

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra dopravního stavitelství

**Statický přepoččet příhradové ocelové mostní konstrukce v km 123,74 - TÚ 1401,
Chlumec nad Cidlinou (mimo) - Trutnov střed — obvod Poříčí (mimo).**

Bc. Lucie Zučková

Diplomová práce

2021

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Lucie Zučková**
Osobní číslo: **D19337**
Studijní program: **N0732A260017 Dopravní stavitelství**
Studijní obor: **Dopravní stavitelství**
Téma práce: **Statický přepočítání příhradové ocelové mostní konstrukce v km 123,974 – TÚ 1401, Chlumeck nad Cidlinou (mimo) – Trutnov střed -obvod Poříčí (mimo).**
Zadávatel: **Katedra dopravního stavitelství**

Zásady pro vypracování

1. Technickou zprávu
2. Situaci M 1:500 (M 1:200)
3. Přehledný výkres ? starý stav M 1:250/50 (M1:100/50)
4. Přehledný výkres ? nový stav M 1:250/50 (M1:100/50)
5. Sestava OK ? zesílení
6. Ultrazvukové měření tloušťek jednotlivých částí mostní konstrukce.
7. Statický výpočet, vč. přepočtu spojů a výpočtu zatížitelnosti.
8. Fotodokumentace

Rozsah pracovní zprávy:

Rozsah grafických prací:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Metodický pokyn pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů. SŽDC, 2019.
2. ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. ČNI, 2004.
3. ČSN EN 1991 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí.
4. ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. ČNI, 2006.
5. ČSN EN 1993-2 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 2: Ocelové mosty. ČNI, 2008.
6. Dle upřesnění vedoucího diplomové práce v průběhu jejího vypracování

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.

Katedra dopravního stavitelství

Datum zadání diplomové práce: **27. října 2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **29. ledna 2021**

L.S.

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

Ing. Aleš Šmejda, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení autora

Prohlašuji:

Práci s názvem Statický přepočet příhradové ocelové mostní konstrukce v km 123,74 - TÚ 1401, Chlumeck nad Cidlinou (mimo) - Trutnov střed — obvod Poříčí (mimo) jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, 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.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 20. 06. 2021

Bc. Lucie Zučková

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat Ing. Luboši Dejmkovi a Ing. Michalu Kábrtovi za jejich výpomoc a rady při tvorbě diplomové práce a vedoucímu práce doc. Ing. Bohumilu Culkovi, Ph.D. za odborné vedení, rady a poznámky, hlavně za čas a vstřícnost při každé konzultaci diplomové práce.

Anotace

Jedná se o statický přepočet železniční mostní konstrukce vedoucí přes vodní tok, přes řeku Úpu, v km 123,974 trati Chlumeč nad Cidlinou (mimo) - Trutnov střed — obvod Poříčí (mimo). Mostní konstrukce je s příhradovým trémovým hlavním ocelovým nosníkem a s dolní prvkovou mostovkou. Konstrukce je nýtovaná. Pro posouzení a výpočet byly použity platné evropské a české normy a dále pak metodické pokyny Správy železnic, především metodický pokyn pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů.

Klíčová slova

most, příhradový nosník, nýtovaný nosník, prvková mostovka, příčník, podélník, statický přepočet, zatěžovací model LM71

Title

Static recalculation of the truss steel bridge structure in km 123,974 - TÚ 1401, Chlumeč nad Cidlinou (mimo) - Trutnov střed — Poříčí obvod (mimo).

Annotation

This is a static recalculation of the railway bridge structure leading over the watercourse, over the river Úpa, at km 123,974 of the track Chlumeč nad Cidlinou (mimo) - Trutnov střed — obvod Poříčí (mimo). The bridge structure has a truss main steel girder and a lower member bridge deck. The construction is riveted. The valid European and Czech standards were used for the assessment and calculation, as well as the methodological guidelines of the Správa železnic, especially the methodological guidelines for determining the load-bearing capacity of railway bridge structures.

Keywords

a bridge, a truss girder, a riveted girder, a element bridge deck, a crossbar, a longitudinal, a static recalculation, a load model LM71

Obsah diplomové práce

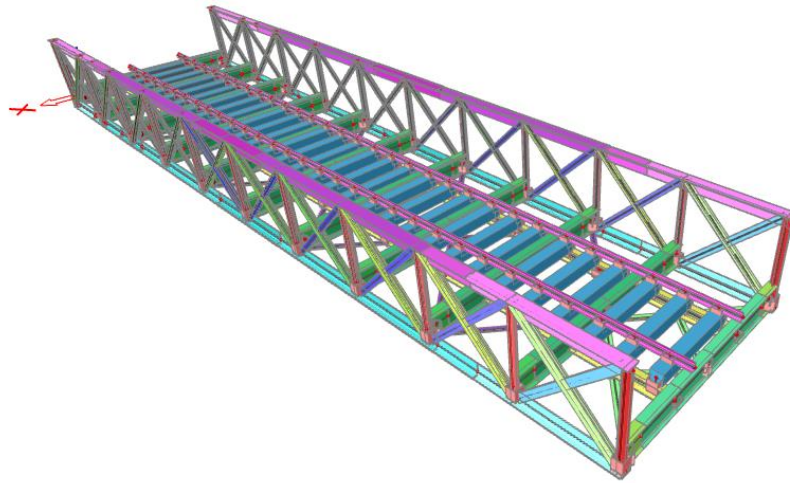
1. Technická zpráva
2. Výkresová dokumentace
 - Situace M 1:500 (M 1:200): Příčný řez
 - Podélný řez
 - Půdorys
 - Přehledný výkres — starý stav M 1:250/50 (M 1:100/50)
 - Přehledný výkres — nový stav M 1:250/50 (M 1:100/50)
3. Sestava OK — zesílení
4. Ultrazvukové měření tlouštěk jednotlivých částí mostní konstrukce
5. Statický výpočet, včetně přepočtu spojů a výpočtu zatížitelnosti
6. Fotodokumentace

Popis řešení diplomové práce

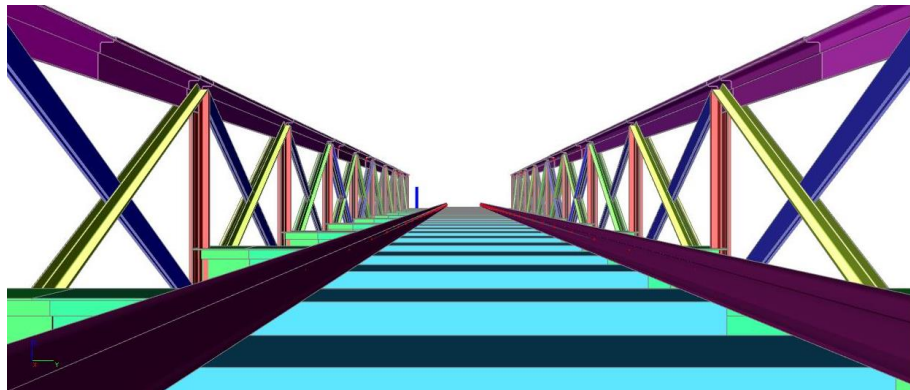
Téma diplomové práce je statický přepočít ocelové mostní konstrukce. U výpočtu byl posuzován pouze jeden z hlavních příhradových nosníků, vzhledem k excentricitě zatížení (levý hlavní nosník je vlivem excentricity více zatížený než pravý). Předpokládáme pak, že pokud vyhoví levý hlavní nosník, musí vyhovět i méně zatížený pravý nosník. Nosníky se posuzovaly na všechny dílce, ze kterých se skládá (svislice, diagonály a pásy) a posoudily se na tah, popřípadě na tlak. Dále se posuzovala mostovka vždy na nejvíce namáhané prvky, které byly zjištěny programem Scia Engineer. Příčnický i podélníky se posuzovaly v místech, kde vyvolá zatížení největší ohybový moment M_y a smykovou sílu V_z . Další částí výpočtu je výpočet ztužení (podélné a brzděné), které se posoudilo na tah a tlak. Poslední částí výpočtu je posouzení spojů hlavního nosníku. Součástí diplomové práce je mimo statického výpočtu i technická zpráva, fotodokumentace a výkresová část.

Pro vypracování diplomové práce byly použity platné české i evropské normy. Dále byl použit metodický pokyn, kde je uveden výpočet zatížitelnosti a přechodnosti stávajících mostních konstrukcí.

Konstrukce byla modelována v programu SCIA Engineer, ze kterého se využily především vnitřní síly na jednotlivých prutech. Tyto hodnoty se použily jako vstupní parametr pro kombinace, ze kterých se přepočítaly charakteristické hodnoty vnitřních sil na návrhové, se kterými se dále počítalo v jednotlivých posudcích. Posuzovaly se přitom jednotlivé prvky zvlášť. U hlavního nosníku se posuzovaly diagonály, svislice, horní a dolní pás. Horní a dolní pás se posuzoval vždy ve změně průřezu (postupné zesilování pásnic) a v místě maximálního působení normálové síly. Svislice se posuzovaly zvlášť krajní a prostřední vzhledem ke změně průřezu na tah, popřípadě tlak. Diagonály se taktéž posuzovaly zvlášť, vždy se počítalo se zástupcem od stejného průřezu, který byl nejvíce namáhaný, u ostatních pak předpokládáme, že vyhoví taktéž. Diagonály se taktéž posoudily na tah nebo tlak. U příčnicků a podélníků se posuzovaly především účinky boulení, posouzení průřezu při jednoosém ohybu, posouzení průřezu na únosnost ve smyku, interakci mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou a posouzení průřezu na klopení. Veškeré vyjmenované prvky se posoudily také na zatížitelnost a na přechodnost pro TTZ C2/75.



Obrázek 1: Pohled na model konstrukce z programu SCIA Engineer



Obrázek 2: Příčný pohled na model konstrukce z programu SCIA Engineer



Obrázek 3: Pohled na skutečnou konstrukci (pravá z pohledu)

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra dopravního stavitelství

Technická zpráva

**Statický přepočet příhradové ocelové mostní konstrukce v km 123,974 - TÚ
1404, Chlumeck nad Cidlinou (mimo) - Trutnov střed – obvod Poříčí (mimo).**

Bc. Lucie Zučková

Diplomová práce

2021

Obsah

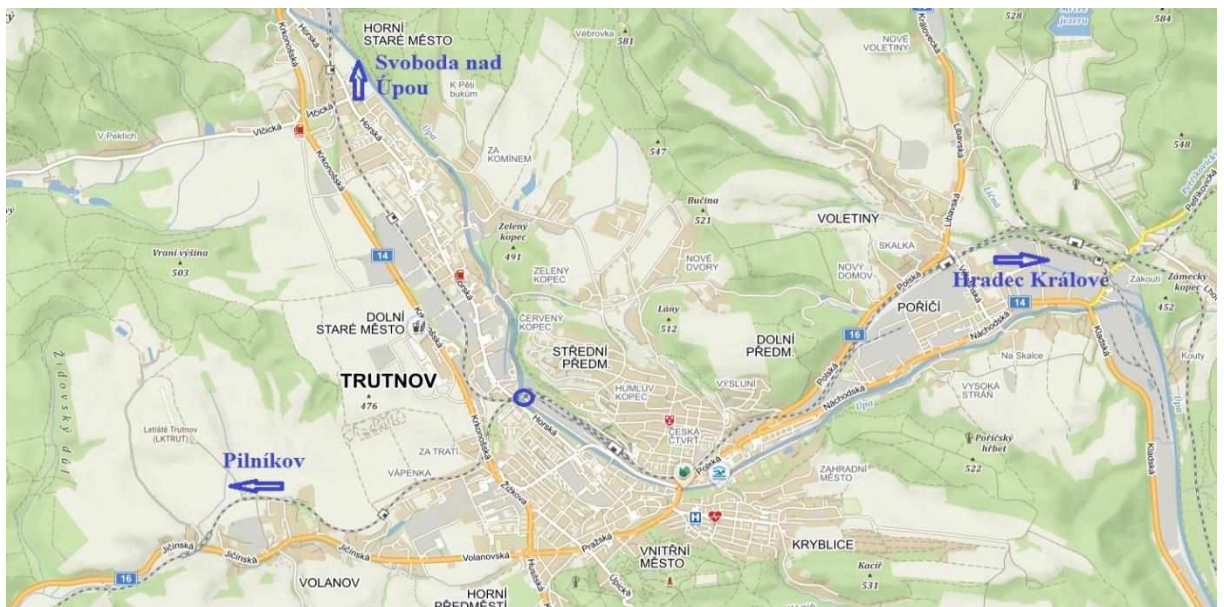
1. Úvod.....	2
2. Základní údaje o mostní konstrukci.....	3
2.1. Základní charakteristika.....	3
2.2. Prostorové uspořádání na objektu.....	4
2.3. Technický popis konstrukce	5
2.3.1. Nosná konstrukce.....	5
2.3.2. Spodní stavba.....	7
2.3.3. Železniční svršek	7
2.3.4. Vybavení konstrukce	8
2.3. Materiál mostní konstrukce	8
3. Současný stav mostní konstrukce	9
3.1. Nosná konstrukce.....	9
3.2. Spodní stavba.....	10
3.3. Železniční svršek	10
3.4. Vybavení.....	10
4. Model konstrukce	11
5. Způsob výpočtu.....	14
6. Závěr	14
7. Použité podklady a normy	18
8. Zdroje a seznamy	19
8.1. Zdroje.....	19
8.2. Seznam obrázků	19
8.3. Seznam tabulek	19

1. Úvod

V diplomové práci je řešen statický přepoččet ocelové příhradové mostní konstrukce. Most se nachází na traťovém úseku TÚ 1404 Chlumeck nad Cidlinou (mimo) - Trutnov střed, obvod Poříčí (mimo), v definičním úseku DÚ 28 Pilníkov — Trutnov hl.n. v evidenčním kilometru 123,974. Pro vypracování technické zprávy byly použity údaje z Protokolu o podrobné prohlídce mostního objektu z roku 2019 a z naměřených hodnot přímo z konstrukce.



Obrázek 1: Umístění mostní konstrukce



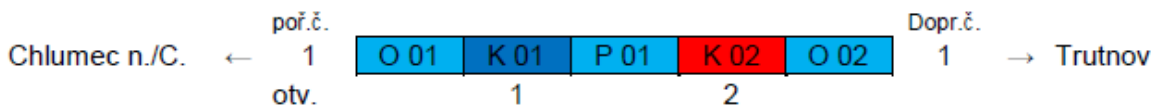
Obrázek 2: Umístění mostní konstrukce – širší vztahy

2. Základní údaje o mostní konstrukci

2.1. Základní charakteristika

Mostní konstrukce je ocelový příhradový nýtovaný trémový prostý most s dolní prvkovou mostovkou. Železniční most se nachází na trati Chlumeck nad Cidlinou (mimo) - Trutnov střed — obvod Poříčí (mimo) TÚ 1404.

Schéma mostního objektu dle protokolu o podrobné prohlídce:



Posuzovaná konstrukce je na schématu vyznačena jako konstrukce K 01. Na danou konstrukci navazuje dále ocelový plnostěnný nýtovaný prostý most bez mostovky, který leží na vlastních ložiskách, nejedná se tedy o spojitou konstrukci. Obě konstrukce mají pouze společný pilíř P 01.



Obrázek 3: Popis jednotlivých částí

Most se nachází v intravilánu. Na opěru O 01 navazuje násyp a dále další mostní konstrukce, na opěru O 02 navazuje násypové těleso. Konstrukce nese pouze jednu kolej, přičemž je trať před i za mostem dvoukolejná. Druhá kolej se nachází na trati Trutnov střed — Svoboda nad Úpou a leží na sousedící totožné mostní konstrukci.

Most má dva otvory, zkoumaná konstrukce má otvor pouze jeden. Konstrukcí K 01 je přemostěn vodní tok, řeka Úpa, druhá konstrukce K 02 vede nad místní komunikací obslužnou.

Jedná se o jednokolejnou trať, která na mostě klesá ve sklonu 14‰. Směrové uspořádání koleje je v pravém oblouku ($R = 800$ m). Na koleji je zbudováno také převýšení ($p = 25$ mm) pomocí dřevěných klínů, kterými jsou vlevo vypořádány mostnice.

Rychlost na mostě je stanovena na 60 km/h s traťovou třídou zatížení s přidruženou rychlostí C2 - 75 km/h.

2.2. Prostorové uspořádání na objektu

Posun polohy osy koleje k ose nosné konstrukce (měřeno na konstrukci):

Začátek konstrukce (1. svislice):	55 mm
Střed konstrukce (6. svislice):	155 mm
Konec konstrukce (11. svislice):	70 mm

Vzdálenost vnitřního líce svislic od osy koleje (protokol o podrobné prohlídce):

	Výztuha 1	Výztuha 6	Výztuha 11
Vlevo:	2 160 mm	2 080 mm	2 090 mm
Vpravo:	2 270 mm	2 360 mm	2 280 mm

Svislice **zasahují** do volného a manipulačního prostoru.

Vzdálenost vnitřního líce horních pásnic od osy koleje (protokol o podrobné prohlídce):

	Výztuha 1	Výztuha 6	Výztuha 11
Vlevo:	2 130 mm	2 050 mm	2 070 mm
Vpravo:	2 240 mm	2 330 mm	2 250 mm

Horní pásnice **zasahují** do volného a manipulačního prostoru.

2.3. Technický popis konstrukce

Základní rozměry konstrukce:

Souřadnice středu objektu:	50° 34' 7.346'' N; 15°54' 5.326'' E
Délka mostu:	30,800 m
Šířka mostu:	4,850 m
Výška objektu:	7,480 m
Délka přemostění:	24,850 m
Úhel křížení:	90°
Kolmost:	objekt je kolmý
Počet kolejí:	1
Počet konstrukcí:	2
Počet otvorů:	2

2.3.1. Nosná konstrukce

Jedná se o ocelovou, trémovou, příhradovou, nýtovanou nosnou konstrukci s dolní prvkovou mostovkou. Nosná konstrukce je prostá a má kolmé ukončení, ukončení mostovky je taktéž kolmé. Hlavní nosník je složen z dolních pásů, horních pásů, svislic a diagonál. Nosníky jsou od sebe osově vzdáleny 4,610 m.

Horní pás je tvořen stojinou, dva plechy o výšce 250 mm a šířce 10 mm, dále pásnicí, plech o šířce 250 mm a tloušťce 10 mm, a krčními úhelníky z obou stran, profil L 80x100x15. Horní pásnice se postupně zesiluje přidáním plechů o šířce 250 mm a tloušťce 10 mm. Takovéto zesílení je zde provedeno třikrát, nejtlustší místo tedy má až 40 mm.

Dolní pás je tvořen stojinou, dva plechy o výšce 250 mm a šířce 10 mm, dále pásnicí, plech o šířce 250 mm a tloušťce 10 mm, a krčními úhelníky z obou stran, profil L 80x100x15. Dolní pásnice se postupně zesiluje přidáním plechů o šířce 250 mm a tloušťce 10 mm. Takovéto zesílení je zde provedeno třikrát, nejtlustší místo tedy má až 40 mm.

Svislice jsou tvořeny čtveřicí profilu L. Svislice v poli mají velikosti profilu L 60x60x8 a krajní svislice L 70x70x9.

Diagonály označené písmeny E jsou složeny z dvou plechů a diagonály označené písmenem D jsou složeny ze čtveřice profilu L. Diagonála E1 a E1' má velikost plechu o šířce

160 mm a tloušťce 15 mm. Diagonály E2, E3, E3' a E2' mají plechy o šířce 140 mm a tloušťce 15 mm. Diagonály E4 a E4' mají šířku 120 mm a tloušťku 15 mm. Diagonály E5 a E5' jsou stejně jako diagonály D4, D5, D5' a D4' tvořeny čtveřicí L 60x60x8. Diagonála D2, D3, D3' a D2' jsou tvořeny profily L 70x70x9 a diagonály D1 a D1' profily L 80x80x10.

Příčníky jsou plnostěnné nýtované. Jsou složeny ze stojiny o výšce plechu 550 mm a tloušťce 10 mm. Dále podkladními plechy pod krčnými úhelníky o výšce 100 mm a tloušťce 8 mm a krčnými úhelníky tvořeny profily L 100x100x10. Horní i dolní úhelníky jsou natočeny stejný směrem, tudíž řez příčnickem netvoří klasický I profil. Příčníky jsou od sebe osově vzdálené na 2,000 m.

Podélníky jsou plnostěnné nýtované. Jsou složeny ze stojiny o výšce plechu 250 mm a tloušťce 10 mm. Mají pásnice (horní i dolní) tvořené plechem o šířce 180 mm a tloušťce 10 mm, a nakonec krční úhelníky, kde úhelníky u spodní pásnice jsou tvořeny profilem L 70x70x9 a úhelníky u horní pásnice jsou tvořeny profilem L 80x80x10. Podélníky v příčném řezu tvoří klasický I profil. Podélníky jsou od sebe osově vzdáleny na 1,950 m.

Ztužení je nýtované. Řadí se sem pouze podélné ztužení hlavních nosníků tvořené zdvojeným profilem L 60x60x8.

Ložiska jsou ocelová, tangenciální, kolejnicová. Na opěře O 01 se nachází pohyblivé ložisko, na pilíři P 01 je ložisko pevné.

Základní rozměry konstrukce:

Délka nosné konstrukce:	20,180 m
Šířka nosné konstrukce:	4,850 m
Rozpětí konstrukce:	20,000 m
Délka hlavního nosníku:	20,180 m
Délka příčníku:	4,550 m
Délka podélníku:	1,960 m
Rok výroby:	1870

2.3.2. *Spodní stavba*

Opěra O 01

Opěra O 01 je kamenná s pravidelným řádkováním. V horní části se nachází železobetonový úložný práh, v dolní části opěry je betonové ochranné zdivo, proti podemílání opěry vodním tokem. Ochranné zdivo je provedeno z prostého betonu. Opěra je společná pro oba sousední objekty (pro obě trati).

Základním rozměrem je výška dříku, což je 5,500 m a šířka opěry 5,600 m. Železobetonový úložný práh je vysoký 0,800 m a železobetonová závěrná zeď 0,850 m.

Na opěru navazují mostní křídla. Křídlo vlevo je tvořeno jako navazující stavba sousedního objektu. Křídlo vpravo je rovnoběžné, je složeno z kamenného zdiva s pravidelným řádkováním. Křídlo má železobetonovou římsu a navazuje na něj kamenný kužel.

Pilíř P 01

Pilíř P 01 je kamenný s pravidelným řádkováním. V dolní části pilíře je betonové návodní zdivo, proti podemílání pilíře vodním tokem. Ochranné zdivo je provedeno z prostého betonu. Pilíř je společný pro oba sousední objekty (pro obě trati) a zároveň je společný i pro navazující konstrukce (K 02). Úložný práh je tvořen žulou.

Výška dříku pilíře je 5,200 m, šířka pilíře je 5,950 m pro zkoumanou konstrukci, celková šířka i se sousedící konstrukcí je 11,900 m. Délka pilíře je 2,000 m.

2.3.3. *Železniční svršek*

Kolej je na mostě vedena v pravém oblouku. Výškové uspořádání koleje je v klesání. Na konstrukci se nacházejí kolejnice tvaru S 49, které jsou na konstrukci svařované. Kolejnicové styky tu tudíž nejsou. Kolejnice jsou upevněny na žebrových podkladnicích na nosné konstrukci a v předpolí jsou uloženy na rozponových podkladnicích.

Jako kolejnicové podpory jsou užity dubové mostnice s čelními sponami proti štěpení. Jejich uložení je plošné a jsou připevněny svislými mostnicovými šrouby. Levá strana mostnic je vždy vypořádána dřevěnými klíny, které postupně narůstají, pro tvorbu převýšení. V nejvyšším místě má klín uprostřed tloušťku 89,513 mm. Mostnice mají rozměry 240x240x2400 a na mostě jich je 31 ks. Světlost mezi mostnicemi je 410 mm a 460 mm.

Pozednice je tvořena dřevěným prázem a je vybavena čelními sponami proti štěpení. Na konstrukci K 01 je pouze jedna pozednice, a to nad opěrou O 01. Nad pilířem P 01 je

pozednice tvořena klasickými mostnicemi, protože plynule navazuje na další konstrukci K 02. Rozměry pozednice jsou 130x240x2400.

Na konstrukci se také nacházejí pojistné úhelníky. Jsou tvořeny ocelovými profily L 180x90x10. Jsou v délce cca 44,000 m a průběžně přecházejí přes obě konstrukce. Ukončení úhelníku je provedeno dle předpisu S3, díl XII, a to přesahem jednoho úhelníku přes druhý. Vzdálenost pojistného úhelníku od pojižděné hrany je 180 mm.

2.3.4. Vybavení konstrukce

Mezi vybavení konstrukce patří podlahy. Podlahy jsou společné pro obě konstrukce. Podlahy mezi kolejnicemi, podlahy po hlavách mostnic i chodníkové podlahy jsou tvořeny rýhovanými plechy o tloušťce 6 mm.

Mezi další vybavení na mostě patří zábradlí. Zábradlí je tvořeno ocelovými profily L a jsou nýtované. Na zkoumané konstrukci K 01 nahrazují zábradlí hlavní příhradové nosníky. Zábradlí se vyskytuje pouze před konstrukcí K 01 a dále pak na konstrukci K 02. Počet sloupků zábradlí je vlevo K 01 + 4 ks a vpravo 4 ks + K 01 + 4 ks. Dilatace zábradlí je provedeno vzduchovou mezerou. Upevnění sloupků je v předpolí (před konstrukcí K 01) vetknuté do římsy křídla a na konstrukci K 02 je upevněno k chodníkovým konzolám. Ukolejnění ani vodivé propojení se zde nenachází.

Dále jsou na mostě bezpečnostní nátěry a výstražné tabulky, které jsou osazeny na začátku i na konci, vlevo i vpravo, kvůli nedodržení volného schůdného a manipulačního prostoru.

Dalším vybavením jsou odvodňovací systémy, které jsou v případě tohoto mostu osazeny pouze v opěře O 01 pomocí čtyř kusů odvodňovačů o průměru 100 mm.

2.3. Materiál mostní konstrukce

Mostní konstrukce je nýtovaná z oceli. Jelikož je rok výroby stanoven rokem 1870 jedná se o svárkovou ocel, dle metodického pokynu pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů. Pevnost nýtů uvažujeme pro zjednodušení stejnou, jako je pevnost konstrukce.

Svářková ocel:

Mez kluzu oceli: $f_y = 210 \text{ MPa}$

Mez pevnosti oceli: $f_u = 340 \text{ MPa}$

Součinitel spolehlivosti: $\gamma_1 = 1,10$

$\gamma_2 = 1,20$

$\gamma_3 = 1,30$

Tabulka A.1 - Vlastnosti oceli a dílčí součinitele 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
do 1894	svářkové železo	130	210	340	1,10	1,20	1,30	
1895-1904	svářkové železo	130	210	340	1,10	1,20	1,30	Nařízení 97/1904
	plávková ocel	140	230	360	1,10	1,20	1,30	
1905-1937	plávková ocel	140	230	360	1,10	1,20	1,30	ČSN 1230
1938-	37 (S235)	140	230	360	1,10	1,20	1,30	ČSN 1230

Tabulka 1: Vlastnosti oceli a dílčí součinitele materiálu

3. Současný stav mostní konstrukce

V následujících odstavcích je popsán současný stav konstrukce dle protokolu o podrobné prohlídce.

3.1. Nosná konstrukce

Hlavní nosníky jsou u první výztuhy deformovány. V prvním poli dochází k nárůstu štěrbinové koroze mezi úhelníky na diagonálách. Krční úhelníky u dolního pásu umístěné nad ložisky nad opěrou O 01 vlevo mají podélnou trhlinu. Obecně u krčních úhelníků dolního pásu dochází k oslabení do hloubky 1 - 2 mm. Konstrukce je nyní bez koroze, jelikož byla kryta novým nátěrem.

Horní úhelníky příčnicku jsou oslabeny do hloubky 1 mm, přičemž krajní části jsou oslabeny až do hloubky 5 mm. Stojiny všech příčnicků jsou nad dolními úhelníky oboustranně oslabeny až do hloubky 8 mm. Některé příčnicku mají stojiny prokorodované zcela. U prvního příčnicku je navíc nejrozsáhlejší korozní oslabení dolních úhelníků, místy je úhelník korozně

oslaben téměř v celé jeho šířce. Ostatní dolní úhelníky jsou oslabeny do hloubky 2 - 3 mm. Příčníky jsou nyní bez koroze, byly kryty novým nátěrem.

Horní pásnice podélníku pod mostnicemi jsou oslabeny o 1 - 2 mm. U podélníku jsou oslabeny hlavy nýtů. Konzole podélníků na konstrukci K 01 nad pilířem je téměř zapřena do navazující konstrukce K 02, stojina konzole je silně korozně oslabena. Podélníky jsou nyní bez koroze, byly kryty novým nátěrem.

Úhelníky ztužení jsou oslabeny na koncích o 1 - 2 mm. Začíná se vytvářet šterbinová koroze na přípoji mezi ztužením a podélníky. Ztužení je nyní bez koroze, bylo kryto novým nátěrem.

Ložiska jsou místy oslabena důlkovou korozí, jinak jsou při průjezdu vlaku klidná. Ložiska jsou taktéž kryta novým nátěrem.

3.2. Spodní stavba

Opěra O 01

Opěra, úložný práh i závěrná zeď jsou bez poruch. Ochranné betonové zdivo při vodní hladině silně degraduje. Obě křídla jsou bez patrných poruch.

Pilíř P 01

Pilíř a úložný práh jsou bez patrných poruch. Ochranné betonové zdivo při vodní hladině degraduje.

3.3. Železniční svršek

Před objektem ve štěrkovém loži mírně prorůstá tráva. Celkově je ale železniční svršek bez vážných poruch. Mostnice jsou taktéž bez patrných poruch. Pozednice nad opěrou O 01 je bez vypodložení, při průjezdu vlaku je patrný pokles, přičemž se tím namáhání přenáší do silně zkorodovaného prvního příčníku.

Pojistné úhelníky pouze povrchově korodují, jinak jsou bez závažných poruch.

3.4. Vybavení

Podlahy mezi kolejnicemi, podlahy po hlavách mostnic a chodníkové podlahy jsou bez závažných poruch.

Zábradlí na obou stranách je taktéž bez zjevných poruch.

Bezpečnostní nátěry a výstražné tabulky, odvodnění a jiná a cizí zařízení jsou bez patrných poruch.

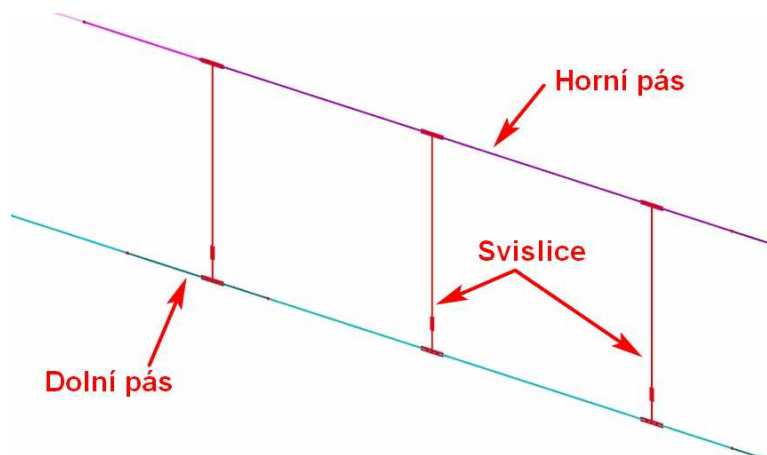
Celkové hodnocení stavu konstrukce

Hodnocení konstrukce K 01 bylo stanoveno na stupeň 3 a hodnocení spodní stavby bylo stanoveno stupněm 1.

4. Model konstrukce

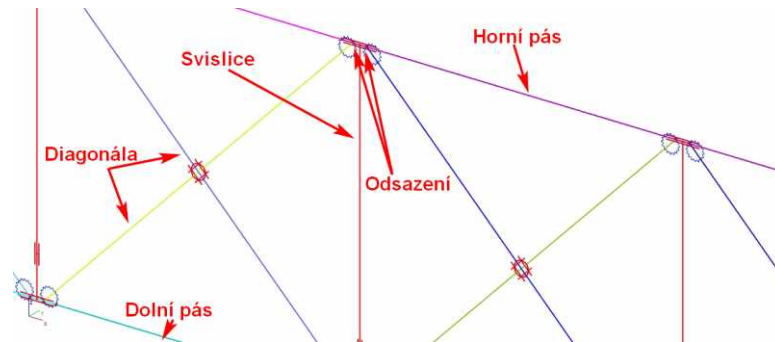
Konstrukce mostu je vymodelována v programu Scia Engineer 19.1, přičemž výkresy a potřebné průřezy byly vyhotoveny v programu AutoCAD Map 3D 2020. Jelikož je konstrukce symetrická, je provedeno posouzení pouze na jeden z hlavních nosníků, který je vlivem převýšení, excentricity koleje a odstředivých sil více zatížený. V tomto případě se jedná o levý hlavní nosník. Dále je kladen důraz i na posouzení mostovky a podélného ztužení, u kterého jsou vybrány pouze vždy takové prvky, ve kterých působí větší vnitřní síly, u ostatních prvků pak můžeme předpokládat, že taktéž vyhoví.

Model začíná vytvořením hlavních nosníků pomocí prutových prvků. Nejprve se vymodelovaly dolní a horní pásy. U obou pásů je potřeba dbát na zesílení pásnice. Toto zesílení je v programu SCIA modelováno pomocí excentrického propojení prvků, vždy o příslušnou excentricitu zesílení. Dále byly vymodelovány svislice pomocí prutových prvků mezi osy horního a dolního pásu.



Obrázek 4: Připojení svislic k pásům

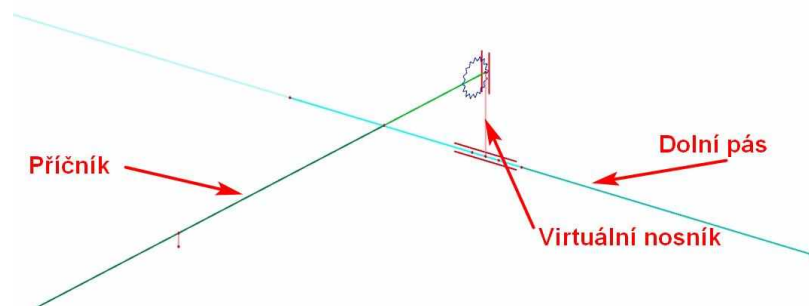
Dále byly pomocí prutových prvků přidělány i diagonály. Diagonály byly připevněny k horním i dolním pásům s určitým odsazením od svislic, které přibližuje reálné připojení diagonál.



Obrázek 5: Celkový pohled na hlavní nosník

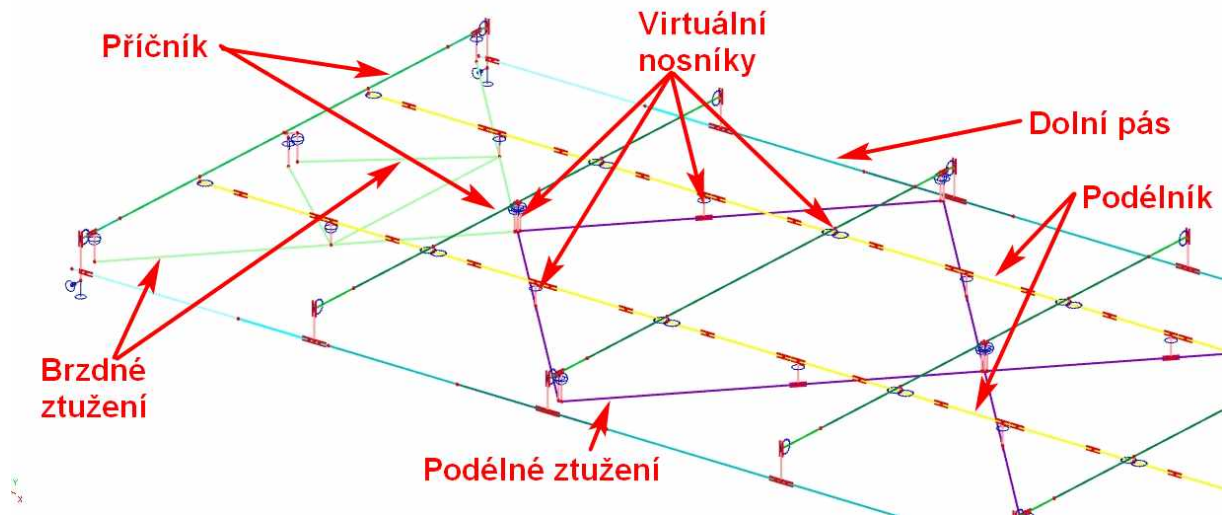
Tímto je vytvořen celý model hlavních nosníků. K hlavním nosníkům byly připevněny ložiska pomocí virtuálních nosníků, které reprezentují excentrické připojení ložisek vůči ose spodního pásu. Virtuální nosníky jsou tvořeny čtvercovými dutými průřezy o rozměrech 400x400x20, jelikož má tento průřez dobrou torzní tuhost v obou na sebe kolmých směrech. Virtuální nosníky mají nulovou hmotnost, jelikož reprezentují pouze spoj, ale vlastnosti materiálu byly ponechány. Na začátku mostu bylo vytvořeno pohyblivé ložisko a na konci mostu pevné ložisko.

Dále bylo potřeba vymodelovat prvkovou mostovku mezi hlavními nosníky. Model začíná připojením příčníků pomocí virtuálních nosníků k dolním pásům hlavního nosníku v místech připojení svislice. Virtuální nosníky opět reprezentují excentricitu připojení, simulují pouze spoj.



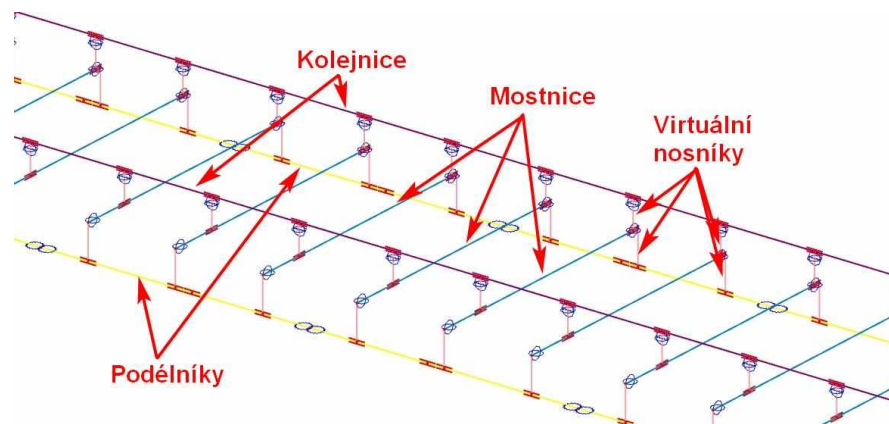
Obrázek 6: Napojení příčníků na dolní pás

Dále se připojily podélníky, brzdné a podélné ztužení k příčníkům opět pomocí virtuálních nosníků, které reprezentují opět pouze spoj (excentrické připojení prvků).



Obrázek 7: Ukázka napojení mostovky a ztužení

Nakonec stejným způsobem byl přidělán i mostní svršek. Mostnice byly přidělaný pomocí virtuálních nosníků k podélníkům a kolejnice byly zase přidělaný pomocí virtuálních nosníků k mostnicím. Virtuální nosníky zde byly opět použity pouze jako spoj (excentrické připojení prvků). Dále byly vytvořeny ložiska na koncích kolejnic, představující upevnění kolejnic před a za mostem v podkladnicích následujících pozednic.



Obrázek 8: Napojení svršku na mostovku

Nakonec je potřeba ještě dodělat kloubové, popřípadě pružné propojení prvků.

Takto připravený model se může začít zatěžovat veškerým zatížením. Závěrem pak je výstup v podobě vnitřních sil působících od zatížení na jednotlivé prvky.

5. Způsob výpočtu

Po vymodelování konstrukce je potřeba model zatížit veškerým zatěžovací stavy, mezi které patří: vlastní tíha, ostatní stálá zatížení, zatížení větrem, zatížení teplotou, zatížení rozjezdovou/ brzdovou silou, zatížení bočními rázy, zatížení odstředivými silami, zatížení modelem LM71 a zatížení příslušným zatěžovacím modelem pro zadanou třídu, v tomto případě model pro třídu C2, kvůli výpočtu přechodnosti.

Po zatížení a výpočtu nám program vygeneruje vnitřní síly na prutech. Hlavní nosník je zvlášť posuzován na tlaková a tahová namáhání pro jednotlivé prvky (horní pás, dolní pás, svislice, diagonála). Dále je ve výpočtu posouzena i prvková mostovka. Příčnický i podélnický jsou posouzeny na vnitřní síly normálové, posouvající a na momenty ve směru z a y. Pro tyto vnitřní síly je vybrán vždy prvek (podélník, příčník), kde je působení těchto sil největší. Podélné a brzdné ztužení hlavních nosníků je posuzováno opět na tah a na tlak.

Prvky hlavního nosníku se posuzuje na odolnost v tahu/tlaku, na zatížitelnost a na přechodnost. Podélníky a příčnický se posuzují na účinky boulení, únosnost příčného řezu, únosnost ve smyku, interakci mezi osovou a smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou a klopení, zatížitelnost a přechodnost. Podélné ztužení se posuzuje na odolnost v tahu, tlaku a prostorovém vzpěru. Dále se posuzuje únosnost krčních nýtů.

6. Závěr

V následujících tabulkách jsou uvedeny veškeré výsledky výpočtů. Hlavní nosník, ač některé prvky nevyšly na zatížitelnost, tak veškeré prvky vyšly na přechodnost, nemusejí se tedy zesilovat ani upravovat. U některých prvků příčnicků a podélníků zatížitelnost ani přechodnost nevyšla, prvky se musely tedy zesílit a musel se u nich změnit materiál. Veškeré zesílení a výsledky jsou uvedeny v tabulce. Ztužení vyšlo jak na tah, tak i tlak. Spoje musely být přepočteny na třecí spoje, jelikož většina původních nýtů na stříh nevyhověly.

ZTUŽENÍ			
Popis dílce	N_{Ed} [kN]	N_{Rd} [kN]	Podmínka
PODÉLNÉ ZTUŽENÍ			
Podélné ztužení_tah	162,76	280,586	Splněna
Podélné ztužení_tlak	153,467	230,884	Splněna
BRZDNÉ ZTUŽENÍ			
Brzdné ztužení_tah	176,92	346,206	Splněna
Brzdné ztužení_tlak	184,658	348,168	Splněna

Tabulka 2: Výsledky pro ztužení

HLAVNÍ NOSNÍK						
Popis dílce	N_{Ed} [kN]	N_{Rd} [kN]	Podmínka	Zatížitelnost	Přechodnost	
HORNÍ PÁS						
Horní pás _změna průřezu I. - II.	1 665,241	1 968,791	Splněna	1,162	0,667	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Horní pás _změna průřezu II. - III.	1 665,241	2 344,161	Splněna	1,557	0,651	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Horní pás _změna průřezu III. - IV.	3 199,841	2 859,401	Nesplněna	0,87	0,581	Prvek je přechodný
Horní pás _maximální N	3 245,772	3 288,809	Splněna	0,779	0,624	Prvek je přechodný
DOLNÍ PÁS						
Dolní pás _změna průřezu I. - II.	1 719,622	2 100,573	Splněna	0,974	0,719	Prvek je přechodný
Dolní pás _změna průřezu II. - III.	1 641,970	2 282,525	Splněna	1,071	0,717	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Dolní pás _změna průřezu III. - IV.	3 178,930	2 639,525	Nesplněna	0,744	0,571	Prvek je přechodný
Dolní pás _maximální N	3 264,700	2 996,525	Nesplněna	0,584	0,572	Prvek je přechodný
SVISLICE						
Svislice krajní tlak	499,780	766,096	Splněna	0,873	0,669	Prvek je přechodný
Svislice prostřední tlak	135,148	567,529	Splněna	4,711	0,518	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Svislice prostřední tah	264,930	514,535	Splněna	0,916	0,634	Prvek je přechodný
DIAGONÁLY						
Diagonála E1 _tah	736,550	729,750	Nesplněna	0,955	0,601	Prvek je přechodný
Diagonála E2 a E3 _tah	667,030	624,750	Nesplněna	0,874	0,574	Prvek je přechodný
Diagonála E4 _tah	420,080	519,750	Splněna	1,112	0,466	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Diagonála E4 _tlak	98,069	453,931	Splněna	5,985	0,577	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Diagonála E5 _tah	284,920	514,535	Splněna	1,993	0,505	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Diagonála E5 _tlak	187,840	556,425	Splněna	2,645	0,326	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Diagonála D1 _tlak	1 002,410	990,177	Nesplněna	0,860	0,363	Prvek je přechodný
Diagonála D2 a D3 _tlak	686,422	757,022	Splněna	1,155	0,624	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Diagonála D4 a D5 _tlak	393,395	556,425	Splněna	1,485	0,519	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Diagonála D4 a D5 _tah	214,320	514,535	Splněna	1,881	0,391	Prvek vyhovuje na zatížitelnost

Tabulka 3: Výsledky pro hlavní nosník

MOSTOVKA								
Popis dílce	η_1 [-]	Podmínka	η_3 [-]	Podmínka	Klopení	Zatížitelnost	Přechodnost	
PŘÍČNÍK								
Příčník krajní_max. My	1,084	Nesplněna	0,534	Splněna	Splněna	0,652	0,804	Prvek je nepřechodný
Příčník krajní_max. My pro 60 km/h	-	-	0,584	Splněna	-	0,662	0,716	Prvek je nepřechodný
Příčník krajní_max. My zesílení	0,701	Splněna	0,349	Splněna	Splněna	1,175	0,761	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Příčník krajní_max. Vz	1,06	Nesplněna	0,632	Splněna	Splněna	0,614	0,770	Prvek je nepřechodný
Příčník krajní_max. Vz pro 60 km/h	-	-	0,573	Splněna	-	0,636	0,689	Prvek je nepřechodný
Příčník krajní_max. Vz zesílení	0,693	Splněna	0,344	Splněna	Splněna	1,157	0,744	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Příčník prostřední_max. My	1,072	Nesplněna	0,678	Splněna	Splněna	0,72	0,804	Prvek je nepřechodný
Příčník prostřední_max. My pro 60 km/h	-	-	0,615	Splněna	-	0,718	0,704	Prvek je přechodný
Příčník prostřední_max My zesílení	0,697	Splněna	0,419	Splněna	Splněna	1,123	0,663	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Příčník prostřední_max. Vz	1,071	Nesplněna	0,678	Splněna	Splněna	0,695	0,770	Prvek je nepřechodný
Příčník prostřední_max. Vz pro 60 km/h	-	-	0,615	Splněna	-	0,701	0,683	Prvek je přechodný
Příčník prostřední_max. Vz zesílení	0,696	Splněna	0,419	Splněna	Splněna	1,098	0,652	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Příčník oslabení	1,197	Nesplněna	0,712	Splněna	Splněna	0,61	0,821	Prvek je nepřechodný
PODÉLNÍK								
Podélník maximální My	0,825	Splněna	0,464	Splněna	Splněna	0,819	0,778	Prvek je přechodný
Podélník maximální Vz	0,595	Splněna	1,758	Nesplněna	-	-	-	Prvek je nepřechodný
Podélník maximální Vz pro 60 km/h	0,586	Splněna	1,731	Nesplněna	-	-	-	Prvek je nepřechodný
Podélník maximální Vz zesílení	0,359	Splněna	0,826	Splněna	Splněna	1,39	0,931	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Podélník maximální N	0,202	Splněna	1,048	Nesplněna	-	-	-	Prvek je nepřechodný
Podélník maximální N pro 60 km/h	0,194	Splněna	1,021	Nesplněna	-	-	-	Prvek je nepřechodný
Podélník maximální N zesílení	0,12	Splněna	0,492	Splněna	Splněna	2,497	0,929	Prvek vyhovuje na zatížitelnost

Tabulka 4: Výsledky pro mostovku

Název prvku	N [kN]	Počet nýtů [ks]	Průměr nýtů [m]	Plocha A ₀ [m ²]	f _u [MPa]	f _{u,b} [MPa]	γ _{m2} [-]	Únosnost ve stříhu nýtu			Únosnost třech spoje							
								F _{b,Rd} [kN]	F _{b,Rd,cel} [kN]	Podmínka	n _s [ks]	γ _{m3} [-]	Jakost	μ [-]	F _{p,c} [kN]	F _{s,Rd} [kN]	F _{s,Rd,cel} [kN]	Podmínka
Svislice krajní_tlak	-499,78	6	0,021	0,000346	340	310	1,3	49,556	297,337	Nevyhovuje	Prvek vyhovuje na únosnost ve stříhu pro nýty							
Svislice prostřední_tlak	-135,15	6	0,021	0,000346	340	310	1,3	49,556	297,337	Vyhovuje	Prvek vyhovuje na únosnost ve stříhu pro nýty							
Svislice prostřední_tah	264,93	6	0,021	0,000346	340	310	1,3	49,556	297,337	Vyhovuje	Prvek vyhovuje na únosnost ve stříhu pro nýty							
Diagonála E1_tah	736,55	5	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	297,225	Nevyhovuje	2	1,25	10,9	0,5	290,833	232,666	1 163,332	Vyhovuje
Diagonála E2,E3_tah	667,03	4	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	237,780	Nevyhovuje	2	1,25	10,9	0,5	290,833	232,666	930,665	Vyhovuje
Diagonála E4_tah	420,08	4	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	237,780	Nevyhovuje	2	1,25	10,9	0,5	290,833	232,666	930,665	Vyhovuje
Diagonála E4_tlak	-98,07	4	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	237,780	Vyhovuje	Prvek vyhovuje na únosnost ve stříhu pro nýty							
Diagonála E5_tah	284,92	5	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	297,225	Vyhovuje	Prvek vyhovuje na únosnost ve stříhu pro nýty							
Diagonála E5_tlak	-187,84	5	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	297,225	Vyhovuje	Prvek vyhovuje na únosnost ve stříhu pro nýty							
Diagonála D1_tlak	-1 002,41	5	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	297,225	Nevyhovuje	4	1,25	10,9	0,5	290,833	465,333	2 326,664	Vyhovuje
Diagonála D2,D3_tlak	-686,42	5	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	297,225	Nevyhovuje	4	1,25	10,9	0,5	290,833	465,333	2 326,664	Vyhovuje
Diagonála D4,D5_tlak	-393,39	5	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	297,225	Nevyhovuje	4	1,25	10,9	0,5	290,833	465,333	2 326,664	Vyhovuje
Diagonála D4,D5_tah	214,32	5	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	297,225	Vyhovuje	Prvek vyhovuje na únosnost ve stříhu pro nýty							

Název prvku	t [m]	Únosnost v otláčení				Únosnost oslabeného průřezu v tahu		
		F _{b,Rd,vnitřní} [kN]	F _{b,Rd,krajní} [kN]	F _{b,Rd,cel} [kN]	Podmínka	Plocha A [m ²]	F _{b,Rd} [kN]	Podmínka
Svislice krajní_tlak	0,016	95,385	220,179	572,308	Vyhovuje	Prvek je tlačný.		
Svislice prostřední_tlak	0,016	95,385	220,179	572,308	Vyhovuje	Prvek je tlačný.		
Svislice prostřední_tah	0,016	95,385	220,179	572,308	Vyhovuje	0,004415	947,613	Vyhovuje
Diagonála E1_tah	0,015	67,500	60,469	302,347	Nevyhovuje	0,004061	871,639	Vyhovuje
Diagonála E2,E3_tah	0,015	98,365	28,692	114,767	Nevyhovuje	0,004061	871,639	Vyhovuje
Diagonála E4_tah	0,015	98,365	28,692	114,767	Nevyhovuje	0,004061	871,639	Vyhovuje
Diagonála E4_tlak	0,015	98,365	28,692	114,767	Vyhovuje	Prvek je tlačný.		
Diagonála E5_tah	0,016	97,259	104,128	486,296	Vyhovuje	0,004383	940,745	Vyhovuje
Diagonála E5_tlak	0,016	97,259	104,128	486,296	Vyhovuje	Prvek je tlačný.		
Diagonála D1_tlak	0,020	190,769	90,417	452,083	Nevyhovuje	Prvek je tlačný.		
Diagonála D2,D3_tlak	0,020	190,769	90,417	452,083	Nevyhovuje	Prvek je tlačný.		
Diagonála D4,D5_tlak	0,020	190,769	90,417	452,083	Vyhovuje	Prvek je tlačný.		
Diagonála D4,D5_tah	0,020	190,769	90,417	452,083	Vyhovuje	0,004383	940,745	Vyhovuje

Tabulka 5: Výsledky pro spoje

7. Použité podklady a normy

- [1] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. ČNI, 2004.
- [2] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí — Část 1-1: Obecná zatížení — Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. ČNI, 2004.
- [3] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí — Část 1-4: Obecná zatížení — Zatížení větrem. ČNI, 2007.
- [4] ČSN EN 1991-1-5 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí — Část 1-5: Obecná zatížení — Zatížení teplotou. ČNI, 2005.
- [5] ČSN EN 1991-2 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí — Část 2: Zatížení mostu dopravou. ČNI, 2005.
- [6] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí — Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. ČNI, 2006.
- [7] ČSN EN 1993-1-5 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí — Část 1-5: Boulení stěn. ČNI, 2008.
- [8] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí — Část 1-8: Navrhování styčnicků. ČNI, 2007.
- [9] ČSN EN 1993-1-9 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí — Část 1-9: Únava. ČNI, 2006.
- [10] ČSN EN 1993-2 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí — Část 2: Ocelové mosty. ČNI, 2008.
- [11] Metodický pokyn pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů. Druhé aktualizované vydání 09/2019. SŽDC, 2015.
- [12] Dokumentace mostní konstrukce. ČSD, Správa pražské dráhy, mostní obvod, 1959.
- [13] Protokol o podrobné prohlídce mostního objektu. SŽDC, 2019.

8. Zdroje a seznamy

8.1. Zdroje

Obrázek 1: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.9018048&y=50.5685172&z=19&base=ophoto>

Obrázek 2: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.9018075&y=50.5714874&z=14&l=0>

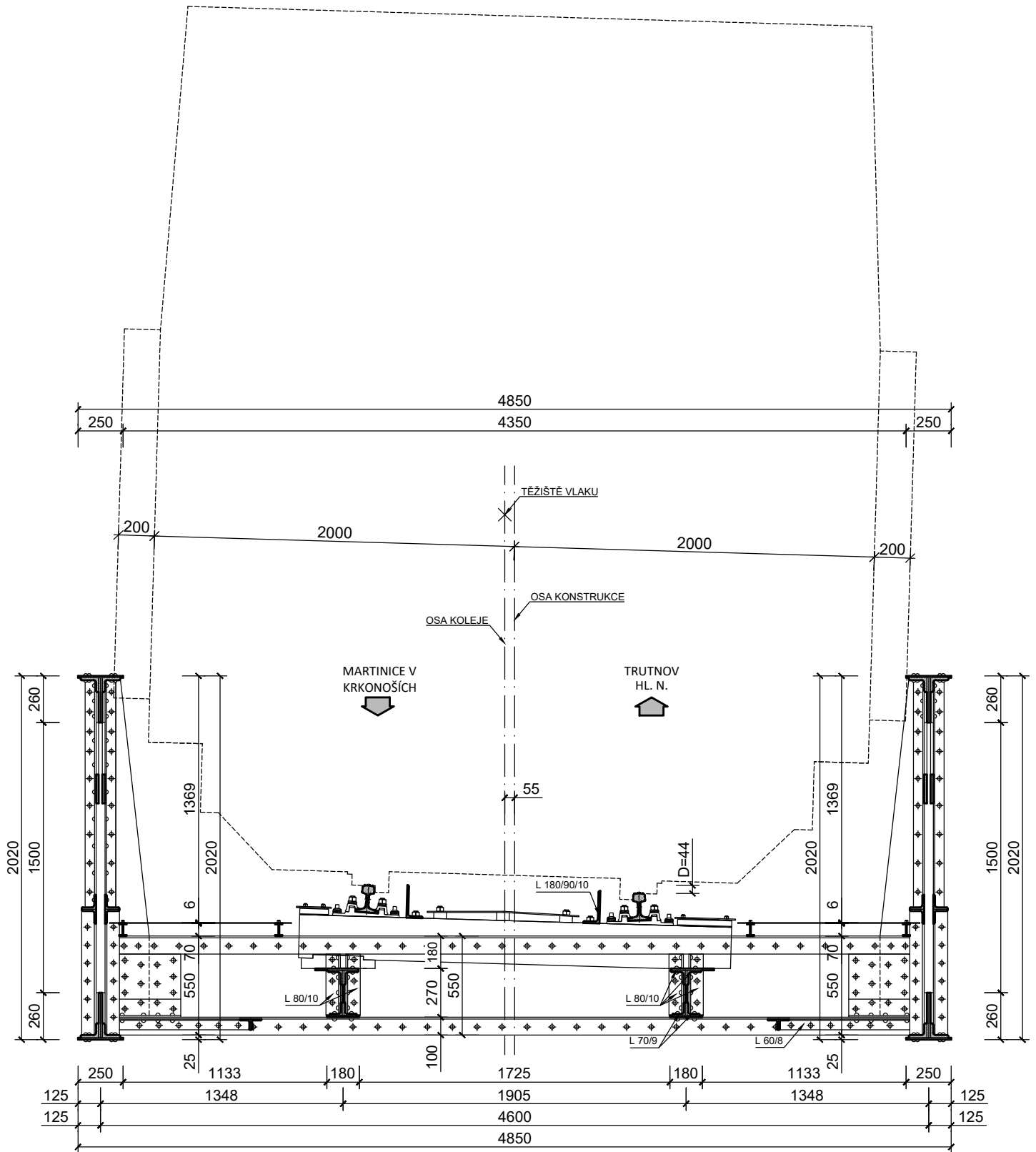
Tabulka 1: Metodický pokyn pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů. Druhé aktualizované vydání 09/2019. SŽDC, 2015, str. 48.

8.2. Seznam obrázků

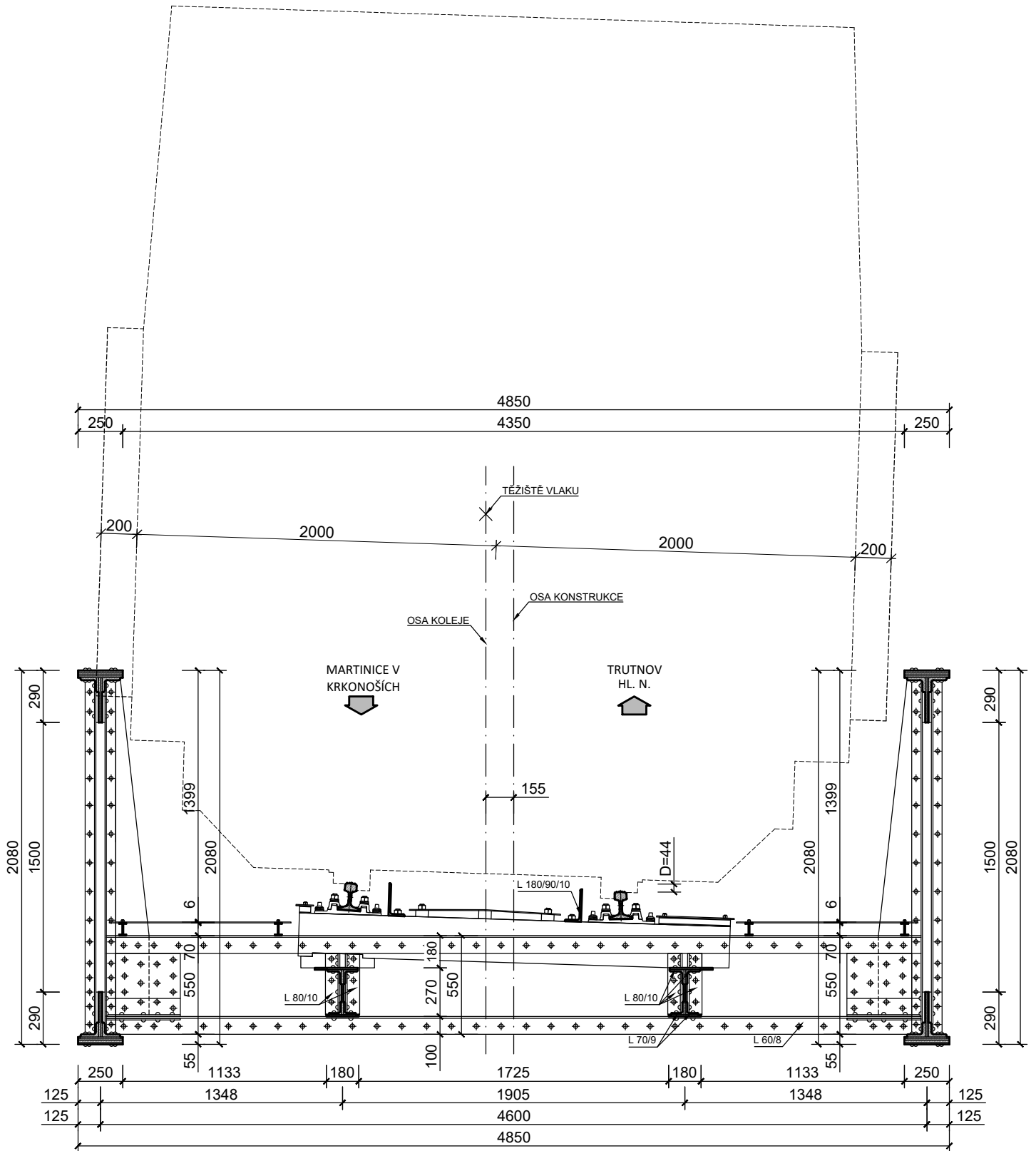
Obrázek 1: Umístění mostní konstrukce.....	2
Obrázek 2: Umístění mostní konstrukce - širší vztahy	2
Obrázek 3: Popis jednotlivých částí.....	3
Obrázek 4: Připojení svislíc k pásům	11
Obrázek 5: Celkový pohled na hlavní nosník	12
Obrázek 6: Napojení příčníků na dolní pás	12
Obrázek 7: Ukázka napojení mostovky a ztužení.....	13
Obrázek 8: Napojení svršku na mostovku	13

8.3. Seznam tabulek

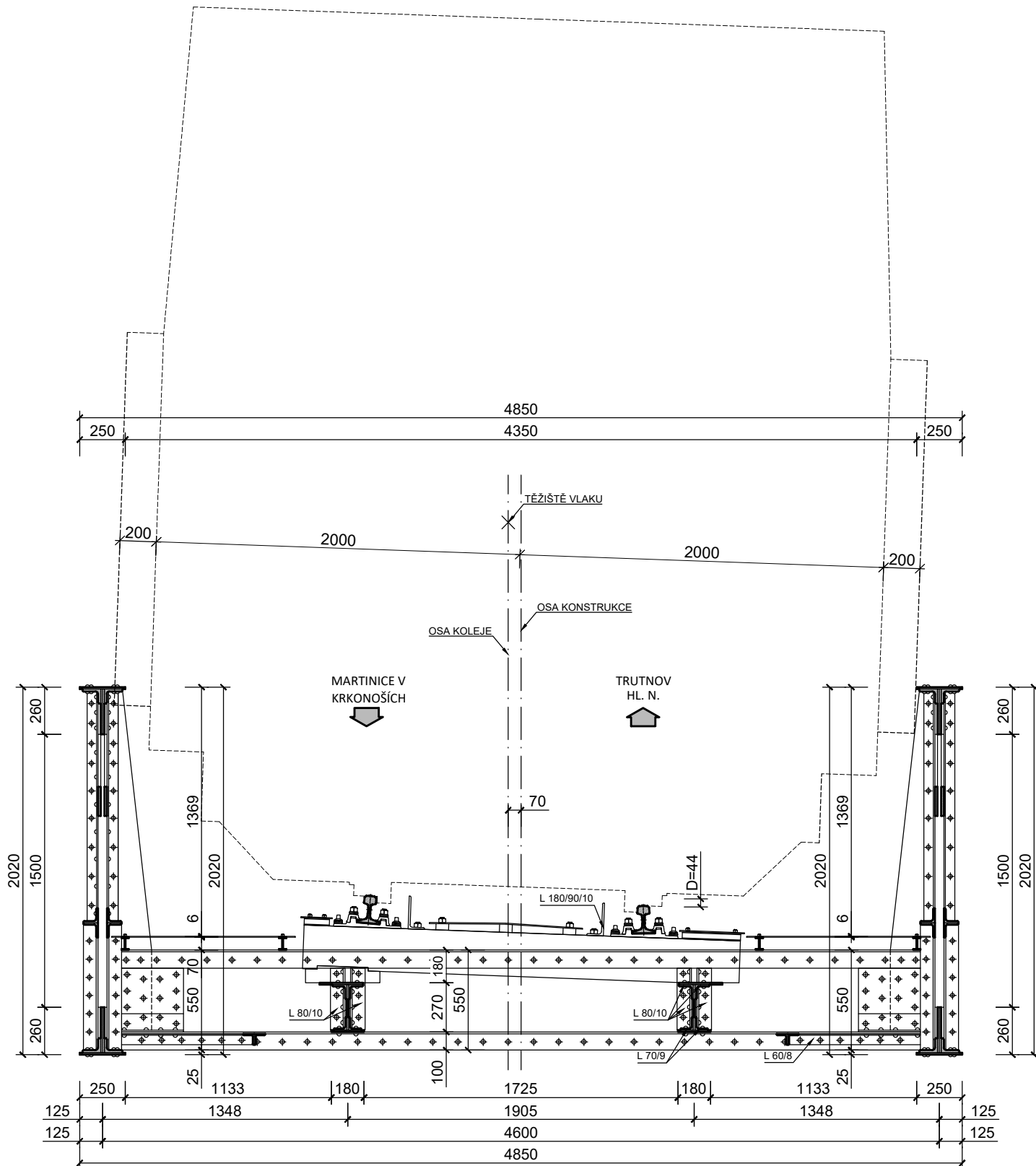
Tabulka 1: Vlastnosti oceli a dílčí součinitele materiálu	9
Tabulka 2: Výsledky pro ztužení	14
Tabulka 3: Výsledky pro hlavní nosník	15
Tabulka 4: Výsledky pro mostovku.....	16
Tabulka 5: Výsledky pro spoje	17



UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera katedra dopravního stavitelství		
Vypracoval: Lucie Zučková		Kontrola: doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Číslo výkresu: 01	Název práce: TÚ 1404 evd. km. 123,974 Statický přepočet příhradové konstrukce	Formát: A4 Měřítko: 1:30 Datum: 2021
	Název výkresu: Příčný řez_začátek konstrukce	



UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera katedra dopravního stavitelství		
Vypracoval: Lucie Zučková		Kontrola: doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Číslo výkresu: 02	Název práce: TÚ 1404 evd. km. 123,974 Statický přepočet příhradové konstrukce	Formát: A4 Měřítko: 1:30 Datum: 2021
Název výkresu: Příčný řez_prostředek konstrukce		



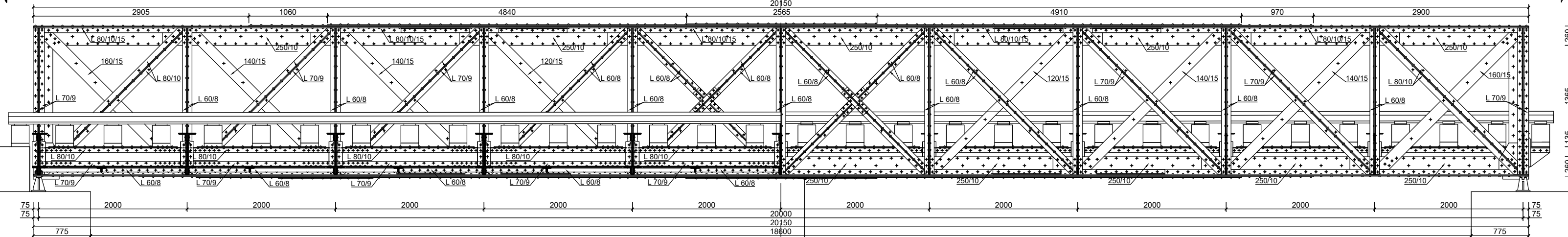
UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera katedra dopravního stavitelství		
Vypracoval: Lucie Zučková		Kontrola: doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Číslo výkresu: 03	Název práce: TÚ 1404 evd. km. 123,974 Statický přepočet příhradové konstrukce	Formát: A4 Měřítko: 1:30 Datum: 2021
Název výkresu: Příčný řez_konec konstrukce		

Navazující další
mostní konstrukce
v evd. km. 123,974

Navazující
konstrukce K02

← MARTINICE V KRKONOŠÍCH

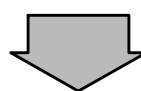
TRUTNOV →



Řeka
ÚPA
↓

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera katedra dopravního stavitelství		
Vypracoval: Lucie Zučková	Kontrola: doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.	
Číslo výkresu: 04	Název práce: TÚ 1404 evd. km. 123,974 Statický přepoččet příhradové konstrukce	Formát: 3xA4 Měřítko: 1:50 Datum: 2021
Název výkresu:	Podélný řez/pohled na konstrukci	

Řeka
ÚPA

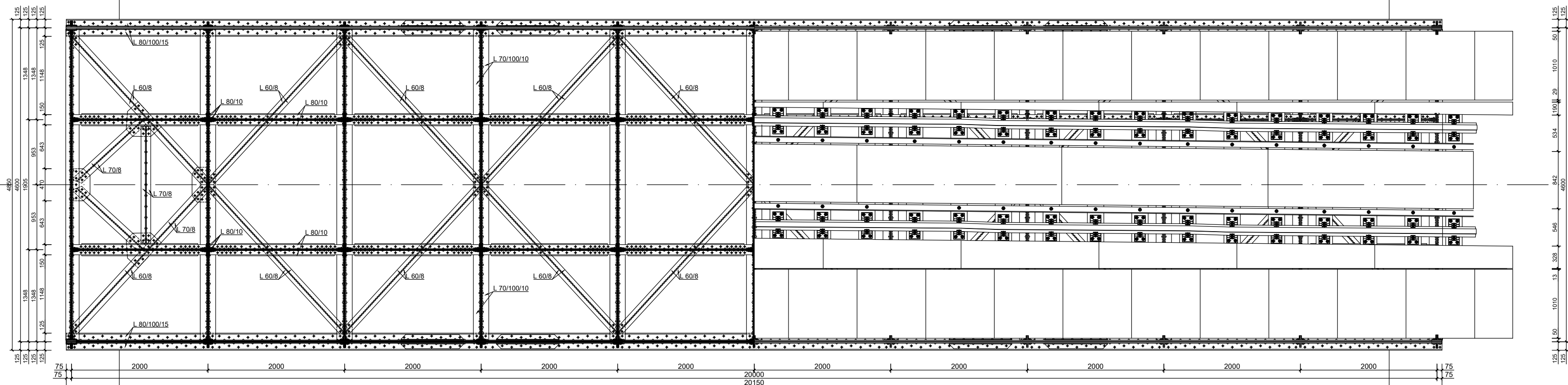


MARTINICE V KRKONOŠÍCH

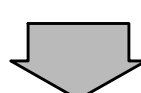
TRUTNOV

Navazující další
mostní konstrukce
v evd. km. 123,974

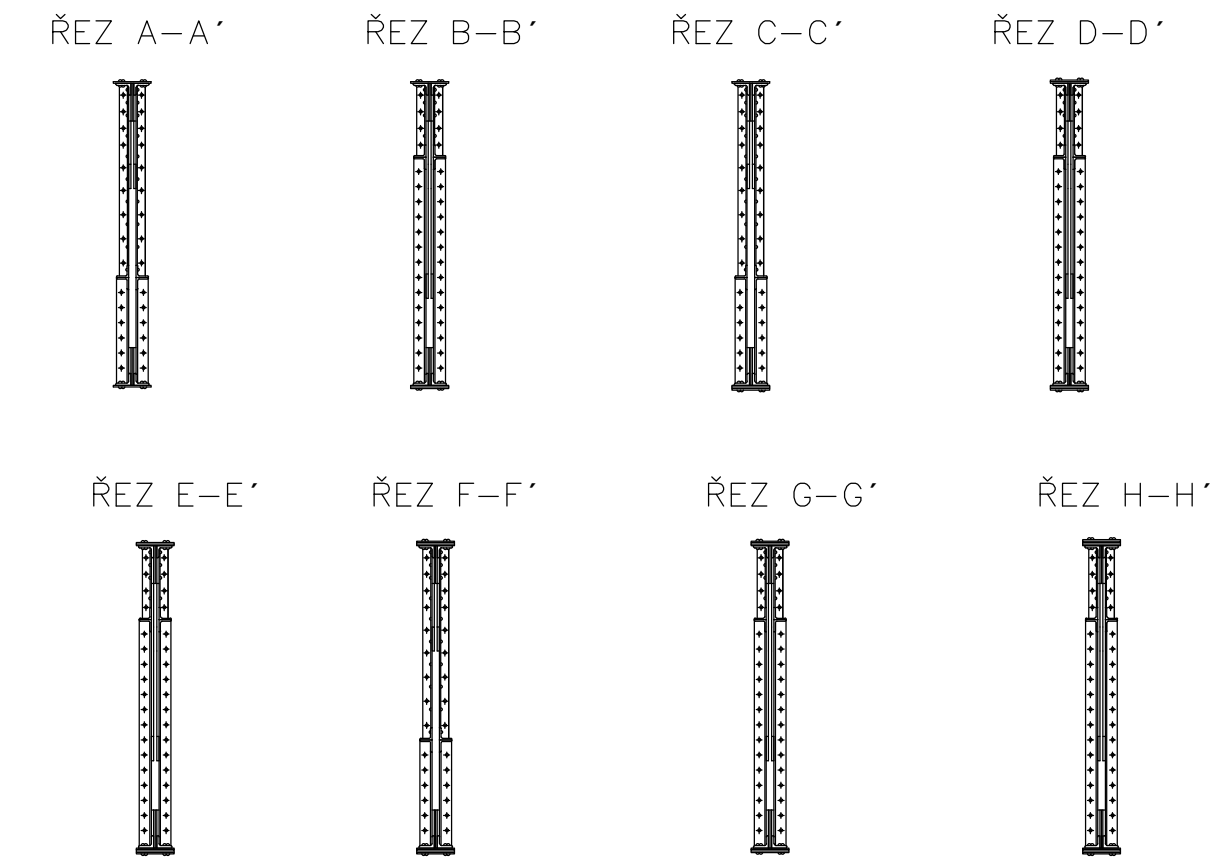
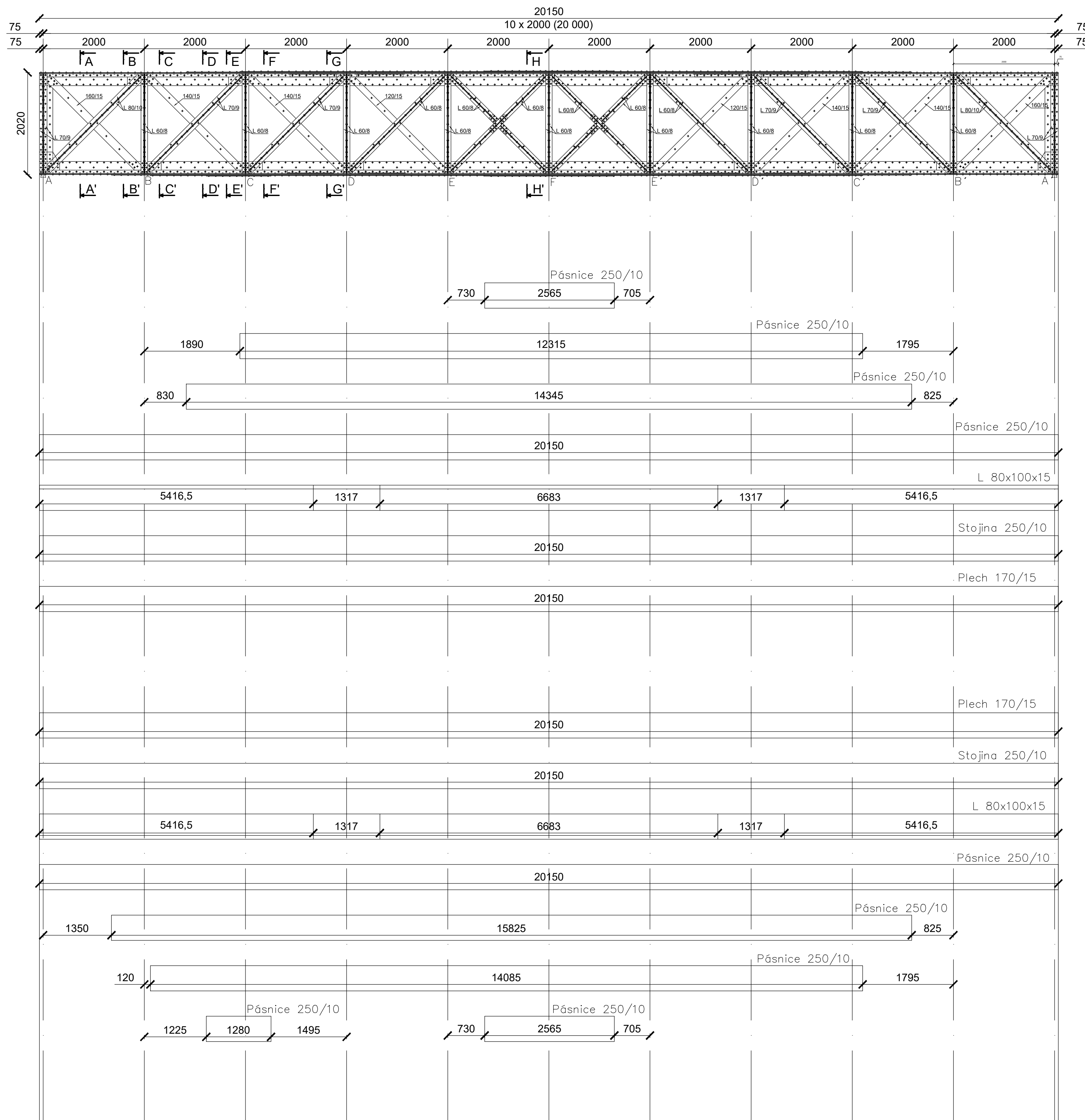
Navazující
konstrukce K02



Řeka
ÚPA

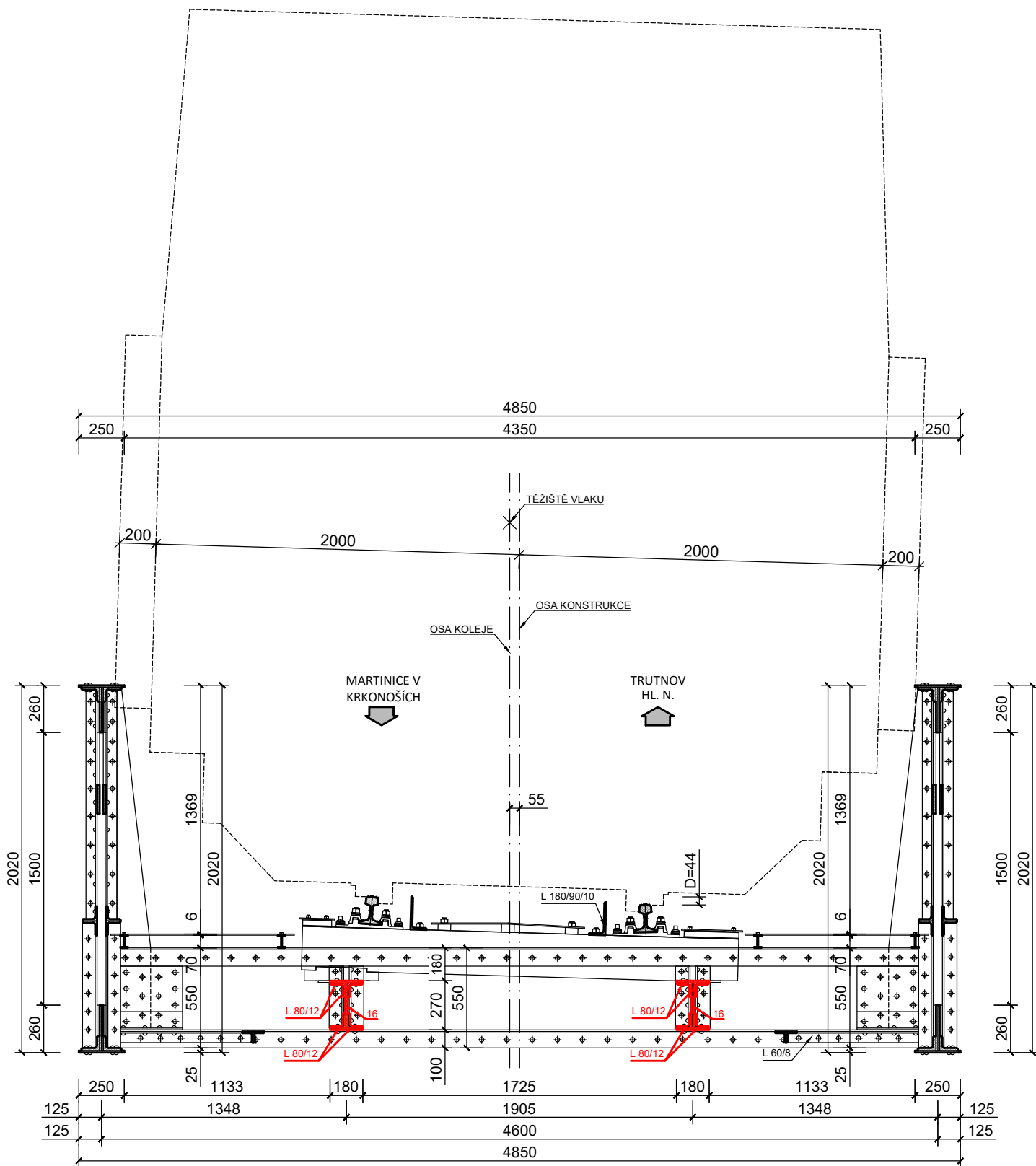


UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera katedra dopravního stavitelství		
Vypracoval: Lucie Zučková	Kontrola: doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.	
Číslo výkresu: 05	Název práce: TÚ 1404 evd. km. 123,974 Statický přepočet příhradové konstrukce	Formát: 3xA4 Měřítko: 1:50 Datum: 2021
Název výkresu: Půdorys/pohled na konstrukci		

