 5 let a do dalších výpočtů bude použita hodnota $\beta_t = 2,791$.

- Hodnoty dílčího součinitele účinků stálého zatížení γ_G dle přílohy F MP SŽDC

$$\gamma_G = \gamma_{Sd} \cdot (1 - \alpha_E \cdot \beta_t \cdot v_G) \quad \wedge \quad \gamma_G \geq 1,20$$

$$\gamma_G = 1,05 \cdot (1 - (-0,7) \cdot 2,996 \cdot 0,10) = 1,26$$

- Hodnoty dílčího součinitele spolehlivosti $\gamma_{M,i}$ pro konstrukční oceli vyrobené do r. 1968 dle přílohy F MP SŽDC

$$\gamma_{M,i} = \gamma_{Rd} \cdot \frac{1 - k_{\alpha x} \cdot (1 - \kappa_k \cdot a_R) \cdot v_R}{m_a \cdot \left[1 + \alpha_R \cdot \beta_t \cdot (1 - \kappa_d \cdot a_R) \cdot \sqrt{v_R^2 + v_a^2} \right]}$$

	dle přílohy A	plechy a široká ocel	tvarové tyče I, U, L, T ...	nýtované a svařované průřezy
$\gamma_{m,0}$	1,10	1,05	1,04	1,07
$\gamma_{m,1}$	1,20	1,16	1,15	1,17
$\gamma_{m,2}$	1,30	1,30	1,30	1,30

Tabulka 4 – Hodnoty dílčího součinitele spolehlivosti $\gamma_{M,i}$

- Hodnoty dílčího součinitele účinků proměnných klimatických zatížení (zatížení větrem a teplotou) γ_Q dle přílohy F MP SŽDC

$$\gamma_Q = \gamma_{sd} \cdot \frac{1 - v_Q \cdot [0,449 - 0,778 \cdot \ln N + 0,778 \cdot \ln(-\ln \Phi(-\alpha_E \cdot \beta_t))]}{1 - v_Q \cdot [0,449 + 0,778 \cdot \ln(-\ln(0,98))]} = 1,41$$

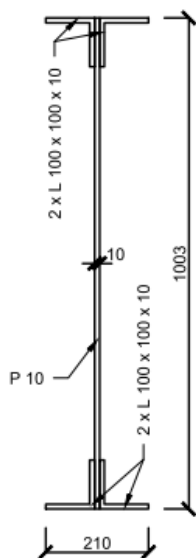
- Hodnoty dílčího součinitele účinků proměnného zatížení železniční dopravou $\gamma_{Q,LM71}$ dle přílohy F MP SŽDC (Platí pro všechny složky proměnného zatížení železniční dopravou, tj. model zatížení 71, odstředivou sílu, boční ráz a rozjezdové a brzděné síly.)

$$\gamma_{Q,LM71} = \gamma_{sd} \cdot \frac{1 - v_Q \cdot [0,449 + 0,778 \cdot \ln(-\ln \Phi(-\alpha_E \cdot \beta_t))]}{1 - v_Q \cdot [0,449 + 0,778 \cdot \ln(-\ln(0,95))]} = 1,16$$

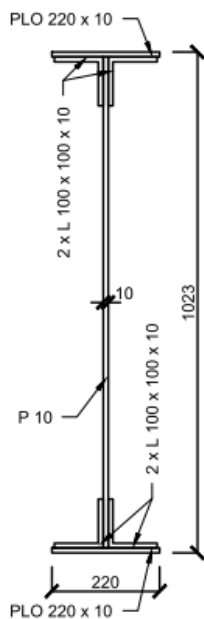
4.30 Stálá zatížení

S využitím dokumentace mostního objektu poskytnuté p. Ing. Pavlem Novákem z oblastního ředitelství SŽDC v Hradci Králové a šetřením na místě byly zjištěny skutečné hodnoty a polohy zatížení, které jsou uvedeny v technické zprávě a budou použity pro tento výpočet. Stálá zatížení stanovíme na základě objemových hmotností a skutečných rozměrů jednotlivých prvků mostního objektu získaných z podrobného měření, viz. obr. 18. Charakteristické hodnoty stálých zatížení stanovíme dle ČSN EN 1991-1-1 [3].

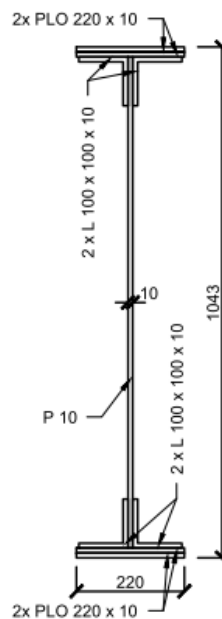
HLAVNÍ NOSNÍK



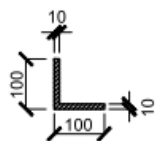
HLAVNÍ NOSNÍK 1x ZESÍLENÝ



HLAVNÍ NOSNÍK 2x ZESÍLENÝ



L 100 x 100 x 10



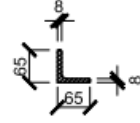
L 70 x 70 x 8



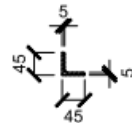
L 80 x 80 x 6



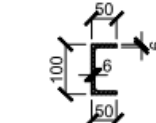
L 65 x 65 x 8



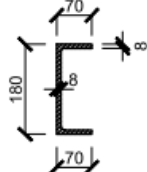
L 45 x 45 x 5



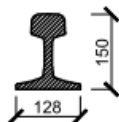
UPE 100 x 50 x 6



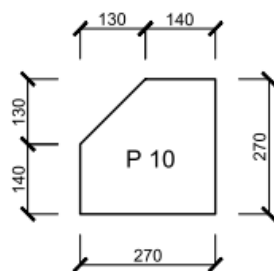
JPE 180 x 70 x 8



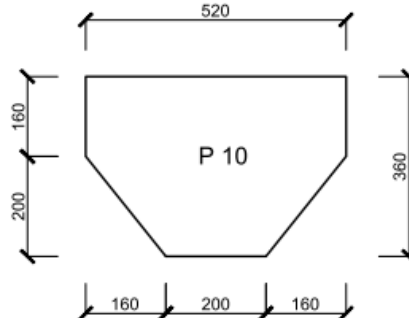
KOLEJNICE "T"



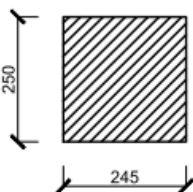
DESKA D1 tl. 10 mm



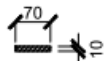
DESKA D2 tl. 10 mm



MOSTNICE 245 x 250 x 2400



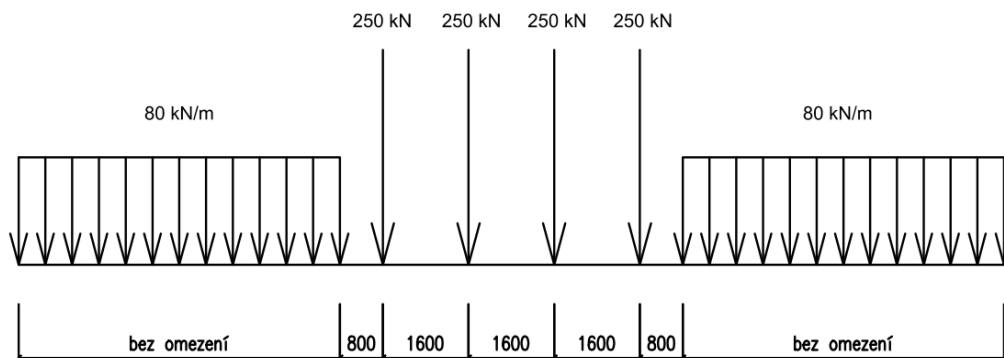
PLO 70 x 10



Obrázek 17 – Prvky mostního objektu (kótováno v [mm])

4.4 Svislé proměnné zatížení železniční dopravou

Při výpočtech zohledňuji svislé proměnné zatížení železniční dopravou modelem zatížení 71 dle ČSN EN 1991-2 se součinitelem $\alpha = 1,00$. Pro některé kombinace se uvažuje model zatížení „nezatížení vlak“ (rovnoměrné zatížení s charakteristickou hodnotou 10 kN/m). [4]



Obrázek 18 - Model zatížení 71 a charakteristické hodnoty svislých zatížení (kótováno v [mm])

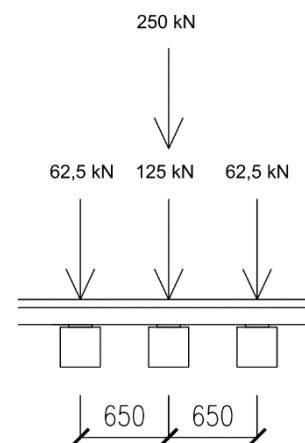
4.4.1 Excentricita svislého proměnného zatížení

V důsledku nerovnoměrných osových sil se uvažuje excentricita svislého proměnného zatížení charakterizovaného modelem zatížení 71, která se vypočítá podle vzorce:

$$e = \frac{r}{18} = 83,33 \text{ mm}$$

4.4.2 Podélné roznášení osamělé síly v modelu 71

Osamělé síly v modelu zatížení 71 se v přepočtu rozdělí na tři kolejnicové podpory dle obrázku č. 13. Vzdálenost jednotlivých kolejnicových podpor je průměrně 650 mm .



Obrázek 19 - Podélné roznášení osamělé síly (kótováno v [mm])

4.4.3 Dynamické účinky pohyblivého svislého zatížení

Ve výpočtech uvažuji dynamický součinitel Φ_3 pro standardně udržovanou kolej.

$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,73 = 1,48$$

4.4.4 Vliv odstředivé síly

Odstředivé síly se uvažují tak, že působí vodorovně ven z oblouku ve výšce 1,80 m nad pojižděným povrchem. Odstředivá síla se kombinuje pouze se svislým zatížením dopravou. Odstředivá síla se nenásobí dynamickým součinitelem [4]. Dle normy se musí uvažovat také kombinace bez odstředivé síly. Poloměr křivosti koleje je dle měření $r = 305,245 \text{ m}$ a maximální rychlost na mostě $v = 40 \text{ km/h}$.

$$Q_{tk} = \frac{v^2}{g \cdot r} \cdot (f \cdot Q_{vk}) = 10,31 \text{ kN}$$

$$q_{tk} = \frac{v^2}{g \cdot r} \cdot (f \cdot q_{vk}) = 3,31 \text{ kN/m}$$

$$f = \left(\left[1 - \frac{V - 120}{1000} \cdot \left(\frac{814}{V} + 1,75 \right) \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{2,88}{L_f}} \right) \right]; \min 0,35 \right) = 1$$

Pro $V \leq 120 \text{ km/h}$ nebo pro $L_f \leq 2,88 \text{ m}$ je $f = 1$

4.4.5 Charakteristická hodnota zatížení bočním rázem

Boční ráz se uvažuje jako osamělá síla, působící vodorovně v úrovni temene kolejnic kolmo na osu koleje. Charakteristická hodnota bočního rázu $Q_{sk} = 100 \text{ kN}$. Boční ráz se vždy kombinuje se svislým zatížením. Boční ráz a odstředivou sílu můžeme rozdělit dle obrázku 13.

4.4.6 Zatížení rozjezdovými a brzdnými silami

Rozjezdové a brzdné síly působí v úrovni temene kolejnic v podélném směru koleje a uvažují s rovnoměrně po přičiňující délce účinků brzdění a rozjezu pro daný nosný prvek. Brzdné a rozjezdové síly se kombinují se svislým zatížením. $Q_{lak} = 33 \text{ kN/m}$, $Q_{lbk} = 20 \text{ kN/m}$.

4.5 Zatížení větrem

Most se nachází ve větrné oblasti kategorie IV, v oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami nebo překážkami (předměstský terén, souvislý les), kategorie III. Typ krajiny budu uvažovat jako normální s parametrem $C_e = 1$.

Rychlost větru kategorie IV	$v_{b,0} = 30 \text{ m/s}$
Parametr drsnosti	$z_0 = 0,3 \text{ m}$
Minimální výška	$z_{min} = 5 \text{ m}$
Součinitel ortografie	$c_0 = 1$
Součinitel turbulence	$k_l = 1$
Součinitel směru větru	$c_{dir} = 1,0$
Součinitel ročního období	$c_{SEASON} = 1,0$
Základní rychlost větru	$v_b = c_{dir} \cdot c_{SEASON} \cdot v_{b,0} = 30 \text{ m/s}$
Součinitel expozice	$c_e = 1,28$
Měrná hmotnost vzduchu očekávaná při silné vichřici	$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

4.5.1 Zatížení větrem – mostní konstrukce

Délka hlavního nosníku je 9,91 m, výška 1,043 m. Výška objektu nad zemí je 3,67 m. Jelikož je na obou stranách mostu umístěno prodyšné zábradlí, připočítává se k výšce 0,6 m. Dynamický výpočet odezvy mostní konstrukce není nutný, protože se jedná o obvyklý železniční most s rozpětím menším než 40 m. Na výpočet síly větru stačí použít zjednodušenou metodu dle ČSN EN 1991-1-4 [5].

$$A_{ref} = 9,91 \cdot 1,643 = 16,282 \text{ m}^2$$

$$\varphi = \frac{A_c}{A_{ref}} = \frac{13,063}{16,282} = 0,802, \text{ z normového grafu pak } c_{f,0} = 1,6$$

$$\lambda = \frac{2 \cdot l}{b} = \frac{2 \cdot 9,91}{1,643} = 12,06, \text{ z normového grafu pak } \psi_\lambda = 0,93$$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 1,6 \cdot 0,93 = 1,49$$

$$c = c_e \cdot c_f = 1,28 \cdot 1,49 = 1,91$$

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot A_{ref} \cdot c = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 30^2 \cdot 16,282 \cdot 1,91 = 17,49 \text{ kN}$$

$$F_w 1 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 30^2 \cdot 1,91 = 1,07 \text{ kN/m}^2$$

4.5.2 Zatížení větrem – doprava

Výška projíždějícího vlaku 4 m

$$A_{ref,v} = 9,91 \cdot 4 = 39,64 \text{ m}^2$$

$$\varphi = 1, \quad c_{f,0} = 2,0, \quad \lambda = \frac{2 \cdot l}{b} = \frac{2 \cdot 9,91}{4} = 4,96, \quad \psi_\lambda = 0,99,$$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 2,0 \cdot 0,99 = 1,98$$

$$c = c_e \cdot c_f = 1,28 \cdot 1,98 = 2,53$$

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot A_{ref} \cdot c = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 30^2 \cdot 39,64 \cdot 2,53 = 56,41 \text{ kN}$$

$$F_w 1 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 30^2 \cdot 2,53 = 1,42 \text{ kN/m}^2$$

4.6 Kombinace zatížení

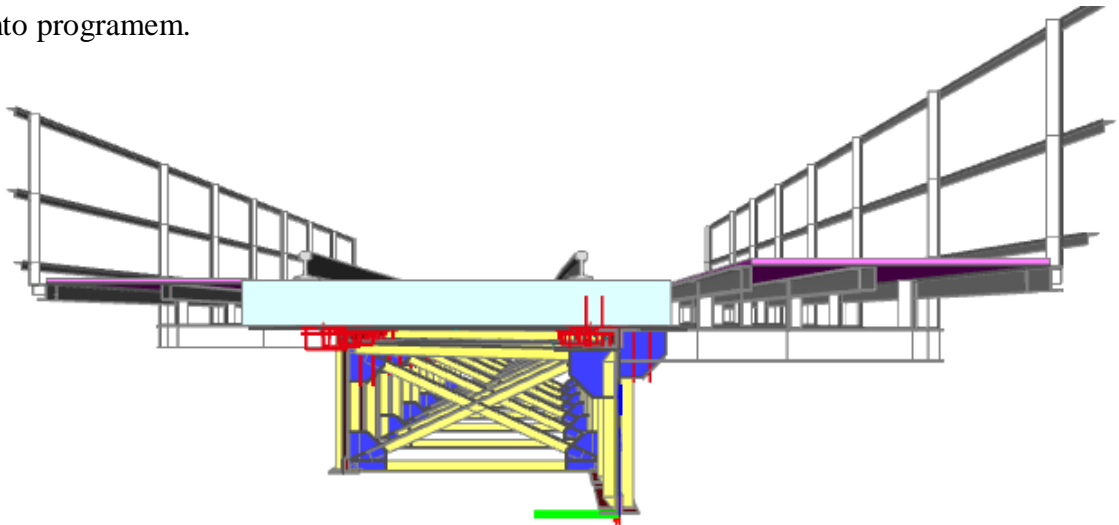
Kombinace zatížení, které se současně vyskytují s železniční dopravou na mostním objektu, stanovím dle A2.2.4, ČSN EN 1990 – Kombinační pravidla pro železniční mosty a tabulky A2.3 téže normy a zároveň dle MP SŽDC je omezím na kombinace zatížení, které mohou působit současně. Hodnoty kombinačních součinitelů ψ_0, ψ_1 jsou u všech použitých sestav zatížení rovny hodnotě 1. Součinitelé pro nepříznivá zatížení budu uvažovat snížené dle MP SŽDC, viz. více. Působení větru se dle normy nemá kombinovat s odstředivou silou a bočním rázem, proto tyto kombinace nebudou uvažovány. Pro další výpočty jsem vybral dvanáct nejméně příznivých kombinací sil a kombinace potřebné pro další výpočty.

