

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Statický přepočít plnostěnné ocelové mostní konstrukce na trati
TÚ Choceň (mimo) – Litomyšl (včetně) v kilometru 6,255.

Bc. Luboš Dejmek

Diplomová práce

2015

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 přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 1.2.2015

Bc. Luboš Dejmeš

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat doc. Ing. Bohumilu Culkovi, Ph.D. za cenné rady, odborné vedení a čas věnovaný vedení mé diplomové práce.

Anotace

Předmětem diplomové práce je statický přepočít plnostěnné, ocelové, nýtované, mostní konstrukce bez mostovky. Most se nachází na traťovém úseku TÚ 1581 Choceň (mimo) – Litomyšl (včetně) v kilometru 6,255. Statický přepočít byl proveden podle platných evropských a českých norem a podle nové směrnice SŽDC SR 5. Výsledky obou přepočtů byly porovnány.

Klíčová slova

Most, zatížení, hlavní nosník, ztužení, zavětrování, statický přepočít

Title

Static recalculation of solid-steel bridge construction in 6,255 km railway-track Choceň – Litomyšl

Anotace

The subject of this thesis is the static recalculation of solid-steel, riveted bridge construction, without deck. The bridge is located on the track section TÚ 1581 Choceň (except) – Litomyšl (inclusive) in 6,255 kilometer. Static recalculation was performed according valid European and Czech standards and according the new directive SŽDC SR 5. Result of both static recalculation were compared.

Klíčová slova

A bridge, a load, a main beam, a bracing, a cross bracing, a static recalculation

Obsah diplomové práce

1. Technická zpráva
2. Výkresová dokumentace
 - 2.1. Půdorys, bokorys M 1:50
 - 2.2. Příčné řezy M 1:50
 - 2.3. Výrobní sestava hlavního nosníku původní konstrukce M 1:25
 - 2.4. Výrobní sestava hlavního nosníku zesílené konstrukce M 1:25
3. Statický přepočet dle ČSN EN 1990, 1991, 1993
4. Statický přepočet a výpočet zatížitelnosti dle směrnice SR 5 (nové vydání, platnost 1Q. 2015)
5. Fotodokumentace
6. Vyhodnocení výsledků, tabulky průřezových charakteristik a hodnoty vnitřních sil z programu Scia Engineer 2014

Příloha č. 1 – Protokol o podrobné prohlídce z roku 2013 (jedná se o důvěrný materiál SŽDC, z tohoto důvodu bude přiložen pouze k obhajobě).

Popis řešení diplomové práce

V diplomové práci jsou řešeny dva statické přepočty. První je podle platných evropských a českých norem. Druhý je podle směrnice SR 5, která vyjde během roku 2015 (jedná se o výpočet nad rámec zadání práce). Výsledky obou statických přepočtů byly porovnány. Dále je vytvořena projektová dokumentace a technická zpráva posuzovaného mostu.

Objekt se skládá ze tří shodných ocelových konstrukcí. Posouzena je jedna nosná konstrukce s tím, že se předpokládají obdobné výsledky u zbylých dvou konstrukcí.

Pro statický výpočet byl vytvořen model jedné konstrukce v programu Scia Engineer 2014. Model byl zatížen vlastní tíhou konstrukce a vybavení (podlahy, podlahové nosníky), dopravou, reprezentovanou modelem UIC-71 dle ČSN EN 1991-2 a větrem podle ČSN 1993-1-4. V programu Scia Engineer byly vytvořeny kombinace zatížení podle ČSN EN 1990 a byly stanoveny hodnoty vnitřních sil.

Pro oba přepočty jsou hlavní nosníky posouzeny na účinky boulení stěn, posouzení únosnosti příčného řezu, posouzení na smyk a interakce mezi osovou silou, ohybovým momentem a posouvají silou. Pro úplnost bylo provedeno posouzení na klopení, ale kvůli malé vzdálenosti příčných ztužidel (mostnic) nebylo potřeba. Pro hlavní nosníky byla posouzena svislá výztuha a lokální stabilita stojiny.

Příčné ztužení a zavětrování hlavních nosníků je namáháno hlavně osovou silou, proto bylo provedeno posouzení na tah, tah oslabeného průřezu dírami a na vzpěr.

V přepočtu podle nové směrnice SŽDC SR 5 byla navíc ke všem průřezům hlavních nosníků, prvkům příčného ztužení a zavětrování hlavních nosníků stanovena zatížitelnost.

S vedoucím práce byla domluvena podmínka $Z_{LM71} \geq 1,0$. Pokud podmínka nebude splněna, navrhne se zesílení konstrukce.

Vzhledem k rozsahu diplomové práce bylo vedoucím práce rozhodnuto, že výpočet spojů nebude součástí diplomové práce.

V přepočtu podle EN oba hlavní nosníky, všechny prvky příčného ztužení a zavětrování při posouzení na únosnost vyhověly.

V přepočtu podle směrnice SR 5 nevyšla stojina průřezu hlavního nosníku č. 10 na smyk. Ostatní průřezy hlavních nosníků, prvky příčného ztužení a zavětrování hlavních nosníků při posouzení na únosnost vyhověly.

Při stanovení zatížitelnosti podmínce $Z_{LM71} \geq 1,0$ nevyhověly průřezy hlavních nosníků č. 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9 a 10. U těchto nosníků bylo navrženo zesílení stojiny nebo pásnice.

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

1.0 TECHNICKÁ ZPRÁVA

Statický přepočít plnostěnné ocelové mostní konstrukce na trati
TÚ Choceň (mimo) – Litomyšl (včetně) v kilometru 6,255.

Bc. Luboš Dejmek

Diplomová práce

2015

Obsah

1	Základní údaje o mostním objektu	4
1.1	Situování mostního objektu v terénu	5
1.2	Účel objektu, přemostěná překážka	5
1.3	Počet kolejí na mostě, sklonové a směrové poměry	5
1.4	Rychlost na mostě, traťová třída zatížení a prostorové uspořádání	5
2	Technický popis stavu objektu	5
2.1	Základní rozměry mostu:	5
2.2	Popis nosné konstrukce	5
2.3	Stav nosné konstrukce - dle protokolu o podrobné prohlídce	6
3	Železniční svršek - popis a stav svršku	7
4	Spodní stavba	7
4.1	Opěra O 01 - popis a stav opěry	7
4.2	Pilíře P 01 a P 02 - popis a stav pilířů	7
4.3	Opěra O 02 - popis a stav opěry	8
5	Mostní vybavení	9
5.1	Podlahy	9
5.2	Zábradlí	9
5.3	Jiné zařízení	9
6	Geologické poměry	9
7	Zatížení	10
7.1	Vlastní váha konstrukce mostu	10
7.2	Dlouhodobé zatížení	10
7.3	Krátkodobé zatížení	10
7.4	Zatížení dopravou	10
7.5	Kombinace zatížení	10
8	Zesílení konstrukce	10
9	Použité podklady a normy	11

1 Základní údaje o mostním objektu

Most se nachází na Traťovém úseku 1581 Choceň (mimo) – Litomyšl (včetně); definiční úsek 10 Dvořisko (Mělnírna-ORLICAN) – ZZN, TEMA Vysoké Mýto. V evidenčním kilometru 6,255.

GPS souřadnice středu objektu: 49°58'2.060"N, 16°8'53.641"E

Lokalizace objektu:

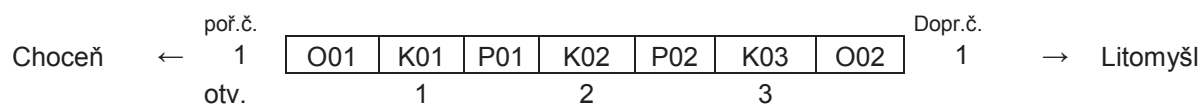


Obrázek 1 – Letecký snímek okolí (zdroj www.mapy.cz)



Obrázek 2 – Mapa okolí (zdroj www.mapy.cz)

Schéma mostního objektu dle protokolu o podrobné prohlídce



1.1 Situování mostního objektu v terénu

Most je umístěn v extravilánu na jednokolejové trati. Před i za mostem je trať vedena v násypu.

1.2 Účel objektu, přemostěná překážka

Most je o třech otvorech, ve všech je přemostěná překážka inundační území potoka Loučná.

1.3 Počet kolejí na mostě, sklonové a směrové poměry

Jednokolejná trať stoupá ve sklonu 0,35 ‰. Směrové uspořádání koleje po celé délce objektu je v přímé.

1.4 Rychlost na mostě, traťová třída zatížení a prostorové uspořádání

Rychlost na mostě je 60 km/h. Traťová třída zatížení s přidruženou rychlostí je C3 – 60 km/h.

Vzdálenost vnitřního líce zábradlí na NK od osy koleje:

	na začátku	uprostřed	na konci
Vlevo	2550 mm	2550 mm	2550 mm
vpravo	2550 mm	2550 mm	2550 mm

Zábradlí nezasahuje do volného schůdného a manipulačního prostoru.

2 Technický popis stavu objektu

Most o třech shodných polích přemostuje zátopové území u obce Vysoké Mýto. Objekt se skládá ze tří shodných ocelových konstrukcí.

2.1 Základní rozměry mostu:

Délka mostu: 30,00 m
Šířka mostu: 4,50 m
Výška objektu: 2,69 m
Délka přemostění: 25,00 m

2.2 Popis nosné konstrukce

Jedná se o tři shodné ocelové konstrukce trémové, plnostěnné, nýtované, bez mostovky. Konstrukce jsou prosté, ukončení konstrukcí je kolmé. Ložiska jsou tangenciální na začátku (myšleno ve směru staničení) jsou pevná, na konci pohyblivá. Délka konstrukce: 8640 mm, teoretické rozpětí je 8300 mm.

Hlavní nosníky jsou plnostěnné, nýtované. Délka 8640 mm, výška nad podporou je 668 mm. Ve střední části je 686 mm. Hlavní nosníky jsou tvořeny stojinou z P12x650 mm, pásnice jsou z P9x350 mm, krční úhelníky jsou profilu L 150x100x12 mm.

Příčné ztužení, horní i dolní, je z úhelníků L 65x8 mm. Osová vzdálenost příčného ztužení je 1660 mm. Horní podélné ztužení je z úhelníků L 80x10 mm, dolní podélné ztužení je z úhelníků L 70x8 mm.

Ocel použitá na mostní konstrukci se předpokládá podle nové směrnice SŽDC SR 5 tab. A.1 jako PLÁVKOVÁ OCEL se zaručenou mezí kluzu f_y 230 MPa. Charakteristické hodnoty pevnosti materiálu šroubů a nýtů jsou podle SR 5 tab. A.2 pro ocel s mezí kluzu $f_y < 300$ MPa

Charakteristiky materiálů - pruty:

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$f_y = 230 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{230}} = 1,011$$

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

Charakteristiky materiálů - nýty:

dle směrnice SR 5 v konstrukcích z materiálu s mezí kluzu < 300 MPa

$$f_{yn} = 200$$

$$f_{un} = 310 \text{ MPa}$$

$$E = 200\,000 \text{ MPa}$$

2.3 Stav nosné konstrukce - dle protokolu o podrobné prohlídce

V roce 2004 byly konstrukce otryskány a natřeny novou PKO, oslabení konstrukcí však zůstalo.

- Horní pásnice jsou pod mostnicemi oslabené o 3 - 4 mm, místy s okraji do ostra do hl. až 8 mm. Mezi horními pásnicemi a úhelníky narůstá místy štěrbinová koroze o tl. až 25 mm. Stojiny nad dolními pás. úhelníky jsou místy oslabené důlkovou korozí do hl. max. 3 mm. Dolní pás. úhelníky a nadložiskové desky jsou v ložiskách mírně prohnuté.
Stav PKO: poškozen na ploše $\leq 8\%$ (Ri 4)¹.
- Příčné ztužení má mezi horními i dolními úhelníky štěrbinovou korozi o tl. až 10 mm. V koncích jednotlivě oslabené o 2 - 3 mm - vše bylo otryskáno v roce 2004 a natřeno.
Stav PKO: v dobrém stavu (Ri 0).
- Ztužení je v dobrém stavu.
Stav PKO: v dobrém stavu (Ri 0)*.
- Ložisko vpravo na konci z venkovní strany má uvolněné 2 ks nýtů. Nadložiskové desky jsou prohnuté. Ložiska místy povrchově korodují.
Stav PKO: poškozen na ploše 10% (Ri 5)
- Chování konstrukce při průjezdu vlaku: klidné.
- **Stav nosných konstrukcí K 01 - K 03 je v protokolu o podrobné prohlídce z roku 2013 hodnocen stupněm 2.**

¹ Stupeň Ri vyjadřuje korozní napadení dle předpisu ČD S 5/4 Protikorozní ochrana ocelových korozí, z roku 2001

3 Železniční svršek - popis a stav svršku

Kolejnice typu S49 je upevněna nepřímo pomocí žebrových podkladnic k dubovým mostnicím rozměru 240x240x2300 mm. Mostnice jsou uloženy plošně a upevněny svislými mostnicovými šrouby. Osová vzdálenost mostnic se pohybuje v rozmezí 391 - 588 mm. Na čelech mostnic jsou spony proti štěpení.

Pozednice jsou z dubového dřeva o rozměrech 230x240x2300 mm, mají opáskování proti štěpení. Osová vzdálenost mostnice a pozednice na začátku je 566 mm, na konci objektu 557 mm.

Na mostě je osazený pojistný úhelník z profilu L 160x100x14 mm, délka úhelníku je 46,60 m. Vzdálenost od pojižděné hrany je 175 - 180 mm.

Stav železničního svršku

- Držebnost upevňovadel je v dobrém stavu.
- Kolejnice jsou v dobrém stavu.
- Mostnice a pozednice jsou v dobrém stavu.
- Pojistný úhelník je v dobrém stavu.

4 Spodní stavba

4.1 Opěra O 01 - popis a stav opěry

- Opěra je tížená, z kamenného zdiva a železobetonu. Výška viditelné části dříku opěry je 1,60 m, šířka opěry 4,52 m.
- Pod ložisky jsou žulové úložné kvádry.
- Závěrná zeď je železobetonová, výšky 0,82 m.
- Křídla jsou rovnoběžná, železobetonová, s římsou a přilehlými kamennými kužely. Na konci křídel jsou přechody do tratě zpevněny gabiónovými koši.

Stav opěry O 01

- Opěra má povrchovou úpravu místy nepravidelně síťovitě popraskanou, místy s patrnými průsaky a výluhy.
- Úložné kvádry jsou v dobrém stavu.
- Závěrná zeď má povrchovou úpravu místy nepravidelně popraskanou.
- Křídla mají povrchovou úpravu místy nepravidelně popraskanou. Na kamenných kuželech narůstá místy vegetace.
- **V protokolu o podrobné prohlídce z roku 2013 je opěra O 01 hodnocená stupněm 1.**

4.2 Pilíře P 01 a P 02 - popis a stav pilířů

- Pilíř je tížený, z kamenného zdiva a železobetonu. Výška viditelné části dříku pilíře je 1,70 m, šířka pilíře je 4,52 m, délka pilíře je 1,30 m.
- Úložné kvádry pod ložisky jsou žulové.

Stav Pilíře P 01

- Povrchová úprava pilíře je nepravidelně popraskaná s mírnými průsaky.
- Úložné kvádry jsou v dobrém stavu.
- **V protokolu o podrobné prohlídce z roku 2013 je pilíř P 01 hodnocen stupněm 1.**

Stav Pilíře P 02

- Povrchová úprava dřívku pilíře je nepravidelně popraskaná s mírnými průsaky.
- Úložné kvádry jsou v dobrém stavu.
- **V protokolu o podrobné prohlídce z roku 2013 je pilíř P 02 hodnocen stupněm 1.**

4.3 Opěra O 02 - popis a stav opěry

- Opěra je tížená z kamenného zdiva a železobetonu. Výška viditelné části dřívku je 1,58 m, šířka 4,52 m.
- Úložné kvádry pod ložisky jsou žulové.
- Závěrná zeď je z železobetonu, výšky 0,80 m.
- Křídla jsou rovnoběžná, železobetonová, s římsou a přilehlými kamennými kužely. Na konci křídel jsou přechody do tratě zpevněny gabiónovými koši.

Stav opěry O 02

- Povrchová úprava opěry je nepravidelně síťovitě popraskaná. Pod úložnými kvádry je patrný průsak s výluhem.
- Úložné kvádry mají místy uvolněné spárování. Na úložné ploše jsou okolo ložisek nečistoty.
- Závěrná zeď má povrchovou úpravu místy nepravidelně popraskanou.
- Křídla mají povrchovou úpravu nepravidelně popraskanou, místy jsou patrné slabé průsaky s výluhy.
- **V protokolu o podrobné prohlídce z roku 2013 je opěra O 02 hodnocená stupněm 1.**

5 Mostní vybavení

5.1 Podlahy

Mezi kolejnicemi (středové podlahy) z rýhovaného plechu tl. 6 mm, šířka plechu je 815 mm. Podlahy po hlavách mostnic z rýhovaného plechu tl. 6 mm, šířka plechu je 255 mm. Chodníkové podlahy z rýhovaného plechu tl. 6 mm, šířka podlahy je 1380 mm. Podlahy jsou osazeny na nosnících z válcovaných profilů U80, ty jsou přišroubované do konzole z profilu U200.

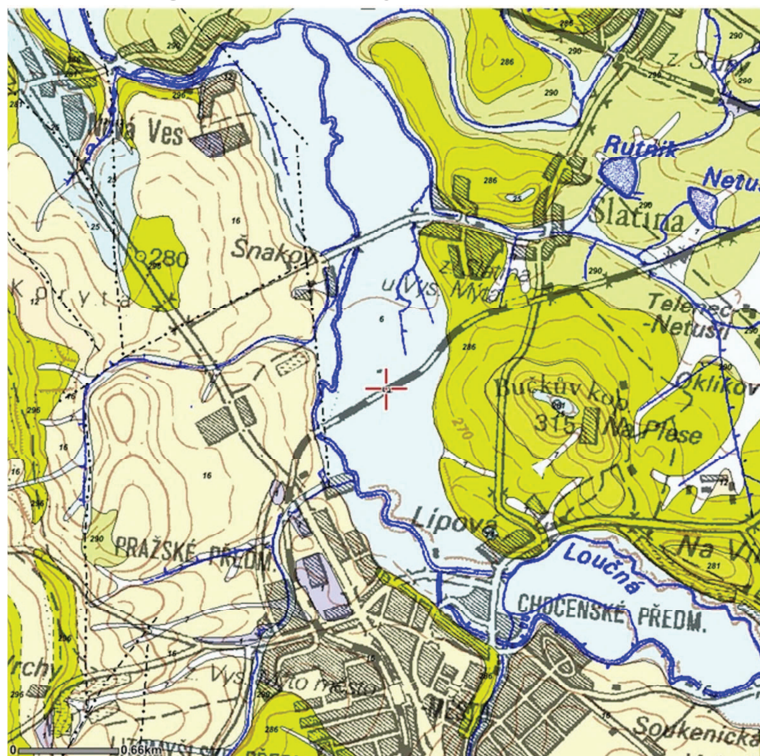
5.2 Zábradlí








Na mostě je osazeno oboustranně zábradlí z L profilu. Sloupky jsou z L 80x80x10 mm, madlo a příčle z 70x70x8 mm. Nejmenší naměřená výška zábradlí je 1100 mm nad pochozí plochou (chodníková podlaha). Délka zábradlí je 8640 mm, dilatace zábradlí je řešena vzduchovou mezerou.

5.3 Jiné zařízení

Na dolní příčli zábradlí vpravo jsou volně položené kabely.

6 Geologické poměry



	navážka, halda, výsypka, odval [ID: 1]
	nivní sediment [ID: 6]
	smíšený sediment [ID: 7]
	písčito-hlinitý až hlinito-písčitý sediment [ID: 12]
	spraš a sprašová hlína [ID: 16]
	písek, štěrk [ID: 24]
	písek, štěrk [ID: 25]

Obrázek 3 – geologické poměry okolí objektu (zdroj Česká geologická služba – www.geology.cz)

Nivní sediment:

Typ horniny: sediment nezpevněný

Hornina: hlína, písek, štěrk

Soustava: Český masív - pokryvné útvary a postvariské magmatity

7 Zatížení

7.1 Vlastní váha konstrukce mostu

Vlastní váha ocelové konstrukce byla vymodelovaná v programu Scia Engineer 2014. Celková váha jedné konstrukce je 8744,9 kg.

7.2 Dlouhodobé zatížení

Jako dlouhodobé zatížení jsou uvažované podlahové plechy a chodníkové nosníky.

7.3 Krátkodobé zatížení

Za krátkodobé zatížení je v modelu uvažováno zatížení větrem.

7.4 Zatížení dopravou

Jako zatížení dopravou slouží model vlaku UIC - 71 vymodelovaný v programu Scia Engineer 2014. Dráha zatížení byla zvolena na temeni kolejnice. Současně s modelem vlaku UIC - 71 působí v koleji zatížení bočními rázy, rozjezdové síly a brzdné síly.

Rozjezdové a brzdné síly se uvažují jako 33 kN na jeden metr délky, avšak ne více jak 1000 kN. Tato síla je vložena jako síla na celou délku kolejnic.

Boční rázy od dopravy byly provedeny jako osamělá jednotková síla v úrovni temene kolejnice o velikosti 100 kN.

7.5 Kombinace zatížení

Jednotlivé kombinace zatížení byly automaticky generovány v programu Scia Engineer 2014 dle platné normy ČSN EN 1990 ed. 2 z roku 2011.

8 Zesílení konstrukce

Ve statickém přepočtu dle směrnice SR 5 nevyhověla stojina hlavního nosníku č. 10 na smyk. Tento nosník se nachází nad podporou. Pokud by se obrátil smysl působení sil od větru, dá se předpokládat, že by nevyhověl ani hlavní nosník č. 1. Z toho důvodu je navrženo zesílení stojiny u všech hlavních nosníků nad podporou ze 12 mm na 14 mm. Jedná se o nosníky č. 1, 5, 6 a 10.

U hlavních nosníků č. 2, 4, 7, a 9 vyšla zatížitelnost $Z_{LM71} < 1,0$, proto byly pásnice zesílené z 9 mm na 18 mm.

U hlavních nosníků č. 3 a 8 vyšla zatížitelnost $Z_{LM71} < 1,0$ proto byly pásnice zesílené z 18 mm na 24 mm.

U hlavního nosníku č. 10 vyšla zatížitelnost $Z_{LM71} < 1,0$ i po zesílení stojiny z 12 mm na 14 mm, proto byla ještě zesílená horní pásnice z 9 mm na 18 mm. Dá se předpokládat, že po změně směru větru by nevyšla zatížitelnost i u hlavního nosníku č. 5.

Veškeré zesílení je patrné z výrobního výkresu zesílené konstrukce a ze Statického přepočtu dle SR 5.

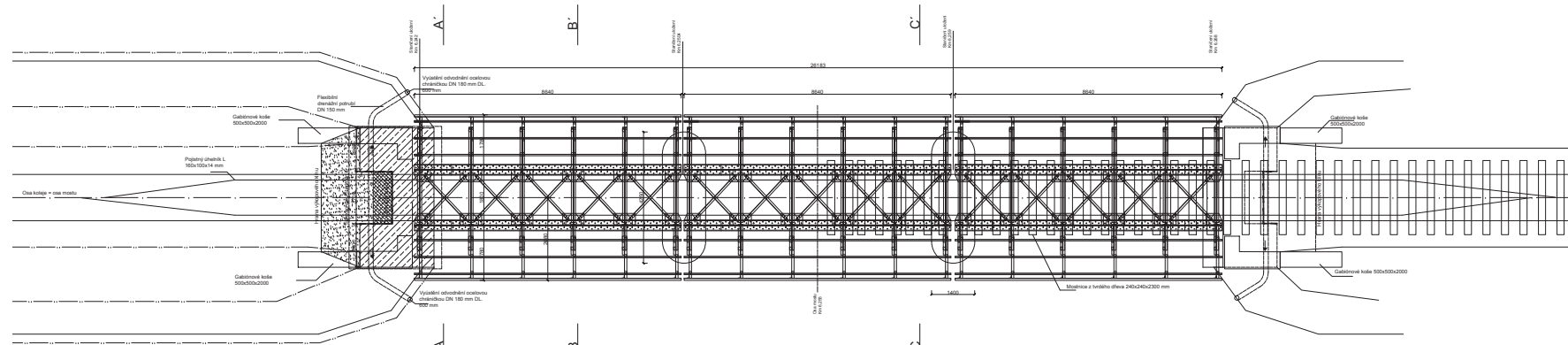
9 Použité podklady a normy

Pro diplomovou práci byly použity následující podklady:

- Výkresová dokumentace z roku 2004
- Protokol o podrobné prohlídce Technické ústředny dopravní cesty z roku 2013.
- ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991 Eurokód 1 - Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou
- ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem
- ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 1993-1-5 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-5: Boulení stěn
- Směrnice SŽDC SR 5 2015 – Určování zatížitelnosti železničních mostních objektů

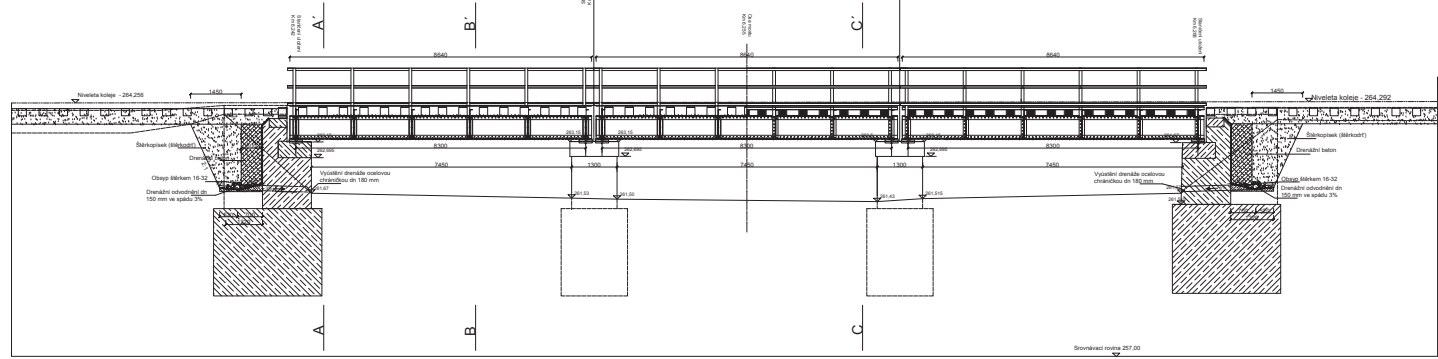
Chocěň ←

→ Litomyšl




← Chocěň

→ Litomyšl

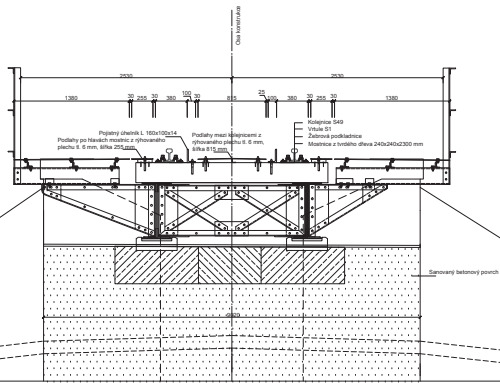


Střednicí rovina 267,00

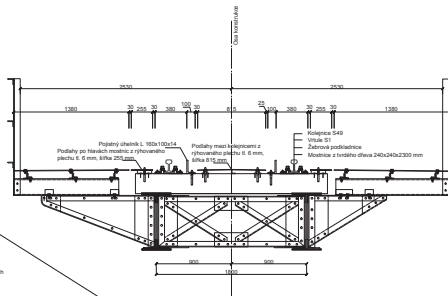
Soutěžnicový systém: JTSK
 Výkrový systém: Bp

organizace	autorizace	 Fakulta Strojní inženýrství Brno University of Technology
Laboř Řešení	Doc. Ing. Bohumír Čížek, Ph.D.	
Diplomová práce		
tema	Ocelový ploštinový most na TÚ 1581 Chocěň - Litomyšl	
plán	Dípařec stávajícího stavu - Pádorys, bokorys	1:50 1
2.1		

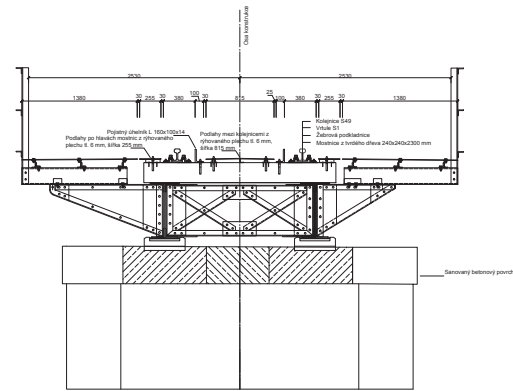
Řez A - A'




Řez B - B'



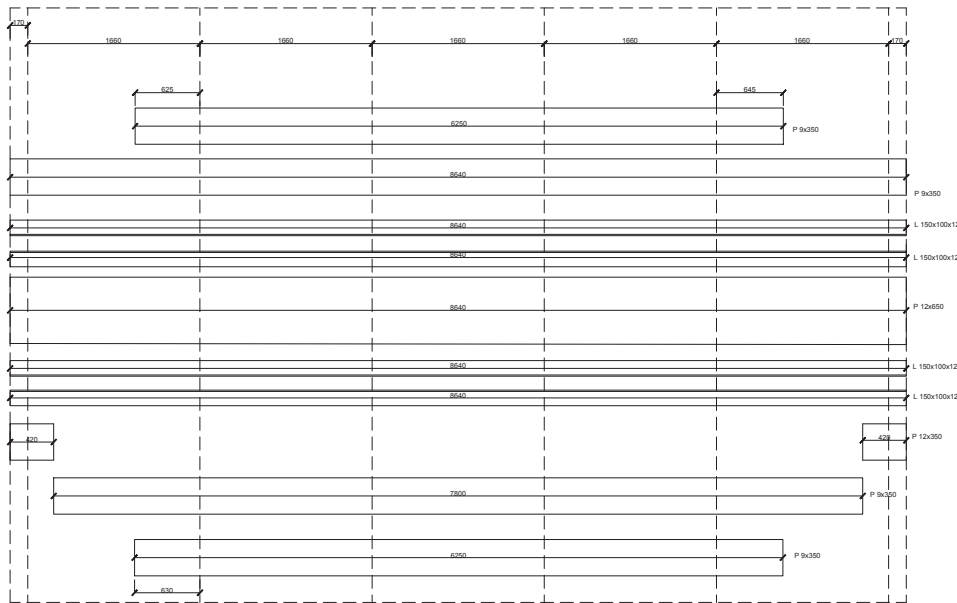
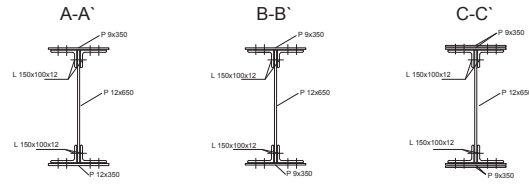
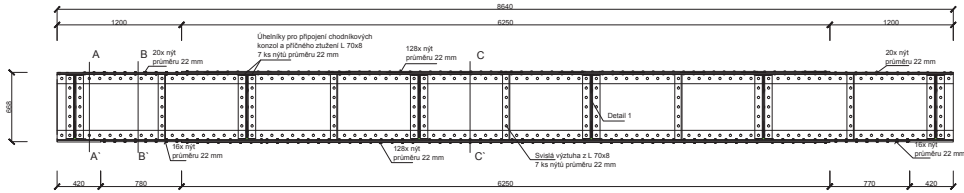
Řez C - C'



Souřadnicový systém: JTSK
 Výškový systém: Hpv

Vytvořeno: Karel Dvořák	Modifikováno: Alojz Špaňálek ČMÚA, P.Š.D.	 Univerzita Pardubice Fakulta Inženýrská
Název: Ocelový ploštný most na TÚ 1581 Choceb - Litomyšl		
Předmět: Dispozice stávajícího stavu - Příčné řezy		Úroveň: 2.2
Študijský obor: Doprovodná inženýrská - Doprovodná inženýrská, Navazující kombinovaná studia, 5. ročník		Datum: 11.02.2014 Verze: 1 Měřítko: 1:25

ŘEZY NOSNÍKU M 1:15




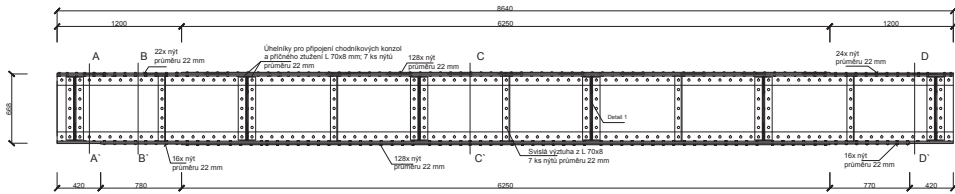
Detail 1



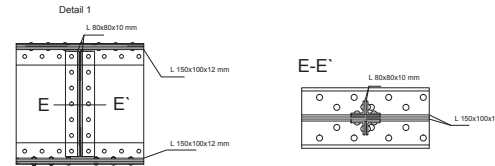
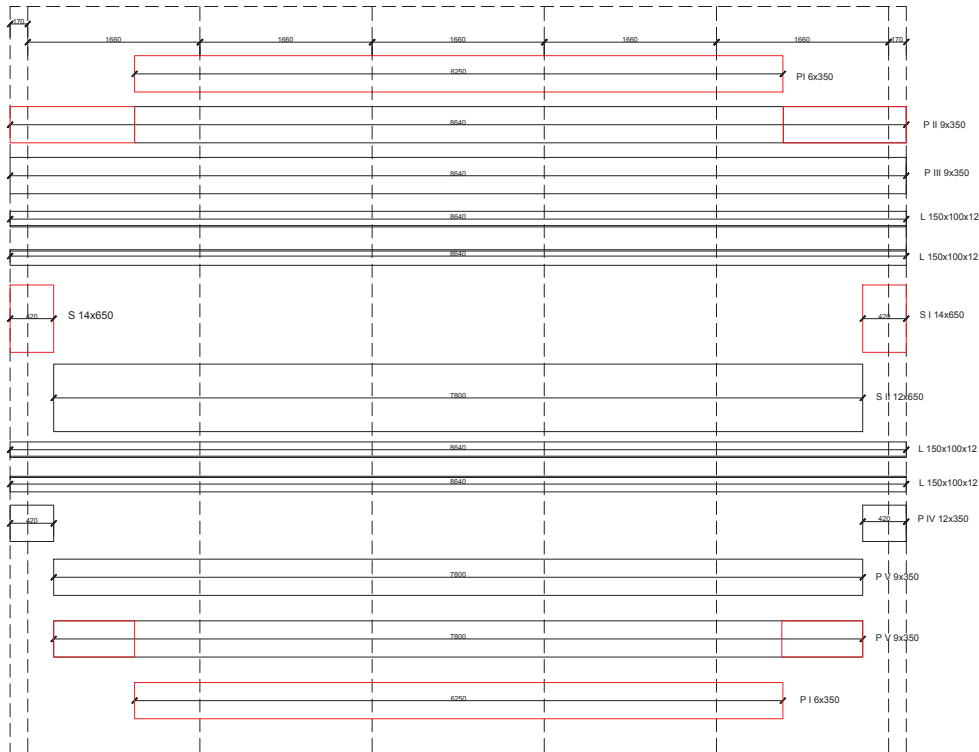
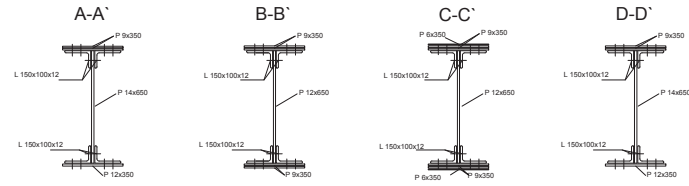
Tabulka materiálů							
Číslo položky	Počet kusů	Název prvku	Šířka (mm)	Délka (mm)	Tloušťka (mm)	Materiál	Hmotnost (kg)
1.1	2	Stojina P12	650	8640	12	Plátková ocel	1058,054
1.2	8	Podové uhlíčky L 150x100x12	650	8640	12	Plátková ocel	1562,112
1.3	4	Dolní pásnice - vypodložení ložisek	350	420	12	Plátková ocel	55,3896
1.3	2	Dolní pásnice I	350	7800	9	Plátková ocel	385,749
1.4	4	Dolní a horní vrchní pásnice	350	6250	9	Plátková ocel	618,188
1.5	2	Horní pásnice	350	8640	9	Plátková ocel	427,291
1.6	5	Svislá výztuha L 70x70x8	0,628			Plátková ocel	26,2504

Souřadnicový systém: JTSC
Výškový systém: Bpv

vypracoval: Ladislav Dvořák	kontroloval: doc. Ing. Bohumil Čalík, Ph.D.	 <p>Univerzita Pardubice Fakulta Inženýrská</p>
<p>Diplomová práce</p> <p>název: Ocelový ploštný most na TÚ 1581 Choceň - Litomyšl</p>		
<p>id: 11/2014</p> <p>datum: 11/2014</p> <p>stránka: 1:25</p>		<p>norma: 84:44</p> <p>list: 1</p>
<p>průběh: Dispozice stávajícího stavu - výrobní sestava stávajícího nosníku</p>		<p>č. výkresu: 2.3</p>



ŘEZY NOSNÍKU M 1:15



Tabulka materiálu							
Číslo položky	Počet kusů	Název prvku	Šířka (mm)	Délka (mm)	Tloušťka (mm)	Materiál	Hmotnost (kg)
1.1	4	Stojna S I	650	420	14	Píávková ocel	120,00
1.2	2	Stojna S II	650	7800	12	Píávková ocel	955,2
1.3	8	Pásové úhelníky L150x100x12		8640	12	Píávková ocel	1562,112
1.4	4	Pásnice P I 6x350	350	6250	6	Píávková ocel	206,06
1.5	2	Pásnice P II 9x350	350	8220	9	Píávková ocel	406,56
1.6	1	Pásnice P III 9x350	350	8640	9	Píávková ocel	213,646
1.7	2	Pásnice P IV 12x350	350	420	12	Píávková ocel	27,695
1.8	2	Pásnice P V 9x350	350	7800	6	Píávková ocel	257,166
1.9	10	Svislá výztuha z L 70x70x8		0.628	7	Píávková ocel	52,752

Souřadnicový systém: JTSK
Výškový systém: Bpv

vypřacoval: Luboš Dejnec	kontroloval: doc. Ing. Bohumil Calk, Ph.D.	
Diplomová práce		
téma: Ocelový plostěnný most na TÚ 1581 Choceň - Litomyšl		kód předmětu: PC02PK katedra: KDS datum: 11/2014 měřítko: 1:25
příloha: Výrobní sestava zesíleného nosníku		formát: 8 x A4 strán: 1 č. výkres: 2.4
Studijní obor - Dopravní infrastruktura - Dopravní cesta, Navazující kombinované studium, 5. ročník		

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

3.0 STATICKÝ PŘEPOČET DLE ČSN EN 1990, 1991, 1993

Statický přepočít plnostěnné ocelové mostní konstrukce na trati
TÚ Choceň (mimo) – Litomyšl (včetně) v kilometru 6,255.

Bc. Luboš Dejmek

Diplomová práce

2015

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	3
1. Schéma mostního objektu	5
2. Model mostu	6
3. Zatížení mostní konstrukce.....	6
3.1. Stálé zatížení.....	6
3.2. Zatížení dopravou.....	7
3.2.1. Boční rázy dle ČSN EN 1991-2.....	7
3.2.2. Zatížení od rozjezdových a brzdových sil dle ČSN EN 1991-2	8
3.3. Zatížení nahodilá, krátkodobá.....	9
3.3.1. Zatížení větrem dle ČSN EN 1991-1-4.....	9
3.4. Kombinace zatížení dle ČSN EN 1990	11
4. Posouzení hlavních nosníků - schéma	13
4.1. Hlavní nosník č. 1	14
4.2. Hlavní nosník č. 2	19
4.3. Hlavní nosník č. 3	24
4.4. Hlavní nosník č. 4	29
4.5. Hlavní nosník č. 5	34
4.6. Hlavní nosník č. 6	39
4.7. Hlavní nosník č. 7	44
4.8. Hlavní nosník č. 8	49
4.9. Hlavní nosník č. 9	54
4.10. Hlavní nosník č. 10.....	59
5. Příčné ztužení - schéma	64
5.1. Příčné ztužení – horní úhelníky.....	65
5.2. Příčné ztužení – dolní úhelníky.....	67
5.3. Příčné ztužení - diagonály	69
6. Zavětrování hlavních nosníků - schéma	71
6.1. Zavětrování – horní úhelníky	72
6.2. Zavětrování – dolní úhelníky.....	74
7. Posouzení svislé výztuhy hlavního nosníku.....	76
8. Lokální stabilita stojiny	77
9. Přehled výsledků	79
10. Závěr.....	80

Seznam použitých značek a symbolů

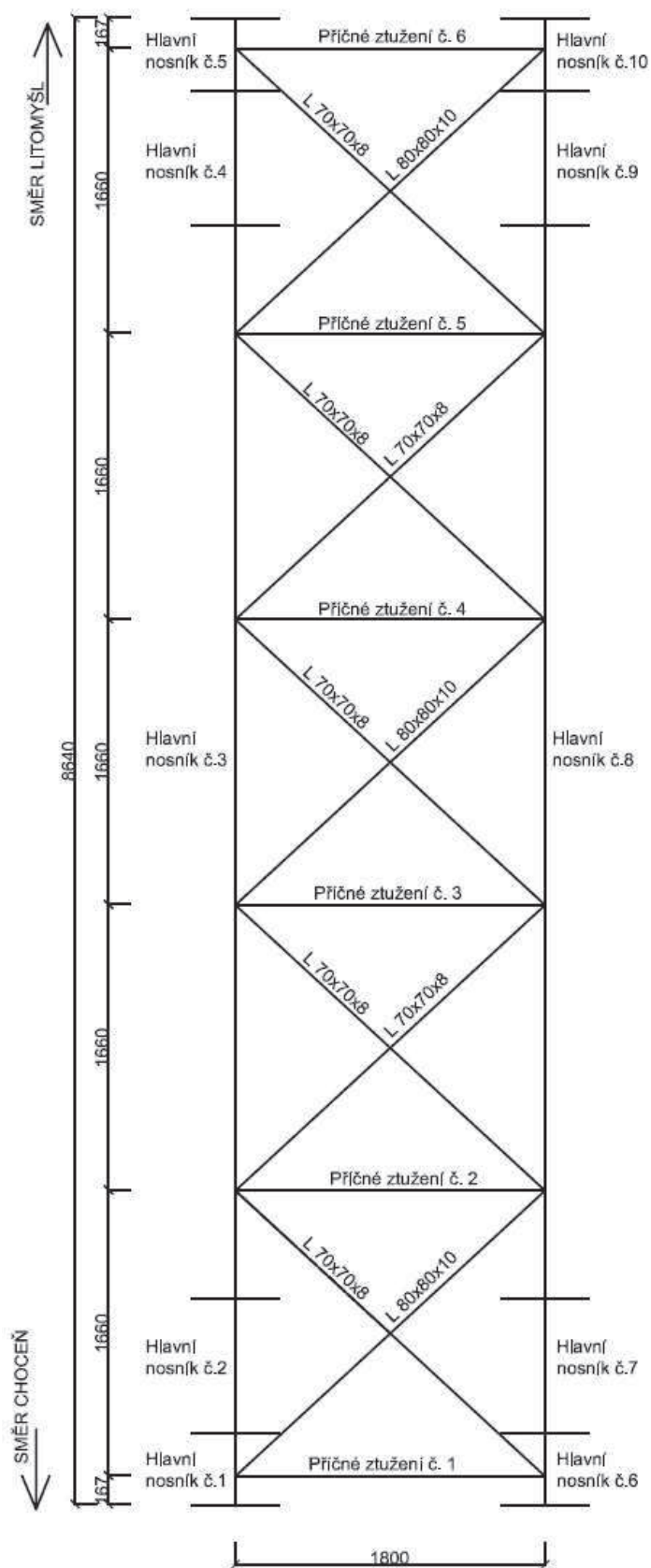
Latinská abeceda

a	délka vyztužené nebo nevyztužené stěny
A_{eff}	efektivní plocha
$A_{\text{ref},x}$	referenční plocha
b_{eff}	účinná šířka pro pružné smykové ochabnutí
C	součinitel zatížení větrem
C_e	součinitel expozice konstrukce
$C_{f,x}$	součinitel sil pro zatížení nosné konstrukce mostu větrem
E	modul pružnosti v tahu, v tlaku
e_N	posun neutrální osy
F_{ed}	návrhová příčná síla
$F_{b,Rd}$	návrhová únosnost v lokálním boulení
F_w	síla větru
f_{yw}	mez kluzu stojiny
f_{yf}	mez kluzu pásnice
h_w	výška stojiny mezi pásnicemi
I	moment setrvačnosti k příslušné ose
i	poloměr setrvačnosti k příslušné ose
k_{σ}	součinitel boulení stěn
L	délka prutu
L_{eff}	účinná délka
l_y	účinná zatížená délka
M_{Ed}	návrhový ohybový moment
$M_{f,Rd}$	návrhový plastický moment únosnosti průřezu pásnic
$M_{\text{pl},Rd}$	návrhový plastický moment únosnosti průřezu
N_{Ed}	návrhová osová síla
$N_{b,rd}$	návrhová vzpěrná únosnost tlačeného prutu
Q_{Iak}	charakteristická hodnota nápravové síly
Q_{Ibk}	charakteristická hodnota podélných sil
t_w	tloušťka stojiny
t_f	tloušťka pásnice
$V_{b,rd}$	návrhová únosnost ve smyku
V_{Ed}	návrhová smyková síla včetně smyku od kroucení
W_{eff}	účinný elastický průřezový modul

Řecká abeceda

α	podíl tlačené části průřezu
α_{LT}	součinitel imperfekce při klopení
β	součinitel účinné šířky pro pružné smykové ochabnutí
γ_m	globální dílčí součinitel spolehlivosti materiálu
ε	poměrné přetvoření
η	převodní součinitel
λ_1	hodnota štíhlosti pro výpočet poměrné štíhlosti
$\bar{\lambda}$	poměrná štíhlost
$\bar{\lambda}_{LT}$	poměrná štíhlost při klopení
ρ	součinitel boulení
σ	normálové napětí
φ	součinitel plnosti
Φ	dynamický součinitel; hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti χ
Φ_{LT}	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti χ_{LT}
χ	součinitel vzpěrnosti
χ_f	součinitel lokálního boulení
χ_w	součinitel příspěvku stojiny k únosnosti v boulení při smyku
χ_{LT}	součinitel klopení
ψ	poměr napětí

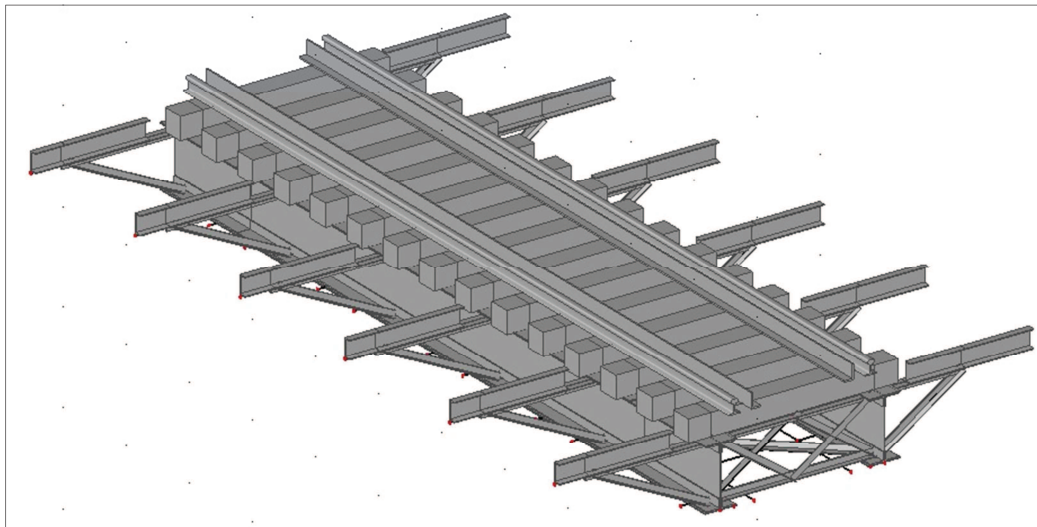
1. Schéma mostního objektu



Obrázek 1 - Schéma mostního objektu

2. Model mostu

Konstrukce byla vymodelována v programu Scia Engineer 2014. Hlavní nosníky, příčné ztužení, horní a dolní podélné ztužení hlavních nosníků bylo modelováno podle výkresu z roku 2004. Skutečné provedení chodníkových konzol neodpovídá výkresové dokumentaci, proto byla provedena podle prohlídky a zaměření objektu.



Obrázek 2 - Model konstrukce z programu Scia Engineer 2014

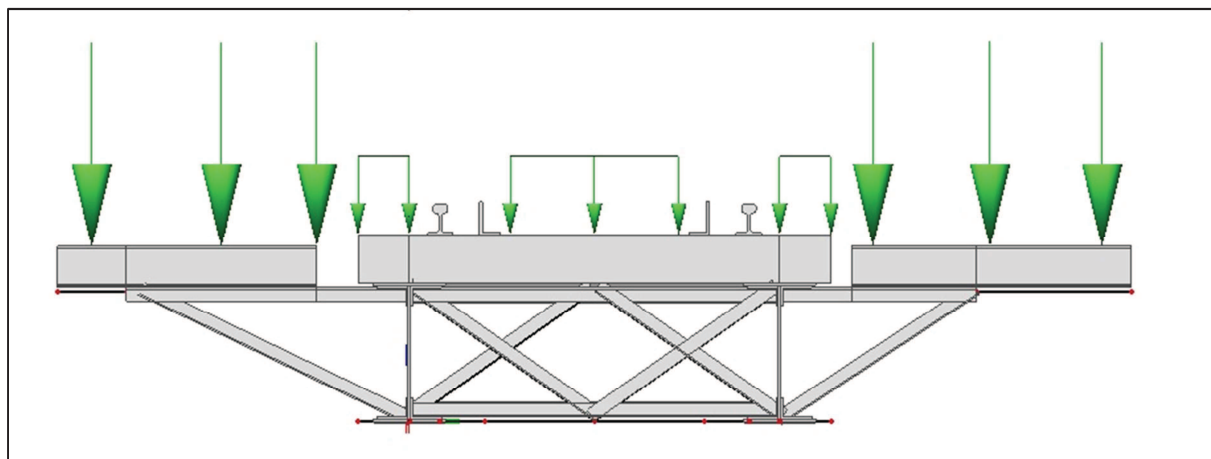
3. Zatížení mostní konstrukce

3.1. Stálé zatížení

Vlastní tíha konstrukce:

Vlastní tíha konstrukce byla vypočtena v programu Scia Engineer 2014

Ostatní stálé zatížení:



Obrázek 3 - Zatížení podlahami

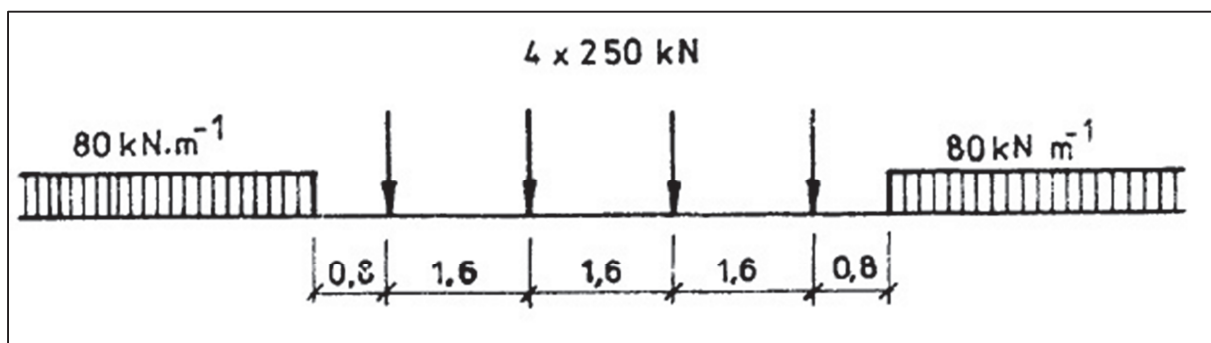
Chodníkové nosníky U80 byly modelovány jako bodové síly na chodníkových konzolách o velikosti 0,122 kN. Skrze ně působí chodníkové plechy šířky 1,38 m z rýhovaného plechu tl. 6 mm silou o velikosti 0,31 kN. Po sečtení působí bodové síly o velikosti 0,432 kN.

Podlahy po hlavách mostnic jsou z rýhovaného plechu tl. 6 mm o šířce 0,255 m. Byly vymodelovány jako spojité zatížení o velikosti 0,25 kN/m

Podlahy mezi kolejnicemi jsou z rýhovaného plechu tl. 6 mm o šířce 0,815 m. Byly modelovány jako spojité zatížení o velikosti 0,25 kN/m

3.2. Zatížení dopravou

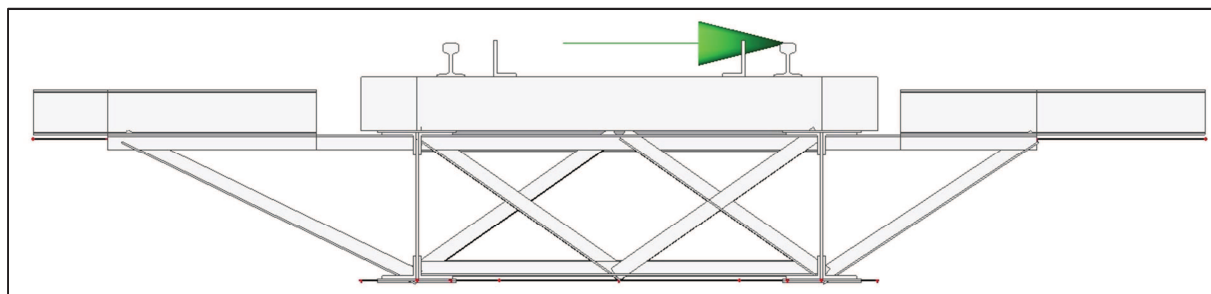
Pro výpočet byl použit ideální zatěžovací vlak UIC-70, ten byl vymodelován v programu Scia Engineer 2014, pro výpočet byl nastaven krok 500 mm. Zatížení dopravou bylo vynásobeno dynamickým součinitelem $\phi_3 = 1,536$ stanoveným z normy ČSN EN 1991-2 pro standardně udržovanou kolej.



Obrázek 4 - Ideální zatěžovací vlak UIC - 71

3.2.1. Boční rázy dle ČSN EN 1991 - 2

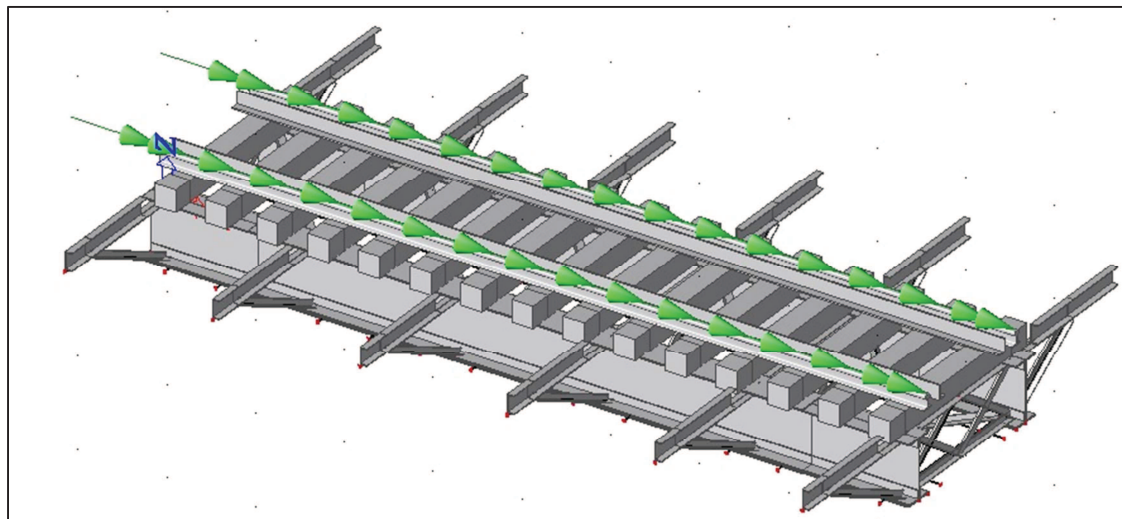
Boční rázy jsou reprezentované jako bodová osamělá síla o velikosti 100 kN působící kolmo na osu koleje v úrovni temene kolejnice.



Obrázek 5 - Zatížení bočními rázy

3.2.2. Zatížení od rozjezdových a brzdných sil dle ČSN EN 1991-2

Rozjezdové a brzdné síly působí v úrovni temene kolejnice v podélném směru koleje vždy současně se zatížením dopravou. Uvažují se jako rovnoměrné rozložené po odpovídající příčinnující délce L účinků rozjezdu a brzdění pro uvažovaný nosný prvek. Směr rozjezdových a brzdných sil souhlasí s dovoleným směrem dopravy.



Obrázek 6 - Zatížení od rozjezdových a brzdných sil

Charakteristické hodnoty rozjezdových a brzdných sil se uvažovaly následovně:

Rozjezdová síla: pro model UIC-71, SW/0, SW/2

$$Q_{lak} = 33 \text{ [kN/m]} * L \text{ [m]} \leq 1000 \text{ [kN]}$$

$$Q_{lak} = 33 * 8,64$$

$$\underline{Q_{lak} = 285,12 \text{ kN} \leq 1000 \text{ [kN]}}$$

Brzdná síla: pro model UIC-71, SW/0

$$Q_{lbk} = 20 \text{ [kN/m]} * L \text{ [m]} \leq 6000 \text{ [kN]}$$

$$Q_{lbk} = 20 * 8,64$$

$$\underline{Q_{lbk} = 172,8 \text{ kN} \leq 6000 \text{ [kN]}}$$

Pro model byla použita větší ze sil => $Q_{lak} = 285,12 \text{ kN} = 33 \text{ kN/m}$

3.3. Zatížení nahodilá, krátkodobá

3.3.1. Zatížení větrem dle ČSN EN 1991-1-4

Nezatížený most

Referenční plocha $A_{ref,1}$

$$A_{ref,1} = 2 * (t_{f,1} * L_{f,1}) + h_w * L + 2 * (t_{f,2} * L_{f,2})$$

$$A_{ref,1} = 2 * (0,009 * 8,64) + h_w * L + 2 * (0,009 * 6,25)$$

$$A_{ref,1} = 5,88 \text{ m}^2$$

h_w - výška stojiny mezi pásnicemi 0,65 m

$t_{f,1}$ - tloušťka první pásnice: 0,009 m

$L_{f,1}$ - délka první pásnice: 8,64 m

$t_{f,2}$ - tloušťka druhé pásnice: 0,009 m

$L_{f,2}$ - délka druhé pásnice: 6,25 m

C_e - součinitel expozice: 1,5

$C_{f,x}$ - součinitel síly: 2

ρ - měrná hmotnost vzduchu: 1,25 kg/m³

V_b^2 - rychlost větru: 25 m/s

L - délka mostu: 8,64 m

Součinitel expozice

$$C = C_e * C_{f,x}$$

$$C = 1,5 * 2$$

$$C = 3$$

Síla větru

$$F_{w,1} = 0,5 * \rho * V_b^2 * C * A_{ref,1}$$

$$F_{w,1} = 0,5 * 1,25 * 25^2 * 3 * 5,88$$

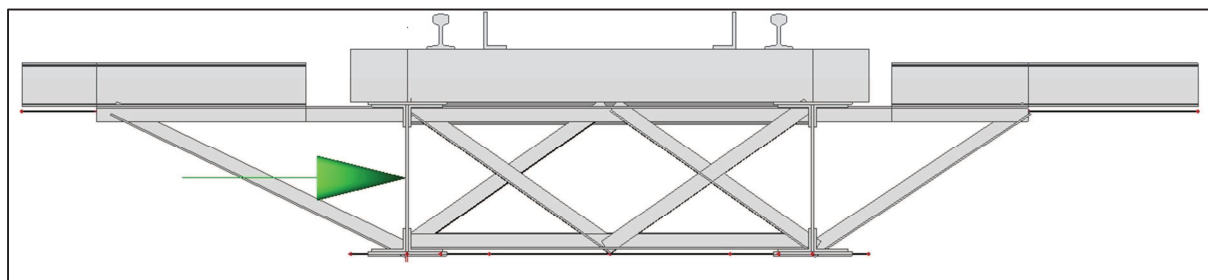
$$F_{w,1} = 6,89 \text{ kN}$$

Síla větru na 1 m délky

$$F_{w,1}^{-1} = \frac{F_{w,1}}{L}$$

$$F_{w,1}^{-1} = \frac{6,89}{8,64}$$

$$F_{w,1}^{-1} = 0,79 \text{ kN/m}$$



Obrázek 7 - Zatížení větrem nezatíženého mostu

Zatížený most

Referenční plocha

$$A_{\text{ref},2} = A_{\text{ref},1} + A_{\text{vlak}}$$
$$A_{\text{ref},2} = 5,88 + 4 * 8,64$$
$$A_{\text{ref},2} = 40,44 \text{ m}^2$$

Součinitel expozice

$$C = C_e * C_{f,x}$$
$$C = 1,5 * 2$$
$$C = 3$$

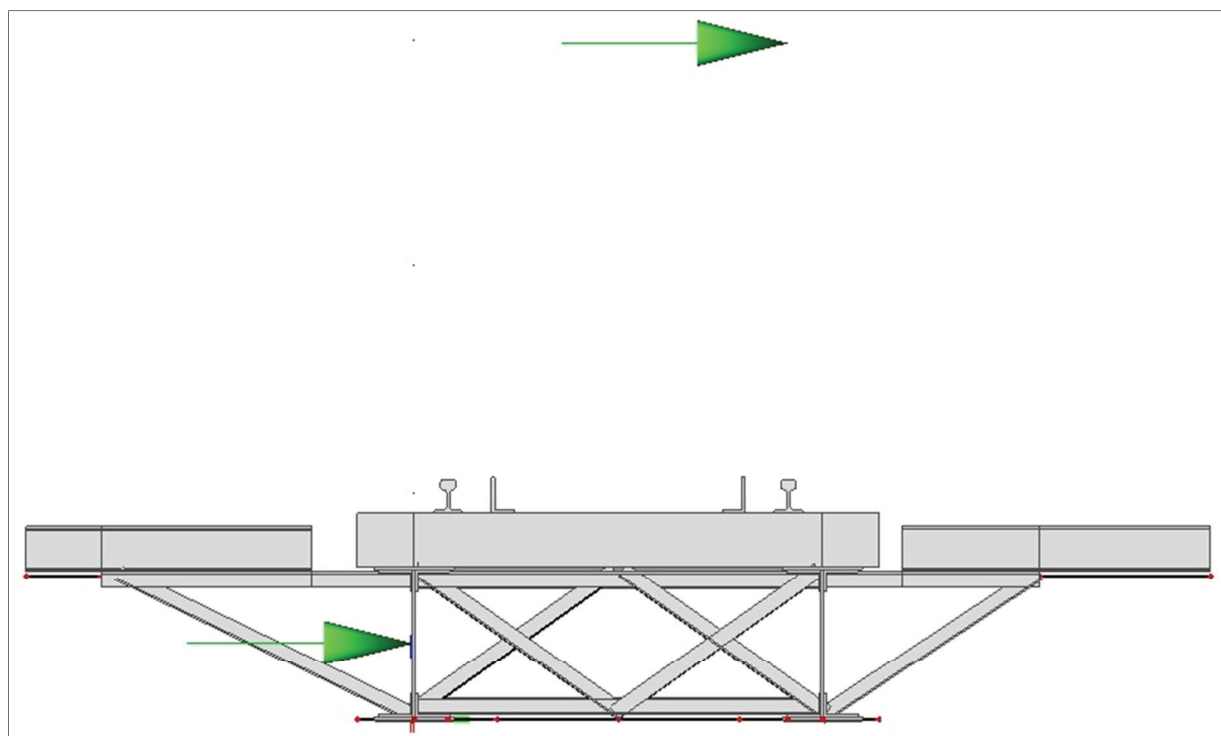
Síla větru

$$F_{w,2} = 0,5 * \rho * V_b^2 * C * A_{\text{ref},2}$$
$$F_{w,2} = 0,5 * 1,25 * 25^2 * 3 * 40,44$$
$$F_{w,2} = 47,39 \text{ kN}$$

Síla větru na 1 m délky

$$F_{w,2}^{-1} = \frac{F_{w,1}}{L}$$
$$F_{w,2}^{-1} = \frac{47,39}{8,64}$$
$$F_{w,2}^{-1} = 5,49 \text{ kN/m}$$

- h_w - výška stojiny mezi pásnicemi 0,65 m
- A_{vlak} - plocha vlaku ($4 * L$)
- $L_{f,1}$ - délka první pásnice: 8,64 m
- $t_{f,2}$ - tloušťka druhé pásnice: 0,009 m
- $L_{f,2}$ - délka druhé pásnice: 6,25 m
- C_e - součinitel expozice: 1,5
- $C_{f,x}$ - součinitel síly: 2
- ρ - měrná hmotnost vzduchu: $1,25 \text{ kg/m}^3$
- V_b^2 - rychlost větru: 25 m/s
- L - délka mostu: 8,64 m



Obrázek 8 - Zatížení větrem na zatíženém mostu

3.4. Kombinace zatížení dle ČSN EN 1990

Kombinace zatížení pro trvalé a dočasné návrhové situace (základní kombinace).

$$\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (\text{dle ČSN EN 1990 6.10})$$

alternativně pro mezní stavy STR a GEO jako méně příznivá kombinace z následujících dvou výrazů:

$$\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,i} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (\text{dle ČSN EN 1990 6.10a})$$

$$\sum \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (\text{dle ČSN EN 1990 6.10b})$$

$G_{k,j}$ - stálá zatížení

$Q_{k,j}$ - nahodilá zatížení

$\gamma_{G,j}$, $\gamma_{Q,1}$, $\gamma_{Q,i}$ - Součinitele pro jednotlivá zatížení

$\gamma_{G,\text{sup}} = 1,35$ - součinitel zatížení pro stálá nepříznivá zatížení

$\gamma_{G,\text{inf}} = 1,00$ - součinitel zatížení pro stálá příznivá zatížení

$\gamma_{Q,1}$, $\gamma_{Q,i} = 1,45$ - součinitel zatížení pro nepříznivá zatížení od železniční dopravy

$\gamma_{Q,1}$, $\gamma_{Q,i} = 1,50$ - součinitel zatížení pro další proměnná zatížení

$\psi_{0,i}$ - součinitel kombinace zatížení (dle ČSN EN 1990/A1 tabulka A2.3)

ξ - **0,85** - redukční součinitel pro nepříznivá stálá zatížení (dle ČSN EN 1990)

Kombinace zatížení byly vygenerovány v programu Scia Engineer 2014

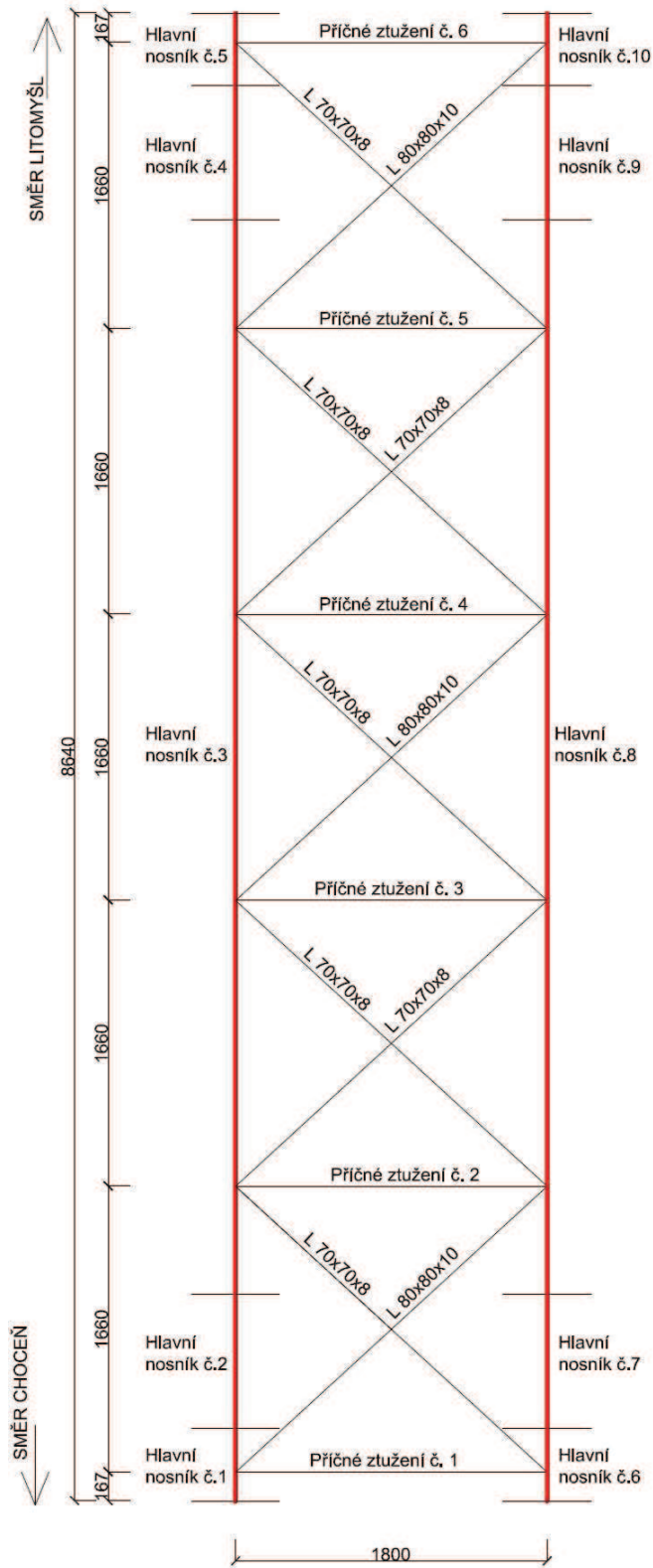
Statický přepoččet mostu TÚ 1581 - Choceň (mimo) - Litomyšl (včetně) evd. km. 6,255

Kombinace zatížení		ψ_0	$\gamma_{G,Q}$	Scia	Kombinace zatížení		ψ_0	$\gamma_{G,Q}$	Scia
CO1	Vlastní tíha	1,00	1,00	1,00	CO8	Vlastní tíha	1,00	1,35	1,35
	Ostatní stálé zatížení	1,00	1,00	1,00		Ostatní stálé zatížení	1,00	1,35	1,35
	Zatížení větrem	1,00	1,00	1,00		Zatížení větrem	1,00	1,50	1,50
	Rozjezdové síly	1,00	1,00	1,00		Rozjezdové síly	0,8	1,45	1,16
	Boční rázy	1,00	1,00	1,00		Boční rázy	0,8	1,45	1,16
	Vlak UIC 71 - min. N	1,00	1,00	1,00		Vlak UIC 71 - min. N	0,8	1,45	1,16
	Vlak UIC 71 - min. Vz	1,00	1,00	1,00		Vlak UIC 71 - min. Vz	0,8	1,45	1,16
	Vlak UIC 71 - min. My	1,00	1,00	1,00		Vlak UIC 71 - min. My	0,8	1,45	1,16
	Vlak UIC 71 - max. N	1,00	1,00	1,00		Vlak UIC 71 - max. N	0,8	1,45	1,16
	Vlak UIC 71 - max. Vz	1,00	1,00	1,00		Vlak UIC 71 - max. Vz	0,8	1,45	1,16
	Vlak UIC 71 - max. My	1,00	1,00	1,00		Vlak UIC 71 - max. My	0,8	1,45	1,16
CO2	Vlastní tíha	1,00	1,35	1,35	CO9	Vlastní tíha	1,00	1,00	1,00
	Ostatní stálé zatížení	1,00	1,35	1,35		Ostatní stálé zatížení	1,00	1,00	1,00
CO3	Vlastní tíha	1,00	1,00	1,00		Zatížení větrem	1,00	1,50	1,50
	Ostatní stálé zatížení	1,00	1,00	1,00		Rozjezdové síly	0,8	1,45	1,16
CO4	Vlastní tíha	0,85*	1,15	1,15		Boční rázy	0,8	1,45	1,16
	Ostatní stálé zatížení	0,85*	1,15	1,15		Vlak UIC 71 - min. N	0,8	1,45	1,16
CO5	Vlastní tíha	1,00	1,35	1,35		Vlak UIC 71 - min. Vz	0,8	1,45	1,16
	Ostatní stálé zatížení	1,00	1,35	1,35		Vlak UIC 71 - min. My	0,8	1,45	1,16
	Zatížení větrem	1,00	1,50	1,50		Vlak UIC 71 - max. N	0,8	1,45	1,16
	Rozjezdové síly	0,8	1,45	1,16		Vlak UIC 71 - max. Vz	0,8	1,45	1,16
	Boční rázy	0,8	1,45	1,16		Vlak UIC 71 - max. My	0,8	1,45	1,16
	Vlak UIC 71 - min. N	0,8	1,45	1,16	CO10	Vlastní tíha	0,85*	1,35	1,15
	Vlak UIC 71 - min. Vz	0,8	1,45	1,16		Ostatní stálé zatížení	0,85*	1,35	1,15
	Vlak UIC 71 - min. My	0,8	1,45	1,16		Zatížení větrem	1,00	1,50	1,50
	Vlak UIC 71 - max. N	0,8	1,45	1,16		Rozjezdové síly	1,00	1,45	1,45
	Vlak UIC 71 - max. Vz	0,8	1,45	1,16		Boční rázy	1,00	1,45	1,45
Vlak UIC 71 - max. My	0,8	1,45	1,16	Vlak UIC 71 - min. N		1,00	1,45	1,45	
CO6	Vlastní tíha	1,00	1,00	1,00		Vlak UIC 71 - min. Vz	1,00	1,45	1,45
	Ostatní stálé zatížení	1,00	1,00	1,00		Vlak UIC 71 - min. My	1,00	1,45	1,45
	Zatížení větrem	1,00	1,50	1,50		Vlak UIC 71 - max. N	1,00	1,45	1,45
	Rozjezdové síly	0,8	1,45	1,16		Vlak UIC 71 - max. Vz	1,00	1,45	1,45
	Boční rázy	0,8	1,45	1,16	Vlak UIC 71 - max. My	1,00	1,45	1,45	
	Vlak UIC 71 - min. N	0,8	1,45	1,16	Vlak UIC 71 - max. My	1,00	1,45	1,45	
	Vlak UIC 71 - min. Vz	0,8	1,45	1,16	CO11	Vlastní tíha	1,00	1,00	1,00
	Vlak UIC 71 - min. My	0,8	1,45	1,16		Zatížení větrem	1,00	1,50	1,50
	Vlak UIC 71 - max. N	0,8	1,45	1,16		Boční rázy	1,00	1,45	1,45
	Vlak UIC 71 - max. Vz	0,8	1,45	1,16		Rozjezdové síly	1,00	1,45	1,45
Vlak UIC 71 - max. My	0,8	1,45	1,16	Ostatní stálé zatížení		1,00	1,00	1,00	
CO7	Vlastní tíha	0,85*	1,35	1,15		Vlak UIC 71 - min. N	1,00	1,45	1,45
	Ostatní stálé zatížení	0,85*	1,35	1,15		Vlak UIC 71 - min. Vz	1,00	1,45	1,45
	Zatížení větrem	1,00	1,50	1,50		Vlak UIC 71 - min. My	1,00	1,45	1,45
	Rozjezdové síly	0,8	1,45	1,16		Vlak UIC 71 - max. N	1,00	1,45	1,45
	Boční rázy	0,8	1,45	1,16		Vlak UIC 71 - max. Vz	1,00	1,45	1,45
	Vlak UIC 71 - min. N	0,8	1,45	1,16	Vlak UIC 71 - max. Vz	1,00	1,45	1,45	
	Vlak UIC 71 - min. Vz	0,8	1,45	1,16	Vlak UIC 71 - max. My	1,00	1,45	1,45	
	Vlak UIC 71 - min. My	0,8	1,45	1,16					
	Vlak UIC 71 - max. N	0,8	1,45	1,16					
	Vlak UIC 71 - max. Vz	0,8	1,45	1,16					
Vlak UIC 71 - max. My	0,8	1,45	1,16						

* nebrán součinitel kombinace ψ_0 ale redukční součinitel $\xi = 0,85$ čili $\xi\gamma_{G,sup} = 0,85 \times 1,35 \equiv 1,15$
(viz ČSN EN 1990)

4. Posouzení hlavních nosníků

Z důvodů vrstvení pásnic je každý nosník tvořený pěti prvky (viz schéma označení jednotlivých částí hlavních nosníků). Protěží nosníky mají vždy stejný průřez.