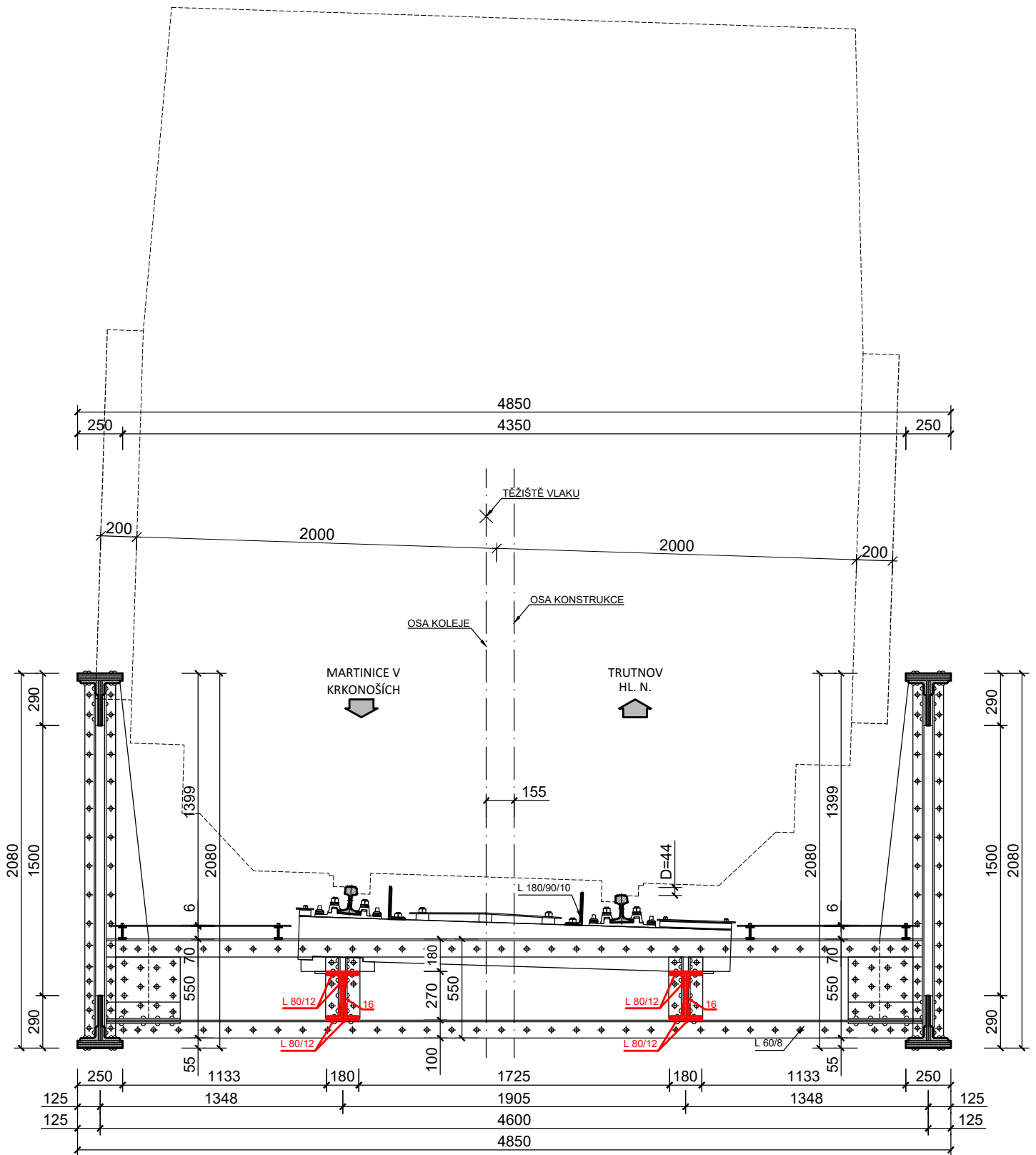


TABULKA MATERIÁLU HLAVNÍCH NOSNÍKŮ

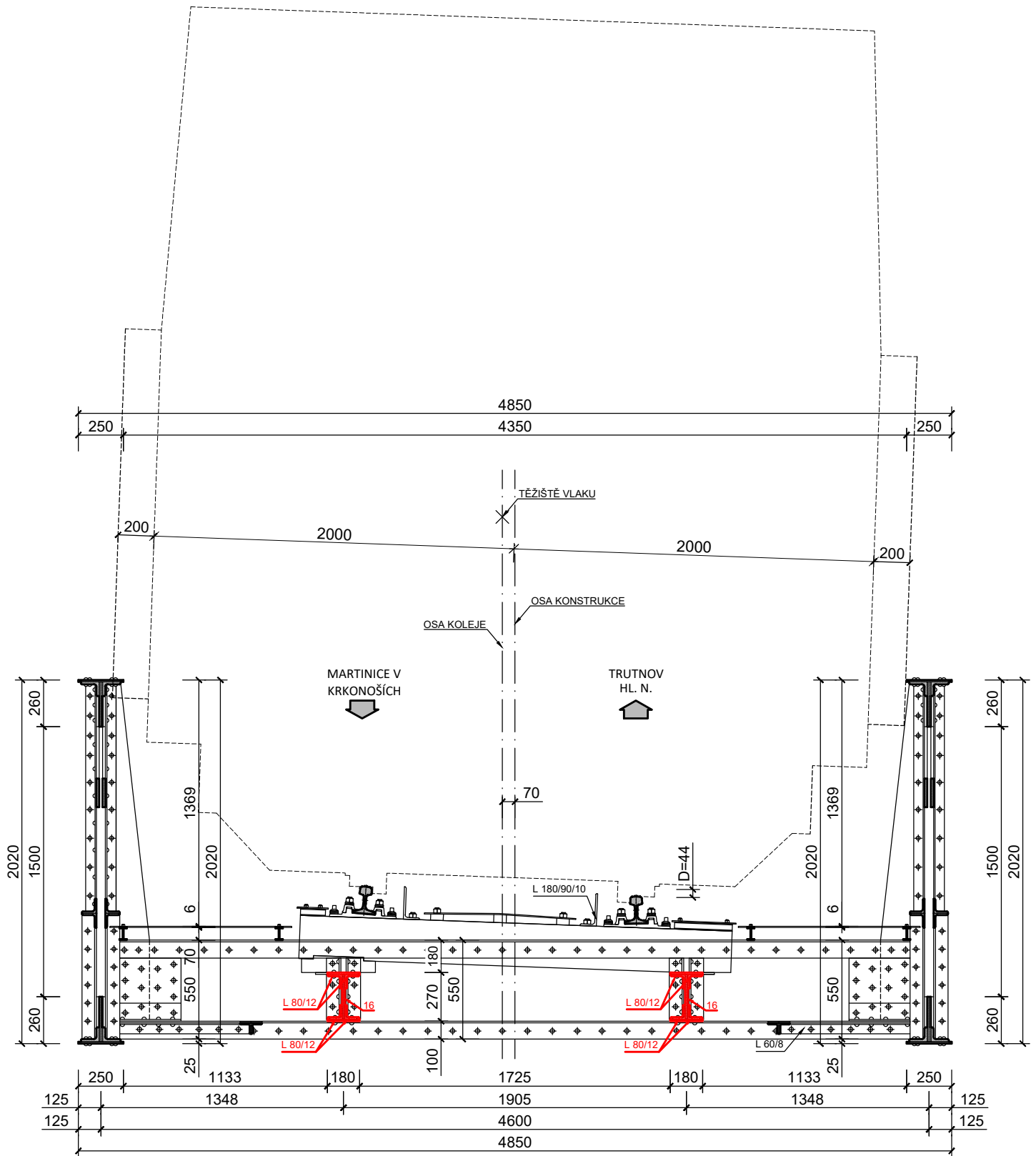
číslo položky	název položky	počet kusů	šířka [m]	délka [m]	materiál	hmotnost [kg]
01	Horní pásnice 1	2	0,25	2,565	svářková ocel	100,676
02	Horní pásnice 2	2	0,25	12,315	svářková ocel	483,364
03	Horní pásnice 3	2	0,25	14,345	svářková ocel	563,041
04	Horní pásnice 4	2	0,25	20,150	svářková ocel	790,888
05	Horní L 80x100x15	4		20,150	svářková ocel	1 579,264
06	Horní stojina	4	0,25	20,150	svářková ocel	1 581,775
07	Horní plech	4	0,17	20,150	svářková ocel	1 613,411
08	Dolní plech	4	0,17	20,150	svářková ocel	1 613,411
09	Dolní stojina	4	0,25	20,150	svářková ocel	1 581,775
10	Horní L 80x100x15	4		20,150	svářková ocel	1 579,264
11	Dolní pásnice 4	2	0,25	20,150	svářková ocel	790,888
12	Dolní pásnice 3	2	0,25	15,825	svářková ocel	621,131
13	Dolní pásnice 2	2	0,25	14,085	svářková ocel	552,836
14	Dolní pásnice 1a	2	0,25	1,280	svářková ocel	50,240
15	Dolní pásnice 1b	2	0,25	2,565	svářková ocel	100,676
16	Svislice krajní	4	0,15	1,970	svářková ocel	148,250
17	Svislice prostřední	18	0,13	1,970	svářková ocel	1 005,292
18	Diagonála E1	4	0,16	2,616	svářková ocel	394,284
19	Diagonála E2 a E3	8	0,14	2,616	svářková ocel	689,996
20	Diagonála E4	4	0,12	2,616	svářková ocel	295,713
21	Diagonála E5	4	0,12	2,645	svářková ocel	299,943
22	Diagonála D1	4	0,16	2,630	svářková ocel	499,036
23	Diagonála D2 a D3	8	0,14	2,630	svářková ocel	784,655
24	Diagonála D4 a D5	8	0,12	2,645	svářková ocel	599,887
25	Nýty d = 17	668			svářková ocel	59,512
26	Nýty d = 21	2 144			svářková ocel	291,469
27	Nýty d = 23	2 286			svářková ocel	372,788
CELKEM:						19 542,491



UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera katedra dopravního stavitelství		
Vypracoval: Lucie Zučková	Kontrola: doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.	
Číslo výkresu: 07	Název práce: TÚ 1404 evd. km. 123,974 Statický přepočet příhradové konstrukce	Formát: A4 Měřítko: 1:30 Datum: 2021
Název výkresu: Příčný řez zesílení_začátek konstrukce		



UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera katedra dopravního stavitelství		
Vypracoval: Lucie Zučková	Kontrola: doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.	
Číslo výkresu: 08	Název práce: TÚ 1404 evd. km. 123,974 Statický přepočet příhradové konstrukce	Formát: A4 Měřítko: 1:30 Datum: 2021
Název výkresu: Příčný řez zesílení_prostředek konstrukce		



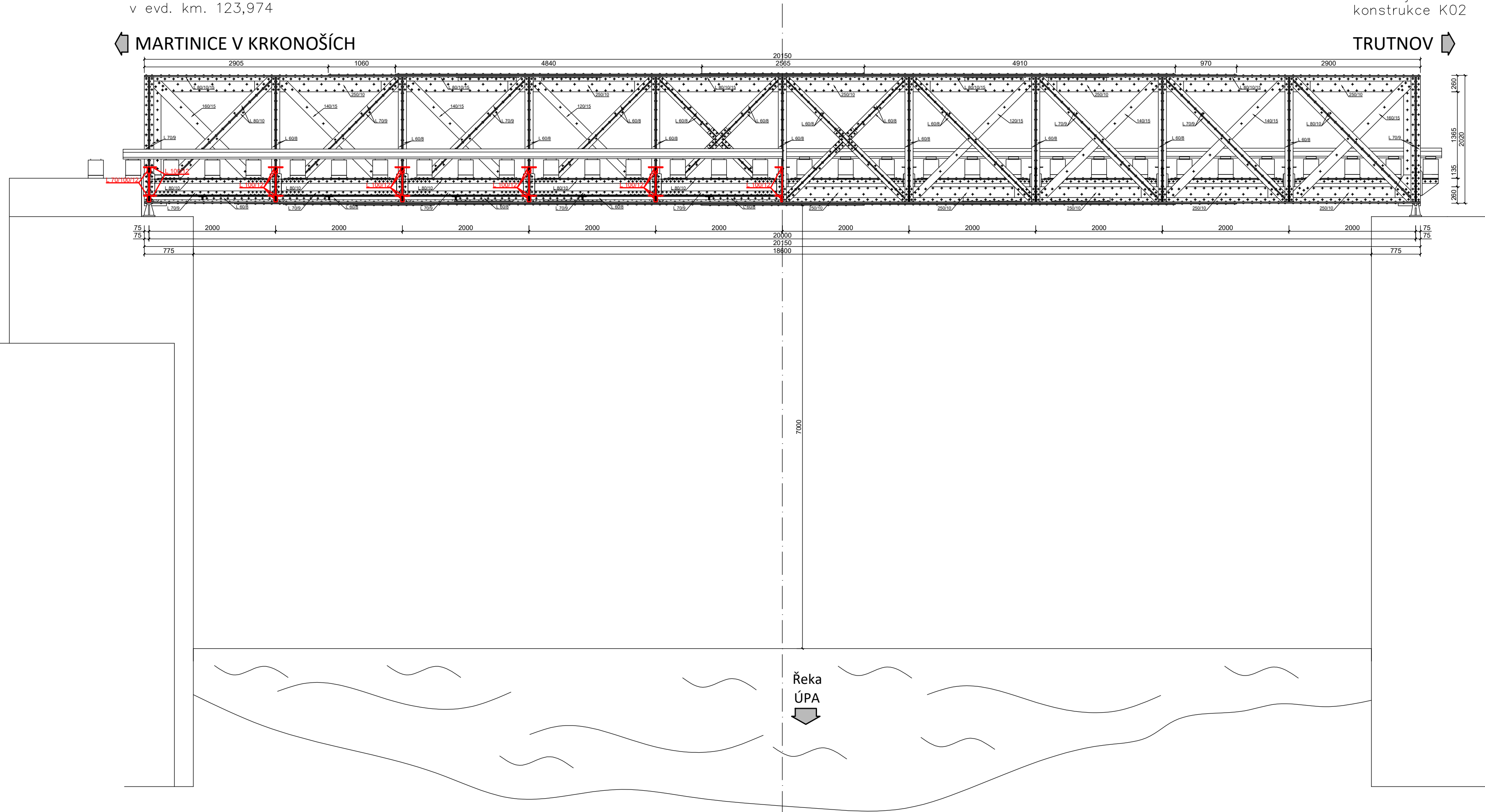
UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera katedra dopravního stavitelství		
Vypracoval: Lucie Zučková	Kontrola: doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.	
Číslo výkresu: 09	Název práce: TÚ 1404 evd. km. 123,974 Statický přepočet příhradové konstrukce	Formát: A4 Měřítko: 1:30 Datum: 2021
Název výkresu: Příčný řez zesílení_konec konstrukce		

Navazující další
mostní konstrukce
v evd. km. 123,974

Navazující
konstrukce K02

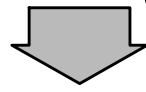
← MARTINICE V KRKONOŠÍCH

TRUTNOV →



UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera katedra dopravního stavitelství		
Vypracoval: Lucie Zučková	Kontrola: doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.	
Číslo výkresu: 10	Název práce: TÚ 1404 evd. km. 123,974 Statický přepočet příhradové konstrukce	Formát: 3xA4 Měřítko: 1:50 Datum: 2021
Název výkresu: Podélný řez/pohled na konstrukci		

Řeka
ÚPA

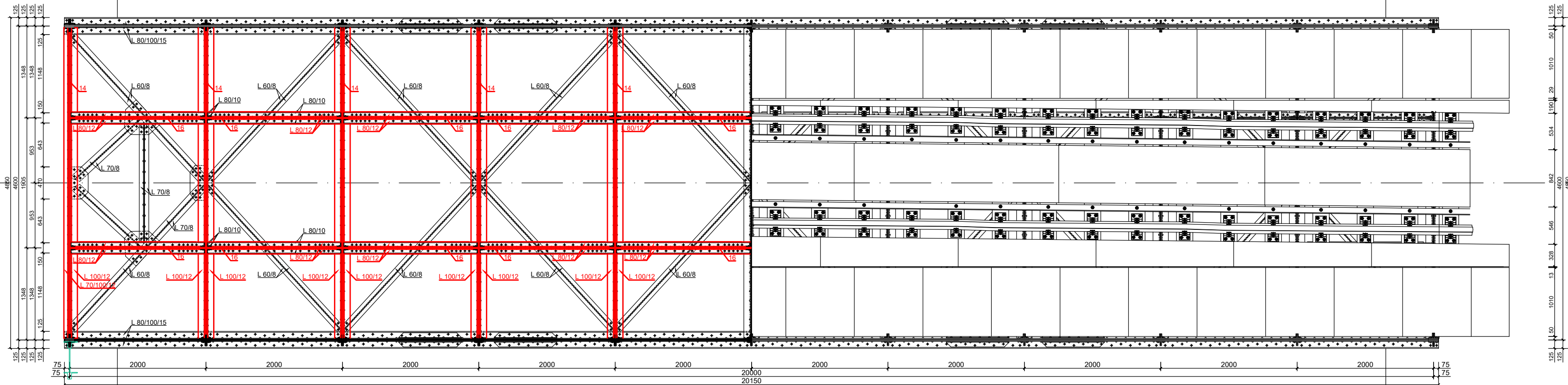


MARTINICE V KRKONOŠÍCH

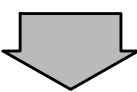
TRUTNOV

Navazující další
mostní konstrukce
v evd. km. 123,974

Navazující
konstrukce K02



Řeka
ÚPA



UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera katedra dopravního stavitelství		
Vypracoval: Lucie Zučková	Kontrola: doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.	
Číslo výkresu: 11	Název práce: TÚ 1404 evd. km. 123,974 Statický přepočet příhradové konstrukce	Formát: 3xA4 Měřítka: 1:50 Datum: 2021
Název výkresu:	Půdorys/pohled na konstrukci	

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra dopravního stavitelství

Statický výpočet

**Statický přepočítání příhradové ocelové mostní konstrukce v km 123,974 - TÚ
1404, Chlumec nad Cidlinou (mimo) - Trutnov střed — obvod Poříčí
(mimo)**

Bc. Lucie Zučková

Diplomová práce

2021

Obsah

1. Seznam použitých značek a symbolů	4
2. Schéma mostní konstrukce	7
3. Model mostu.....	8
4. Zatížení mostní konstrukce	13
4.1. Stálá zatížení	13
4.1.1. Vlastní tíha	13
4.1.2. Ostatní stálá zatížení.....	13
4.2. Proměnné zatížení	17
4.2.1. Zatížení větrem.....	17
4.2.2. Zatížení teplotou.....	26
4.2.3. Zatížení železniční dopravou	32
4.2.3.1. Vliv excentricity na zatížení od dopravy.....	32
4.2.3.2. Zatížení bočními rázy	34
4.2.3.3. Zatížení odstředivými silami	35
4.2.3.4. Zatížení rozjezdovou a brzdovou silou	37
4.2.3.5. Zatížení zatěžovacím modelem vlaku LM71	38
4.2.3.6. Zatížení modelem vlaku pro traťovou třídu zatížení.....	39
4.2.3.7. Způsob zatěžování konstrukce v modelu	40
4.2.4. Součinitel zatížení dopravy α	41
5. Kombinace	42
5.1. Součinitele vstupující do kombinací	42
5.1.1. Součinitel účinků stálého zatížení	42
5.1.2. Součinitel účinků zatížení větrem	42
5.1.3. Součinitel účinků zatížení teplotou	43
5.1.4. Součinitel účinků zatížení železniční dopravou	43
5.1.5. Kombinační součinitelé ψ_0 , ψ_1 a ψ_2	43
5.1.5.1. Kombinační součinitel pro zatížení větrem.....	44
5.1.5.2. Kombinační součinitel pro zatížení teplotou.....	44
5.1.5.3. Kombinační součinitel pro zatížení dopravou.....	44
5.2. Kombinace zatížení	44
5.2.1. Ukázka vypočítaných kombinací	46
6. Posouzení hlavního nosníku.....	47
6.1. Posouzení horního pásu.....	47
6.1.1. Posouzení změny průřezu I. - II.	48

6.1.2. Posouzení změny průřezu II. - III.....	56
6.1.3. Posouzení změny průřezu III. - IV.	62
6.1.4. Posouzení průřezu v místě maximálního působení N	69
6.2. Posouzení dolního pásu	76
6.2.1. Posouzení změny průřezu I. - II.	77
6.2.2. Posouzení změny průřezu II. - III.....	82
6.2.3. Posouzení změny průřezu III. - IV.	87
6.2.4. Posouzení průřezu v místě maximálního působení N	92
6.3. Posouzení svislic	97
6.3.1. Posouzení průřezu krajní svislice v místě maximálního tlaku	98
6.3.2. Posouzení průřezu prostřední svislice v místě maximálního tlaku	104
6.3.3. Posouzení průřezu prostřední svislice v místě maximálního tahu	110
6.4. Posouzení diagonál.....	115
6.4.1. Posouzení průřezu diagonály E1 v místě maximálního tahu	116
6.4.2. Posouzení průřezu diagonály E2 a E3 v místě maximálního tahu	121
6.4.3. Posouzení průřezu diagonály E4 v místě maximálního tahu	126
6.4.4. Posouzení průřezu diagonály E4 v místě maximálního tlaku	131
6.4.5. Posouzení průřezu diagonály E5 v místě maximálního tahu	137
6.4.6. Posouzení průřezu diagonály E5 v místě maximálního tlaku	142
6.4.7. Posouzení průřezu diagonály D1 v místě maximálního tlaku.....	148
6.4.8. Posouzení průřezu diagonály D2 a D3 v místě maximálního tlaku	154
6.4.9. Posouzení průřezu diagonály D4 a D5 v místě maximálního tlaku	160
6.4.10. Posouzení průřezu diagonály D4 a D5 v místě maximálního tahu	166
7. Posouzení mostovky.....	171
7.1. Posouzení příčníků	171
7.1.1. Posouzení průřezu krajního příčnicku v místě maximálního momentu M_y	172
7.1.1.1. Posouzení průřezu pro rychlost na mostě $v = 60$ km/h	185
7.1.1.2. Posouzení průřezu po zesílení průřezu	189
7.1.2. Posouzení průřezu krajního příčnicku v místě maximální smykové síly V_z	197
7.1.2.1. Posouzení průřezu pro rychlost na mostě $v = 60$ km/h	208
7.1.2.2. Posouzení průřezu po zesílení průřezu	212
7.1.3. Posouzení průřezu prostředního příčnicku v místě maximálního momentu M_y ...	220
7.1.3.1. Posouzení průřezu pro rychlost na mostě $v = 60$ km/h	231
7.1.3.2. Posouzení průřezu po zesílení průřezu	235
7.1.4. Posouzení průřezu prostředního příčnicku v místě maximální smykové síly V_z ..	243

7.1.4.1. Posouzení průřezu pro rychlost na mostě $v = 60$ km/h	254
7.1.4.2. Posouzení průřezu po zesílení průřezu	258
7.1.5. Posouzení oslabeného průřezu krajního příčnicku (oslabení stojiny).....	266
7.2. Posouzení podélníků	277
7.2.1. Posouzení průřezu podélníku v místě maximálního momentu M_y	278
7.2.2. Posouzení průřezu podélníku v místě maximální smykové síly V_z	289
7.2.2.1. Posouzení průřezu pro rychlost na mostě $v = 60$ km/h	295
7.2.2.2. Posouzení průřezu po zesílení průřezu	299
7.2.3. Posouzení průřezu podélníku v místě maximální normálové síly N	308
7.2.3.1. Posouzení průřezu pro rychlost na mostě $v = 60$ km/h	314
7.2.3.2. Posouzení průřezu po zesílení průřezu	318
8. Posouzení ztužení	327
8.1. Podélné ztužení	328
8.1.1. Posouzení průřezu ztužení v místě maximálního tahu	328
8.1.2. Posouzení průřezu ztužení v místě maximálního tlaku	330
8.2. Brzdné ztužení	333
8.2.1. Posouzení průřezu ztužení v místě maximálního tahu	333
8.2.2. Posouzení průřezu ztužení v místě maximálního tlaku	335
9. Posouzení spoje hlavního nosníku	338
9.1. Vzorový výpočet	338
9.1.1. Únosnost nýtu ve střihu	338
9.1.2. Únosnost třecího šroubu ve střihu	339
9.1.3. Únosnost spoje v otláčení	340
9.1.4. Únosnost oslabeného průřezu v tahu	341
9.2. Tabulka spojů	341
10. Závěr.....	343
11. Použité podklady a normy	347
12. Zdroje a seznamy	348
12.1. Seznam obrázků	348
12.2. Seznam tabulek	352

1. Seznam použitých značek a symbolů

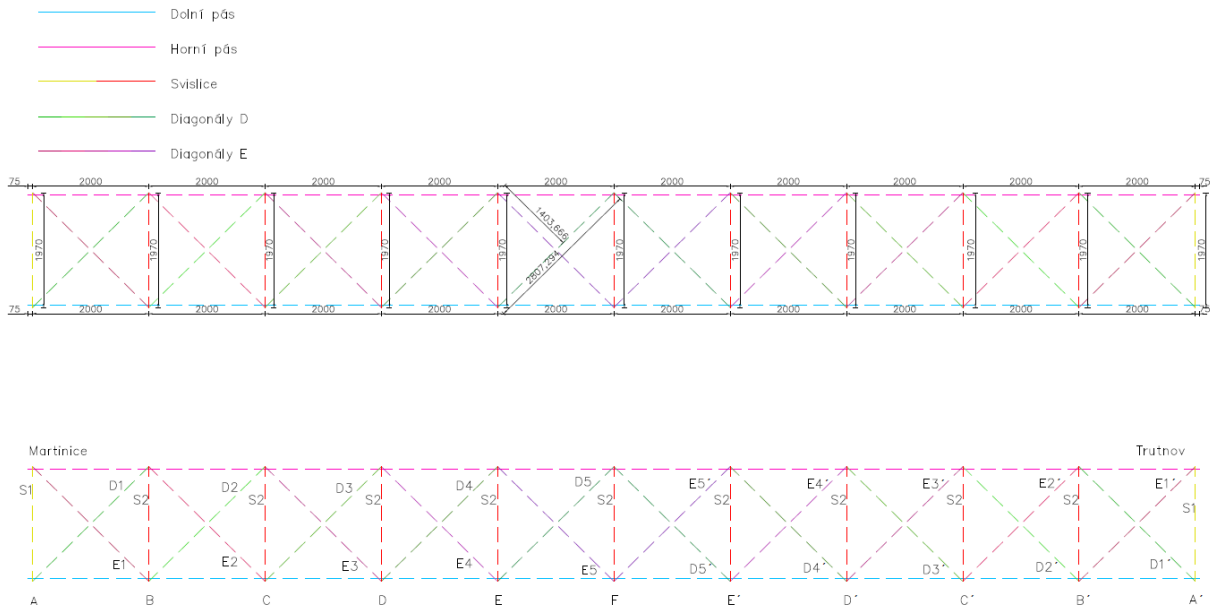
A	plocha průřezu
a	vzdálenost příčníků
A_{eff}	účinná plocha průřezu
$A_{eff,f}$	účinná plocha tlačené pásnice
$A_{eff,w,c}$	účinná plocha tlačené části stojiny
$A_{ref,x}$	referenční plocha
b	šířka pásnice
C	součinitel zatížení větrem
C_{dir}	součinitel směru větru
C_e	součinitel expozice
$C_{fx,0}$	součinitel čelního odporu
$C_o(z)$	součinitel orografie
$C_r(z)$	součinitel drsnosti terénu
C_{season}	součinitel ročního období
f_u	mez pevnosti tahu
F_w	síla větru
f_y	mez pevnosti kluzu
g	gravitační zrychlení
H	výška profilu
h_w	výška stojiny
$I_{eff,f}$	účinný moment setrvačnosti tlačené pásnice k ose nejmenší tuhosti průřezu
$i_{f,z}$	poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice, složené z tlačené pásnice a 1/3 tlačené části plochy stojiny, k ose nejmenší tuhosti průřezu
I_y	moment setrvačnosti k ose y
i_y	poloměr setrvačnosti k ose y
I_z	moment setrvačnosti k ose z

i_z	poloměr setrvačnosti k ose z
k_c	opravný součinitel štíhlosti pro rozdělení momentů mezi příčnými podporami
k_σ	součinitel kritického napětí
k_τ	součinitel kritického napětí ve smyku
k_{Tsl}	součinitel podélné výztuhy
l	délka plechu
L	délky nosné konstrukce
L_c	vzdálenost příčného ztužení
m	hmotnost plechu
$M_{f,Rd}$	návrhový plastický moment únosnosti průřezu složeného z účinných ploch pásnic
$M_{pl,Rd}$	návrhová plastická únosnost průřezu složeného z účinné plochy pásnic a plně účinné stojiny bez ohledu na její třídu
n	počet míst uchopení plechu
Q_{lak}	zatížení rozjezdovou silou
Q_{lbk}	zatížení brzdovou silou
t_{fd}	tloušťka pásnice dolní
t_{fh}	tloušťka pásnice horní
t_w	tloušťka stojiny
V	objem plechu
v_b	základní rychlost větru
$v_{b,0}$	výchozí základní rychlost větru
$V_{b,Rd}$	návrhová únosnost ve smyku
V_{Ed}	návrhová smyková síla včetně smyku od kroucení
$V_{LM71,Ed}$	návrhová hodnota smykové síly od svislého proměnného zatížení železniční dopravou reprezentovaného modelem 71 včetně dynamických účinků
$v_m(z)$	střední rychlost větru

$v_m(z)$	střední rychlost větru
$V_{rs,Ed}$	návrhová, kombinační nebo skupinová hodnota smykové síly od ostatních zatížení, které působí současně se svislým proměnným zatížením železniční dopravou
W_{eff}	účinný průřezový modul
$W_{el,y}$	elastický průřezový modul k ose y
$W_{el,z}$	elastický průřezový modul k ose z
$W_{pl,y}$	plastický průřezový modul k ose y
$W_{pl,z}$	plastický průřezový modul k ose z
z	výška mezi mostní konstrukcí a terénem
Z_{LM71}	zatížitelnost
z_o	parametr drsnosti terénu
$z_{o,II}$	kategorie terénu II
$\overline{\lambda}_{c0}$	největší štíhlost ekvivalentní tlačené pásnice
$\overline{\lambda}_w$	upravená štíhlost
$\bar{\lambda}$	poměrná štíhlost
ε	poměrné přetvoření
η	převodní součinitel
ρ	měrná hmotnost vzduchu
ρ	součinitel boulení
ρ_p	objemová hmotnost plechu
φ_3	dynamický součinitel
χ_w	součinitel příspěvku stojiny
ψ	poměr napětí nebo poměrných přetvoření

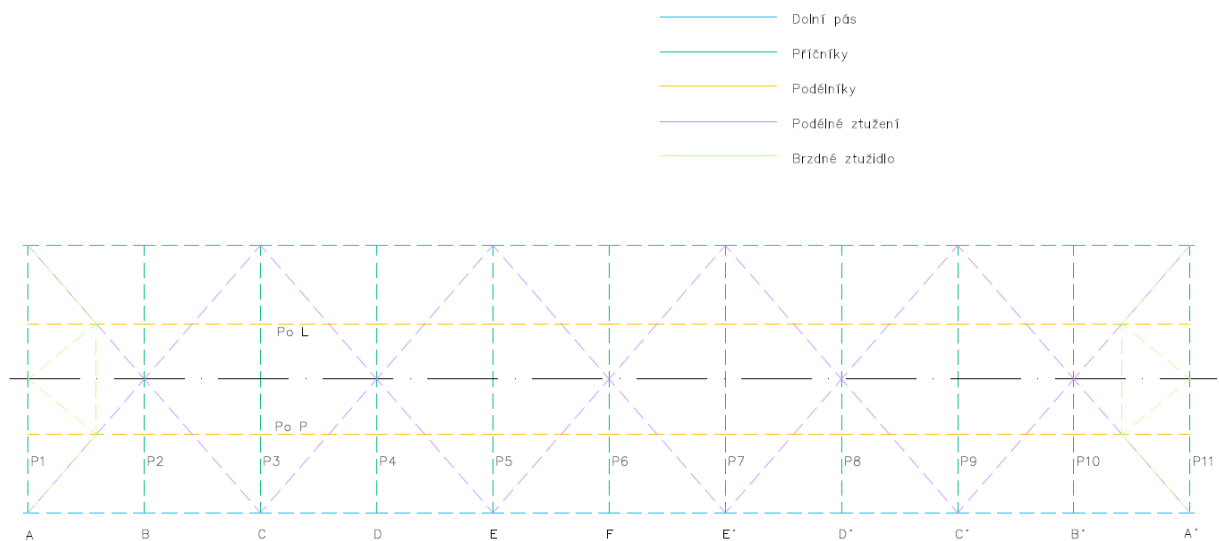
2. Schéma mostní konstrukce

Hlavní nosník je tvořen horním pásem, dolním pásem, svislicemi a diagonálami. V horním i dolním páse dochází k postupnému zesilování pásnic, jsou tedy tvořeny zvlášť čtyřmi průřezmi. Dále jsou zde rozdílné svislice krajní a prostřední a nakonec diagonály, které jsou téměř v každém poli různé. Nosníky jsou osově symetrické a levý i pravý nosník je totožný.



Obrázek 1: Schéma hlavního nosníku_pohled

Půdorys mostu je složen z dolních pásů, na které navazují příčnice. Na příčnice pak podélníky a konstrukce obsahuje i podélné ztužení hlavních nosníků při spodních pásnicích.

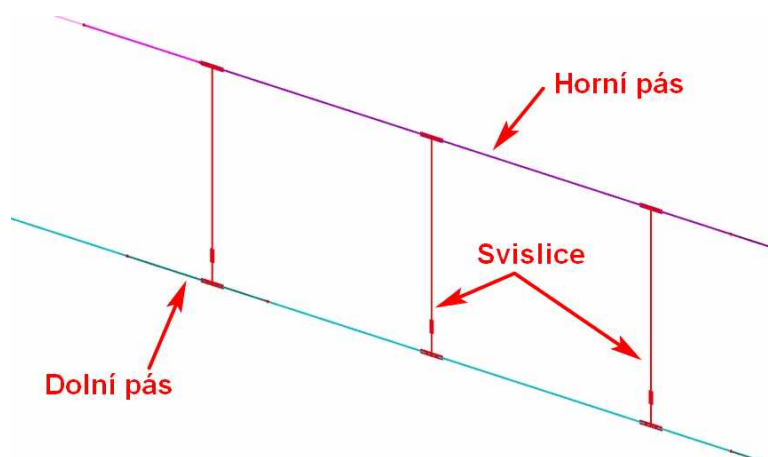


Obrázek 2: Schéma hlavního nosníku_půdorys

3. Model mostu

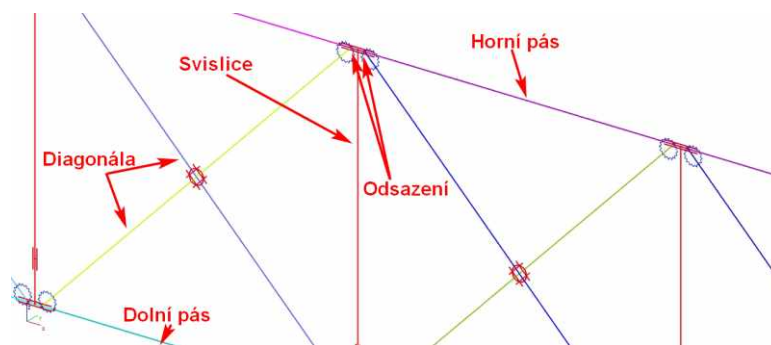
Konstrukce mostu je vymodelována v programu Scia Engineer 19.1, přičemž výkresy a potřebné průřezy byly vyhotoveny v programu AutoCAD Map 3D 2020. Jelikož je konstrukce symetrická, je provedeno posouzení pouze na jeden z hlavních nosníků, který je vlivem převýšení, excentricity koleje a odstředivých sil více zatížen. V tomto případě se jedná o levý hlavní nosník. Dále je kladen důraz i na posouzení mostovky a podélného ztužení, u kterého jsou vybrány pouze vždy takové prvky, ve kterých působí větší vnitřní síly, u ostatních prvků pak můžeme předpokládat, že taktéž vyhoví.

Model začíná vytvořením hlavních nosníků pomocí prutových prvků. Nejprve se vymodelovaly dolní a horní pásy. U obou pásů je potřeba dbát na zesílení pásnice. Toto zesílení je v programu SCIA modelováno pomocí excentrického propojení prvků, vždy o příslušnou excentricitu zesílení. Dále byly vymodelovány svislice pomocí prutových prvků mezi osy horního a dolního pásu.



Obrázek 3: Připojení svislic k pásům

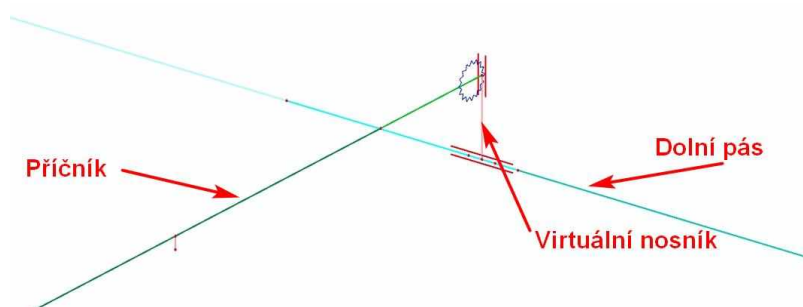
Dále byly pomocí prutových prvků přidělaný i diagonály. Diagonály byly připevněny k horním i dolním pásům s určitým odsazením od svislic, které přibližuje reálné připojení diagonál.



Obrázek 4: Celkový pohled na hlavní nosník

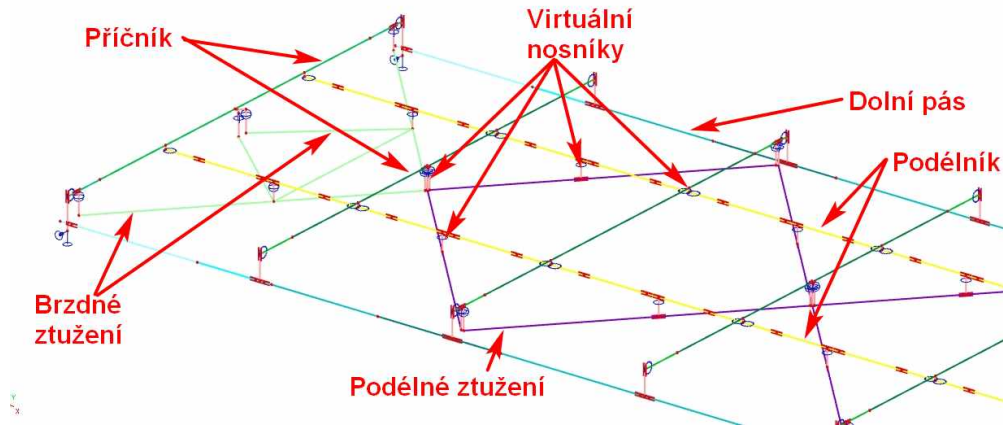
Tímto je vytvořen celý model hlavních nosníků. K hlavním nosníkům byly připevněny ložiska pomocí virtuálních nosníků, které reprezentují excentrické připojení ložisek vůči ose spodního pásu. Virtuální nosníky jsou tvořeny čtvercovými dutými průřezy o rozměrech 400x400x20, jelikož má tento průřez dobrou torzní tuhost v obou na sebe kolmých směrech. Virtuální nosníky mají nulovou hmotnost, jelikož reprezentují pouze spoj, ale vlastnosti materiálu byly ponechány. Na začátku mostu bylo vytvořeno pohyblivé ložisko a na konci mostu pevné ložisko, dle reálného uložení.

Dále bylo potřeba vymodelovat prvkovou mostovkou mezi hlavními nosníky. Model začíná připojením příčníků pomocí virtuálních nosníků k dolním pásům hlavního nosníku v místech připojení svislice. Virtuální nosníky opět reprezentují excentricitu připojení, simulují pouze spoj.



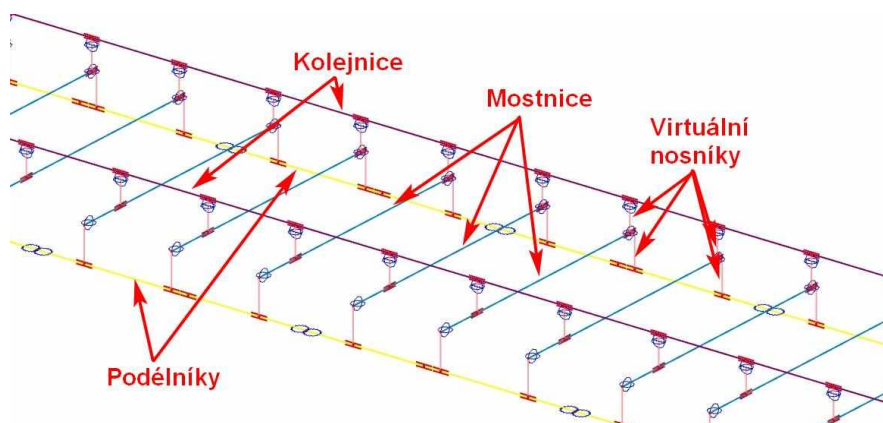
Obrázek 5: Napojení příčníků na dolní pás

Dále se připojily podélníky, brzdné a podélné ztužení k příčnicům opět pomocí virtuálních nosníků, které reprezentují opět pouze spoj (excentrické připojení prvků).



Obrázek 6: Ukázka napojení mostovky a ztužení

Nakonec stejným způsobem byl přidělán i mostní svršek. Mostnice byly přidělané pomocí virtuálních nosníků k podélníkům a kolejnice byly zase přidělané pomocí virtuálních nosníků k mostnicím. Virtuální nosníky zde byly opět použity pouze jako spoj (excentrické připojení prvků). Dále byly vytvořeny ložiska na koncích kolejnic, představující upevnění kolejnic před a za mostem v podkladnicích následujících pozednic. Ložiskům kolejnic byly přiděleny pružnosti ve směru x s tuhostí 5,0 MN/m, y s tuhostí 1,75 MN/m a ve směru z s tuhostí 1,0 MN/m. Ložiskům je povoleno pootočení kolem všech os. Hodnota pružnosti byla stanovena iterativním postupem, kdy předpokládáme spolupůsobení šterkového lože ještě cca 3 m za i před mostem. S ohledem na tuto skutečnost hledáme hodnotu reakce ve směru Rx maximálně 45 kN, podle podmínek pro šterkové lože.



Obrázek 7: Napojení svršku na mostovku

Nakonec je potřeba ještě dodělat kloubové, tuhé, popřípadě pružné propojení prvků.

Virtuálním nosníkům pod kolejnicemi je povoleno otáčení kolem os y a z a je povoleno pružného posunu ve směru x (tuhost 1,75 MN/m). Tento pružný posun byl zjištěn iterativním

postupem, kdy předpokládáme teoretickou posuvnou sílu v žebrovém pevném upevnění 15 kN. Toto upevnění simuluje chování podkladnice.

U mostnic je povoleno otáčení kolem osy y a z, což simuluje upevnění mostnic pomocí mostnicových šroubů, které povolují natočení (jelikož se jedná o jeden šroub na každé straně).

Příčníky jsou připojeny k virtuálním nosníkům pomocí pružných kloubů, kterým je povoleno pružné pootočení kolem osy y s tuhostí 60,0572 MNm/rad, která byla stanovena podle Metodického pokynu pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů podle kapitoly A.2.1.4.

$$S_y = 4 * 10^{-8} * I_y + 31,012 \quad \text{MP A.2.1.4_vztah A.2}$$

$$S_y = 4 * 10^{-8} * 726\,130\,000 + 31,012 = \underline{\underline{60,057 \text{ MNm/rad}}}$$

Další pružné pootočení je dovoleno diagonálám kolem osy y s různou tuhostí, vzhledem k rozmanitosti průřezů jednotlivých diagonál v přípoji s dolním a horním pásem, kde pružnost byla opět zjištěna z Metodického pokynu pomocí kapitoly A.2.1.4.

$$S_{y,E1} = 2 * 10^{-7} * I_y + 2,7436 \quad \text{MP A.2.1.4_vztah A.1}$$

$$S_{y,E1} = 2 * 10^{-7} * 10\,240\,000 + 2,7436 = \underline{\underline{4,7916 \text{ MNm/rad}}}$$

$$S_{y,E2} = 2 * 10^{-7} * 6\,860\,000 + 2,7436 = \underline{\underline{4,1156 \text{ MNm/rad}}}$$

$$S_{y,E3} = 2 * 10^{-7} * 6\,860\,000 + 2,7436 = \underline{\underline{4,1156 \text{ MNm/rad}}}$$

$$S_{y,E4} = 2 * 10^{-7} * 4\,320\,000 + 2,7436 = \underline{\underline{4,1156 \text{ MNm/rad}}}$$

$$S_{y,E5} = 2 * 10^{-7} * 7\,746\,900 + 2,7436 = \underline{\underline{4,29298 \text{ MNm/rad}}}$$

$$S_{y,D1} = 2 * 10^{-7} * 17\,631\,000 + 2,7436 = \underline{\underline{6,2698 \text{ MNm/rad}}}$$

$$S_{y,D2} = 2 * 10^{-7} * 11\,964\,000 + 2,7436 = \underline{\underline{5,1322 \text{ MNm/rad}}}$$

$$S_{y,D3} = 2 * 10^{-7} * 11\,964\,000 + 2,7436 = \underline{\underline{5,1322 \text{ MNm/rad}}}$$

$$S_{y,D4} = 2 * 10^{-7} * 7\,746\,900 + 2,7436 = \underline{\underline{4,29298 \text{ MNm/rad}}}$$

$$S_{y,D5} = 2 * 10^{-7} * 7\,746\,900 + 2,7436 = \underline{\underline{4,29298 \text{ MNm/rad}}}$$

Tuhost spojení podélníků s příčnickem bylo zjištěno vymodelováním tohoto spoje v programu SCIA Engineer. Zde je povoleno pružné natočení kolem osy y s tuhostí 7,911 MNm/rad. Nejprve byl vymodelován příčník pomocí deskových prvků. K příčníku byl vymodelován podélník, který se ovšem osově nesměl spojit se stojinou (ani jinou částí) příčníku, modelován byl tedy mírně odsazený. K podélníku se vymodeloval i profil L, který uchycuje stojinu podélníku ke stojině příčníku a v přesně zadaných souřadnicích byl pomocí kruhového průřezu (kde průměr byl zvolen jako průměr přípojného nýtu) takto vymodelovaný podélník přichycen ke stojině příčníku. Dále byl na konci podélník zatížen jednotkovým momentem a po výpočtu se zkoumal posun deformace v směru y (vodorovný posun) a ve směru z (svislý posun). Z těchto hodnot posunu se podle pravoúhlého trojúhelníku dopočítal úhel pootočení, o který se podélník pootočí oproti stojině příčníku (opět v obou směrech) a podle základního vztahu pro výpočet tuhosti prutu, se dopočítala i tuhost.

$$S = \frac{M}{\varphi} = \frac{1}{0,000\ 126} = 7,911 \text{ MNm/rad}$$

Tuhost ve směru y byla stanovena na hodnotu 7,911 MNm/rad.

Posledním kloubovým připojením je přípoj podélního ztužení s podélníky a příčníky. Zde je spoj proveden kloubem s povoleným pootočením kolem osy z. Toto spojení simuluje pootočení kolem nýtů, kterým je ztužení připevněno k podélníkům a příčníkům, přičemž počet je pouze 1–2 nýty na spoj, proto simulujeme spoj kloubově.

Takto připravený model se může začít zatěžovat veškerým zatížením. Závěrem pak je výstup v podobě vnitřních sil působících od zatížení na jednotlivé prvky.

Pro celý model platí následující vlastnosti materiálu.

Vlastnosti materiálu

Mez pevnosti v kluzu f_y : 210 000 000 Pa

Mez pevnosti v tahu f_u : 360 000 000 Pa

Součinitel materiálu γ_{m0} : 1,10 [-]

Součinitel materiálu γ_{m1} : 1,20 [-]

Součinitel materiálu γ_{m2} : 1,30 [-]

Hodnota ε : $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{210}} = 1,06 [-]$

4. Zatížení mostní konstrukce

4.1. Stálá zatížení

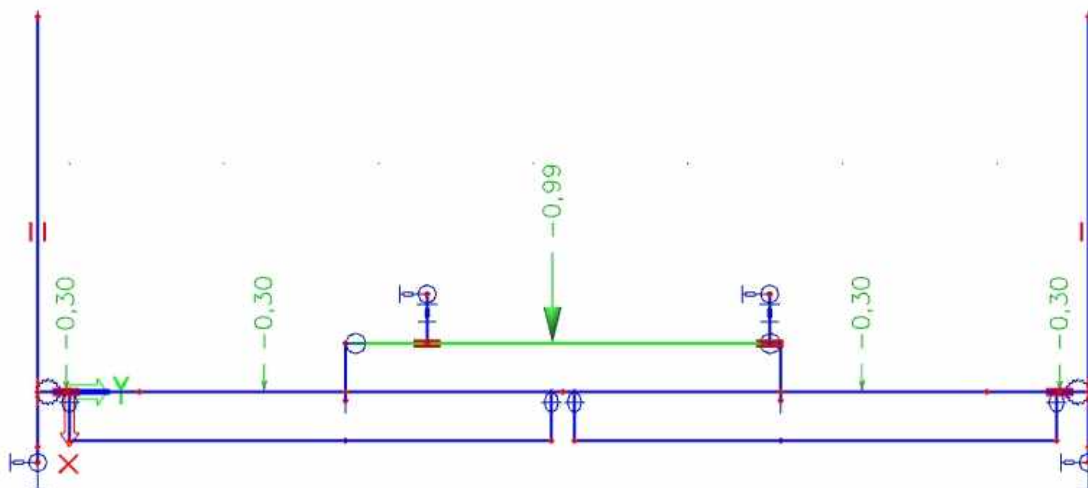
4.1.1. Vlastní tíha

Vlastní tíha byla automaticky vygenerována programem Scia Engineer 19.1, přičemž došlo k navýšení o 20 % kvůli spojovacím prvkům, stykovým deskám a ostatním prvkům, které se v programu přímo nemodelovali. Mostnice i kolejnice byly modelovány, tudíž jsou započítány též do vlastní tíhy.

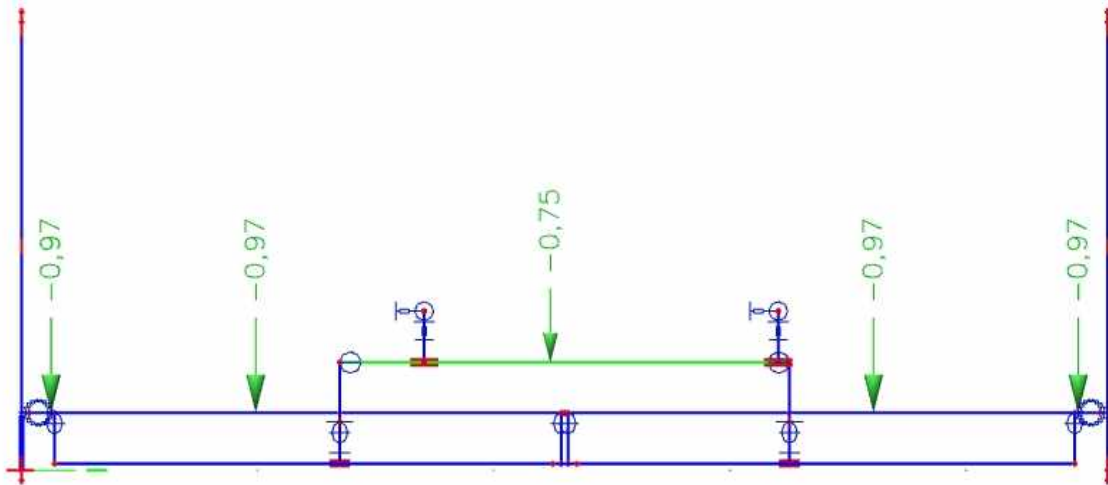
Vlastní tíha konstrukce je 342,38 kN.

4.1.2. Ostatní stálá zatížení

Mezi ostatní stálá zatížení patří především chodníkové nosníky, prvky zábradlí, plechy podlah, vrtule, podkladnice a pojistné úhelníky. V modelu je toto zatížení reprezentováno bodovými silami působícími na mostnice a na příčníky. Mostnice přebírají zatížení od podlah mezi kolejnicemi a podlah na hlavách mostnic, dále zatížení od vrtulí, podkladnic a pojistných úhelníků. Příčníky zase přebírají zatížení od chodníkových nosníků a pochozích plechů. Zábradlí se na konstrukci nenachází, proto nebylo počítáno.



Obrázek 8: Ostatní stálé zatížení_krajní pole



Obrázek 9: Ostatní stálé zatížení _prostřední pole

Jak je z obrázků patrné chodníkové konzoly jsou modelovány na příčnick jako bodové síly na levé i pravé straně. Na krajních příčnicích dosahují hodnoty společně se započítanými pochozími plechy a šrouby 0,30 kN a na prostředních příčnicích dosahují hodnoty 0,97 kN. Mostnice pak jsou zatíženy taktéž bodovou silou, která v krajních mostnicích dosahuje hodnoty 0,99 kN a prostřední mostnice mají hodnotu 0,75 kN.

Postup výpočtu zatížení působící na mostnice, kde bylo bráno zatížení od pojistných úhelníků, plechů mezi kolejnicemi, plechů po hlavách mostnic a všech spojovacích prvků, od podkladnic a vrtulí. Nejprve byla spočtena plocha jednotlivých prvků v příčném řezu. Dále podle základního vzorce objem prvků $V = A * L$, kde L představuje délku (popřípadě výšku) prvku a A plochu daného prvku. Z objemu se pak dopočítala hmotnost dle základního vztahu $m = V * \rho$, kde ρ představuje hustotu materiálu ($\rho_{\text{ocel}} = 7850 \text{ k/m}^3$). Z hmotnosti pak síla působící v těžišti prvku podle vztahu $F = m * g$, kde g je gravitační zrychlení, které je rovno hodnotě $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$. Pojistné úhelníky a jekly držící pochozí plechy byly přepočítány dále na spojitě zatížení, vzhledem k tomu, že prvky působí po celé délce konstrukce. Spojité zatížení bylo spočteno dle vztahu $q = \frac{F}{L_c}$, kde F je síla jednotlivých prvků a L_c je délka celé konstrukce. Toto spojitě zatížení pak bylo zadáno do programu SCIA Engineer, kde byla vytvořena fiktivní konstrukce o délce L_c , tedy celková délka konstrukce, která byla podepřena pomocí ložisek v místech mostnic, aby bylo nasimulováno přesné uchycení jeklů, popřípadě pojistných úhelníků. Tato fiktivní konstrukce je pak zatížena spojitým zatížením q a výsledné reakce v ložiskách jsou brány jako síly zatěžující mostnice. Plechy byly přepočítány stejným

způsobem na celkovou sílu působící v těžišti a tato síla byla přepočítána na počet šroubů, kterými jsou plechy připevněny k jeklům. Tím byla síla rozložena mezi mostnice. Šrouby a jejich hmotnosti byly taktéž započítány do celkové síly působení na mostnice.

	plocha [m ²]	délka [m]	počet [ks]	objem [m ³]	m [kg]	F [N]	q [N/m]	F/šroub [N]
Pojistný úhelník	0,00262	20,15	2	0,10563	829,17626	8134,21913	403,68333	-
Šrouby	-	-	62	-	0,01000	6,08220	-	0,09810
Plech mezi kolejnicemi	0,00505	20,15	1	0,10184	799,43889	7842,49553	-	252,98373
Jekly	0,00802	20,15	1	0,16150	1267,79266	12437,04602	617,22313	-
Šrouby	-	-	31	-	0,07210	21,92633	-	0,70730
Plech po hlavách mostnic vlevo	1,46269	0,01	2	0,01755	137,78514	1351,67221	-	21,80116
Jekly	0,00070	0,20	1	0,00014	1,09900	10,78119	-	-
Šrouby	-	-	62	-	0,07210	43,85266	-	0,70730
Plech po hlavách mostnic vpravo	4,28691	0,01	2	0,05144	403,82665	3961,53943	-	63,89580
Jekly	0,00070	0,20	1	0,00014	1,09900	10,78119	-	-
Šrouby	-	-	62	-	0,07210	43,85266	-	0,70730

	F [N] plechy + šrouby	F [N] jekly mezi kolejnicemi	F [N] úhelníky + šrouby	F [N] jekly po hlavách mostnic vlevo	F [N] jekly po hlavách mostnic vpravo	F [N] šroub	F celkem [N]
Mostnice 1	254,398	460,000	170,098	33,997	76,092	0,098	994,683
Mostnice 2	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 3	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 4	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 5	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 6	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 7	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 8	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 9	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 10	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 11	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 12	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 13	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 14	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 15	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 16	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 17	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 18	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 19	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 20	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 21	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 22	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 23	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 24	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 25	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 26	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 27	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 28	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 29	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 30	254,398	280,000	110,098	33,997	76,092	0,098	754,683
Mostnice 31	254,398	460,000	170,098	33,997	76,092	0,098	994,683

Postup výpočtu zatížení působící na příčníky od pochozích plechů, jechlů držící tyto plechy a šroubů, bylo stanoveno stejným způsobem jako zatížení působící na mostnice. Zvláště byl proveden výpočet pro pravou stranu i levou stranu příčníků.

VLEVO								
	plocha [m ²]	délka [m]	počet [ks]	objem [m ³]	m [kg]	F [N]	q [N/m]	F/šroub [N]
Pochozí plech	0,00606	20,15	1	0,122109	958,556	9403,43	-	111,9456063
Jekly	0,0007	20,15	2	0,02821	221,449	2172,41	107,8119	-
Šrouby	-	-	84	-	0,0721	59,4133	-	0,707301

VPRAVO								
	plocha [m ²]	délka [m]	počet [ks]	objem [m ³]	m [kg]	F [N]	q [N/m]	F/šroub [N]
Pochozí plech	0,00606	20,15	1	0,122109	958,556	9403,43	-	111,9456063
Jekly	0,0007	20,15	2	0,02821	221,449	2172,41	10,99	-
Šrouby	-	-	84	-	0,0721	59,4133	-	0,707301

	jekly [kN]	plechy + šrouby [kN]	Výsledná síla [kN]	rameno od osy [m]	rameno od osy [m]
Příčník 1	0,19	0,113	0,30	1,31	2,18
Příčník 2	0,86	0,113	0,97	1,31	2,18
Příčník 3	0,86	0,113	0,97	1,31	2,18
Příčník 4	0,86	0,113	0,97	1,31	2,18
Příčník 5	0,86	0,113	0,97	1,31	2,18
Příčník 6	0,86	0,113	0,97	1,31	2,18
Příčník 7	0,86	0,113	0,97	1,31	2,18
Příčník 8	0,86	0,113	0,97	1,31	2,18
Příčník 9	0,86	0,113	0,97	1,31	2,18
Příčník 10	0,86	0,113	0,97	1,31	2,18
Příčník 11	0,19	0,113	0,30	1,31	2,18

Tabulka 1: Tabulky výpočtu ostatního stálého zatížení

4.2. Proměnné zatížení

4.2.1. Zatížení větrem

Zatížení větrem na mostní konstrukci bylo počítáno podle normy ČSN EN 1991-1-4: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem.

$$F_w = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 * C * A_{ref,x} \quad \text{ČSN EN 1991-1-4: 8.3.2 (1) výraz (8.2)}$$

ρ měrná hmotnost vzduchu

v_b základní rychlost větru

C součinitel zatížení větrem

$A_{ref,x}$ referenční plocha

Výpočet měrné hmotnosti vzduchu

Měrná hmotnost vzduchu ρ se bere jako hodnota doporučená normou.

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3 \quad \text{ČSN EN 1991-1-4: 4.5 (1) POZNÁMKA 2}$$

Výpočet základní rychlosti větru

Výpočet základní rychlosti větru se počítá podle následujícího vztahu.

$$v_b = C_{dir} * C_{season} * v_{b,0} \quad \text{ČSN EN 1991-1-4: 4.2 (2) výraz (4.1)}$$

C_{dir} součinitel směru větru

C_{season} součinitel ročního období

$v_{b,0}$ výchozí základní rychlost větru

Součinitel směru větru C_{dir} se bere jako doporučená hodnota $C_{dir} = 1,0$.

Součinitel ročního období C_{season} se bere jako doporučená hodnota $C_{season} = 1,0$.

ČSN EN 1991-1-4: 4.2 (2) POZNÁMKA 2 a 3

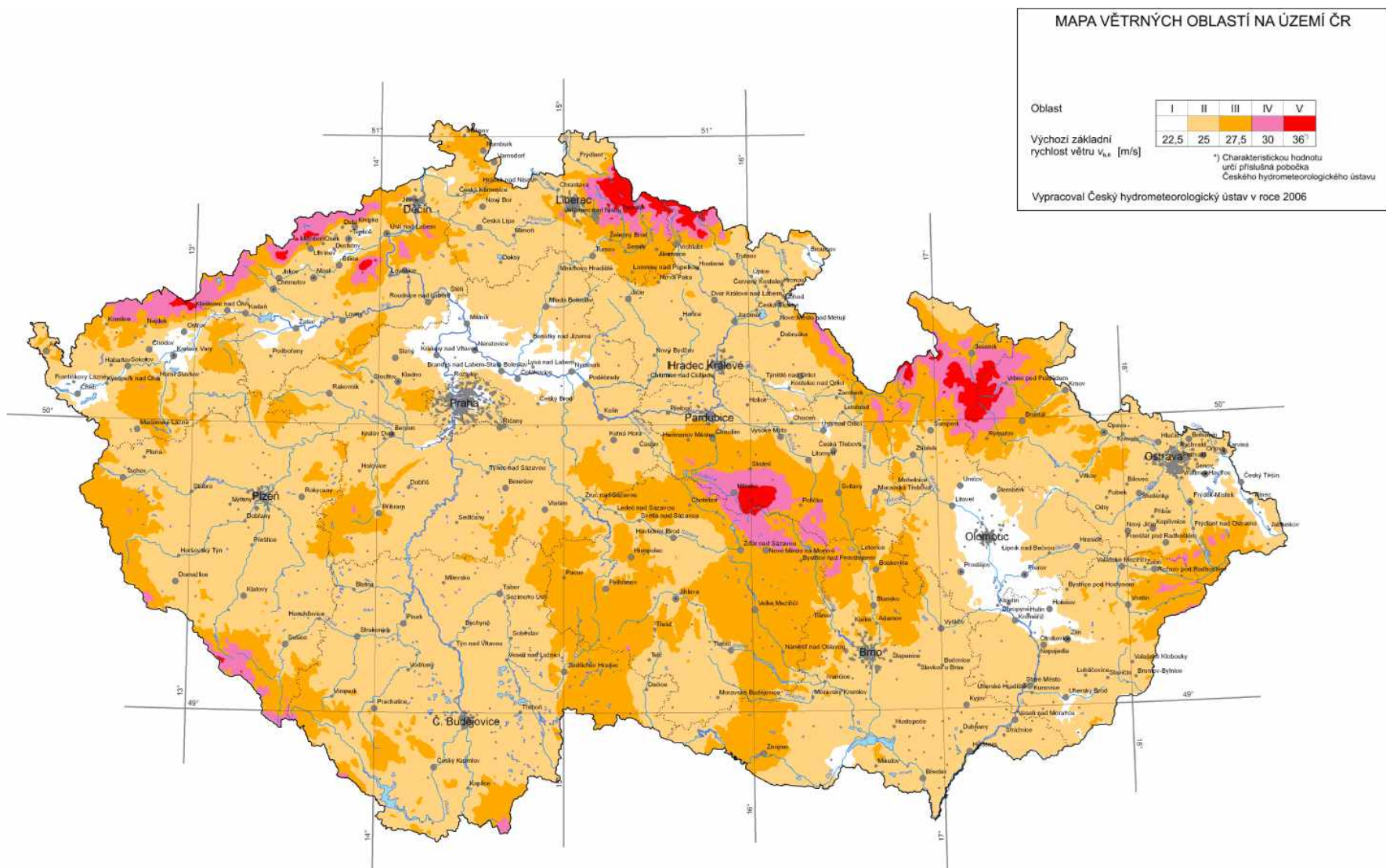
Výchozí základní rychlost větru $v_{b,0}$ byla zvolena jako hodnota $v_{b,0} = 25,0$ m/s podle mapy větrných oblastí na území ČR, kterou vypracoval Český hydrometeorologický ústav v roce 2006.

$$v_b = C_{dir} * C_{season} * v_{b,0}$$

$$v_b = 1,0 * 1,0 * 25$$

$$\underline{v_b = 25 \text{ m/s}}$$

Statický přepočet příhradové ocelové mostní konstrukce v km 123,974 Chlumeck nad Cidlinou (mimo) - Trutnov střed — obvod Poříčí (mimo)
 - Statický výpočet -



Obrázek 10: Mapa větrných oblastí

Výpočet referenční plochy

Referenční plocha se počítá pro nosné konstrukce s příhradovými nosníky jako součet:

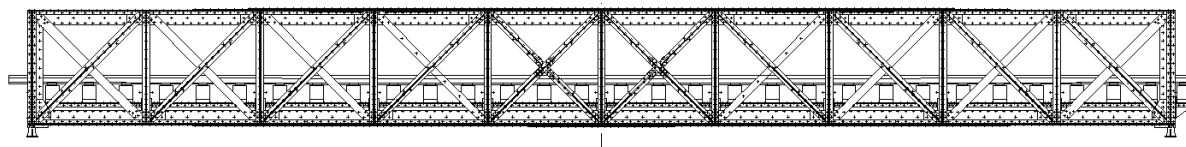
- čelní plochy jedné římsy nebo chodníku nebo koleje se šterkovým ložem
- neprodyšné části všech hlavních příhradových nosníků, jejichž průměty do svislé roviny jsou nad nebo pod plochou popsanou v předchozím bodě
- čelní plochy neprodyšných svodidel nebo protihlukových stěn nad plochou popsanou v bodě jedna, nebo při absenci takových zařízení 0,3 m pro každé prodyšné zábradlí nebo svodidlo.

ČSN EN 1991-1-4: 8.3.1 (3)_b

Referenční plocha pro kombinace zatížení větrem se zatížení dopravou jsou stejné jako plochy uvedené v předchozích bodech s následujícími úpravami:

- pro železniční mosty výška 4 m od temene kolejnic na celé délce mostu

ČSN EN 1991-1-4: 8.3.1 (5)



Obrázek 11: Ukázka plochy nosníku zatížené větrem

V následujícím seznamu jsou uvedeny jednotlivé plochy všech prvků, které jsou na návětrné ploše. Veškeré plochy byly odměřeny z programu AutoCAD Map 3D.

Horní pás: $A_{HP} = 5,531\ 250\ \text{m}^2$

Dolní pás: $A_{DP} = 5,576\ 550\ \text{m}^2$

Svislice: $A_S = 2,205\ 000\ \text{m}^2$

Diagonály: $A_D = 5,769\ 120\ \text{m}^2$

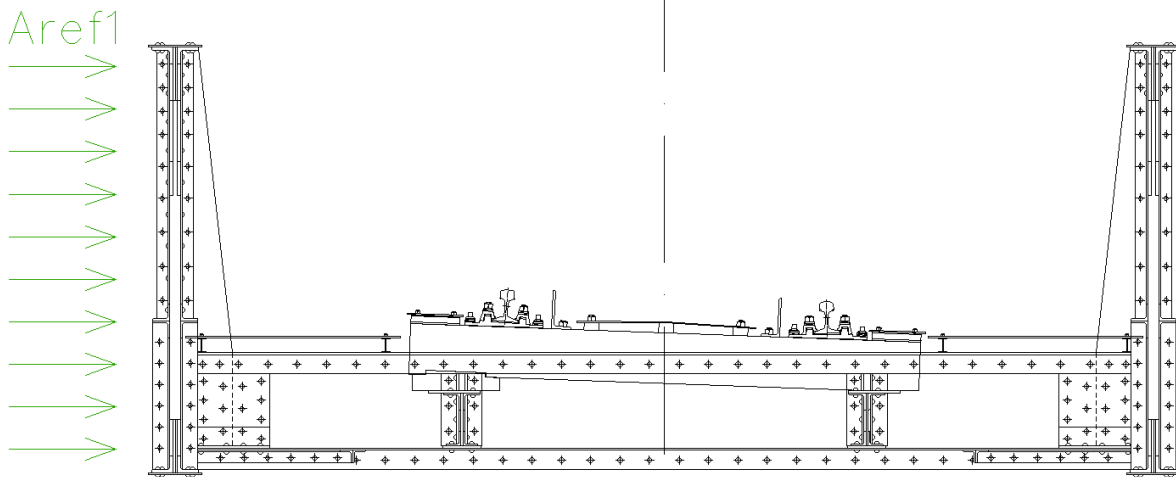
Podélníky: $A_{Po} = 2,490\ 750\ \text{m}^2$

Mostnice: $A_M = 1,758\ 600\ \text{m}^2$

Kolejnice: $A_K = 2,879\ 800\ \text{m}^2$

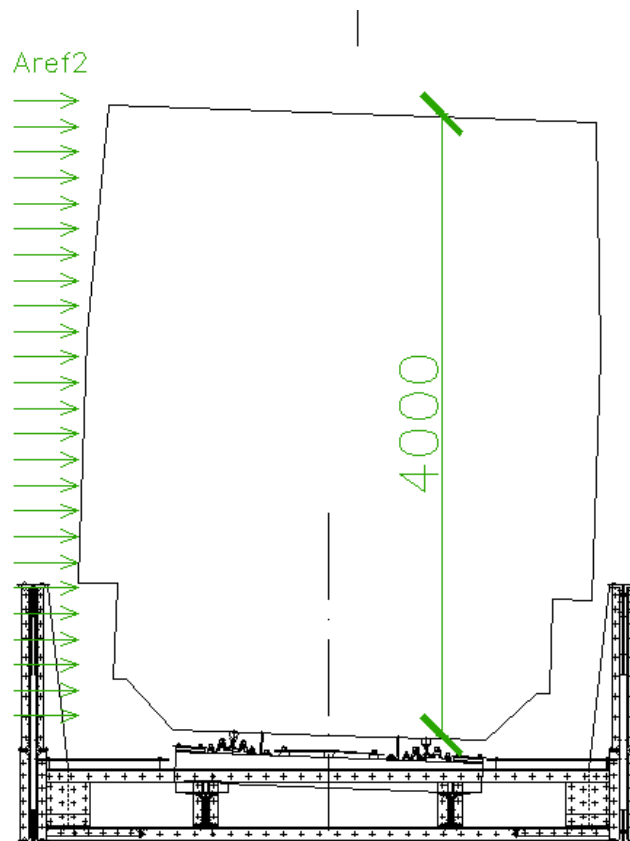
Vlak: $A_V = 80,600\ 000\ \text{m}^2$

Celková referenční plocha nezatíženého mostu vlakem je rovna hodnotě $A_{ref,1}$ a referenční plocha zatížená dopravou je rovna hodnotě $A_{ref,2}$.



Obrázek 12: Zatížení větrem na referenční plocha A1

$$A_{ref,1} = A_{HP} + A_{DP} + A_S + A_D + A_{Po} + A_M + A_K = 5,531\,250 + 5,576\,550 + 2,205\,000 + 5,769\,120 + 2,490\,750 + 1,758\,600 + 2,879\,800 = 26,238\,070\,m^2$$



Obrázek 13: Zatížení větrem na referenční plocha A2

$$A_{\text{ref},2} = A_V = \underline{80,600\,000\text{ m}^2}$$

$$A_{\text{ref,cel}} = A_{\text{ref},1} + A_{\text{ref},2} = 26,268\,070 + 80,600\,000 = \underline{106,838\,070\text{ m}^2}$$

Výpočet součinitele zatížení větrem

$$C = C_e * C_{f,x} \quad \text{ČSN EN 1991-1-4: 8.3.2 (1) vztah (8.2)}$$

$C_{f,x}$ koeficient $C_{f,x}$

C_e součinitel expozice

$$C_{f,x} = C_{f,x,0}$$

$C_{f,x,0}$ součinitel čelního odporu

Součinitel čelního odporu lze brát z obrázku 8.3 z normy pomocí typu konstrukce a jeho charakteristických rozměrů (b = šířka konstrukce, d_{tot} = výška konstrukce i s dopravou).

Tyto rozměry byly odměřeny v programu AutoCAD.

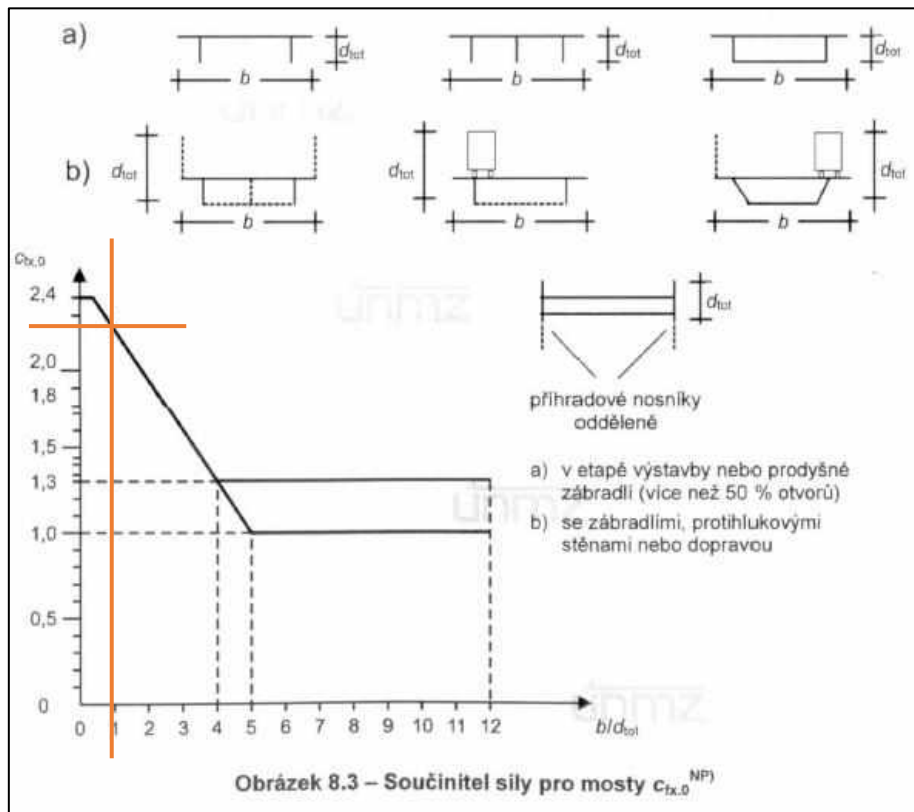
ČSN EN 1991-1-4: 8.3.1 (1) POZNÁMKA 2

$$b = \underline{4,850\text{ m}}$$

$$d_{\text{tot}} = h_{\text{stavební výška}} + h_{\text{vlaku}} = 0,893 + 4 = \underline{4,893\text{ m}}$$

$$\frac{b}{d_{\text{tot}}} = \frac{4,850}{4,893} = \underline{0,991}$$

ČSN EN 1991-1-4: 8.3.1 (1) Obrázek 8.3



Obrázek 14: Součinitel čelního odporu

Z obrázku 8.3 v normě pak byla odměřena hodnota pro součinitel čelního odporu $C_{f,x,0}$ na hodnotu $C_{f,x,0} = 2,210$.

$$C_{f,x} = C_{f,x,0} = \underline{\underline{2,210}}$$

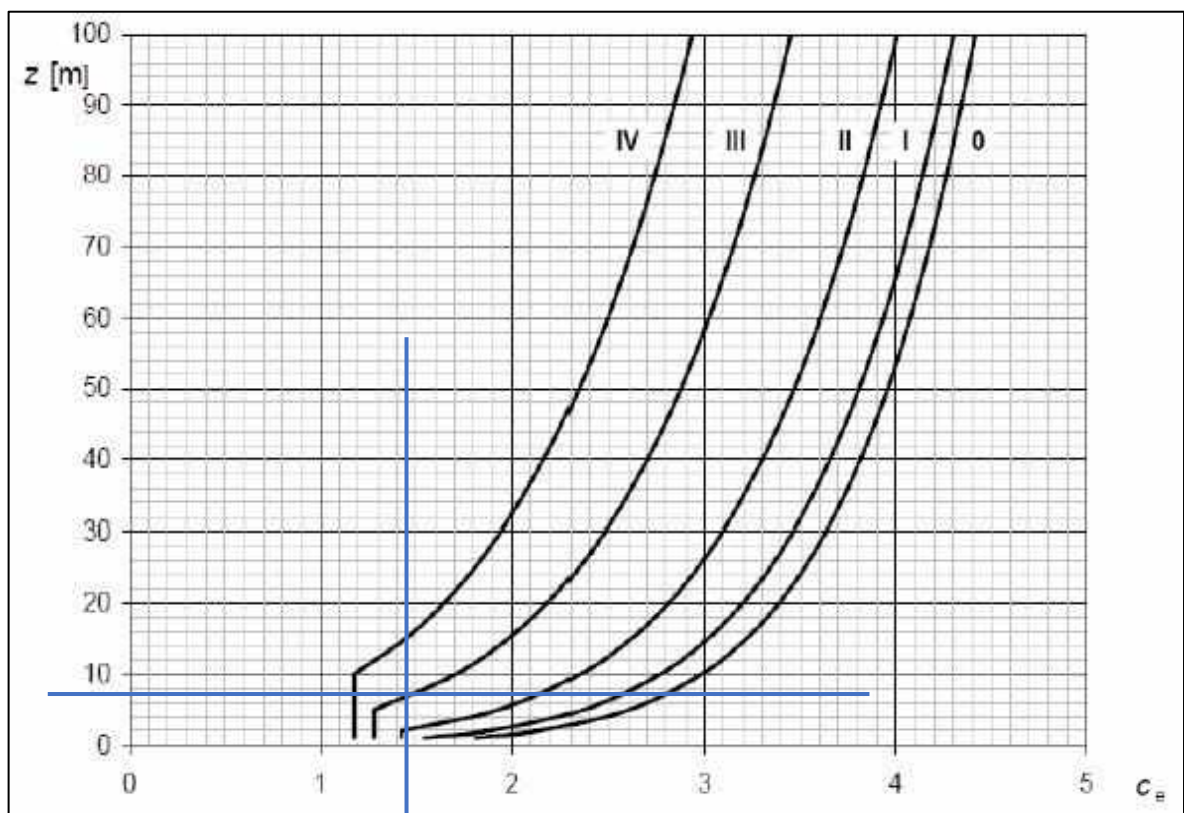
Součinitel expozice se odečte z obrázku 4.2 z příslušné normy. Odečte se z grafu, kde na svislé ose je hodnota z , což je výška konstrukce nad terénem a na vodorovné ose je pak zkoumaný součinitel expozice C_e . Hodnota výšky konstrukce nad terénem byla odměřena z programu AutoCAD.

$$z = 7,890 \text{ m}$$

Hodnota kategorie terénu byla zvolena jako kategorie III (oblast rovnoměrně pokrytá vegetací nebo budovami, nebo s izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je maximálně 20-ti násobek výšky překážek (jako jsou vesnice, předměstské terény, souvislý les)).



kategorie terénu = III



Obrázek 15: Součinitel expozice

ČSN EN 1991-1-4: 4.5 (1)_Obrázek 4.2

Hodnota součinitele expozice je pak odečtena z grafu jako hodnota $C_e = \underline{1,450}$.

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

$$C = 1,450 * 2,210$$

$$C = \underline{3,204\ 500}$$

Tímto máme veškeré hodnoty vstupující do vzorce na výpočet síly od větru a můžeme ji dopočítat. V následujících vztazích je vypočítaná síla pro celkovou plochu, pro plochu pouze od konstrukce a plochu pro vlak.

$$F_w = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 * C * A_{ref,x}$$

- pro celkovou plochu

$$F_{w,c} = \frac{1}{2} * 1,25 * 25^2 * 3,204\ 500 * 106,838\ 070$$

$$\underline{F_{w,c} = 133\ 735,389\ N}$$

- pro plochu pouze od konstrukce

$$F_{w,k} = \frac{1}{2} * 1,25 * 25^2 * 3,204\ 500 * 26,238\ 070$$

$$\underline{F_{w,k} = 32\ 843,709\ N}$$

- pro plochu pouze od vlaku

$$F_{w,v} = \frac{1}{2} * 1,25 * 25^2 * 3,204\ 500 * 80,600$$

$$\underline{F_{w,v} = 100\ 891,680\ N}$$

Dalším krokem je přepočítání jednotlivých sil na spojitá zatížení.

- spojité zatížení od vlaku

- vodorovná složka od vlaku

$$f_{w,vodorovná} = \frac{F_{w,v}}{L_{konstrukce}} = \frac{100\ 891,680}{20,15} = 5\ 007,031\ N/m = \underline{5,010\ kN/m}$$

- spojité zatížení na jednotlivé části konstrukce

- horní pás

$$F_{w,HP} = \frac{F_{w,k}}{A_{ref,1}} * A_{HP} = \frac{32\ 843,709}{26,238\ 070} * 5,531\ 250 = \underline{6\ 923,785\ N}$$

$$f_{w,HP} = \frac{F_{w,HP}}{L_{konstrukce}} = \frac{6\ 923,785}{20,15} = 343,612\ N/m = \underline{0,343\ 612\ kN/m}$$

▪ dolní pás

$$F_{w,DP} = \frac{F_{w,k}}{A_{ref,1}} * A_{DP} = \frac{32\,843,709}{26,238\,070} * 5,576\,550 = \underline{6\,979,702\,N}$$

$$f_{w,DP} = \frac{F_{wHP}}{L_{konstrukce}} = \frac{6\,979,702}{20,15} = 346,387\,N/m = \underline{0,346\,387\,kN/m}$$

▪ svislice

$$F_{w,S} = \frac{F_{w,k}}{A_{ref,1}} * A_S = \frac{32\,843,709}{26,238\,070} * 2,205 = 2\,759,814\,N = \underline{2,759\,814\,kN}$$

$$F_{w,S,krajní} = \frac{F_{w,S}}{A_S} * A_{S,krajní} = \frac{2,759\,814}{2,205} * 0,45 = \underline{0,563\,227\,kN}$$

$$f_{w,S,krajní} = \frac{\frac{F_{w,S,krajní}}{N_{svislíc}}}{L_{svislíce}} = \frac{\frac{0,563\,227}{2}}{1,5} = \underline{0,187\,742\,kN/m}$$

$$F_{w,S,prostřední} = \frac{F_{w,S}}{A_S} * A_{S,prostřední} = \frac{2,759\,814}{2,205} * 1,755 = \underline{2,196\,587\,kN}$$

$$f_{w,S,prostřední} = \frac{\frac{F_{w,S,prostřední}}{N_{svislíc}}}{L_{svislíce}} = \frac{\frac{2,196\,587}{9}}{1,5} = \underline{0,162\,710\,kN/m}$$

▪ diagonály

$$F_{w,D} = \frac{F_{w,k}}{A_{ref,1}} * A_D = \frac{32\,843,709}{26,238\,070} * 5,769\,120 = 7\,220,725\,N =$$

$$\underline{7,220\,725\,kN}$$

$$F_{w,E1} = \frac{F_{w,D}}{A_D} * A_{E1} = \frac{7,220\,725}{5,769\,120} * 0,678\,720 = \underline{0,849\,497\,kN}$$

$$f_{w,E1} = \frac{\frac{F_{w,E1}}{N_{diagonál}}}{L_{diagonál}} = \frac{\frac{0,849\,497}{2}}{2,121} = \underline{0,200\,259\,kN/m}$$

$$F_{w,E2,3} = \frac{F_{w,D}}{A_D} * A_{E2,3} = \frac{7,220\,725}{5,769\,120} * 1,187\,760 = \underline{1,486\,620\,kN}$$

$$f_{w,E2,3} = \frac{\frac{F_{w,E2,3}}{N_{diagonál}}}{L_{diagonál}} = \frac{\frac{1,486\,620}{4}}{2,121} = \underline{0,175\,226\,kN/m}$$

$$F_{w,E4,5} = \frac{F_{w,D}}{A_D} * A_{E4,5} = \frac{7,220\,725}{5,769\,120} * 1,018\,080 = \underline{1,274\,246\,kN}$$

$$f_{w,E4,5} = \frac{\frac{F_{w,E4,5}}{N_{diagonál}}}{L_{diagonál}} = \frac{\frac{1,274\,246}{4}}{2,121} = \underline{0,150\,194\,kN/m}$$

$$F_{w,D1} = \frac{F_{w,D}}{A_D} * A_{D1} = \frac{7,220\,725}{5,769\,120} * 0,678\,720 = \underline{0,849\,497\,kN}$$

$$f_{w,D1} = \frac{F_{w,D1}}{N_{diagonál}} = \frac{0,849\,497}{2} = \underline{\underline{0,200\,259\text{ kN/m}}}$$

$$F_{w,D2,3} = \frac{F_{w,D}}{A_D} * A_{D2,3} = \frac{7,220\,725}{5,769\,120} * 1,187\,760 = \underline{\underline{1,486\,620\text{ kN}}}$$

$$f_{w,D2,3} = \frac{F_{w,D2,3}}{N_{diagonál}} = \frac{1,486\,620}{4} = \underline{\underline{0,175\,226\text{ kN/m}}}$$

$$F_{w,D4,5} = \frac{F_{w,D}}{A_D} * A_{D4,5} = \frac{7,220\,725}{5,769\,120} * 1,018\,080 = \underline{\underline{1,274\,246\text{ kN}}}$$

$$f_{w,D4,5} = \frac{F_{w,D4,5}}{N_{diagonál}} = \frac{1,274\,246}{4} = \underline{\underline{0,150\,194\text{ kN/m}}}$$

▪ podélníky

$$F_{w,Po} = \frac{F_{w,k}}{A_{ref,1}} * A_{Po} = \frac{32\,843,709}{26,238\,070} * 2,490\,750 = 3\,117,816\text{ N} =$$

$$\underline{\underline{3,117\,816\text{ kN}}}$$

$$f_{w,Po} = \frac{F_{w,Po}}{N_{podélníku}} = \frac{3,117\,816}{10} = \underline{\underline{0,015\,471\text{ kN/m}}}$$

▪ mostnice

$$F_{w,M} = \frac{F_{w,k}}{A_{ref,1}} * A_M = \frac{32\,843,709}{26,238\,070} * 1,785\,600 = 2\,234,886\text{ N} =$$

$$\underline{\underline{2,234\,886\text{ kN}}}$$

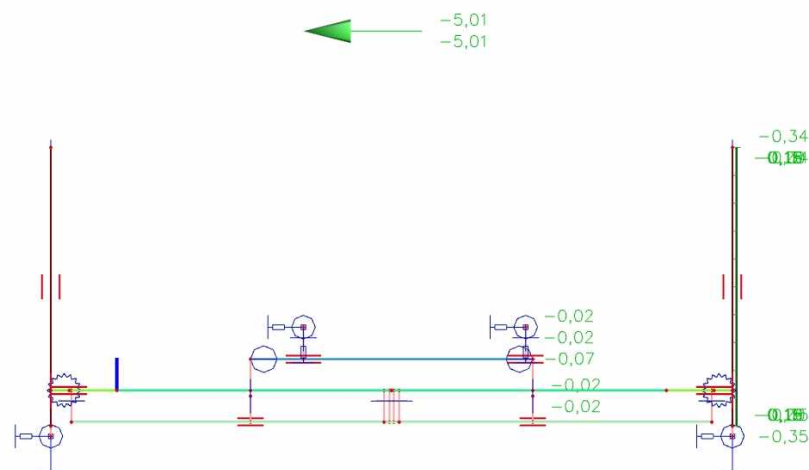
$$f_{w,M} = \frac{F_{w,M}}{N_{mostnic}} = \frac{2,234\,886}{31} = \underline{\underline{0,072\,093\text{ kN}}}$$

▪ kolejnice

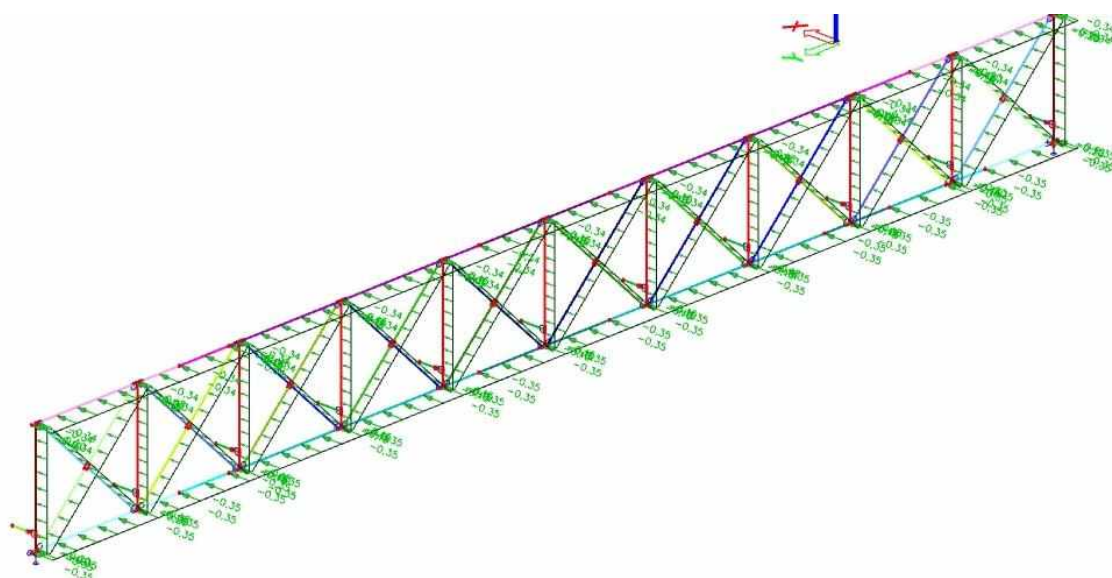
$$F_{w,K} = \frac{F_{w,k}}{A_{ref,1}} * A_K = \frac{32\,843,709}{26,238\,070} * 2,879\,800 = 3\,604,405\text{ N} =$$

$$\underline{\underline{3,604\,405\text{ kN}}}$$

$$f_{w,Po} = \frac{F_{w,K}}{N_{kolejnice}} = \frac{3,604\,405}{10} = \underline{\underline{0,017\,888\text{ kN/m}}}$$



Obrázek 16: Zatížení větrem_příčný řez



Obrázek 17: Zatížení větrem_pohled na NK

4.2.2. Zatížení teplotou

Zatížení teplotou na mostní konstrukci bylo počítáno podle normy ČSN EN 1991-1-5: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-5: Obecná zatížení - Zatížení teplotou.