- CO 1 – Vlastní tíha
- CO 2 – Vlastní tíha + vítr
- CO 3 - Vlastní tíha + vítr + vlak UIC 71
- CO 4 – Vlastní tíha + vítr + nezatížený vlak

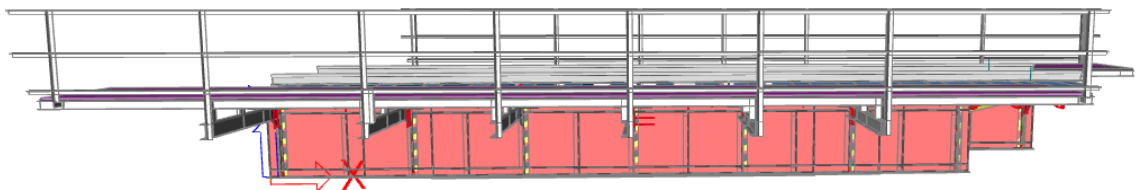
- CO 5 – Vlastní tíha + vítr + rozjezdové a brzdné síly (x) + vlak UIC 71
- CO 6 – Vlastní tíha + vítr + rozjezdové a brzdné síly (-x) + vlak UIC 71
- CO 7 – Vlastní tíha + boční ráz + odstředivá síla + vlak UIC 71
- CO 8 – Vlastní tíha + boční ráz + odstředivá síla + rozjezdové a brzdné síly (x) + vlak UIC 71
- CO 9 – Vlastní tíha + boční ráz + odstředivá síla + rozjezdové a brzdné síly (-x) + vlak UIC 71
- CO 10 – Vlastní tíha + boční ráz + odstředivá síla + nezatížení vlak
- CO 11 – Vlastní tíha + vlak UIC 71
- CO 12 – Ostatní zatížení působící společně s vlakem UIC 71

4.7 Výpočtový model konstrukce

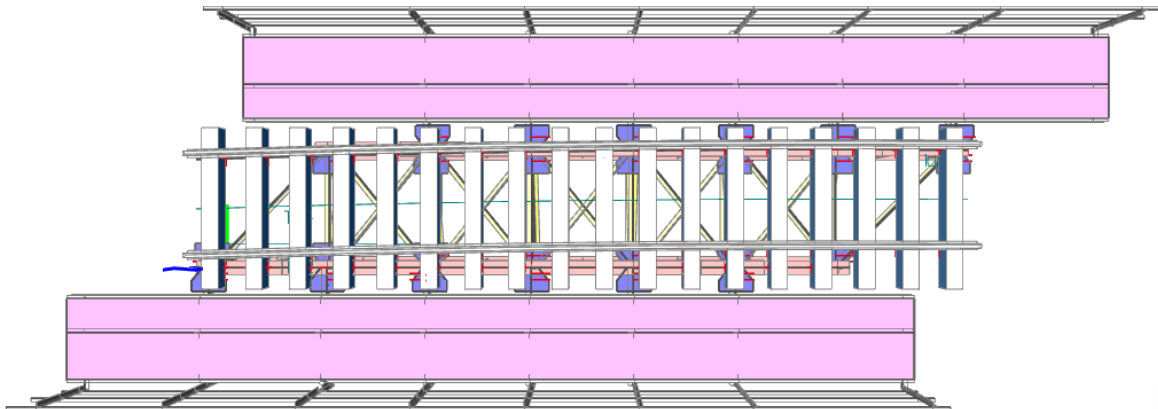
Mostní konstrukci jsem vymodeloval ve studentské verzi programu Scia Engineer 18.1.57, který řeší prutové a deskové konstrukce metodou konečných prvků. Posouzení jednotlivých prvků mostní konstrukce bude vycházet z vypočtených výsledků vnitřních sil tímto programem.



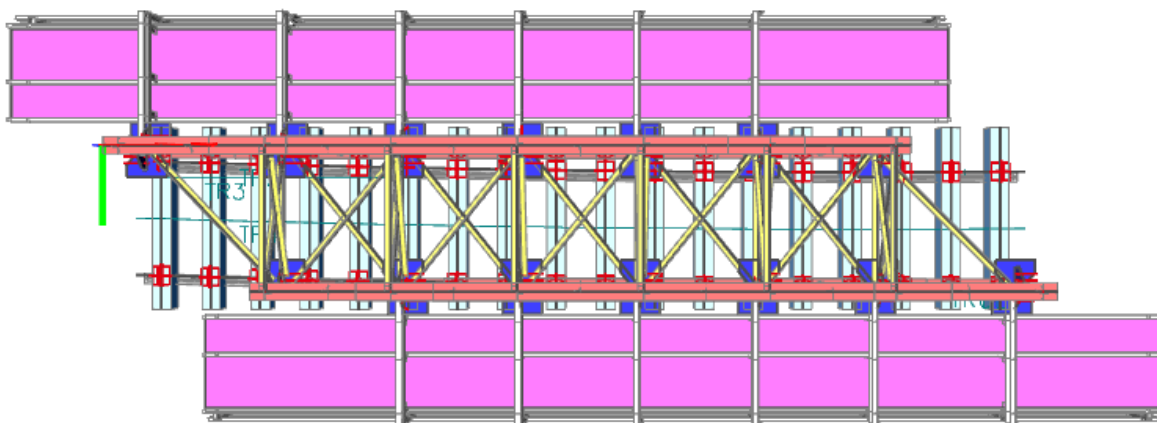
Obrázek 20 – Pohled na model ve směru jízdy



Obrázek 21 – Boční pohled na model



Obrázek 22 – Pohled na model seshora



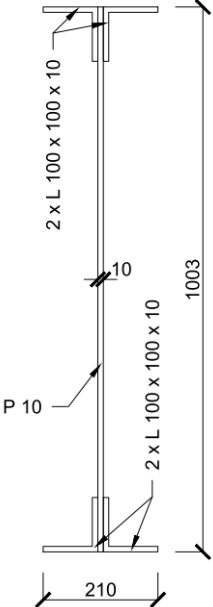
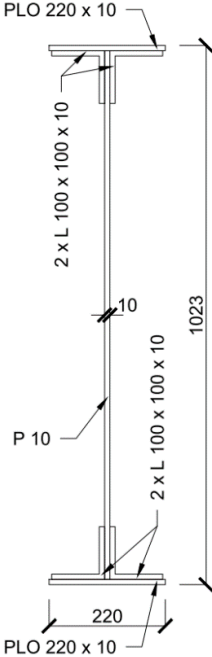
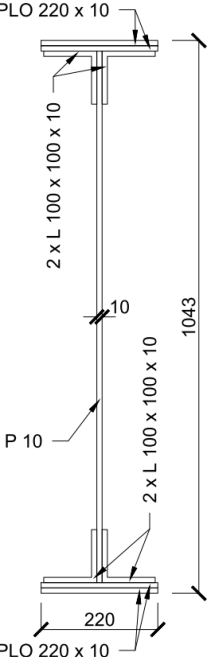
Obrázek 23 – Pohled na model zezdola

4.8 Průřezové charakteristiky hlavních nosníků

Průřezové charakteristiky hlavních nosníků byly spočteny studentskou verzí programu Scia Engineer 18.1.57 a jsou uvedeny v tabulce č. 6. V tabulce č. 5 jsou spočteny hmotnosti jednotlivých částí jednoho hlavního nosníku.

HLAVNÍ NOSNÍK 1 ks	<i>Plocha</i> <i>A [m²]</i>	<i>Objemová</i> <i>hmotnost</i> <i>ρ [kg/m³]</i>	<i>Jednotková</i> <i>hmotnost</i> <i>m_j [kg]</i>	<i>Celková</i> <i>délka</i> <i>l [m]</i>	<i>Celková</i> <i>hmotnost</i> <i>m_c [kg]</i>
Hlavní nosník	0,01763	7850	138,3955	2,60	359,8283
Hlavní nosník 1x zesílený	0,02203	7850	172,9355	1,90	328,5775
Hlavní nosník 2x zesílený	0,02643	7850	207,4755	5,41	1122,4425

Tabulka 5 – Hmotnosti jednotlivých částí jednoho hlavního nosníku

HLAVNÍ NOSNÍK	HLAVNÍ NOSNÍK 1x ZESÍLENÝ	HLAVNÍ NOSNÍK 2x ZESÍLENÝ
		
Průřezové charakteristiky hlavních nosníků		
$A = 0,01763 \text{ m}^2$ $I_y = 2,5471 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$ $I_z = 1,5907 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$ $i_y = 380 \text{ mm}$ $i_z = 30 \text{ mm}$ $z_h = z_d = 501,5 \text{ mm}$ $W_{el,yH(D)} = \frac{I_y}{z_h(z_d)} =$ $= 5,0790 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ $W_{ply} = 6,1084 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ $W_{plz} = 2,8107 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$	$A = 0,02203 \text{ m}^2$ $I_y = 3,6759 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$ $I_z = 3,3654 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$ $i_y = 408 \text{ mm}$ $i_z = 39 \text{ mm}$ $z_h = z_d = 511,5 \text{ mm}$ $W_{el,yH(D)} = \frac{I_y}{z_h(z_d)} =$ $= 7,1865 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ $W_{ply} = 8,3370 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ $W_{plz} = 5,2307 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$	$A = 0,02643 \text{ m}^2$ $I_y = 4,8497 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$ $I_z = 5,1400 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$ $i_y = 428 \text{ mm}$ $i_z = 44 \text{ mm}$ $z_h = z_d = 521,5 \text{ mm}$ $W_{el,yH(D)} = \frac{I_y}{z_h(z_d)} =$ $= 9,2995 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ $W_{ply} = 10,610 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ $W_{plz} = 7,6507 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

Tabulka 6 – Průřezové charakteristiky hlavních nosníků

4.9 Vnitřní síly

Maximální a minimální hodnoty vnitřních sil na hlavních nosnících byly vypočteny studentskou verzí programu Scia Engineer 18.1.57 z výše uvedených kombinací zatížení. V následujících tabulkách jsou uvedeny extrémní hodnoty jednotlivých složek sil pro každou z kombinací. Tyto hodnoty budou použity při posouzení hlavních nosníků.

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vše
Kombinace : CO1

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B203	L 70x70x8 - Úhel	0,491	CO1/7	-84,82	4,56	7,87	-0,01	0,18	-0,51
B33	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,200	CO1/7	59,63	-1,81	-3,17	0,01	62,34	-0,21
B170	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO1/7	-0,78	-12,16	-0,18	0,14	-0,51	1,07
B211	L 70x70x8 - Úhel	0,893	CO1/7	-21,20	11,23	-12,21	0,05	-8,99	7,48
B5	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,775	CO1/7	-15,24	3,50	-50,18	-0,05	1,43	2,82
B20	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,000	CO1/7	-2,14	3,85	51,50	-0,04	0,57	-2,49
B144	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO1/7	-1,64	7,68	-10,06	-0,86	-0,17	-1,60
B13	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,000	CO1/7	35,27	1,73	6,73	0,67	63,72	1,00
B318	U 180 x 70 x 8 - U	0,000	CO1/7	-15,41	1,82	18,98	0,08	-11,44	-0,82
B15	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,450	CO1/7	29,44	-2,95	-6,48	0,02	70,50	1,06
B10	Hlavní nosník, 1 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,000	CO1/7	-2,18	6,96	-38,98	0,03	57,33	-3,90
B211	L 70x70x8 - Úhel	0,973	CO1/7	-21,19	11,23	-12,21	0,05	-9,97	8,38

Tabulka 7 – Extrémy vnitřních sil pro zatěžovací kombinaci CO 1

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vše
Kombinace : CO2

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B203	L 70x70x8 - Úhel	0,491	CO2/7	-84,82	4,56	7,87	-0,01	0,18	-0,51
B33	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,200	CO2/8	63,57	-1,08	-2,81	0,01	58,28	-0,83
B170	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO2/8	-0,86	-12,25	-0,32	0,12	-0,55	0,64
B146	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO2/8	-2,65	12,27	1,53	-0,09	-1,88	-1,66
B5	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,775	CO2/8	-15,04	10,42	-50,58	-0,07	1,77	5,30
B20	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,000	CO2/7	-2,14	3,85	51,50	-0,04	0,57	-2,49
B144	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO2/7	-1,64	7,68	-10,06	-0,86	-0,17	-1,60
B13	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,000	CO2/7	35,27	1,73	6,73	0,67	63,72	1,00
B318	U 180 x 70 x 8 - U	0,000	CO2/7	-15,41	1,82	18,98	0,08	-11,44	-0,82
B15	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,450	CO2/8	22,75	-3,66	-6,31	0,03	76,80	0,57
B10	Hlavní nosník, 1 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,000	CO2/8	-5,21	8,72	-39,98	0,04	61,06	-4,96
B211	L 70x70x8 - Úhel	0,973	CO2/7	-21,19	11,23	-12,21	0,05	-9,97	8,38

Tabulka 8 – Extrémy vnitřních sil pro zatěžovací kombinaci CO 2

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vše
Kombinace : CO3

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B575	Kolejnice T - Obecný průřez	6,440	CO3/9	-490,32	-9,14	74,85	-6,15	16,70	0,71
B33	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,200	CO3/10	539,44	4,04	-43,56	0,22	599,06	-1,87
B144	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO3/11	-103,01	-300,28	-442,07	-39,68	-22,97	43,39
B146	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO3/12	-19,89	201,81	47,90	0,58	-17,48	2,58
B5	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,775	CO3/13	59,07	-146,25	-660,98	0,45	2,28	-27,20
B20	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,000	CO3/14	4,17	-135,11	625,93	0,36	-1,55	24,70
B144	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO3/3	-102,96	-256,58	-452,17	-40,13	-22,14	45,32
B172	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO3/3	-210,46	-87,67	-319,26	22,27	-120,68	60,39
B575	Kolejnice T - Obecný průřez	2,280	CO3/11	-76,31	72,41	-187,39	-0,99	-211,34	32,61
B15	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,450	CO3/15	398,21	-8,90	-97,49	0,28	726,55	1,74
B140	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	0,203	CO3/12	-36,66	-116,79	24,86	7,98	-21,62	-76,99
B168	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO3/9	-25,15	-27,79	-96,51	7,54	-7,82	95,80

Tabulka 9 – Extrémy vnitřních sil pro zatěžovací kombinaci CO 3

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vše
Kombinace : CO4

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B203	L 70x70x8 - Úhel	0,491	CO4/16	-85,85	4,43	7,72	-0,01	0,23	-0,47
B33	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,000	CO4/17	93,75	-3,80	-1,47	0,11	94,84	-0,41
B170	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO4/18	-0,99	-17,89	0,12	0,21	-0,68	1,28
B146	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO4/18	-2,67	22,27	6,10	-0,17	-2,33	-1,59
B5	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,775	CO4/19	-13,13	3,06	-90,48	-0,06	1,77	3,91
B20	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,000	CO4/20	-1,76	-2,74	88,88	-0,05	0,44	-1,21
B144	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO4/21	-6,35	1,65	-32,28	-2,46	-1,05	0,13
B172	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO4/21	-9,20	-14,85	-16,28	0,83	-4,95	2,32
B318	U 180 x 70 x 8 - U	0,000	CO4/22	-15,60	1,74	19,14	0,08	-11,50	-0,82
B15	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,450	CO4/23	47,61	-3,92	-10,43	0,04	119,99	0,60
B10	Hlavní nosník, 1 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,000	CO4/18	-8,64	8,76	-38,20	0,04	66,75	-5,02
B211	L 70x70x8 - Úhel	0,973	CO4/22	-21,31	11,21	-12,29	0,05	-10,02	8,41

Tabulka 10 – Extrémy vnitřních sil pro zatěžovací kombinaci CO 4

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vše
Kombinace : CO5

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B4	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,170	CO5/24	-589,31	5,10	55,36	-0,21	201,47	7,57
B33	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,200	CO5/10	539,44	4,04	-43,56	0,22	599,06	-1,87
B144	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO5/25	-101,59	-333,67	-431,04	-38,61	-23,11	44,16
B146	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO5/12	-19,89	201,81	47,90	0,58	-17,48	2,58
B5	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,775	CO5/26	-378,24	-157,93	-699,34	0,48	1,89	-27,22
B20	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,000	CO5/14	4,17	-135,11	625,93	0,36	-1,55	24,70
B144	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO5/3	-102,96	-256,58	-452,17	-40,13	-22,14	45,32
B172	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO5/27	-213,81	-130,55	-334,96	24,21	-121,43	60,10
B575	Kolejnice T - Obecný průřez	2,280	CO5/25	-162,56	71,76	-188,15	-0,97	-212,37	32,47
B15	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,450	CO5/15	398,21	-8,90	-97,49	0,28	726,55	1,74
B140	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	0,203	CO5/12	-36,66	-116,79	24,86	7,98	-21,62	-76,99
B168	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO5/28	-25,32	-60,71	-94,48	8,03	-8,17	96,28