Obrázek 9 - Schéma hlavních nosníků

4.1 Main beam No. 1

Material: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$\epsilon = 1,011$$

$$\gamma_{m0} = 1,0$$

$$\gamma_{m1} = 1,0$$

Dimensions of beams

$$\text{Height } H = 671 \text{ mm}$$

$$\text{Flange thickness } t_{f,h} = 9 \text{ mm}$$

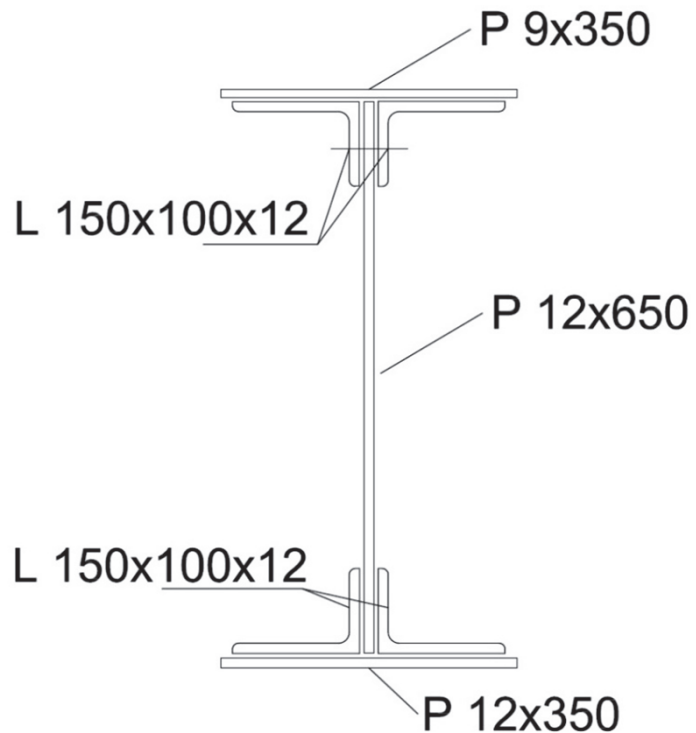
$$\text{Flange thickness } t_{f,d} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Flange width} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Web height } h_w = 626 \text{ mm}$$

$$\text{Web thickness} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Flange spacing} = 1\,660 \text{ mm}$$



Section characteristics *

$$A = 0,02664800 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,00212200 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,00013570 \text{ m}^4$$

$$i_y = 282 \text{ mm}$$

$$i_z = 71 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,00611114 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0007754 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0071315 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0012972 \text{ m}^3$$

Values of maximum internal forces **

$$N = 223,1 \text{ kN}$$

$$V_y = 54,50 \text{ kN}$$

$$V_z = 862,70 \text{ kN}$$

$$M_y = 111,6 \text{ kNm}$$

* Section characteristics calculated by program Scia Engineer

** Values of maximum internal forces calculated by program Scia Engineer

Posouzení účinků boulení

Stanovení součinitele boulení ρ dle ČSN EN 1993-1-5

$$\rho = \frac{\lambda_p - 0,055(3 + \psi)}{\lambda_p^2} \quad \text{kde } \lambda_p = \frac{\bar{b}_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

Podmínka $\rho = 1,00$ pokud $\lambda_p \leq 0,673$

\bar{b}_c - příslušná šířka dle EN 1993-1-1

k_σ - součinitel kritického napětí

ψ - poměr napětí σ_2/σ_1

$$W_{\sigma 1} = I_y/z_1$$

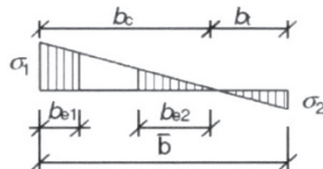
$$z_1 = b_c = 342,57 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 1} = 0,0061944 \text{ m}^3$$

$$z_2 = b_t = -307,43 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 2} = I_y/z_2$$

$$W_{\sigma 2} = -0,0069024 \text{ m}^3$$



$\psi < 0$:

$$b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$$

$$b_{e1} = 0,4 b_{\text{eff}}$$

$$b_{e2} = 0,6 b_{\text{eff}}$$

$$\sigma_1 = M_{\text{ed}}/W_{\sigma 1}$$

$$\sigma_2 = M_{\text{ed}}/W_{\sigma 2}$$

$$\sigma_1 = 18,02 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -16,17 \text{ MPa}$$

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$$

$$\psi = -0,897$$

$$k_\sigma = 21,321$$

$$\lambda_p = \frac{b_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{342,57/12}{28,4 * 1,011 * \sqrt{21,321}}$$

$$\lambda_p = 0,215$$

Jelikož je $\lambda_p \leq 0,673$ bude součinitel boulení $\rho = 1$

Prvek není náchylný k boulení

Posouzení únosnosti příčného řezu (dle ČSN EN 1993-1-5)

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y * A_{\text{eff}}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} * e_n}{f_y * W_{\text{eff}}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \frac{223100}{230 * 10^6 * 0,02665} + \frac{111600 + 223100 * 0}{230 * 10^6 * 0,006111} \leq 1$$

$$\eta_1 = 0,116 < 1$$

Prvek vyhovuje podmínce

Unosnost hlavního nosníku ve smyku (dle ČSN 1993-1-5)

$$\alpha = a/h_w$$

a - vzdálenost příčníků = 1 660 mm

$$\alpha = 2,65$$

h_w - výška stojiny = 626 mm

Návrhová únosnost

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Příspěvek stojiny

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Součinitel příspěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku (ČSN EN 1993-1-5 tab.5.1)

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$	η	η
$0,83 / \eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37 / (0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$

Upravená štíhlost λ_w se určí podle vztahu (5.6) ČSN EN 1993-1-5

$$\lambda_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \epsilon * \sqrt{k_\tau}} \quad k_\tau = 5,34 + 4,00 * (h_w/a)^2 + k_{\tau sl}$$

$$\lambda_w = \frac{626}{37,4 * 12 * 1,011 * \sqrt{5,909}} \quad k_\tau = 5,909$$

$$\lambda_w = \underline{\underline{0,568}} \quad \lambda_w < 0,83/\eta$$

Dle tabulky 5.1 v ČSN EN 1993-1-5 $\chi_w = 1$ $\chi = 1$
 $\eta = 1,2$

Příspěvek stojiny tedy bude

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

$$V_{bw,rd} = \frac{1 * 230 * 626 * 12}{\sqrt{3} * 1,0}$$

$$V_{bw,rd} = 997\,522,70 \text{ N}$$

$$V_{bw,rd} = \underline{\underline{997,52 \text{ kN}}}$$

Největší dovolená únosnost

$$\frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} = 1197,02$$

Příspěvek pásnice

$$V_{bf,rd} = \frac{b_f t^2 f_{yt}}{c \gamma_{m1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right)$$

$$V_{bf,rd} = \frac{0,182 * 0,009^2 * (230 * 10^6)}{0,423 * 1,0} * \left(1 - \left(\frac{111,6}{617,6} \right)^2 \right)$$

$$V_{bf,rd} = \underline{\underline{7,753 \text{ kN}}}$$

$$b_f \leq 15\epsilon t_f$$

$$350 \text{ mm} \geq 181,98 \text{ mm}$$

$$c = a \left(0,25 + \frac{1,6 b_f t^2 f_{yt}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right)$$

$$c = 0,4230 \text{ m}$$

Celková návrhová únosnost $V_{b,rd}$

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

$$V_{b,rd} = 997,523 + 7,753$$

$$V_{b,rd} = \underline{\underline{1005,276}} < \underline{\underline{1197,02 \text{ kN}}}$$

Posouzení hlavního nosníku na smyk (podmínka $\eta_3 \leq 1$)

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{862,7}{1005,28}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,858}} < 1$$

Prvek vyhovuje podmínce

Interakce mezi osovou smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{111,6}{1640,2} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,rd}} = \frac{862,7}{997,5}$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{\underline{0,07}} \quad \bar{\eta}_3 = \underline{\underline{0,865}} > 0,5$$

Jelikož je $\bar{\eta}_3 > 0,5$, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojně splňovat podmínku:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,rd} = W_{fy} * f_{yd}$$

$$W_{fy} = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{617,6 \text{ kNm}}}$$

$$W_{fy} = \underline{\underline{0,0026854 \text{ m}^3}}$$

$$A_{f1} = 0,0042 \text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3190 \text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průřezu

$$A_{f2} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$M_{pl,rd} = W_{pl} * f_{yd}$$

$$W_{pl} = 0,0071315 \text{ m}^3$$

$$z_2 = 0,3175 \text{ m}$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1 640,2 \text{ kNm}}}$$

$$f_{yd} = 230,0 \text{ MPa}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0038 \text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$$

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008 \text{ m}$$

$$0,07 + \left(1 - \frac{617,6}{1640,2}\right) * (2 * 0,865 - 1)^2 \leq 1$$

$$\underline{\underline{0,402}} < 1,0$$

Prvek vyhovuje podmínce

Pozouzení na klopení dle ČSN EN 1993-1-1

Pruty s jednotlivými příčnými podporami tlačené pásnice nejsou citlivé na klopení jestliže vzdálenost L_c mezi příčnými podporymi nebo výsledná štíhlost $\bar{\lambda}_1$ ekvivalentní tlačené pásnice vyhovuje podmínce:

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \quad \lambda_1 = 93,9^* \epsilon$$

$$\lambda_1 = 94,93$$

$$M_{c,rd} = W_{el,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$W_{el,y}$ - příslušný modul průřezu, vztažený k tlačené pásnici

k_c - opravný součinitel štíhlosti dle ČSN EN 1993-1-1

L_c - vzdálenost příč. ztužení (vzdál. mostnic) = 0,58 m

$i_{f,z}$ - poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice, složené z pásnice a 1/3 tlačené části plochy stojiny k ose nejmenší tuhosti průřezu

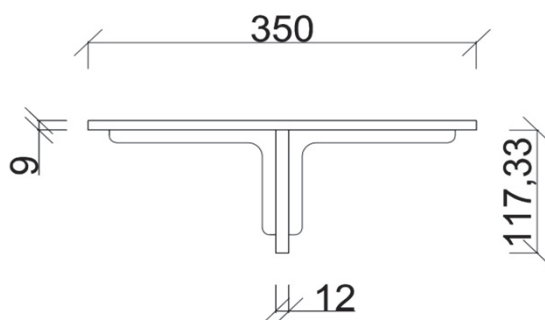
$$I_z = 0,00006239 \text{ m}^4$$

$$A = 0,01030100 \text{ m}^2$$

$$W_{el,y} = 0,00611114 \text{ m}^3$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{eff,f}}{A_{eff,f} + \frac{1}{3} A_{eff,w,c}}} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

$$i_{f,z} = 77,8 \text{ mm}$$



$$\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,4 + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,5$$

$$M_{c,rd} = W_{el,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$$M_{c,rd} = 1\,405,6 \text{ kNm}$$

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$$

$$k_c = 0,615$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{0,615 * 580}{77,8 * 94,93} \leq 0,5 \frac{1405,6}{111,6}$$

$$\bar{\lambda}_1 = 0,048 < \underline{\underline{6,298}}$$

Prvek vyhovuje podmínce

4.2 Main beam No. 2

Material: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$\epsilon = 1,011 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{m0} = 1,0$$

$$\gamma_{m1} = 1,0$$

Dimensions of beams

$$\text{Height } H = 668 \text{ mm}$$

$$\text{Flange thickness } t_{f,h} = 9 \text{ mm}$$

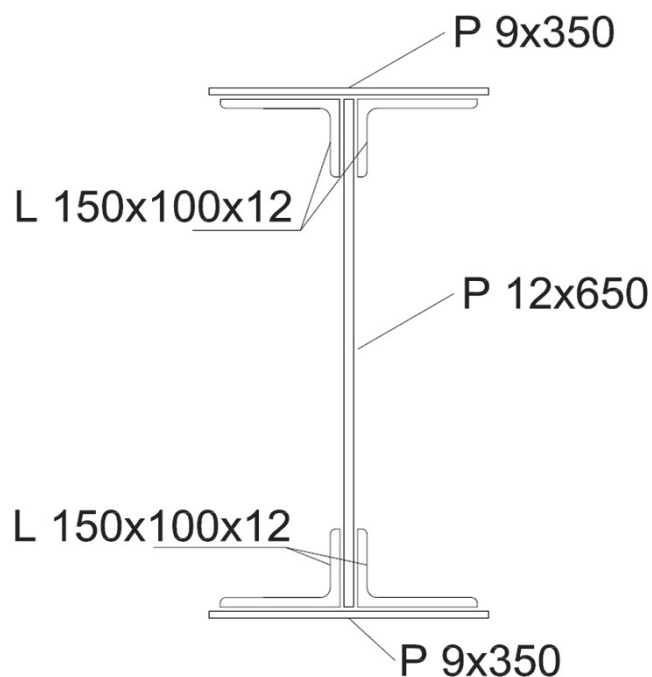
$$\text{Flange thickness } t_{f,d} = 9 \text{ mm}$$

$$\text{Flange width} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Web height } h_w = 626 \text{ mm}$$

$$\text{Web thickness} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Distance of stiffeners} = 1\,660 \text{ mm}$$



Section characteristics *

$$A = 0,02559800 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,00200850 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,00012498 \text{ m}^4$$

$$i_y = 280 \text{ mm}$$

$$i_z = 70 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0060134 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0007142 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0068022 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0012053 \text{ m}^3$$

Values of maximum internal forces **

$$N = 461,4 \text{ kN}$$

$$V_y = 59,00 \text{ kN}$$

$$V_z = 604,40 \text{ kN}$$

$$M_y = 399,7 \text{ kNm}$$

* Section characteristics calculated by the program Scia Engineer

** Values of maximum internal forces calculated by the program Scia Engineer

Posouzení účinků boulení

Stanovení součinitele boulení ρ dle ČSN EN 1993-1-5

$$\rho = \frac{\lambda_p - 0,055(3 + \psi)}{\lambda_p^2} \quad \text{kde } \lambda_p = \frac{\bar{b}_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

Podmínka $\rho = 1,00$ pokud $\lambda_p \leq 0,673$

\bar{b}_c - příslušná šířka dle EN 1993-1-1

k_σ - součinitel kritického napětí

ψ - poměr napětí σ_2/σ_1

$$W_{\sigma 1} = I_y/z_1$$

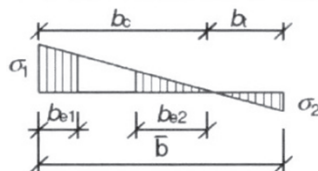
$$z_1 = b_c = 325,00 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 1} = 0,0061800 \text{ m}^3$$

$$z_2 = b_t = -325,00 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 2} = I_y/z_2$$

$$W_{\sigma 2} = -0,0061800 \text{ m}^3$$



$\psi < 0$:

$$b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} (1 - \psi)$$

$$b_{e1} = 0,4 b_{eff}$$

$$b_{e2} = 0,6 b_{eff}$$

$$\sigma_1 = M_{ed}/W_{\sigma 1}$$

$$\sigma_2 = M_{ed}/W_{\sigma 2}$$

$$\sigma_1 = 64,68 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -64,68 \text{ MPa}$$

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$$

$$\psi = -1$$

$$k_\sigma = 23,88$$

$$\lambda_p = \frac{b_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{325,0/12}{28,4 * 1,011 * \sqrt{23,88}}$$

$$\lambda_p = 0,193$$

Jelikož je $\lambda_p \leq 0,673$ bude součinitel boulení $\rho = 1$

Prvek není náchylný k boulení

Posouzení únosnosti příčného řezu (dle ČSN EN 1993-1-5)

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y * A_{eff}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} * e_n}{f_y * W_{eff}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \frac{\frac{461400}{230 * 10^6 * 0,0256}}{1,0} + \frac{399700 + 461400 * 0}{230 * 10^6 * 0,00601} \leq 1$$

$$\eta_1 = 0,367 < 1$$

Prvek vyhovuje podmínce

Unosnost hlavního nosníku ve smyku (dle ČSN 1993-1-5)

$$\alpha = a/h_w$$

a - vzdálenost příčníků = 1 660 mm

$$\alpha = 2,65$$

h_w - výška stojiny = 626 mm

Návrhová únosnost

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Contribution of the web

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Slenderness coefficient of the web χ_w to the load capacity in shear (ČSN EN 1993-1-5 tab.5.1)

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$	η	η
$0,83 / \eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37 / (0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$

Adjusted slenderness λ_w is determined according to the relationship (5.6) ČSN EN 1993-1-5

$$\lambda_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \epsilon * \sqrt{k_\tau}} \quad k_\tau = 5,34 + 4,00 * (h_w/a)^2 + k_{\tau sl}$$

$$\lambda_w = \frac{626}{37,4 * 12 * 1,011 * \sqrt{5,909}} \quad k_\tau = 5,909$$

$$\lambda_w = \underline{\underline{0,568}} \quad \lambda_w < 0,83/\eta$$

From table 5.1 in ČSN EN 1993-1-5 $\chi_w = 1$ $\chi = 1$
 $\eta = 1,2$

Contribution of the web therefore will be

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

$$V_{bw,rd} = \frac{1 * 230 * 626 * 12}{\sqrt{3} * 1,0}$$

$$V_{bw,rd} = 997\,522,70 \text{ N}$$

$$V_{bw,rd} = \underline{\underline{997,52 \text{ kN}}}$$

Maximum allowable load capacity

$$\frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} = 1197,02$$

Contribution of the flange

$$V_{bf,rd} = \frac{b_f t^2 f_{yt}}{c \gamma_{m1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right)$$

$$V_{bf,rd} = \frac{0,1365 * 0,009^2 * (230 * 10^6)}{0,421 * 1} * \left(1 - \left(\frac{399,7}{539,5} \right)^2 \right)$$

$$V_{bf,rd} = \underline{\underline{2,725 \text{ kN}}}$$

$$b_f \leq 15 \epsilon t_f$$

$$350 \text{ mm} \geq 136,49 \text{ mm}$$

$$c = a \left(0,25 + \frac{1,6 b_f t^2 f_{yt}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right)$$

$$c = 0,4210 \text{ m}$$

Celková návrhová únosnost $V_{b,rd}$

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

$$V_{b,rd} = 997,523 + 2,725$$

$$V_{b,rd} = \underline{\underline{1000,25}} < 1\,197,0 \text{ kN}$$

Posouzení hlavního nosníku na smyk (podmínka $\eta_3 \leq 1$)

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{604,0}{1000,25}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,604}} < 1$$

Prvek vyhovuje podmínce

Interakce mezi osovou smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{399,7}{1564,5} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,rd}} = \frac{604,0}{997,5}$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{\underline{0,26}} \quad \bar{\eta}_3 = \underline{\underline{0,61}} > 0,5$$

Jelikož je $\bar{\eta}_3 > 0,5$, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojně splňovat podmínku:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,rd} = W_{fy} * f_{yd}$$

$$W_{fy} = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{539,5 \text{ kNm}}}$$

$$W_{fy} = \underline{\underline{0,0023457 \text{ m}^3}}$$

$$A_{f1} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3175 \text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průřezu

$$A_{f2} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$M_{pl,rd} = W_{pl} * f_{yd}$$

$$W_{pl} = 0,0068022 \text{ m}^3$$

$$z_2 = 0,3175 \text{ m}$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1\,564,5 \text{ kNm}}}$$

$$f_{yd} = 230,0 \text{ MPa}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0038 \text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$$

$$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008 \text{ m}$$

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$$0,26 + \left(1 - \frac{539,5}{1564,5}\right) * (2 * 0,61 - 1)^2 \leq 1$$

$$\underline{\underline{0,292}} < 1,0$$

Prvek vyhovuje podmínce

Pozouzení na klopení dle ČSN EN 1993-1-1

Pruty s jednotlivými příčnými podporami tlačené pásnice nejsou citlivé na klopení jestliže vzdálenost L_c mezi příčnými podporymi nebo výsledná štíhlost $\bar{\lambda}_1$ ekvivalentní tlačené pásnice vyhovuje podmínce:

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

$$\lambda_1 = 93,9^* \epsilon$$

$$\lambda_1 = 94,93$$

$$M_{c,rd} = W_{el,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$W_{el,y}$ - příslušný modul průřezu, vztažený k tlačené pásnici

k_c - opravný součinitel štíhlosti dle ČSN EN 1993-1-1

L_c - vzdálenost příč. ztužení (vzdál. mostnic) = 0,58 m

$i_{f,z}$ - poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice, složené z pásnice a 1/3 tlačené části plochy stojiny k ose nejmenší tuhosti průřezu

$$I_z = 0,00006239 \text{ m}^4$$

$$A = 0,01023300 \text{ m}^2$$

$$W_{el,y} = 0,0060134 \text{ m}^3$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{eff,f}}{A_{eff,f} + \frac{1}{3} A_{eff,w,c}}} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

$$i_{f,z} = 78,1 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,4 + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,5$$

$$M_{c,rd} = W_{el,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$$M_{c,rd} = 1\,383,1 \text{ kNm}$$

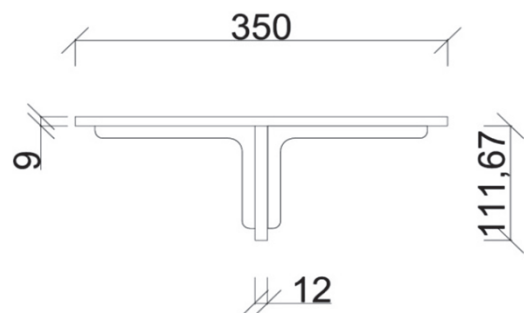
$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$$

$$k_c = 0,602$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{0,602 * 580}{78,1 * 94,93} \leq 0,5 \frac{1383,1}{399,7}$$

$$\bar{\lambda}_1 = 0,047 < 1,73$$



Prvek vyhovuje podmínce

4.3 Main beam No. 3

Material: Plank steel (year of production 1934)

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$\epsilon = 1,011 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{m0} = 1,0$$

$$\gamma_{m1} = 1,0$$

Dimensions of beams

$$\text{Height } H = 686 \text{ mm}$$

$$\text{Flange thickness } t_{f,h} = 18 \text{ mm}$$

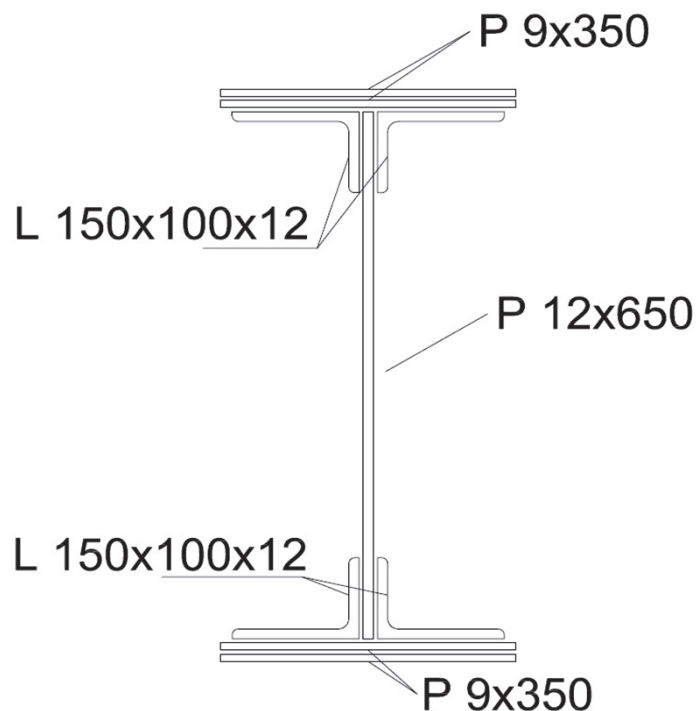
$$\text{Flange thickness } t_{f,d} = 18 \text{ mm}$$

$$\text{Flange width} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Web height } h_w = 626 \text{ mm}$$

$$\text{Web thickness} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Center-to-center distance} = 1\,660 \text{ mm}$$



Section characteristics *

$$A = 0,03189800 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,00273040 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,00018929 \text{ m}^4$$

$$i_y = 293 \text{ mm}$$

$$i_z = 77 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0079603 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0010817 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0089348 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0017566 \text{ m}^3$$

Values of maximum internal forces **

$$N = 1\,108,5 \text{ kN}$$

$$V_y = 59,30 \text{ kN}$$

$$V_z = 520,80 \text{ kN}$$

$$M_y = 861,9 \text{ kNm}$$

* Section characteristics calculated by program Scia Engineer

** Values of maximum internal forces calculated by program Scia Engineer

Posouzení účinků boulení

Stanovení součinitele boulení ρ dle ČSN EN 1993-1-5

$$\rho = \frac{\lambda_p - 0,055(3 + \psi)}{\lambda_p^2} \quad \text{kde } \lambda_p = \frac{\bar{b}_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

Podmínka $\rho = 1,00$ pokud $\lambda_p \leq 0,673$

\bar{b}_c - příslušná šířka dle EN 1993-1-1

k_σ - součinitel kritického napětí

ψ - poměr napětí σ_2/σ_1

$$W_{\sigma 1} = I_y/z_1$$

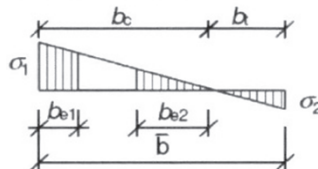
$$z_1 = b_c = 325,00 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 1} = 0,0084012 \text{ m}^3$$

$$z_2 = b_t = -325,00 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 2} = I_y/z_2$$

$$W_{\sigma 2} = -0,0084012 \text{ m}^3$$



$\psi < 0$:

$$b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} (1 - \psi)$$

$$b_{e1} = 0,4 b_{eff}$$

$$b_{e2} = 0,6 b_{eff}$$

$$\sigma_1 = M_{ed}/W_{\sigma 1}$$

$$\sigma_2 = M_{ed}/W_{\sigma 2}$$

$$\sigma_1 = 102,59 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -102,59 \text{ MPa}$$

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$$

$$\psi = -1$$

$$k_\sigma = 23,88$$

$$\lambda_p = \frac{b_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{325,0/12}{28,4 * 1,011 * \sqrt{23,88}}$$

$$\lambda_p = \underline{\underline{0,193}}$$

Jelikož je $\lambda_p \leq 0,673$ bude součinitel boulení $\rho = 1$

Prvek není náchylný k boulení

Posouzení únosnosti příčného řezu (dle ČSN EN 1993-1-5)

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y * A_{eff} \gamma_{m0}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} * e_n}{f_y * W_{eff} \gamma_{m0}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \frac{1108500}{230 * 10^6 * 0,0319 * 1,0} + \frac{861900 + 1108500 * 0}{230 * 10^6 * 0,0079603 * 1,0} \leq 1$$

$$\eta_1 = \underline{\underline{0,622}} < 1$$

Prvek vyhovuje podmínce

Unosnost hlavního nosníku ve smyku (dle ČSN 1993-1-5)

$$\alpha = a/h_w$$

a - vzdálenost příčníků = 1 660 mm

$$\alpha = 2,65$$

h_w - výška stojiny = 626 mm

Návrhová únosnost

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Příspěvek stojiny

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Součinitel příspěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku (ČSN EN 1993-1-5 tab.5.1)

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$	η	η
$0,83 / \eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37 / (0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$

Upravená štíhlost λ_w se určí podle vztahu (5.6) ČSN EN 1993-1-5

$$\lambda_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \epsilon * \sqrt{k_\tau}} \quad k_\tau = 5,34 + 4,00 * (h_w/a)^2 + k_{cs1}$$

$$\lambda_w = \frac{626}{37,4 * 12 * 1,011 * \sqrt{5,909}} \quad k_\tau = 5,909$$

$$\lambda_w = \underline{\underline{0,568}} \quad \lambda_w < 0,83/\eta$$

Dle tabulky 5.1 v ČSN EN 1993-1-5 $\chi_w = 1$ $\chi = 1$
 $\eta = 1,2$

Příspěvek stojiny tedy bude

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Největší dovolená únosnost

$$\frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} = 1197,02$$

$$V_{bw,rd} = \frac{1 * 230 * 626 * 12}{\sqrt{3} * 1,0}$$

$$V_{bw,rd} = 997 522,70 \text{ N}$$

$$V_{bw,rd} = \underline{\underline{997,52 \text{ kN}}}$$

Příspěvek pásnice

$$V_{bf,rd} = \frac{b_f t^2 f_{yt}}{c \gamma_{m1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right)$$

$$b_f \leq 15 \epsilon t_f$$

$$350 \text{ mm} \geq 272,97 \text{ mm}$$

$$V_{bf,rd} = \frac{0,273 * 0,018^2 * (230 * 10^6)}{0,465 * 1} * \left(1 - \left(\frac{861,9}{1012,6} \right)^2 \right)$$

$$c = a \left(0,25 + \frac{1,6 b_f t^2 f_{yt}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right)$$

$$V_{bf,rd} = \underline{\underline{12,053 \text{ kN}}}$$

$$c = 0,4650 \text{ m}$$

Celková návrhová únosnost $V_{b,rd}$

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

$$V_{b,rd} = 997,523 + 12,053 = 1009,58 < 1197,02 \text{ kN}$$

Posouzení hlavního nosníku na smyk (podmínka $\eta_3 \leq 1$)

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{520,8}{1009,58}$$

$$\eta_3 = 0,516 < 1$$

Prvek vyhovuje podmínce

Interakce mezi osovou smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{861,9}{2055,0} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,rd}} = \frac{520,8}{997,5}$$

$$\bar{\eta}_1 = 0,42 \quad \bar{\eta}_3 = 0,522 > 0,5$$

Jelikož je $\bar{\eta}_3 > 0,5$, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojně splňovat podmínku:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,rd} = W_{fy} * f_{yd}$$

$$W_{fy} = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$M_{f,rd} = 1012,6 \text{ kNm}$$

$$W_{fy} = 0,0044027 \text{ m}^3$$

$$A_{f1} = 0,0063 \text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3220 \text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průřezu

$$A_{f2} = 0,0063 \text{ m}^2$$

$$M_{pl,rd} = W_{pl} * f_{yd}$$

$$W_{pl} = 0,0089348 \text{ m}^3$$

$$z_2 = 0,3220 \text{ m}$$

$$M_{pl,rd} = 2055,0 \text{ kNm}$$

$$f_{yd} = 230,0 \text{ MPa}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0075 \text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$$

$$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008 \text{ m}$$

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$$0,42 + \left(1 - \frac{1012,6}{2055,0}\right) * (2 * 0,522 - 1)^2 \leq 1$$

$$0,421 < 1,0$$

Prvek vyhovuje podmínce

Pozouzení na klopení dle ČSN EN 1993-1-1

Pruty s jednotlivými příčnými podporami tlačené pásnice nejsou citlivé na klopení jestliže vzdálenost L_c mezi příčnými podporymi nebo výsledná štíhlost $\bar{\lambda}_1$ ekvivalentní tlačené pásnice vyhovuje podmínce:

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \quad \begin{array}{l} \lambda_1 = 93,9^* \epsilon \\ \lambda_1 = 94,93 \end{array}$$

$$M_{c,rd} = W_{el,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$W_{el,y}$ - příslušný modul průřezu, vztažený k tlačené pásnici

k_c - opravný součinitel štíhlosti dle ČSN EN 1993-1-1

L_c - vzdálenost příč. ztužení (vzdál. mostnic) = 0,58 m

$i_{f,z}$ - poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice, složené z pásnice a 1/3 tlačené části plochy stojiny k ose nejmenší tuhosti průřezu

$$I_z = 0,00009454 \text{ m}^4$$

$$A = 0,01338300 \text{ m}^2$$

$$W_{el,y} = 0,0079603 \text{ m}^3$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{eff,f}}{A_{eff,f} + \frac{1}{3} A_{eff,w,c}}} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

$$i_{f,z} = 84,1 \text{ mm}$$

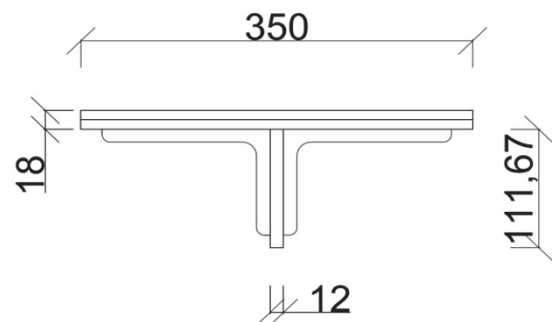
$$\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,4 + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,5$$

$$M_{c,rd} = W_{el,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$$M_{c,rd} = 1 830,9 \text{ kNm}$$



$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$$

$$k_c = 0,602$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{0,602 * 580}{84,1 * 94,93} \leq 0,5 \frac{1830,9}{861,9}$$

$$\bar{\lambda}_1 = 0,044 < 1,062$$

Prvek vyhovuje podmínce

4.4 Hlavní nosník č. 4

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$\epsilon = 1,011 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{m0} = 1,0$$

$$\gamma_{m1} = 1,0$$

Rozměry nosníků

$$\text{Výška } H = 668 \text{ mm}$$

$$\text{tl. pásnice } t_{f,h} = 9 \text{ mm}$$

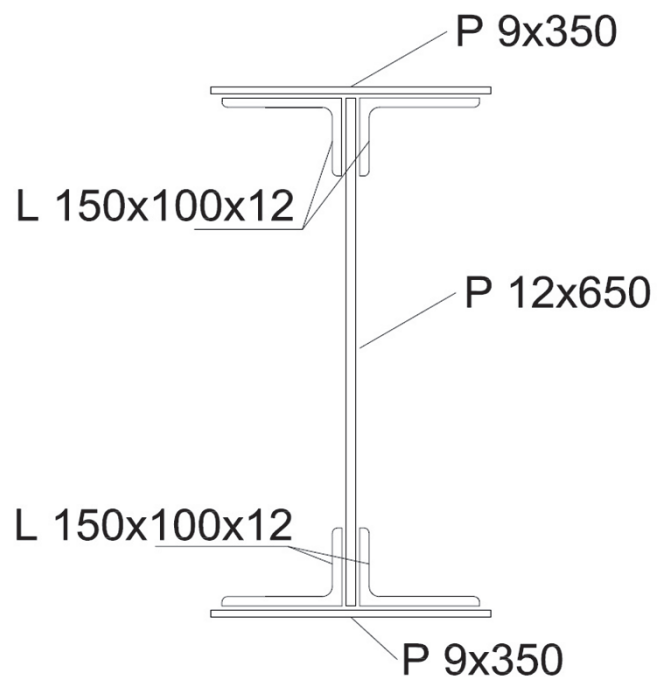
$$\text{tl. pásnice } t_{f,d} = 9 \text{ mm}$$

$$\text{Šířka pásnic} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Výška stojiny } h_w = 626 \text{ mm}$$

$$\text{tl. stojiny} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Vzdál. příčníků} = 1\,660 \text{ mm}$$



Průřezové charakteristiky *

$$A = 0,02559800 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,00200850 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,00012498 \text{ m}^4$$

$$i_y = 280 \text{ mm}$$

$$i_z = 70 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0060134 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0007142 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0068022 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0012053 \text{ m}^3$$

Hodnoty maximálních vnitřních sil **

$$N = 565,0 \text{ kN}$$

$$V_y = 52,70 \text{ kN}$$

$$V_z = 603,90 \text{ kN}$$

$$M_y = 432,8 \text{ kNm}$$

* Průřezové charakteristiky vypočítal program Scia Engineer

** Hodnoty maximálních vnitřních sil vypočítla program Scia Engineer

Posouzení účinků boulení

Stanovení součinitele boulení ρ dle ČSN EN 1993-1-5

$$\rho = \frac{\lambda_p - 0,055(3 + \psi)}{\lambda_p^2} \quad \text{kde } \lambda_p = \frac{\bar{b}_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

Podmínka $\rho = 1,00$ pokud $\lambda_p \leq 0,673$

\bar{b}_c - příslušná šířka dle EN 1993-1-1

k_σ - součinitel kritického napětí

ψ - poměr napětí σ_2/σ_1

$$W_{\sigma 1} = I_y/z_1$$

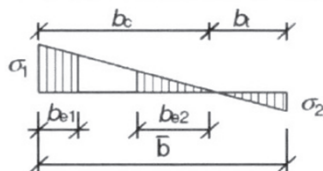
$$z_1 = b_c = 325,00 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 1} = 0,0061800 \text{ m}^3$$

$$z_2 = b_t = -325,00 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 2} = I_y/z_2$$

$$W_{\sigma 2} = -0,0061800 \text{ m}^3$$



$\psi < 0$:

$$b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$$

$$b_{e1} = 0,4 b_{eff}$$

$$b_{e2} = 0,6 b_{eff}$$

$$\sigma_1 = M_{ed}/W_{\sigma 1}$$

$$\sigma_2 = M_{ed}/W_{\sigma 2}$$

$$\sigma_1 = 70,03 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -70,03 \text{ MPa}$$

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$$

$$\psi = -1$$

$$k_\sigma = 23,88$$

$$\lambda_p = \frac{b_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{325,0/12}{28,4 * 1,011 * \sqrt{23,88}}$$

$$\lambda_p = \underline{\underline{0,193}}$$

Jelikož je $\lambda_p \leq 0,673$ bude součinitel boulení $\rho = 1$

Prvek není náchylný k boulení

Posouzení únosnosti příčného řezu (dle ČSN EN 1993-1-5)

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y * A_{eff} \gamma_{m0}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} * e_n}{f_y * W_{eff} \gamma_{m0}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \frac{565000}{230 * 10^6 * 0,0256 * 1,0} + \frac{432800 + 565000 * 0}{230 * 10^6 * 0,006013 * 1,0} \leq 1$$

$$\eta_1 = \underline{\underline{0,409 < 1}}$$

Prvek vyhovuje podmínce

Unosnost hlavního nosníku ve smyku (dle ČSN 1993-1-5)

$$\alpha = a/h_w$$

a - vzdálenost příčníků = 1 660 mm

$$\alpha = 2,65$$

h_w - výška stojiny = 626 mm

Návrhová únosnost

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Příspěvek stojiny

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Součinitel příspěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku (ČSN EN 1993-1-5 tab.5.1)

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$	η	η
$0,83 / \eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37 / (0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$

Upravená štíhlost λ_w se určí podle vztahu (5.6) ČSN EN 1993-1-5

$$\lambda_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \epsilon * \sqrt{k_t}} \quad k_t = 5,34 + 4,00 * (h_w/a)^2 + k_{tsl}$$

$$\lambda_w = \frac{626}{37,4 * 12 * 1,011 * \sqrt{5,909}} \quad k_t = 5,909$$

$$\lambda_w = \underline{\underline{0,568}} \quad \lambda_w < 0,83/\eta$$

Dle tabulky 5.1 v ČSN EN 1993-1-5 $\chi_w = 1$ $\chi = 1$
 $\eta = 1,2$

Příspěvek stojiny tedy bude

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Největší dovolená únosnost

$$\frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} = 1197,02$$

$$V_{bw,rd} = \frac{1 * 230 * 626 * 12}{\sqrt{3} * 1,0}$$

$$V_{bw,rd} = 997 522,70 \text{ N}$$

$$V_{bw,rd} = \underline{\underline{997,52 \text{ kN}}}$$

Příspěvek pásnice

$$V_{bf,rd} = \frac{b_f t^2 f_{yt}}{c \gamma_{m1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right)$$

$$b_f \leq 15 \epsilon t_f$$

$$350 \text{ mm} \geq 136,49 \text{ mm}$$

$$V_{bf,rd} = \frac{0,136 * 0,009^2 * (230 * 10^6)}{0,421 * 1} * \left(1 - \left(\frac{432,8}{595,8} \right)^2 \right)$$

$$c = a \left(0,25 + \frac{1,6 b_f t^2 f_{yt}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right)$$

$$V_{bf,rd} = \underline{\underline{2,853 \text{ kN}}}$$

$$c = 0,4210 \text{ m}$$

Celková návrhová únosnost $V_{b,rd}$

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

$$V_{b,rd} = 997,523 + 2,853$$

$$V_{b,rd} = \underline{\underline{1000,38}} < \underline{\underline{1197,02 \text{ kN}}}$$

Posouzení hlavního nosníku na smyk (podmínka $\eta_3 \leq 1$)

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{603,9}{1000,38}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,604}} < 1$$

Prvek vyhovuje podmínce

Interakce mezi osovou smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{432,8}{1564,5} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,rd}} = \frac{603,9}{997,5}$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{\underline{0,28}} \quad \bar{\eta}_3 = \underline{\underline{0,605}} > 0,5$$

Jelikož je $\bar{\eta}_3 > 0,5$, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojně splňovat podmínku:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,rd} = W_{fy} * f_{yd}$$

$$W_{fy} = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{595,8 \text{ kNm}}}$$

$$W_{fy} = \underline{\underline{0,0025904 \text{ m}^3}}$$

$$A_{f1} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3175 \text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průřezu

$$A_{f2} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$M_{pl,rd} = W_{pl} * f_{yd}$$

$$W_{pl} = 0,0068022 \text{ m}^3$$

$$z_2 = 0,3175 \text{ m}$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1 564,5 \text{ kNm}}}$$

$$f_{yd} = 230,0 \text{ MPa}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0075 \text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$$

$$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008 \text{ m}$$

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$$0,28 + \left(1 - \frac{595,8}{1564,5}\right) * (2 * 0,605 - 1)^2 \leq 1$$

$$\underline{\underline{0,307}} < 1,0$$

Prvek vyhovuje podmínce

Pozouzení na klopení dle ČSN EN 1993-1-1

Pruty s jednotlivými příčnými podporami tlačené pásnice nejsou citlivé na klopení jestliže vzdálenost L_c mezi příčnými podporymi nebo výsledná štíhlost $\bar{\lambda}_1$ ekvivalentní tlačené pásnice vyhovuje podmínce:

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \quad \begin{array}{l} \lambda_1 = 93,9^* \epsilon \\ \lambda_1 = 94,93 \end{array}$$

$$M_{c,rd} = W_{el,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$W_{el,y}$ - příslušný modul průřezu, vztažený k tlačené pásnici

k_c - opravný součinitel štíhlosti dle ČSN EN 1993-1-1

L_c - vzdálenost příč. ztužení (vzdál. mostnic) = 0,58 m

$i_{f,z}$ - poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice, složené z pásnice a 1/3 tlačené části plochy stojiny k ose nejmenší tuhosti průřezu

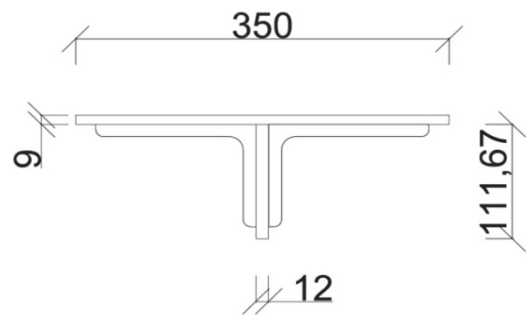
$$I_z = 0,00006239 \text{ m}^4$$

$$A = 0,01023300 \text{ m}^2$$

$$W_{el,y} = 0,0060134 \text{ m}^3$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{eff,f}}{A_{eff,f} + \frac{1}{3} A_{eff,w,c}}} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

$$i_{f,z} = 78,1 \text{ mm}$$



$$\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,4 + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,5$$

$$M_{c,rd} = W_{el,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$$M_{c,rd} = 1\,383,1 \text{ kNm}$$

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$$

$$k_c = 0,602$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{0,602 * 580}{78,1 * 94,93} \leq 0,5 \frac{1383,1}{432,8}$$

$$\bar{\lambda}_1 = 0,047 < \underline{\underline{1,598}}$$

Prvek vyhovuje podmínce

4.5 Main beam No. 5

Material: Plank steel (year of production 1934)

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$\epsilon = 1,011 \text{ MPa}$$

$$Y_{m0} = 1,0$$

$$Y_{m1} = 1,0$$

Dimensions of beams

$$\text{Height } H = 671 \text{ mm}$$

$$\text{Flange thickness } t_{f,h} = 9 \text{ mm}$$

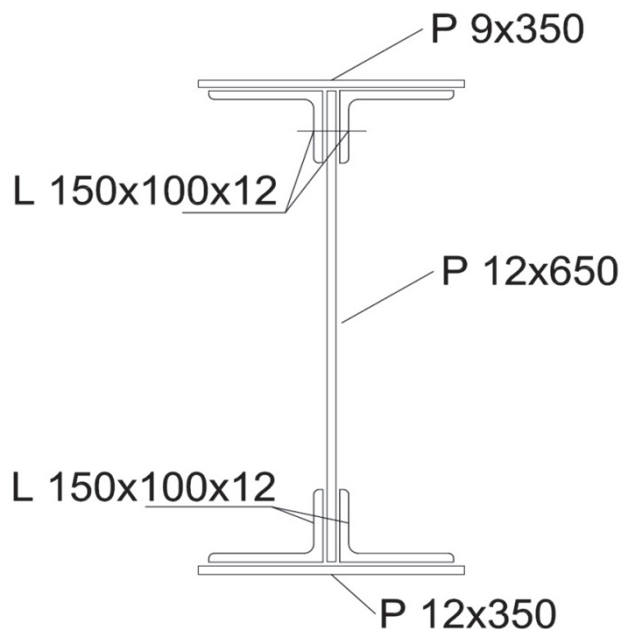
$$\text{Flange thickness } t_{f,d} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Flange width} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Web height } h_w = 626 \text{ mm}$$

$$\text{Web thickness} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Spacing of stiffeners} = 1\,660 \text{ mm}$$



Section characteristics *

$$A = 0,02664800 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,00212200 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,00013570 \text{ m}^4$$

$$i_y = 282 \text{ mm}$$

$$i_z = 71 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,00611114 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0007754 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0071315 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0012972 \text{ m}^3$$

Values of maximum internal forces **

$$N = 467,4 \text{ kN}$$

$$V_y = 51,20 \text{ kN}$$

$$V_z = 884,20 \text{ kN}$$

$$M_y = 184,6 \text{ kNm}$$

* Section characteristics calculated by the program Scia Engineer

** Values of maximum internal forces calculated by the program Scia Engineer

Posouzení účinků boulení

Stanovení součinitele boulení ρ dle ČSN EN 1993-1-5

$$\rho = \frac{\lambda_p - 0,055(3 + \psi)}{\lambda_p^2} \quad \text{kde } \lambda_p = \frac{\bar{b}_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

Podmínka $\rho = 1,00$ pokud $\lambda_p \leq 0,673$

\bar{b}_c - příslušná šířka dle EN 1993-1-1

k_σ - součinitel kritického napětí

ψ - poměr napětí σ_2/σ_1

$$W_{\sigma 1} = I_y/z_1$$

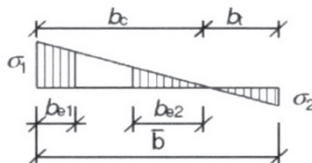
$$z_1 = b_c = 342,57 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 1} = 0,0061944 \text{ m}^3$$

$$z_2 = b_t = -307,43 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 2} = I_y/z_2$$

$$W_{\sigma 2} = -0,0069024 \text{ m}^3$$



$\psi < 0$:

$$b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$$

$$b_{e1} = 0,4 b_{\text{eff}}$$

$$b_{e2} = 0,6 b_{\text{eff}}$$

$$\sigma_1 = M_{\text{ed}}/W_{\sigma 1}$$

$$\sigma_2 = M_{\text{ed}}/W_{\sigma 2}$$

$$\sigma_1 = 29,80 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -26,74 \text{ MPa}$$

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$$

$$\psi = -0,897$$

$$k_\sigma = 21,321$$

$$\lambda_p = \frac{b_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{342,57/12}{28,4 * 1,011 * \sqrt{21,321}}$$

$$\lambda_p = \underline{\underline{0,215}}$$

Jelikož je $\lambda_p \leq 0,673$ bude součinitel boulení $\rho = 1$

Prvek není náchylný k boulení

Posouzení únosnosti příčného řezu (dle ČSN EN 1993-1-5)

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y * A_{\text{eff}}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} * e_n}{f_y * W_{\text{eff}}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \frac{467400}{\frac{230 * 10^6 * 0,02665}{1,0}} + \frac{184600 + 467400 * 0}{\frac{230 * 10^6 * 0,00611}{1,0}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \underline{\underline{0,208 < 1}}$$

Prvek vyhovuje podmínce

Unosnost hlavního nosníku ve smyku (dle ČSN 1993-1-5)

$$\alpha = a/h_w$$

a - vzdálenost příčníků = 1 660 mm

$$\alpha = 2,65$$

h_w - výška stojiny = 626 mm

Návrhová únosnost

$$V_{b,rd} = V_{b_w,rd} + V_{b_f,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Příspěvek stojiny

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Součinitel přísěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku (ČSN EN 1993 - 1 - 5 tab.5.1)

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$	η	η
$0,83 / \eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37 / (0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$

Upravená štíhlost λ_w se určí podle vztahu (5.6) ČSN EN 1993-1-5

$$\lambda_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} \quad k_\tau = 5,34 + 4,00 * (h_w/a)^2 + k_{\tau sl}$$

$$\lambda_w = \frac{626}{37,4 * 12 * 1,011 * \sqrt{5,909}} \quad k_\tau = 5,909$$

$$\lambda_w = \underline{\underline{0,568}} \quad \lambda_w < 0,83/\eta$$

Dle tabulky 5.1 v ČSN EN 1993-1-5 $\chi_w = 1$ $\chi = 1$
 $\eta = 1,2$

Příspěvek stojiny tedy bude

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Největší dovolená únosnost

$$\frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} = 1197,02$$

$$V_{bw,rd} = \frac{1 * 230 * 626 * 12}{\sqrt{3} * 1,0}$$

$$V_{bw,rd} = 997\,522,70 \text{ N}$$

$$V_{bw,rd} = \underline{\underline{997,52 \text{ kN}}}$$

Příspěvek pásnice

$$V_{bf,rd} = \frac{b_f t^2 f_{yt}}{c \gamma_{m1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right)$$

$$b_f \leq 15 \varepsilon t_f$$

$$350 \text{ mm} \geq 181,98 \text{ mm}$$

$$V_{bf,rd} = \frac{0,182 * 0,009^2 * (230 * 10^6)}{0,423 * 1} * \left(1 - \left(\frac{184,6}{617,6} \right)^2 \right)$$

$$c = a \left(0,25 + \frac{1,6 b_f t^2 f_{yt}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right)$$

$$V_{bf,rd} = \underline{\underline{7,299 \text{ kN}}}$$

$$c = 0,423 \text{ m}$$

Celková návrhová únosnost $V_{b,rd}$

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

$$V_{b,rd} = 997,523 + 7,299$$

$$V_{b,rd} = \underline{\underline{1004,82}} < \underline{\underline{1197,02 \text{ kN}}}$$

Posouzení hlavního nosníku na smyk (podmínka $\eta_3 \leq 1$)

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{884,2}{1004,82}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,88}} < 1$$

Prvek vyhovuje podmínce

Interakce mezi osovou smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{184,6}{1640,2} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,rd}} = \frac{884,2}{997,5}$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{\underline{0,11}} \quad \bar{\eta}_3 = \underline{\underline{0,89}} > 0,5$$

Jelikož je $\bar{\eta}_3 > 0,5$, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojně splňovat podmínku:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,rd} = W_{fy} * f_{yd}$$

$$W_{fy} = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{617,6 \text{ kNm}}}$$

$$W_{fy} = \underline{\underline{0,0026854 \text{ m}^3}}$$

$$A_{f1} = 0,0042 \text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3190 \text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průřezu

$$A_{f2} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$M_{pl,rd} = W_{pl} * f_{yd}$$

$$W_{pl} = 0,0071315 \text{ m}^3$$

$$z_2 = 0,3175 \text{ m}$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1 640,2 \text{ kNm}}}$$

$$f_{yd} = 230,0 \text{ MPa}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0038 \text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$$

$$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008 \text{ m}$$

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$$0,11 + \left(1 - \frac{617,6}{1640,2}\right) * (2 * 0,89 - 1)^2 \leq 1$$

$$\underline{\underline{0,489}} < 1$$

Prvek vyhovuje podmínce

Pozouzení na klopení dle ČSN EN 1993-1-1

Pruty s jednotlivými příčnými podporami tlačené pásnice nejsou citlivé na klopení jestliže vzdálenost L_c mezi příčnými podporymi nebo výsledná štíhlost $\bar{\lambda}_1$ ekvivalentní tlačené pásnice vyhovuje podmínce:

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \quad \begin{array}{l} \lambda_1 = 93,9^* \varepsilon \\ \lambda_1 = 94,93 \end{array}$$

$$M_{c,rd} = W_{el,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$W_{el,y}$ - příslušný modul průřezu, vztažený k tlačené pásnici

k_c - opravný součinitel štíhlosti dle ČSN EN 1993-1-1

L_c - vzdálenost příč. ztužení (vzdál. mostnic) = 0,58 m

$i_{f,z}$ - poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice, složené z pásnice a 1/3 tlačené části plochy stojiny k ose nejmenší tuhosti průřezu

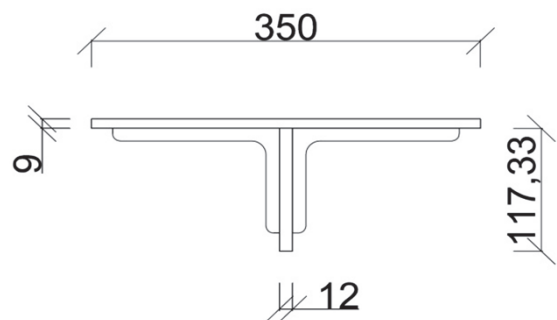
$$I_z = 0,00006239 \text{ m}^4$$

$$A = 0,01030100 \text{ m}^2$$

$$W_{el,y} = 0,0061114 \text{ m}^3$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{eff,f}}{A_{eff,f} + \frac{1}{3} A_{eff,w,c}}} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

$$i_{f,z} = 77,8 \text{ mm}$$



$$\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,4 + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,5$$

$$M_{c,rd} = W_{el,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$$M_{c,rd} = 1\,405,6 \text{ kNm}$$

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$$

$$k_c = 0,615$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{0,615 * 580}{77,8 * 97,09} \leq 0,5 \frac{1405,6}{184,6}$$

$$\bar{\lambda}_1 = 0,048 < \underline{\underline{3,807}}$$

Prvek vyhovuje podmínce

4.6 Hlavní nosník č. 6

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = 1,011 \text{ MPa}$$

$$Y_{m0} = 1,0$$

$$Y_{m1} = 1,0$$

Rozměry nosníků

$$\text{Výška } H = 671 \text{ mm}$$

$$\text{tl. pásnice } t_{f,h} = 9 \text{ mm}$$

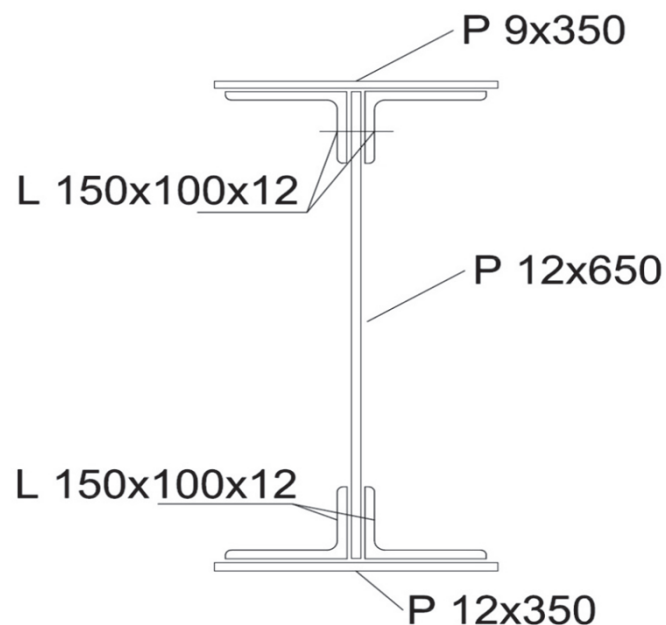
$$\text{tl. pásnice } t_{f,d} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Šířka pásnic} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Výška stojiny } h_w = 626 \text{ mm}$$

$$\text{tl. stojiny} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Vzdál. příčníků} = 1\,660 \text{ mm}$$



Průřezové charakteristiky *

$$A = 0,02664800 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,00212200 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,00013570 \text{ m}^4$$

$$i_y = 282 \text{ mm}$$

$$i_z = 71 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,00611114 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0007754 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0071315 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0012972 \text{ m}^3$$

Hodnoty maximálních vnitřních sil **

$$N = 212,5 \text{ kN}$$

$$V_y = 56,20 \text{ kN}$$

$$V_z = 898,80 \text{ kN}$$

$$M_y = 112,8 \text{ kNm}$$

* Průřezové charakteristiky vypočítal program Scia Engineer

** Hodnoty maximálních vnitřních sil vypočítal program Scia Engineer

Assessment of the effect of buckling

Determination of the buckling coefficient ρ according to ČSN EN 1993-1-5

$$\rho = \frac{\lambda_p - 0,055(3 + \psi)}{\lambda_p^2} \quad \text{kde } \lambda_p = \frac{\bar{b}_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

$$\rho = 1,00 \text{ pokud } \lambda_p \leq 0,673$$

\bar{b}_c - příslušná šířka dle EN 1993-1-1

k_σ - součinitel kritického napětí

ψ - poměr napětí σ_2/σ_1

$$W_{\sigma 1} = I_y/z_1$$

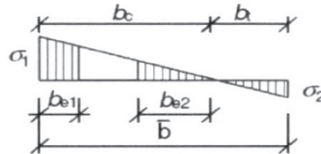
$$z_1 = b_c = 342,57 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 1} = 0,0061944 \text{ m}^3$$

$$z_2 = b_t = -307,43 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 2} = I_y/z_2$$

$$W_{\sigma 2} = -0,0069024 \text{ m}^3$$



$\psi < 0$:

$$b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho \bar{b} (1 - \psi)$$

$$b_{e1} = 0,4 b_{\text{eff}}$$

$$b_{e2} = 0,6 b_{\text{eff}}$$

$$\sigma_1 = \text{Med}/W_{\sigma 1}$$

$$\sigma_2 = \text{Med}/W_{\sigma 2}$$

$$\sigma_1 = 18,21 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -16,34 \text{ MPa}$$

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$$

$$\psi = -0,897$$

$$k_\sigma = 21,321$$

$$\lambda_p = \frac{b_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{342,57/12}{28,4 * 1,011 * \sqrt{21,321}}$$

$$\lambda_p = \underline{\underline{0,215}}$$

Since $\lambda_p \leq 0,673$ the buckling coefficient $\rho = 1$

The element is not susceptible to buckling

Assessment of the strength of the cross-section

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{\frac{f_y * A_{\text{eff}}}{\gamma_{m0}}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} * e_n}{\frac{f_y * W_{\text{eff}}}{\gamma_{m0}}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \frac{212500}{\frac{230 * 10^6 * 0,02665}{1,0}} + \frac{112800 + 212500 * 0}{\frac{230 * 10^6 * 0,00611}{1,0}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \underline{\underline{0,115 < 1}}$$

The element complies with the condition

Strength of the main beam in shear according to ČSN 1993-1-5

$$\alpha = a/h_w$$

a - vzdálenost příčniců = 1 660 mm

$$\alpha = 2,65$$

h_w - výška stojiny = 626 mm

Design shear strength

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Příspěvek stojiny

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Součinitel příspěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku (ČSN EN 1993-1-5 tab.5.1)

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$	η	η
$0,83/\eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83/\bar{\lambda}_w$	$0,83/\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37/(0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83/\bar{\lambda}_w$

Upravená štíhlost λ_w se určí podle vztahu (5.6) ČSN EN 1993 -1 -5

$$\lambda_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} \quad k_\tau = 5,34 + 4,00 * (h_w/a)^2 + k_{tsl}$$

$$k_\tau = 5,909$$

$$\lambda_w = \frac{626}{37,4 * 12 * 1,011 * \sqrt{5,909}}$$

$$\lambda_w = 0,568 \quad \lambda_w < 0,83/\eta$$

Dle tabulky 5.1 v ČSN EN 1993-1-5 $\chi_w = 1$ $\chi = 1$
 $\eta = 1,2$

Příspěvek stojiny tedy bude

Největší dovolená únosnost:

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} \quad \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} = 1197,02 \text{ kN}$$

$$V_{bw,rd} = \frac{1 * 230 * 626 * 12}{\sqrt{3} * 1,0}$$

$$V_{bw,rd} = 997 522,70 \text{ N}$$

$$V_{bw,rd} = 997,52 \text{ kN}$$

Příspěvek pásnice

$$V_{bf,rd} = \frac{b_f t^2 f_{yt}}{c \gamma_{m1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right)$$

$$b_f \leq 15 \varepsilon t_f$$

$$350 \text{ mm} \geq 181,98 \text{ mm}$$

$$V_{bf,rd} = \frac{0,182 * 0,009^2 * (230 * 10^6)}{0,423 * 1} * \left(1 - \left(\frac{112,8}{617,6} \right)^2 \right)$$

$$c = a \left(0,25 + \frac{1,6 b_f t^2 f_{yt}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right)$$

$$V_{bf,rd} = 7,748 \text{ kN}$$

$$c = 0,4230 \text{ m}$$

Celková návrhová únosnost $V_{b,rd}$

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

$$V_{b,rd} = 997,523 + 7,748$$

$$V_{b,rd} = \underline{\underline{1005,27 \text{ kN}}} < \underline{\underline{1197,02 \text{ kN}}}$$

Posouzení hlavního nosníku na smyk (podmínka $\eta_3 \leq 1$)

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{898,8}{1005,27}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,894}} > 1$$

Prvek vyhovuje podmínce

Interakce mezi osovou smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{112,8}{1640,2} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,rd}} = \frac{898,8}{997,52}$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{\underline{0,07}} \quad \bar{\eta}_3 = \underline{\underline{0,9}} > 0,5$$

Jelikož je $\bar{\eta}_3 > 0,5$, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojině splňovat podmínku:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,rd} = W_{fy} * f_{yd} \quad W_{fy} = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{617,6 \text{ kNm}}} \quad W_{fy} = \underline{\underline{0,0026854 \text{ m}^3}} \quad A_{f1} = 0,0042 \text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3190 \text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průřezu

$$M_{pl,rd} = W_{pl} * f_{yd} \quad W_{pl} = 0,0071315 \text{ m}^3 \quad A_{f2} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1 640,2 \text{ kNm}}} \quad f_{yd} = 230,0 \text{ MPa} \quad z_2 = 0,3175 \text{ m}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0038 \text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$$

$$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008 \text{ m}$$

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$$0,07 + \left(1 - \frac{617,6}{1640,2}\right) * (2 * 0,9 - 1)^2 \leq 1$$

$$\underline{\underline{0,469}} < \underline{\underline{1,0}}$$

Prvek vyhovuje podmínce

Pozouzení na klopení dle ČSN EN 1993-1-1

Pruty s jednotlivými příčnými podporami tlačené pásnice nejsou citlivé na klopení jestliže vzdálenost L_c mezi příčnými podporymi nebo výsledná štíhlost $\bar{\lambda}_1$ ekvivalentní tlačené pásnice vyhovuje podmínce:

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \quad \begin{array}{l} \lambda_1 = 93,9^* \varepsilon \\ \lambda_1 = 94,93 \end{array}$$

$$M_{c,Rd} = W_{el,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$W_{el,y}$ - příslušný modul průřezu, vztažený k tlačené pásnici

k_c - opravný součinitel štíhlosti dle ČSN EN 1993-1-1

L_c - vzdálenost příč. ztužení (vzdál. mostnic) = 0,58 m

$i_{f,z}$ - poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice, složené z pásnice a 1/3 tlačené části plochy stojiny k ose nejmenší tuhosti průřezu

$$I_z = 0,00006303 \text{ m}^4$$

$$A = 0,01053600 \text{ m}^2$$

$$W_{el,y} = 0,0061114 \text{ m}^3$$

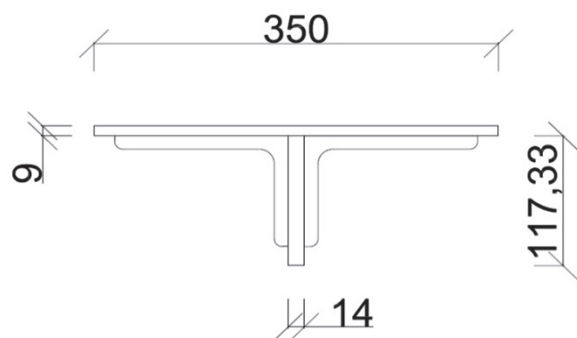
$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{eff,f}}{A_{eff,f} + \frac{1}{3} A_{eff,w,c}}} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

$$i_{f,z} = 77,4 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,4 + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,5$$



$$M_{c,Rd} = W_{el,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$$M_{c,Rd} = 1\,405,6 \text{ kNm}$$

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$$

$$k_c = 0,615$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{0,615 * 580}{77,4 * 94,93} \leq 0,5 \frac{1405,6}{112,8}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \underline{\underline{0,049}} < \underline{\underline{6,231}}$$

Prvek vyhovuje podmínce

4.7 Main beam No. 7

Material: Plávková ocel (year of production 1934)

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$\epsilon = 1,011 \text{ MPa}$$

$$Y_{m0} = 1,0$$

$$Y_{m1} = 1,0$$

Dimensions of beams

$$\text{Height } H = 668 \text{ mm}$$

$$\text{Flange thickness } t_{f,h} = 9 \text{ mm}$$

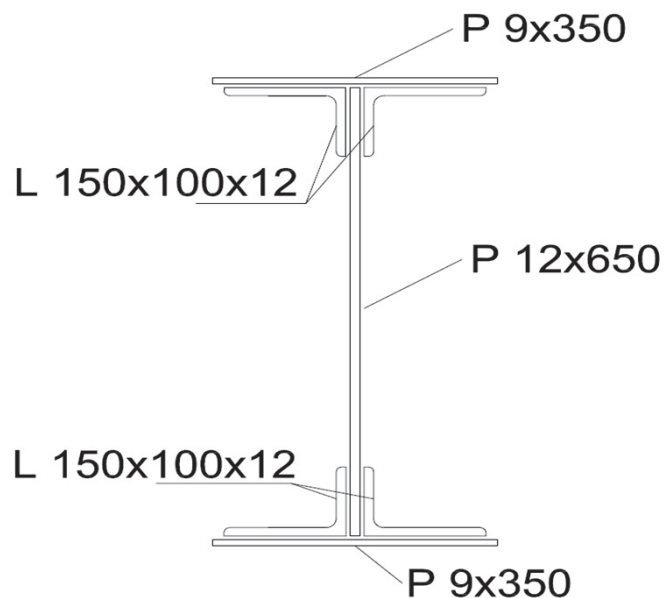
$$\text{Flange thickness } t_{f,d} = 9 \text{ mm}$$

$$\text{Flange width} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Web height } h_w = 626 \text{ mm}$$

$$\text{Web thickness} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Distance of stiffeners} = 1\,660 \text{ mm}$$



Section characteristics *

$$A = 0,02559800 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,00200850 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,00012498 \text{ m}^4$$

$$i_y = 280 \text{ mm}$$

$$i_z = 70 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0060134 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0007142 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0068022 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0012053 \text{ m}^3$$

Values of maximum internal forces **

$$N = 459,2 \text{ kN}$$

$$V_y = 54,60 \text{ kN}$$

$$V_z = 632,20 \text{ kN}$$

$$M_y = 416,5 \text{ kNm}$$

* Section characteristics calculated by the program Scia Engineer

** Values of maximum internal forces calculated by the program Scia Engineer

Assessment of buckling effects

Determination of the buckling coefficient ρ according to ČSN EN 1993-1-5

$$\rho = \frac{\lambda_p - 0,055(3 + \psi)}{\lambda_p^2} \quad \text{kde } \lambda_p = \frac{\bar{b}_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

\bar{b}_c - appropriate width according to EN 1993-1-1

$$\rho = 1,00 \text{ pokud } \lambda_p \leq 0,673$$

k_σ - coefficient of critical stress

ψ - ratio of stresses σ_2/σ_1

$$W_{\sigma_1} = I_y/z_1$$

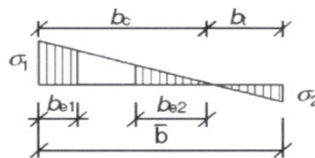
$$z_1 = b_c = 325,00 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma_1} = 0,0061800 \text{ m}^3$$

$$z_2 = b_t = -325,00 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma_2} = I_y/z_2$$

$$W_{\sigma_2} = -0,0061800 \text{ m}^3$$



$\psi < 0$:

$$b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} (1 - \psi)$$

$$b_{e1} = 0,4 b_{eff}$$

$$b_{e2} = 0,6 b_{eff}$$

$$\sigma_1 = M_{Ed}/W_{\sigma_1}$$

$$\sigma_2 = M_{Ed}/W_{\sigma_2}$$

$$\sigma_1 = 67,39 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -67,39 \text{ MPa}$$

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$$

$$\psi = -1$$

$$k_\sigma = 23,88$$

$$\lambda_p = \frac{b_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{325,0/12}{28,4 * 1,011 * \sqrt{23,88}}$$

$$\lambda_p = 0,193$$

Since $\lambda_p \leq 0,673$ the buckling coefficient $\rho = 1$

Element is not susceptible to buckling

Assessment of the strength of the cross-section

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y * A_{eff}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} * e_n}{f_y * W_{eff}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \frac{\gamma_{m0} 459200}{230 * 10^6 * 0,0256} + \frac{\gamma_{m0} 416500 + 459200 * 0}{230 * 10^6 * 0,00601} \leq 1$$

$$\eta_1 = 0,379 < 1$$

Element satisfies the condition

Strength of the main beam in shear according to ČSN 1993-1-5

$$\alpha = a/h_w$$

a - distance between stiffeners = 1 660 mm

$$\alpha = 2,65$$

h_w - height of the web = 626 mm

Design shear strength

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Contribution of the web

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Coefficient of the contribution of the web χ_w to the resistance in shear at failure (ČSN EN 1993-1-5 tab.5.1)

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$	η	η
$0,83/\eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83/\bar{\lambda}_w$	$0,83/\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37/(0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83/\bar{\lambda}_w$

Adjusted slenderness λ_w is determined according to the relationship (5.6) ČSN EN 1993-1-5

$$\lambda_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \epsilon * \sqrt{k_\tau}} \quad k_\tau = 5,34 + 4,00 * (h_w/a)^2 + k_{tsl}$$

$$k_\tau = 5,909$$

$$\lambda_w = \frac{626}{37,4 * 12 * 1,011 * \sqrt{5,909}}$$

$$\lambda_w = 0,568 \quad \lambda_w < 0,83/\eta$$

According to table 5.1 in ČSN EN 1993-1-5 $\chi_w = 1$ $\chi = 1$
 $\eta = 1,2$

Contribution of the web will be

Maximum allowed resistance:

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} \quad \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} = 1197,02 \text{ kN}$$

$$V_{bw,rd} = \frac{1 * 230 * 626 * 12}{\sqrt{3} * 1,0}$$

$$V_{bw,rd} = 997 522,70 \text{ N}$$

$$V_{bw,rd} = 997,52 \text{ kN}$$

Contribution of the flange

$$V_{bf,rd} = \frac{b_f t^2 f_{yt}}{c \gamma_{m1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right)$$

$$b_f \leq 15 \epsilon t_f$$

$$350 \text{ mm} \geq 136,49 \text{ mm}$$

$$V_{bf,rd} = \frac{0,1365 * 0,009^2 * (230 * 10^6)}{0,421 * 1} * \left(1 - \left(\frac{416,5}{539,5} \right)^2 \right)$$

$$c = a \left(0,25 + \frac{1,6 b_f t^2 f_{yt}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right)$$

$$V_{bf,rd} = 2,440 \text{ kN}$$

$$c = 0,4210 \text{ m}$$

Celková návrhová únosnost $V_{b,rd}$

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

$$V_{b,rd} = 997,523 + 2,44$$

$$V_{b,rd} = \underline{\underline{999,96 \text{ kN}}} < \underline{\underline{1197,02 \text{ kN}}}$$

Posouzení hlavního nosníku na smyk (podmínka $\eta_3 \leq 1$)

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{632,2}{999,96}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,632}} < 1$$

Prvek vyhovuje podmínce

Interakce mezi osovou smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{416,5}{1564,5} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,rd}} = \frac{632,2}{997,52}$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{\underline{0,27}} \quad \bar{\eta}_3 = \underline{\underline{0,63}} > 0,5$$

Jelikož je $\bar{\eta}_3 > 0,5$, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojně splňovat podmínku:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,rd} = W_{fy} * f_{yd}$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{539,5 \text{ kNm}}}$$

$$W_{fy} = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$W_{fy} = \underline{\underline{0,0023457 \text{ m}^3}}$$

$$A_{f1} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3175 \text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průřezu

$$M_{pl,rd} = W_{pl} * f_{yd}$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1 564,5 \text{ kNm}}}$$

$$W_{pl} = 0,0068022 \text{ m}^3$$

$$f_{yd} = 230,0 \text{ MPa}$$

$$A_{f2} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$z_2 = 0,3175 \text{ m}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0038 \text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$$

$$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008 \text{ m}$$

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$$0,27 + \left(1 - \frac{539,5}{1564,5}\right) * (2 * 0,63 - 1)^2 \leq 1$$

$$\underline{\underline{0,314}} < 1,0$$

Prvek vyhovuje podmínce

Pozouzení na klopení dle ČSN EN 1993-1-1

Pruty s jednotlivými příčnými podporami tlačené pásnice nejsou citlivé na klopení jestliže vzdálenost L_c mezi příčnými podporymi nebo výsledná štíhlost $\bar{\lambda}_1$ ekvivalentní tlačené pásnice vyhovuje podmínce:

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \quad \begin{array}{l} \lambda_1 = 93,9^* \varepsilon \\ \lambda_1 = 94,93 \end{array}$$

$$M_{c,Rd} = W_{el,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$W_{el,y}$ - příslušný modul průřezu, vztažený k tlačené pásnici

k_c - opravný součinitel štíhlosti dle ČSN EN 1993-1-1

L_c - vzdálenost příč. ztužení (vzdál. mostnic) = 0,58 m

$i_{f,z}$ - poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice, složené z pásnice a 1/3 tlačené části plochy stojiny k ose nejmenší tuhosti průřezu

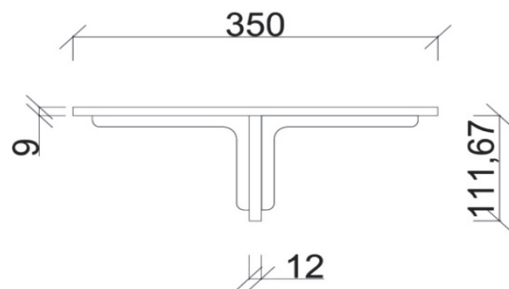
$$I_z = 0,00006239 \text{ m}^4$$

$$A = 0,01023300 \text{ m}^2$$

$$W_{el,y} = 0,0060134 \text{ m}^3$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{eff,f}}{A_{eff,f} + \frac{1}{3} A_{eff,w,c}}} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

$$i_{f,z} = 78,1 \text{ mm}$$



$$\bar{\lambda}_{c0} = \lambda_{LT,0} + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,4 + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,5$$

$$M_{c,Rd} = W_{el,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$$M_{c,Rd} = 1\,383,1 \text{ kNm}$$

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$$

$$k_c = 0,602$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{0,602 * 580}{78,1 * 94,93} \leq 0,5 \frac{1383,1}{416,5}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \underline{\underline{0,047}} < \underline{\underline{1,66}}$$

Prvek vyhovuje podmínce

4.8 Main beam No. 8

Material: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$\epsilon = 1,011 \text{ MPa}$$

$$Y_{m0} = 1,0$$

$$Y_{m1} = 1,0$$

Dimensions of beams

$$\text{Height } H = 686 \text{ mm}$$

$$\text{Flange thickness } t_{f,h} = 18 \text{ mm}$$

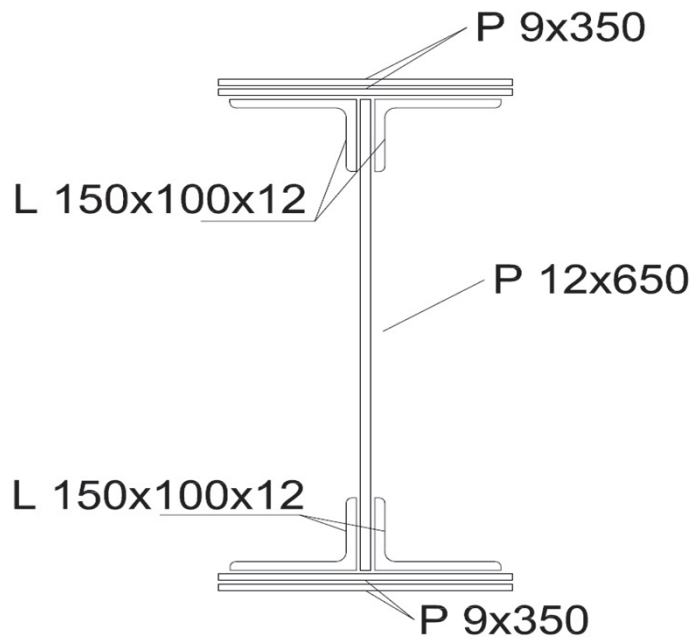
$$\text{Flange thickness } t_{f,d} = 18 \text{ mm}$$

$$\text{Flange width} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Web height } h_w = 626 \text{ mm}$$

$$\text{Web thickness} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Center-to-center distance} = 1\,660 \text{ mm}$$



Section characteristics *

$$A = 0,03189800 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,00273040 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,00018929 \text{ m}^4$$

$$i_y = 293 \text{ mm}$$

$$i_z = 77 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0079603 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0010817 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0089348 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0017566 \text{ m}^3$$

Values of maximum internal forces **

$$N = 1\,053,6 \text{ kN}$$

$$V_y = 64,80 \text{ kN}$$

$$V_z = 550,00 \text{ kN}$$

$$M_y = 877,6 \text{ kNm}$$

* Section characteristics calculated by the program Scia Engineer

** Values of maximum internal forces calculated by the program Scia Engineer

Posouzení účinků boulení

Stanovení součinitele boulení ρ dle ČSN EN 1993-1-5

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \quad \text{kde } \bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

\bar{b}_c - příslušná šířka dle EN 1993-1-1

$$\rho = 1,00 \text{ pokud } \bar{\lambda}_p \leq 0,673$$

k_σ - součinitel kritického napětí

ψ - poměr napětí σ_2/σ_1

$$W_{\sigma 1} = I_y/z_1$$

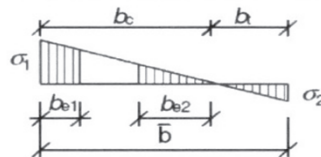
$$z_1 = b_c = 325,00 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 1} = 0,0084012 \text{ m}^3$$

$$z_2 = b_t = -325,00 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 2} = I_y/z_2$$

$$W_{\sigma 2} = -0,0084012 \text{ m}^3$$



$\psi < 0$:

$$b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} (1 - \psi)$$

$$b_{e1} = 0,4 b_{eff}$$

$$b_{e2} = 0,6 b_{eff}$$

$$\sigma_1 = \text{Med}/W_{\sigma 1}$$

$$\sigma_2 = \text{Med}/W_{\sigma 2}$$

$$\sigma_1 = 104,46 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -104,46 \text{ MPa}$$

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$$

$$\psi = -1$$

$$k_\sigma = 23,88$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{325,0/12}{28,4 * 1,011 * \sqrt{23,88}}$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{\underline{0,193}}$$

Jelikož je $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$ bude součinitel boulení $\rho = 1$