Nejprve bylo potřeba zatříženi mostní konstrukce podle typu, kde bylo zvoleno *Typ I*, což jsou ocelové nosné konstrukce (ocelové komorové nosníky, ocelové příhradové nebo plnostěnné nosníky)

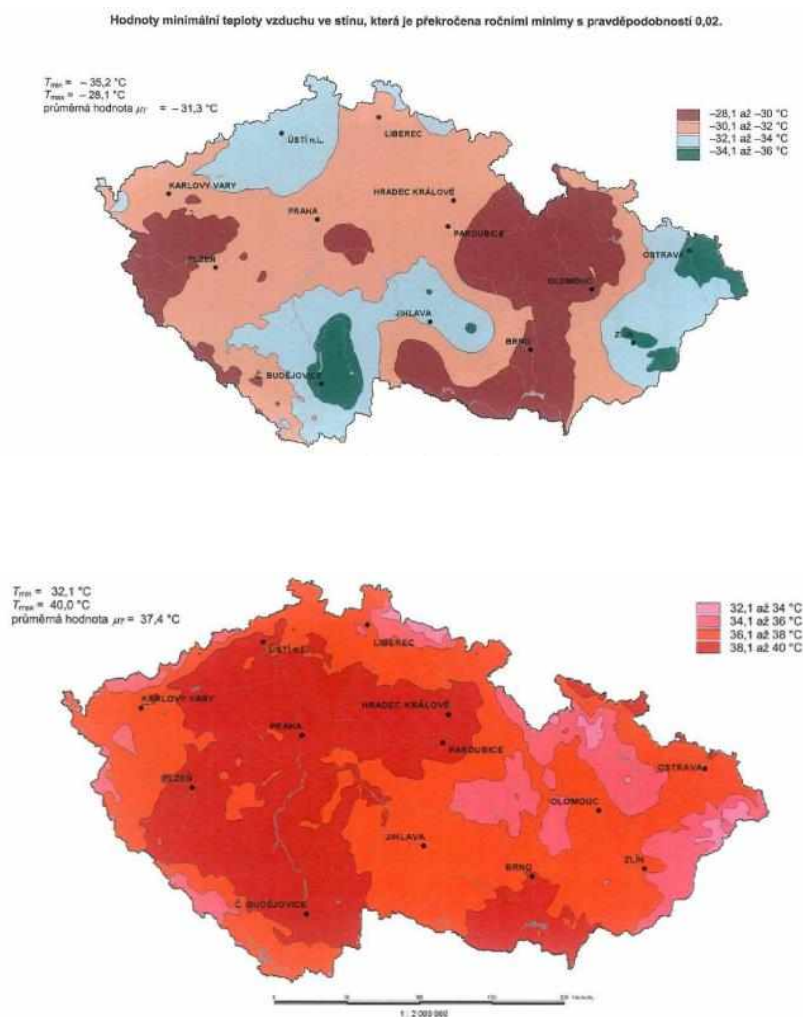
ČSN EN 1991-1-5: 6.1.1 (1)

Stanovení rovnoměrné složky teploty

Rovnoměrná složka teploty závisí na minimálních a maximálních teplotách vzduchu určených z map uvedených v národní příloze normy. Obě tyto hodnoty byly vybrány z intervalu teplot, které jsou určeny mapou.

$$T_{\min} = -32,00 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\max} = 38,00 \text{ }^{\circ}\text{C}$$



Obrázek 18: Mapa tepelných oblastí

Tím můžeme stanovit rovnoměrnou složku teploty mostu, která se stanovuje podle národní přílohy normy dle následujících vztahů, které jsou závislé na druhu konstrukce, kterou jsme si stanovili již na začátku, jako Typ I.

$$T_{e,max} = T_{max} + 16 \text{ °C}$$

$$T_{e,min} = T_{min} - 3 \text{ °C}$$

ČSN EN 1991-1-5: NA.2.4

$$T_{e,max} = 38 + 16 = \underline{54 \text{ °C}}$$

$$T_{e,min} = -32 - 3 = \underline{-35 \text{ °C}}$$

Dále je potřeba určit rozsah rovnoměrné složky teploty mostu, na kterou potřebujeme dle normy určit výchozí teplotu mostu, ve které byla konstrukce zabudována. Výchozí teplota se dá určit podle přílohy A v normě na hodnotu 10°C, pokud nejsou k dispozici žádné informace.

$$T_0 = \underline{10 \text{ °C}}$$

ČSN EN 1991-1-5: A.1 (3)_POZNÁMKA

Tímto můžeme dopočítat následně charakteristickou hodnotu maximálního rozsahu rovnoměrné složky teploty pro výpočet zkrácení ($\Delta T_{N,con}$) a prodloužení ($\Delta T_{N,exp}$) konstrukce.

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min} = -[10 - (-35)] = \underline{-45 \text{ °C}}$$

ČSN EN 1991-1-5: 6.1.3.3 (3)_vztah 6.1

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 = 54 - 10 = \underline{44 \text{ °C}}$$

ČSN EN 1991-1-5: 6.1.3.3 (3)_vztah 6.2

Z těchto hodnot můžeme dopočítat hodnoty pro ložiska a dilatační spáry podle vztahů stanovenými normou.

$$\Delta T_{N,con,N} = \Delta T_{N,con} - 20 \text{ °C} = -45 - 20 = \underline{-65 \text{ °C}}$$

$$\Delta T_{N,exp,N} = \Delta T_{N,exp} + 20 \text{ °C} = 44 + 20 = \underline{64 \text{ °C}}$$

ČSN EN 1991-1-5: 6.1.3.3 (3)_POZNÁMKA 2

Stanovení rozdílové složky teploty

Oteplování a ochlazování horního povrchu nosné konstrukce mostu v určeném časovém intervalu vyvodí největší změny teplot vlivem oteplení (horní povrch teplejší) a největší změny teplot vlivem ochlazení (dolní povrch teplejší).

ČSN EN 1991-1-5: 6.1.4 (1)

Účinky svislých rozdílů teplot se uvažují pomocí ekvivalentních lineárních rozdílových složek teploty. Tyto hodnoty se mají použít mezi horním a dolním povrchem nosné konstrukce mostu.

ČSN EN 1991-1-5: 6.1.4.1 (1)

Tyto ekvivalentní hodnoty jsou odvozeny z tabulky z normy.

Tabulka 6.1 – Doporučené hodnoty lineárních rozdílových složek teploty pro různé typy nosných konstrukcí mostů pozemních komunikací, lávek pro chodce a železničních mostů

Typ nosné konstrukce	Horní povrch teplejší než dolní	Dolní povrch teplejší než horní
	$\Delta T_{M,heat} (^{\circ}C)$	$\Delta T_{M,cool} (^{\circ}C)$
1. typ: ocelová nosná konstrukce	18	13
2. typ: ocelobetonová nosná konstrukce	15	18
3. typ: betonová nosná konstrukce		
– betonový komorový nosník	10	5
– betonový nosník	15	8
– betonová deska	15	8

POZNÁMKA 1: Hodnoty uvedené v tabulce jsou horními mezními hodnotami lineárně proměnné složky teploty pro reprezentativní vzorek geometrie mostů.
 POZNÁMKA 2: Hodnoty uvedené v tabulce pro mosty pozemních komunikací, lávky a pro železniční mosty vycházejí z 50 mm tloušťky mostního svršku. Pro jiné tloušťky mostního svršku se mají tyto hodnoty vynásobit součinitelem k_{sur} . Doporučené hodnoty součinitele k_{sur} jsou uvedené v tabulce 6.2.

Jak je z tabulky patrné hodnota pro $\Delta T_{M,heat} = 18 \text{ }^{\circ}C$ a $\Delta T_{M,cool} = 13 \text{ }^{\circ}C$. Dle poznámky se tyto hodnoty redukuje součinitelem k_{sur} dle tabulky v normě. Tímto součinitelem jsou pak přenášeny ekvivalentní lineární složky teploty.

Tabulka 6.2 – Doporučené hodnoty součinitele k_{sur} pro různé tloušťky mostního svršku

Mosty pozemních komunikací, lávky pro chodce a železniční mosty						
Tloušťka mostního svršku	1. typ		2. typ		3. typ	
	horní povrch teplejší než dolní	dolní povrch teplejší než horní	horní povrch teplejší než dolní	dolní povrch teplejší než horní	horní povrch teplejší než dolní	dolní povrch teplejší než horní
[mm]	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}
bez svršku	0,7	0,9	0,9	1,0	0,8	1,1
vodotěsná izolace ¹⁾	1,6	0,6	1,1	0,9	1,5	1,0
50	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	0,7	1,2	1,0	1,0	0,7	1,0
150	0,7	1,2	1,0	1,0	0,5	1,0
štěrkové lože (750 mm)	0,6	1,4	0,8	1,2	0,6	1,0

¹⁾ Tyto hodnoty představují horní mezní hodnoty pro tmavé barvy.

Výsledné hodnoty pro horní povrch teplejší než dolní

Hlavní nosník (horní pás, svislice, diagonály):

$$\Delta T_{M,heat,HN} = 18 \text{ }^{\circ}C * k_{sur} = 18 * 0,7 = \underline{12,6 \text{ }^{\circ}C}$$

Hlavní nosník (dolní pás): $\Delta T_{M,heat,HN,DP} = 0 \text{ }^{\circ}C * k_{sur} = 0 * 0,7 = \underline{0 \text{ }^{\circ}C}$

Mostovka: $\Delta T_{M,heat,M} = 0 \text{ }^{\circ}C * k_{sur} = 0 * 0,7 = \underline{0 \text{ }^{\circ}C}$

Brzdné a podélné ztužení: $\Delta T_{M,heat,Z} = 0 \text{ }^{\circ}C * k_{sur} = 0 * 0,7 = \underline{0 \text{ }^{\circ}C}$

Výsledné hodnoty pro dolní povrch teplejší než horní

Hlavní nosník (horní pás, svislice, diagonály):

$$\Delta T_{M,cool,HN} = 0 \text{ °C} * k_{sur} = 0 * 0,9 = \underline{0 \text{ °C}}$$

Hlavní nosník (dolní pás): $\Delta T_{M,cool,HN,DP} = 13 \text{ °C} * k_{sur} = 13 * 0,9 = \underline{11,7 \text{ °C}}$

Mostovka: $\Delta T_{M,cool,M} = 13 \text{ °C} * k_{sur} = 13 * 0,9 = \underline{11,7 \text{ °C}}$

Brzděné a podélné ztužení: $\Delta T_{M,cool,Z} = 13 \text{ °C} * k_{sur} = 13 * 0,9 = \underline{11,7 \text{ °C}}$

Výpočet současného působení rovnoměrné a rozdílové složky teploty

Pokud uvažujeme současné působení rozdílové složky ($\Delta T_{M,heat} / \Delta T_{M,cool}$) a rovnoměrné složky ($\Delta T_{N,exp} / \Delta T_{N,con}$), lze je vypočítat podle následujících vztahů, přičemž po výpočtu je potřeba zvolit ten, který dá více nepříznivé účinky.

$$\Delta T_{M,heat} \text{ (nebo } \Delta T_{M,cool}) + \omega_N * \Delta T_{N,exp} \text{ (nebo } \Delta T_{N,con}) \quad \text{ČSN EN 1991-1-5: 6.1.5 (1) vztah 6.3}$$

$$\omega_M * \Delta T_{M,heat} \text{ (nebo } \Delta T_{M,cool}) + \Delta T_{N,exp} \text{ (nebo } \Delta T_{N,con}) \quad \text{ČSN EN 1991-1-5: 6.1.5 (1) vztah 6.4}$$

$$\omega_N = 0,35$$

$$\omega_M = 0,75 \quad \text{ČSN EN 1991-1-5: 6.1.5 (1) POZNÁMKA 1}$$

Hlavní nosník (horní pás, svislice, diagonály):

Zimní období:

$$\Delta T_{M,cool,HN} + \omega_N * \Delta T_{N,con} = 0 + 0,35 * (-45) = \underline{-15,75 \text{ °C}}$$

$$\omega_M * \Delta T_{M,cool,HN} + \Delta T_{N,con} = 0,75 * 0 + (-45) = \underline{-45 \text{ °C}}$$

$$T_{HN,zima} = \underline{-45 \text{ °C}}$$

Letní období:

$$\Delta T_{M,heat,HN} + \omega_N * \Delta T_{N,exp} = 12,6 + 0,35 * 44 = \underline{28 \text{ °C}}$$

$$\omega_M * \Delta T_{M,heat,HN} + \Delta T_{N,exp} = 0,75 * 12,6 + 44 = \underline{53,45 \text{ °C}}$$

$$T_{HN,léto} = \underline{53,45 \text{ °C}}$$

Hlavní nosník (dolní pás):

Zimní období:

$$\Delta T_{M,cool,HN,DP} + \omega_N * \Delta T_{N,con} = 11,7 + 0,35 * (-45) = \underline{\underline{-4,05 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

$$\omega_M * \Delta T_{M,cool,HN,DP} + \Delta T_{N,con} = 0,75 * 11,7 + (-45) = \underline{\underline{-36,23 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

$$T_{HN,DP,zima} = \underline{\underline{-36,23 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

Letní období:

$$\Delta T_{M,heat,HN,DP} + \omega_N * \Delta T_{N,exp} = 0 + 0,35 * 44 = \underline{\underline{15,4 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

$$\omega_M * \Delta T_{M,heat,HN,DP} + \Delta T_{N,exp} = 0,75 * 0 + 44 = \underline{\underline{44 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

$$T_{HN,DP,léto} = \underline{\underline{44 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

Mostovka:

Zimní období:

$$\Delta T_{M,cool,M} + \omega_N * \Delta T_{N,con} = 11,7 + 0,35 * (-45) = \underline{\underline{-4,05 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

$$\omega_M * \Delta T_{M,cool,M} + \Delta T_{N,noc} = 0,75 * 11,7 + (-45) = \underline{\underline{-36,23 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

$$T_{mostovka,zima} = \underline{\underline{-36,23 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

Letní období:

$$\Delta T_{M,heat,M} + \omega_N * \Delta T_{N,exp} = 0 + 0,35 * 44 = \underline{\underline{15,4 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

$$\omega_M * \Delta T_{M,heat,M} + \Delta T_{N,exp} = 0,75 * 0 + 44 = \underline{\underline{44 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

$$T_{mostovka,léto} = \underline{\underline{44 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

Příčné a podélné ztužení:

Zimní období:

$$\Delta T_{M,cool,Z} + \omega_N * \Delta T_{N,con} = 11,7 + 0,35 * (-45) = \underline{\underline{-4,05 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

$$\omega_M * \Delta T_{M,cool,Z} + \Delta T_{N,noc} = 0,75 * 11,7 + (-45) = \underline{\underline{-36,23 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

$$T_{ztužení,zima} = \underline{\underline{-36,23 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

Letní období:

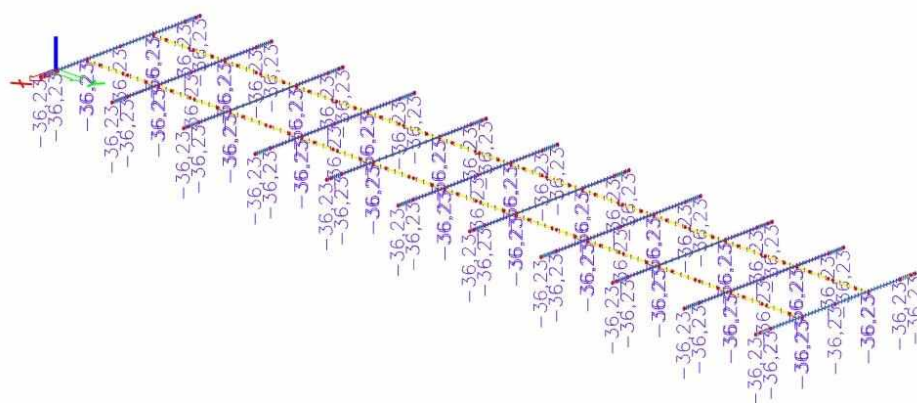
$$\Delta T_{M,heat,Z} + \omega_N * \Delta T_{N,exp} = 0 + 0,35 * 44 = \underline{\underline{15,4 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

$$\omega_M * \Delta T_{M,heat,Z} + \Delta T_{N,exp} = 0,75 * 0 + 44 = \underline{\underline{44 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

$$T_{ztužení,léto} = \underline{\underline{44 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$



Obrázek 19: Zatížení teplotou v létě_hlavní nosník



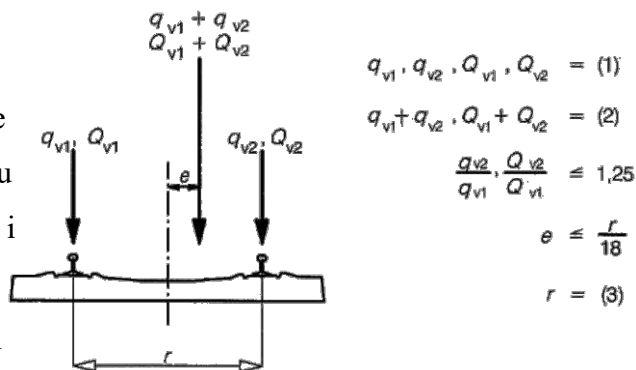
Obrázek 20: Zatížení teplotou v zimě_mostovka

4.2.3. Zatížení železniční dopravou

4.2.3.1. Vliv excentricity na zatížení od dopravy

Vliv excentricity na zatížení od dopravy na mostní konstrukci bylo počítáno podle normy ČSN EN 1991 - 2: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou.

Excentricita koleje vůči ose konstrukce byla naměřena přímo na mostním objektu (skutečná excentricita), současně se však musí i uvažovat excentricita svislého proměnného zatížení v důsledku nerovnoměrnosti kolových sil (teoretická excentricita).



Největší naměřená skutečná excentricita byla naměřena $e_{skutečná} = 155 \text{ mm}$. Excentricita teoretická byla stanovena dle normy jako $e_{teoretická} = \frac{r}{18}$, kde r je rozchod koleje.

$$e_{teoretická} = \frac{1500}{18} = \underline{83,333 \text{ mm}}$$

$$e_{skutečná} = \underline{155 \text{ mm}}$$

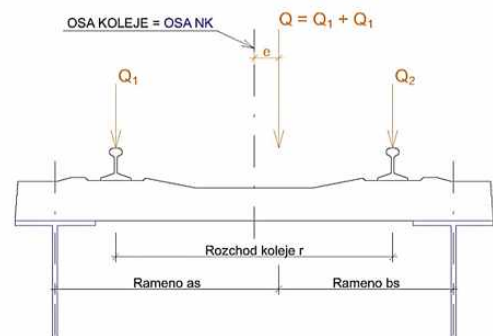
Jelikož byla skutečná excentricita přímo vymodelována v programu SCIA Engineer, následující vztahy platí pro teoretickou excentricitu. Vztahy vycházejí ze základní mechaniky, kde L představuje osovou vzdálenost mezi podélníky.

$$\text{rameno } a_s = \frac{L_{Po}}{2} + e_{teoretická} = \frac{1905}{2} + 83,333$$

$$a_s = \underline{1035,833 \text{ mm}}$$

$$\text{rameno } b_s = \frac{L_{Po}}{2} - e_{teoretická} = \frac{1905}{2} - 83,333$$

$$b_s = \underline{869,167 \text{ mm}}$$



Obrázek 21: Ukázka excentricity

Dále je potřeba přepočítat impulsy, kterými následně přenásobíme osamělé síly a spojitá zatížení, což bude reprezentovat excentricitu.

$$I_{vlevo} = \frac{a_s}{L_{Po}} = \frac{1035,833}{1905} = \underline{0,543743}$$

$$I_{vpravo} = \frac{b_s}{L_{Po}} = \frac{869,167}{1905} = \underline{0,456257}$$

Osamělé síly a spojitá zatížení od zatížení dopravy se pak přenásobí daným impulsem, pro levou kolejnici I_{vlevo} a pro pravou kolejnici I_{vpravo} .

Zatěžovací model LM71:

$$Q = 250 \text{ kN}$$

$$Q_{vlevo} = Q * I_{vlevo} = 250 * 0,543743 = \underline{135,935750 \text{ kN}}$$

$$Q_{vpravo} = Q * I_{vpravo} = 250 * 0,456257 = \underline{114,064305 \text{ kN}}$$

$$q = 80 \text{ kN/m}$$

$$q_{\text{vlevo}} = q * I_{\text{vlevo}} = 80 * 0,543\ 743 = \underline{\underline{43,499\ 423 \text{ kN/m}}}$$

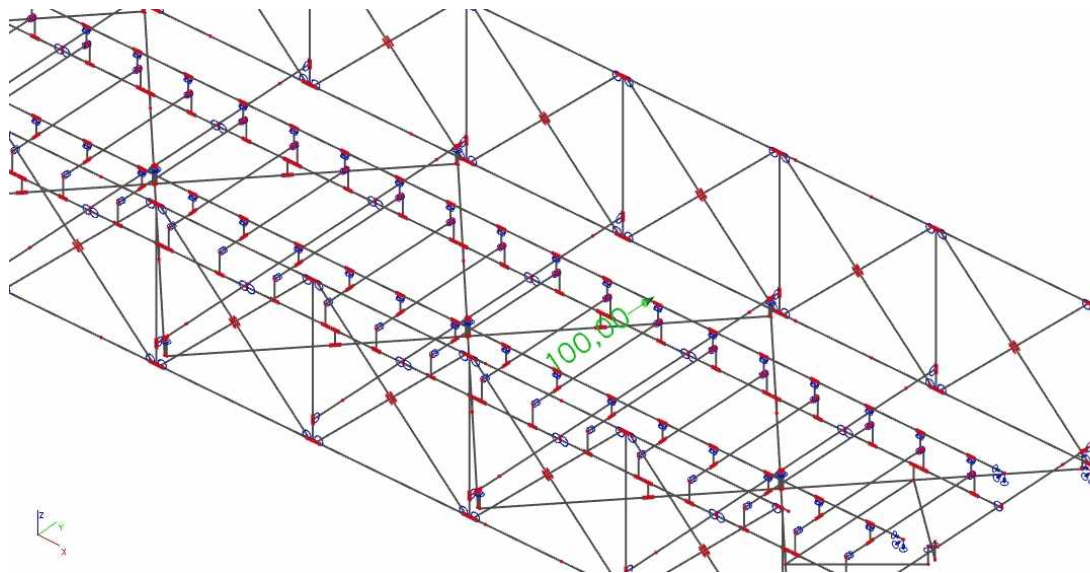
$$q_{\text{vpravo}} = q * I_{\text{vpravo}} = 80 * 0,456\ 257 = \underline{\underline{36,500\ 577 \text{ kN/m}}}$$

4.2.3.2. Zatížení bočními rázy

Zatížení bočními rázy bylo počítáno podle normy ČSN EN 1991 - 2: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou.

Boční ráz je charakterizována jako osamělá síla, která působí vodorovně v úrovni temene kolejnice a je kolmá na osu koleje. Uvažuje se hodnotou $Q_{BR} = 100 \text{ kN}$ a nepřenasobuje se hodnotou dynamického součinitele. ČSN EN 1991-2: 6.5.2 (1), (2)

Touto hodnotou se pak zatíží kolejnice, a to v místě nápravové síly vzniklé zatížením zatěžovacího modelu LM71. Jelikož se na konstrukci vejde celý zatěžovací model LM71 (což znamená 4 nápravové síly), je potřeba vyzkoušet a najít, u které nápravové síly vyvolá boční ráz nejhorsí účinek na posuzovaný prvek.



Obrázek 22: Zatížení bočním rázem pro horní pás ve změně průřezu I. - II.

4.2.3.3. Zatížení odstředivými silami

Zatížení odstředivými silami bylo počítáno podle normy ČSN EN 1991 - 2: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou.

Jelikož je konstrukce v pravotočivém oblouku o poloměru $R = 800$ m, je potřeba vypočítat i účinky odstředivých sil. Odstředivé síly se uvažují tak, že působí ven z oblouku ve výšce 1,8 m nad pojezděným povrchem. ČSN EN 1991-2: 6.5.1 (3)

Odstředivé síly se určují podle vztahu z normy.

$$Q_{OS} = \frac{v^2}{127 \cdot r} * (f \cdot Q) \quad \text{ČSN EN 1991-2: 6.5.1 (4)P_vztah 6.17}$$

$$q_{OS} = \frac{v^2}{127 \cdot r} * (f \cdot q) \quad \text{ČSN EN 1991-2: 6.5.1 (4)P_vztah 6.18}$$

v maximální rychlost

f redukční součinitel

Q, q charakteristická hodnota svislého zatížení modelu LM71

r poloměr zakřivení oblouku

Redukční součinitel f se bere dle normy jako hodnota $f = 1,00$, pro rychlosti menší než 120 km/h. ČSN EN 1991-2: 6.5.1 (8)_tabulka 6.7

Poloměr oblouku je dle Protokolu o podrobné prohlídce $R = 800$ m a rychlost je stanovena na dvě hodnoty. Hodnota rychlosti na mostě je 60 km/h a druhá rychlost je stanovena pro traťovou třídu C2 s přidruženou rychlostí na hodnotu 75 km/h.

pro rychlost $v_1 = 60$ km/h:

$$Q_{OS,60} = \frac{60^2}{127 \cdot 800} * (1 * 250) = 8,858 \text{ kN}$$

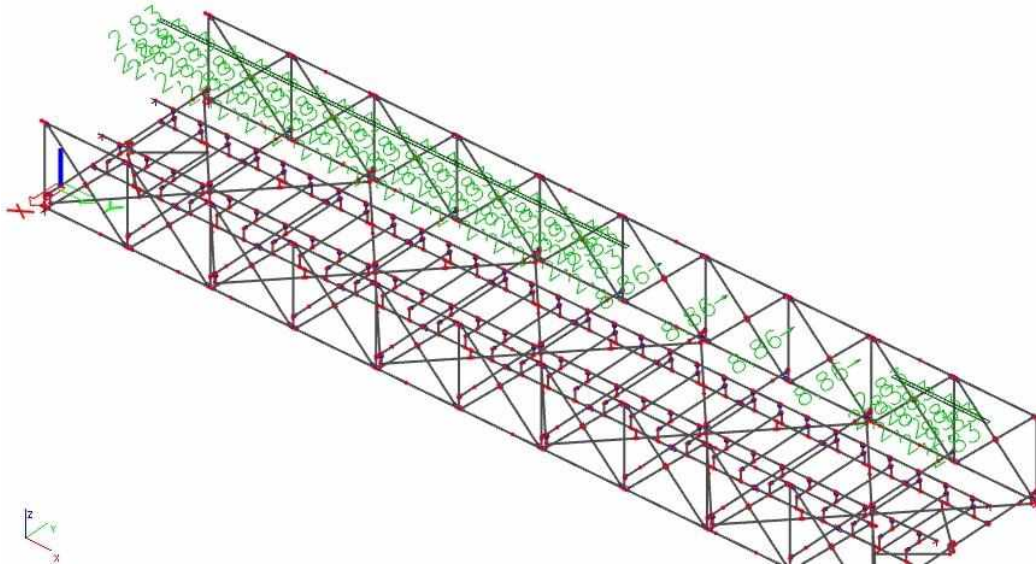
$$q_{OS,60} = \frac{60^2}{127 \cdot 800} * (1 * 80) = 2,835 \text{ kN/m}$$

pro rychlost $v_2 = 75$ km/h:

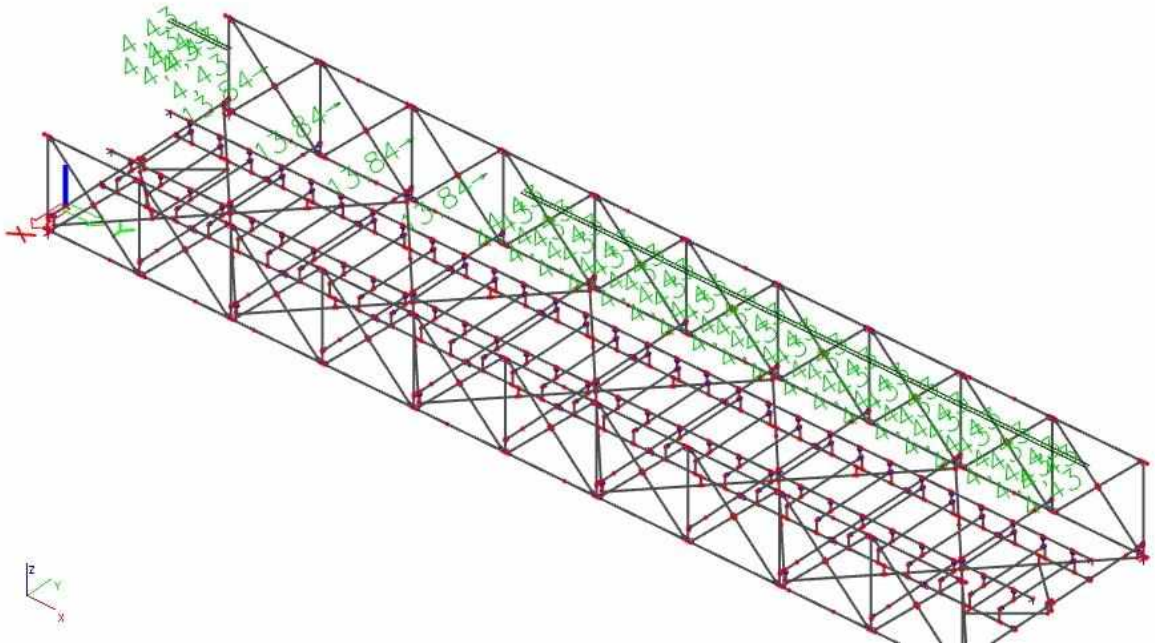
$$Q_{OS,75} = \frac{75^2}{127 \cdot 800} * (1 * 250) = 13,841 \text{ kN}$$

$$q_{OS,75} = \frac{75^2}{127 \cdot 800} * (1 * 80) = 4,429 \text{ kN/m}$$

Takto vypočítané osamělé síly a spojitě zatížení se pak přikládá k vytvořenému zatěžovacímu modelu LM71 tak, aby osamělé síly odstředivých sil lícovaly se silami od náprav vlaku a spojitě zatížení odstředivých sil lícovaly se spojitým zatížením vlaku.



Obrázek 23: Zatížení odstředivými silami pro rychlost 60 km/h pro dolní pás u změny průřezu I. - II.



Obrázek 24: Zatížení odstředivými silami pro rychlost 75 km/h pro krajní svislici pro posudek na tlak

4.2.3.4. Zatížení rozjezdovou a brzdovou silou

Zatížení rozjezdovou a brzdovou silou bylo počítáno podle normy ČSN EN 1991 - 2: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou.

Rozjezdové a brzdové síly působí v úrovni temene kolejnic v podélném směru koleje. Charakteristické hodnoty rozjezdových a brzdových sil se musí určit podle následujících vztahů.

Rozjezdová síla:

$$Q_{lak} = 33 \text{ [kN/m]} * L_{a,b} \text{ [m]} \leq 1\,000 \text{ [kN]} \quad \text{ČSN EN 1991-2: 6.5.3 (2)P_vztah 6.20}$$

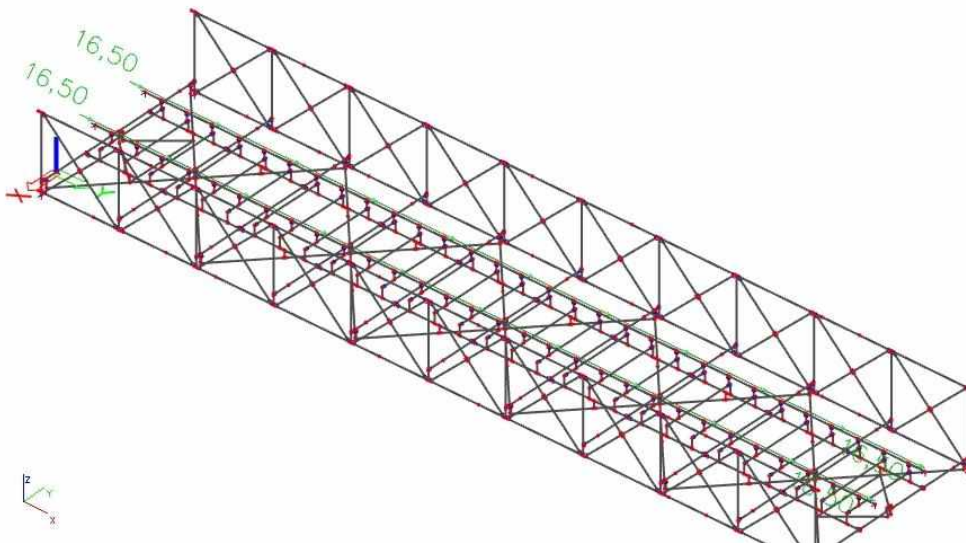
$$Q_{lak} = 33 * 20,15 = \underline{664,950 \text{ kN}} \leq 1\,000 \text{ kN}$$

Brzdná síla:

$$Q_{lbk} = 20 \text{ [kN/m]} * L_{a,b} \text{ [m]} \leq 6\,000 \text{ [kN]} \quad \text{ČSN EN 1991-2: 6.5.3 (2)P_vztah 6.20}$$

$$Q_{lbk} = 20 * 20,15 = \underline{403 \text{ kN}} \leq 6\,000 \text{ kN}$$

Jak je patrné, rozjezdová síla je méně příznivá, v tomto případě se tedy bude počítat s rozjezdovou silou $Q = Q_{lak} = 664,950 \text{ kN}$. Rozjezdové síly působí jako spojité zatížení ve vodorovném směru, tudíž používáme hodnotu $q = 33 \text{ kN/m}$ na obě kolejnice. Zatížení rozjezdovou silou na jednu kolejnici je tedy $q = 16,5 \text{ kN/m}$.



Obrázek 25: Zatížení rozjezdem ve směru staničení

4.2.3.5. Zatížení zatěžovacím modelem vlaku LM71

Zatížení zatěžovacím modelem vlaku LM71 bylo počítáno podle normy ČSN EN 1991-2: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravy.

Most je zatížen v programu SCIEA Engineer 19 zatěžovacím modelem vlaku LM71. Tento model reprezentuje statický účinek svislého zatížení od železniční dopravy. Pro zadání modelu do programu SCIA Engineer 19 bylo potřeba dopočítat dynamický součinitel Φ , který se spočítá podle následujícího vztahu, který platí pro standardně udržovanou kolej.

$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\Phi - 0,2}} + 0,73 \quad \text{ČSN EN 1991-2: 6.4.5.2 (2) vztah 6.5}$$

dynamický součinitel musí vyjít v rozmezí $1,00 \leq \Phi_3 \leq 2,00$

L_Φ náhradní délka ČSN EN 1991-2: 6.4.5.3 tabulka 6.2

Hlavní nosníky:

$$\Phi_{3,HN} = \frac{2,16}{\sqrt{20 - 0,2}} + 0,73 = \underline{1,24}$$

$L_\Phi =$ rozpětí nosníku = 20 m

Příčníky:

$$\Phi_{3,Př} = \frac{2,16}{\sqrt{2 \cdot 4,6 - 0,2}} + 0,73 = \underline{1,49}$$

$$\Phi_{3,Př,krajní} = \frac{2,16}{\sqrt{3,65 - 0,2}} + 0,73 = \underline{2,00}$$

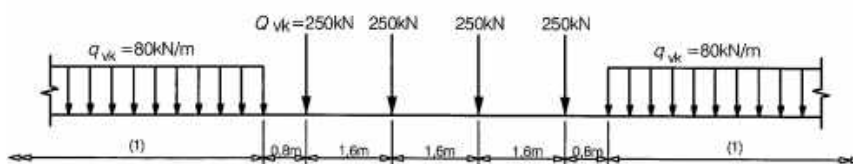
$L_\Phi =$ dvojnásobek délky příčnicku (pro krajní $L = 3,65$ m)

Podélníky:

$$\Phi_{3,Po} = \frac{2,16}{\sqrt{3 \cdot 2 - 0,2}} + 0,73 = \underline{1,69}$$

$L_\Phi =$ trojnásobek osové vzdálenosti příčníků

Zatěžovací model vlaku podle normy vypadá následujícím způsobem.



Obrázek 26: Zatěžovací model LM71

Nápravové síly i spojité zatížení byly rozděleny do dvou kolejnic podle impulzů v předchozí kapitole 4.2.3.1, přičemž rozklad sil je již v této kapitole vypočítán.

$$Q_{\text{vlevo}} = \underline{135,935\,750\text{ kN}}$$

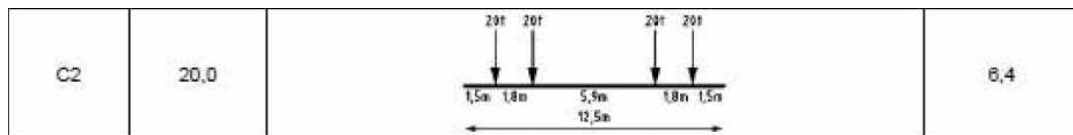
$$Q_{\text{vpravo}} = \underline{114,064\,305\text{ kN}}$$

$$q_{\text{vlevo}} = \underline{43,499\,423\text{ kN/m}}$$

$$q_{\text{vpravo}} = \underline{36,500\,577\text{ kN/m}}$$

4.2.3.6. Zatížení modelem vlaku pro traťovou třídu zatížení

Konstrukce je zatříděna do traťové třídy zatížení C2 s přidruženou rychlostí 75 km/h. Proto byla konstrukce zatížena modelem traťové třídy C2 podle normy ČSN EN 15528 přílohy A. Model byl vždy umístěn do stejného místa, jako model LM71.



Obrázek 27: Zatěžovací model C2

Dále byl podle Metodického pokynu vypočítán dynamický součinitel pro daný model traťové třídy, který závisí na náhradní délce L_{Φ} a na rychlosti provozního zatížení.

$$L_{\Phi} = \text{rozpětí nosníku} = 20\text{ m}$$

$$V_{\text{provozní}} = 75\text{ km/h}$$

Dle tabulky v Metodickém pokynu je pak stanoveno dynamický součinitel. *MP 5.2.5_Tabulka 5*

Hlavní nosníky:

$$\Phi_{\text{HN}} = \underline{1,330}$$

Příčníky:

$$\Phi_{\text{Př}} = \underline{1,837}$$

Podélníky:

$$\Phi_{\text{Po}} = \underline{1,840}$$

4.2.3.7. Způsob zatěžování konstrukce v modelu

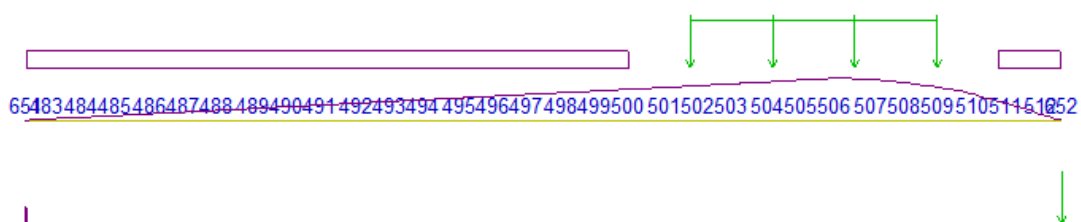
Konstrukci po vymodelování bylo potřeba zatížit všemi zatěžovacími stavy, které jsou v předešlých kapitolách uvedeny.

Vlastní tíha je v programu generována automaticky. Ostatní stálé zatížení bylo pomocí bodových sil upevněno k mostnicím a příčnicím v místech reálného upevnění.

Vítr byl vložen do modelu pomocí spojitých zatížení. Jednotlivé pruty (počítané v kapitole vítr), byly zatíženy k nim vypočítanými hodnotami. Zatížení větru od vlaku se pak vkládalo do kolejnice tak, aby působilo v těžišti vlaku (tedy na excentricitě 2 m). V modelu byly vytvořeny dva zatěžovací stavy od větru, a to podle směru větru (zleva i zprava).

Teplota se vložila do modelu taktéž ve dvou zatěžovacích stavech, a to pro zimní období a letní období. Veškeré pruty byly zatíženy hodnotami, které se stanovily v kapitole zatížení teplotou.

Dále se musela vymodelovat doprava. V programu se vytvořil model zatěžovacího vlaku LM71 a nechal se automaticky projet modelem. Z těchto prvotních hodnot, byly vybrány místa největšího působení daného modelu vlaku na určené pruty (v místech změny průřezu dolního i horního pásu, svislic, diagonál, podlínků, příčniců a ztužení). V takto vybraných místech se pomocí příčinkových čar nechaly vygenerovat jednotlivé zatěžovací stavy od modelu LM71. To znamená, že program pomocí příčinkových čar usadil model LM71 tak, aby vyvolal vždy na jednotlivé pruty, které chceme posuzovat, nejhorší možný účinek.



Obrázek 28: Příčinková čára pro horní pás

K takto vygenerovaným stavům modelu LM71 se pak dále doplňovaly ostatní zatížení od dopravy (boční rázy a odstředivé síly). Boční rázy, tedy hodnota 100 kN, se vždy vložila k nápravové síle od modelu LM71, přičemž, jelikož se na konstrukci vejde celý model (4 nápravové síly), musely se vždy posoudit jednotlivé nápravové síly a hledat se taková, u které boční ráz vyvolá na posuzovaný prvek nejhorší možný účinek.

Odstředivé síly byly taktéž vymodelovány tak, aby osamělé síly působily v místech působení nápravových sil od modelu LM71 a spojitá zatížení působily v místech působení spojitého zatížení od modelu LM71.

Posledním zatížením jsou brzdné a rozjezdové síly, které se uchytí pouze na kolejnici ve vodorovném směru, jsou modelovány pomocí spojitého zatížení. Tyto síly opět vytvářejí dva zatěžovací stavy, protože musíme předpokládat jednu jízdu ve směru staničení a po druhé proti směru staničení.

4.2.4. Součinitel zatížení dopravy α

Zatížení od dopravy (model LM71, boční rázy, odstředivé síly, rozjezdové a brzdné síly) je přenásobeno součinitelem α , který se bere dle Metodického pokynu jako hodnota $\alpha = 1,00$.

MP 4.3

5. Kombinace

5.1. Součinitele vstupující do kombinací

5.1.1. Součinitel účinků stálého zatížení

Dílčí součinitel účinku stálého zatížení byl určen z Metodického pokynu pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů.

MP 4.3.6_Tabulka 1

Tabulka 1- Dílčí součinitele účinků stálého zatížení

Dílčí součinitele účinků stálého zatížení γ_G					
Prvky nebo části mladší než 30 let		Prvky nebo části starší než 30 let			
Ocelové a prefabrikované betonové prvky	Prvky z ostatních materiálů	Ocelové a prefabrikované betonové prvky		Prvky z ostatních materiálů	
		Kontrola měřením rozměrů	Bez kontroly	Kontrola měřením rozměrů	Bez kontroly
1,25	1,30	1,20	1,25	1,25	1,30

Tabulka 2: Tabulka součinitelů stálého zatížení

Jelikož se jedná o konstrukci starší než 30 let (rok výroby 1870) a mostní objekt je ocelová konstrukce, byl použit součinitel účinků stálého zatížení 1,20, jelikož proběhla i kontrola měřením.

$$\gamma_G = \underline{1,20} [-]$$

V Metodickém pokynu je taktéž dopsáno, že jakmile bude použita kombinační rovnice 6.10 b, je potřeba výše uvedené součinitele zatížení dále redukovat součinitelem $\xi = 0,95$.

$$\gamma_{G,(6.10b)} = 1,20 * 0,95 = \underline{1,14}$$

5.1.2. Součinitel účinků zatížení větrem

Dílčí součinitel účinku zatížení větrem byl určen z Metodického pokynu pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů.

- pro nosné prvky mostních objektů mladší než 30 let: $\gamma_Q = 1,50$,
- pro nosné prvky stávajících mostních objektů starší než 30 let: $\gamma_Q = 1,35$.

MP 4.3.30

Jelikož je konstrukce starší než 30 let (rok výroby 1870), použili jsme součinitel proměnného zatížení od větru 1,35.

$$\gamma_{Q,vitr} = \underline{1,35} [-]$$

5.1.3. Součinitel účinků zatížení teplotou

Dílčí součinitel účinku zatížení teplotou byl určen z normy ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí.

$\gamma_Q = 1,20$, pokud Q reprezentuje nepříznivé působící zatížení od železniční dopravy, pro sestavy zatížení 16 a 17 a SW2; (0 pro příznivá);
 $\gamma_Q = 1,50$ pro ostatní zatížení dopravou a pro další proměnná zatížení; ²⁾

ČSN EN 1990: Tabulka A2.4(B)

Jelikož se jedná o zatížení teplotou, tedy ostatní proměnné zatížení, bere se hodnota 1,50.

$$\gamma_{Q,teplota} = \underline{1,50} [-]$$

5.1.4. Součinitel účinků zatížení železniční dopravou

Dílčí součinitel účinku stálého zatížení byl určen z Metodického pokynu pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů.

- pro nosné prvky mostních objektů mladší než 30 let: $\gamma_{Q,LM71} = 1,45$,
- pro nosné prvky stávajících mostních objektů starší než 30 let: $\gamma_{Q,LM71} = 1,30$.

MP 4.3.13

Tyto hodnoty platí podle Metodického pokynu jak pro samotný zatěžovací model LM71, tak i pro boční rázy, odstředivé síly a rozjezdové/brzděné síly. Jelikož je konstrukce starší než 30 let (rok výroby 1870), použili jsme součinitel proměnného zatížení od železniční dopravy 1,3.

$$\gamma_{Q,LM71} = \underline{1,3} [-]$$

5.1.5. Kombinační součinitelé ψ_0 , ψ_1 a ψ_2

Ψ_0 = součinitel kombinační hodnoty proměnného zatížení

Ψ_1 = součinitel časté hodnoty proměnného zatížení

Ψ_2 = součinitel kvazistálé hodnoty proměnného zatížení

5.1.5.1. Kombinační součinitel pro zatížení větrem

Kombinační součinitele pro zatížení větrem byly určeny z normy ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí.

$$\Psi_0 = 0,75 [-]$$

$$\Psi_1 = 0,50 [-]$$

$$\Psi_2 = 0,00 [-]$$

ČSN EN 1990: Tabulka A2.3

5.1.5.2. Kombinační součinitel pro zatížení teplotou

Kombinační součinitele pro zatížení větrem byly určeny z normy ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí.

$$\Psi_0 = 0,60 [-]$$

$$\Psi_1 = 0,60 [-]$$

$$\Psi_2 = 0,50 [-]$$

ČSN EN 1990: Tabulka A2.3

5.1.5.3. Kombinační součinitel pro zatížení dopravou

Kombinační součinitele pro zatížení větrem byly určeny z normy ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí.

$$\Psi_0 = 0,80 [-]$$

$$\Psi_1 = 0,80 [-]$$

$$\Psi_2 = 0,00 [-]$$

ČSN EN 1990: Tabulka A2.3

5.2. Kombinace zatížení

Kombinace zatížení byly určeny z normy ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí a vytvářejí se i tzv. sestavy zatížení podle normy ČSN EN 1991-2 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou.

Současné působení zatížení od dopravy (boční rázy, odstředivé síly, rozjezdové/brzděné síly, síly od zatížení zatěžovacím modelem LM71) lze uvažovat tzv. sestavami zatížení, které jsou charakterizovány v tabulce v normě. Každá z těchto sestav zatížení, které se navzájem vylučují, se má uvažovat jako jednotlivé proměnné charakteristické zatížení pro kombinaci s nedopravním zatížením. Každá sestava zatížení se má použít jako jednotlivé proměnné zatížení.

ČSN EN 1991-2:6.8.2 (1)

Pro mostní objekty zatížené železniční dopravou uvažujeme sestavy zatížení gr11 - gr14.

Počet kolejí na konstrukci			Sestavy zatížení			Svislé síly			Vodorovné síly			Poznámka
1	2	≥ 3	odkazy EN 1991-2			6.3.2/ 6.3.3	6.3.3	6.3.4	6.5.3	6.5.1	6.5.2	
			počet zatížených kolejí	sestava zatížení ⁽⁵⁾	zatížená kolej	LM71 ⁽¹⁾ SW/O ^{(1),(2)} HSLM ^{(6),(7)}	SW/2 ^{(1),(3)}	nezatížený vlak	rozjezd, brzdění ⁽¹⁾	odstředivá síla ⁽¹⁾	boční ráz ⁽¹⁾	
			1	gr11	T ₁	1			1 ⁽⁵⁾	0,5 ⁽⁵⁾	0,5 ⁽⁵⁾	max. svislá 1 s max. podélnou
			1	gr 12	T ₁	1			0,5 ⁽⁵⁾	1 ⁽⁵⁾	1 ⁽⁵⁾	max. svislá 2 s max. příčnou
			1	gr 13	T ₁	1 ⁽⁴⁾			1	0,5 ⁽⁵⁾	0,5 ⁽⁵⁾	max. podélná
			1	gr 14	T ₁	1 ⁽⁴⁾			0,5 ⁽⁵⁾	1	1	max. boční

Tabulka 3: Tabulky GR11 - GR14

ČSN EN 1991-2:Tabulka 6.11

Kombinace ostatního zatížení (vlastní tíha, ostatní stálá zatížení, zatížení větrem a zatížení teplotou) současně se vyskytující spolu se zatížením dopravou se stanoví podle normy ČSN EN 1990. Dle národní přílohy se při výběru kombinace upřednostňuje méně příznivá kombinace z obou vypsanych 6.10a nebo 6.10b. Zatížení od zatěžovacího modelu LM71 je ještě potřeba přenásobit vypočítaným dynamickým součinitelem pro daný prvek.

Veškeré součinitele zatížení a kombinační součinitele použité v kombinacích jsou vypsány v předešlé kapitole práce.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,1} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10a)$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,1} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10b)$$

ČSN EN 1990:Tabulka A2.4(B)

5.2.1. Ukázka vypočítaných kombinací

Ukázka výpočtu kombinace je vytvořena pro horní pás pro změnu průřezu I. - II.. V následující tabulce jsou ukázány použité součinitele dle použité kombinace. Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR14, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.2	Teplota zima	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.1	BR HP pr I.-II.	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.1a	OS 75 HP pr I.-II.	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.1	LM71 HP pr I.-II.	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.1	C2 HP pr I.-II.	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Charakteristické hodnoty byly pro daný prut vybrány a vyhodnoceny programem SCIA Engineer. Z takto připravených vnitřních charakteristických hodnot byly dle následující rovnice přepočteny veškeré hodnoty (N, Vz, My a Mz) na návrhové, se kterými se pak dále počítá.

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,1} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10b)$$

V následující tabulce jsou ukázány jak charakteristické, tak i již přepočtené návrhové hodnoty pro horní pás. Vnitřní síla byla vždy jen přenásobena součiniteli dle kombinace a tím vznikla hodnota návrhová.

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-95,44 kN	-0,85 kN	0,56 kNm	0,04 kNm	-108,80 kN	0,97 kN	0,64 kNm	0,05 kNm
-19,97 kN	-0,13 kN	0,09 kNm	0,02 kNm	-22,77 kN	0,15 kN	0,10 kNm	0,02 kNm
-40,11 kN	-0,29 kN	0,18 kNm	0,10 kNm	-40,61 kN	0,29 kN	0,18 kNm	0,10 kNm
-2,83 kN	-0,09 kN	0,98 kNm	-0,48 kNm	-2,55 kN	0,08 kN	0,88 kNm	0,00 kNm
-18,48 kN	-0,21 kN	0,17 kNm	-0,32 kNm	-24,02 kN	0,27 kN	0,22 kNm	0,00 kNm
-46,94 kN	-0,36 kN	0,22 kNm	0,03 kNm	-61,02 kN	0,47 kN	0,29 kNm	0,04 kNm
-16,39 kN	0,12 kN	0,72 kNm	0,23 kNm	-10,65 kN	0,00 kN	0,47 kNm	0,15 kNm
-868,35 kN	-6,02 kN	4,01 kNm	0,99 kNm	-1394,82 kN	9,67 kN	6,44 kNm	1,59 kNm
-519,82 kN	-3,51 kN	2,55 kNm	1,04 kNm	-898,77 kN	6,07 kN	4,41 kNm	1,80 kNm
-1108,51 kN	-7,83 kN	6,93 kNm	0,61 kNm	-1665,24	11,90	9,22	1,95

Ukázku výpočtu:

$$N_{\text{vlastní tíha}} = G_k * \gamma_{G,1} * \xi = -95,44 * 1,14 * 1,0 = \underline{-108,802 \text{ kN}}$$

$$V_{\text{vitr}} = \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i} = -0,29 * 1,35 * 0,75 = \underline{-0,293 \text{ kN}}$$

$$M_{\text{yvlak LM71}} = \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i} * \Phi = 4,01 * 1,30 * 1,00 * 1,24 = \underline{6,440 \text{ kN}}$$

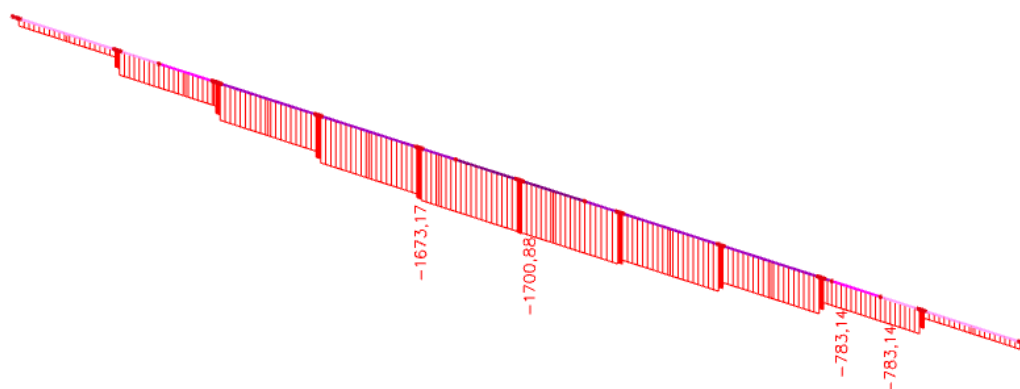
6. Posouzení hlavního nosníku

6.1. Posouzení horního pásu

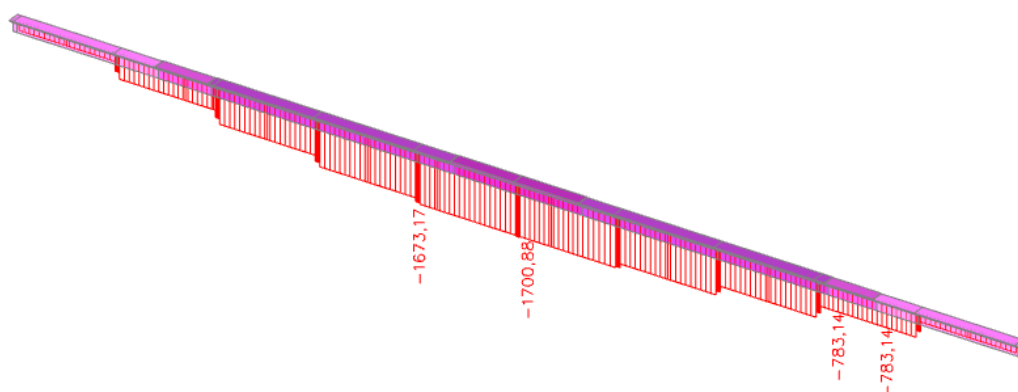
Jelikož se jedná o horní pás hlavního nosníku, kde představuje nejhorší zatížení normálová síla ve formě tlaku, posuzovaly se prvky horního pásu na tlak. Dále se prvky horního pásu posoudily na zatížitelnost a na přechodnost.

Posuzovaly se prvky horního pásu levého hlavního nosníku, protože tento nosník byl vzhledem k excentricitě působení sil a odstředivým silám více zatížený, proto můžeme předpokládat, že prvky horního pásu pravého nosníku vyjdou taktéž (vzhledem k menšímu zatížení).

Mezi posuzované prvky patří místo uprostřed nosníku na maximální normálovou sílu a dále se posuzovaly vždy místa změny průřezu (místa zesílení pásnice).

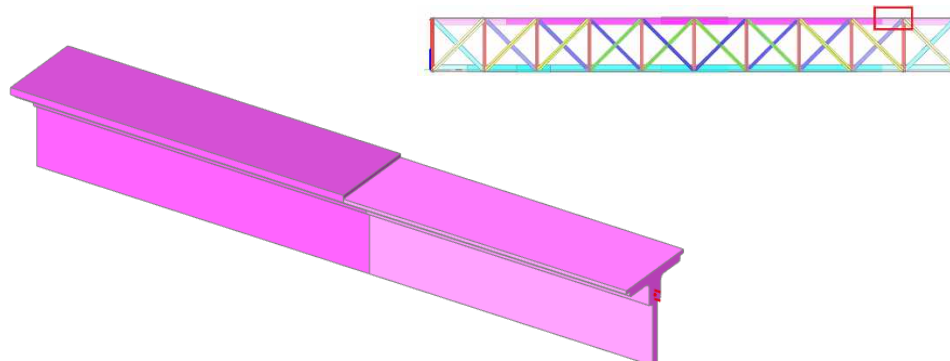


Obrázek 29: Průběh normálové síly od LM71 pro výpočet maximální N



Obrázek 30: Průběh normálové síly od LM71 pro výpočet maximální N

6.1.1. Posouzení změny průřezu I. - II.



Obrázek 31: Horní pás změna průřezu I. - II.

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR14, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z_{uvaz}/Gr_{XX}	Zuvaž/součinitel α	
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ			
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00	
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00	
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00	
3.2	Teplota zima	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00	
4.1	BR HP pr I.-II.	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00	
5.1a	OS 75 HP pr I.-II.	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00	
6.2	Rozj. proti směř	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00	
7.1	LM71 HP pr I.-II.	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00	
8.1	C2 HP pr I.-II.	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00	
Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-95,44 kN	-0,85 kN	0,56 kNm	0,04 kNm	-108,80 kN	0,97 kN	0,64 kNm	0,05 kNm
-19,97 kN	-0,13 kN	0,09 kNm	0,02 kNm	-22,77 kN	0,15 kN	0,10 kNm	0,02 kNm
-40,11 kN	-0,29 kN	0,18 kNm	0,10 kNm	-40,61 kN	0,29 kN	0,18 kNm	0,10 kNm
-2,83 kN	-0,09 kN	0,98 kNm	-0,48 kNm	-2,55 kN	0,08 kN	0,88 kNm	0,00 kNm
-18,48 kN	-0,21 kN	0,17 kNm	-0,32 kNm	-24,02 kN	0,27 kN	0,22 kNm	0,00 kNm
-46,94 kN	-0,36 kN	0,22 kNm	0,03 kNm	-61,02 kN	0,47 kN	0,29 kNm	0,04 kNm
-16,39 kN	0,12 kN	0,72 kNm	0,23 kNm	-10,65 kN	0,00 kN	0,47 kNm	0,15 kNm
-868,35 kN	-6,02 kN	4,01 kNm	0,99 kNm	-1394,82 kN	9,67 kN	6,44 kNm	1,59 kNm
-519,82 kN	-3,51 kN	2,55 kNm	1,04 kNm	-898,77 kN	6,07 kN	4,41 kNm	1,80 kNm
-1108,51 kN	-7,83 kN	6,93 kNm	0,61 kNm	-1665,24	11,90	9,22	1,95

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

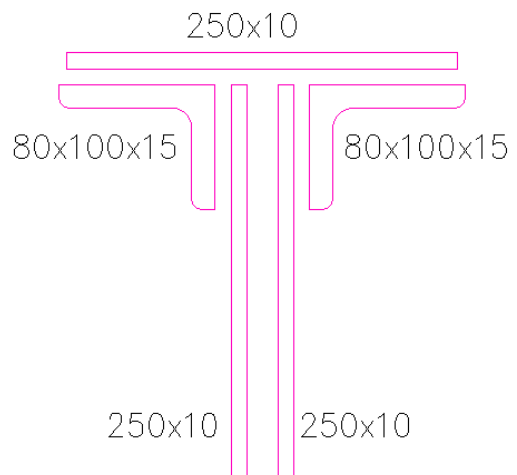
	Celkem	Rs	LM71
N =	-1665,24	-270,43	-1394,82
Vz =	11,90	2,23	9,67
My =	9,22	2,78	6,44
Mz =	1,95	0,36	1,59

Tabulka 4: Kombinace pro horní pás změna průřezu I. - II.

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,260 m
Šířka pásnice b:	0,250 m
Tloušťka pásnice t_f :	0,010 m
Tloušťka stojiny t_w :	0,020 m
Výška stojiny h_w :	0,250 m
Krční úhelníky:	L 80x100x15



Obrázek 32: Průřez horního pásu _změna průřezu I. - II.

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,012 493 m ²
Moment setrvačnosti I_y :	0,000 067 123 m ⁴
Moment setrvačnosti I_z :	0,000 026 926 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i_y :	0,073 m
Poloměr setrvačnosti i_z :	0,046 m
Průřezový elastický modul $W_{el,y}$:	0,000 349 980 m ³
Průřezový elastický modul $W_{el,z}$:	0,000 215 410 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,y}$:	0,000 685 810 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,z}$:	0,000 394 960 m ³

Posouzení průřezu na tlakové účinky

Zatřívění průřezu

$$\text{Zatřívění stojiny: } \frac{c}{t} = \frac{0,170}{0,020} = \underline{8,5}$$

$$9 * \varepsilon = 9 * 1,06 = 9,521 [-]$$

$$\frac{c}{t} \leq 9 * \varepsilon = 8,5 \leq 9,521$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Stojina spadá do I. třídy průřezu.

ČSN EN 1993-1-1_5.6_tabulka 5.2

Zatřídění pásnice: $\frac{c}{t} = \frac{0,015}{0,010} = \underline{1,5}$

$$9 * \varepsilon = 9 * 1,06 = 9,521 [-]$$

$$\frac{c}{t} \leq 9 * \varepsilon = 1,5 \leq 9,521$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Pásnice spadá do I. třídy průřezu.

ČSN EN 1993-1-1_5.6_tabulka 5.2

Průřez spadá do I. třídy průřezu. Pro bezpečnější výpočet a dle Metodického pokynu (odstavce A 2.2.4.) se ve výpočtech používají hodnoty elastické.

Výpočet součinitele vzpěrnosti

Štíhlost prutu:

$$\lambda_{y,z} = \frac{L_{y,z}}{i_{y,z}}$$

ČSN EN 1993-1-1_6.3.1.3 (1)_vztah 6.50

$L_{y,z}$ vzpěrná délka v uvažované rovině

$i_{y,z}$ poloměr setrvačnosti k příslušné ose

$$L_y = L_z = 0,9 * L_{vzpěr} = 0,9 * 2,0 = \underline{1,8 \text{ m}}$$

$$\lambda_y = \frac{1,8}{0,073} = \underline{24,657 \ 530 [-]}$$

$$\lambda_z = \frac{1,8}{0,046} = \underline{39,130 \ 430 [-]}$$

Poměrná štíhlost prutu:

$$\overline{\lambda}_{y,z} = \frac{\lambda_{y,z}}{\lambda_1}$$

ČSN EN 1993-1-1_6.3.1.3 (1)_vztah 6.50

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 1,06 = \underline{99,534 [-]}$$

$$\overline{\lambda}_y = \frac{24,657 \ 530}{99,534} = \underline{0,248 \ 233 [-]}$$

$$\overline{\lambda}_z = \frac{39,130 \ 430}{99,534} = \underline{0,393 \ 935 [-]}$$

Součinitel vzpěrnosti θ_y :

$$\theta_y = 0,5 * [1 + \alpha * (\overline{\lambda}_y - 0,2) + \overline{\lambda}_y^2]$$

ČSN EN 1993-1-1_6.3.1.2 (1)_vztah 6.49

α součinitel imperfekce

$\alpha =$ křivka c = 0,49

ČSN EN 1993-1-1_tabulka 6.1 a 6.2

$$\theta_y = 0,5 * [1 + 0,49 * (0,248 \ 233 - 0,2) + 0,248 \ 233^2]$$

$$\theta_y = \underline{0,542 \ 627 [-]}$$

$$\chi_y = \frac{1}{\theta_y + \sqrt{\theta_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} \leq 1 \quad \text{ČSN EN 1993-1-1}_6.3.1.2 (1) \text{ vztah 6.49}$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,542\ 627 + \sqrt{0,542\ 627^2 - 0,248\ 233^2}} = \underline{0,975\ 471 [-]}$$

Součinitel vzpěrnosti z: $\theta_z = 0,5 * [1 + \alpha * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2]$

ČSN EN 1993-1-1_6.3.1.2 (1) vztah 6.49

α součinitel imperfekce

$\alpha =$ křivka c = 0,49

ČSN EN 1993-1-1_tabulka 6.1 a 6.2

$$\theta_z = 0,5 * [1 + 0,49 * (0,393\ 935 - 0,2) + 0,393\ 935^2]$$

$$\theta_z = \underline{0,625\ 107 [-]}$$

$$\chi_z = \frac{1}{\theta_z + \sqrt{\theta_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} \leq 1 \quad \text{ČSN EN 1993-1-1}_6.3.1.2 (1) \text{ vztah 6.49}$$

$$\chi_z = \frac{1}{0,625\ 107 + \sqrt{0,625\ 107^2 - 0,393\ 935^2}} = \underline{0,900\ 523 [-]}$$

Pro výpočet únosnosti průřezu na tlak bereme méně příznivou hodnotu součinitele vzpěrnosti. Pro tento případ se jedná o součinitel vzpěrnosti χ_z .

Výpočet únosnosti průřezu na tlak

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z * f_y * A}{\gamma_{m,1}} \quad \text{ČSN EN 1993-1-1}_6.3.1.1 (3) \text{ vztah 6.47}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,900\ 523 * 210\ 000\ 000 * 0,012\ 493}{1,20} = 1\ 968\ 791,370\ \text{N} = \underline{1\ 968,791\ \text{kN}}$$

$$N_{b,Rd} > N_{b,Ed}$$

$$1\ 968,791\ \text{kN} > 1\ 665,241\ \text{kN}$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jak je patrné z podmínky dané normou, která vyhověla, průřez je na zatížení v tlaku únosný a průřez se tedy nemusí zesilovat.

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
-1 665,241		11,903		9,221		1,948	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
-270,425	-1 394,815	2,233	9,670	2,780	6,441	0,358	1,590

Tabulka 5: Vnitřní síly pro horní pás změna průřezu I. - II.

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{h_w * t_w * f_{yw}}{\sqrt{3} * \gamma_{m,0}} \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.7)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,250 * 0,020 * 210\,000\,000}{\sqrt{3} * 1,1} = 551\,107,075 \text{ N} = \underline{\underline{551,107 \text{ kN}}}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

V_{LM71} návrhová hodnota smykové síly od svislého proměnného zatížení železniční dopravou reprezentovaného modelem LM71 včetně dynamických účinků

$V_{rs,Ed}$ návrhová, kombinační nebo skupinová hodnota smykové síly od ostatních zatížení, které působí současně se svislým proměnným zatížením železniční dopravou

Z_{LM71} zatížitelnost, hodnotu neznáme, proto se doporučuje v prvním kroku brát hodnotu $Z_{LM71} = 1,0$ MP A.2.2.11_vztah (A.12)

$$V_{Ed} = 1,0 * 9,670 + 2,233 = \underline{\underline{11,900 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{11,900}{551,107} = \underline{\underline{0,021\ 593\ [-]}}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,Rs}}{\eta_{1,LM71}} \quad MP\ A.2.2.11_vztah\ (A.9)$$

$$\eta_{1,Rs} = \frac{N_{Rs,Ed}}{A \cdot f_y} + \frac{M_{y,Rs,Ed}}{W_{el,y} \cdot f_y} + \frac{M_{z,Rs,Ed}}{W_{el,z} \cdot f_y} \quad MP\ A.2.2.11_vztah\ (A.10)$$

$$\eta_{1,Rs} = \frac{270\ 425}{\frac{0,012\ 493 \cdot 210\ 000\ 000}{1,10}} + \frac{2\ 780}{\frac{0,000\ 350 \cdot 210\ 000\ 000}{1,10}} + \frac{358}{\frac{0,000\ 215 \cdot 210\ 000\ 000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,113 + 0,042 + 0,009 = \underline{\underline{0,164\ [-]}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71,Ed}}{A \cdot f_y} + \frac{M_{y,LM71,Ed}}{W_{el,y} \cdot f_y} + \frac{M_{z,LM71,Ed}}{W_{el,z} \cdot f_y} \quad MP\ A.2.2.11_vztah\ (A.11)$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{1\ 394\ 815}{\frac{0,012\ 493 \cdot 210\ 000\ 000}{1,10}} + \frac{6\ 441}{\frac{0,000\ 350 \cdot 210\ 000\ 000}{1,10}} + \frac{1\ 590}{\frac{0,000\ 215 \cdot 210\ 000\ 000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,585 + 0,096 + 0,039 = \underline{\underline{0,720\ [-]}}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,Rs}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,164}{0,720}$$

$$Z_{LM71} = \underline{\underline{1,162\ [-]}}$$

Kontrolní přepoččet podmínky η_3 po prvním iteračním kroku:

$$V_{Ed} = Z_{LM71} \cdot V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,162 \cdot 9,670 + 2,233$$

$$V_{Ed} = \underline{\underline{13,585\ 970\ kN}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{13,585\ 970}{551,107} = \underline{\underline{0,024\ 652\ [-]}}$$

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy nemusíme pokračovat v iteračním postupu a hodnota zatížitelnosti je rovna $Z_{LM71} = 1,162 [-]$. Jelikož je zatížitelnost větší než jedna, prvek na zatížitelnost vyhovuje.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i} \quad MP\ 5.1.3_vztah\ (5.4)$$

ψ součinitel dynamické redukce

λ_{LM71} účinnost provozního zatížení

k_i podíl účinku zatížení definovaného i-tou příčinkovou čarou na celkovém namáhání prvku mostního objektu

$$\psi = \frac{\Phi_{Ti}}{\Phi_{3,HN}} \quad MP\ 5.1.3_vztah\ (5.2)$$

Φ_{Ti} dynamický součinitel provozního zatížení

$\Phi_{3,HN}$ dynamický součinitel modelu LM71

$$\psi = \frac{1,330}{1,24} = \underline{1,076 [-]}$$

$$\lambda_{LM71} = \frac{E_{T,Ed}}{E_{LM71,Ed}}$$

$E_{T,Ed}$ návrhová hodnota provozního zatížení

$E_{LM71,Ed}$ návrhová hodnota modelu LM71

Zatížení	γ_f	N	Vz	My	Mz
$M_{ttz,C2} =$	1,30	-519,82	-3,51	2,55	1,04
$M_{LM71} =$	1,30	-868,35	-6,02	4,01	0,99

Tabulka 6: Vnitřní síly od vlaků pro horní pás _změna průřezu I. - II.

$$\text{pro } N: \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 * (-519,820)}{1,3 * (-868,350)} = \underline{0,599 [-]}$$

$$\text{pro } V_z: \lambda_{LM71,V_z} = \frac{1,3 * (-3,510)}{1,3 * (-6,020)} = \underline{0,583 [-]}$$

$$\text{pro } M_y: \lambda_{LM71,M_y} = \frac{1,3 * 2,550}{1,3 * 4,010} = \underline{0,636 [-]}$$

$$\text{pro } M_z: \lambda_{LM71,M_z} = \frac{1,3 * 1,040}{1,3 * 0,990} = \underline{1,051 [-]}$$

$$k_i = \frac{\eta_{1,R_s,i} + \eta_{1,LM71,i}}{\eta_{1,R_s} + \eta_{1,LM71}}$$

$\eta_{1,R_s}, \eta_{1,LM71}$ celkové hodnoty vypočteny v kapitole výpočet zatížitelnosti

$\eta_{1,R_s,i}, \eta_{1,LM71,i}$ konkrétní hodnoty (pro N, My, Mz) vypočteny v kapitole výpočet zatížitelnosti

$$\text{pro } N: k_{i,N} = \frac{0,113 + 0,585}{0,164 + 0,720} = \underline{0,790 [-]}$$

$$\text{pro } V_z: k_{i,V_z} = \frac{0,000 + 0,000}{0,164 + 0,720} = \underline{0,000 [-]}$$

$$\text{pro } M_y: k_{i,M_y} = \frac{0,042 + 0,096}{0,164 + 0,720} = \underline{0,156 [-]}$$

$$\text{pro } M_z: k_{i,M_z} = \frac{0,009 + 0,039}{0,164 + 0,720} = \underline{0,054 [-]}$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

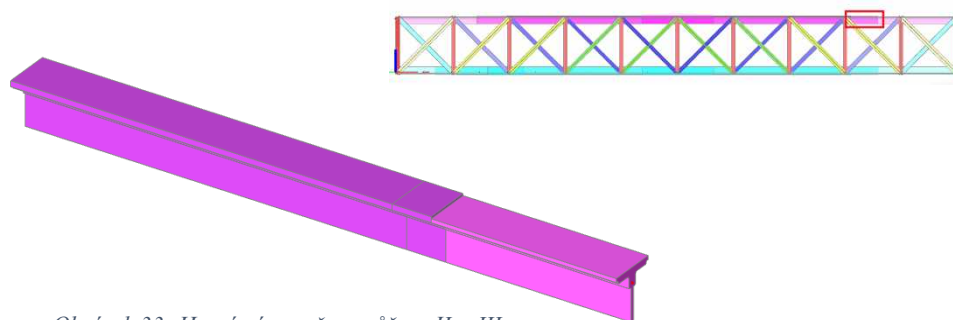
$$1,162 \geq (0,790 * 1,076 * 0,599) + (0,000 * 1,076 * 0,583) + (0,156 * 1,076 * 0,636) + (0,054 * 1,076 * 1,051)$$

$$1,162 \geq 0,677$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jak je patrné ze splněné podmínky, prvek je přechodný pro traťovou třídu C2 s přidruženou rychlostí 75 km/h.

6.1.2. Posouzení změny průřezu II. - III.



Obrázek 33: Horní pás změna průřezu II. - III.

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR14, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z_{uvaz}/Gr_{XX}	Zuvaž/součinitel α
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stálé zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.2	Teplota zima	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.2	BR HP pr II.-III.	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.2a	OS 75 HP pr II.-III.	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.2	LM71 HP pr II.-III.	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.2	C2 HP pr II.-III.	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-95,44 kN	0,27 kN	-0,13 kNm	0,04 kNm	-108,80 kN	0,24 kN	-0,12 kNm	0,05 kNm
-19,97 kN	-0,13 kN	0,01 kNm	0,02 kNm	-22,77 kN	0,15 kN	0,01 kNm	0,02 kNm
-40,11 kN	-0,29 kN	0,06 kNm	-0,16 kNm	-40,61 kN	0,29 kN	0,06 kNm	0,00 kNm
-2,83 kN	-0,09 kN	1,04 kNm	-0,58 kNm	-2,55 kN	0,08 kN	0,94 kNm	0,00 kNm
-18,48 kN	-0,21 kN	0,18 kNm	-0,78 kNm	-24,02 kN	0,27 kN	0,23 kNm	0,00 kNm
-46,94 kN	-0,36 kN	0,09 kNm	-0,26 kNm	-61,02 kN	0,47 kN	0,12 kNm	0,00 kNm
-16,39 kN	0,12 kN	0,44 kNm	0,24 kNm	-10,65 kN	0,00 kN	0,29 kNm	0,16 kNm
-868,35 kN	-6,02 kN	1,03 kNm	1,41 kNm	-1394,82 kN	9,67 kN	1,65 kNm	2,26 kNm
-519,82 kN	-3,51 kN	0,68 kNm	0,89 kNm	-898,77 kN	6,07 kN	1,18 kNm	1,54 kNm
-1108,51 kN	-6,71 kN	2,72 kNm	-0,07 kNm	-1665,24	11,18	3,18	2,49

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

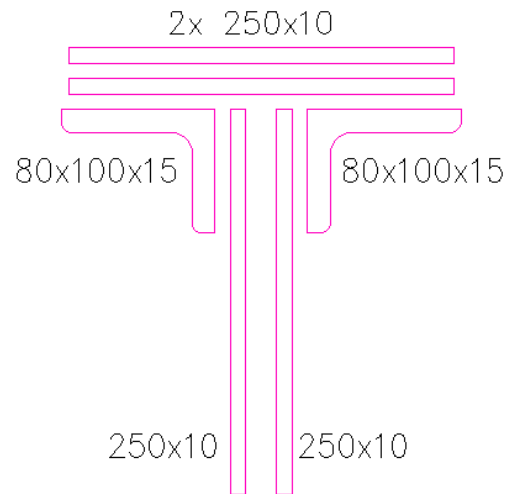
	Celkem	Rs	LM71
N =	-1665,24	-270,43	-1394,82
Vz =	11,18	1,51	9,67
My =	3,18	1,53	1,65
Mz =	2,49	0,22	2,26

Tabulka 7: Kombinace pro horní pás změna průřezu II. - III.

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,270 m
Šířka pásnice b:	0,250 m
Tloušťka pásnice t_f :	0,020 m
Tloušťka stojiny t_w :	0,020 m
Výška stojiny h_w :	0,250 m
Krční úhelníky:	L 80x100x15



Obrázek 34: Průřez horního pásu _změna průřezu II. - III.

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,014 493 m ²
Moment setrvačnosti I_y :	0,000 078 309 m ⁴
Moment setrvačnosti I_z :	0,000 039 947 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i_y :	0,072 m
Poloměr setrvačnosti i_z :	0,052 m
Průřezový elastický modul $W_{el,y}$:	0,000 383 870 m ³
Průřezový elastický modul $W_{el,z}$:	0,000 319 580 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,y}$:	0,000 761 380 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,z}$:	0,000 551 210 m ³

Posouzení průřezu na tlakové účinky

Zatřívění průřezu

$$\text{Zatřívění stojiny: } \frac{c}{t} = \frac{0,170}{0,020} = \underline{8,5}$$

$$9 * \varepsilon = 9 * 1,06 = 9,521 [-]$$

$$\frac{c}{t} \leq 9 * \varepsilon = 8,5 \leq 9,521$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Stojina spadá do I. třídy průřezu.

$$\text{Zatřídění pásnice: } \frac{c}{t} = \frac{0,015}{0,020} = \underline{0,75}$$

$$9 * \varepsilon = 9 * 1,06 = 9,521 [-]$$

$$\frac{c}{t} \leq 9 * \varepsilon = 0,75 \leq 9,521$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Pásnice spadá do I. třídy průřezu.

ČSN EN 1993-1-1_5.6_tabulka 5.2

Průřez spadá do I. třídy průřezu. Pro bezpečnější výpočet a dle Metodického pokynu (odstavce A 2.2.4.) se ve výpočtech používají hodnoty elastické.

Výpočet součinitele vzpěrnosti

Štíhlost prutu:

$$L_y = L_z = 0,9 * L_{vzpěr} = 0,9 * 2,0 = \underline{1,8 \text{ m}}$$

$$\lambda_y = \frac{1,8}{0,072} = \underline{25,000 \ 000 [-]}$$

$$\lambda_z = \frac{1,8}{0,052} = \underline{34,615 \ 385 [-]}$$

Poměrná štíhlost prutu:

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 1,06 = \underline{99,534 [-]}$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{25,000 \ 000}{99,534} = \underline{0,251 \ 681 [-]}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{34,615 \ 385}{99,534} = \underline{0,348 \ 481 [-]}$$

Součinitel vzpěrnosti y:

$$\alpha = \text{křivka c} = 0,49$$

$$\theta_y = 0,5 * [1 + 0,49 * (0,251 \ 681 - 0,2) + 0,251 \ 681^2]$$

$$\theta_y = \underline{0,544 \ 333 [-]}$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,544 \ 333 + \sqrt{0,544 \ 333^2 - 0,251 \ 681^2}} = \underline{0,973 \ 721 [-]}$$

Součinitel vzpěrnosti z:

$$\alpha = \text{křivka c} = 0,49$$

$$\theta_z = 0,5 * [1 + 0,49 * (0,348 \ 481 - 0,2) + 0,348 \ 481^2]$$

$$\theta_z = \underline{0,597 \ 097 [-]}$$

$$\chi_z = \frac{1}{0,597 \ 097 + \sqrt{0,597 \ 097^2 - 0,348 \ 481^2}} = \underline{0,924 \ 253 [-]}$$

Pro výpočet únosnosti průřezu na tlak bereme méně příznivou hodnotu součinitele vzpěrnosti. Pro tento případ se jedná o součinitel vzpěrnosti χ_z .

Výpočet únosnosti průřezu na tlak

$$N_{b,Rd} = \frac{0,924 \cdot 253 \cdot 210 \cdot 000 \cdot 0,014 \cdot 493}{1,20} = 2 \, 344 \, 160,800 \text{ N} = \underline{\underline{2 \, 344,161 \text{ kN}}}$$

$$N_{b,Rd} > N_{b,Ed}$$

$$2 \, 344,161 \text{ kN} > 1 \, 665,240 \text{ kN}$$

PODMÍNKY SPLNĚNÁ

Jak je patrné z podmínky dané normou, která vyhověla, průřez je na zatížení v tlaku únosný a průřez se tedy nemusí zesilovat.

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
-1 665,241		11,177		3,183		2,489	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
-270,425	-1 394,815	1,507	9,670	1,528	1,654	0,224	2,265

Tabulka 8: Vnitřní síly pro horní pás změna průřezu II. - III.

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,250 \cdot 0,020 \cdot 210 \, 000 \, 000}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 551 \, 107,075 \text{ N} = \underline{\underline{551,107 \text{ kN}}}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} \cdot V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 \cdot 9,670 + 1,507 = \underline{\underline{11,180 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{11,180}{551,107} = \underline{\underline{0,020 \, 286 [-]}}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{270\,425}{\frac{0,014\,493 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{1\,528}{\frac{0,000\,384 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{224}{\frac{0,000\,320 \cdot 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,098 + 0,021 + 0,004 = \underline{0,122 [-]}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{1\,394\,815}{\frac{0,014\,493 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{1\,654}{\frac{0,000\,384 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{2\,265}{\frac{0,000\,320 \cdot 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,504 + 0,023 + 0,037 = \underline{0,564 [-]}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,Rs}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,122}{0,564}$$

$$Z_{LM71} = \underline{1,557 [-]}$$

Kontrolní přepočítání podmínky η_3 po prvním iteračním kroku:

$$V_{Ed} = Z_{LM71} \cdot V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,557 \cdot 9,670 + 1,507$$

$$V_{Ed} = \underline{16,973\,080 \text{ kN}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{16,973\,080}{551,107} = \underline{0,030\,798 [-]}$$

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy nemusíme pokračovat v iteračním postupu a hodnota zatížitelnosti je rovna $Z_{LM71} = 1,557 [-]$. Jelikož je zatížitelnost větší než jedna, prvek na zatížitelnost vyhovuje.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,330}{1,24} = \underline{\underline{1,076 [-]}}$$

Zatížení	γ_f	N	Vz	My	Mz
$M_{ttz,C2} =$	1,30	-519,82	-3,51	0,68	0,89
$M_{LM71} =$	1,30	-868,35	-6,02	1,03	1,41

Tabulka 9: Vnitřní síly od vlaků pro horní pás změna průřezu II. - III.

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 * (-519,820)}{1,3 * (-868,350)} = \underline{\underline{0,599 [-]}}$$

$$\text{pro Vz: } \lambda_{LM71,Vz} = \frac{1,3 * (-3,510)}{1,3 * (-6,020)} = \underline{\underline{0,583 [-]}}$$

$$\text{pro My: } \lambda_{LM71,My} = \frac{1,3 * 0,680}{1,3 * 1,030} = \underline{\underline{0,660 [-]}}$$

$$\text{pro Mz: } \lambda_{LM71,Mz} = \frac{1,3 * 0,890}{1,3 * 1,410} = \underline{\underline{0,631 [-]}}$$

$$\text{pro N: } k_{i,N} = \frac{0,098 + 0,504}{0,122 + 0,564} = \underline{\underline{0,877 [-]}}$$

$$\text{pro Vz: } k_{i,Vz} = \frac{0,000 + 0,000}{0,122 + 0,564} = \underline{\underline{0,000 [-]}}$$

$$\text{pro My: } k_{i,My} = \frac{0,021 + 0,023}{0,122 + 0,564} = \underline{\underline{0,063 [-]}}$$

$$\text{pro Mz: } k_{i,Mz} = \frac{0,004 + 0,037}{0,122 + 0,564} = \underline{\underline{0,059 [-]}}$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

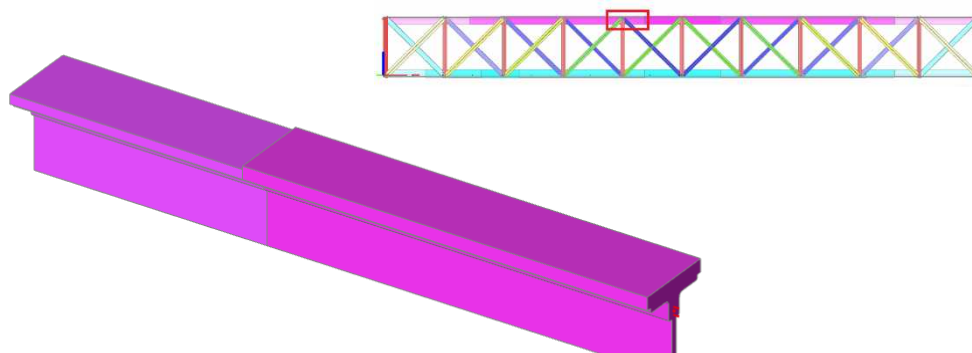
$$1,557 \geq (0,877 * 1,076 * 0,599) + (0,000 * 1,076 * 0,583) + (0,063 * 1,076 * 0,660) + (0,059 * 1,076 * 0,631)$$

$$1,557 \geq 0,651$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jak je patrné ze splněné podmínky, prvek je přechodný pro traťovou třídu C2 s přidruženou rychlostí 75 km/h.

6.1.3. Posouzení změny průřezu III. - IV.



Obrázek 35: Horní pás změna průřezu III. - IV.