Tabulka 11 – Extrémy vnitřních sil pro zatěžovací kombinaci CO 5

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vše
Kombinace : CO6

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B575	Kolejnice T - Obecný průřez	6,440	CO6/9	-490,32	-9,14	74,85	-6,15	16,70	0,71
B34	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,075	CO6/29	776,48	8,42	-56,81	0,22	598,59	-3,26
B144	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO6/11	-103,01	-300,28	-442,07	-39,68	-22,97	43,39
B146	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO6/30	-19,91	235,35	49,83	0,11	-17,68	1,59
B5	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,775	CO6/13	59,07	-146,25	-660,98	0,45	2,28	-27,20
B20	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,000	CO6/31	3,46	-140,06	666,86	0,34	-1,30	24,90
B144	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO6/32	-104,38	-223,19	-463,20	-41,20	-22,00	44,55
B172	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO6/3	-210,46	-87,67	-319,26	22,27	-120,68	60,39
B575	Kolejnice T - Obecný průřez	2,280	CO6/11	-76,31	72,41	-187,39	-0,99	-211,34	32,61
B15	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,450	CO6/33	611,30	9,21	23,13	0,57	751,01	1,64
B140	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	0,203	CO6/30	-37,01	-140,47	24,53	8,16	-21,91	-78,40
B168	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,790	CO6/34	-24,97	5,19	-98,79	7,10	-15,99	96,11

Tabulka 12 – Extrémy vnitřních sil pro zatěžovací kombinaci CO 6

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Vše

Kombinace : CO7

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B575	Kolejnice T - Obecný průřez	6,440	CO7/1	-539,27	7,51	75,64	-5,85	16,84	-0,59
B31	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,450	CO7/35	656,24	-0,97	81,26	0,22	590,46	-13,09
B144	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO7/36	-107,11	-307,75	-466,57	-41,58	-23,04	44,91
B146	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO7/5	-22,40	232,99	49,82	0,44	-19,22	8,83
B5	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,775	CO7/3	58,87	-153,17	-660,58	0,47	1,94	-29,67
B20	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,000	CO7/37	9,52	-171,61	689,99	0,79	-3,40	38,60
B144	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO7/38	-116,43	-255,60	-483,26	-42,06	-27,37	51,38
B172	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO7/3	-210,46	-87,67	-319,26	22,27	-120,68	60,39
B575	Kolejnice T - Obecný průřez	2,280	CO7/5	-67,13	71,64	-197,64	-3,16	-221,17	32,83
B15	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,450	CO7/39	404,90	-8,18	-97,66	0,27	720,26	2,23
B140	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	0,203	CO7/5	-34,43	-104,42	20,40	8,28	-21,10	-81,35
B168	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO7/9	-25,15	-27,79	-96,51	7,54	-7,82	95,80

Tabulka 13 – Extrémy vnitřních sil pro zatěžovací kombinaci CO 7

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Vše

Kombinace : CO8

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B4	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,170	CO8/40	-594,70	23,53	77,04	-0,18	187,33	3,33
B31	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,450	CO8/35	656,24	-0,97	81,26	0,22	590,46	-13,09
B144	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO8/41	-105,69	-341,14	-455,54	-40,51	-23,18	45,68
B146	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO8/5	-22,40	232,99	49,82	0,44	-19,22	8,83
B5	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,775	CO8/27	-378,44	-164,85	-698,94	0,50	1,55	-29,69
B20	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,000	CO8/37	9,52	-171,61	689,99	0,79	-3,40	38,60
B144	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO8/38	-116,43	-255,60	-483,26	-42,06	-27,37	51,38
B172	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO8/27	-213,81	-130,55	-334,96	24,21	-121,43	60,10
B575	Kolejnice T - Obecný průřez	2,280	CO8/42	-153,38	70,99	-198,40	-3,14	-222,20	32,69
B15	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,450	CO8/39	404,90	-8,18	-97,66	0,27	720,26	2,23
B140	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	0,203	CO8/5	-34,43	-104,42	20,40	8,28	-21,10	-81,35
B168	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO8/28	-25,32	-60,71	-94,48	8,03	-8,17	96,28

Tabulka 14 – Extrémy vnitřních sil pro zatěžovací kombinaci CO 8

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Vše

Kombinace : CO9

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B575	Kolejnice T - Obecný průřez	6,440	CO9/1	-539,27	7,51	75,64	-5,85	16,84	-0,59
B33	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,200	CO9/2	876,95	8,16	-21,27	-0,01	660,00	-4,42
B144	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO9/36	-107,11	-307,75	-466,57	-41,58	-23,04	44,91
B146	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO9/43	-22,42	266,53	51,75	-0,02	-19,42	7,85
B5	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,775	CO9/3	58,87	-153,17	-660,58	0,47	1,94	-29,67
B20	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,000	CO9/4	8,81	-176,56	730,92	0,77	-3,15	38,80
B144	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO9/44	-117,85	-222,21	-494,29	-43,13	-27,23	50,61
B172	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO9/3	-210,46	-87,67	-319,26	22,27	-120,68	60,39
B575	Kolejnice T - Obecný průřez	2,280	CO9/5	-67,13	71,64	-197,64	-3,16	-221,17	32,83
B15	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,450	CO9/6	617,75	9,31	22,89	0,58	744,87	2,16
B140	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	0,203	CO9/43	-34,77	-128,10	20,06	8,46	-21,40	-82,76
B168	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,790	CO9/34	-24,97	5,19	-98,79	7,10	-15,99	96,11

Tabulka 15 – Extrémy vnitřních sil pro zatěžovací kombinaci CO 9

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Vše

Kombinace : CO10

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B575	Kolejnice T - Obecný průřez	6,180	CO10/45	-128,43	57,94	0,20	-2,10	0,18	8,00
B31	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,450	CO10/46	217,04	-1,87	21,22	0,02	126,60	-13,41
B575	Kolejnice T - Obecný průřez	5,530	CO10/45	-128,43	-60,55	4,40	2,11	-1,32	8,85
B575	Kolejnice T - Obecný průřez	6,180	CO10/46	-99,49	58,54	1,71	-2,25	0,12	8,20
B23	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,900	CO10/47	-3,67	22,60	-117,81	-0,43	-1,21	4,37
B20	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,000	CO10/48	3,59	-39,24	152,95	0,38	-1,40	12,69
B144	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO10/47	-19,82	2,62	-63,37	-4,39	-6,28	6,19
B575	Kolejnice T - Obecný průřez	4,880	CO10/47	-92,45	-18,44	2,97	2,39	-0,70	5,59
B575	Kolejnice T - Obecný průřez	2,280	CO10/49	6,15	2,31	-22,13	-2,09	-19,79	1,49
B34	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,075	CO10/50	174,61	11,23	-26,94	-0,17	156,82	-5,35
B32	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,325	CO10/48	202,03	-2,69	23,11	0,01	126,32	-14,83
B5	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,775	CO10/51	-10,04	53,80	15,99	-0,43	5,22	20,20

Tabulka 16 – Extrémy vnitřních sil pro zatěžovací kombinaci CO 10

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Vše

Kombinace : CO11

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B575	Kolejnice T - Obecný průřez	6,440	CO11/9	-490,32	-9,14	74,85	-6,15	16,70	0,71
B33	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,200	CO11/52	535,50	3,32	-43,92	0,23	603,12	-1,26
B144	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO11/11	-103,01	-300,28	-442,07	-39,68	-22,97	43,39
B146	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO11/11	-18,92	200,33	48,04	0,56	-16,87	1,27
B5	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,775	CO11/3	58,87	-153,17	-660,58	0,47	1,94	-29,67
B20	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,000	CO11/14	4,17	-135,11	625,93	0,36	-1,55	24,70
B144	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO11/3	-102,96	-256,58	-452,17	-40,13	-22,14	45,32
B172	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO11/3	-210,46	-87,67	-319,26	22,27	-120,68	60,39
B575	Kolejnice T - Obecný průřez	2,280	CO11/11	-76,31	72,41	-187,39	-0,99	-211,34	32,61
B15	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,450	CO11/39	404,90	-8,18	-97,66	0,27	720,26	2,23
B140	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	0,203	CO11/11	-36,52	-117,92	24,89	7,96	-21,52	-76,22
B168	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO11/9	-25,15	-27,79	-96,51	7,54	-7,82	95,80

Tabulka 17 – Extrémy vnitřních sil pro zatěžovací kombinaci CO 11

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Vše

Kombinace : CO12

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B23	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,750	CO12/53	-461,29	26,90	-129,84	-0,80	18,20	-2,49
B31	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,450	CO12/54	192,40	-1,83	17,30	0,01	88,30	-13,82
B170	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO12/53	-1,78	-65,96	0,93	0,41	-1,24	-5,46
B5	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,775	CO12/54	-9,84	60,72	15,59	-0,45	5,57	22,67
B23	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,900	CO12/55	-460,31	25,87	-130,15	-0,80	-1,23	1,07
B20	Hlavní nosník - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,000	CO12/51	3,21	-32,64	115,56	0,39	-1,28	11,41
B144	Mostnice 245 x 250 - OBDEL	1,703	CO12/51	-15,11	8,66	-41,15	-2,80	-5,40	4,46
B575	Kolejnice T - Obecný průřez	4,880	CO12/51	-86,57	-18,12	3,24	2,39	-0,78	5,49
B12	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,175	CO12/55	-115,28	-14,29	-38,96	0,01	-26,64	-2,71
B35	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,000	CO12/51	118,90	13,98	-37,26	-0,22	121,95	-3,57
B31	Hlavní nosník, 2 x zesílený - Hlavní nosník, 1 x zesílený	0,450	CO12/53	9,59	1,80	-15,66	0,00	94,44	-15,14

Tabulka 18 – Extrémy vnitřních sil pro zatěžovací kombinaci CO 12

5. POSOUZENÍ HLAVNÍCH NOSNÍKŮ

Hlavní nosníky jsou osově symetrické a jsou sestaveny ze třech různých průřezů – hlavní nosník, hlavní nosník 1x zesílený a hlavní nosník 2x zesílený. Každý z průřezů bude posouzen na maximální hodnoty vnitřních sil z celého nosníku.

5.1 Minimální a maximální hodnoty vnitřních sil nosníků

Maximální a minimální hodnoty vnitřních sil potřebné pro posouzení hlavních nosníků, vycházející ze všech kombinací zatížení a byly vypočítány programem Scia Engineer. K jednotlivým globálním extrémům jsou přiloženy průběhy daných vnitřních sil pro danou kombinaci.