Prvek není náchylný k boulení

Posouzení únosnosti příčného řezu

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y * A_{eff}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} * e_n}{f_y * W_{eff}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \frac{\frac{1053600}{\gamma_{m0}}}{\frac{230 * 10^6 * 0,0319}{1,0}} + \frac{\frac{877600 + 1053600 * 0}{\gamma_{m0}}}{\frac{230 * 10^6 * 0,00796}{1,0}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \underline{\underline{0,623 < 1}}$$

Prvek vyhovuje podmínce

Unosnost hlavního nosníku ve smyku dle ČSN 1993-1-5

$$\alpha = a/h_w$$

a - vzdálenost příčníků = 1 660 mm

$$\alpha = 2,65$$

h_w - výška stojiny = 626 mm

Návrhová únosnost

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Příspěvek stojiny

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Součinitel příspěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku (ČSN EN 1993-1-5 tab.5.1)

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$	η	η
$0,83/\eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83/\bar{\lambda}_w$	$0,83/\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37/(0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83/\bar{\lambda}_w$

Upravená štíhlost λ_w se určí podle vztahu (5.6) ČSN EN 1993 -1 -5

$$\lambda_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \epsilon * \sqrt{k_\tau}} \quad k_\tau = 5,34 + 4,00 * (h_w/a)^2 + k_{\tau sl}$$

$$k_\tau = 5,909$$

$$\lambda_w = \frac{626}{37,4 * 12 * 1,011 * \sqrt{5,909}}$$

$$\lambda_w = \underline{\underline{0,568}} \quad \lambda_w < 0,83/\eta$$

Dle tabulky 5.1 v ČSN EN 1993-1-5 $\chi_w = 1$ $\chi = 1$
 $\eta = 1,2$

Příspěvek stojiny tedy bude

Největší dovolená únosnost:

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

$$\frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} = 1197,02 \text{ kN}$$

$$V_{bw,rd} = \frac{1 * 230 * 626 * 12}{\sqrt{3} * 1,0}$$

$$V_{bw,rd} = 997 522,70 \text{ N}$$

$$V_{bw,rd} = \underline{\underline{997,52 \text{ kN}}}$$

Příspěvek pásnice

$$V_{bf,rd} = \frac{b_f t^2 f_{yt}}{c \gamma_{m1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right)$$

$$b_f \leq 15 \epsilon t_f$$

$$350 \text{ mm} \geq 272,97 \text{ mm}$$

$$V_{bf,rd} = \frac{0,273 * 0,018^2 * (230 * 10^6)}{0,465 * 1} * \left(1 - \left(\frac{877,6}{2055,0} \right)^2 \right)$$

$$c = a \left(0,25 + \frac{1,6 b_f t^2 f_{yt}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right)$$

$$V_{bf,rd} = \underline{\underline{10,888 \text{ kN}}}$$

$$c = 0,4650 \text{ m}$$

Celková návrhová únosnost $V_{b,rd}$

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

$$V_{b,rd} = 997,523 + 10,888$$

$$V_{b,rd} = \underline{\underline{1008,41 \text{ kN}}} < \underline{\underline{1197,02 \text{ kN}}}$$

Posouzení hlavního nosníku na smyk (podmínka $\eta_3 \leq 1$)

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{550,0}{1008,41}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,545}} < 1$$

Prvek vyhovuje podmínce

Interakce mezi osovou smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{877,6}{2055,0} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,rd}} = \frac{550,0}{997,52}$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{\underline{0,43}} \quad \bar{\eta}_3 = \underline{\underline{0,551}} > 0,5$$

Jelikož je $\bar{\eta}_3 > 0,5$, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojině splňovat podmínku:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,rd} = W_{fy} * f_{yd} \quad W_{fy} = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{1\,012,6 \text{ kNm}}} \quad W_{fy} = \underline{\underline{0,0044027 \text{ m}^3}} \quad A_{f1} = 0,0063 \text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3220 \text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průřezu

$$M_{pl,rd} = W_{pl} * f_{yd} \quad W_{pl} = 0,0089348 \text{ m}^3 \quad A_{f2} = 0,0063 \text{ m}^2$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{2\,055,0 \text{ kNm}}} \quad f_{yd} = 230,0 \text{ MPa} \quad z_2 = 0,3220 \text{ m}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0075 \text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$$

$$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008 \text{ m}$$

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$$0,43 + \left(1 - \frac{1012,6}{2055,0}\right) * (2 * 0,551 - 1)^2 \leq 1$$

$$\underline{\underline{0,435}} < \underline{\underline{1,0}}$$

Prvek vyhovuje podmínce

Pozouzení na klopení dle ČSN EN 1993-1-1

Pruty s jednotlivými příčnými podporami tlačené pásnice nejsou citlivé na klopení jestliže vzdálenost L_c mezi příčnými podporymi nebo výsledná štíhlost $\bar{\lambda}_1$ ekvivalentní tlačené pásnice vyhovuje podmínce:

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \quad \begin{array}{l} \lambda_1 = 93,9^* \varepsilon \\ \lambda_1 = 94,93 \end{array}$$

$$M_{c,Rd} = W_{el,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$W_{el,y}$ - příslušný modul průřezu, vztažený k tlačené pásnici

k_c - opravný součinitel štíhlosti dle ČSN EN 1993-1-1

L_c - vzdálenost příč. ztužení (vzdál. mostnic) = 0,58 m

$i_{f,z}$ - poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice, složené z pásnice a 1/3 tlačené části plochy stojiny k ose nejmenší tuhosti průřezu

$$I_z = 0,00009454 \text{ m}^4$$

$$A = 0,01338300 \text{ m}^2$$

$$W_{el,y} = 0,0079603 \text{ m}^3$$

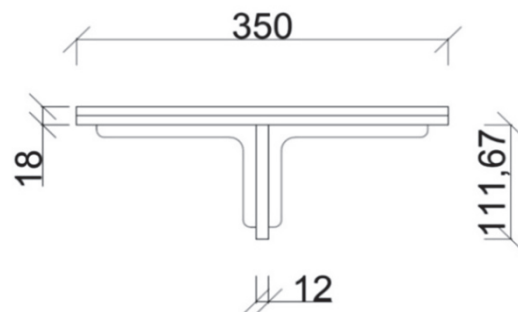
$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{eff,f}}{A_{eff,f} + \frac{1}{3} A_{eff,w,c}}} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

$$i_{f,z} = 84,1 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,4 + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,5$$



$$M_{c,Rd} = W_{yf} * f_y / \gamma_{m1}$$

$$M_{c,Rd} = 1 830,9 \text{ kNm}$$

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$$

$$k_c = 0,602$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{0,602 * 580}{84,1 * 94,93} \leq 0,5 \frac{1830,9}{877,6}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \underline{\underline{0,044}} < \underline{\underline{1,043}}$$

Prvek vyhovuje podmínce

4.9 Hlavní nosník č. 9

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = 1,011 \text{ MPa}$$

$$Y_{m0} = 1,0$$

$$Y_{m1} = 1,0$$

Rozměry nosníků

$$\text{Výška } H = 668 \text{ mm}$$

$$\text{tl. pásnice } t_{f,h} = 9 \text{ mm}$$

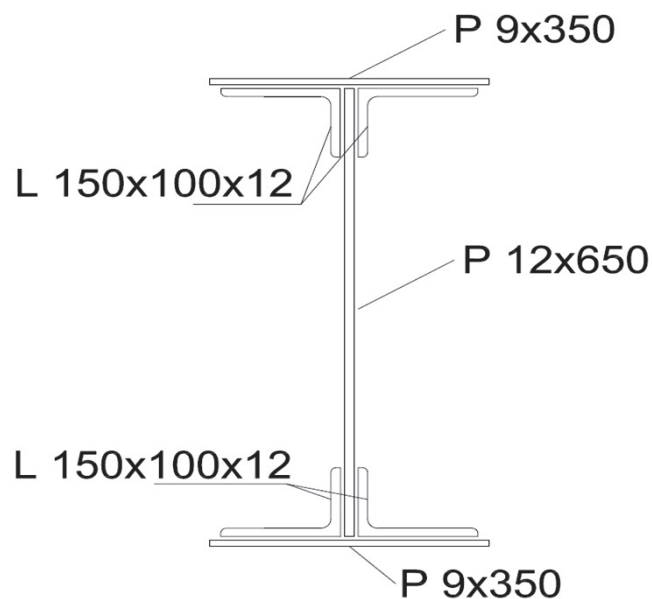
$$\text{tl. pásnice } t_{f,d} = 9 \text{ mm}$$

$$\text{Šířka pásnic} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Výška stojiny } h_w = 626 \text{ mm}$$

$$\text{tl. stojiny} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Vzdál. příčnicků} = 1\,660 \text{ mm}$$



Průřezové charakteristiky *

$$A = 0,02559800 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,00200850 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,00012498 \text{ m}^4$$

$$i_y = 280 \text{ mm}$$

$$i_z = 70 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0060134 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0007142 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0068022 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0012053 \text{ m}^3$$

Hodnoty maximálních vnitřních sil **

$$N = 404,3 \text{ kN}$$

$$V_y = 64,80 \text{ kN}$$

$$V_z = 641,30 \text{ kN}$$

$$M_y = 396,2 \text{ kNm}$$

* Průřezové charakteristiky vypočítal program Scia Engineer

** Hodnoty maximálních vnitřních sil vypočítla program Scia Engineer

Assessment of the effect of buckling

Determination of the buckling coefficient ρ according to ČSN EN 1993-1-5

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \quad \text{kde } \bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

$$\rho = 1,00 \text{ pokud } \bar{\lambda}_p \leq 0,673$$

\bar{b}_c - příslušná šířka dle EN 1993-1-1

k_σ - součinitel kritického napětí

ψ - poměr napětí σ_2/σ_1

$$W_{\sigma 1} = I_y/z_1$$

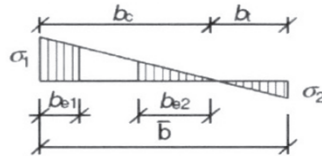
$$z_1 = b_c = 325,00 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 1} = 0,0061800 \text{ m}^3$$

$$z_2 = b_t = -325,00 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 2} = I_y/z_2$$

$$W_{\sigma 2} = -0,0061800 \text{ m}^3$$



$\psi < 0$:

$$b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$$

$$b_{e1} = 0,4 b_{\text{eff}}$$

$$b_{e2} = 0,6 b_{\text{eff}}$$

$$\sigma_1 = \text{Med}/W_{\sigma 1}$$

$$\sigma_2 = \text{Med}/W_{\sigma 2}$$

$$\sigma_1 = 64,11 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -64,11 \text{ MPa}$$

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$$

$$\psi = -1$$

$$k_\sigma = 23,88$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{325,0/12}{28,4 * 1,011\sqrt{23,88}}$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{\underline{0,193}}$$

Since $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$ the buckling coefficient $\rho = 1$

The element is not susceptible to buckling

Assessment of the strength of the cross-section

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y * A_{eff}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} * e_n}{f_y * W_{eff}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \frac{404300}{230 * 10^6 * 0,0256 * 1,0} + \frac{396200 + 404300 * 0}{230 * 10^6 * 0,00601 * 1,0} \leq 1$$

$$\eta_1 = \underline{\underline{0,355}} < 1$$

The element complies with the condition

Strength of the main beam in shear according to ČSN 1993-1-5

$$\alpha = a/h_w$$

a - vzdálenost příčniců = 1 660 mm

$$\alpha = 2,65$$

h_w - výška stojiny = 626 mm

Design shear strength

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Contribution of the web

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Coefficient of the contribution of the web χ_w to the resistance in shear at failure (ČSN EN 1993-1-5 tab.5.1)

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$	η	η
$0,83/\eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83/\bar{\lambda}_w$	$0,83/\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37/(0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83/\bar{\lambda}_w$

Adjusted slenderness λ_w is determined according to the relationship (5.6) ČSN EN 1993-1-5

$$\lambda_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \epsilon * \sqrt{k_\tau}} \quad k_\tau = 5,34 + 4,00 * (h_w/a)^2 + k_{tsl}$$

$$\lambda_w = \frac{626}{37,4 * 12 * 1,011 * \sqrt{5,909}} \quad k_\tau = 5,909$$

$$\lambda_w = 0,568 \quad \lambda_w < 0,83/\eta$$

From table 5.1 in ČSN EN 1993-1-5 $\chi_w = 1$ $\chi = 1$
 $\eta = 1,2$

Contribution of the web will be

Maximum allowed resistance:

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} \quad \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} = 1197,02 \text{ kN}$$

$$V_{bw,rd} = \frac{1 * 230 * 626 * 12}{\sqrt{3} * 1,0}$$

$$V_{bw,rd} = 997 522,70 \text{ N}$$

$$V_{bw,rd} = 997,52 \text{ kN}$$

Contribution of the flange

$$V_{bf,rd} = \frac{b_f t^2 f_{yt}}{c \gamma_{m1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right)$$

$$b_f \leq 15 \epsilon t_f$$

$$350 \text{ mm} \geq 136,49 \text{ mm}$$

$$V_{bf,rd} = \frac{0,1365 * 0,009^2 * (230 * 10^6)}{0,421 * 1} * \left(1 - \left(\frac{396,2}{539,5} \right)^2 \right)$$

$$c = a \left(0,25 + \frac{1,6 b_f t^2 f_{yt}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right)$$

$$V_{bf,rd} = 2,783 \text{ kN}$$

$$c = 0,4210 \text{ m}$$

Celková návrhová únosnost $V_{b,rd}$

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

$$V_{b,rd} = 997,523 + 2,783$$

$$V_{b,rd} = \underline{\underline{1000,31 \text{ kN}}} < \underline{\underline{1197,02 \text{ kN}}}$$

Posouzení hlavního nosníku na smyk (podmínka $\eta_3 \leq 1$)

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{641,3}{1000,31}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,641}} < 1$$

Prvek vyhovuje podmínce

Interakce mezi osovou smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{396,2}{1564,5} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,rd}} = \frac{641,3}{997,52}$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{\underline{0,25}} \quad \bar{\eta}_3 = \underline{\underline{0,643}} > 0,5$$

Jelikož je $\bar{\eta}_3 > 0,5$, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojině splňovat podmínku:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,rd} = W_{fy} * f_{yd}$$

$$W_{fy} = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{539,5 \text{ kNm}}}$$

$$W_{fy} = \underline{\underline{0,0023457 \text{ m}^3}}$$

$$A_{f1} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3175 \text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průřezu

$$A_{f2} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$M_{pl,rd} = W_{pl} * f_{yd}$$

$$W_{pl} = 0,0068022 \text{ m}^3$$

$$z_2 = 0,3175 \text{ m}$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1 564,5 \text{ kNm}}}$$

$$f_{yd} = 230,0 \text{ MPa}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0075 \text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$$

$$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008 \text{ m}$$

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$$0,25 + \left(1 - \frac{539,5}{1564,5}\right) * (2 * 0,643 - 1)^2 \leq 1$$

$$\underline{\underline{0,304}} < 1,0$$

Prvek vyhovuje podmínce

Pozouzení na klopení dle ČSN EN 1993-1-1

Pruty s jednotlivými příčnými podporami tlačené pásnice nejsou citlivé na klopení jestliže vzdálenost L_c mezi příčnými podporymi nebo výsledná štíhlost $\bar{\lambda}_1$ ekvivalentní tlačené pásnice vyhovuje podmínce:

$$\lambda_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \lambda_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \quad \begin{array}{l} \lambda_1 = 93,9^* \epsilon \\ \lambda_1 = 94,93 \end{array}$$

$$M_{c,Rd} = W_{el,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$W_{el,y}$ - příslušný modul průřezu, vztažený k tlačené pásnici

k_c - opravný součinitel štíhlosti dle ČSN EN 1993-1-1

L_c - vzdálenost příč. ztužení (vzdál. mostnic) = 0,58 m

$i_{f,z}$ - poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice, složené z pásnice a 1/3 tlačené části plochy stojiny k ose nejmenší tuhosti průřezu

$$I_z = 0,00006239 \text{ m}^4$$

$$A = 0,01023300 \text{ m}^2$$

$$W_{el,y} = 0,0060134 \text{ m}^3$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{eff,f}}{A_{eff,f} + \frac{1}{3} A_{eff,w,c}}} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

$$i_{f,z} = 78,1 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,4 + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,5$$

$$M_{c,Rd} = W_{el,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$$M_{c,Rd} = 1\,383,1 \text{ kNm}$$

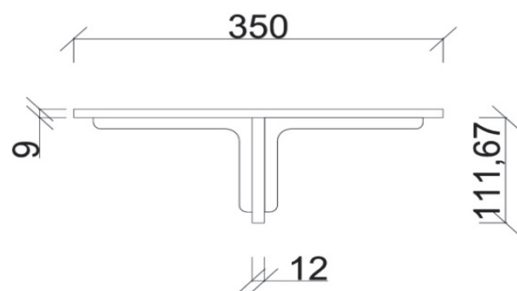
$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$$

$$k_c = 0,602$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{0,602 * 580}{78,1 * 94,93} \leq 0,5 \frac{1383,1}{396,2}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \underline{\underline{0,047}} < \underline{\underline{1,745}}$$



Prvek vyhovuje podmínce

4.10 Main beam No. 10

Material: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$\epsilon = 1,011 \text{ MPa}$$

$$Y_{m0} = 1,0$$

$$Y_{m1} = 1,0$$

Dimensions of beams

$$\text{Height } H = 671 \text{ mm}$$

$$\text{Flange thickness } t_{f,h} = 9 \text{ mm}$$

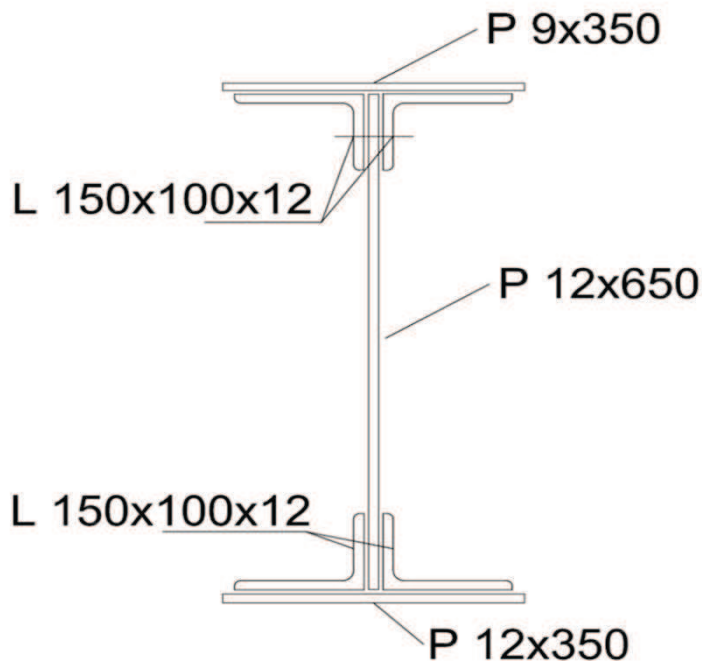
$$\text{Flange thickness } t_{f,d} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Flange width} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Web height } h_w = 626 \text{ mm}$$

$$\text{Web thickness} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Distance of stiffeners} = 1\,660 \text{ mm}$$



Section characteristics *

$$A = 0,02664800 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,00212200 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,00013570 \text{ m}^4$$

$$i_y = 282 \text{ mm}$$

$$i_z = 71 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,00611114 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0007754 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0071315 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0012972 \text{ m}^3$$

Values of maximum internal forces **

$$N = 404,3 \text{ kN}$$

$$V_y = 67,00 \text{ kN}$$

$$V_z = 929,10 \text{ kN}$$

$$M_y = 129,3 \text{ kNm}$$

* Section characteristics calculated by the program Scia Engineer

** Values of maximum internal forces calculated by the program Scia Engineer

Posouzení účinků boulení

Stanovení součinitele boulení ρ dle ČSN EN 1993-1-5

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \quad \text{kde } \bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

\bar{b}_c - příslušná šířka dle EN 1993-1-1

$$\rho = 1,00 \text{ pokud } \bar{\lambda}_p \leq 0,673$$

k_σ - součinitel kritického napětí

ψ - poměr napětí σ_2/σ_1

$$W_{\sigma 1} = I_y/z_1$$

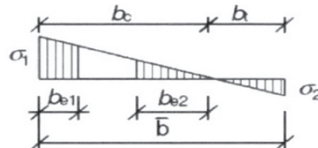
$$z_1 = b_c = 342,57 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 1} = 0,0061944 \text{ m}^3$$

$$z_2 = b_t = -307,43 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 2} = I_y/z_2$$

$$W_{\sigma 2} = -0,0069024 \text{ m}^3$$



$\psi < 0$:

$$b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$$

$$b_{e1} = 0,4 b_{\text{eff}}$$

$$b_{e2} = 0,6 b_{\text{eff}}$$

$$\sigma_1 = \text{Med}/W_{\sigma 1}$$

$$\sigma_2 = \text{Med}/W_{\sigma 2}$$

$$\sigma_1 = 20,87 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -18,73 \text{ MPa}$$

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$$

$$\psi = -0,897$$

$$k_\sigma = 21,321$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{342,57/12}{28,4 * 1,011 * \sqrt{21,321}}$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{\underline{0,215}}$$

Jelikož je $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$ bude součinitel boulení $\rho = 1$

Prvek není náchylný k boulení

Posouzení únosnosti příčného řezu

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y * A_{\text{eff}}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} * e_n}{f_y * W_{\text{eff}}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \frac{404300}{230 * 10^6 * 0,0266} + \frac{129300 + 404300 * 0}{230 * 10^6 * 0,006111} \leq 1$$

$$\eta_1 = \underline{\underline{0,158 < 1}}$$

Prvek vyhovuje podmínce

Unosnost hlavního nosníku ve smyku dle ČSN 1993-1-5

$$\alpha = a/h_w$$

a - vzdálenost příčníků = 1 660 mm

$$\alpha = 2,65$$

h_w - výška stojiny = 626 mm

Návrhová únosnost

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Příspěvek stojiny

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Součinitel příspěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku (ČSN EN 1993-1-5 tab.5.1)

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$	η	η
$0,83/\eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83/\bar{\lambda}_w$	$0,83/\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37/(0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83/\bar{\lambda}_w$

Upravená štíhlost λ_w se určí podle vztahu (5.6) ČSN EN 1993 -1 -5

$$\lambda_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} \quad k_\tau = 5,34 + 4,00 * (h_w/a)^2 + k_{\tau sl}$$

$$k_\tau = 5,909$$

$$\lambda_w = \frac{626}{37,4 * 12 * 1,011 * \sqrt{5,909}}$$

$$\lambda_w = \underline{\underline{0,568}} \quad \lambda_w < 0,83/\eta$$

Dle tabulky 5.1 v ČSN EN 1993-1-5 $\chi_w = 1$ $\chi = 1$
 $\eta = 1,2$

Příspěvek stojiny tedy bude

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Největší dovolená únosnost:

$$\frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} = 1197,02 \text{ kN}$$

$$V_{bw,rd} = \frac{1 * 230 * 626 * 12}{\sqrt{3} * 1,0}$$

$$V_{bw,rd} = 997 522,70 \text{ N}$$

$$V_{bw,rd} = \underline{\underline{997,52 \text{ kN}}}$$

Příspěvek pásnice

$$V_{bf,rd} = \frac{b_f t^2 f_{yt}}{c \gamma_{m1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right)$$

$$b_f \leq 15 \varepsilon t_f$$

$$350 \text{ mm} \geq 181,98 \text{ mm}$$

$$V_{bf,rd} = \frac{0,182 * 0,009^2 * (230 * 10^6)}{0,423 * 1} * \left(1 - \left(\frac{129,3}{617,6} \right)^2 \right)$$

$$c = a \left(0,25 + \frac{1,6 b_f t^2 f_{yt}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right)$$

$$V_{bf,rd} = \underline{\underline{7,664 \text{ kN}}}$$

$$c = 0,4230 \text{ m}$$

Celková návrhová únosnost $V_{b,rd}$

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

$$V_{b,rd} = 997,523 + 7,664$$

$$V_{b,rd} = \underline{\underline{1005,19 \text{ kN}}} < \underline{\underline{1197,02 \text{ kN}}}$$

Posouzení hlavního nosníku na smyk (podmínka $\eta_3 \leq 1$)

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{929,1}{1005,19}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,924}} < 1$$

Prvek vyhovuje podmínce

Interakce mezi osovou smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{129,3}{1640,2} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,rd}} = \frac{929,1}{997,52}$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{\underline{0,08}} \quad \bar{\eta}_3 = \underline{\underline{0,93}}$$

Jelikož je $\bar{\eta}_3 > 0,5$, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojině splňovat podmínku:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,rd} = W_{fy} * f_{yd}$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{617,6 \text{ kNm}}}$$

$$W_y = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$W_y = \underline{\underline{0,0026854 \text{ m}^3}}$$

$$A_{f1} = 0,0042 \text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3190 \text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průřezu

$$A_{f2} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$M_{pl,rd} = W_{pl} * f_{yd}$$

$$W_{pl} = 0,0071315 \text{ m}^3$$

$$z_2 = 0,3175 \text{ m}$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1 640,2 \text{ kNm}}}$$

$$f_{yd} = 230,0 \text{ MPa}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0038 \text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$$

$$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008 \text{ m}$$

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$$0,08 + \left(1 - \frac{617,6}{1640,2}\right) * (2 * 0,93 - 1)^2 \leq 1$$

$$\underline{\underline{0,541}} < 1,0$$

Prvek vyhovuje podmínce

Pozouzení na klopení dle ČSN EN 1993-1-1

Pruty s jednotlivými příčnými podporami tlačené pásnice nejsou citlivé na klopení jestliže vzdálenost L_c mezi příčnými podporymi nebo výsledná štíhlost $\bar{\lambda}_1$ ekvivalentní tlačené pásnice vyhovuje podmínice:

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \quad \lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon$$

$$\lambda_1 = 94,93$$

$$M_{c,Rd} = W_{el,y} \cdot f_y / \gamma_{m1}$$

$W_{el,y}$ - příslušný modul průřezu, vztažený k tlačené pásnici

k_c - opravný součinitel štíhlosti dle ČSN EN 1993-1-1

L_c - vzdálenost příč. ztužení (vzdál. mostnic) = 0,58 m

$i_{f,z}$ - poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní

tlačené pásnice, složené z pásnice a 1/3 tlačené části

plochy stojiny k ose nejmenší tuhosti průřezu

$$I_z = 0,00006303 \text{ m}^4$$

$$A = 0,01053600 \text{ m}^2$$

$$W_{el,y} = 0,00611114 \text{ m}^3$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{eff,f}}{A_{eff,f} + \frac{1}{3} A_{eff,w,c}}} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

$$i_{f,z} = 77,4 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,4 + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,5$$

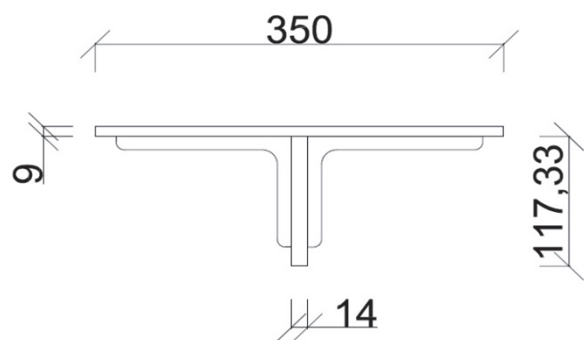
$$M_{c,Rd} = W_{el,y} \cdot f_y / \gamma_{m1}$$

$$M_{c,Rd} = 1\,405,6 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{0,615 \cdot 580}{77,4 \cdot 94,93} \leq 0,5 \frac{1405,6}{129,3}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \underline{\underline{0,049}} < \underline{\underline{5,436}}$$



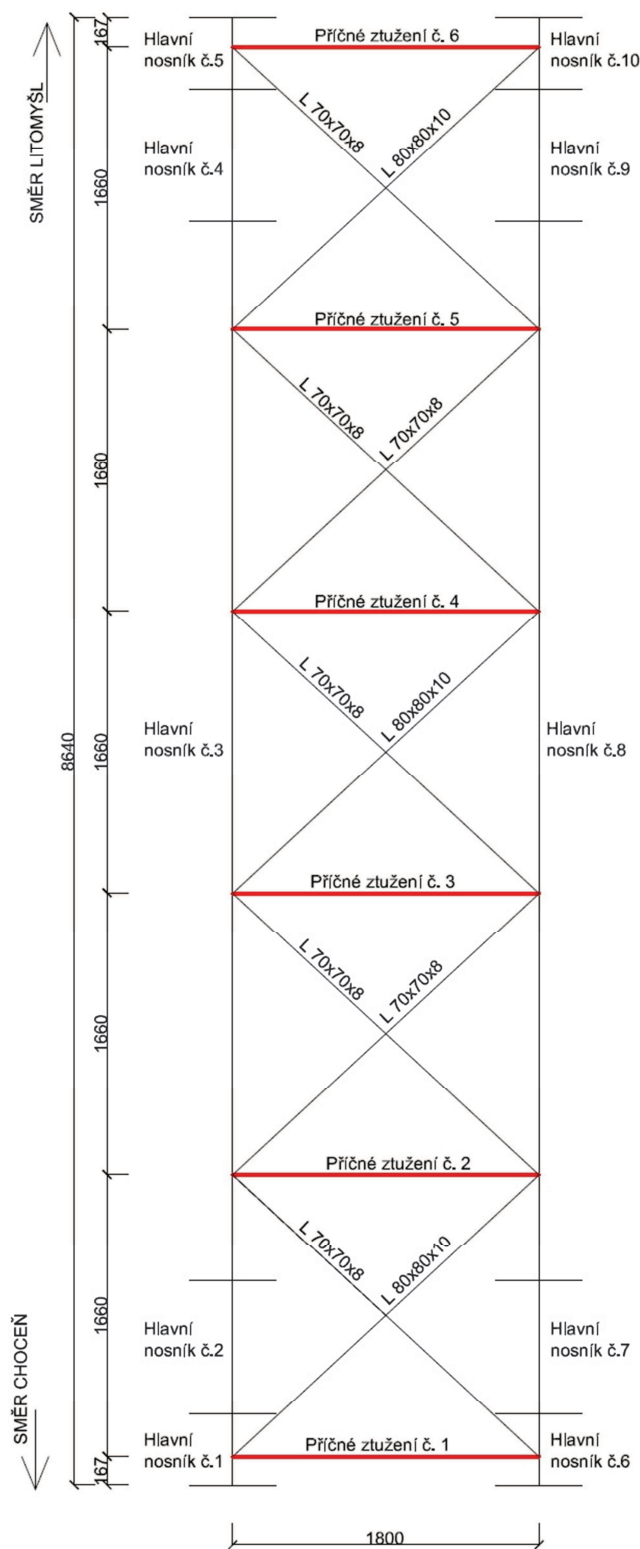
$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$$

$$k_c = 0,615$$

Prvek vyhovuje podmínice

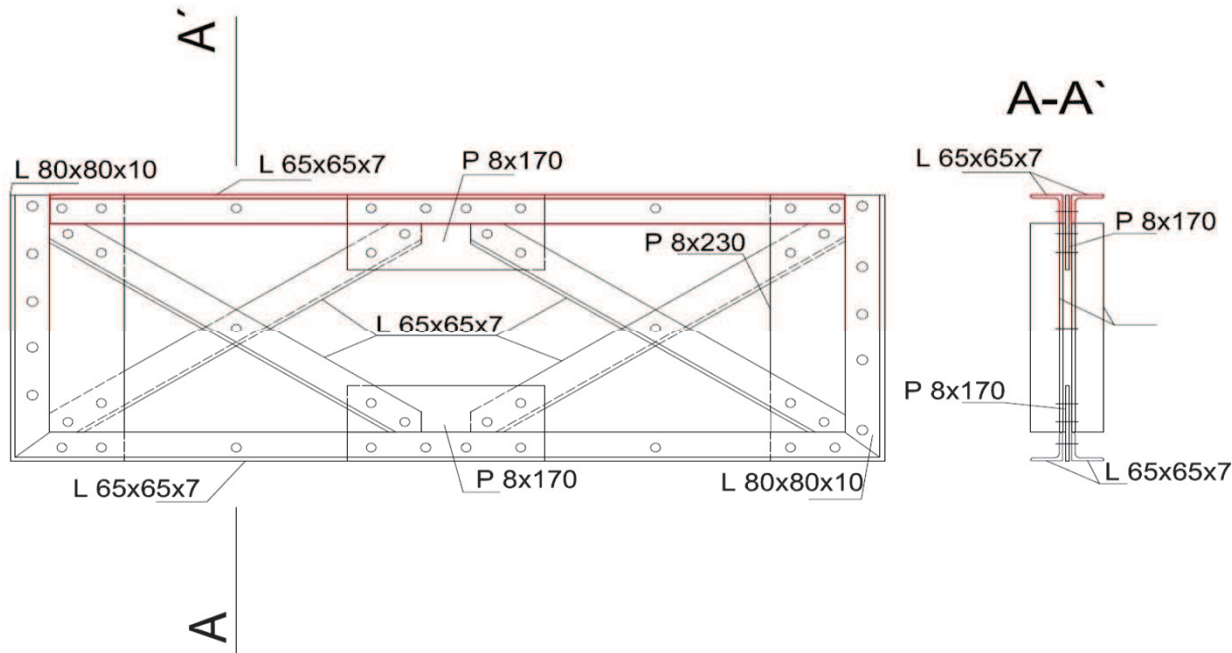
5. Posouzení příčného ztužení

Příčné ztužení je příhradové, tvořené z úhelníku profilu L. Jednotlivé rozmístění příčného ztužení je na schématu níže.



Obrázek 10 - Schéma příčného ztužení

5.1 Příčné ztužení - horní úhelníky



Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

Průřezové charakteristiky

$f_y = 230,0 \text{ MPa}$	$A = 0,00173970 \text{ m}^2$
$f_u = 360,0 \text{ MPa}$	$I_y = 0,00000067 \text{ m}^4$
$\epsilon = 1,011$	$I_z = 0,00000155 \text{ m}^4$
$L = 1\,604,00 \text{ mm}$	$i_y = 20 \text{ mm}$
$\beta = 1$	$i_z = 30 \text{ mm}$
$\gamma_{M0} = 1,0$	$W_{el,y} = 0,0000144 \text{ m}^3$
$\gamma_{M1} = 1,0$	$W_{el,z} = 0,0000224 \text{ m}^3$
$\gamma_{M2} = 1,25$	$W_{pl,y} = 0,0000263 \text{ m}^3$
	$A_{net} = 0,00145970 \text{ m}^2$

Hodnota tahové/tlakové síly

$N_{ed, max} = 46,04 \text{ kN}$ - největší $N_{ed, max}$ je u 5. příčného ztužení

$N_{ed, min} = -27,4 \text{ kN}$ - největší $N_{ed, min}$ je u 2. příčného ztužení

Posouzení na tah/tlak (dle ČSN EN 1993-1-1)

Posouzení na tah oslabeného průřezu dírami

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0,00174 * 230 * 10^3}{1,0}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * 0,00146 * 360 * 10^3}{1,25}$$

$$N_{pl,Rd} = \underline{\underline{400,131 \text{ kN} > 46,04 \text{ kN}}}$$

$$N_{u,Rd} = \underline{\underline{378,354 > 46,04 \text{ kN}}}$$

Prvek vyhovuje podmínce

Prvek vyhovuje podmínce

Posouzení na vzpěr (dle ČSN EN 1993-1-1)

Vzpěrná délka ve směru y

$$L_{cr,y} = L \cdot \beta$$

$$L_{cr,y} = 1\,604,00 \text{ mm}$$

Vzpěrná délka ve směru z

$$L_{cr,z} = 0,5 \cdot L \cdot \beta$$

$$L_{cr,z} = 802,00 \text{ mm}$$

Poměrná štíhlost $\bar{\lambda}_y$ (dle ČSN EN 1993-1-1)

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} \quad \text{kde } \lambda_1 = 93,9 * \varepsilon$$

$$\lambda_1 = 94,93$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{1604,0}{20} * \frac{1}{94,93}$$

$$\bar{\lambda}_y = \underline{\underline{0,845}}$$

Součinitel vzpěrnosti χ

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\chi = 0,696$$

α - součinitel imperfekce pro křivku vzpěrné pevnosti b
(dle ČSN EN 1993-1-1 tab. 6.1)

$$\alpha = 0,34$$

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

$$\phi = 0,967$$

Vzpěrná únosnost (dle ČSN 1993-1-1)

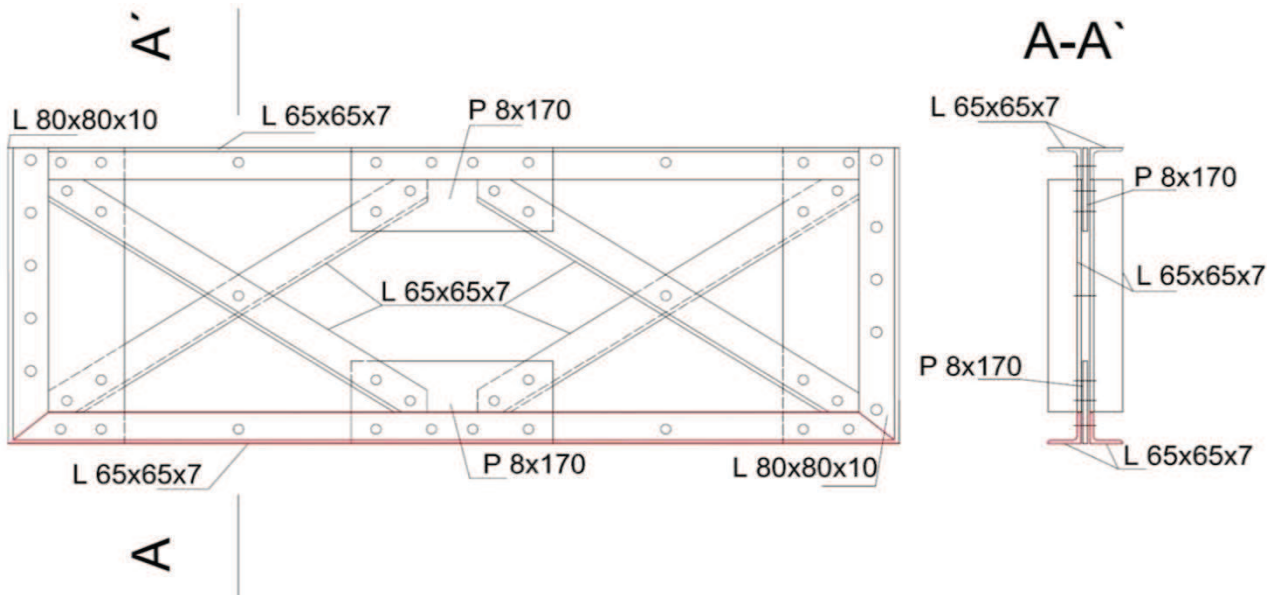
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,696 * 0,00174 * 230 * 10^3}{1,0}$$

$$N_{b,Rd} = \underline{\underline{278,491 \text{ kN} > 27,4 \text{ kN}}}$$

Prvek vyhovuje

5.2 Příčné ztužení - dolní úhelníky



Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

Průřezové charakteristiky

$f_y = 230,0 \text{ MPa}$	$A = 0,00173970 \text{ m}^2$
$f_u = 360,0 \text{ MPa}$	$I_y = 0,00000067 \text{ m}^4$
$\epsilon = 1,011$	$I_z = 0,00000155 \text{ m}^4$
$L = 1\,604,00 \text{ mm}$	$i_y = 20 \text{ mm}$
$\beta = 1$	$i_z = 30 \text{ mm}$
$\gamma_{M0} = 1,0$	$W_{el,y} = 0,0000144 \text{ m}^3$
$\gamma_{M1} = 1,0$	$W_{el,z} = 0,0000224 \text{ m}^3$
$\gamma_{M2} = 1,25$	$W_{pl,y} = 0,0000263 \text{ m}^3$
	$A_{net} = 0,00145970 \text{ m}^2$

Hodnota tahové/tlakové síly

$N_{ed, \max} = 7,3 \text{ kN}$ - největší $N_{ed, \max}$ je u 3. příčného ztužení

$N_{ed, \min} = -44,71 \text{ kN}$ - největší $N_{ed, \min}$ je u 3. příčného ztužení

Posouzení na tah/tlak (dle ČSN EN 1993-1-1)

Posouzení na tah oslabeného průřezu dírami

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0,00174 * 230 * 10^3}{1,0}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * 0,00146 * 360 * 10^3}{1,25}$$

$$N_{pl,Rd} = \underline{\underline{400,131 \text{ kN} > 7,30 \text{ kN}}}$$

$$N_{u,Rd} = \underline{\underline{378,354 \text{ kN} > 7,30 \text{ kN}}}$$

Prvek vyhovuje podmínce

Prvek vyhovuje podmínce

Posouzení na vzpěr (dle ČSN EN 1993-1-1)

Vzpěrná délka ve směru y

$$L_{cr,y} = L \cdot \beta$$

$$L_{cr,y} = 1\,604,00 \text{ mm}$$

Vzpěrná délka ve směru z

$$L_{cr,z} = 0,5 \cdot L \cdot \beta$$

$$L_{cr,z} = 802,00 \text{ mm}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1}$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{1604}{20} * \frac{1}{94,94}$$

$$\bar{\lambda}_y = 0,845$$

kde $\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon$

$$\lambda_1 = 94,93$$

Součinitel vzpěrnosti χ

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}$$
$$\chi = 0,696$$

α - součinitel imperfekce pro křivku vzpěrné pevnosti b
(dle ČSN EN 1993-1-1 tab. 6.1)

$$\alpha = 0,34$$

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

$$\phi = 0,967$$

Vzpěrná únosnost (dle ČSN 1993-1-1)

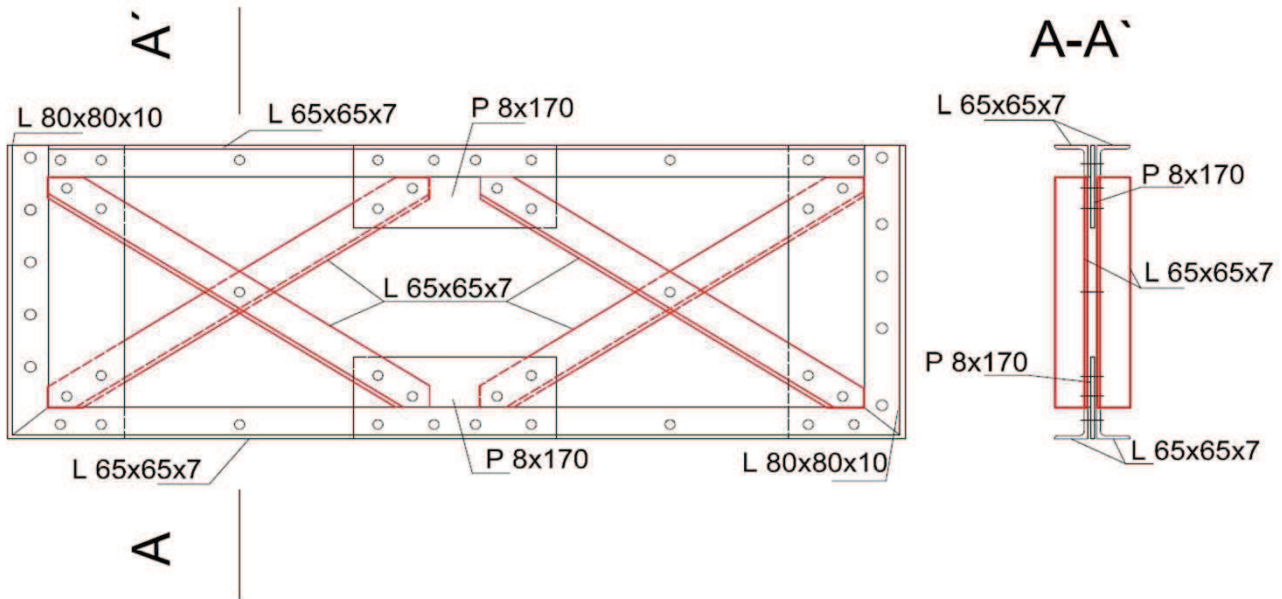
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,696 * 0,00174 * 230 * 10^3}{1,0}$$

$$N_{b,Rd} = \underline{\underline{278,491 \text{ kN}}} > \underline{\underline{44,7 \text{ kN}}}$$

Prvek vyhovuje

5.3 Příčné ztužení - diagonály



Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

Průřezové charakteristiky

$f_y = 230,0 \text{ MPa}$	$A = 0,00087000 \text{ m}^2$
$f_u = 360,0 \text{ MPa}$	$I_y = 0,00000053 \text{ m}^4$
$\epsilon = 1,011$	$I_z = 0,00000014 \text{ m}^4$
$L = 1\,099,00 \text{ mm}$	$i_y = 25 \text{ mm}$
$\beta = 1$	$i_z = 13 \text{ mm}$
$\gamma_{M0} = 1,0$	$W_{el,y} = 0,0000115 \text{ m}^3$
$\gamma_{M1} = 1,0$	$W_{el,z} = 0,0000053 \text{ m}^3$
$\gamma_{M2} = 1,25$	$W_{pl,y} = 0,0000184 \text{ m}^3$
	$A_{net} = 0,00073000 \text{ m}^2$

Hodnota tahové/tlakové síly

$N_{ed, \max} = 9,78 \text{ kN}$ - největší $N_{ed, \max}$ je u 4. příčného ztužení
 $N_{ed, \min} = -9,45 \text{ kN}$ - největší $N_{ed, \min}$ je u 4. příčného ztužení

Posouzení na tah/tlak (dle ČSN EN 1993-1-1)

Posouzení na tah oslabeného průřezu dírami

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0,00087 * 230 * 10^3}{1,0}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * 0,00073 * 360 * 10^3}{1,25}$$

$$N_{pl,Rd} = \underline{\underline{200,1 \text{ kN}}} > 9,78 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = \underline{\underline{189,216}} > 9,78 \text{ kN}$$

Prvek vyhovuje podmínce

Prvek vyhovuje podmínce

Posouzení na vzpěř (dle ČSN EN 1993-1-1)

Vzpěrná délka ve směru y

$$L_{cr,y} = L \cdot \beta$$
$$L_{cr,y} = 1\,099,00 \text{ mm}$$

Vzpěrná délka ve směru z

$$L_{cr,z} = 0,5 \cdot L \cdot \beta$$
$$L_{cr,z} = 549,50 \text{ mm}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$$
$$\bar{\lambda}_y = \frac{1099}{25} \cdot \frac{1}{94,94}$$
$$\bar{\lambda}_y = 0,463$$

kde $\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon$

$$\lambda_1 = 94,93$$

Součinitel vzpěrnosti χ

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}$$
$$\chi = 0,9$$

α - součinitel imperfekce pro křivku vzpěrné pevnosti b
(dle ČSN EN 1993-1-1 tab. 6.1)

$$\alpha = 0,34$$

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

$$\phi = 0,652$$

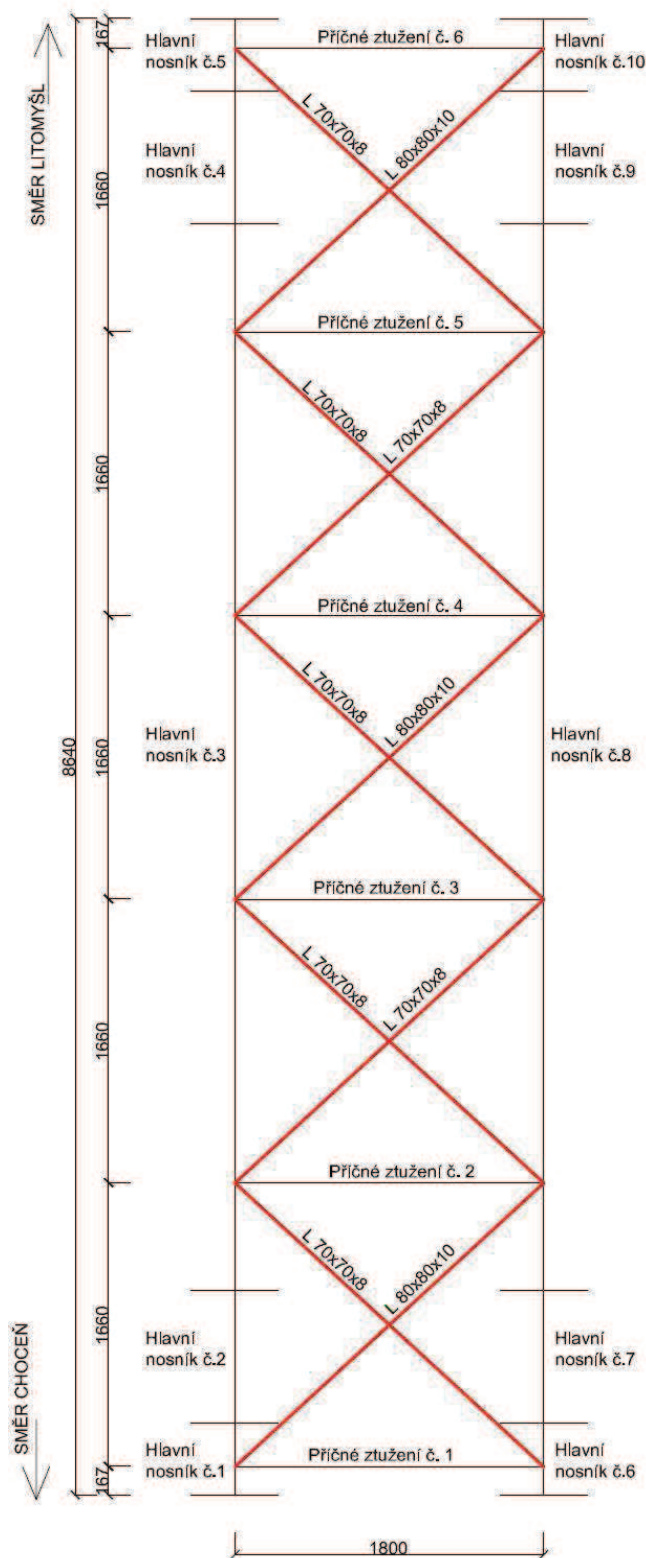
Vzpěrná únosnost (dle ČSN 1993-1-1)

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$$
$$N_{b,Rd} = \frac{0,9 \cdot 0,00087 \cdot 230 \cdot 10^3}{1,0}$$
$$N_{b,Rd} = \underline{\underline{180,09 \text{ kN} > 9,45 \text{ kN}}}$$

Prvek vyhovuje

6. Posouzení zavětrování hlavních nosníků

Podélné ztužení je typická klasická soustava skládající se z dolních úhelníků L 70x70x8 mm a horních úhelníků z L 80x80x10 mm.



Obrázek 11 - Schéma zavětrování hlavních nosníků

6.1 - Zavětrování - horní úhelník

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = 1,011$$

$$L = 2\,448,70 \text{ mm}$$

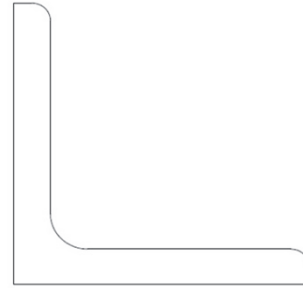
$$\beta = 1$$

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

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

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

L 80x80x10



Průřezové charakteristiky

$$A = 0,00151 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,00000139 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,00000037 \text{ m}^4$$

$$i_y = 30 \text{ mm}$$

$$i_z = 16 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0000245 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0000110 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0000393 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0000202 \text{ m}^3$$

$$A_{net} = 0,0013100 \text{ m}^2$$

Hodnota tahové/tlakové síly

$$N_{ed, \max} = 45,95 \text{ kN}$$

$$N_{ed, \min} = -70,53 \text{ kN}$$

Největší $N_{ed, \max}$ je mezi 1. a 2. příčným ztužením

Největší $N_{ed, \min}$ je mezi 5. a 6. příčným ztužením

Posouzení na tah/tlak (dle ČSN EN 1993-1-1)

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0,00151 * 230 * 10^3}{1,0}$$

$$N_{pl,Rd} = \underline{\underline{347,3 \text{ kN}}} > 45,95 \text{ kN}$$

Prvek vyhovuje podmínce

Posouzení na tah průřezu oslabeného dírami (dle ČSN EN 1993-1-1)

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * 0,00131 * 360 * 10^3}{1,25}$$

$$N_{u,Rd} = \underline{\underline{339,552 \text{ kN}}} > 45,95 \text{ kN}$$

Prvek vyhovuje podmínce

Posouzení na vzpěř (dle ČSN EN 1993-1-1)

Poměrná štíhlost $\bar{\lambda}_y$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1}$$

kde $\lambda_1 = 93,9 * \epsilon$
 $\lambda_1 = 94,93$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{2448,7}{30} * \frac{1}{93,94}$$

$$\bar{\lambda}_y = 0,86$$

Vzpěrná délka ve směru y

$$L_{cr} = L * \beta$$

$$L_{cr} = 2\,448,7 \text{ mm}$$

Součinitel vzpěrnosti χ

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}$$

$$\chi = 0,687$$

α - součinitel imperfekce pro křivku vzpěrné pevnosti b
(dle ČSN EN 1993-1-1 tab. 6.1)

$$\alpha = 0,34$$

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

$$\phi = 0,982$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,687 * 0,00151 * 230 * 10^3}{1,0}$$

$$N_{b,Rd} = \underline{\underline{238,6}} > 70,53 \text{ kN}$$

Prvek vyhovuje

6.2 - Zavětrování - dolní úhelník

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = 1,011$$

$$L = 2\,448,70 \text{ mm}$$

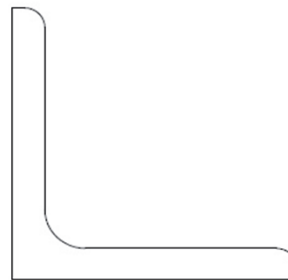
$$\beta = 1$$

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

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

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

L 70x70x8



Průřezové charakteristiky

$$A = 0,00107 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,00000075 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,00000020 \text{ m}^4$$

$$i_y = 26 \text{ mm}$$

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

$$W_{el,y} = 0,0000151 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0000069 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0000242 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0000125 \text{ m}^3$$

$$A_{net} = 0,0009100 \text{ m}^2$$

Hodnota tahové/tlakové síly

$$N_{ed, \max} = 31,6 \text{ kN}$$

$$N_{ed, \min} = -13,7 \text{ kN}$$

Největší $N_{ed, \max}$ je mezi 3. a 4. příčným ztužením

Největší $N_{ed, \min}$ je mezi 2. a 3. příčným ztužením

Posouzení na tah/tlak (dle ČSN EN 1993-1-1)

$$N_{pl, Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{pl, Rd} = \frac{0,00107 * 230 * 10^3}{1,0}$$

$$N_{pl, Rd} = \underline{\underline{246,1 \text{ kN} > 31,60 \text{ kN}}}$$

Prvek vyhovuje podmínce

Posouzení na tah průřezu oslabeného dírami (dle ČSN EN 1993-1-1)

$$N_{u, Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$N_{u, Rd} = \frac{0,9 * 0,00091 * 360 * 10^3}{1,25}$$

$$N_{u, Rd} = \underline{\underline{235,872 \text{ kN} > 31,60 \text{ kN}}}$$

Prvek vyhovuje podmínce

Posouzení na vzpěř (dle ČSN EN 1993-1-1)

Poměrná štíhlost $\bar{\lambda}_y$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1}$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{2448,7}{26} * \frac{1}{93,94}$$

$$\bar{\lambda}_y = 1,003$$

kde $\lambda_1 = 93,9 * \epsilon$

$$\lambda_1 = 93,9$$

Vzpěrná délka ve směru y

$$L_{cr} = L * \beta$$

$$L_{cr} = 2448,7 \text{ mm}$$

Součinitel vzpěrnosti χ

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \chi^2}}$$

$$\chi = 0,595$$

α - součinitel imperfekce pro křivku vzpěrné pevnosti b
(dle ČSN EN 1993-1-1 tab. 6.1)

$$\alpha = 0,34$$

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

$$\phi = 1,14$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,595 * 0,00091 * 230 * 10^3}{1,0}$$

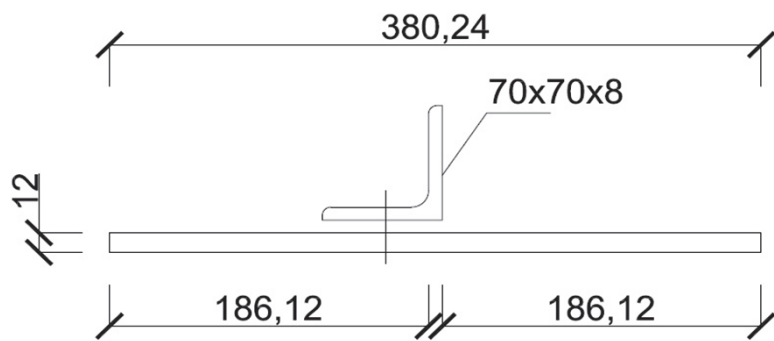
$$N_{b,Rd} = \underline{\underline{146,43}} > 13,70 \text{ kN}$$

Prvek vyhovuje

7. Svislá výztuha

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$\begin{aligned}
 f_y &= 230,0 \text{ MPa} \\
 f_u &= 360,0 \text{ MPa} \\
 \varepsilon &= 1,011 \\
 L &= 626,00 \text{ mm} \\
 \beta &= 1 \\
 \gamma_{M0} &= 1,0 \\
 \gamma_{M1} &= 1,0 \\
 \gamma_{M2} &= 1,25
 \end{aligned}$$



Pruževné charakteristiky:

$$\begin{aligned}
 A &= 0,00562980 \text{ m}^2 \\
 I_y &= 0,00000111 \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

Posouvající síla:

$$N_{sd} = 929,13 \text{ kN}$$

Podmínky (dle ČSN EN 1993-1-5)

$$a/h_w \geq \sqrt{2}$$

$$1,66/0,626 \geq \sqrt{2}$$

$$2,65 \geq 1,414$$

Podmínka je splněna

$$I \geq 0,75 \cdot h_w \cdot t^3$$

$$1,11 \cdot 10^{-6} \geq 0,75 \cdot 0,626 \cdot 0,012^3$$

$$1,11 \cdot 10^{-6} \geq 8,112 \cdot 10^{-7}$$

Podmínka je splněna

Posouzení na vzpěr (dle ČSN EN 1993-1-1)

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1,11 \cdot 10^{-6}}{5,63 \cdot 10^{-5}}}$$

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

Poměrná štíhlost $\bar{\lambda}_y$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$$

$$\bar{\lambda}_y = 0,474$$

$$\text{kde } \lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon$$

$$\lambda_1 = 93,9$$

Vzpěrná délka ve směru y

$$L_{cr} = L \cdot \beta$$

$$L_{cr} = 626,0 \text{ mm}$$

Součinitel vzpěrnosti χ

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \chi^2}}$$

$$\chi = 0,895$$

α - součinitel imperfekce pro křivku vzpěrné pevnosti b
(dle ČSN EN 1993-1-1 tab. 6.1)

$$\alpha = 0,34$$

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

$$\phi = 0,659$$

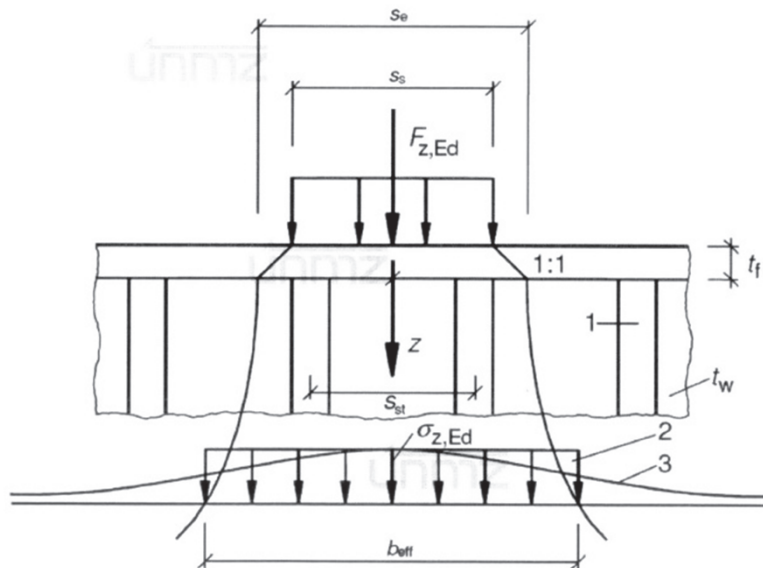
Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,895 \cdot 0,00563 \cdot 10^6 \cdot 230}{1,0}$$

$$N_{b,Rd} = 1158,894 \text{ kN} > 929,13 \text{ kN}$$

Prvek vyhovuje

8. Lokální stabilita stojiny



kde F_{ed} - působivé stěnové zatížení 1 - výztuha

b_{eff} - efektnivní šířka

2 - zjednodušený průběh napětí

$a_{st,l}$ - plocha svislých výztuh

3 - skutečný průběh napětí

t_w - tloušťka stojiny - 12 mm

t_f - tloušťka pásnice - 9 mm

s_s - šířka mostnice - 240 mm

s_{st} - vzdálenost svislých výztuh - 835,7 mm

β - 0,9

Podmínka

$$F_{Ed} < R_{b,Rd}$$

Návrchové zatížení:

$$F_{Ed} = 250 \cdot 0,5 \cdot \alpha \cdot \delta \cdot 0,5 \cdot \gamma_f$$

α - násobitel zatížení = 1,0

$$F_{Ed} = 250 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 1,536 \cdot 0,5 \cdot 1,30$$

δ - dynamický součinitel = 1,536

$$F_{Ed} = \underline{\underline{124,8 \text{ kN}}}$$

γ_f - součinitel zatížení dopravou = 1,30

Roznášecí délka s_e (nemá se brát větší roznášecí délka než h_w)

$$s_e = s_s + 2 \cdot t_f$$

$$s_e = 240 + 2 \cdot 9$$

$$s_e = 258,0 \text{ mm}$$

Pokud je $s_{st}/s_e \geq 0,5$ příspěvek výztuh se zanedbá

$$s_{st}/s_e \geq 0,5$$

$$835,7/258,0 \geq 0,5$$

$$3,24 \geq 0,5$$

Efektivní šířka b_{eff}

$$b_{\text{eff}} = s_e \sqrt{1 + \left(\frac{z}{s_e n}\right)^2} \quad \text{kde } z - \text{ vzdálenost od pásnice (bráno 0 pro největší napětí)}$$

$$b_{\text{eff}} = 258,0 * \sqrt{1}$$

$$b_{\text{eff}} = \underline{\underline{258,0 \text{ mm}}}$$

$$\text{kde } n = 0,636 * \sqrt{1 + \frac{0,878 * a_{st,l}}{t_w}}$$

$$n = 0,636 * \sqrt{1 + \frac{0,878 * 0}{12}}$$

$$n = 0,636$$

Plocha průřezu A

$$A = b_{\text{eff}} * t_w$$

$$A = 258 * 12$$

$$A = \underline{\underline{3\,096 \text{ mm}^2}}$$

Monet setrvačnosti kolem osy y

$$I_y = 1/12 * b_{\text{eff}} * t_w^3$$

$$I_y = 1/12 * 258 * 12^3$$

$$I_y = \underline{\underline{37\,152 \text{ mm}^4}}$$

Poloměr setrvačnosti kolem osy y Vzpěrná délka

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{37152}{3096}}$$

$$i_y = \underline{\underline{3,46 \text{ mm}}}$$

$$L_{cr} = h_w * \beta$$

$$L_{cr} = 626 * 0,9$$

$$L_{cr} = 563,40 \text{ mm}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr}}{i} * \frac{1}{\lambda_1}$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{563,4}{3,46} * \frac{1}{94,93}$$

$$\bar{\lambda}_y = \underline{\underline{1,713}}$$

$$\text{kde } \lambda_1 = 93,9 * \varepsilon$$

$$\lambda_1 = 94,93$$

Součinitel vzpěrnosti χ

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \chi^2}}$$

$$\chi = 0,255$$

α - součinitel imperfekce pro křivku vzpěrné pevnosti c

$$\alpha = 0,49$$

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

$$\phi = 2,338$$

Vzpěrná únosnost stojiny

$$R_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,255 * 3096 * 10^{-6} * 230 * 10^3}{1,0}$$

$$R_{b,Rd} = \underline{\underline{181,58 \text{ kN} > 124,8 \text{ kN}}}$$

Vyhovuje

9. Přehled výsledků

9.1. Hlavní nosníky

V tabulce č. 1 jsou uvedeny hodnoty vnitřních sil, výsledky posouzení příčného řezu η_1 , posouzení hlavního nosníku na smyk η_3 , a výsledek interakce mezi smykovou silou ohybovým momentem a osovou silou.

Tabulka 1 - Hlavní nosníky

Prvek	N [kN]	Vz [kN]	M _y [kNm]	η_1	η_3	interakce
Hl. n. č. 1	223,1	862,7	111,6	0,116	0,858	0,402
Hl. n. č. 2	461,4	604,4	399,7	0,367	0,604	0,292
Hl. n. č. 3	1108,5	520,80	861,9	0,622	0,516	0,421
Hl. n. č. 4	565,0	603,90	432,8	0,409	0,604	0,307
Hl. n. č. 5	467,4	884,2	184,6	0,208	0,880	0,489
Hl. n. č. 6	212,5	898,8	112,8	0,115	0,894	0,469
Hl. n. č. 7	459,2	632,2	416,5	0,379	0,632	0,314
Hl. n. č. 8	1053,6	550,0	877,6	0,623	0,545	0,435
Hl. n. č. 9	404,3	641,3	396,2	0,355	0,641	0,304
Hl. n. č. 10	404,3	929,1	129,3	0,158	0,924	0,541

Z hodnot v tabulce je patrné, že všechny průřezy hlavních nosníků vyhoví zatížení reprezentovanému vlakem UIC-71.

9.2. Příčné ztužení

Jelikož most je bez mostovky, jsou příčníky nahrazeny příhradovým, příčným ztužením složeným z horních a dolních úhelníků ze zdvojených L 65/8 mm. Diagonály jsou z jednoduchých L 65/8 mm. Jelikož se jedná o příhradovou soustavu, byly prvky posuzovány na osovou sílu tahovou $N_{Ed,min}$ a na sílu tlakovou $N_{Ed,max}$. V tabulce jsou uvedeny největší hodnoty těchto sil a také návrhová únosnost v tlaku $N_{b,Rd}$ a únosnost v tahu neoslabeného průřezu $N_{pl,Rd}$ a oslabeného průřezu $N_{u,Rd}$.

Tabulka 2 - Příčné ztužení

Prvek	Příčné ztužení				
	Tlak (vzpěr)		Tah (neoslabený a oslabený průřez)		
	$N_{Ed,min}$ [kN]	$N_{b,Rd}$ [kN]	$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{pl,Rd}$ [kN]	$N_{u,Rd}$ [kN]
Horní úhelníky	27,4	278,49	46,04	400,13	378,35
Dolní úhelníky	44,71	278,49	7,3	400,13	378,35
Diagonály	9,45	180,09	9,78	200,10	189,22

9.3. Zavětrování hlavních nosníků

Zavětrování hlavních nosníků se skládá z horního podélného ztužení z úhelníků L 80/10 mm a dolního podélného ztužení z úhelníků L 70/8 mm. Prvky byly posuzovány na osovou sílu tlakovou $N_{Ed,min}$ a na sílu tahovou $N_{Ed,max}$. V tabulce jsou uvedeny největší hodnoty těchto sil a také návrhová únosnost v tlaku $N_{b,Rd}$ a únosnost v tahu neoslabeného průřezu $N_{pl,Rd}$ a oslabeného průřezu $N_{u,Rd}$.

Tabulka 3 – Zavětrování hlavních nosníků

Zavětrování hlavních nosníků					
Prvek	Tlak (vzpěr)		Tah (neoslabený a oslabený průřez)		
	$N_{Ed,min}$ [kN]	$N_{b,Rd}$ [kN]	$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{pl,Rd}$ [kN]	$N_{u,Rd}$ [kN]
Horní úhelníky	70,53	238,60	45,95	347,30	339,55
Dolní úhelníky	13,70	146,43	31,60	246,10	235,87

10. Závěr

Posouzení konstrukce bylo provedeno podle platných evropských a českých norem. Hlavní nosníky nad ložisky mají malou rezervu v únosnosti stojiny na smyk, nicméně zatížení v přepočtu je charakterizováno modelem UIC-71 a skutečná traťová třída zatížení je C3. Z této skutečnosti vyplývá, že únosnost hlavních nosníků by měla být dostatečná.

Příčné ztužení a zavětrování hlavních nosníků bylo posouzeno na osovou sílu a z výsledků výše uvedených je patrné, že únosnost těchto prvků je dostatečná.

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

4.0 STATICKÝ PŘEPOČET A VÝPOČET ZATÍŽITELNOSTI DLE NOVÉ SMĚRNICE SR 5 (nové vydání, platnost 1Q 2015)

Statický přepočet plnostěnné ocelové mostní konstrukce na trati
TÚ Choceň (mimo) – Litomyšl (včetně) v kilometru 6,255.

Bc. Luboš Dejmek

Diplomová práce

2015

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	4
1. Schéma mostního objektu	6
2. Úpravy v přepočtu dle SR 5 oproti EN	7
3. Určení zatížitelnosti	8
4. Model mostu	9
5. Zatížení mostní konstrukce.....	10
5.1. Stálé zatížení.....	10
5.2. Zatížení dopravou.....	10
5.2.1. Boční rázy dle ČSN EN 1991-2.....	11
5.2.2. Rozjezdové a brzdové síly dle ČSN EN 1991-2.....	11
5.3. Zatížení nahodilá, krátkodobá.....	12
5.3.1. Zatížení větrem dle ČSN EN 1991-1-4.....	13
5.4. Kombinace zatížení	14
6. Posouzení hlavních nosníků - schéma	16
6.1. Hlavní nosník č. 1	17
6.1.1. Zatížitelnost hlavního nosníků č. 1	22
6.2. Hlavní nosník č. 2	27
6.2.1. Zatížitelnost hlavního nosníků č. 2.....	32
6.3. Hlavní nosník č. 3	37
6.3.1. Zatížitelnost hlavního nosníků č. 3.....	42
6.4. Hlavní nosník č. 4	47
6.4.1. Zatížitelnost hlavního nosníků č. 4.....	52
6.5. Hlavní nosník č. 5	57
6.5.1. Zatížitelnost hlavního nosníků č. 5.....	62
6.6. Hlavní nosník č. 6	67
6.6.1. Zatížitelnost hlavního nosníků č. 6.....	72
6.7. Hlavní nosník č. 7	77
6.7.1. Zatížitelnost hlavního nosníků č. 7	82
6.8. Hlavní nosník č. 8	87
6.8.1. Zatížitelnost hlavního nosníků č. 8.....	92
6.9. Hlavní nosník č. 9	97
6.9.1. Zatížitelnost hlavního nosníků č. 9.....	102
6.10. Hlavní nosník č. 10	107
6.10.1. Zatížitelnost hlavního nosníků č. 10.....	115

7. Posouzení příčného ztužení - schéma	120
7.1. Příčné ztužení – horní úhelníky.....	121
7.1.1. Zatížitelnost horních úhelníků	122
7.2. Příčné ztužení – dolní úhelníky.....	123
7.2.1. Zatížitelnost dolních úhelníků	124
7.3. Příčné ztužení – diagonály.....	125
7.3.1. Zatížitelnost diagonál.....	126
8. Posouzení zavětrování hlavních nosníků - schéma	127
8.1. Zavětrování – horní úhelníky	128
8.1.1. Zatížitelnost horních úhelníků	129
8.2. Zavětrování – dolní úhelníky.....	130
8.2.1. Zatížitelnost dolních úhelníků	131
9. Posouzení svislé výztuhy hlavního nosníku.....	132
10. Lokální stabilita stojiny	133
11. Přehled výsledků	135
12. Závěr.....	137

Seznam použitých značek a symbolů

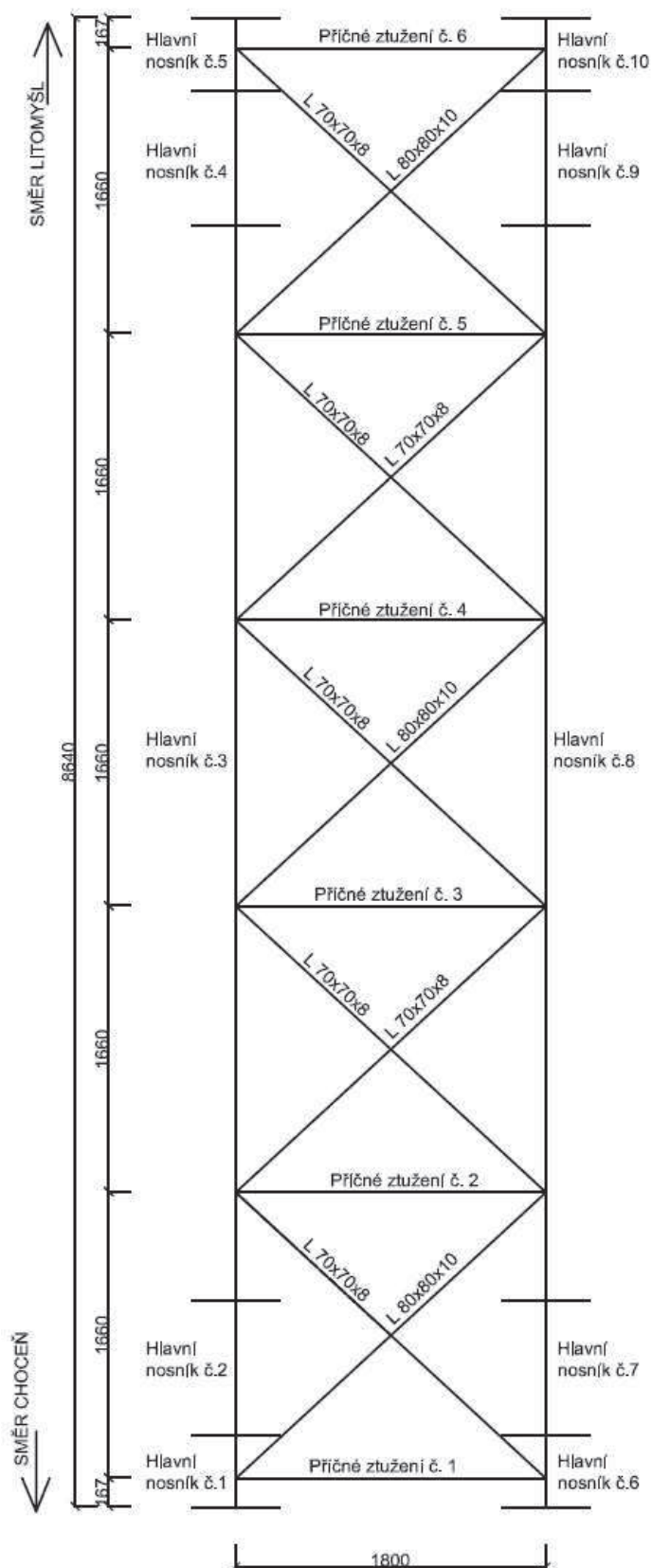
Latinská abeceda

a	délka vyztužené nebo nevyztužené stěny
A_{eff}	efektivní plocha
$A_{\text{ref},x}$	referenční plocha
b_{eff}	účinná šířka pro pružné smykové ochabnutí
C	součinitel zatížení větrem
C_e	součinitel expozice konstrukce
$C_{f,x}$	součinitel sil pro zatížení nosné konstrukce mostu větrem
E	modul pružnosti v tahu, v tlaku
e_N	posun neutrální osy
F_{ed}	návrhová příčná síla
$F_{b,Rd}$	návrhová únosnost v lokálním boulení
F_w	síla větru
f_{yw}	mez kluzu stojiny
f_{yf}	mez kluzu pásnice
h_w	výška stojiny mezi pásnicemi
I	moment setrvačnosti k příslušné ose
i	poloměr setrvačnosti k příslušné ose
k_{σ}	součinitel boulení stěn
L	délka prutu
L_{eff}	účinná délka
l_y	účinná zatížená délka
M_{Ed}	návrhový ohybový moment
$M_{f,Rd}$	návrhový plastický moment únosnosti průřezu pásnic
$M_{\text{pl},Rd}$	návrhový plastický moment únosnosti průřezu
N_{Ed}	návrhová osová síla
$N_{b,rd}$	návrhová vzpěrná únosnost tlačeného prutu
Q_{Iak}	charakteristická hodnota nápravové síly
Q_{Ibk}	charakteristická hodnota podélných sil
t_w	tloušťka stojiny
t_f	tloušťka pásnice
$V_{b,rd}$	návrhová únosnost ve smyku
V_{Ed}	návrhová smyková síla včetně smyku od kroucení
W_{eff}	účinný elastický průřezový modul

Řecká abeceda

α	podíl tlačené části průřezu
α_{LT}	součinitel imperfekce při klopení
β	součinitel účinné šířky pro pružné smykové ochabnutí
γ_m	globální dílčí součinitel spolehlivosti materiálu
ε	poměrné přetvoření
η	převodní součinitel
λ_1	hodnota štíhlosti pro výpočet poměrné štíhlosti
$\bar{\lambda}$	poměrná štíhlost
$\bar{\lambda}_{LT}$	poměrná štíhlost při klopení
ρ	součinitel boulení
σ	normálové napětí
φ	součinitel plnosti
Φ	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti χ
Φ_{LT}	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti χ_{LT}
χ	součinitel vzpěrnosti
χ_f	součinitel lokálního boulení
χ_w	součinitel příspěvku stojiny k únosnosti v boulení při smyku
χ_{LT}	součinitel klopení
ψ	poměr napětí

1. Schéma mostního objektu



Obrázek 1 - Schéma mostního objektu

2. Úpravy v přepočtu dle směrnice SR 5 oproti EN

Pro výpočet zatížitelnosti byla použita nová směrnice Správy železniční dopravní cesty SR 5 - Určování zatížitelnosti železničních mostů.

Zpracovatelem nové směrnice je kolektiv pracovníků Katedry stavebních konstrukcí a mostů, Stavební fakulty, Žilinské univerzity v Žilině pod vedením prof. Ing. Josef Vičan, CSc.

Při výpočtu zatížení nová směrnice upravuje součinitele zatížení a rozděluje je do dvou skupin podle stáří objektu. Jednotlivé hodnoty součinitelů jsou uvedeny v tabulce č. 1.