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR14, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaz/součinitel α
		γ _f	ψ _{0i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stálé zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.3	BR HP pr III.-IV.	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.3a	OS 75 HP pr III.-IV.	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.3	LM71 HP pr III.-IV.	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.3	C2 HP pr III.-IV.	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-185,99 kN	1,37 kN	0,53 kNm	0,00 kNm	-212,03 kN	1,56 kN	0,60 kNm	0,00 kNm
-38,49 kN	0,19 kN	0,07 kNm	0,00 kNm	-43,88 kN	0,22 kN	0,08 kNm	0,00 kNm
-76,47 kN	0,39 kN	0,26 kNm	-1,03 kNm	-77,43 kN	0,39 kN	0,26 kNm	-1,04 kNm
-8,17 kN	-0,04 kN	-1,18 kNm	0,04 kNm	-7,35 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-32,27 kN	0,07 kN	0,35 kNm	-1,90 kNm	-41,95 kN	0,09 kN	0,46 kNm	-2,47 kNm
-89,74 kN	0,45 kN	0,34 kNm	-1,23 kNm	-116,66 kN	0,59 kN	0,44 kNm	-1,60 kNm
-5,85 kN	0,01 kN	0,25 kNm	-0,01 kNm	-3,80 kN	0,01 kN	0,16 kNm	-0,01 kNm
-1678,87 kN	8,49 kN	3,75 kNm	0,82 kNm	-2696,74 kN	13,64 kN	6,02 kNm	-0,66 kNm
-930,56 kN	5,38 kN	1,88 kNm	0,31 kNm	-1608,94 kN	9,30 kN	3,25 kNm	0,54 kNm
-2115,85 kN	10,93 kN	4,37 kNm	-3,31 kNm	-3199,84	16,49	8,03	-5,78

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2. Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

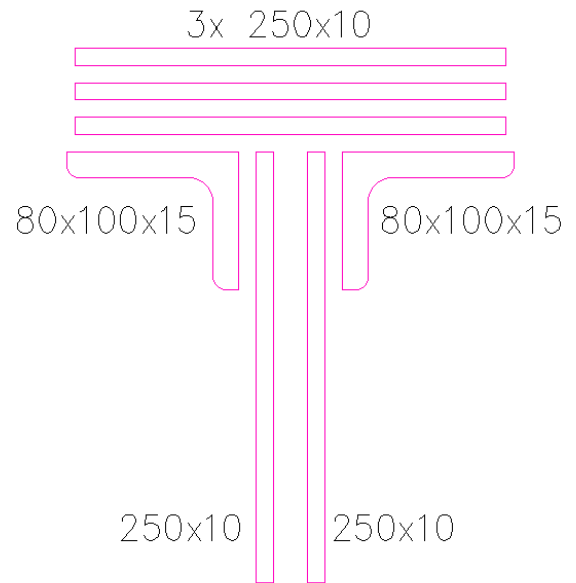
	Celkem	Rs	LM71
N =	-3199,84	-503,10	-2696,74
Vz =	16,49	2,86	13,64
My =	8,03	2,01	6,02
Mz =	-5,78	-5,12	-0,66

Tabulka 10: Kombinace pro horní pás změna průřezu III. - IV.

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,280 m
Šířka pásnice b:	0,250 m
Tloušťka pásnice t_f :	0,030 m
Tloušťka stojiny t_w :	0,020 m
Výška stojiny h_w :	0,250 m
Krční úhelníky:	L 80x100x15



Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,017 493 m ²
Moment setrvačnosti I_y :	0,000 089 132 m ⁴
Moment setrvačnosti I_z :	0,000 052 968 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i_y :	0,071 m
Poloměr setrvačnosti i_z :	0,055 m
Průřezový elastický modul $W_{el,y}$:	0,000 416 220 m ³
Průřezový elastický modul $W_{el,z}$:	0,000 423 740 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,y}$:	0,000 845 150 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,z}$:	0,000 707 460 m ³

Obrázek 36: Průřez horního pásu _změna průřezu III. - IV.

Posouzení průřezu na tlakové účinky

Zatřívění průřezu

$$\text{Zatřívění stojiny: } \frac{c}{t} = \frac{0,170}{0,020} = \underline{8,5}$$

$$9 * \varepsilon = 9 * 1,06 = 9,521 [-]$$

$$\frac{c}{t} \leq 9 * \varepsilon = 8,5 \leq 9,521$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Stojina spadá do I. třídy průřezu.

$$\text{Zatřídění pásnice: } \frac{c}{t} = \frac{0,015}{0,030} = \underline{0,5}$$

$$9 * \varepsilon = 9 * 1,06 = 9,521 [-]$$

$$\frac{c}{t} \leq 9 * \varepsilon = 0,5 \leq 9,521$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Pásnice spadá do I. třídy průřezu.

ČSN EN 1993-1-1_5.6_tabulka 5.2

Průřez spadá do I. třídy průřezu. Pro bezpečnější výpočet a dle Metodického pokynu (odstavce A 2.2.4.) se ve výpočtech používají hodnoty elastické.

Výpočet součinitele vzpěrnosti

Štíhlost prutu:

$$L_y = L_z = 0,9 * L_{vzpěr} = 0,9 * 2,0 = \underline{1,8 \text{ m}}$$

$$\lambda_y = \frac{1,8}{0,071} = \underline{25,352 \ 113 [-]}$$

$$\lambda_z = \frac{1,8}{0,055} = \underline{32,727 \ 273 [-]}$$

Poměrná štíhlost prutu:

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 1,06 = \underline{99,534 [-]}$$

$$\overline{\lambda}_y = \frac{25,352 \ 113}{99,534} = \underline{0,255 \ 226 [-]}$$

$$\overline{\lambda}_z = \frac{32,727 \ 273}{99,534} = \underline{0,329 \ 473 [-]}$$

Součinitel vzpěrnosti y:

$$\alpha = \text{křivka } c = 0,49$$

$$\theta_y = 0,5 * [1 + 0,49 * (0,255 \ 226 - 0,2) + 0,255 \ 226^2]$$

$$\theta_y = \underline{0,546 \ 100 [-]}$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,546 \ 100 + \sqrt{0,546 \ 100^2 - 0,255 \ 226^2}} = \underline{0,971 \ 922 [-]}$$

Součinitel vzpěrnosti z:

$$\alpha = \text{křivka } c = 0,49$$

$$\theta_z = 0,5 * [1 + 0,49 * (0,329 \ 473 - 0,2) + 0,329 \ 473^2]$$

$$\theta_z = \underline{0,585 \ 997 [-]}$$

$$\chi_z = \frac{1}{0,585 \ 997 + \sqrt{0,585 \ 997^2 - 0,329 \ 473^2}} = \underline{0,934 \ 055 [-]}$$

Pro výpočet únosnosti průřezu na tlak bereme méně příznivou hodnotu součinitele vzpěrnosti. Pro tento případ se jedná o součinitel vzpěrnosti χ_z .

Výpočet únosnosti průřezu na tlak

$$N_{b,Rd} = \frac{0,934\ 055 \cdot 210\ 000\ 000 \cdot 0,017\ 493}{1,20} = 2\ 859\ 400,580\ \text{N} = \underline{\underline{2\ 859,401\ \text{kN}}}$$

$$N_{b,Rd} > N_{b,Ed}$$

$$2\ 859,401\ \text{kN} > 3\ 199,841\ \text{kN}$$

PODMÍNKA NESPLNĚNÁ

Jak je patrné z podmínky dané normou, která **nevyhověla**, průřez je na zatížení v tlaku **neúnosný** a průřez se tedy musí zesílit, pokud nevyhoví na přechodnost.

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N _{cel} [kN]		V _{z,cel} [kN]		M _{y,cel} [kN]		M _{z,cel} [kN]	
-3 199,841		16,493		8,030		-5,777	
N _{Rs,Ed}	N _{LM71,Ed}	V _{z,Rs,Ed}	V _{z,LM71,Ed}	M _{y,Rs,Ed}	M _{y,LM71,Ed}	M _{z,Rs,Ed}	M _{z,LM71,Ed}
-503,102	-2 696,739	2,856	13,637	2,007	6,024	-5,118	-0,659

Tabulka 11: Vnitřní síly pto horní pás _změna průřezu III. - IV.

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,250 \cdot 0,020 \cdot 210\ 000\ 000}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 551\ 107,075\ \text{N} = \underline{\underline{551,107\ \text{kN}}}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} \cdot V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 \cdot 13,637 + 2,856 = \underline{\underline{16,490\ \text{kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{16,490}{551,107} = \underline{\underline{0,029\ 922\ [-]}}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{503\,102}{\frac{0,017\,493 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{2\,007}{\frac{0,000\,416 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{5\,118}{\frac{0,000\,424 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,151 + 0,025 + 0,063 = \underline{0,239 [-]}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{2\,696\,739}{\frac{0,017\,493 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{6\,024}{\frac{0,000\,416 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{659}{\frac{0,000\,424 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,808 + 0,076 + 0,008 = \underline{0,891 [-]}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,Rs}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,239}{0,891}$$

$$Z_{LM71} = \underline{0,853 [-]}$$

Jelikož zatížitelnost vyšla menší než 1,0, je možnost provést redukce ostatních účinků od zatížení železniční dopravou (účinky bočního rázu, rozjezdová a brzdová síla a zároveň odstředivé síly) o vypočítanou zatížitelnost. Výslednou hodnotu zatížitelnosti Z_{LM71} je třeba určit iterační formou výpočtu. MP 4.7.7

Znázornění výpočtu 1. iterace:

Jako první je potřeba přenásobit veškeré hodnoty bočních rázů, odstředivých sil a rozjezdových a brzdových sil vyšlou zatížitelností $Z_{LM71} = 0,853$. Některé ukázky:

$$N_{BR} = -41,95 * 0,853 = \underline{-35,80 \text{ kN}}$$

$$M_{yOS} = 0,44 * 0,853 = \underline{0,38 \text{ kNm}}$$

$$M_{zR,B} = -0,01 * 0,853 = \underline{-0,01 \text{ kNm}}$$

Z takto nových vzniklých vnitřních sil, kdy ostatní zatížené (vlastní tíha, ostatní stálá, vítr, teplota, model LM71) zůstávají stejné (nepřenásobují se), se spočítaly nové hodnoty pro zatížitelnost ze vzorců viz. kapitola výpočet zatížitelnosti.

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,Rs}}{\eta_{1,LM71}}$$

MP A.2.2.11_vztah (A.9)

$$\eta_{1,Rs} = 0,144 + 0,023 + 0,056 = \underline{0,223 [-]}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,808 + 0,076 + 0,008 = \underline{0,891 [-]}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,Rs}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,223}{0,891}$$

$$Z_{LM71} = \underline{0,872 [-]}$$

Takto je vypočítaná nová zatížitelnost. Tento krok se opakuje několikrát, než se zatížitelnost ustálí na určité hodnotě, tuto zatížitelnost pak považujeme za konečnou.

V následujících tabulkách jsou znázorněny změny hodnot vnitřních sil od ostatních zatížení železniční dopravy po jednotlivých iteracích. Dále jsou v tabulkách znázorněny jednotlivé změny zatížitelnosti, které se počítaly stejným způsobem, jako v předchozím případě výpočtu Z_{LM71} .

Iterace č. 0				Iterace č. 1				Iterace č. 2				Iterace č. 3			
0,853				0,872				0,870				0,870			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-212,03	1,56	0,60	0,00	-212,03	1,56	0,60	0,00	-212,03	1,56	0,60	0,00	-212,03	1,56	0,60	0,00
-43,88	0,22	0,08	0,00	-43,88	0,22	0,08	0,00	-43,88	0,22	0,08	0,00	-43,88	0,22	0,08	0,00
-77,43	0,39	0,26	-1,04	-77,43	0,39	0,26	-1,04	-77,43	0,39	0,26	-1,04	-77,43	0,39	0,26	-1,04
-7,35	0,00	0,00	0,00	-7,35	0,00	0,00	0,00	-7,35	0,00	0,00	0,00	-7,35	0,00	0,00	0,00
-41,95	0,09	0,46	-2,47	-35,80	0,08	0,39	-2,11	-36,58	0,08	0,40	-2,15	-36,48	0,08	0,40	-2,15
-116,66	0,59	0,44	-1,60	-99,57	0,50	0,38	-1,36	-101,72	0,51	0,39	-1,39	-101,45	0,51	0,38	-1,39
-3,80	0,01	0,16	-0,01	-3,25	0,01	0,14	-0,01	-3,32	0,01	0,14	-0,01	-3,31	0,01	0,14	-0,01
-2696,74	13,64	6,02	-0,66	-2696,74	13,64	6,02	-0,66	-2696,74	13,64	6,02	-0,66	-2696,74	13,64	6,02	-0,66

Iterace č. 4				Iterace č. 5				Iterace č. 6				Iterace č. 7			
0,870				0,870				0,870				0,870			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-212,03	1,56	0,60	0,00	-212,03	1,56	0,60	0,00	-212,03	1,56	0,60	0,00	-212,03	1,56	0,60	0,00
-43,88	0,22	0,08	0,00	-43,88	0,22	0,08	0,00	-43,88	0,22	0,08	0,00	-43,88	0,22	0,08	0,00
-77,43	0,39	0,26	-1,04	-77,43	0,39	0,26	-1,04	-77,43	0,39	0,26	-1,04	-77,43	0,39	0,26	-1,04
-7,35	0,00	0,00	0,00	-7,35	0,00	0,00	0,00	-7,35	0,00	0,00	0,00	-7,35	0,00	0,00	0,00
-36,49	0,08	0,40	-2,15	-36,49	0,08	0,40	-2,15	-36,49	0,08	0,40	-2,15	-36,49	0,08	0,40	-2,15
-101,48	0,51	0,38	-1,39	-101,48	0,51	0,38	-1,39	-101,48	0,51	0,38	-1,39	-101,48	0,51	0,38	-1,39
-3,31	0,01	0,14	-0,01	-3,31	0,01	0,14	-0,01	-3,31	0,01	0,14	-0,01	-3,31	0,01	0,14	-0,01
-2696,74	13,64	6,02	-0,66	-2696,74	13,64	6,02	-0,66	-2696,74	13,64	6,02	-0,66	-2696,74	13,64	6,02	-0,66

Tabulka 12: Iterace pro horní pás změna průřezu III. - IV.

Jak je z posledního sedmého kroku iterace patrné, poslední zatížitelnost, a tím tedy i výsledná zatížitelnost, je rovna hodnotě $Z_{LM71} = 0,870 [-]$.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,330}{1,24} = \underline{\underline{1,076 [-]}}$$

Zatížení	γ_f	N	Vz	My	Mz
$M_{ttz,C2} =$	1,30	-930,56	5,38	1,88	0,31
$M_{LM71} =$	1,30	-1678,87	8,49	3,75	0,82

Tabulka 13: Vnitřní síly od vlaků pro horní pás změna průřezu III. - IV.

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 * (-930,560)}{1,3 * (-1\ 678,870)} = \underline{\underline{0,554 [-]}}$$

$$\text{pro Vz: } \lambda_{LM71,Vz} = \frac{1,3 * (5,380)}{1,3 * (8,490)} = \underline{\underline{0,634 [-]}}$$

$$\text{pro My: } \lambda_{LM71,My} = \frac{1,3 * 1,880}{1,3 * 3,750} = \underline{\underline{0,501 [-]}}$$

$$\text{pro Mz: } \lambda_{LM71,Mz} = \frac{1,3 * 0,310}{1,3 * 0,820} = \underline{\underline{0,378 [-]}}$$

$$\text{pro N: } k_{i,N} = \frac{0,144 + 0,808}{0,225 + 0,891} = \underline{\underline{0,853 [-]}}$$

$$\text{pro Vz: } k_{i,Vz} = \frac{0,000 + 0,000}{0,225 + 0,891} = \underline{\underline{0,000 [-]}}$$

$$\text{pro My: } k_{i,My} = \frac{0,024 + 0,076}{0,225 + 0,891} = \underline{\underline{0,089 [-]}}$$

$$\text{pro Mz: } k_{i,Mz} = \frac{0,057 + 0,008}{0,225 + 0,891} = \underline{\underline{0,058 [-]}}$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

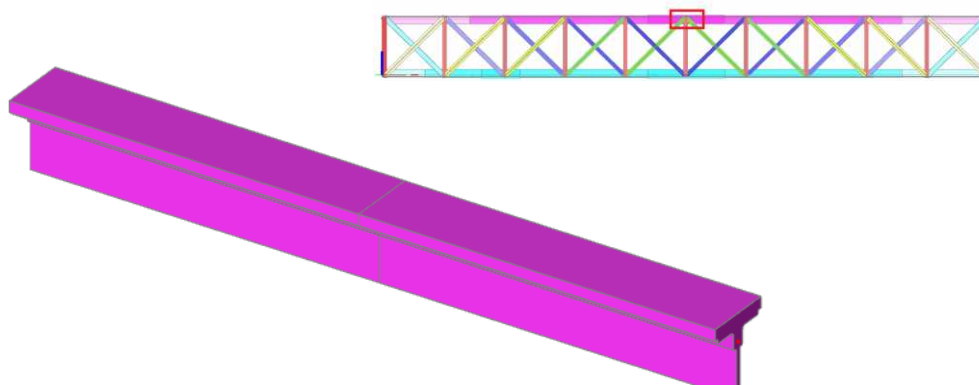
$$0,870 \geq (0,853 * 1,076 * 0,554) + (0,000 * 1,076 * 0,634) + (0,089 * 1,076 * 0,501) + (0,058 * 1,076 * 0,378)$$

$$0,870 \geq 0,581$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jak je patrné ze splněné podmínky, ačkoli prvek nevyhověl na posudek zatížitelnosti, tak je prvek přechodný pro traťovou třídu C2 s přidruženou rychlostí 75 km/h. Tímto pádem prvek nemusí být zesílen ani upravován, protože sice konstrukce nepřenesla celý model LM71, ale je schopna přenést model zatížení, který se na konstrukci reálně vyskytuje (model C2).

6.1.4. Posouzení průřezu v místě maximálního působení N



Obrázek 37: Horní pás maximální N

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR14, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.4	BR HP max N	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.4a	OS 75 HP max N	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.4	LM71 HP max N	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.4	C2 HP max N	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-188,61 kN	-1,85 kN	1,01 kNm	0,00 kNm	-215,02 kN	2,11 kN	1,15 kNm	0,00 kNm
-38,94 kN	-0,62 kN	0,32 kNm	0,01 kNm	-44,39 kN	0,71 kN	0,36 kNm	0,01 kNm
-75,98 kN	0,10 kN	0,74 kNm	-1,24 kNm	-76,93 kN	0,00 kN	0,75 kNm	-1,26 kNm
-20,94 kN	-12,76 kN	-1,12 kNm	-0,02 kNm	-18,85 kN	11,48 kN	0,00 kNm	-0,02 kNm
-30,88 kN	-0,74 kN	0,55 kNm	-2,42 kNm	-40,14 kN	0,96 kN	0,72 kNm	-3,15 kNm
-89,16 kN	-0,27 kN	0,88 kNm	-1,51 kNm	-115,91 kN	0,35 kN	1,14 kNm	-1,96 kNm
-3,76 kN	3,35 kN	0,32 kNm	0,00 kNm	-2,44 kN	0,00 kN	0,21 kNm	0,00 kNm
-1700,88 kN	-35,16 kN	14,59 kNm	1,04 kNm	-2732,09 kN	56,48 kN	23,44 kNm	-0,84 kNm
-935,09 kN	-12,77 kN	8,71 kNm	0,95 kNm	-1616,77 kN	22,08 kN	15,06 kNm	1,64 kNm
-2149,15 kN	-47,95 kN	17,29 kNm	-4,14 kNm	-3245,77	72,09	27,77	-7,21

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku

C2.Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

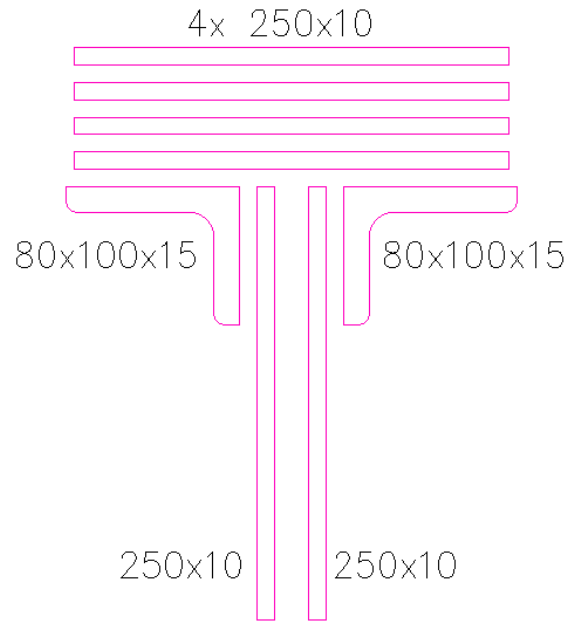
	Celkem	Rs	LM71
N =	-3245,77	-513,68	-2732,09
Vz =	72,09	15,61	56,48
My =	27,77	4,33	23,44
Mz =	-7,21	-6,37	-0,84

Tabulka 14: Kombinace pro horní pás_maximální N

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,290 m
Šířka pásnice b:	0,250 m
Tloušťka pásnice t_f :	0,040 m
Tloušťka stojiny t_w :	0,020 m
Výška stojiny h_w :	0,250 m
Krční úhelníky:	L 80x100x15



Obrázek 38: Průřez horního pásu maximální N

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,019 993 m ²
Moment setrvačnosti I_y :	0,000 100 130 m ⁴
Moment setrvačnosti I_z :	0,000 065 989 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i_y :	0,071 m
Poloměr setrvačnosti i_z :	0,057 m
Průřezový elastický modul $W_{el,y}$:	0,000 449 030 m ³
Průřezový elastický modul $W_{el,z}$:	0,000 527 910 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,y}$:	0,000 939 710 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,z}$:	0,000 863 710 m ³

Posouzení průřezu na tlakové účinky

Zatřívání průřezu

$$\text{Zatřívání stojiny: } \frac{c}{t} = \frac{0,170}{0,020} = \underline{8,5}$$

$$9 * \varepsilon = 9 * 1,06 = 9,521 [-]$$

$$\frac{c}{t} \leq 9 * \varepsilon = 8,5 \leq 9,521$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Stojina spadá do I. třídy průřezu.

$$\underline{\text{Zatřívání pásnice:}} \quad \frac{c}{t} = \frac{0,015}{0,040} = \underline{0,375}$$

$$9 * \varepsilon = 9 * 1,06 = 9,521 [-]$$

$$\frac{c}{t} \leq 9 * \varepsilon = 0,375 \leq 9,521$$

PODMÍKA SPLNĚNÁ

Pásnice spadá do I. třídy průřezu.

ČSN EN 1993-1-1_5.6_tabulka 5.2

Průřez spadá do I. třídy průřezu. Pro bezpečnější výpočet a dle Metodického pokynu (odstavce A 2.2.4.) se ve výpočtech používají hodnoty elastické.

Výpočet součinitele vzpěrnosti

Štíhlost prutu:

$$L_y = L_z = 0,9 * L_{vzpěr} = 0,9 * 2,0 = \underline{1,8 \text{ m}}$$

$$\lambda_y = \frac{1,8}{0,071} = \underline{25,352 \ 113 [-]}$$

$$\lambda_z = \frac{1,8}{0,057} = \underline{31,578 \ 947 [-]}$$

Poměrná štíhlost prutu:

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 1,06 = \underline{99,534 [-]}$$

$$\overline{\lambda}_y = \frac{25,352 \ 113}{99,534} = \underline{0,255 \ 226 [-]}$$

$$\overline{\lambda}_z = \frac{31,578 \ 947}{99,534} = \underline{0,317 \ 913 [-]}$$

Součinitel vzpěrnosti y:

$$\alpha = \text{křivka c} = 0,49$$

$$\theta_y = 0,5 * [1 + 0,49 * (0,255 \ 226 - 0,2) + 0,255 \ 226^2]$$

$$\theta_y = \underline{0,546 \ 100 [-]}$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,546 \ 100 + \sqrt{0,546 \ 100^2 - 0,255 \ 226^2}} = \underline{0,971 \ 922 [-]}$$

Součinitel vzpěrnosti z:

$$\alpha = \text{křivka c} = 0,49$$

$$\theta_z = 0,5 * [1 + 0,49 * (0,317 \ 913 - 0,2) + 0,317 \ 913^2]$$

$$\theta_z = \underline{0,579 \ 423 [-]}$$

$$\chi_z = \frac{1}{0,579 \ 423 + \sqrt{0,579 \ 423^2 - 0,317 \ 913^2}} = \underline{0,939 \ 989 [-]}$$

Pro výpočet únosnosti průřezu na tlak bereme méně příznivou hodnotu součinitele vzpěrnosti. Pro tento případ se jedná o součinitel vzpěrnosti χ_z .

Výpočet únosnosti průřezu na tlak

$$N_{b,Rd} = \frac{0,939 \cdot 989 \cdot 210 \cdot 000 \cdot 0,019 \cdot 993}{1,20} = 3 \, 288 \, 809,450 \text{ N} = \underline{\underline{3 \, 288,809 \text{ kN}}}$$

$$N_{b,Rd} > N_{b,Ed}$$

$$3 \, 288,809 \text{ kN} > 3 \, 245,772 \text{ kN}$$

PODMÍNKY SPLNĚNÁ

Jak je patrné z podmínky dané normou, která vyhověla, průřez je na zatížení v tlaku únosný a průřez se tedy nemusí zesilovat.

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
-3 245,772		72,090		27,768		-7,209	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
-513,679	-2 732,094	15,613	56,477	4,332	23,436	-6,374	-0,835

Tabulka 15: Vnitřní síly pro horní pás maximální N

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,250 \cdot 0,020 \cdot 210 \, 000 \, 000}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 551 \, 107,075 \text{ N} = \underline{\underline{551,107 \text{ kN}}}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} \cdot V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 \cdot 56,477 + 15,613 = \underline{\underline{72,090 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{72,090}{551,107} = \underline{\underline{0,130 \, 809 \text{ [-]}}}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{513\,679}{\frac{0,019\,993 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{4\,332}{\frac{0,000\,449 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{6\,374}{\frac{0,000\,528 \cdot 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,135 + 0,051 + 0,063 = \underline{0,249 [-]}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{2\,732\,094}{\frac{0,019\,993 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{23\,436}{\frac{0,000\,449 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{835}{\frac{0,000\,523 \cdot 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,716 + 0,273 + 0,008 = \underline{0,997 [-]}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,Rs}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,249}{0,997}$$

$$Z_{LM71} = \underline{0,754 [-]}$$

Jelikož zatížitelnost vyšla menší než 1,0, je možnost provést redukce ostatních účinků od zatížení železniční dopravou (účinky bočního rázu, rozjezdová a brzdňá síla a zároveň odstředivé síly) o vypočítanou zatížitelnost. Výslednou hodnotu zatížitelnosti Z_{LM71} je třeba určit iterační formou výpočtu.

MP 4.7.7

V následujících tabulkách jsou znázorněny změny hodnot vnitřních sil od ostatních zatížení železniční dopravy po jednotlivých iteracích. Dále jsou v tabulkách znázorněny jednotlivé změny zatížitelnosti, které se počítaly stejným způsobem, jako v předchozím případě výpočtu Z_{LM71} .

Iterace č. 0				Iterace č. 1				Iterace č. 2				Iterace č. 3			
0,754				0,782				0,779				0,779			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-215,02	2,11	1,15	0,00	-215,02	2,11	1,15	0,00	-215,02	2,11	1,15	0,00	-215,02	2,11	1,15	0,00
-44,39	0,71	0,36	0,01	-44,39	0,71	0,36	0,01	-44,39	0,71	0,36	0,01	-44,39	0,71	0,36	0,01
-76,93	0,00	0,75	-1,26	-76,93	0,00	0,75	-1,26	-76,93	0,00	0,75	-1,26	-76,93	0,00	0,75	-1,26
-18,85	11,48	0,00	-0,02	-18,85	11,48	0,00	-0,02	-18,85	11,48	0,00	-0,02	-18,85	11,48	0,00	-0,02
-40,14	0,96	0,72	-3,15	-30,25	0,72	0,54	-2,37	-31,40	0,75	0,56	-2,46	-31,27	0,75	0,56	-2,45
-115,91	0,35	1,14	-1,96	-87,34	0,26	0,86	-1,48	-90,67	0,27	0,89	-1,54	-90,28	0,27	0,89	-1,53
-2,44	0,00	0,21	0,00	-1,84	0,00	0,16	0,00	-1,91	0,00	0,16	0,00	-1,90	0,00	0,16	0,00
-2732,09	56,48	23,44	-0,84	-2732,09	56,48	23,44	-0,84	-2732,09	56,48	23,44	-0,84	-2732,09	56,48	23,44	-0,84

Iterace č. 4				Iterace č. 5				Iterace č. 6				Iterace č. 7			
0,779				0,779				0,779				0,779			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-215,02	2,11	1,15	0,00	-215,02	2,11	1,15	0,00	-215,02	2,11	1,15	0,00	-215,02	2,11	1,15	0,00
-44,39	0,71	0,36	0,01	-44,39	0,71	0,36	0,01	-44,39	0,71	0,36	0,01	-44,39	0,71	0,36	0,01
-76,93	0,00	0,75	-1,26	-76,93	0,00	0,75	-1,26	-76,93	0,00	0,75	-1,26	-76,93	0,00	0,75	-1,26
-18,85	11,48	0,00	-0,02	-18,85	11,48	0,00	-0,02	-18,85	11,48	0,00	-0,02	-18,85	11,48	0,00	-0,02
-31,29	0,75	0,56	-2,45	-31,28	0,75	0,56	-2,45	-31,28	0,75	0,56	-2,45	-31,28	0,75	0,56	-2,45
-90,33	0,27	0,89	-1,53	-90,32	0,27	0,89	-1,53	-90,33	0,27	0,89	-1,53	-90,33	0,27	0,89	-1,53
-1,90	0,00	0,16	0,00	-1,90	0,00	0,16	0,00	-1,90	0,00	0,16	0,00	-1,90	0,00	0,16	0,00
-2732,09	56,48	23,44	-0,84	-2732,09	56,48	23,44	-0,84	-2732,09	56,48	23,44	-0,84	-2732,09	56,48	23,44	-0,84

Tabulka 16: Iterace pro horní pás maximální N

Jak je z posledního sedmého kroku iterace patrné, poslední zatížitelnost, a tím tedy i výsledná zatížitelnost, je rovna hodnotě $Z_{LM71} = 0,779 [-]$.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,330}{1,24} = \underline{1,076 [-]}$$

Zatížení	γ_f	N	Vz	My	Mz
$M_{ttz,C2} =$	1,30	-935,09	-12,77	8,71	0,95
$M_{LM71} =$	1,30	-1700,88	-35,16	14,59	1,04

Tabulka 17: Vnitřní síly od vlaků pro horní pás maximální N

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 * (-935,090)}{1,3 * (-1700,880)} = \underline{0,550 [-]}$$

$$\text{pro Vz: } \lambda_{LM71,Vz} = \frac{1,3 * (-12,770)}{1,3 * (-35,160)} = \underline{0,363 [-]}$$

$$\text{pro My: } \lambda_{LM71,My} = \frac{1,3 * 8,710}{1,3 * 14,590} = \underline{0,597 [-]}$$

$$\text{pro Mz: } \lambda_{LM71,Mz} = \frac{1,3 * 0,950}{1,3 * 1,040} = \underline{0,913 [-]}$$

$$\text{pro N: } k_{i,N} = \frac{0,125 + 0,716}{0,223 + 0,997} = \underline{0,689 [-]}$$

$$\text{pro Vz: } k_{i,Vz} = \frac{0,000 + 0,000}{0,223 + 0,997} = \underline{0,000 [-]}$$

$$\text{pro My: } k_{i,My} = \frac{0,045 + 0,273}{0,223 + 0,997} = \underline{0,261 [-]}$$

$$\text{pro Mz: } k_{i,Mz} = \frac{0,052 + 0,008}{0,223 + 0,997} = \underline{0,049 [-]}$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

$$0,779 \geq (0,689 * 1,076 * 0,550) + (0,000 * 1,076 * 0,363) + (0,261 * 1,076 * 0,597) + (0,049 * 1,076 * 0,913)$$

$$0,779 \geq 0,624$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

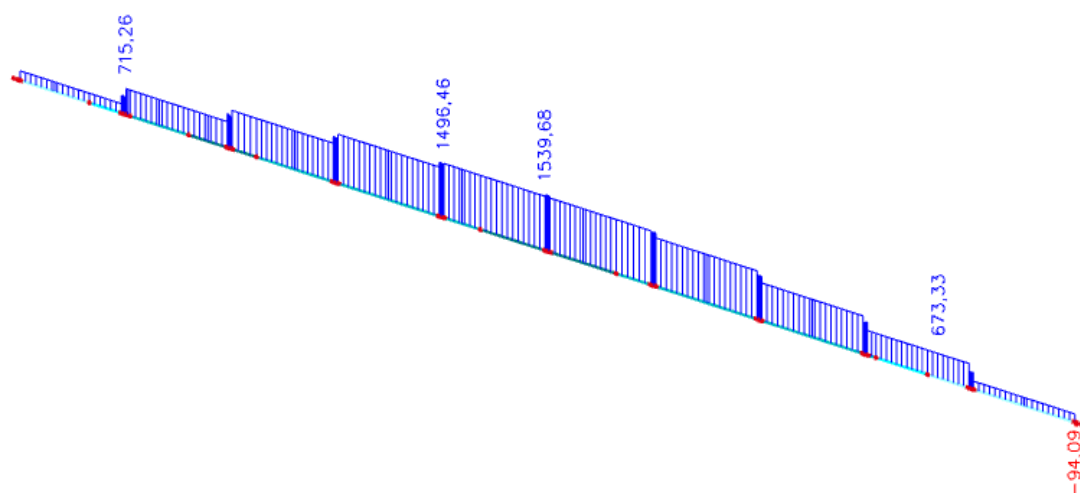
Jak je patrné ze splněné podmínky, ačkoli prvek nevyhověl na posudek zatížitelnosti, tak je prvek přechodný pro traťovou třídu C2 s přidruženou rychlostí 75 km/h. Tímto pádem prvek nemusí být zesílen ani upravován, protože sice konstrukce nepřenesla celý model LM71, ale je schopna přenést model zatížení, který se na konstrukci reálně vyskytuje (model C2).

6.2. Posouzení dolního pásu

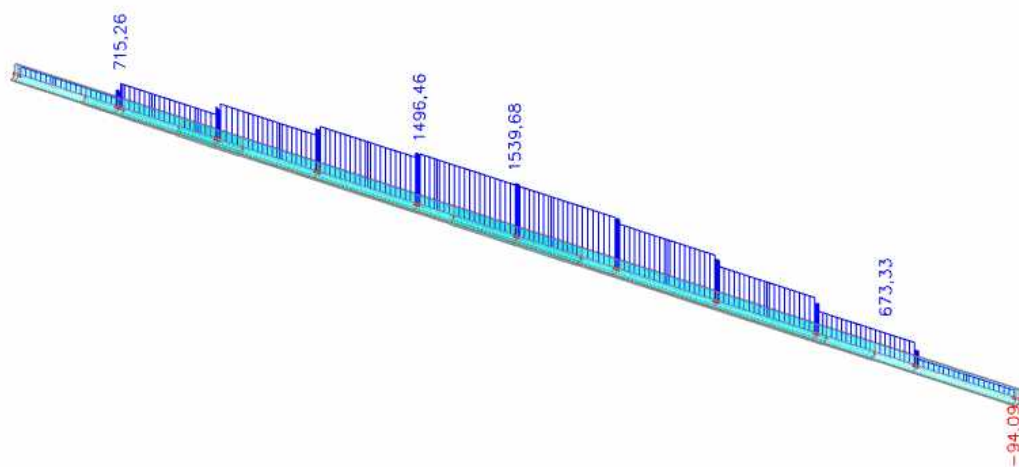
Jelikož se jedná o dolní pás hlavního nosníku, kde představuje nejhorší zatížení normálová síla ve formě tahu, posuzovaly se prvky dolního pásu na tah. Dále se prvky dolního pásu posoudily na zatížitelnost a na přechodnost.

Posuzovaly se prvky dolního pásu levého hlavního nosníku, protože tento nosník byl vzhledem k excentricitě působení sil a odstředivým silám více zatížený, proto můžeme předpokládat, že prvky dolního pásu pravého nosníku vyjdou taktéž (vzhledem k menšímu zatížení).

Mezi posuzované prvky patří místo uprostřed nosníku na maximální normálovou sílu a dále se posuzovaly vždy místa změny průřezu (místa zesílení pásnice).

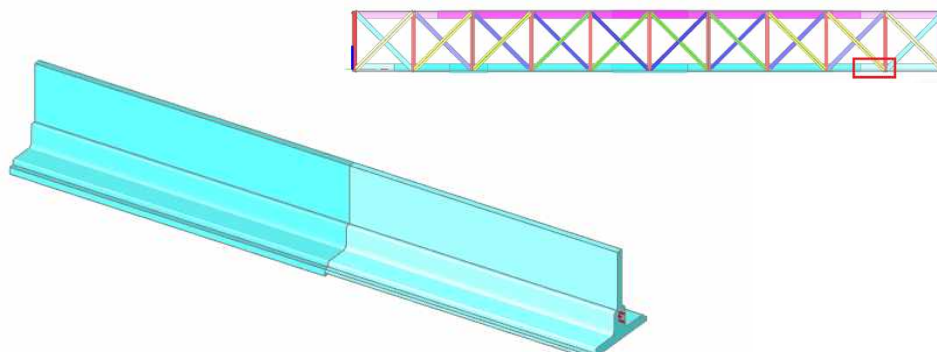


Obrázek 39: Průběh normálové síly od LM71 pro výpočet maximální N



Obrázek 40: Průběh normálové síly od LM71 pro výpočet maximální N

6.2.1. Posouzení změny průřezu I. - II.



Obrázek 41: Dolní pás změna průřezu I. - II.

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR11, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z_{uvaz}/Gr_{XX}	Zuvaz/součinitel α
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.6	BR DP pr I.-II.	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.6a	OS 75 DP pr I.-II.	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.6	LM71 DP pr I.-II.	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.6	C2 DP pr I.-II.	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
84,87 kN	-0,49 kN	0,61 kNm	-0,04 kNm	96,75 kN	0,56 kN	0,70 kNm	-0,05 kNm
17,62 kN	-0,06 kN	0,10 kNm	-0,01 kNm	20,09 kN	0,07 kN	0,11 kNm	-0,01 kNm
37,11 kN	-1,05 kN	0,53 kNm	-0,09 kNm	37,57 kN	1,06 kN	0,54 kNm	-0,09 kNm
51,48 kN	-0,30 kN	0,71 kNm	0,16 kNm	46,33 kN	0,27 kN	0,64 kNm	0,00 kNm
33,66 kN	-1,61 kN	0,34 kNm	-0,41 kNm	21,88 kN	1,05 kN	0,22 kNm	-0,27 kNm
43,86 kN	-1,15 kN	0,56 kNm	-0,08 kNm	28,51 kN	0,75 kN	0,36 kNm	-0,05 kNm
199,31 kN	-2,14 kN	-1,50 kNm	-0,42 kNm	259,10 kN	2,78 kN	0,00 kNm	-0,55 kNm
752,91 kN	-3,16 kN	4,59 kNm	-0,33 kNm	1209,39 kN	5,08 kN	7,37 kNm	-0,53 kNm
448,82 kN	-1,79 kN	3,16 kNm	-0,63 kNm	776,01 kN	3,09 kN	5,46 kNm	-1,09 kNm
1220,82 kN	-9,96 kN	5,94 kNm	-1,22 kNm	1719,62	11,61	9,94	-1,54

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

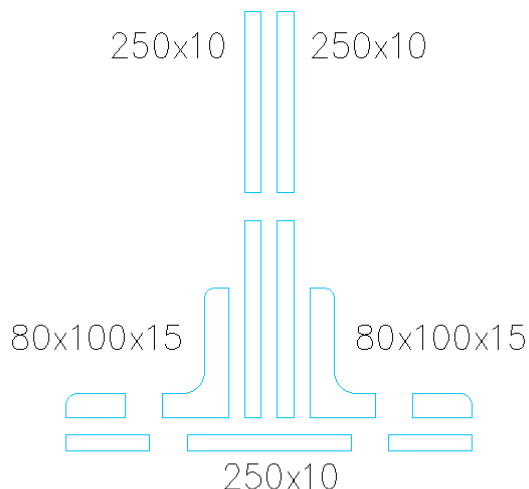
	Celkem	Rs	LM71
N =	1719,62	510,24	1209,39
Vz =	11,61	6,54	5,08
My =	9,94	2,57	7,37
Mz =	-1,54	-1,01	-0,53

Tabulka 18: Kombinace pro dolní pás změna průřezu I. - II.

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,260 m
Šířka pásnice b:	0,250 m
Tloušťka pásnice t_f :	0,010 m
Tloušťka stojiny t_w :	0,020 m
Výška stojiny h_w :	0,250 m
Krční úhelníky:	L 80x100x15



Základní průřezové charakteristiky

Obrázek 42: Průřez dolního pásu _změna průřezu I. - II.

Plocha A:	0,011 003 m ²
Moment setrvačnosti I_y :	0,000 061 591 m ⁴
Moment setrvačnosti I_z :	0,000 022 444 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i_y :	0,075 m
Poloměr setrvačnosti i_z :	0,045 m
Průřezový elastický modul $W_{el,y}$:	0,000 327 290 m ³
Průřezový elastický modul $W_{el,z}$:	0,000 179 550 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,y}$:	0,000 622 840 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,z}$:	0,000 321 960 m ³

Posouzení průřezu na tahové účinky

$$N_{pl,Rd} = \frac{f_y \cdot A_{net}}{\gamma_{m,0}}$$

ČSN EN 1993-1-1_6.2.3 (2)_vztah 6.6

$$N_{pl,Rd} = \frac{210\,000\,000 \cdot 0,011\,003}{1,10} = 2\,100\,573\,N = \underline{\underline{2\,100,573\,kN}}$$

$$N_{pl,Rd} > N_{pl,Ed}$$

$$2\,100,573\,kN > 1\,719,622\,kN$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Jak je patrné z podmínky dané normou, která vyhověla, průřez je na zatížení v tahu únosný a průřez se tedy nemusí zesilovat.

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
1 719,622		11,612		9,943		-1,543	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
510,235	1 209,386	6,536	5,076	2,570	7,373	-1,013	-0,530

Tabulka 19: Vnitřní síly pro dolní pás změna průřezu I. - II.

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,250 \cdot 0,020 \cdot 210\,000\,000}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 551\,107,075 \text{ N} = \underline{\underline{551,107 \text{ kN}}}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} \cdot V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 \cdot 5,076 + 6,536 = \underline{\underline{11,610 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{11,610}{551,107} = \underline{\underline{0,021\,067 \text{ [-]}}}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{510\,235}{\frac{0,011\,003 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{2\,570}{\frac{0,000\,327 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{1\,013}{\frac{0,000\,180 \cdot 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,243 + 0,041 + 0,030 = \underline{\underline{0,314 \text{ [-]}}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{1\,209\,386}{\frac{0,011\,003 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{7\,373}{\frac{0,000\,327 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{530}{\frac{0,000\,180 \cdot 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,576 + 0,118 + 0,015 = \underline{\underline{0,709 \text{ [-]}}}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,RS}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,314}{0,709}$$

$$Z_{LM71} = \underline{0,968 [-]}$$

Jelikož zatížitelnost vyšla menší než 1,0, je možnost provést redukce ostatních účinků od zatížení železniční dopravou (účinky bočního rázu, rozjezdová a brzdná síla a zároveň odstředivé síly) o vypočítanou zatížitelnost. Výslednou hodnotu zatížitelnosti Z_{LM71} je třeba určit iterační formou výpočtu.

MP 4.7.7

V následujících tabulkách jsou znázorněny změny hodnot vnitřních sil od ostatních zatížení železniční dopravy po jednotlivých iteracích. Dále jsou v tabulkách znázorněny jednotlivé změny zatížitelnosti, které se počítaly stejným způsobem, jako v předchozím případě výpočtu Z_{LM71} .

Iterace č. 0				Iterace č. 1				Iterace č. 2				Iterace č. 3			
0,968				0,976				0,974				0,975			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
96,75	0,56	0,70	-0,05	96,75	0,56	0,70	-0,05	96,75	0,56	0,70	-0,05	96,75	0,56	0,70	-0,05
20,09	0,07	0,11	-0,01	20,09	0,07	0,11	-0,01	20,09	0,07	0,11	-0,01	20,09	0,07	0,11	-0,01
37,57	1,06	0,54	-0,09	37,57	1,06	0,54	-0,09	37,57	1,06	0,54	-0,09	37,57	1,06	0,54	-0,09
46,33	0,27	0,64	0,00	46,33	0,27	0,64	0,00	46,33	0,27	0,64	0,00	46,33	0,27	0,64	0,00
21,88	1,05	0,22	-0,27	21,18	1,01	0,21	-0,26	21,36	1,02	0,22	-0,26	21,31	1,02	0,22	-0,26
28,51	0,75	0,36	-0,05	27,59	0,72	0,35	-0,05	27,83	0,73	0,36	-0,05	27,77	0,73	0,35	-0,05
259,10	2,78	0,00	-0,55	250,78	2,69	0,00	-0,53	252,92	2,72	0,00	-0,53	252,37	2,71	0,00	-0,53
1209,39	5,08	7,37	-0,53	1209,39	5,08	7,37	-0,53	1209,39	5,08	7,37	-0,53	1209,39	5,08	7,37	-0,53

Iterace č. 4				Iterace č. 5				Iterace č. 6				Iterace č. 7			
0,974				0,974				0,974				0,974			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
96,75	0,56	0,70	-0,05	96,75	0,56	0,70	-0,05	96,75	0,56	0,70	-0,05	96,75	0,56	0,70	-0,05
20,09	0,07	0,11	-0,01	20,09	0,07	0,11	-0,01	20,09	0,07	0,11	-0,01	20,09	0,07	0,11	-0,01
37,57	1,06	0,54	-0,09	37,57	1,06	0,54	-0,09	37,57	1,06	0,54	-0,09	37,57	1,06	0,54	-0,09
46,33	0,27	0,64	0,00	46,33	0,27	0,64	0,00	46,33	0,27	0,64	0,00	46,33	0,27	0,64	0,00
21,32	1,02	0,22	-0,26	21,32	1,02	0,22	-0,26	21,32	1,02	0,22	-0,26	21,32	1,02	0,22	-0,26
27,78	0,73	0,35	-0,05	27,78	0,73	0,35	-0,05	27,78	0,73	0,35	-0,05	27,78	0,73	0,35	-0,05
252,51	2,71	0,00	-0,53	252,47	2,71	0,00	-0,53	252,48	2,71	0,00	-0,53	252,48	2,71	0,00	-0,53
1209,39	5,08	7,37	-0,53	1209,39	5,08	7,37	-0,53	1209,39	5,08	7,37	-0,53	1209,39	5,08	7,37	-0,53

Tabulka 20: Iterace pro dolní pás průřez I. - II.

Jak je z posledního sedmého kroku iterace patrné, poslední zatížitelnost, a tím tedy i výsledná zatížitelnost, je rovna hodnotě $Z_{LM71} = 0,974 [-]$.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,330}{1,24} = \underline{\underline{1,076 [-]}}$$

Zatížení	V_f	N	V _z	M _y	M _z
M _{ttz,C2} =	1,30	448,82	-1,79	3,16	-0,63
M _{LM71} =	1,30	752,91	-3,16	4,59	-0,33

Tabulka 21: Vnitřní síly od vlaků pro dolní pás změna průřezu I. - II.

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 \cdot 448,820}{1,3 \cdot 752,910} = \underline{\underline{0,596 [-]}}$$

$$\text{pro V}_z: \lambda_{LM71,V_z} = \frac{1,3 \cdot (-1,790)}{1,3 \cdot (-3,160)} = \underline{\underline{0,566 [-]}}$$

$$\text{pro M}_y: \lambda_{LM71,M_y} = \frac{1,3 \cdot 3,160}{1,3 \cdot 4,590} = \underline{\underline{0,688 [-]}}$$

$$\text{pro M}_z: \lambda_{LM71,M_z} = \frac{1,3 \cdot (-0,630)}{1,3 \cdot (-0,330)} = \underline{\underline{1,909 [-]}}$$

$$\text{pro N: } k_{i,N} = \frac{0,239 + 0,576}{0,309 + 0,710} = \underline{\underline{0,800 [-]}}$$

$$\text{pro V}_z: k_{i,V_z} = \frac{0,000 + 0,000}{0,309 + 0,710} = \underline{\underline{0,000 [-]}}$$

$$\text{pro M}_y: k_{i,M_y} = \frac{0,041 + 0,118}{0,309 + 0,710} = \underline{\underline{0,156 [-]}}$$

$$\text{pro M}_z: k_{i,M_z} = \frac{0,029 + 0,015}{0,309 + 0,710} = \underline{\underline{0,044 [-]}}$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i \cdot \psi_i \cdot \lambda_{LM71,i}$$

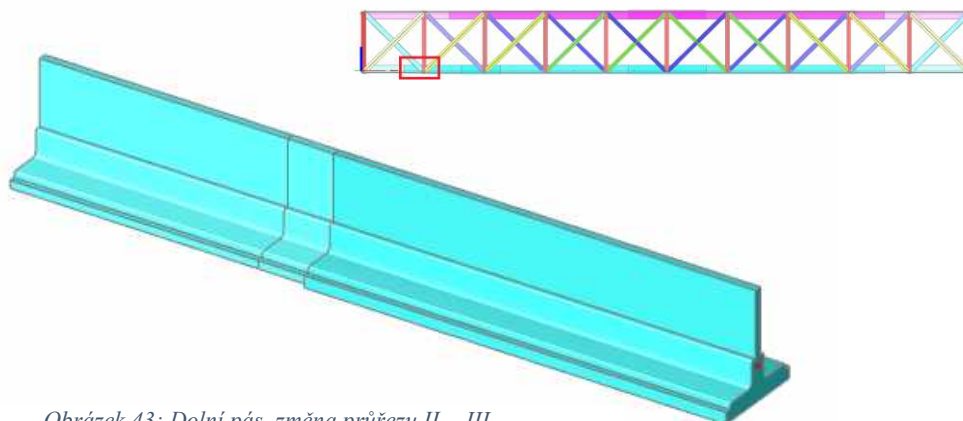
$$0,974 \geq (0,800 \cdot 1,076 \cdot 0,596) + (0,000 \cdot 1,076 \cdot 0,566) + (0,156 \cdot 1,076 \cdot 0,688) + (0,044 \cdot 1,076 \cdot 1,909)$$

$$0,974 \geq 0,719$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jak je patrné ze splněné podmínky, ačkoli prvek nevyhověl na posudek zatížitelnosti, tak je prvek přechodný pro traťovou třídu C2 s přidruženou rychlostí 75 km/h. Tímto pádem prvek nemusí být zesílen ani upravován, protože sice konstrukce nepřenesla celý model LM71, ale je schopna přenést model zatížení, který se na konstrukci reálně vyskytuje (model C2).

6.2.2. Posouzení změny průřezu II. - III.



Obrázek 43: Dolní pás _změna průřezu II. - III.

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR12, která vyšla jako nejméně příznivá.

1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.7	BR DP pr II.-III.	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.7a	OS 75 DP pr II.-III.	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.7	LM71 DP pr II.-III.	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.7	C2 DP pr II.-III.	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
88,16 kN	1,48 kN	0,32 kNm	-0,50 kNm	100,50 kN	1,69 kN	0,36 kNm	-0,57 kNm
18,11 kN	0,06 kN	0,13 kNm	-0,12 kNm	20,65 kN	0,07 kN	0,15 kNm	-0,14 kNm
55,05 kN	1,19 kN	-0,24 kNm	0,77 kNm	55,74 kN	1,20 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
31,53 kN	0,11 kN	1,12 kNm	0,92 kNm	28,38 kN	0,10 kN	1,01 kNm	0,00 kNm
43,69 kN	1,78 kN	-0,80 kNm	2,27 kNm	56,80 kN	2,31 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
62,54 kN	1,31 kN	-0,28 kNm	0,87 kNm	81,30 kN	1,70 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
38,84 kN	1,67 kN	-1,18 kNm	2,28 kNm	25,25 kN	1,09 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
792,74 kN	3,39 kN	5,14 kNm	-4,16 kNm	1273,36 kN	5,45 kN	8,26 kNm	-6,68 kNm
473,09 kN	1,73 kN	3,78 kNm	-3,82 kNm	817,97 kN	2,99 kN	6,54 kNm	-6,60 kNm
1130,66 kN	10,99 kN	4,21 kNm	2,33 kNm	1641,97	13,61	9,78	-7,39

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

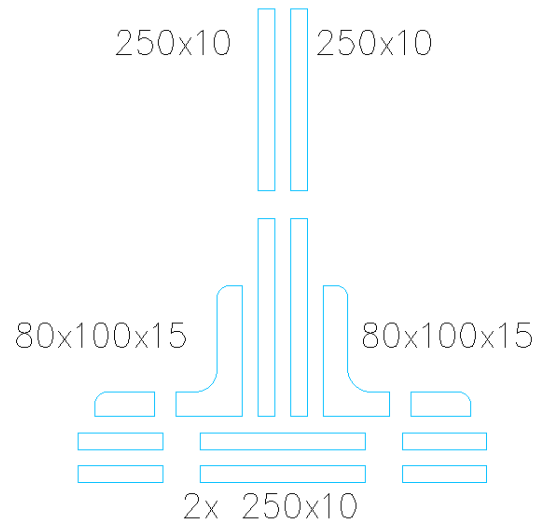
	Celkem	Rs	LM71
N =	1641,97	368,61	1273,36
Vz =	13,61	8,16	5,45
My =	9,78	1,52	8,26
Mz =	-7,39	-0,71	-6,68

Tabulka 22: Kombinace pro dolní pás _změna průřezu II. - III.

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,270 m
Šířka pásnice b:	0,250 m
Tloušťka pásnice t_f :	0,020 m
Tloušťka stojiny t_w :	0,020 m
Výška stojiny h_w :	0,250 m
Krční úhelníky:	L 80x100x15



Obrázek 44: Průřez dolního pásu _změna průřezu II. - III.

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,013 043 m ²
Moment setrvačnosti I_y :	0,000 071 762 m ⁴
Moment setrvačnosti I_z :	0,000 033 676 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i_y :	0,074 m
Poloměr setrvačnosti i_z :	0,051 m
Průřezový elastický modul $W_{el,y}$:	0,000 358 450 m ³
Průřezový elastický modul $W_{el,z}$:	0,000 269 410 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,y}$:	0,000 696 850 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,z}$:	0,000 449 690 m ³

Posouzení průřezu na tahové účinky

$$N_{pl,Rd} = \frac{210\,000\,000 \cdot 0,013\,043}{1,10} = 2\,282\,525\, \text{N} = \underline{\underline{2\,282,525\, \text{kN}}}$$

$$N_{pl,Rd} > N_{pl,Ed}$$

$$2\,282,525\, \text{kN} > 1\,641,970\, \text{kN}$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Jak je patrné z podmínky dané normou, která vyhověla, průřez je na zatížení v tahu únosný a průřez se tedy nemusí zesilovat.

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
1 641,972		13,607		9,777		-7,389	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
368,608	1 273,364	8,162	5,445	1,521	8,256	-0,707	-6,682

Tabulka 23: Vnitřní síly pro dolní pás změna průřezu II. - III.

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,250 \cdot 0,020 \cdot 210\,000\,000}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 551\,107,075 \text{ N} = \underline{\underline{551,107 \text{ kN}}}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} \cdot V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 \cdot 5,445 + 8,162 = \underline{\underline{13,610 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{13,610}{551,107} = \underline{\underline{0,024\,696 \text{ [-]}}}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{368\,608}{\frac{0,013\,043 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{1\,521}{\frac{0,000\,358 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{707}{\frac{0,000\,269 \cdot 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,148 + 0,022 + 0,014 = \underline{\underline{0,184 \text{ [-]}}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{1\,273\,364}{\frac{0,013\,043 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{8\,256}{\frac{0,000\,358 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{6\,682}{\frac{0,000\,269 \cdot 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,511 + 0,121 + 0,130 = \underline{\underline{0,762 \text{ [-]}}}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,RS}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,314}{0,709}$$

$$Z_{LM71} = \underline{\underline{1,071 [-]}}$$

Kontrolní přepočítání podmínky η_3 po prvním iteračním kroku:

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,071 * 5,445 + 8,162$$

$$V_{Ed} = \underline{\underline{14,355\ 370\ kN}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{14,355\ 370}{551,107} = \underline{\underline{0,026\ 048 [-]}}$$

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy nemusíme pokračovat v iteračním postupu a hodnota zatížitelnosti je rovna $Z_{LM71} = 1,071 [-]$. Jelikož je zatížitelnost větší než jedna, prvek na zatížitelnost vyhovuje.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,330}{1,24} = \underline{\underline{1,076 [-]}}$$

Zatížení	V_f	N	V_z	M_y	M_z
$M_{tz,C2} =$	1,30	473,09	1,73	3,78	-3,82
$M_{LM71} =$	1,30	792,74	3,39	5,14	-4,16

Tabulka 24: Vnitřní síly od vlaků pro dolní pás _změna průřezu II. - III.

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 * 473,090}{1,3 * 792,740} = \underline{\underline{0,597 [-]}}$$

$$\text{pro } V_z: \lambda_{LM71,Vz} = \frac{1,3 * 1,730}{1,3 * 3,390} = \underline{\underline{0,510 [-]}}$$

$$\text{pro } M_y: \lambda_{LM71,My} = \frac{1,3 * 3,780}{1,3 * 5,140} = \underline{\underline{0,735 [-]}}$$

$$\text{pro } M_z: \lambda_{LM71,Mz} = \frac{1,3 * (-3,820)}{1,3 * (-4,160)} = \underline{\underline{0,918 [-]}}$$

$$\text{pro } N: k_{i,N} = \frac{0,148+0,511}{0,184+0,762} = \underline{\underline{0,697 [-]}}$$

$$\text{pro } Vz: k_{i,Vz} = \frac{0,000+0,000}{0,184+0,762} = \underline{\underline{0,000 [-]}}$$

$$\text{pro } My: k_{i,My} = \frac{0,022+0,121}{0,184+0,762} = \underline{\underline{0,151 [-]}}$$

$$\text{pro } Mz: k_{i,Mz} = \frac{0,014+0,130}{0,184+0,762} = \underline{\underline{0,152 [-]}}$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

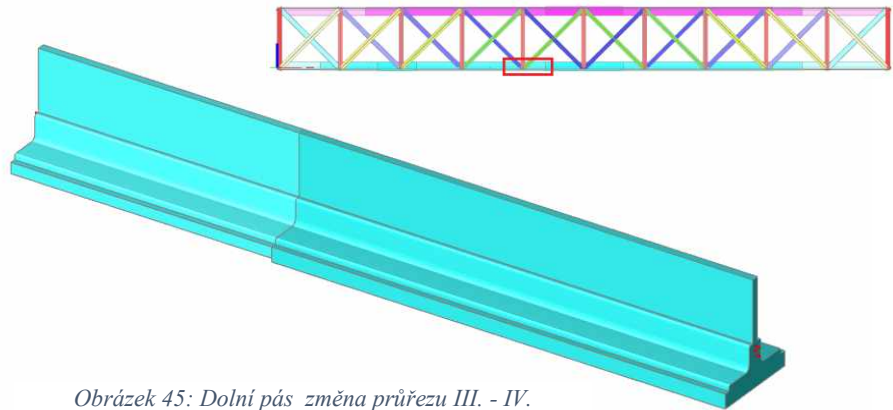
$$1,071 \geq (0,697 * 1,076 * 0,597) + (0,000 * 1,076 * 0,510) + (0,151 * 1,076 * 0,735) + (0,152 * 1,076 * 0,918)$$

$$1,071 \geq 0,717$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Jak je patrné ze splněné podmínky, prvek je přechodný pro traťovou třídu C2 s přidruženou rychlostí 75 km/h.

6.2.3. Posouzení změny průřezu III. - IV.



Obrázek 45: Dolní pás _změna průřezu III. - IV.

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR12, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z_{uvaz}/Gr_{XX}	Zuvaz/součinitel α
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.8	BR DP pr III.-IV.	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.8a	OS 75 DP pr III.-IV.	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.8	LM71 DP pr III.-IV.	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.8	C2 DP pr III.-IV.	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
167,79 kN	1,18 kN	0,67 kNm	-0,04 kNm	191,28 kN	1,35 kN	0,76 kNm	-0,05 kNm
34,54 kN	0,15 kN	0,10 kNm	0,00 kNm	39,38 kN	0,17 kN	0,11 kNm	0,00 kNm
120,76 kN	0,80 kN	-0,05 kNm	-0,37 kNm	122,27 kN	0,81 kN	0,00 kNm	-0,37 kNm
28,61 kN	0,44 kN	0,94 kNm	0,11 kNm	25,75 kN	0,40 kN	0,85 kNm	0,00 kNm
110,26 kN	1,85 kN	-0,70 kNm	-0,78 kNm	143,34 kN	2,41 kN	0,00 kNm	-1,01 kNm
135,58 kN	0,90 kN	0,00 kNm	-0,52 kNm	176,25 kN	1,17 kN	0,00 kNm	-0,68 kNm
105,96 kN	2,18 kN	-0,51 kNm	0,76 kNm	68,87 kN	1,42 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
1501,47 kN	6,55 kN	5,23 kNm	-0,75 kNm	2411,78 kN	10,52 kN	8,40 kNm	-1,20 kNm
835,22 kN	5,21 kN	2,55 kNm	-0,02 kNm	1444,10 kN	9,01 kN	4,41 kNm	-0,03 kNm
2204,97 kN	14,05 kN	5,68 kNm	-1,59 kNm	3178,93	18,24	10,12	-3,31

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

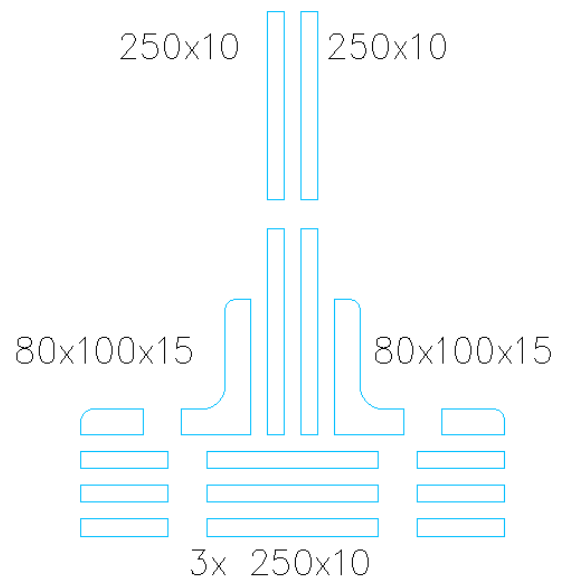
	Celkem	Rs	LM71
N =	3178,93	767,14	2411,78
Vz =	18,24	7,71	10,52
My =	10,12	1,72	8,40
Mz =	-3,31	-2,11	-1,20

Tabulka 25: Kombinace pro dolní pás _změna průřezu III. - IV.

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,280 m
Šířka pásnice b:	0,250 m
Tloušťka pásnice t_f :	0,030 m
Tloušťka stojiny t_w :	0,020 m
Výška stojiny h_w :	0,250 m
Krční úhelníky:	L 80x100x15



Obrázek 46: Průřez dolního pásu _změna průřezu III. - IV.

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,015 083 m ²
Moment setrvačnosti I_y :	0,000 081 649 m ⁴
Moment setrvačnosti I_z :	0,000 044 908 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i_y :	0,074 m
Poloměr setrvačnosti i_z :	0,055 m
Průřezový elastický modul $W_{el,y}$:	0,000 388 220 m ³
Průřezový elastický modul $W_{el,z}$:	0,000 359 270 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,y}$:	0,000 770 530 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,z}$:	0,000 577 420 m ³

Posouzení průřezu na tahové účinky

$$N_{pl,Rd} = \frac{210\,000\,000 \cdot 0,015\,083}{1,10} = 2\,639\,525\, \text{N} = \underline{\underline{2\,639,525\, \text{kN}}}$$

$$N_{pl,Rd} > N_{pl,Ed}$$

$$2\,639,525\, \text{kN} > 3\,178,930\, \text{kN}$$

PODMÍNKA NESPLNĚNÁ

Jak je patrné z podmínky dané normou, která **nevyhověla**, průřez je na zatížení v tahu **neúnosný** a průřez se tedy musí zesílit, pokud nevyhoví na přechodnost.

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
3 178,926		18,235		10,125		-3,315	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
767,141	2 411,785	7,714	10,521	1,724	8,401	-2,110	-1,205

Tabulka 26: Vnitřní síly pro dolní pás změna průřezu III. - IV.

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,250 * 0,020 * 210\,000\,000}{\sqrt{3} * 1,1} = 551\,107,075 \text{ N} = \underline{551,107 \text{ kN}}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 * 10,521 + 7,714 = \underline{18,240 \text{ kN}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{18,240}{551,107} = \underline{0,033\,097 [-]}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{767\,141}{0,015\,083 * 210\,000\,000 * 1,10} + \frac{1\,724}{0,000\,388 * 210\,000\,000 * 1,10} + \frac{2\,110}{0,000\,359 * 210\,000\,000 * 1,10}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,266 + 0,023 + 0,031 = \underline{0,320 [-]}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{2\,411\,785}{0,015\,083 * 210\,000\,000 * 1,10} + \frac{8\,401}{0,000\,388 * 210\,000\,000 * 1,10} + \frac{1\,205}{0,000\,359 * 210\,000\,000 * 1,10}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,838 + 0,113 + 0,018 = \underline{0,969 [-]}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,RS}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,320}{0,969}$$

$$Z_{LM71} = \underline{\underline{0,702 [-]}}$$

Jelikož zatížitelnost vyšla menší než 1,0, je možnost provést redukce ostatních účinků od zatížení železniční dopravou (účinky bočního rázu, rozjezdová a brzdná síla a zároveň odstředivé síly) o vypočítanou zatížitelnost. Výslednou hodnotu zatížitelnosti Z_{LM71} je třeba určit iterační formou výpočtu.

MP 4.7.7

V následujících tabulkách jsou znázorněny změny hodnot vnitřních sil od ostatních zatížení železniční dopravy po jednotlivých iteracích. Dále jsou v tabulkách znázorněny jednotlivé změny zatížitelnosti, které se počítaly stejným způsobem, jako v předchozím případě výpočtu Z_{LM71} .

Iterace č. 0				Iterace č. 1				Iterace č. 2				Iterace č. 3			
0,702				0,751				0,743				0,744			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
191,28	1,35	0,76	-0,05	191,28	1,35	0,76	-0,05	191,28	1,35	0,76	-0,05	191,28	1,35	0,76	-0,05
39,38	0,17	0,11	0,00	39,38	0,17	0,11	0,00	39,38	0,17	0,11	0,00	39,38	0,17	0,11	0,00
122,27	0,81	0,00	-0,37	122,27	0,81	0,00	-0,37	122,27	0,81	0,00	-0,37	122,27	0,81	0,00	-0,37
25,75	0,40	0,85	0,00	25,75	0,40	0,85	0,00	25,75	0,40	0,85	0,00	25,75	0,40	0,85	0,00
143,34	2,41	0,00	-1,01	100,58	1,69	0,00	-0,71	107,62	1,81	0,00	-0,76	106,46	1,79	0,00	-0,75
176,25	1,17	0,00	-0,68	123,67	0,82	0,00	-0,47	132,33	0,88	0,00	-0,51	130,91	0,87	0,00	-0,50
68,87	1,42	0,00	0,00	48,33	0,99	0,00	0,00	51,71	1,06	0,00	0,00	51,15	1,05	0,00	0,00
2411,78	10,52	8,40	-1,20	2411,78	10,52	8,40	-1,20	2411,78	10,52	8,40	-1,20	2411,78	10,52	8,40	-1,20

Iterace č. 4				Iterace č. 5				Iterace č. 6				Iterace č. 7			
0,744				0,744				0,744				0,744			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
191,28	1,35	0,76	-0,05	191,28	1,35	0,76	-0,05	191,28	1,35	0,76	-0,05	191,28	1,35	0,76	-0,05
39,38	0,17	0,11	0,00	39,38	0,17	0,11	0,00	39,38	0,17	0,11	0,00	39,38	0,17	0,11	0,00
122,27	0,81	0,00	-0,37	122,27	0,81	0,00	-0,37	122,27	0,81	0,00	-0,37	122,27	0,81	0,00	-0,37
25,75	0,40	0,85	0,00	25,75	0,40	0,85	0,00	25,75	0,40	0,85	0,00	25,75	0,40	0,85	0,00
106,65	1,79	0,00	-0,75	106,62	1,79	0,00	-0,75	106,62	1,79	0,00	-0,75	106,62	1,79	0,00	-0,75
131,14	0,87	0,00	-0,50	131,10	0,87	0,00	-0,50	131,11	0,87	0,00	-0,50	131,11	0,87	0,00	-0,50
51,25	1,05	0,00	0,00	51,23	1,05	0,00	0,00	51,23	1,05	0,00	0,00	51,23	1,05	0,00	0,00
2411,78	10,52	8,40	-1,20	2411,78	10,52	8,40	-1,20	2411,78	10,52	8,40	-1,20	2411,78	10,52	8,40	-1,20

Tabulka 27: Iterace pro dolní pás změna průřezu III. - IV.

Jak je z posledního sedmého kroku iterace patrné, poslední zatížitelnost, a tím tedy i výsledná zatížitelnost, je rovna hodnotě $Z_{LM71} = 0,744 [-]$.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,330}{1,24} = \underline{\underline{1,076 [-]}}$$

Zatížení	γ_f	N	Vz	My	Mz
$M_{ttz,C2} =$	1,30	835,22	5,21	2,55	-0,02
$M_{LM71} =$	1,30	1501,47	6,55	5,23	-0,75

Tabulka 28: Vnitřní síly od vlaků pro dolní pás změna průřezu III. - IV.

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 \cdot 835,220}{1,3 \cdot 1501,470} = \underline{\underline{0,556 [-]}}$$

$$\text{pro Vz: } \lambda_{LM71,Vz} = \frac{1,3 \cdot 5,210}{1,3 \cdot 6,550} = \underline{\underline{0,795 [-]}}$$

$$\text{pro My: } \lambda_{LM71,My} = \frac{1,3 \cdot 2,550}{1,3 \cdot 5,230} = \underline{\underline{0,488 [-]}}$$

$$\text{pro Mz: } \lambda_{LM71,Mz} = \frac{1,3 \cdot (-0,020)}{1,3 \cdot (-0,750)} = \underline{\underline{0,027 [-]}}$$

$$\text{pro N: } k_{i,N} = \frac{0,232 + 0,838}{0,279 + 0,969} = \underline{\underline{0,857 [-]}}$$

$$\text{pro Vz: } k_{i,Vz} = \frac{0,000 + 0,000}{0,279 + 0,969} = \underline{\underline{0,000 [-]}}$$

$$\text{pro My: } k_{i,My} = \frac{0,023 + 0,113}{0,279 + 0,969} = \underline{\underline{0,109 [-]}}$$

$$\text{pro Mz: } k_{i,Mz} = \frac{0,024 + 0,018}{0,279 + 0,969} = \underline{\underline{0,034 [-]}}$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i \cdot \psi_i \cdot \lambda_{LM71,i}$$

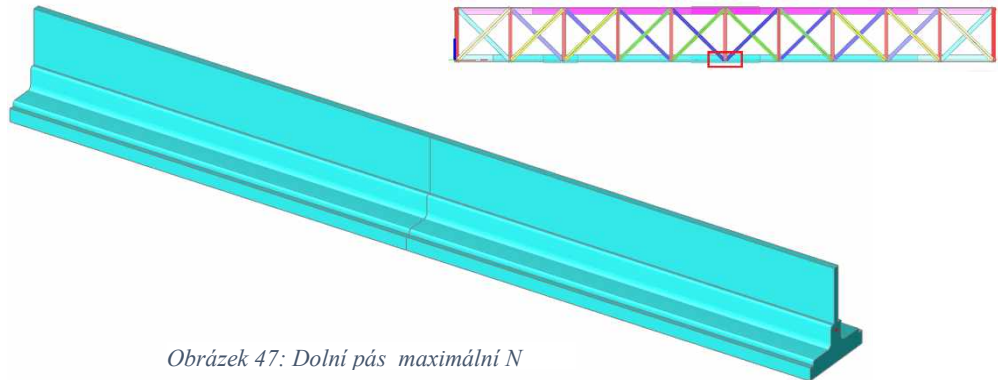
$$0,744 \geq (0,857 \cdot 1,076 \cdot 0,556) + (0,000 \cdot 1,076 \cdot 0,795) + (0,109 \cdot 1,076 \cdot 0,488) + (0,034 \cdot 1,076 \cdot 0,027)$$

$$0,744 \geq 0,571$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jak je patrné ze splněné podmínky, ačkoli prvek nevyhověl na posudek zatížitelnosti, tak je prvek přechodný pro traťovou třídu C2 s přidruženou rychlostí 75 km/h. Tímto pádem prvek nemusí být zesílen ani upravován, protože sice konstrukce nepřenesla celý model LM71, ale je schopna přenést model zatížení, který se na konstrukci reálně vyskytuje (model C2).

6.2.4. Posouzení průřezu v místě maximálního působení N



Obrázek 47: Dolní pás maximální N

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR12, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaž} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.9	BR DP max N	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.9a	OS 75 DP max N	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.9	LM71 DP max N	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.9	C2 DP max N	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
170,66 kN	1,82 kN	0,92 kNm	-0,02 kNm	194,55 kN	2,07 kN	1,05 kNm	-0,02 kNm
35,25 kN	0,84 kN	0,30 kNm	-0,02 kNm	40,19 kN	0,96 kN	0,34 kNm	-0,02 kNm
123,12 kN	3,07 kN	0,98 kNm	-1,94 kNm	124,66 kN	3,11 kN	0,99 kNm	-1,96 kNm
40,42 kN	11,83 kN	1,55 kNm	-0,56 kNm	36,38 kN	10,65 kN	1,40 kNm	-0,50 kNm
111,46 kN	3,60 kN	0,77 kNm	-5,38 kNm	144,90 kN	4,68 kN	1,00 kNm	-6,99 kNm
138,65 kN	4,02 kN	1,16 kNm	-2,52 kNm	180,25 kN	5,23 kN	1,51 kNm	-3,28 kNm
108,62 kN	4,78 kN	2,30 kNm	-3,83 kNm	70,60 kN	3,11 kN	1,50 kNm	-2,49 kNm
1539,69 kN	48,53 kN	13,82 kNm	-0,99 kNm	2473,18 kN	77,95 kN	22,20 kNm	-1,59 kNm
849,15 kN	21,27 kN	9,41 kNm	-2,90 kNm	1468,18 kN	36,78 kN	16,27 kNm	-5,01 kNm
2267,87 kN	78,49 kN	21,80 kNm	-15,26 kNm	3264,70	107,75	29,98	-16,86

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

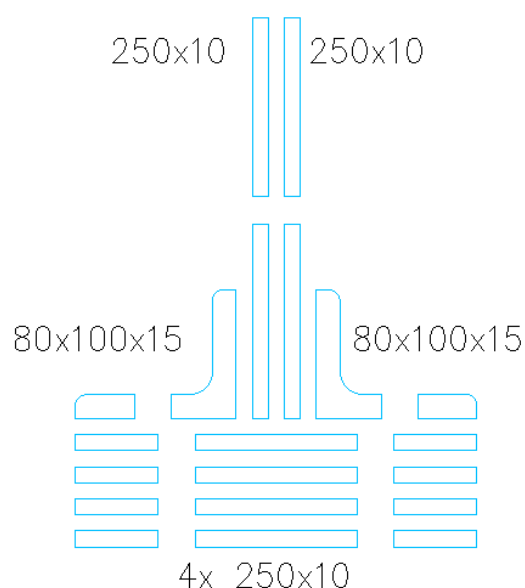
	Celkem	Rs	LM71
N =	3264,70	791,52	2473,18
V _z =	107,75	29,80	77,95
M _y =	29,98	7,78	22,20
M _z =	-16,86	-15,27	-1,59

Tabulka 29: Kombinace pro horní pás_maximální N

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,290 m
Šířka pásnice b:	0,250 m
Tloušťka pásnice t_f :	0,040 m
Tloušťka stojiny t_w :	0,020 m
Výška stojiny h_w :	0,250 m
Krční úhelníky:	L 80x100x15



Obrázek 48: Průřez dolního pásu_maximální N

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,017 123 m ²
Moment setrvačnosti I_y :	0,000 091 689 m ⁴
Moment setrvačnosti I_z :	0,000 056 141 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i_y :	0,073 m
Poloměr setrvačnosti i_z :	0,057 m
Průřezový elastický modul $W_{el,y}$:	0,000 418 260 m ³
Průřezový elastický modul $W_{el,z}$:	0,000 449 120 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,y}$:	0,000 852 610 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,z}$:	0,000 705 150 m ³

Posouzení průřezu na tahové účinky

$$N_{pl,Rd} = \frac{210\,000\,000 \cdot 0,017\,123}{1,10} = 2\,996\,525\, \text{N} = \underline{\underline{2\,996,525\, \text{kN}}}$$

$$N_{pl,Rd} > N_{pl,Ed}$$

$$2\,996,525\, \text{kN} > 3\,264,700\, \text{kN}$$

PODMÍNKÁ NESPLNĚNÁ

Jak je patrné z podmínky dané normou, která **nevyhověla**, průřez je na zatížení v tahu **neúnosný** a průřez se tedy musí zesílit, pokud nevyhoví na přechodnost.

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
3 264,697		107,754		29,981		-16,864	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
791,520	2 473,177	29,801	77,953	7,782	22,199	-15,273	-1,590

Tabulka 30: Vnitřní síly pro dolní pás_maximální N

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,250 * 0,020 * 210\,000\,000}{\sqrt{3} * 1,1} = 551\,107,075 \text{ N} = \underline{\underline{551,107 \text{ kN}}}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 * 77,953 + 29,801 = \underline{\underline{107,750 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{107,750}{551,107} = \underline{\underline{0,195\,516 \text{ [-]}}}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{791\,520}{\frac{0,017\,123 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{7\,782}{\frac{0,000\,418 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{15\,273}{\frac{0,000\,449 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,242 + 0,098 + 0,178 = \underline{\underline{0,518 \text{ [-]}}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{2\,473\,177}{\frac{0,017\,123 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{22\,199}{\frac{0,000\,418 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{1\,590}{\frac{0,000\,449 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,757 + 0,278 + 0,018 = \underline{\underline{1,053 \text{ [-]}}}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,RS}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,518}{1,053}$$

$$Z_{LM71} = \underline{\underline{0,458 [-]}}$$

Jelikož zatížitelnost vyšla menší než 1,0, je možnost provést redukce ostatních účinků od zatížení železniční dopravou (účinky bočního rázu, rozjezdová a brzdná síla a zároveň odstředivé síly) o vypočítanou zatížitelnost. Výslednou hodnotu zatížitelnosti Z_{LM71} je třeba určit iterační formou výpočtu.

MP 4.7.7

V následujících tabulkách jsou znázorněny změny hodnot vnitřních sil od ostatních zatížení železniční dopravy po jednotlivých iteracích. Dále jsou v tabulkách znázorněny jednotlivé změny zatížitelnosti, které se počítaly stejným způsobem, jako v předchozím případě výpočtu Z_{LM71} .

Iterace č. 0				Iterace č. 1				Iterace č. 2				Iterace č. 3			
0,458				0,623				0,573				0,588			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
194,55	2,07	1,05	-0,02	194,55	2,07	1,05	-0,02	194,55	2,07	1,05	-0,02	194,55	2,07	1,05	-0,02
40,19	0,96	0,34	-0,02	40,19	0,96	0,34	-0,02	40,19	0,96	0,34	-0,02	40,19	0,96	0,34	-0,02
124,66	3,11	0,99	-1,96	124,66	3,11	0,99	-1,96	124,66	3,11	0,99	-1,96	124,66	3,11	0,99	-1,96
36,38	10,65	1,40	-0,50	36,38	10,65	1,40	-0,50	36,38	10,65	1,40	-0,50	36,38	10,65	1,40	-0,50
144,90	4,68	1,00	-6,99	66,36	2,14	0,46	-3,20	90,22	2,91	0,62	-4,35	82,97	2,68	0,57	-4,00
180,25	5,23	1,51	-3,28	82,54	2,39	0,69	-1,50	112,23	3,25	0,94	-2,04	103,21	2,99	0,86	-1,88
70,60	3,11	1,50	-2,49	32,33	1,42	0,68	-1,14	43,96	1,93	0,93	-1,55	40,43	1,78	0,86	-1,43
2473,18	77,95	22,20	-1,59	2473,18	77,95	22,20	-1,59	2473,18	77,95	22,20	-1,59	2473,18	77,95	22,20	-1,59

Iterace č. 4				Iterace č. 5				Iterace č. 6				Iterace č. 7			
0,583				0,585				0,584				0,584			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
194,55	2,07	1,05	-0,02	194,55	2,07	1,05	-0,02	194,55	2,07	1,05	-0,02	194,55	2,07	1,05	-0,02
40,19	0,96	0,34	-0,02	40,19	0,96	0,34	-0,02	40,19	0,96	0,34	-0,02	40,19	0,96	0,34	-0,02
124,66	3,11	0,99	-1,96	124,66	3,11	0,99	-1,96	124,66	3,11	0,99	-1,96	124,66	3,11	0,99	-1,96
36,38	10,65	1,40	-0,50	36,38	10,65	1,40	-0,50	36,38	10,65	1,40	-0,50	36,38	10,65	1,40	-0,50
85,17	2,75	0,59	-4,11	84,50	2,73	0,58	-4,08	84,71	2,74	0,59	-4,09	84,65	2,73	0,58	-4,09
105,95	3,07	0,89	-1,93	105,12	3,05	0,88	-1,91	105,37	3,06	0,88	-1,92	105,29	3,05	0,88	-1,91
41,50	1,83	0,88	-1,46	41,18	1,81	0,87	-1,45	41,27	1,82	0,87	-1,46	41,24	1,82	0,87	-1,45
2473,18	77,95	22,20	-1,59	2473,18	77,95	22,20	-1,59	2473,18	77,95	22,20	-1,59	2473,18	77,95	22,20	-1,59

Tabulka 31: Iterace pro dolní pás_maximální N

Jak je z posledního sedmého kroku iterace patrné, poslední zatížitelnost, a tím tedy i výsledná zatížitelnost, je rovna hodnotě $Z_{LM71} = 0,584 [-]$.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,330}{1,24} = \underline{\underline{1,076 [-]}}$$

Zatížení	γ_f	N	Vz	My	Mz
$M_{ttz,C2} =$	1,30	849,15	21,27	9,41	0,00
$M_{LM71} =$	1,30	1539,69	48,53	13,82	-0,99

Tabulka 32: Vnitřní síly od vlaků pro dolní pás_maximální N

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 \cdot 849,150}{1,3 \cdot 1539,690} = \underline{\underline{0,552 [-]}}$$

$$\text{pro Vz: } \lambda_{LM71,Vz} = \frac{1,3 \cdot 21,270}{1,3 \cdot 48,530} = \underline{\underline{0,438 [-]}}$$

$$\text{pro My: } \lambda_{LM71,My} = \frac{1,3 \cdot 9,410}{1,3 \cdot 13,820} = \underline{\underline{0,681 [-]}}$$

$$\text{pro Mz: } \lambda_{LM71,Mz} = \frac{1,3 \cdot (-0,000)}{1,3 \cdot (-0,990)} = \underline{\underline{0,000 [-]}}$$

$$\text{pro N: } k_{i,N} = \frac{0,192 + 0,757}{0,385 + 1,053} = \underline{\underline{0,660 [-]}}$$

$$\text{pro Vz: } k_{i,Vz} = \frac{0,000 + 0,000}{0,385 + 1,053} = \underline{\underline{0,000 [-]}}$$

$$\text{pro My: } k_{i,My} = \frac{0,077 + 0,278}{0,385 + 1,053} = \underline{\underline{0,247 [-]}}$$

$$\text{pro Mz: } k_{i,Mz} = \frac{0,116 + 0,019}{0,385 + 1,053} = \underline{\underline{0,094 [-]}}$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i \cdot \psi_i \cdot \lambda_{LM71,i}$$

$$0,584 \geq (0,660 \cdot 1,076 \cdot 0,552) + (0,000 \cdot 1,076 \cdot 0,438) + (0,247 \cdot 1,076 \cdot 0,681) + (0,094 \cdot 1,076 \cdot 0,000)$$

$$0,584 \geq 0,572$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

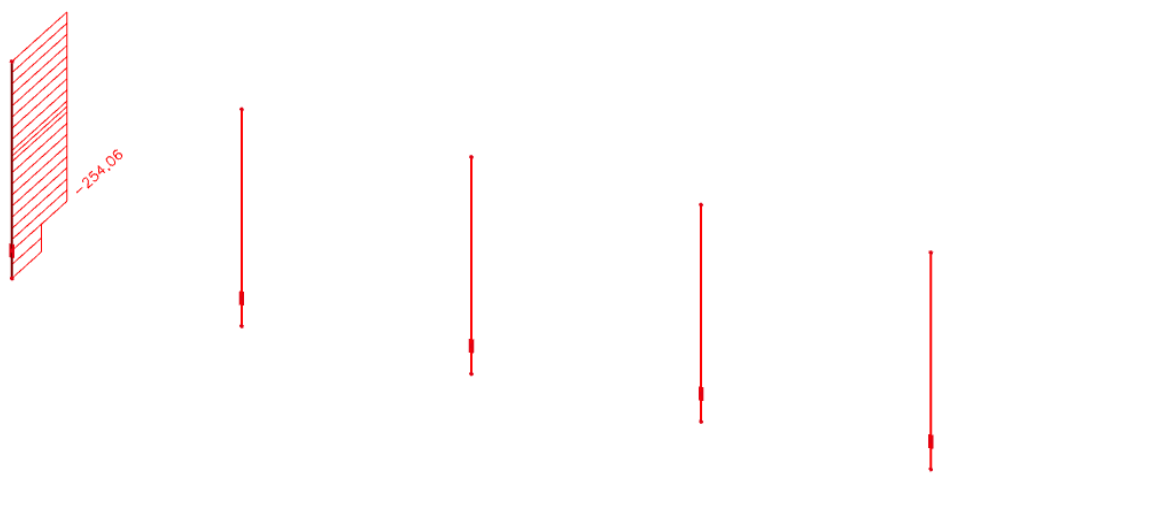
Jak je patrné ze splněné podmínky, ačkoli prvek nevyhověl na posudek zatížitelnosti, tak je prvek přechodný pro traťovou třídu C2 s přidruženou rychlostí 75 km/h. Tímto pádem prvek nemusí být zesílen ani upravován, protože sice konstrukce nepřenesla celý model LM71, ale je schopna přenést model zatížení, který se na konstrukci reálně vyskytuje (model C2).