$$N_{max} = 876,95 \text{ kN (CO 9)}$$

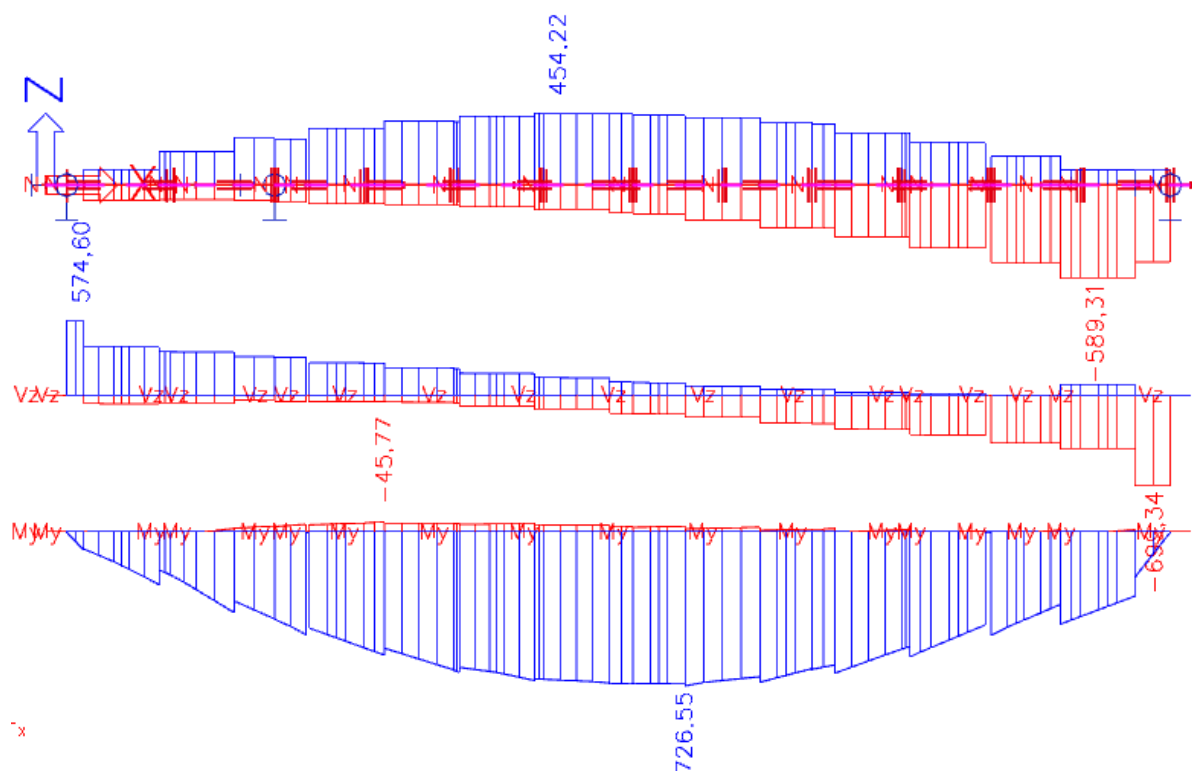
$$N_{min} = -594,70 \text{ kN (CO 8)}$$

$$V_{max} = 730,92 \text{ kN (CO 9)}$$

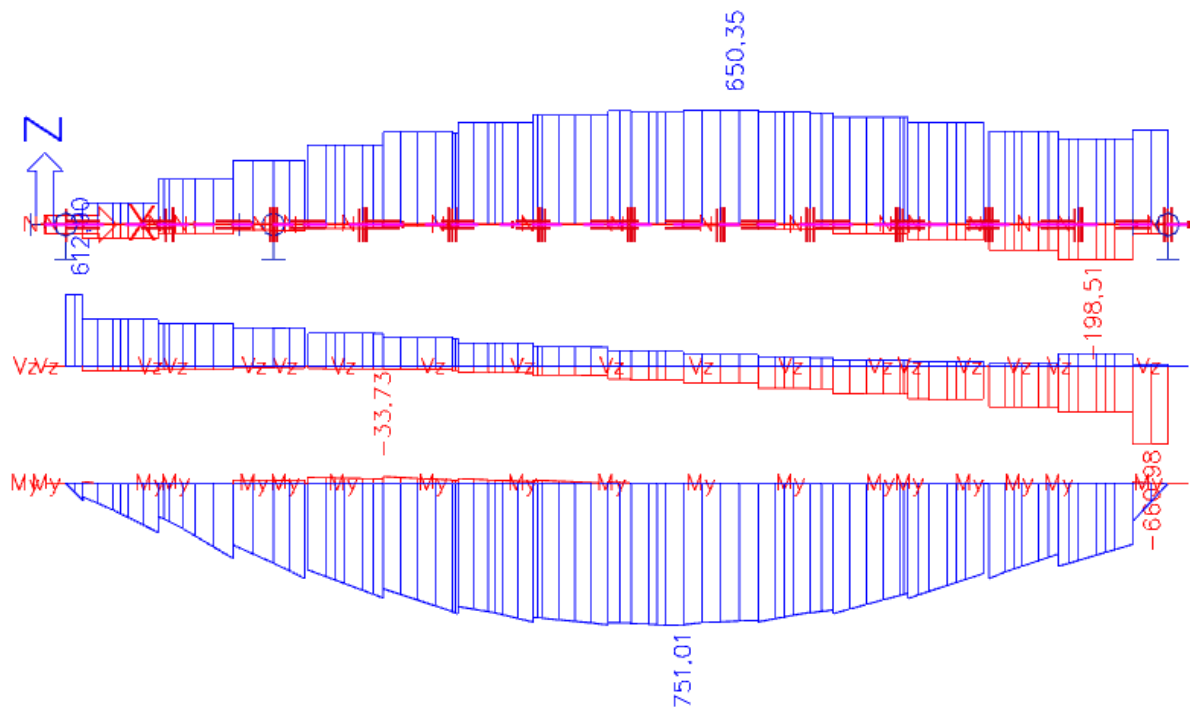
$$V_{min} = -699,34 \text{ kN (CO 5)}$$

$$M_{y,max} = 751,01 \text{ kNm (CO 6)}$$

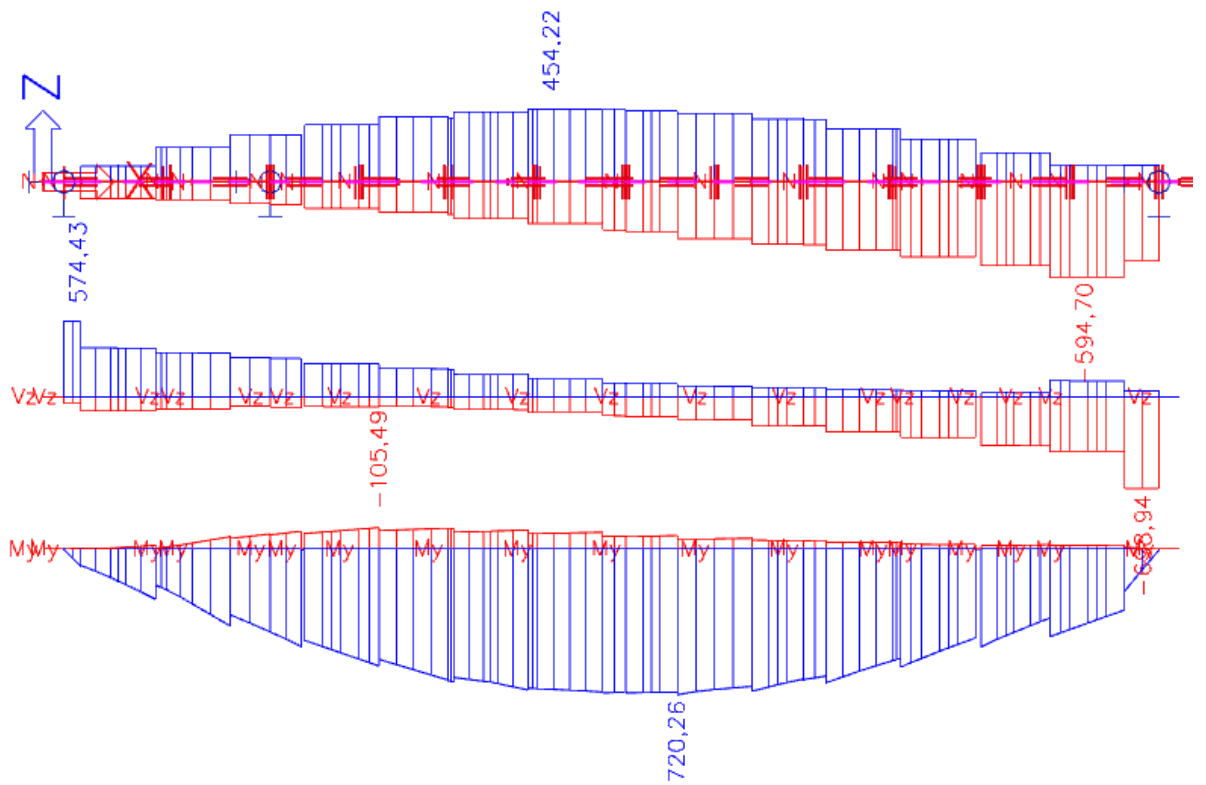
$$M_{y,min} = -222,20 \text{ kNm (CO 8)}$$



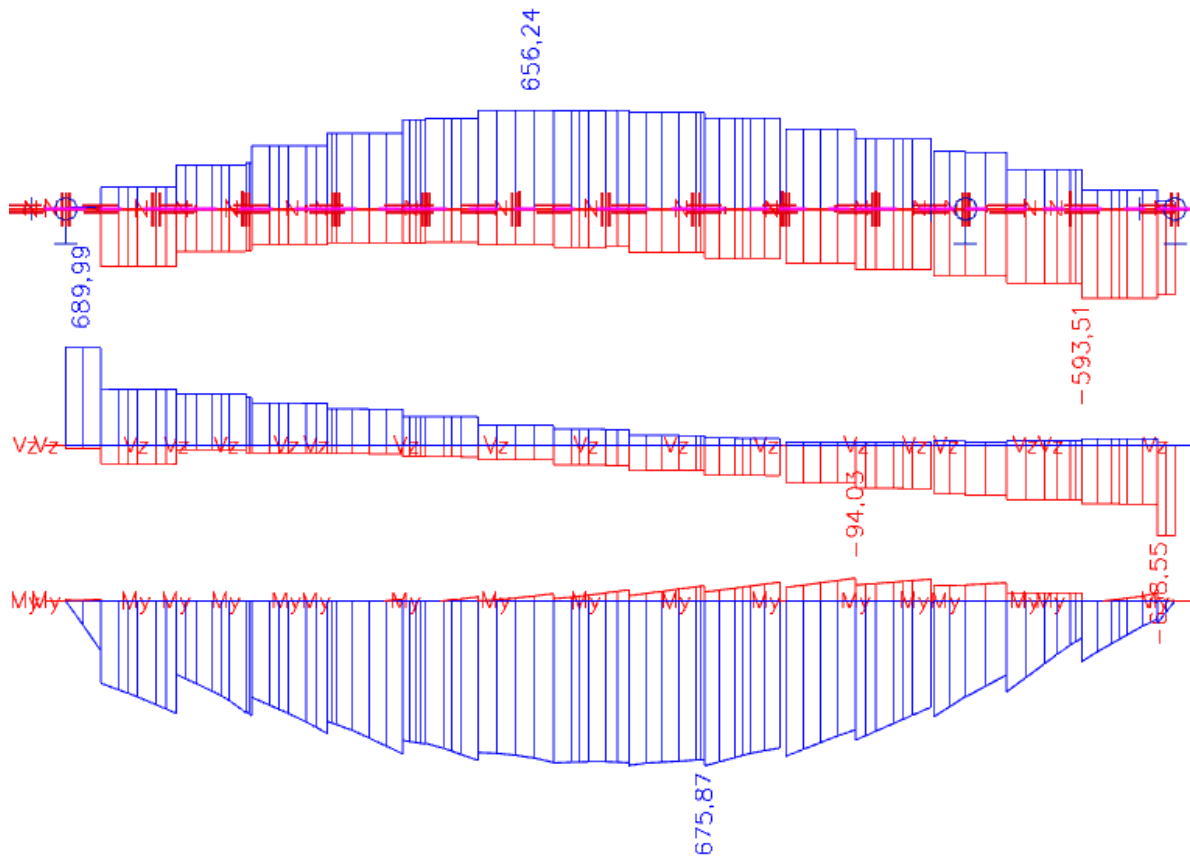
Obrázek 24 – Průběh vnitřních sil na pravém nosníku od kombinace zatížení CO 5



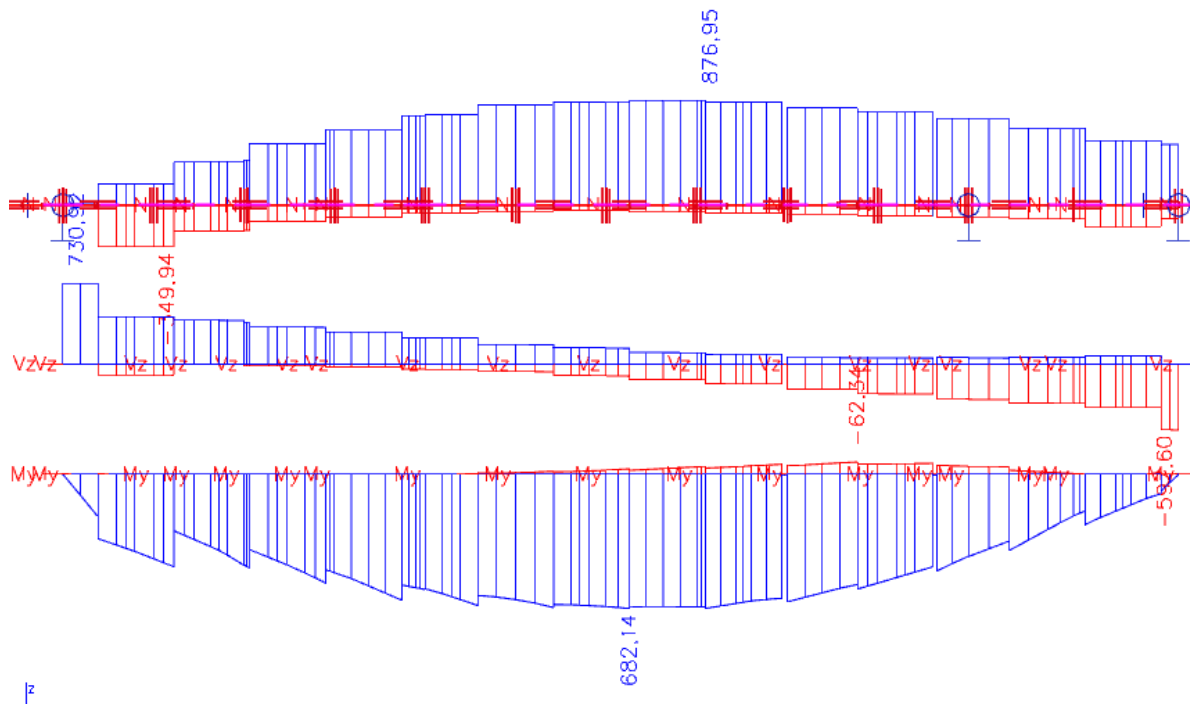
Obrázek 25 – Průběh vnitřních sil na pravém nosníku od kombinace zatížení CO 6



Obrázek 26 – Průběh vnitřních sil na pravém nosníku od kombinace zatížení CO 8



Obrázek 27 – Průběh vnitřních sil na levém nosníku od kombinace zatížení CO 8



Obrázek 28 – Průběh vnitřních sil na levém nosníku od kombinace zatížení CO 9

Maximální a minimální hodnoty vnitřních sil potřebné pro posouzení hlavních nosníků, vycházející ze svislého zatížení zatěžovacím modelem UIC 71.

$$N_{71,max} = 535,50 \text{ kN (CO 11)}$$

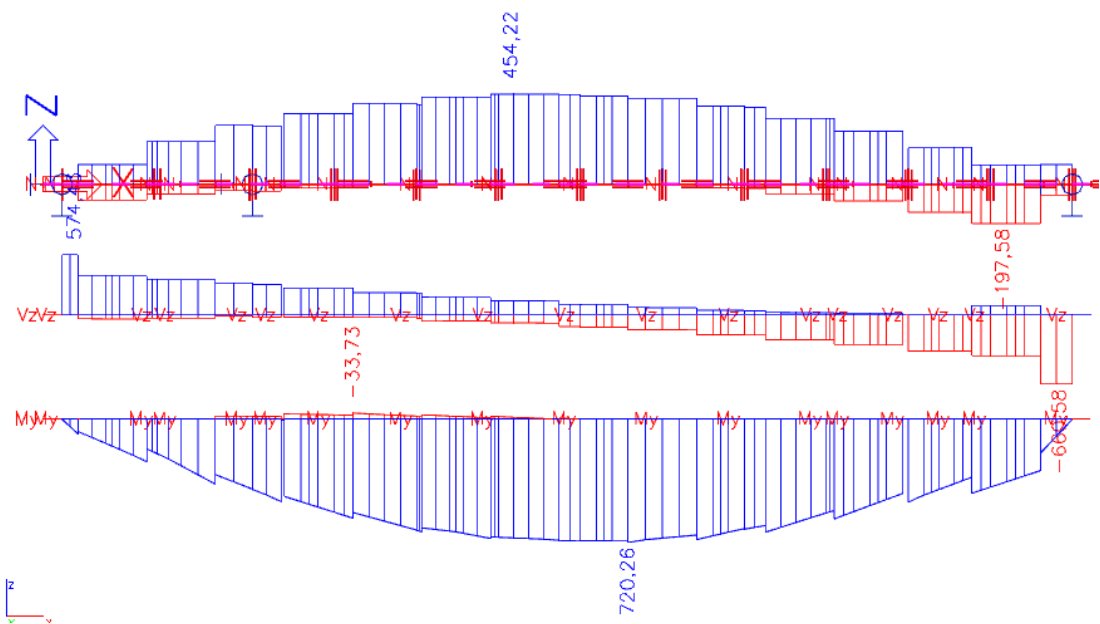
$$N_{71,min} = -490,32 \text{ kN (CO 11)}$$

$$V_{71,max} = 625,93 \text{ kN (CO 11)}$$

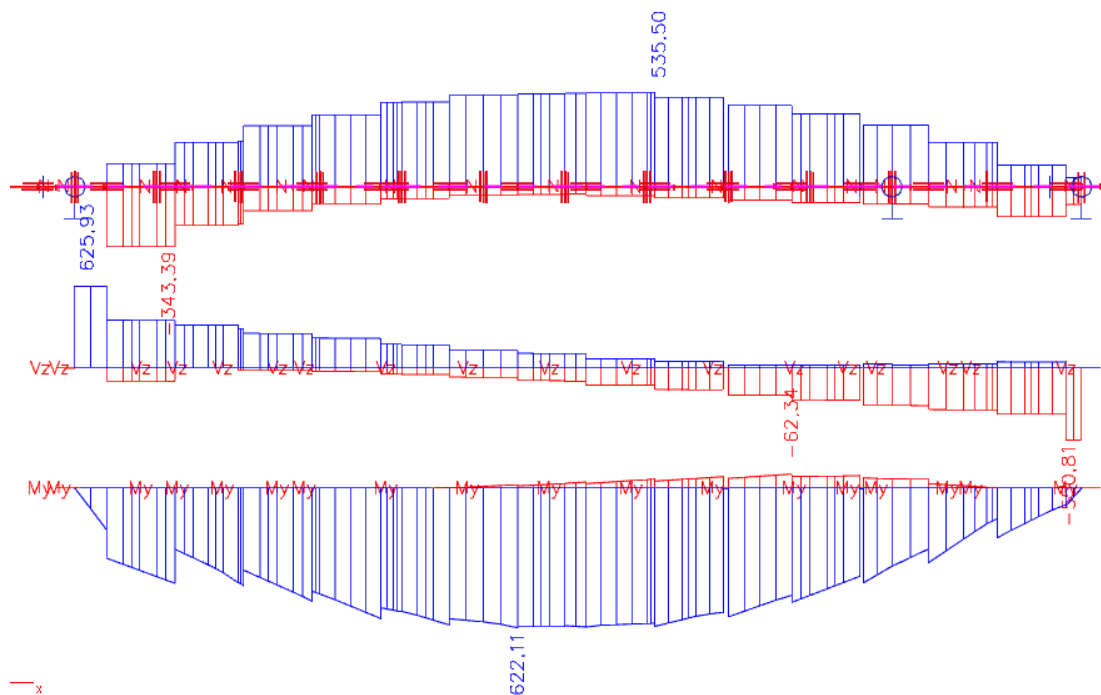
$$V_{71,min} = -660,58 \text{ kN (CO 11)}$$

$$M_{y71,max} = 720,26 \text{ kNm (CO11)}$$

$$M_{y71,min} = -211,34 \text{ kNm (CO 11)}$$



Obrázek 29 – Průběh vnitřních sil na pravém nosníku od kombinace zatížení CO 11



Obrázek 30 – Průběh vnitřních sil na levém nosníku od kombinace zatížení CO 11

Maximální a minimální hodnoty vnitřních sil potřebné pro posouzení hlavního nosníku (nezesíleného), vycházející ze všech zatížení mimo zatížení zatěžovacím modelem UIC 71, případně zatížení prázdným vlakem.

$$N_{OL,max} = 192,40 \text{ kN (CO 12)}$$

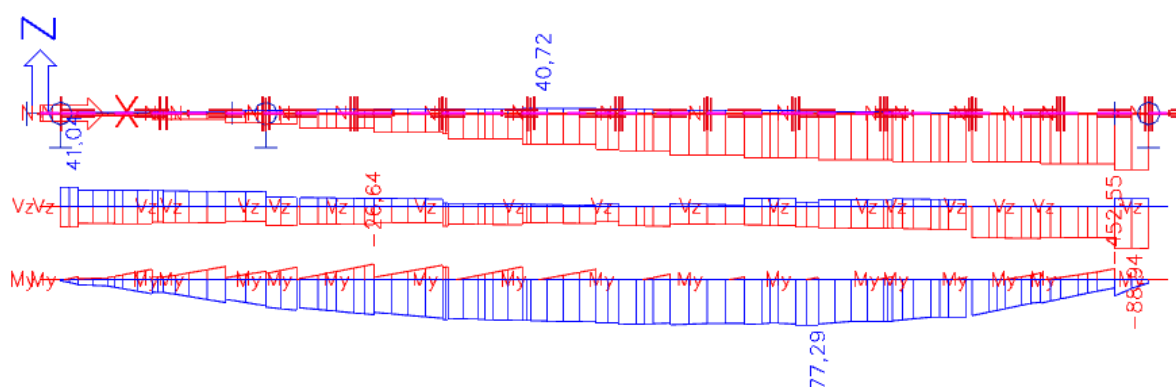
$$N_{OL,min} = -461,26 \text{ kN (CO 12)}$$

$$V_{OL,max} = 115,56 \text{ kN (CO 12)}$$

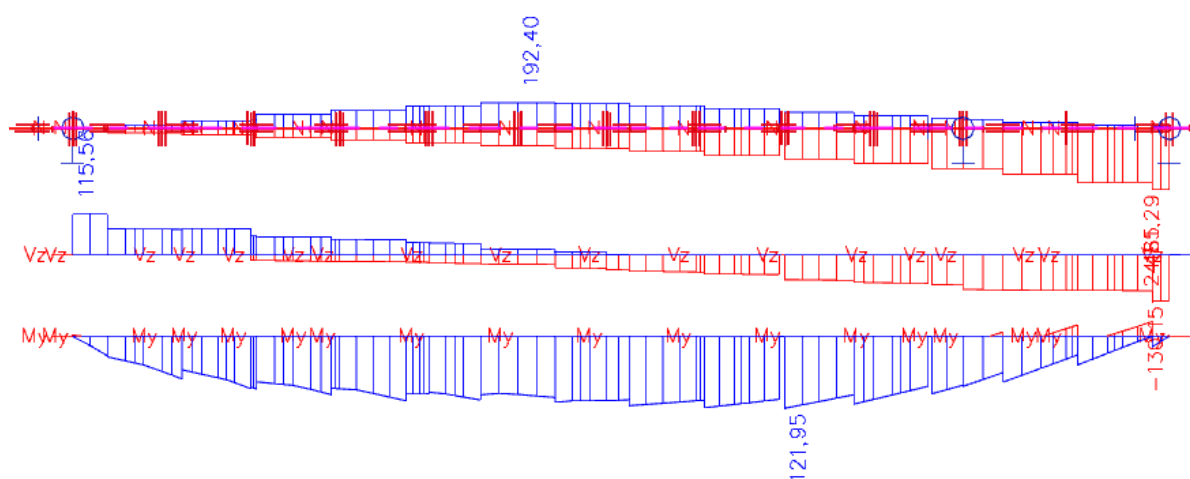
$$V_{OL,min} = -130,15 \text{ kN (CO 12)}$$

$$M_{OL,max} = 121,05 \text{ kNm (CO 12)}$$

$$M_{OL,min} = -26,64 \text{ kNm (CO 12)}$$



Obrázek 31 – Průběh vnitřních sil na pravém nosníku od kombinace zatížení CO 12



Obrázek 32 – Průběh vnitřních sil na levém nosníku od kombinace zatížení CO 12

5.2 Posouzení hlavního nosníku (nezesíleného), klasifikace průřezu

Nosník bude klasifikován a posouzen dle platných norem ČSN EN 1993-1-1 [6] a ČSN 1993-1-5 [7] s přihlédnutím na MP SŽDC.