Tabulka 1 - Dílčí součinitele zatížení

Dílčí součinitele zatížení γ				
Zatížení použité v přepočtu	Dle ČSN EN 1990		Dle směrnice SR 5*	
	Příznivá	Nepříznivá	Pro mosty starší než 30 let	Pro mosty mladší než 30 let
Stálé zatížení	1,00	1,35	1,20	1,25
Zatížení železniční dopravou	-	1,45	1,30	1,45
Boční rázy	-	1,45	1,30	1,45
Rozjezdové a brzdné síly	-	1,45	1,30	1,45
Zatížení větrem	-	1,50	1,35	1,50

* posuzovaný most je z roku 1934

Kombinace zatížení se stanoví podle A2.2.4 v ČSN EN 1990, změna A1 příloha A2.

Směrnice SR 5 také upravuje vlastnosti ocelí a dílčí součinitel spolehlivosti materiálu.

ČSN EN 1993-1-1 používá součinitele spolehlivosti materiálu: γ_{M0} - 1,00

γ_{M1} - 1,00

γ_{M2} - 1,20

Směrnice SR 5 rozděluje součinitele spolehlivosti materiálu dle roku výroby a druhu materiálu. Pro přepoččet a určení zatížitelnosti byly použity hodnoty viz tabulka č. 2

Tabulka 2 - Vlastnosti materiálu a dílčí součinitele spolehlivosti materiálu

Rok výroby	Materiál pevnostní třídy	Dovolené namáhání σ_{adm} [MPa]	Zaručená mez kluzu f_y [MPa]	Mez pevnosti f_u [MPa]	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}	Norma
1905-1937	plávková ocel	140	230	360	1,10	1,20	1,30	ČSN 1230

3. Určení zatížitelnosti

Princip výpočtu zatížitelnosti zůstává stejný jako ve staré směrnici SR 5 z roku 1995, tedy:

$$Z_{LM71} = \left(R_d - \sum_{i=1}^{n-1} E_{rs,Ed,i} \right) / E_{LM71,Ed}$$

- kde R_d - návrhová hodnota únosnosti průřezu nebo prvku mostního objektu
 $E_{LM71,Ed}$ - je návrhová hodnota účinků svislého proměnného zatížení železniční dopravou reprezentovaného modelem zatížení 71 včetně dynamických účinků
 $\sum_{i=1}^{n-1} E_{rs,Ed,i}$ - jsou návrhové, kombinační, nebo skupinové hodnoty účinků ostatních zatížení, které působí současně se svislým proměnným zatížením železniční dopravou

Dle nové směrnice SR 5 pro ocelové mosty při jednoosé napjatosti se použije výše uvedený vztah, kde se za návrhovou hodnotu R_d dosadí příslušná návrhová hodnota únosnosti v tahu, tlaku, nebo prostého ohybu.

Ověření pružné únosnosti dle nové SR 5 průřezů třídy 1, 2 a 3 namáhaných ohybem, smykem a tahem nebo prostým tlakem se za předpokladu, že příčná síla V_{Ed} vyhovuje podmínce:

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5$$

provede podle vztahu:

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,rs}}{\eta_{1,LM71}}$$

$$\text{kde } \eta_{1,rs} = \frac{N_{rs,Ed}}{A \cdot f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,rs,Ed}}{W_{el,y} \cdot f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,rs,Ed}}{W_{el,z} \cdot f_y / \gamma_{M0}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71,Ed}}{A \cdot f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,LM71,Ed}}{W_{el,y} \cdot f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,LM71,Ed}}{W_{el,z} \cdot f_y / \gamma_{M0}}$$

Hodnoty s indexem rs,Ed jsou návrhové, kombinační nebo skupinové hodnoty vnitřních sil od ostatních zatížení, které působí současně se svislým proměnným zatížením železniční dopravou.

Hodnoty s indexem LM71,Ed jsou návrhové hodnoty vnitřních sil od svislého proměnného zatížení železniční dopravou reprezentovaného modelem UIC-71, včetně dynamických účinků.

Pokud při ověření pružné únosnosti průřezů třídy 1, 2 a 3 není splněná podmínka $\eta_3 \geq 0,5$, určí se zatížitelnost průřezu dle nové směrnice SR 5 z kvadratické rovnice:

$$4 \cdot k \cdot Z_{LM71}^2 \cdot \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} \cdot (\eta_{1,LM71} + 8 \cdot k \cdot \eta_{3,LM71} \cdot \eta_{3,rs} - 4 \cdot k \cdot \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 \cdot k \cdot \eta_{3,rs}^2 - 4 \cdot k \cdot \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

$$\text{kde } \eta_{3,rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,Rd}} \quad \bar{\eta}_{3,rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{bw,Rd}}$$

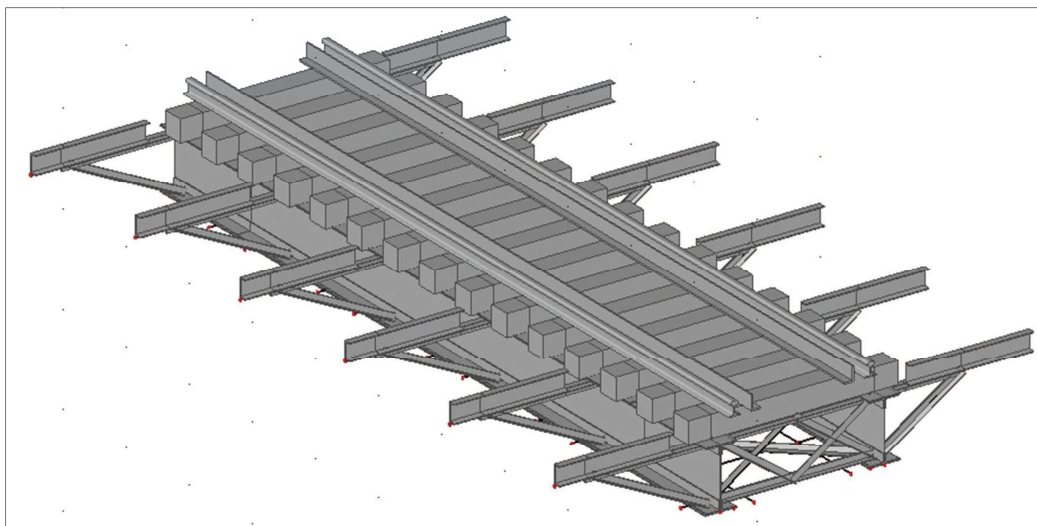
$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right)$$

$M_{f,rd}$ - je návrhový plastický moment únosnosti průřezu složeného z účinných ploch pásnic

$M_{r,rd}$ - je návrhová plastická únosnost průřezu složeného z účinné plochy pásnic a plně účinné stojiny bez ohledu na její třídu

4. Model mostu

Konstrukce byla vymodelována v programu Scia Engineer 2013.1. Hlavní nosníky, příčné ztužení, horní a dolní podélné ztužení hlavních nosníků bylo modelováno podle výkresu z roku 2004. Skutečné provedení chodníkových konzol neodpovídá výkresové dokumentaci, proto byla provedena podle prohlídky a zaměření objektu.



Obrázek 2 - Model konstrukce z programu Scia Engineer 2014

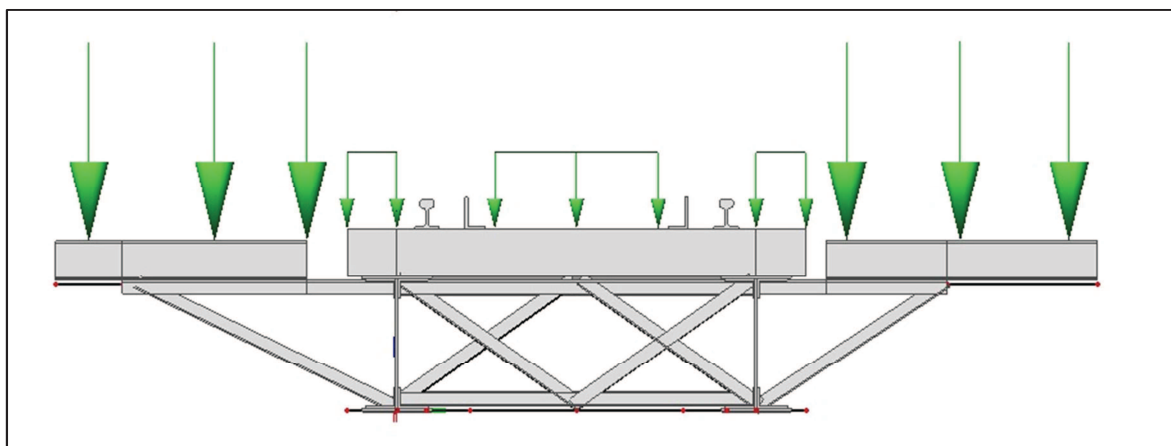
5. Zatížení mostní konstrukce

5.1. Stálé zatížení

Vlastní tíha konstrukce:

Vlastní tíha konstrukce byla vypočtena v programu Scia Engineer 2013.1

Ostatní stálé zatížení:



Obrázek 3 - Zatížení podlahami

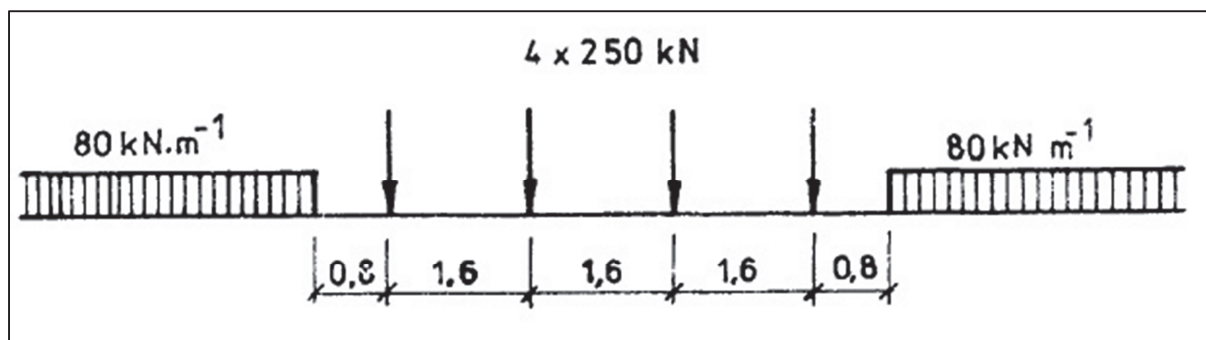
Chodníkové nosníky U80 byly modelovány jako bodové síly na chodníkových konzolách o velikosti 0,122 kN. Skrze ně působí chodníkové plechy šířky 1,38 m z rýhovaného plechu tl. 6 mm silou o velikosti 0,31 kN. Po sečtení působí bodové síly o velikosti 0,432 kN.

Podlahy po hlavách mostnic jsou z rýhovaného plechu tl. 6 mm o šířce 0,255 m. Byly vymodelovány jako spojité zatížení o velikosti 0,25 kN/m

Podlahy mezi kolejnicemi jsou z rýhovaného plechu tl. 6 mm o šířce 0,815 m. Byly modelovány jako spojité zatížení o velikosti 0,25 kN/m

5.2. Zatížení dopravou

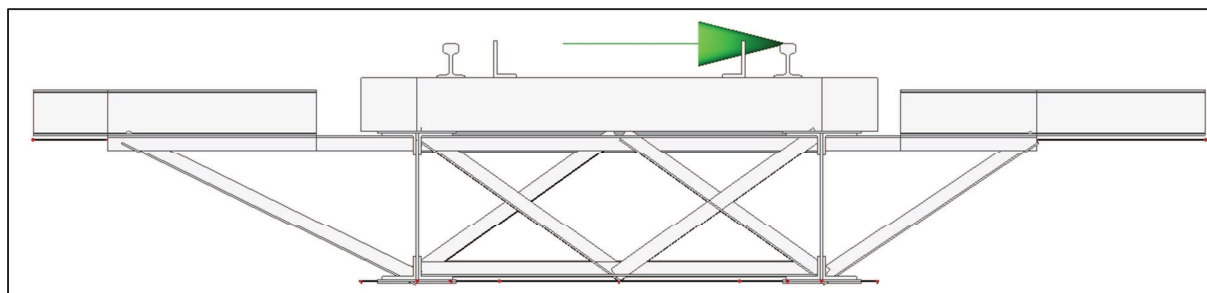
Pro výpočet byl použit ideální zatěžovací vlak UIC-70, ten byl vymodelován v programu Scia Engineer 2013.1, pro výpočet byl nastaven krok 500 mm. Zatížení dopravou bylo vynásobeno dynamickým součinitelem $\phi = 1,536$ stanoveným z normy ČSN EN 1991-2 pro standardně udržovanou kolej.



Obrázek 4 - Ideální zatěžovací vlak UIC - 71

5.2.1. Boční rázy dle ČSN EN 1991 - 2

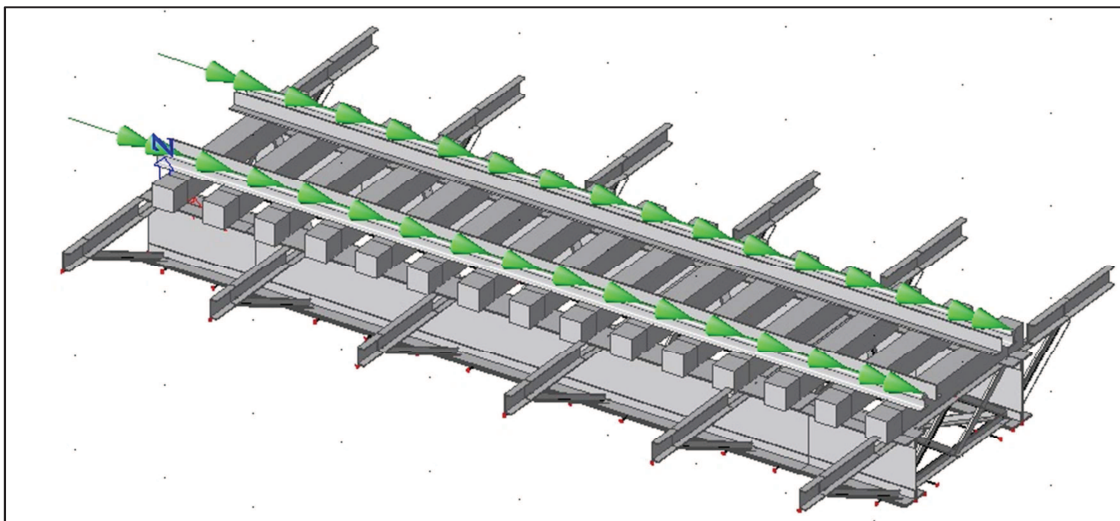
Boční rázy jsou reprezentované jako bodová osamělá síla o velikosti 100 kN působící kolmo na osu koleje v úrovni temene kolejnice.



Obrázek 5 - Zatížení bočními rázy

5.2.2. Rozjezdové a brzdné síly dle ČSN EN 1991 - 2

Rozjezdové a brzdné síly působí v úrovni temene kolejnice v podélném směru koleje. Uvažují se jako rovnoměrné rozložené po odpovídající příčinnující délce L účinků rozjezdu a brzdění pro uvažovaný nosný prvek. Směr rozjezdových a brzdných sil souhlasí s dovoleným směrem dopravy.



Obrázek 6 - Zatížení od rozjezdových a brzdných sil

Charakteristické hodnoty rozjezdových a brzdných sil se uvažovaly následovně:

Rozjezdová síla: pro model UIC-71, SW/0, SW/2

$$Q_{lak} = 33 \text{ [kN/m]} * L \text{ [m]} \leq 1000 \text{ [kN]}$$

$$Q_{lak} = 33 * 8,64$$

$$Q_{lak} = 285,12 \text{ kN} \leq 1000 \text{ [kN]}$$

Brzdná síla: pro model UIC-71, SW/0

$$Q_{lbk} = 20 \text{ [kN/m]} * L \text{ [m]} \leq 6000 \text{ [kN]}$$

$$Q_{lak} = 20 * 8,64$$

$$Q_{lak} = 172,8 \text{ kN} \leq 6000 \text{ [kN]}$$

Pro model byla použita větší ze sil => $Q_{lak} = 285,12 \text{ kN} = 33 \text{ kN/m}$

5.3. Zatížení nahodilá, krátkodobá

5.3.1. Zatížení větrem dle ČSN EN 1991-1-4

Nezatížený most

Referenční plocha $A_{ref,1}$

$$A_{ref,1} = 2 * (t_{f,1} * L_{f,1}) + h_w * L + 2 * (t_{f,2} * L_{f,2})$$

$$A_{ref,1} = 2 * (0,009 * 8,64) + h_w * L + 2 * (0,009 * 6,25)$$

$$A_{ref,1} = 5,88 \text{ m}^2$$

h_w - výška stojiny mezi pásnicemi 0,65 m

$t_{f,1}$ - tloušťka první pásnice: 0,009 m

$L_{f,1}$ - délka první pásnice: 8,64 m

$t_{f,2}$ - tloušťka druhé pásnice: 0,009 m

$L_{f,2}$ - délka druhé pásnice: 6,25 m

C_e - součinitel expozice: 1,5

$C_{f,x}$ - součinitel síly: 2

ρ - měrná hmotnost vzduchu: 1,25 kg/m³

V_b^2 - rychlost větru: 25 m/s

L - délka mostu: 8,64 m

Součinitel expozice

$$C = C_e * C_{f,x}$$

$$C = 1,5 * 2$$

$$C = 3$$

Síla větru

$$F_{w,1} = 0,5 * \rho * V_b^2 * C * A_{ref,1}$$

$$F_{w,1} = 0,5 * 1,25 * 25^2 * 3 * 5,88$$

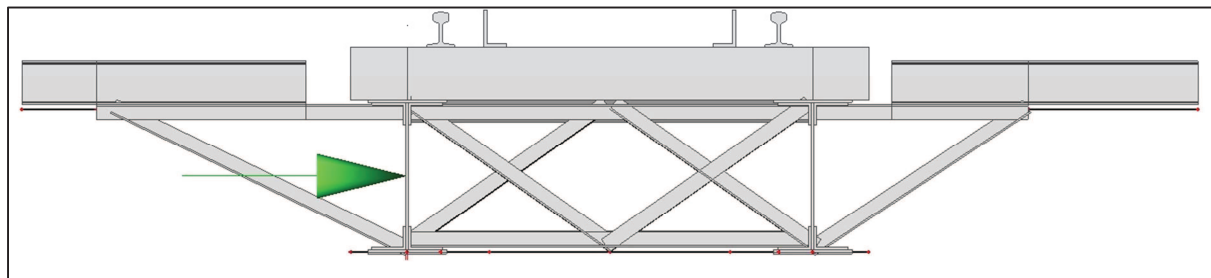
$$F_{w,1} = 6,89 \text{ kN}$$

Síla větru na 1 m délky

$$F_{w,1}^{-1} = \frac{F_{w,1}}{L}$$

$$F_{w,1}^{-1} = \frac{6,89}{8,64}$$

$$F_{w,1}^{-1} = 0,79 \text{ kN/m}$$



Obrázek 7 - Zatížení větrem nezatíženého mostu

Zatížený most

Referenční plocha

$$A_{\text{ref},2} = A_{\text{ref},1} + A_{\text{vlak}}$$
$$A_{\text{ref},2} = 5,88 + 4 \cdot 8,64$$
$$A_{\text{ref},2} = 40,44 \text{ m}^2$$

Součinitel expozice

$$C = C_e \cdot C_{f,x}$$
$$C = 1,5 \cdot 2$$
$$C = 3$$

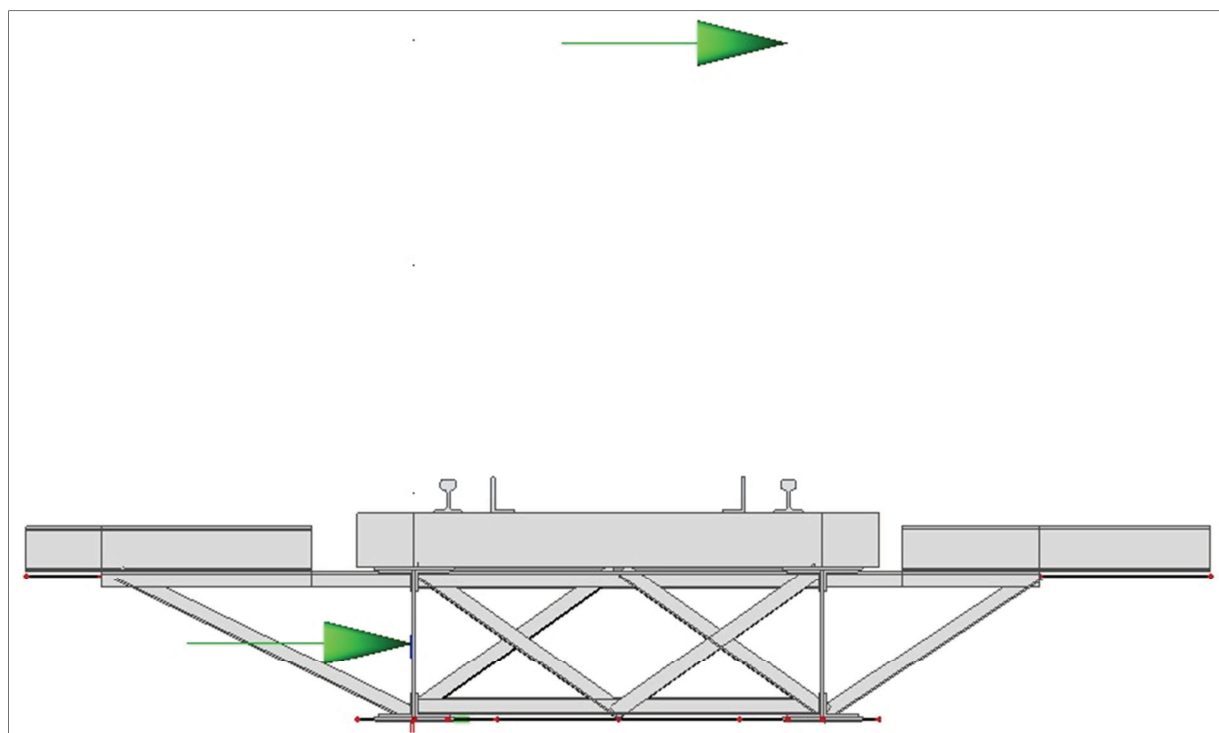
Síla větru

$$F_{w,2} = 0,5 \cdot \rho \cdot V_b^2 \cdot C \cdot A_{\text{ref},2}$$
$$F_{w,2} = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 25^2 \cdot 3 \cdot 40,44$$
$$F_{w,2} = 47,39 \text{ kN}$$

Síla větru na 1 m délky

$$F_{w,2}^{-1} = \frac{F_{w,1}}{L}$$
$$F_{w,2}^{-1} = \frac{47,39}{8,64}$$
$$F_{w,2}^{-1} = 5,49 \text{ kN/m}$$

- h_w - výška stojiny mezi pásnicemi 0,65 m
- A_{vlak} - plocha vlaku ($4 \cdot L$)
- $L_{f,1}$ - délka první pásnice: 8,64 m
- $t_{f,2}$ - tloušťka druhé pásnice: 0,009 m
- $L_{f,2}$ - délka druhé pásnice: 6,25 m
- C_e - součinitel expozice: 1,5
- $C_{f,x}$ - součinitel síly: 2
- ρ - měrná hmotnost vzduchu: $1,25 \text{ kg/m}^3$
- V_b^2 - rychlost větru: 25 m/s
- L - délka mostu: 8,64 m



Obrázek 8 - Zatížení větrem na zatíženém mostu

5.4. Kombinace zatížení dle ČSN EN 1990

Kombinace zatížení pro trvalé a dočasné návrhové situace (základní kombinace).

$$\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (\text{dle ČSN EN 1990 6.10})$$

Alternativně pro mezní stavy STR a GEO se vezme kombinace s redukčním součinitelem ξ

$$\sum \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (\text{dle ČSN EN 1990 6.10b})$$

$G_{k,j}$ - stálá zatížení

$Q_{k,j}$ - nahodilá zatížení

$\gamma_{G,j}$, $\gamma_{Q,1}$, $\gamma_{Q,i}$ - Součinitele pro jednotlivá zatížení

$\gamma_{G,\text{sup}} = 1,20$ - součinitel zatížení pro stálá nepříznivá zatížení

$\gamma_{Q,1}$, $\gamma_{Q,i} = 1,30$ - součinitel zatížení pro nepříznivá zatížení od železniční dopravy

$\gamma_{Q,1}$, $\gamma_{Q,i} = 1,35$ - součinitel zatížení pro další proměnná zatížení

$\psi_{0,i}$ - součinitel kombinace zatížení (dle ČSN EN 1990/A1 tabulka A2.3)

$\xi = 0,85$ - redukční součinitel pro nepříznivá stálá zatížení (dle ČSN EN 1990)

Kombinací pro výpočet zatížení podle SR 5 je méně, protože SR 5 nepracuje s příznivým součinitelem zatížení $\gamma_{G,\text{inf}} = 1,00$ takže odpadá alternativní vztah

$$\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,i} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (\text{dle ČSN EN 1990 6.10a})$$

Kombinace zatížení byly vygenerovány v programu Scia Engineer 2014

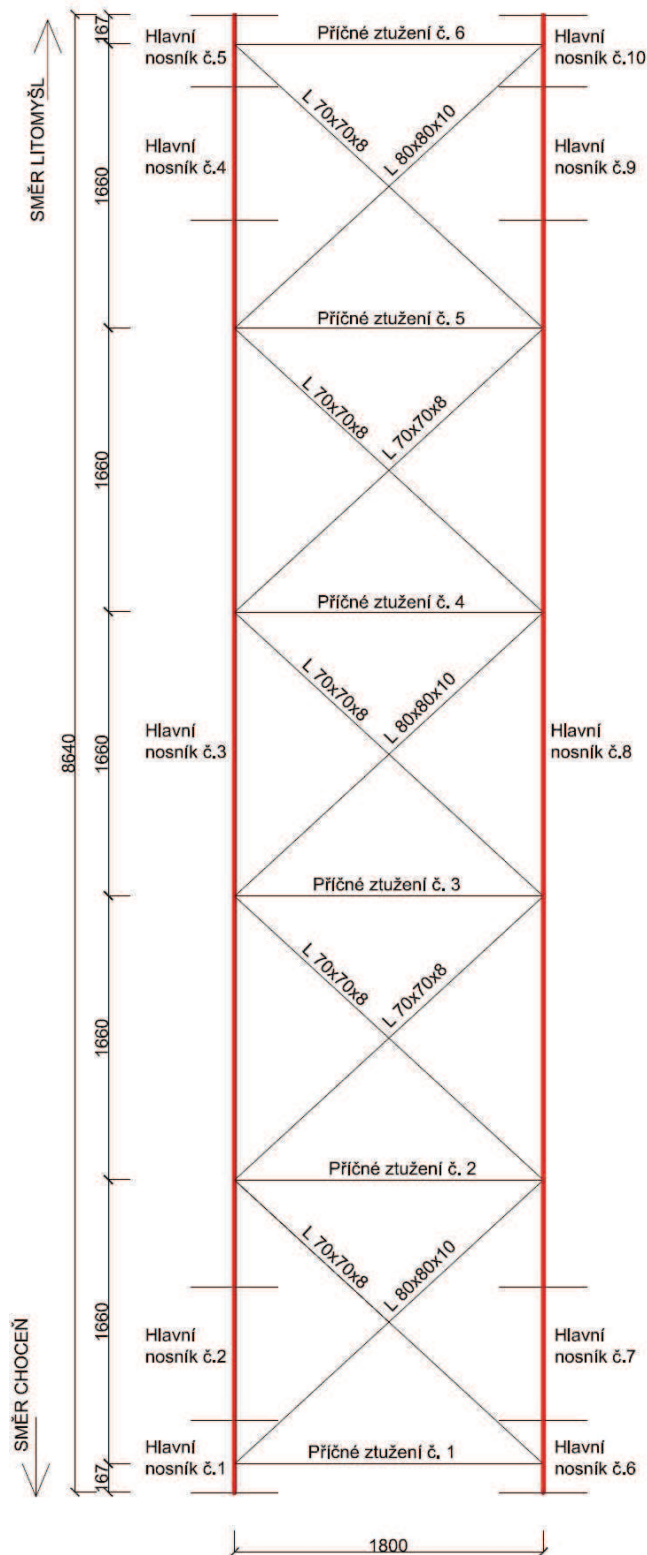
Statický přepoččet mostu TÚ 1581 - Choceň (mimo) - Litomyšl (včetně) evd. km. 6,255

Kombinace zatížení		ψ_0	$\gamma_{G,Q}$	Scia	Kombinace zatížení		ψ_0	$\gamma_{G,Q}$	Scia
CO1	Vlastní tíha	1,00	1,00	1,00	CO6	Vlastní tíha	0,85*	1,20	1,02
	Ostatní stálé zatížení	1,00	1,00	1,00		Ostatní stálé zatížení	0,85*	1,20	1,02
	Zatížení větrem	1,00	1,00	1,00		Zatížení větrem	1,00	1,35	1,35
	Rozjezdové síly	1,00	1,00	1,00		Rozjezdové síly	1,00	1,30	1,30
	Boční rázy	1,00	1,00	1,00		Boční rázy	1,00	1,30	1,30
	Vlak UIC 71 - min. N	1,00	1,00	1,00		Vlak UIC 71 - min. N	1,00	1,30	1,30
	Vlak UIC 71 - min. Vz	1,00	1,00	1,00		Vlak UIC 71 - min. Vz	1,00	1,30	1,30
	Vlak UIC 71 - min. My	1,00	1,00	1,00		Vlak UIC 71 - min. My	1,00	1,30	1,30
	Vlak UIC 71 - max. N	1,00	1,00	1,00		Vlak UIC 71 - max. N	1,00	1,30	1,30
	Vlak UIC 71 - max. Vz	1,00	1,00	1,00		Vlak UIC 71 - max. Vz	1,00	1,30	1,30
	Vlak UIC 71 - max. My	1,00	1,00	1,00		Vlak UIC 71 - max. My	1,00	1,30	1,30
CO2	Vlastní tíha	1,00	1,20	1,35	CO7	Vlastní tíha	1,00	1,20	1,20
	Ostatní stálé zatížení	1,00	1,20	1,35		Ostatní stálé zatížení	1,00	1,20	1,20
CO3	Vlastní tíha	0,85*	1,20	1,02		Zatížení větrem	1,00	1,35	1,35
	Ostatní stálé zatížení	0,85*	1,20	1,02		Rozjezdové síly	1,00	1,30	1,30
CO4	Vlastní tíha	1,00	1,20	1,20		Boční rázy	1,00	1,30	1,30
	Ostatní stálé zatížení	1,00	1,20	1,20		Vlak UIC 71 - min. N	1,00	1,30	1,30
	Zatížení větrem	1,00	1,35	1,35		Vlak UIC 71 - min. Vz	1,00	1,30	1,30
	Rozjezdové síly	0,8	1,30	1,04		Vlak UIC 71 - min. My	1,00	1,30	1,30
	Boční rázy	0,8	1,30	1,04		Vlak UIC 71 - max. N	1,00	1,30	1,30
	Vlak UIC 71 - min. N	0,8	1,30	1,04		Vlak UIC 71 - max. Vz	1,00	1,30	1,30
	Vlak UIC 71 - min. Vz	0,8	1,30	1,04		Vlak UIC 71 - max. My	1,00	1,30	1,30
	Vlak UIC 71 - min. My	0,8	1,30	1,04					
	Vlak UIC 71 - max. N	0,8	1,30	1,04					
	Vlak UIC 71 - max. Vz	0,8	1,30	1,04					
	Vlak UIC 71 - max. My	0,8	1,30	1,04					
CO5	Vlastní tíha	0,85*	1,20	1,02					
	Ostatní stálé zatížení	0,85*	1,20	1,02					
	Zatížení větrem	1,00	1,35	1,35					
	Rozjezdové síly	0,8	1,30	1,04					
	Boční rázy	0,8	1,30	1,04					
	Vlak UIC 71 - min. N	0,8	1,30	1,04					
	Vlak UIC 71 - min. Vz	0,8	1,30	1,04					
	Vlak UIC 71 - min. My	0,8	1,30	1,04					
	Vlak UIC 71 - max. N	0,8	1,30	1,04					
	Vlak UIC 71 - max. Vz	0,8	1,30	1,04					
	Vlak UIC 71 - max. My	0,8	1,30	1,04					

* nebrán součinitel kombinace ψ_0 ale redukční součinitel $\xi = 0,85$ takže $\xi\gamma_{G,sup} = 0,85 \times 1,20 \equiv 1,02$ (viz ČSN EN 1990)

6. Posouzení hlavních nosníků - schéma

Z důvodů vrstvení pásnic je každý nosník tvořený pěti prvky (viz schéma označení jednotlivých částí hlavních nosníků). Protějšší nosníky mají vždy stejný průřez.



Obrázek 9 - Schéma hlavních nosníků

6.1 Main beam No. 1

Material: Plank steel (year of production 1934)

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = 1,011$$

$$Y_{m0} = 1,10$$

$$Y_{m1} = 1,20$$

$$Y_{m2} = 1,30$$

Dimensions of beams

$$\text{Height } H = 671 \text{ mm}$$

$$\text{Flange thickness } t_{f,h} = 9 \text{ mm}$$

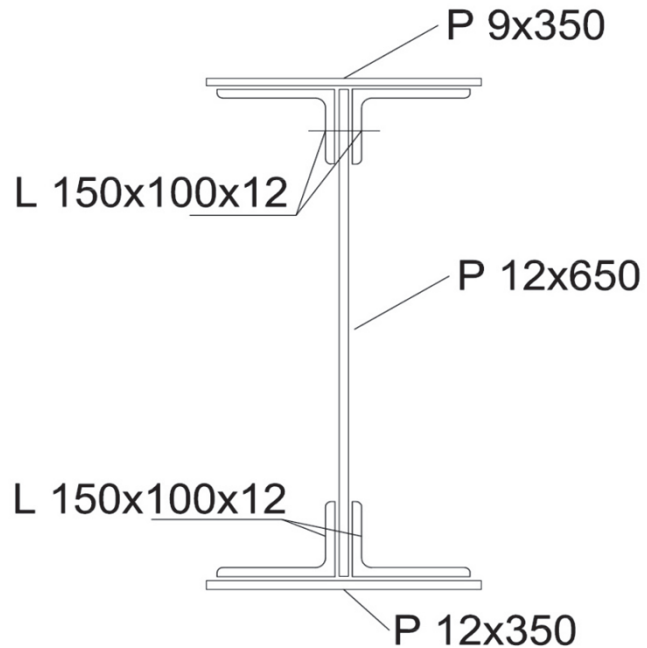
$$\text{Flange thickness } t_{f,d} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Flange width} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Web height } h_w = 626 \text{ mm}$$

$$\text{Web thickness} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Flange spacing} = 1\,660 \text{ mm}$$



Section characteristics *

$$A = 0,0266480 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,0021220 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,0001356 \text{ m}^4$$

$$i_y = 282 \text{ mm}$$

$$i_z = 71 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0061114 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0007754 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0071315 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0012972 \text{ m}^3$$

Values of maximum internal forces **

$$N = 201,0 \text{ kN}$$

$$V_y = 49,10 \text{ kN}$$

$$V_z = 777,60 \text{ kN}$$

$$M_y = 100,4 \text{ kNm}$$

* Section characteristics calculated by program Scia Engineer

** Values of maximum internal forces calculated by program Scia Engineer

Posouzení účinků boulení

Stanovení součinitele boulení ρ dle ČSN EN 1993-1-5

$$\rho = \frac{\lambda_p - 0,055(3 + \psi)}{\lambda_p^2} \quad \text{kde } \lambda_p = \frac{\bar{b}_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

\bar{b}_c - příslušná šířka dle EN 1993-1-1

$$\rho = 1,00 \text{ pokud } \lambda_p \leq 0,673$$

k_σ - součinitel kritického napětí

ψ - poměr napětí σ_2/σ_1

$$W_{\sigma 1} = I_y/z_1$$

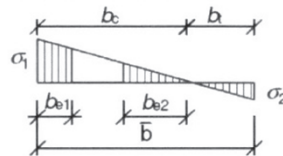
$$z_1 = b_c = 342,57 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 1} = 0,0061944 \text{ m}^3$$

$$z_2 = b_t = -307,43 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 2} = I_y/z_2$$

$$W_{\sigma 2} = -0,006902 \text{ m}^3$$



$\psi < 0$:

$$b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$$

$$b_{e1} = 0,4 b_{eff}$$

$$b_{e2} = 0,6 b_{eff}$$

$$\sigma_1 = Med/W_{\sigma 1}$$

$$\sigma_2 = Med/W_{\sigma 2}$$

$$\sigma_1 = 16,21 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -14,55 \text{ MPa}$$

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$$

$$\psi = -0,897$$

$$k_\sigma = 21,321$$

$$\lambda_p = \frac{b_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{342,57/12}{28,4 * 1,011 * \sqrt{21,321}}$$

$$\lambda_p = \underline{\underline{0,215}}$$

Jelikož je $\lambda_p \leq 0,673$ bude součinitel boulení $\rho = 1$

Prvek není náchylný k boulení

Posouzení únosnosti příčného řezu

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y * A_{eff}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} * e_n}{f_y * W_{eff}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \frac{201000}{230 * 10^6 * 0,02665} + \frac{100400 + 201000 * 0}{230 * 10^6 * 0,006111} \leq 1,0$$

$$\eta_1 = \underline{\underline{0,115}} < 1,0$$

Prvek vyhovuje podmínce

Unosnost hlavního nosníku ve smyku dle ČSN 1993-1-5

$$\alpha = a/h_w$$

a - vzdálenost příčníků = 1 660 mm

$$\alpha = 2,65$$

h_w - výška stojiny = 626 mm

Návrhová únosnost

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}}$$

Příspěvek stojiny

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Součinitel příspěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku (ČSN EN 1993-1-5 tab.5.1)

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$	η	η
$0,83 / \eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37 / (0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$

Upravená štíhlost λ_w se určí podle vztahu (5.6) ČSN EN 1993 - 1 - 5

$$\lambda_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \epsilon * \sqrt{k_\tau}} \quad \begin{array}{l} k_\tau = 5,34 + 4,00 * (h_w/a)^2 + k_{ts1} \\ k_\tau = 5,909 \end{array}$$

$$\lambda_w = \frac{626}{37,4 * 12 * 1,011 * \sqrt{5,909}}$$

$$\lambda_w = \underline{\underline{0,568}} \quad \lambda_w < 0,83/\eta$$

Dle tabulky 5.1 v ČSN EN 1993-1-5 $\chi_w = 1$ $\chi = 1$
 $\eta = 1,2$

Příspěvek stojiny tedy bude

Největší dovolená únosnost

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} \quad \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} = 997,5 \text{ kN}$$

$$V_{bw,rd} = \frac{1 * 230 * 626 * 12}{\sqrt{3} * 1,2}$$

$$V_{bw,rd} = 831\,268,92 \text{ N}$$

$$V_{bw,rd} = \underline{\underline{831,27 \text{ kN}}}$$

Příspěvek pásnice

$$V_{bf,rd} = \frac{b_f t^2 f_{yt}}{c \gamma_{m1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right)$$

$$b_f \leq 15 \epsilon t_f$$

$$350 \text{ mm} \geq 181,98 \text{ mm}$$

$$V_{bf,rd} = \frac{181,98 * 9^2 * 230}{0,423 * 1,2} * \left(1 - \left(\frac{100,4}{561,5} \right)^2 \right)$$

$$c = a \left(0,25 + \frac{1,6 b_f t^2 f_{yt}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right)$$

$$V_{bf,rd} = \underline{\underline{6,466 \text{ kN}}}$$

$$c = 0,4230 \text{ m}$$

Celková návrhová únosnost $V_{b,rd}$

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

$$V_{b,rd} = 831,269 + 6,466$$

$$V_{b,rd} = \underline{\underline{837,735 \text{ kN}}} < 997,52 \text{ kN}$$

Posouzení hlavního nosníku na smyk (podmínka $\eta_3 \leq 1$)

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{777,6}{837,76}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,928}} < 1 \quad \text{Prvek vyhovuje podmínce}$$

Interakce mezi osovou smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{100,4}{1491,1} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,rd}} = \frac{777,6}{831,27}$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{\underline{0,07}} \quad \bar{\eta}_3 = \underline{\underline{0,935}} > 0,5$$

Jelikož je $\bar{\eta}_3 > 0,5$, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojně splňovat podmínku:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{561,5 \text{ kNm}}}$$

$$W_{fy} = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$W_{fy} = \underline{\underline{0,002685 \text{ m}^3}}$$

$$A_{f1} = 0,0042 \text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3190 \text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průřez

$$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1491,1 \text{ kNm}}}$$

$$W_{pl} = 0,007132 \text{ m}^3$$

$$f_{yd} = 230,0 \text{ MPa}$$

$$A_{f2} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$z_2 = 0,3175 \text{ m}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0038 \text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$$

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008 \text{ m}$$

$$0,07 + \left(1 - \frac{561,5}{1491,1}\right) * (2 * 0,935 - 1)^2 \leq 1$$

$$\underline{\underline{0,542}} < 1,0$$

Prvek vyhovuje podmínce

Pozouzení na klopení dle ČSN EN 1993-1-1

Pruty s jednotlivými příčnými podporami tlačené pásnice nejsou citlivé na klopení jestliže vzdálenost L_c mezi příčnými podporymi nebo výsledná štíhlost $\bar{\lambda}_1$ ekvivalentní tlačené pásnice vyhovuje podmínce:

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \quad \begin{array}{l} \lambda_1 = 93,9 * \epsilon \\ \lambda_1 = 94,93 \end{array}$$

$$M_{c,rd} = W_y * f_y / \gamma_{m1}$$

W_y - příslušný modul průřezu, vztažený k tlačené pásnici

k_c - opravný součinitel štíhlosti dle ČSN EN 1993-1-1

L_c - vzdálenost příč. ztužení (vzdál. mostnic) = 0,58 m

$i_{f,z}$ - poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice, složené z pásnice a 1/3 tlačené části plochy stojiny k ose nejmenší tuhosti průřez

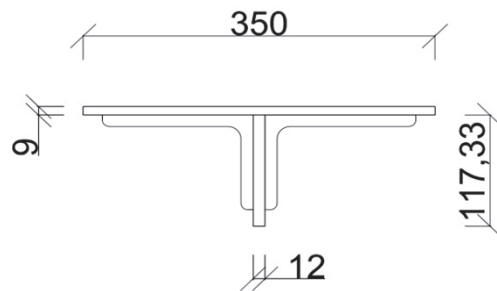
$$I_z = 0,00006239 \text{ m}^4$$

$$A = 0,01030100 \text{ m}^2$$

$$W_y = 0,0061114 \text{ m}^3$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{eff,f}}{A_{eff,f} + \frac{1}{3} A_{eff,w,c}}} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

$$i_{f,z} = 77,8 \text{ mm}$$



$$\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,4 + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,5$$

$$M_{c,rd} = W_y * f_y / \gamma_{m1}$$

$$M_{c,rd} = 1\,171,4 \text{ kNm}$$

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$$

$$k_c = 0,615$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{0,615 * 580}{77,8 * 94,93} \leq 0,5 \frac{1171,4}{100,4}$$

$$\bar{\lambda}_1 = 0,048 < 5,833$$

Prvek vyhovuje podmínce

6.1.1 Zatížitelnost hlavního nosníku č. 1

Návrhové hodnoty vnitřních sil od vlaku UIC - 71

$N_{r,LM71,Ed}$ [kN]	$V_{z,LM71,Ed}$ [kN]	$M_{y,LM71,Ed}$ [kNm]	$M_{z,LM71,Ed}$ [kNm]
193,6	748,9	97,8	13,6

Návrhové hodnoty vnitřních sil od kombinace všech ostatních zatížení

$N_{rs,Ed}$ [kN]	$V_{z,rs,Ed}$ [kN]	$M_{y,rs,Ed}$ [kNm]	$M_{z,rs,Ed}$ [kNm]
9,0	28,6	2,9	4,8

Pružové charakteristiky

$$\begin{aligned}
 A &= 0,0266480 \text{ m}^2 \\
 I_y &= 0,0021220 \text{ m}^4 \\
 I_z &= 0,0001356 \text{ m}^4 \\
 i_y &= 282 \text{ mm} \\
 i_z &= 71 \text{ mm} \\
 W_{el,y} &= 0,0061114 \text{ m}^3 \\
 W_{el,z} &= 0,0007754 \text{ m}^3 \\
 W_{pl,y} &= 0,0071315 \text{ m}^3 \\
 W_{pl,z} &= 0,0012972 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$\begin{aligned}
 f_y &= 230,0 \text{ MPa} \\
 f_u &= 360,0 \text{ MPa} \\
 \gamma_{m0} &= 1,10 \\
 \gamma_{m1} &= 1,20 \\
 \gamma_{m2} &= 1,30
 \end{aligned}$$

Podmínka

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,rd}} \leq 0,5$$

pro ověření podmínky η_3 se bere $Z_{LM71} = 1,0$

$$V_{ed} = Z_{LM71} * V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{ed} = 1 * 748,9 + 28,6$$

$$V_{ed} = \underline{\underline{777,5 \text{ kN}}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{230 * 10^3 * 0,626 * 0,012}{\sqrt{3} * 1,10}$$

$$V_{pl,rd} = \underline{\underline{906,84 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{777,5}{906,84}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,857}} > 0,5$$

Prvek na smyk vyhovuje, ale jelikož je $\eta_3 > 0,5$ zatížitelnost se určí z kvadratické rovnice:

$$\begin{aligned}
 4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71}^2 + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) \\
 + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0
 \end{aligned}$$

kde

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{rs,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,rs,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,rs,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,rs} = \frac{9000}{0,02665 * 230 * 10^6} + \frac{2900}{0,006111 * 230 * 10^6} + \frac{4800}{0,000775 * 230 * 10^6}$$

$$\eta_{1,rs} = \underline{\underline{0,033}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,LM71,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,LM71,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{193600}{0,02665 * 230 * 10^6} + \frac{97800}{0,006111 * 230 * 10^6} + \frac{13600}{0,000775 * 230 * 10^6}$$

$$\eta_{1,LM71} = \underline{\underline{0,195}}$$

$$\eta_{3,rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{28,6}{906,84}$$

$$\eta_{3,rs} = \underline{\underline{0,032}}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{748,9}{906,84}$$

$$\eta_{3,LM71} = \underline{\underline{0,826}}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right)$$

$$k = 1 - \left(\frac{561,5}{1491,1} \right)$$

$$k = \underline{\underline{0,623}}$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnoti pásnic

$$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0} \quad W_{fy} = 0,002685 \text{ m}^3$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{561,5 \text{ kNm}}}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnoti celého průřezu

$$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0} \quad W_{pl} = 0,007132 \text{ m}^3$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1 491,1 \text{ kNm}}} \quad f_{yd} = 230,0 \text{ MPa}$$

Zatížitelnost tedy bude

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

$$4 * 0,623 * Z_{LM71}^2 * 0,826 + Z_{LM71} (0,195 + 8 * 0,623 * 0,826 * 0,032 - 4 * 0,623 * 0,826) + 0,033 + 4 * 0,623 * 0,032^2 - 4 * 0,623 * 0,032 + 0,623 - 1 = 0$$

$$A = 4 * K * \eta_{3,LM71}$$

$$A = 4 * 0,623 * 0,826$$

$$A = 2,058$$

$$B = \eta_{1,LM71} + 8 * K * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}$$

$$B = 0,195 + 8 * 0,623 * 0,826 * 0,032 - 4 * 0,623 * 0,826$$

$$B = -1,732$$

$$C = \eta_{1,rs} + 4 * K * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + K - 1$$

$$C = 0,195 + 8 * 0,623 * 0,826 * 0,032 - 4 * 0,623 * 0,826$$

$$C = -0,421$$

$$Z_{LM71}^2 * 2,058 + Z_{LM71} (-1,732) - 0,421 = 0$$

$$D = b^2 - 4 * a * c$$

$$D = -1,732^2 - 4 * 2,058 * (-0,421)$$

$$D = 6,465$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a}$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{1,732 \pm \sqrt{6,465}}{2 * 2,058}$$

$$Z_{LM71,1} = 1,039$$

Zatížitelnost $Z_{LM71} > 1,0$, nicméně stojina hlavního nosníků se bude zesilovat ze 12 na 14 mm kvůli velké posouvající síle

Pružové charakteristiky

$$A = 0,0279480 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,0021680 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,0001370 \text{ m}^4$$

$$i_y = 279 \text{ mm}$$

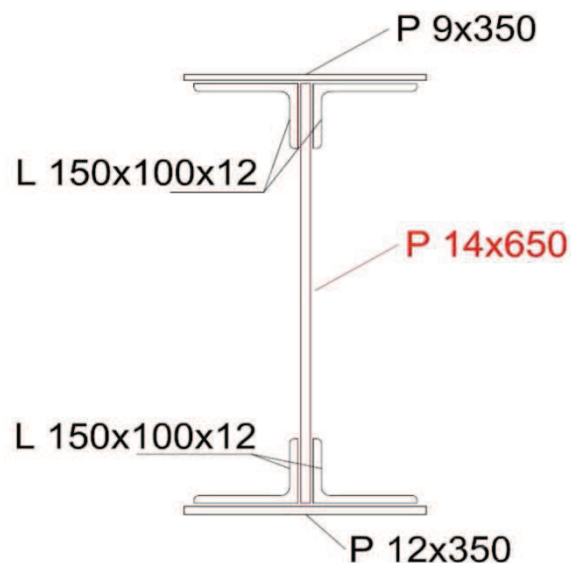
$$i_z = 70 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0062549 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0007830 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0073461 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0013171 \text{ m}^3$$



pro ověření podmínky η_3 se bere $Z_{LM71} = 1,0$

$$V_{ed} = Z_{LM71} * V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{ed} = 1 * 748,9 + 28,6$$

$$V_{ed} = \underline{\underline{748,9 \text{ kN}}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{230 * 10^3 * 0,626 * 0,014}{\sqrt{3} * 1,10}$$

$$V_{pl,rd} = \underline{\underline{1\ 058,0 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{796,8}{1057,98}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,708}} > 0,5$$

Prvek na smyk vyhovuje, ale jelikož je $\eta_3 > 0,5$ zatížitelnost se určí z kvadratické rovnice:

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

kde

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{rs,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,rs,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,rs,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,rs} = \frac{9000}{\frac{0,0279 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{2900}{\frac{0,00625 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{4800}{\frac{0,00078 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,rs} = \underline{\underline{0,033}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,LM71,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,LM71,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{193600}{\frac{0,0279 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{97800}{\frac{0,00625 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{13600}{\frac{0,00078 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \underline{\underline{0,191}}$$

$$\eta_{3,rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{28,6}{1057,98}$$

$$\eta_{3,rs} = \underline{\underline{0,027}}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{748,9}{1057,98}$$

$$\eta_{3,LM71} = \underline{\underline{0,708}}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right)$$

$$k = 1 - \left(\frac{561,5}{1536,0} \right)$$

$$k = \underline{\underline{0,634}}$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic	$A_{f1} = 0,0042 \text{ m}^2$
$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$	$W_{fy} = 0,002685 \text{ m}^3$
$M_{f,rd} = \underline{\underline{561,5 \text{ kNm}}}$	$z_1 = 0,3190 \text{ m}$
	$A_{f2} = 0,0032 \text{ m}^2$
	$z_2 = 0,3175 \text{ m}$
$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průřezu	$A_{w1} = A_{w2} = 0,0075 \text{ m}^2$
$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$	$W_{pl} = 0,007346 \text{ m}^3$
$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1\,536,0 \text{ kNm}}}$	$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$
	$f_{yd} = 230,0 \text{ MPa}$
	$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$
	$z_u = 0,3008 \text{ m}$

Zatížitelnost tedy bude

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

$$4 * 0,634 * Z_{LM71}^2 * 0,708 + Z_{LM71} (0,191 + 8 * 0,634 * 0,708 * 0,027 - 4 * 0,634 * 0,708) + 0,033 + 4 * 0,634 * 0,027^2 - 4 * 0,634 * 0,027 + 0,634 - 1 = 0$$

$$A = 4 * k * \eta_{3,LM71}$$

$$A = 4 * 0,634 * 0,708$$

$$A = 1,795$$

$$B = \eta_{1,LM71} + 8 * K * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}$$

$$B = 0,191 + 8 * 0,634 * 0,708 * 0,027 - 4 * 0,634 * 0,708$$

$$B = -1,508$$

$$C = \eta_{1,rs} + 4 * K * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + K - 1$$

$$C = 0,033 + 4 * 0,634 * 0,027^2 - 4 * 0,634 * 0,027 + 0,634 - 1$$

$$C = -0,400$$

$$Z_{LM71}^2 * 1,795 + Z_{LM71} (-1,508) - 0,4 = 0$$

$$D = b^2 - 4 * a * c$$

$$D = -1,508^2 - 4 * 1,795 * (-0,4)$$

$$D = \underline{\underline{5,146}}$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a}$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{1,508 \pm \sqrt{5,146}}{2 * 1,795}$$

$$Z_{LM71,1} = \underline{\underline{1,052}}$$

Po zasílení stojiny bude zatížitelnost průřezu 105% vlaku UIC-71

6.2 Hlavní nosník č. 2

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = 1,011 \text{ MPa}$$

$$Y_{m0} = 1,10$$

$$Y_{m1} = 1,20$$

$$Y_{m2} = 1,30$$

Rozměry nosníků

$$\text{Výška } H = 668 \text{ mm}$$

$$\text{Tl. pásnice } t_{f,h} = 9 \text{ mm}$$

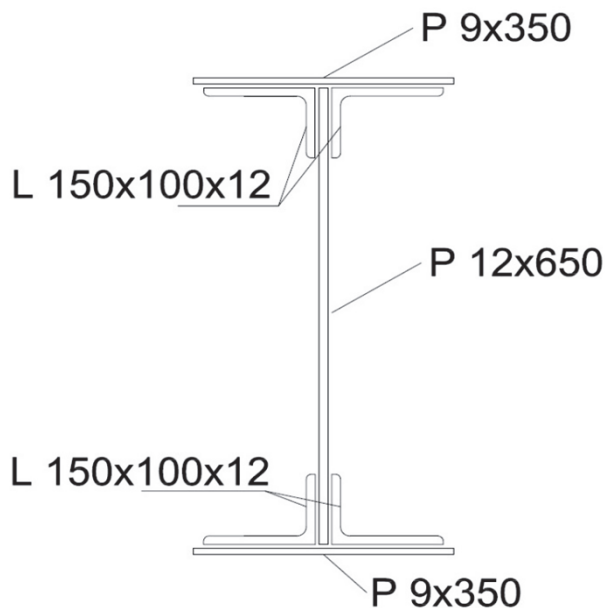
$$\text{Tl. pásnice } t_{f,d} = 9 \text{ mm}$$

$$\text{Šířka pásnic} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Výška stojiny } h_w = 626 \text{ mm}$$

$$\text{Tl. stojiny} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Vzdál. příčníků} = 1\,660 \text{ mm}$$



Průřezové charakteristiky *

$$A = 0,0255980 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,0020085 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,0001250 \text{ m}^4$$

$$i_y = 280 \text{ mm}$$

$$i_z = 70 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0060134 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0007142 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0068022 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0012053 \text{ m}^3$$

Hodnoty maximálních vnitřních sil **

$$N = 416,0 \text{ kN}$$

$$V_y = 53,10 \text{ kN}$$

$$V_z = 545,20 \text{ kN}$$

$$M_y = 360,6 \text{ kNm}$$

* Průřezové charakteristiky vypočítal program Scia Engineer

** Hodnoty maximálních vnitřních sil vypočítal program Scia Engineer

Posouzení účinků boulení

Stanovení součinitele boulení ρ dle ČSN EN 1993-1-5

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \quad \text{kde } \bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

\bar{b}_c - příslušná šířka dle EN 1993-1-1

$$\rho = 1,00 \text{ pokud } \bar{\lambda}_p \leq 0,673$$

k_σ - součinitel kritického napětí

ψ - poměr napětí σ_2/σ_1

$$W_{\sigma 1} = I_y/z_1$$

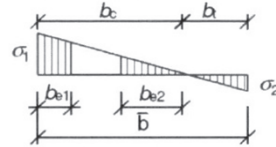
$$z_1 = b_c = 325,00 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 1} = 0,0061800 \text{ m}^3$$

$$z_2 = b_t = -325,00 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 2} = I_y/z_2$$

$$W_{\sigma 2} = -0,006180 \text{ m}^3$$



$\psi < 0$:

$$b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$$

$$b_{e1} = 0,4 b_{\text{eff}}$$

$$b_{e2} = 0,6 b_{\text{eff}}$$

$$\sigma_1 = \text{Med}/W_{\sigma 1}$$

$$\sigma_2 = \text{Med}/W_{\sigma 2}$$

$$\sigma_1 = 58,35 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -58,35 \text{ MPa}$$

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$$

$$\psi = -1$$

$$k_\sigma = 23,88$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{325,0/12}{28,4 * 1,011 * \sqrt{23,88}}$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{\underline{0,193}}$$

Jelikož je $\lambda_p \leq 0,673$ bude součinitel boulení $\rho = 1$

Prvek není náchylný k boulení

Posouzení únosnosti příčného řezu

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{\frac{f_y * A_{\text{eff}}}{\gamma_{m0}}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} * e_n}{\frac{f_y * W_{\text{eff}}}{\gamma_{m0}}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \frac{416000}{\frac{230 * 10^6 * 0,0256}{1,10}} + \frac{360600 + 416000 * 0}{\frac{230 * 10^6 * 0,00601}{1,10}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \underline{\underline{0,365}} < 1,0$$

Prvek vyhovuje podmínce

Unosnost hlavního nosníku ve smyku dle ČSN 1993-1-5

$$\alpha = a/h_w$$

a - vzdálenost příčníků = 1 660 mm

$$\alpha = 2,65$$

h_w - výška stojiny = 626 mm

Návrhová únosnost

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Příspěvek stojiny

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Součinitel příspěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku (ČSN EN 1993-1-5 tab.5.1)

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$	η	η
$0,83/\eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83/\bar{\lambda}_w$	$0,83/\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37/(0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83/\bar{\lambda}_w$

Upravená štíhlost λ_w se určí podle vztahu (5.6) ČSN EN 1993 - 1 - 5

$$\lambda_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} \quad \begin{array}{l} k_\tau = 5,34 + 4,00 * (h_w/a)^2 + k_{tsl} \\ k_\tau = 5,909 \end{array}$$

$$\lambda_w = \frac{626}{37,4 * 12 * 1,011 * \sqrt{5,909}}$$

$$\lambda_w = \underline{\underline{0,568}} \quad \lambda_w < 0,83/\eta$$

Dle tabulky 5.1 v ČSN EN 1993-1-5 $\chi_w = 1$ $\chi = 1$
 $\eta = 1,2$

Příspěvek stojiny tedy bude

Největší dovolená únosnost

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} \quad \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} \underline{\underline{997,52 \text{ kN}}}$$

$$V_{bw,rd} = \frac{1 * 230 * 626 * 12}{\sqrt{3} * 1,2}$$

$$V_{bw,rd} = 831\,268,92 \text{ N}$$

$$V_{bw,rd} = \underline{\underline{831,27 \text{ kN}}}$$

Příspěvek pásnice

$$V_{bf,rd} = \frac{b_f t^2 f_{yt}}{c \gamma_{m1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right)$$

$$b_f \leq 15 \varepsilon t_f$$

$$350 \text{ mm} \geq 136,49 \text{ mm}$$

$$V_{bf,rd} = \frac{136,49 * 9^2 * 230}{0,421 * 1,2} * \left(1 - \left(\frac{360,6}{490,5} \right)^2 \right)$$

$$c = a \left(0,25 + \frac{1,6 b_f t^2 f_{yt}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right)$$

$$V_{bf,rd} = \underline{\underline{2,775 \text{ kN}}}$$

$$c = 0,4210 \text{ m}$$

Celková návrhová únosnost $V_{b,rd}$

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

$$V_{b,rd} = 831,269 + 2,775$$

$$V_{b,rd} = \underline{\underline{834,044 \text{ kN} < 997,52 \text{ kN}}}$$

Posouzení hlavního nosníku na smyk (podmínka $\eta_3 \leq 1$)

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{545,2}{834,044}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,654 < 1}} \quad \text{Prvek vyhovuje podmínce}$$

Interakce mezi osovou smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{360,6}{1422,3} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,rd}} = \frac{545,2}{831,27}$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{\underline{0,25}} \quad \bar{\eta}_3 = \underline{\underline{0,66 > 0,5}}$$

Jelikož je $\bar{\eta}_3 > 0,5$, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojně splňovat podmínku:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnoti pásnic

$$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0} \quad W_{fy} = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{490,5 \text{ kNm}}} \quad W_{fy} = \underline{\underline{0,002346 \text{ m}^3}} \quad A_{f1} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3175 \text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnoti celého průřez

$$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0} \quad W_{pl} = 0,006802 \text{ m}^3 \quad A_{f2} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1422,3 \text{ kNm}}} \quad f_{yd} = 230,0 \text{ MPa} \quad z_2 = 0,3175 \text{ m}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0038 \text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$$

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1 \quad A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008 \text{ m}$$

$$0,25 + \left(1 - \frac{490,5}{1564,5}\right) * (2 * 0,66 - 1)^2 \leq 1$$

$$\underline{\underline{0,317 < 1,0}}$$

Prvek vyhovuje podmínce

Pozouzení na klopení dle ČSN EN 1993-1-1

Pruty s jednotlivými příčnými podporami tlačené pásnice nejsou citlivé na klopení jestliže vzdálenost L_c mezi příčnými podporymi nebo výsledná štíhlost $\bar{\lambda}_1$ ekvivalentní tlačené pásnice vyhovuje podmínice:

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \quad \begin{array}{l} \lambda_1 = 93,9^* \varepsilon \\ \lambda_1 = 94,93 \end{array}$$

$$M_{c,rd} = W_y * f_y / \gamma_{m1}$$

W_y - příslušný modul průřezu, vztažený k tlačené pásnici

k_c - opravný součinitel štíhlosti dle ČSN EN 1993-1-1

L_c - vzdálenost příč. ztužení (vzdál. mostnic) = 0,58 m

$i_{f,z}$ - poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice, složené z pásnice a 1/3 tlačené části plochy stojiny k ose nejmenší tuhosti průřez

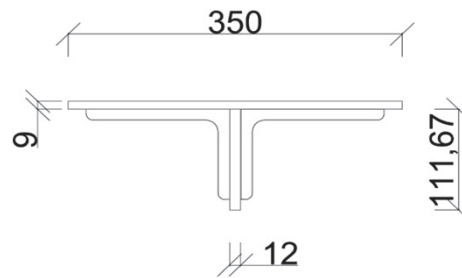
$$I_z = 0,00006239 \text{ m}^4$$

$$A = 0,01023300 \text{ m}^2$$

$$W_y = 0,0060134 \text{ m}^3$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{eff,f}}{A_{eff,f} + \frac{1}{3} A_{eff,w,c}}} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

$$i_{f,z} = 78,1 \text{ mm}$$



$$\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,4 + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,5$$

$$M_{c,rd} = W_{yf} * f_y / \gamma_{m1}$$

$$M_{c,rd} = 1\,257,3 \text{ kNm}$$

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$$

$$k_c = 0,602$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{0,602 * 580}{78,1 * 94,93} \leq 0,5 \frac{1257,3}{360,6}$$

$$\bar{\lambda}_1 = 0,047 < 1,743$$

Prvek vyhovuje podmínice

6.2.1 Zatížitelnost hlavního nosníku č. 2

Návrhové hodnoty vnitřních sil od vlaku UIC - 71

$N_{r,LM71,Ed}$ [kN]	$V_{z,LM71,Ed}$ [kN]	$M_{y,LM71,Ed}$ [kNm]	$M_{z,LM71,Ed}$ [kNm]
399,6	522,2	345	15,5

Návrhové hodnoty vnitřních sil od kombinace všech ostatních zatížení

$N_{rs,Ed}$ [kN]	$V_{z,rs,Ed}$ [kN]	$M_{y,rs,Ed}$ [kNm]	$M_{z,rs,Ed}$ [kNm]
16,4	23,3	15,6	2,7

Pružové charakteristiky

$$\begin{aligned}
 A &= 0,0255980 \text{ m}^2 \\
 I_y &= 0,0020085 \text{ m}^4 \\
 I_z &= 0,0001250 \text{ m}^4 \\
 i_y &= 280 \text{ mm} \\
 i_z &= 70 \text{ mm} \\
 W_{el,y} &= 0,0060134 \text{ m}^3 \\
 W_{el,z} &= 0,0007142 \text{ m}^3 \\
 W_{pl,y} &= 0,0068022 \text{ m}^3 \\
 W_{pl,z} &= 0,0012053 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$\begin{aligned}
 f_y &= 230,0 \text{ MPa} \\
 f_u &= 360,0 \text{ MPa} \\
 \gamma_{m0} &= 1,10 \\
 \gamma_{m1} &= 1,20 \\
 \gamma_{m2} &= 1,30
 \end{aligned}$$

Podmínka

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,rd}} \leq 0,5$$

pro ověření podmínky η_3 se bere $Z_{LM71} = 1,0$

$$\begin{aligned}
 V_{ed} &= Z_{LM71} * V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed} \\
 V_{ed} &= 1 * 522,2 + 23,3 \\
 V_{ed} &= \underline{\underline{545,5 \text{ kN}}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{pl,rd} &= \frac{f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}} \\
 V_{pl,rd} &= \frac{230 * 10^3 * 0,626 * 0,012}{\sqrt{3} * 1,10}
 \end{aligned}$$

$$V_{pl,rd} = \underline{\underline{906,84 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{545,5}{906,84}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,602}} > 0,5$$

Prvek na smyk vyhovuje, ale jelikož je $\eta_3 > 0,5$ zatížitelnost se určí z kvadratické rovnice:

$$\begin{aligned}
 4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) \\
 + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0
 \end{aligned}$$

kde

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{rs,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,rs,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,rs,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,rs} = \frac{16400}{\frac{0,0256 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{15600}{\frac{0,0060134 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{2700}{\frac{0,0007142 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,rs} = \underline{\underline{0,034}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,LM71,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,LM71,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{399600}{\frac{0,0256 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{345000}{\frac{0,0060134 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{15500}{\frac{0,0007142 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \underline{\underline{0,453}}$$

$$\eta_{3,rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{23,3}{906,84}$$

$$\eta_{3,rs} = \underline{\underline{0,026}}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{522,2}{906,84}$$

$$\eta_{3,LM71} = \underline{\underline{0,576}}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right)$$

$$k = 1 - \left(\frac{490,5}{1422,3} \right)$$

$$k = \underline{\underline{0,655}}$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnoti pásnic

$$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0} \quad W_{fy} = 0,002346 \text{ m}^3$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{490,5 \text{ kNm}}}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnoti celého průřezu

$$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0} \quad W_{pl} = 0,006802 \text{ m}^3$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1\,422,3 \text{ kNm}}} \quad f_{yd} = 230,0 \text{ MPa}$$

Zatížitelnost tedy bude

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

$$4 * 0,655 * Z_{LM71}^2 * 0,576 + Z_{LM71} (0,453 + 8 * 0,655 * 0,576 * 0,026 - 4 * 0,655 * 0,576) + 0,026 + 4 * 0,655 * 0,026^2 - 4 * 0,655 * 0,026 + 0,655 - 1 = 0$$

$$A = 4 * K * \eta_{3,LM71}$$

$$A = 4 * 0,655 * 0,576$$

$$A = 1,509$$

$$B = \eta_{1,LM71} + 8 * K * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}$$

$$B = 0,453 + 8 * 0,655 * 0,576 * 0,026 - 4 * 0,655 * 0,576$$

$$B = -0,978$$

$$C = \eta_{1,rs} + 4 * K * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + K - 1$$

$$C = 0,026 + 4 * 0,655 * 0,026^2 - 4 * 0,655 * 0,026 + 0,655 - 1$$

$$C = -0,377$$

$$Z_{LM71}^2 * 1,509 + Z_{LM71} (-0,978) - 0,377 = 0$$

$$D = b^2 - 4 * a * c$$

$$D = -0,978^2 - 4 * 1,509 * (-0,377)$$

$$D = 3,232$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a}$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{0,978 \pm \sqrt{3,232}}{2 * 1,509}$$

$$Z_{LM71,1} = 0,92$$

Pro $Z_{LM71} > 1,0$ je nutné zesílit pásnice hlavního nosníků (na obr. červěně zvýrazněno)

Pružezové charakteristiky

$$A = 0,0318980 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,0027304 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,0001893 \text{ m}^4$$

$$i_y = 293 \text{ mm}$$

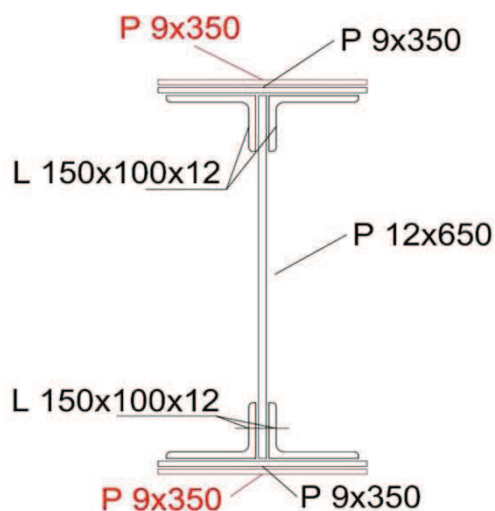
$$i_z = 77 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0079603 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0010817 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0089348 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0017566 \text{ m}^3$$



pro ověření podmínky η_3 se bere $Z_{LM71} = 1,0$

$$V_{ed} = Z_{LM71} * V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{ed} = 1 * 522,2 + 23,3$$

$$V_{ed} = \underline{\underline{545,5 \text{ kN}}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{230 * 10^3 * 0,626 * 0,012}{\sqrt{3} * 1,10}$$

$$V_{pl,rd} = \underline{\underline{906,84 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{545,5}{906,84}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,602}} > 0,5$$

Prvek na smyk vyhovuje, ale jelikož je $\eta_3 > 0,5$ zatížitelnost se určí z kvadratické rovnice:

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

kde

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{rs,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,rs,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,rs,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,rs} = \frac{16400}{\frac{0,0319 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{15600}{\frac{0,00796 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{2700}{\frac{0,001082 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,rs} = \underline{\underline{0,024}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,LM71,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,LM71,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{399600}{\frac{0,0319 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{345000}{\frac{0,00796 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{15500}{\frac{0,001082 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \underline{\underline{0,336}}$$

$$\eta_{3,rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{23,3}{906,84}$$

$$\eta_{3,rs} = \underline{\underline{0,026}}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{522,2}{906,84}$$

$$\eta_{3,LM71} = \underline{\underline{0,576}}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right)$$

$$k = 1 - \left(\frac{920,6}{1868,2} \right)$$

$$k = \underline{\underline{0,507}}$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic	$A_{f1} = 0,0063 \text{ m}^2$
$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$	$W_{fy} = 0,004403 \text{ m}^3$
$M_{f,rd} = \underline{\underline{920,6 \text{ kNm}}}$	$z_1 = 0,3220 \text{ m}$
	$A_{f2} = 0,0063 \text{ m}^2$
	$z_2 = 0,3220 \text{ m}$
$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průřezu	$A_{w1} = A_{w2} = 0,0075 \text{ m}^2$
$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$	$W_{pl} = 0,008935 \text{ m}^3$
$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1\,868,2 \text{ kNm}}}$	$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$
	$f_{yd} = 230,0 \text{ MPa}$
	$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$
	$z_u = 0,3008 \text{ m}$

Zatížitelnost tedy bude

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

$$4 * 0,507 * Z_{LM71}^2 * 0,576 + Z_{LM71} (0,336 + 8 * 0,507 * 0,576 * 0,026 - 4 * 0,507 * 0,576) + 0,024 + 4 * 0,507 * 0,026^2 - 4 * 0,507 * 0,026 + 0,507 - 1 = 0$$

$$A = 4 * K * \eta_{3,LM71}$$

$$A = 4 * 0,507 * 0,576$$

$$A = 1,168$$

$$B = \eta_{1,LM71} + 8 * K * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}$$

$$B = 0,336 + 8 * 0,507 * 0,576 * 0,026 - 4 * 0,507 * 0,576$$

$$B = -0,771$$

$$C = \eta_{1,rs} + 4 * K * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + K - 1$$

$$C = 0,024 + 4 * 0,507 * 0,026^2 - 4 * 0,507 * 0,026 + 0,507 - 1$$

$$C = -0,52$$

$$Z_{LM71}^2 * 1,168 + Z_{LM71} (-0,771) - 0,52 = 0$$

$$D = b^2 - 4 * a * c$$

$$D = -1,732^2 - 4 * 1,168 * (-0,52)$$

$$D = \underline{\underline{3,024}}$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a}$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{0,771 \pm \sqrt{3,024}}{2 * 1,168}$$

$$Z_{LM71,1} = \underline{\underline{1,074}}$$

Po zesílení horní a dolní pásnice o 9 mm prvek unese 107% modelu UIC-71

6.3 Hlavní nosník č. 3

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = 1,011 \text{ MPa}$$

$$Y_{m0} = 1,10$$

$$Y_{m1} = 1,20$$

$$Y_{m2} = 1,30$$

Rozměry nosníků

$$\text{Výška } H = 704 \text{ mm}$$

$$\text{Tl. pásnice } t_{f,h} = 18 \text{ mm}$$

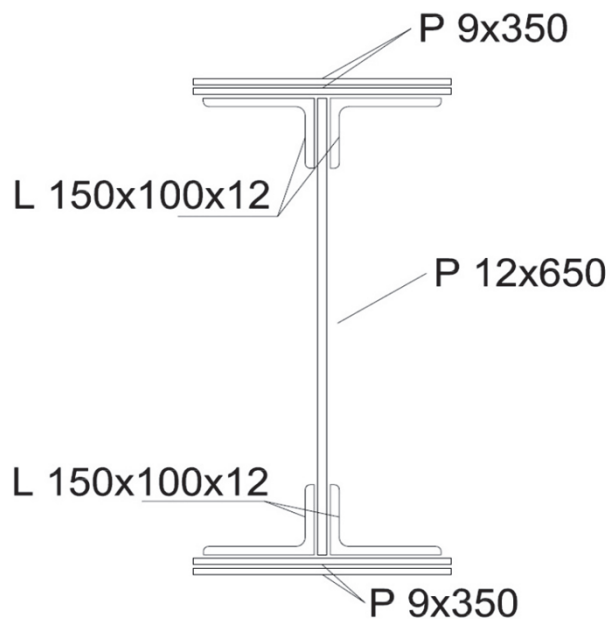
$$\text{Tl. pásnice } t_{f,d} = 18 \text{ mm}$$

$$\text{Šířka pásnic} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Výška stojiny } h_w = 626 \text{ mm}$$

$$\text{Tl. stojiny} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Vzdál. příčníků} = 1\,660 \text{ mm}$$



Průřezové charakteristiky *

$$A = 0,0318980 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,0027304 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,0001893 \text{ m}^4$$

$$i_y = 293 \text{ mm}$$

$$i_z = 77 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0079603 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0010817 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0089348 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0017566 \text{ m}^3$$

Hodnoty maximálních vnitřních sil **

$$N = 999,9 \text{ kN}$$

$$V_y = 53,50 \text{ kN}$$

$$V_z = 469,80 \text{ kN}$$

$$M_y = 777,7 \text{ kNm}$$

* Průřezové charakteristiky vypočítal program Scia Engineer

** Hodnoty maximálních vnitřních sil vypočítal program Scia Engineer

Posouzení účinků boulení

Stanovení součinitele boulení ρ dle ČSN EN 1993-1-5

$$\rho = \frac{\lambda_p - 0,055(3 + \psi)}{\lambda_p^2} \quad \text{kde } \lambda_p = \frac{\bar{b}_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

\bar{b}_c - příslušná šířka dle EN 1993-1-1

$$\rho = 1,00 \text{ pokud } \lambda_p \leq 0,673$$

k_σ - součinitel kritického napětí

ψ - poměr napětí σ_2/σ_1

$$W_{\sigma 1} = I_y/z_1$$

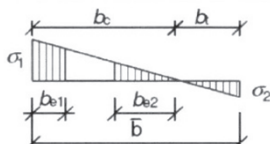
$$z_1 = b_c = 325,00 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 1} = 0,0084012 \text{ m}^3$$

$$z_2 = b_t = -325,00 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 2} = I_y/z_2$$

$$W_{\sigma 2} = -0,008401 \text{ m}^3$$



$\psi < 0$:

$$b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$$

$$b_{e1} = 0,4 b_{\text{eff}}$$

$$b_{e2} = 0,6 b_{\text{eff}}$$

$$\sigma_1 = \text{Med}/W_{\sigma 1}$$

$$\sigma_2 = \text{Med}/W_{\sigma 2}$$

$$\sigma_1 = 92,57 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -92,57 \text{ MPa}$$

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$$

$$\psi = -1$$

$$k_\sigma = 23,88$$

$$\lambda_p = \frac{b_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{325,0/12}{28,4 * 1,011 * \sqrt{23,88}}$$

$$\lambda_p = \underline{\underline{0,193}}$$

Jelikož je $\lambda_p \leq 0,673$ bude součinitel boulení $\rho = 1$

Prvek není náchylný k boulení

Posouzení únosnosti příčného řezu

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y * A_{\text{eff}}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} * e_n}{f_y * W_{\text{eff}}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \frac{999900}{230 * 10^6 * 0,0319 * 1,10} + \frac{777700 + 999900 * 0}{230 * 10^6 * 0,0079603 * 1,10} \leq 1$$

$$\eta_1 = \underline{\underline{0,617}} < 1,0$$

Prvek vyhovuje podmínce

Unosnost hlavního nosníku ve smyku dle ČSN 1993-1-5

$$\alpha = a/h_w$$

a - vzdálenost příčníků = 1 660 mm

$$\alpha = 2,65$$

h_w - výška stojiny = 626 mm

Návrhová únosnost

$$V_{b,rd} = V_{b_w,rd} + V_{b_f,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Příspěvek stojiny

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Součinitel příspěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku (ČSN EN 1993-1-5 tab.5.1)