6.3. Posouzení svislic

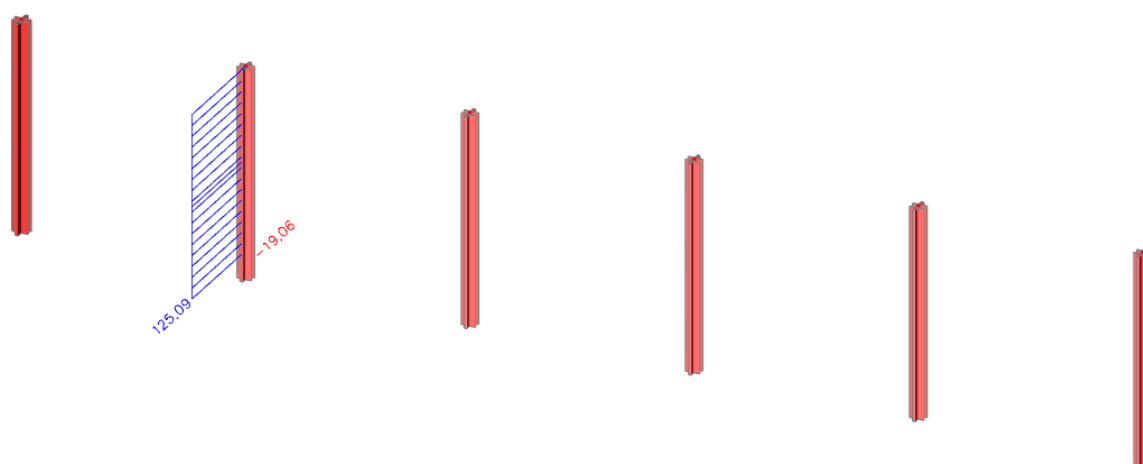
Jelikož se jedná o svislice hlavního nosníku, kde představuje nejhorší zatížení normálová síla ve formě tahu i tlaku, posuzovaly se prvky svislic na tah i tlak. Dále se prvky svislic posoudily na zatížitelnost a na přechodnost.

Posuzovaly se prvky svislic levého hlavního nosníku, protože tento nosník byl vzhledem k excentricitě působení sil a odstředivým silám více zatížený, proto můžeme předpokládat, že prvky svislic pravého nosníku vyjdou taktéž (vzhledem k menšímu zatížení).

Mezi posuzované prvky patří svislice krajní, která je více zatížená na tlak a dále se posuzovaly svislice uprostřed pole hlavního nosníku na tlak a na tah, vždy svislice, která byla více zatížená buď tahem nebo tlakem.

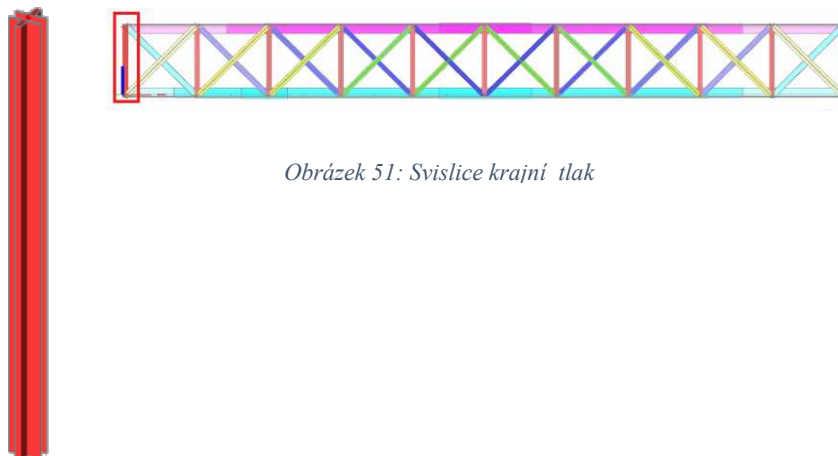


Obrázek 50: Průběh normálové síly od LM71 pro výpočet krajní svislice



Obrázek 49: Průběh normálové síly od LM71 pro výpočet střední svislice na tah

6.3.1. Posouzení průřezu krajní svislice v místě maximálního tlaku



Obrázek 51: Svislice krajní tlak

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR12, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaž} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.11	BR Vk tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.11a	OS 75 Vk tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.11	LM71 Vk tlak	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.11	C2 Vk tlak	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-28,83 kN	0,00 kN	0,01 kNm	-0,48 kNm	-32,87 kN	0,00 kN	0,01 kNm	-0,55 kNm
-5,77 kN	-0,01 kN	0,00 kNm	-0,09 kNm	-6,58 kN	0,01 kN	0,00 kNm	-0,10 kNm
-12,47 kN	-0,06 kN	-0,03 kNm	-0,14 kNm	-12,63 kN	0,06 kN	0,00 kNm	-0,14 kNm
-12,61 kN	0,23 kN	-0,09 kNm	0,20 kNm	-11,35 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-6,70 kN	0,10 kN	0,02 kNm	-0,03 kNm	-8,71 kN	0,00 kN	0,03 kNm	-0,04 kNm
-14,70 kN	-0,04 kN	-0,03 kNm	-0,17 kNm	-19,11 kN	0,05 kN	0,00 kNm	-0,22 kNm
-0,69 kN	0,00 kN	-0,05 kNm	0,10 kNm	-0,45 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-254,06 kN	-0,51 kN	0,14 kNm	-3,99 kNm	-408,09 kN	0,82 kN	0,22 kNm	-6,41 kNm
-157,05 kN	-0,52 kN	0,07 kNm	-2,50 kNm	-271,54 kN	-0,90 kN	0,12 kNm	-4,32 kNm
-335,83 kN	-0,29 kN	-0,03 kNm	-4,60 kNm	-499,78	0,94	0,26	-7,46

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

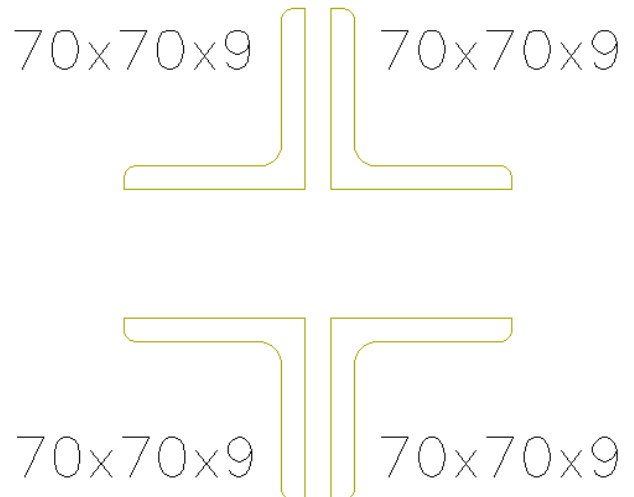
	Celkem	Rs	LM71
N =	-499,78	-91,69	-408,09
Vz =	0,94	0,12	0,82
My =	0,26	0,04	0,22
Mz =	-7,46	-1,05	-6,41

Tabulka 33: Kombinace pro krajní svislici tlak

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,190 m
Celková šířka profilu B:	0,150 m
Tloušťka vodorovné části:	0,009 m
Tloušťka svislé části:	0,009 m
Úhelníky:	L 70x70x9



Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,004 751 m ²
Moment setrvačnosti I _y :	0,000 011 943 m ⁴
Moment setrvačnosti I _z :	0,000 005 193 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i _y :	0,050 m
Poloměr setrvačnosti i _z :	0,033 m
Průřezový elastický modul W _{el,y} :	0,000 125 720 m ³
Průřezový elastický modul W _{el,z} :	0,000 069 233 m ³
Průřezový plastický modul W _{pl,y} :	0,000 216 290 m ³
Průřezový plastický modul W _{pl,z} :	0,000 121 260 m ³

Obrázek 52: Průřez krajní svislice_tlak

Posouzení průřezu na tlakové účinky

Zatřídění L průřezu

$$\frac{h}{t} = \frac{0,070}{0,009} = \underline{7,778}$$

$$15 * \varepsilon = 15 * 1,06 = 15,868 [-]$$

$$\frac{h}{t} \leq 15 * \varepsilon = 7,778 \leq 15,868$$

PODMÍNKY SPLNĚNÁ

Průřez profilu L spadá dle normy automaticky do III. třídy průřezu.

ČSN EN 1993-1-1_5.6_tabulka 5.2

Průřez spadá do III. třídy průřezu. Pro výpočet a dle Metodického pokynu (odstavce A 2.2.4.) se ve výpočtech používají hodnoty elastické.

Výpočet součinitele vzpěrnosti

Štíhlost prutu: $L_y = L_z = 0,9 * L_{vzpěr} = 0,9 * 1,5 = \underline{1,35 \text{ m}}$

$$\lambda_y = \frac{1,35}{0,053} = \underline{27,000\,000 \text{ [-]}}$$

$$\lambda_z = \frac{1,35}{0,030} = \underline{40,909\,091 \text{ [-]}}$$

Poměrná štíhlost prutu: $\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 1,06 = \underline{99,534 \text{ [-]}}$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{27,000\,000}{99,534} = \underline{0,271\,815 \text{ [-]}}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{40,909\,091}{99,534} = \underline{0,411\,841 \text{ [-]}}$$

Součinitel vzpěrnosti y: $\alpha = \text{křivka b} = 0,34$

$$\theta_y = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,271\,815 - 0,2) + 0,271\,815^2]$$

$$\theta_y = \underline{0,549\,150 \text{ [-]}}$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,549\,150 + \sqrt{0,549\,150^2 - 0,271\,815^2}} = \underline{0,974\,363 \text{ [-]}}$$

Součinitel vzpěrnosti z: $\alpha = \text{křivka b} = 0,34$

$$\theta_z = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,411\,841 - 0,2) + 0,411\,841^2]$$

$$\theta_z = \underline{0,620\,820 \text{ [-]}}$$

$$\chi_z = \frac{1}{0,620\,820 + \sqrt{0,620\,820^2 - 0,411\,841^2}} = \underline{0,921\,348 \text{ [-]}}$$

Pro výpočet únosnosti průřezu na tlak bereme méně příznivou hodnotu součinitele vzpěrnosti. Pro tento případ se jedná o součinitel vzpěrnosti χ_z .

Výpočet únosnosti průřezu na tlak

$$N_{b,Rd} = \frac{0,921\,348 * 210\,000\,000 * 0,004\,751}{1,20} = 766\,096,040 \text{ N} = \underline{766,096 \text{ kN}}$$

$$N_{b,Rd} > N_{b,Ed}$$

$$766,096 \text{ kN} > 499,780 \text{ kN}$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jak je patrné z podmínky dané normou, která vyhověla, průřez je na zatížení v tlaku únosný a průřez se tedy nemusí zesilovat.

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
-499,779		0,943		0,262		-7,461	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
-91,687	-408,092	0,124	0,819	0,037	0,225	-1,052	-6,409

Tabulka 34: Vnitřní síly pro krajní svislici_tlak

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,061 * 0,009 * 210\,000\,000}{\sqrt{3} * 1,1} = 60\,511,557 \text{ N} = \underline{\underline{60,512 \text{ kN}}}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 * 0,819 + 0,124 = \underline{\underline{0,940 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{0,940}{60,512} = \underline{\underline{0,015\,534 \text{ [-]}}}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{91\,687}{\frac{0,004\,751 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{37}{\frac{0,000\,126 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{1\,052}{\frac{0,000\,069 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,101 + 0,002 + 0,080 = \underline{\underline{0,182 \text{ [-]}}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{408\,092}{\frac{0,004\,751 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{225}{\frac{0,000\,126 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{6\,409}{\frac{0,000\,069 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,450 + 0,009 + 0,485 = \underline{\underline{0,944 \text{ [-]}}}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,RS}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,182}{0,944}$$

$$Z_{LM71} = \underline{\underline{0,866 [-]}}$$

Jelikož zatížitelnost vyšla menší než 1,0, je možnost provést redukce ostatních účinků od zatížení železniční dopravou (účinky bočního rázu, rozjezdová a brzdná síla a zároveň odstředivé síly) o vypočítanou zatížitelnost. Výslednou hodnotu zatížitelnosti Z_{LM71} je třeba určit iterační formou výpočtu.

MP 4.7.7

V následujících tabulkách jsou znázorněny změny hodnot vnitřních sil od ostatních zatížení železniční dopravy po jednotlivých iteracích. Dále jsou v tabulkách znázorněny jednotlivé změny zatížitelnosti, které se počítaly stejným způsobem, jako v předchozím případě výpočtu Z_{LM71} .

Iterace č. 0				Iterace č. 1				Iterace č. 2				Iterace č. 3			
0,866				0,874				0,873				0,873			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-32,87	0,00	0,01	-0,55	-32,87	0,00	0,01	-0,55	-32,87	0,00	0,01	-0,55	-32,87	0,00	0,01	-0,55
-6,58	0,01	0,00	-0,10	-6,58	0,01	0,00	-0,10	-6,58	0,01	0,00	-0,10	-6,58	0,01	0,00	-0,10
-12,63	0,06	0,00	-0,14	-12,63	0,06	0,00	-0,14	-12,63	0,06	0,00	-0,14	-12,63	0,06	0,00	-0,14
-11,35	0,00	0,00	0,00	-11,35	0,00	0,00	0,00	-11,35	0,00	0,00	0,00	-11,35	0,00	0,00	0,00
-8,71	0,00	0,03	-0,04	-7,54	0,00	0,02	-0,03	-7,61	0,00	0,02	-0,03	-7,60	0,00	0,02	-0,03
-19,11	0,05	0,00	-0,22	-16,55	0,05	0,00	-0,19	-16,69	0,05	0,00	-0,19	-16,69	0,05	0,00	-0,19
-0,45	0,00	0,00	0,00	-0,39	0,00	0,00	0,00	-0,39	0,00	0,00	0,00	-0,39	0,00	0,00	0,00
-408,09	0,82	0,22	-6,41	-408,09	0,82	0,22	-6,41	-408,09	0,82	0,22	-6,41	-408,09	0,82	0,22	-6,41
Iterace č. 4				Iterace č. 5				Iterace č. 6				Iterace č. 7			
0,873				0,873				0,873				0,873			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-32,87	0,00	0,01	-0,55	-32,87	0,00	0,01	-0,55	-32,87	0,00	0,01	-0,55	-32,87	0,00	0,01	-0,55
-6,58	0,01	0,00	-0,10	-6,58	0,01	0,00	-0,10	-6,58	0,01	0,00	-0,10	-6,58	0,01	0,00	-0,10
-12,63	0,06	0,00	-0,14	-12,63	0,06	0,00	-0,14	-12,63	0,06	0,00	-0,14	-12,63	0,06	0,00	-0,14
-11,35	0,00	0,00	0,00	-11,35	0,00	0,00	0,00	-11,35	0,00	0,00	0,00	-11,35	0,00	0,00	0,00
-7,61	0,00	0,02	-0,03	-7,61	0,00	0,02	-0,03	-7,61	0,00	0,02	-0,03	-7,61	0,00	0,02	-0,03
-16,69	0,05	0,00	-0,19	-16,69	0,05	0,00	-0,19	-16,69	0,05	0,00	-0,19	-16,69	0,05	0,00	-0,19
-0,39	0,00	0,00	0,00	-0,39	0,00	0,00	0,00	-0,39	0,00	0,00	0,00	-0,39	0,00	0,00	0,00
-408,09	0,82	0,22	-6,41	-408,09	0,82	0,22	-6,41	-408,09	0,82	0,22	-6,41	-408,09	0,82	0,22	-6,41

Tabulka 35: Iterace pro krajní svislici_tlak

Jak je z posledního sedmého kroku iterace patrné, poslední zatížitelnost, a tím tedy i výsledná zatížitelnost, je rovna hodnotě $Z_{LM71} = 0,873 [-]$.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,330}{1,24} = \underline{\underline{1,076 [-]}}$$

Zatížení	γ_f	N	Vz	My	Mz
$M_{ttz,C2} =$	1,30	-157,05	-0,52	0,07	-2,50
$M_{LM71} =$	1,30	-254,06	-0,51	0,14	-3,99

Tabulka 36: Vnitřní síly od vlaků pro krajní svislici_tlak

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3*(-157,050)}{1,3*(-254,060)} = \underline{\underline{0,618 [-]}}$$

$$\text{pro Vz: } \lambda_{LM71,Vz} = \frac{1,3*(-0,520)}{1,3*(-0,510)} = \underline{\underline{1,020 [-]}}$$

$$\text{pro My: } \lambda_{LM71,My} = \frac{1,3*0,070}{1,3*0,140} = \underline{\underline{0,500 [-]}}$$

$$\text{pro Mz: } \lambda_{LM71,Mz} = \frac{1,3*(-2,500)}{1,3*(-3,990)} = \underline{\underline{0,627 [-]}}$$

$$\text{pro N: } k_{i,N} = \frac{0,192+0,757}{0,176+0,944} = \underline{\underline{0,489 [-]}}$$

$$\text{pro Vz: } k_{i,Vz} = \frac{0,000+0,000}{0,176+0,944} = \underline{\underline{0,000 [-]}}$$

$$\text{pro My: } k_{i,My} = \frac{0,077+0,278}{0,176+0,944} = \underline{\underline{0,010 [-]}}$$

$$\text{pro Mz: } k_{i,Mz} = \frac{0,116+0,019}{0,176+0,944} = \underline{\underline{0,502 [-]}}$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

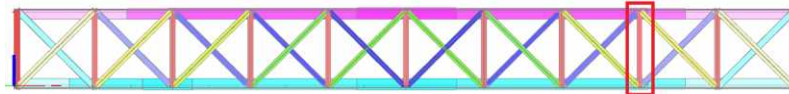
$$0,873 \geq (0,489 * 1,076 * 0,618) + (0,000 * 1,076 * 1,020) + (0,010 * 1,076 * 0,500) + (0,502 * 1,076 * 0,627)$$

$$0,873 \geq 0,669$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jak je patrné ze splněné podmínky, ačkoli prvek nevyhověl na posudek zatížitelnosti, tak je prvek přechodný pro traťovou třídu C2 s přidruženou rychlostí 75 km/h. Tímto pádem prvek nemusí být zesílen ani upravován, protože sice konstrukce nepřenesla celý model LM71, ale je schopna přenést model zatížení, který se na konstrukci reálně vyskytuje (model C2).

6.3.2. Posouzení průřezu prostřední svislice v místě maximálního tlaku



Obrázek 53: Prostřední svislice_tlak

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR14, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	$Z_{svaž}/GrXX$	Zuvaž/součinitel α
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.12	BR Vp tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.12a	OS 75 Vp tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.12	LM71 Vp tlak	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.12	C2 Vp tlak	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-1,17 kN	-0,05 kN	0,00 kNm	0,11 kNm	-1,33 kN	0,06 kN	0,00 kNm	0,10 kNm
-0,63 kN	-0,02 kN	0,00 kNm	0,02 kNm	-0,72 kN	0,02 kN	0,00 kNm	0,02 kNm
-1,67 kN	-0,27 kN	0,04 kNm	-0,83 kNm	-1,69 kN	0,27 kN	0,04 kNm	-0,84 kNm
-59,60 kN	0,06 kN	0,01 kNm	0,15 kNm	-53,64 kN	0,00 kN	0,01 kNm	0,00 kNm
-3,28 kN	0,70 kN	-0,08 kNm	-0,86 kNm	-4,26 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-1,12 kNm
-2,50 kN	-0,31 kN	0,02 kNm	-0,38 kNm	-3,25 kN	0,40 kN	0,03 kNm	-0,49 kNm
-4,98 kN	0,28 kN	-0,03 kNm	0,96 kNm	-3,24 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-41,72 kN	-0,88 kN	0,16 kNm	0,25 kNm	-67,01 kN	1,41 kN	0,26 kNm	-0,20 kNm
-29,39 kN	0,72 kN	0,26 kNm	0,09 kNm	-50,82 kN	1,24 kN	0,45 kNm	0,16 kNm
-115,55 kN	-0,49 kN	0,12 kNm	-0,58 kNm	-135,15	2,17	0,33	-2,54

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

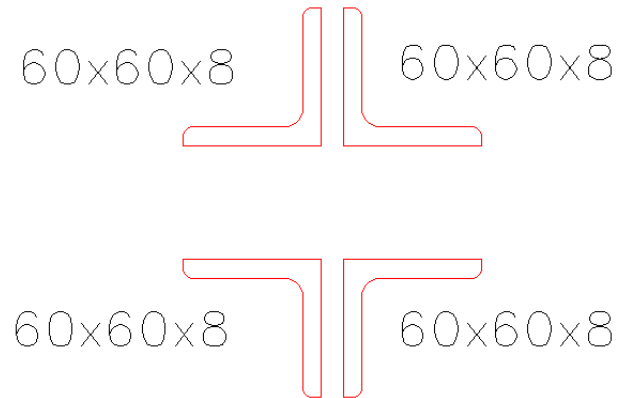
	Celkem	Rs	LM71
N =	-135,15	-68,13	-67,01
Vz =	2,17	0,76	1,41
My =	0,33	0,08	0,26
Mz =	-2,54	-2,34	-0,20

Tabulka 37: Kombinace pro prostřední svislici_tlak

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,170 m
Celková šířka profilu B:	0,130 m
Tloušťka vodorovné části:	0,008 m
Tloušťka svislé části:	0,008 m
Úhelníky:	L 60x60x8



Obrázek 54: Průřez prostřední svislice_tlak

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,003 612 m ²
Moment setrvačnosti I _y :	0,000 007 747 m ⁴
Moment setrvačnosti I _z :	0,000 003 025 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i _y :	0,046 m
Poloměr setrvačnosti i _z :	0,029 m
Průřezový elastický modul W _{el,y} :	0,000 091 140 m ³
Průřezový elastický modul W _{el,z} :	0,000 046 531 m ³
Průřezový plastický modul W _{pl,y} :	0,000 154 180 m ³
Průřezový plastický modul W _{pl,z} :	0,000 081 939 m ³

Posouzení průřezu na tlakové účinky

Zatřídění L průřezu

$$\frac{h}{t} = \frac{0,060}{0,008} = \underline{7,5}$$

$$15 * \varepsilon = 15 * 1,06 = 15,868 [-]$$

$$\frac{h}{t} \leq 15 * \varepsilon = 7,5 \leq 15,868$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Průřez profilu L spadá dle normy automaticky do III. třídy průřezu.

ČSN EN 1993-1-1_5.6_tabulka 5.2

Průřez spadá do III. třídy průřezu. Pro výpočet a dle Metodického pokynu (odstavce A 2.2.4.) se ve výpočtech používají hodnoty elastické.

Výpočet součinitele vzpěrnosti

Štíhlost prutu: $L_y = L_z = 0,9 * L_{vzpěr} = 0,9 * 1,5 = \underline{1,35 \text{ m}}$

$$\lambda_y = \frac{1,35}{0,046} = \underline{29,347\ 826 \text{ [-]}}$$

$$\lambda_z = \frac{1,35}{0,029} = \underline{46,551\ 724 \text{ [-]}}$$

Poměrná štíhlost prutu: $\lambda_1 = 93,9 * \epsilon = 93,9 * 1,06 = \underline{99,534 \text{ [-]}}$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{29,347\ 826}{99,534} = \underline{0,295\ 451 \text{ [-]}}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{46,551\ 724}{99,534} = \underline{0,468\ 647 \text{ [-]}}$$

Součinitel vzpěrnosti y: $\alpha = \text{křivka b} = 0,34$

$$\theta_y = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,295\ 451 - 0,2) + 0,295\ 451^2]$$

$$\theta_y = \underline{0,559\ 873 \text{ [-]}}$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,559\ 873 + \sqrt{0,559\ 873^2 - 0,295\ 451^2}} = \underline{0,965\ 772 \text{ [-]}}$$

Součinitel vzpěrnosti z: $\alpha = \text{křivka b} = 0,34$

$$\theta_z = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,468\ 647 - 0,2) + 0,468\ 647^2]$$

$$\theta_z = \underline{0,655\ 485 \text{ [-]}}$$

$$\chi_z = \frac{1}{0,655\ 485 + \sqrt{0,655\ 485^2 - 0,468\ 647^2}} = \underline{0,897\ 847 \text{ [-]}}$$

Pro výpočet únosnosti průřezu na tlak bereme méně příznivou hodnotu součinitele vzpěrnosti. Pro tento případ se jedná o součinitel vzpěrnosti χ_z .

Výpočet únosnosti průřezu na tlak

$$N_{b,Rd} = \frac{0,897\ 847 * 210\ 000\ 000 * 0,003\ 612}{1,20} = 567\ 528,866 \text{ N} = \underline{567,529 \text{ kN}}$$

$$N_{b,Rd} > N_{b,Ed}$$

$$567,529 \text{ kN} > 135,148 \text{ kN}$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jak je patrné z podmínky dané normou, která vyhověla, průřez je na zatížení v tlaku únosný a průřez se tedy nemusí zesilovat.

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
-135,148		2,170		0,333		-2,536	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
-68,134	-67,014	0,756	1,414	0,076	0,257	-2,335	-0,201

Tabulka 38: Vnitřní síly pro prostřední svislici tlak

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,052 * 0,008 * 210\,000\,000}{\sqrt{3} * 1,1} = 45\,852,110 \text{ N} = \underline{\underline{45,852 \text{ kN}}}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 * 1,414 + 0,756 = \underline{\underline{2,170 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{2,170}{45,852} = \underline{\underline{0,047\,326 \text{ [-]}}}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{68\,134}{\frac{0,003\,612 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{76}{\frac{0,000\,091 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{2\,335}{\frac{0,000\,047 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,099 + 0,004 + 0,263 = \underline{\underline{0,366 \text{ [-]}}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{67\,014}{\frac{0,003\,612 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{257}{\frac{0,000\,091 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{201}{\frac{0,000\,047 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,097 + 0,015 + 0,023 = \underline{\underline{0,135 \text{ [-]}}}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,RS}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,366}{0,135}$$

$$Z_{LM71} = \underline{4,711 [-]}$$

Kontrolní přepoččet podmínky η_3 po prvním iteračním kroku:

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 4,711 * 1,414 + 0,756$$

$$V_{Ed} = \underline{8,911\ 611\ kN}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{8,911\ 611}{45,852\ 110} = \underline{0,194\ 356 [-]}$$

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy nemusíme pokračovat v iteračním postupu a hodnota zatížitelnosti je rovna $Z_{LM71} = 4,711 [-]$. Jelikož je zatížitelnost větší než jedna, prvek na zatížitelnost vyhovuje.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,330}{1,24} = \underline{1,076 [-]}$$

Zatížení	γ_f	N	V _z	M _y	M _z
M _{ttz,C2} =	1,30	-29,39	0,72	0,00	0,09
M _{LM71} =	1,30	-41,72	-0,88	0,16	0,25

Tabulka 39: Vnitřní síly od vlaků pro střední svislici tlak

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 * (-29,390)}{1,3 * (-41,720)} = \underline{0,704 [-]}$$

$$\text{pro V}_z: \lambda_{LM71,V_z} = \frac{1,3 * 0,720}{1,3 * (-0,880)} = \underline{-0,818 [-]}$$

$$\text{pro M}_y: \lambda_{LM71,M_y} = \frac{1,3 * 0,000}{1,3 * 0,160} = \underline{0,000 [-]}$$

$$\text{pro M}_z: \lambda_{LM71,M_z} = \frac{1,3 * 0,090}{1,3 * 0,250} = \underline{0,360 [-]}$$

$$\text{pro } N: k_{i,N} = \frac{0,099+0,097}{0,366+0,135} = \underline{\underline{0,392 [-]}}$$

$$\text{pro } Vz: k_{i,Vz} = \frac{0,000+0,000}{0,366+0,135} = \underline{\underline{0,000 [-]}}$$

$$\text{pro } My: k_{i,My} = \frac{0,004+0,015}{0,366+0,135} = \underline{\underline{0,038 [-]}}$$

$$\text{pro } Mz: k_{i,Mz} = \frac{0,263+0,023}{0,366+0,135} = \underline{\underline{0,570 [-]}}$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

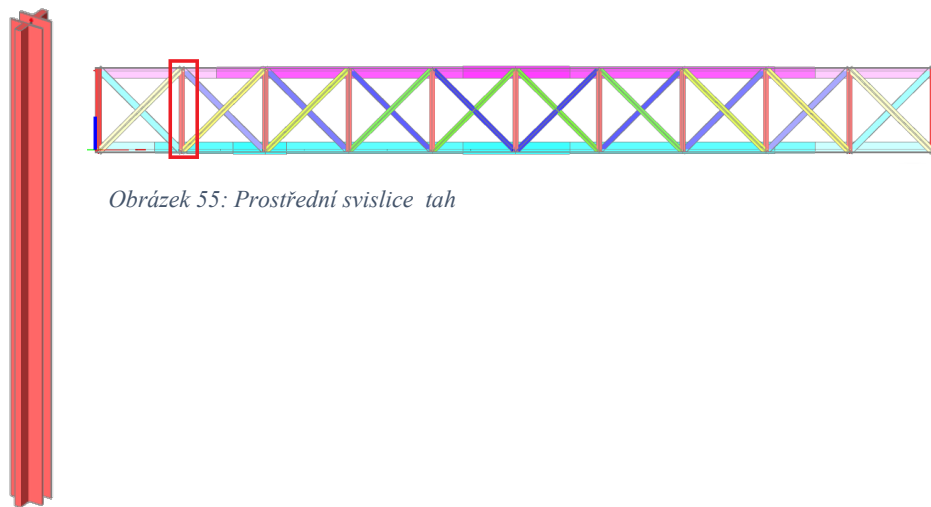
$$4,711 \geq (0,392 * 1,076 * 0,704) + (0,000 * 1,076 * -0,818) + (0,038 * 1,076 * 0,000) + (0,570 * 1,076 * 0,360)$$

$$4,711 \geq 0,518$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Jak je patrné ze splněné podmínky, prvek je přechodný pro traťovou třídu C2 s přidruženou rychlostí 75 km/h.

6.3.3. Posouzení průřezu prostřední svislice v místě maximálního tahu



Obrázek 55: Prostřední svislice tah

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR12, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	$Z_{uvaž}/Gr_{XX}$	Zuvaž/součinitel α
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.13	BR Vp tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.13a	OS 75 Vp tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.13	LM71 Vp tah	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.13	C2 Vp tah	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
10,05 kN	0,10 kN	0,03 kNm	-0,28 kNm	11,46 kN	0,11 kN	0,03 kNm	-0,32 kNm
2,56 kN	0,03 kN	0,01 kNm	-0,06 kNm	2,92 kN	0,03 kN	0,01 kNm	-0,07 kNm
4,88 kN	0,29 kN	0,10 kNm	-0,10 kNm	4,94 kN	0,29 kN	0,10 kNm	-0,10 kNm
31,48 kN	0,92 kN	0,15 kNm	-0,01 kNm	28,33 kN	0,83 kN	0,14 kNm	-0,01 kNm
4,81 kN	-0,17 kN	-0,26 kNm	0,00 kNm	6,25 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
6,38 kN	0,24 kN	0,06 kNm	-0,11 kNm	8,29 kN	0,31 kN	0,08 kNm	-0,14 kNm
2,77 kN	0,41 kN	0,16 kNm	-0,06 kNm	1,80 kN	0,27 kN	0,10 kNm	-0,04 kNm
125,09 kN	1,66 kN	0,44 kNm	-2,33 kNm	200,93 kN	2,67 kN	0,71 kNm	-3,74 kNm
86,43 kN	1,93 kN	0,54 kNm	-1,41 kNm	149,44 kN	3,34 kN	0,93 kNm	-2,44 kNm
188,02 kN	3,48 kN	0,69 kNm	-2,95 kNm	264,93	4,51	1,17	-4,42

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

	Celkem	Rs	LM71
N =	264,93	64,00	200,93
Vz =	4,51	1,85	2,67
My =	1,17	0,46	0,71
Mz =	-4,42	-0,68	-3,74

Tabulka 40: Kombinace pro prostřední svislici tah

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

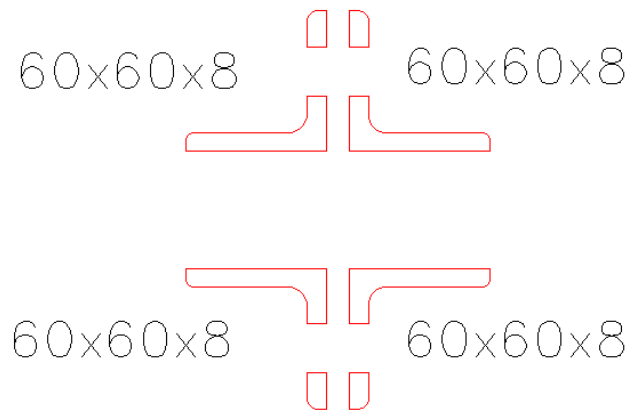
Celková výška profilu H: 0,170 m

Celková šířka profilu B: 0,130 m

Tloušťka vodorovné části: 0,008 m

Tloušťka svislé části: 0,008 m

Úhelníky: L 60x60x8



Obrázek 56: Průřez prostřední svislice_tah

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,002 940 m ²
Moment setrvačnosti I _y :	0,000 005 385 m ⁴
Moment setrvačnosti I _z :	0,000 002 967 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i _y :	0,043 m
Poloměr setrvačnosti i _z :	0,032 m
Průřezový elastický modul W _{el,y} :	0,000 063 349 m ³
Průřezový elastický modul W _{el,z} :	0,000 045 639 m ³
Průřezový plastický modul W _{pl,y} :	0,000 114 550 m ³
Průřezový plastický modul W _{pl,z} :	0,000 075 894 m ³

Posouzení průřezu na tahové účinky

$$N_{pl,Rd} = \frac{210\,000\,000 \cdot 0,002\,940}{1,10} = 514\,535\, \text{N} = \underline{\underline{514,535\, \text{kN}}}$$

$$N_{pl,Rd} > N_{pl,Ed}$$

$$514,535\, \text{kN} > 264,930\, \text{kN}$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Jak je patrné z podmínky dané normou, která vyhověla, průřez je na zatížení v tahu únosný a průřez se tedy nemusí zesilovat.

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
264,926		4,515		1,171		-4,422	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
63,996	200,930	1,848	2,666	0,464	0,707	-0,680	-3,743

Tabulka 41: Vnitřní síly pro prostřední svislici_tah

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,052 * 0,008 * 210\,000\,000}{\sqrt{3} * 1,1} = 45\,852,110 \text{ N} = \underline{\underline{45,852 \text{ kN}}}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 * 2,666 + 1,848 = \underline{\underline{4,510 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{4,510}{45,852} = \underline{\underline{0,098\,360 \text{ [-]}}}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{63\,996}{\frac{0,002\,940 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{464}{\frac{0,000\,063 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{680}{\frac{0,000\,003 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,114 + 0,038 + 0,078 = \underline{\underline{0,230 \text{ [-]}}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{200\,930}{\frac{0,002\,940 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{707}{\frac{0,000\,063 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{3\,743}{\frac{0,000\,003 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,358 + 0,058 + 0,430 = \underline{\underline{0,846 \text{ [-]}}}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,RS}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,230}{0,846}$$

$$Z_{LM71} = \underline{\underline{0,910 [-]}}$$

Jelikož zatížitelnost vyšla menší než 1,0, je možnost provést redukce ostatních účinků od zatížení železniční dopravou (účinky bočního rázu, rozjezdová a brzdná síla a zároveň odstředivé síly) o vypočítanou zatížitelnost. Výslednou hodnotu zatížitelnosti Z_{LM71} je třeba určit iterační formou výpočtu.

MP 4.7.7

V následujících tabulkách jsou znázorněny změny hodnot vnitřních sil od ostatních zatížení železniční dopravy po jednotlivých iteracích. Dále jsou v tabulkách znázorněny jednotlivé změny zatížitelnosti, které se počítaly stejným způsobem, jako v předchozím případě výpočtu Z_{LM71} .

Iterace č. 0				Iterace č. 1				Iterace č. 2				Iterace č. 3			
0,910				0,917				1,097				0,902			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
11,46	0,11	0,03	-0,32	11,46	0,11	0,03	-0,32	11,46	0,11	0,03	-0,32	11,46	0,11	0,03	-0,32
2,92	0,03	0,01	-0,07	2,92	0,03	0,01	-0,07	2,92	0,03	0,01	-0,07	2,92	0,03	0,01	-0,07
4,94	0,29	0,10	-0,10	4,94	0,29	0,10	-0,10	4,94	0,29	0,10	-0,10	4,94	0,29	0,10	-0,10
28,33	0,83	0,14	-0,01	28,33	0,83	0,14	-0,01	28,33	0,83	0,14	-0,01	28,33	0,83	0,14	-0,01
6,25	0,00	0,00	0,00	5,69	0,00	0,00	0,00	5,73	0,00	0,00	0,00	6,86	0,00	0,00	0,00
8,29	0,31	0,08	-0,14	7,55	0,28	0,07	-0,13	7,60	0,29	0,07	-0,13	9,09	0,34	0,09	-0,16
1,80	0,27	0,10	-0,04	1,64	0,24	0,09	-0,04	1,65	0,24	0,10	-0,04	1,97	0,29	0,11	-0,04
200,93	2,67	0,71	-3,74	200,93	2,67	0,71	-3,74	200,93	2,67	0,71	-3,74	200,93	2,67	0,71	-3,74

Iterace č. 4				Iterace č. 5				Iterace č. 6				Iterace č. 7			
0,917				0,916				0,916				0,916			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
11,46	0,11	0,03	-0,32	11,46	0,11	0,03	-0,32	11,46	0,11	0,03	-0,32	11,46	0,11	0,03	-0,32
2,92	0,03	0,01	-0,07	2,92	0,03	0,01	-0,07	2,92	0,03	0,01	-0,07	2,92	0,03	0,01	-0,07
4,94	0,29	0,10	-0,10	4,94	0,29	0,10	-0,10	4,94	0,29	0,10	-0,10	4,94	0,29	0,10	-0,10
28,33	0,83	0,14	-0,01	28,33	0,83	0,14	-0,01	28,33	0,83	0,14	-0,01	28,33	0,83	0,14	-0,01
5,64	0,00	0,00	0,00	5,74	0,00	0,00	0,00	5,73	0,00	0,00	0,00	5,73	0,00	0,00	0,00
7,48	0,28	0,07	-0,13	7,61	0,29	0,07	-0,13	7,60	0,29	0,07	-0,13	7,60	0,29	0,07	-0,13
1,62	0,24	0,09	-0,04	1,65	0,24	0,10	-0,04	1,65	0,24	0,10	-0,04	1,65	0,24	0,10	-0,04
200,93	2,67	0,71	-3,74	200,93	2,67	0,71	-3,74	200,93	2,67	0,71	-3,74	200,93	2,67	0,71	-3,74

Tabulka 42: Iterace pro prostřední svislici tah

Jak je z posledního sedmého kroku iterace patrné, poslední zatížitelnost, a tím tedy i výsledná zatížitelnost, je rovna hodnotě $Z_{LM71} = 0,916 [-]$.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,330}{1,24} = \underline{\underline{1,076 [-]}}$$

Zatížení	γ_f	N	Vz	My	Mz
$M_{ttz,C2} =$	1,30	86,43	1,93	0,00	-1,41
$M_{LM71} =$	1,30	125,09	1,66	0,44	-2,33

Tabulka 43: Vnitřní síly od vlaků pro prostřední svislíci_tah

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 \cdot 86,430}{1,3 \cdot 125,090} = \underline{\underline{0,691 [-]}}$$

$$\text{pro Vz: } \lambda_{LM71,Vz} = \frac{1,3 \cdot 1,930}{1,3 \cdot 1,660} = \underline{\underline{1,163 [-]}}$$

$$\text{pro My: } \lambda_{LM71,My} = \frac{1,3 \cdot 0,000}{1,3 \cdot 0,440} = \underline{\underline{0,000 [-]}}$$

$$\text{pro Mz: } \lambda_{LM71,Mz} = \frac{1,3 \cdot (-1,410)}{1,3 \cdot (-2,330)} = \underline{\underline{0,605 [-]}}$$

$$\text{pro N: } k_{i,N} = \frac{0,112 + 0,358}{0,225 + 0,846} = \underline{\underline{0,438 [-]}}$$

$$\text{pro Vz: } k_{i,Vz} = \frac{0,000 + 0,000}{0,225 + 0,846} = \underline{\underline{0,000 [-]}}$$

$$\text{pro My: } k_{i,My} = \frac{0,037 + 0,058}{0,225 + 0,846} = \underline{\underline{0,089 [-]}}$$

$$\text{pro Mz: } k_{i,Mz} = \frac{0,076 + 0,430}{0,225 + 0,846} = \underline{\underline{0,472 [-]}}$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i \cdot \psi_i \cdot \lambda_{LM71,i}$$

$$0,916 \geq (0,438 \cdot 1,076 \cdot 0,691) + (0,000 \cdot 1,076 \cdot 1,163) + (0,089 \cdot 1,076 \cdot 0,000) + (0,472 \cdot 1,076 \cdot 0,605)$$

$$0,916 \geq 0,634$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

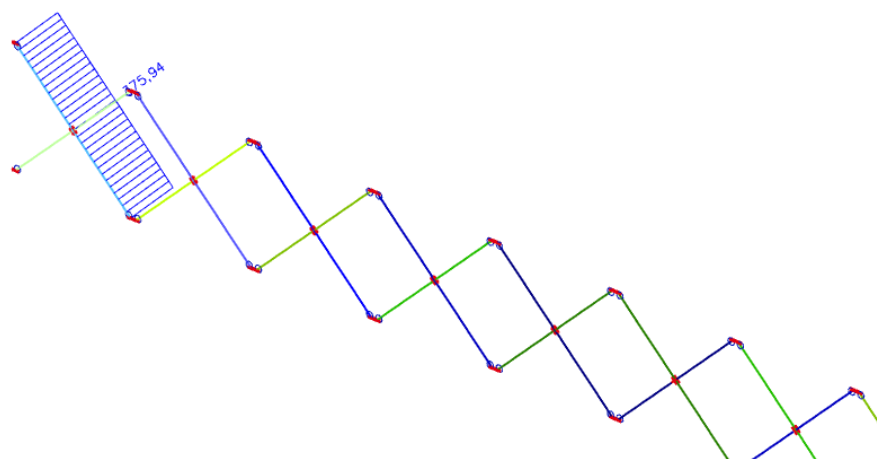
Jak je patrné ze splněné podmínky, ačkoli prvek nevyhověl na posudek zatížitelnosti, tak je prvek přechodný pro traťovou třídu C2 s přidruženou rychlostí 75 km/h. Tímto pádem prvek nemusí být zesílen ani upravován, protože sice konstrukce nepřenesla celý model LM71, ale je schopna přenést model zatížení, který se na konstrukci reálně vyskytuje (model C2).

6.4. Posouzení diagonál

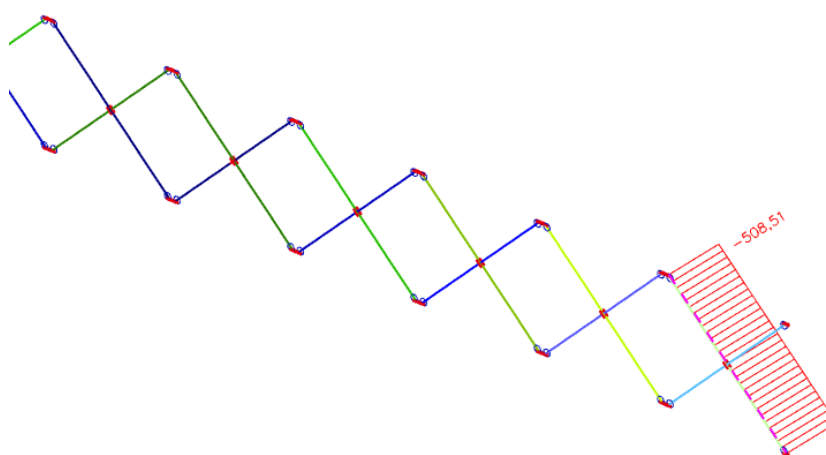
Jelikož se jedná o diagonály hlavního nosníku, kde představuje nejhorší zatížení normálová síla ve formě tahu i tlaku, posuzovaly se prvky diagonál na tah i tlak. Dále se prvky diagonál posoudily na zatížitelnost a na přechodnost.

Posuzovaly se prvky diagonál levého hlavního nosníku, protože tento nosník byl vzhledem k excentricitě působení sil a odstředivým silám více zatížený, proto můžeme předpokládat, že prvky diagonál pravého nosníku vyjdou taktéž (vzhledem k menšímu zatížení).

Mezi posuzované prvky patří všechny průřezy diagonál. Diagonály se směrem od počátku (konce) mostu ke středu zmenšují, posuzovaly se tudíž všechny průřezy. Jelikož se diagonály v jednom poli vždy kříží (dvě diagonály jdoucí dvěma směry), bylo potřeba posoudit i oba směry. Diagonály se posuzovaly buď na tah nebo tlak, podle toho, čím byly více zatíženy

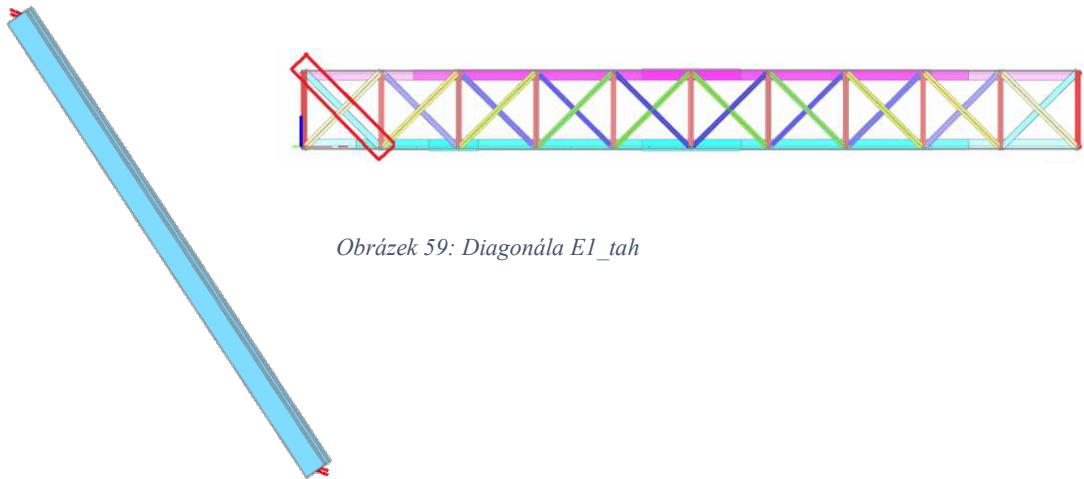


Obrázek 58: Průběh normálové síly od LM71 pro výpočet diagonály E1



Obrázek 57: Průběh normálové síly od LM71 pro výpočet diagonály D1

6.4.1. Posouzení průřezu diagonály E1 v místě maximálního tahu



Obrázek 59: Diagonála E1_tah

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR12, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.14	BR E1 tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.14a	OS 75 E1 tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.14	LM71 E1 tah	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.14	C2 E1 tah	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
40,04 kN	-0,16 kN	-0,08 kNm	0,03 kNm	45,65 kN	0,18 kN	-0,09 kNm	0,03 kNm
8,55 kN	0,00 kN	-0,01 kNm	0,01 kNm	9,75 kN	0,00 kN	-0,01 kNm	0,01 kNm
18,55 kN	-0,02 kN	-0,03 kNm	0,00 kNm	18,78 kN	0,02 kN	-0,03 kNm	0,00 kNm
18,23 kN	-0,67 kN	-0,27 kNm	-0,16 kNm	16,41 kN	0,60 kN	-0,24 kNm	0,00 kNm
9,90 kN	0,01 kN	0,02 kNm	-0,13 kNm	12,87 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
21,85 kN	-0,02 kN	-0,03 kNm	-0,01 kNm	28,41 kN	0,03 kN	-0,04 kNm	0,00 kNm
1,27 kN	-0,02 kN	0,02 kNm	-0,15 kNm	0,83 kN	0,01 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
375,94 kN	0,04 kN	-0,50 kNm	0,30 kNm	603,87 kN	0,00 kN	-0,80 kNm	0,48 kNm
231,93 kN	0,14 kN	-0,21 kNm	0,25 kNm	401,01 kN	0,24 kN	-0,36 kNm	0,43 kNm
494,33 kN	-0,84 kN	-0,88 kNm	-0,11 kNm	736,55	0,84	-1,22	0,53

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

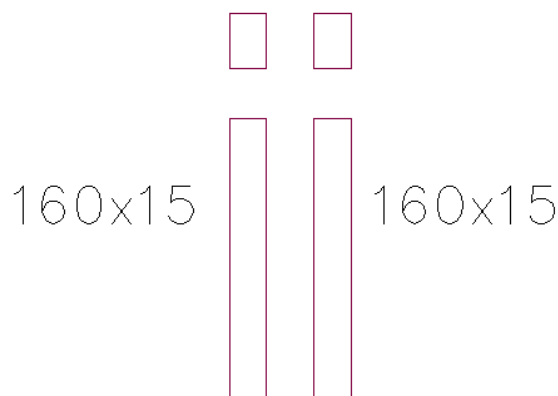
	Celkem	Rs	LM71
N =	736,55	132,68	603,87
Vz =	0,84	0,84	0,00
My =	-1,22	-0,41	-0,80
Mz =	0,53	0,05	0,48

Tabulka 44: Kombinace pro diagonálu E1_tah

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,160 m
Celková šířka profilu B:	0,050 m
Tloušťka stojiny t_w :	0,015 m
Výška stojiny h_w :	0,160 m



Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,004 170 m ²
Moment setrvačnosti I_y :	0,000 008 610 m ⁴
Moment setrvačnosti I_z :	0,000 001 360 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i_y :	0,045 m
Poloměr setrvačnosti i_z :	0,018 m
Průřezový elastický modul $W_{el,y}$:	0,000 098 908 m ³
Průřezový elastický modul $W_{el,z}$:	0,000 054 210 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,y}$:	0,000 159 080 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,z}$:	0,000 072 975 m ³

Obrázek 60: Průřez diagonály E1_tah

Posouzení průřezu na tahové účinky

$$N_{pl,Rd} = \frac{210\,000\,000 \cdot 0,004\,170}{1,10} = 729\,750\, \text{N} = \underline{\underline{729,750\, \text{kN}}}$$

$$N_{pl,Rd} > N_{pl,Ed}$$

$$729,750\, \text{kN} > 736,550\, \text{kN}$$

PODMÍNKA NESPLNĚNÁ

Jak je patrné z podmínky dané normou, která **nevyhověla**, průřez je na zatížení v tahu **neúnosný** a průřez se tedy musí zesílit, pokud nevyhoví na přechodnost.

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
736,548		0,845		-1,218		0,527	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
132,682	603,866	0,845	0,000	-0,415	-0,803	0,046	0,482

Tabulka 45: Vnitřní síly pro diagonálu $E1_{tah}$

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,160 * 0,015 * 210\,000\,000}{\sqrt{3} * 1,1} = 264\,531,400 \text{ N} = \underline{\underline{264,531 \text{ kN}}}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 * 0,000 + 0,845 = \underline{\underline{0,845 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{0,845}{264,531} = \underline{\underline{0,003\,175 \text{ [-]}}}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{132\,682}{\frac{0,004\,170 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{415}{\frac{0,000\,099 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{46}{\frac{0,000\,054 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,167 + 0,022 + 0,004 = \underline{\underline{0,193 \text{ [-]}}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{603\,866}{\frac{0,004\,170 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{803}{\frac{0,000\,099 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{482}{\frac{0,000\,054 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,758 + 0,043 + 0,047 = \underline{\underline{0,848 \text{ [-]}}}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,RS}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,193}{0,848}$$

$$Z_{LM71} = \underline{\underline{0,952 [-]}}$$

Jelikož zatížitelnost vyšla menší než 1,0, je možnost provést redukce ostatních účinků od zatížení železniční dopravou (účinky bočního rázu, rozjezdová a brzdná síla a zároveň odstředivé síly) o vypočítanou zatížitelnost. Výslednou hodnotu zatížitelnosti Z_{LM71} je třeba určit iterační formou výpočtu.

MP 4.7.7

V následujících tabulkách jsou znázorněny změny hodnot vnitřních sil od ostatních zatížení železniční dopravy po jednotlivých iteracích. Dále jsou v tabulkách znázorněny jednotlivé změny zatížitelnosti, které se počítaly stejným způsobem, jako v předchozím případě výpočtu Z_{LM71} .

Iterace č. 0				Iterace č. 1				Iterace č. 2				Iterace č. 3			
0,952				0,955				0,955				0,955			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
45,65	0,18	-0,09	0,03	45,65	0,18	-0,09	0,03	45,65	0,18	-0,09	0,03	45,65	0,18	-0,09	0,03
9,75	0,00	-0,01	0,01	9,75	0,00	-0,01	0,01	9,75	0,00	-0,01	0,01	9,75	0,00	-0,01	0,01
18,78	0,02	-0,03	0,00	18,78	0,02	-0,03	0,00	18,78	0,02	-0,03	0,00	18,78	0,02	-0,03	0,00
16,41	0,60	-0,24	0,00	16,41	0,60	-0,24	0,00	16,41	0,60	-0,24	0,00	16,41	0,60	-0,24	0,00
12,87	0,00	0,00	0,00	12,25	0,00	0,00	0,00	12,29	0,00	0,00	0,00	12,29	0,00	0,00	0,00
28,41	0,03	-0,04	0,00	27,04	0,02	-0,04	0,00	27,13	0,02	-0,04	0,00	27,12	0,02	-0,04	0,00
0,83	0,01	0,00	0,00	0,79	0,01	0,00	0,00	0,79	0,01	0,00	0,00	0,79	0,01	0,00	0,00
603,87	0,00	-0,80	0,48	603,87	0,00	-0,80	0,48	603,87	0,00	-0,80	0,48	603,87	0,00	-0,80	0,48

Iterace č. 4				Iterace č. 5				Iterace č. 6				Iterace č. 7			
0,955				0,955				0,955				0,955			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
45,65	0,18	-0,09	0,03	45,65	0,18	-0,09	0,03	45,65	0,18	-0,09	0,03	45,65	0,18	-0,09	0,03
9,75	0,00	-0,01	0,01	9,75	0,00	-0,01	0,01	9,75	0,00	-0,01	0,01	9,75	0,00	-0,01	0,01
18,78	0,02	-0,03	0,00	18,78	0,02	-0,03	0,00	18,78	0,02	-0,03	0,00	18,78	0,02	-0,03	0,00
16,41	0,60	-0,24	0,00	16,41	0,60	-0,24	0,00	16,41	0,60	-0,24	0,00	16,41	0,60	-0,24	0,00
12,29	0,00	0,00	0,00	12,29	0,00	0,00	0,00	12,29	0,00	0,00	0,00	12,29	0,00	0,00	0,00
27,12	0,02	-0,04	0,00	27,12	0,02	-0,04	0,00	27,12	0,02	-0,04	0,00	27,12	0,02	-0,04	0,00
0,79	0,01	0,00	0,00	0,79	0,01	0,00	0,00	0,79	0,01	0,00	0,00	0,79	0,01	0,00	0,00
603,87	0,00	-0,80	0,48	603,87	0,00	-0,80	0,48	603,87	0,00	-0,80	0,48	603,87	0,00	-0,80	0,48

Tabulka 46: Iterace pro diagonálu E1_tah

Jak je z posledního sedmého kroku iterace patrné, poslední zatížitelnost, a tím tedy i výsledná zatížitelnost, je rovna hodnotě $Z_{LM71} = 0,955 [-]$.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,330}{1,24} = \underline{\underline{1,076 [-]}}$$

Zatížení	γ_f	N	Vz	My	Mz
$M_{ttz,C2} =$	1,30	231,93	0,14	0,25	0,25
$M_{LM71} =$	1,30	375,94	0,04	-0,50	0,30

Tabulka 47: Vnitřní síly od vlaků pro diagonálu E1_tah

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 \cdot 231,930}{1,3 \cdot 375,940} = \underline{\underline{0,617 [-]}}$$

$$\text{pro Vz: } \lambda_{LM71,Vz} = \frac{1,3 \cdot 0,140}{1,3 \cdot 0,040} = \underline{\underline{3,500 [-]}}$$

$$\text{pro My: } \lambda_{LM71,My} = \frac{1,3 \cdot 0,250}{1,3 \cdot (-0,500)} = \underline{\underline{-0,500 [-]}}$$

$$\text{pro Mz: } \lambda_{LM71,Mz} = \frac{1,3 \cdot 0,250}{1,3 \cdot 0,300} = \underline{\underline{0,833 [-]}}$$

$$\text{pro N: } k_{i,N} = \frac{0,164 + 0,759}{0,191 + 0,848} = \underline{\underline{0,889 [-]}}$$

$$\text{pro Vz: } k_{i,Vz} = \frac{0,000 + 0,000}{0,191 + 0,848} = \underline{\underline{0,000 [-]}}$$

$$\text{pro My: } k_{i,My} = \frac{0,022 + 0,043}{0,191 + 0,848} = \underline{\underline{0,062 [-]}}$$

$$\text{pro Mz: } k_{i,Mz} = \frac{0,004 + 0,047}{0,191 + 0,848} = \underline{\underline{0,049 [-]}}$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i \cdot \psi_i \cdot \lambda_{LM71,i}$$

$$0,955 \geq (0,889 \cdot 1,076 \cdot 0,617) + (0,000 \cdot 1,076 \cdot 3,500) + (0,062 \cdot 1,076 \cdot$$

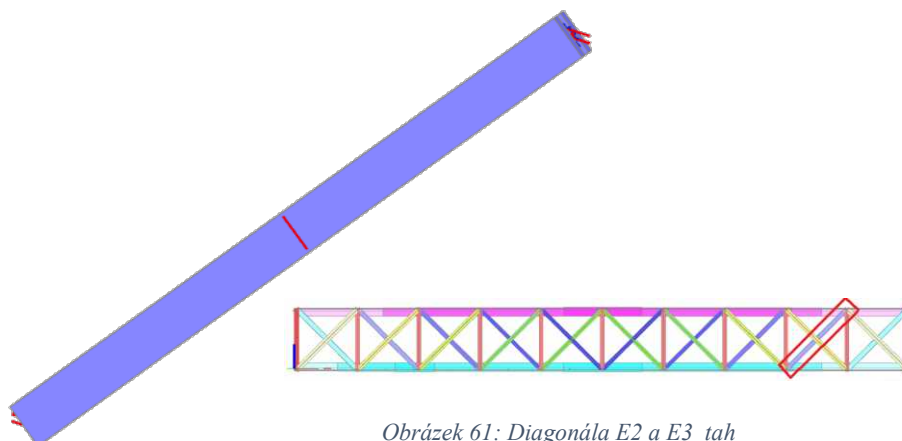
$$- 0,500) + (0,049 \cdot 1,076 \cdot 0,833)$$

$$0,955 \geq 0,601$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jak je patrné ze splněné podmínky, ačkoli prvek nevyhověl na posudek zatížitelnosti, tak je prvek přechodný pro traťovou třídu C2 s přidruženou rychlostí 75 km/h. Tímto pádem prvek nemusí být zesílen ani upravován, protože sice konstrukce nepřenesla celý model LM71, ale je schopna přenést model zatížení, který se na konstrukci reálně vyskytuje (model C2).

6.4.2. Posouzení průřezu diagonály E2 a E3 v místě maximálního tahu



Obrázek 61: Diagonála E2 a E3_tah

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR12, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	$Z_{uvaž}/Gr_{XX}$	Zuvaž/součinitel α
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.15	BR E2,3 tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.15a	OS 75 E2,3 tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.15	LM71 E2,3 tah	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.15	C2 E2,3 tah	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
35,41 kN	0,24 kN	-0,08 kNm	0,01 kNm	40,37 kN	0,27 kN	-0,09 kNm	0,01 kNm
7,61 kN	0,02 kN	-0,01 kNm	0,00 kNm	8,68 kN	0,02 kN	-0,01 kNm	0,00 kNm
15,06 kN	-0,05 kN	0,07 kNm	-0,08 kNm	15,25 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
15,41 kN	0,42 kN	-0,19 kNm	0,00 kNm	13,87 kN	0,38 kN	-0,17 kNm	0,00 kNm
8,34 kN	-0,06 kN	0,07 kNm	-0,15 kNm	10,84 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
18,41 kN	-0,05 kN	0,07 kNm	-0,09 kNm	23,93 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
6,26 kN	0,35 kN	-0,20 kNm	0,10 kNm	4,07 kN	0,23 kN	-0,13 kNm	0,07 kNm
342,42 kN	0,85 kN	-0,54 kNm	0,20 kNm	550,02 kN	1,37 kN	-0,87 kNm	0,32 kNm
206,99 kN	0,42 kN	-0,26 kNm	0,20 kNm	357,89 kN	0,73 kN	-0,45 kNm	0,35 kNm
448,92 kN	1,72 kN	-0,81 kNm	-0,01 kNm	667,03	2,27	-1,27	0,40

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

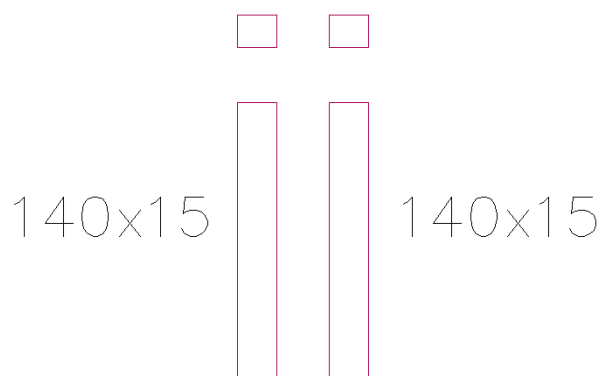
	Celkem	Rs	LM71
N =	667,03	117,00	550,02
Vz =	2,27	0,90	1,37
My =	-1,27	-0,40	-0,87
Mz =	0,40	0,08	0,32

Tabulka 48: Kombinace pro diagonálu E2 a E3_tah

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,140 m
Celková šířka profilu B:	0,050 m
Tloušťka stojiny t_w :	0,015 m
Výška stojiny h_w :	0,140 m



Obrázek 62: Průřez diagonály E2 a E3_tah

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,003 570 m ²
Moment setrvačnosti I_y :	0,000 005 200 m ⁴
Moment setrvačnosti I_z :	0,000 001 160 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i_y :	0,038 m
Poloměr setrvačnosti i_z :	0,018 m
Průřezový elastický modul $W_{el,y}$:	0,000 066 411 m ³
Průřezový elastický modul $W_{el,z}$:	0,000 046 410 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,y}$:	0,000 114 080 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,z}$:	0,000 062 470 m ³

Posouzení průřezu na tahové účinky

$$N_{pl,Rd} = \frac{210\,000\,000 \cdot 0,003\,570}{1,10} = 624\,750 \text{ N} = \underline{\underline{624,750 \text{ kN}}}$$

$$N_{pl,Rd} > N_{pl,Ed}$$

$$624,750 \text{ kN} > 667,030 \text{ kN}$$

PODMÍNKA NESPLNĚNÁ

Jak je patrné z podmínky dané normou, která **nevyhověla**, průřez je na zatížení v tahu **neúnosný** a průřez se tedy musí zesílit, pokud nevyhoví na přechodnost.

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
667,027		2,267		-1,271		0,398	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
117,004	550,023	0,902	1,365	-0,404	-0,867	0,076	0,321

Tabulka 49: Vnitřní síly pro diagonálu E2 a E3_tah

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,140 * 0,015 * 210\,000\,000}{\sqrt{3} * 1,1} = 231\,464,970 \text{ N} = \underline{\underline{231,465 \text{ kN}}}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 * 1,365 + 0,902 = \underline{\underline{2,270 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{2,270}{231,465} = \underline{\underline{0,009\,807 \text{ [-]}}}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{117\,004}{\frac{0,003\,570 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{404}{\frac{0,000\,066 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{76}{\frac{0,000\,046 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,172 + 0,032 + 0,008 = \underline{\underline{0,212 \text{ [-]}}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{550\,023}{\frac{0,003\,570 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{867}{\frac{0,000\,066 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{321}{\frac{0,000\,046 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,807 + 0,068 + 0,036 = \underline{\underline{0,911 \text{ [-]}}}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,RS}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,212}{0,911}$$

$$Z_{LM71} = \underline{\underline{0,864 [-]}}$$

Jelikož zatížitelnost vyšla menší než 1,0, je možnost provést redukce ostatních účinků od zatížení železniční dopravou (účinky bočního rázu, rozjezdová a brzdná síla a zároveň odstředivé síly) o vypočítanou zatížitelnost. Výslednou hodnotu zatížitelnosti Z_{LM71} je třeba určit iterační formou výpočtu.

MP 4.7.7

V následujících tabulkách jsou znázorněny změny hodnot vnitřních sil od ostatních zatížení železniční dopravy po jednotlivých iteracích. Dále jsou v tabulkách znázorněny jednotlivé změny zatížitelnosti, které se počítaly stejným způsobem, jako v předchozím případě výpočtu Z_{LM71} .

Iterace č. 0				Iterace č. 1				Iterace č. 2				Iterace č. 3			
0,864				0,875				0,874				0,874			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
40,37	0,27	-0,09	0,01	40,37	0,27	-0,09	0,01	40,37	0,27	-0,09	0,01	40,37	0,27	-0,09	0,01
8,68	0,02	-0,01	0,00	8,68	0,02	-0,01	0,00	8,68	0,02	-0,01	0,00	8,68	0,02	-0,01	0,00
15,25	0,00	0,00	0,00	15,25	0,00	0,00	0,00	15,25	0,00	0,00	0,00	15,25	0,00	0,00	0,00
13,87	0,38	-0,17	0,00	13,87	0,38	-0,17	0,00	13,87	0,38	-0,17	0,00	13,87	0,38	-0,17	0,00
10,84	0,00	0,00	0,00	9,37	0,00	0,00	0,00	9,49	0,00	0,00	0,00	9,48	0,00	0,00	0,00
23,93	0,00	0,00	0,00	20,68	0,00	0,00	0,00	20,95	0,00	0,00	0,00	20,93	0,00	0,00	0,00
4,07	0,23	-0,13	0,07	3,52	0,20	-0,11	0,06	3,56	0,20	-0,11	0,06	3,56	0,20	-0,11	0,06
550,02	1,37	-0,87	0,32	550,02	1,37	-0,87	0,32	550,02	1,37	-0,87	0,32	550,02	1,37	-0,87	0,32

Iterace č. 4				Iterace č. 5				Iterace č. 6				Iterace č. 7			
0,874				0,874				0,874				0,874			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
40,37	0,27	-0,09	0,01	40,37	0,27	-0,09	0,01	40,37	0,27	-0,09	0,01	40,37	0,27	-0,09	0,01
8,68	0,02	-0,01	0,00	8,68	0,02	-0,01	0,00	8,68	0,02	-0,01	0,00	8,68	0,02	-0,01	0,00
15,25	0,00	0,00	0,00	15,25	0,00	0,00	0,00	15,25	0,00	0,00	0,00	15,25	0,00	0,00	0,00
13,87	0,38	-0,17	0,00	13,87	0,38	-0,17	0,00	13,87	0,38	-0,17	0,00	13,87	0,38	-0,17	0,00
9,48	0,00	0,00	0,00	9,48	0,00	0,00	0,00	9,48	0,00	0,00	0,00	9,48	0,00	0,00	0,00
20,93	0,00	0,00	0,00	20,93	0,00	0,00	0,00	20,93	0,00	0,00	0,00	20,93	0,00	0,00	0,00
3,56	0,20	-0,11	0,06	3,56	0,20	-0,11	0,06	3,56	0,20	-0,11	0,06	3,56	0,20	-0,11	0,06
550,02	1,37	-0,87	0,32	550,02	1,37	-0,87	0,32	550,02	1,37	-0,87	0,32	550,02	1,37	-0,87	0,32

Tabulka 50: Iterace pro diagonálu E2 a E3_tah

Jak je z posledního sedmého kroku iterace patrné, poslední zatížitelnost, a tím tedy i výsledná zatížitelnost, je rovna hodnotě $Z_{LM71} = 0,874 [-]$.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,330}{1,24} = \underline{\underline{1,076 [-]}}$$

Zatížení	V_f	N	V_z	M_y	M_z
$M_{ttz,C2} =$	1,30	206,99	0,42	0,20	0,20
$M_{LM71} =$	1,30	342,42	0,85	-0,54	0,20

Tabulka 51: Vnitřní síly od vlaků pro diagonálu E2 a E3_tah

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 \cdot 206,990}{1,3 \cdot 342,420} = \underline{\underline{0,604 [-]}}$$

$$\text{pro } V_z: \lambda_{LM71,V_z} = \frac{1,3 \cdot 0,420}{1,3 \cdot 0,850} = \underline{\underline{0,494 [-]}}$$

$$\text{pro } M_y: \lambda_{LM71,M_y} = \frac{1,3 \cdot 0,200}{1,3 \cdot (-0,540)} = \underline{\underline{-0,370 [-]}}$$

$$\text{pro } M_z: \lambda_{LM71,M_z} = \frac{1,3 \cdot 0,200}{1,3 \cdot 0,200} = \underline{\underline{1,000 [-]}}$$

$$\text{pro N: } k_{i,N} = \frac{0,165 + 0,807}{0,203 + 0,911} = \underline{\underline{0,872 [-]}}$$

$$\text{pro } V_z: k_{i,V_z} = \frac{0,000 + 0,000}{0,203 + 0,911} = \underline{\underline{0,000 [-]}}$$

$$\text{pro } M_y: k_{i,M_y} = \frac{0,031 + 0,068}{0,203 + 0,911} = \underline{\underline{0,089 [-]}}$$

$$\text{pro } M_z: k_{i,M_z} = \frac{0,008 + 0,036}{0,203 + 0,911} = \underline{\underline{0,039 [-]}}$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

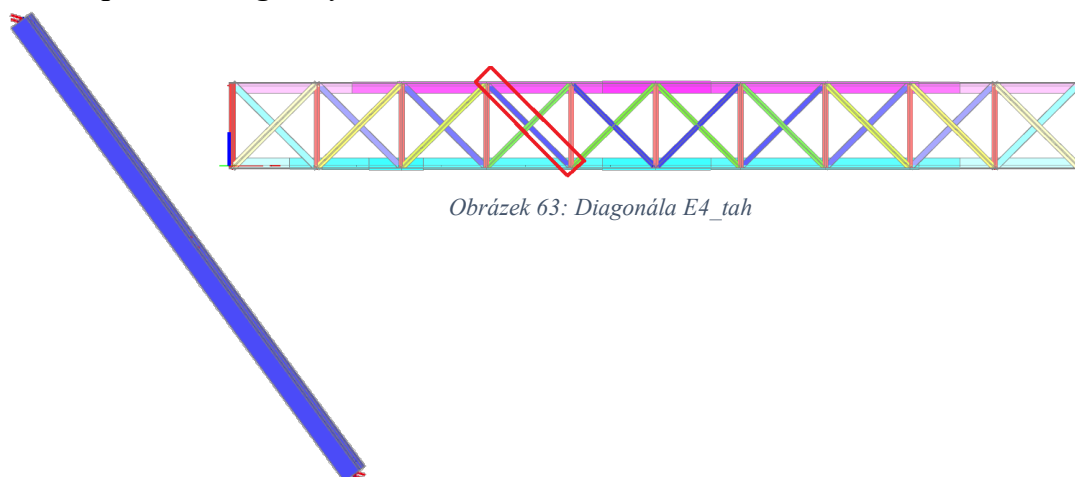
$$0,874 \geq (0,872 * 1,076 * 0,604) + (0,000 * 1,076 * 0,494) + (0,089 * 1,076 * -0,370) + (0,039 * 1,076 * 1,000)$$

$$0,874 \geq 0,574$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jak je patrné ze splněné podmínky, ačkoli prvek nevyhověl na posudek zatížitelnosti, tak je prvek přechodný pro traťovou třídu C2 s přidruženou rychlostí 75 km/h. Tímto pádem prvek nemusí být zesílen ani upravován, protože sice konstrukce nepřenesla celý model LM71, ale je schopna přenést model zatížení, který se na konstrukci reálně vyskytuje (model C2).

6.4.3. Posouzení průřezu diagonály E4 v místě maximálního tahu



Obrázek 63: Diagonála E4_tah

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR12, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z_{uvaz}/Gr_{XX}	Zuvaž/součinitel α
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.16	BR E4 tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.16a	OS 75 E4 tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.16	LM71 E4 tah	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.16	C2 E4 tah	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
15,72 kN	-0,22 kN	-0,06 kNm	0,00 kNm	17,92 kN	0,25 kN	-0,07 kNm	0,00 kNm
3,48 kN	-0,02 kN	-0,01 kNm	0,00 kNm	3,97 kN	0,02 kN	-0,01 kNm	0,00 kNm
8,33 kN	-0,05 kN	-0,02 kNm	0,00 kNm	8,43 kN	0,05 kN	-0,02 kNm	0,00 kNm
15,42 kN	-0,24 kN	-0,11 kNm	-0,01 kNm	13,88 kN	0,22 kN	-0,10 kNm	0,00 kNm
8,05 kN	-0,02 kN	0,00 kNm	-0,08 kNm	10,47 kN	0,03 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
12,85 kN	-0,04 kN	-0,01 kNm	-0,02 kNm	16,71 kN	0,05 kN	-0,01 kNm	0,00 kNm
3,76 kN	-0,02 kN	0,01 kNm	-0,05 kNm	2,44 kN	0,01 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
215,57 kN	-0,76 kN	-0,43 kNm	0,22 kNm	346,27 kN	1,22 kN	-0,69 kNm	0,35 kNm
119,38 kN	-0,39 kN	-0,18 kNm	0,18 kNm	206,41 kN	-0,67 kN	-0,31 kNm	0,31 kNm
283,18 kN	-1,37 kN	-0,63 kNm	0,06 kNm	420,08	1,85	-0,90	0,35

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

	Celkem	Rs	LM71
N =	420,08	73,81	346,27
Vz =	1,85	0,63	1,22
My =	-0,90	-0,21	-0,69
Mz =	0,35	0,00	0,35

Tabulka 52: Kombinace pro diagonálu E4_tah

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H: 0,120 m

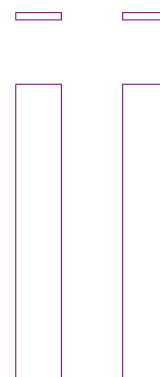
Celková šířka profilu B: 0,050 m

Tloušťka stojiny t_w : 0,015 m

Výška stojiny h_w : 0,120 m

120x15

120x15



Obrázek 64: Průřez diagonály E4_tah

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A: 0,002 970 m²

Moment setrvačnosti I_y : 0,000 002 610 m⁴

Moment setrvačnosti I_z : 0,000 000 970 m⁴

Poloměr setrvačnosti i_y : 0,030 m

Poloměr setrvačnosti i_z : 0,018 m

Průřezový elastický modul $W_{el,y}$: 0,000 037 302 m³

Průřezový elastický modul $W_{el,z}$: 0,000 038 610 m³

Průřezový plastický modul $W_{pl,y}$: 0,000 075 038 m³

Průřezový plastický modul $W_{pl,z}$: 0,000 051 975 m³

Posouzení průřezu na tahové účinky

$$N_{pl,Rd} = \frac{210\,000\,000 \cdot 0,002\,970}{1,10} = 519\,750\text{N} = \underline{\underline{519,750\text{ kN}}}$$

$$N_{pl,Rd} > N_{pl,Ed}$$

$$519,750\text{ kN} > 420,080\text{ kN}$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jak je patrné z podmínky dané normou, která vyhověla, průřez je na zatížení v tahu únosný a průřez se tedy nemusí zesilovat.

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
420,080		1,852		-0,903		0,353	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
73,814	346,266	0,631	1,221	-0,212	-0,691	0,000	0,353

Tabulka 53: Vnitřní síly pro diagonálu E4_tah

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,120 * 0,015 * 210\,000\,000}{\sqrt{3} * 1,1} = 198\,398,550 \text{ N} = 198,399 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 * 1,221 + 0,631 = \underline{1,850 \text{ kN}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{1,850}{198,399} = \underline{0,009\,325 [-]}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{73\,814}{\frac{0,002\,970 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{212}{\frac{0,000\,037 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{0}{\frac{0,000\,039 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,130 + 0,030 + 0,000 = \underline{0,160 [-]}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{346\,266}{\frac{0,002\,970 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{691}{\frac{0,000\,037 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{353}{\frac{0,000\,039 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,611 + 0,097 + 0,048 = \underline{0,756 [-]}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,RS}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,160}{0,756}$$

$$Z_{LM71} = \underline{\underline{1,112 [-]}}$$

Kontrolní přepočet podmínky η_3 po prvním iteračním kroku:

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,112 * 1,221 + 0,631$$

$$V_{Ed} = \underline{\underline{1,999 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{1,999}{198,399} = \underline{\underline{0,010 073 [-]}}$$

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy nemusíme pokračovat v iteračním postupu a hodnota zatížitelnosti je rovna $Z_{LM71} = 1,112 [-]$. Jelikož je zatížitelnost větší než jedna, prvek na zatížitelnost vyhovuje.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,330}{1,24} = \underline{\underline{1,076 [-]}}$$

Zatížení	γ_f	N	Vz	My	Mz
$M_{ttz,C2} =$	1,30	119,38	-0,39	0,18	0,18
$M_{LM71} =$	1,30	215,57	-0,76	-0,43	0,22

Tabulka 54: Vnitřní síly od vlaků pro diagonálu E4_tah

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 * 119,380}{1,3 * 215,570} = \underline{\underline{0,554 [-]}}$$

$$\text{pro Vz: } \lambda_{LM71,Vz} = \frac{1,3 * (-0,390)}{1,3 * (-0,760)} = \underline{\underline{0,513 [-]}}$$

$$\text{pro My: } \lambda_{LM71,My} = \frac{1,3 * 0,180}{1,3 * (-0,430)} = \underline{\underline{-0,419 [-]}}$$

$$\text{pro Mz: } \lambda_{LM71,Mz} = \frac{1,3 * 0,180}{1,3 * 0,220} = \underline{\underline{0,818 [-]}}$$

$$\text{pro } N: k_{i,N} = \frac{0,130+0,611}{0,160+0,756} = \underline{\underline{0,809 [-]}}$$

$$\text{pro } Vz: k_{i,Vz} = \frac{0,000+0,000}{0,160+0,756} = \underline{\underline{0,000 [-]}}$$

$$\text{pro } My: k_{i,My} = \frac{0,030+0,097}{0,160+0,756} = \underline{\underline{0,138 [-]}}$$

$$\text{pro } Mz: k_{i,Mz} = \frac{0,000+0,048}{0,162+0,756} = \underline{\underline{0,052 [-]}}$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

$$1,112 \geq (0,809 * 1,076 * 0,554) + (0,000 * 1,076 * 0,513) + (0,138 * 1,076 * - 0,419) + (0,052 * 1,076 * 0,818)$$

$$1,112 \geq 0,466$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jak je patrné ze splněné podmínky, prvek je přechodný pro traťovou třídu C2 s přidruženou rychlostí 75 km/h.

6.4.4. Posouzení průřezu diagonály E4 v místě maximálního tlaku



Obrázek 65: Diagonála E4_tlak

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR11, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z_{vst}/Gr_{XX}	Zuvaž/součinitel α
		γ_i	ψ_{0i}	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.17	BR E4 tlak	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.17a	OS 75 E4 tlak	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.17	LM71 E4 tlak	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.17	C2 E4 tlak	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
15,72 kN	-0,22 kN	-0,06 kNm	0,00 kNm	14,15 kN	0,25 kN	-0,05 kNm	0,00 kNm
3,48 kN	-0,02 kN	-0,01 kNm	0,00 kNm	3,13 kN	0,02 kN	-0,01 kNm	0,00 kNm
-8,33 kN	0,05 kN	0,02 kNm	-0,09 kNm	-8,43 kN	0,00 kN	0,02 kNm	-0,09 kNm
-15,98 kN	0,24 kN	0,11 kNm	0,01 kNm	-14,38 kN	0,00 kN	0,10 kNm	0,00 kNm
-0,54 kN	0,08 kN	0,05 kNm	-0,07 kNm	-0,35 kN	0,00 kN	0,03 kNm	-0,05 kNm
-2,36 kN	-0,04 kN	-0,02 kNm	0,01 kNm	-1,53 kN	0,03 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-3,76 kN	0,02 kN	-0,01 kNm	0,05 kNm	-4,89 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-53,39 kN	-0,20 kN	0,05 kNm	-0,17 kNm	-85,76 kN	0,32 kN	0,08 kNm	-0,27 kNm
-30,22 kN	-0,12 kN	0,02 kNm	-0,10 kNm	-52,25 kN	-0,21 kN	0,03 kNm	-0,17 kNm
-65,16 kN	-0,09 kN	0,13 kNm	-0,26 kNm	-98,07	0,62	0,17	-0,41

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

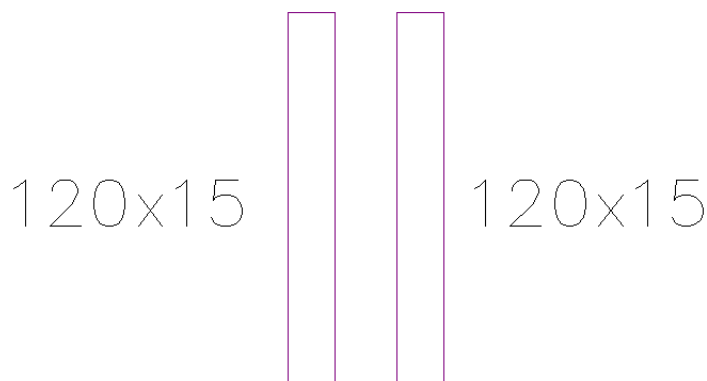
	Celkem	Rs	LM71
N =	-98,07	-12,31	-85,76
Vz =	0,62	0,30	0,32
My =	0,17	0,09	0,08
Mz =	-0,41	-0,14	-0,27

Tabulka 55: Kombinace pro diagonálu E4_tlak

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,120 m
Celková šířka profilu B:	0,050 m
Tloušťka stojiny t_w :	0,015 m
Výška stojiny h_w :	0,120 m



Základní průřezové charakteristiky

Obrázek 66: Průřez diagonály E4_tlak

Plocha A:	0,003 600 m ²
Moment setrvačnosti I_y :	0,000 004 320 m ⁴
Moment setrvačnosti I_z :	0,000 001 170 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i_y :	0,035 m
Poloměr setrvačnosti i_z :	0,018 m
Průřezový elastický modul $W_{el,y}$:	0,000 072 000 m ³
Průřezový elastický modul $W_{el,z}$:	0,000 046 800 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,y}$:	0,000 108 000 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,z}$:	0,000 063 000 m ³

Posouzení průřezu na tlakové účinky

Zatřídění průřezu

$$\frac{h}{t} = \frac{0,120}{0,015} = \underline{8,0}$$

$$9 * \varepsilon = 9 * 1,06 = 9,521 [-]$$

$$\frac{h}{t} \leq 9 * \varepsilon = 8,0 \leq 9,521$$

PODMÍNKY SPLNĚNÁ

Průřez profilu spadá dle normy do I. třídy průřezu.

ČSN EN 1993-1-1_5.6_tabulka 5.2

Průřez spadá do I. třídy průřezu. Pro výpočet a dle Metodického pokynu (odstavce A 2.2.4.) se ve výpočtech používají hodnoty elastické.

Výpočet součinitele vzpěrnosti

Štíhlost prutu: $L_y = L_z = 0,9 * L_{vzpěr} = 0,9 * 1,404 = \underline{1,26 \text{ m}}$

$$\lambda_y = \frac{1,26}{0,035} = \underline{36,102 \ 857 \ [-]}$$

$$\lambda_z = \frac{1,26}{0,018} = \underline{70,200 \ 000 \ [-]}$$

Poměrná štíhlost prutu: $\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 1,06 = \underline{99,534 \ [-]}$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{36,102 \ 857}{99,534} = \underline{0,363 \ 456 \ [-]}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{70,200 \ 000}{99,534} = \underline{0,706 \ 720 \ [-]}$$

Součinitel vzpěrnosti y: $\alpha = \text{křivka c} = 0,49$

$$\theta_y = 0,5 * [1 + 0,49 * (0,363 \ 456 - 0,2) + 0,363 \ 456^2]$$

$$\theta_y = \underline{0,606 \ 097 \ [-]}$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,606 \ 097 + \sqrt{0,606 \ 097^2 - 0,363 \ 456^2}} = \underline{0,916 \ 485 \ [-]}$$

Součinitel vzpěrnosti z: $\alpha = \text{křivka c} = 0,49$

$$\theta_z = 0,5 * [1 + 0,49 * (0,706 \ 720 - 0,2) + 0,706 \ 720^2]$$

$$\theta_z = \underline{0,873 \ 873 \ [-]}$$

$$\chi_z = \frac{1}{0,873 \ 873 + \sqrt{0,873 \ 873^2 - 0,706 \ 720^2}} = \underline{0,720 \ 525 \ [-]}$$

Pro výpočet únosnosti průřezu na tlak bereme méně příznivou hodnotu součinitele vzpěrnosti. Pro tento případ se jedná o součinitel vzpěrnosti χ_z .

Výpočet únosnosti průřezu na tlak

$$N_{b,Rd} = \frac{0,720 \ 525 * 210 \ 000 \ 000 * 0,003 \ 600}{1,20} = 453 \ 930,588 \text{ N} = \underline{453,931 \text{ kN}}$$

$$N_{b,Rd} > N_{b,Ed}$$

$$453,931 \text{ kN} > 98,069 \text{ kN}$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Jak je patrné z podmínky dané normou, která vyhověla, průřez je na zatížení v tlaku únosný a průřez se tedy nemusí zesilovat.