HLAVNÍ NOSNÍK

Šířka pásnice	$b_f = 210 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice	$t_f = 10 \text{ mm}$
Tloušťka stojiny	$t_w = 10 \text{ mm}$
Přečnívající část pásnice	$c = (b_f - t_w)/2 = 100 \text{ mm}$
Délka stojiny	$d = 1003 - 20 = 983 \text{ mm}$

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{(235/210)} = 1,0579$$

Stojina v ohybu:

$$d/t_w \leq 124 \cdot \varepsilon$$

$$983/10 \leq 83 \cdot 1,0579$$

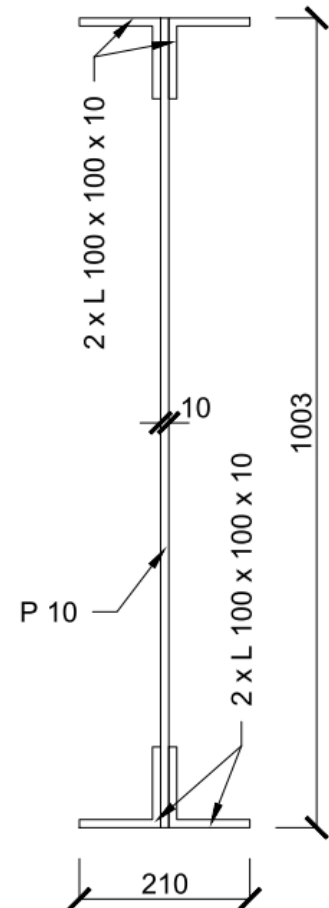
$$98,3 \leq 131,2 \quad \rightarrow \quad \text{spadá do 3. třídy}$$

Pásnice v tlaku:

$$c/t_f \leq 10 \cdot \varepsilon$$

$$100/10 \leq 10 \cdot 1,0579$$

$$10 \leq 10,6 \quad \rightarrow \quad \text{spadá do 2. třídy}$$



Obrázek 33 – Hlavní nosník

5.2.1 Účinky boulení stěn vlivem normálových napětí v mezním stavu únosnosti a hodnoty účinných parametrů průřezu

Vzdálenost krajních vláken od těžiště

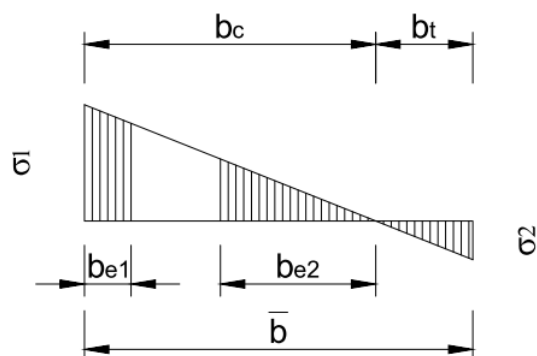
$$z_h = z_d = 501,5 \text{ mm}$$

Napětí v horních (+) / dolních (-) vláknech průřezu

$$\sigma'_{1,2} = \pm M_{y,max} / W_{el,yH(D)} = \pm 751,01 / 0,005079 = 147,866 \text{ MPa}$$

Napětí v horních (+) / dolních (-) vláknech stojiny

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma'_{1,2} \cdot (z_{h,d} - t_f)}{z_{h,d}} = \frac{\pm 147,866 \cdot (501,5 - 10)}{501,5} = \pm 144,918 \text{ MPa}$$



Obrázek 34 – Průběh napětí na stojině

Poměr napětí

$$\psi = \sigma_2 / \sigma_1 = -1$$

Součinitel kritického napětí

$$k_\sigma = 23,9$$

Desková štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = \frac{d/t_w}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{983/10}{28,4 \cdot 1,0579 \cdot \sqrt{23,9}} = 0,669$$

Součinitel boulení φ pro vnitřní části

$$\bar{\lambda}_p \leq 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi}$$

$$0,669 \leq 0,874$$

prvek není náchylný na boulení

$$\rho = 1$$

Účinná délka tlačené stojiny a přechýlující části pro $\psi < 0$

$$b_{eff} = \rho \cdot d / (1 - \psi) = 1 \cdot 983 / 2 = 491,5 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = \rho \cdot c / (1 - \psi) = 1 \cdot 100 / 2 = 50,0 \text{ mm}$$

Délka účinné části stojiny v oblasti pásnice

$$b_{e1} = 0,4 \cdot b_{eff} = 0,4 \cdot 491,5 = 196,6 \text{ mm}$$

Délka účinné části stojiny v oblasti neutrální osy

$$b_{e2} = 0,6 \cdot b_{eff} = 0,6 \cdot 491,5 = 294,9 \text{ mm}$$

Tlačená délka stojiny

$$b_c = z_h - t_f = 501,5 - 10 = 491,5 \text{ mm}$$

Plocha plného průřezu tlačené části stojiny

$$A_c = t_w \cdot b_c = 0,010 \cdot 0,4915 = 0,004915 \text{ m}^2$$

Účinná plocha průřezu tlačené části stojiny

$$A_{c,eff} = A_c \cdot \rho = 0,004915 \cdot 1 = 0,004915 \text{ m}^2$$

Účinná plocha celého průřezu

$$A_{eff} = A - A_0 = 0,01763 - (0,004951 - 0,004951) = 0,01763 \text{ m}^2$$

Protože je účinná plocha celého průřezu stejná jako celková plocha průřezu, bude neúčinná délka stojiny $b_0 = 0 \text{ mm}$, posunutí těžišťové osy $\Delta y = 0$ a efektivní průřezové charakteristiky stejné jako hlavní průřezové charakteristiky hlavního nosníku

$$\left(\begin{array}{l} I_{y,eff} = I_y; \\ W_{yH(D),eff} = W_{el,yH(D)}. \end{array} \right).$$

5.2.2 Posouzení osově únosnosti

$$N_{rd} = \frac{f_y \cdot A_{eff}}{\gamma_{m1}} = \frac{210000 \cdot 0,01763}{1,17} = 3460,093 \text{ kN}$$

$$N_{rd} > N_{max}$$

$$3460,09 \text{ kN} > 876,95 \text{ kN}$$

vyhovuje

5.2.3 Posouzení ohybového momentu

$$M_{y,rd} = \frac{f_y \cdot W_{yH(D),eff}}{\gamma_{m1}} = \frac{210000 \cdot 0,0050790}{1,17} = 911,615 \text{ kNm}$$

$$M_{y,rd} > M_{y,max}$$

$$911,62 \text{ kNm} > 751,01 \text{ kN}$$

vyhovuje

5.2.4 Posouzení zatížitelnosti příčného řezu hlavního nosníku

Zatížitelnost jednotlivých prvků mostní konstrukce se dle MP SŽDC stanoví metodou dílčích součinitelů, za podmínky že extrémní návrhové hodnoty účinků zatížení odpovídající stanovené hodnotě zatížitelnosti se právě rovnají návrhové hodnotě únosnosti příslušného průřezu nebo prvku mostního objektu. Účinky zatížení se rozdělí na část vyvolanou svislými účinky zatížení modelem zatížení 71 a část vyvolanou účinky ostatních zatížení působících současně se svislým proměnným zatížením železniční dopravou [1].

- Normálové síly

$$Z_{LM71} = \frac{(N_{rd} - N_{OL,max})}{N_{71,max}} = \frac{(3460,09 - 192,40)}{535,50} = 6,10 \geq 1$$

$$Z_{LM71} = \frac{(N_{rd} - |N_{OL,min}|)}{|N_{71,min}|} = \frac{(3460,09 - 461,26)}{490,32} = 6,12 \geq 1$$

vyhovuje

- Momenty

$$Z_{LM71} = \frac{(M_{rd} - M_{OL,max})}{M_{y71,max}} = \frac{(911,62 - 121,05)}{720,26} = \mathbf{1,10} \geq \mathbf{1}$$

$$Z_{LM71} = \frac{(M_{rd} - |M_{OL,min}|)}{|M_{71,min}|} = \frac{(911,62 - 26,64)}{211,34} = \mathbf{4,19} \geq \mathbf{1}$$

vyhovuje

5.2.5 Posouzení únosnosti prutu při jednoosém ohybu

$$\eta_1 = \frac{N_{max}}{f_y \cdot A_{eff}} + \frac{M_{max} + N_{max} \cdot e_n}{f_y \cdot W_{yH(D),eff}}$$

$$\eta_1 = \frac{876,95}{\frac{210000 \cdot 0,01763}{1,07}} + \frac{751,01 + 388,70 \cdot 0}{\frac{210000 \cdot 0,0050790}{1,07}} = \mathbf{1} \leq \mathbf{1}$$

vyhovuje

5.2.6 Únosnost hlavního nosníku ve smyku

$$\alpha = \frac{a}{d} = \frac{1550}{983} = 1,577 \geq 1$$

$$\eta = 1,20, \nu = 0,3$$

- Příspěvek stojiny

Pro $\alpha \geq 1$ se součinitel kritického napětí ve smyku k_τ vypočte dle vztahu:

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 \cdot \left(\frac{d}{a}\right)^2 + k_{\tau,sl} = 5,34 + 4,00 \cdot \left(\frac{983}{1550}\right)^2 + 0 = 6,949$$

Stěny s poměrem větším než $d/t_w > 31 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}/\eta$ se mají posoudit na únosnost při boulení ve smyku [7].

$$d/t_w > 31 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}/\eta$$

$$983/10 > 31 \cdot 1,0579 \cdot \sqrt{6,949}/1,2$$

$$\mathbf{98,3} > \mathbf{72,0}$$

Průřez je nutné posoudit

Upravená štíhlost $\overline{\lambda}_w$

$$\overline{\lambda}_w = \frac{d}{37,4 \cdot t_w \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}} = \frac{983}{37,4 \cdot 10 \cdot 1,0579 \cdot \sqrt{6,949}} = 0,942$$

Součinitel příspěvků stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku určíme podle hodnoty upravené štíhlosti $\overline{\lambda}_w$. Ta je v intervalu $0,83/\eta \leq \lambda_w < 1,08$, což odpovídá součiniteli příspěvků stojiny χ_w ve tvaru:

$$\chi_w = \frac{d}{\overline{\lambda}_w} = \frac{0,983}{0,942} = 1,044$$

Příspěvek stojiny

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot d \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m1}} = \frac{1,044 \cdot 210 \cdot 983 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 1,17} = \mathbf{1063,474 \text{ kN}}$$

- Příspěvek pásnice

Šířka pásnice b_f se nebere větší než $15 \cdot \varepsilon \cdot t_f$

$$b_f \leq 15 \cdot \varepsilon \cdot t_f$$

$$210 \text{ mm} \leq 15 \cdot 1,0579 \cdot 10$$

$$210 \text{ mm} \geq 158,685 \text{ mm}$$

$$c = a \cdot \left(0,25 + \frac{1,6 \cdot b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{t_w \cdot d^2 \cdot f_{yw}} \right) =$$

$$c = 1,55 \cdot \left(0,25 + \frac{1,6 \cdot 0,158 \cdot 0,01^2 \cdot 210}{0,010 \cdot 0,983^2 \cdot 210} \right) = 0,392 \text{ m}$$

Pružný modul průřezu pásnic $W_{f,y}$

$$A_f = 0,21 \cdot 0,01 = 0,0021 \text{ m}^2$$

$$z_{f,1} = z_{f,2} = \frac{1,003}{2} - 0,005 = 0,4965 \text{ m}$$

$$W_{f,y} = A_f \cdot (z_{f,1} + z_{f,2}) = 0,0021 \cdot (0,4965 + 0,4965) = 0,002085 \text{ m}^3$$

Moment únosnosti pásnic $M_{f,Rd}$ sestávající pouze z účinné plochy pásnic.

$$M_{f,Rd} = \frac{W_{f,y} \cdot f_{y,d}}{\gamma_{m0}} \cdot \left(1 - \frac{N_{max}}{\frac{(A_{fh} + A_{fd}) \cdot f_y}{\gamma_{m0}}} \right) =$$
$$= \frac{0,002085 \cdot 210000000}{1,07} \left(1 - \frac{876950}{\frac{(0,021 + 0,021) \cdot 210000000}{1,07}} \right) =$$

$$M_{f,Rd} = 365,671 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Příspěvek pásnice

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{c \cdot \gamma_{m1}} \cdot \left(1 - \left(\frac{M_{y,max}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) =$$
$$= \frac{0,16 \cdot 0,01^2 \cdot 210000000}{0,388 \cdot 1,17} \cdot \left(1 - \left(\frac{751,01}{365,67} \right)^2 \right) =$$

$$V_{bf,Rd} = -23,819 \text{ kN}$$

- Celková návrhová únosnost

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta \cdot f_{yw} \cdot d \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m1}}$$
$$1063,474 - 23,819 \leq \frac{1,2 \cdot 210000 \cdot 0,983 \cdot 0,01}{\sqrt{3} \cdot 1,17}$$

$$1039,655 \text{ kN} \leq 1222,384 \text{ kN}$$

vyhovuje

- Posouzení

$$\eta_3 = \frac{V_{max}}{V_{b,Rd}} = \frac{730,92}{1039,66} = 0,70 \leq 1,00$$

vyhovuje

5.2.7 Interakce mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

Jestliže $\bar{\eta}_3$ nepřesáhne hodnotu 0,5, není nutné návrhovou únosnost pro ohybový moment a osovou sílu redukovat s ohledem na smykovou sílu. Jestliže je $\bar{\eta}_3$ větší než 0,5, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojně nosníku splňovat podmínku $\bar{\eta}_1 \leq 1$. [7].

$$\bar{\eta}_3 = 0,70 \geq 0,5$$

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{max}}{M_{pl,Rd}} = \frac{751,01}{W_{pl} \cdot f_{y,d}} = \frac{751,01}{0,0061084 \cdot 210000} = 0,59 \leq 1,00$$

$$\begin{aligned} \bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) \cdot (2 \cdot \bar{\eta}_3 - 1)^2 &= 0,59 + \left(1 - \frac{365,67}{1282,76}\right) \cdot (2 \cdot 0,7 - 1)^2 = \\ &= 0,70 \leq 1 \end{aligned}$$

vyhovuje

5.3 Posouzení hlavního nosníku 1 x zesíleného, klasifikace průřezu

Nosník bude klasifikován a posouzen dle platných norem ČSN EN 1993-1-1 [6] a ČSN 1993-1-5 [7] s přihlédnutím na MP SŽDC.