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$	η	η
$0,83/\eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83/\bar{\lambda}_w$	$0,83/\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37/(0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83/\bar{\lambda}_w$

Upravená štíhlost λ_w se určí podle vztahu (5.6) ČSN EN 1993 - 1 - 5

$$\lambda_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} \quad k_\tau = 5,34 + 4,00 * (h_w/a)^2 + k_{\tau sl}$$

$$\lambda_w = \frac{626}{37,4 * 12 * 1,011 * \sqrt{5,909}} \quad k_\tau = 5,909$$

$$\lambda_w = \underline{\underline{0,568}} \quad \lambda_w < 0,83/\eta$$

Dle tabulky 5.1 v ČSN EN 1993-1-5 $\chi_w = 1$ $\chi = 1$
 $\eta = 1,2$

Příspěvek stojiny tedy bude

Největší dovolená únosnost

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} \quad \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} = 997,52 \text{ kN}$$

$$V_{bw,rd} = \frac{1 * 230 * 626 * 12}{\sqrt{3} * 1,2}$$

$$V_{bw,rd} = 831\,268,92 \text{ N}$$

$$V_{bw,rd} = \underline{\underline{831,27 \text{ kN}}}$$

Příspěvek pásnice

$$V_{bf,rd} = \frac{b_f t^2 f_{yt}}{c \gamma_{m1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right)$$

$$b_f \leq 15\epsilon_f$$

$$350 \text{ mm} \geq 272,97 \text{ mm}$$

$$V_{bf,rd} = \frac{272,97 * 18^2 * 230}{0,465 * 1,2} * \left(1 - \left(\frac{777,7}{920,6} \right)^2 \right)$$

$$c = a \left(0,25 + \frac{1,6 b_f t^2 f_{yt}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right)$$

$$c = 0,4650 \text{ m}$$

$$V_{bf,rd} = \underline{\underline{10,437 \text{ kN}}}$$

Celková návrhová únosnost $V_{b,rd}$

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

$$V_{b,rd} = 831,269 + 10,437 \sqrt{3} * \gamma_{m1}$$

$$V_{b,rd} = \underline{\underline{841,706 \text{ kN} < 997,52 \text{ kN}}}$$

Posouzení hlavního nosníku na smyk (podmínka $\eta_3 \leq 1$)

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{469,8}{841,70} \quad \eta_3 \leq 1$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,558 < 1}} \quad \text{Prvek vyhovuje podmínice}$$

Interakce mezi osovou smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{777,7}{1868,2} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,rd}} = \frac{469,8}{831,27}$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{\underline{0,42}} \quad \bar{\eta}_3 = \underline{\underline{0,565 > 0,5}}$$

Jelikož je $\bar{\eta}_3 > 0,5$, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojině splňovat podmínku:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{920,6 \text{ kNm}}}$$

$$W_{fy} = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$W_{fy} = \underline{\underline{0,004403 \text{ m}^3}}$$

$$A_{f1} = 0,0063 \text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3220 \text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průře;

$$A_{f2} = 0,0063 \text{ m}^2$$

$$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$$

$$W_{pl} = 0,008935 \text{ m}^3$$

$$z_2 = 0,3220 \text{ m}$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1 868,2 \text{ kNm}}}$$

$$f_{yd} = 230,0 \text{ MPa}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0075 \text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$$

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008 \text{ m}$$

$$0,42 + \left(1 - \frac{920,6}{1868,2}\right) * (2 * 0,565 - 1)^2 \leq 1$$

$$\underline{\underline{0,429 < 1,0}}$$

Prvek vyhovuje podmínice

Pozouzení na klopení dle ČSN EN 1993-1-1

Pruty s jednotlivými příčnými podporami tlačené pásnice nejsou citlivé na klopení jestliže vzdálenost L_c mezi příčnými podporymi nebo výsledná štíhlost $\bar{\lambda}_1$ ekvivalentní tlačené pásnice vyhovuje podmínce:

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \quad \lambda_1 = 93,9^* \varepsilon$$

$$\lambda_1 = 94,93$$

$$M_{c,rd} = W_y * f_y / \gamma_{m1}$$

W_y - příslušný modul průřezu, vztažený k talčené pásnici

k_c - opravný součinitel štíhlosti dle ČSN EN 1993-1-1

L_c - vzdálenost příč. ztužení (vzdál. mostnic) = 0,58 m

$i_{f,z}$ - poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice, složené z pásnice a 1/3 tlačené části plochy stojiny k ose nejmenší tuhosti průřez

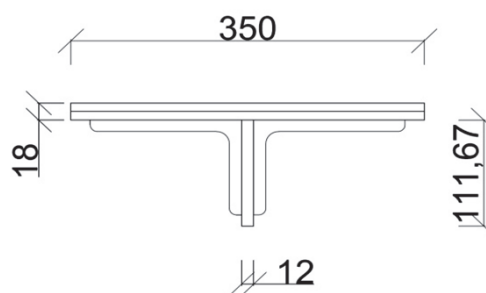
$$I_z = 0,00009454 \text{ m}^4$$

$$A = 0,01338300 \text{ m}^2$$

$$W_y = 0,0079603 \text{ m}^3$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{eff,f}}{A_{eff,f} + \frac{1}{3} A_{eff,w,c}}} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

$$i_{f,z} = 84,1 \text{ mm}$$



$$\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,4 + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,5$$

$$M_{c,rd} = W_y * f_y / \gamma_{m1}$$

$$M_{c,rd} = 1\,664,4 \text{ kNm}$$

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$$

$$k_c = 0,602$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{0,602 * 580}{84,1 * 94,93} \leq 0,5 \frac{1664,4}{777,7}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \underline{\underline{0,044}} < 1,07$$

Prvek vyhovuje podmínce

6.3.1 Zatížitelnost hlavního nosníku č. 3

Návrhové hodnoty vnitřních sil od vlaku UIC - 71

$N_{r,LM71,Ed}$ [kN]	$V_{z,LM71,Ed}$ [kN]	$M_{y,LM71,Ed}$ [kNm]	$M_{z,LM71,Ed}$ [kNm]
957,2	449,8	743,3	16,7

Návrhové hodnoty vnitřních sil od kombinace všech ostatních zatížení

$N_{rs,Ed}$ [kN]	$V_{z,rs,Ed}$ [kN]	$M_{y,rs,Ed}$ [kNm]	$M_{z,rs,Ed}$ [kNm]
44,7	20,1	34,5	1,7

Pružové charakteristiky

$$\begin{aligned}
 A &= 0,0318980 \text{ m}^2 & f_y &= 230,0 \text{ MPa} \\
 I_y &= 0,0027304 \text{ m}^4 & f_u &= 360,0 \text{ MPa} \\
 I_z &= 0,0001893 \text{ m}^4 & \gamma_{m0} &= 1,10 \\
 i_y &= 293 \text{ mm} & \gamma_{m1} &= 1,20 \\
 i_z &= 77 \text{ mm} & \gamma_{m2} &= 1,30 \\
 W_{el,y} &= 0,0079603 \text{ m}^3 \\
 W_{el,z} &= 0,0010817 \text{ m}^3 \\
 W_{pl,y} &= 0,0089348 \text{ m}^3 \\
 W_{pl,z} &= 0,0017566 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

Podmínka

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,rd}} \leq 0,5$$

pro ověření podmínky η_3 se bere $Z_{LM71} = 1,0$

$$V_{ed} = Z_{LM71} * V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{ed} = 1 * 449,8 + 20,1$$

$$V_{ed} = \underline{\underline{469,9 \text{ kN}}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{230 * 10^3 * 0,626 * 0,012}{\sqrt{3} * 1,10}$$

$$V_{pl,rd} = \underline{\underline{906,84 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{545,5}{906,84}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,518}} > 0,5$$

Prvek na smyk vyhovuje, ale jelikož je $\eta_3 > 0,5$ zatížitelnost se určí z kvadratické rovnice:

$$\begin{aligned}
 &4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) \\
 &+ \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0
 \end{aligned}$$

kde

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{rs,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,rs,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,rs,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,rs} = \frac{44700}{\frac{0,03190 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{34500}{\frac{0,00796 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{1700}{\frac{0,00108 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,rs} = \underline{\underline{0,035}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,LM71,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,LM71,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{957200}{\frac{0,03190 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{743300}{\frac{0,00796 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{16700}{\frac{0,00108 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \underline{\underline{0,664}}$$

$$\eta_{3,rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{20,1}{906,84}$$

$$\eta_{3,rs} = \underline{\underline{0,022}}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{449,8}{906,84}$$

$$\eta_{3,LM71} = \underline{\underline{0,496}}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right)$$

$$k = 1 - \left(\frac{920,6}{1868,2} \right)$$

$$k = \underline{\underline{0,507}}$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnoti pásnic

$$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0} \quad W_{fy} = 0,004403 \text{ m}^3$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{920,6 \text{ kNm}}}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnoti celého průřezu

$$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0} \quad W_{pl} = 0,008935 \text{ m}^3$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1 868,2 \text{ kNm}}} \quad f_{yd} = 230,0 \text{ MPa}$$

Zatížitelnost tedy bude

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

$$4 * 0,507 * Z_{LM71}^2 * 0,496 + Z_{LM71} (0,644 + 8 * 0,507 * 0,496 * 0,022 - 4 * 0,507 * 0,496) + 0,035 + 4 * 0,507 * 0,022^2 - 4 * 0,507 * 0,022 + 0,507 - 1 = 0$$

$$A = 4 * K * \eta_{3,LM71}$$

$$A = 4 * 0,507 * 0,496$$

$$A = 1,006$$

$$B = \eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}$$

$$B = 0,644 + 8 * 0,507 * 0,496 * 0,022 - 4 * 0,507 * 0,496$$

$$B = -0,298$$

$$C = \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + K - 1$$

$$C = 0,035 + 4 * 0,507 * 0,022^2 - 4 * 0,507 * 0,022 + 0,507 - 1$$

$$C = -0,502$$

$$Z_{LM71}^2 * 1,006 + Z_{LM71} (-0,298) - 0,502 = 0$$

$$D = b^2 - 4 * a * c$$

$$D = -0,298^2 - 4 * 1,006 * (-0,502)$$

$$D = 2,109$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a}$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{0,298 \pm \sqrt{2,109}}{2 * 1,006}$$

$$Z_{LM71,1} = 0,87$$

Pro $Z_{LM71} > 1,0$ je nutné zesílit pásnice hlavního nosníků (na obr. červěně zvýrazněno)

Pružové charakteristiky

$$A = 0,0360860 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,0032323 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,0002320 \text{ m}^4$$

$$i_y = 299 \text{ mm}$$

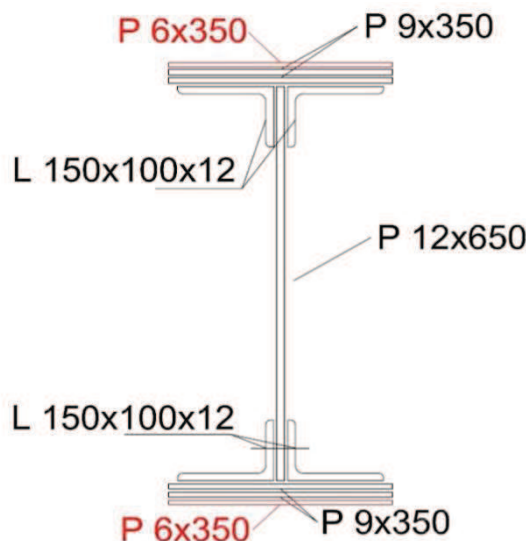
$$i_z = 80 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0092616 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0013259 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0103850 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0021231 \text{ m}^3$$



pro ověření podmínky η_3 se bere $Z_{LM71} = 1,0$

$$V_{ed} = Z_{LM71} * V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{ed} = 1 * 449,8 + 20,1$$

$$V_{ed} = \underline{\underline{469,90 \text{ kN}}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{230 * 10^3 * 0,626 * 0,012}{\sqrt{3} * 1,10}$$

$$V_{pl,rd} = \underline{\underline{906,84 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{469,9}{906,84}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,518}} > 0,5$$

Prvek na smyk vyhovuje, ale jelikož je $\eta_3 > 0,5$ zatížitelnost se určí z kvadratické rovnice:

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

kde

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{rs,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,rs,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,rs,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,rs} = \frac{44700}{\frac{0,0361 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{34500}{\frac{0,00926 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{1700}{\frac{0,00133 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,rs} = \underline{\underline{0,03}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,LM71,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,LM71,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{957200}{\frac{0,0361 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{743300}{\frac{0,00926 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{16700}{\frac{0,00133 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \underline{\underline{0,571}}$$

$$\eta_{3,rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{20,1}{906,84}$$

$$\eta_{3,rs} = \underline{\underline{0,022}}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{449,8}{906,84}$$

$$\eta_{3,LM71} = \underline{\underline{0,496}}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right)$$

$$k = 1 - \left(\frac{1213,9}{2171,4} \right)$$

$$k = \underline{\underline{0,441}}$$

$$\begin{aligned}
 M_{f,rd} & - \text{návrhový plastický moment únosnosti pásnic} & A_{f1} & = 0,0084 \text{ m}^2 \\
 M_{f,rd} & = (W_{fy} \cdot f_{yd}) / \gamma_{m0} & W_{fy} & = 0,005805 \text{ m}^3 & z_1 & = 0,3250 \text{ m} \\
 M_{f,rd} & = \underline{\underline{1\,213,9 \text{ kNm}}} & & & A_{f2} & = 0,0084 \text{ m}^2 \\
 & & & & z_2 & = 0,3250 \text{ m} \\
 M_{pl,rd} & - \text{návrhový pl. moment únosnosti celého průřezu} & A_{w1} = A_{w2} & = 0,0075 \text{ m}^2 \\
 M_{pl,rd} & = (W_{pl} \cdot f_{yd}) / \gamma_{m0} & W_{pl} & = 0,010385 \text{ m}^3 & z_{w1} = z_{w2} & = 0,1565 \text{ m} \\
 M_{pl,rd} & = \underline{\underline{2\,171,4 \text{ kNm}}} & f_{yd} & = 230,0 \text{ MPa} & A_{pas.úhel} & = 0,00029 \text{ m}^2 \\
 & & & & z_u & = 0,3008 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Zatížitelnost tedy bude

$$4 \cdot k \cdot Z_{LM71}^2 \cdot \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} \cdot (\eta_{1,LM71} + 8 \cdot k \cdot \eta_{3,LM71} \cdot \eta_{3,rs} - 4 \cdot k \cdot \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 \cdot k \cdot \eta_{3,rs}^2 - 4 \cdot k \cdot \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

$$4 \cdot 0,441 \cdot Z_{LM71}^2 \cdot 0,496 + Z_{LM71} (0,571 + 8 \cdot 0,441 \cdot 0,496 \cdot 0,022 - 4 \cdot 0,441 \cdot 0,496) + 0,03 + 4 \cdot 0,441 \cdot 0,022^2 - 4 \cdot 0,441 \cdot 0,022 + 0,441 - 1 = 0$$

$$\begin{aligned}
 A & = 4 \cdot k \cdot \eta_{3,LM71} \\
 A & = 4 \cdot 0,441 \cdot 0,496 \\
 A & = 0,875
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B & = \eta_{1,LM71} + 8 \cdot k \cdot \eta_{3,LM71} \cdot \eta_{3,rs} - 4 \cdot k \cdot \eta_{3,LM71} \\
 B & = 0,571 + 8 \cdot 0,441 \cdot 0,496 \cdot 0,022 - 4 \cdot 0,441 \cdot 0,496 \\
 B & = -0,265
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C & = \eta_{1,rs} + 4 \cdot k \cdot \eta_{3,rs}^2 - 4 \cdot k \cdot \eta_{3,rs} + k - 1 \\
 C & = 0,03 + 4 \cdot 0,441 \cdot 0,022^2 - 4 \cdot 0,441 \cdot 0,022 + 0,441 - 1 \\
 C & = -0,567
 \end{aligned}$$

$$Z_{LM71}^2 \cdot 0,875 + Z_{LM71} (-0,265) - 0,567 = 0$$

$$\begin{aligned}
 D & = b^2 - 4 \cdot a \cdot c \\
 D & = -0,265^2 - 4 \cdot 0,875 \cdot (-0,567) \\
 D & = \underline{\underline{2,055}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_{LM71,1,2} & = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a} \\
 Z_{LM71,1,2} & = \frac{-0,265 \pm \sqrt{2,055}}{2 \cdot 0,875} \\
 Z_{LM71,1} & = \underline{\underline{1,143}}
 \end{aligned}$$

Po zesílení horní a dolní pásnice o 9 mm prvek unese 114% modelu UIC-71

6.4 Hlavní nosník č. 4

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = 1,011 \text{ MPa}$$

$$Y_{m0} = 1,10$$

$$Y_{m1} = 1,20$$

$$Y_{m2} = 1,30$$

Rozměry nosníků

$$\text{Výška } H = 668 \text{ mm}$$

$$\text{Tl. pásnice } t_{f,h} = 9 \text{ mm}$$

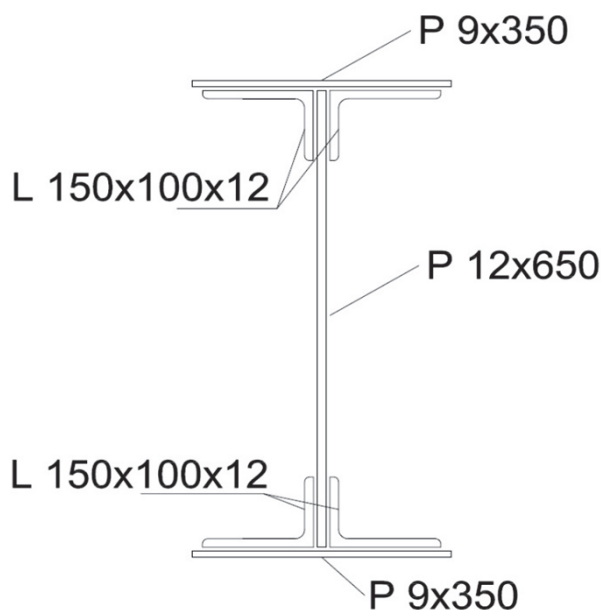
$$\text{Tl. pásnice } t_{f,d} = 9 \text{ mm}$$

$$\text{Šířka pásnic} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Výška stojiny } h_w = 626 \text{ mm}$$

$$\text{Tl. stojiny} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Vzdál. příčníků} = 1\,660 \text{ mm}$$



Průřezové charakteristiky *

$$A = 0,0255980 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,0020085 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,0001250 \text{ m}^4$$

$$i_y = 280 \text{ mm}$$

$$i_z = 70 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0060134 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0007142 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0068022 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0012053 \text{ m}^3$$

Hodnoty maximálních vnitřních sil **

$$N = 509,1 \text{ kN}$$

$$V_y = 47,50 \text{ kN}$$

$$V_z = 544,70 \text{ kN}$$

$$M_y = 390,3 \text{ kNm}$$

* Průřezové charakteristiky vypočítal program Scia Engineer

** Hodnoty maximálních vnitřních sil vypočítal program Scia Engineer

Posouzení účinků boulení

Stanovení součinitele boulení ρ dle ČSN EN 1993-1-5

$$\rho = \frac{\lambda_p - 0,055(3 + \psi)}{\lambda_p^2} \quad \text{kde } \lambda_p = \frac{\bar{b}_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

\bar{b}_c - příslušná šířka dle EN 1993-1-1

$$\rho = 1,00 \text{ pokud } \lambda_p \leq 0,673$$

k_σ - součinitel kritického napětí

ψ - poměr napětí σ_2/σ_1

$$W_{\sigma_1} = I_y/z_1$$

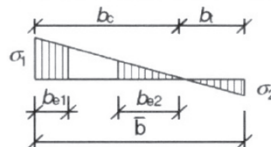
$$z_1 = b_c = 325,00 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma_1} = 0,0061800 \text{ m}^3$$

$$z_2 = b_t = -325,00 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma_2} = I_y/z_2$$

$$W_{\sigma_2} = -0,006180 \text{ m}^3$$



$\psi < 0$:

$$b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$$

$$b_{e1} = 0,4 b_{eff}$$

$$b_{e2} = 0,6 b_{eff}$$

$$\sigma_1 = Med/W_{\sigma_1}$$

$$\sigma_2 = Med/W_{\sigma_2}$$

$$\sigma_1 = 63,16 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -63,16 \text{ MPa}$$

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$$

$$\psi = -1$$

$$k_\sigma = 23,88$$

$$\lambda_p = \frac{b_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{325,0/12}{28,4 * 1,011 * \sqrt{23,88}}$$

$$\lambda_p = \underline{\underline{0,193}}$$

Jelikož je $\lambda_p \leq 0,673$ bude součinitel boulení $\rho = 1$

Prvek není náchylný k boulení

Posouzení únosnosti příčného řezu

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y * A_{eff}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} * e_n}{f_y * W_{eff}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \frac{509100}{\frac{230 * 10^6 * 0,0256}{1,10}} + \frac{390300 + 509100 * 0}{\frac{230 * 10^6 * 0,006013}{1,10}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \underline{\underline{0,377}} < 1,0$$

Prvek vyhovuje podmínce

Unosnost hlavního nosníku ve smyku dle ČSN 1993-1-5

$$\alpha = a/h_w$$

a - vzdálenost příčníků = 1 660 mm

$$\alpha = 2,65$$

h_w - výška stojiny = 626 mm

Návrhová únosnost

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Příspěvek stojiny

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Součinitel příspěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku (ČSN EN 1993-1-5 tab.5.1)

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$	η	η
$0,83/\eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83/\bar{\lambda}_w$	$0,83/\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37/(0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83/\bar{\lambda}_w$

Upravená štíhlost λ_w se určí podle vztahu (5.6) ČSN EN 1993 - 1 - 5

$$\lambda_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} \quad \begin{array}{l} k_\tau = 5,34 + 4,00 * (h_w/a)^2 + k_{tsl} \\ k_\tau = 5,909 \end{array}$$

$$\lambda_w = \frac{626}{37,4 * 12 * 1,011 * \sqrt{5,909}}$$

$$\lambda_w = 0,568 \quad \lambda_w < 0,83/\eta$$

Dle tabulky 5.1 v ČSN EN 1993-1-5 $\chi_w = 1$ $\chi = 1$
 $\eta = 1,2$

Příspěvek stojiny tedy bude

Největší dovolená únosnost

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} \quad \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} = 997,52 \text{ kN}$$

$$V_{bw,rd} = \frac{1 * 230 * 626 * 12}{\sqrt{3} * 1,2}$$

$$V_{bw,rd} = 831\,268,92 \text{ N}$$

$$V_{bw,rd} = \underline{\underline{831,27 \text{ kN}}}$$

Příspěvek pásnice

$$V_{bf,rd} = \frac{b_f t^2 f_{yt}}{c \gamma_{m1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right)$$

$$b_f \leq 15 \varepsilon t_f$$

$$350 \text{ mm} \geq 136,49 \text{ mm}$$

$$V_{bf,rd} = \frac{136,49 * 9^2 * 230}{0,421 * 1,2} * \left(1 - \left(\frac{390,3}{490,5} \right)^2 \right)$$

$$c = a \left(0,25 + \frac{1,6 b_f t^2 f_{yt}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right)$$

$$V_{bf,rd} = \underline{\underline{1,846 \text{ kN}}}$$

$$c = 0,4210 \text{ m}$$

Celková návrhová únosnost $V_{b,rd}$

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

$$V_{b,rd} = 831,269 + 1,846$$

$$V_{b,rd} = \underline{\underline{833,115 \text{ kN}}} < \underline{\underline{997,52 \text{ kN}}}$$

Posouzení hlavního nosníku na smyk (podmínka $\eta_3 \leq 1$)

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{544,7}{833,12}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,654}} < 1 \quad \text{Prvek vyhovuje podmínice}$$

Interakce mezi osovou smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{390,3}{1422,3} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,rd}} = \frac{544,7}{831,27}$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{\underline{0,27}} \quad \bar{\eta}_3 = \underline{\underline{0,655}} > 0,5$$

Jelikož je $\bar{\eta}_3 > 0,5$, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojině splňovat podmínku:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0} \quad W_{fy} = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{490,5 \text{ kNm}}} \quad W_{fy} = \underline{\underline{0,002346 \text{ m}^3}} \quad A_{f1} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3175 \text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průře;

$$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0} \quad W_{pl} = 0,006802 \text{ m}^3 \quad A_{f2} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1 422,3 \text{ kNm}}} \quad f_{yd} = 230,0 \text{ MPa} \quad z_2 = 0,3175 \text{ m}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0075 \text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$$

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1 \quad A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008 \text{ m}$$

$$0,27 + \left(1 - \frac{490,5}{1422,3}\right) * (2 * 0,655 - 1)^2 \leq 1$$

$$\underline{\underline{0,333}} < 1,0$$

Prvek vyhovuje podmínice

Pozouzení na klopení dle ČSN EN 1993-1-1

Pruty s jednotlivými příčnými podporami tlačené pásnice nejsou citlivé na klopení jestliže vzdálenost L_c mezi příčnými podporymi nebo výsledná štíhlost $\bar{\lambda}_1$ ekvivalentní tlačené pásnice vyhovuje podmínice:

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \quad \begin{array}{l} \lambda_1 = 93,9^* \varepsilon \\ \lambda_1 = 94,93 \end{array}$$

$$M_{c,rd} = W_y * f_y / \gamma_{m1}$$

W_y - příslušný modul průřezu, vztažený k tlačené pásnici

k_c - opravný součinitel štíhlosti dle ČSN EN 1993-1-1

L_c - vzdálenost příč. ztužení (vzdál. mostnic) = 0,58 m

$i_{f,z}$ - poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice, složené z pásnice a 1/3 tlačené části plochy stojiny k ose nejmenší tuhosti průřez

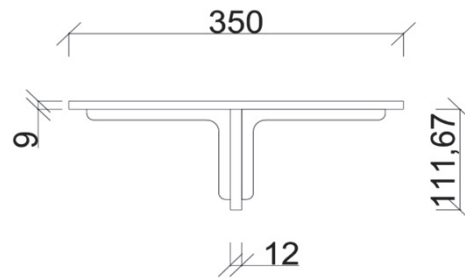
$$I_z = 0,00006239 \text{ m}^4$$

$$A = 0,01023300 \text{ m}^2$$

$$W_y = 0,0060134 \text{ m}^3$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{eff,f}}{A_{eff,f} + \frac{1}{3} A_{eff,w,c}}} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

$$i_{f,z} = 78,1 \text{ mm}$$



$$\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,4 + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,5$$

$$M_{c,rd} = W_y * f_y / \gamma_{m1}$$

$$M_{c,rd} = 1\,257,3 \text{ kNm}$$

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$$

$$k_c = 0,602$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{0,602 * 580}{78,1 * 94,93} \leq 0,5 \frac{1257,3}{390,3}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \underline{\underline{0,047}} < \underline{\underline{1,611}}$$

Prvek vyhovuje podmínice

6.4.1 Zatížitelnost hlavního nosníku č. 4

Návrhové hodnoty vnitřních sil od vlaku UIC - 71

$N_{r,LM71,Ed}$ [kN]	$V_{z,LM71,Ed}$ [kN]	$M_{y,LM71,Ed}$ [kNm]	$M_{z,LM71,Ed}$ [kNm]
464,5	521,6	374,5	15,5

Návrhové hodnoty vnitřních sil od kombinace všech ostatních zatížení

$N_{rs,Ed}$ [kN]	$V_{z,rs,Ed}$ [kN]	$M_{y,rs,Ed}$ [kNm]	$M_{z,rs,Ed}$ [kNm]
45,3	23,1	15,8	1,9

Pružové charakteristiky

$A = 0,0255980 \text{ m}^2$	$f_y = 230,0 \text{ MPa}$
$I_y = 0,0020085 \text{ m}^4$	$f_u = 360,0 \text{ MPa}$
$I_z = 0,0001250 \text{ m}^4$	$\gamma_{m0} = 1,10$
$i_y = 280 \text{ mm}$	$\gamma_{m1} = 1,20$
$i_z = 70 \text{ mm}$	$\gamma_{m2} = 1,30$
$W_{el,y} = 0,0060134 \text{ m}^3$	
$W_{el,z} = 0,0007142 \text{ m}^3$	
$W_{pl,y} = 0,0068022 \text{ m}^3$	
$W_{pl,z} = 0,0012053 \text{ m}^3$	

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

Podmínka

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,rd}} \leq 0,5$$

pro ověření podmínky η_3 se bere $Z_{LM71} = 1,0$

$$V_{ed} = Z_{LM71} * V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{ed} = 1 * 521,6 + 23,1$$

$$V_{ed} = \underline{\underline{544,7 \text{ kN}}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{230 * 10^3 * 0,626 * 0,012}{\sqrt{3} * 1,10}$$

$$V_{pl,rd} = \underline{\underline{906,84 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{544,7}{906,84}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,601}} > 0,5$$

Prvek na smyk vyhovuje, ale jelikož je $\eta_3 > 0,5$ zatížitelnost se určí z kvadratické rovnice:

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

kde

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{rs,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,rs,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,rs,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,rs} = \frac{45300}{\frac{0,0256 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{15800}{\frac{0,006013 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{1900}{\frac{0,000714 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,rs} = \underline{\underline{0,034}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,LM71,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,LM71,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{464500}{\frac{0,0256 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{374500}{\frac{0,0060134 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{15500}{\frac{0,0007142 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \underline{\underline{0,488}}$$

$$\eta_{3,rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{23,1}{906,84}$$

$$\eta_{3,rs} = \underline{\underline{0,025}}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{521,6}{906,84}$$

$$\eta_{3,LM71} = \underline{\underline{0,575}}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right)$$

$$k = 1 - \left(\frac{490,5}{1422,3} \right)$$

$$k = \underline{\underline{0,655}}$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnoti pásnic

$$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0} \quad W_{fy} = 0,002346 \text{ m}^3$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{490,5 \text{ kNm}}}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnoti celého průřezu

$$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0} \quad W_{pl} = 0,006802 \text{ m}^3$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1 422,3 \text{ kNm}}} \quad f_{yd} = 230,0 \text{ MPa}$$

Zatížitelnost tedy bude

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

$$4 * 0,655 * Z_{LM71}^2 * 0,575 + Z_{LM71} (0,488 + 8 * 0,655 * 0,575 * 0,025 - 4 * 0,655 * 0,575) + 0,034 + 4 * 0,655 * 0,025^2 - 4 * 0,655 * 0,025 + 0,655 - 1 = 0$$

$$A = 4 * K * \eta_{3,LM71}$$

$$A = 4 * 0,655 * 0,575$$

$$A = 1,507$$

$$B = \eta_{1,LM71} + 8 * K * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}$$

$$B = 0,488 + 8 * 0,655 * 0,757 * 0,025 - 4 * 0,655 * 0,575$$

$$B = -0,943$$

$$C = \eta_{1,rs} + 4 * K * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + K - 1$$

$$C = 0,034 + 4 * 0,655 * 0,025^2 - 4 * 0,655 * 0,025 + 0,655 - 1$$

$$C = -0,375$$

$$Z_{LM71}^2 * 1,507 + Z_{LM71} (-0,943) - 0,375 = 0$$

$$D = b^2 - 4 * a * c$$

$$D = -0,943^2 - 4 * 1,507 * (-0,375)$$

$$D = 3,15$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a}$$

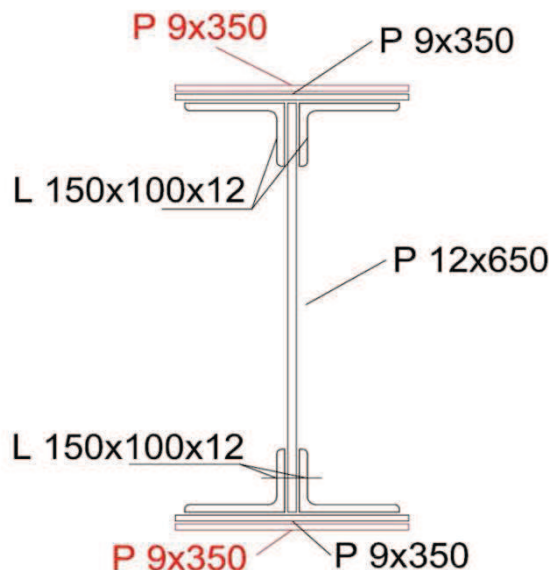
$$Z_{LM71,1,2} = \frac{0,943 \pm \sqrt{3,15}}{2 * 1,507}$$

$$Z_{LM71,1} = 0,902$$

Pro $Z_{LM71} > 1,0$ je nutné zesílit pásnice hlavního nosníků (na obr. červěně zvýrazněno)

Pružové charakteristiky

- A = 0,0318980 m²
- I_y = 0,0027304 m⁴
- I_z = 0,0001893 m⁴
- i_y = 293 mm
- i_z = 77 mm
- W_{el,y} = 0,0079603 m³
- W_{el,z} = 0,0010817 m³
- W_{pl,y} = 0,0089348 m³
- W_{pl,z} = 0,0017566 m³



pro ověření podmínky η_3 se bere $Z_{LM71} = 1,0$

$$V_{ed} = Z_{LM71} * V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{ed} = 1 * 521,6 + 23,1$$

$$V_{ed} = \underline{\underline{544,7 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{544,7}{906,84}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,601}} > 0,5$$

$$V_{pl,rd} = \frac{f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{230 * 10^3 * 0,626 * 0,012}{\sqrt{3} * 1,10}$$

$$V_{pl,rd} = \underline{\underline{906,84 \text{ kN}}}$$

Prvek na smyk vyhovuje, ale jelikož je $\eta_3 > 0,5$ zatížitelnost se určí z kvadratické rovnice:

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

kde

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{rs,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,rs,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,rs,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,rs} = \frac{45300}{\frac{0,0319 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{15800}{\frac{0,00796 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{1900}{\frac{0,001082 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,rs} = \underline{\underline{0,025}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,LM71,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,LM71,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{464500}{\frac{0,0319 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{374500}{\frac{0,00796 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{15500}{\frac{0,001082 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \underline{\underline{0,363}}$$

$$\eta_{3,rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{23,1}{906,84}$$

$$\eta_{3,rs} = \underline{\underline{0,025}}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{521,6}{906,84}$$

$$\eta_{3,LM71} = \underline{\underline{0,575}}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right)$$

$$k = 1 - \left(\frac{920,6}{1868,2} \right)$$

$$k = \underline{\underline{0,507}}$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic	$A_{f1} = 0,0063 \text{ m}^2$
$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$ $W_{fy} = 0,004403 \text{ m}^3$	$z_1 = 0,3220 \text{ m}$
<u><u>$M_{f,rd} = 920,6 \text{ kNm}$</u></u>	$A_{f2} = 0,0063 \text{ m}^2$
	$z_2 = 0,3220 \text{ m}$
$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průřezu:	$A_{w1} = A_{w2} = 0,0075 \text{ m}^2$
$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$ $W_{pl} = 0,008935 \text{ m}^3$	$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$
<u><u>$M_{pl,rd} = 1\,868,2 \text{ kNm}$</u></u>	$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$
	$z_u = 0,3008 \text{ m}$

Zatížitelnost tedy bude

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

$$4 * 0,507 * Z_{LM71}^2 * 0,575 + Z_{LM71} (0,363 + 8 * 0,507 * 0,575 * 0,025 - 4 * 0,507 * 0,575) + 0,025 + 4 * 0,507 * 0,025^2 - 4 * 0,507 * 0,025 + 0,507 - 1 = 0$$

$$A = 4 * K * \eta_{3,LM71}$$

$$A = 4 * 0,507 * 0,575$$

$$A = 1,166$$

$$B = \eta_{1,LM71} + 8 * K * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}$$

$$B = 0,336 + 8 * 0,507 * 0,575 * 0,026 - 4 * 0,507 * 0,575$$

$$B = -0,745$$

$$C = \eta_{1,rs} + 4 * K * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + K - 1$$

$$C = 0,025 + 4 * 0,507 * 0,025^2 - 4 * 0,507 * 0,025 + 0,507 - 1$$

$$C = -0,517$$

$$Z_{LM71}^2 * 1,166 + Z_{LM71} (-0,745) - 0,517 = 0$$

$$D = b^2 - 4 * a * c$$

$$D = -0,745^2 - 4 * 1,166 * (-0,517)$$

$$D = 2,966$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a}$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{0,745 \pm \sqrt{2,966}}{2 * 1,166}$$

$$Z_{LM71,1} = 1,058$$

Po zesílení horní a dolní pásnice o 9 mm prvek unese 106% modelu UIC-71

6.5 Hlavní nosník č. 5

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = 1,011 \text{ MPa}$$

$$Y_{m0} = 1,10$$

$$Y_{m1} = 1,20$$

$$Y_{m2} = 1,30$$

Rozměry nosníků

$$\text{Výška } H = 671 \text{ mm}$$

$$\text{tl. pásnice } t_{f,h} = 9 \text{ mm}$$

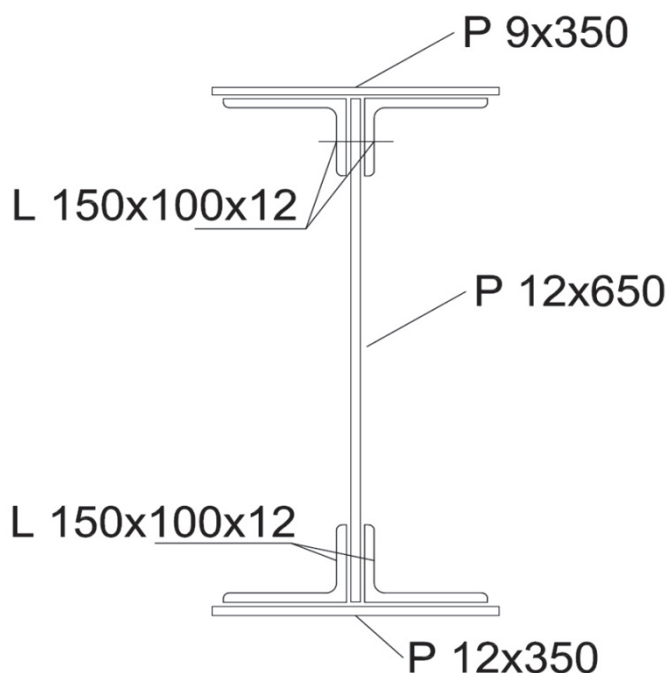
$$\text{tl. pásnice } t_{f,d} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Šířka pásnic} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Výška stojiny } h_w = 626 \text{ mm}$$

$$\text{tl. stojiny} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Vzdál. příčníků} = 1\,660 \text{ mm}$$



Průřezové charakteristiky *

$$A = 0,0266480 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,0021220 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,0001356 \text{ m}^4$$

$$i_y = 282 \text{ mm}$$

$$i_z = 71 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0061114 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0007754 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0071315 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0012972 \text{ m}^3$$

Hodnoty maximálních vnitřních sil **

$$N = 419,3 \text{ kN}$$

$$V_y = 46,20 \text{ kN}$$

$$V_z = 796,80 \text{ kN}$$

$$M_y = 166,0 \text{ kNm}$$

* Průřezové charakteristiky vypočítal program Scia Engineer

** Hodnoty maximálních vnitřních sil vypočítal program Scia Engineer

Posouzení účinků boulení

Stanovení součinitele boulení ρ dle ČSN EN 1993-1-5

$$\rho = \frac{\lambda_p - 0,055(3 + \psi)}{\lambda_p^2} \quad \text{kde } \lambda_p = \frac{\bar{b}_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

\bar{b}_c - příslušná šířka dle EN 1993-1-1

$$\rho = 1,00 \text{ pokud } \lambda_p \leq 0,673$$

k_σ - součinitel kritického napětí

ψ - poměr napětí σ_2/σ_1

$$W_{\sigma 1} = I_y/z_1$$

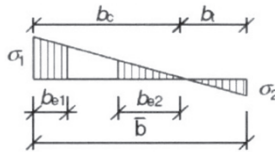
$$z_1 = b_c = 342,57 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 1} = 0,0061944 \text{ m}^3$$

$$z_2 = b_t = -307,43 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 2} = I_y/z_2$$

$$W_{\sigma 2} = -0,006902 \text{ m}^3$$



$\psi < 0$:

$$b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$$

$$b_{e1} = 0,4 b_{eff}$$

$$b_{e2} = 0,6 b_{eff}$$

$$\sigma_1 = Med/W_{\sigma 1}$$

$$\sigma_2 = Med/W_{\sigma 2}$$

$$\sigma_1 = 26,80 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -24,05 \text{ MPa}$$

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$$

$$\psi = -0,897$$

$$k_\sigma = 21,321$$

$$\lambda_p = \frac{b_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{342,57/12}{28,4 * 1,011 * \sqrt{21,321}}$$

$$\lambda_p = \underline{\underline{0,215}}$$

Jelikož je $\lambda_p \leq 0,673$ bude součinitel boulení $\rho = 1$

Prvek není náchylný k boulení

Posouzení únosnosti příčného řezu

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y * A_{eff}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} * e_n}{f_y * W_{eff}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \frac{419300}{\frac{230 * 10^6 * 0,02665}{1,10}} + \frac{166000 + 419300 * 0}{\frac{230 * 10^6 * 0,006111}{1,10}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \underline{\underline{0,205}} < 1,0$$

Prvek vyhovuje podmínce

Unosnost hlavního nosníku ve smyku dle ČSN 1993-1-5

$$\alpha = a/h_w$$

a - vzdálenost příčníků = 1 660 mm

$$\alpha = 2,65$$

h_w - výška stojiny = 626 mm

Návrhová únosnost

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Příspěvek stojiny

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Součinitel příspěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku (ČSN EN 1993-1-5 tab.5.1)

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$	η	η
$0,83/\eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83/\bar{\lambda}_w$	$0,83/\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37/(0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83/\bar{\lambda}_w$

Upravená štíhlost λ_w se určí podle vztahu (5.6) ČSN EN 1993 - 1 - 5

$$\lambda_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} \quad k_\tau = 5,34 + 4,00 * (h_w/a)^2 + k_{\tau sl}$$

$$\lambda_w = \frac{626}{37,4 * 12 * 1,011 * \sqrt{5,909}} \quad k_\tau = 5,909$$

$$\lambda_w = 0,568 \quad \lambda_w < 0,83/\eta$$

Dle tabulky 5.1 v ČSN EN 1993-1-5 $\chi_w = 1$ $\chi = 1$
 $\eta = 1,2$

Příspěvek stojiny tedy bude

Největší dovolená únosnost

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} \quad \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} = 997,52 \text{ kN}$$

$$V_{bw,rd} = \frac{1 * 230 * 626 * 12}{\sqrt{3} * 1,2}$$

$$V_{bw,rd} = 831\,268,92 \text{ N}$$

$$V_{bw,rd} = \underline{\underline{831,27 \text{ kN}}}$$

Příspěvek pásnice

$$V_{bf,rd} = \frac{b_f t^2 f_{yt}}{c \gamma_{m1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right)$$

$$b_f \leq 15 \varepsilon t_f$$

$$350 \text{ mm} \geq 181,98 \text{ mm}$$

$$V_{bf,rd} = \frac{181,98 * 9^2 * 230}{0,423 * 1} * \left(1 - \left(\frac{166,0}{561,5} \right)^2 \right)$$

$$c = a \left(0,25 + \frac{1,6 b_f t^2 f_{yt}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right)$$

$$V_{bf,rd} = \underline{\underline{7,314 \text{ kN}}}$$

$$c = 0,4230 \text{ m}$$

Celková návrhová únosnost $V_{b,rd}$

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

$$V_{b,rd} = 831,269 + 7,314$$

$$V_{b,rd} = \underline{\underline{838,583 \text{ kN}}} < \underline{\underline{997,52 \text{ kN}}}$$

Posouzení hlavního nosníku na smyk (podmínka $\eta_3 \leq 1$)

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{796,8}{838,58}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,95}} < 1 \quad \text{Prvek vyhovuje podmínice}$$

Interakce mezi osovou smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{166,0}{1491,1} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,rd}} = \frac{796,8}{831,27}$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{\underline{0,11}} \quad \bar{\eta}_3 = \underline{\underline{0,96}} > 0,5$$

Jelikož je $\bar{\eta}_3 > 0,5$, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojině splňovat podmínku:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{561,5 \text{ kNm}}}$$

$$W_{fy} = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$W_{fy} = \underline{\underline{0,002685 \text{ m}^3}}$$

$$A_{f1} = 0,0042 \text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3190 \text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průře:

$$A_{f2} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$$

$$W_{pl} = 0,007132 \text{ m}^3$$

$$z_2 = 0,3175 \text{ m}$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1491,1 \text{ kNm}}}$$

$$f_{yd} = 230,0 \text{ MPa}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0038 \text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$$

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008 \text{ m}$$

$$0,11 + \left(1 - \frac{561,5}{1491,1}\right) * (2 * 0,96 - 1)^2 \leq 1$$

$$\underline{\underline{0,638}} < 1,0$$

Prvek vyhovuje podmínice

Pozouzení na klopení dle ČSN EN 1993-1-1

Pruty s jednotlivými příčnými podporami tlačené pásnice nejsou citlivé na klopení jestliže vzdálenost L_c mezi příčnými podporymi nebo výsledná štíhlost $\bar{\lambda}_1$ ekvivalentní tlačené pásnice vyhovuje podmínice:

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \quad \lambda_1 = 93,9^* \varepsilon$$

$$\lambda_1 = 94,93$$

$$M_{c,rd} = W_y * f_y / \gamma_{m1}$$

W_y - příslušný modul průřezu, vztažený k talčené pásnici

k_c - opravný součinitel štíhlosti dle ČSN EN 1993-1-1

L_c - vzdálenost příč. ztužení (vzdál. mostnic) = 0,58 m

$i_{f,z}$ - poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice, složené z pásnice a 1/3 tlačené části plochy stojiny k ose nejmenší tuhosti průřez

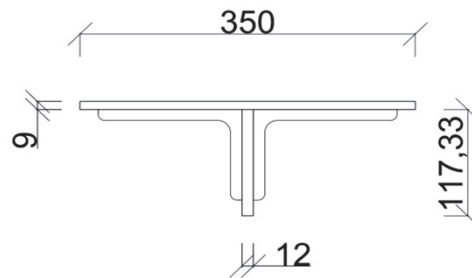
$$I_z = 0,00006239 \text{ m}^4$$

$$A = 0,01030100 \text{ m}^2$$

$$W_y = 0,0061114 \text{ m}^3$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{eff,f}}{A_{eff,f} + \frac{1}{3} A_{eff,w,c}}} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

$$i_{f,z} = 77,8 \text{ mm}$$



$$\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,4 + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,5$$

$$M_{c,rd} = W_y * f_y / \gamma_{m1}$$

$$M_{c,rd} = 1\,277,8 \text{ kNm}$$

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$$

$$k_c = 0,615$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{0,615 * 580}{77,8 * 97,09} \leq 0,5 \frac{1277,8}{166,0}$$

$$\bar{\lambda}_1 = 0,048 < 3,849$$

Prvek vyhovuje podmínice

6.5.1 Zatížitelnost hlavního nosníku č. 5

Návrhové hodnoty vnitřních sil od vlaku UIC - 71

$N_{r,LM71,Ed}$ [kN]	$V_{z,LM71,Ed}$ [kN]	$M_{y,LM71,Ed}$ [kNm]	$M_{z,LM71,Ed}$ [kNm]
374,7	768,2	154,0	18,7

Návrhové hodnoty vnitřních sil od kombinace všech ostatních zatížení

$N_{rs,Ed}$ [kN]	$V_{z,rs,Ed}$ [kN]	$M_{y,rs,Ed}$ [kNm]	$M_{z,rs,Ed}$ [kNm]
45,3	28,6	14,4	3,1

Pruževné charakteristiky

$$A = 0,0266480 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,0021220 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,0001356 \text{ m}^4$$

$$i_y = 282 \text{ mm}$$

$$i_z = 71 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0061114 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0007754 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0071315 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0012972 \text{ m}^3$$

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{m0} = 1,10$$

$$\gamma_{m1} = 1,20$$

$$\gamma_{m2} = 1,30$$

Podmínka

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,rd}} \leq 0,5$$

pro ověření podmínky η_3 se bere $Z_{LM71} = 1,0$

$$V_{ed} = Z_{LM71} * V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{ed} = 1 * 768,9 + 28,6$$

$$V_{ed} = \underline{\underline{796,8 \text{ kN}}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{230 * 10^3 * 0,626 * 0,012}{\sqrt{3} * 1,10}$$

$$V_{pl,rd} = \underline{\underline{906,84 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{796,8}{906,84}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,879}} > 0,5$$

Prvek na smyk vyhovuje, ale jelikož je $\eta_3 > 0,5$ zatížitelnost se určí z kvadratické rovnice:

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

kde

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{rs,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,rs,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,rs,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,rs} = \frac{45300}{\frac{0,02665 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{14400}{\frac{0,00611 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{3100}{\frac{0,000775 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,rs} = \underline{\underline{0,039}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,LM71,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,LM71,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{374700}{\frac{0,02665 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{154000}{\frac{0,00611 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{18700}{\frac{0,000775 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \underline{\underline{0,303}}$$

$$\eta_{3,rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{28,6}{906,84}$$

$$\eta_{3,rs} = \underline{\underline{0,032}}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{768,2}{906,84}$$

$$\eta_{3,LM71} = \underline{\underline{0,847}}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right)$$

$$k = 1 - \left(\frac{561,5}{1491,1} \right)$$

$$k = \underline{\underline{0,623}}$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnoti pásnic

$$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0} \quad W_{fy} = 0,002685 \text{ m}^3$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{561,5 \text{ kNm}}}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnoti celého průřezu

$$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0} \quad W_{pl} = 0,007132 \text{ m}^3$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1 491,1 \text{ kNm}}} \quad f_{yd} = 230,0 \text{ MPa}$$

Zatížitelnost tedy bude

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

$$4 * 0,623 * Z_{LM71}^2 * 0,847 + Z_{LM71} (0,303 + 8 * 0,623 * 0,847 * 0,032 - 4 * 0,623 * 0,847) + 0,039 + 4 * 0,623 * 0,032^2 - 4 * 0,623 * 0,032 + 0,623 - 1 = 0$$

$$A = 4 * K * \eta_{3,LM71}$$

$$A = 4 * 0,623 * 0,847$$

$$A = 2,111$$

$$B = \eta_{1,LM71} + 8 * K * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}$$

$$B = 0,303 + 8 * 0,623 * 0,847 * 0,032 - 4 * 0,623 * 0,847$$

$$B = -1,673$$

$$C = \eta_{1,rs} + 4 * K * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + K - 1$$

$$C = 0,039 + 4 * 0,623 * 0,032^2 - 4 * 0,623 * 0,032 + 0,623 - 1$$

$$C = -0,415$$

$$Z_{LM71}^2 * 2,111 + Z_{LM71} (-1,673) - 0,415 = 0$$

$$D = b^2 - 4 * a * c$$

$$D = -1,673^2 - 4 * 2,111 * (-0,415)$$

$$D = 6,303$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a}$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{0,943 \pm \sqrt{3,15}}{2 * 1,507}$$

$$Z_{LM71,1} = 0,991$$

Pro $Z_{LM71} \geq 1,0$ je nutné zesílit stojinu hlavního nosníků (na obr. červěně zvýrazněno)

Pruževé charakteristiky

$$A = 0,0279480 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,0021680 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,0001370 \text{ m}^4$$

$$i_y = 279 \text{ mm}$$

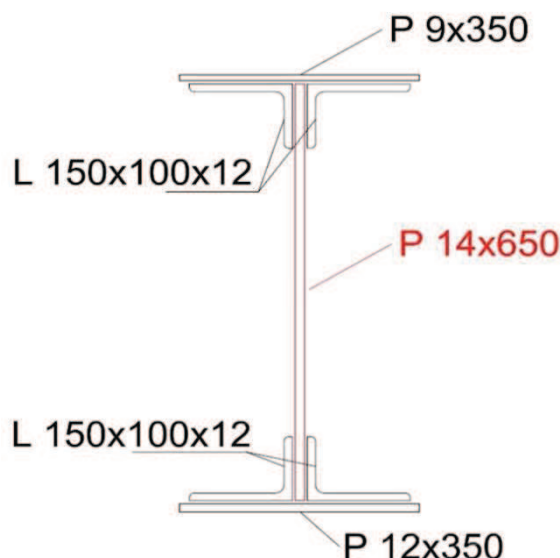
$$i_z = 70 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0062549 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0007830 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0073461 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0013171 \text{ m}^3$$



pro ověření podmínky η_3 se bere $Z_{LM71} = 1,0$

$$V_{ed} = Z_{LM71} * V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{ed} = 1 * 748,9 + 28,6$$

$$V_{ed} = \underline{\underline{796,8 \text{ kN}}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{230 * 10^3 * 0,626 * 0,014}{\sqrt{3} * 1,10}$$

$$V_{pl,rd} = \underline{\underline{1\,057,98 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{796,8}{1057,98}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,753}} > 0,5$$

Prvek na smyk vyhovuje, ale jelikož je $\eta_3 > 0,5$ zatížitelnost se určí z kvadratické rovnice:

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

kde

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{rs,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,rs,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,rs,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,rs} = \frac{45300}{\frac{0,02795 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{14400}{\frac{0,00625 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{3100}{\frac{0,00078 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,rs} = \underline{\underline{0,038}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,LM71,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,LM71,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{374700}{\frac{0,02795 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{154000}{\frac{0,00625 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{18700}{\frac{0,00078 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \underline{\underline{0,296}}$$

$$\eta_{3,rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{28,6}{1057,98}$$

$$\eta_{3,rs} = \underline{\underline{0,027}}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{768,2}{1057,98}$$

$$\eta_{3,LM71} = \underline{\underline{0,726}}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right)$$

$$k = 1 - \left(\frac{561,5}{1536,0} \right)$$

$$k = \underline{\underline{0,634}}$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic	$A_{f1} = 0,0032 \text{ m}^2$
$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$	$W_{fy} = 0,002685 \text{ m}^3$
$M_{f,rd} = \underline{\underline{561,5 \text{ kNm}}}$	$z_1 = 0,3175 \text{ m}$
	$A_{f2} = 0,0042 \text{ m}^2$
	$z_2 = 0,3190 \text{ m}$
$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průřezu:	$A_{w1} = A_{w2} = 0,0088 \text{ m}^2$
$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$	$W_{pl} = 0,007346 \text{ m}^3$
$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1\,536,0 \text{ kNm}}}$	$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$
	$f_{yd} = 230,0 \text{ MPa}$
	$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$
	$z_u = 0,3008 \text{ m}$

Zatížitelnost tedy bude

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

$$4 * 0,634 * Z_{LM71}^2 * 0,726 + Z_{LM71} (0,296 + 8 * 0,634 * 0,726 * 0,027 - 4 * 0,634 * 0,726) + 0,038 + 4 * 0,634 * 0,027^2 - 4 * 0,634 * 0,027 + 0,634 - 1 = 0$$

$$A = 4 * K * \eta_{3,LM71}$$

$$A = 4 * 0,634 * 0,726$$

$$A = 1,841$$

$$B = \eta_{1,LM71} + 8 * K * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}$$

$$B = 0,296 + 8 * 0,634 * 0,726 * 0,027 - 4 * 0,634 * 0,726$$

$$B = -1,446$$

$$C = \eta_{1,rs} + 4 * K * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + K - 1$$

$$C = 0,038 + 4 * 0,634 * 0,027^2 - 4 * 0,634 * 0,027 + 0,634 - 1$$

$$C = -0,395$$

$$Z_{LM71}^2 * 1,168 + Z_{LM71} (-0,771) - 0,52 = 0$$

$$D = b^2 - 4 * a * c$$

$$D = -1,446^2 - 4 * 1,814 * (-0,395)$$

$$D = \underline{\underline{5,00}}$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a}$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{1,446 \pm \sqrt{5,0}}{2 * 1,841}$$

$$Z_{LM71,1} = \underline{\underline{1,00}}$$

Po zasílení stojiny bude zatížitelnost průřezu 100% vlaku UIC-71

6.6 Hlavní nosník č. 6

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = 1,011 \text{ MPa}$$

$$Y_{m0} = 1,10$$

$$Y_{m1} = 1,20$$

$$Y_{m2} = 1,30$$

Rozměry nosníků

$$\text{Výška } H = 671 \text{ mm}$$

$$\text{tl. pásnice } t_{f,h} = 9 \text{ mm}$$

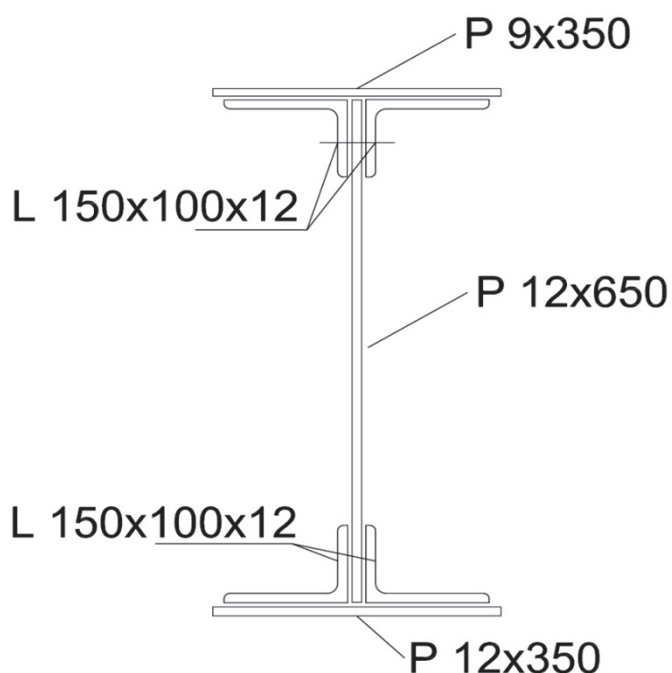
$$\text{tl. pásnice } t_{f,d} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Šířka pásnic} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Výška stojiny } h_w = 626 \text{ mm}$$

$$\text{tl. stojiny} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Vzdál. příčníků} = 1\,660 \text{ mm}$$



Průřezové charakteristiky *

$$A = 0,0266480 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,0021220 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,0001356 \text{ m}^4$$

$$i_y = 282 \text{ mm}$$

$$i_z = 71 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0061114 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0007754 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0071315 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0012972 \text{ m}^3$$

Hodnoty maximálních vnitřních sil **

$$N = 191,6 \text{ kN}$$

$$V_y = 50,70 \text{ kN}$$

$$V_z = 810,00 \text{ kN}$$

$$M_y = 101,5 \text{ kNm}$$

* Průřezové charakteristiky vypočítal program Scia Engineer

** Hodnoty maximálních vnitřních sil vypočítal program Scia Engineer

Posouzení účinků boulení

Stanovení součinitele boulení ρ dle ČSN EN 1993 - 1 - 5

$$\rho = \frac{\lambda_p - 0,055(3 + \psi)}{\lambda_p^2} \quad \text{kde } \lambda_p = \frac{\bar{b}_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

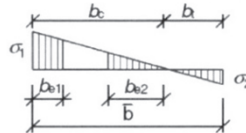
\bar{b}_c - příslušná šířka dle EN 1993-1-1
 k_σ - součinitel kritického napětí
 ψ - poměr napětí σ_2/σ_1

$$W_{\sigma 1} = I_y/z_1 \quad z_1 = b_c = 342,57 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 1} = 0,0061944 \text{ m}^3 \quad z_2 = b_t = -307,43 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 2} = I_y/z_2$$

$$W_{\sigma 2} = -0,006902 \text{ m}^3$$



$\psi < 0$:

$$b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$$

$$b_{e1} = 0,4 b_{eff} \quad b_{e2} = 0,6 b_{eff}$$

$$\sigma_1 = M_{ed}/W_{\sigma 1} \quad \sigma_2 = M_{ed}/W_{\sigma 2}$$

$$\sigma_1 = 16,39 \text{ MPa} \quad \sigma_2 = -14,71 \text{ MPa}$$

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1 \quad k_\sigma = 7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$$

$$\psi = -0,897 \quad k_\sigma = 21,321$$

$$\lambda_p = \frac{b_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{342,57/12}{28,4 * 1,011 * \sqrt{21,321}}$$

$$\lambda_p = \underline{\underline{0,215}}$$

Jelikož je $\lambda_p \leq 0,673$ bude součinitel boulení $\rho = 1$

Prvek není náchylný k boulení

Posouzení únosnosti příčného řezu

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{\frac{f_y * A_{eff}}{\gamma_{m0}}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} * e_n}{\frac{f_y * W_{eff}}{\gamma_{m0}}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \frac{191600}{\frac{230 * 10^6 * 0,02665}{1,10}} + \frac{1015000 + 191600 * 0}{\frac{230 * 10^6 * 0,006111}{1,10}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \underline{\underline{0,114}} < 1,0$$

Prvek vyhovuje podmínce

Unosnost hlavního nosníku ve smyku dle ČSN 1993-1-5

$$\alpha = a/h_w \quad a - \text{vzdálenost příčníků} = 1\,660 \text{ mm}$$

$$\alpha = 2,65 \quad h_w - \text{výška stojiny} = 626 \text{ mm}$$

Návrhová únosnost

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Příspěvek stojiny

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Součinitel přísěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku (ČSN EN 1993 - 1 - 5 tab.5.1)

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$	η	η
$0,83 / \eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37 / (0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$

Upravená štíhlost λ_w se určí podle vztahu (5.6) ČSN EN 1993 - 1 - 5

$$\lambda_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} \quad k_\tau = 5,34 + 4,00 * (h_w/a)^2 + k_{\tau sl}$$

$$k_\tau = 5,909$$

$$\lambda_w = \frac{626}{37,4 * 12 * 1,011 * \sqrt{5,909}}$$

$$\lambda_w = \underline{\underline{0,568}} \quad \lambda_w < 0,83/\eta$$

Dle tabulky 5.1 v ČSN EN 1993-1-5 $\chi_w = 1$ $\chi = 1$
 $\eta = 1,2$

Příspěvek stojiny tedy bude

Největší dovolená únosnost

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} \quad \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} = 997,52 \text{ kN}$$

$$V_{bw,rd} = \frac{1 * 230 * 626 * 12}{\sqrt{3} * 1,2}$$

$$V_{bw,rd} = 831\,268,92 \text{ N}$$

$$V_{bw,rd} = \underline{\underline{831,27 \text{ kN}}}$$

Příspěvek pásnice

$$V_{bf,rd} = \frac{b_f t^2 f_{yt}}{c \gamma_{m1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right)$$

$$b_f \leq 15 \varepsilon t_f$$

$$350 \text{ mm} \geq 181,98 \text{ mm}$$

$$V_{bf,rd} = \frac{181,98 * 9^2 * 230}{0,432 * 1,2} * \left(1 - \left(\frac{101,5}{561,5} \right)^2 \right)$$

$$c = a \left(0,25 + \frac{1,6 b_f t^2 f_{yt}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right)$$

$$V_{bf,rd} = \underline{\underline{6,461 \text{ kN}}}$$

$$c = 0,4230 \text{ m}$$

Celková návrhová únosnost $V_{b,rd}$

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

$$V_{b,rd} = 831,269 + 6,461$$

$$V_{b,rd} = \underline{\underline{837,73 \text{ kN}}} < \underline{\underline{997,52 \text{ kN}}}$$

Posouzení hlavního nosníku na smyk (podmínka $\eta_3 \leq 1$)

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{810,0}{837,73} \quad \eta_3 \leq 1$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,967}} > 1 \quad \text{Prvek vyhovuje podmínice}$$

Interakce mezi osovou smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{101,5}{1491,1} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,rd}} = \frac{810,0}{831,27}$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{\underline{0,07}} \quad \bar{\eta}_3 = \underline{\underline{0,97}} > 0,5$$

Jelikož je $\bar{\eta}_3 > 0,5$, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojině splňovat podmínku:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0} \quad W_{fy} = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{561,5 \text{ kNm}}} \quad W_{fy} = \underline{\underline{0,002685 \text{ m}^3}} \quad A_{f1} = 0,0042 \text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3190 \text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průřezu

$$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0} \quad W_{pl} = 0,007132 \text{ m}^3 \quad A_{f2} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1491,1 \text{ kNm}}} \quad f_{yd} = 230,0 \text{ MPa} \quad z_2 = 0,3175 \text{ m}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0038 \text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$$

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008 \text{ m}$$

$$0,07 + \left(1 - \frac{561,5}{1491,1}\right) * (2 * 0,97 - 1)^2 \leq 1$$

$$\underline{\underline{0,621}} < 1,0$$

Prvek vyhovuje podmínice

Pozouzení na klopen dle ČSN EN 1993-1-1

Pruty s jednotlivými příčnými podporami tlačené pásnice nejsou citlivé na klopení jestliže vzdálenost L_c mezi příčnými podporymi nebo výsledná štíhlost $\bar{\lambda}_1$ ekvivalentní tlačené pásnice vyhovuje podmínice:

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \bar{\lambda}_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \quad \begin{array}{l} \lambda_1 = 93,9^* \varepsilon \\ \lambda_1 = 94,93 \end{array}$$

$$M_{c,rd} = W_y * f_y / \gamma_{m1}$$

W_y - příslušný modul průřezu, vztažený k talčené pásnici

k_c - opravný součinitel štíhlosti dle ČSN EN 1993-1-1

L_c - vzdálenost příč. ztužení (vzdál. mostnic) = 0,58 m

$i_{f,z}$ - poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice, složené z pásnice a 1/3 tlačené části plochy stojiny k ose nejmenší tuhosti průřez

$$I_z = 0,00006303 \text{ m}^4$$

$$A = 0,01053600 \text{ m}^2$$

$$W_y = 0,0061114 \text{ m}^3$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{eff,f}}{A_{eff,f} + \frac{1}{3} A_{eff,w,c}}} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

$$i_{f,z} = 77,4 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,4 + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,5$$

$$M_{c,rd} = W_{yf} * f_y / \gamma_{m1}$$

$$M_{c,rd} = 1\,171,4 \text{ kNm}$$

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$$

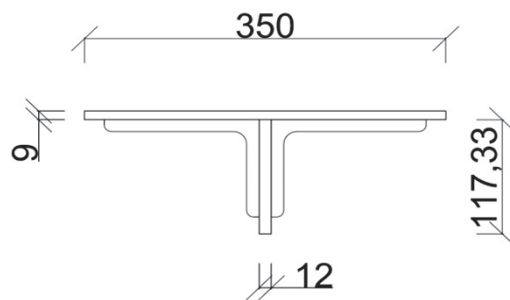
$$k_c = 0,615$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \bar{\lambda}_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{0,615 * 580}{77,4 * 94,93} \leq 0,5 \frac{1171,4}{101,5}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \underline{\underline{0,049}} < \underline{\underline{5,77}}$$

Prvek vyhovuje podmínice



6.6.1 Zatížitelnost hlavního nosníku č. 6

Návrhové hodnoty vnitřních sil od vlaku UIC - 71

$N_{r,LM71,Ed}$ [kN]	$V_{z,LM71,Ed}$ [kN]	$M_{y,LM71,Ed}$ [kNm]	$M_{z,LM71,Ed}$ [kNm]
184,3	749,4	97,1	20,5

Návrhové hodnoty vnitřních sil od kombinace všech ostatních zatížení

$N_{rs,Ed}$ [kN]	$V_{z,rs,Ed}$ [kN]	$M_{y,rs,Ed}$ [kNm]	$M_{z,rs,Ed}$ [kNm]
7,3	60,6	4,4	2,8

Pružové charakteristiky *

$$\begin{aligned}
 A &= 0,0266480 \text{ m}^2 \\
 I_y &= 0,0021220 \text{ m}^4 \\
 I_z &= 0,0001356 \text{ m}^4 \\
 i_y &= 282 \text{ mm} \\
 i_z &= 71 \text{ mm} \\
 W_{el,y} &= 0,0061114 \text{ m}^3 \\
 W_{el,z} &= 0,0007754 \text{ m}^3 \\
 W_{pl,y} &= 0,0071315 \text{ m}^3 \\
 W_{pl,z} &= 0,0012972 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$\begin{aligned}
 f_y &= 230,0 \text{ MPa} \\
 f_u &= 360,0 \text{ MPa} \\
 \gamma_{m0} &= 1,10 \\
 \gamma_{m1} &= 1,20 \\
 \gamma_{m2} &= 1,30
 \end{aligned}$$

Podmínka

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,rd}} \leq 0,5$$

pro ověření podmínky η_3 se bere $Z_{LM71} = 1,0$

$$\begin{aligned}
 V_{ed} &= Z_{LM71} * V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed} \\
 V_{ed} &= 1 * 749,4 + 60,6 \\
 V_{ed} &= \underline{\underline{810,0 \text{ kN}}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{pl,rd} &= \frac{f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}} \\
 V_{pl,rd} &= \frac{230 * 10^3 * 0,626 * 0,012}{\sqrt{3} * 1,10}
 \end{aligned}$$

$$V_{pl,rd} = \underline{\underline{906,84 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{810,0}{906,84}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,893}} > 0,5$$

Prvek na smyk vyhovuje, ale jelikož je $\eta_3 > 0,5$ zatížitelnost se určí z kvadratické rovnice:

$$\begin{aligned}
 4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) \\
 + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0
 \end{aligned}$$

kde

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{rs,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,rs,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,rs,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,rs} = \frac{7300}{0,02665 * 230 * 10^6} + \frac{4400}{0,006111 * 230 * 10^6} + \frac{2800}{0,000775 * 230 * 10^6}$$

$$\eta_{1,rs} = \underline{\underline{0,022}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,LM71,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,LM71,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{184300}{0,02665 * 230 * 10^6} + \frac{97100}{0,006111 * 230 * 10^6} + \frac{20500}{0,000775 * 230 * 10^6}$$

$$\eta_{1,LM71} = \underline{\underline{0,236}}$$

$$\eta_{3,rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{60,6}{906,84}$$

$$\eta_{3,rs} = \underline{\underline{0,067}}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{749,4}{906,84}$$

$$\eta_{3,LM71} = \underline{\underline{0,826}}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right)$$

$$k = 1 - \left(\frac{561,5}{1491,1} \right)$$

$$k = \underline{\underline{0,623}}$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnoti pásnic

$$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0} \quad W_{fy} = 0,002685 \text{ m}^3$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{561,5 \text{ kNm}}}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnoti celého průřezu

$$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0} \quad W_{pl} = 0,007132 \text{ m}^3$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1 491,1 \text{ kNm}}} \quad f_{yd} = 230,0 \text{ MPa}$$

Zatížitelnost tedy bude

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

$$4 * 0,623 * Z_{LM71}^2 * 0,826 + Z_{LM71} (0,236 + 8 * 0,623 * 0,826 * 0,022 - 4 * 0,623 * 0,826) + 0,022 + 4 * 0,623 * 0,067^2 - 4 * 0,623 * 0,067 + 0,623 - 1 = 0$$

$$A = 4 * K * \eta_{3,LM71}$$

$$A = 4 * 0,623 * 0,826$$

$$A = 2,058$$

$$B = \eta_{1,LM71} + 8 * K * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}$$

$$B = 0,236 + 8 * 0,623 * 0,826 * 0,022 - 4 * 0,623 * 0,826$$

$$B = -1,547$$

$$C = \eta_{1,rs} + 4 * K * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + K - 1$$

$$C = 0,022 + 4 * 0,623 * 0,067^2 - 4 * 0,623 * 0,067 + 0,623 - 1$$

$$C = -0,511$$

$$Z_{LM71}^2 * 2,058 + Z_{LM71} (-1,547) - 0,511 = 0$$

$$D = b^2 - 4 * a * c$$

$$D = -1,547^2 - 4 * 2,058 * (-0,511)$$

$$D = 6,6$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a}$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{1,547 \pm \sqrt{6,6}}{2 * 2,058}$$

$$Z_{LM71,1} = 1,00$$

Zatížitelnost $Z_{LM71} \geq 1,0$, nicméně stojina hlavního nosníků se bude zesilovat ze 12 na 14 mm kvůli velké posouvající síle

Pruževové charakteristiky

$$A = 0,0279480 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,0021680 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,0001370 \text{ m}^4$$

$$i_y = 279 \text{ mm}$$

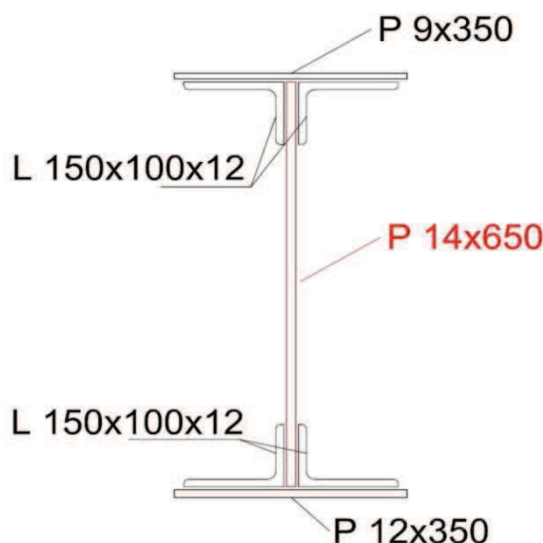
$$i_z = 70 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0062549 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0007830 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0073461 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0013171 \text{ m}^3$$



pro ověření podmínky η_3 se bere $Z_{LM71} = 1,0$

$$V_{ed} = Z_{LM71} * V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{ed} = 1 * 749,4 + 60,6$$

$$V_{ed} = \underline{\underline{810,0 \text{ kN}}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{230 * 10^3 * 0,626 * 0,014}{\sqrt{3} * 1,10}$$

$$V_{pl,rd} = 1\,057,98 \text{ kN}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{810,0}{1057,98}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,766}} > 0,5$$

Prvek na smyk vyhovuje, ale jelikož je $\eta_3 > 0,5$ zatížitelnost se určí z kvadratické rovnice:

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

kde

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{rs,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,rs,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,rs,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,rs} = \frac{7300}{0,02795 * 230 * 10^6} + \frac{4400}{0,00625 * 230 * 10^6} + \frac{2800}{0,00078 * 230 * 10^6}$$

$$\eta_{1,rs} = \underline{\underline{0,022}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,LM71,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,LM71,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{184300}{0,02795 * 230 * 10^6} + \frac{97100}{0,00625 * 230 * 10^6} + \frac{20500}{0,00078 * 230 * 10^6}$$

$$\eta_{1,LM71} = \underline{\underline{0,231}}$$

$$\eta_{3,rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{60,6}{1057,98}$$

$$\eta_{3,rs} = \underline{\underline{0,057}}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{749,4}{1057,98}$$

$$\eta_{3,LM71} = \underline{\underline{0,708}}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right)$$

$$k = 1 - \left(\frac{561,5}{1536,0} \right)$$

$$k = \underline{\underline{0,634}}$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic	$A_{f1} = 0,0042 \text{ m}^2$
$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$	$W_{fy} = 0,002685 \text{ m}^3$
$M_{f,rd} = \underline{\underline{561,5 \text{ kNm}}}$	$z_1 = 0,3190 \text{ m}$
	$A_{f2} = 0,0032 \text{ m}^2$
	$z_2 = 0,3175 \text{ m}$
$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průřezu:	$A_{w1} = A_{w2} = 0,0038 \text{ m}^2$
$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$	$W_{pl} = 0,007346 \text{ m}^3$
$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1\,536,0 \text{ kNm}}}$	$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$
	$f_{yd} = 230,0 \text{ MPa}$
	$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$
	$z_u = 0,3008 \text{ m}$

Zatížitelnost tedy bude

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

$$4 * 0,634 * Z_{LM71}^2 * 0,708 + Z_{LM71} (0,231 + 8 * 0,634 * 0,708 * 0,057 - 4 * 0,634 * 0,708) + 0,022 + 4 * 0,634 * 0,057^2 - 4 * 0,634 * 0,057 + 0,634 - 1 = 0$$

$$A = 4 * K * \eta_{3,LM71}$$

$$A = 4 * 0,634 * 0,708$$

$$A = 1,795$$

$$B = \eta_{1,LM71} + 8 * K * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}$$

$$B = 0,231 + 8 * 0,634 * 0,708 * 0,057 - 4 * 0,634 * 0,708$$

$$B = -1,36$$

$$C = \eta_{1,rs} + 4 * K * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + K - 1$$

$$C = 0,022 + 4 * 0,634 * 0,057^2 - 4 * 0,634 * 0,057 + 0,634 - 1$$

$$C = -0,48$$

$$Z_{LM71}^2 * 1,795 + Z_{LM71} (-1,36) - 0,48 = 0$$

$$D = b^2 - 4 * a * c$$

$$D = -1,36^2 - 4 * 1,795 * (-0,48)$$

$$D = \underline{\underline{5,30}}$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a}$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{1,446 \pm \sqrt{5,0}}{2 * 1,841}$$

$$Z_{LM71,1} = \underline{\underline{1,02}}$$

Po zasílení stojiny bude zatížitelnost průřezu 102% vlaku UIC-71

6.7 Hlavní nosník č. 7

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = 1,011 \text{ MPa}$$

$$Y_{m0} = 1,10$$

$$Y_{m1} = 1,20$$

$$Y_{m2} = 1,30$$

Rozměry nosníků

$$\text{Výška } H = 668 \text{ mm}$$

$$\text{Tl. pásnice } t_{f,h} = 9 \text{ mm}$$

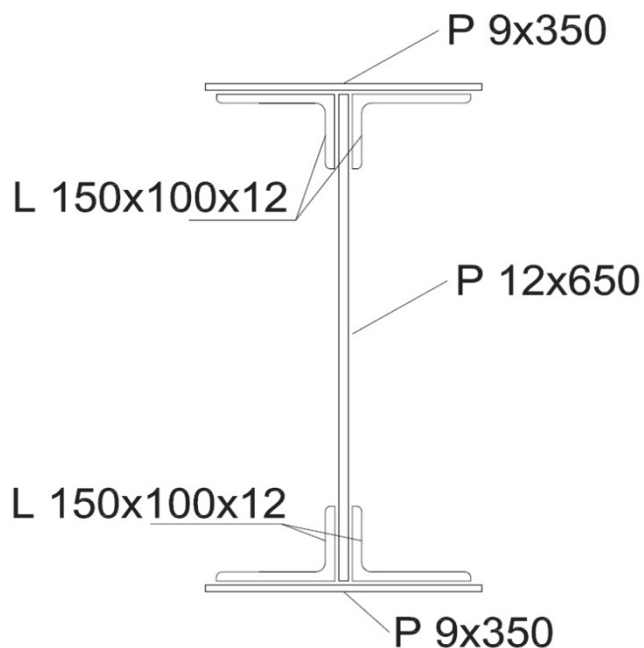
$$\text{Tl. pásnice } t_{f,d} = 9 \text{ mm}$$

$$\text{Šířka pásnic} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Výška stojiny } h_w = 626 \text{ mm}$$

$$\text{Tl. stojiny} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Vzdál. příčníků} = 1\,660 \text{ mm}$$