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
-98,069		0,621		0,169		-0,410	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
-12,309	-85,759	0,300	0,321	0,089	0,080	-0,137	-0,273

Tabulka 56: Vnitřní síly pro diagonálu E4_tlak

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,120 \cdot 0,015 \cdot 210\,000\,000}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 198\,398,550 \text{ N} = 198,399 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} \cdot V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 \cdot 0,321 + 0,300 = \underline{0,620 \text{ kN}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{0,620}{198,399} = \underline{0,003\,125 [-]}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{12\,309}{\frac{0,003\,600 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{89}{\frac{0,000\,072 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{137}{\frac{0,000\,047 \cdot 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,018 + 0,007 + 0,015 = \underline{0,040 [-]}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{85\,759}{\frac{0,003\,600 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{80}{\frac{0,000\,072 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{273}{\frac{0,000\,047 \cdot 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,125 + 0,006 + 0,030 = \underline{0,161 [-]}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,RS}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,040}{0,161}$$

$$Z_{LM71} = \underline{\underline{\geq 5 [-]}}$$

Kontrolní přepoččet podmínky η_3 po prvním iteračním kroku:

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 5,958 * 0,321 + 0,300$$

$$V_{Ed} = \underline{\underline{2,343 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{2,343}{198,399} = \underline{\underline{0,011 807 [-]}}$$

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy nemusíme pokračovat v iteračním postupu a hodnota zatížitelnosti je rovna $Z_{LM71} > 5 [-]$. Jelikož je zatížitelnost větší než jedna, prvek na zatížitelnost vyhovuje.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,330}{1,24} = \underline{\underline{1,076 [-]}}$$

Zatížení	γ_f	N	V _z	M _y	M _z
M _{ttz,C2} =	1,30	-30,22	-0,12	0,00	-0,10
M _{LM71} =	1,30	-53,39	-0,20	0,05	-0,17

Tabulka 57: Vnitřní síly od vlaků pro diagonálu E4_tlak

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3*(-30,220)}{1,3*(-53,390)} = \underline{\underline{0,566 [-]}}$$

$$\text{pro V}_z: \lambda_{LM71,V_z} = \frac{1,3*(-0,120)}{1,3*(-0,200)} = \underline{\underline{0,600 [-]}}$$

$$\text{pro M}_y: \lambda_{LM71,M_y} = \frac{1,3 * 0,000}{1,3 * 0,050} = - \underline{\underline{0,000 [-]}}$$

$$\text{pro M}_z: \lambda_{LM71,M_z} = \frac{1,3 * (-0,100)}{1,3 * (-0,170)} = \underline{\underline{0,588 [-]}}$$

$$\text{pro } N: k_{i,N} = \frac{0,018+0,125}{0,040+0,161} = \underline{0,710} [-]$$

$$\text{pro } Vz: k_{i,Vz} = \frac{0,000+0,000}{0,040+0,161} = \underline{0,000} [-]$$

$$\text{pro } My: k_{i,My} = \frac{0,007+0,006}{0,040+0,161} = \underline{0,061} [-]$$

$$\text{pro } Mz: k_{i,Mz} = \frac{0,015+0,031}{0,040+0,161} = \underline{0,228} [-]$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

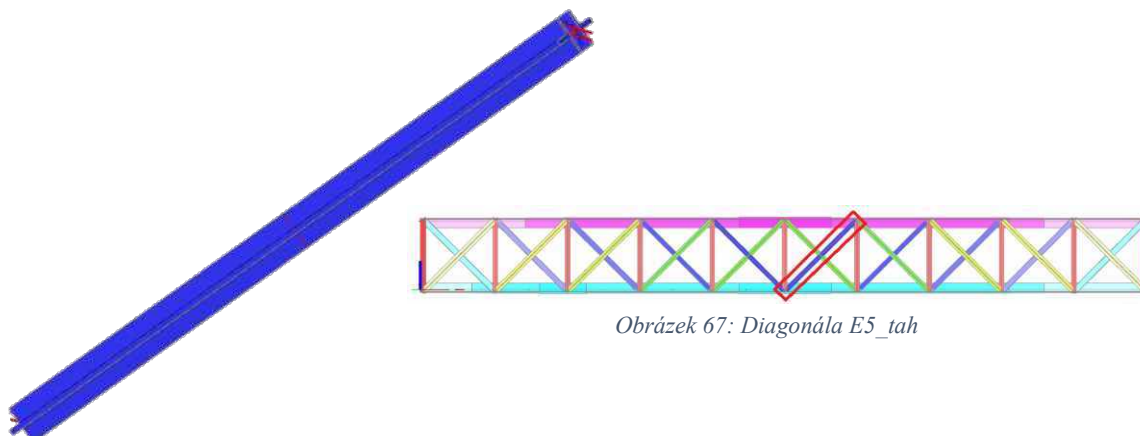
$$5,958 \geq (0,710 * 1,076 * 0,566) + (0,000 * 1,076 * 0,600) + (0,061 * 1,076 * 0,000) + (0,228 * 1,076 * 0,588)$$

$$5,958 \geq 0,577$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Jak je patrné ze splněné podmínky, prvek je přechodný pro traťovou třídu C2 s přidruženou rychlostí 75 km/h.

6.4.5. Posouzení průřezu diagonály E5 v místě maximálního tahu



Obrázek 67: Diagonála E5_tah

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR12, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /Gr _{XX}	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.18	BR E5 tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.18a	OS 75 E5 tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.18	LM71 E5 tah	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.18	C2 E5 tah	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
4,78 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,03 kNm	5,45 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,03 kNm
0,98 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm	1,12 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
3,24 kN	0,06 kN	0,11 kNm	0,00 kNm	3,28 kN	0,06 kN	0,11 kNm	0,00 kNm
16,02 kN	0,01 kN	0,01 kNm	0,03 kNm	14,42 kN	0,01 kN	0,01 kNm	0,03 kNm
6,45 kN	0,07 kN	-0,02 kNm	0,01 kNm	8,39 kN	0,09 kN	0,00 kNm	0,01 kNm
9,18 kN	0,05 kN	0,07 kNm	0,01 kNm	11,93 kN	0,07 kN	0,09 kNm	0,01 kNm
2,20 kN	-0,06 kN	-0,02 kNm	0,00 kNm	1,43 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
148,73 kN	0,36 kN	-0,09 kNm	0,11 kNm	238,90 kN	0,58 kN	0,00 kNm	0,18 kNm
74,90 kN	0,29 kN	0,03 kNm	0,06 kNm	129,50 kN	0,50 kN	0,05 kNm	0,10 kNm
191,58 kN	0,49 kN	0,06 kNm	0,13 kNm	284,92	0,80	0,21	0,20

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

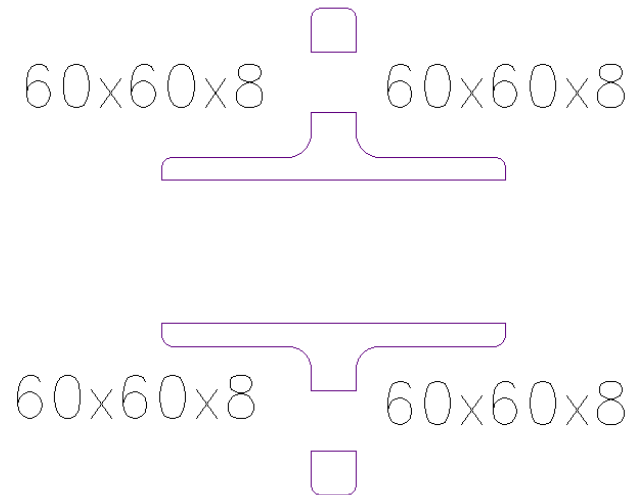
	Celkem	Rs	LM71
N =	284,92	46,01	238,90
Vz =	0,80	0,23	0,58
My =	0,21	0,21	0,00
Mz =	0,20	0,03	0,18

Tabulka 58: Kombinace pro diagonálu E5_tah

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,170 m
Celková šířka profilu B:	0,130 m
Tloušťka vodorovné části:	0,008 m
Tloušťka svislé části:	0,016 m
Úhelníky:	L 60x60x8



Obrázek 68: Průřez diagonály E5_tah

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,002 940 m ²
Moment setrvačnosti I _y :	0,000 005 380 m ⁴
Moment setrvačnosti I _z :	0,000 002 280 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i _y :	0,043 m
Poloměr setrvačnosti i _z :	0,028 m
Průřezový elastický modul W _{el,y} :	0,000 063 349 m ³
Průřezový elastický modul W _{el,z} :	0,000 038 019 m ³
Průřezový plastický modul W _{pl,y} :	0,000 114 550 m ³
Průřezový plastický modul W _{pl,z} :	0,000 061 192 m ³

Posouzení průřezu na tahové účinky

$$N_{pl,Rd} = \frac{210\,000\,000 \cdot 0,002\,940}{1,10} = 514\,535 \text{ N} = \underline{\underline{514,535 \text{ kN}}}$$

$$N_{pl,Rd} > N_{pl,Ed}$$

$$514,535 \text{ kN} > 284,920 \text{ kN}$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Jak je patrné z podmínky dané normou, která vyhověla, průřez je na zatížení v tahu únosný a průřez se tedy nemusí zesilovat.

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
284,916		0,804		0,211		0,203	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
46,014	238,902	0,226	0,578	0,211	0,000	0,026	0,177

Tabulka 59: Vnitřní síly pro diagonálu E5_tah

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,052 * 0,016 * 210\,000\,000}{\sqrt{3} * 1,1} = 91\,704,220 \text{ N} = 91,704 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 * 0,578 + 0,226 = \underline{0,800 \text{ kN}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{0,800}{91,704} = \underline{0,008\,724 [-]}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{46\,014}{\frac{0,002\,940 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{211}{\frac{0,000\,063 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{26}{\frac{0,000\,038 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,082 + 0,017 + 0,004 = \underline{0,103 [-]}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{238\,902}{\frac{0,002\,940 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{0}{\frac{0,000\,063 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{177}{\frac{0,000\,038 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,426 + 0,000 + 0,024 = \underline{0,450 [-]}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,RS}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,103}{0,450}$$

$$Z_{LM71} = \underline{\underline{1,993 [-]}}$$

Kontrolní přepoččet podmínky η_3 po prvním iteračním kroku:

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,993 * 0,578 + 0,226$$

$$V_{Ed} = \underline{\underline{1,533 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{1,533}{91,704} = \underline{\underline{0,016722 [-]}}$$

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy nemusíme pokračovat v iteračním postupu a hodnota zatížitelnosti je rovna $Z_{LM71} = 1,993 [-]$. Jelikož je zatížitelnost větší než jedna, prvek na zatížitelnost vyhovuje.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,330}{1,24} = \underline{\underline{1,076 [-]}}$$

Zatížení	V_f	N	V _z	M _y	M _z
M _{ttz,C2} =	1,30	74,90	0,29	0,06	0,06
M _{LM71} =	1,30	148,73	0,36	-0,09	0,11

Tabulka 60: Vnitřní síly od vlaků pro diagonálu E5_tah

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 * 74,900}{1,3 * 148,730} = \underline{\underline{0,504 [-]}}$$

$$\text{pro V}_z: \lambda_{LM71,Vz} = \frac{1,3 * 0,290}{1,3 * 0,360} = \underline{\underline{0,806 [-]}}$$

$$\text{pro M}_y: \lambda_{LM71,My} = \frac{1,3 * 0,006}{1,3 * (-0,090)} = - \underline{\underline{0,667 [-]}}$$

$$\text{pro M}_z: \lambda_{LM71,Mz} = \frac{1,3 * 0,060}{1,3 * 0,110} = \underline{\underline{0,545 [-]}}$$

$$\text{pro } N: k_{i,N} = \frac{0,082+0,426}{0,103+0,450} = \underline{\underline{0,918 [-]}}$$

$$\text{pro } Vz: k_{i,Vz} = \frac{0,000+0,000}{0,103+0,450} = \underline{\underline{0,000 [-]}}$$

$$\text{pro } My: k_{i,My} = \frac{0,017+0,000}{0,103+0,450} = \underline{\underline{0,032 [-]}}$$

$$\text{pro } Mz: k_{i,Mz} = \frac{0,004+0,024}{0,103+0,450} = \underline{\underline{0,050 [-]}}$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

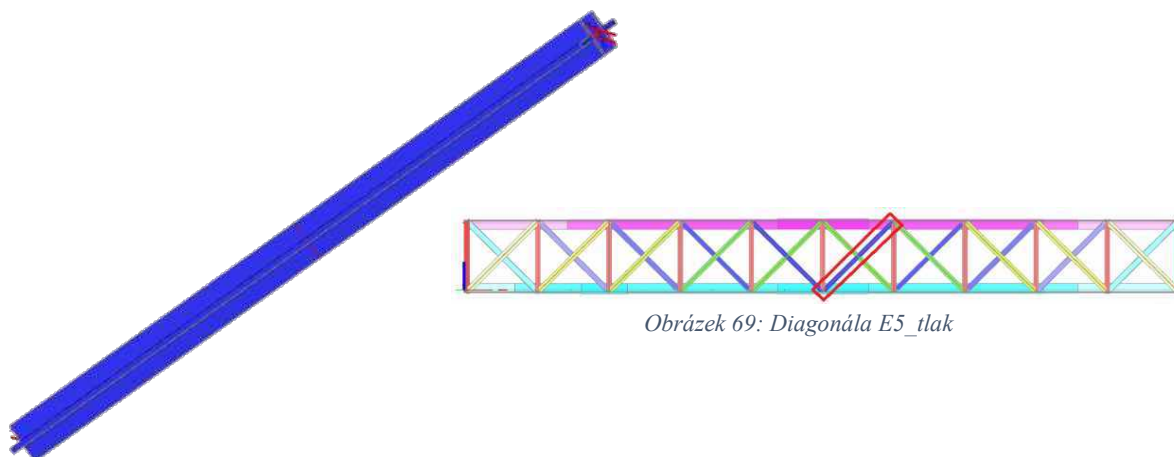
$$1,993 \geq (0,918 * 1,076 * 0,504) + (0,000 * 1,076 * 0,806) + (0,032 * 1,076 * -0,667) + (0,050 * 1,076 * 0,545)$$

$$1,993 \geq 0,505$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Jak je patrné ze splněné podmínky, prvek je přechodný pro traťovou třídu C2 s přidruženou rychlostí 75 km/h.

6.4.6. Posouzení průřezu diagonály E5 v místě maximálního tlaku



Obrázek 69: Diagonála E5_tlak

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR12, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /Gr _{XX}	Zuvaž/součinitel α
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.2	Vítr zleva	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.19	BR E5 tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.19a	OS 75 E5 tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.19	LM71 E5 tlak	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.19	C2 E5 tlak	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
4,06 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,03 kNm	3,65 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,03 kNm
0,99 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm	0,89 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-3,33 kN	-0,18 kN	0,21 kNm	0,02 kNm	-3,37 kN	0,18 kN	0,21 kNm	0,02 kNm
-16,93 kN	-0,04 kN	0,06 kNm	0,10 kNm	-15,24 kN	0,04 kN	0,05 kNm	0,09 kNm
1,31 kN	-0,14 kN	-0,03 kNm	0,01 kNm	0,00 kN	0,18 kN	0,00 kNm	0,01 kNm
-5,16 kN	0,01 kN	0,03 kNm	0,00 kNm	-6,71 kN	0,00 kN	0,04 kNm	0,00 kNm
-2,22 kN	-0,23 kN	0,24 kNm	0,06 kNm	-1,44 kN	0,15 kN	0,16 kNm	0,04 kNm
-103,11 kN	-0,35 kN	1,13 kNm	0,02 kNm	-165,62 kN	0,56 kN	1,82 kNm	0,03 kNm
-48,85 kN	-0,19 kN	0,60 kNm	0,00 kNm	-84,46 kN	-0,33 kN	1,04 kNm	0,00 kNm
-124,39 kN	-0,93 kN	1,64 kNm	0,18 kNm	-187,84	1,11	2,28	0,17

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

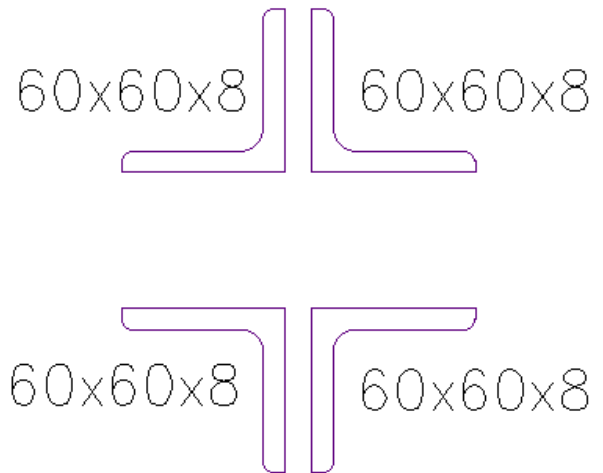
	Celkem	Rs	LM71
N =	-187,84	-22,21	-165,62
Vz =	1,11	0,55	0,56
My =	2,28	0,46	1,82
Mz =	0,17	0,14	0,03

Tabulka 61: Kombinace pro diagonálu E5_tlak

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,170 m
Celková šířka profilu B:	0,130 m
Tloušťka vodorovné části:	0,008 m
Tloušťka svislé části:	0,016 m
Úhelníky:	L 60x60x8



Základní průřezové charakteristiky

Obrázek 70: Průřez diagonály E5_tlak

Plocha A:	0,003 612 m ²
Moment setrvačnosti I _y :	0,000 007 747 m ⁴
Moment setrvačnosti I _z :	0,000 002 295 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i _y :	0,046 m
Poloměr setrvačnosti i _z :	0,025 m
Průřezový elastický modul W _{el,y} :	0,000 091 140 m ³
Průřezový elastický modul W _{el,z} :	0,000 038 257 m ³
Průřezový plastický modul W _{pl,y} :	0,000 154 180 m ³
Průřezový plastický modul W _{pl,z} :	0,000 063 879 m ³

Posouzení průřezu na tlakové účinky

Zatřídění L průřezu

$$\frac{h}{t} = \frac{0,060}{0,008} = \underline{7,5}$$

$$15 * \varepsilon = 15 * 1,06 = 15,868 [-]$$

$$\frac{h}{t} \leq 15 * \varepsilon = 7,5 \leq 15,868$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Průřez profilu L spadá dle normy automaticky do III. třídy průřezu.

ČSN EN 1993-1-1_5.6_tabulka 5.2

Průřez spadá do III. třídy průřezu. Pro výpočet a dle Metodického pokynu (odstavce A 2.2.4.) se ve výpočtech používají hodnoty elastické.

Výpočet součinitele vzpěrnosti

Štíhlost prutu: $L_y = L_z = 0,9 * L_{vzpěr} = 0,9 * 1,4 = \underline{1,26 \text{ m}}$

$$\lambda_y = \frac{1,26}{0,046} = \underline{27,469 \ 565 \ [-]}$$

$$\lambda_z = \frac{1,26}{0,025} = \underline{50,544 \ 000 \ [-]}$$

Poměrná štíhlost prutu: $\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 1,06 = \underline{99,534 \ [-]}$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{27,469 \ 565}{99,534} = \underline{0,276 \ 543 \ [-]}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{50,544 \ 000}{99,534} = \underline{0,508 \ 838 \ [-]}$$

Součinitel vzpěrnosti y: $\alpha = \text{křivka } b = 0,34$

$$\theta_y = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,276 \ 543 - 0,2) + 0,276 \ 543^2]$$

$$\theta_y = \underline{0,551 \ 250 \ [-]}$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,551 \ 250 + \sqrt{0,551 \ 250^2 - 0,276 \ 543^2}} = \underline{0,972 \ 653 \ [-]}$$

Součinitel vzpěrnosti z: $\alpha = \text{křivka } b = 0,34$

$$\theta_z = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,508 \ 838 - 0,2) + 0,508 \ 838^2]$$

$$\theta_z = \underline{0,681 \ 961 \ [-]}$$

$$\chi_z = \frac{1}{0,681 \ 961 + \sqrt{0,681 \ 961^2 - 0,508 \ 838^2}} = \underline{0,880 \ 280 \ [-]}$$

Pro výpočet únosnosti průřezu na tlak bereme méně příznivou hodnotu součinitele vzpěrnosti. Pro tento případ se jedná o součinitel vzpěrnosti χ_z .

Výpočet únosnosti průřezu na tlak

$$N_{b,Rd} = \frac{0,880 \ 280 * 210 \ 000 \ 000 * 0,003 \ 612}{1,20} = 556 \ 424,816 \text{ N} = \underline{556,425 \text{ kN}}$$

$$N_{b,Rd} > N_{b,Ed}$$

$$556,425 \text{ kN} > 187,840 \text{ kN}$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jak je patrné z podmínky dané normou, která vyhověla, průřez je na zatížení v tlaku únosný a průřez se tedy nemusí zesilovat.

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
-187,838		1,112		2,277		0,167	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
-22,215	-165,624	0,550	0,562	0,462	1,815	0,135	0,032

Tabulka 62: Vnitřní síly pro diagonálu E5_tlak

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,052 * 0,016 * 210\,000\,000}{\sqrt{3} * 1,1} = 91\,704,220 \text{ N} = 91,704 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 * 0,562 + 0,550 = \underline{1,110 \text{ kN}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{1,110}{91,704} = \underline{0,012\,104 [-]}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{22\,215}{\frac{0,003\,612 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{462}{\frac{0,000\,091 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{135}{\frac{0,000\,038 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,032 + 0,026 + 0,019 = \underline{0,077 [-]}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{165\,624}{\frac{0,003\,612 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{1\,815}{\frac{0,000\,091 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{32}{\frac{0,000\,038 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,240 + 0,104 + 0,004 = \underline{0,348 [-]}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,RS}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,077}{0,348}$$

$$Z_{LM71} = \underline{\underline{2,645 [-]}}$$

Kontrolní přepočítání podmínky η_3 po prvním iteračním kroku:

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 2,645 * 0,562 + 0,550$$

$$V_{Ed} = \underline{\underline{2,582 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{2,582}{91,704} = \underline{\underline{0,028 \text{ 153 [-]}}}$$

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy nemusíme pokračovat v iteračním postupu a hodnota zatížitelnosti je rovna $Z_{LM71} = 2,645 [-]$. Jelikož je zatížitelnost větší než jedna, prvek na zatížitelnost vyhovuje.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,330}{1,24} = \underline{\underline{1,076 [-]}}$$

Zatížení	V_f	N	V_z	M_y	M_z
$M_{ttz,C2} =$	1,30	-48,85	-0,19	0,00	0,00
$M_{LM71} =$	1,30	-103,11	-0,35	1,13	0,02

Tabulka 63: Vnitřní síly od vlaků pro diagonálu E5_tlak

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 * (-48,850)}{1,3 * (-103,110)} = \underline{\underline{0,474 [-]}}$$

$$\text{pro } V_z: \lambda_{LM71,V_z} = \frac{1,3 * (-0,190)}{1,3 * (-0,350)} = \underline{\underline{0,543 [-]}}$$

$$\text{pro } M_y: \lambda_{LM71,M_y} = \frac{1,3 * 0,000}{1,3 * 1,130} = - \underline{\underline{0,000 [-]}}$$

$$\text{pro } M_z: \lambda_{LM71,M_z} = \frac{1,3 * 0,000}{1,3 * 0,020} = \underline{\underline{0,000 [-]}}$$

$$\text{pro } N: k_{i,N} = \frac{0,032+0,240}{0,077+0,348} = \underline{\underline{0,639 [-]}}$$

$$\text{pro } Vz: k_{i,Vz} = \frac{0,000+0,000}{0,077+0,348} = \underline{\underline{0,000 [-]}}$$

$$\text{pro } My: k_{i,My} = \frac{0,026+0,104}{0,077+0,348} = \underline{\underline{0,307 [-]}}$$

$$\text{pro } Mz: k_{i,Mz} = \frac{0,019+0,004}{0,077+0,348} = \underline{\underline{0,054 [-]}}$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

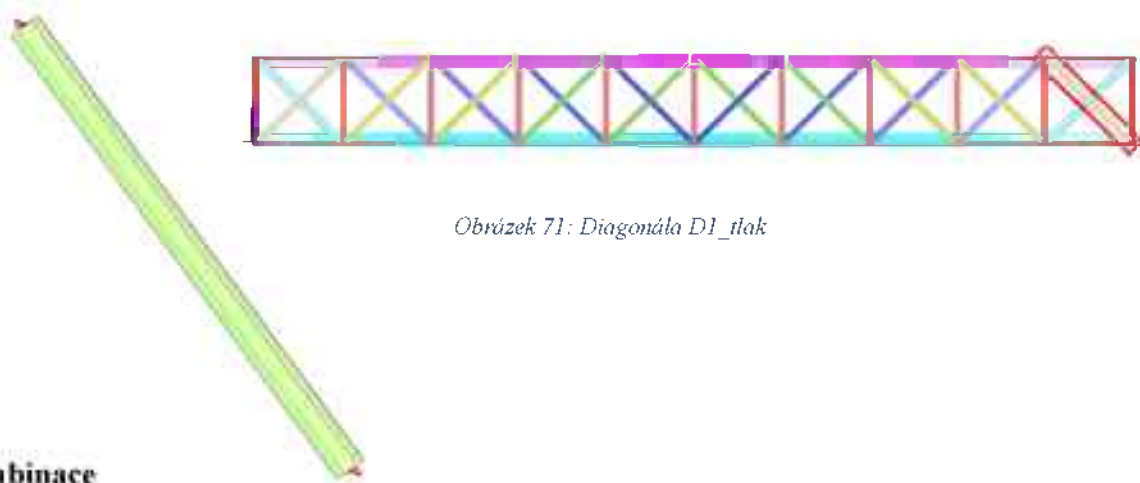
$$2,645 \geq (0,474 * 1,076 * 0,639) + (0,000 * 1,076 * 0,543) + (0,307 * 1,076 * 0,000) + (0,054 * 1,076 * 0,000)$$

$$2,645 \geq 0,326$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Jak je patrné ze splněné podmínky, prvek je přechodný pro traťovou třídu C2 s přidruženou rychlostí 75 km/h.

6.4.7. Posouzení průřezu diagonály D1 v místě maximálního tlaku



Obrázek 71: Diagonála D1_tlak

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR12, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvazl} /Gr _{XX}	Zuvaž/součinitel α
		γ_f	ψ_{0i}	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.20	BR D1 tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.20a	OS 75 D1 tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.20	LM71 D1 tlak	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.20	C2 D1 tlak	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-55,53 kN	0,08 kN	-0,03 kNm	-0,24 kNm	-63,30 kN	0,09 kN	-0,03 kNm	-0,27 kNm
-11,62 kN	0,02 kN	-0,01 kNm	-0,05 kNm	-13,25 kN	0,02 kN	-0,01 kNm	-0,06 kNm
-24,25 kN	0,01 kN	-0,16 kNm	-0,10 kNm	-24,55 kN	0,01 kN	-0,16 kNm	-0,10 kNm
-31,62 kN	0,65 kN	-0,02 kNm	-0,11 kNm	-28,46 kN	0,59 kN	-0,02 kNm	-0,10 kNm
-9,59 kN	0,06 kN	0,36 kNm	-0,03 kNm	-12,47 kN	0,08 kN	0,00 kNm	-0,04 kNm
-28,41 kN	0,00 kN	-0,14 kNm	-0,11 kNm	-36,93 kN	0,00 kN	-0,18 kNm	-0,14 kNm
-10,21 kN	-0,46 kN	0,27 kNm	-0,06 kNm	-6,64 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,04 kNm
-508,51 kN	1,08 kN	-0,21 kNm	-2,01 kNm	-816,81 kN	1,73 kN	-0,34 kNm	-3,23 kNm
-308,96 kN	0,93 kN	-0,50 kNm	-1,18 kNm	-534,19 kN	1,61 kN	-0,86 kNm	-2,04 kNm
-679,74 kN	1,44 kN	0,06 kNm	-2,71 kNm	-1002,41	2,52	-0,74	-3,98

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

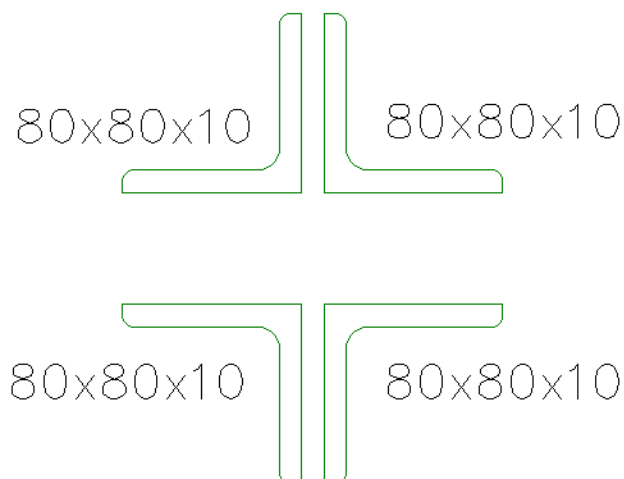
	Celkem	Rs	LM71
N =	-1002,41	-185,60	-816,81
Vz =	2,52	0,79	1,73
My =	-0,74	-0,41	-0,34
Mz =	-3,98	-0,75	-3,23

Tabulka 64: Kombinace pro diagonálu D1_tlak

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,210 m
Celková šířka profilu B:	0,160 m
Tloušťka vodorovné části:	0,010 m
Tloušťka svislé části:	0,020 m
Úhelníky:	L 80x80x10



Obrázek 72: Průřez diagonály D1_tlak

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,006 044 m ²
Moment setrvačnosti I _y :	0,000 017 631 m ⁴
Moment setrvačnosti I _z :	0,000 006 796 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i _y :	0,054 m
Poloměr setrvačnosti i _z :	0,034 m
Průřezový elastický modul W _{el,y} :	0,000 167 910 m ³
Průřezový elastický modul W _{el,z} :	0,000 084 947 m ³
Průřezový plastický modul W _{pl,y} :	0,000 292 250 m ³
Průřezový plastický modul W _{pl,z} :	0,000 141 150 m ³

Posouzení průřezu na tlakové účinky

Zatřídění L průřezu

$$\frac{h}{t} = \frac{0,080}{0,010} = \underline{8,0}$$

$$15 * \varepsilon = 15 * 1,06 = 15,868 [-]$$

$$\frac{h}{t} \leq 15 * \varepsilon = 8,0 \leq 15,868$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Průřez profilu L spadá dle normy automaticky do III. třídy průřezu.

ČSN EN 1993-1-1_5.6_tabulka 5.2

Průřez spadá do III. třídy průřezu. Pro výpočet a dle Metodického pokynu (odstavce A 2.2.4.) se ve výpočtech používají hodnoty elastické.

Výpočet součinitele vzpěrnosti

Štíhlost prutu: $L_y = L_z = 0,9 * L_{vzpěr} = 0,9 * 1,4 = \underline{1,26 \text{ m}}$

$$\lambda_y = \frac{1,26}{0,054} = \underline{23,400\,000 \text{ [-]}}$$

$$\lambda_z = \frac{1,26}{0,034} = \underline{37,164\,706 \text{ [-]}}$$

Poměrná štíhlost prutu: $\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 1,06 = \underline{99,534 \text{ [-]}}$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{23,400\,000}{99,534} = \underline{0,235\,573 \text{ [-]}}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{37,164\,706}{99,534} = \underline{0,374\,146 \text{ [-]}}$$

Součinitel vzpěrnosti y: $\alpha = \text{křivka } b = 0,34$

$$\theta_y = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,235\,573 - 0,2) + 0,235\,573^2]$$

$$\theta_y = \underline{0,533\,795 \text{ [-]}}$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,533\,795 + \sqrt{0,533\,795^2 - 0,235\,573^2}} = \underline{0,987\,366 \text{ [-]}}$$

Součinitel vzpěrnosti z: $\alpha = \text{křivka } b = 0,34$

$$\theta_z = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,374\,146 - 0,2) + 0,374\,146^2]$$

$$\theta_z = \underline{0,599\,597 \text{ [-]}}$$

$$\chi_z = \frac{1}{0,599\,597 + \sqrt{0,599\,597^2 - 0,374\,146^2}} = \underline{0,936\,207 \text{ [-]}}$$

Pro výpočet únosnosti průřezu na tlak bereme méně příznivou hodnotu součinitele vzpěrnosti. Pro tento případ se jedná o součinitel vzpěrnosti χ_z .

Výpočet únosnosti průřezu na tlak

$$N_{b,Rd} = \frac{0,936\,207 * 210\,000\,000 * 0,006\,044}{1,20} = 990\,177,227 \text{ N} = \underline{990,177 \text{ kN}}$$

$$N_{b,Rd} > N_{b,Ed}$$

$$990,177 \text{ kN} > 1002,410 \text{ kN}$$

PODMÍNKA NESPLNĚNÁ

Jak je patrné z podmínky dané normou, která **nevyhověla**, průřez je na zatížení v tahu **neúnosný** a průřez se tedy musí zesílit, pokud nevyhoví na přechodnost.

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
-1 002,409		2,522		-0,745		-3,980	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
-185,599	-816,811	0,787	1,735	-0,408	-0,337	-0,752	-3,229

Tabulka 65: Vnitřní síly pro diagonálu D1 tlak

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,070 * 0,020 * 210\,000\,000}{\sqrt{3} * 1,1} = 551\,107,075 \text{ N} = \underline{\underline{154,310 \text{ kN}}}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 * 1,735 + 0,787 = \underline{\underline{2,520 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{2,520}{154,310} = \underline{\underline{0,016\,331 \text{ [-]}}}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{185\,599}{\frac{0,006\,044 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{408}{\frac{0,000\,168 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{752}{\frac{0,000\,085 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,161 + 0,013 + 0,046 = \underline{\underline{0,220 \text{ [-]}}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{816\,811}{\frac{0,006\,044 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{337}{\frac{0,000\,168 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{3\,229}{\frac{0,000\,085 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,708 + 0,011 + 0,199 = \underline{\underline{0,918 \text{ [-]}}}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,RS}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,220}{0,918}$$

$$Z_{LM71} = \underline{\underline{0,850 [-]}}$$

Jelikož zatížitelnost vyšla menší než 1,0, je možnost provést redukce ostatních účinků od zatížení železniční dopravou (účinky bočního rázu, rozjezdová a brzdná síla a zároveň odstředivé síly) o vypočítanou zatížitelnost. Výslednou hodnotu zatížitelnosti Z_{LM71} je třeba určit iterační formou výpočtu.

MP 4.7.7

V následujících tabulkách jsou znázorněny změny hodnot vnitřních sil od ostatních zatížení železniční dopravy po jednotlivých iteracích. Dále jsou v tabulkách znázorněny jednotlivé změny zatížitelnosti, které se počítaly stejným způsobem, jako v předchozím případě výpočtu Z_{LM71} .

Iterace č. 0				Iterace č. 1				Iterace č. 2				Iterace č. 3			
0,850				0,861				0,860				0,860			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-63,30	0,09	-0,03	-0,27	-63,30	0,09	-0,03	-0,27	-63,30	0,09	-0,03	-0,27	-63,30	0,09	-0,03	-0,27
-13,25	0,02	-0,01	-0,06	-13,25	0,02	-0,01	-0,06	-13,25	0,02	-0,01	-0,06	-13,25	0,02	-0,01	-0,06
-24,55	0,01	-0,16	-0,10	-24,55	0,01	-0,16	-0,10	-24,55	0,01	-0,16	-0,10	-24,55	0,01	-0,16	-0,10
-28,46	0,59	-0,02	-0,10	-28,46	0,59	-0,02	-0,10	-28,46	0,59	-0,02	-0,10	-28,46	0,59	-0,02	-0,10
-12,47	0,08	0,00	-0,04	-10,60	0,07	0,00	-0,03	-10,74	0,07	0,00	-0,03	-10,73	0,07	0,00	-0,03
-36,93	0,00	-0,18	-0,14	-31,40	0,00	-0,15	-0,12	-31,81	0,00	-0,16	-0,12	-31,78	0,00	-0,16	-0,12
-6,64	0,00	0,00	-0,04	-5,64	0,00	0,00	-0,03	-5,72	0,00	0,00	-0,03	-5,71	0,00	0,00	-0,03
-816,81	1,73	-0,34	-3,23	-816,81	1,73	-0,34	-3,23	-816,81	1,73	-0,34	-3,23	-816,81	1,73	-0,34	-3,23

Iterace č. 4				Iterace č. 5				Iterace č. 6				Iterace č. 7			
0,860				0,860				0,860				0,860			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-63,30	0,09	-0,03	-0,27	-63,30	0,09	-0,03	-0,27	-63,30	0,09	-0,03	-0,27	-63,30	0,09	-0,03	-0,27
-13,25	0,02	-0,01	-0,06	-13,25	0,02	-0,01	-0,06	-13,25	0,02	-0,01	-0,06	-13,25	0,02	-0,01	-0,06
-24,55	0,01	-0,16	-0,10	-24,55	0,01	-0,16	-0,10	-24,55	0,01	-0,16	-0,10	-24,55	0,01	-0,16	-0,10
-28,46	0,59	-0,02	-0,10	-28,46	0,59	-0,02	-0,10	-28,46	0,59	-0,02	-0,10	-28,46	0,59	-0,02	-0,10
-10,73	0,07	0,00	-0,03	-10,73	0,07	0,00	-0,03	-10,73	0,07	0,00	-0,03	-10,73	0,07	0,00	-0,03
-31,78	0,00	-0,16	-0,12	-31,78	0,00	-0,16	-0,12	-31,78	0,00	-0,16	-0,12	-31,78	0,00	-0,16	-0,12
-5,71	0,00	0,00	-0,03	-5,71	0,00	0,00	-0,03	-5,71	0,00	0,00	-0,03	-5,71	0,00	0,00	-0,03
-816,81	1,73	-0,34	-3,23	-816,81	1,73	-0,34	-3,23	-816,81	1,73	-0,34	-3,23	-816,81	1,73	-0,34	-3,23

Tabulka 66: Iterace pro diagonálu D1_tlak

Jak je z posledního sedmého kroku iterace patrné, poslední zatížitelnost, a tím tedy i výsledná zatížitelnost, je rovna hodnotě $Z_{LM71} = 0,860 [-]$.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,330}{1,24} = \underline{1,076 [-]}$$

Zatížení	V_f	N	Vz	My	Mz
$M_{ttz,C2} =$	1,30	-308,96	0,93	0,00	-1,18
$M_{LM71} =$	1,30	-508,51	1,08	-0,21	-2,01

Tabulka 67: Vnitřní síly od vlaků pro diagonálu D1_tlak

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 * (-308,960)}{1,3 * (-508,510)} = \underline{0,608 [-]}$$

$$\text{pro Vz: } \lambda_{LM71,Vz} = \frac{1,3 * 0,930}{1,3 * 1,080} = \underline{0,861 [-]}$$

$$\text{pro My: } \lambda_{LM71,My} = \frac{1,3 * 0,000}{1,3 * (-0,210)} = \underline{0,000 [-]}$$

$$\text{pro Mz: } \lambda_{LM71,Mz} = \frac{1,3 * (-1,180)}{1,3 * (-2,010)} = \underline{0,587 [-]}$$

$$\text{pro N: } k_{i,N} = \frac{0,154 + 0,708}{0,211 + 0,918} = \underline{0,764 [-]}$$

$$\text{pro Vz: } k_{i,Vz} = \frac{0,000 + 0,000}{0,211 + 0,918} = \underline{0,000 [-]}$$

$$\text{pro My: } k_{i,My} = \frac{0,012 + 0,011}{0,211 + 0,918} = \underline{0,020 [-]}$$

$$\text{pro Mz: } k_{i,Mz} = \frac{0,044 + 0,199}{0,211 + 0,918} = \underline{0,216 [-]}$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

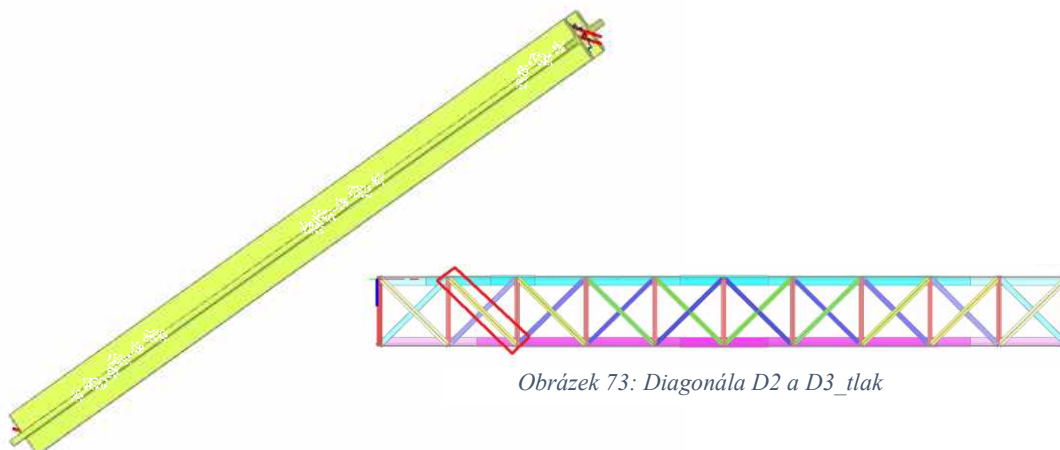
$$0,860 \geq (0,764 * 1,076 * 0,608) + (0,000 * 1,076 * 0,861) + (0,020 * 1,076 * 0,000) + (0,216 * 1,076 * 0,587)$$

$$0,860 \geq 0,363$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jak je patrné ze splněné podmínky, ačkoli prvek nevyhověl na posudek zatížitelnosti, tak je prvek přechodný pro traťovou třídu C2 s přidruženou rychlostí 75 km/h. Tímto pádem prvek nemusí být zesílen ani upravován, protože sice konstrukce nepřenesla celý model LM71, ale je schopna přenést model zatížení, který se na konstrukci reálně vyskytuje (model C2).

6.4.8. Posouzení průřezu diagonály D2 a D3 v místě maximálního tlaku



Obrázek 73: Diagonála D2 a D3 tlak

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR12, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /Gr _{XX}	Zuvaž/součinitel α	
		γ _f	ψ _{0,i}	φ			
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00	
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00	
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00	
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00	
4.21	BR D2,3 tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00	
5.21a	OS 75 D2,3 tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00	
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00	
7.21	LM71 D2,3 tlak	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00	
8.21	C2 D2,3 tlak	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00	
Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-37,52 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,08 kNm	-42,77 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,09 kNm
-7,71 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,01 kNm	-8,79 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,01 kNm
-13,99 kN	0,07 kN	-0,02 kNm	-0,02 kNm	-14,16 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,02 kNm
-21,62 kN	0,04 kN	0,11 kNm	-0,05 kNm	-19,46 kN	0,00 kN	0,10 kNm	-0,05 kNm
-5,91 kN	0,15 kN	0,37 kNm	-0,01 kNm	-7,68 kN	0,00 kN	0,48 kNm	-0,01 kNm
-17,91 kN	0,09 kN	0,00 kNm	-0,03 kNm	-23,28 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,04 kNm
-0,26 kN	-0,01 kN	0,00 kNm	0,00 kNm	-0,17 kN	0,01 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-354,92 kN	-0,29 kN	0,10 kNm	-0,57 kNm	-570,10 kN	0,47 kN	0,16 kNm	-0,92 kNm
-214,10 kN	-0,39 kN	-0,18 kNm	-0,33 kNm	-370,18 kN	-0,67 kN	-0,31 kNm	-0,57 kNm
-459,84 kN	0,05 kN	0,56 kNm	-0,77 kNm	-686,42	0,47	0,74	-1,14

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

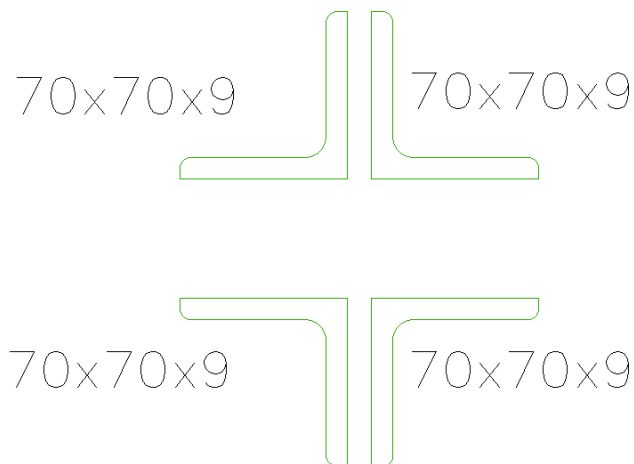
	Celkem	Rs	LM71
N =	-686,42	-116,32	-570,10
Vz =	0,47	0,01	0,47
My =	0,74	0,58	0,16
Mz =	-1,14	-0,22	-0,92

Tabulka 68: Kombinace pro diagonálu D2 a D3 tlak

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,190 m
Celková šířka profilu B:	0,140 m
Tloušťka vodorovné části:	0,009 m
Tloušťka svislé části:	0,018 m
Úhelníky:	L 70x70x9



Obrázek 74: Průřez diagonály D2 a D3_tlak

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,004 751 m ²
Moment setrvačnosti I _y :	0,000 011 943 m ⁴
Moment setrvačnosti I _z :	0,000 004 099 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i _y :	0,050 m
Poloměr setrvačnosti i _z :	0,029 m
Průřezový elastický modul W _{el,y} :	0,000 125 720 m ³
Průřezový elastický modul W _{el,z} :	0,000 058 553 m ³
Průřezový plastický modul W _{pl,y} :	0,000 216 290 m ³
Průřezový plastický modul W _{pl,z} :	0,000 097 501 m ³

Posouzení průřezu na tlakové účinky

Zatřídění L průřezu

$$\frac{h}{t} = \frac{0,070}{0,009} = \underline{\underline{7,778}}$$

$$15 * \varepsilon = 15 * 1,06 = 15,868 [-]$$

$$\frac{h}{t} \leq 15 * \varepsilon = 7,778 \leq 15,868$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Průřez profilu L spadá dle normy automaticky do III. třídy průřezu.

ČSN EN 1993-1-1_5.6_tabulka 5.2

Průřez spadá do III. třídy průřezu. Pro výpočet a dle Metodického pokynu (odstavce A 2.2.4.) se ve výpočtech používají hodnoty elastické.

Výpočet součinitele vzpěrnosti

Štíhlost prutu: $L_y = L_z = 0,9 * L_{vzpěr} = 0,9 * 1,4 = \underline{1,26 \text{ m}}$

$$\lambda_y = \frac{1,26}{0,050} = \underline{25,272 \text{ 000 [-]}}$$

$$\lambda_z = \frac{1,26}{0,029} = \underline{43,572 \text{ 414 [-]}}$$

Poměrná štíhlost prutu: $\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 1,06 = \underline{99,534 [-]}$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{25,272 \text{ 000}}{99,534} = \underline{0,254 \text{ 419 [-]}}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{43,572 \text{ 414}}{99,534} = \underline{0,438 \text{ 654 [-]}}$$

Součinitel vzpěrnosti y: $\alpha = \text{křivka b} = 0,34$

$$\theta_y = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,254 \text{ 419} - 0,2) + 0,254 \text{ 419}^2]$$

$$\theta_y = \underline{0,541 \text{ 616 [-]}}$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,541 \text{ 616} + \sqrt{0,541 \text{ 616}^2 - 0,254 \text{ 419}^2}} = \underline{0,980 \text{ 626 [-]}}$$

Součinitel vzpěrnosti z: $\alpha = \text{křivka b} = 0,34$

$$\theta_z = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,438 \text{ 654} - 0,2) + 0,438 \text{ 654}^2]$$

$$\theta_z = \underline{0,636 \text{ 780 [-]}}$$

$$\chi_z = \frac{1}{0,636 \text{ 780} + \sqrt{0,636 \text{ 780}^2 - 0,438 \text{ 654}^2}} = \underline{0,910 \text{ 435 [-]}}$$

Pro výpočet únosnosti průřezu na tlak bereme méně příznivou hodnotu součinitele vzpěrnosti. Pro tento případ se jedná o součinitel vzpěrnosti χ_z .

Výpočet únosnosti průřezu na tlak

$$N_{b,Rd} = \frac{0,910 \text{ 435} * 210 \text{ 000 000} * 0,004 \text{ 751}}{1,20} = 757 \text{ 022,135 N} = \underline{757,022 \text{ kN}}$$

$$N_{b,Rd} > N_{b,Ed}$$

$$757,022 \text{ kN} > 686,422 \text{ kN}$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jak je patrné z podmínky dané normou, která vyhověla, průřez je na zatížení v tlaku únosný a průřez se tedy nemusí zesilovat.

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
-686,422		0,472		0,741		-1,135	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
-116,320	-570,102	0,007	0,466	0,580	0,161	-0,220	-0,916

Tabulka 69: Vnitřní síly pro diagonálu D2 a D3 tlak

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,061 * 0,018 * 210\,000\,000}{\sqrt{3} * 1,1} = 121\,023,110 \text{ N} = 121,023 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 * 0,466 + 0,077 = \underline{0,470 \text{ kN}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{0,470}{121,023} = \underline{0,003\,884 \text{ [-]}}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{116\,320}{\frac{0,004\,751 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{580}{\frac{0,000\,126 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{220}{\frac{0,000\,59 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,128 + 0,024 + 0,020 = \underline{0,172 \text{ [-]}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{570\,102}{\frac{0,004\,751 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{161}{\frac{0,000\,126 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{916}{\frac{0,000\,059 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,628 + 0,007 + 0,082 = \underline{0,717 \text{ [-]}}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,RS}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,172}{0,717}$$

$$Z_{LM71} = \underline{\underline{1,155 [-]}}$$

Kontrolní přepočet podmínky η_3 po prvním iteračním kroku:

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,155 * 0,466 + 0,007$$

$$V_{Ed} = \underline{\underline{0,545 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{0,545}{121,023} = \underline{\underline{0,004 506 [-]}}$$

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy nemusíme pokračovat v iteračním postupu a hodnota zatížitelnosti je rovna $Z_{LM71} = 1,155 [-]$. Jelikož je zatížitelnost větší než jedna, prvek na zatížitelnost vyhovuje.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,330}{1,24} = \underline{\underline{1,076 [-]}}$$

Zatížení	γ_f	N	V _z	M _y	M _z
$M_{tz,C2} =$	1,30	-214,10	-0,39	0,00	-0,33
$M_{LM71} =$	1,30	-354,92	-0,29	0,10	-0,57

Tabulka 70: Vnitřní síly od vlaků pro diagonálu D2 a D3_tlak

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 * (-214,100)}{1,3 * (-354,920)} = \underline{\underline{0,603 [-]}}$$

$$\text{pro V}_z: \lambda_{LM71,Vz} = \frac{1,3 * (-0,390)}{1,3 * (-0,290)} = \underline{\underline{1,345 [-]}}$$

$$\text{pro M}_y: \lambda_{LM71,M_y} = \frac{1,3 * 0,000}{1,3 * 0,100} = - \underline{\underline{0,000 [-]}}$$

$$\text{pro M}_z: \lambda_{LM71,M_z} = \frac{1,3 * (-0,330)}{1,3 * (-0,570)} = \underline{\underline{0,579 [-]}}$$

$$\text{pro } N: k_{i,N} = \frac{0,128+0,628}{0,172+0,717} = \underline{0,851 [-]}$$

$$\text{pro } Vz: k_{i,Vz} = \frac{0,000+0,000}{0,172+0,717} = \underline{0,000 [-]}$$

$$\text{pro } My: k_{i,My} = \frac{0,024+0,007}{0,172+0,717} = \underline{0,035 [-]}$$

$$\text{pro } Mz: k_{i,Mz} = \frac{0,020+0,082}{0,172+0,717} = \underline{0,114 [-]}$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

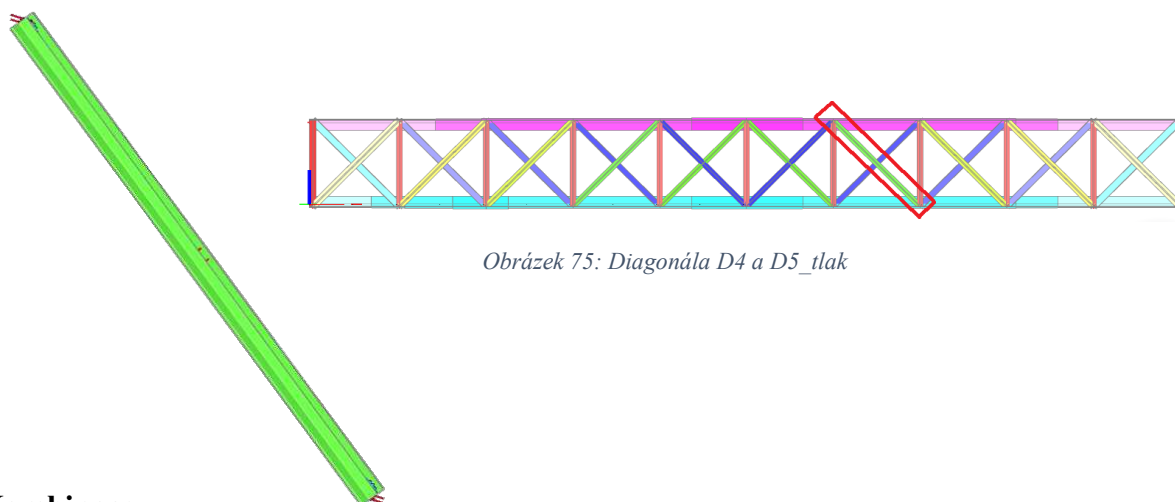
$$1,155 \geq (0,851 * 1,076 * 0,603) + (0,000 * 1,076 * 1,345) + (0,035 * 1,076 * 0,000) + (0,114 * 1,076 * 0,579)$$

$$1,155 \geq 0,624$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Jak je patrné ze splněné podmínky, prvek je přechodný pro traťovou třídu C2 s přidruženou rychlostí 75 km/h.

6.4.9. Posouzení průřezu diagonály D4 a D5 v místě maximálního tlaku



Obrázek 75: Diagonála D4 a D5_tlak

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR12, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.22	BR D4,5 tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.22a	OS 75 D4,5 tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.22	LM71 D4,5 tlak	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.22	C2 D4,5 tlak	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-16,10 kN	0,01 kN	0,01 kNm	-0,01 kNm	-18,35 kN	0,01 kN	0,01 kNm	-0,01 kNm
-3,07 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm	-3,50 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-4,65 kN	0,03 kN	0,03 kNm	0,00 kNm	-4,71 kN	0,03 kN	0,03 kNm	0,00 kNm
-19,17 kN	-0,01 kN	0,00 kNm	0,10 kNm	-17,25 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,09 kNm
-3,07 kN	-0,10 kN	0,00 kNm	0,00 kNm	-3,99 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-10,13 kN	-0,03 kN	-0,05 kNm	0,01 kNm	-13,17 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,01 kNm
-5,93 kN	-0,14 kN	-0,19 kNm	0,00 kNm	-3,85 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-204,55 kN	0,34 kN	0,98 kNm	0,15 kNm	-328,57 kN	0,55 kN	1,57 kNm	0,24 kNm
-111,05 kN	0,41 kN	0,80 kNm	0,08 kNm	-192,01 kN	0,71 kN	1,38 kNm	0,14 kNm
-266,67 kN	0,10 kN	0,78 kNm	0,25 kNm	-393,39	0,59	1,62	0,33

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

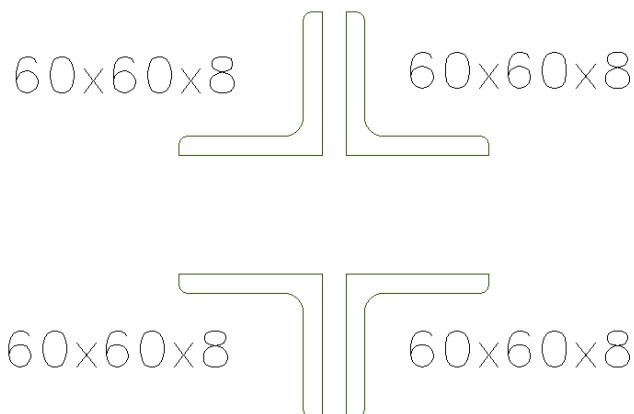
	Celkem	Rs	LM71
N =	-393,39	-64,83	-328,57
Vz =	0,59	0,04	0,55
My =	1,62	0,04	1,57
Mz =	0,33	0,09	0,24

Tabulka 71: Kombinace pro diagonálu D4 a D5_tlak

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,170 m
Celková šířka profilu B:	0,120 m
Tloušťka vodorovné části:	0,008 m
Tloušťka svislé části:	0,016 m
Úhelníky:	L 60x60x8



Obrázek 76: Průřez diagonály D4 a D5_tlak

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,003 612 m ²
Moment setrvačnosti I _y :	0,000 07 747 m ⁴
Moment setrvačnosti I _z :	0,000 002 295 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i _y :	0,046 m
Poloměr setrvačnosti i _z :	0,025 m
Průřezový elastický modul W _{el,y} :	0,000 091 140 m ³
Průřezový elastický modul W _{el,z} :	0,000 038 257 m ³
Průřezový plastický modul W _{pl,y} :	0,000 154 180 m ³
Průřezový plastický modul W _{pl,z} :	0,000 063 879 m ³

Posouzení průřezu na tlakové účinky

Zatřídění L průřezu

$$\frac{h}{t} = \frac{0,060}{0,008} = \underline{7,5}$$

$$15 * \varepsilon = 15 * 1,06 = 15,868 [-]$$

$$\frac{h}{t} \leq 15 * \varepsilon = 7,5 \leq 15,868$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Průřez profilu L spadá dle normy automaticky do III. třídy průřezu.

ČSN EN 1993-1-1_5.6_tabulka 5.2

Průřez spadá do III. třídy průřezu. Pro výpočet a dle Metodického pokynu (odstavce A 2.2.4.) se ve výpočtech používají hodnoty elastické.

Výpočet součinitele vzpěrnosti

Štíhlost prutu: $L_y = L_z = 0,9 * L_{vzpěr} = 0,9 * 1,4 = \underline{1,26 \text{ m}}$

$$\lambda_y = \frac{1,26}{0,046} = \underline{27,469\,565 \text{ [-]}}$$

$$\lambda_z = \frac{1,26}{0,025} = \underline{50,544\,000 \text{ [-]}}$$

Poměrná štíhlost prutu: $\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 1,06 = \underline{99,534 \text{ [-]}}$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{27,469\,565}{99,534} = \underline{0,276\,543 \text{ [-]}}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{50,544\,000}{99,534} = \underline{0,508\,838 \text{ [-]}}$$

Součinitel vzpěrnosti y: $\alpha = \text{křivka } b = 0,34$

$$\theta_y = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,276\,543 - 0,2) + 0,276\,543^2]$$

$$\theta_y = \underline{0,551\,250 \text{ [-]}}$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,551\,250 + \sqrt{0,551\,250^2 - 0,276\,543^2}} = \underline{0,972\,653 \text{ [-]}}$$

Součinitel vzpěrnosti z: $\alpha = \text{křivka } b = 0,34$

$$\theta_z = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,508\,838 - 0,2) + 0,508\,838^2]$$

$$\theta_z = \underline{0,681\,961 \text{ [-]}}$$

$$\chi_z = \frac{1}{0,681\,961 + \sqrt{0,681\,961^2 - 0,4508\,838^2}} = \underline{0,880\,280 \text{ [-]}}$$

Pro výpočet únosnosti průřezu na tlak bereme méně příznivou hodnotu součinitele vzpěrnosti. Pro tento případ se jedná o součinitel vzpěrnosti χ_z .

Výpočet únosnosti průřezu na tlak

$$N_{b,Rd} = \frac{0,880\,280 * 210\,000\,000 * 0,003\,612}{1,20} = 556\,424,816 \text{ N} = \underline{556,425 \text{ kN}}$$

$$N_{b,Rd} > N_{b,Ed}$$

$$556,425 \text{ kN} > 393,395 \text{ kN}$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jak je patrné z podmínky dané normou, která vyhověla, průřez je na zatížení v tlaku únosný a průřez se tedy nemusí zesilovat.

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
-393,395		0,588		1,616		0,335	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
-64,829	-328,565	0,042	0,546	0,042	1,574	0,094	0,241

Tabulka 72: Vnitřní síly pro diagonálu D4 a D5_tlak

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,052 * 0,016 * 210\,000\,000}{\sqrt{3} * 1,1} = 91\,704,220 \text{ N} = 91,704 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 * 0,546 + 0,042 = \underline{0,590 \text{ kN}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{0,590}{91,704} = \underline{0,006\,434 [-]}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{64\,829}{\frac{0,003\,612 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{42}{\frac{0,000\,091 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{94}{\frac{0,000\,38 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,094 + 0,002 + 0,013 = \underline{0,109 [-]}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{328\,565}{\frac{0,003\,612 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{1\,574}{\frac{0,000\,091 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{241}{\frac{0,000\,038 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,476 + 0,091 + 0,033 = \underline{0,560 [-]}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,RS}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,109}{0,560}$$

$$Z_{LM71} = \underline{\underline{1,485 [-]}}$$

Kontrolní přepočet podmínky η_3 po prvním iteračním kroku:

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,485 * 0,546 + 0,042$$

$$V_{Ed} = \underline{\underline{0,853 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{0,853}{91,704} = \underline{\underline{0,009 297 [-]}}$$

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy nemusíme pokračovat v iteračním postupu a hodnota zatížitelnosti je rovna $Z_{LM71} = 1,485 [-]$. Jelikož je zatížitelnost větší než jedna, prvek na zatížitelnost vyhovuje.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,330}{1,24} = \underline{\underline{1,076 [-]}}$$

Zatížení	γ_f	N	Vz	My	Mz
$M_{ttz,C2} =$	1,30	-111,05	0,41	0,08	0,08
$M_{LM71} =$	1,30	-204,55	0,34	0,98	0,15

Tabulka 73: Vnitřní síly od vlaků pro diagonálu D4 a D5 _tlak

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 * (-111,050)}{1,3 * (-204,550)} = \underline{\underline{0,543 [-]}}$$

$$\text{pro Vz: } \lambda_{LM71,Vz} = \frac{1,3 * 0,410}{1,3 * 0,340} = \underline{\underline{1,206 [-]}}$$

$$\text{pro My: } \lambda_{LM71,My} = \frac{1,3 * 0,080}{1,3 * 0,980} = \underline{\underline{0,082 [-]}}$$

$$\text{pro Mz: } \lambda_{LM71,Mz} = \frac{1,3 * 0,080}{1,3 * 0,150} = \underline{\underline{0,533 [-]}}$$

$$\text{pro } N: k_{i,N} = \frac{0,094+0,476}{0,109+0,560} = \underline{\underline{0,851 [-]}}$$

$$\text{pro } Vz: k_{i,Vz} = \frac{0,000+0,000}{0,109+0,560} = \underline{\underline{0,000 [-]}}$$

$$\text{pro } My: k_{i,My} = \frac{0,002+0,091}{0,109+0,560} = \underline{\underline{0,035 [-]}}$$

$$\text{pro } Mz: k_{i,Mz} = \frac{0,013+0,033}{0,109+0,560} = \underline{\underline{0,114 [-]}}$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

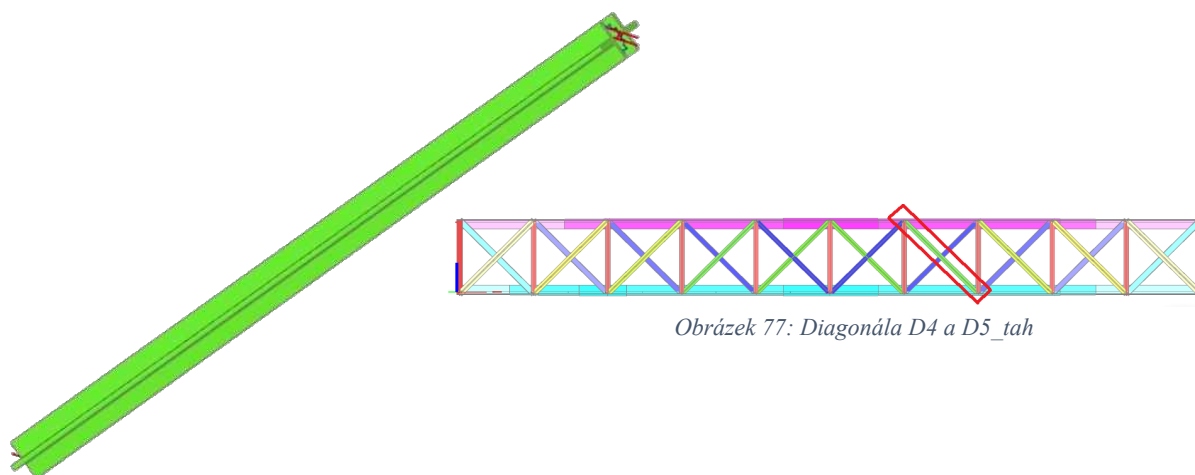
$$1,485 \geq (0,804 * 1,076 * 0,543) + (0,000 * 1,076 * 1,206) + (0,131 * 1,076 * 0,082) + (0,065 * 1,076 * 0,533)$$

$$1,485 \geq 0,519$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Jak je patrné ze splněné podmínky, prvek je přechodný pro traťovou třídu C2 s přidruženou rychlostí 75 km/h.

6.4.10. Posouzení průřezu diagonály D4 a D5 v místě maximálního tahu



Obrázek 77: Diagonála D4 a D5_tah

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR12, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáie zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.23	BR D4,5 tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.23a	OS 75 D4,5 tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.23	LM71 D4,5 tah	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.23	C2 D4,5 tah	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-4,22 kN	-0,01 kN	0,02 kNm	-0,01 kNm	-3,80 kN	0,01 kN	0,02 kNm	-0,01 kNm
-0,61 kN	0,00 kN	0,01 kNm	0,00 kNm	-0,55 kN	0,00 kN	0,01 kNm	0,00 kNm
0,78 kN	0,13 kN	-0,07 kNm	-0,01 kNm	0,79 kN	0,13 kN	-0,07 kNm	-0,01 kNm
17,12 kN	0,03 kN	-0,04 kNm	-0,09 kNm	15,41 kN	0,03 kN	-0,04 kNm	-0,08 kNm
6,59 kN	-0,15 kN	0,29 kNm	-0,01 kNm	8,57 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,01 kNm
7,42 kN	0,01 kN	0,02 kNm	0,00 kNm	9,65 kN	0,01 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
2,76 kN	0,22 kN	-0,23 kNm	-0,04 kNm	1,79 kN	0,14 kN	-0,15 kNm	-0,03 kNm
113,59 kN	0,37 kN	-1,04 kNm	-0,08 kNm	182,46 kN	0,59 kN	-1,67 kNm	-0,13 kNm
55,00 kN	0,32 kN	-0,73 kNm	-0,04 kNm	95,10 kN	0,55 kN	-1,26 kNm	-0,07 kNm
143,43 kN	0,60 kN	-1,04 kNm	-0,24 kNm	214,32	0,92	-1,90	-0,27

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

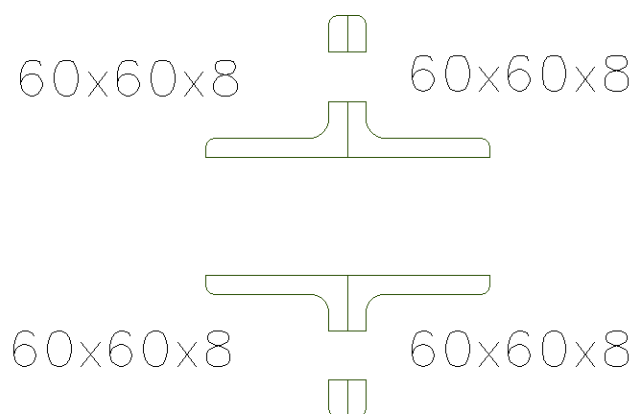
	Celkem	Rs	LM71
N =	214,32	31,86	182,46
Vz =	0,92	0,32	0,59
My =	-1,90	-0,23	-1,67
Mz =	-0,27	-0,14	-0,13

Tabulka 74: Kombinace pro diagonálu D4 a D5_tah

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,170 m
Celková šířka profilu B:	0,120 m
Tloušťka vodorovné části:	0,008 m
Tloušťka svislé části:	0,016 m
Úhelníky:	L 60x60x8



Obrázek 78: Průřez diagonály D4 a D5_tah

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,002 940 m ²
Moment setrvačnosti I _y :	0,000 005 385 m ⁴
Moment setrvačnosti I _z :	0,000 002 281 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i _y :	0,043 m
Poloměr setrvačnosti i _z :	0,028 m
Průřezový elastický modul W _{el,y} :	0,000 063 349 m ³
Průřezový elastický modul W _{el,z} :	0,000 038 019 m ³
Průřezový plastický modul W _{pl,y} :	0,000 114 550 m ³
Průřezový plastický modul W _{pl,z} :	0,000 061 192 m ³

Posouzení průřezu na tahové účinky

$$N_{pl,Rd} = \frac{210\,000\,000 \cdot 0,002\,940}{1,10} = 514\,535 \text{ N} = \underline{\underline{514,535 \text{ kN}}}$$

$$N_{pl,Rd} > N_{pl,Ed}$$

$$514,535 \text{ kN} > 214,320 \text{ kN}$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Jak je patrné z podmínky dané normou, která vyhověla, průřez je na zatížení v tahu únosný a průřez se tedy nemusí zesilovat.

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
214,315		0,918		-1,900		-0,270	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
31,858	182,458	0,324	0,594	-0,229	-1,671	-0,142	-0,129

Tabulka 75: Vnitřní síly pro diagonály D4 a D5_tah

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,052 * 0,016 * 210\,000\,000}{\sqrt{3} * 1,1} = 91\,704,220 \text{ N} = 91,704 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 * 0,594 + 0,324 = \underline{0,920 \text{ kN}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{0,920}{91,704} = \underline{0,010\,032 [-]}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{31\,858}{\frac{0,002\,940 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{229}{\frac{0,000\,063 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{142}{\frac{0,000\,038 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,057 + 0,019 + 0,019 = \underline{0,095 [-]}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{182\,458}{\frac{0,002\,940 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{1\,671}{\frac{0,000\,063 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{129}{\frac{0,000\,038 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,325 + 0,138 + 0,018 = \underline{0,481 [-]}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,RS}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,095}{0,481}$$

$$Z_{LM71} = \underline{\underline{1,881 [-]}}$$

Kontrolní přepoččet podmínky η_3 po prvním iteračním kroku:

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,881 * 0,594 + 0,324$$

$$V_{Ed} = \underline{\underline{1,579 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{1,579}{91,704} = \underline{\underline{0,017 222 [-]}}$$

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy nemusíme pokračovat v iteračním postupu a hodnota zatížitelnosti je rovna $Z_{LM71} = 1,881 [-]$. Jelikož je zatížitelnost větší než jedna, prvek na zatížitelnost vyhovuje.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,330}{1,24} = \underline{\underline{1,076 [-]}}$$

Zatížení	V_f	N	V _z	M _y	M _z
$M_{ttz,C2} =$	1,30	55,00	0,32	-0,04	-0,04
$M_{LM71} =$	1,30	113,59	0,37	-1,04	-0,08

Tabulka 76: Vnitřní síly od vlaků pro diagonálu D4 a D5_tah

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 * 55,000}{1,3 * 113,590} = \underline{\underline{0,484 [-]}}$$

$$\text{pro V}_z: \lambda_{LM71,V_z} = \frac{1,3 * 0,320}{1,3 * 0,370} = \underline{\underline{0,865 [-]}}$$

$$\text{pro M}_y: \lambda_{LM71,M_y} = \frac{1,3 * (-0,040)}{1,3 * (-1,040)} = \underline{\underline{0,038 [-]}}$$

$$\text{pro M}_z: \lambda_{LM71,M_z} = \frac{1,3 * (-0,040)}{1,3 * (-0,080)} = \underline{\underline{0,500 [-]}}$$

$$\text{pro } N: k_{i,N} = \frac{0,057+0,325}{0,095+0,481} = \underline{0,663} [-]$$

$$\text{pro } Vz: k_{i,Vz} = \frac{0,000+0,000}{0,095+0,481} = \underline{0,000} [-]$$

$$\text{pro } My: k_{i,My} = \frac{0,019+0,138}{0,095+0,481} = \underline{0,273} [-]$$

$$\text{pro } Mz: k_{i,Mz} = \frac{0,019+0,018}{0,095+0,481} = \underline{0,065} [-]$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

$$1,881 \geq (0,663 * 1,076 * 0,484) + (0,000 * 1,076 * 0,865) + (0,273 * 1,076 * 0,038) + (0,065 * 1,076 * 0,500)$$

$$1,881 \geq 0,391$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jak je patrné ze splněné podmínky, prvek je přechodný pro traťovou třídu C2 s přidruženou rychlostí 75 km/h.

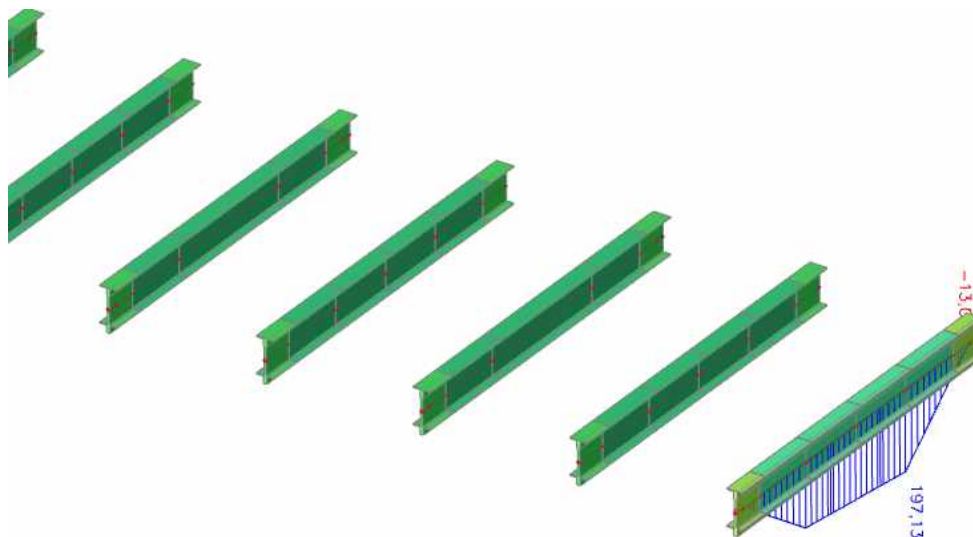
7. Posouzení mostovky

7.1. Posouzení příčníků

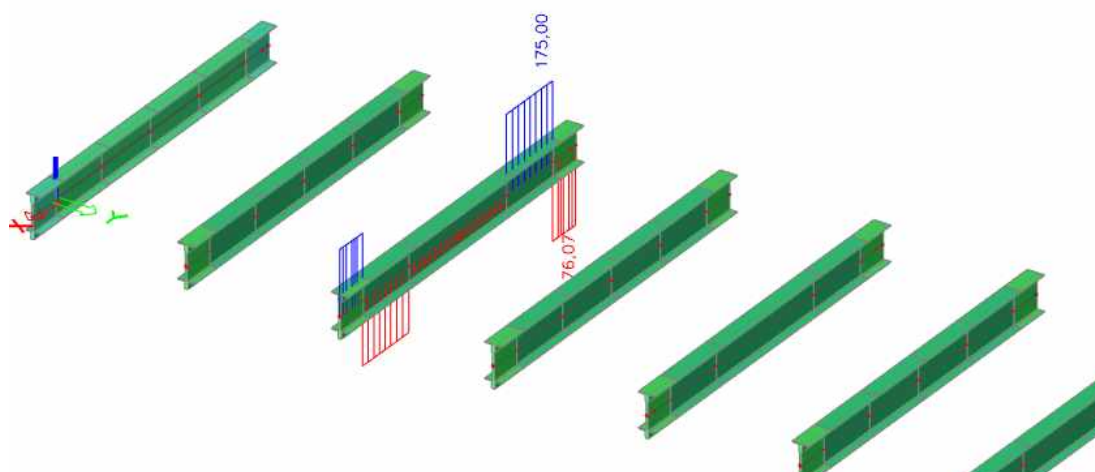
Příčnický se posuzovaly vždy ve dvou místech, a to tam, kde působí největší smyková síla V_z a v místě maximálního ohybového momentu M_y . K posudku byl vybrán příčník uprostřed mostu a krajní příčník, jelikož mají různé průřezy. Dále byl vybrán první příčník, který dle prohlídky na mostě byl prokorodovaný a nejvíce oslabený.

Prvky se posuzovaly na boulení, posouzení únosnosti příčného řezu, únosnost ve smyku, interakce mezi osovou silou, ohybovým momentem a smykovou silou, klopení, zatížitelnost a přechodnost.

Posuzovaly se vždy jen prvky, u kterých vyšlo nejhorší kombinace zatížení, u ostatních můžeme předpokládat, že vyhoví taktéž.

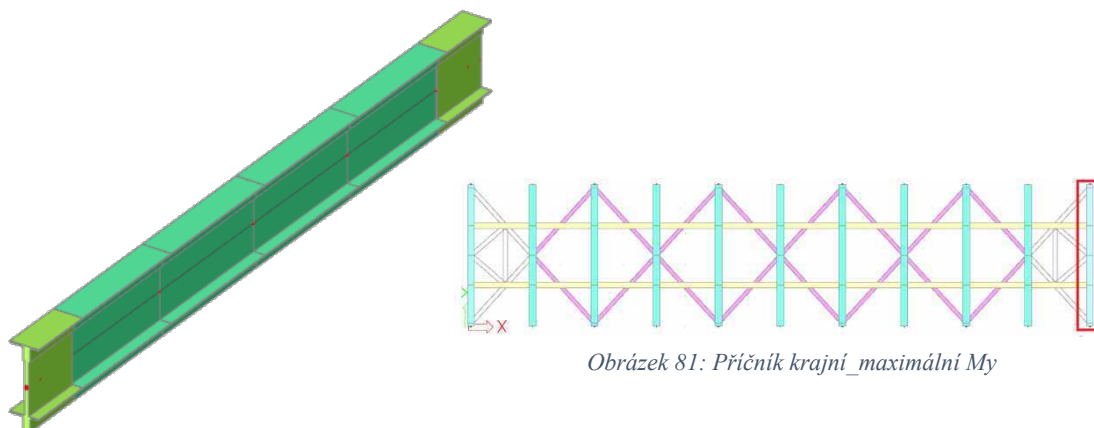


Obrázek 79: Průběh ohybového momentu M_y od vlaku LM71 pro krajní příčník



Obrázek 80: Průběh smykové síly V_z od vlaku LM71 pro střední příčník

7.1.1. Posouzení průřezu krajního příčnicku v místě maximálního momentu M_y



Obrázek 81: Příčník krajní_maximální M_y

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR11, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	$Z_{uvaž}/Gr_{XX}$	Zuvaž/součinitel α
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.2	Teplota zima	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.24	BR Pk max M_y	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.24a	OS 75 Pk max M_y	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.24	LM71 Pk max M_y	1,30	1,00	1,49	1,00	1,00
8.24	C2 Pk max M_y	1,30	1,00	1,84	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	M_y	M_z	N	Vz	M_y	M_z
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-7,98 kN	3,19 kN	3,92 kNm	0,51 kNm	-9,10 kN	3,64 kN	4,47 kNm	0,46 kNm
-1,68 kN	0,66 kN	0,93 kNm	0,11 kNm	-1,92 kN	0,75 kN	1,06 kNm	0,10 kNm
-16,97 kN	3,85 kN	-1,74 kNm	-1,10 kNm	-17,18 kN	3,90 kN	0,00 kNm	-1,11 kNm
108,24 kN	5,61 kN	33,47 kNm	1,29 kNm	0,00 kN	5,05 kN	30,12 kNm	0,00 kNm
-32,90 kN	12,10 kN	6,89 kNm	-2,38 kNm	-21,39 kN	7,87 kN	4,48 kNm	-1,55 kNm
-13,69 kN	8,08 kN	5,92 kNm	-1,14 kNm	-8,90 kN	5,25 kN	3,85 kNm	-0,74 kNm
46,44 kN	10,54 kN	22,40 kNm	-4,32 kNm	0,00 kN	13,70 kN	29,12 kNm	-5,62 kNm
-89,45 kN	162,99 kN	197,13 kNm	0,83 kNm	-173,26 kN	315,71 kN	381,84 kNm	0,00 kNm
-76,88 kN	129,83 kN	155,42 kNm	1,10 kNm	-183,60 kN	310,05 kN	371,16 kNm	2,63 kNm
-7,99 kN	207,02 kN	268,92 kNm	-6,20 kNm	-231,74	355,87	454,94	-8,46

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

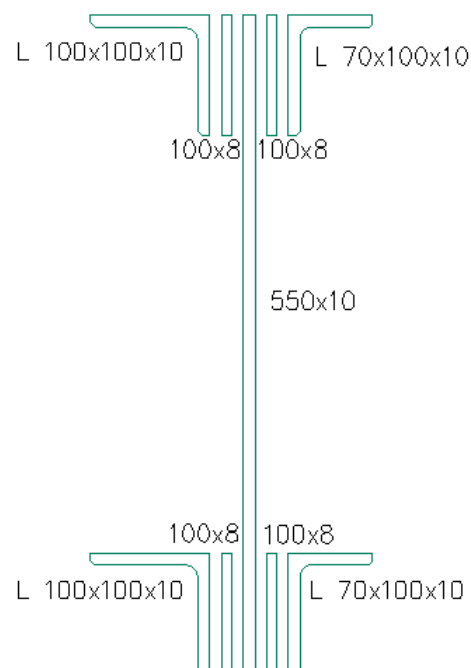
	Celkem	Rs	LM71
N =	-231,74	-58,48	-173,26
Vz =	355,87	40,16	315,71
M_y =	454,94	73,10	381,84
M_z =	-8,46	-8,46	0,00

Tabulka 77: Kombinace pro krajní příčník_maximální M_y

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,550 m
Šířka pásnice b:	0,196 m
Tloušťka pásnice t_f :	0,010 m
Tloušťka stojiny t_w :	0,010 m
Výška stojiny h_w :	0,550 m
Krční úhelníky:	L 70x100x10 L 100x100x10



Obrázek 82: Průřez krajního příčnicku_maximální M_y

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,015 753 m ²
Moment setrvačnosti I_y :	0,000 668 640 m ⁴
Moment setrvačnosti I_z :	0,000 014 485 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i_y :	0,206 m
Poloměr setrvačnosti i_z :	0,030 m
Průřezový elastický modul $W_{el,y}$:	0,002 355 200 m ³
Průřezový elastický modul $W_{el,z}$:	0,000 131 800 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,y}$:	0,003 063 200 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,z}$:	0,000 299 930 m ³

Posouzení průřezu při jednoosém ohybu

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{\frac{f_y \cdot A}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_N}{\frac{f_y \cdot W_e}{\gamma_{M0}}} \leq 1,0$$

ČSN EN 1993-1-5: 4.6 (1)_výraz (4.14)

$$\eta_1 = \frac{231\,740}{\frac{210\,000\,000 \cdot 0,015\,753}{1,10}} + \frac{389\,740 - 231\,740 \cdot 0,000}{\frac{210\,000\,000 \cdot 0,002\,356}{1,10}}$$

$$\eta_1 = \underline{1,084\,723} \leq 1,0$$

NESPLNĚNÁ PODMÍNKÁ

Posouzení účinku boulení stěn vlivem normálových napětí

$$z_1 = 0,266\ 168\ \text{m}$$

$$z_2 = 0,283\ 832\ \text{m}$$

Výpočet napětí σ_1 a σ_2 :

$$W_{\sigma 1} = \frac{I_y}{z_1} = \frac{0,000\ 669}{0,266\ 168}$$

$$W_{\sigma 2} = \frac{I_y}{z_2} = \frac{0,000\ 669}{0,283\ 832}$$

$$W_{\sigma 1} = \underline{0,002\ 512\ \text{m}^3}$$

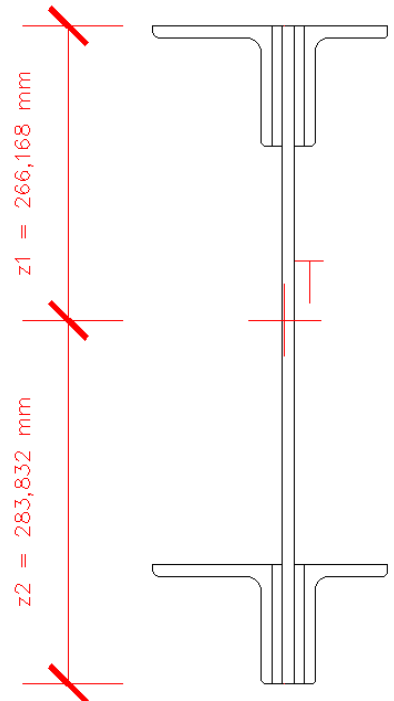
$$W_{\sigma 2} = \underline{0,002\ 356\ \text{m}^3}$$

$$\sigma_1 = \frac{M_y}{W_{\sigma 1}} = \frac{454\ 939,310}{0,002\ 512}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_y}{W_{\sigma 2}} = \frac{454\ 939,310}{0,002\ 356}$$

$$\sigma_1 = \underline{181,099\ \text{MPa}}$$

$$\sigma_2 = \underline{193,118\ \text{MPa}}$$



Obrázek 83: Těžiště průřezu krajního příčníku maximální My

Výpočet poměru napětí ψ :

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{181,099}{193,118}$$

$$\psi = \underline{0,940}$$

$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Součinitel kritického napětí k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

ČSN EN 1993-1-5: 4.4_Tabulka (4.1)

$$k_\sigma = \frac{8,2}{1,05 + \psi} = \frac{8,2}{1,05 + 0,940}$$

$$k_\sigma = \underline{4,125\ 234}$$

Výpočet koeficientu $\bar{\lambda}_p$:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}/t}{28,4 * \epsilon * \sqrt{k_\sigma}}$$

ČSN EN 1993-1-5: 4.4 (2)

\bar{b} příslušná šířka podle ČSN EN 1993-1-1_Tabulka 5.2

t tloušťka stojiny

$$\bar{\lambda}_p = \frac{0,350/0,010}{28,4 * 1,058 * \sqrt{4,125}}$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{0,573\ 589}$$

Stanovení součinitele boulení ρ :

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{0,573\ 589 - 0,055(3 + 0,940)}{0,573\ 589^2} \quad \text{ČSN EN 1993-1-5: 4.4 (2) výraz (4.2)}$$

$$\rho = \underline{1,085\ 128}$$

Jelikož hodnota koeficientu vyšla $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$, není průřez náchylný na boulení a berou se tedy hodnoty $A_{\text{eff}} = A$ a $W_{\text{eff}} = W_{\text{ey}}$.

Posouzení průřezu na únosnost ve smyku

Příspěvek stojiny

$$V_{\text{bw,Rd}} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{M1}} \quad \text{ČSN EN 1993-1-5: 5.2 (1) výraz (5.2)}$$

Výpočet součinitele příspěvku stojiny χ_w :

Upravená štíhlost $\bar{\lambda}_w$ se vypočítá podle vzorce pro příčné výztuhy nad podporami spolu s mezilehlými příčnými nebo podélnými výztuhami.