Šířka pásnice	$b_f = 220 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice	$t_f = 20 \text{ mm}$
Tloušťka stojiny	$t_w = 10 \text{ mm}$
Přečnávající část pásnice	$c = (b_f - t_w)/2 = 105 \text{ mm}$
Délka stojiny	$d = 1003 - 20 = 983 \text{ mm}$

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{(235/210)} = 1,0579$$

Stojina v ohybu:

$$d/t_w \leq 124 \cdot \varepsilon$$

$$983/10 \leq 83 \cdot 1,0579$$

$$98,3 \leq 131,2 \quad \rightarrow \quad \text{spadá do 3. třídy}$$

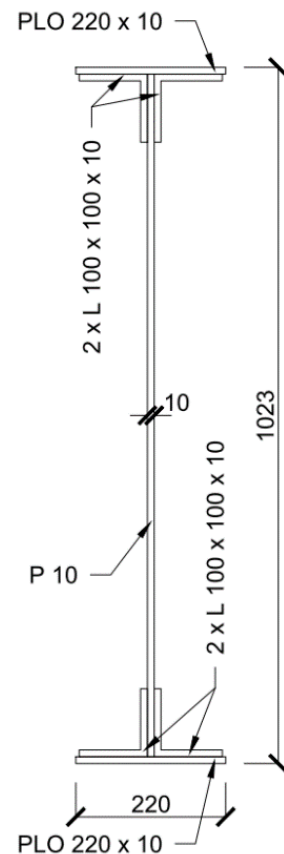
Pásnice v tlaku:

$$c/t_f \leq 9 \cdot \varepsilon$$

$$105/20 \leq 9 \cdot 1,0579$$

$$5,3 \leq 9,5 \quad \rightarrow \quad \text{spadá do 1. třídy}$$

HLAVNÍ NOSNÍK 1x ZESÍLENÝ



Obrázek 35 – Hlavní nosník 1x zesílený

5.3.1 Účinky boulení stěn vlivem normálových napětí v mezním stavu únosnosti a hodnoty účinných parametrů průřezu

Vzdálenost krajních vláken od těžiště

$$z_h = z_d = 511,5 \text{ mm}$$

Napětí v horních (+) / dolních (-) vláknech průřezu

$$\sigma'_{1,2} = \pm M_{y,max} / W_{el,yH(D)} = \pm 751,01 / 0,007187 = \pm 104,496 \text{ MPa}$$

Napětí v horních (+) / dolních (-) vláknech stojiny

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma'_{1,2} \cdot (z_{h,d} - t_f)}{z_{h,d}} = \frac{\pm 104,496 \cdot (511,5 - 20)}{511,5} = \pm 100,410 \text{ MPa}$$

Poměr napětí

$$\psi = \sigma_2 / \sigma_1 = -1$$

Součinitel kritického napětí

$$k_\sigma = 23,9$$

Desková štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = \frac{d/t_w}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{983/10}{28,4 \cdot 1,0579 \cdot \sqrt{23,9}} = 0,669$$

Součinitel boulení φ pro vnitřní části

$$\bar{\lambda}_p \leq 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi}$$

$$0,669 \leq 0,874$$

prvek není náchylný na boulení

$$\rho = 1$$

Účinná délka tlačené stojiny a přečnávající části pro $\psi < 0$

$$b_{eff} = \rho \cdot d / (1 - \psi) = 1 \cdot 983 / 2 = 491,5 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = \rho \cdot c / (1 - \psi) = 1 \cdot 105 / 2 = 52,5 \text{ mm}$$

Délka účinné části stojiny v oblasti pásnice

$$b_{e1} = 0,4 \cdot b_{eff} = 0,4 \cdot 491,5 = 196,6 \text{ mm}$$

Délka účinné části stojiny v oblasti neutrální osy

$$b_{e2} = 0,6 \cdot b_{eff} = 0,6 \cdot 491,5 = 294,9 \text{ mm}$$

Tlačená délka stojiny

$$b_c = z_h - t_f = 511,5 - 20 = 491,5 \text{ mm}$$

Plocha plného průřezu tlačené části stojiny

$$A_c = t_w \cdot b_c = 0,010 \cdot 0,4915 = 0,004915 \text{ m}^2$$

Účinná plocha průřezu tlačené části stojiny

$$A_{c,eff} = A_c \cdot \rho = 0,004915 \cdot 1 = 0,004915 \text{ m}^2$$

Účinná plocha celého průřezu

$$A_{eff} = A - A_0 = 0,02203 - (0,004951 - 0,004951) = 0,02203 \text{ m}^2$$

Protože je účinná plocha celého průřezu stejná jako celková plocha průřezu, bude neúčinná délka stojiny $b_0 = 0 \text{ mm}$, posunutí těžišťové osy $\Delta y = 0$ a efektivní průřezové charakteristiky stejné jako hlavní průřezové charakteristiky hlavního nosníku

$$\left(\begin{array}{l} I_{y,eff} = I_y; \\ W_{yH(D),eff} = W_{el,yH(D)}. \end{array} \right).$$

5.3.2 Posouzení osové únosnosti

$$N_{rd} = \frac{f_y \cdot A_{eff}}{\gamma_{m1}} = \frac{210000 \cdot 0,02203}{1,17} = 3954,103 \text{ kN}$$

$$N_{rd} > N_{max}$$

$$3954,10 \text{ kN} > 876,95 \text{ kN}$$

vyhovuje

5.3.3 Posouzení ohybového momentu

$$M_{y,rd} = \frac{f_y \cdot W_{yH(D),eff}}{\gamma_{m1}} = \frac{210000 \cdot 0,0071865}{1,17} = 1289,885 \text{ kNm}$$

$$M_{y,rd} > M_{y,max}$$

$$1289,89 \text{ kNm} > 751,01 \text{ kN}$$

vyhovuje

5.3.4 Posouzení zatížitelnosti příčného řezu hlavního nosníku

Zatížitelnost jednotlivých prvků mostní konstrukce se dle MP SŽDC stanoví metodou dílčích součinitelů, za podmínky že extrémní návrhové hodnoty účinků zatížení odpovídající stanovené hodnotě zatížitelnosti se právě rovnají návrhové hodnotě únosnosti příslušného průřezu nebo prvku mostního objektu (stejně jakou předchozího průřezu). Účinky zatížení se rozdělí na část vyvolanou svislými účinky zatížení modelem zatížení 71 a část vyvolanou účinky ostatních zatížení působících současně se svislým proměnným zatížením železniční dopravou [1].

- Normálové síly

$$Z_{LM71} = \frac{(N_{rd} - N_{OL,max})}{N_{71,max}} = \frac{(3954,10 - 192,40)}{535,50} = 7,02 \geq 1$$

$$Z_{LM71} = \frac{(N_{rd} - |N_{OL,min}|)}{|N_{71,min}|} = \frac{(3954,10 - 461,26)}{490,32} = 7,12 \geq 1$$

vyhovuje

- Momenty

$$Z_{LM71} = \frac{(M_{rd} - M_{OL,max})}{M_{y71,max}} = \frac{(1289,89 - 121,05)}{720,26} = 1,62 \geq 1$$

$$Z_{LM71} = \frac{(M_{rd} - |M_{OL,min}|)}{|M_{71,min}|} = \frac{(1289,89 - 26,64)}{211,34} = 5,98 \geq 1$$

vyhovuje

5.3.5 Posouzení únosnosti prutu při jednoosém ohybu

$$\eta_1 = \frac{N_{max}}{\frac{f_y \cdot A_{eff}}{\gamma_{m0}}} + \frac{M_{max} + N_{max} \cdot e_n}{\frac{f_y \cdot W_{yH(D),eff}}{\gamma_{m0}}}$$
$$\eta_1 = \frac{876,95}{\frac{210000 \cdot 0,02203}{1,07}} + \frac{751,01 + 388,70 \cdot 0}{\frac{210000 \cdot 0,0071865}{1,07}} = 0,73 \leq 1$$

vyhovuje

5.3.6 Únosnost hlavního nosníku ve smyku

$$\alpha = \frac{a}{d} = \frac{1550}{983} = 1,577 \geq 1$$

$$\eta = 1,20, \nu = 0,3$$

- Příspěvek stojiny

Pro $\alpha \geq 1$ se součinitel kritického napětí ve smyk k_τ vypočte dle vztahu:

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 \cdot \left(\frac{d}{a}\right)^2 + k_{\tau,sl} = 5,34 + 4,00 \cdot \left(\frac{983}{1550}\right)^2 + 0 = 6,949$$

Stěny s poměrem větším než $d/t_w > 31 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}/\eta$ se mají posoudit na únosnost při boulení ve smyku [7].

$$d/t_w > 31 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}/\eta$$

$$983/10 > 31 \cdot 1,0579 \cdot \sqrt{6,949}/1,2$$

$$98,3 > 72,0$$

Průřez je nutné posoudit

Upravená štíhlost $\overline{\lambda}_w$

$$\overline{\lambda}_w = \frac{d}{37,4 \cdot t_w \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}} = \frac{983}{37,4 \cdot 10 \cdot 1,0579 \cdot \sqrt{6,949}} = 0,942$$

Součinitel příspěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku určíme podle hodnoty upravené štíhlosti $\overline{\lambda}_w$. Ta je v intervalu $0,83/\eta \leq \lambda_w < 1,08$, což odpovídá součiniteli příspěvku stojiny χ_w ve tvaru:

$$\chi_w = \frac{d}{\overline{\lambda}_w} = \frac{0,983}{0,942} = 1,044$$

Příspěvek stojiny

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot d \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m1}} = \frac{1,044 \cdot 210 \cdot 983 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 1,17} = \mathbf{1063,474 \text{ kN}}$$

- Příspěvek pásnice

Šířka pásnice b_f se nebere větší než $15 \cdot \varepsilon \cdot t_f$

$$b_f \leq 15 \cdot \varepsilon \cdot t_f$$

$$220 \text{ mm} \leq 15 \cdot 1,0579 \cdot 20$$

$$220 \text{ mm} \leq 317,37 \text{ mm}$$

$$c = a \cdot \left(0,25 + \frac{1,6 \cdot b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{t_w \cdot d^2 \cdot f_{yw}} \right) =$$

$$c = 1,55 \cdot \left(0,25 + \frac{1,6 \cdot 0,22 \cdot 0,02^2 \cdot 210}{0,010 \cdot 0,983^2 \cdot 210} \right) = 0,410 \text{ m}$$

Pružný modul průřezu pásnic $W_{f,y}$

$$A_f = 0,22 \cdot 0,02 = 0,0044 \text{ m}^2$$

$$z_{f,1} = z_{f,2} = \frac{1,023}{2} - 0,010 = 0,5015 \text{ m}$$

$$W_{f,y} = A_f \cdot (z_{f,1} + z_{f,2}) = 0,0044 \cdot (0,5015 + 0,5015) = 0,004413 \text{ m}^3$$

Moment únosnosti pásnic $M_{f,Rd}$ sestávající pouze z účinné plochy pásnic.

$$M_{f,Rd} = \frac{W_{f,y} \cdot f_{y,d}}{\gamma_{m0}} \cdot \left(1 - \frac{N_{max}}{\frac{(A_{fh} + A_{fd}) \cdot f_y}{\gamma_{m0}}} \right) =$$

$$= \frac{0,004413 \cdot 210000000}{1,07} \left(1 - \frac{876950}{\frac{(0,044 + 0,044) \cdot 210000000}{1,07}} \right) =$$

$$M_{f,Rd} = 822,126 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Příspěvek pásnice

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{c \cdot \gamma_{m1}} \cdot \left(1 - \left(\frac{M_{y,max}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) =$$

$$= \frac{0,22 \cdot 0,02^2 \cdot 210000000}{0,41 \cdot 1,17} \cdot \left(1 - \left(\frac{751,01}{822,13} \right)^2 \right) =$$

$$V_{bf,Rd} = 6,377 \text{ kN}$$

- Celková návrhová únosnost

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta \cdot f_{yw} \cdot d \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m1}}$$

$$1063,474 + 6,377 \leq \frac{1,2 \cdot 210000 \cdot 0,983 \cdot 0,01}{\sqrt{3} \cdot 1,17}$$

$$1069,851 \text{ kN} \leq 1222,384 \text{ kN}$$

vyhovuje

- Posouzení

$$\eta_3 = \frac{V_{max}}{V_{b,Rd}} = \frac{730,92}{1069,85} = 0,68 \leq 1,00$$

vyhovuje

5.3.7 Interakce mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

Jestliže $\bar{\eta}_3$ nepřesáhne hodnotu 0,5, není nutné návrhovou únosnost pro ohybový moment a osovou sílu redukovat s ohledem na smykovou sílu. Jestliže je $\bar{\eta}_3$ větší než 0,5, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojině nosníku splňovat podmínku $\bar{\eta}_1 \leq 1$. [7].

$$\bar{\eta}_3 = 0,68 \geq 0,5$$

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{max}}{M_{pl,Rd}} = \frac{751,01}{W_{pl} \cdot f_{y,d}} = \frac{751,01}{0,008337 \cdot 210000} = 0,43 \leq 1,00$$

$$\begin{aligned} \bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) \cdot (2 \cdot \bar{\eta}_3 - 1)^2 &= 0,43 + \left(1 - \frac{822,13}{1750,77}\right) \cdot (2 \cdot 0,68 - 1)^2 = \\ &= 0,50 \leq 1 \end{aligned}$$

vyhovuje

5.4 Posouzení hlavního nosníku 2 x zesíleného, klasifikace průřezu

Nosník bude klasifikován a posouzen dle platných norem ČSN EN 1993-1-1 [6] a ČSN 1993-1-5 [7] s přihlédnutím na MP SŽDC.

Šířka pásnice	$b_f = 220 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice	$t_f = 30 \text{ mm}$
Tloušťka stojiny	$t_w = 10 \text{ mm}$
Přečnávající část pásnice	$c = (b_f - t_w)/2 = 105 \text{ mm}$
Délka stojiny	$d = 1003 - 20 = 983 \text{ mm}$

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{(235/210)} = 1,0579$$

Stojina v ohybu:

$$d/t_w \leq 124 \cdot \varepsilon$$

$$983/10 \leq 83 \cdot 1,0579$$

$$98,3 \leq 131,2 \quad \rightarrow \quad \text{spadá do 3. třídy}$$

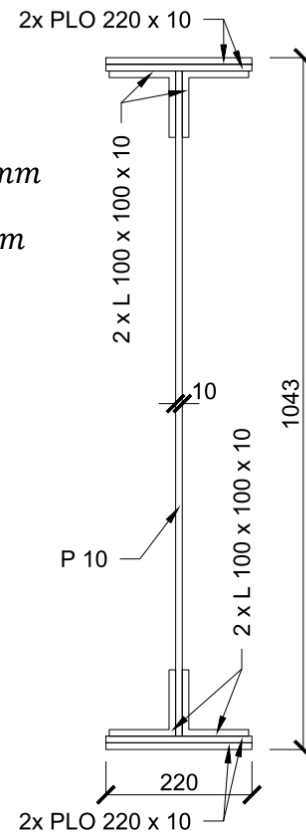
Pásnice v tlaku:

$$c/t_f \leq 9 \cdot \varepsilon$$

$$105/30 \leq 9 \cdot 1,0579$$

$$3,5 \leq 9,5 \quad \rightarrow \quad \text{spadá do 1. třídy}$$

HLAVNÍ NOSNÍK 2x ZESÍLENÝ



Obrázek 36 – Hlavní nosník 2x zesílený

5.4.1 Účinky boulení stěn vlivem normálových napětí v mezním stavu únosnosti a hodnoty účinných parametrů průřezu

Vzdálenost krajních vláken od těžiště

$$z_h = z_d = 521,5 \text{ mm}$$

Napětí v horních (+) / dolních (-) vláknech průřezu

$$\sigma'_{1,2} = \pm M_{y,max} / W_{el,yH(D)} = \pm 751,01 / 0,0092995 = \pm 80,758 \text{ MPa}$$

Napětí v horních (+) / dolních (-) vláknech stojiny

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma'_{1,2} \cdot (z_{h,d} - t_f)}{z_{h,d}} = \frac{\pm 80,758 \cdot (521,5 - 30)}{521,5} = \pm 76,112 \text{ MPa}$$

Poměr napětí

$$\psi = \sigma_2 / \sigma_1 = -1$$

Součinitel kritického napětí

$$k_\sigma = 23,9$$

Desková štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = \frac{d/t_w}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{983/10}{28,4 \cdot 1,0579 \cdot \sqrt{23,9}} = 0,669$$

Součinitel boulení φ pro vnitřní části

$$\bar{\lambda}_p \leq 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi}$$

$$0,669 \leq 0,874$$

prvek není náchylný na boulení

$$\rho = 1$$

Účinná délka tlačené stojiny a přečnávající části pro $\psi < 0$

$$b_{eff} = \rho \cdot d / (1 - \psi) = 1 \cdot 983 / 2 = 491,5 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = \rho \cdot c / (1 - \psi) = 1 \cdot 105 / 2 = 52,5 \text{ mm}$$

Délka účinné části stojiny v oblasti pásnice

$$b_{e1} = 0,4 \cdot b_{eff} = 0,4 \cdot 491,5 = 196,6 \text{ mm}$$

Délka účinné části stojiny v oblasti neutrální osy

$$b_{e2} = 0,6 \cdot b_{eff} = 0,6 \cdot 491,5 = 294,9 \text{ mm}$$

Tlačená délka stojiny

$$b_c = z_h - t_f = 521,5 - 30 = 491,5 \text{ mm}$$

Plocha plného průřezu tlačené části stojiny

$$A_c = t_w \cdot b_c = 0,010 \cdot 0,4915 = 0,004915 \text{ m}^2$$

Účinná plocha průřezu tlačené části stojiny

$$A_{c,eff} = A_c \cdot \rho = 0,004915 \cdot 1 = 0,004915 \text{ m}^2$$

Účinná plocha celého průřezu

$$A_{eff} = A - A_0 = 0,02643 - (0,004951 - 0,004951) = 0,02643 \text{ m}^2$$

Protože je účinná plocha celého průřezu stejná jako celková plocha průřezu, bude neúčinná délka stojiny $b_0 = 0 \text{ mm}$, posunutí těžišťové osy $\Delta y = 0$ a efektivní průřezové charakteristiky stejné jako hlavní průřezové charakteristiky hlavního nosníku

$$\left(\begin{array}{l} I_{y,eff} = I_y; \\ W_{yH(D),eff} = W_{el,yH(D)}. \end{array} \right).$$

5.4.2 Posouzení osové únosnosti

$$N_{rd} = \frac{f_y \cdot A_{eff}}{\gamma_{m1}} = \frac{210000 \cdot 0,02643}{1,17} = 4743,846 \text{ kN}$$

$$N_{rd} > N_{max}$$

$$4743,85 \text{ kN} > 876,95 \text{ kN}$$

vyhovuje

5.4.3 Posouzení ohybového momentu

$$M_{y,rd} = \frac{f_y \cdot W_{yH(D),eff}}{\gamma_{m1}} = \frac{210000 \cdot 0,0092995}{1,17} = 1669,141 \text{ kNm}$$

$$M_{y,rd} > M_{y,max}$$

$$1669,14 \text{ kNm} > 751,01 \text{ kN}$$

vyhovuje

5.4.4 Posouzení zatížitelnosti příčného řezu hlavního nosníku

Zatížitelnost jednotlivých prvků mostní konstrukce se dle MP SŽDC stanoví metodou dílčích součinitelů, za podmínky že extrémní návrhové hodnoty účinků zatížení odpovídající stanovené hodnotě zatížitelnosti se právě rovnají návrhové hodnotě únosnosti příslušného průřezu nebo prvku mostního objektu (stejně jako u předchozích průřezů). Účinky zatížení se rozdělí na část vyvolanou svislými účinky zatížení modelem zatížení 71 a část vyvolanou účinky ostatních zatížení působících současně se svislým proměnným zatížením železniční dopravou [1].