Průřezové charakteristiky *

$$A = 0,0255980 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,0020085 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,0001250 \text{ m}^4$$

$$i_y = 280 \text{ mm}$$

$$i_z = 70 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0060134 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0007142 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0068022 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0012053 \text{ m}^3$$

Hodnoty maximálních vnitřních sil **

$$N = 414,0 \text{ kN}$$

$$V_y = 49,30 \text{ kN}$$

$$V_z = 570,20 \text{ kN}$$

$$M_y = 375,7 \text{ kNm}$$

* Průřezové charakteristiky vypočítal program Scia Engineer

** Hodnoty maximálních vnitřních sil vypočítal program Scia Engineer

Posouzení účinků boulení

Stanovení součinitele boulení ρ dle ČSN EN 1993 - 1 - 5

$$\rho = \frac{\lambda_p - 0,055(3 + \psi)}{\lambda_p^2} \quad \text{kde } \lambda_p = \frac{\bar{b}_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

\bar{b}_c - příslušná šířka dle EN 1993-1-1

$$\rho = 1,00 \text{ pokud } \lambda_p \leq 0,673$$

k_σ - součinitel kritického napětí

ψ - poměr napětí σ_2/σ_1

$$W_{\sigma 1} = I_y/z_1$$

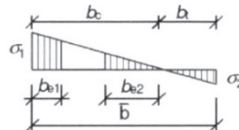
$$z_1 = b_c = 325,00 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 1} = 0,0061800 \text{ m}^3$$

$$z_2 = b_t = -325,00 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 2} = I_y/z_2$$

$$W_{\sigma 2} = -0,006180 \text{ m}^3$$



$\psi < 0$:

$$b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} (1 - \psi)$$

$$b_{e1} = 0,4 b_{eff}$$

$$b_{e2} = 0,6 b_{eff}$$

$$\sigma_1 = M_{ed}/W_{\sigma 1}$$

$$\sigma_2 = M_{ed}/W_{\sigma 2}$$

$$\sigma_1 = 60,79 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -60,79 \text{ MPa}$$

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$$

$$\psi = -1$$

$$k_\sigma = 23,88$$

$$\lambda_p = \frac{b_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{325,0/12}{28,4 * 1,011 * \sqrt{23,88}}$$

$$\lambda_p = \underline{\underline{0,193}}$$

Jelikož je $\lambda_p \leq 0,673$ bude součinitel boulení $\rho = 1$

Prvek není náchylný k boulení

Posouzení únosnosti příčného řezu

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y * A_{eff}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} * e_n}{f_y * W_{eff}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \frac{414000}{\frac{230 * 10^6 * 0,0256}{1,10}} + \frac{375700 + 414000 * 0}{\frac{230 * 10^6 * 0,00601}{1,10}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \underline{\underline{0,376}} < 1,0$$

Prvek vyhovuje podmínce

Unosnost hlavního nosníku ve smyku dle ČSN 1993-1-5

$$\alpha = a/h_w$$

a - vzdálenost příčníků = 1 660 mm

$$\alpha = 2,65$$

h_w - výška stojiny = 626 mm

Návrhová únosnost

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Příspěvek stojiny

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Součinitel přísěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku (ČSN EN 1993 - 1 - 5 tab.5.1)

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$	η	η
$0,83 / \eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37 / (0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$

Upravená štíhlost λ_w se určí podle vztahu (5.6) ČSN EN 1993 - 1 - 5

$$\lambda_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} \quad k_\tau = 5,34 + 4,00 * (h_w/a)^2 + k_{\tau sl}$$

$$k_\tau = 5,909$$

$$\lambda_w = \frac{626}{37,4 * 12 * a1,011 * \sqrt{5,909}}$$

$$\lambda_w = \underline{\underline{0,568}} \quad \lambda_w < 0,83/\eta$$

Dle tabulky 5.1 v ČSN EN 1993-1-5 $\chi_w = 1$ $\chi = 1$
 $\eta = 1,2$

Příspěvek stojiny tedy bude

Největší dovolená únosnost

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} \quad \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} = 997,52 \text{ kN}$$

$$V_{bw,rd} = \frac{1 * 230 * 626 * 12}{\sqrt{3} * 1,2}$$

$$V_{bw,rd} = 831\,268,92 \text{ N}$$

$$V_{bw,rd} = \underline{\underline{831,27 \text{ kN}}}$$

Příspěvek pásnice

$$V_{bf,rd} = \frac{b_f t^2 f_{yt}}{c \gamma_{m1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right)$$

$$b_f \leq 15 \varepsilon t_f$$

$$350 \text{ mm} \geq 136,49 \text{ mm}$$

$$V_{bf,rd} = \frac{136,49 * 9^2 * 230}{0,421 * 1,2} * \left(1 - \left(\frac{375,7}{490,5} \right)^2 \right)$$

$$c = a \left(0,25 + \frac{1,6 b_f t^2 f_{yt}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right)$$

$$V_{bf,rd} = \underline{\underline{2,080 \text{ kN}}}$$

$$c = 0,4210 \text{ m}$$

Celková návrhová únosnost $V_{b,rd}$

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

$$V_{b,rd} = 831,269 + 2,08$$

$$V_{b,rd} = \underline{\underline{833,349 \text{ kN}}} < \underline{\underline{997,52 \text{ kN}}}$$

Posouzení hlavního nosníku na smyk (podmínka $\eta_3 \leq 1$)

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{570,2}{833,77} \quad \eta_3 \leq 1$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,684}} < 1 \quad \text{Prvek vyhovuje podmínice}$$

Interakce mezi osovou smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{375,7}{1422,3} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,rd}} = \frac{570,2}{831,27}$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{\underline{0,26}} \quad \bar{\eta}_3 = \underline{\underline{0,69}} > 0,5$$

Jelikož je $\bar{\eta}_3 > 0,5$, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojině splňovat podmínku:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0} \quad W_{fy} = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{490,5 \text{ kNm}}} \quad W_{fy} = \underline{\underline{0,002346 \text{ m}^3}} \quad A_{f1} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3175 \text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průře;

$$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0} \quad W_{pl} = 0,006802 \text{ m}^3 \quad A_{f2} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1 422,3 \text{ kNm}}} \quad f_{yd} = 230,0 \text{ MPa} \quad z_2 = 0,3175 \text{ m}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0038 \text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$$

$$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008 \text{ m}$$

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$$0,26 + \left(1 - \frac{539,5}{1564,5}\right) * (2 * 0,69 - 1)^2 \leq 1$$

$$\underline{\underline{0,355}} < 1,0$$

Prvek vyhovuje podmínice

Pozouzení na klopen dle ČSN EN 1993-1-1

Pruty s jednotlivými příčnými podporami tlačené pásnice nejsou citlivé na klopení jestliže vzdálenost L_c mezi příčnými podporymi nebo výsledná štíhlost $\bar{\lambda}_1$ ekvivalentní tlačené pásnice vyhovuje podmínice:

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \quad \lambda_1 = 93,9^* \varepsilon$$

$$\lambda_1 = 94,93$$

$$M_{c,rd} = W_y * f_y / \gamma_{m1}$$

W_y - příslušný modul průřezu, vztažený k talčené pásnici

k_c - opravný součinitel štíhlosti dle ČSN EN 1993-1-1

L_c - vzdálenost příč. ztužení (vzdál. mostnic) = 0,58 m

$i_{f,z}$ - poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice, složené z pásnice a 1/3 tlačené části plochy stojiny k ose nejmenší tuhosti průřez

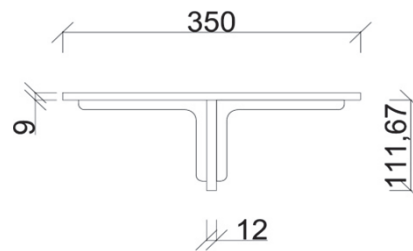
$$I_z = 0,00006239 \text{ m}^4$$

$$A = 0,01023300 \text{ m}^2$$

$$W_y = 0,0060134 \text{ m}^3$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{eff,f}}{A_{eff,f} + \frac{1}{3} A_{eff,w,c}}} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

$$i_{f,z} = 78,1 \text{ mm}$$



$$\bar{\lambda}_{c0} = \lambda_{LT,0} + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,4 + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,5$$

$$M_{c,rd} = W_{yf} * f_y / \gamma_{m1}$$

$$M_{c,rd} = 1\,152,6 \text{ kNm}$$

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$$

$$k_c = 0,602$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{0,602 * 580}{78,1 * 94,93} \leq 0,5 \frac{1152,6}{375,7}$$

$$\bar{\lambda}_1 = 0,047 < 1,534$$

Prvek vyhovuje podmínice

6.7.1 Zatížitelnost hlavního nosníku č. 7

Návrhové hodnoty vnitřních sil od vlaku UIC - 71

$N_{r,LM71,Ed}$ [kN]	$V_{z,LM71,Ed}$ [kN]	$M_{y,LM71,Ed}$ [kNm]	$M_{z,LM71,Ed}$ [kNm]
390	522,5	344,7	16,3

Návrhové hodnoty vnitřních sil od kombinace všech ostatních zatížení

$N_{rs,Ed}$ [kN]	$V_{z,rs,Ed}$ [kN]	$M_{y,rs,Ed}$ [kNm]	$M_{z,rs,Ed}$ [kNm]
24,0	47,6	31,0	2,0

Pružové charakteristiky *

$$\begin{aligned}
 A &= 0,0255980 \text{ m}^2 \\
 I_y &= 0,0020085 \text{ m}^4 \\
 I_z &= 0,0001250 \text{ m}^4 \\
 i_y &= 280 \text{ mm} \\
 i_z &= 70 \text{ mm} \\
 W_{el,y} &= 0,0060134 \text{ m}^3 \\
 W_{el,z} &= 0,0007142 \text{ m}^3 \\
 W_{pl,y} &= 0,0068022 \text{ m}^3 \\
 W_{pl,z} &= 0,0012053 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$\begin{aligned}
 f_y &= 230,0 \text{ MPa} \\
 f_u &= 360,0 \text{ MPa} \\
 \gamma_{m0} &= 1,10 \\
 \gamma_{m1} &= 1,20 \\
 \gamma_{m2} &= 1,30
 \end{aligned}$$

Podmínka

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,rd}} \leq 0,5$$

pro ověření podmínky η_3 se bere $Z_{LM71} = 1,0$

$$\begin{aligned}
 V_{ed} &= Z_{LM71} * V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed} \\
 V_{ed} &= 1 * 522,5 + 47,6 \\
 V_{ed} &= \underline{\underline{570,1 \text{ kN}}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{pl,rd} &= \frac{f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}} \\
 V_{pl,rd} &= \frac{230 * 10^3 * 0,626 * 0,012}{\sqrt{3} * 1,10}
 \end{aligned}$$

$$V_{pl,rd} = \underline{\underline{906,84 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{570,1}{906,84}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,629}} > 0,5$$

Prvek na smyk vyhovuje, ale jelikož je $\eta_3 > 0,5$ zatížitelnost se určí z kvadratické rovnice:

$$\begin{aligned}
 4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) \\
 + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0
 \end{aligned}$$

kde

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{rs,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,rs,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,rs,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,rs} = \frac{24000}{\frac{0,0256 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{31000}{\frac{0,00601 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{2000}{\frac{0,000714 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,rs} = \underline{\underline{0,043}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,LM71,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,LM71,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{390000}{\frac{0,0256 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{344700}{\frac{0,00601 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{16300}{\frac{0,000714 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \underline{\underline{0,456}}$$

$$\eta_{3,rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{47,6}{906,84}$$

$$\eta_{3,rs} = \underline{\underline{0,052}}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{522,5}{906,84}$$

$$\eta_{3,LM71} = \underline{\underline{0,576}}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right)$$

$$k = 1 - \left(\frac{490,5}{1422,3} \right)$$

$$k = \underline{\underline{0,655}}$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnoti pásnic

$$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{490,5 \text{ kNm}}}$$

$$W_{fy} = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$W_{fy} = 0,002346 \text{ m}^3$$

$$A_{f1} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3175 \text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnoti celého průřez

$$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1 \ 422,3 \text{ kNm}}}$$

$$W_{pl} = 0,006802 \text{ m}^3$$

$$A_{f2} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$z_2 = 0,3175 \text{ m}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0038 \text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$$

$$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008 \text{ m}$$

Zatížitelnost tedy bude

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

$$4 * 0,655 * Z_{LM71}^2 * 0,576 + Z_{LM71} (0,456 + 8 * 0,655 * 0,576 * 0,052 - 4 * 0,655 * 0,576) + 0,043 + 4 * 0,655 * 0,052^2 - 4 * 0,655 * 0,052 + 0,655 - 1 = 0$$

$$A = 4 * K * \eta_{3,LM71}$$

$$A = 4 * 0,655 * 0,576$$

$$A = 1,509$$

$$B = \eta_{1,LM71} + 8 * K * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}$$

$$B = 0,456 + 8 * 0,655 * 0,576 * 0,052 - 4 * 0,655 * 0,576$$

$$B = -0,896$$

$$C = \eta_{1,rs} + 4 * K * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + K - 1$$

$$C = 0,043 + 4 * 0,655 * 0,052^2 - 4 * 0,655 * 0,052 + 0,655 - 1$$

$$C = -0,431$$

$$Z_{LM71}^2 * 1,509 + Z_{LM71} (-0,896) - 0,431 = 0$$

$$D = b^2 - 4 * a * c$$

$$D = -0,896^2 - 4 * 1,509 * (-0,431)$$

$$D = 3,40$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a}$$

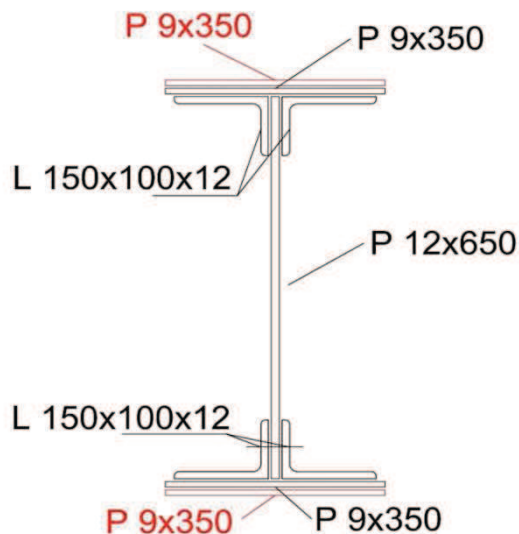
$$Z_{LM71,1,2} = \frac{0,896 \pm \sqrt{3,40}}{2 * 1,509}$$

$$Z_{LM71,1} = 0,91$$

Pro $Z_{LM71} \geq 1,0$ je nutné zesílit pásnice hlavního nosníků (na obr. červěně zvýrazněno)

Pružezové charakteristiky

- $A = 0,0318980 \text{ m}^2$
- $I_y = 0,0027304 \text{ m}^4$
- $I_z = 0,0001893 \text{ m}^4$
- $i_y = 293 \text{ mm}$
- $i_z = 77 \text{ mm}$
- $W_{el,y} = 0,0079603 \text{ m}^3$
- $W_{el,z} = 0,0010817 \text{ m}^3$
- $W_{pl,y} = 0,0089348 \text{ m}^3$
- $W_{pl,z} = 0,0017566 \text{ m}^3$



for verification of the condition η_3 is taken $Z_{LM71} = 1,0$

$$V_{ed} = Z_{LM71} * V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{ed} = 1 * 522,5 + 47,6$$

$$V_{ed} = \underline{\underline{570,1 \text{ kN}}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{230 * 10^3 * 0,626 * 0,012}{\sqrt{3} * 1,10}$$

$$V_{pl,rd} = \underline{\underline{906,84 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{570,1}{906,84}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,629}} > 0,5$$

Element for shear is suitable, but since $\eta_3 > 0,5$ the loadability is determined from the quadratic equation:

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

where

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{rs,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,rs,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,rs,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,rs} = \frac{24000}{\frac{0,0319 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{31000}{\frac{0,00796 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{2000}{\frac{0,001082 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,rs} = \underline{\underline{0,031}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,LM71,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,LM71,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{390000}{\frac{0,0319 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{344700}{\frac{0,00796 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{16300}{\frac{0,001082 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \underline{\underline{0,338}}$$

$$\eta_{3,rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{47,6}{906,84}$$

$$\eta_{3,rs} = \underline{\underline{0,052}}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{522,5}{906,84}$$

$$\eta_{3,LM71} = \underline{\underline{0,576}}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right)$$

$$k = 1 - \left(\frac{920,6}{1868,2} \right)$$

$$k = \underline{\underline{0,507}}$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic	$A_{f1} = 0,0063 \text{ m}^2$
$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$	$W_{fy} = 0,004403 \text{ m}^3$
$M_{f,rd} = \underline{\underline{920,6 \text{ kNm}}}$	$z_1 = 0,3220 \text{ m}$
	$A_{f2} = 0,0063 \text{ m}^2$
	$z_2 = 0,3220 \text{ m}$
$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průřezu:	$A_{w1} = A_{w2} = 0,0075 \text{ m}^2$
$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$	$W_{pl} = 0,008935 \text{ m}^3$
$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1\,868,2 \text{ kNm}}}$	$z_{w1} = z_{w2} = 0,0023 \text{ m}$
	$f_{yd} = 230,0 \text{ MPa}$
	$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$
	$z_u = 0,3008 \text{ m}$

Zatížitelnost tedy bude

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

$$4 * 0,507 * Z_{LM71}^2 * 0,576 + Z_{LM71} (0,338 + 8 * 0,507 * 0,576 * 0,052 - 4 * 0,507 * 0,576) + 0,031 + 4 * 0,507 * 0,052^2 - 4 * 0,507 * 0,052 + 0,507 - 1 = 0$$

$$A = 4 * K * \eta_{3,LM71}$$

$$A = 4 * 0,507 * 0,576$$

$$A = 1,168$$

$$B = \eta_{1,LM71} + 8 * K * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}$$

$$B = 0,338 + 8 * 0,507 * 0,576 * 0,052 - 4 * 0,507 * 0,576$$

$$B = -0,709$$

$$C = \eta_{1,rs} + 4 * K * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + K - 1$$

$$C = 0,031 + 4 * 0,507 * 0,052^2 - 4 * 0,507 * 0,052 + 0,507 - 1$$

$$C = -0,562$$

$$Z_{LM71}^2 * 1,168 + Z_{LM71} (-0,709) - 0,562 = 0$$

$$D = b^2 - 4 * a * c$$

$$D = -0,709^2 - 4 * 1,168 * (-0,562)$$

$$D = \underline{\underline{3,128}}$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a}$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{0,709 \pm \sqrt{3,128}}{2 * 1,168}$$

$$Z_{LM71,1} = \underline{\underline{1,06}}$$

Po zesílení horní a dolní pásnice o 9 mm prvek unese 106% modelu UIC-71

6.8 Hlavní nosník č. 8

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = 1,011 \text{ MPa}$$

$$Y_{m0} = 1,10$$

$$Y_{m1} = 1,20$$

$$Y_{m2} = 1,30$$

Rozměry nosníků

$$\text{Výška } H = 686 \text{ mm}$$

$$\text{Tl. pásnice } t_{f,h} = 18 \text{ mm}$$

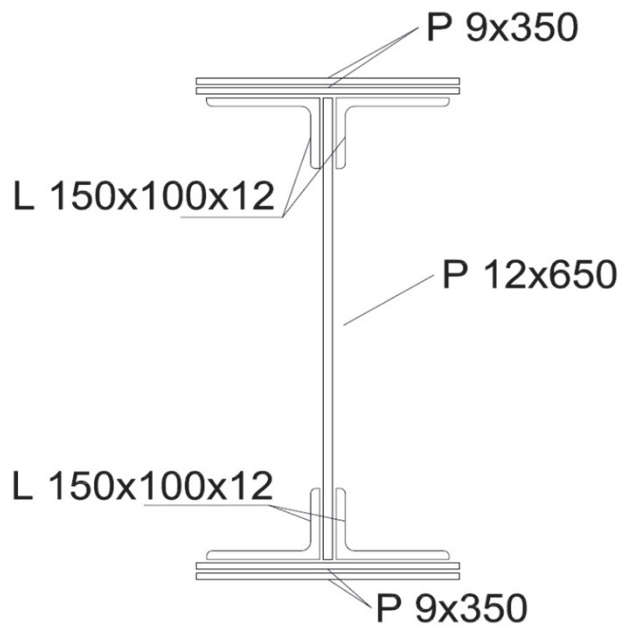
$$\text{Tl. pásnice } t_{f,d} = 18 \text{ mm}$$

$$\text{Šířka pásnic} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Výška stojiny } h_w = 626 \text{ mm}$$

$$\text{Tl. stojiny} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Vzdál. příčníků} = 1\,660 \text{ mm}$$



Průřezové charakteristiky *

$$A = 0,0318980 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,0027304 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,0001893 \text{ m}^4$$

$$i_y = 293 \text{ mm}$$

$$i_z = 77 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0079603 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0010817 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0089348 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0017566 \text{ m}^3$$

Hodnoty maximálních vnitřních sil **

$$N = 950,7 \text{ kN}$$

$$V_y = 58,40 \text{ kN}$$

$$V_z = 496,00 \text{ kN}$$

$$M_y = 791,8 \text{ kNm}$$

* Průřezové charakteristiky vypočítal program Scia Engineer

** Hodnoty maximálních vnitřních sil vypočítal program Scia Engineer

Posouzení účinků boulení

Stanovení součinitele boulení ρ dle ČSN EN 1993 - 1 - 5

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \quad \text{kde } \bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

$$\rho = 1,00 \text{ pokud } \bar{\lambda}_p \leq 0,673$$

\bar{b}_c - příslušná šířka dle EN 1993-1-1

k_σ - součinitel kritického napětí

ψ - poměr napětí σ_2/σ_1

$$W_{\sigma 1} = I_y/z_1$$

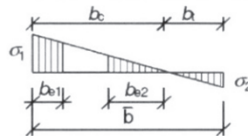
$$z_1 = b_c = 325,00 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 1} = 0,0084012 \text{ m}^3$$

$$z_2 = b_t = -325,00 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 2} = I_y/z_2$$

$$W_{\sigma 2} = -0,008401 \text{ m}^3$$



$\psi < 0$:

$$b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$$

$$b_{e1} = 0,4 b_{eff}$$

$$b_{e2} = 0,6 b_{eff}$$

$$\sigma_1 = Med/W_{\sigma 1}$$

$$\sigma_2 = Med/W_{\sigma 2}$$

$$\sigma_1 = 94,25 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -94,25 \text{ MPa}$$

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$$

$$\psi = -1$$

$$k_\sigma = 23,88$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{325,0/12}{28,4 * 1,011 * \sqrt{23,88}}$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{\underline{0,193}}$$

Jelikož je $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$ bude součinitel boulení $\rho = 1$

Prvek není náchylný k boulení

Posouzení únosnosti příčného řezu

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{\frac{f_y * A_{eff}}{\gamma_{m0}}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} * e_n}{\frac{f_y * W_{eff}}{\gamma_{m0}}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \frac{950700}{\frac{230 * 10^6 * 0,0319}{1,10}} + \frac{791800 + 950700 * 0}{\frac{230 * 10^6 * 0,00796}{1,10}} \leq 1$$

$$\eta_1 = 0,618 < 1,0$$

Prvek vyhovuje podmínce

Unosnost hlavního nosníku ve smyku dle ČSN 1993-1-5

$$\alpha = a/h_w$$

a - vzdálenost příčníků = 1 660 mm

$$\alpha = 2,65$$

h_w - výška stojiny = 626 mm

Návrhová únosnost

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Příspěvek stojiny

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Součinitel přísěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku (ČSN EN 1993 - 1 - 5 tab.5.1)

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$	η	η
$0,83/\eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83/\bar{\lambda}_w$	$0,83/\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37/(0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83/\bar{\lambda}_w$

Upravená štíhlost λ_w se určí podle vztahu (5.6) ČSN EN 1993 - 1 - 5

$$\lambda_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} \quad k_\tau = 5,34 + 4,00 * (h_w/a)^2 + k_{\tau sl}$$

$$k_\tau = 5,909$$

$$\lambda_w = \frac{626}{37,4 * 12 * 1,011 * \sqrt{5,909}}$$

$$\lambda_w = \underline{\underline{0,568}} \quad \lambda_w < 0,83/\eta$$

Dle tabulky 5.1 v ČSN EN 1993-1-5 $\chi_w = 1$ $\chi = 1$
 $\eta = 1,2$

Příspěvek stojiny tedy bude

Největší dovolená únosnost

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} \quad \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} = 997,52 \text{ kN}$$

$$V_{bw,rd} = \frac{1 * 230 * 626 * 12}{\sqrt{3} * 1,2}$$

$$V_{bw,rd} = 831\,268,92 \text{ N}$$

$$V_{bw,rd} = \underline{\underline{831,27 \text{ kN}}}$$

Příspěvek pásnice

$$V_{bf,rd} = \frac{b_f t^2 f_{yt}}{c \gamma_{m1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right)$$

$$b_f \leq 15 \varepsilon t_f$$

$$350 \text{ mm} \geq 272,97 \text{ mm}$$

$$V_{bf,rd} = \frac{272,97 * 18^2 * 230}{0,465 * 1,2} * \left(1 - \left(\frac{877,6}{2055,0} \right)^2 \right)$$

$$c = a \left(0,25 + \frac{1,6 b_f t^2 f_{yt}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right)$$

$$c = 0,4650 \text{ m}$$

$$V_{bf,rd} = \underline{\underline{9,485 \text{ kN}}}$$

Celková návrhová únosnost $V_{b,rd}$

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

$$V_{b,rd} = 831,269 + 9,485$$

$$V_{b,rd} = \underline{\underline{840,754 \text{ kN}}} < \underline{\underline{997,52 \text{ kN}}}$$

Posouzení hlavního nosníku na smyk (podmínka $\eta_3 \leq 1$)

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{496,0}{840,75} \quad \eta_3 \leq 1$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,59}} < 1,0 \quad \text{Prvek vyhovuje podmínce}$$

Interakce mezi osovou smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{791,8}{1868,2} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,rd}} = \frac{496,0}{831,27}$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{\underline{0,42}} \quad \bar{\eta}_3 = \underline{\underline{0,597}} > 0,5$$

Jelikož je $\bar{\eta}_3 > 0,5$, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojině splňovat podmínku:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0} \quad W_{fy} = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{920,6 \text{ kNm}}} \quad W_{fy} = \underline{\underline{0,004403 \text{ m}^3}} \quad A_{f1} = 0,0063 \text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3220 \text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průřez

$$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0} \quad W_{pl} = 0,008935 \text{ m}^3 \quad A_{f2} = 0,0063 \text{ m}^2$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1 868,2 \text{ kNm}}} \quad f_{yd} = 230,0 \text{ MPa} \quad z_2 = 0,3220 \text{ m}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0075 \text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$$

$$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008 \text{ m}$$

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$$0,42 + \left(1 - \frac{920,6}{1868,2}\right) * (2 * 0,597 - 1)^2 \leq 1$$

$$\underline{\underline{0,439}} < 1,0$$

Prvek vyhovuje podmínce

Pozouzení na klopen dle ČSN EN 1993-1-1

Pruty s jednotlivými příčnými podporami tlačené pásnice nejsou citlivé na klopení jestliže vzdálenost L_c mezi příčnými podporymi nebo výsledná štíhlost $\bar{\lambda}_1$ ekvivalentní tlačené pásnice vyhovuje podmínce:

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \quad \begin{array}{l} \lambda_1 = 93,9^* \varepsilon \\ \lambda_1 = 94,93 \end{array}$$

$$M_{c,rd} = W_y * f_y / \gamma_{m1}$$

W_y - příslušný modul průřezu, vztažený k tlačené pásnici

k_c - opravný součinitel štíhlosti dle ČSN EN 1993-1-1

L_c - vzdálenost příč. ztužení (vzdál. mostnic) = 0,58 m

$i_{f,z}$ - poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice, složené z pásnice a 1/3 tlačené části plochy stojiny k ose nejmenší tuhosti průřez

$$I_z = 0,00009454 \text{ m}^4$$

$$A = 0,01338300 \text{ m}^2$$

$$W_y = 0,0079603 \text{ m}^3$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{eff,f}}{A_{eff,f} + \frac{1}{3} A_{eff,w,c}}} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

$$i_{f,z} = 84,1 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,4 + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,5$$

$$M_{c,rd} = W_y * f_y / \gamma_{m1}$$

$$M_{c,rd} = 1\,525,7 \text{ kNm}$$

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$$

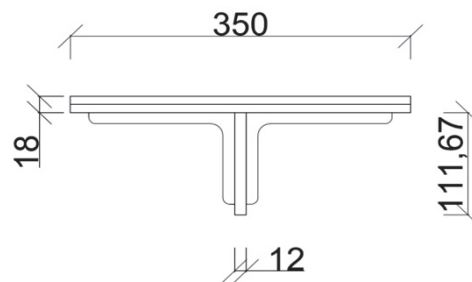
$$k_c = 0,602$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{0,602 * 580}{84,1 * 94,93} \leq 0,5 \frac{1525,7}{791,8}$$

$$\bar{\lambda}_1 = 0,044 < 0,963$$

Prvek vyhovuje podmínce



6.8.1 Zatížitelnost hlavního nosníku č. 8

Návrhové hodnoty vnitřních sil od vlaku UIC - 71

$N_{r,LM71,Ed}$ [kN]	$V_{z,LM71,Ed}$ [kN]	$M_{y,LM71,Ed}$ [kNm]	$M_{z,LM71,Ed}$ [kNm]
875,3	450,3	729,4	17,0

Návrhové hodnoty vnitřních sil od kombinace všech ostatních zatížení

$N_{rs,Ed}$ [kN]	$V_{z,rs,Ed}$ [kN]	$M_{y,rs,Ed}$ [kNm]	$M_{z,rs,Ed}$ [kNm]
76,4	45,7	62,4	2,6

Pružové charakteristiky

$$\begin{aligned}
 A &= 0,0318980 \text{ m}^2 \\
 I_y &= 0,0027304 \text{ m}^4 \\
 I_z &= 0,0001893 \text{ m}^4 \\
 i_y &= 293 \text{ mm} \\
 i_z &= 77 \text{ mm} \\
 W_{el,y} &= 0,0079603 \text{ m}^3 \\
 W_{el,z} &= 0,0010817 \text{ m}^3 \\
 W_{pl,y} &= 0,0089348 \text{ m}^3 \\
 W_{pl,z} &= 0,0017566 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$\begin{aligned}
 f_y &= 230,0 \text{ MPa} \\
 f_u &= 360,0 \text{ MPa} \\
 \gamma_{m0} &= 1,10 \\
 \gamma_{m1} &= 1,20 \\
 \gamma_{m2} &= 1,30
 \end{aligned}$$

Podmínka

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,rd}} \leq 0,5$$

pro ověření podmínky η_3 se bere $Z_{LM71} = 1,0$

$$\begin{aligned}
 V_{ed} &= Z_{LM71} * V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed} \\
 V_{ed} &= 1 * 450,3 + 45,7 \\
 V_{ed} &= \underline{\underline{496,0 \text{ kN}}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{pl,rd} &= \frac{f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}} \\
 V_{pl,rd} &= \frac{230 * 10^3 * 0,626 * 0,012}{\sqrt{3} * 1,10}
 \end{aligned}$$

$$V_{pl,rd} = \underline{\underline{906,84 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{496,0}{906,84}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,547}} > 0,5$$

Prvek na smyk vyhovuje, ale jelikož je $\eta_3 > 0,5$ zatížitelnost se určí z kvadratické rovnice:

$$\begin{aligned}
 4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) \\
 + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0
 \end{aligned}$$

kde

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{rs,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,rs,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,rs,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,rs} = \frac{76400}{0,03190 * 230 * 10^6} + \frac{62400}{0,00796 * 230 * 10^6} + \frac{2600}{0,00108 * 230 * 10^6}$$

$$\eta_{1,rs} = \underline{\underline{0,06}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,LM71,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,LM71,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{875300}{0,03190 * 230 * 10^6} + \frac{729400}{0,00796 * 230 * 10^6} + \frac{17000}{0,00108 * 230 * 10^6}$$

$$\eta_{1,LM71} = \underline{\underline{0,645}}$$

$$\eta_{3,rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{45,7}{906,84}$$

$$\eta_{3,rs} = \underline{\underline{0,05}}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{450,3}{906,84}$$

$$\eta_{3,LM71} = \underline{\underline{0,497}}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right)$$

$$k = 1 - \left(\frac{920,6}{1868,2} \right)$$

$$k = \underline{\underline{0,507}}$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnoti pásnic

$$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{920,6 \text{ kNm}}}$$

$$W_{fy} = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$W_{fy} = 0,004403 \text{ m}^3$$

$$A_{f1} = 0,0063 \text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3220 \text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnoti celého průře:

$$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1 \ 868,2 \text{ kNm}}}$$

$$W_{pl} = 0,008935 \text{ m}^3$$

$$A_{f2} = 0,0063 \text{ m}^2$$

$$z_2 = 0,3220 \text{ m}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0075 \text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$$

$$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008 \text{ m}$$

Zatížitelnost tedy bude

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

$$4 * 0,507 * Z_{LM71}^2 * 0,497 + Z_{LM71} (0,645 + 8 * 0,507 * 0,497 * 0,05 - 4 * 0,507 * 0,497) + 0,06 + 4 * 0,507 * 0,05^2 - 4 * 0,507 * 0,05 + 0,507 - 1 = 0$$

$$A = 4 * K * \eta_{3,LM71}$$

$$A = 4 * 0,507 * 0,497$$

$$A = 1,008$$

$$B = \eta_{1,LM71} + 8 * K * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}$$

$$B = 0,645 + 8 * 0,507 * 0,497 * 0,05 - 4 * 0,507 * 0,497$$

$$B = -0,262$$

$$C = \eta_{1,rs} + 4 * K * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + K - 1$$

$$C = 0,06 + 4 * 0,507 * 0,05^2 - 4 * 0,507 * 0,05 + 0,507 - 1$$

$$C = -0,529$$

$$Z_{LM71}^2 * 1,507 + Z_{LM71} (-0,943) - 0,375 = 0$$

$$D = b^2 - 4 * a * c$$

$$D = -0,943^2 - 4 * 1,507 * (-0,375)$$

$$D = 2,202$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a}$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{0,943 \pm \sqrt{3,15}}{2 * 1,507}$$

$$Z_{LM71,1} = 0,87$$

Pro $Z_{LM71} \geq 1,0$ je nutné zesílit pásnice hlavního nosníků (na obr. červěně zvýrazněno)

Pružové charakteristiky

$$A = 0,0360860 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,0032323 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,0002320 \text{ m}^4$$

$$i_y = 299 \text{ mm}$$

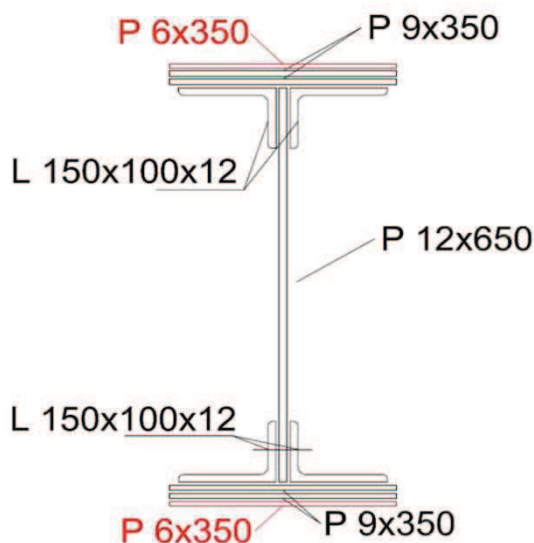
$$i_z = 80 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0092616 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0013259 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0103850 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0021231 \text{ m}^3$$



pro ověření podmínky η_3 se bere $Z_{LM71} = 1,0$

$$V_{ed} = Z_{LM71} * V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{ed} = 1 * 450,3 + 45,7$$

$$V_{ed} = \underline{\underline{496,0 \text{ kN}}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{230 * 10^3 * 0,626 * 0,012}{\sqrt{3} * 1,10}$$

$$V_{pl,rd} = \underline{\underline{906,84 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{496,0}{906,84}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,547}} > 0,5$$

Prvek na smyk vyhovuje, ale jelikož je $\eta_3 > 0,5$ zatížitelnost se určí z kvadratické rovnice:

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

kde

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{rs,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,rs,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,rs,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,rs} = \frac{76400}{\frac{0,0361 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{62400}{\frac{0,00926 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{2600}{\frac{0,00133 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,rs} = \underline{\underline{0,052}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,LM71,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,LM71,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{875300}{\frac{0,0361 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{729400}{\frac{0,00926 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{17000}{\frac{0,00133 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \underline{\underline{0,554}}$$

$$\eta_{3,rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{45,7}{906,84}$$

$$\eta_{3,rs} = \underline{\underline{0,05}}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{450,3}{906,84}$$

$$\eta_{3,LM71} = \underline{\underline{0,497}}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right)$$

$$k = 1 - \left(\frac{1213,9}{2171,4} \right)$$

$$k = \underline{\underline{0,441}}$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{1\,213,9\text{ kNm}}}$$

$$W_{fy} = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$W_{fy} = 0,005805\text{ m}^3$$

$$A_{f1} = 0,0084\text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3250\text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průřezu

$$A_{f2} = 0,0084\text{ m}^2$$

$$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$$

$$W_{pl} = 0,010385\text{ m}^3$$

$$z_2 = 0,3250\text{ m}$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{2\,171,4\text{ kNm}}}$$

$$f_{yd} = 1,1\text{ MPa}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0075\text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565\text{ m}$$

$$A_{pas.úhel} = 0,00029\text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008\text{ m}$$

Zatížitelnost tedy bude

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

$$4 * 0,441 * Z_{LM71}^2 * 0,497 + Z_{LM71} (0,554 + 8 * 0,441 * 0,497 * 0,05 - 4 * 0,441 * 0,497) + 0,052 + 4 * 0,441 * 0,05^2 - 4 * 0,441 * 0,05 + 0,441 - 1 = 0$$

$$A = 4 * K * \eta_{3,LM71}$$

$$A = 4 * 0,441 * 0,497$$

$$A = 0,877$$

$$B = \eta_{1,LM71} + 8 * K * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}$$

$$B = 0,554 + 8 * 0,441 * 0,497 * 0,05 - 4 * 0,441 * 0,497$$

$$B = -0,235$$

$$C = \eta_{1,rs} + 4 * K * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + K - 1$$

$$C = 0,052 + 4 * 0,441 * 0,05^2 - 4 * 0,441 * 0,05 + 0,441 - 1$$

$$C = -0,591$$

$$Z_{LM71}^2 * 0,966 + Z_{LM71} (-0,316) - 0,554 = 0$$

$$D = b^2 - 4 * a * c$$

$$D = -0,265^2 - 4 * 0,966 * (-0,554)$$

$$D = \underline{\underline{2,128}}$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a}$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{0,316 \pm \sqrt{2,128}}{2 * 0,966}$$

$$Z_{LM71,1} = \underline{\underline{1,17}}$$

Po zesílení horní a dolní pásnice o 9 mm prvek unese 106% modelu UIC-71

6.9 Hlavní nosník č. 9

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = 1,011 \text{ MPa}$$

$$Y_{m0} = 1,10$$

$$Y_{m1} = 1,20$$

$$Y_{m2} = 1,30$$

Rozměry nosníků

$$\text{Výška } H = 668 \text{ mm}$$

$$\text{Tl. pásnice } t_{f,h} = 9 \text{ mm}$$

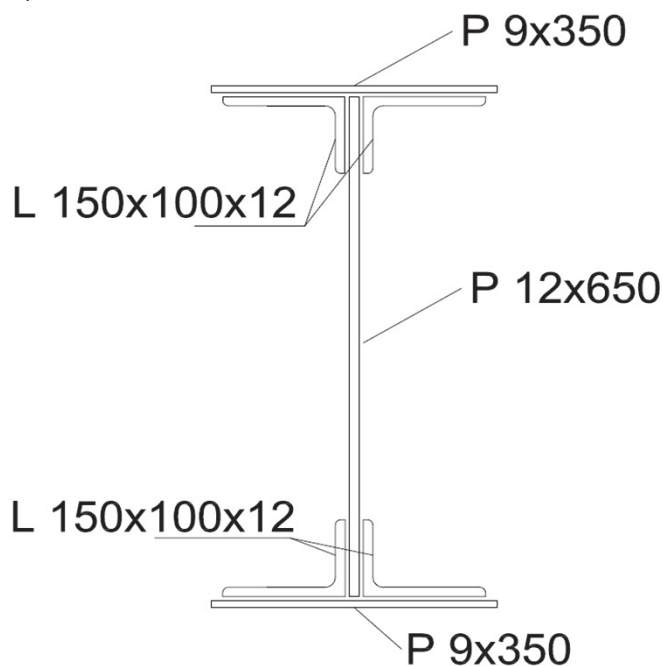
$$\text{Tl. pásnice } t_{f,d} = 9 \text{ mm}$$

$$\text{Šířka pásnic} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Výška stojiny } h_w = 626 \text{ mm}$$

$$\text{Tl. stojiny} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Vzdál. příčníků} = 1\,660 \text{ mm}$$



Průřezové charakteristiky *

$$A = 0,0255980 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,0020085 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,0001250 \text{ m}^4$$

$$i_y = 280 \text{ mm}$$

$$i_z = 70 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0060134 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0007142 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0068022 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0012053 \text{ m}^3$$

Hodnoty maximálních vnitřních sil **

$$N = 363,4 \text{ kN}$$

$$V_y = 58,40 \text{ kN}$$

$$V_z = 578,30 \text{ kN}$$

$$M_y = 357,3 \text{ kNm}$$

* Průřezové charakteristiky vypočítal program Scia Engineer

** Hodnoty maximálních vnitřních sil vypočítal program Scia Engineer

Posouzení účinků boulení

Stanovení součinitele boulení ρ dle ČSN EN 1993 - 1 - 5

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \quad \text{kde } \bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

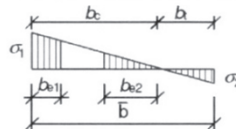
\bar{b}_c - příslušná šířka dle EN 1993-1-1
 k_σ - součinitel kritického napětí
 ψ - poměr napětí σ_2/σ_1

$$W_{\sigma 1} = I_y/z_1 \quad z_1 = b_c = 325,00 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 1} = 0,0061800 \text{ m}^3 \quad z_2 = b_t = -325,00 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 2} = I_y/z_2$$

$$W_{\sigma 2} = -0,006180 \text{ m}^3$$



$\psi < 0$:

$$b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$$

$$b_{e1} = 0,4 b_{\text{eff}} \quad b_{e2} = 0,6 b_{\text{eff}}$$

$$\sigma_1 = M_{\text{ed}}/W_{\sigma 1} \quad \sigma_2 = M_{\text{ed}}/W_{\sigma 2}$$

$$\sigma_1 = 57,82 \text{ MPa} \quad \sigma_2 = -57,82 \text{ MPa}$$

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1 \quad k_\sigma = 7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$$

$$\psi = -1 \quad k_\sigma = 23,88$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{325,0/12}{28,4 * 1,011\sqrt{23,88}}$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{\underline{0,193}}$$

Jelikož je $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$ bude součinitel boulení $\rho = 1$

Prvek není náchylný k boulení

Posouzení únosnosti příčného řezu

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y * A_{\text{eff}}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} * e_n}{f_y * W_{\text{eff}}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \frac{\frac{363400}{230 * 10^6 * 0,0256}}{1,10} + \frac{357300 + 363400 * 0}{230 * 10^6 * 0,00601} \leq 1$$

$$\eta_1 = \underline{\underline{0,352}} < 1,0$$

Prvek vyhovuje podmínce

Unosnost hlavního nosníku ve smyku dle ČSN 1993-1-5

$$\alpha = a/h_w \quad a - \text{vzdálenost příčníků} = 1\,660 \text{ mm}$$

$$\alpha = 2,65 \quad h_w - \text{výška stojiny} = 626 \text{ mm}$$

Návrhová únosnost

$$V_{b,rd} = V_{b_w,rd} + V_{b_f,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Příspěvek stojiny

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Součinitel přísěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku (ČSN EN 1993 - 1 - 5 tab.5.1)

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$	η	η
$0,83/\eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83/\bar{\lambda}_w$	$0,83/\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37/(0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83/\bar{\lambda}_w$

Upravená štíhlost λ_w se určí podle vztahu (5.6) ČSN EN 1993 - 1 - 5

$$\lambda_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} \quad \begin{array}{l} k_\tau = 5,34 + 4,00 * (h_w/a)^2 + k_{tsl} \\ k_\tau = 5,909 \end{array}$$

$$\lambda_w = \frac{626}{37,4 * 12 * 1,011 * \sqrt{5,909}}$$

$$\lambda_w = \underline{\underline{0,568}} \quad \lambda_w < 0,83/\eta$$

Dle tabulky 5.1 v ČSN EN 1993-1-5 $\chi_w = 1$ $\chi = 1$
 $\eta = 1,2$

Příspěvek stojiny tedy bude

Největší dovolená únosnost

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} \quad \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} = 997,52 \text{ kN}$$

$$V_{bw,rd} = \frac{1 * 230 * 626 * 12}{\sqrt{3} * 1,2}$$

$$V_{bw,rd} = 831\,268,92 \text{ N}$$

$$V_{bw,rd} = \underline{\underline{831,27 \text{ kN}}}$$

Příspěvek pásnice

$$V_{bf,rd} = \frac{b_f t^2 f_{yt}}{c \gamma_{m1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right)$$

$$\begin{array}{l} b_f \leq 15\epsilon t_f \\ 350 \text{ mm} \geq 136,49 \text{ mm} \end{array}$$

$$V_{bf,rd} = \frac{136,49 * 9^2 * 230}{0,421 * 1,2} * \left(1 - \left(\frac{357,3}{490,5} \right)^2 \right)$$

$$\begin{array}{l} c = a \left(0,25 + \frac{1,6 b_f t^2 f_{yt}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right) \\ c = 0,4210 \text{ m} \end{array}$$

$$V_{bf,rd} = \underline{\underline{2,362 \text{ kN}}}$$

Celková návrhová únosnost $V_{b,rd}$

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

$$V_{b,rd} = 831,269 + 2,362 = 833,631 \text{ kN} < 997,52 \text{ kN}$$

Posouzení hlavního nosníku na smyk (podmínka $\eta_3 \leq 1$)

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{578,3}{833,63} \quad \eta_3 \leq 1$$

$$\eta_3 = 0,694 < 1 \quad \text{Prvek vyhovuje podmínice}$$

Interakce mezi osovou smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{357,3}{1422,3} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,rd}} = \frac{578,3}{831,27}$$

$$\bar{\eta}_1 = 0,25 \quad \bar{\eta}_3 = 0,696 > 0,5$$

Jelikož je $\bar{\eta}_3 > 0,5$, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojině splňovat podmínku:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0} \quad W_{fy} = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$M_{f,rd} = 490,5 \text{ kNm} \quad W_{fy} = 0,002346 \text{ m}^3 \quad A_{f1} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3175 \text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průřezu

$$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0} \quad W_{pl} = 0,006802 \text{ m}^3 \quad A_{f2} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$M_{pl,rd} = 1422,3 \text{ kNm} \quad f_{yd} = 230,0 \text{ MPa} \quad z_2 = 0,3175 \text{ m}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0075 \text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$$

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1 \quad A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008 \text{ m}$$

$$0,25 + \left(1 - \frac{490,5}{1422,3}\right) * (2 * 0,696 - 1)^2 \leq 1$$

$$0,351 < 1,0$$

Prvek vyhovuje podmínice

Pozouzení na klopen dle ČSN EN 1993-1-1

Pruty s jednotlivými příčnými podporami tlačené pásnice nejsou citlivé na klopení jestliže vzdálenost L_c mezi příčnými podporymi nebo výsledná štíhlost $\bar{\lambda}_1$ ekvivalentní tlačené pásnice vyhovuje podmínce:

$$\lambda_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \lambda_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \quad \lambda_1 = 93,9^* \varepsilon$$

$$\lambda_1 = 94,93$$

$$M_{c,rd} = W_y * f_y / \gamma_{m1}$$

W_y - příslušný modul průřezu, vztažený k talčené pásnici

k_c - opravný součinitel štíhlosti dle ČSN EN 1993-1-1

L_c - vzdálenost příč. ztužení (vzdál. mostnic) = 0,58 m

$i_{f,z}$ - poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice, složené z pásnice a 1/3 tlačené části plochy stojiny k ose nejmenší tuhosti průřez

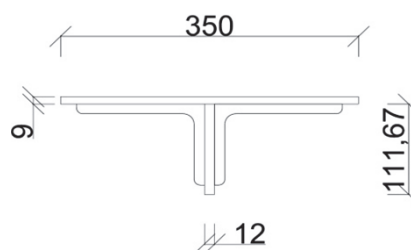
$$I_z = 0,00006239 \text{ m}^4$$

$$A = 0,01023300 \text{ m}^2$$

$$W_y = 0,0060134 \text{ m}^3$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{eff,f}}{A_{eff,f} + \frac{1}{3} A_{eff,w,c}}} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

$$i_{f,z} = 78,1 \text{ mm}$$



$$\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,4 + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,5$$

$$M_{c,rd} = W_y * f_y / \gamma_{m1}$$

$$M_{c,rd} = 1\,152,6 \text{ kNm}$$

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$$

$$k_c = 0,602$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{0,602 * 580}{78,1 * 94,93} \leq 0,5 \frac{1152,6}{357,3}$$

$$\bar{\lambda}_1 = 0,047 < 1,613$$

Prvek vyhovuje podmínce

6.9.1 Zatížitelnost hlavního nosníku č. 9

Návrhové hodnoty vnitřních sil od vlaku UIC - 71

$N_{r,LM71,Ed}$ [kN]	$V_{z,LM71,Ed}$ [kN]	$M_{y,LM71,Ed}$ [kNm]	$M_{z,LM71,Ed}$ [kNm]
356,9	525,3	337,7	14,8

Návrhové hodnoty vnitřních sil od kombinace všech ostatních zatížení

$N_{rs,Ed}$ [kN]	$V_{z,rs,Ed}$ [kN]	$M_{y,rs,Ed}$ [kNm]	$M_{z,rs,Ed}$ [kNm]
15,4	53	19,6	3,3

Pružové charakteristiky

$$\begin{aligned}
 A &= 0,0255980 \text{ m}^2 \\
 I_y &= 0,0020085 \text{ m}^4 \\
 I_z &= 0,0001250 \text{ m}^4 \\
 i_y &= 280 \text{ mm} \\
 i_z &= 70 \text{ mm} \\
 W_{el,y} &= 0,0060134 \text{ m}^3 \\
 W_{el,z} &= 0,0007142 \text{ m}^3 \\
 W_{pl,y} &= 0,0068022 \text{ m}^3 \\
 W_{pl,z} &= 0,0012053 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$\begin{aligned}
 f_y &= 230,0 \text{ MPa} \\
 f_u &= 360,0 \text{ MPa} \\
 \gamma_{m0} &= 1,10 \\
 \gamma_{m1} &= 1,20 \\
 \gamma_{m2} &= 1,30
 \end{aligned}$$

Podmínka

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,rd}} \leq 0,5$$

pro ověření podmínky η_3 se bere $Z_{LM71} = 1,0$

$$V_{ed} = Z_{LM71} * V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{ed} = 1 * 525,3 + 53,0$$

$$V_{ed} = \underline{\underline{578,3 \text{ kN}}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{230 * 10^3 * 0,626 * 0,012}{\sqrt{3} * 1,10}$$

$$V_{pl,rd} = \underline{\underline{906,84 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{578,3}{906,84}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,638}} > 0,5$$

Prvek na smyk vyhovuje, ale jelikož je $\eta_3 > 0,5$ zatížitelnost se určí z kvadratické rovnice:

$$\begin{aligned}
 4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) \\
 + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0
 \end{aligned}$$

kde

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{rs,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,rs,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,rs,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,rs} = \frac{15400}{\frac{0,0256 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{19600}{\frac{0,00601 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{3300}{\frac{0,000714 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,rs} = \underline{\underline{0,041}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,LM71,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,LM71,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{356900}{\frac{0,0256 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{337700}{\frac{0,00601 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{14800}{\frac{0,000714 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \underline{\underline{0,434}}$$

$$\eta_{3,rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{53,0}{906,84}$$

$$\eta_{3,rs} = \underline{\underline{0,058}}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{525,3}{906,84}$$

$$\eta_{3,LM71} = \underline{\underline{0,579}}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right)$$

$$k = 1 - \left(\frac{490,5}{1422,3} \right)$$

$$k = \underline{\underline{0,655}}$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnoti pásnic

$$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{490,5 \text{ kNm}}}$$

$$W_{fy} = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$W_{fy} = 0,002346 \text{ m}^3$$

$$A_{f1} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3175 \text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnoti celého průřezu

$$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1 422,3 \text{ kNm}}}$$

$$W_{pl} = 0,006802 \text{ m}^3$$

$$A_{f2} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$z_2 = 0,3175 \text{ m}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0075 \text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$$

$$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008 \text{ m}$$

Zatížitelnost tedy bude

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

$$4 * 0,655 * Z_{LM71}^2 * 0,579 + Z_{LM71} (0,434 + 8 * 0,655 * 0,579 * 0,058 - 4 * 0,655 * 0,579) + 0,041 + 4 * 0,655 * 0,058^2 - 4 * 0,655 * 0,058 + 0,655 - 1 = 0$$

$$A = 4 * K * \eta_{3,LM71}$$

$$A = 4 * 0,655 * 0,579$$

$$A = 1,517$$

$$B = \eta_{1,LM71} + 8 * K * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}$$

$$B = 0,434 + 8 * 0,655 * 0,579 * 0,058 - 4 * 0,655 * 0,579$$

$$B = -0,907$$

$$C = \eta_{1,rs} + 4 * K * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + K - 1$$

$$C = 0,041 + 4 * 0,655 * 0,058^2 - 4 * 0,655 * 0,058 + 0,655 - 1$$

$$C = -0,447$$

$$Z_{LM71}^2 * 1,517 + Z_{LM71} (-0,907) - 0,447 = 0$$

$$D = b^2 - 4 * a * c$$

$$D = -0,907^2 - 4 * 1,517 * (-0,447)$$

$$D = 3,535$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a}$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{0,907 \pm \sqrt{3,535}}{2 * 1,517}$$

$$Z_{LM71,1} = 0,92$$

Pro $Z_{LM71} \geq 1,0$ je nutné zesílit pásnice hlavního nosníků (na obr. červěně zvýrazněno)

Pružové charakteristiky

$$A = 0,0318980 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,0027304 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,0001893 \text{ m}^4$$

$$i_y = 293 \text{ mm}$$

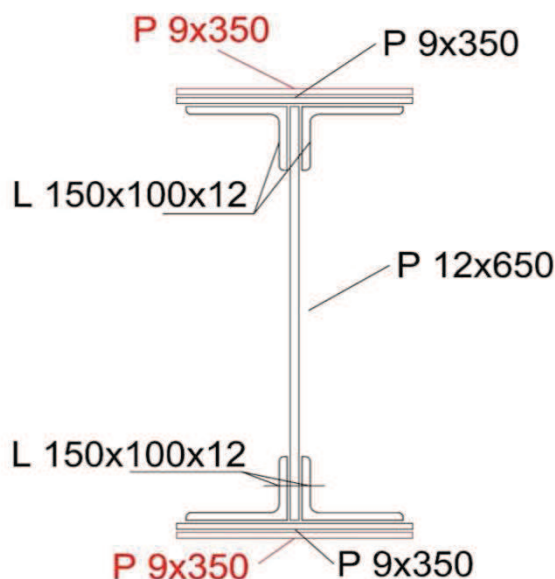
$$i_z = 77 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0079603 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0010817 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0089348 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0017566 \text{ m}^3$$



pro ověření podmínky η_3 se bere $Z_{LM71} = 1,0$

$$V_{ed} = Z_{LM71} * V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{ed} = 1 * 525,3 + 53,0$$

$$V_{ed} = \underline{\underline{578,3 \text{ kN}}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{230 * 10^3 * 0,626 * 0,012}{\sqrt{3} * 1,10}$$

$$V_{pl,rd} = \underline{\underline{906,84 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{578,3}{906,84}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,638}} > 0,5$$

Prvek na smyk vyhovuje, ale jelikož je $\eta_3 > 0,5$ zatížitelnost se určí z kvadratické rovnice:

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

kde

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{rs,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,rs,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,rs,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,rs} = \frac{15400}{\frac{0,0319 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{19600}{\frac{0,00796 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{3300}{\frac{0,001082 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,rs} = \underline{\underline{0,029}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,LM71,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,LM71,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{356900}{\frac{0,0319 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{337700}{\frac{0,00796 * 230 * 10^6}{1,1}} + \frac{14800}{\frac{0,001082 * 230 * 10^6}{1,1}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \underline{\underline{0,322}}$$

$$\eta_{3,rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{53,0}{906,84}$$

$$\eta_{3,rs} = \underline{\underline{0,058}}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{525,3}{906,84}$$

$$\eta_{3,LM71} = \underline{\underline{0,579}}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right)$$

$$k = 1 - \left(\frac{920,6}{1868,2} \right)$$

$$k = \underline{\underline{0,507}}$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{920,6 \text{ kNm}}}$$

$$W_{fy} = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$W_{fy} = 0,004403 \text{ m}^3$$

$$A_{f1} = 0,0063 \text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3220 \text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průřezu

$$A_{f2} = 0,0063 \text{ m}^2$$

$$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$$

$$W_{pl} = 0,008935 \text{ m}^3$$

$$z_2 = 0,3220 \text{ m}$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1 868,2 \text{ kNm}}}$$

$$f_{yd} = 230,0 \text{ MPa}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0075 \text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,0023 \text{ m}$$

$$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008 \text{ m}$$

Zatížitelnost tedy bude

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

$$4 * 0,507 * Z_{LM71}^2 * 0,579 + Z_{LM71} (0,322 + 8 * 0,507 * 0,579 * 0,058 - 4 * 0,507 * 0,579) + 0,029 + 4 * 0,507 * 0,058^2 - 4 * 0,507 * 0,058 + 0,507 - 1 = 0$$

$$A = 4 * K * \eta_{3,LM71}$$

$$A = 4 * 0,507 * 0,579$$

$$A = 1,174$$

$$B = \eta_{1,LM71} + 8 * K * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}$$

$$B = 0,322 + 8 * 0,507 * 0,579 * 0,058 - 4 * 0,507 * 0,579$$

$$B = -0,716$$

$$C = \eta_{1,rs} + 4 * K * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + K - 1$$

$$C = 0,029 + 4 * 0,507 * 0,058^2 - 4 * 0,507 * 0,058 + 0,507 - 1$$

$$C = -0,575$$

$$Z_{LM71}^2 * 1,174 + Z_{LM71} (-0,716) - 0,575 = 0$$

$$D = b^2 - 4 * a * c$$

$$D = -0,716^2 - 4 * 1,174 * (-0,575)$$

$$D = \underline{\underline{3,213}}$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a}$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{0,716 \pm \sqrt{3,213}}{2 * 1,174}$$

$$Z_{LM71,1} = \underline{\underline{1,07}}$$

Po zesílení horní a dolní pásnice o 9 mm prvek unese 107% modelu UIC-71

6.10 Hlavní nosník č. 10

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = 1,011 \text{ MPa}$$

$$Y_{m0} = 1,10$$

$$Y_{m1} = 1,20$$

$$Y_{m2} = 1,30$$

Rozměry nosníků

$$\text{Výška } H = 671 \text{ mm}$$

$$\text{Tl. pásnice } t_{f,h} = 9 \text{ mm}$$

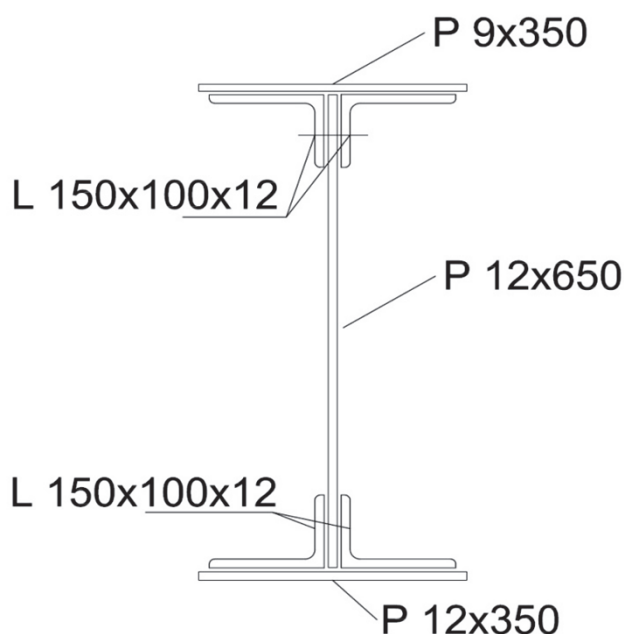
$$\text{Tl. pásnice } t_{f,d} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Šířka pásnic} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Výška stojiny } h_w = 626 \text{ mm}$$

$$\text{Tl. stojiny} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Vzdál. Příčnicků} = 1\,660 \text{ mm}$$



Průřezové charakteristiky *

$$A = 0,0266480 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,0021220 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,0001356 \text{ m}^4$$

$$i_y = 282 \text{ mm}$$

$$i_z = 71 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0061114 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0007754 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0071315 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0012972 \text{ m}^3$$

Hodnoty maximálních vnitřních sil **

$$N = 363,4 \text{ kN}$$

$$V_y = 60,40 \text{ kN}$$

$$V_z = 837,20 \text{ kN}$$

$$M_y = 116,3 \text{ kNm}$$

* Průřezové charakteristiky vypočítal program Scia Engineer

** Hodnoty maximálních vnitřních sil vypočítal program Scia Engineer

Posouzení účinků boulení

Stanovení součinitele boulení ρ dle ČSN EN 1993 - 1 - 5

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \quad \text{kde } \bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

$$\rho = 1,00 \text{ pokud } \bar{\lambda}_p \leq 0,673$$

\bar{b}_c - příslušná šířka dle EN 1993-1-1

k_σ - součinitel kritického napětí

ψ - poměr napětí σ_2/σ_1

$$W_{\sigma 1} = I_y/z_1$$

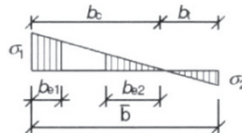
$$z_1 = b_c = 342,57 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 1} = 0,0061944 \text{ m}^3$$

$$z_2 = b_t = -307,43 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 2} = I_y/z_2$$

$$W_{\sigma 2} = -0,006902 \text{ m}^3$$



$\psi < 0$:

$$b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$$

$$b_{e1} = 0,4 b_{\text{eff}}$$

$$b_{e2} = 0,6 b_{\text{eff}}$$

$$\sigma_1 = M_{\text{ed}}/W_{\sigma 1}$$

$$\sigma_2 = M_{\text{ed}}/W_{\sigma 2}$$

$$\sigma_1 = 18,78 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -16,85 \text{ MPa}$$

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$$

$$\psi = -0,897$$

$$k_\sigma = 21,321$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{342,57/12}{28,4 * 1,011 * \sqrt{21,321}}$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{\underline{0,215}}$$

Jelikož je $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$ bude součinitel boulení $\rho = 1$

Prvek není náchylný k boulení

Posouzení únosnosti příčného řezu

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y * A_{eff} \gamma_{m0}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} * e_n}{f_y * W_{eff} \gamma_{m0}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \frac{363400}{230 * 10^6 * 0,02665 \cdot 1,10} + \frac{116300 + 363400 * 0}{220 * 10^6 * 0,006111 \cdot 1,10} \leq 1$$

$$\eta_1 = \underline{\underline{0,156}} < 1,0$$

Prvek vyhovuje podmínce

Unosnost hlavního nosníku ve smyku dle ČSN 1993-1-5

$$\alpha = a/h_w$$

a - vzdálenost příčníků = 1 660 mm

$$\alpha = 2,65$$

h_w - výška stojiny = 626 mm

Návrhová únosnost

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Příspěvek stojiny

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Součinitel přísěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku (ČSN EN 1993 - 1 - 5 tab.5.1)

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$	η	η
$0,83 / \eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37 / (0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$

Upravená štíhlost λ_w se určí podle vztahu (5.6) ČSN EN 1993 - 1 - 5

$$\lambda_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} \quad k_\tau = 5,34 + 4,00 * (h_w * a)^2 + k_{\tau sl}$$

$$k_\tau = 5,909$$

$$\lambda_w = \frac{626}{37,4 * 12 * 1,011 * \sqrt{5,909}}$$

$$\lambda_w = \underline{\underline{0,568}} \quad \lambda_w < 0,83/\eta$$

Dle tabulky 5.1 v ČSN EN 1993-1-5 $\chi_w = 1$ $\chi = 1$
 $\eta = 1,2$

Příspěvek stojiny tedy bude

Největší dovolená únosnost

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} \quad \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} = 997,52 \text{ kN}$$

$$V_{bw,rd} = \frac{1 * 230 * 626 * 12}{\sqrt{3} * 1,2}$$

$$V_{bw,rd} = 831\,268,92 \text{ N}$$

$$V_{bw,rd} = \underline{\underline{831,27 \text{ kN}}}$$

Příspěvek pásnice

$$V_{bf,rd} = \frac{b_f t^2 f_{yt}}{c \gamma_{m1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right)$$

$$b_f \leq 15 \varepsilon t_f$$

$$350 \text{ mm} \geq 181,98 \text{ mm}$$

$$V_{bf,rd} = \frac{181,98 * 9^2 * 230}{0,423 * 1,2} * \left(1 - \left(\frac{116,3}{561,5} \right)^2 \right)$$

$$c = a \left(0,25 + \frac{1,6 b_f t^2 f_{yt}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right)$$

$$V_{bf,rd} = \underline{\underline{6,393 \text{ kN}}}$$

$$c = 0,4230 \text{ m}$$

Celková návrhová únosnost $V_{b,rd}$

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

$$V_{b,rd} = 831,269 + 6,393$$

$$V_{b,rd} = \underline{\underline{837,662 \text{ kN}}} < 997,52 \text{ kN}$$

Posouzení hlavního nosníku na smyk (podmínka $\eta_3 \leq 1$)

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{837,2}{837,662}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,999}} < 1 \quad \text{Prvek vyhovuje podmínce}$$

Interakce mezi osovou smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{116,3}{1491,1} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,rd}} = \frac{837,2}{831,27}$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{\underline{0,08}} \quad \bar{\eta}_3 = \underline{\underline{1,007}}$$

Stojina nevyhovuje na smyk

Navrhují zesílení stojiny hlavního nosníku ze 12 mm na 14 mm

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$\epsilon = 1,011 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{m0} = 1,10$$

$$\gamma_{m1} = 1,20$$

$$\gamma_{m2} = 1,30$$

Pružové charakteristiky

$$A = 0,0279480 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,0021680 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,0001370 \text{ m}^4$$

$$i_y = 279 \text{ mm}$$

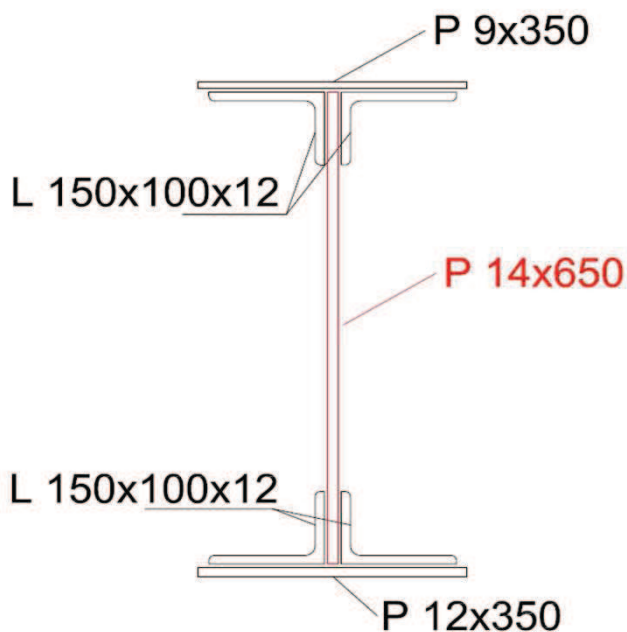
$$i_z = 70 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0062549 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0007830 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0073461 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0013171 \text{ m}^3$$



Tl. Stojiny = 14 mm

Posouzení účinků boulení

Stanovení součinitele boulení ρ dle ČSN EN 1993 - 1 - 5

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \quad \text{kde } \bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

\bar{b}_c - příslušná šířka dle EN 1993-1-1

$$\rho = 1,00 \text{ pokud } \lambda_p \leq 0,673$$

k_σ - součinitel kritického napětí

ψ - poměr napětí σ_2/σ_1

$$W_{\sigma 1} = I_y/z_1$$

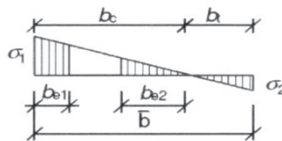
$$z_1 = b_c = 342,57 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 1} = 0,0061944 \text{ m}^3$$

$$z_2 = b_t = -307,43 \text{ mm}$$

$$W_{\sigma 2} = I_y/z_2$$

$$W_{\sigma 2} = -0,006902 \text{ m}^3$$



$\psi < 0$:

$$b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$$

$$b_{e1} = 0,4 b_{\text{eff}}$$

$$b_{e2} = 0,6 b_{\text{eff}}$$

$$\sigma_1 = \text{Med}/W_{\sigma 1}$$

$$\sigma_2 = \text{Med}/W_{\sigma 2}$$

$$\sigma_1 = 18,78 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -16,85 \text{ MPa}$$

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$$

$$\psi = -0,897$$

$$k_\sigma = 21,321$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b_c/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{342,57/12}{28,4 * 1,011 * \sqrt{21,321}}$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{\underline{0,185}}$$

Jelikož je $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$ bude součinitel boulení $\rho = 1$

Prvek není náchylný k boulení

Posouzení únosnosti příčného řezu

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y * A_{\text{eff}}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} * e_n}{f_y * W_{\text{eff}}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \frac{363400}{230 * 10^6 * 0,02795} + \frac{116300 + 363400 * 0}{230 * 10^6 * 0,006255} \leq 1$$

$$\eta_1 = \underline{\underline{0,151}} < 1,0$$

Prvek vyhovuje podmínce

Únosnost hlavního nosníku ve smyku dle ČSN 1993-1-5

$$\alpha = a/h_w$$

a - vzdálenost příčníků = 1 660 mm

$$\alpha = 2,65$$

h_w - výška stojiny = 626 mm

Návrhová únosnost

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Příspěvek stojiny

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

Součinitel přísěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku (ČSN EN 1993 - 1 - 5 tab.5.1)

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$	η	η
$0,83 / \eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37 / (0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$

Upravená štíhlost λ_w se určí podle vztahu (5.6) ČSN EN 1993 -1 -5

$$\lambda_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} \quad \begin{array}{l} k_\tau = 5,34 + 4,00 * (h_w/a)^2 + k_{\tau sl} \\ k_\tau = 5,909 \end{array}$$

$$\lambda_w = \frac{626}{37,4 * 14 * 1,011 * \sqrt{5,909}}$$

$$\lambda_w = \underline{\underline{0,486}} \quad \lambda_w < 0,83/\eta$$

Dle tabulky 5.1 v ČSN EN 1993-1-5 $\chi_w = 1$ $\chi = 1$
 $\eta = 1,2$

Příspěvek stojiny tedy bude

Největší dovolená únosnost

$$V_{bw,rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} \quad \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}} = 1\,163,8 \text{ kN}$$

$$V_{bw,rd} = \frac{1 * 230 * 626 * 14}{\sqrt{3} * 1,2}$$

$$V_{bw,rd} = 969\,813,74 \text{ N}$$

$$V_{bw,rd} = \underline{\underline{969,81 \text{ kN}}}$$

Příspěvek pásnice

$$V_{bf,rd} = \frac{b_f t^2 f_{yt}}{c \gamma_{m1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right)$$

$$b_f \leq 15 \varepsilon t_f$$

$$350 \text{ mm} \geq 181,98 \text{ mm}$$

$$V_{bf,rd} = \frac{181,98 * 9^2 * 230}{0,423 * 1,2} * \left(1 - \left(\frac{116,3}{561,5} \right)^2 \right)$$

$$c = a \left(0,25 + \frac{1,6 b_f t^2 f_{yt}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right)$$

$$c = 0,4230 \text{ m}$$

$$V_{bf,rd} = \underline{\underline{6,393 \text{ kN}}}$$

Celková návrhová únosnost $V_{b,rd}$

$$V_{b,rd} = V_{bw,rd} + V_{bf,rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m1}}$$

$$V_{b,rd} = 969,814 + 6,393$$

$$V_{b,rd} = \underline{\underline{976,207 \text{ kN}}} < \underline{\underline{1163,78 \text{ kN}}}$$

Posouzení hlavního nosníku na smyk (podmínka $\eta_3 \leq 1$)

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{837,2}{976,207}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,858}} < 1 \quad \text{Prvek vyhovuje podmínce}$$

Interakce mezi osovou smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{116,3}{1536,0} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,rd}} = \frac{837,2}{969,81}$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{\underline{0,08}} \quad \bar{\eta}_3 = \underline{\underline{0,863}}$$

Jelikož je $\bar{\eta}_3 > 0,5$, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojině splňovat podmínku:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0} \quad W_y = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{561,5 \text{ kNm}}} \quad W_y = \underline{\underline{0,002685 \text{ m}^3}} \quad A_{f1} = 0,0042 \text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3190 \text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průřez

$$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0} \quad W_{pl} = 0,007346 \text{ m}^3 \quad A_{f2} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1536,0 \text{ kNm}}} \quad f_{yd} = 230,0 \text{ MPa} \quad z_2 = 0,3175 \text{ m}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0038 \text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$$

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rf}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1 \quad A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008 \text{ m}$$

$$0,08 + \left(1 - \frac{561,5}{1536,0}\right) * (2 * 0,863 - 1)^2 \leq 1$$

$$\underline{\underline{0,414}} < 1,0$$

Prvek vyhovuje podmínce

Pozouzení na klopen dle ČSN EN 1993-1-1

Pruty s jednotlivými příčnými podporami tlačené pásnice nejsou citlivé na klopení jestliže vzdálenost L_c mezi příčnými podporymi nebo výsledná štíhlost $\bar{\lambda}_1$ ekvivalentní tlačené pásnice vyhovuje podmínice:

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \quad \lambda_1 = 93,9^* \epsilon$$

$$\lambda_1 = 94,93$$

$$M_{c,rd} = W_y * f_y / \gamma_{m1}$$

W_y - příslušný modul průřezu, vztažený k tlačené pásnici

k_c - opravný součinitel štíhlosti dle ČSN EN 1993-1-1

L_c - vzdálenost příč. ztužení (vzdál. mostnic) = 0,58 m

$i_{f,z}$ - poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice, složené z pásnice a 1/3 tlačené části plochy stojiny k ose nejmenší tuhosti průřezu

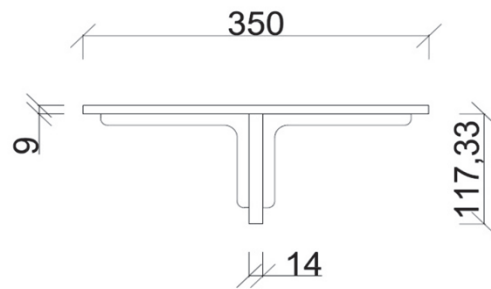
$$I_z = 0,00006303 \text{ m}^4$$

$$A = 0,01053600 \text{ m}^2$$

$$W_y = 0,0062549 \text{ m}^3$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{eff,f}}{A_{eff,f} + \frac{1}{3} A_{eff,w,c}}} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

$$i_{f,z} = 77,4 \text{ mm}$$



$$\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,4 + 0,1$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,5$$

$$M_{c,rd} = W_{yf} * f_y / \gamma_{m1}$$

$$M_{c,rd} = 1\,438,6 \text{ kNm}$$

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$$

$$k_c = 0,615$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{0,615 * 580}{77,4 * 94,93} \leq 0,5 \frac{1438,6}{116,3}$$

$$\bar{\lambda}_1 = 0,049 < 6,185$$

Prvek vyhovuje podmínice

6.10.1 Zatížitelnost hlavního nosníku č. 10

Návrhové hodnoty vnitřních sil od vlaku UIC - 71

$N_{r,LM71,Ed}$ [kN]	$V_{z,LM71,Ed}$ [kN]	$M_{y,LM71,Ed}$ [kNm]	$M_{z,LM71,Ed}$ [kNm]
359,1	771	116,1	17,1

Návrhové hodnoty vnitřních sil od kombinace všech ostatních zatížení

$N_{rs,Ed}$ [kN]	$V_{z,rs,Ed}$ [kN]	$M_{y,rs,Ed}$ [kNm]	$M_{z,rs,Ed}$ [kNm]
28,0	65,7	19,6	4,2

Pružové charakteristiky

$$\begin{aligned}
 A &= 0,0279480 \text{ m}^2 \\
 I_y &= 0,0021680 \text{ m}^4 \\
 I_z &= 0,0001370 \text{ m}^4 \\
 i_y &= 279 \text{ mm} \\
 i_z &= 70 \text{ mm} \\
 W_{el,y} &= 0,0062549 \text{ m}^3 \\
 W_{el,z} &= 0,0007830 \text{ m}^3 \\
 W_{pl,y} &= 0,0073461 \text{ m}^3 \\
 W_{pl,z} &= 0,0013171 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$\begin{aligned}
 f_y &= 230,0 \text{ MPa} \\
 f_u &= 360,0 \text{ MPa} \\
 \gamma_{m0} &= 1,10 \\
 \gamma_{m1} &= 1,20 \\
 \gamma_{m2} &= 1,30
 \end{aligned}$$

Podmínka

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,rd}} \leq 0,5$$

pro ověření podmínky η_3 se bere $Z_{LM71} = 1,0$

$$V_{ed} = Z_{LM71} * V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{ed} = 1 * 771,3 + 65,7$$

$$V_{ed} = \underline{\underline{836,7 \text{ kN}}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{230 * 10^3 * 0,626 * 0,014}{\sqrt{3} * 1,10}$$

$$V_{pl,rd} = 1\,057,98 \text{ kN}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{837,2}{1057,98}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,791}} > 0,5$$