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} \quad \text{ČSN EN 1931-1-5: 5.3 (3) výraz (5.6)}$$

Součinitel kritického napětí ve smyku k_τ :

$$\frac{a}{h_w} = \frac{1,348}{0,550} = \underline{2,450}$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a / h_w \geq 1$$

$$k_\tau = 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a / h_w < 1$$

ČSN EN 1993-1-5: A.3 (1) výraz (A.5)

a je vzdálenost mezi příčnými výztuhami

$k_{\tau sl}$ součinitel podélné výztuhy (v našem případě $k_{\tau sl} = 0$)

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + k_{\tau sl} = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{0,550}{1,348}\right)^2 + 0 = \underline{6,006\ 389}$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} = \frac{0,550}{37,4 * 0,010 * 1,058 * \sqrt{6,006\ 389}}$$

$$\bar{\lambda}_w = \underline{0,567\ 231}$$

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

ČSN EN 1993-1-5: 5.3_Tabulka (5.1)

$$\eta = 1,2$$

ČSN EN 1993-1-5: 5.1_POZNÁMKA (2)

$$0,83/\eta = 0,83/1,2 = 0,691\ 667$$

Jak je z tabulky a výpočtu patrné, hodnota χ_w pro netuhou koncovou výztuhu bude rovna první hodnotě, jelikož $\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$.

$$\chi_w \leq 1,0;$$

$$\chi_w = \eta = 1,2 > 1,0$$

$$\chi_w = \underline{1,0}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{M1}} = \frac{1,0 * 210\ 000\ 000 * 0,550 * 0,010}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{bw,Rd} = \underline{555\ 699,634\ N}$$

Příspěvek pásnic

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f * t_f^2 * f_{yf}}{c * \gamma_{M1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}}\right)^2\right) \quad \text{ČSN EN 1993-1-5: 5.4 (1)_výraz (5.8)}$$

b_f šířka pásnice; nebere se větší než $15 * \epsilon * t_f$ na každé straně stojiny

$$b_f = \underline{0,070\ m}$$

$$15 * \epsilon * t_f = 15 * 1,058 * 0,010 = \underline{0,158\ 678}$$

$$0,070 \leq 0,158\ 678$$

Jelikož je podmínka splněna, bere se do výpočtu celá šířka pásnice $b = 0,070\ m$.

Výpočet koeficientu c:

ČSN EN 1993-1-5: 5.4 (1)_výraz (5.8)

$$c = a * \left(0,25 + \frac{1,6 * b_f * t_f^2 * f_{yf}}{t * h_w^2 * f_{yw}}\right) = 1,348 * \left(0,25 + \frac{1,6 * 0,070 * 0,010^2 * 210\ 000\ 000}{0,010 * 0,550^2 * 210\ 000\ 000}\right)$$

$$c = \underline{0,339\ 619}$$

Výpočet momentu únosnosti průřezu sestávající pouze z účinné plochy pásnic $M_{f,Rd}$:

Pro výpočet účinné plochy pásnice byl využit program AutoCad, kde byly odměřeny jednotlivé plochy pásnic a krčních úhelníků. U krčních úhelníku se brala vždy pouze plocha, která představuje pásnici (tedy vodorovná část profilu L). Dále se odměřily už pouze těžiště jednotlivých pásnic od celkového těžiště průřezu.

$$A_{\text{úhel,h}} = 0,002\,551 \text{ m}^2 \qquad z_h = 0,258\,653 \text{ m}$$

$$A_{\text{úhel,d}} = 0,002\,551 \text{ m}^2 \qquad z_d = 0,191\,347 \text{ m}$$

$$W_{fy} = 0,002\,551 * 0,258\,653 + 0,002\,551 * 0,191\,347$$

$$W_{fy} = \underline{0,001\,148 \text{ m}^3}$$

$$M_{f,Rd} = \frac{W_{fy} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,001\,148 * 210\,000\,000}{1,10} = \underline{219\,177,312 \text{ Nm}}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f * t_f^2 * f_{yf}}{c * \gamma_{M1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}}\right)^2\right) = \frac{0,070 * 0,010^2 * 210\,000\,000}{0,339\,619 * 1,20} * \left(1 - \left(\frac{454\,939,310}{219\,177,312}\right)^2\right)$$

$$V_{bf,Rd} = \underline{-11\,933,312 \text{ N}}$$

Jelikož byla únosnost pro ohybový moment pásnice plně využita ($M_{Ed} > M_{f,Rd}$), s příspěvkem pásnic se nepočítá a do dalších vzorců vstupuje pouze příspěvek stojiny.

Celková smyková návrhová únosnost

1. Podmínka

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{M1}} \qquad \text{ČSN EN 1993-1-5: 5.2 (1) výraz (5.1)}$$

$$V_{b,Rd} = 555\,699,634 + 0,000 \leq \frac{1,2 * 210\,000\,000 * 0,550 * 0,010}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{b,Rd} = \underline{555\,699,634} \leq \underline{666\,839,561}$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

2. Podmínka

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \text{ČSN EN 1993-1-5: 5.5 (1) výraz (5.10)}$$

V_{Ed} návrhová smyková síla včetně smyku od kroucení

$$\eta_3 = \frac{355\,866,760}{555\,699,634} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 0,533\,662 \leq 1,0$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Interakce mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

Pokud $\bar{\eta}_3$ nepřesáhne hodnotu 0,5, není nutné návrhovou únosnost pro ohybový moment a osovou sílu redukovat s ohledem na smykovou sílu. Jestliže je $\bar{\eta}_3$ větší než 0,5, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojině nosníku I, nebo nosníku komorového, splňovat následující podmínku. ČSN EN 1993-1-5: 7.1 (1)

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0 \quad \text{pro} \quad \eta_1 \geq \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}$$

ČSN EN 1993-1-5: 7.1 (1) výraz (7.1)

$M_{pl,Rd}$ návrhová plastická únosnost průřezu složeného z účinné plochy pásnic a plně účinné stojiny bez ohledu na její třídu

$M_{f,Rd}$ návrhový plastický moment únosnosti průřezu složeného z účinných ploch pásnic

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = \frac{355\,866,760}{555\,699,634} \quad \text{ČSN EN 1993-1-5: 7.1 (1) výraz (7.1)}$$

$$\bar{\eta}_3 = 0,640\,394 \leq 0,5$$

NESPLNĚNÁ PODMÍNKA

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \quad \text{ČSN EN 1993-1-5: 7.1 (1) výraz (7.1)}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,003\,063 * 210\,000\,000}{1,10} = \underline{\underline{584\,792,700\,Nm}}$$

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{454\,939,310}{584\,792,700}$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{\underline{0,777\,950}}$$

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0$$

$$0,777\ 950 + \left(1 - \frac{219\ 177,458}{584\ 792,700}\right) * (2 * 0,640\ 394 - 1)^2 \leq 1,0$$

$$\underline{0,827\ 242} \leq 1,0$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Posouzení průřezu na klopení (Zjednodušený výpočet)

Pruty s jednotlivými příčnými podporami tlačené pásnice nejsou citlivé na klopení, jestliže vzdálenost L_c mezi příčnými podporami nebo výsledná štíhlost $\bar{\lambda}_1$ ekvivalentní tlačené pásnice vyhovuje následující podmínce. ČSN EN 1991-1-1: 6.3.2.4 (1)B

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c * L_c}{i_{f,z} * \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} * \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \quad \text{ČSN EN 1993-1-1: 6.3.2.4 (1)B_výraz (6.59)}$$

k_c opravný součinitel štíhlosti pro rozdělení momentů mezi příčnými podporami

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

$\bar{\lambda}_{c0}$ největší štíhlost ekvivalentní tlačené pásnice

L_c vzdálenost příčného ztužení

$$M_{c,Rd} = W_y * \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{ČSN EN 1993-1-1: 6.3.2.4 (1)B_výraz (6.59)}$$

W_y příslušný modul průřezu, vztažený k tlačené pásnici

$$M_{c,Rd} = 0,002\ 355 * \frac{210\ 000\ 000}{1,20} = \underline{412\ 160\ Nm}$$

$$\lambda_1 = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{ČSN EN 1993-1-1: 6.3.2.4 (1)B_výraz (6.59)}$$

E Youngův modul pružnosti (210 GPa)

$$\lambda_1 = 3,14 * \sqrt{\frac{210\ 000\ 000\ 000}{210\ 000\ 000}} = \underline{99,345\ 883}$$

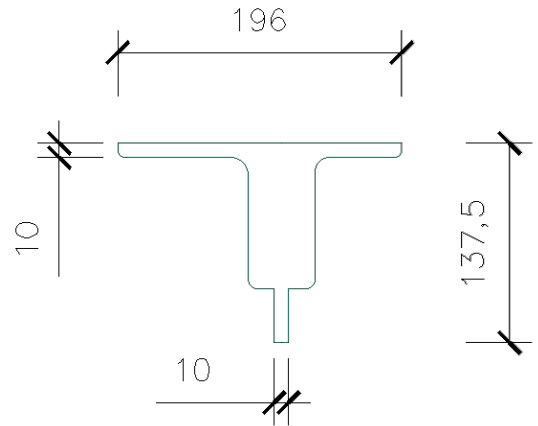
$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

Hodnoty pro plochu a moment setrvačnosti byly odměřeny v programu AutoCad, pro průřez, který se skládal z horních pásnic, horních krčních úhelníků a 1/3 výšky stojiny.

$$I_z = 0,000\ 089\ 620\ \text{m}^4$$

$$A = 0,006\ 960\ \text{m}^2$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{0,000\ 089\ 620}{0,006\ 960}} = \underline{0,113\ 478\ \text{m}}$$



Obrázek 84: Průřez pro výpočet klopení krajního příčniku_maximální M_y

Největší hodnotu štíhlosti se doporučuje následující hodnota:

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

ČSN EN 1993-1-1: 6.3.2.4 (1)B_POZNÁMKA 2B

$$\overline{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

ČSN EN 1993-1-1: 6.3.2.3 (1)_POZNÁMKA

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

$$\overline{\lambda}_{c0} = \underline{0,5}$$

Stanovení opravného součinitele k_c :

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi} = \frac{1}{1,33 - 0,33 \cdot \frac{29,08}{441,01}} = \underline{0,764\ 386}$$

ČSN EN 1993-1-1: 6.3.2.3_Tabulka (6.6)

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

$$\overline{\lambda}_1 = \frac{0,764\ 386 \cdot 1,348}{0,113\ 478 \cdot 99,345\ 883} \leq 0,5 \cdot \frac{412\ 160}{454\ 939}$$

$$\overline{\lambda}_1 = \underline{0,0913\ 647} \leq \underline{0,452\ 983}$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
-231,743		355,867		454,939		-8,460	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
-58,478	-173,265	40,155	315,712	73,099	381,841	-8,460	0,000

Tabulka 78: Vnitřní síly pro krajní příčník_maximální M_y

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,550 \cdot 0,010 \cdot 210\,000\,000}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 606\,217,783 \text{ N} = 606,218 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} \cdot V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 \cdot 315,712 + 40,155 = 355,870 \text{ kN}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{355,870}{606,218} = 0,587\,033 \text{ [-]}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je větší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{58\,478}{\frac{0,015\,753 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{73\,099}{\frac{0,002\,355 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{8\,460}{\frac{0,000\,132 \cdot 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,019 + 0,163 + 0,336 = 0,518 \text{ [-]}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{173\,265}{\frac{0,015\,753 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{381\,841}{\frac{0,002\,355 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{0}{\frac{0,000\,132 \cdot 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,058 + 0,849 + 0,000 = 0,907 \text{ [-]}$$

$$\eta_{3,RS} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{40\,155}{606\,218} \quad MP\ A.2.2.11_vztah\ (A.14)$$

$$\eta_{3,RS} = \underline{0,066 [-]}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{315\,712}{606\,218} \quad MP\ A.2.2.11_vztah\ (A.15)$$

$$\eta_{3,RS} = \underline{0,521 [-]}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,N,Rd}}{M_{pl,N,Rd}} \right) = 1 - \left(\frac{219\,177,500}{584\,792,700} \right) \quad MP\ A.2.2.11_vztah\ (A.16)$$

$$k = \underline{0,625\,205 [-]}$$

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0 \quad MP\ A.2.2.11_vztah\ (A.16)$$

$$0,678\,276 * Z_{LM71}^2 - 0,223\,013 * Z_{LM71} - 0,011\,240 = 0$$

$$D = (-0,223\,013)^2 - 4 * 0,678\,276 * (-0,011\,240) = 0,080\,230$$

$$Z_{LM71,1} = \frac{0,223\,013 + \sqrt{0,080\,230}}{2 * 0,678\,276} = 0,373\,198$$

$$Z_{LM71,2} = \frac{0,223\,013 - \sqrt{0,080\,230}}{2 * 0,678\,276} = -0,044\,404$$

$$Z_{LM71} = Z_{LM71,1} = \underline{0,373}$$

Jelikož zatížitelnost vyšla menší než 1,0, je možnost provést redukce ostatních účinků od zatížení železniční dopravou (účinky bočního rázu, rozjezdová a brzdná síla a zároveň odstředivé síly) o vypočítanou zatížitelnost. Výslednou hodnotu zatížitelnosti Z_{LM71} je třeba určit iterační formou výpočtu.

MP 4.7.7

V následujících tabulkách jsou znázorněny změny hodnot vnitřních sil od ostatních zatížení železniční dopravy po jednotlivých iteracích. Dále jsou v tabulkách znázorněny jednotlivé změny zatížitelnosti, které se počítaly stejným způsobem, jako v předchozím případě výpočtu Z_{LM71}.

Iterace č. 0				Iterace č. 1				Iterace č. 2				Iterace č. 3			
0,373				0,808				0,551				0,713			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46
-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10
-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11
0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00
-21,39	7,87	4,48	-1,55	-7,98	2,94	1,67	-0,58	-17,29	6,36	3,62	-1,25	-11,78	4,33	2,47	-0,85
-8,90	5,25	3,85	-0,74	-3,32	1,96	1,44	-0,28	-7,19	4,25	3,11	-0,60	-4,90	2,89	2,12	-0,41
0,00	13,70	29,12	-5,62	0,00	5,11	10,87	-2,10	0,00	11,08	23,54	-4,54	-4,90	7,55	16,04	-3,09
-173,26	315,71	381,84	0,00	-173,26	315,71	381,84	0,00	-173,26	315,71	381,84	0,00	-173,26	315,71	381,84	0,00

Iterace č. 4				Iterace č. 5				Iterace č. 6				Iterace č. 7			
0,617				0,676				0,640				0,663			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46
-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10
-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11
0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00
-15,24	5,60	3,19	-1,10	-13,20	4,86	2,76	-0,96	-14,47	5,32	3,03	-1,05	-13,70	5,04	2,87	-0,99
-6,34	3,74	2,74	-0,53	-5,49	3,24	2,38	-0,46	-6,02	3,55	2,60	-0,50	-5,70	3,36	2,46	-0,47
0,00	9,76	20,75	-4,00	0,00	8,46	17,98	-3,47	0,00	9,27	19,70	-3,80	0,00	8,78	18,65	-3,60
-173,26	315,71	381,84	0,00	-173,26	315,71	381,84	0,00	-173,26	315,71	381,84	0,00	-173,26	315,71	381,84	0,00

Iterace č. 8				Iterace č. 9				Iterace č. 10			
0,649				0,657				0,652			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46
-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10
-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11
0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00
-14,17	5,21	2,97	-1,03	-13,88	5,10	2,91	-1,00	-14,06	5,17	2,94	-1,02
-5,90	3,48	2,55	-0,49	-5,78	3,41	2,50	-0,48	-5,85	3,45	2,53	-0,49
0,00	9,08	19,30	-3,72	0,00	8,89	18,90	-3,65	0,00	9,01	19,14	-3,69
-173,26	315,71	381,84	0,00	-173,26	315,71	381,84	0,00	-173,26	315,71	381,84	0,00

Tabulka 79: Iterace pro krajní příčník_maximální My

Jak je z posledního desátého kroku iterace patrné, poslední zatížitelnost, a tím tedy i výsledná zatížitelnost, je rovna hodnotě Z_{LM71} = 0,652 [-].

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,84}{1,49} = \underline{1,233 [-]}$$

Zatížení	γ_f	N	V _z	M _y	M _z
$M_{ttz,C2} =$	1,30	-76,88	129,83	155,42	0,00
$M_{LM71} =$	1,30	-89,45	162,99	197,13	0,83

Tabulka 80: Vnitřní síly od vlaků pro krajní příčník_maximální M_y

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 * (-76,880)}{1,3 * (-89,450)} = \underline{0,859 [-]}$$

$$\text{pro V}_z: \lambda_{LM71,Vz} = \frac{1,3 * 129,830}{1,3 * 162,990} = \underline{0,797 [-]}$$

$$\text{pro M}_y: \lambda_{LM71,M_y} = \frac{1,3 * 155,420}{1,3 * 197,130} = \underline{0,788 [-]}$$

$$\text{pro M}_z: \lambda_{LM71,M_z} = \frac{1,3 * 0,000}{1,3 * 0,830} = \underline{0,000 [-]}$$

$$\text{pro N: } k_{i,N} = \frac{0,016 + 0,058}{0,379 + 0,907} = \underline{0,057 [-]}$$

$$\text{pro V}_z: k_{i,Vz} = \frac{0,000 + 0,000}{0,379 + 0,907} = \underline{0,000 [-]}$$

$$\text{pro M}_y: k_{i,M_y} = \frac{0,134 + 0,849}{0,379 + 0,907} = \underline{0,765 [-]}$$

$$\text{pro M}_z: k_{i,M_z} = \frac{0,229 + 0,000}{0,379 + 0,907} = \underline{0,178 [-]}$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

$$0,652 \geq (0,057 * 1,233 * 0,859) + (0,000 * 1,233 * 0,797) + (0,765 * 1,233 * 0,788) + (0,178 * 1,233 * 0,000)$$

$$0,652 \geq 0,804$$

NESPLNĚNÁ PODMÍNKA

Jak je patrné z nesplněné podmínky, prvek nevyhověl na posudek zatížitelnosti, ani na posudek přechodnosti. Prvek je nepřechodný pro traťovou rychlost 75 km/h. Je potřeba jej tedy posoudit na nižší rychlost, a to rychlost na mostě 60 km/h

7.1.1.1. Posouzení průřezu pro rychlost na mostě v = 60 km/h

Výpočet zatížitelnosti

Jelikož má rychlost pouze vliv na odstředivé síly, ve výpočtu se tedy změní pouze hodnoty vnitřních sil odstředivých sil, všechny ostatní hodnoty zůstávají stejné.

5.24	OS 60 Pk max My	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00	
Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
-8,76 kN	5,17 kN	3,79 kNm	-0,73 kNm	-5,69 kN	3,36 kN	2,46 kNm	-0,47 kNm

Tabulka 81: Odstředivé síly pro rychlost 60 km/h pro krajní příčník_maximální My

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou cel jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou Rs,Ed jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou LM71,Ed.

N _{cel} [kN]		V _{z,cel} [kN]		M _{y,cel} [kN]		M _{z,cel} [kN]	
-228,538		353,975		453,555		-8,193	
N _{Rs,Ed}	N _{LM71,Ed}	V _{z,Rs,Ed}	V _{z,LM71,Ed}	M _{y,Rs,Ed}	M _{y,LM71,Ed}	M _{z,Rs,Ed}	M _{z,LM71,Ed}
-55,274	-173,265	38,264	315,712	71,714	381,841	-8,193	0,000

Tabulka 82: Vnitřní síly pro rychlost 60 km/h pro krajní příčník_maximální My

Výpočet podmínky η₃:

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,550 \cdot 0,010 \cdot 210\,000\,000}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 606\,217,783 \text{ N} = 606,218 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} \cdot V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 \cdot 315,712 + 38,264 = 353,980 \text{ kN}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{353,980}{606,218} = 0,583\,916 [-]$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je větší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{55\,274}{\frac{0,015\,753 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{71\,714}{\frac{0,002\,355 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{8\,193}{\frac{0,000\,132 \cdot 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,018 + 0,159 + 0,326 = \underline{0,503 [-]}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{173\,265}{\frac{0,015\,753 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{381\,841}{\frac{0,002\,355 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{0}{\frac{0,000\,132 \cdot 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,058 + 0,849 + 0,000 = \underline{0,907 [-]}$$

$$\eta_{3,Rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{38\,264}{606\,218}$$

MP A.2.2.11_vztah (A.14)

$$\eta_{3,Rs} = \underline{0,03 [-]}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{315\,712}{606\,218}$$

MP A.2.2.11_vztah (A.15)

$$\eta_{3,Rs} = \underline{0,521 [-]}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,N,Rd}}{M_{pl,N,Rd}} \right) = 1 - \left(\frac{219\,177,500}{584\,792,700} \right)$$

MP A.2.2.11_vztah (A.16)

$$k = \underline{0,625\,205 [-]}$$

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

MP A.2.2.11_vztah (A.16)

$$0,678\,276 * Z_{LM71}^2 - 0,231\,140 * Z_{LM71} - 0,019\,183 = 0$$

$$D = (-0,231\,140)^2 - 4 * 0,678\,276 * (-0,019\,183) = 0,105\,471$$

$$Z_{LM71,1} = \frac{0,231\,140 + \sqrt{0,105\,471}}{2 * 0,678\,276} = 0,409\,791$$

$$Z_{LM71,2} = \frac{0,231\,140 - \sqrt{0,105\,471}}{2 * 0,678\,276} = -0,069\,015$$

$$Z_{LM71} = Z_{LM71,1} = \underline{0,410}$$

Jelikož zatížitelnost vyšla menší než 1,0, je možnost provést redukce ostatních účinků od zatížení železniční dopravou (účinky bočního rázu, rozjezdová a brzdná síla a zároveň odstředivé síly) o vypočítanou zatížitelnost. Výslednou hodnotu zatížitelnosti Z_{LM71} je třeba určit iterační formou výpočtu.

MP 4.7.7

V následujících tabulkách jsou znázorněny změny hodnot vnitřních sil od ostatních zatížení železniční dopravy po jednotlivých iteracích. Dále jsou v tabulkách znázorněny jednotlivé změny zatížitelnosti, které se počítaly stejným způsobem, jako v předchozím případě výpočtu Z_{LM71} .

Iterace č. 0				Iterace č. 1				Iterace č. 2				Iterace č. 3			
0,410				0,797				0,578				0,709			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46
-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10
-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11
0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00
-21,39	7,87	4,48	-1,55	-8,76	3,22	1,84	-0,63	-17,05	6,27	3,57	-1,23	-12,36	4,55	2,59	-0,89
-5,69	3,36	2,46	-0,47	-2,33	1,38	1,01	-0,19	-4,54	2,68	1,96	-0,38	-3,29	1,94	1,42	-0,27
0,00	13,70	29,12	-5,62	0,00	5,61	11,93	-2,30	0,00	10,92	23,22	-4,48	-3,29	7,92	16,83	-3,25
-173,26	315,71	381,84	0,00	-173,26	315,71	381,84	0,00	-173,26	315,71	381,84	0,00	-173,26	315,71	381,84	0,00

Iterace č. 4				Iterace č. 5				Iterace č. 6				Iterace č. 7			
0,635				0,679				0,653				0,668			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46
-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10
-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11
0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00
-15,17	5,58	3,18	-1,10	-13,58	4,99	2,84	-0,98	-14,52	5,34	3,04	-1,05	-13,97	5,14	2,93	-1,01
-4,04	2,38	1,75	-0,34	-3,62	2,13	1,56	-0,30	-3,87	2,28	1,67	-0,32	-3,72	2,20	1,61	-0,31
0,00	9,72	20,65	-3,98	0,00	8,70	18,49	-3,57	0,00	9,30	19,77	-3,81	0,00	8,95	19,02	-3,67
-173,26	315,71	381,84	0,00	-173,26	315,71	381,84	0,00	-173,26	315,71	381,84	0,00	-173,26	315,71	381,84	0,00

Iterace č. 8				Iterace č. 9				Iterace č. 10			
0,660				0,665				0,662			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46
-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10
-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11
0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00
-14,29	5,26	2,99	-1,03	-14,10	5,19	2,95	-1,02	-14,22	5,23	2,98	-1,03
-3,81	2,25	1,65	-0,32	-3,76	2,22	1,62	-0,31	-3,79	2,23	1,64	-0,32
0,00	9,16	19,46	-3,75	0,00	9,04	19,21	-3,70	0,00	9,11	19,36	-3,73
-173,26	315,71	381,84	0,00	-173,26	315,71	381,84	0,00	-173,26	315,71	381,84	0,00

Tabulka 83: Iterace pro rychlost 60 km/h pro krajní příčník_maximální My

Jak je z posledního desátého kroku iterace patrné, poslední zatížitelnost, a tím tedy i výsledná zatížitelnost, je rovna hodnotě $Z_{LM71} = 0,662 [-]$.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,84}{1,68} = \underline{1,095} [-]$$

Zatížení	γ_f	N	Vz	My	Mz
$M_{ttz,C2} =$	1,30	-76,88	129,83	155,42	0,00
$M_{LM71} =$	1,30	-89,45	162,99	197,13	0,83

Tabulka 84: Vnitřní síly od vlaků pro rychlost 60 km/h pro krajní příčník_maximální My

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 * (-76,880)}{1,3 * (-89,450)} = \underline{0,859} [-]$$

$$\text{pro Vz: } \lambda_{LM71,Vz} = \frac{1,3 * 129,830}{1,3 * 162,990} = \underline{0,797} [-]$$

$$\text{pro My: } \lambda_{LM71,My} = \frac{1,3 * 155,420}{1,3 * 197,130} = \underline{0,788} [-]$$

$$\text{pro Mz: } \lambda_{LM71,Mz} = \frac{1,3 * 0,000}{1,3 * 0,830} = \underline{0,000} [-]$$

$$\text{pro N: } k_{i,N} = \frac{0,016 + 0,058}{0,372 + 0,907} = \underline{0,057} [-]$$

$$\text{pro Vz: } k_{i,Vz} = \frac{0,000 + 0,000}{0,372 + 0,907} = \underline{0,000} [-]$$

$$\text{pro My: } k_{i,My} = \frac{0,133 + 0,849}{0,372 + 0,907} = \underline{0,768} [-]$$

$$\text{pro Mz: } k_{i,Mz} = \frac{0,224 + 0,000}{0,372 + 0,907} = \underline{0,175} [-]$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

$$0,662 \geq (0,057 * 1,095 * 0,859) + (0,000 * 1,095 * 0,797) + (0,768 * 1,095 * 0,788) + (0,175 * 1,095 * 0,000)$$

$$0,662 \geq 0,716$$

NESPLNĚNÁ PODMÍNKA

Jak je patrné z nesplněné podmínky, prvek nevyhověl na posudek zatížitelnosti, ani na posudek přechodnosti. Prvek je nepřechodný pro traťovou rychlost 75 km/h ani pro rychlost na mostě. Prvek je potřeba zesílit, popřípadě snížit rychlost či traťovou třídu.

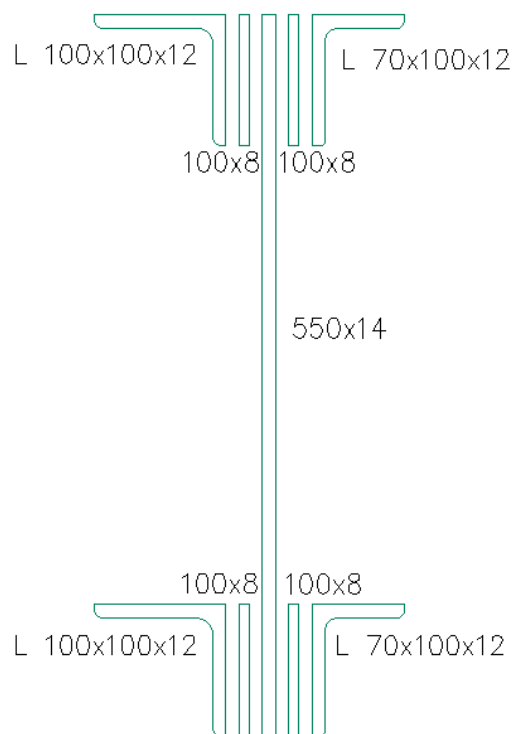
7.1.1.2. Posouzení průřezu po zesílení průřezu

Průřez byl zesílen v místech krčnicích úhelníku z původní tloušťky 10 mm na novou hodnotu 12 mm a v místě stojiny z původních 10 mm na novou hodnotu 14 mm. Dále byl změněn materiál na dnes používanou ocel S 275.

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,550 m
Šířka pásnice b:	0,200 m
Tloušťka pásnice t_f :	0,012 m
Tloušťka stojiny t_w :	0,014 m
Výška stojiny h_w :	0,550 m
Krční úhelníky:	L 70x100x12 L 100x100x12



Obrázek 85: Průřez zesíleného krajního příčníku_maximální M_y

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,019 277 m ²
Moment setrvačnosti I_y :	0,000 792 400 m ⁴
Moment setrvačnosti I_z :	0,000 019 022 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i_y :	0,203 m
Poloměr setrvačnosti i_z :	0,031 m
Průřezový elastický modul $W_{el,y}$:	0,002 796 800 m ³
Průřezový elastický modul $W_{el,z}$:	0,000 169 850 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,y}$:	0,003 663 500 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,z}$:	0,000 391 020 m ³

Posouzení průřezu při jednoosém ohybu

$$\eta_1 = \frac{231\,742}{\frac{275\,000\,000 \cdot 0,019\,277}{1,10}} + \frac{454\,939 - 231\,742 \cdot 0,000}{\frac{275\,000\,000 \cdot 0,002\,797}{1,10}}$$

$$\eta_1 = \underline{0,700\,983} \leq 1,0$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Posouzení účinku boulení stěn vlivem normálových napětí

$$z_1 = 0,265\ 701\ \text{m}$$

$$z_2 = 0,284\ 299\ \text{m}$$

Výpočet napětí σ_1 a σ_2 :

$$W_{\sigma 1} = \frac{I_y}{z_1} = \frac{0,000\ 792}{0,265\ 701}$$

$$W_{\sigma 2} = \frac{I_y}{z_2} = \frac{0,000\ 792}{0,284\ 299}$$

$$W_{\sigma 1} = \underline{0,002\ 982\ \text{m}^3}$$

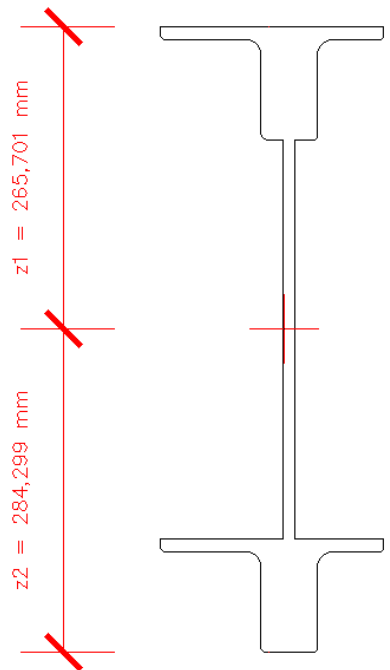
$$W_{\sigma 2} = \underline{0,002\ 787\ \text{m}^3}$$

$$\sigma_1 = \frac{M_y}{W_{\sigma 1}} = \frac{454\ 939,310}{0,002\ 982}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_y}{W_{\sigma 2}} = \frac{454\ 939,310}{0,002\ 787}$$

$$\sigma_1 = \underline{152,546\ \text{MPa}}$$

$$\sigma_2 = \underline{163,224\ \text{MPa}}$$



Obrázek 86: Těžiště průřezu zesíleného krajního příčníku_maximální My

Výpočet poměru napětí ψ :

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{152,546}{163,224}$$

$$\psi = \underline{0,930}$$

$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Součinitel kritického napětí k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

$$k_\sigma = \frac{8,2}{1,05 + \psi} = \frac{8,2}{1,05 + 0,930}$$

$$k_\sigma = \underline{4,131\ 850}$$

Výpočet koeficientu $\bar{\lambda}_p$:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{0,350/0,014}{28,4 * 0,924 * \sqrt{4,132}}$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{0,468\ 470}$$

Stanovení součinitele boulení ρ :

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{0,468\ 470 - 0,055(3 + 0,930)}{0,468\ 470^2}$$

$$\rho = \underline{1,148\ 561}$$

Jelikož hodnota koeficientu vyšla $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$, není průřez náchylný na boulení a berou se tedy hodnoty $A_{\text{eff}} = A$ a $W_{\text{eff}} = W_{\text{ey}}$.

Posouzení průřezu na únosnost ve smyku

Příspěvek stojiny

Výpočet součinitele příspěvku stojiny χ_w :

Součinitel kritického napětí ve smyku k_τ :

$$\frac{a}{h_w} = \frac{1,348}{0,550} = \underline{2,450}$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a / h_w \geq 1$$

$$k_\tau = 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a / h_w < 1$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + k_{\tau sl} = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{0,550}{1,348}\right)^2 + 0 = \underline{6,006\ 389}$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} = \frac{0,550}{37,4 * 0,014 * 0,924 * \sqrt{6,006\ 389}}$$

$$\bar{\lambda}_w = \underline{0,463\ 648}$$

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

$$\eta = 1,2$$

$$0,83 / \eta = 0,83 / 1,2 = 0,691\ 667$$

Jak je z tabulky a výpočtu patrné, hodnota χ_w pro netuhou koncovou výztuhu bude rovna první hodnotě, jelikož $\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$.

$$\chi_w \leq 1,0;$$

$$\chi_w = \eta = 1,2 > 1,0$$

$$\chi_w = \underline{1,0}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{M1}} = \frac{1,0 * 275\ 000\ 000 * 0,550 * 0,014}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{bw,Rd} = \underline{1\ 018\ 782,663\ N}$$

Příspěvek pásnic

$$b_f = \underline{0,070 \text{ m}}$$

$$15 * \varepsilon * t_f = 15 * 0,924 * 0,012 = \underline{0,166 \ 395}$$

$$0,070 \leq 0,166 \ 395$$

Jelikož je podmínka splněna, bere se do výpočtu celá šířka pásnice $b = 0,070 \text{ m}$.

Výpočet koeficientu c:

ČSN EN 1993-1-5: 5.4 (1) výraz (5.8)

$$c = a * \left(0,25 + \frac{1,6 * b_f * t_f^2 * f_{yf}}{t * h_w^2 * f_{yw}} \right) = 1,348 * \left(0,25 + \frac{1,6 * 0,070 * 0,012^2 * 275 \ 000 \ 000}{0,014 * 0,550^2 * 275 \ 000 \ 000} \right)$$

$$c = \underline{0,339 \ 697}$$

Výpočet momentu únosnosti průřezu sestávající pouze z účinné plochy pásnic $M_{f,Rd}$:

Pro výpočet účinné plochy pásnice byl využit program AutoCad, kde byly odměřeny jednotlivé plochy pásnic a krčních úhelníků. U krčních úhelníku se brala vždy pouze plocha, která představuje pásnici (tedy vodorovná část profilu L). Dále se odměřily už pouze těžiště jednotlivých pásnic od celkového těžiště průřezu.

$$A_{\text{úhel,h}} = 0,003 \ 001 \text{ m}^2$$

$$z_h = 0,257 \ 144 \text{ m}$$

$$A_{\text{úhel,d}} = 0,003 \ 001 \text{ m}^2$$

$$z_d = 0,192 \ 856 \text{ m}$$

$$W_{fy} = 0,003 \ 001 * 0,257 \ 144 + 0,003 \ 001 * 0,192 \ 856$$

$$W_{fy} = \underline{0,001 \ 350 \text{ m}^3}$$

$$M_{f,Rd} = \frac{W_{fy} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,001 \ 350 * 275 \ 000 \ 000}{1,10} = \underline{337 \ 580,438 \text{ Nm}}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f * t_f^2 * f_{yf}}{c * \gamma_{M1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = \frac{0,070 * 0,012^2 * 275 \ 000 \ 000}{0,339 \ 697 * 1,20} * \left(1 - \left(\frac{454 \ 939,310}{337 \ 580,438} \right)^2 \right)$$

$$V_{bf,Rd} = \underline{-5 \ 549,978 \text{ N}}$$

Jelikož byla únosnost pro ohybový moment pásnice plně využita ($M_{Ed} > M_{f,Rd}$), s příspěvkem pásnic se nepočítá a do dalších vzorců vstupuje pouze příspěvek stojiny.

Celková smyková návrhová únosnost

1. Podmínka

$$V_{b,Rd} = 1\,018\,782,663 + 0,000 \leq \frac{1,2 * 275\,000\,000 * 0,550 * 0,014}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{b,Rd} = \underline{1\,018\,782,663} \leq \underline{1\,222\,539,195} \quad \text{PODMÍNKA SPLNĚNÁ}$$

2. Podmínka

$$\eta_3 = \frac{355\,866,760}{1\,018\,782,663} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 0,349\,306 \leq 1,0 \quad \text{PODMÍNKA SPLNĚNÁ}$$

Interakce mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

Pokud $\bar{\eta}_3$ nepřesáhne hodnotu 0,5, není nutné návrhovou únosnost pro ohybový moment a osovou sílu redukovat s ohledem na smykovou sílu. Jestliže je $\bar{\eta}_3$ větší než 0,5, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojině nosníku I, nebo nosníku komorového, splňovat následující podmínku. ČSN EN 1993-1-5: 7.1 (1)

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0 \quad \text{pro} \quad \eta_1 \geq \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}$$

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = \frac{355\,866,760}{1\,018\,782,663}$$

$$\bar{\eta}_3 = 0,349\,306 \leq 0,5 \quad \text{PODMÍNKA SPLNĚNÁ}$$

Jelikož je podmínka splněná, výpočet nemusí pokračovat dále a můžeme říci, že průřez vyhovuje na interakci mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou.

Posouzení průřezu na klopení (Zjednodušený výpočet)

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

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

$$M_{c,Rd} = W_y * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{c,Rd} = 0,002\,797 * \frac{275\,000\,000}{1,20} = \underline{\underline{640\,933\,Nm}}$$

$$\lambda_1 = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = 3,14 * \sqrt{\frac{210\,000\,000\,000}{275\,000\,000}} = \underline{\underline{86,814\,681}}$$

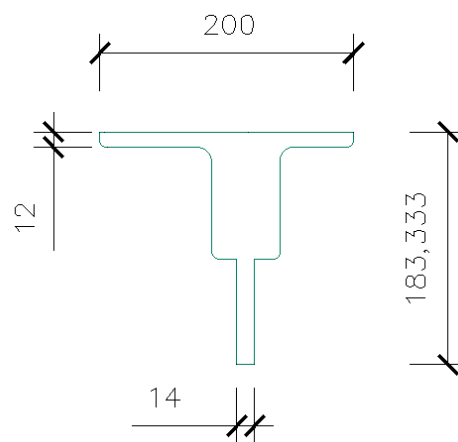
$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

Hodnoty pro plochu a moment setrvačnosti byly odměřeny v programu AutoCad, pro průřez, který se skládá z horních pásnic, horních krčních úhelníků a 1/3 výšky stojiny.

$$I_z = 0,000\,111\,940\,m^4$$

$$A = 0,008\,354\,m^2$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{0,000\,111\,940}{0,008\,354}} = \underline{\underline{0,115\,754\,m}}$$



Největší hodnotu štíhlosti se doporučuje následující hodnota:

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

$$\overline{\lambda}_{c0} = \underline{\underline{0,5}}$$

Obrázek 87: Průřez pro výpočet klopení zesíleného krajního příčnicku_maximální My

Stanovení opravného součinitele k_c :

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi} = \frac{1}{1,33 - 0,33 * \frac{29,08}{441,01}} = \underline{\underline{0,764\,386}}$$

$$\overline{\lambda}_1 = \frac{0,764\,386 * 1,348}{0,115\,754 * 86,814\,681} \leq 0,5 * \frac{640\,933}{454\,939}$$

$$\overline{\lambda}_1 = \underline{\underline{0,102\,497}} \leq \underline{\underline{0,704\,416}}$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
-231,743		355,867		454,939		-8,460	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
-58,478	-173,265	40,155	315,712	73,099	381,841	-8,460	0,000

Tabulka 85: Vnitřní síly pro zesílený krajní průřez_maximální M_y

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,550 * 0,014 * 275\,000\,000}{\sqrt{3} * 1,1} = 1\,111\,399,268 \text{ N} = 1\,111,399 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 * 315,712 + 40,155 = 355,870 \text{ kN}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{355,870}{1\,111,390} = 0,320\,320 \text{ [-]}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{55\,274}{\frac{0,019\,277 * 275\,000\,000}{1,10}} + \frac{71\,714}{\frac{0,002\,797 * 275\,000\,000}{1,10}} + \frac{8\,193}{\frac{0,000\,170 * 275\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,012 + 0,105 + 0,199 = 0,316 \text{ [-]}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{173\,265}{\frac{0,019\,277 * 275\,000\,000}{1,10}} + \frac{381\,841}{\frac{0,002\,797 * 275\,000\,000}{1,10}} + \frac{0}{\frac{0,000\,170 * 275\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,036 + 0,546 + 0,000 = 0,582 \text{ [-]}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,RS}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,316}{0,582}$$

$$Z_{LM71} = \underline{\underline{1,175 [-]}}$$

Kontrolní přepoččet podmínky η_3 po prvním iteračním kroku:

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,175 * 315,712 + 40,155$$

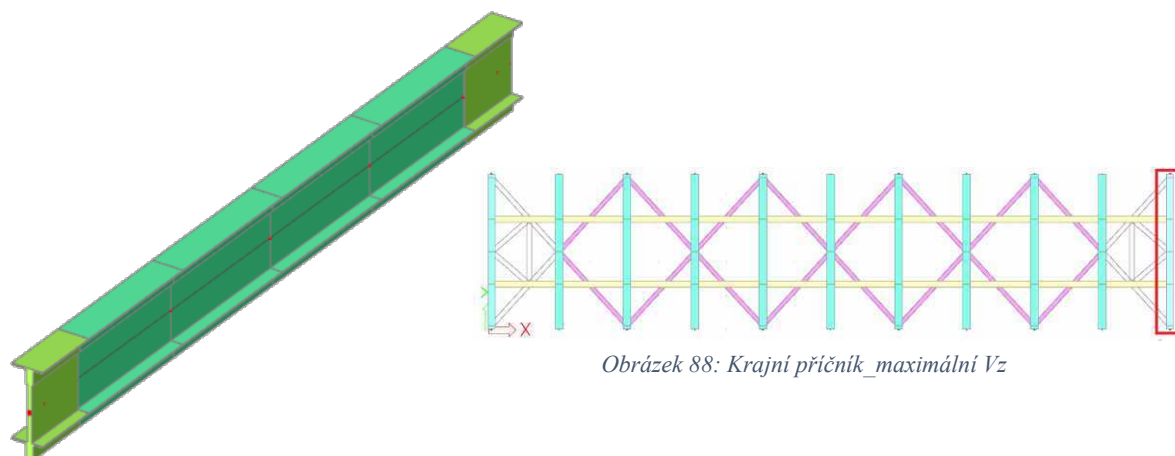
$$V_{Ed} = \underline{\underline{415,908 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{415,908}{1\ 111,399} = \underline{\underline{0,374\ 220 [-]}}$$

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy nemusíme pokračovat v iteračním postupu a hodnota zatížitelnosti je rovna $Z_{LM71} = 1,175 [-]$. Jelikož je zatížitelnost větší než jedna, prvek na zatížitelnost vyhovuje.

Zesílený prvek již vyhovuje na zatížitelnost, jelikož vyšla větší než jedna, v přechodnosti se již pokračovat nemusí, jelikož by vyšla menší než jedna, prvek je tedy přechodný.

7.1.2. Posouzení průřezu krajního příčnicku v místě maximální smykové síly Vz



Obrázek 88: Krajní příčnick_maximální Vz

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR14, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.2	Teplota zima	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.25	BR Pk max Vz	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.25a	OS 75 Pk max Vz	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.25	LM71 Pk max Vz	1,30	1,00	1,49	1,00	1,00
8.25	C2 Pk max Vz	1,30	1,00	1,84	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-7,98 kN	3,19 kN	3,92 kNm	0,51 kNm	-9,10 kN	3,64 kN	4,47 kNm	0,46 kNm
-1,68 kN	0,66 kN	0,93 kNm	0,11 kNm	-1,92 kN	0,75 kN	1,06 kNm	0,10 kNm
-16,97 kN	3,85 kN	-1,74 kNm	-1,10 kNm	-17,18 kN	3,90 kN	0,00 kNm	-1,11 kNm
108,24 kN	5,61 kN	33,47 kNm	1,29 kNm	0,00 kN	5,05 kN	30,12 kNm	0,00 kNm
-23,41 kN	3,76 kN	-3,84 kNm	-3,59 kNm	-30,43 kN	4,89 kN	0,00 kNm	-4,67 kNm
-13,78 kN	8,08 kN	5,89 kNm	-1,14 kNm	-17,91 kN	10,50 kN	7,66 kNm	-1,48 kNm
46,44 kN	10,54 kN	22,40 kNm	-4,32 kNm	0,00 kN	6,85 kN	14,56 kNm	-2,81 kNm
-89,96 kN	162,97 kN	196,91 kNm	0,87 kNm	-174,25 kN	315,67 kN	381,41 kNm	-0,84 kNm
-76,88 kN	129,83 kN	155,42 kNm	1,10 kNm	-183,60 kN	310,05 kN	371,16 kNm	2,63 kNm
0,90 kN	198,66 kN	257,94 kNm	-7,37 kNm	-250,79	351,25	439,28	-10,36

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

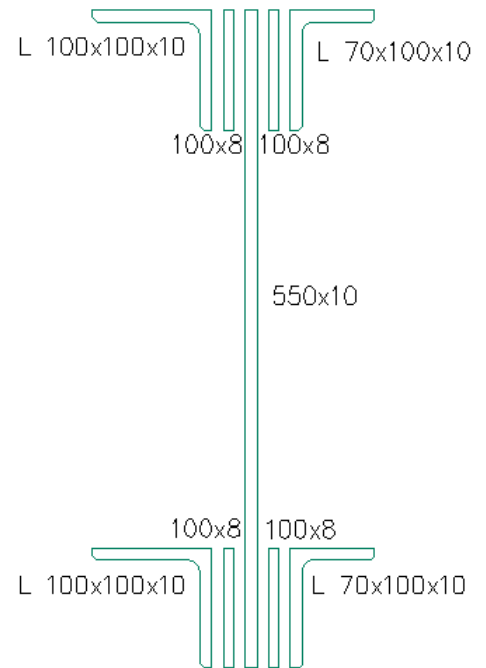
	Celkem	Rs	LM71
N =	-250,79	-76,54	-174,25
Vz =	351,25	35,58	315,67
My =	439,28	57,87	381,41
Mz =	-10,36	-9,51	-0,84

Tabulka 86: Kombinace pro krajní příčnick_maximální Vz

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,550 m
Šířka pásnice b:	0,196 m
Tloušťka pásnice t_f :	0,010 m
Tloušťka stojiny t_w :	0,010 m
Výška stojiny h_w :	0,550 m
Krční úhelníky:	L 70x100x10 L 100x100x10



Obrázek 89: Průřez krajního příčnicku_maximální Vz

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,015 753 m ²
Moment setrvačnosti I_y :	0,000 668 640 m ⁴
Moment setrvačnosti I_z :	0,000 014 485 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i_y :	0,206 m
Poloměr setrvačnosti i_z :	0,030 m
Průřezový elastický modul $W_{el,y}$:	0,002 355 200 m ³
Průřezový elastický modul $W_{el,z}$:	0,000 131 800 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,y}$:	0,003 063 200 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,z}$:	0,000 299 930 m ³

Posouzení průřezu při jednoosém ohybu

$$\eta_1 = \frac{250\,790}{\frac{210\,000\,000 \cdot 0,015\,753}{1,10}} + \frac{439\,280 - 250\,790 \cdot 0,000}{\frac{210\,000\,000 \cdot 0,002\,356}{1,10}}$$

$$\eta_1 = \underline{1,060\,384} \leq 1,0$$

NESPLNĚNÁ PODMÍNKA

Posouzení účinku boulení stěn vlivem normálových napětí

$$z_1 = 0,266\ 168\ \text{m}$$

$$z_2 = 0,283\ 832\ \text{m}$$

Výpočet napětí σ_1 a σ_2 :

$$W_{\sigma 1} = \frac{I_y}{z_1} = \frac{0,000\ 669}{0,266\ 168}$$

$$W_{\sigma 2} = \frac{I_y}{z_2} = \frac{0,000\ 669}{0,283\ 832}$$

$$W_{\sigma 1} = \underline{0,002\ 512\ \text{m}^3}$$

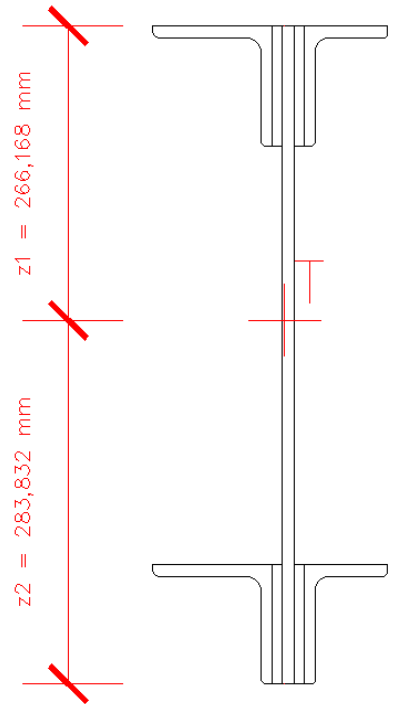
$$W_{\sigma 2} = \underline{0,002\ 356\ \text{m}^3}$$

$$\sigma_1 = \frac{M_y}{W_{\sigma 1}} = \frac{439\ 283,670}{0,002\ 512}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_y}{W_{\sigma 2}} = \frac{493\ 283,670}{0,002\ 356}$$

$$\sigma_1 = \underline{174,867\ \text{MPa}}$$

$$\sigma_2 = \underline{186,472\ \text{MPa}}$$



Obrázek 90: Těžiště průřezu krajního příčnicku_maximální Vz

Výpočet poměru napětí ψ :

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{174,867}{186,472}$$

$$\psi = \underline{0,940}$$

$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Součinitel kritického napětí k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

$$k_\sigma = \frac{8,2}{1,05 + \psi} = \frac{8,2}{1,05 + 0,940}$$

$$k_\sigma = \underline{4,125\ 234}$$

Výpočet koeficientu $\bar{\lambda}_p$:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{0,350/0,010}{28,4 * 1,058 * \sqrt{4,125}}$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{0,573\ 589}$$

Stanovení součinitele boulení ρ :

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{0,573\ 589 - 0,055(3 + 0,940)}{0,573\ 589^2}$$

ČSN EN 1993-1-5: 4.4 (2) výraz (4.2)

$$\rho = \underline{1,085\ 128}$$

Jelikož hodnota koeficientu vyšla $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$, není průřez náchylný na boulení a berou se tedy hodnoty $A_{\text{eff}} = A$ a $W_{\text{eff}} = W_{\text{ey}}$.

Posouzení průřezu na únosnost ve smyku

Příspěvek stojiny

Výpočet součinitele příspěvku stojiny χ_w :

Součinitel kritického napětí ve smyku k_τ :

$$\frac{a}{h_w} = \frac{1,348}{0,550} = \underline{2,450}$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a / h_w \geq 1$$

$$k_\tau = 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a / h_w < 1$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + k_{\tau sl} = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{0,550}{1,348}\right)^2 + 0 = \underline{6,006\ 389}$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} = \frac{0,550}{37,4 * 0,010 * 1,058 * \sqrt{6,006\ 389}}$$

$$\bar{\lambda}_w = \underline{0,567\ 231}$$

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

$$\eta = 1,2$$

$$0,83 / \eta = 0,83 / 1,2 = 0,691\ 667$$

Jak je z tabulky a výpočtu patrné, hodnota χ_w pro netuhou koncovou výztuhu bude rovna první hodnotě, jelikož $\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$.

$$\chi_w \leq 1,0;$$

$$\chi_w = \eta = 1,2 > 1,0$$

$$\chi_w = \underline{1,0}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{M1}} = \frac{1,0 * 210\ 000\ 000 * 0,550 * 0,010}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{bw,Rd} = \underline{555\ 699,634\ N}$$

Příspěvek pásnic

$$b_f = \underline{0,070 \text{ m}}$$

$$15 * \varepsilon * t_f = 15 * 1,058 * 0,010 = \underline{0,158 \ 678}$$

$$0,070 \leq 0,158 \ 678$$

Jelikož je podmínka splněna, bere se do výpočtu celá šířka pásnice $b = 0,070 \text{ m}$.

Výpočet koeficientu c:

ČSN EN 1993-1-5: 5.4 (1) výraz (5.8)

$$c = a * \left(0,25 + \frac{1,6 * b_f * t_f^2 * f_{yf}}{t * h_w^2 * f_{yw}} \right) = 1,348 * \left(0,25 + \frac{1,6 * 0,070 * 0,010^2 * 210 \ 000 \ 000}{0,010 * 0,550^2 * 210 \ 000 \ 000} \right)$$

$$c = \underline{0,339 \ 619}$$

Výpočet momentu únosnosti průřezu sestávající pouze z účinné plochy pásnic $M_{f,Rd}$:

Pro výpočet účinné plochy pásnice byl využit program AutoCad, kde byly odměřeny jednotlivé plochy pásnic a krčních úhelníků. U krčních úhelníků se brala vždy pouze plocha, která představuje pásnici (tedy vodorovná část profilu L). Dále se odměřily už pouze těžiště jednotlivých pásnic od celkového těžiště průřezu.

$$A_{\text{úhel,h}} = 0,002 \ 591 \text{ m}^2$$

$$z_h = 0,258 \ 653 \text{ m}$$

$$A_{\text{úhel,d}} = 0,002 \ 591 \text{ m}^2$$

$$z_d = 0,191 \ 347 \text{ m}$$

$$W_{fy} = 0,002 \ 591 * 0,258 \ 653 + 0,002 \ 591 * 0,191 \ 347$$

$$W_{fy} = \underline{0,001 \ 166 \text{ m}^3}$$

$$M_{f,Rd} = \frac{W_{fy} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,001 \ 166 * 210 \ 000 \ 000}{1,10} = \underline{\underline{222 \ 613,822 \ \text{Nm}}}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f * t_f^2 * f_{yf}}{c * \gamma_{M1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = \frac{0,070 * 0,010^2 * 210 \ 000 \ 000}{0,339 \ 619 * 1,20} * \left(1 - \left(\frac{454 \ 939,310}{222 \ 613,822} \right)^2 \right)$$

$$V_{bf,Rd} = \underline{\underline{-10 \ 438,283 \ \text{N}}}$$

Jelikož byla únosnost pro ohybový moment pásnice plně využita ($M_{Ed} > M_{f,Rd}$), s příspěvkem pásnic se nepočítá a do dalších vzorců vstupuje pouze příspěvek stojiny.

Celková smyková návrhová únosnost

1. Podmínka

$$V_{b,Rd} = 555\,699,634 + 0,000 \leq \frac{1,2 * 210\,000\,000 * 0,550 * 0,010}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{b,Rd} = \underline{555\,699,634} \leq \underline{666\,839,561} \quad \text{PODMÍNKA SPLNĚNÁ}$$

2. Podmínka

$$\eta_3 = \frac{351\,252,020}{555\,699,634} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 0,632\,090 \leq 1,0 \quad \text{PODMÍNKA SPLNĚNÁ}$$

Interakce mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

Pokud $\bar{\eta}_3$ nepřesáhne hodnotu 0,5, není nutné návrhovou únosnost pro ohybový moment a osovou sílu redukovat s ohledem na smykovou sílu. Jestliže je $\bar{\eta}_3$ větší než 0,5, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojině nosníku I, nebo nosníku komorového, splňovat následující podmínku.

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0 \quad \text{pro} \quad \eta_1 \geq \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}$$

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = \frac{351\,252,020}{555\,699,634}$$

$$\bar{\eta}_3 = 0,632\,090 \leq 0,5 \quad \text{NESPLNĚNÁ PODMÍNKA}$$

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,003\,063 * 210\,000\,000}{1,10} = \underline{584\,792,700 \text{ Nm}}$$

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{439\,283,670}{584\,792,700}$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{0,751\,178}$$

$$0,751\,178 + \left(1 - \frac{222\,613,822}{584\,792,700}\right) * (2 * 0,632\,090 - 1)^2 \leq 1,0$$

$$\underline{0,794\,402} \leq 1,0 \quad \text{PODMÍNKA SPLNĚNÁ}$$

Posouzení průřezu na klopení (Zjednodušený výpočet)

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

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

$$M_{c,Rd} = W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{c,Rd} = 0,002\,355 \cdot \frac{210\,000\,000}{1,20} = \underline{\underline{412\,160\,Nm}}$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = 3,14 \cdot \sqrt{\frac{210\,000\,000\,000}{210\,000\,000}} = \underline{\underline{99,345\,883}}$$

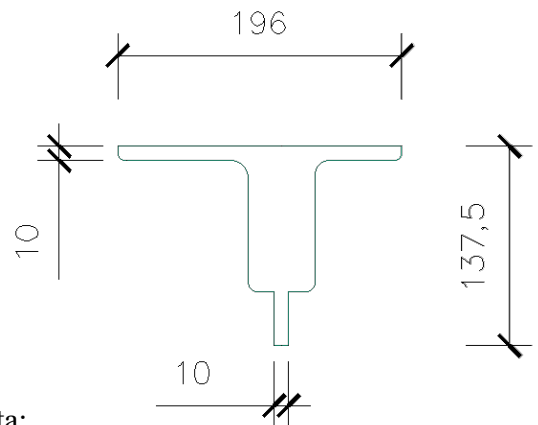
$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

Hodnoty pro plochu a moment setrvačnosti byly odměřeny v programu AutoCad, pro průřez, který se skládal z horních pásnic, horních krčních úhelníků a 1/3 výšky stojiny.

$$I_z = 0,000\,089\,620\,m^4$$

$$A = 0,006\,960\,m^2$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{0,000\,089\,620}{0,006\,960}} = \underline{\underline{0,113\,478\,m}}$$



Největší hodnotu štíhlosti se doporučuje následující hodnota:

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

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

Obrázek 91: Průřez pro výpočet klopení krajního příčnicku_maximální Vz

Stanovení opravného součinitele k_c :

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi} = \frac{1}{1,33 - 0,33 * \frac{49,83}{196,91}} = \underline{\underline{0,802\ 253}}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{0,802\ 253 * 1,348}{0,113\ 478 * 99,345\ 883} \leq 0,5 * \frac{412\ 160}{439\ 284}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \underline{\underline{0,095\ 891}} \leq \underline{\underline{0,469\ 127}}$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
-250,794		351,252		439,284		-10,355	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
-76,542	-174,253	35,579	315,673	57,869	381,415	-9,513	-0,843

Tabulka 87: Vnitřní síly pro krajní příčnick_maximální Vz

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,550 * 0,010 * 210\ 000\ 000}{\sqrt{3} * 1,1} = 606\ 217,783\ \text{N} = \underline{\underline{606,218\ \text{kN}}}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 * 315,673 + 35,579 = \underline{\underline{351,250\ \text{kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{351,250}{606,218} = \underline{\underline{0,579\ 400\ [-]}}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je větší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{76\,542}{\frac{0,015\,753 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{57\,869}{\frac{0,002\,355 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{9\,513}{\frac{0,000\,132 \cdot 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,025 + 0,129 + 0,378 = \underline{0,532 [-]}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{174\,253}{\frac{0,015\,753 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{381\,415}{\frac{0,002\,355 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{843}{\frac{0,000\,132 \cdot 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,058 + 0,848 + 0,033 = \underline{0,940 [-]}$$

$$\eta_{3,Rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{35\,579}{606\,218}$$

MP A.2.2.11_vztah (A.14)

$$\eta_{3,Rs} = \underline{0,059 [-]}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{315\,673}{606\,218}$$

MP A.2.2.11_vztah (A.15)

$$\eta_{3,Rs} = \underline{0,521 [-]}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,N,Rd}}{M_{pl,N,Rd}} \right) = 1 - \left(\frac{222\,613,800}{584\,792,700} \right)$$

MP A.2.2.11_vztah (A.16)

$$k = \underline{0,619\,329 [-]}$$

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

MP A.2.2.11_vztah (A.16)

$$0,671\,736 * Z_{LM71}^2 - 0,198\,863 * Z_{LM71} + 0,014\,685 = 0$$

$$D = (-0,198\,863)^2 - 4 * 0,671\,736 * 0,014\,685 = 0,000\,088$$

$$Z_{LM71,1} = \frac{0,198\,863 + \sqrt{0,000\,088}}{2 * 0,671\,736} = 0,154\,997$$

$$Z_{LM71,2} = \frac{0,198\,863 - \sqrt{0,000\,088}}{2 * 0,671\,736} = 0,141\,047$$

$$Z_{LM71} = Z_{LM71,1} = \underline{0,141}$$

Jelikož zatížitelnost vyšla menší než 1,0, je možnost provést redukce ostatních účinků od zatížení železniční dopravou (účinky bočního rázu, rozjezdová a brzdňá síla a zároveň odstředivé síly) o vypočítanou zatížitelnost. Výslednou hodnotu zatížitelnosti Z_{LM71} je třeba určit iterační formou výpočtu.

MP 4.7.7

V následujících tabulkách jsou znázorněny změny hodnot vnitřních sil od ostatních zatížení železniční dopravy po jednotlivých iteracích. Dále jsou v tabulkách znázorněny jednotlivé změny zatížitelnosti, které se počítaly stejným způsobem, jako v předchozím případě výpočtu Z_{LM71} .

Iterace č. 0				Iterace č. 1				Iterace č. 2				Iterace č. 3			
0,141				0,883				0,406				0,747			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46
-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10
-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11
0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00
-30,43	4,89	0,00	-4,67	-4,29	0,69	0,00	-0,66	-26,86	4,31	0,00	-4,12	-12,34	1,98	0,00	-1,89
-17,91	10,50	7,66	-1,48	-2,53	1,48	1,08	-0,21	-15,81	9,27	6,76	-1,31	-7,27	4,26	3,11	-0,60
0,00	6,85	14,56	-2,81	0,00	0,97	2,05	-0,40	0,00	6,05	12,85	-2,48	-7,27	2,78	5,91	-1,14
-174,25	315,67	381,41	-0,84	-174,25	315,67	381,41	-0,84	-174,25	315,67	381,41	-0,84	-174,25	315,67	381,41	-0,84

Iterace č. 4				Iterace č. 5				Iterace č. 6				Iterace č. 7			
0,531				0,679				0,583				0,647			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46
-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10
-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11
0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00
-22,75	3,65	0,00	-3,49	-16,17	2,60	0,00	-2,48	-20,66	3,32	0,00	-3,17	-17,74	2,85	0,00	-2,72
-13,39	7,85	5,72	-1,11	-9,52	5,58	4,07	-0,79	-12,16	7,13	5,20	-1,01	-10,44	6,12	4,46	-0,86
0,00	5,12	10,88	-2,10	0,00	3,64	7,74	-1,49	0,00	4,65	9,89	-1,91	0,00	3,99	8,49	-1,64
-174,25	315,67	381,41	-0,84	-174,25	315,67	381,41	-0,84	-174,25	315,67	381,41	-0,84	-174,25	315,67	381,41	-0,84

Iterace č. 8				Iterace č. 9				Iterace č. 10			
0,605				0,633				0,614			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46
-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10
-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11
0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00
-19,70	3,16	0,00	-3,02	-18,41	2,96	0,00	-2,82	-19,27	3,09	0,00	-2,95
-11,59	6,80	4,96	-0,96	-10,84	6,35	4,63	-0,90	-11,34	6,65	4,85	-0,94
0,00	4,43	9,42	-1,82	0,00	4,14	8,81	-1,70	0,00	4,34	9,22	-1,78
-174,25	315,67	381,41	-0,84	-174,25	315,67	381,41	-0,84	-174,25	315,67	381,41	-0,84

Tabulka 88: Iterace pro krajní příčník_maximální Vz

Jak je z posledního desátého kroku iterace patrné, poslední zatížitelnost, a tím tedy i výsledná zatížitelnost, je rovna hodnotě $Z_{LM71} = 0,614 [-]$.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,84}{1,49} = \underline{1,233 [-]}$$

Zatížení	γ_f	N	Vz	My	Mz
$M_{ttz,C2} =$	1,30	-76,88	129,83	155,42	0,00
$M_{LM71} =$	1,30	-89,96	162,97	196,91	0,87

Tabulka 89: Vnitřní síly od vlaků pro krajní příčník_maximální Vz

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3*(-76,880)}{1,3*(-89,960)} = \underline{0,855 [-]}$$

$$\text{pro Vz: } \lambda_{LM71,Vz} = \frac{1,3*129,830}{1,3*162,970} = \underline{0,797 [-]}$$

$$\text{pro My: } \lambda_{LM71,My} = \frac{1,3*155,420}{1,3*196,910} = \underline{0,789 [-]}$$

$$\text{pro Mz: } \lambda_{LM71,Mz} = \frac{1,3*0,000}{1,3*0,870} = \underline{0,000 [-]}$$

$$\text{pro N: } k_{i,N} = \frac{0,020+0,058}{0,378+0,940} = \underline{0,059 [-]}$$

$$\text{pro Vz: } k_{i,Vz} = \frac{0,000+0,000}{0,378+0,940} = \underline{0,000 [-]}$$

$$\text{pro My: } k_{i,My} = \frac{0,111+0,848}{0,378+0,940} = \underline{0,728 [-]}$$

$$\text{pro Mz: } k_{i,Mz} = \frac{0,247+0,033}{0,378+0,940} = \underline{0,213 [-]}$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

$$0,614 \geq (0,059 * 1,233 * 0,855) + (0,000 * 1,233 * 0,797) + (0,728 * 1,233 * 0,789) + (0,213 * 1,233 * 0,000)$$

$$0,614 \geq 0,770$$

NESPLNĚNÁ PODMÍNKA

Jak je patrné z nesplněné podmínky, prvek nevyhověl na posudek zatížitelnosti, ani na posudek přechodnosti. Prvek je nepřechodný pro traťovou rychlost 75 km/h. Je potřeba jej tedy posoudit na nižší rychlost, a to rychlost na mostě 60 km/h

7.1.2.1. Posouzení průřezu pro rychlost na mostě $v = 60 \text{ km/h}$

Výpočet zatížitelnosti

Jelikož má rychlost pouze vliv na odstředivé síly, ve výpočtu se tedy změní pouze hodnoty vnitřních sil odstředivých sil, všechny ostatní hodnoty zůstávají stejné.

5.25a	OS 75 Pk max Vz	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00	
Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
-8,82 kN	5,17 kN	3,77 kNm	-0,73 kNm	-11,47 kN	6,72 kN	4,90 kNm	-0,95 kNm

Tabulka 90: Odstředivé síly pro rychlost 60 km/h pro krajní pěník_maximální Vz

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou cel jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou Rs,Ed jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou LM71,Ed.

N _{cel} [kN]		V _{z,cel} [kN]		M _{y,cel} [kN]		M _{z,cel} [kN]	
-244,346		347,469		436,528		-9,822	
N _{Rs,Ed}	N _{LM71,Ed}	V _{z,Rs,Ed}	V _{z,LM71,Ed}	M _{y,Rs,Ed}	M _{y,LM71,Ed}	M _{z,Rs,Ed}	M _{z,LM71,Ed}
-70,094	-174,253	31,796	315,673	55,113	381,415	-8,980	-0,843

Tabulka 91: Vnitřní síly pro rychlost 60 km/h pro krajní pěník_maximální Vz

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,550 \cdot 0,010 \cdot 210\,000\,000}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 606\,217,783 \text{ N} = 606,218 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} \cdot V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 \cdot 315,673 + 33,796 = 349,470 \text{ kN}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{349,470}{606,218} = 0,576\,177 \text{ [-]}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je větší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{70\,094}{\frac{0,015\,753 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{55\,113}{\frac{0,002\,355 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{8\,980}{\frac{0,000\,132 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,023 + 0,123 + 0,357 = \underline{0,503 [-]}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{174\,253}{\frac{0,015\,753 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{381\,415}{\frac{0,002\,355 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{843}{\frac{0,000\,132 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,058 + 0,849 + 0,033 = \underline{0,940 [-]}$$

$$\eta_{3,Rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{31\,796}{606\,218}$$

MP A.2.2.11_vztah (A.14)

$$\eta_{3,Rs} = \underline{0,05 [-]}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{315\,673}{606\,218}$$

MP A.2.2.11_vztah (A.15)

$$\eta_{3,Rs} = \underline{0,521 [-]}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,N,Rd}}{M_{pl,N,Rd}} \right) = 1 - \left(\frac{222\,613,800}{584\,792,700} \right)$$

MP A.2.2.11_vztah (A.16)

$$k = \underline{0,619\,329 [-]}$$

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

MP A.2.2.11_vztah (A.16)

$$0,671\,736 * Z_{LM71}^2 - 0,214\,963 * Z_{LM71} - 0,001\,030 = 0$$

$$D = (-0,214\,963)^2 - 4 * 0,671\,736 * (-0,001\,030) = 0,048\,977$$

$$Z_{LM71,1} = \frac{0,214\,963 + \sqrt{0,048\,977}}{2 * 0,671\,736} = 0,324\,733$$

$$Z_{LM71,2} = \frac{0,214\,963 - \sqrt{0,048\,977}}{2 * 0,671\,736} = -0,004\,720$$

$$Z_{LM71} = Z_{LM71,1} = \underline{0,324}$$

Jelikož zatížitelnost vyšla menší než 1,0, je možnost provést redukce ostatních účinků od zatížení železniční dopravou (účinky bočního rázu, rozjezdová a brzdná síla a zároveň

odstředivé síly) o vypočítanou zatížitelnost. Výslednou hodnotu zatížitelnosti Z_{LM71} je třeba určit iterační formou výpočtu.

MP 4.7.7

V následujících tabulkách jsou znázorněny změny hodnot vnitřních sil od ostatních zatížení železniční dopravy po jednotlivých iteracích. Dále jsou v tabulkách znázorněny jednotlivé změny zatížitelnosti, které se počítaly stejným způsobem, jako v předchozím případě výpočtu Z_{LM71} .

Iterace č. 0				Iterace č. 1				Iterace č. 2				Iterace č. 3			
0,325				0,804				0,525				0,700			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46
-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10
-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11
0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00
-30,43	4,89	0,00	-4,67	-9,88	1,59	0,00	-1,52	-24,48	3,93	0,00	-3,75	-15,99	2,57	0,00	-2,45
-11,47	6,72	4,90	-0,95	-3,72	2,18	1,59	-0,31	-9,22	5,41	3,94	-0,76	-6,02	3,53	2,57	-0,50
0,00	6,85	14,56	-2,81	0,00	2,22	4,73	-0,91	0,00	5,51	11,71	-2,26	-6,02	3,60	7,65	-1,48
-174,25	315,67	381,41	-0,84	-174,25	315,67	381,41	-0,84	-174,25	315,67	381,41	-0,84	-174,25	315,67	381,41	-0,84

Iterace č. 4				Iterace č. 5				Iterace č. 6				Iterace č. 7			
0,599				0,661				0,624				0,647			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46
-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10
-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11
0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00
-21,30	3,42	0,00	-3,27	-18,23	2,93	0,00	-2,80	-20,12	3,23	0,00	-3,09	-18,98	3,05	0,00	-2,91
-8,03	4,70	3,43	-0,66	-6,87	4,03	2,94	-0,57	-7,58	4,44	3,24	-0,63	-7,15	4,19	3,06	-0,59
0,00	4,80	10,19	-1,97	0,00	4,10	8,72	-1,68	0,00	4,53	9,63	-1,86	0,00	4,27	9,08	-1,75
-174,25	315,67	381,41	-0,84	-174,25	315,67	381,41	-0,84	-174,25	315,67	381,41	-0,84	-174,25	315,67	381,41	-0,84

Iterace č. 8				Iterace č. 9				Iterace č. 10			
0,633				0,641				0,636			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46	-9,10	3,64	4,47	0,46
-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10	-1,92	0,75	1,06	0,10
-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11	-17,18	3,90	0,00	-1,11
0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00	0,00	5,05	30,12	0,00
-19,68	3,16	0,00	-3,02	-19,26	3,09	0,00	-2,95	-19,51	3,13	0,00	-2,99
-7,41	4,35	3,17	-0,61	-7,26	4,25	3,10	-0,60	-7,35	4,31	3,14	-0,61
0,00	4,43	9,42	-1,82	0,00	4,34	9,21	-1,78	0,00	4,39	9,34	-1,80
-174,25	315,67	381,41	-0,84	-174,25	315,67	381,41	-0,84	-174,25	315,67	381,41	-0,84

Tabulka 92: Iterace pro rychlost 60 km/h pro krajní příčník_maximální Vz

Jak je z posledního desátého kroku iterace patrné, poslední zatížitelnost, a tím tedy i výsledná zatížitelnost, je rovna hodnotě $Z_{LM71} = 0,636 [-]$.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,84}{1,68} = \underline{1,095} [-]$$

Zatížení	γ_f	N	Vz	My	Mz
$M_{ttz,C2} =$	1,30	-76,88	129,83	155,42	0,00
$M_{LM71} =$	1,30	-89,96	162,97	196,91	0,87

Tabulka 93: Vnitřní síly od vlaků pro rychlost 60 km/h pro krajní příčník_maximální Vz

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 * (-76,880)}{1,3 * (-89,960)} = \underline{0,855} [-]$$

$$\text{pro Vz: } \lambda_{LM71,Vz} = \frac{1,3 * 129,830}{1,3 * 162,970} = \underline{0,797} [-]$$

$$\text{pro My: } \lambda_{LM71,My} = \frac{1,3 * 155,420}{1,3 * 196,910} = \underline{0,789} [-]$$

$$\text{pro Mz: } \lambda_{LM71,Mz} = \frac{1,3 * 0,000}{1,3 * 0,870} = \underline{0,000} [-]$$

$$\text{pro N: } k_{i,N} = \frac{0,018 + 0,058}{0,362 + 0,940} = \underline{0,059} [-]$$

$$\text{pro Vz: } k_{i,Vz} = \frac{0,000 + 0,000}{0,362 + 0,940} = \underline{0,000} [-]$$

$$\text{pro My: } k_{i,My} = \frac{0,107 + 0,8488}{0,362 + 0,940} = \underline{0,734} [-]$$

$$\text{pro Mz: } k_{i,Mz} = \frac{0,237 + 0,033}{0,362 + 0,940} = \underline{0,208} [-]$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

$$0,636 \geq (0,059 * 1,095 * 0,855) + (0,000 * 1,095 * 0,797) + (0,734 * 1,095 * 0,789) + (0,208 * 1,095 * 0,000)$$

$$0,636 \geq 0,689$$

NESPLNĚNÁ PODMÍNKA

Jak je patrné z nesplněné podmínky, prvek nevyhověl na posudek zatížitelnosti, ani na posudek přechodnosti. Prvek je nepřechodný pro traťovou rychlost 75 km/h ani pro rychlost na mostě. Prvek je potřeba zesílit, popřípadě snížit rychlost či traťovou třídu.

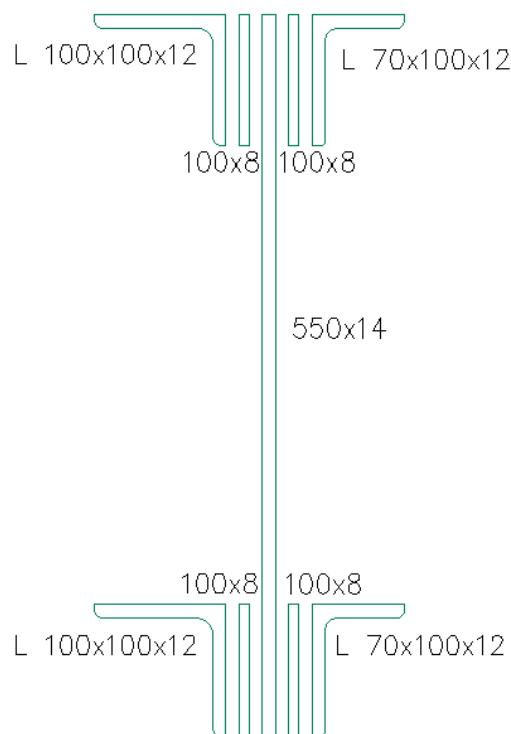
7.1.2.2. Posouzení průřezu po zesílení průřezu

Průřez byl zesílen v místech krčních úhelníků z původní tloušťky 10 mm na novou hodnotu 12 mm a v místě stojiny z původních 10 mm na novou hodnotu 14 mm. Dále byl změněn materiál na dnes používanou ocel S 275.

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,550 m
Šířka pásnice b:	0,200 m
Tloušťka pásnice t_f :	0,012 m
Tloušťka stojiny t_w :	0,014 m
Výška stojiny h_w :	0,550 m
Krční úhelníky:	L 70x100x12
	L 100x100x12



Obrázek 92: Průřez zesíleného krajního příčniku_maximální Vz

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,019 277 m ²
Moment setrvačnosti I_y :	0,000 792 400 m ⁴
Moment setrvačnosti I_z :	0,000 019 022 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i_y :	0,203 m
Poloměr setrvačnosti i_z :	0,031 m
Průřezový elastický modul $W_{el,y}$:	0,002 796 800 m ³
Průřezový elastický modul $W_{el,z}$:	0,000 169 850 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,y}$:	0,003 663 500 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,z}$:	0,000 391 020 m ³

Posouzení průřezu při jednoosém ohybu

$$\eta_1 = \frac{226\,620}{\frac{275\,000\,000 \cdot 0,019\,277}{1,10}} + \frac{450\,015 - 226\,620 \cdot 0,000}{\frac{275\,000\,000 \cdot 0,002\,797}{1,10}}$$

$$\eta_1 = \underline{0,692\,854} \leq 1,0$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Posouzení účinku boulení stěn vlivem normálových napětí

$$z_1 = 0,265\ 701\ \text{m}$$

$$z_2 = 0,284\ 299\ \text{m}$$

Výpočet napětí σ_1 a σ_2 :

$$W_{\sigma 1} = \frac{I_y}{z_1} = \frac{0,000\ 792}{0,265\ 701}$$

$$W_{\sigma 2} = \frac{I_y}{z_2} = \frac{0,000\ 792}{0,284\ 299}$$

$$W_{\sigma 1} = \underline{0,002\ 982\ \text{m}^3}$$

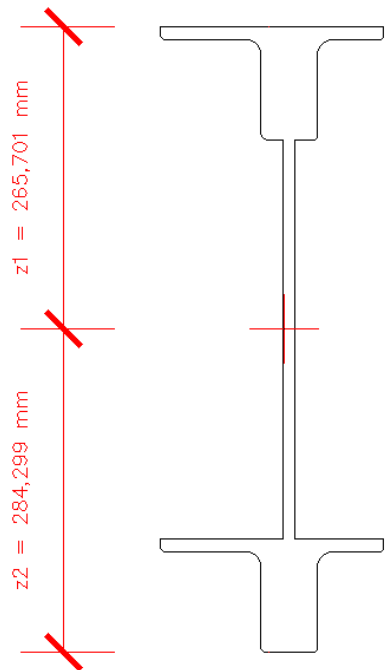
$$W_{\sigma 2} = \underline{0,002\ 787\ \text{m}^3}$$

$$\sigma_1 = \frac{M_y}{W_{\sigma 1}} = \frac{450\ 015,170}{0,002\ 982}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_y}{W_{\sigma 2}} = \frac{450\ 015,170}{0,002\ 787}$$

$$\sigma_1 = \underline{150,895\ \text{MPa}}$$

$$\sigma_2 = \underline{161,457\ \text{MPa}}$$



Obrázek 93: Těžiště průřezu zesíleného krajního příčnicku_maximální Vz

Výpočet poměru napětí ψ :

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{150,895}{161,457}$$

$$\psi = \underline{0,930}$$

$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Součinitel kritického napětí k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

$$k_\sigma = \frac{8,2}{1,05 + \psi} = \frac{8,2}{1,05 + 0,930}$$

$$k_\sigma = \underline{4,131\ 850}$$

Výpočet koeficientu $\bar{\lambda}_p$:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{0,350/0,014}{28,4 * 0,924 * \sqrt{4,132}}$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{0,468\ 470}$$

Stanovení součinitele boulení ρ :

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{0,468\ 470 - 0,055(3 + 0,930)}{0,468\ 470^2}$$

$$\rho = \underline{1,148\ 561}$$

Jelikož hodnota koeficientu vyšla $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$, není průřez náchylný na boulení a berou se tedy hodnoty $A_{\text{eff}} = A$ a $W_{\text{eff}} = W_{\text{ey}}$.

Posouzení průřezu na únosnost ve smyku

Příspěvek stojiny

Výpočet součinitele příspěvku stojiny χ_w :

Součinitel kritického napětí ve smyku k_τ :

$$\frac{a}{h_w} = \frac{1,348}{0,550} = \underline{2,450}$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a/h_w \geq 1$$

$$k_\tau = 4,00 + 5,34 \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a/h_w < 1$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + k_{\tau sl} = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{0,550}{1,348}\right)^2 + 0 = \underline{6,006\ 389}$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} = \frac{0,550}{37,4 * 0,014 * 0,924 * \sqrt{6,006\ 389}}$$

$$\bar{\lambda}_w = \underline{0,463\ 648}$$

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

$$\eta = 1,2$$

$$0,83/\eta = 0,83/1,2 = 0,691\ 667$$

Jak je z tabulky a výpočtu patrné, hodnota χ_w pro netuhou koncovou výztuhu bude rovna první hodnotě, jelikož $\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$.

$$\chi_w \leq 1,0;$$

$$\chi_w = \eta = 1,2 > 1,0$$

$$\chi_w = \underline{1,0}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{M1}} = \frac{1,0 * 275\ 000\ 000 * 0,550 * 0,014}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{bw,Rd} = \underline{1\ 018\ 782,663\ N}$$

Příspěvek pásnic

$$b_f = \underline{0,070 \text{ m}}$$

$$15 * \varepsilon * t_f = 15 * 0,924 * 0,012 = \underline{0,166 \text{ 395}}$$

$$0,070 \leq 0,166 \text{ 395}$$

Jelikož je podmínka splněna, bere se do výpočtu celá šířka pásnice $b = 0,070 \text{ m}$.

Výpočet koeficientu c:

ČSN EN 1993-1-5: 5.4 (1) výraz (5.8)

$$c = a * \left(0,25 + \frac{1,6 * b_f * t_f^2 * f_{yf}}{t * h_w^2 * f_{yw}} \right) = 1,348 * \left(0,25 + \frac{1,6 * 0,070 * 0,012^2 * 275 \text{ 000 000}}{0,014 * 0,550^2 * 275 \text{ 000 000}} \right)$$

$$c = \underline{0,339 \text{ 697}}$$

Výpočet momentu únosnosti průřezu sestávající pouze z účinné plochy pásnic $M_{f,Rd}$:

Pro výpočet účinné plochy pásnice byl využit program AutoCad, kde byly odměřeny jednotlivé plochy pásnic a krčních úhelníků. U krčních úhelníků se brala vždy pouze plocha, která představuje pásnici (tedy vodorovná část profilu L). Dále se odměřily už pouze těžiště jednotlivých pásnic od celkového těžiště průřezu.

$$A_{\text{úhel,h}} = 0,003 \text{ 001 m}^2 \qquad z_h = 0,257 \text{ 144 m}$$

$$A_{\text{úhel,d}} = 0,003 \text{ 001 m}^2 \qquad z_d = 0,192 \text{ 856 m}$$

$$W_{fy} = 0,003 \text{ 001} * 0,257 \text{ 144} + 0,003 \text{ 001} * 0,192 \text{ 856}$$

$$\dots \qquad W_{fy} = \underline{0,001 \text{ 350 m}^3}$$

$$M_{f,Rd} = \frac{W_{fy} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,001 \text{ 350} * 275 \text{ 000 000}}{1,10} = \underline{337 \text{ 580,438 Nm}}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f * t_f^2 * f_{yf}}{c * \gamma_{M1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = \frac{0,070 * 0,012^2 * 275 \text{ 000 000}}{0,339 \text{ 697} * 1,20} * \left(1 - \left(\frac{454 \text{ 939,310}}{337 \text{ 580,438}} \right)^2 \right)$$

$$V_{bf,Rd} = \underline{-5 \text{ 549,978 N}}$$

Jelikož byla únosnost pro ohybový moment pásnice plně využita ($M_{Ed} > M_{f,Rd}$), s příspěvkem pásnic se nepočítá a do dalších vzorců vstupuje pouze příspěvek stojiny.

Celková smyková návrhová únosnost

1. Podmínka

$$V_{b,Rd} = 1\,018\,782,663 + 0,000 \leq \frac{1,2 * 275\,000\,000 * 0,550 * 0,014}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{b,Rd} = \underline{1\,018\,782,663} \leq \underline{1\,222\,539,195} \quad \text{PODMÍNKA SPLNĚNÁ}$$

2. Podmínka

$$\eta_3 = \frac{350\,407,020}{1\,018\,782,663} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 0,343\,947 \leq 1,0 \quad \text{PODMÍNKA SPLNĚNÁ}$$

Interakce mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

Pokud $\bar{\eta}_3$ nepřesáhne hodnotu 0,5, není nutné návrhovou únosnost pro ohybový moment a osovou sílu redukovat s ohledem na smykovou sílu. Jestliže je $\bar{\eta}_3$ větší než 0,5, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojině nosníku I, nebo nosníku komorového, splňovat následující podmínku. ČSN EN 1993-1-5: 7.1 (1)

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0 \quad \text{pro} \quad \eta_1 \geq \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}$$

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = \frac{350\,407,020}{1\,018\,782,663}$$

$$\bar{\eta}_3 = 0,343\,947 \leq 0,5 \quad \text{PODMÍNKA SPLNĚNÁ}$$

Jelikož je podmínka splněná, výpočet nemusí pokračovat dále a můžeme říci, že průřez vyhovuje na interakci mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou.