- Normálové síly

$$Z_{LM71} = \frac{(N_{rd} - N_{OL,max})}{N_{71,max}} = \frac{(4743,85 - 192,40)}{535,50} = 8,50 \geq 1$$

$$Z_{LM71} = \frac{(N_{rd} - |N_{OL,min}|)}{|N_{71,min}|} = \frac{(4743,85 - 461,26)}{490,32} = 8,73 \geq 1$$

vyhovuje

- Momenty

$$Z_{LM71} = \frac{(M_{rd} - M_{OL,max})}{M_{y71,max}} = \frac{(1669,14 - 121,05)}{720,26} = 2,15 \geq 1$$

$$Z_{LM71} = \frac{(M_{rd} - |M_{OL,min}|)}{|M_{71,min}|} = \frac{(1669,14 - 26,64)}{211,34} = 7,77 \geq 1$$

vyhovuje

5.4.5 Posouzení únosnosti prutu při jednoosém ohybu

$$\eta_1 = \frac{N_{max}}{\frac{f_y \cdot A_{eff}}{\gamma_{m0}}} + \frac{M_{max} + N_{max} \cdot e_n}{\frac{f_y \cdot W_{yH(D),eff}}{\gamma_{m0}}}$$
$$\eta_1 = \frac{876,95}{\frac{210000 \cdot 0,02643}{1,07}} + \frac{751,01 + 388,70 \cdot 0}{\frac{210000 \cdot 0,0092995}{1,07}} = 0,581 \leq 1$$

vyhovuje

5.4.6 Únosnost hlavního nosníku ve smyku

$$\alpha = \frac{a}{d} = \frac{1550}{983} = 1,577 \geq 1$$

$$\eta = 1,20, \nu = 0,3$$

- Příspěvek stojiny

Pro $\alpha \geq 1$ se součinitel kritického napětí ve smyku k_τ vypočte dle vztahu:

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 \cdot \left(\frac{d}{a}\right)^2 + k_{\tau,sl} = 5,34 + 4,00 \cdot \left(\frac{983}{1550}\right)^2 + 0 = 6,949$$

Stěny s poměrem větším než $d/t_w > 31 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}/\eta$ se mají posoudit na únosnost při boulení ve smyku [7].

$$d/t_w > 31 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}/\eta$$

$$983/10 > 31 \cdot 1,0579 \cdot \sqrt{6,949}/1,2$$

$$98,3 > 72,0$$

Průřez je nutné posoudit

Upravená štíhlost $\bar{\lambda}_w$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{d}{37,4 \cdot t_w \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}} = \frac{983}{37,4 \cdot 10 \cdot 1,0579 \cdot \sqrt{6,949}} = 0,942$$

Součinitel příspěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku určíme podle hodnoty upravené štíhlosti $\overline{\lambda}_w$. Ta je v intervalu $0,83/\eta \leq \lambda_w < 1,08$, což odpovídá součiniteli příspěvku stojiny χ_w ve tvaru:

$$\chi_w = \frac{d}{\overline{\lambda}_w} = \frac{0,983}{0,942} = 1,044$$

Příspěvek stojiny

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot d \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m1}} = \frac{1,044 \cdot 210 \cdot 983 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 1,17} = \mathbf{1063,474 \text{ kN}}$$

- Příspěvek pásnice

Šířka pásnice b_f se nebere větší než $15 \cdot \varepsilon \cdot t_f$

$$b_f \leq 15 \cdot \varepsilon \cdot t_f$$

$$220 \text{ mm} \leq 15 \cdot 1,0579 \cdot 30$$

$$220 \text{ mm} \leq 476 \text{ mm}$$

$$c = a \cdot \left(0,25 + \frac{1,6 \cdot b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{t_w \cdot d^2 \cdot f_{yw}} \right) =$$

$$c = 1,55 \cdot \left(0,25 + \frac{1,6 \cdot 0,22 \cdot 0,03^2 \cdot 210}{0,010 \cdot 0,983^2 \cdot 210} \right) = 0,438 \text{ m}$$

Pružný modul průřezu pásnic $W_{f,y}$

$$A_f = 0,22 \cdot 0,03 = 0,0066 \text{ m}^2$$

$$z_{f,1} = z_{f,2} = \frac{1,043}{2} - 0,015 = 0,5065 \text{ m}$$

$$W_{f,y} = A_f \cdot (z_{f,1} + z_{f,2}) = 0,0066 \cdot (0,5065 + 0,5065) = 0,006686 \text{ m}^3$$

Moment únosnosti pásnic $M_{f,Rd}$ sestávající pouze z účinné plochy pásnic.

$$M_{f,Rd} = \frac{W_{f,y} \cdot f_{y,d}}{\gamma_{m0}} \cdot \left(1 - \frac{N_{max}}{\frac{(A_{fh} + A_{fd}) \cdot f_y}{\gamma_{m0}}} \right) =$$

$$= \frac{0,006686 \cdot 210000000}{1,07} \left(1 - \frac{876950}{\frac{(0,066 + 0,066) \cdot 210000000}{1,07}} \right) =$$

$$M_{f,Rd} = 1267,787 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Příspěvek pásnice

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{c \cdot \gamma_{m1}} \cdot \left(1 - \left(\frac{M_{y,max}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) =$$

$$= \frac{0,22 \cdot 0,03^2 \cdot 210000000}{0,44 \cdot 1,17} \cdot \left(1 - \left(\frac{751,01}{1267,79} \right)^2 \right) =$$

$$V_{bf,Rd} = 52,426 \text{ kN}$$

- Celková návrhová únosnost

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta \cdot f_{yw} \cdot d \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m1}}$$

$$1063,474 + 52,426 \leq \frac{1,2 \cdot 210000 \cdot 0,983 \cdot 0,01}{\sqrt{3} \cdot 1,17}$$

$$1115,900 \text{ kN} \leq 1222,384 \text{ kN}$$

vyhovuje

- Posouzení

$$\eta_3 = \frac{V_{max}}{V_{b,Rd}} = \frac{730,92}{1115,900} = 0,66 \leq 1,00$$

vyhovuje

5.4.7 Interakce mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

Jestliže $\bar{\eta}_3$ nepřesáhne hodnotu 0,5, není nutné návrhovou únosnost pro ohybový moment a osovou sílu redukovat s ohledem na smykovou sílu. Jestliže je $\bar{\eta}_3$ větší než 0,5, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojně nosníku splňovat podmínku $\bar{\eta}_1 \leq 1$. [7].

$$\bar{\eta}_3 = 0,66 > 0,50$$

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{max}}{M_{pl,Rd}} = \frac{751,01}{W_{pl} \cdot f_{y,d}} = \frac{751,01}{0,010610 \cdot 210000} = 0,34 \leq 1,00$$

$$\begin{aligned} \bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) \cdot (2 \cdot \bar{\eta}_3 - 1)^2 &= 0,34 + \left(1 - \frac{1267,79}{2228,10}\right) \cdot (2 \cdot 0,66 - 1)^2 = \\ &= 0,38 \leq 1 \end{aligned}$$

vyhovuje

6. POSOUZENÍ PŘÍČNÉHO ZTUŽENÍ A ZAVĚTROVÁNÍ

Příčné ztužení je tvořeno úhelníky L 70 x 70 x 8 mm a jsou jím ztuženy hlavní nosníky pravidelně po 1,55 metrech, viz. obrázek. Zavětrování je tvořeno stejnými úhelníky a jsou umístěny diagonálně přes jednotlivé příčníky. Všechny prvky budou posouzeny na maximální a minimální hodnoty vnitřních sil v příčném ztužení.

6.1 Minimální a maximální hodnoty vnitřních sil příčného ztužení

Maximální a minimální hodnoty vnitřních sil potřebné pro posouzení příčného ztužení a zavětrování, vycházející ze všech kombinací zatížení a byly vypočítány programem Scia Engineer. K jednotlivým globálním extrémům jsou přiloženy průběhy daných vnitřních sil pro danou kombinaci.

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vše
Kombinace : CO1

Dílec	Css	dx [m]	Stav	N [kN]
B203	L 70x70x8 - Úhel	0,491	CO1/7	-84,82
B191	L 70x70x8 - Úhel	0,889	CO1/7	28,56

Tabulka 19 – Extrémy normálových sil na příčném ztužení od vlastní tíhy

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vše
Kombinace : CO9

Dílec	Css	dx [m]	Stav	N [kN]
B216	L 70x70x8 - Úhel	0,491	CO9/1	-114,82
B209	L 70x70x8 - Úhel	0,889	CO9/2	54,39

Tabulka 20 – Extrémy normálových sil na příčném ztužení od kombinace zatížení CO 9

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vše
Kombinace : CO11

Dílec	Css	dx [m]	Stav	N [kN]
B216	L 70x70x8 - Úhel	0,491	CO11/9	-100,99
B191	L 70x70x8 - Úhel	0,889	CO11/52	30,27

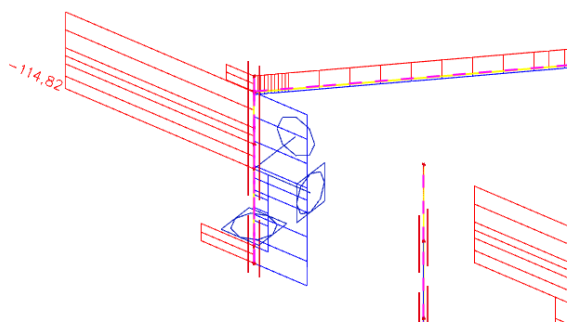
Tabulka 21 – Extrémy normálových sil na příčném ztužení od kombinace zatížení CO 11

Vnitřní síly na prutu

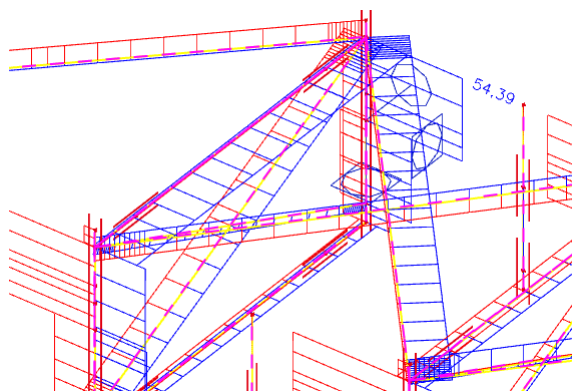
Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vše
Kombinace : CO12

Dílec	Css	dx [m]	Stav	N [kN]
B216	L 70x70x8 - Úhel	0,491	CO12/53	-93,57
B191	L 70x70x8 - Úhel	0,889	CO12/53	36,96

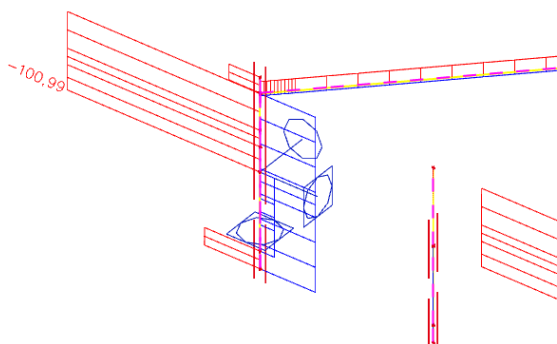
Tabulka 22 – Extrémy normálových sil na příčném ztužení od kombinace zatížení CO 12



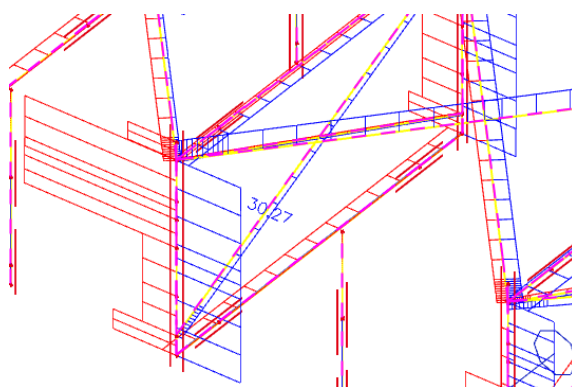
Obrázek č.37 - Průběh normálových sil na 8. příčném ztužení levého nosníku od kombinace zatížení CO 9



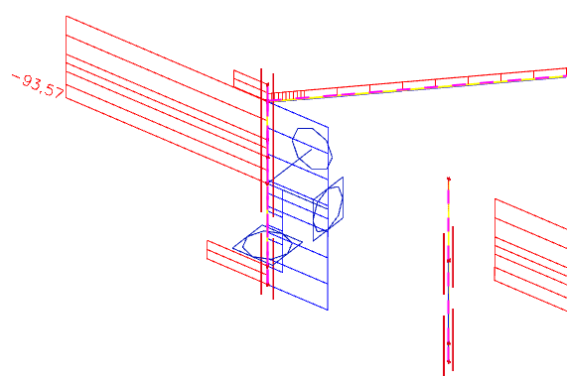
Obrázek č.38 - Průběh normálových sil na 7. příčném ztužení nosníků od kombinace zatížení CO 9



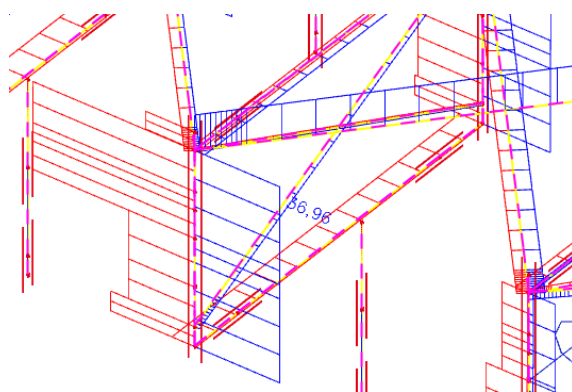
Obrázek č.39 - Průběh normálových sil na 8. příčném ztužení levého nosníku od kombinace zatížení CO 11



Obrázek č.40 - Průběh normálových sil na 3. příčném ztužení nosníků od kombinace zatížení CO 11



Obrázek č.41 - Průběh normálových sil na 8. příčném ztužení levého nosníku od kombinace zatížení CO 12



Obrázek č.42 - Průběh normálových sil na 3. příčném ztužení nosníků od kombinace zatížení CO 12

$$N_{max} = 54,39 \text{ kN (CO 9)}$$

$$N_{71,max} = 30,27 \text{ kN (CO 11)}$$

$$N_{OL,max} = 36,96 \text{ kNm (CO12)}$$

$$N_{min} = -114,82 \text{ kN (CO 9)}$$

$$N_{71,min} = -100,99 \text{ kN (CO 11)}$$

$$N_{OL,min} = -93,57 \text{ kNm (CO 12)}$$

6.2 Posouzení příčného ztužení a zavětrování, průřezové charakteristiky

Průřezové charakteristiky profilu L 70 x 70 x 8 mm jsou vypočítány v programu Scia Engineer. Oslabení průřezu pro připevnění nýtů nebylo možné z poskytnuté dokumentaci ani při prohlídce zjistit. Budeme předpokládat, že maximální oslabení připevněním nýty je 2 x 16 mm. Posouzení vypočítám na maximální normálovou sílu v příčném ztužení.