Prvek na smyk vyhovuje, ale jelikož je $\eta_3 > 0,5$ zatížitelnost se určí z kvadratické rovnice:

$$\begin{aligned}
 4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) \\
 + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0
 \end{aligned}$$

kde

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{rs,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,rs,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,rs,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,rs} = \frac{28000}{0,02795 * 230 * 10^6} + \frac{19600}{0,006255 * 230 * 10^6} + \frac{4200}{0,000783 * 230 * 10^6}$$

$$\eta_{1,rs} = \frac{1,1}{1,1} + \frac{1,1}{1,1} + \frac{1,1}{1,1}$$

$$\eta_{1,rs} = \underline{\underline{0,045}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,LM71,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,LM71,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{359100}{0,02795 * 230 * 10^6} + \frac{116100}{0,006255 * 230 * 10^6} + \frac{17100}{0,000783 * 230 * 10^6}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{1,1}{1,1} + \frac{1,1}{1,1} + \frac{1,1}{1,1}$$

$$\eta_{1,LM71} = \underline{\underline{0,255}}$$

$$\eta_{3,rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{65,7}{1057,98}$$

$$\eta_{3,rs} = \underline{\underline{0,062}}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{771,3}{1057,98}$$

$$\eta_{3,LM71} = \underline{\underline{0,729}}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right)$$

$$k = 1 - \left(\frac{561,5}{1536,0} \right)$$

$$k = \underline{\underline{0,634}}$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnoti pásnic

$$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{561,5 \text{ kNm}}}$$

$$W_{fy} = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$W_{fy} = 0,002685 \text{ m}^3$$

$$A_{f1} = 0,0042 \text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3190 \text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnoti celého průřez

$$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1 536,0 \text{ kNm}}}$$

$$W_{pl} = 0,007346 \text{ m}^3$$

$$A_{f2} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$z_2 = 0,3175 \text{ m}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0038 \text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$$

$$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008 \text{ m}$$

Zatížitelnost tedy bude

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

$$4 * 0,634 * Z_{LM71}^2 * 0,729 + Z_{LM71} (0,255 + 8 * 0,634 * 0,729 * 0,062 - 4 * 0,634 * 0,729) + 0,045 + 4 * 0,634 * 0,062^2 - 4 * 0,634 * 0,062 - 0,634 - 1 = 0$$

$$A = 4 * K * \eta_{3,LM71}$$

$$A = 4 * 0,634 * 0,729$$

$$A = 1,849$$

$$B = \eta_{1,LM71} + 8 * K * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}$$

$$B = 0,255 + 8 * 0,634 * 0,729 * 0,062 - 4 * 0,634 * 0,729$$

$$B = -1,364$$

$$C = \eta_{1,rs} + 4 * K * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + K - 1$$

$$C = 0,045 + 4 * 0,634 * 0,062^2 - 4 * 0,634 * 0,062 + 0,634 - 1$$

$$C = -0,468$$

$$Z_{LM71}^2 * 1,795 + Z_{LM71} (-1,36) - 0,48 = 0$$

$$D = b^2 - 4 * a * c$$

$$D = -1,36^2 - 4 * 1,795 * (-0,48)$$

$$D = 5,32$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a}$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{1,364 \pm \sqrt{5,31}}{2 * 1,841}$$

$$Z_{LM71,1} = 0,99$$

Pro $Z_{LM71} \geq 1,0$ je nutné přidat pásnici hlavního nosníků (na obr. červěně zvýrazněno)

Pruževové charakteristiky

$$A = 0,0310980 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,0025170 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,0001692 \text{ m}^4$$

$$i_y = 284 \text{ mm}$$

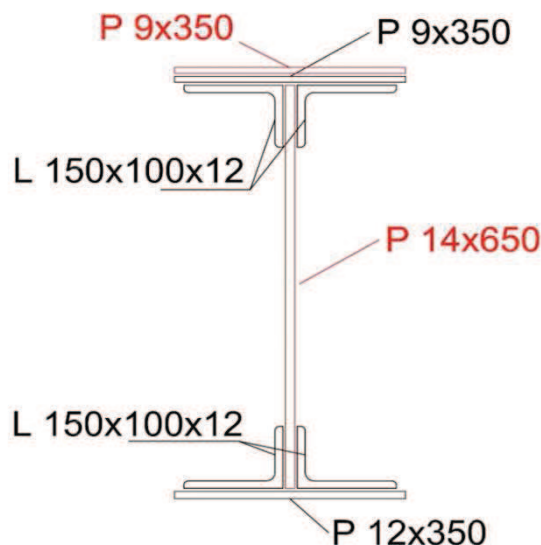
$$i_z = 74 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0069924 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0009668 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0083533 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0015928 \text{ m}^3$$



pro ověření podmínky η_3 se bere $Z_{LM71} = 1,0$

$$V_{ed} = Z_{LM71} * V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{ed} = 1 * 771,3 + 65,7$$

$$V_{ed} = \underline{\underline{836,7 \text{ kN}}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{230 * 10^3 * 0,626 * 0,014}{\sqrt{3} * 1,10}$$

$$V_{pl,rd} = \underline{\underline{1\,057,98 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,rd}} = \frac{837,2}{1057,98}$$

$$\eta_3 = \underline{\underline{0,791}} > 0,5$$

Prvek na smyk vyhovuje, ale jelikož je $\eta_3 > 0,5$ zatížitelnost se určí z kvadratické rovnice:

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

kde

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{rs,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,rs,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,rs,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,rs} = \frac{28000}{0,0311 * 230 * 10^6} + \frac{19600}{0,00699 * 230 * 10^6} + \frac{4200}{0,0009668 * 230 * 10^6}$$

$$\eta_{1,rs} = \underline{\underline{0,038}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71,Ed}}{A * f_y} + \frac{M_{y,LM71,Ed}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{z,LM71,Ed}}{W_{el,z} * f_y}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{359100}{0,0311 * 230 * 10^6} + \frac{116100}{0,00699 * 230 * 10^6} + \frac{17100}{0,0009668 * 230 * 10^6}$$

$$\eta_{1,LM71} = \underline{\underline{0,219}}$$

$$\eta_{3,rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{65,7}{1057,98}$$

$$\eta_{3,rs} = \underline{\underline{0,062}}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{771,3}{1057,98}$$

$$\eta_{3,LM71} = \underline{\underline{0,729}}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right)$$

$$k = 1 - \left(\frac{776,54}{1746,60} \right)$$

$$k = \underline{\underline{0,555}}$$

$M_{f,rd}$ - návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,rd} = (W_{fy} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$$

$$M_{f,rd} = \underline{\underline{776,54 \text{ kNm}}}$$

$$W_{fy} = (A_{f1} * z_1 + A_{f2} * z_2) + 4 * (A_{pas.úhel} * z_u)$$

$$W_{fy} = 0,003714 \text{ m}^3$$

$$A_{f1} = 0,0042 \text{ m}^2$$

$$z_1 = 0,3190 \text{ m}$$

$M_{pl,rd}$ - návrhový pl. moment únosnosti celého průřezu

$$M_{pl,rd} = (W_{pl} * f_{yd}) / \gamma_{m0}$$

$$M_{pl,rd} = \underline{\underline{1\,746,60 \text{ kNm}}}$$

$$W_{pl} = 0,008353 \text{ m}^3$$

$$A_{f2} = 0,0063 \text{ m}^2$$

$$z_2 = 0,3220 \text{ m}$$

$$A_{w1} = A_{w2} = 0,0038 \text{ m}^2$$

$$z_{w1} = z_{w2} = 0,1565 \text{ m}$$

$$A_{pas.úhel} = 0,00029 \text{ m}^2$$

$$z_u = 0,3008 \text{ m}$$

Zatížitelnost tedy bude

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

$$4 * 0,555 * Z_{LM71}^2 * 0,729 + Z_{LM71} (0,219 + 8 * 0,555 * 0,729 * 0,062 - 4 * 0,555 * 0,729) + 0,038 + 4 * 0,555 * 0,062^2 - 4 * 0,555 * 0,062 - 0,555 - 1 = 0$$

$$A = 4 * K * \eta_{3,LM71}$$

$$A = 4 * 0,555 * 0,729$$

$$A = 1,618$$

$$B = \eta_{1,LM71} + 8 * K * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}$$

$$B = 0,219 + 8 * 0,555 * 0,729 * 0,062 - 4 * 0,555 * 0,729$$

$$B = -1,199$$

$$C = \eta_{1,rs} + 4 * K * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + K - 1$$

$$C = 0,038 + 4 * 0,555 * 0,062^2 - 4 * 0,555 * 0,062 + 0,555 - 1$$

$$C = -0,536$$

$$Z_{LM71}^2 * 1,618 + Z_{LM71} (-1,199) - 0,563 = 0$$

$$D = b^2 - 4 * a * c$$

$$D = -1,199^2 - 4 * 1,618 * (-0,536)$$

$$D = \underline{\underline{4,91}}$$

$$Z_{LM71,1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a}$$

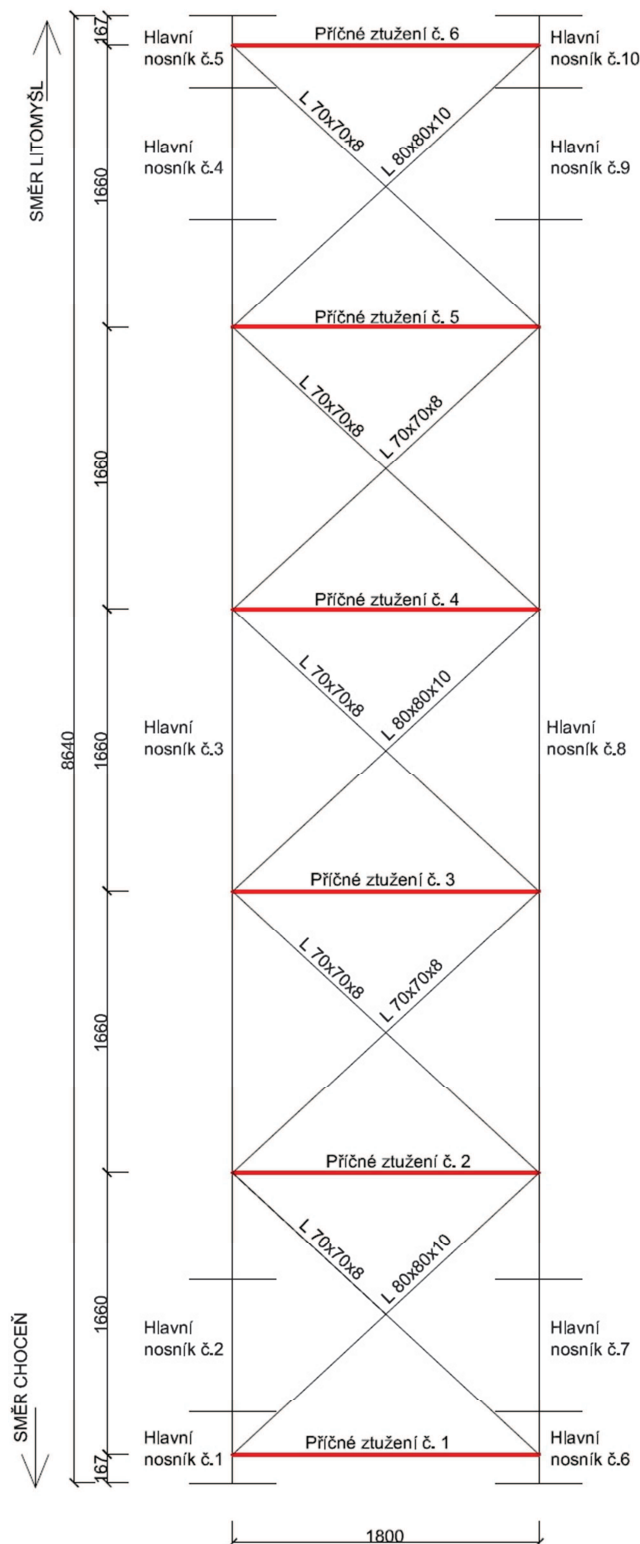
$$Z_{LM71,1,2} = \frac{1,199 \pm \sqrt{4,91}}{2 * 1,618}$$

$$Z_{LM71,1} = \underline{\underline{1,06}}$$

Po zesílení horní pásnice o 9 mm prvek unese 106% modelu UIC-71

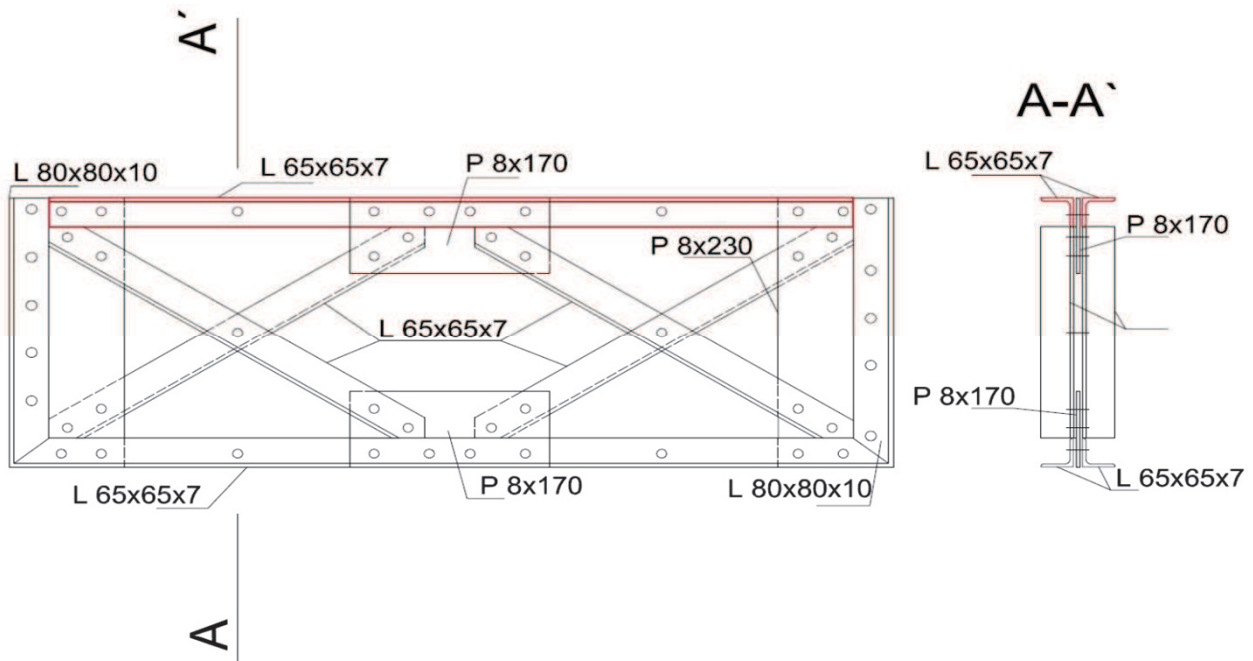
7. Posouzení příčného ztužení - schéma

Příčné ztužení je příhradové, tvořené z úhelníku profilu L. Jednotlivé rozmístění příčného ztužení je na schématu níže.



Obrázek 10 - Schéma příčného ztužení

7.1 - Příčné ztužení - horní úhelníky



Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

Pruževné charakteristiky

$f_y = 230,0 \text{ MPa}$	$A = 0,00173970 \text{ m}^2$
$f_u = 360,0 \text{ MPa}$	$I_y = 0,00000067 \text{ m}^4$
$\varepsilon = 1,011$	$I_z = 0,00000155 \text{ m}^4$
$L = 1\,604,00 \text{ mm}$	$i_y = 20 \text{ mm}$
$\beta = 1$	$i_z = 30 \text{ mm}$
$\gamma_{M0} = 1,10$	$W_{el,y} = 0,0000144 \text{ m}^3$
$\gamma_{M1} = 1,20$	$W_{el,z} = 0,0000224 \text{ m}^3$
$\gamma_{M2} = 1,30$	$W_{pl,y} = 0,0000263 \text{ m}^3$
	$A_{net} = 0,00145970 \text{ m}^2$

Hodnota tahové/tlakové síly

$N_{ed, \max} = 41,7 \text{ kN}$ - největší $N_{ed, \max}$ je u 5. příčného ztužení

$N_{ed, \min} = -24,3 \text{ kN}$ - největší $N_{ed, \min}$ je u 2. příčného ztužení

Posouzení na tah/tlak (dle ČSN EN 1993-1-1)

Posouzení na tah oslabeného průřezu dírami

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0,00174 * 230 * 10^3}{1,10}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * 0,00146 * 360 * 10^3}{1,30}$$

$$N_{pl,Rd} = \underline{\underline{363,76 \text{ kN} > 41,7 \text{ kN}}}$$

$$N_{u,Rd} = \underline{\underline{363,802 \text{ kN} > 41,7 \text{ kN}}}$$

Prvek vyhovuje podmínice

Prvek vyhovuje podmínice

Posouzení na vzpěr (dle ČSN EN 1993-1-1)

Vzpěrná délka ve směru y

$$L_{cr,y} = L \cdot \beta$$

$$L_{cr,y} = 1\,604,00 \text{ mm}$$

Vzpěrná délka ve směru z

$$L_{cr,z} = 0,5 \cdot L \cdot \beta$$

$$L_{cr,z} = 802,00 \text{ mm}$$

Poměrná štíhlost $\bar{\lambda}_y$ (dle ČSN EN 1993-1-1)

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} \quad \text{kde } \lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon$$

$$\lambda_1 = 94,93$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{1604,0}{20} \cdot \frac{1}{94,93}$$

$$\bar{\lambda}_y = 0,845$$

Součinitel vzpěrnosti χ

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}$$

$$\chi = 0,696$$

α - součinitel imperfekce pro křivku vzpěrné pevnosti b
(dle ČSN EN 1993-1-1 tab. 6.1)

$$\alpha = 0,34$$

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

$$\phi = 0,967$$

Vzpěrná únosnost (dle ČSN 1993-1-1)

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,696 \cdot 0,00174 \cdot 230 \cdot 10^3}{1,2}$$

$$N_{b,Rd} = \underline{\underline{232,076 \text{ kN} > 24,3 \text{ kN}}}$$

Prvek vyhovuje

7.1.1 Zatížitelnost horních úhelníků příčného ztužení

Zatížitelnost v tahu

$$N_{UIC} = 26,06 \text{ kN}$$

$$N_{rs} = 15,60 \text{ kN}$$

$$N_{lim} = 363,76 \text{ kN}$$

$$Z_{uic} = \frac{N_{lim} - N_{rs}}{N_{UIC}}$$

$$Z_{uic} = \frac{363,76 - 15,60}{26,06}$$

$$Z_{uic} = \underline{\underline{13,36}}$$

Zatížitelnost v tlaku

$$N_{UIC} = 20,60 \text{ kN}$$

$$N_{rs} = 3,30 \text{ kN}$$

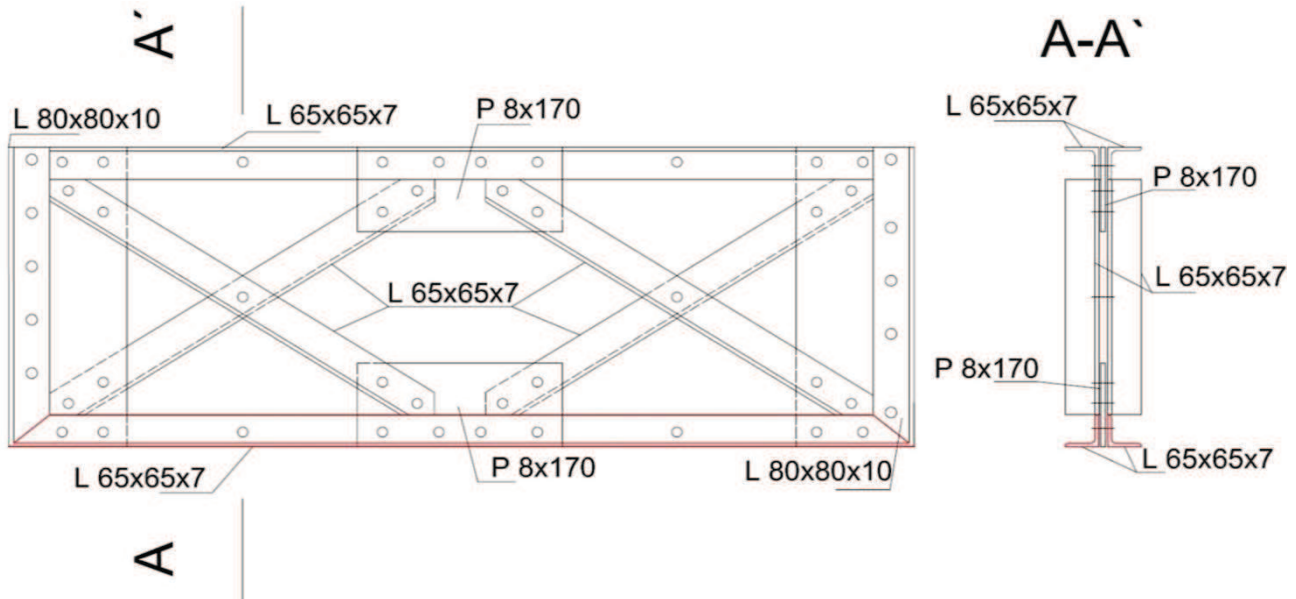
$$N_{lim} = 232,08 \text{ kN}$$

$$Z_{uic} = \frac{N_{lim} - N_{rs}}{N_{UIC}}$$

$$Z_{uic} = \frac{232,076 - 3,3}{20,60}$$

$$Z_{uic} = \underline{\underline{11,106}}$$

7.2 - Příčné ztužení - dolní úhelníky



Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

Pružové charakteristiky

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$A = 0,00173970 \text{ m}^2$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$I_y = 0,00000067 \text{ m}^4$$

$$\varepsilon = 1,011$$

$$I_z = 0,00000155 \text{ m}^4$$

$$L = 1\,604,00 \text{ mm}$$

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

$$\beta = 1$$

$$i_z = 30 \text{ mm}$$

$$Y_{M0} = 1,1$$

$$W_{el,y} = 0,0000144 \text{ m}^3$$

$$Y_{M1} = 1,2$$

$$W_{el,z} = 0,0000224 \text{ m}^3$$

$$Y_{M2} = 1,30$$

$$W_{pl,y} = 0,0000263 \text{ m}^3$$

$$A_{net} = 0,00145970 \text{ m}^2$$

Hodnota tahové/tlakové síly

$$N_{ed, \max} = 6,1 \text{ kN} - \text{největší } N_{ed, \max} \text{ je u 3. příčného ztužení}$$

$$N_{ed, \min} = -40,7 \text{ kN} - \text{největší } N_{ed, \min} \text{ je u 3. příčného ztužení}$$

Posouzení na tah/tlak (dle ČSN EN 1993-1-1)

Posouzení na tah oslabeného průřezu dírami

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0,00174 * 230 * 10^3}{1,10}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * 0,00146 * 360 * 10^3}{1,30}$$

$$N_{pl,Rd} = \underline{\underline{363,76 \text{ kN} > 6,1 \text{ kN}}}$$

$$N_{u,Rd} = \underline{\underline{363,802 \text{ kN} > 6,1 \text{ kN}}}$$

Prvek vyhovuje podmínce

Prvek vyhovuje podmínce

Posouzení na vzpěr (dle ČSN EN 1993-1-1)

Vzpěrná délka ve směru y

$$L_{cr,y} = L \cdot \beta$$

$$L_{cr,y} = 1\,604,00 \text{ mm}$$

Vzpěrná délka ve směru z

$$L_{cr,z} = 0,5 \cdot L \cdot \beta$$

$$L_{cr,z} = 802,00 \text{ mm}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1}$$

kde $\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon$

$$\lambda_1 = 94,93$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{1604}{20} * \frac{1}{94,94}$$

$$\bar{\lambda}_y = 0,845$$

Součinitel vzpěrnosti χ

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}$$

$$\chi = 0,696$$

α - součinitel imperfekce pro křivku vzpěrné pevnosti b
(dle ČSN EN 1993-1-1 tab. 6.1)

$$\alpha = 0,34$$

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

$$\phi = 0,967$$

Vzpěrná únosnost (dle ČSN 1993-1-1)

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,696 * 0,00174 * 230 * 10^3}{1,2}$$

$$N_{b,Rd} = \underline{\underline{232,08 \text{ kN} > 40,7 \text{ kN}}}$$

Prvek vyhovuje

Zatížitelnost dolních úhelníků příčného ztužení

Zatížitelnost v tahu

$$N_{UIC} = 9,90 \text{ kN}$$

$$N_{rs} = 0,40 \text{ kN}$$

$$N_{lim} = 363,76 \text{ kN}$$

$$Z_{uic} = \frac{N_{lim} - N_{rs}}{N_{UIC}}$$

$$Z_{uic} = \frac{363,76 - 0,4}{9,90}$$

$$Z_{uic} = \underline{\underline{36,703}}$$

Zatížitelnost v tlaku

$$N_{UIC} = 33,06 \text{ kN}$$

$$N_{rs} = 9,94 \text{ kN}$$

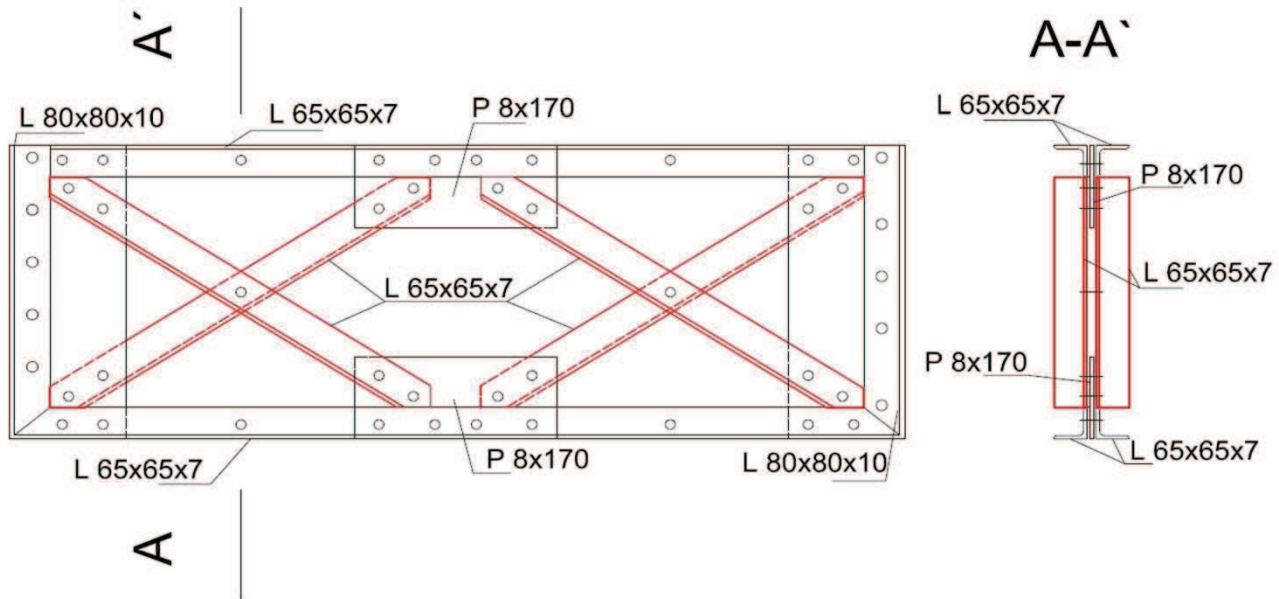
$$N_{lim} = 232,08 \text{ kN}$$

$$Z_{uic} = \frac{N_{lim} - N_{rs}}{N_{UIC}}$$

$$Z_{uic} = \frac{232,08 - 9,94}{33,06}$$

$$Z_{uic} = \underline{\underline{6,719}}$$

7.3 - Příčné ztužení - diagonály



Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

Pružové charakteristiky

$f_y = 230,0 \text{ MPa}$	$A = 0,0008700 \text{ m}^2$
$f_u = 360,0 \text{ MPa}$	$I_y = 0,0000005 \text{ m}^4$
$\epsilon = 1,011$	$I_z = 0,0000001 \text{ m}^4$
$L = 1\,099,00 \text{ mm}$	$i_y = 25 \text{ mm}$
$\beta = 1$	$i_z = 13 \text{ mm}$
$\gamma_{M0} = 1,10$	$W_{el,y} = 0,0000115 \text{ m}^3$
$\gamma_{M1} = 1,20$	$W_{el,z} = 0,0000053 \text{ m}^3$
$\gamma_{M2} = 1,30$	$W_{pl,y} = 0,0000184 \text{ m}^3$
	$A_{net} = 0,0007300 \text{ m}^2$

Hodnota tahové/tlakové síly

$N_{ed, \max} = 8,80 \text{ kN}$ - největší $N_{ed, \max}$ je u 4. příčného ztužení
 $N_{ed, \min} = -8,5 \text{ kN}$ - největší $N_{ed, \min}$ je u 4. příčného ztužení

Posouzení na tah/tlak (dle ČSN EN 1993-1-1)

Posouzení na tah oslabeného průřezu dírami

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0,00087 * 230 * 10^3}{1,10}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * 0,00073 * 360 * 10^3}{1,30}$$

$$N_{pl,Rd} = \underline{\underline{181,909 \text{ kN} > 8,80 \text{ kN}}}$$

$$N_{u,Rd} = \underline{\underline{181,938 \text{ kN} > 8,80 \text{ kN}}}$$

Prvek vyhovuje podmínce

Prvek vyhovuje podmínce

Vzpěrná délka ve směru y

$$L_{cr,y} = L \cdot \beta$$

$$L_{cr,y} = 1\,099,00 \text{ mm}$$

Vzpěrná délka ve směru z

$$L_{cr,z} = 0,5 \cdot L \cdot \beta$$

$$L_{cr,z} = 549,50 \text{ mm}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1}$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{1099}{25} * \frac{1}{94,94}$$

$$\bar{\lambda}_y = 0,463$$

kde $\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon$

$$\lambda_1 = 94,93$$

Součinitel vzpěrnosti χ

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}$$

$$\chi = 0,9$$

α - součinitel imperfekce pro křivku vzpěrné pevnosti b

(dle ČSN EN 1993-1-1 tab. 6.1)

$$\alpha = 0,34$$

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

$$\phi = 0,652$$

Vzpěrná únosnost (dle ČSN 1993-1-1)

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,9 * 0,00174 * 230 * 10^3}{1,20}$$

$$N_{b,Rd} = \underline{\underline{150,075 \text{ kN} > 8,50 \text{ kN}}}$$

Prvek vyhovuje

Zatížitelnost diagonálních úhelníků příčného ztužení

Zatížitelnost v tahu

$$N_{UIC} = 8,14 \text{ kN}$$

$$N_{rs} = 1,80 \text{ kN}$$

$$N_{lim} = 181,91 \text{ kN}$$

$$Z_{uic} = \frac{N_{lim} - N_{rs}}{N_{UIC}}$$

$$Z_{uic} = \frac{181,91 - 1,80}{8,14}$$

$$Z_{uic} = \underline{\underline{22,126}}$$

Zatížitelnost v tlaku

$$N_{UIC} = 8,19 \text{ kN}$$

$$N_{rs} = 1,22 \text{ kN}$$

$$N_{lim} = 150,08 \text{ kN}$$

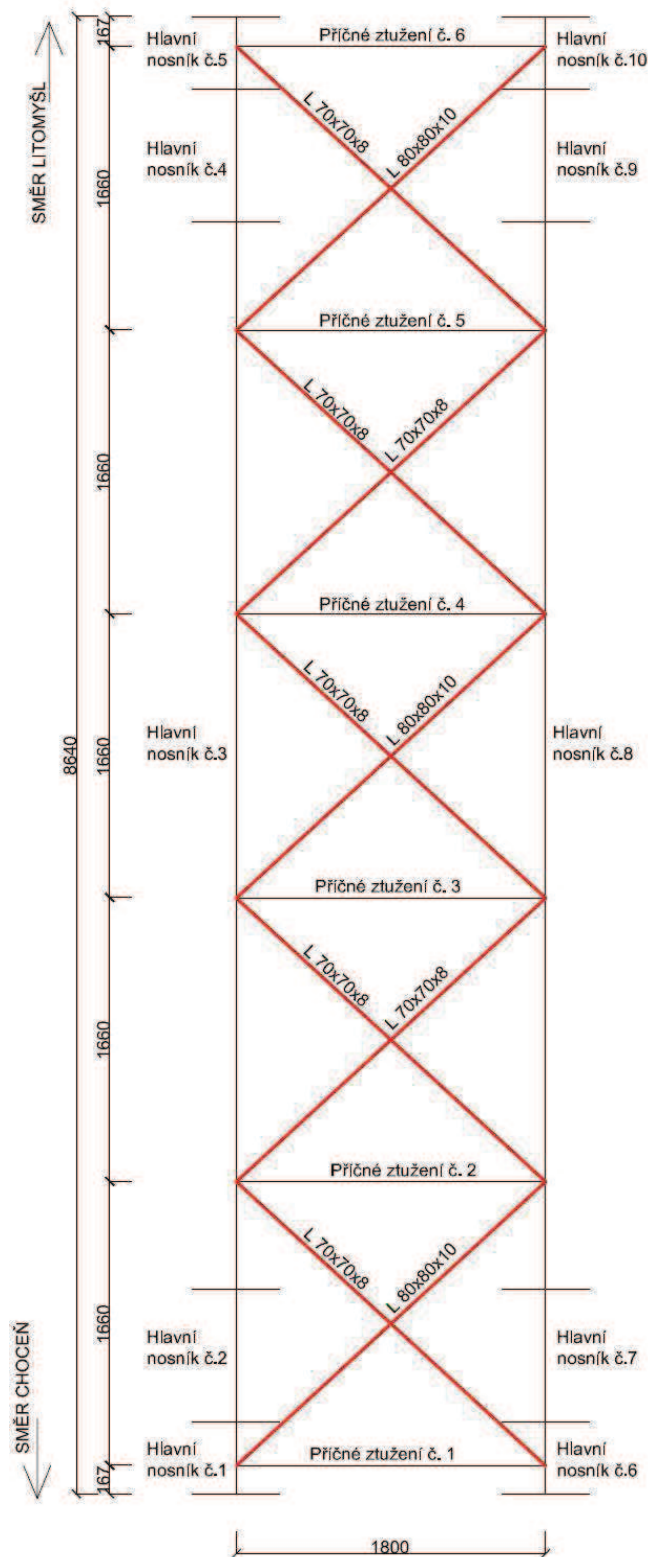
$$Z_{uic} = \frac{N_{lim} - N_{rs}}{N_{UIC}}$$

$$Z_{uic} = \frac{150,08 - 1,22}{8,19}$$

$$Z_{uic} = \underline{\underline{18,175}}$$

8. Posouzení zavětrování

Zavětrování je složeno z typické podélné soustavy skládající se z dolních úhelníků L 70x70x8 mm a horních úhelníků z L 80x80x10 mm.



Obrázek 11 - Schéma zavětrování hlavních nosníků

8.1 - Zavětrování - horní úhelník

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = 1,011$$

$$L = 2\,448,70 \text{ mm}$$

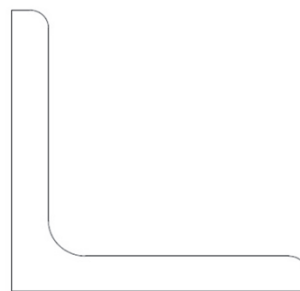
$$\beta = 1$$

$$\gamma_{M0} = 1,10$$

$$\gamma_{M1} = 1,20$$

$$\gamma_{M2} = 1,30$$

L 80x80x10



Pružové charakteristiky *

$$A = 0,00151 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,00000139 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,00000037 \text{ m}^4$$

$$i_y = 30 \text{ mm}$$

$$i_z = 16 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 0,0000245 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0000110 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0000393 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0000202 \text{ m}^3$$

$$A_{net} = 0,0013100 \text{ m}^2$$

Hodnota tahové/tlakové síly

$$N_{ed, max} = 41,24 \text{ kN}$$

$$N_{ed, min} = -63,31 \text{ kN}$$

Největší $N_{ed, max}$ je mezi 1. a 2. příčným ztužením

Největší $N_{ed, min}$ je mezi 5. a 6. příčným ztužením

Posouzení na tah/tlak (dle ČSN EN 1993-1-1)

$$N_{pl,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0,00151 * 230 * 10^3}{1,10}$$

$$N_{pl,Rd} = \underline{\underline{315,727 \text{ kN} > 41,24 \text{ kN}}}$$

Prvek vyhovuje podmínce

Posouzení na tah průřezu oslabeného dírami (dle CSN EN 1993-1-1)

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9A_{net}f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,90 * 0,00131 * 360 * 10^3}{1,30}$$

$$N_{u,Rd} = \underline{\underline{326,492 \text{ kN} > 41,24 \text{ kN}}}$$

Prvek vyhovuje podmínce

Posouzení na vzpěř (dle ČSN EN 1993-1-1)

Poměrná štíhlost $\bar{\lambda}_y$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} \quad \text{kde } \lambda_1 = 93,9 * \epsilon$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{2448,7}{30} * \frac{1}{93,94} \quad \lambda_1 = 94,93$$

$$\bar{\lambda}_y = 0,86$$

Vzpěrná délka ve směru y

$$L_{cr} = L * \beta$$

$$L_{cr} = 2\,448,7 \text{ mm}$$

Součinitel vzpěrnosti χ

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}$$

$$\chi = 0,687$$

α - součinitel imperfekce pro křivku vzpěrné pevnosti b
(dle ČSN EN 1993-1-1 tab. 6.1)

$$\alpha = 0,34$$

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

$$\phi = 0,982$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,687 * 0,00151 * 230 * 10^3}{1,10}$$

$$N_{b,Rd} = 198,829 \text{ kN} > 63,3 \text{ kN}$$

Prvek vyhovuje

Zatížitelnost horních úhelníků podélného zavětrování

Zatížitelnost v tahu

$$N_{UIC} = 28,19 \text{ kN}$$

$$N_{rs} = 13,57 \text{ kN}$$

$$N_{lim} = 315,73 \text{ kN}$$

$$Z_{uic} = \frac{N_{lim} - N_{rs}}{N_{UIC}}$$

$$Z_{uic} = \frac{315,73 - 13,57}{28,19}$$

$$Z_{uic} = 10,719$$

Zatížitelnost v tlaku

$$N_{UIC} = 38,56 \text{ kN}$$

$$N_{rs} = 24,73 \text{ kN}$$

$$N_{lim} = 198,83 \text{ kN}$$

$$Z_{uic} = \frac{N_{lim} - N_{rs}}{N_{UIC}}$$

$$Z_{uic} = \frac{198,83 - 24,73}{38,56}$$

$$Z_{uic} = 4,515$$

8.2- Zavětrování - dolní úhelník

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$f_y = 230,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360,0 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = 1,011$$

$$L = 2\,448,70 \text{ mm}$$

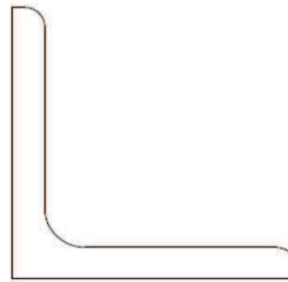
$$\beta = 1$$

$$\gamma_{M0} = 1,10$$

$$\gamma_{M1} = 1,20$$

$$\gamma_{M2} = 1,30$$

L 70x70x8



Pruževé charakteristiky *

$$A = 0,00107 \text{ m}^2$$

$$I_y = 0,00000075 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,00000020 \text{ m}^4$$

$$i_y = 26 \text{ mm}$$

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

$$W_{el,y} = 0,0000151 \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 0,0000069 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 0,0000242 \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 0,0000125 \text{ m}^3$$

$$A_{net} = 0,0009100 \text{ m}^2$$

Hodnota tanové/tlakové síly

$$N_{ed, \max} = 28,4 \text{ kN}$$

$$N_{ed, \min} = -12,2 \text{ kN}$$

Největší $N_{ed, \max}$ je mezi 3. a 4. příčným ztužením

Největší $N_{ed, \min}$ je mezi 2. a 3. příčným ztužením

Posouzení na tah/tlak (dle ČSN EN 1993-1-1)

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0,00107 * 230 * 10^3}{1,10}$$

$$N_{pl,Rd} = \underline{\underline{223,73 \text{ kN} > 28,40 \text{ kN}}}$$

Prvek vyhovuje podmínce

Posouzení na tah průřezu oslabeného dírami (dle CSN EN 1993-1-1)

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,90 * 0,00091 * 360 * 10^3}{1,30}$$

$$N_{u,Rd} = \underline{\underline{226,8 \text{ kN} > 28,40 \text{ kN}}}$$

Prvek vyhovuje podmínce

Posouzení na vzpěř (dle ČSN EN 1993-1-1)

Poměrná štíhlost $\bar{\lambda}_y$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} \quad \text{kde } \lambda_1 = 93,9 * \varepsilon$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{2448,7}{26} * \frac{1}{93,94}$$

$$\bar{\lambda}_y = 1,003$$

Vzpěrná délka ve směru y

$$L_{cr} = L * \beta$$

$$L_{cr} = 2448,7 \text{ mm}$$

Součinitel vzpěrnosti χ

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}$$

$$\chi = 0,595$$

α - součinitel imperfekce pro křivku vzpěrné pevnosti b
(dle ČSN EN 1993-1-1 tab. 6.1)

$$\alpha = 0,34$$

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

$$\phi = 1,14$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,595 * 0,00107 * 230 * 10^3}{1,20}$$

$$N_{b,Rd} = \underline{\underline{122,025}} > 12,2 \text{ kN}$$

Prvek vyhovuje

Zatížitelnost dolních úhelníků podélného zavětrování

Zatížitelnost v tahu

$$N_{UIC} = 24,33 \text{ kN}$$

$$N_{rs} = 10,31 \text{ kN}$$

$$N_{lim} = 223,73 \text{ kN}$$

$$Z_{uic} = \frac{N_{lim} - N_{rs}}{N_{UIC}}$$

$$Z_{uic} = \frac{223,73 - 10,31}{24,33}$$

$$Z_{uic} = \underline{\underline{8,772}}$$

Zatížitelnost v tlaku

$$N_{UIC} = 12,54 \text{ kN}$$

$$N_{rs} = 0,00 \text{ kN}$$

$$N_{lim} = 122,05 \text{ kN}$$

$$Z_{uic} = \frac{N_{lim} - N_{rs}}{N_{UIC}}$$

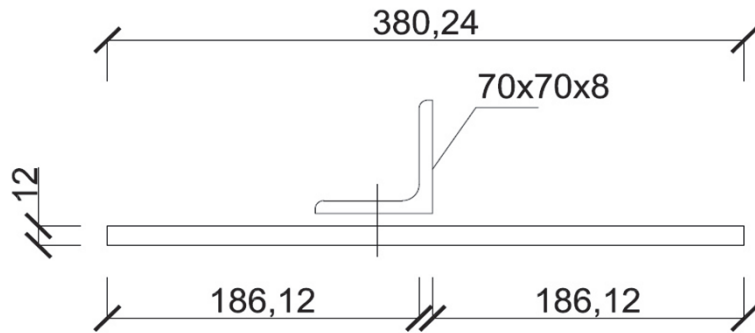
$$Z_{uic} = \frac{122,05 - 0,0}{12,54}$$

$$Z_{uic} = \underline{\underline{9,733}}$$

9. Posouzení svislé výztuhy hlavního nosníku

Materiál: Plávková ocel (rok výroby 1934)

$$\begin{aligned} f_y &= 230,0 \text{ MPa} \\ f_u &= 360,0 \text{ MPa} \\ \epsilon &= 1,011 \\ L &= 626,00 \text{ mm} \\ \beta &= 1 \\ \gamma_{M0} &= 1,10 \\ \gamma_{M1} &= 1,20 \\ \gamma_{M2} &= 1,30 \end{aligned}$$



Pruževné charakteristiky:

$$\begin{aligned} A &= 0,00562980 \text{ m}^2 \\ I_y &= 0,00000111 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

Posouvající síla:

$$N_{sd} = 837,18 \text{ kN}$$

Podmínky (dle ČSN EN 1993 -1 -5)

$$\begin{aligned} a/h_w &\geq \sqrt{2} & I &\geq 0,75 * h_w * t^3 \\ 1,66/0,626 &\geq \sqrt{2} & 1,11*10^{-6} &\geq 0,75 * 0,626 * 0,012^3 \\ 2,65 &\geq 1,414 & 1,11*10^{-6} &\geq 8,112*10^{-7} \\ \text{Podmínka je splněna} & & \text{Podmínka je splněna} & \end{aligned}$$

Posouzení na vzpěr (dle ČSN EN 1993-1-1)

$$\begin{aligned} i_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1,11 * 10^{-6}}{5,63 * 10^{-5}}} \\ i_y &= 14 \text{ mm} \end{aligned}$$

Poměrná štíhlost $\bar{\lambda}_y$

$$\begin{aligned} \bar{\lambda}_y &= \frac{L_{cr}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} & \text{kde } \lambda_1 &= 93,9 * \epsilon \\ & & \lambda_1 &= 93,9 \\ \bar{\lambda}_y &= 0,474 \end{aligned}$$

Vzpěrná délka ve směru y

$$\begin{aligned} L_{cr} &= L * \beta \\ L_{cr} &= 626,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

Součinitel vzpěrnosti χ

$$\begin{aligned} \chi &= \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} & \alpha &= \text{součinitel imperfekce pro křivku vzpěrné pevnosti } \lambda \\ & & & \text{(dle ČSN EN 1993-1-1 tab. 6.1)} \\ \chi &= 0,895 & \alpha &= 0,34 \\ & & \phi &= 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \\ & & \phi &= 0,659 \end{aligned}$$

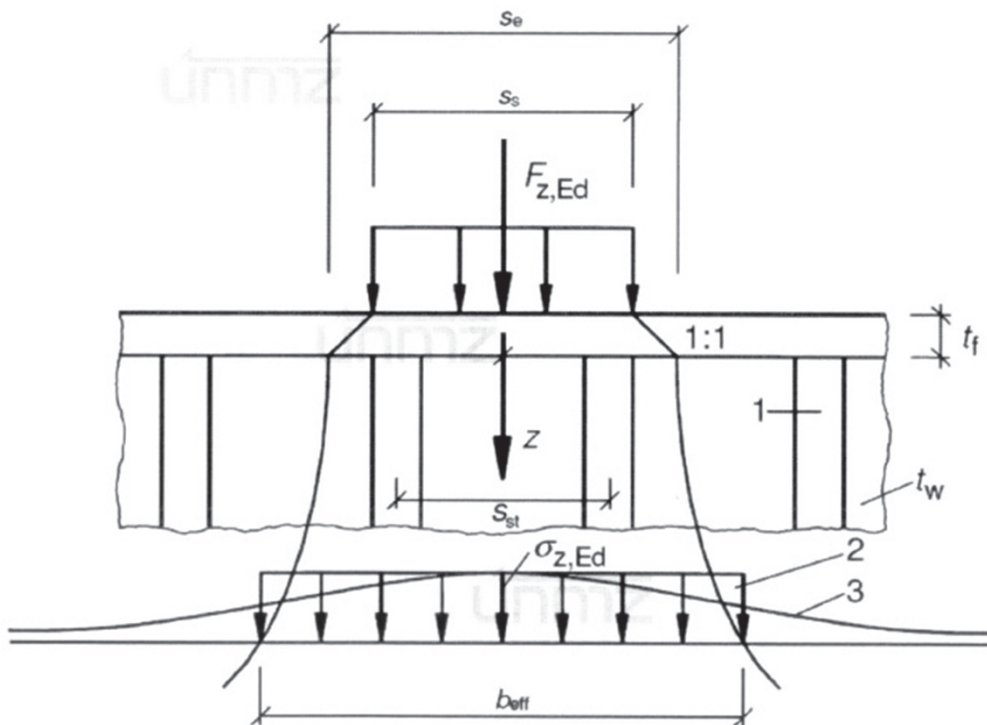
Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,902 * 0,00563 * 10^6 * 230}{1,20}$$

$$N_{b,Rd} = 965\,745,28 \text{ N} \geq 837\,180,0 \text{ kN}$$

Prvek vyhovuje

10. Lokální stabilita stojiny



- kde F_{Ed} - stěnové zatížení
 b_{eff} - efektivní šířka
 $a_{st,l}$ - plocha svislých výztuh
 t_w - tloušťka stojiny - 12 mm
 t_f - tloušťka pásnice - 9 mm
 s_s - šířka mostnice - 240 mm
 s_{st} - vzdálenost svislých výztuh - 835,7 mm
- 1 - výztuha
 2 - zjednodušený průběh napětí
 3 - skutečný průběh napětí

Podmínka

$$F_{Ed} < R_{b,Rd}$$

Návrhové zatížení:

$$F_{Ed} = 250 * 0,5 * \alpha * \delta * 0,5 * \gamma_f$$

$$\alpha - \text{násobitel zatížení} = 1,0$$

$$F_{Ed} = 250 * 0,5 * 1,0 * 1,536 * 0,5 * 1,30$$

$$\delta - \text{dynamický součinitel} = 1,536$$

$$F_{Ed} = 124,8 \text{ kN}$$

$$\gamma_f - \text{součinitel zatížení dopravou} = 1,30$$

Roznášecí délka s_e (nemá se brát větší roznášecí délka než h_w)

$$s_e = s_s + 2 * t_f$$

$$s_e = 240 + 2 * 9$$

$$s_e = 258,0 \text{ mm}$$

Pokud je $s_{st}/s_e \geq 0,5$ příspěvek výztuh se zanedbá

$$s_{st}/s_e \geq 0,5$$

$$835,7/258,0 \geq 0,5$$

$$3,24 \geq 0,5$$

Efektivní šířka b_{eff}

$$b_{\text{eff}} = s_e \sqrt{1 + \left(\frac{z}{s_e n}\right)^2} \quad \text{kde } z - \text{ vzdálenost od pásnice (bráno 0 pro největší napětí)}$$

$$b_{\text{eff}} = 258,0 * \sqrt{1}$$

$$b_{\text{eff}} = 258,0 \text{ mm}$$

$$\text{kde } n = 0,636 * \sqrt{1 + \frac{0,878 * a_{st,l}}{t_w}}$$

$$n = 0,636 * \sqrt{1 + \frac{0,878 * 0}{12}}$$

$$n = 0,636$$

Plocha průřezu A

$$A = b_{\text{eff}} * t_w$$

$$A = 258 * 12$$

$$A = \underline{\underline{3\,096 \text{ mm}^2}}$$

Monet setrvačnosti kolem osy y

$$I_y = 1/12 * b_{\text{eff}} * t_w^3$$

$$I_y = 1/12 * 258 * 12^3$$

$$I_y = \underline{\underline{37\,152 \text{ mm}^4}}$$

Poloměr setrvačnosti kolem osy y

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{37152}{3096}}$$

$$i_y = \underline{\underline{3,46 \text{ mm}}}$$

Vzpěrná délka L_{cr}

$$L_{\text{cr}} = h_w * \beta$$

$$L_{\text{cr}} = 626 * 0,9$$

$$L_{\text{cr}} = 563,40 \text{ mm}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{\text{cr}}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1}$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{563,4}{3,46} * \frac{1}{94,93}$$

$$\bar{\lambda}_y = \underline{\underline{1,713}}$$

kde $\lambda_1 = 93,9 * \epsilon$

$$\lambda_1 = 94,93$$

Součinitel vzpěrnosti χ

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}$$

$$\chi = 0,255$$

α - součinitel imperfekce pro křivku vzpěrné pevnosti c

$$\alpha = 0,49$$

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

$$\phi = 2,338$$

Vzpěrná únosnost stojiny

$$R_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,255 * 3096 * 10^{-6} * 230 * 10^3}{1,20}$$

$$R_{b,Rd} = \underline{\underline{151,317 \text{ kN} > 124,8 \text{ kN}}}$$

Vyhovuje

11. Přehled výsledků

11.1. Hlavní nosníky

V tabulce č. 3 jsou uvedeny hodnoty vnitřních sil, výsledky posouzení příčného řezu η_1 , posouzení hlavního nosníku na smyk η_3 , a výsledek interakce mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou.

Tabulka 3 - Hlavní nosníky

Prvek	N [kN]	Vz [kN]	M _y [kNm]	η_1	η_3	interakce
Hl. n. č. 1	201,0	777,60	100,4	0,115	0,928	0,542
Hl. n. č. 2	416,0	545,2	360,6	0,365	0,654	0,317
Hl. n. č. 3	999,9	469,8	777,7	0,617	0,558	0,429
Hl. n. č. 4	509,1	544,70	390,3	0,377	0,654	0,333
Hl. n. č. 5	419,3	796,8	166,0	0,205	0,950	0,638
Hl. n. č. 6	191,6	810,0	101,5	0,114	0,967	0,621
Hl. n. č. 7	414,0	570,2	375,7	0,376	0,684	0,355
Hl. n. č. 8	950,7	496,0	791,8	0,618	0,590	0,439
Hl. n. č. 9	363,4	578,3	357,3	0,352	0,694	0,351
Hl. n. č. 10*	363,4	837,20	116,3	0,156	0,999	-
Hl. n. č. 10**	363,4	837,20	116,3	0,151	0,858	0,414

* Hlavní nosník č. 10 před zesílením stojiny.

** Hlavní nosník č. 10 po zesílení stojiny.

V tabulce č. 4 je uvedena zatížitelnost jednotlivých průřezů hlavních nosníků před zesílením a po zesílení.

Tabulka 4 – Zatížitelnost hlavních nosníků

Prvek		$\eta_{1,rs}$	$\eta_{1,LM71}$	$\eta_{3,rs}$	$\eta_{3,LM71}$	k	Z _{lm,71}
Hl. n. č. 1	Před zesílením	0,033	0,195	0,032	0,826	0,623	1,039
	Po zesílení	0,033	0,191	0,027	0,708	0,634	1,052
Hl. n. č. 2	Před zesílením	0,034	0,453	0,026	0,576	0,655	0,92
	Po zesílení	0,024	0,336	0,026	0,576	0,507	1,074
Hl. n. č. 3	Před zesílením	0,035	0,664	0,022	0,496	0,507	0,87
	Po zesílení	0,03	0,571	0,022	0,496	0,441	1,143
Hl. n. č. 4	Před zesílením	0,034	0,488	0,025	0,575	0,655	0,902
	Po zesílení	0,025	0,363	0,025	0,575	0,507	1,058
Hl. n. č. 5	Před zesílením	0,039	0,303	0,032	0,847	0,623	0,991
	Po zesílení	0,038	0,296	0,027	0,726	0,634	1,00
Hl. n. č. 6	Před zesílením	0,022	0,236	0,067	0,826	0,623	1,00
	Po zesílení	0,022	0,231	0,057	0,708	0,634	1,02
Hl. n. č. 7	Před zesílením	0,043	0,456	0,052	0,576	0,655	0,91
	Po zesílení	0,031	0,338	0,052	0,576	0,507	1,06
Hl. n. č. 8	Před zesílením	0,06	0,645	0,05	0,497	0,507	0,87
	Po zesílení	0,052	0,554	0,05	0,497	0,441	1,17
Hl. n. č. 9	Před zesílením	0,041	0,434	0,058	0,579	0,655	0,92
	Po zesílení	0,029	0,322	0,058	0,579	0,507	1,07
Hl. n. č. 10	Před zesílením	0,045	0,255	0,062	0,729	0,634	0,99
	Po zesílení	0,038	0,219	0,062	0,729	0,555	1,06

11.2. Příčné ztužení

Jelikož most je bez mostovky, jsou příčníky nahrazeny příhradovým, příčným ztužením složeným z horních a dolních úhelníků ze zdvojených L 65/8 mm. Diagonály jsou z jednoduchých L 65/8 mm. Jelikož se jedná o příhradovou soustavu, byly prvky posuzovány na osovou sílu tahovou $N_{Ed,min}$ a na sílu tlakovou $N_{Ed,max}$. V tabulce č. 5 jsou uvedeny největší hodnoty těchto sil a také návrhová únosnost v tlaku $N_{b,Rd}$ a únosnost v tahu neoslabeného průřezu $N_{pl,Rd}$ a oslabeného průřezu $N_{u,Rd}$.

Tabulka 5 - Příčné ztužení

Příčné ztužení						
Prvek	Tlak (vzpěr)		Tah (neoslabený a oslabený průřez)			Zat.
	$N_{Ed,min}$ [kN]	$N_{b,Rd}$ [kN]	$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{pl,Rd}$ [kN]	$N_{u,Rd}$ [kN]	Z_{LM71}
Horní úhelníky	24,3	232,08	41,7	363,76	363,80	11,11
Dolní úhelníky	40,7	232,08	6,1	363,76	363,80	6,72
Diagonály	8,50	150,08	8,80	181,91	181,94	18,18

11.3. Zavětrování hlavních nosníků

Zavětrování hlavních nosníků se skládá z horního podélného ztužení z úhelníků L 80/10 mm a dolního podélného ztužení z úhelníků L 70/8 mm. Prvky byly posuzovány na osovou sílu tlakovou $N_{Ed,min}$ a na sílu tahovou $N_{Ed,max}$. V tabulce č. 6 jsou uvedeny největší hodnoty těchto sil a také návrhová únosnost v tlaku $N_{b,Rd}$ a únosnost v tahu neoslabeného průřezu $N_{pl,Rd}$ a oslabeného průřezu $N_{u,Rd}$.

Tabulka 6 - Zavětrování hlavních nosníků

Zavětrování hlavních nosníků						
Prvek	Tlak (vzpěr)		Tah (neoslabený a oslabený průřez)			Zat.
	$N_{Ed,min}$ [kN]	$N_{b,Rd}$ [kN]	$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{pl,Rd}$ [kN]	$N_{u,Rd}$ [kN]	Z_{LM71}
Horní úhelníky	63,31	198,83	41,24	315,73	326,49	4,52
Dolní úhelníky	12,2	122,03	28,40	223,73	226,80	8,72

12. Závěr

Statický přepočet byl proveden podle platných evropských a českých norem s tím, že při výpočtu zatížení byly použity součinitele zatížení γ a součinitele spolehlivosti materiálu γ_M dle nové směrnice SR 5. Zatížitelnost byla určena podle nové směrnice SR 5, která bude vydaná v 1. čtvrtletí roku 2015. Nová směrnice více spolupracuje Eurokódem, ale oproti evropské normě rozlišuje objekty podle stáří. Tato skutečnost má hlavní podíl na rozdíly ve výsledcích obou přepočtů.

Hlavní nosník č. 10 má stojinu nevyhovující na smyk, proto bylo navrženo zesílení stojiny ze 12 mm na 14 mm. Toto zesílení bylo aplikované na všechny průřezy hlavních nosníků, co se nachází nad uložením konstrukce, tedy hlavní nosníky č. 1, 5, 6 a 10.

Zatížitelnost $Z_{LM71} \geq 1,0$ nevyšla u hlavních nosníků č. 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9 a 10. U těchto průřezů bylo navrženo zesílení pásnic nebo stojiny, aby byla splněna podmínka $Z_{LM71} \geq 1,0$. Skutečná traťová třída zatížení na mostě je C3, takže je pravděpodobné, že nosníky by z hlediska přechodnosti vyhověly.

Zatížitelnost Z_{LM71} prvků příčného ztužení a zavětrování hlavních nosníků vyšla s dostatečnou rezervou.

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

5.0 FOTODOKUMENTACE

Statický přepočít plnostěnné ocelové mostní konstrukce na trati
TÚ Choceň (mimo) – Litomyšl (včetně) v kilometru 6,255.

Bc. Luboš Dejmek

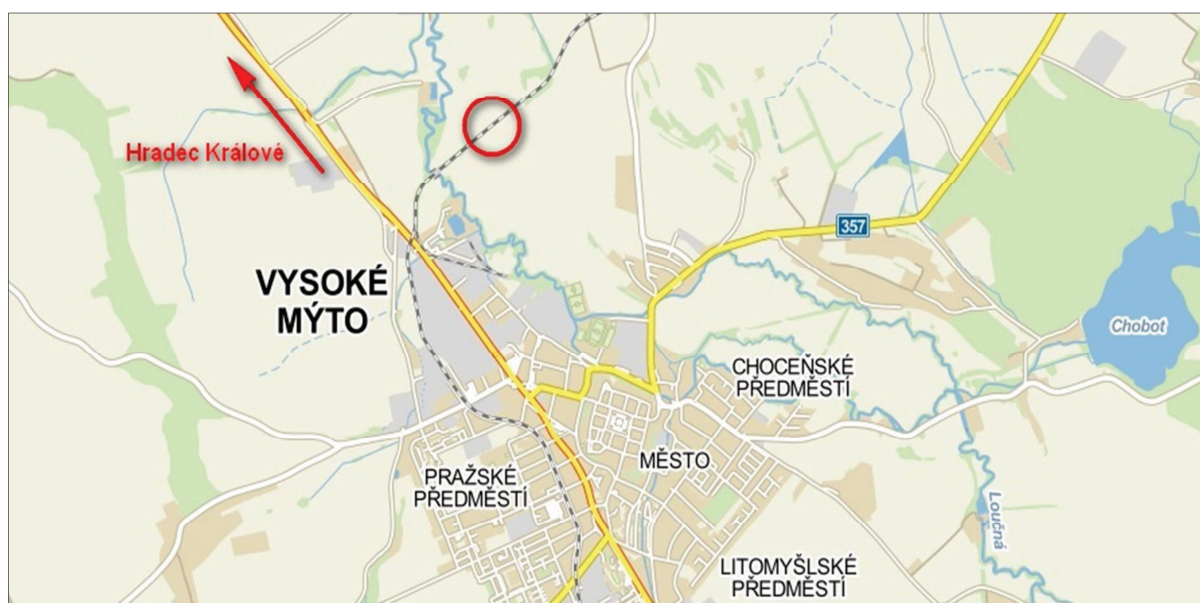
Diplomová práce

2015

1. Situace objektu



Obrázek 1 - letecký snímek okolí objektu (zdroj www.mapy.cz)

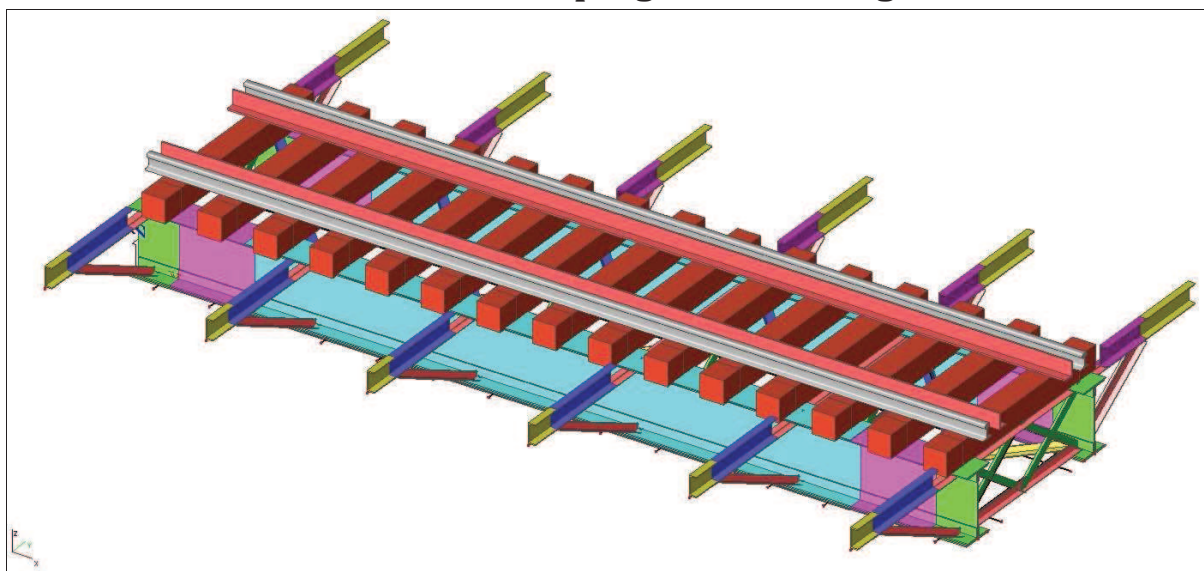


Obrázek 2 - Poloha objektu (zdroj www.mapy.cz)

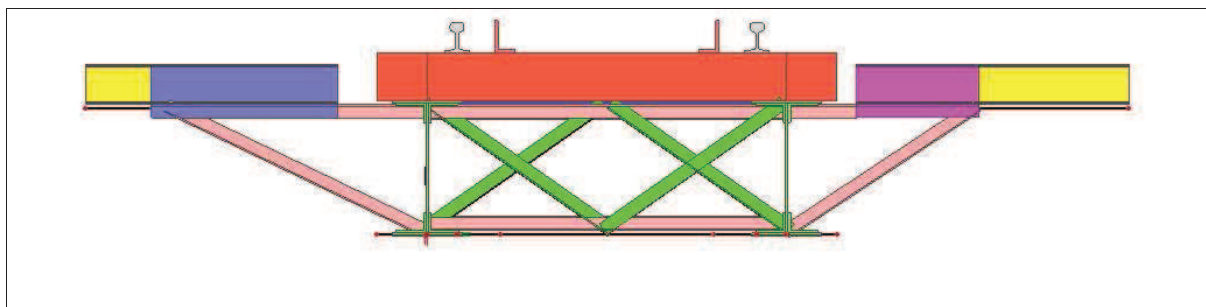


Obrázek 3 - Letecký snímek objektu (zdroj www.mapy.cz)

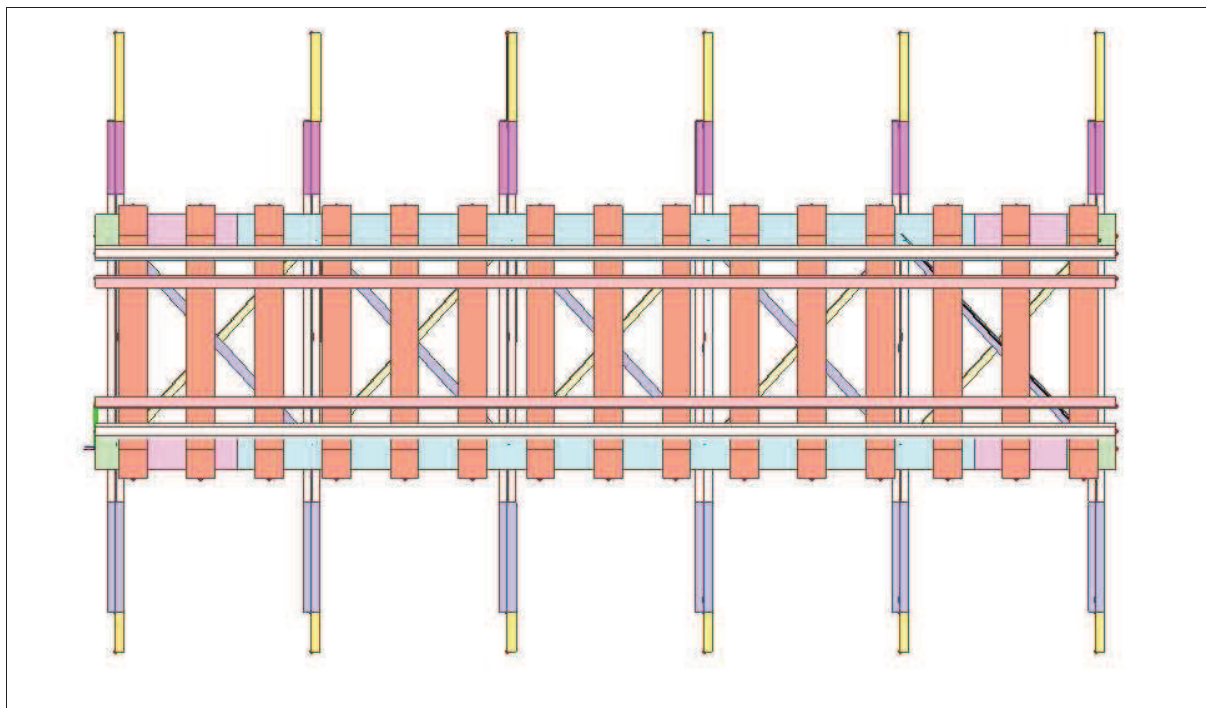
2. Model mostní konstrukce z programu Scia Engineer 2014



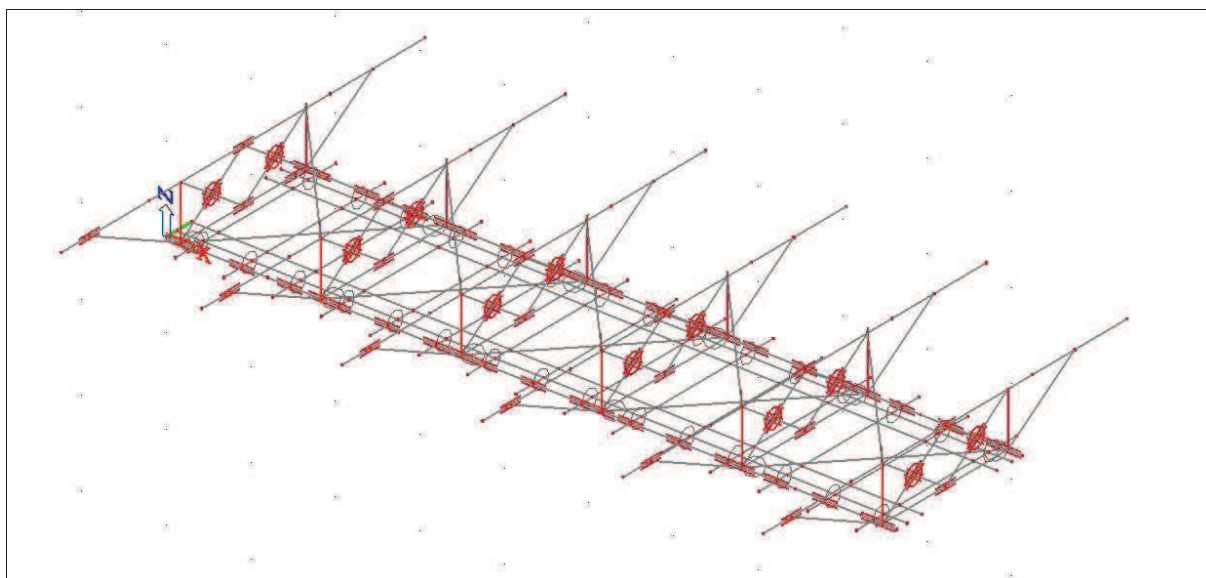
Obrázek 4 - Model mostu s barevným rozlišením jednotlivých průřezů



Obrázek 5 - Model konstrukce - příčný řez



Obrázek 6 - model mostu - pohled shora



Obrázek 7 - model mostu - prutová soustava

3. Fotodokumentace objektu



Obrázek 8 - Pohled proti směru staničení



Obrázek 9 - Pohled na objekt zprava



Obrázek 10 - Pohled na objekt zleva



Obrázek 11 Konzole pro chodníkové konzole vpravo



Obrázek 12 Konzole pro chodníkové podlahy vlevo



Obrázek 13 - Pohled vnitřní část konstrukce



Obrázek 14 - Příklad pevného uložení na opěře O 01 vlevo



Obrázek 15 - Příklad pohyblivého a pevného uložení konstrukcí na pilíři



Obrázek 16 - Pohled spodní část konstrukce



Obrázek 17 - Detail napojení příčného ztužení na hlavní nosník

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

6.0 Vyhodnocení výsledku, tabulky průřezových charakteristik a hodnoty
vnitřních sil z programu Scia Engineer 2014

Statický přepoččet plnostěnné ocelové mostní konstrukce na trati
TÚ Choceň (mimo) – Litomyšl (včetně) v kilometru 6,255.

Bc. Luboš Dejmek

Diplomová práce

2015

Obsah

1. Porovnání výsledků statického přepočtu dle EN a SR 5.....	4
2. Vyhodnocení výsledků.....	5
3. Tabulky průřezových charakteristik původní konstrukce	7
4. Tabulky průřezových charakteristik zesílené konstrukce.....	12
Příloha č. 1 – Hodnoty vnitřních sil dle EN.....	14
Příloha č. 2 – Hodnoty vnitřních sil dle SR 5.....	19

1. Porovnání výsledků statického přepočtu dle EN a SR 5

Jednotlivé prvky jsou uvedeny v tabulce 1 - 3 s uvedenými hodnotami vnitřních sil a posouzením podle EN a směrnice SR 5. U hlavních nosníků je v tabulce uvedeno posouzení příčného řezu η_1 , posouzení hlavního nosníku na smyk η_3 a výsledek interakce mezi smykovou silou ohybovým momentem a osovou silou.

Prvky příčného ztužení (tabulka 2) a prvky zavětrování (tabulka 3) byly posuzovány na osovou sílu. V tabulce jsou uvedeny hodnoty této síly N_{Ed} a hodnoty návrhové únosnosti v tlaku (vzpěr) $N_{b,Rd}$ a v tahu neoslabeného $N_{pl,Rd}$ a oslabeného průřezu $N_{u,Rd}$.

Tabulka 1 - Porovnání výsledků hlavních nosníků

Prvek	dle normy	N [kN]	Vz [kN]	M_y [kNm]	η_1	η_3	interakce
Hlavní nosník č.1	En	223,1	862,7	111,6	0,116	0,858	0,402
	SR 5	201,0	777,6	100,4	0,115	0,928	0,542
Hlavní nosník č.2	En	461,4	604,4	399,7	0,367	0,604	0,292
	SR 5	416,0	545,2	360,6	0,365	0,654	0,317
Hlavní nosník č.3	En	1108,5	520,80	861,9	0,622	0,516	0,421
	SR 5	999,9	469,8	777,7	0,617	0,558	0,429
Hlavní nosník č.4	En	565,0	603,90	432,8	0,409	0,604	0,307
	SR 5	509,1	544,7	390,3	0,377	0,654	0,333
Hlavní nosník č.5	En	467,4	884,2	184,6	0,208	0,880	0,489
	SR 5	419,3	796,8	166,0	0,205	0,95	0,638
Hlavní nosník č.6	En	212,5	898,8	112,8	0,115	0,894	0,469
	SR 5	191,6	810,0	101,5	0,114	0,967	0,621
Hlavní nosník č.7	En	459,2	632,2	416,5	0,379	0,632	0,314
	SR 5	414,0	570,2	375,7	0,376	0,684	0,355
Hlavní nosník č.8	En	1053,6	550,0	877,6	0,623	0,545	0,435
	SR 5	950,7	496,0	791,8	0,618	0,590	0,439
Hlavní nosník č.9	En	404,3	641,3	396,2	0,355	0,641	0,304
	SR 5	363,4	578,3	357,3	0,352	0,694	0,351
Hlavní nosník č.10	En	404,3	929,1	129,3	0,158	0,924	0,541
	SR 5*	363,4	837,2	116,3	0,156	1,007	-
	SR 5**	363,4	837,2	116,3	0,151	0,858	0,414

* hlavní nosník č. 10 před zesílením stojiny

** hlavní nosník č. 10 po zesílení stojiny

Tabulka 2 - Porovnání výsledků příčného ztužení

Prvek	dle normy	Příčné ztužení				
		Tlak (vzpěr)		Tah (neoslabený a oslabený průřez)		
		$N_{Ed,min}$ [kN]	$N_{b,Rd}$ [kN]	$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{pl,Rd}$ [kN]	$N_{u,Rd}$ [kN]
Horní úhelníky	EN	27,4	278,49	46,04	400,13	378,35
	SR 5	24,3	232,08	41,7	363,76	363,80
Dolní úhelníky	EN	44,71	278,49	7,3	400,13	378,35
	SR 5	40,7	232,08	6,1	363,76	363,80
Diagonály	EN	9,45	180,09	9,78	200,10	189,22
	SR 5	8,50	150,08	8,80	181,91	181,94

Tabulka 3 - Porovnání výsledku zavětrování

Zavětrování						
Prvek	dle normy	Tlak (vzpěr)		Tah (neoslabený a oslabený průřez)		
		$N_{Ed,min}$ [kN]	$N_{b,Rd}$ [kN]	$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{pl,Rd}$ [kN]	$N_{u,Rd}$ [kN]
Horní úhelníky	EN	70,53	238,60	45,95	347,3	339,55
	SR 5	63,31	198,83	41,24	315,73	326,49
Dolní úhelníky	EN	13,7	146,43	31,6	246,1	235,87
	SR 5	12,2	122,025	28,4	223,73	226,80

2. Vyhodnocení výsledků

Z tabulek 1 - 3 je patrné, že posouzení u přepočtu dle SR 5 vychází a něco hůře než u přepočtu podle EN. To je způsobeno tím, že směrnice SR 5 rozlišuje součinitele spolehlivosti γ_M dle materiálu a stáří objektu. Pro posuzovaný objekt jsou součinitele spolehlivosti materiálu patrné z tabulky 4.

Kvůli navýšení součinitele spolehlivosti materiálu γ_{M1} nevyšlo u hlavního nosníku č. 10 posouzení stojiny na smyk. Jako opatření jsem provedl zesílení stojiny ze 12 mm na 14 mm (výsledky jsou patrné z tabulky 1).

Tabulka 4 - Použité součinitele spolehlivosti materiálu

Součinitele spolehlivosti materiálu			
norma	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}
En	1,00	1,00	1,25
SR 5	1,10	1,20	1,30

Naopak hodnoty vnitřních sil jsou menší podle výpočtu zatížení dle EN než podle zatížení dle směrnice SR 5. Důvodem je, že směrnice SR opět rozděluje součinitele zatížení podle stáří objektu (viz tabulka 5). Podle směrnice SR 5 vychází i méně kombinací zatížení, protože směrnice nepracuje s příznivým součinitelem stálého zatížení $\gamma_{G,inf} = 1,00$. Součinitele kombinace jsou pro obě normy stejné (viz tabulka 6).

Tabulka 5 - dílčí součinitel zatížení γ

Dílčí součinitel zatížení γ				
Zatížení použité v přepočtu	Dle ČSN EN 1990		Dle směrnice SR 5*	
	Příznivá	Nepříznivá	Pro mosty starší než 30 let	Pro mosty mladší než 30 let
Stálé zatížení	1,00	1,35	1,20	1,25
Zatížení železniční dopravou	-	1,45	1,30	1,45
Boční rázy	-	1,45	1,30	1,45
Rozjezdové a brzdné síly	-	1,45	1,30	1,45
Zatížení větrem	-	1,50	1,35	1,50

* posuzovaný most je z roku 1934

Součinitele kombinace ψ byly pro oba přepočty vzaty z normy ČSN EN 1990 Tabulka A.2.3

Tabulka 6 - součinitele kombinace

Zatížení		ψ_0	ψ_1	ψ_2 ⁴⁾	
Jednotlivé složky zatížení dopravou ⁵⁾	LM 71	0,80	¹⁾	0	
	SW/0	0,80	¹⁾	0	
	SW/2	0	1,00	0	
	Nezatížený vlak	1,00	–	–	
	HSLM	1,00	1,00	0	
	Rozjezdové a brzděné síly Odstředivé síly Síly interakce způsobené deformací od svislého zatížení	U jednotlivých složek zatížení dopravou v návrhových situacích, kde se zatížení dopravou uvažuje jako jedno vícesměrné hlavní zatížení a nikoli jako sestava zatížení, se mají použít stejné hodnoty součinitelů ψ jako u vedlejších svislých zatížení			
	Boční ráz	1,00	0,80	0	
	Zatížení na neveřejných lávkách	0,80	0,50	0	
	Skutečné vlaky	1,00	1,00	0	
	Vodorovný zemní tlak způsobený přitížením od zatížení dopravou	0,80	¹⁾	0	
Aerodynamické účinky	0,80	0,50	0		
Nejúčinnější zatížení dopravou (sestavy zatížení)	gr11 (LM71 + SW/0)	Max. svislé 1 a max. podélné	0,8	0	
	gr12 (LM71 + SW/0)				
	gr13 (brzdění/rozjezd)				
	gr14 (odstředivé/boční ráz)				
	gr15 (nezatížený vlak)	Příčná stabilita s „nezatíženým“ vlakem			
	gr16 (SW/2)	SW/2 a max. podélné			
	gr17 (SW/2)	SW/2 a maximální příčné			
	gr21 (LM71 + SW/0)	Max. svislé 1 a max. podélné	0,80	0,70	0
	gr22 (LM71 + SW/0)				
	gr23 (brzdění/rozjezd)				
	gr24 (odstředivé/boční ráz)				
	gr26 (SW/2)				
	gr27 (SW2)	SW/2 a maximální příčné			
gr31 (LM71 + SW/0)	Doplňkové zatěžovací stavy	0,80	0,60	0	
Ostatní provozní zatížení	Aerodynamické účinky	0,80	0,50	0	
	Obecná zatížení pro údržbu na neveřejných lávkách	0,80	0,50	0	
Zatížení větrem ²⁾	F_{wk}	0,75	0,50	0	
	F_w^{**}	1,00	0	0	
Zatížení teplotou ³⁾	T_k	0,60	0,60	0,50	
Zatížení sněhem	$Q_{Sn,k}$ (během provádění)	0,80	–	0	
Staveništní zatížení	Q_c	1,0	–	1,0	

¹⁾ 0,8 pro zatížení pouze 1 koleje;
0,7 pro současně zatížené 2 koleje;
0,6 pro 3 a více současně zatížených kolejí.

²⁾ Pokud zatížení větrem působí současně se zatížením dopravou, nemá se zatížení větrem $\psi_0 F_{wk}$ uvažovat větší než F_w^{**} (viz EN 1991-1-4). Viz A2.2.4(4).

³⁾ Viz EN 1991-1-5.

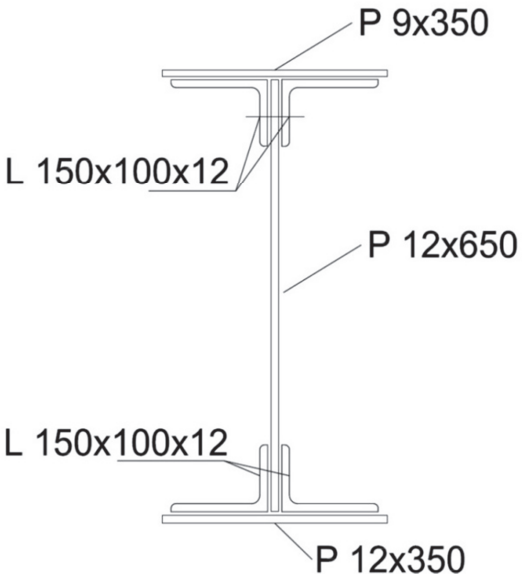
⁴⁾ Pokud se v trvalých a dočasných návrhových situacích ověřují přetvoření, součinitel ψ_2 pro zatížení kolejovou dopravou se má uvažovat hodnotou 1,00. Pro seizmické návrhové situace viz tabulka A2.5.

⁵⁾ Minimální hodnota současně příznivě působícího svislého zatížení s jednotlivými složkami zatížení železniční dopravou (např. odstředivými, rozjezdovými nebo brzdovými) je 0,5 LM71, atd.

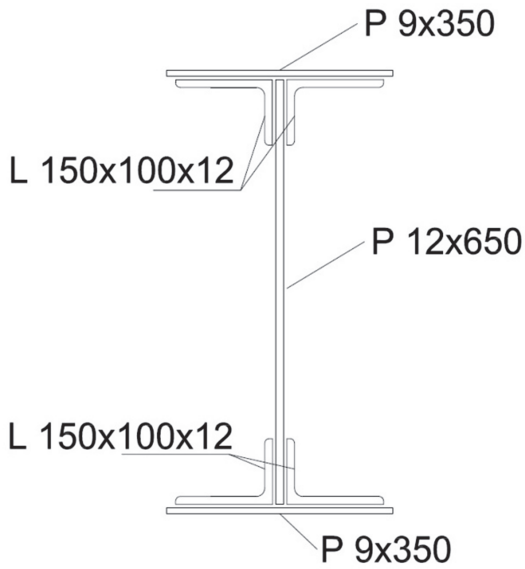
3. Tabulky průřezových charakteristik původní konstrukce

- H - výška průřezu
- hw - výška stojiny
- B_h - šířka dolní pásnice
- B_d - šířka horní pásnice
- t_w - tloušťka stojiny
- t_{f,h} - tloušťka horní pásnice
- t_{f,d} - tloušťka dolní pásnice
- tl_m - šířka mezery mezi úhelníky
- A - plocha průřezu
- I_y - moment setrvačnosti kolem osy y
- I_z - moment setrvačnosti kolem osy z
- i_y - poloměr setrvačnosti kolem osy y
- i_z - poloměr setrvačnosti kolem osy z
- W_{el,y} - pružný modul průřezu k hlavní ose y
- W_{el,z} - pružný modul průřezu k hlavní ose z
- W_{pl,y} - plastický modul průřezu k hlavní ose y
- W_{pl,z} - plastický modul průřezu k hlavní ose z

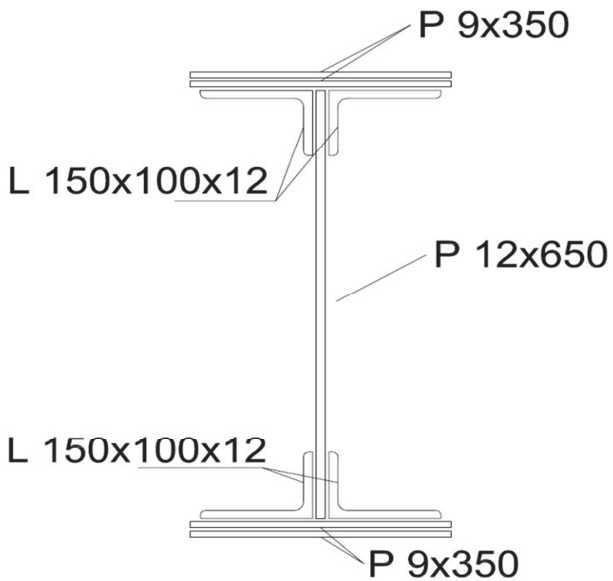
Hlavní nosník nad podporami (č. 1, 5, 6, 10)	
Průřezové charakteristiky	
H	671 mm
h _w	626 mm
B _h	350 mm
B _d	350 mm
t _w	12 mm
t _{fh}	9 mm
t _{fd}	12 mm
A	0,026648 m ²
I _y	0,0021222 m ⁴
I _z	0,00013557 m ⁴
i _y	282 mm
i _z	71 mm
W _{el,y}	0,0061114 m ³
W _{el,z}	0,0007754 m ³
W _{pl,y}	0,0071315 m ³
W _{pl,z}	0,0012972 m ³



Hlavní nosník střední část (č. 2, 4, 7, 9)	
Průřezové charakteristiky	
H	668 mm
h_w	626 mm
B_h	350 mm
B_d	350 mm
t_w	12 mm
t_{fh}	9 mm
t_{fd}	9 mm
A	0,025598 m ²
I_y	0,0020085 m ⁴
I_z	0,00012498 m ⁴
i_y	280 mm
i_z	70 mm
$W_{el,y}$	0,0060134 m ³
$W_{el,z}$	0,0007142 m ³
$W_{pl,y}$	0,0068022 m ³
$W_{pl,z}$	0,0012053 m ³

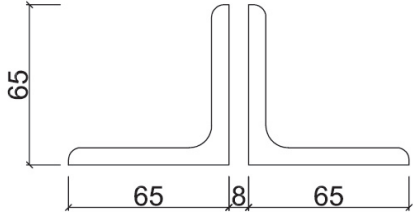


Hlavní nosník ve střední části pole (č. 3, 8)	
Průřezové charakteristiky	
H	686 mm
h_w	626 mm
B_h	350 mm
B_d	350 mm
t_w	12 mm
t_{fh}	18 mm
t_{fd}	18 mm
A	0,0318980 m ²
I_y	0,00273040 m ⁴
I_z	0,00018929 m ⁴
i_y	293 mm
i_z	77 mm
$W_{el,y}$	0,0079603 m ³
$W_{el,z}$	0,0010817 m ³
$W_{pl,y}$	0,0089348 m ³
$W_{pl,z}$	0,0017566 m ³



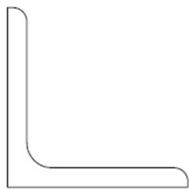
Příčné ztužení – horní a dolní úhelníky	
Průřezové charakteristiky	
h	65 mm
b	138 mm
t	7 mm
tl _m	8 mm
A	0,00173970 m ²
I _y	0,0000006683 m ⁴
I _z	0,00000155 m ⁴
i _y	20 mm
i _z	30 mm
W _{el,y}	0,0000144 m ³
W _{el,z}	0,0000224 m ³
W _{pl,y}	0,0000263 m ³
W _{pl,z}	0,0000391 m ³

2xL 65x65x7 mm



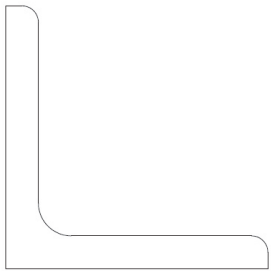
Příčné ztužení – diagonály	
Průřezové charakteristiky	
h	65 mm
b	65 mm
t	7 mm
A	0,00087 m ²
I _y	0,000000530 m ⁴
I _z	0,000000138 m ⁴
i _y	25 mm
i _z	13 mm
W _{el,y}	0,00001153 m ³
W _{el,z}	0,00000531 m ³
W _{pl,y}	0,00001841 m ³
W _{pl,z}	0,00000950 m ³

L 65x65x7 mm



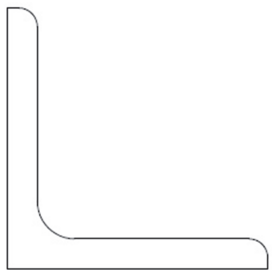
Zavětrování – horní úhelníky	
Průřezové charakteristiky	
h	80 mm
b	80 mm
t	10 mm
A	0,00151 m ²
I _y	0,00000139 m ⁴
I _z	0,00000037 m ⁴
i _y	30 mm
i _z	16 mm
W _{el,y}	0,0000245 m ³
W _{el,z}	0,0000110 m ³
W _{pl,y}	0,0000393 m ³
W _{pl,z}	0,0000202 m ³

L 80x80x10

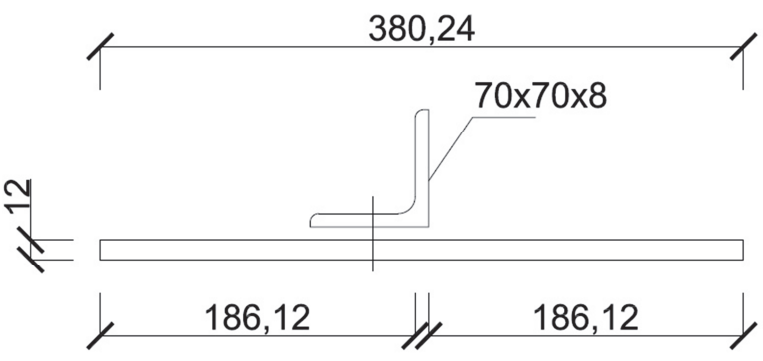


Zavětrování – dolní úhelníky	
Průřezové charakteristiky	
h	70 mm
b	70 mm
t	8 mm
A	0,00107 m ²
I _y	0,00000075 m ⁴
I _z	0,00000020 m ⁴
i _y	26 mm
i _z	14 mm
W _{el,y}	0,0000151 m ³
W _{el,z}	0,0000069 m ³
W _{pl,y}	0,0000242 m ³
W _{pl,z}	0,0000125 m ³

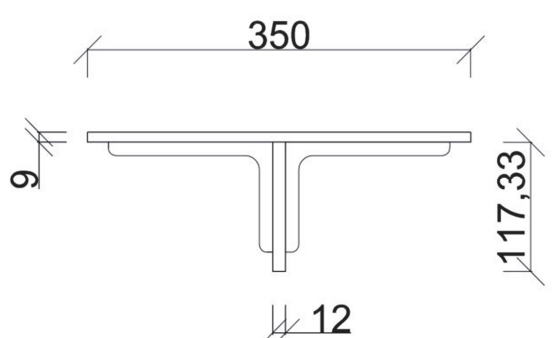
L 70x70x8



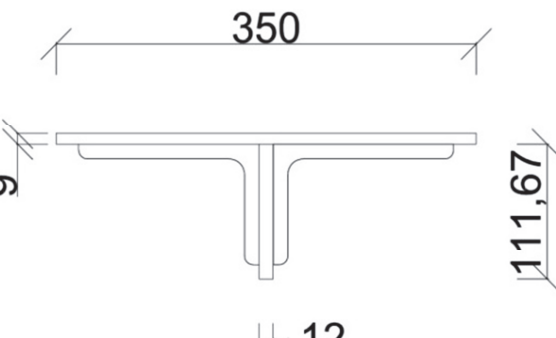
Svislá výzutha	
Průřezové charakteristiky	
h	82 mm
b	380,24 mm
t _w	12 mm
t _u	8 mm
A	0,0056298 m ²
I _y	0,00000111 m ⁴
I _z	0,0000557 m ⁴
i _y	14 mm
i _z	99 mm
W _{el,y}	0,00001567 m ³
W _{el,z}	0,00028819 m ³
W _{pl,y}	0,00004072 m ³
W _{pl,z}	0,00045118 m ³



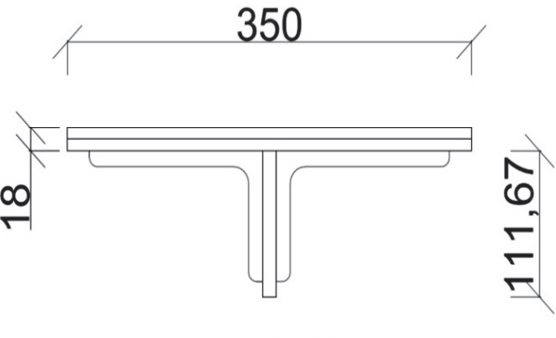
Průřez na klopení – nad ložisky (hlavní nosník č. 1, 5, 6, 10)	
Průřezové charakteristiky	
h	126,33 mm
b	350 mm
t _w	12 mm
t _{fl}	9 mm
A	0,010301 m ²
I _y	0,000010350 m ⁴
I _z	0,000062388 m ⁴
i _y	32 mm
i _z	78 mm
W _{el,y}	0,00010654 m ³
W _{el,z}	0,00035651 m ³
W _{pl,y}	0,00022259 m ³
W _{pl,z}	0,00059468 m ³



Průřez na klopení – nad ložisky (hlavní nosník č. 2, 4, 7, 9)	
Průřezové charakteristiky	
h	120,67 mm
b	350 mm
t _w	12 mm
t _{fl}	9 mm
A	0,010233 m ²
I _y	0,0000097401 m ⁴
I _z	0,000062388 m ⁴
i _y	31 mm
i _z	78 mm
W _{el,y}	0,00010565 m ³
W _{el,z}	0,00035650 m ³
W _{pl,y}	0,00021253 m ³
W _{pl,z}	0,00059448 m ³

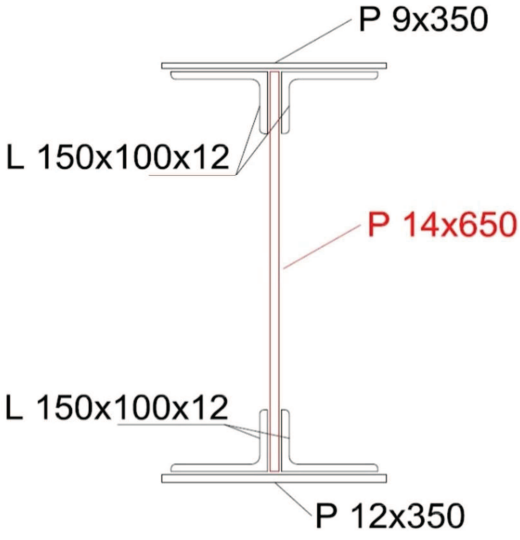


Průřez na klopení – nad ložisky (hlavní nosník č. 3, 8)	
Průřezové charakteristiky	
h	129,67 mm
b	350 mm
t _w	12 mm
t _{fl}	18 mm
A	0,013383 m ²
I _y	0,00001238 m ⁴
I _z	0,000094544 m ⁴
i _y	30 mm
i _z	84 mm
W _{el,y}	0,00012386 m ³
W _{el,z}	0,00054025 m ³
W _{pl,y}	0,00026967 m ³
W _{pl,z}	0,00087010 m ³

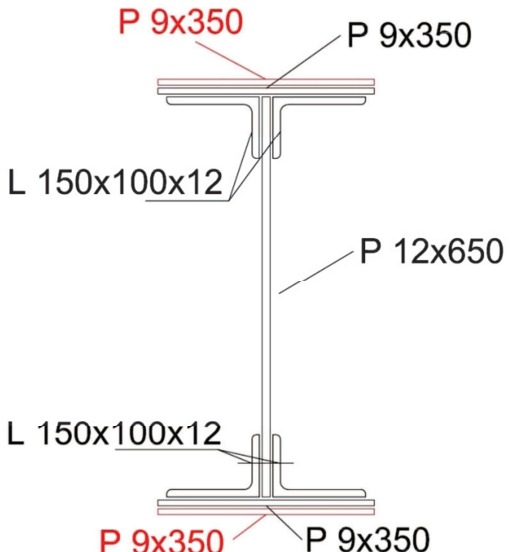


4. Tabulky průřezových charakteristik zesílené konstrukce

Zesílený hlavní nosník nad podporou (č. 1, 5, 6)	
Průřezové charakteristiky	
H	671 mm
h_w	626 mm
B_h	350 mm
B_d	350 mm
t_w	14 mm
t_{fh}	9 mm
t_{fd}	12 mm
A	0,0279480 m ²
I_y	0,0021680 m ⁴
I_z	0,00013702 m ⁴
i_y	279 mm
i_z	70 mm
$W_{el,y}$	0,0062549 m ³
$W_{el,z}$	0,0007830 m ³
$W_{pl,y}$	0,0073461 m ³
$W_{pl,z}$	0,0013171 m ³



Zesílený hlavní nosník ve střední části pole (č.2, 4, 7, 9)	
Průřezové charakteristiky	
H	686 mm
h_w	626 mm
B_h	350 mm
B_d	350 mm
t_w	12 mm
t_{fh}	18 mm
t_{fd}	18 mm
A	0,0318980 m ²
I_y	0,0027304 m ⁴
I_z	0,0001893 m ⁴
i_y	293 mm
i_z	77 mm
$W_{el,y}$	0,0079603 m ³
$W_{el,z}$	0,0010817 m ³
$W_{pl,y}$	0,0089348 m ³
$W_{pl,z}$	0,0017566 m ³



Zesílený hlavní nosník ve střední části pole (č.3, 8)	
Průřezové charakteristiky	
H	698 mm
h_w	626 mm
B_h	350 mm
B_d	350 mm
t_w	12 mm
t_{fh}	24 mm
t_{fd}	24 mm
A	0,0360860 m ²
I_y	0,0032323 m ⁴
I_z	0,0002320 m ⁴
i_y	299 mm
i_z	80 mm
$W_{el,y}$	0,0092616 m ³
$W_{el,z}$	0,0013259 m ³
$W_{pl,y}$	0,0103850 m ³
$W_{pl,z}$	0,0021231 m ³

Zesílený hlavní nosník nad podporou (č.10)	
Průřezové charakteristiky	
H	680 mm
h_w	626 mm
B_h	350 mm
B_d	350 mm
t_w	14 mm
t_{fh}	18 mm
t_{fd}	12 mm
A	0,0310980 m ²
I_y	0,0025170 m ⁴
I_z	0,0001692 m ⁴
i_y	284 mm
i_z	74 mm
$W_{el,y}$	0,0069924 m ³
$W_{el,z}$	0,0009668 m ³
$W_{pl,y}$	0,0083533 m ³
$W_{pl,z}$	0,0015928 m ³

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

6.0 Vyhodnocení výsledku, tabulky průřezových charakteristik a hodnoty vnitřních sil z programu Scia Engineer 2014

Příloha č. 1 – Hodnoty vnitřních sil dle EN

Statický přepočít plnostěnné ocelové mostní konstrukce na trati
TÚ Choceň (mimo) – Litomyšl (včetně) v kilometru 6,255.

Bc. Luboš Dejmek

Diplomová práce

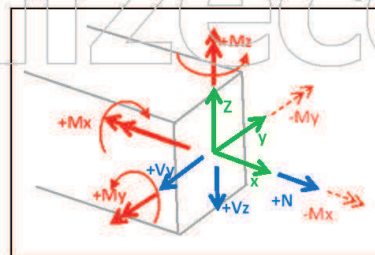
2015

1. Vnitřní síly dle EN

2. Vnitřní síly - hlavní nosníky

2.1. Vnitřní síly dle EN - RC1

Jméno	Výpis
RC1	CO1 - EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B
	CO2 - Obálka - únosnost
	CO3 - Obálka - únosnost
	CO4 - Obálka - únosnost
	CO5 - Obálka - únosnost
	CO6 - Obálka - únosnost
	CO7 - Obálka - únosnost
	CO8 - Obálka - únosnost
	CO9 - Obálka - únosnost
	CO10 - Obálka - únosnost
	CO11 - Obálka - únosnost



Lineární výpočet, Extrém : Průřez, Systém : Hlavní

Výběr : Vše

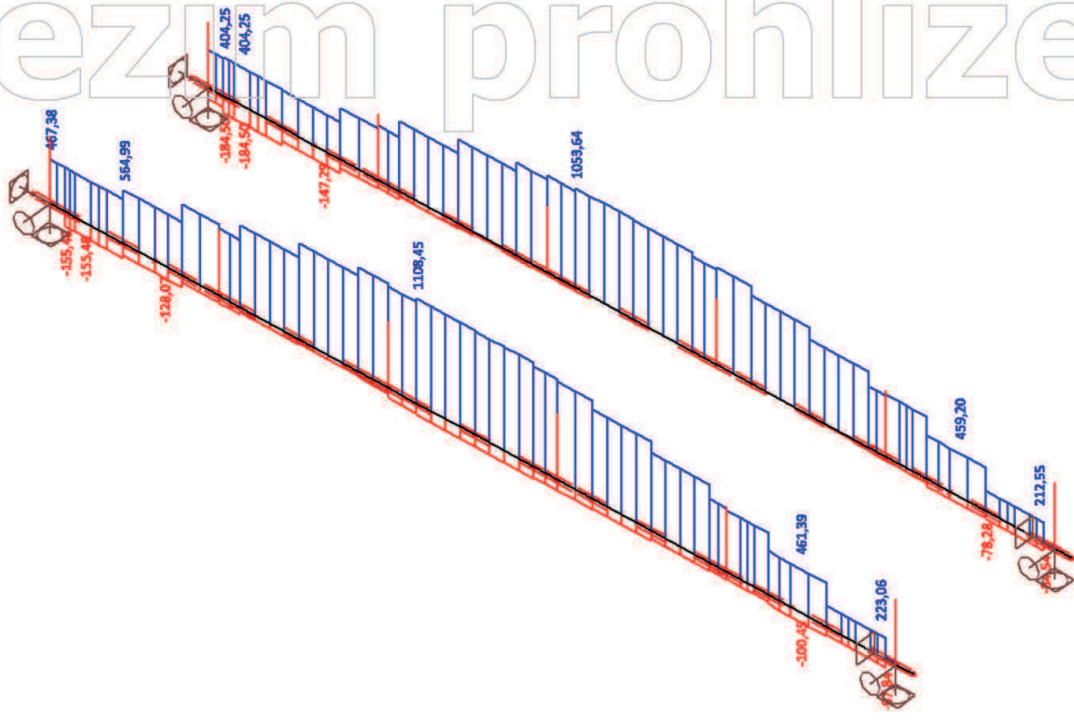
Třída : RC1

Vrstva : Hlavní nosníky

Prvek	css	dx [mm]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Hl. n. č. 8	Hlavní nosník 3 - Hlavní nosník v poli	0,000	CO1/5	-147,29	0,74	18,56	-0,03	70,80	-5,07
Hl. n. č. 3	Hlavní nosník 3 - Hlavní nosník v poli	2566,001	CO1/6	1108,45	5,04	40,16	0,02	823,34	-6,30
Hl. n. č. 8	Hlavní nosník 3 - Hlavní nosník v poli	0,000	CO1/4	327,86	-64,75	550,01	-0,01	363,10	-0,80
Hl. n. č. 8	Hlavní nosník 3 - Hlavní nosník v poli	6016,001	CO1/7	419,64	54,61	-544,05	-0,07	520,64	-15,41
Hl. n. č. 8	Hlavní nosník 3 - Hlavní nosník v poli	6240,000	CO1/7	419,64	54,61	-544,68	-0,07	398,78	-3,18
Hl. n. č. 8	Hlavní nosník 3 - Hlavní nosník v poli	3716,001	CO1/3	177,51	14,98	-13,97	-8,01	79,83	-5,83
Hl. n. č. 3	Hlavní nosník 3 - Hlavní nosník v poli	2290,001	CO1/2	-102,27	-19,82	-11,61	7,55	-13,01	-3,38
Hl. n. č. 3	Hlavní nosník 3 - Hlavní nosník v poli	1991,000	CO1/3	-44,97	-7,21	-25,30	0,50	-28,73	-6,63
Hl. n. č. 8	Hlavní nosník 3 - Hlavní nosník v poli	3141,000	CO1/8	1017,42	3,66	62,54	0,13	877,64	1,81
Hl. n. č. 8	Hlavní nosník 3 - Hlavní nosník v poli	266,000	CO1/8	301,26	-60,87	513,95	0,02	525,82	-19,64
Hl. n. č. 8	Hlavní nosník 3 - Hlavní nosník v poli	6016,000	CO1/9	661,23	52,84	-415,15	0,72	415,08	19,78
Hl. n. č. 10	Hlavní nosník 1 - Obecný průřez	316,001	CO1/23	-184,50	-0,06	22,29	-0,09	77,45	-0,63
Hl. n. č. 5	Hlavní nosník 1 - Obecný průřez	170,001	CO1/24	467,38	-11,12	-67,76	2,70	150,28	3,63
Hl. n. č. 10	Hlavní nosník 1 - Obecný průřez	170,001	CO1/1	-118,95	-67,00	728,91	2,37	-52,13	-0,79
Hl. n. č. 6	Hlavní nosník 1 - Obecný průřez	197,990	CO1/8	-14,61	56,24	-898,55	-3,12	42,48	-15,68
Hl. n. č. 6	Hlavní nosník 1 - Obecný průřez	250,000	CO1/7	-14,61	56,24	-898,80	-3,12	-4,17	-12,76
Hl. n. č. 10	Hlavní nosník 1 - Obecný průřez	170,001	CO1/4	-108,12	-64,19	929,13	2,39	-50,27	14,10
Hl. n. č. 6	Hlavní nosník 1 - Obecný průřez	146,001	CO1/2	-3,27	27,51	-83,23	-5,55	7,68	13,24
Hl. n. č. 10	Hlavní nosník 1 - Obecný průřez	170,001	CO1/3	-50,26	-34,65	91,58	5,45	-46,38	18,79
Hl. n. č. 10	Hlavní nosník 1 - Obecný průřez	170,001	CO1/14	-118,73	-66,67	742,01	2,37	-52,17	-1,98
Hl. n. č. 5	Hlavní nosník 1 - Obecný průřez	420,000	CO1/8	289,93	43,53	485,95	-0,43	184,60	-2,78
Hl. n. č. 6	Hlavní nosník 1 - Obecný průřez	146,001	CO1/11	-7,26	42,57	-782,64	-0,18	79,22	-23,63
Hl. n. č. 5	Hlavní nosník 1 - Obecný průřez	316,000	CO1/8	119,26	37,73	842,05	2,11	161,68	22,17
Hl. n. č. 9	Hlavní nosník 2 - Obecný průřez	0,000	CO1/23	-184,50	-0,06	22,07	-0,09	77,27	-0,64
Hl. n. č. 4	Hlavní nosník 2 - Obecný průřez	471,001	CO1/9	564,99	43,49	420,32	-0,07	267,93	-14,36
Hl. n. č. 9	Hlavní nosník 2 - Obecný průřez	471,001	CO1/4	327,86	-64,75	550,71	-0,01	193,09	19,21
Hl. n. č. 7	Hlavní nosník 2 - Obecný průřez	0,000	CO1/7	419,64	54,61	-544,68	-0,07	398,72	-3,18
Hl. n. č. 7	Hlavní nosník 2 - Obecný průřez	780,000	CO1/7	190,90	50,80	-632,20	0,11	70,20	3,59
Hl. n. č. 9	Hlavní nosník 2 - Obecný průřez	0,000	CO1/4	94,07	-59,96	641,26	-0,11	29,41	12,28
Hl. n. č. 2	Hlavní nosník 2 - Obecný průřez	351,001	CO1/8	154,28	-48,63	-493,94	-0,27	323,32	17,61
Hl. n. č. 7	Hlavní nosník 2 - Obecný průřez	351,001	CO1/25	161,76	47,64	-521,74	0,24	335,86	-18,80
Hl. n. č. 9	Hlavní nosník 2 - Obecný průřez	0,000	CO1/3	-37,75	-23,71	77,55	0,00	-31,32	14,32
Hl. n. č. 4	Hlavní nosník 2 - Obecný průřez	780,000	CO1/25	473,28	49,47	481,83	-0,09	432,80	4,86
Hl. n. č. 7	Hlavní nosník 2 - Obecný průřez	351,001	CO1/15	191,81	47,33	-603,95	0,16	327,44	-18,85

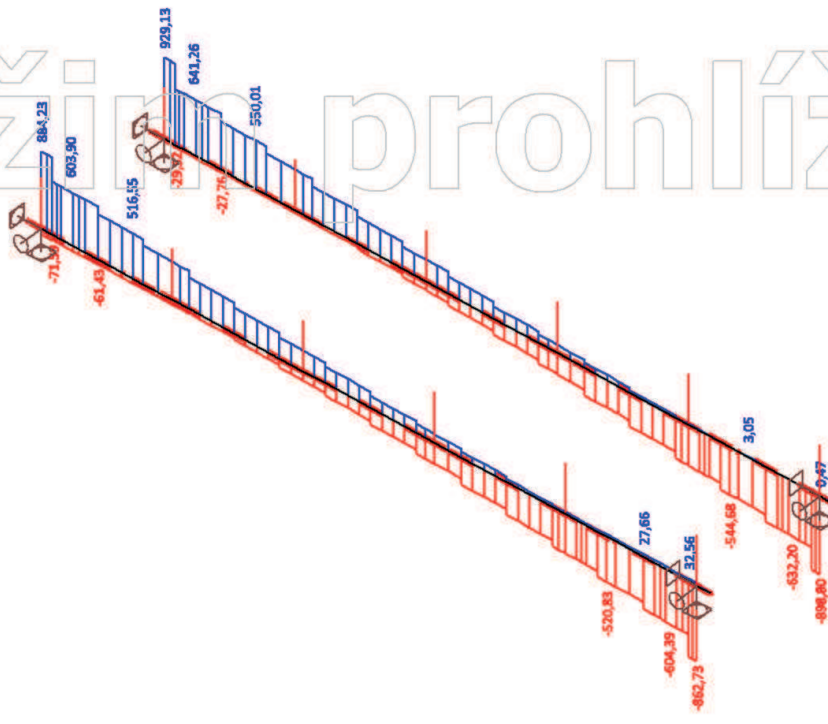
2.1.1. Nx

Režim prohlížeče



2.1.2. Vz

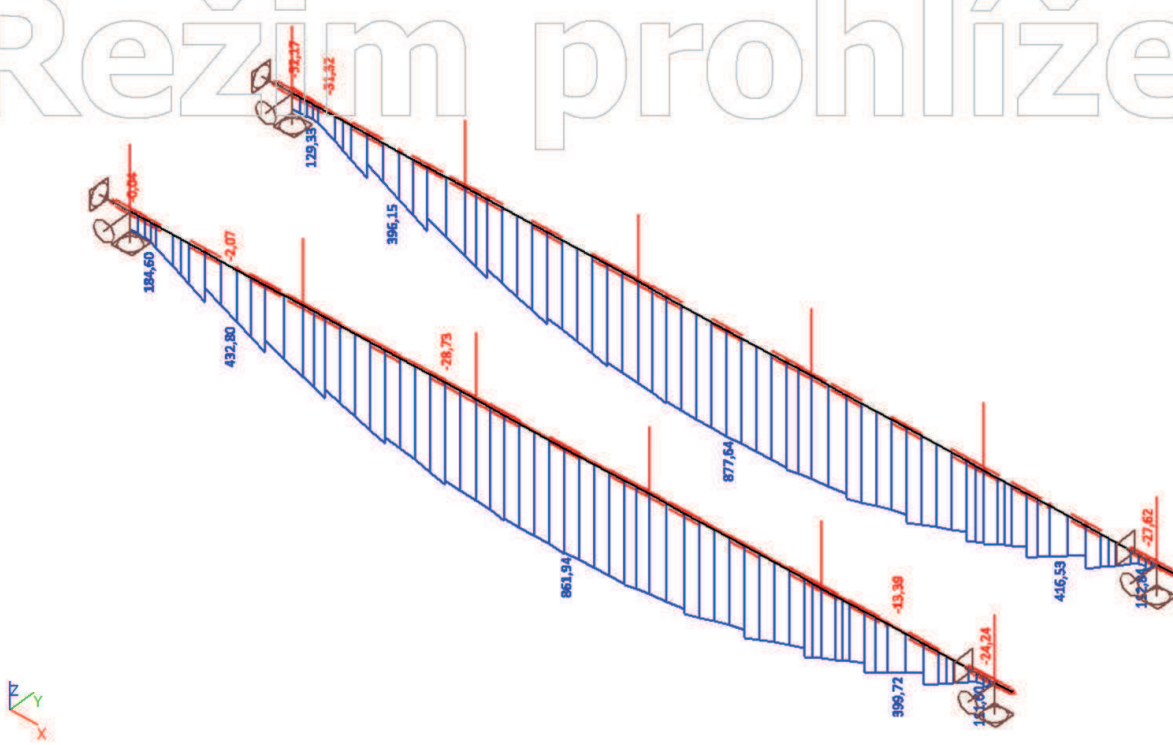
Režim prohlížeče



Režim prohlížeče

2.1.3. My

Režim prohlížeče



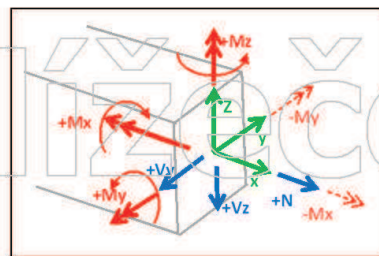
Režim prohlížeče

Režim prohlížeče

3. Vnitřní síly - příčné ztužení

3.1. Vnitřní síly - příčné ztužení - RC1

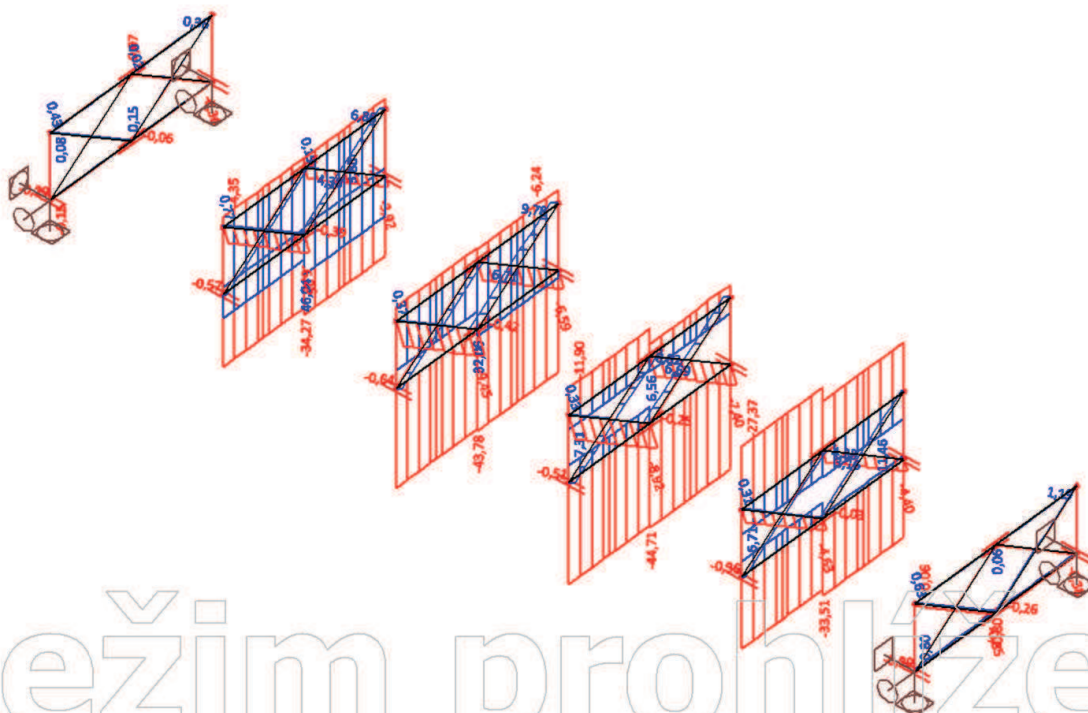
Jméno	Výpis
RC1	CO1 - EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B
	CO2 - Obálka - únosnost
	CO3 - Obálka - únosnost
	CO4 - Obálka - únosnost
	CO5 - Obálka - únosnost
	CO6 - Obálka - únosnost
	CO7 - Obálka - únosnost
	CO8 - Obálka - únosnost
	CO9 - Obálka - únosnost
	CO10 - Obálka - únosnost
	CO11 - Obálka - únosnost



Lineární výpočet, Extrém : Průřez, Systém : Hlavní
 Výběr : Vše
 Třída : RC1
 Vrstva : Příčné ztužení

Prvek	css	dx [mm]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Příč. ztuž. č. 3 - dolní	příč.ztužení úhelníky - 2LT	900,071	CO1/1	-44,71	-0,16	-0,10	0,00	0,03	0,01
Příč. ztuž. č. 5 - horní	příč.ztužení úhelníky - 2LT	900,071	CO1/2	46,04	-0,71	0,01	-0,01	0,06	0,07
Příč. ztuž. č. 5 - horní	příč.ztužení úhelníky - 2LT	900,071	CO1/3	45,71	-0,71	0,02	-0,01	0,06	0,07
Příč. ztuž. č. 4 - dolní	příč.ztužení úhelníky - 2LT	0,000	CO1/2	-6,77	0,60	0,11	0,00	0,00	-0,38
Příč. ztuž. č. 5 - horní	příč.ztužení úhelníky - 2LT	0,000	CO1/2	39,35	-0,44	-0,29	0,01	0,11	0,44
Příč. ztuž. č. 3 - dolní	příč.ztužení úhelníky - 2LT	0,000	CO1/4	-43,37	-0,12	0,24	0,00	-0,11	0,11
Příč. ztuž. č. 4 - horní	příč.ztužení úhelníky - 2LT	900,071	CO1/3	31,77	-0,59	-0,08	-0,01	0,11	0,09
Příč. ztuž. č. 3 - horní	příč.ztužení úhelníky - 2LT	0,000	CO1/3	-11,90	0,45	-0,15	0,02	-0,02	-0,25
Příč. ztuž. č. 5 - dolní	příč.ztužení úhelníky - 2LT	900,071	CO1/2	-26,50	0,50	0,20	0,00	-0,15	-0,06
Příč. ztuž. č. 3 - horní	příč.ztužení úhelníky - 2LT	900,071	CO1/2	-0,19	-0,03	-0,24	-0,01	0,15	0,09
Příč. ztuž. č. 5 - horní	příč.ztužení úhelníky - 2LT	1800,140	CO1/3	45,71	-0,71	0,14	-0,01	0,12	-0,56
Příč. ztuž. č. 5 - horní	příč.ztužení úhelníky - 2LT	0,000	CO1/3	39,02	-0,44	-0,28	0,01	0,11	0,44
B253	diagonály - L65X7	0,000	CO1/3	-9,45	-0,06	-0,08	0,00	0,05	0,02
B196	diagonály - L65X7	0,000	CO1/2	9,78	0,01	0,04	0,00	0,04	0,01
B208	diagonály - L65X7	1098,660	CO1/2	-7,21	-0,26	0,13	0,00	0,08	-0,11
B198	diagonály - L65X7	549,331	CO1/2	6,66	0,25	-0,06	0,00	-0,01	-0,03
B210	diagonály - L65X7	549,331	CO1/7	0,20	0,13	-0,23	0,00	0,06	-0,03
B194	diagonály - L65X7	549,331	CO1/2	-6,45	-0,12	0,20	0,00	0,02	-0,01
B180	diagonály - L65X7	549,331	CO1/2	-3,79	0,00	0,17	0,00	0,02	-0,03
B255	diagonály - L65X7	137,330	CO1/8	-1,12	-0,12	-0,17	0,00	0,04	0,02
B212	diagonály - L65X7	1098,660	CO1/2	6,67	0,13	-0,16	0,00	-0,11	0,08
B194	diagonály - L65X7	1098,660	CO1/3	-6,41	-0,14	0,17	0,00	0,12	-0,08
B198	diagonály - L65X7	1098,660	CO1/3	6,71	0,22	-0,08	0,00	-0,05	0,10

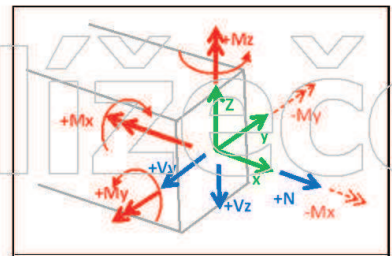
3.1.1. Nx



4. Vnitřní síly - úhelníky zavětrování

4.1. Vnitřní síly - úhelníky zavětrování - RC1

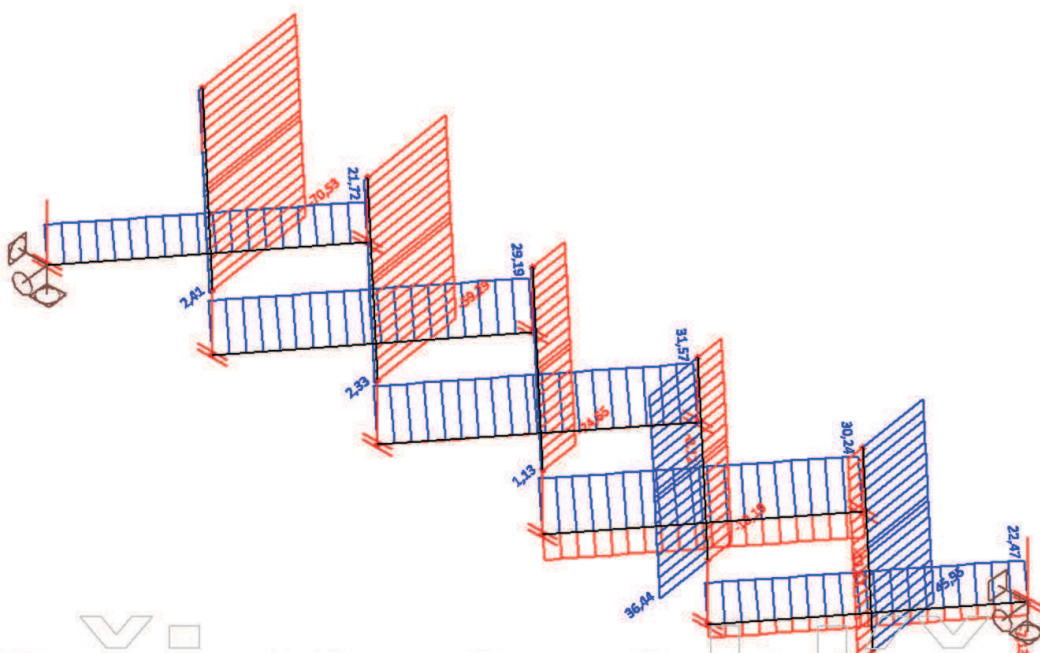
Jméno	Výpis
RC1	CO1 - EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B
	CO2 - Obálka - únosnost
	CO3 - Obálka - únosnost
	CO4 - Obálka - únosnost
	CO5 - Obálka - únosnost
	CO6 - Obálka - únosnost
	CO7 - Obálka - únosnost
	CO8 - Obálka - únosnost
	CO9 - Obálka - únosnost
	CO10 - Obálka - únosnost
	CO11 - Obálka - únosnost



Lineární výpočet, Extrém : Průřez, Systém : Hlavní
 Výběr : Vše
 Třída : RC1
 Vrstva : Ztužení

Prvek	css	dx [mm]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
ztužení_dol_2	podélné ztužení - dolní - L(CSN)70/8	0,000	CO1/19	-13,67	0,06	0,08	0,00	0,01	-0,01
ztužení_dol_3	podélné ztužení - dolní - L(CSN)70/8	0,000	CO1/9	31,57	0,11	0,05	0,00	0,05	-0,05
ztužení_dol_2	podélné ztužení - dolní - L(CSN)70/8	2448,700	CO1/20	-10,76	-0,10	-0,09	0,00	0,03	-0,03
ztužení_dol_4	podélné ztužení - dolní - L(CSN)70/8	0,000	CO1/21	23,54	0,12	0,07	0,00	0,05	-0,05
ztužení_dol_4	podélné ztužení - dolní - L(CSN)70/8	2448,700	CO1/21	23,54	-0,07	-0,12	0,00	-0,01	0,01
ztužení_dol_2	podélné ztužení - dolní - L(CSN)70/8	0,000	CO1/20	-10,76	0,09	0,10	0,00	0,01	-0,01
ztužení_dol_1	podélné ztužení - dolní - L(CSN)70/8	0,000	CO1/3	4,18	0,07	0,07	0,00	0,03	-0,03
ztužení_dol_4	podélné ztužení - dolní - L(CSN)70/8	2448,700	CO1/13	28,69	-0,04	-0,10	0,00	-0,02	0,02
ztužení_dol_1	podélné ztužení - dolní - L(CSN)70/8	1224,340	CO1/10	5,66	0,00	0,00	0,00	0,09	0,03
ztužení_dol_2	podélné ztužení - dolní - L(CSN)70/8	0,000	CO1/8	30,10	0,11	0,05	0,00	0,06	-0,06
ztužení_dol_3	podélné ztužení - dolní - L(CSN)70/8	1288,790	CO1/10	7,70	0,00	-0,01	0,00	0,07	0,04
ztužení_hor_5	podélné ztužení - horní - L(CSN)80/10	0,000	CO1/3	-70,53	-0,11	-0,09	0,00	-0,05	0,05
ztužení_hor_1	podélné ztužení - horní - L(CSN)80/10	0,000	CO1/3	45,95	0,11	0,09	0,00	0,04	-0,04
ztužení_hor_4	podélné ztužení - horní - L(CSN)80/10	0,000	CO1/10	-50,76	-0,17	-0,10	0,00	-0,07	0,07
ztužení_hor_2	podélné ztužení - horní - L(CSN)80/10	2448,700	CO1/10	30,14	0,15	0,12	0,00	-0,05	0,05
ztužení_hor_2	podélné ztužení - horní - L(CSN)80/10	0,000	CO1/10	30,14	-0,12	-0,15	0,00	-0,01	0,01
ztužení_hor_4	podélné ztužení - horní - L(CSN)80/10	2448,700	CO1/10	-50,76	0,10	0,17	0,00	0,01	-0,01
ztužení_hor_3	podélné ztužení - horní - L(CSN)80/10	0,000	CO1/1	-24,65	-0,13	-0,10	0,00	-0,05	0,05
ztužení_hor_5	podélné ztužení - horní - L(CSN)80/10	1159,910	CO1/10	-61,89	-0,02	0,01	0,00	-0,13	-0,04
ztužení_hor_1	podélné ztužení - horní - L(CSN)80/10	1159,910	CO1/10	39,77	0,01	0,00	0,00	0,13	0,04
ztužení_hor_3	podélné ztužení - horní - L(CSN)80/10	1288,790	CO1/10	-11,10	-0,01	0,02	0,00	-0,10	-0,06
ztužení_hor_4	podélné ztužení - horní - L(CSN)80/10	0,000	CO1/2	-59,29	-0,15	-0,08	0,00	-0,07	0,07

4.1.1. Nx



Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

6.0 Vyhodnocení výsledku, tabulky průřezových charakteristik a hodnoty vnitřních sil z programu Scia Engineer 2014

Příloha č. 2 – Hodnoty vnitřních sil dle SR 5

Statický přepoččet plnostěnné ocelové mostní konstrukce na trati
TÚ Choceň (mimo) – Litomyšl (včetně) v kilometru 6,255.

Bc. Luboš Dejmek

Diplomová práce

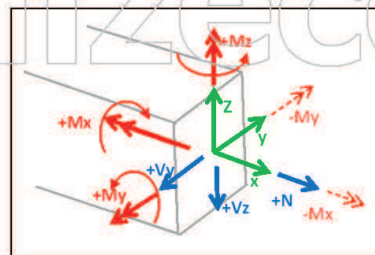
2015

1. Vnitřní síly dle Sr 5

2. Vnitřní síly - hlavní nosníky

2.1. Vnitřní síly - hlavní nosníky - RC1

Jméno	Výpis
RC1	CO1 - EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B
	CO2 - Obálka - únosnost
	CO3 - Obálka - únosnost
	CO4 - Obálka - únosnost
	CO5 - Obálka - únosnost
	CO6 - Obálka - únosnost
	CO7 - Obálka - únosnost
	CO8 - Obálka - únosnost



Lineární výpočet, Extrém : Průřez, Systém : Hlavní

Výběr : Vše

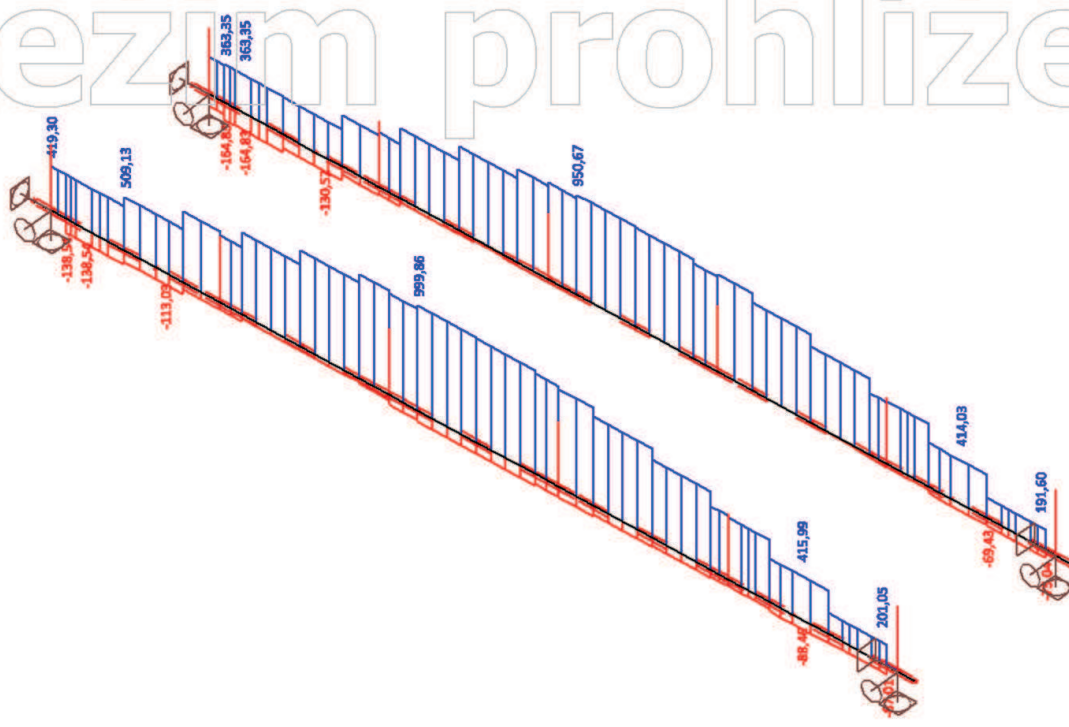
Třída : RC1

Vrstva : Hlavní nosníky

Prvek	css	dx [mm]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Hl. n. č. 8	Hlavní nosník 3 - Hlavní nosník v poli	0,000	CO7/11	-130,52	0,43	18,76	-0,03	65,05	-4,55
Hl. n. č. 3	Hlavní nosník 3 - Hlavní nosník v poli	2566,001	CO1/2	999,86	4,53	36,29	0,02	742,95	-5,67
Hl. n. č. 8	Hlavní nosník 3 - Hlavní nosník v poli	0,000	CO8/6	296,08	-58,38	496,01	-0,01	327,71	-0,73
Hl. n. č. 8	Hlavní nosník 3 - Hlavní nosník v poli	6016,001	CO8/5	378,56	49,25	-490,59	-0,06	469,68	-13,90
Hl. n. č. 8	Hlavní nosník 3 - Hlavní nosník v poli	6240,000	CO8/5	378,56	49,25	-491,25	-0,06	359,79	-2,88
Hl. n. č. 8	Hlavní nosník 3 - Hlavní nosník v poli	3716,001	CO7/7	163,34	13,42	-12,85	-7,18	75,17	-5,25
Hl. n. č. 3	Hlavní nosník 3 - Hlavní nosník v poli	2290,001	CO8/8	-85,99	-17,80	-9,92	6,78	-6,99	-3,01
Hl. n. č. 3	Hlavní nosník 3 - Hlavní nosník v poli	1991,000	CO7/7	-36,50	-6,32	-21,86	0,45	-22,45	-5,93
Hl. n. č. 8	Hlavní nosník 3 - Hlavní nosník v poli	3141,000	CO8/4	918,20	3,30	56,13	0,12	791,77	1,64
Hl. n. č. 8	Hlavní nosník 3 - Hlavní nosník v poli	266,000	CO8/4	272,24	-54,90	463,57	0,02	474,35	-17,71
Hl. n. č. 8	Hlavní nosník 3 - Hlavní nosník v poli	6016,000	CO8/12	596,34	47,68	-374,89	0,64	374,50	17,82
Hl. n. č. 10	Hlavní nosník 1 - Obecný průřez	316,001	CO7/1	-164,83	-0,29	22,47	-0,07	69,39	-0,50
Hl. n. č. 5	Hlavní nosník 1 - Obecný průřez	170,001	CO8/13	419,30	-9,74	-56,82	2,42	134,82	3,34
Hl. n. č. 10	Hlavní nosník 1 - Obecný průřez	170,001	CO8/3	-106,90	-60,39	657,68	2,14	-46,85	-0,75
Hl. n. č. 6	Hlavní nosník 1 - Obecný průřez	197,990	CO8/4	-13,13	50,71	-809,75	-2,30	38,28	-14,15
Hl. n. č. 6	Hlavní nosník 1 - Obecný průřez	250,000	CO8/5	-13,13	50,71	-810,00	-2,80	-3,76	-11,52
Hl. n. č. 10	Hlavní nosník 1 - Obecný průřez	170,001	CO8/6	-97,19	-57,87	837,18	2,15	-45,18	12,60
Hl. n. č. 6	Hlavní nosník 1 - Obecný průřez	146,001	CO8/8	-2,97	24,95	-78,76	-4,99	7,30	11,77
Hl. n. č. 10	Hlavní nosník 1 - Obecný průřez	170,001	CO7/7	-45,27	-31,31	85,16	4,89	-41,69	16,82
Hl. n. č. 10	Hlavní nosník 1 - Obecný průřez	170,001	CO8/9	-106,70	-60,08	669,42	2,13	-46,88	-1,81
Hl. n. č. 5	Hlavní nosník 1 - Obecný průřez	420,000	CO8/4	261,27	39,28	438,85	-0,39	165,97	-2,52
Hl. n. č. 6	Hlavní nosník 1 - Obecný průřez	146,001	CO1/10	-6,52	38,42	-705,69	-0,16	71,43	-21,30
Hl. n. č. 5	Hlavní nosník 1 - Obecný průřez	316,000	CO8/4	107,19	34,06	758,82	1,90	145,61	19,99
Hl. n. č. 9	Hlavní nosník 2 - Obecný průřez	0,000	CO7/1	-164,83	-0,29	22,25	-0,08	69,49	-0,53
Hl. n. č. 4	Hlavní nosník 2 - Obecný průřez	471,001	CO8/12	509,13	39,25	379,69	-0,06	241,57	-12,95
Hl. n. č. 9	Hlavní nosník 2 - Obecný průřez	471,001	CO8/6	296,08	-58,38	496,74	-0,01	174,37	17,31
Hl. n. č. 7	Hlavní nosník 2 - Obecný průřez	0,000	CO8/5	378,56	49,25	-491,25	-0,06	359,73	-2,87
Hl. n. č. 7	Hlavní nosník 2 - Obecný průřez	780,000	CO8/5	172,19	45,82	-570,18	0,10	63,33	3,24
Hl. n. č. 9	Hlavní nosník 2 - Obecný průřez	0,000	CO8/6	85,17	-54,07	578,28	-0,10	26,69	11,06
Hl. n. č. 2	Hlavní nosník 2 - Obecný průřez	351,001	CO8/4	139,32	-43,86	-445,90	-0,24	291,61	15,89
Hl. n. č. 7	Hlavní nosník 2 - Obecný průřez	351,001	CO1/14	146,07	42,98	-470,91	0,22	302,88	-16,95
Hl. n. č. 9	Hlavní nosník 2 - Obecný průřez	0,000	CO7/7	-33,26	-21,49	71,99	0,00	-27,86	12,88
Hl. n. č. 4	Hlavní nosník 2 - Obecný průřez	780,000	CO1/14	426,80	44,64	434,83	-0,08	390,28	4,37
Hl. n. č. 7	Hlavní nosník 2 - Obecný průřez	351,001	CO1/15	173,01	42,70	-544,61	0,15	295,33	-17,00

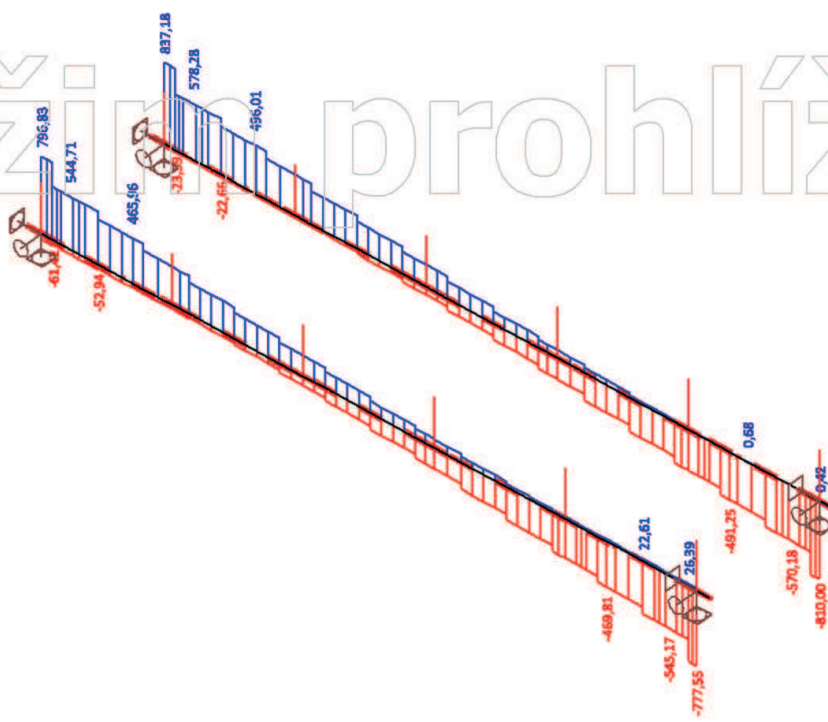
2.1.1. Nx

Režim prohlížeče



2.1.2. Vz

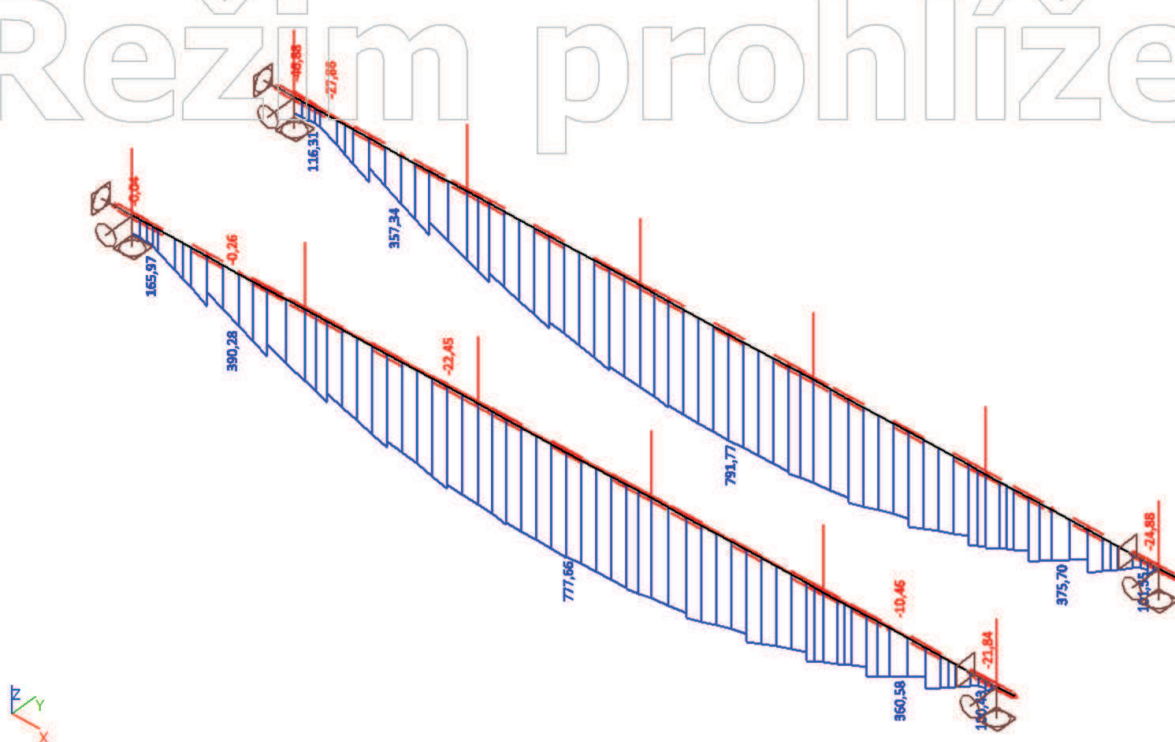
Režim prohlížeče



Režim prohlížeče

2.1.3. My

Režim prohlížeče



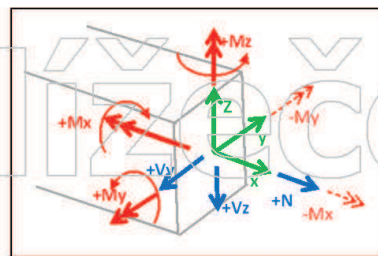
Režim prohlížeče

Režim prohlížeče

3. Vnitřní síly - příčné ztužení

3.1. Vnitřní síly - příčné ztužení - RC1

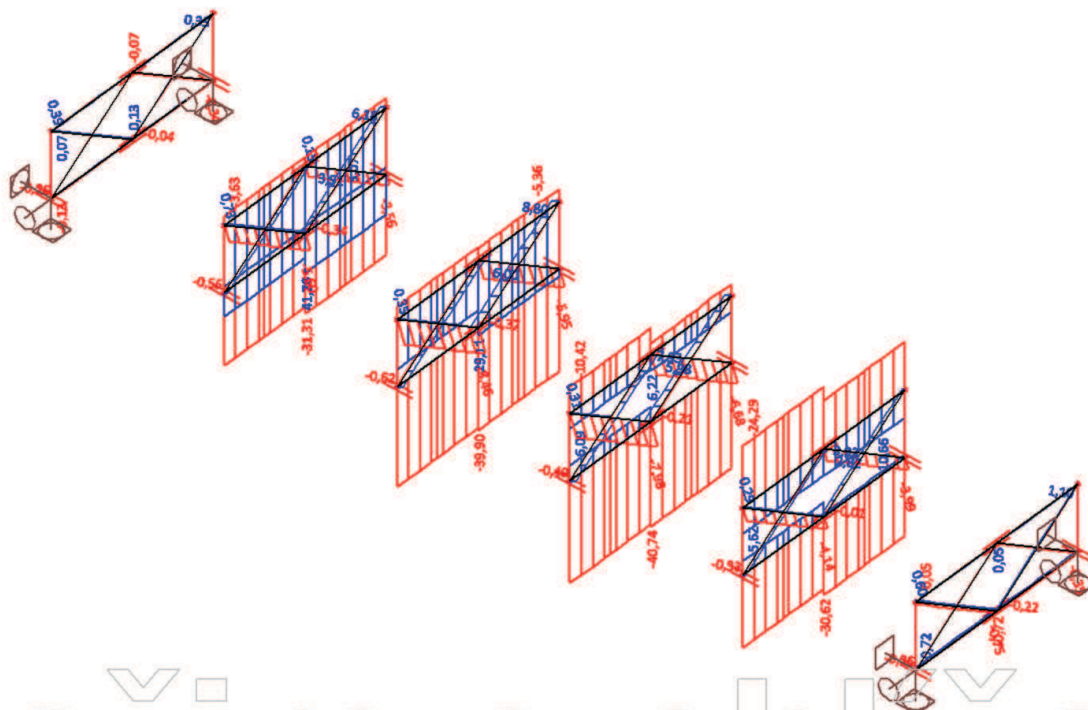
Jméno	Výpis
RC1	CO1 - EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B
	CO2 - Obálka - únosnost
	CO3 - Obálka - únosnost
	CO4 - Obálka - únosnost
	CO5 - Obálka - únosnost
	CO6 - Obálka - únosnost
	CO7 - Obálka - únosnost
	CO8 - Obálka - únosnost



Lineární výpočet, Extrém : Průřez, Systém : Hlavní
 Výběr : Vše
 Třída : RC1
 Vrstva : Příčné ztužení

Prvek	css	dx [mm]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Příč. ztuž. č. 3 - dolní	příč.ztužení úhelníky - 2LT	900,071	CO8/3	-40,74	-0,14	-0,08	0,00	0,03	0,01
Příč. ztuž. č. 5 - horní	příč.ztužení úhelníky - 2LT	900,071	CO8/8	41,70	-0,63	0,00	-0,01	0,05	0,07
Příč. ztuž. č. 5 - horní	příč.ztužení úhelníky - 2LT	900,071	CO7/7	41,31	-0,63	0,01	-0,01	0,05	0,07
Příč. ztuž. č. 4 - dolní	příč.ztužení úhelníky - 2LT	0,000	CO8/8	-6,72	0,53	0,11	0,00	0,00	-0,34
Příč. ztuž. č. 5 - horní	příč.ztužení úhelníky - 2LT	0,000	CO8/8	35,71	-0,39	-0,27	0,01	0,10	0,40
Příč. ztuž. č. 3 - dolní	příč.ztužení úhelníky - 2LT	0,000	CO8/6	-39,54	-0,11	0,23	0,00	-0,10	0,09
Příč. ztuž. č. 4 - horní	příč.ztužení úhelníky - 2LT	900,071	CO7/7	28,75	-0,53	-0,08	-0,01	0,10	0,08
Příč. ztuž. č. 3 - horní	příč.ztužení úhelníky - 2LT	0,000	CO7/7	-10,42	0,40	-0,14	0,01	-0,01	-0,23
Příč. ztuž. č. 5 - dolní	příč.ztužení úhelníky - 2LT	900,071	CO8/8	-24,34	0,45	0,19	0,00	-0,13	-0,06
Příč. ztuž. č. 3 - horní	příč.ztužení úhelníky - 2LT	900,071	CO8/8	0,16	-0,03	-0,23	-0,01	0,14	0,08
Příč. ztuž. č. 5 - horní	příč.ztužení úhelníky - 2LT	1800,140	CO7/7	41,31	-0,63	0,13	-0,01	0,11	-0,50
Příč. ztuž. č. 5 - horní	příč.ztužení úhelníky - 2LT	0,000	CO7/7	35,30	-0,39	-0,26	0,01	0,10	0,40
B253	diagonály - L65X7	0,000	CO7/7	-8,46	-0,06	-0,07	0,00	0,04	0,02
B196	diagonály - L65X7	0,000	CO8/8	8,80	0,01	0,03	0,00	0,04	0,01
B208	diagonály - L65X7	1098,660	CO8/8	-6,48	-0,24	0,12	0,00	0,07	-0,10
B198	diagonály - L65X7	549,331	CO8/8	5,95	0,22	-0,05	0,00	-0,01	-0,03
B210	diagonály - L65X7	549,331	CO8/5	0,20	0,12	-0,21	0,00	0,06	-0,03
B194	diagonály - L65X7	549,331	CO8/8	-5,81	-0,11	0,18	0,00	0,02	-0,01
B180	diagonály - L65X7	549,331	CO8/8	-3,42	0,00	0,16	0,00	0,02	-0,03
B255	diagonály - L65X7	137,330	CO8/4	-0,98	-0,11	-0,15	0,00	0,04	0,02
B212	diagonály - L65X7	1098,660	CO8/8	5,96	0,11	-0,14	0,00	-0,10	0,07
B194	diagonály - L65X7	1098,660	CO7/7	-5,76	-0,13	0,15	0,00	0,11	-0,08
B198	diagonály - L65X7	1098,660	CO7/7	6,00	0,20	-0,07	0,00	-0,05	0,09

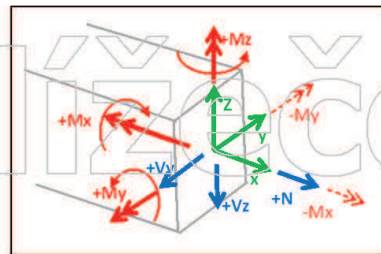
3.1.1. Nx



4. Vnitřní síly - zavětrování

4.1. Vnitřní síly - zavětrování - RC1

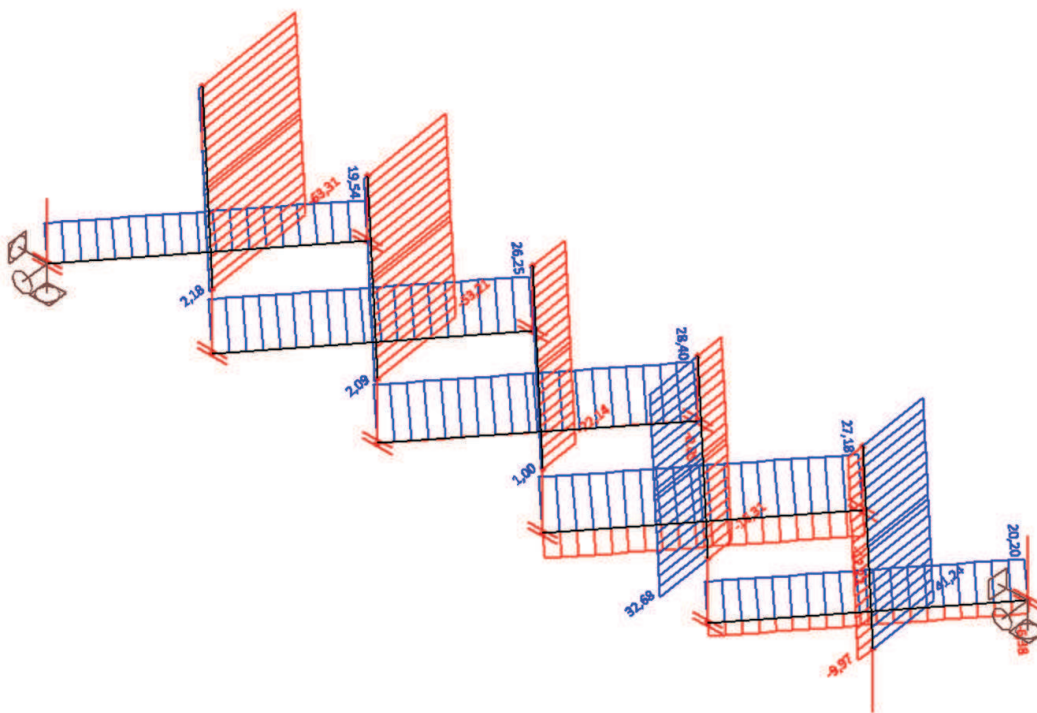
Jméno	Výpis
RC1	CO1 - EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B
	CO2 - Obálka - únosnost
	CO3 - Obálka - únosnost
	CO4 - Obálka - únosnost
	CO5 - Obálka - únosnost
	CO6 - Obálka - únosnost
	CO7 - Obálka - únosnost
	CO8 - Obálka - únosnost



Lineární výpočet, Extrém : Průřez, Systém : Hlavní
 Výběr : Vše
 Třída : RC1
 Vrstva : Ztužení

Prvek	css	dx [mm]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
ztužení_dol_2	podélné ztužení - dolní - L(CSN)70/8	0,000	CO1/16	-12,22	0,07	0,08	0,00	0,01	-0,01
ztužení_dol_3	podélné ztužení - dolní - L(CSN)70/8	0,000	CO8/12	28,40	0,11	0,06	0,00	0,05	-0,05
ztužení_dol_2	podélné ztužení - dolní - L(CSN)70/8	2448,700	CO1/17	-12,16	-0,09	-0,08	0,00	0,03	-0,03
ztužení_dol_4	podélné ztužení - dolní - L(CSN)70/8	0,000	CO8/5	25,87	0,11	0,06	0,00	0,05	-0,05
ztužení_dol_4	podélné ztužení - dolní - L(CSN)70/8	2448,700	CO8/5	25,87	-0,06	-0,11	0,00	-0,02	0,02
ztužení_dol_2	podélné ztužení - dolní - L(CSN)70/8	0,000	CO1/17	-12,16	0,08	0,09	0,00	0,01	-0,01
ztužení_dol_1	podélné ztužení - dolní - L(CSN)70/8	0,000	CO7/7	3,80	0,07	0,07	0,00	0,03	-0,03
ztužení_dol_4	podélné ztužení - dolní - L(CSN)70/8	2448,700	CO7/18	25,78	-0,05	-0,10	0,00	-0,02	0,02
ztužení_dol_2	podélné ztužení - dolní - L(CSN)70/8	902,150	CO1/14	20,37	0,05	0,00	0,00	0,08	0,02
ztužení_dol_2	podélné ztužení - dolní - L(CSN)70/8	0,000	CO8/4	27,06	0,11	0,06	0,00	0,05	-0,05
ztužení_dol_4	podélné ztužení - dolní - L(CSN)70/8	1546,550	CO8/9	25,28	0,00	-0,05	0,00	0,06	0,04
ztužení_hor_5	podélné ztužení - horní - L(CSN)80/10	0,000	CO7/7	-63,31	-0,12	-0,09	0,00	-0,05	0,05
ztužení_hor_1	podélné ztužení - horní - L(CSN)80/10	0,000	CO7/7	41,24	0,11	0,10	0,00	0,04	-0,04
ztužení_hor_4	podélné ztužení - horní - L(CSN)80/10	0,000	CO8/8	-53,21	-0,15	-0,09	0,00	-0,07	0,07
ztužení_hor_2	podélné ztužení - horní - L(CSN)80/10	2448,700	CO8/8	32,68	0,14	0,10	0,00	-0,05	0,05
ztužení_hor_2	podélné ztužení - horní - L(CSN)80/10	0,000	CO8/8	32,68	-0,10	-0,14	0,00	0,00	0,00
ztužení_hor_4	podélné ztužení - horní - L(CSN)80/10	2448,700	CO8/8	-53,21	0,09	0,15	0,00	0,02	-0,02
ztužení_hor_3	podélné ztužení - horní - L(CSN)80/10	0,000	CO8/3	-22,14	-0,13	-0,11	0,00	-0,05	0,05
ztužení_hor_5	podélné ztužení - horní - L(CSN)80/10	1031,030	CO8/8	-63,30	-0,03	-0,01	0,00	-0,11	-0,03
ztužení_hor_1	podélné ztužení - horní - L(CSN)80/10	1159,910	CO8/8	41,24	0,01	0,00	0,00	0,11	0,03
ztužení_hor_3	podélné ztužení - horní - L(CSN)80/10	1417,570	CO8/8	-11,07	0,01	0,03	0,00	-0,08	-0,06

4.1.1. Nx



Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Příloha č. 1 - Protokol o podrobné prohlídce z roku 2013

Statický přepočít plnostěnné ocelové mostní konstrukce na trati
TÚ Choceň (mimo) – Litomyšl (včetně) v kilometru 6,255.

Bc. Luboš Dejmeš

Diplomová práce

2015

Příloha č. 1

Jedná se o důvěrný materiál SŽDC, z tohoto důvodu bude příloha přiložena pouze k obhajobě.