Průřezové charakteristiky

$$A = 0,001051 \text{ m}^2$$

$$A_{net} = 0,000795 \text{ m}^2$$

$$I_y = 7,4846 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_z = 1,9333 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$i_y = 27 \text{ mm}$$

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

$$W_{el,y} = 1,5121 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 6,7678 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$W_{ply} = 2,4198 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$W_{plz} = 1,2288 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{(235/210)} = 1,0579$$

6.2.1 Posouzení osové únosnosti

- Neoslabený průřez

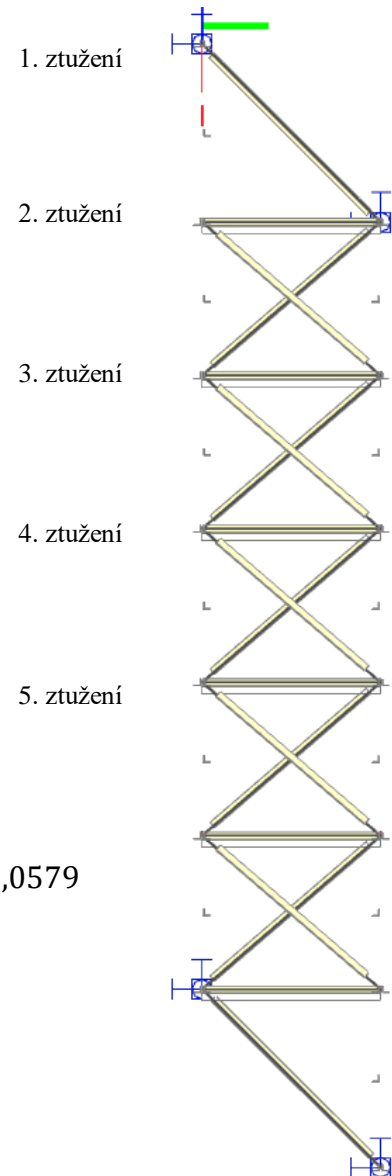
$$N_{rd} = \frac{f_y \cdot A}{\gamma_{m0}} = \frac{210000 \cdot 0,001051}{1,07} = 206,271 \text{ kN}$$

$$N_{rd} > N_{max}$$

$$206,27 \text{ kN} > 114,82 \text{ kN}$$

vyhovuje

Obrázek č.43 – příčné ztužení



- Oslabený průřez

$$N_{u,rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{m2}} = \frac{340000 \cdot 0,000795}{1,3} = 207,923 \text{ kN}$$

$$N_{u,rd} > N_{max}$$

$$207,923 \text{ kN} > 114,82 \text{ kN}$$

vyhovuje

- Podmínka

$$N_{u,rd} > N_{rd}$$

$$207,923 \text{ kN} > 206,27 \text{ kN}$$

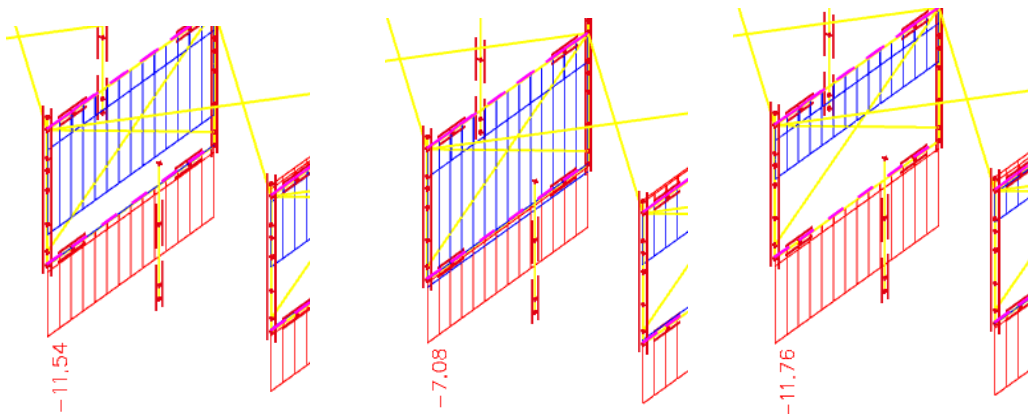
vyhovuje

6.2.2 Délky prutů a hodnoty normálových tlakových sil pro maximální kombinaci C O1 až CO 10, CO 11 a CO 12

1. Horní a dolní příčné ztužení – největší normálová tlaková síla od kombinace zatížení CO 8 působí ve 4. ztužení v dolním profilu. Největší normálová tlaková síla od kombinací zatížení CO 11 a CO 12 pak také ve 4. ztužení, taktéž v dolním profilu.

$$l_1 = 1760 \text{ mm}$$

$$N_{min} = -11,54 \text{ kN}, N_{71,min} = -7,08 \text{ kN}, N_{LO,min} = -11,56 \text{ kN}$$

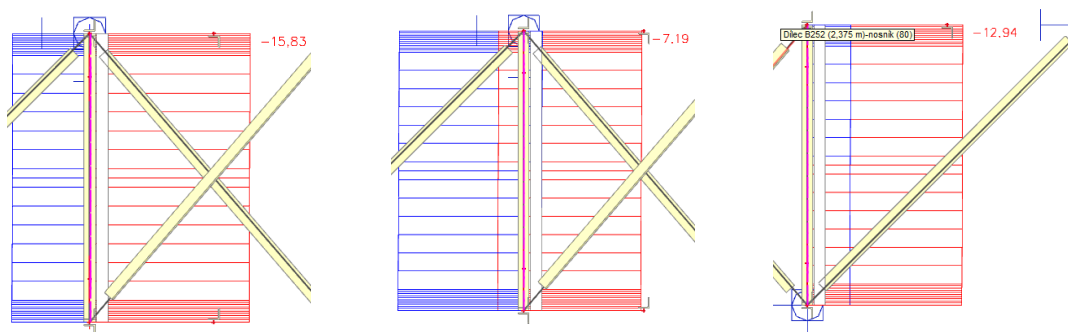


Obrázek č.44 - Průběh normálových tlakových sil na horním a dolním příčném ztužení od kombinací zatížení CO 8, CO 11 a CO 12

2. Diagonální ztužení – největší normálová tlaková síla působí v diagonále ve 2. ztužení od kombinací zatížení CO 09 a CO 11. Největší normálová tlaková síla od kombinace zatížení CO 12 pak v 7. ztužení.

$$l_2 = 1950 \text{ mm}$$

$$N_{min} = -15,83 \text{ kN}, N_{71,min} = -7,19 \text{ kN}, N_{OL,min} = -12,94 \text{ kN}$$

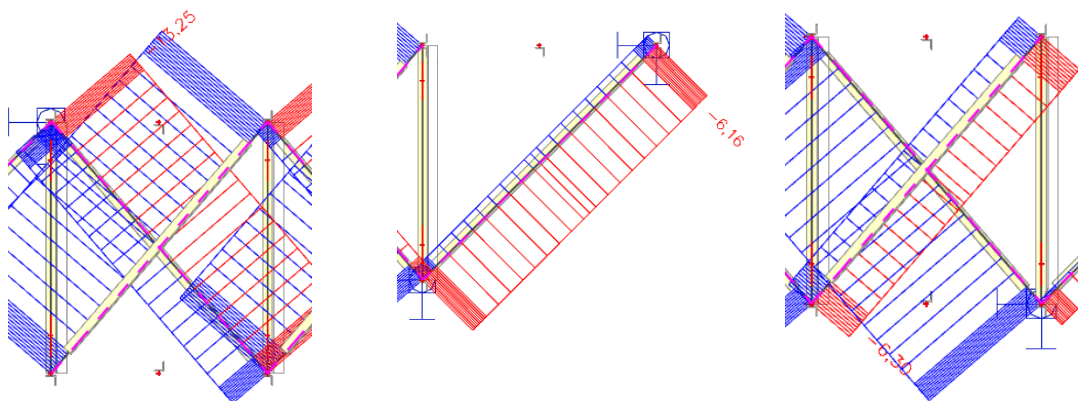


Obrázek č.45 - Průběh normálových tlakových sil na diagonálním ztužení od kombinací zatížení CO 9, CO 11 a CO 12

3. Zavětrování (nejdelší, krajní) - největší normálová tlaková síla působí v zavětrování 2. a 3. příčného ztužení od kombinace zatížení CO 8, od kombinace CO 11 v zavětrování 7. a 8. příčného ztužení a od kombinace CO 12 pak v zavětrování 6. a 7. příčného ztužení.

$$l_3 = 2300 \text{ mm},$$

$$N_{min} = -13,25 \text{ kN}, N_{71,min} = -6,16 \text{ kN}, N_{OL,min} = -6,30 \text{ kN}$$



Obrázek č.46 - Průběh normálových tlakových sil na diagonálním ztužení od kombinací zatížení CO 8, CO 11 a CO 12

4. Svislé ztužení je přinýtováno k nosné konstrukci po přibližně 90 mm. Pro náš výpočet tedy nebudeme toto ztužení uvažovat.

6.2.3 Posouzení na vzpěr

Kromě posouzení únosnosti průřezu se musí ověřit i vzpěrná únosnost prutu. Oslabení dírami pro spojovací prostředky se neuvažuje [6]. Pro posouzení na vzpěr budeme uvažovat maximální normálové síly působící v jednotlivých prvcích, protože maximální normálová síla používaná v předchozím výpočtu působí ve svislém ztužení, a to je přinýtováno cca po 90 mm, proto by výpočet nebyl relevantní.

- Zatřídění průřezu

$$\frac{h}{t} \leq 15 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{70 + 70}{2 \cdot 8} \leq 11,5 \cdot 1,0579$$

$$8,75 \leq 12,17$$

profil splňuje podmínky pro průřez třídy 3

1. Horní a dolní příčné ztužení

- Štíhlost prutu

$$\lambda_y = \frac{L_{cr}}{i_y} = \frac{0,5 \cdot 1760}{27} = 32,593$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr}}{i_z} = \frac{0,5 \cdot 1760}{14} = 62,857$$

rozhoduje λ_z

- Srovnávací štíhlost

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1,0579 = 99,337$$

- Poměrná štíhlost prutu

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = \frac{62,857}{99,337} \cdot 1 = 0,633$$

$$\alpha_1 = 0,49$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha_1 \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] =$$

$$= 0,5 \cdot [1 + 0,490 \cdot (0,633 - 0,200) + 0,633^2] = 0,806$$

- Součinitel vzpěrnosti χ

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 + \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,806 + \sqrt{0,806^2 + 0,633^2}} = 0,546 \leq 1,000$$

- Výpočtová vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,546 \cdot 1 \cdot 0,001051 \cdot 210000}{1,17} = 103,034 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} \geq N_{min}$$

$$103,03 \geq 11,56$$

horní a dolní příčné ztužení vyhovuje na vzpěr

2. Diagonální ztužení

- Štíhlost prutu

$$\lambda_y = \frac{L_{cr}}{i_y} = \frac{0,5 \cdot 1950}{27} = 36,111$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr}}{i_z} = \frac{0,5 \cdot 1950}{14} = 69,643$$

rozhoduje λ_z

- Srovnávací štíhlost

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1,0579 = 99,337$$

- Poměrná štíhlost prutu

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = \frac{69,643}{99,337} \cdot 1 = 0,701$$

$$\alpha_1 = 0,49$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha_1 \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] =$$

$$= 0,5 \cdot [1 + 0,490 \cdot (0,701 - 0,200) + 0,701^2] = 0,868$$

- Součinitel vzpěrnosti χ

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 + \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,868 + \sqrt{0,868^2 + 0,701^2}} = 0,504 \leq 1,000$$

- Výpočtová vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,504 \cdot 1 \cdot 0,001051 \cdot 210000}{1,17} = 95,095 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} \geq N_{min}$$

$$95,095 \geq 15,83$$

diagonální příčné ztužení vyhovuje na vzpěr

3. Zavětrování

- Štíhlost prutu

$$\lambda_y = \frac{L_{cr}}{i_y} = \frac{0,5 \cdot 2300}{27} = 42,593$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr}}{i_z} = \frac{0,5 \cdot 2300}{14} = 82,143$$

rozhoduje λ_z

- Srovnávací štíhlost

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1,0579 = 99,337$$

- Poměrná štíhlost prutu

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = \frac{82,143}{99,337} \cdot 1 = 0,827$$

$$\alpha_1 = 0,49$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha_1 \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] =$$

$$= 0,5 \cdot [1 + 0,490 \cdot (0,827 - 0,200) + 0,827^2] = 0,996$$

- Součinitel vzpěrnosti χ

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 + \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,996 + \sqrt{0,996^2 + 0,827^2}} = 0,437 \leq 1,000$$

- Výpočtová vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,437 \cdot 1 \cdot 0,001051 \cdot 210000}{1,17} = 82,355 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} \geq N_{min}$$

$$82,36 \geq 13,25$$

zavětrování vyhovuje na vzpěr

6.2.4 Posouzení zatížitelnosti příčného ztužení hlavních nosníků

Zatížitelnost příčného ztužení se stejně jako u hlavních nosníků stanoví metodou dílčích součinitelů, za podmínky že extrémní návrhové hodnoty účinků zatížení odpovídající stanovené hodnotě zatížitelnosti se právě rovnají návrhové hodnotě únosnosti příslušného průřezu nebo prvku mostního objektu. Účinky zatížení se rozdělí na část vyvolanou svislými účinky zatížení modelem zatížení 71 a část vyvolanou účinky ostatních zatížení působících současně se svislým proměnným zatížením železniční dopravou [1].

- Posouzení zatížitelnosti horního a dolního ztužení v tlaku (nejnepříznivější varianta)

$$Z_{LM71} = \frac{(N_{rd} - |N_{OL,min}|)}{|N_{71,min}|} = \frac{(206,27 - 11,56)}{7,08} = 27,50 \geq 1$$

Vyhovuje

- Posouzení zatížitelnosti diagonálního ztužení v tlaku

$$Z_{LM71} = \frac{(N_{rd} - |N_{OL,min}|)}{|N_{71,min}|} = \frac{(206,27 - 12,94)}{7,19} = 26,89 \geq 1$$

Vyhovuje

- Posouzení zatížitelnosti zavětrování v tlaku

$$Z_{LM71} = \frac{(N_{rd} - |N_{OL,min}|)}{|N_{71,min}|} = \frac{(206,27 - 6,30)}{6,16} = 32,46 \geq 1$$

Vyhovuje

7. ZÁVĚR

Velikosti jednotlivých prvků mostní konstrukce vychází z mostní prohlídky, kterou jsem provedl v dubnu 2018. Z vizuální prohlídky nebylo možné zjistit míru koroze na jednotlivých prvcích, protože v roce 2017 byla na mostě provedena obnova protikoroze ochrany. Z vizuální prohlídky bylo pouze patrné opotřebení mostnic. Z poskytnutých podkladů nebylo také možné zjistit všechny skutečnosti, např. velikosti nýtů apod. V tomto hledisku je výpočet pouze odhadem možné skutečnosti.

Všechny nosné prvky mostní konstrukce posuzované na maximální účinky různých kombinací zatížení, vyhověly ve všech posuzovaných oblastech. Nejmenší zatížitelnost vyšla v zavětrování a horním a dolním ztužením. Zde je také konstrukce nejnáchylnější k akumulaci vody a následné možné korozi.

Mostní prohlídku z roku 2017, uvedenou v použité literatuře (odkaz 9), nelze z důvodu důvěrnosti dokumentu uveřejnit v příloze.

8. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] VIČAN, CSC., prof. Ing. Josef, Ing. Josef GOCÁL, PHD., Ing. Richard HLINKA, PHD., Ing. Jaroslav ODRONIŠÁK, PHD., doc. Ing. Martin MORAVČÍK, PHD. a doc. Ing. Peter KOTEŠ, PHD. *Metodický pokyn SŽDC pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů*. Generální ředitelství SŽDC, 2015, 116 s. č.j.: S30165/2015-O13.
- [2] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Březen 2004. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [3] ČSN EN 1991-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí: Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. 2003. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [4] ČSN EN 1991-2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí: Část 2: Zatížení mostů dopravou*. Červenec 2005. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [5] ČSN EN 1993-1-4. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí: Část 1-4: Obecná pravidla – Doplnující pravidla pro korozivzdorné oceli*. Leden 2008. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [6] ČSN EN 1993-1-1. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí: Část 1-1 Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Prosinec 2006. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [7] ČSN EN 1993-1-5. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí: Část 1-5 Boulení stěn*. Únor 2008. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [9] DEJMEK, Ing. Luboš a Tomáš OKURKA. *Protokol o podrobné prohlídce mostního objektu v TÚ 1441 v km 18,003*. Malletova 10/2363, 190 00 Praha 9 - Libeň: Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, Technická ústředna dopravní cesty, 2017.
- [10] ROTTER, CSC., Doc. Ing. Tomáš a Prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DRSC. *Ocelové konstrukce 30: Ocelové mosty*. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. ISBN 80-01-03410-0.

;