Posouzení průřezu na klopení (Zjednodušený výpočet)

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

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

$$M_{c,Rd} = W_y * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{c,Rd} = 0,002\,797 * \frac{275\,000\,000}{1,20} = \underline{\underline{640\,933\,Nm}}$$

$$\lambda_1 = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = 3,14 * \sqrt{\frac{210\,000\,000\,000}{275\,000\,000}} = \underline{\underline{86,814\,681}}$$

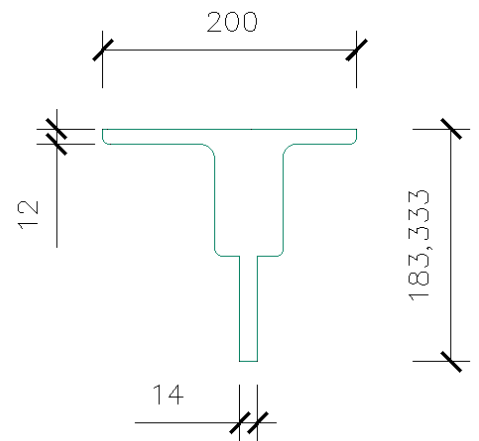
$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

Hodnoty pro plochu a moment setrvačnosti byly odměřeny v programu AutoCad, pro průřez, který se skládá z horních pásnic, horních krčních úhelníků a 1/3 výšky stojiny.

$$I_z = 0,000\,111\,940\,m^4$$

$$A = 0,008\,354\,m^2$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{0,000\,111\,940}{0,008\,354}} = \underline{\underline{0,115\,754\,m}}$$



Největší hodnotu štíhlosti se doporučuje následující hodnota:

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

$$\overline{\lambda}_{c0} = \underline{\underline{0,5}}$$

Obrázek 94: Průřez pro výpočet klopení zesíleného krajního příčnicku_maximální Vz

Stanovení opravného součinitele k_c :

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi} = \frac{1}{1,33 - 0,33 * \frac{49,83}{196,91}} = \underline{\underline{0,802\,253}}$$

$$\overline{\lambda}_1 = \frac{0,802\,253 * 1,348}{0,115\,754 * 86,814\,681} \leq 0,5 * \frac{640\,933}{450\,015}$$

$$\overline{\lambda}_1 = \underline{\underline{0,107\,574}} \leq \underline{\underline{0,712\,124}}$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
-226,621		350,407		450,015		-9,246	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
-52,368	-174,253	34,734	315,673	68,601	381,415	-9,246	0,000

Tabulka 94: Vnitřní síly pro zesílený krajní příčník_maximální Vz

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,550 * 0,014 * 275\,000\,000}{\sqrt{3} * 1,1} = 1\,111\,399,268 \text{ N} = 1\,111,399 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 * 315,673 + 34,734 = \underline{350,410 \text{ kN}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{350,410}{1\,111,390} = \underline{0,315\,287 [-]}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{52\,368}{\frac{0,019\,277 * 275\,000\,000}{1,10}} + \frac{68\,601}{\frac{0,002\,797 * 275\,000\,000}{1,10}} + \frac{9\,246}{\frac{0,000\,170 * 275\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,011 + 0,098 + 0,218 = \underline{0,327 [-]}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{174\,253}{\frac{0,019\,277 * 275\,000\,000}{1,10}} + \frac{381\,415}{\frac{0,002\,797 * 275\,000\,000}{1,10}} + \frac{0}{\frac{0,000\,170 * 275\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,036 + 0,546 + 0,000 = \underline{0,582 [-]}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,RS}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,316}{0,582}$$

$$Z_{LM71} = \underline{\underline{1,157 [-]}}$$

Kontrolní přepoččet podmínky η_3 po prvním iteračním kroku:

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,157 * 315,673 + 34,734$$

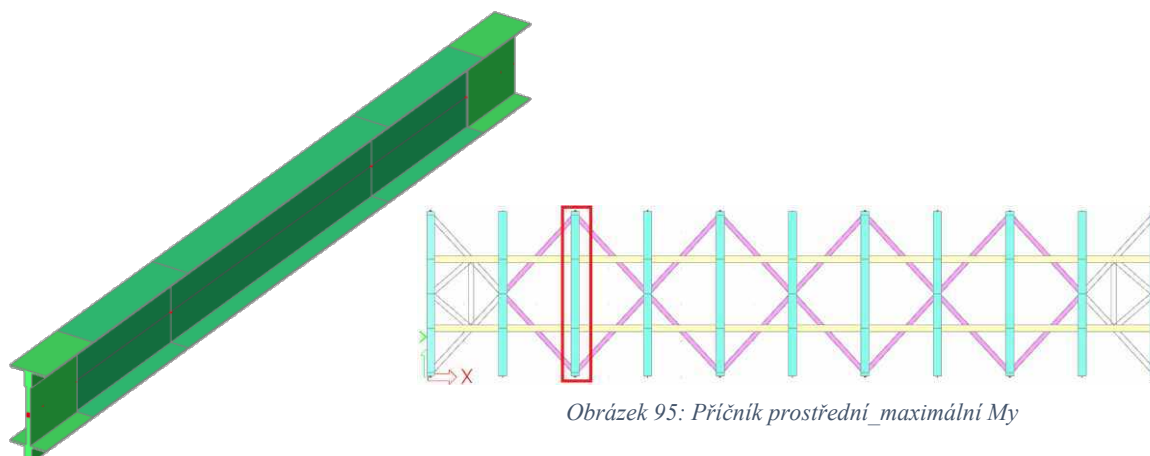
$$V_{Ed} = \underline{\underline{403,495 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{403,495}{1\ 111,399} = \underline{\underline{0,363\ 052 [-]}}$$

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy nemusíme pokračovat v iteračním postupu a hodnota zatížitelnosti je rovna $Z_{LM71} = 1,157 [-]$. Jelikož je zatížitelnost větší než jedna, prvek na zatížitelnost vyhovuje.

Zesílený prvek již vyhovuje na zatížitelnost, jelikož vyšla větší než jedna, v přechodnosti se již pokračovat nemusí, jelikož by vyšla menší než jedna, prvek je tedy přechodný.

7.1.3. Posouzení průřezu prostředního příčnicku v místě maximálního momentu M_y



Obrázek 95: Příčnick prostřední_maximální M_y

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR12, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z_{uvaz}/Gr_{XX}	Zuvaž/součinitel α
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.26	BR Pp max M_y	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.26a	OS 75 Pp max M_y	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.26	LM71 Pp max M_y	1,30	1,00	1,49	1,00	1,00
8.26	C2 Pp max M_y	1,30	1,00	1,84	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	M_y	M_z	N	Vz	M_y	M_z
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-3,49 kN	5,66 kN	8,16 kNm	-0,65 kNm	-3,98 kN	6,45 kN	9,30 kNm	-0,59 kNm
-0,90 kN	1,20 kN	2,51 kNm	-0,14 kNm	-1,03 kN	1,37 kN	2,86 kNm	-0,13 kNm
-8,22 kN	6,03 kN	6,49 kNm	1,36 kNm	-8,32 kN	6,11 kN	6,57 kNm	1,38 kNm
18,32 kN	2,21 kN	6,05 kNm	-1,69 kNm	0,00 kN	1,99 kN	5,45 kNm	0,00 kNm
-41,70 kN	8,52 kN	3,77 kNm	6,07 kNm	-54,21 kN	11,08 kN	4,90 kNm	7,89 kNm
-11,16 kN	8,44 kN	9,37 kNm	0,84 kNm	-14,51 kN	10,97 kN	12,18 kNm	1,09 kNm
8,40 kN	0,10 kN	1,72 kNm	-4,13 kNm	0,00 kN	0,07 kN	1,12 kNm	0,00 kNm
-49,92 kN	174,92 kN	223,59 kNm	-2,21 kNm	-96,70 kN	338,82 kN	433,09 kNm	0,00 kNm
-34,85 kN	126,13 kN	157,62 kNm	-0,85 kNm	-83,23 kN	301,21 kN	376,41 kNm	-2,03 kNm
-88,67 kN	207,08 kN	261,66 kNm	-0,55 kNm	-178,74	376,85	475,47	9,65

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

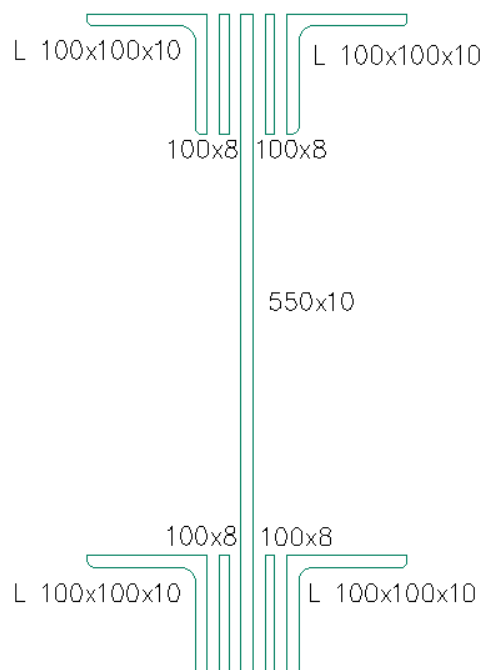
	Celkem	Rs	LM71
N =	-178,74	-82,05	-96,70
Vz =	376,85	38,03	338,82
M_y =	475,47	42,38	433,09
M_z =	9,65	9,65	0,00

Tabulka 95: Kombinace pro prostřední příčnick_maximální M_y

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,550 m
Šířka pásnice b:	0,226 m
Tloušťka pásnice t_f :	0,010 m
Tloušťka stojiny t_w :	0,010 m
Výška stojiny h_w :	0,550 m
Krční úhelníky:	L 100x100x10



Obrázek 96: Průřez prostředního příčniku_maximální M_y

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,016 363 m ²
Moment setrvačnosti I_y :	0,000 700 250 m ⁴
Moment setrvačnosti I_z :	0,000 020 405 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i_y :	0,207 m
Poloměr setrvačnosti i_z :	0,035 m
Průřezový elastický modul $W_{el,y}$:	0,002 455 300 m ³
Průřezový elastický modul $W_{el,z}$:	0,000 180 570 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,y}$:	0,003 200 400 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,z}$:	0,000 358 390 m ³

Posouzení průřezu při jednoosém ohybu

$$\eta_1 = \frac{178\,740}{210\,000\,000 * 0,016\,363} + \frac{376\,848 - 178\,740 * 0,000}{210\,000\,000 * 0,002\,455}$$

$$\eta_1 = \underline{\underline{1,071\,586}} \leq 1,0$$

NESPLNĚNÁ PODMÍNKA

Posouzení účinku boulení stěn vlivem normálových napětí

$$z_1 = 0,264\ 803\ \text{m}$$

$$z_2 = 0,285\ 197\ \text{m}$$

Výpočet napětí σ_1 a σ_2 :

$$W_{\sigma_1} = \frac{I_y}{z_1} = \frac{0,000\ 700}{0,264\ 803}$$

$$W_{\sigma_2} = \frac{I_y}{z_2} = \frac{0,000\ 700}{0,285\ 197}$$

$$W_{\sigma_1} = \underline{0,002\ 644\ \text{m}^3}$$

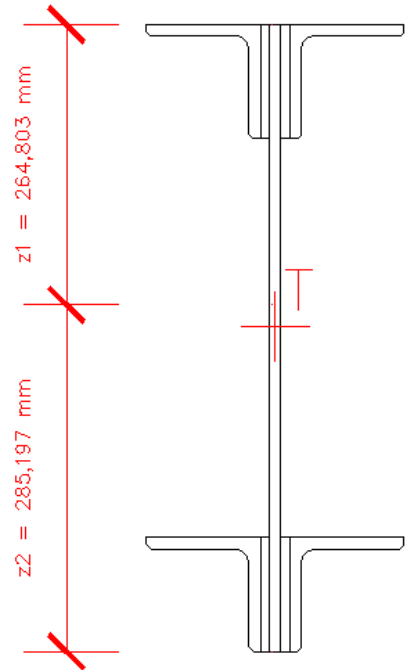
$$W_{\sigma_2} = \underline{0,002\ 455\ \text{m}^3}$$

$$\sigma_1 = \frac{M_y}{W_{\sigma_1}} = \frac{475\ 473,760}{0,002\ 644}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_y}{W_{\sigma_2}} = \frac{475\ 473,760}{0,002\ 455}$$

$$\sigma_1 = \underline{179,803\ \text{MPa}}$$

$$\sigma_2 = \underline{193,650\ \text{MPa}}$$



Obrázek 97: Těžiště průřezu prostředního příčnicku_maximální M_y

Výpočet poměru napětí ψ :

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{193,650}{179,803}$$

$$\psi = \underline{0,930}$$

$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Součinitel kritického napětí k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

$$k_\sigma = \frac{8,2}{1,05 + \psi} = \frac{8,2}{1,05 + 0,930}$$

$$k_\sigma = \underline{4,144\ 572}$$

Výpočet koeficientu $\bar{\lambda}_p$:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{0,350/0,010}{28,4 * 1,058 * \sqrt{4,145}}$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{0,572\ 250}$$

Stanovení součinitele boulení ρ :

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{0,572\ 250 - 0,055(3 + 0,930)}{0,572\ 250^2}$$

$$\rho = \underline{1,087\ 681}$$

Jelikož hodnota koeficientu vyšla $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$, není průřez náchylný na boulení a berou se tedy hodnoty $A_{\text{eff}} = A$ a $W_{\text{eff}} = W_{\text{ey}}$.

Posouzení průřezu na únosnost ve smyku

Příspěvek stojiny

Výpočet součinitele příspěvku stojiny χ_w :

Součinitel kritického napětí ve smyku k_τ :

$$\frac{a}{h_w} = \frac{1,348}{0,550} = \underline{2,450}$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a / h_w \geq 1$$

$$k_\tau = 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a / h_w < 1$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + k_{\tau sl} = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{0,550}{1,348}\right)^2 + 0 = \underline{6,006\ 389}$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} = \frac{0,550}{37,4 * 0,010 * 1,058 * \sqrt{6,006\ 389}}$$

$$\bar{\lambda}_w = \underline{0,567\ 231}$$

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$	η	η
$0,83 / \eta \leq \bar{\lambda}_w < 108$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 108$	$1,37 / (0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$

$$\eta = 1,2$$

$$0,83 / \eta = 0,83 / 1,2 = 0,691\ 667$$

Jak je z tabulky a výpočtu patrné, hodnota χ_w pro netuhou koncovou výztuhu bude rovna první hodnotě, jelikož $\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$.

$$\chi_w \leq 1,0;$$

$$\chi_w = \eta = 1,2 > 1,0$$

$$\chi_w = \underline{1,0}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{M1}} = \frac{1,0 * 210\ 000\ 000 * 0,550 * 0,010}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{bw,Rd} = \underline{555\ 699,634\ N}$$

Příspěvek pásnic

$$b_f = \underline{0,100 \text{ m}}$$

$$15 * \varepsilon * t_f = 15 * 1,058 * 0,010 = \underline{0,158 \text{ 678}}$$

$$0,100 \leq 0,158 \text{ 678}$$

Jelikož je podmínka splněna, bere se do výpočtu celá šířka pásnice $b = 0,100 \text{ m}$.

Výpočet koeficientu c:

$$c = a * \left(0,25 + \frac{1,6 * b_f * t_f^2 * f_{yf}}{t * h_w^2 * f_{yw}} \right) = 1,348 * \left(0,25 + \frac{1,6 * 0,100 * 0,010^2 * 210 \text{ 000 000}}{0,010 * 0,550^2 * 210 \text{ 000 000}} \right)$$

$$c = \underline{0,340 \text{ 795}}$$

Výpočet momentu únosnosti průřezu sestávající pouze z účinné plochy pásnic $M_{f,Rd}$:

Pro výpočet účinné plochy pásnice byl využit program AutoCad, kde byly odměřeny jednotlivé plochy pásnic a krčnicích úhelníků. U krčnicích úhelníku se brala vždy pouze plocha, která představuje pásnici (tedy vodorovná část profilu L). Dále se odměřily už pouze těžiště jednotlivých pásnic od celkového těžiště průřezu.

$$A_{\text{úhel,h,L}} = 0,000 \text{ 992 m}^2$$

$$z_{h,L} = 0,261 \text{ 196 m}$$

$$A_{\text{úhel,h,P}} = 0,000 \text{ 992 m}^2$$

$$z_{h,P} = 0,261 \text{ 196 m}$$

$$A_{\text{úhel,d,L}} = 0,000 \text{ 992 m}^2$$

$$z_{d,L} = 0,188 \text{ 804 m}$$

$$A_{\text{úhel,d,P}} = 0,000 \text{ 992 m}^2$$

$$z_{d,P} = 0,188 \text{ 804 m}$$

$$W_{fy} = 2 * 0,000 \text{ 992} * 0,261 \text{ 196} + 2 * 0,000 \text{ 992} * 0,188 \text{ 804}$$

$$W_{fy} = \underline{0,000 \text{ 893 m}^3}$$

$$M_{f,Rd} = \frac{W_{fy} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,000 \text{ 893} * 210 \text{ 000 000}}{1,10} = \underline{170 \text{ 490,715 Nm}}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f * t_f^2 * f_{yf}}{c * \gamma_{M1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = \frac{0,100 * 0,010^2 * 210 \text{ 000 000}}{0,340 \text{ 795} * 1,20} * \left(1 - \left(\frac{475 \text{ 473,760}}{170 \text{ 490,715}} \right)^2 \right)$$

$$V_{bf,Rd} = \underline{-34 \text{ 803,882 N}}$$

Jelikož byla únosnost pro ohybový moment pásnice plně využita ($M_{Ed} > M_{f,Rd}$), s příspěvkem pásnic se nepočítá a do dalších vzorců vstupuje pouze příspěvek stojiny.

Celková smyková návrhová únosnost

1. Podmínka

$$V_{b,Rd} = 555\,699,634 + 0,000 \leq \frac{1,2 * 210\,000\,000 * 0,550 * 0,010}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{b,Rd} = \underline{555\,699,634} \leq \underline{666\,839,561}$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

2. Podmínka

$$\eta_3 = \frac{376\,847,820}{555\,699,634} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 0,678\,150 \leq 1,0$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Interakce mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

Pokud $\bar{\eta}_3$ nepřesáhne hodnotu 0,5, není nutné návrhovou únosnost pro ohybový moment a osovou sílu redukovat s ohledem na smykovou sílu. Jestliže je $\bar{\eta}_3$ větší než 0,5, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojině nosníku I, nebo nosníku komorového, splňovat následující podmínku.

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0 \quad \text{pro} \quad \eta_1 \geq \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}$$

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = \frac{376\,847,820}{555\,699,634}$$

$$\bar{\eta}_3 = 0,678\,150 \leq 0,5$$

NESPLNĚNÁ PODMÍNKÁ

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,003\,200 * 210\,000\,000}{1,10} = \underline{610\,985,500 \text{ Nm}}$$

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{475\,473,760}{610\,985,500}$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{0,778\,208}$$

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0$$

$$0,778 20/ + \left(1 - \frac{170 490,715}{610 985,500}\right) * (2 * 0,678 150 - 1)^2 \leq 1,0$$

$$\underline{0,869 734} \leq 1,0$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Posouzení průřezu na klopení (Zjednodušený výpočet)

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

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

$$M_{c,Rd} = W_y * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{c,Rd} = 0,002 455 * \frac{210 000 000}{1,20} = \underline{429 677,500 \text{ Nm}}$$

$$\lambda_1 = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = 3,14 * \sqrt{\frac{210 000 000 000}{210 000 000}} = \underline{99,345 883}$$

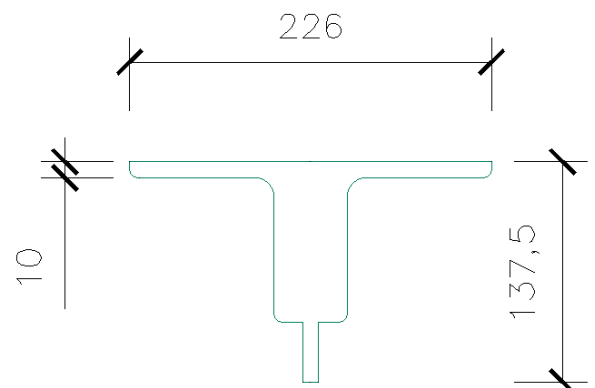
$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

Hodnoty pro plochu a moment setrvačnosti byly odměřeny v programu AutoCad, pro průřez, který se skládal z horních pásnic, horních krčnicích úhelníků a ¼ výšky stojiny.

$$I_z = 0,000 102 954 \text{ m}^4$$

$$A = 0,007 264 \text{ m}^2$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{0,000 102 954}{0,007 264}} = \underline{0,119 050 \text{ m}}$$



Obrázek 98: Průřez pro výpočet klopení prostředního příčnicku_maximální M_y

Největší hodnotu štíhlosti se doporučuje následující hodnota:

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

$$\overline{\lambda}_{c0} = \underline{0,5}$$

Stanovení opravného součinitele k_c :

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi} = \frac{1}{1,33 - 0,33 * \frac{65,72}{223,59}} = \underline{0,811\ 028}$$

$$\overline{\lambda}_1 = \frac{0,811\ 028 * 1,348}{0,119\ 050 * 99,345\ 883} \leq 0,5 * \frac{429\ 678}{475\ 474}$$

$$\overline{\lambda}_1 = \underline{0,092\ 404} \leq \underline{0,451\ 841}$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
-178,740		376,848		475,474		9,649	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
-82,045	-96,695	38,028	338,820	42,380	433,094	9,649	0,000

Tabulka 96: Vnitřní síly pro střední příčnici maximální M_y

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \overline{\eta_3} = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,550 * 0,010 * 210\ 000\ 000}{\sqrt{3} * 1,1} = 606\ 217,783\ \text{N} = 606,218\ \underline{\text{kN}}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 * 338,820 + 38,028 = \underline{376,850\ \text{kN}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{376,850}{606,218} = \underline{0,621\ 641\ [-]}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je větší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{82\,045}{\frac{0,016\,363 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{42\,380}{\frac{0,002\,455 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{9\,649}{\frac{0,000\,181 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,026 + 0,090 + 0,280 = \underline{0,397 [-]}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{196\,695}{\frac{0,016\,363 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{433\,094}{\frac{0,002\,455 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{0}{\frac{0,000\,181 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,031 + 0,924 + 0,000 = \underline{0,955 [-]}$$

$$\eta_{3,Rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{38\,028}{606\,218}$$

MP A.2.2.11_vztah (A.14)

$$\eta_{3,Rs} = \underline{0,063 [-]}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{338\,820}{606\,218}$$

MP A.2.2.11_vztah (A.15)

$$\eta_{3,Rs} = \underline{0,559 [-]}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,N,Rd}}{M_{pl,N,Rd}} \right) = 1 - \left(\frac{170\,490,700}{610\,985,500} \right)$$

MP A.2.2.11_vztah (A.16)

$$k = \underline{0,720\,958 [-]}$$

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

MP A.2.2.11_vztah (A.16)

$$0,900\,846 * Z_{LM71}^2 - 0,454\,673 * Z_{LM71} - 0,052\,014 = 0$$

$$D = (-0,454\,673)^2 - 4 * 0,900\,846 * (-0,052\,014) = 0,394\,155$$

$$Z_{LM71,1} = \frac{0,454\,673 + \sqrt{0,394\,155}}{2 * 0,900\,846} = 0,600\,819$$

$$Z_{LM71,2} = \frac{0,454\,673 - \sqrt{0,394\,155}}{2 * 0,900\,846} = -0,096\,101$$

$$Z_{LM71} = Z_{LM71,1} = \underline{0,601}$$

Jelikož zatížitelnost vyšla menší než 1,0, je možnost provést redukce ostatních účinků od zatížení železniční dopravou (účinky bočního rázu, rozjezdová a brzdňá síla a zároveň odstředivé síly) o vypočítanou zatížitelnost. Výslednou hodnotu zatížitelnosti Z_{LM71} je třeba určit iterační formou výpočtu.

MP 4.7.7

V následujících tabulkách jsou znázorněny změny hodnot vnitřních sil od ostatních zatížení železniční dopravy po jednotlivých iteracích. Dále jsou v tabulkách znázorněny jednotlivé změny zatížitelnosti, které se počítaly stejným způsobem, jako v předchozím případě výpočtu Z_{LM71} .

Iterace č. 0				Iterace č. 1				Iterace č. 2				Iterace č. 3			
0,601				0,764				0,703				0,723			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-3,98	6,45	9,30	-0,59	-3,98	6,45	9,30	-0,59	-3,98	6,45	9,30	-0,59	-3,98	6,45	9,30	-0,59
-1,03	1,37	2,86	-0,13	-1,03	1,37	2,86	-0,13	-1,03	1,37	2,86	-0,13	-1,03	1,37	2,86	-0,13
-8,32	6,11	6,57	1,38	-8,32	6,11	6,57	1,38	-8,32	6,11	6,57	1,38	-8,32	6,11	6,57	1,38
0,00	1,99	5,45	0,00	0,00	1,99	5,45	0,00	0,00	1,99	5,45	0,00	0,00	1,99	5,45	0,00
-54,21	11,08	4,90	7,89	-32,57	6,65	2,94	4,74	-41,44	8,47	3,75	6,03	-38,09	7,78	3,44	5,54
-14,51	10,97	12,18	1,09	-8,72	6,59	7,32	0,66	-11,09	8,39	9,31	0,83	-10,19	7,71	8,56	0,77
0,00	0,07	1,12	0,00	0,00	0,04	0,67	0,00	0,00	0,05	0,85	0,00	-10,19	0,05	0,79	0,00
-96,70	338,82	433,09	0,00	-96,70	338,82	433,09	0,00	-96,70	338,82	433,09	0,00	-96,70	338,82	433,09	0,00

Iterace č. 4				Iterace č. 5				Iterace č. 6				Iterace č. 7			
0,719				0,720				0,720				0,720			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-3,98	6,45	9,30	-0,59	-3,98	6,45	9,30	-0,59	-3,98	6,45	9,30	-0,59	-3,98	6,45	9,30	-0,59
-1,03	1,37	2,86	-0,13	-1,03	1,37	2,86	-0,13	-1,03	1,37	2,86	-0,13	-1,03	1,37	2,86	-0,13
-8,32	6,11	6,57	1,38	-8,32	6,11	6,57	1,38	-8,32	6,11	6,57	1,38	-8,32	6,11	6,57	1,38
0,00	1,99	5,45	0,00	0,00	1,99	5,45	0,00	0,00	1,99	5,45	0,00	0,00	1,99	5,45	0,00
-39,18	8,00	3,54	5,70	-38,98	7,96	3,52	5,67	-39,05	7,98	3,53	5,68	-39,02	7,97	3,53	5,68
-10,48	7,93	8,80	0,79	-10,43	7,89	8,76	0,79	-10,45	7,90	8,78	0,79	-10,44	7,90	8,77	0,79
0,00	0,05	0,81	0,00	0,00	0,05	0,80	0,00	0,00	0,05	0,81	0,00	0,00	0,05	0,80	0,00
-96,70	338,82	433,09	0,00	-96,70	338,82	433,09	0,00	-96,70	338,82	433,09	0,00	-96,70	338,82	433,09	0,00

Tabulka 97: Iterace pro střední příčník_maximální My

Jak je z posledního sedmého kroku iterace patrné, poslední zatížitelnost, a tím tedy i výsledná zatížitelnost, je rovna hodnotě $Z_{LM71} = 0,720 [-]$.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,84}{1,49} = \underline{1,233} [-]$$

Zatížení	γ_f	N	Vz	My	Mz
$M_{ttz,C2} =$	1,30	-34,85	126,13	157,62	-0,85
$M_{LM71} =$	1,30	-49,92	174,92	223,59	-2,21

Tabulka 98: Vnitřní síly od vlaků pro prostřední příčník_maximální My

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3*(-34,850)}{1,3*(-49,920)} = \underline{0,698} [-]$$

$$\text{pro Vz: } \lambda_{LM71,Vz} = \frac{1,3*126,130}{1,3*174,920} = \underline{0,721} [-]$$

$$\text{pro My: } \lambda_{LM71,My} = \frac{1,3*155,620}{1,3*223,590} = \underline{0,705} [-]$$

$$\text{pro Mz: } \lambda_{LM71,Mz} = \frac{1,3*(-0,850)}{1,3*(-2,210)} = \underline{0,385} [-]$$

$$\text{pro N: } k_{i,N} = \frac{0,020+0,031}{0,307+0,955} = \underline{0,040} [-]$$

$$\text{pro Vz: } k_{i,Vz} = \frac{0,000+0,000}{0,307+0,955} = \underline{0,000} [-]$$

$$\text{pro My: } k_{i,My} = \frac{0,080+0,924}{0,307+0,955} = \underline{0,795} [-]$$

$$\text{pro Mz: } k_{i,Mz} = \frac{0,207+0,000}{0,307+0,955} = \underline{0,164} [-]$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

$$0,720 \geq (0,698 * 1,233 * 0,040) + (0,000 * 1,233 * 0,721) + (0,795 * 1,233 * 0,705) + (0,164 * 1,233 * 0,385)$$

$$0,720 \geq 0,804$$

NESPLNĚNÁ PODMÍNKA

Jak je patrné z nesplněné podmínky, prvek nevyhověl na posudek zatížitelnosti, ani na posudek přechodnosti. Prvek je nepřechodný pro traťovou rychlost 75 km/h. Je potřeba jej tedy posoudit na nižší rychlost, a to rychlost na mostě 60 km/h.

7.1.3.1. Posouzení průřezu pro rychlost na mostě $v = 60 \text{ km/h}$

Výpočet zatížitelnosti

Jelikož má rychlost pouze vliv na odstředivé síly, ve výpočtu se tedy změní pouze hodnoty vnitřních sil odstředivých sil, všechny ostatní hodnoty zůstávají stejné.

5.26	OS 60 Pp max My	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00	
Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
-7,14 kN	5,40 kN	5,99 kNm	0,54 kNm	-9,28 kN	7,02 kN	7,79 kNm	0,00 kNm

Tabulka 99: Odstředivé síly pro rychlost 60 km/h pro střední příčník_maximální My

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou cel jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou Rs,Ed jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou LM71,Ed.

N _{cel} [kN]		V _{z,cel} [kN]		M _{y,cel} [kN]		M _{z,cel} [kN]	
-173,514		372,896		471,080		-9,387	
N _{Rs,Ed}	N _{LM71,Ed}	V _{z,Rs,Ed}	V _{z,LM71,Ed}	M _{y,Rs,Ed}	M _{y,LM71,Ed}	M _{z,Rs,Ed}	M _{z,LM71,Ed}
-76,819	-96,695	34,076	338,820	37,986	433,094	-5,106	-4,281

Tabulka 100: Vnitřní síly pro rychlost 60 km/h pro střední příčník_maximální My

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,550 \cdot 0,010 \cdot 210\,000\,000}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 606\,217,783 \text{ N} = 606,218 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} \cdot V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 \cdot 338,820 + 34,076 = 372,900 \text{ kN}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{372,900}{606,218} = 0,615\,125 [-]$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je větší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{76\,819}{\frac{0,016\,363 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{37\,986}{\frac{0,002\,455 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{5\,106}{\frac{0,000\,181 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,025 + 0,081 + 0,148 = \underline{0,254} [-]$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{96\,695}{\frac{0,016\,363 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{433\,094}{\frac{0,002\,455 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{4\,281}{\frac{0,000\,181 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,031 + 0,924 + 0,124 = \underline{1,079} [-]$$

$$\eta_{3,Rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{34\,076}{606\,218} \quad MP\ A.2.2.11_vztah\ (A.14)$$

$$\eta_{3,Rs} = \underline{0,056} [-]$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{338\,820}{606\,218} \quad MP\ A.2.2.11_vztah\ (A.15)$$

$$\eta_{3,Rs} = \underline{0,559} [-]$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,N,Rd}}{M_{pl,N,Rd}} \right) = 1 - \left(\frac{170\,490,700}{610\,985,500} \right) \quad MP\ A.2.2.11_vztah\ (A.16)$$

$$k = \underline{0,720\,958} [-]$$

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

MP A.2.2.11_vztah (A.16)

$$0,900\,846 * Z_{LM71}^2 - 0,351\,509 * Z_{LM71} - 0,178\,281 = 0$$

$$D = (-0,351\,509)^2 - 4 * 0,900\,846 * (-0,178\,281) = 0,765\,973$$

$$Z_{LM71,1} = \frac{0,351\,509 + \sqrt{0,765\,973}}{2 * 0,900\,846} = 0,680\,864$$

$$Z_{LM71,2} = \frac{0,351\,509 - \sqrt{0,765\,973}}{2 * 0,900\,846} = -0,290\,666$$

$$Z_{LM71} = Z_{LM71,1} = \underline{0,681}$$

Jelikož zatížitelnost vyšla menší než 1,0, je možnost provést redukce ostatních účinků od zatížení železniční dopravou (účinky bočního rázu, rozjezdová a brzdňá síla a zároveň

odstředivé síly) o vypočítanou zatížitelnost. Výslednou hodnotu zatížitelnosti Z_{LM71} je třeba určit iterační formou výpočtu.

MP 4.7.7

V následujících tabulkách jsou znázorněny změny hodnot vnitřních sil od ostatních zatížení železniční dopravy po jednotlivých iteracích. Dále jsou v tabulkách znázorněny jednotlivé změny zatížitelnosti, které se počítaly stejným způsobem, jako v předchozím případě výpočtu Z_{LM71} .

Iterace č. 0				Iterace č. 1				Iterace č. 2				Iterace č. 3			
0,681				0,723				0,717				0,716			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-3,98	6,45	9,30	-0,74	-3,98	6,45	9,30	-0,74	-3,98	6,45	9,30	-0,74	-3,98	6,45	9,30	-0,74
-1,03	1,37	2,86	-0,16	-1,03	1,37	2,86	-0,16	-1,03	1,37	2,86	-0,16	-1,03	1,37	2,86	-0,16
-8,32	6,11	6,57	0,00	-8,32	6,11	6,57	0,00	-8,32	6,11	6,57	0,00	-8,32	6,11	6,57	0,00
0,00	1,99	5,45	-1,52	0,00	1,99	5,45	-1,52	0,00	1,99	5,45	-1,52	0,00	1,99	5,45	-1,52
-54,21	11,08	4,90	0,00	-36,91	7,54	3,34	0,00	-39,18	8,01	3,54	0,00	-38,89	7,95	3,52	0,00
-9,28	7,02	7,79	0,00	-6,32	4,78	5,30	0,00	-6,71	5,07	5,63	0,00	-6,66	5,04	5,59	0,00
0,00	0,07	1,12	-2,68	0,00	0,04	0,76	-1,83	0,00	0,05	0,81	-1,94	-6,66	0,05	0,80	-1,93
-96,70	338,82	433,09	-4,28	-96,70	338,82	433,09	-4,28	-96,70	338,82	433,09	-4,28	-96,70	338,82	433,09	-4,28

Iterace č. 4				Iterace č. 5				Iterace č. 6				Iterace č. 7			
0,718				0,718				0,718				0,718			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-3,98	6,45	9,30	-0,74	-3,98	6,45	9,30	-0,74	-3,98	6,45	9,30	-0,74	-3,98	6,45	9,30	-0,74
-1,03	1,37	2,86	-0,16	-1,03	1,37	2,86	-0,16	-1,03	1,37	2,86	-0,16	-1,03	1,37	2,86	-0,16
-8,32	6,11	6,57	0,00	-8,32	6,11	6,57	0,00	-8,32	6,11	6,57	0,00	-8,32	6,11	6,57	0,00
0,00	1,99	5,45	-1,52	0,00	1,99	5,45	-1,52	0,00	1,99	5,45	-1,52	0,00	1,99	5,45	-1,52
-38,80	7,93	3,51	0,00	-38,94	7,96	3,52	0,00	-38,92	7,95	3,52	0,00	-38,92	7,95	3,52	0,00
-6,64	5,02	5,57	0,00	-6,67	5,04	5,59	0,00	-6,66	5,04	5,59	0,00	-6,66	5,04	5,59	0,00
0,00	0,05	0,80	-1,92	0,00	0,05	0,80	-1,93	0,00	0,05	0,80	-1,93	0,00	0,05	0,80	-1,93
-96,70	338,82	433,09	-4,28	-96,70	338,82	433,09	-4,28	-96,70	338,82	433,09	-4,28	-96,70	338,82	433,09	-4,28

Iterace č. 8				Iterace č. 9				Iterace č. 10			
0,718				0,718				0,718			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-3,98	6,45	9,30	-0,74	-3,98	6,45	9,30	-0,74	-3,98	6,45	9,30	-0,74
-1,03	1,37	2,86	-0,16	-1,03	1,37	2,86	-0,16	-1,03	1,37	2,86	-0,16
-8,32	6,11	6,57	0,00	-8,32	6,11	6,57	0,00	-8,32	6,11	6,57	0,00
0,00	1,99	5,45	-1,52	0,00	1,99	5,45	-1,52	0,00	1,99	5,45	-1,52
-38,92	7,95	3,52	0,00	-38,92	7,95	3,52	0,00	-38,92	7,95	3,52	0,00
-6,66	5,04	5,59	0,00	-6,66	5,04	5,59	0,00	-6,66	5,04	5,59	0,00
0,00	0,05	0,80	-1,93	0,00	0,05	0,80	-1,93	0,00	0,05	0,80	-1,93
-96,70	338,82	433,09	-4,28	-96,70	338,82	433,09	-4,28	-96,70	338,82	433,09	-4,28

Tabulka 101: Iterace pro rychlost 60 km/h pro prostřední příčník_maximální My

Jak je z posledního desátého kroku iterace patrné, poslední zatížitelnost, a tím tedy i výsledná zatížitelnost, je rovna hodnotě $Z_{LM71} = 0,718 [-]$.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,84}{1,68} = \underline{1,095} [-]$$

Zatížení	γ_f	N	V _z	M _y	M _z
$M_{ttz,C2} =$	1,30	-34,85	126,13	157,62	-0,85
$M_{LM71} =$	1,30	-49,92	174,92	223,59	-2,21

Tabulka 102: Vnitřní síly od vlaků pro rychlost 60 km/h pro prostřední příčník_maximální M_y

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3*(-34,850)}{1,3*(-49,920)} = \underline{0,698} [-]$$

$$\text{pro V}_z: \lambda_{LM71,V_z} = \frac{1,3*126,130}{1,3*174,920} = \underline{0,721} [-]$$

$$\text{pro M}_y: \lambda_{LM71,M_y} = \frac{1,3 * 155,620}{1,3*223,590} = \underline{0,705} [-]$$

$$\text{pro M}_z: \lambda_{LM71,M_z} = \frac{1,3 * (-0,850)}{1,3*(-2,210)} = \underline{0,385} [-]$$

$$\text{pro N: } k_{i,N} = \frac{0,019+0,031}{0,218+1,079} = \underline{0,038} [-]$$

$$\text{pro V}_z: k_{i,V_z} = \frac{0,000+0,000}{0,218+1,079} = \underline{0,000} [-]$$

$$\text{pro M}_y: k_{i,M_y} = \frac{0,073+0,924}{0,218+1,079} = \underline{0,769} [-]$$

$$\text{pro M}_z: k_{i,M_z} = \frac{0,126+0,124}{0,218+1,079} = \underline{0,193} [-]$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

$$0,718 \geq (0,698 * 1,095 * 0,038) + (0,000 * 1,095 * 0,721) + (0,769 * 1,095 * 0,705) + (0,193 * 1,095 * 0,385)$$

$$0,718 \geq 0,704$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jak je patrné ze splněné podmínky, prvek nevyhověl na posudek zatížitelnosti, ale na posudek přechodnosti vyhověl s výpočtem rychlosti na mostě 60 km/h. Prvek je nepřechodný pro traťovou rychlost 75 km/h ale je přechodný pro rychlost na mostě 60 km/h. Jelikož ale nevyšel na jednoosý ohyb, zesílíme jej.

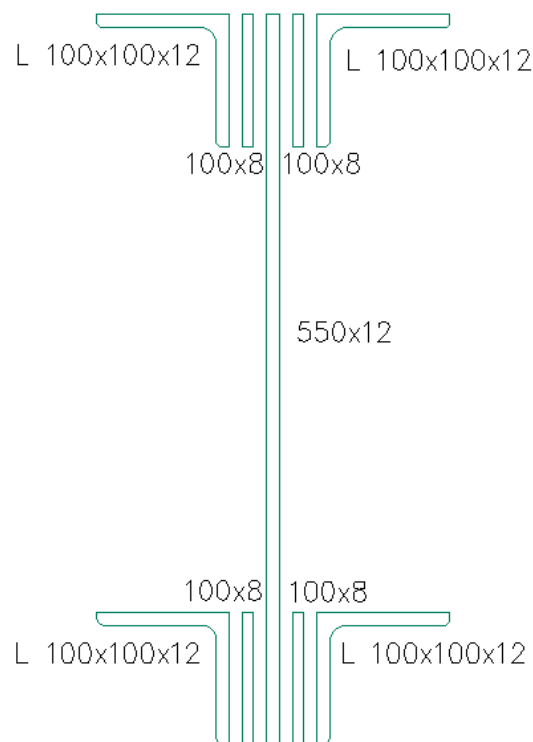
7.1.3.2. Posouzení průřezu po zesílení průřezu

Průřez byl zesílen v místech krčnicích úhelníku z původní tloušťky 10 mm na novou hodnotu 12 mm a v místě stojiny z původních 10 mm na novou hodnotu 12 mm. Dále byl změněn materiál na dnes používanou ocel S 275.

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,550 m
Šířka pásnice b:	0,228 m
Tloušťka pásnice t_f :	0,012 m
Tloušťka stojiny t_w :	0,012 m
Výška stojiny h_w :	0,550 m
Krční úhelníky:	L 100x100x12



Obrázek 99: Průřez zesíleného prostředního příčnicku_maximální M_y

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,018 887 m ²
Moment setrvačnosti I_y :	0,000 801 410 m ⁴
Moment setrvačnosti I_z :	0,000 025 503 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i_y :	0,206 m
Poloměr setrvačnosti i_z :	0,037 m
Průřezový elastický modul $W_{el,y}$:	0,002 811 100 m ³
Průřezový elastický modul $W_{el,z}$:	0,000 223 710 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,y}$:	0,003 672 100 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,z}$:	0,000 442 770 m ³

Posouzení průřezu při jednoosém ohybu

$$\eta_1 = \frac{144\,381}{275\,000\,000 \cdot 0,019\,277} + \frac{468\,051 + 144\,381 \cdot 0,000}{275\,000\,000 \cdot 0,002\,797}$$

$$\eta_1 = \underline{0,696\,580} \leq 1,0$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Posouzení účinku boulení stěn vlivem normálových napětí

$$z_1 = 0,264\ 913\ \text{m}$$

$$z_2 = 0,285\ 087\ \text{m}$$

Výpočet napětí σ_1 a σ_2 :

$$W_{\sigma 1} = \frac{I_y}{z_1} = \frac{0,000\ 801}{0,264\ 913}$$

$$W_{\sigma 2} = \frac{I_y}{z_2} = \frac{0,000\ 801}{0,285\ 087}$$

$$W_{\sigma 1} = \underline{0,003\ 025\ \text{m}^3}$$

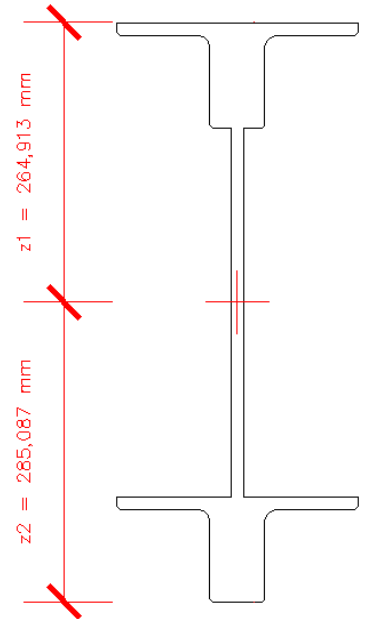
$$W_{\sigma 2} = \underline{0,002\ 811\ \text{m}^3}$$

$$\sigma_1 = \frac{M_y}{W_{\sigma 1}} = \frac{468\ 050,760}{0,003\ 025}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_y}{W_{\sigma 2}} = \frac{468\ 050,760}{0,002\ 811}$$

$$\sigma_1 = \underline{154,718\ \text{MPa}}$$

$$\sigma_2 = \underline{166,501\ \text{MPa}}$$



Obrázek 100: Těžiště průřezu zesíleného prostředního příčnicku_maximální M_y

Výpočet poměru napětí ψ :

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{154,718}{166,501}$$

$$\psi = \underline{0,929}$$

$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Součinitel kritického napětí k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

$$k_\sigma = \frac{8,2}{1,05 + \psi} = \frac{8,2}{1,05 + 0,929}$$

$$k_\sigma = \underline{4,143\ 014}$$

Výpočet koeficientu $\bar{\lambda}_p$:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{0,350/0,012}{28,4 * 0,924 * \sqrt{4,143}}$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{0,545\ 812}$$

Stanovení součinitele boulení ρ :

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{0,545\ 812 - 0,055(3 + 0,929)}{0,545\ 812^2}$$

$$\rho = \underline{1,106\ 721}$$

Jelikož hodnota koeficientu vyšla $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$, není průřez náchylný na boulení a berou se tedy hodnoty $A_{\text{eff}} = A$ a $W_{\text{eff}} = W_{\text{ey}}$.

Posouzení průřezu na únosnost ve smyku

Příspěvek stojiny

Výpočet součinitele příspěvku stojiny χ_w :

Součinitel kritického napětí ve smyku k_τ :

$$\frac{a}{h_w} = \frac{1,348}{0,550} = \underline{2,450}$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a / h_w \geq 1$$

$$k_\tau = 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a / h_w < 1$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + k_{\tau sl} = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{0,550}{1,348}\right)^2 + 0 = \underline{6,006\ 389}$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} = \frac{0,550}{37,4 * 0,012 * 0,924 * \sqrt{6,006\ 389}}$$

$$\bar{\lambda}_w = \underline{0,540\ 923}$$

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

$$\eta = 1,2$$

$$0,83 / \eta = 0,83 / 1,2 = 0,691\ 667$$

Jak je z tabulky a výpočtu patrné, hodnota χ_w pro netuhou koncovou výztuhu bude rovna první hodnotě, jelikož $\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$.

$$\chi_w \leq 1,0;$$

$$\chi_w = \eta = 1,2 > 1,0$$

$$\chi_w = \underline{1,0}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{M1}} = \frac{1,0 * 275\ 000\ 000 * 0,550 * 0,012}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{bw,Rd} = \underline{873\ 242,282\ N}$$

Příspěvek pásnic

$$b_f = \underline{0,100 \text{ m}}$$

$$15 * \varepsilon * t_f = 15 * 0,924 * 0,012 = \underline{0,166 \text{ 395}}$$

$$0,100 \leq 0,166 \text{ 395}$$

Jelikož je podmínka splněna, bere se do výpočtu celá šířka pásnice $b = 0,100 \text{ m}$.

Výpočet koeficientu c:

ČSN EN 1993-1-5: 5.4 (1) výraz (5.8)

$$c = a * \left(0,25 + \frac{1,6 * b_f * t_f^2 * f_{yf}}{t * h_w^2 * f_{yw}} \right) = 1,348 * \left(0,25 + \frac{1,6 * 0,100 * 0,012^2 * 275 \text{ 000 000}}{0,012 * 0,550^2 * 275 \text{ 000 000}} \right)$$

$$c = \underline{0,341 \text{ 579}}$$

Výpočet momentu únosnosti průřezu sestávající pouze z účinné plochy pásnic $M_{f,Rd}$:

Pro výpočet účinné plochy pásnice byl využit program AutoCad, kde byly odměřeny jednotlivé plochy pásnic a krčních úhelníků. U krčních úhelníku se brala vždy pouze plocha, která představuje pásnici (tedy vodorovná část profilu L). Dále se odměřily už pouze těžiště jednotlivých pásnic od celkového těžiště průřezu.

$$A_{\text{úhel,h}} = 0,002 \text{ 721 m}^2 \qquad z_h = 0,258 \text{ 913 m}$$

$$A_{\text{úhel,d}} = 0,002 \text{ 721 m}^2 \qquad z_d = 0,191 \text{ 061 m}$$

$$W_{fy} = 0,002 \text{ 721} * 0,258 \text{ 913} + 0,002 \text{ 721} * 0,191 \text{ 061}$$

$$W_{fy} = \underline{0,001 \text{ 224 m}^3}$$

$$M_{f,Rd} = \frac{W_{fy} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,001 \text{ 224} * 275 \text{ 000 000}}{1,10} = \underline{306 \text{ 044,079 Nm}}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f * t_f^2 * f_{yf}}{c * \gamma_{M1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = \frac{0,070 * 0,012^2 * 275 \text{ 000 000}}{0,341 \text{ 579} * 1,20} * \left(1 - \left(\frac{468 \text{ 050,760}}{306 \text{ 044,079}} \right)^2 \right)$$

$$V_{bf,Rd} = \underline{-12 \text{ 935,461 N}}$$

Jelikož byla únosnost pro ohybový moment pásnice plně využita ($M_{Ed} > M_{f,Rd}$), s příspěvkem pásnic se nepočítá a do dalších vzorců vstupuje pouze příspěvek stojiny.

Celková smyková návrhová únosnost

1. Podmínka

$$V_{b,Rd} = 873\,242,282 + 0,000 \leq \frac{1,2 * 275\,000\,000 * 0,550 * 0,012}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{b,Rd} = \underline{873\,242,282} \leq \underline{1\,047\,890,739}$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

2. Podmínka

$$\eta_3 = \frac{365\,888,820}{873\,242,282} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 0,419\,000 \leq 1,0$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Interakce mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

Pokud $\bar{\eta}_3$ nepřesáhne hodnotu 0,5, není nutné návrhovou únosnost pro ohybový moment a osovou sílu redukovat s ohledem na smykovou sílu. Jestliže je $\bar{\eta}_3$ větší než 0,5, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojině nosníku I, nebo nosníku komorového, splňovat následující podmínku. ČSN EN 1993-1-5: 7.1 (1)

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0 \quad \text{pro} \quad \eta_1 \geq \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}$$

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = \frac{365\,888,820}{873\,242,282}$$

$$\bar{\eta}_3 = 0,419\,000 \leq 0,5$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jelikož je podmínka splněná, výpočet nemusí pokračovat dále a můžeme říci, že průřez vyhovuje na interakci mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou.

Posouzení průřezu na klopení (Zjednodušený výpočet)

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

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

$$M_{c,Rd} = W_y * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{c,Rd} = 0,002\,811 * \frac{275\,000\,000}{1,20} = \underline{\underline{644\,210\,Nm}}$$

$$\lambda_1 = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = 3,14 * \sqrt{\frac{210\,000\,000\,000}{275\,000\,000}} = \underline{\underline{86,814\,681}}$$

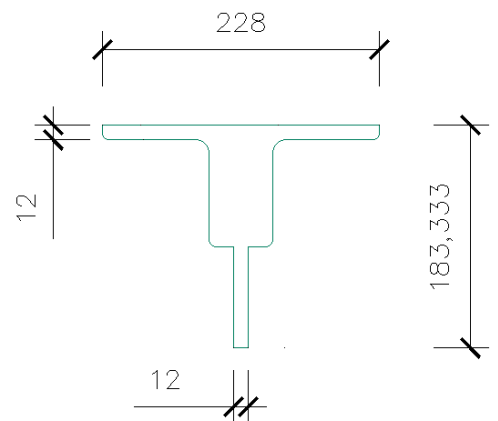
$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

Hodnoty pro plochu a moment setrvačnosti byly odměřeny v programu AutoCad, pro průřez, který se skládá z horních pásnic, horních krčních úhelníků a 1/3 výšky stojiny.

$$I_z = 0,000\,121\,165\,m^4$$

$$A = 0,008\,343\,m^2$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{0,000\,121\,165}{0,008\,343}} = \underline{\underline{0,120\,512\,m}}$$



Obrázek 101: Průřez pro výpočet klopení zesíleného prostředního příčníku_maximální M_y

Největší hodnotu štíhlosti se doporučuje následující hodnota:

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

$$\overline{\lambda}_{c0} = \underline{\underline{0,5}}$$

Stanovení opravného součinitele k_c :

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi} = \frac{1}{1,33 - 0,33 * \frac{65,72}{223,59}} = \underline{\underline{0,811\,028}}$$

$$\overline{\lambda}_1 = \frac{0,811\,028 * 1,348}{0,120\,512 * 86,814\,681} \leq 0,5 * \frac{644\,210}{468\,051}$$

$$\overline{\lambda}_1 = \underline{\underline{0,104\,458}} \leq \underline{\underline{0,688\,184}}$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
-144,381		365,889		468,051		-12,071	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
-47,686	-96,695	27,069	338,820	34,957	433,094	-7,791	-4,281

Tabulka 103: Vnitřní síly pro zesílený prostřední příčník_maximální M_y

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,550 * 0,012 * 275\,000\,000}{\sqrt{3} * 1,1} = 952\,627,944 \text{ N} = \underline{\underline{952,628 \text{ kN}}}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 * 338,820 + 27,069 = \underline{\underline{365,890 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{365,890}{952\,627,944} = \underline{\underline{0,384\,085 \text{ [-]}}}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{47\,686}{\frac{0,018\,887 * 275\,000\,000}{1,10}} + \frac{34\,957}{\frac{0,002\,811 * 275\,000\,000}{1,10}} + \frac{7\,791}{\frac{0,000\,224 * 275\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,010 + 0,050 + 0,139 = \underline{\underline{0,199 \text{ [-]}}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{96\,695}{\frac{0,018\,877 * 275\,000\,000}{1,10}} + \frac{433\,094}{\frac{0,002\,811 * 275\,000\,000}{1,10}} + \frac{4\,281}{\frac{0,000\,224 * 275\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,020 + 0,616 + 0,077 = \underline{\underline{0,713 \text{ [-]}}}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,RS}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,199}{0,713}$$

$$Z_{LM71} = \underline{\underline{1,123 [-]}}$$

Kontrolní přepočítání podmínky η_3 po prvním iteračním kroku:

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,123 * 338,820 + 27,069$$

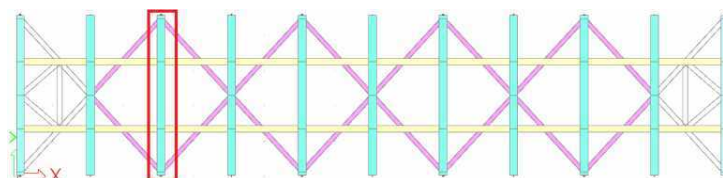
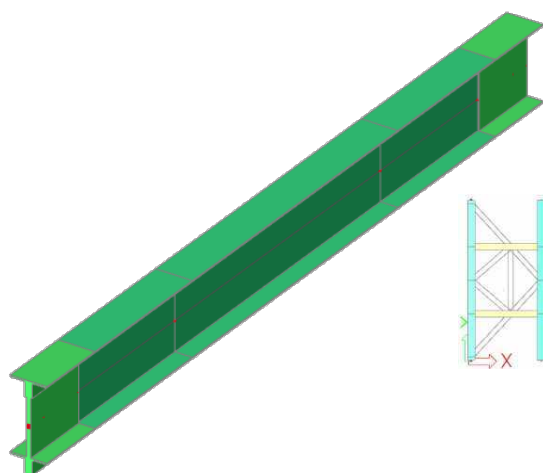
$$V_{Ed} = \underline{\underline{403,495 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{403,495}{952\,627,944} = \underline{\underline{0,429\,191 [-]}}$$

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy nemusíme pokračovat v iteračním postupu a hodnota zatížitelnosti je rovna $Z_{LM71} = 1,123 [-]$. Jelikož je zatížitelnost větší než jedna, prvek na zatížitelnost vyhovuje.

Zesílený prvek již vyhovuje na zatížitelnost, jelikož vyšla větší než jedna, v přechodnosti se již pokračovat nemusí, jelikož by vyšla menší než jedna, prvek je tedy přechodný.

7.1.4. Posouzení průřezu prostředního příčnicku v místě maximální smykové síly Vz



Obrázek 102: Příčnick prostřední_maximální Vz

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR12, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.27	BR Pp max Vz	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.27a	OS 75 Pp max Vz	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.27	LM71 Pp max Vz	1,30	1,00	1,49	1,00	1,00
8.27	C2 Pp max Vz	1,30	1,00	1,84	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-3,49 kN	5,66 kN	8,16 kNm	-0,65 kNm	-3,98 kN	6,45 kN	9,30 kNm	-0,74 kNm
-0,90 kN	1,20 kN	2,51 kNm	-0,14 kNm	-1,03 kN	1,37 kN	2,86 kNm	-0,16 kNm
-8,22 kN	6,03 kN	6,49 kNm	1,36 kNm	-8,32 kN	6,11 kN	6,57 kNm	0,00 kNm
18,32 kN	2,21 kN	6,05 kNm	-1,69 kNm	0,00 kN	1,99 kN	5,45 kNm	-1,52 kNm
-41,70 kN	8,52 kN	3,77 kNm	6,07 kNm	-54,21 kN	11,08 kN	4,90 kNm	0,00 kNm
-11,18 kN	8,45 kN	9,36 kNm	0,89 kNm	-14,53 kN	10,99 kN	12,17 kNm	0,00 kNm
8,40 kN	0,10 kN	1,72 kNm	-4,13 kNm	0,00 kN	0,07 kN	1,12 kNm	-2,68 kNm
-50,20 kN	175,00 kN	223,52 kNm	-2,67 kNm	-97,24 kN	338,98 kN	432,96 kNm	-5,17 kNm
-34,85 kN	126,13 kN	157,62 kNm	-0,85 kNm	-83,23 kN	301,21 kN	376,41 kNm	-2,03 kNm
-88,97 kN	207,17 kN	261,58 kNm	-0,96 kNm	-179,31	377,02	475,33	-10,28

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

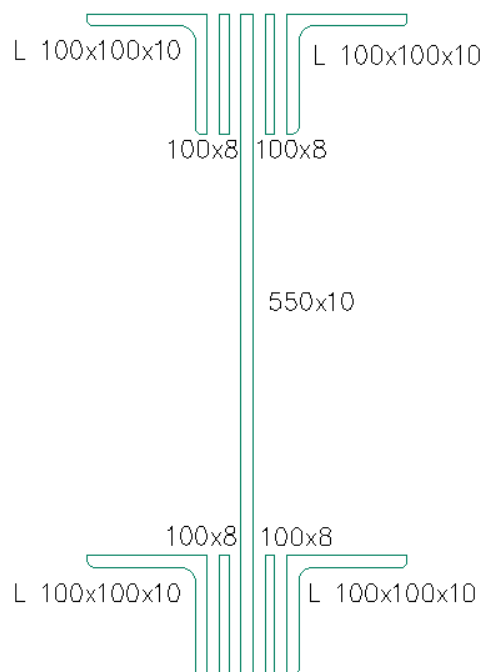
	Celkem	Rs	LM71
N =	-179,31	-82,07	-97,24
Vz =	377,02	38,04	338,98
My =	475,33	42,37	432,96
Mz =	-10,28	-5,11	-5,17

Tabulka 104: Kombinace pro prostřední příčnick_maximální Vz

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,550 m
Šířka pásnice b:	0,226 m
Tloušťka pásnice t_f :	0,010 m
Tloušťka stojiny t_w :	0,010 m
Výška stojiny h_w :	0,550 m
Krční úhelníky:	L 100x100x10



Obrázek 103: Průřez prostředního příčnicku_maximální Vz

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,016 363 m ²
Moment setrvačnosti I_y :	0,000 700 250 m ⁴
Moment setrvačnosti I_z :	0,000 020 405 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i_y :	0,207 m
Poloměr setrvačnosti i_z :	0,035 m
Průřezový elastický modul $W_{el,y}$:	0,002 455 300 m ³
Průřezový elastický modul $W_{el,z}$:	0,000 180 570 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,y}$:	0,003 200 400 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,z}$:	0,000 358 390 m ³

Posouzení průřezu při jednoosém ohybu

$$\eta_1 = \frac{179\,309}{\frac{210\,000\,000 \cdot 0,016\,363}{1,10}} + \frac{475\,325 + 179\,309 \cdot 0,000}{\frac{210\,000\,000 \cdot 0,002\,455}{1,10}}$$

$$\eta_1 = \underline{1,071\,442} \leq 1,0$$

NESPLNĚNÁ PODMÍNKA

Posouzení účinku boulení stěn vlivem normálových napětí

$$z_1 = 0,264\ 803\ \text{m}$$

$$z_2 = 0,285\ 197\ \text{m}$$

Výpočet napětí σ_1 a σ_2 :

$$W_{\sigma 1} = \frac{I_y}{z_1} = \frac{0,000\ 700}{0,264\ 803}$$

$$W_{\sigma 2} = \frac{I_y}{z_2} = \frac{0,000\ 700}{0,285\ 197}$$

$$W_{\sigma 1} = \underline{0,002\ 644\ \text{m}^3}$$

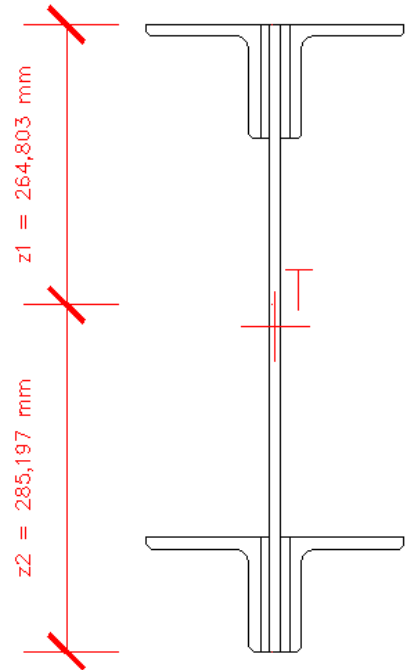
$$W_{\sigma 2} = \underline{0,002\ 455\ \text{m}^3}$$

$$\sigma_1 = \frac{M_y}{W_{\sigma 1}} = \frac{475\ 325,170}{0,002\ 644}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_y}{W_{\sigma 2}} = \frac{475\ 325,170}{0,002\ 455}$$

$$\sigma_1 = \underline{179,747\ \text{MPa}}$$

$$\sigma_2 = \underline{193,590\ \text{MPa}}$$



Obrázek 104: Těžiště průřezu prostředního příčnicku_maximální Vz

Výpočet poměru napětí ψ :

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{193,590}{179,747}$$

$$\psi = \underline{0,930}$$

$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Součinitel kritického napětí k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

$$k_\sigma = \frac{8,2}{1,05 + \psi} = \frac{8,2}{1,05 + 0,930}$$

$$k_\sigma = \underline{4,144\ 572}$$

Výpočet koeficientu $\bar{\lambda}_p$:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{0,350/0,010}{28,4 * 1,058 * \sqrt{4,145}}$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{0,572\ 250}$$

Stanovení součinitele boulení ρ :

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{0,572\ 250 - 0,055(3 + 0,930)}{0,572\ 250^2}$$

$$\rho = \underline{1,087\ 681}$$

Jelikož hodnota koeficientu vyšla $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$, není průřez náchylný na boulení a berou se tedy hodnoty $A_{\text{eff}} = A$ a $W_{\text{eff}} = W_{\text{ey}}$.

Posouzení průřezu na únosnost ve smyku

Příspěvek stojiny

Výpočet součinitele příspěvku stojiny χ_w :

Součinitel kritického napětí ve smyku k_τ :

$$\frac{a}{h_w} = \frac{1,348}{0,550} = \underline{2,450}$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a / h_w \geq 1$$

$$k_\tau = 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a / h_w < 1$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + k_{\tau sl} = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{0,550}{1,348}\right)^2 + 0 = \underline{6,006\ 389}$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} = \frac{0,550}{37,4 * 0,010 * 1,058 * \sqrt{6,006\ 389}}$$

$$\bar{\lambda}_w = \underline{0,567\ 231}$$

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$	η	η
$0,83 / \eta \leq \bar{\lambda}_w < 108$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 108$	$1,37 / (0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$

$$\eta = 1,2$$

$$0,83 / \eta = 0,83 / 1,2 = 0,691\ 667$$

Jak je z tabulky a výpočtu patrné, hodnota χ_w pro netuhou koncovou výztuhu bude rovna první hodnotě, jelikož $\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$.

$$\chi_w \leq 1,0;$$

$$\chi_w = \eta = 1,2 > 1,0$$

$$\chi_w = \underline{1,0}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{M1}} = \frac{1,0 * 210\ 000\ 000 * 0,550 * 0,010}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{bw,Rd} = \underline{555\ 699,634\ N}$$

Příspěvek pásnic

$$b_f = \underline{0,100 \text{ m}}$$

$$15 * \varepsilon * t_f = 15 * 1,058 * 0,010 = \underline{0,158 \text{ 678}}$$

$$0,100 \leq 0,158 \text{ 678}$$

Jelikož je podmínka splněna, bere se do výpočtu celá šířka pásnice $b = 0,100 \text{ m}$.

Výpočet koeficientu c:

$$c = a * \left(0,25 + \frac{1,6 * b_f * t_f^2 * f_{yf}}{t * h_w^2 * f_{yw}} \right) = 1,348 * \left(0,25 + \frac{1,6 * 0,100 * 0,010^2 * 210 \text{ 000 000}}{0,010 * 0,550^2 * 210 \text{ 000 000}} \right)$$

$$c = \underline{0,340 \text{ 795}}$$

Výpočet momentu únosnosti průřezu sestávající pouze z účinné plochy pásnic $M_{f,Rd}$:

Pro výpočet účinné plochy pásnice byl využit program AutoCad, kde byly odměřeny jednotlivé plochy pásnic a krčních úhelníků. U krčních úhelníku se brala vždy pouze plocha, která představuje pásnici (tedy vodorovná část profilu L). Dále se odměřily už pouze těžiště jednotlivých pásnic od celkového těžiště průřezu.

$$A_{\text{úhel.h}} = 0,002 \text{ 245 m}^2$$

$$z_h = 0,259 \text{ 828 m}$$

$$A_{\text{úhel.d}} = 0,002 \text{ 245 m}^2$$

$$z_d = 0,190 \text{ 172 m}$$

$$W_{fy} = 0,002 \text{ 245} * 0,259 \text{ 828} + 0,002 \text{ 245} * 0,190 \text{ 172}$$

$$W_{fy} = \underline{0,001 \text{ 010 m}^3}$$

$$M_{f,Rd} = \frac{W_{fy} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,001 \text{ 010} * 210 \text{ 000 000}}{1,10} = \underline{192 \text{ 827,164 Nm}}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f * t_f^2 * f_{yf}}{c * \gamma_{M1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = \frac{0,100 * 0,010^2 * 210 \text{ 000 000}}{0,340 \text{ 795} * 1,20} * \left(1 - \left(\frac{475 \text{ 473,760}}{192 \text{ 827,164}} \right)^2 \right)$$

$$V_{bf,Rd} = \underline{-26 \text{ 067,493 N}}$$

Jelikož byla únosnost pro ohybový moment pásnice plně využita ($M_{Ed} > M_{f,Rd}$), s příspěvkem pásnic se nepočítá a do dalších vzorců vstupuje pouze příspěvek stojiny.

Celková smyková návrhová únosnost

1. Podmínka

$$V_{b,Rd} = 555\,699,634 + 0,000 \leq \frac{1,2 * 210\,000\,000 * 0,550 * 0,010}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{b,Rd} = \underline{555\,699,634} \leq \underline{666\,839,561}$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

2. Podmínka

$$\eta_3 = \frac{377\,015,780}{555\,699,634} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 0,678\,452 \leq 1,0$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Interakce mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

Pokud $\bar{\eta}_3$ nepřesáhne hodnotu 0,5, není nutné návrhovou únosnost pro ohybový moment a osovou sílu redukovat s ohledem na smykovou sílu. Jestliže je $\bar{\eta}_3$ větší než 0,5, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojině nosníku I, nebo nosníku komorového, splňovat následující podmínku.

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0 \quad \text{pro} \quad \eta_1 \geq \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}$$

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = \frac{377\,015,780}{555\,699,634}$$

$$\bar{\eta}_3 = 0,678\,452 \leq 0,5$$

NESPLNĚNÁ PODMÍNKÁ

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,003\,200 * 210\,000\,000}{1,10} = \underline{610\,985,455 \text{ Nm}}$$

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{475\,325,170}{610\,985,455}$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{0,777\,965}$$

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0$$

$$0,777\ 965 + \left(1 - \frac{192\ 827,164}{610\ 985,500}\right) * (2 * 0,678\ 452 - 1)^2 \leq 1,0$$

$$\underline{0,865\ 144} \leq 1,0$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Posouzení průřezu na klopení (Zjednodušený výpočet)

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

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

$$M_{c,Rd} = W_y * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{c,Rd} = 0,002\ 455 * \frac{210\ 000\ 000}{1,20} = \underline{429\ 677,500\ Nm}$$

$$\lambda_1 = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = 3,14 * \sqrt{\frac{210\ 000\ 000\ 000}{210\ 000\ 000}} = \underline{99,345\ 883}$$

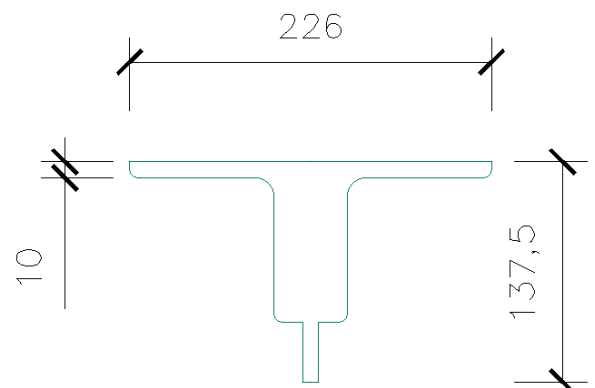
$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

Hodnoty pro plochu a moment setrvačnosti byly odměřeny v programu AutoCad, pro průřez, který se skládal z horních pásnic, horních krčnicích úhelníků a ¼ výšky stojiny.

$$I_z = 0,000\ 102\ 954\ m^4$$

$$A = 0,007\ 264\ m^2$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{0,000\ 102\ 954}{0,007\ 264}} = \underline{0,119\ 050\ m}$$



Obrázek 105: Průřez pro výpočet klopení prostředního příčnicku_maximální Vz

Největší hodnotu štíhlosti se doporučuje následující hodnota:

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

$$\overline{\lambda}_{c0} = \underline{0,5}$$

Stanovení opravného součinitele k_c :

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi} = \frac{1}{1,33 - 0,33 \cdot \frac{65,58}{223,52}} = \underline{0,810\ 912}$$

$$\overline{\lambda}_1 = \frac{0,810\ 912 \cdot 1,348}{0,119\ 050 \cdot 99,345\ 883} \leq 0,5 \cdot \frac{429\ 678}{475\ 325}$$

$$\overline{\lambda}_1 = \underline{0,092\ 390} \leq \underline{0,451\ 983}$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
-179,309		377,016		475,325		-10,278	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
-82,071	-97,237	38,041	338,975	42,367	432,958	-5,106	-5,172

Tabulka 105: Vnitřní síly pro prostřední příčník_maximální Vz

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \overline{\eta_3} = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,550 \cdot 0,010 \cdot 210\ 000\ 000}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 606\ 217,783\ \text{N} = 606,218\ \underline{\text{kN}}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} \cdot V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 \cdot 338,975 + 38,041 = \underline{377,020\ \text{kN}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{377,020}{606,218} = \underline{0,621\ 922\ [-]}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je větší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{82\,071}{\frac{0,016\,363 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{42\,367}{\frac{0,002\,455 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{5\,106}{\frac{0,000\,181 \cdot 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,026 + 0,090 + 0,148 = \underline{0,265 [-]}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{97\,237}{\frac{0,016\,363 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{432\,958}{\frac{0,002\,455 \cdot 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{5\,172}{\frac{0,000\,181 \cdot 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,031 + 0,740 + 0,218 = \underline{1,105 [-]}$$

$$\eta_{3,Rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{38\,041}{606\,218}$$

MP A.2.2.11_vztah (A.14)

$$\eta_{3,Rs} = \underline{0,063 [-]}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{338\,975}{606\,218}$$

MP A.2.2.11_vztah (A.15)

$$\eta_{3,Rs} = \underline{0,559 [-]}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,N,Rd}}{M_{pl,N,Rd}} \right) = 1 - \left(\frac{192\,827,160}{610\,985,450} \right)$$

MP A.2.2.11_vztah (A.16)

$$k = \underline{0,684\,400 [-]}$$

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

MP A.2.2.11_vztah (A.16)

$$0,855\,949 * Z_{LM71}^2 - 0,233\,832 * Z_{LM71} - 0,211\,829 = 0$$

$$D = (-0,233\,832)^2 - 4 * 0,855\,949 * (-0,211\,829) = 0,779\,936$$

$$Z_{LM71,1} = \frac{0,233\,832 + \sqrt{0,779\,936}}{2 * 0,855\,949} = 0,652\,476$$

$$Z_{LM71,2} = \frac{0,233\,832 - \sqrt{0,779\,936}}{2 * 0,855\,949} = -0,379\,291$$

$$Z_{LM71} = Z_{LM71,1} = \underline{0,652}$$

Jelikož zatížitelnost vyšla menší než 1,0, je možnost provést redukce ostatních účinků od zatížení železniční dopravou (účinky bočního rázu, rozjezdová a brzdňá síla a zároveň odstředivé síly) o vypočítanou zatížitelnost. Výslednou hodnotu zatížitelnosti Z_{LM71} je třeba určit iterační formou výpočtu.

MP 4.7.7

V následujících tabulkách jsou znázorněny změny hodnot vnitřních sil od ostatních zatížení železniční dopravy po jednotlivých iteracích. Dále jsou v tabulkách znázorněny jednotlivé změny zatížitelnosti, které se počítaly stejným způsobem, jako v předchozím případě výpočtu Z_{LM71} .

Iterace č. 0				Iterace č. 1				Iterace č. 2				Iterace č. 3			
0,652				0,701				0,694				0,691			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-3,98	6,45	9,30	-0,74	-3,98	6,45	9,30	-0,74	-3,98	6,45	9,30	-0,74	-3,98	6,45	9,30	-0,74
-1,03	1,37	2,86	-0,16	-1,03	1,37	2,86	-0,16	-1,03	1,37	2,86	-0,16	-1,03	1,37	2,86	-0,16
-8,32	6,11	6,57	0,00	-8,32	6,11	6,57	0,00	-8,32	6,11	6,57	0,00	-8,32	6,11	6,57	0,00
0,00	1,99	5,45	-1,52	0,00	1,99	5,45	-1,52	0,00	1,99	5,45	-1,52	0,00	1,99	5,45	-1,52
-54,21	11,08	4,90	0,00	-35,37	7,23	3,20	0,00	-37,99	7,76	3,43	0,00	-37,63	7,69	3,40	0,00
-14,53	10,99	12,17	0,00	-9,48	7,17	7,94	0,00	-10,18	7,70	8,53	0,00	-10,09	7,62	8,45	0,00
0,00	0,07	1,12	-2,68	0,00	0,04	0,73	-1,75	0,00	0,05	0,78	-1,88	-10,09	0,05	0,78	-1,86
-97,24	338,98	432,96	-5,17	-97,24	338,98	432,96	-5,17	-97,24	338,98	432,96	-5,17	-97,24	338,98	432,96	-5,17

Iterace č. 4				Iterace č. 5				Iterace č. 6				Iterace č. 7			
0,695				0,695				0,695				0,695			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-3,98	6,45	9,30	-0,74	-3,98	6,45	9,30	-0,74	-3,98	6,45	9,30	-0,74	-3,98	6,45	9,30	-0,74
-1,03	1,37	2,86	-0,16	-1,03	1,37	2,86	-0,16	-1,03	1,37	2,86	-0,16	-1,03	1,37	2,86	-0,16
-8,32	6,11	6,57	0,00	-8,32	6,11	6,57	0,00	-8,32	6,11	6,57	0,00	-8,32	6,11	6,57	0,00
0,00	1,99	5,45	-1,52	0,00	1,99	5,45	-1,52	0,00	1,99	5,45	-1,52	0,00	1,99	5,45	-1,52
-37,49	7,66	3,39	0,00	-37,70	7,70	3,41	0,00	-37,67	7,70	3,41	0,00	-37,67	7,70	3,41	0,00
-10,05	7,60	8,41	0,00	-10,11	7,64	8,46	0,00	-10,10	7,63	8,45	0,00	-10,10	7,63	8,46	0,00
0,00	0,04	0,77	-1,86	0,00	0,05	0,78	-1,87	0,00	0,05	0,78	-1,87	0,00	0,05	0,78	-1,87
-97,24	338,98	432,96	-5,17	-97,24	338,98	432,96	-5,17	-97,24	338,98	432,96	-5,17	-97,24	338,98	432,96	-5,17

Tabulka 106: Iterace pro prostřední příčnik_maximální Vz

Jak je z posledního sedmého kroku iterace patrné, poslední zatížitelnost, a tím tedy i výsledná zatížitelnost, je rovna hodnotě $Z_{LM71} = 0,695 [-]$.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,84}{1,49} = \underline{\underline{1,233 [-]}}$$

Zatížení	γ_f	N	Vz	My	Mz
$M_{ttz,C2} =$	1,30	-34,85	126,13	157,62	-0,85
$M_{LM71} =$	1,30	-50,20	175,00	223,52	-2,67

Tabulka 107: Vnitřní síly od vlaků pro prostřední příčnick_maximální Vz

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 * (-34,850)}{1,3 * (-50,200)} = \underline{\underline{0,694 [-]}}$$

$$\text{pro Vz: } \lambda_{LM71,Vz} = \frac{1,3 * 126,130}{1,3 * 175,000} = \underline{\underline{0,721 [-]}}$$

$$\text{pro My: } \lambda_{LM71,My} = \frac{1,3 * 157,620}{1,3 * 223,520} = \underline{\underline{0,705 [-]}}$$

$$\text{pro Mz: } \lambda_{LM71,Mz} = \frac{1,3 * (-0,850)}{1,3 * (-2,670)} = \underline{\underline{0,318 [-]}}$$

$$\text{pro N: } k_{i,N} = \frac{0,020 + 0,031}{0,222 + 1,105} = \underline{\underline{0,038 [-]}}$$

$$\text{pro Vz: } k_{i,Vz} = \frac{0,000 + 0,000}{0,222 + 1,105} = \underline{\underline{0,000 [-]}}$$

$$\text{pro My: } k_{i,My} = \frac{0,079 + 0,924}{0,222 + 1,105} = \underline{\underline{0,755 [-]}}$$

$$\text{pro Mz: } k_{i,Mz} = \frac{0,124 + 0,150}{0,222 + 1,105} = \underline{\underline{0,207 [-]}}$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

$$0,695 \geq (0,694 * 1,233 * 0,038) + (0,000 * 1,233 * 0,721) + (0,755 * 1,233 * 0,705) + (0,207 * 1,233 * 0,318)$$

$$0,695 \geq 0,770$$

NESPLNĚNÁ PODMÍNKÁ

Jak je patrné z nesplněné podmínky, prvek nevyhověl na posudek zatížitelnosti, ani na posudek přechodnosti. Prvek je nepřechodný pro traťovou rychlost 75 km/h. Je potřeba jej tedy posoudit na nižší rychlost, a to rychlost na mostě 60 km/h

7.1.4.1. Posouzení průřezu pro rychlost na mostě $v = 60 \text{ km/h}$

Výpočet zatížitelnosti

Jelikož má rychlost pouze vliv na odstředivé síly, ve výpočtu se tedy změní pouze hodnoty vnitřních sil odstředivých sil, všechny ostatní hodnoty zůstávají stejné.

5.27	OS 60 Pp max Vz	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00	
Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
-7,14 kN	5,40 kN	5,99 kNm	0,54 kNm	-9,28 kN	7,02 kN	7,79 kNm	0,00 kNm

Tabulka 108: Odstředivé síly pro rychlost 60 km/h pro střední příčnick_maximální Vz

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou cel jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou Rs,Ed jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou LM71,Ed.

N _{cel} [kN]		V _{z,cel} [kN]		M _{y,cel} [kNm]		M _{z,cel} [kNm]	
-174,070		373,064		470,944		-10,278	
N _{Rs,Ed}	N _{LM71,Ed}	V _{z,Rs,Ed}	V _{z,LM71,Ed}	M _{y,Rs,Ed}	M _{y,LM71,Ed}	M _{z,Rs,Ed}	M _{z,LM71,Ed}
-76,832	-97,237	34,089	338,975	37,986	432,958	-5,106	-5,172

Tabulka 109: Vnitřní síly pro rychlost 60 km/h pro střední příčnick_maximální Vz

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,550 \cdot 0,010 \cdot 210\,000\,000}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 606\,217,783 \text{ N} = 606,218 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} \cdot V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 \cdot 338,975 + 34,089 = 373,060 \text{ kN}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{373,060}{606,218} = 0,615\,389 \text{ [-]}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je větší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{76\,832}{\frac{0,016\,363 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{37\,986}{\frac{0,002\,455 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{5\,106}{\frac{0,000\,181 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,025 + 0,081 + 0,148 = \underline{0,254 [-]}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{97\,237}{\frac{0,016\,363 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{432\,958}{\frac{0,002\,455 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{5\,172}{\frac{0,000\,181 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,031 + 0,740 + 0,218 = \underline{1,105 [-]}$$

$$\eta_{3,Rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{34\,089}{606\,218} \quad MP\ A.2.2.11_vztah\ (A.14)$$

$$\eta_{3,Rs} = \underline{0,056 [-]}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{338\,975}{606\,218} \quad MP\ A.2.2.11_vztah\ (A.15)$$

$$\eta_{3,Rs} = \underline{0,559 [-]}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,N,Rd}}{M_{pl,N,Rd}} \right) = 1 - \left(\frac{192\,827,160}{610\,985,450} \right) \quad MP\ A.2.2.11_vztah\ (A.16)$$

$$k = \underline{0,684\,400 [-]}$$

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

MP A.2.2.11_vztah (A.16)

$$0,855\,949 * Z_{LM71}^2 - 0,253\,790 * Z_{LM71} - 0,207\,129 = 0$$

$$D = (-0,253\,790)^2 - 4 * 0,855\,949 * (-0,207\,129) = 0,773\,577$$

$$Z_{LM71,1} = \frac{0,253\,790 + \sqrt{0,773\,577}}{2 * 0,855\,949} = 0,662\,027$$

$$Z_{LM71,2} = \frac{0,253\,790 - \sqrt{0,773\,577}}{2 * 0,855\,949} = -0,365\,525$$

$$Z_{LM71} = Z_{LM71,1} = \underline{0,662}$$

Jelikož zatížitelnost vyšla menší než 1,0, je možnost provést redukce ostatních účinků od zatížení železniční dopravou (účinky bočního rázu, rozjezdová a brzdná síla a zároveň

odstředivé síly) o vypočítanou zatížitelnost. Výslednou hodnotu zatížitelnosti Z_{LM71} je třeba určit iterační formou výpočtu.

MP 4.7.7

V následujících tabulkách jsou znázorněny změny hodnot vnitřních sil od ostatních zatížení železniční dopravy po jednotlivých iteracích. Dále jsou v tabulkách znázorněny jednotlivé změny zatížitelnosti, které se počítaly stejným způsobem, jako v předchozím případě výpočtu Z_{LM71} .

Iterace č. 0				Iterace č. 1				Iterace č. 2				Iterace č. 3			
0,662				0,706				0,700				0,699			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-3,98	6,45	9,30	-0,74	-3,98	6,45	9,30	-0,74	-3,98	6,45	9,30	-0,74	-3,98	6,45	9,30	-0,74
-1,03	1,37	2,86	-0,16	-1,03	1,37	2,86	-0,16	-1,03	1,37	2,86	-0,16	-1,03	1,37	2,86	-0,16
-8,32	6,11	6,57	0,00	-8,32	6,11	6,57	0,00	-8,32	6,11	6,57	0,00	-8,32	6,11	6,57	0,00
0,00	1,99	5,45	-1,52	0,00	1,99	5,45	-1,52	0,00	1,99	5,45	-1,52	0,00	1,99	5,45	-1,52
-54,21	11,08	4,90	0,00	-35,89	7,33	3,24	0,00	-38,26	7,82	3,46	0,00	-37,96	7,76	3,43	0,00
-9,30	7,03	7,79	0,00	-6,15	4,66	5,16	0,00	-6,56	4,96	5,50	0,00	-6,51	4,92	5,45	0,00
0,00	0,07	1,12	-2,68	0,00	0,04	0,74	-1,78	0,00	0,05	0,79	-1,89	-6,51	0,05	0,78	-1,88
-97,24	338,98	432,96	-5,17	-97,24	338,98	432,96	-5,17	-97,24	338,98	432,96	-5,17	-97,24	338,98	432,96	-5,17

Iterace č. 4				Iterace č. 5				Iterace č. 6				Iterace č. 7			
0,701				0,701				0,701				0,701			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-3,98	6,45	9,30	-0,74	-3,98	6,45	9,30	-0,74	-3,98	6,45	9,30	-0,74	-3,98	6,45	9,30	-0,74
-1,03	1,37	2,86	-0,16	-1,03	1,37	2,86	-0,16	-1,03	1,37	2,86	-0,16	-1,03	1,37	2,86	-0,16
-8,32	6,11	6,57	0,00	-8,32	6,11	6,57	0,00	-8,32	6,11	6,57	0,00	-8,32	6,11	6,57	0,00
0,00	1,99	5,45	-1,52	0,00	1,99	5,45	-1,52	0,00	1,99	5,45	-1,52	0,00	1,99	5,45	-1,52
-37,87	7,74	3,42	0,00	-38,01	7,77	3,44	0,00	-37,99	7,76	3,43	0,00	-37,99	7,76	3,43	0,00
-6,49	4,91	5,44	0,00	-6,52	4,93	5,46	0,00	-6,51	4,93	5,46	0,00	-6,51	4,93	5,46	0,00
0,00	0,05	0,78	-1,88	0,00	0,05	0,78	-1,88	0,00	0,05	0,78	-1,88	0,00	0,05	0,78	-1,88
-97,24	338,98	432,96	-5,17	-97,24	338,98	432,96	-5,17	-97,24	338,98	432,96	-5,17	-97,24	338,98	432,96	-5,17

Tabulka 110: Iterace pro rychlost 60 km/h pro prostřední píčník_maximální Vz

Jak je z posledního sedmého kroku iterace patrné, poslední zatížitelnost, a tím tedy i výsledná zatížitelnost, je rovna hodnotě $Z_{LM71} = 0,701 [-]$.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,84}{1,68} = \underline{\underline{1,095}} [-]$$

Zatížení	γ_f	N	Vz	My	Mz
$M_{ttz,C2} =$	1,30	-34,85	126,13	157,62	-0,85
$M_{LM71} =$	1,30	-50,20	175,00	223,52	-2,67

Tabulka 111: Vnitřní síly od vlaků pro rychlost 60 km/h pro prostřední příčník_maximální Vz

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3*(-34,850)}{1,3*(-50,200)} = \underline{\underline{0,694}} [-]$$

$$\text{pro Vz: } \lambda_{LM71,Vz} = \frac{1,3*126,130}{1,3*175,000} = \underline{\underline{0,721}} [-]$$

$$\text{pro My: } \lambda_{LM71,My} = \frac{1,3 * 157,620}{1,3*223,520} = \underline{\underline{0,705}} [-]$$

$$\text{pro Mz: } \lambda_{LM71,Mz} = \frac{1,3 * (-0,850)}{1,3*(-2,670)} = \underline{\underline{0,318}} [-]$$

$$\text{pro N: } k_{i,N} = \frac{0,019+0,031}{0,212+1,105} = \underline{\underline{0,038}} [-]$$

$$\text{pro Vz: } k_{i,Vz} = \frac{0,000+0,000}{0,212+1,105} = \underline{\underline{0,000}} [-]$$

$$\text{pro My: } k_{i,My} = \frac{0,072+0,924}{0,212+1,105} = \underline{\underline{0,754}} [-]$$

$$\text{pro Mz: } k_{i,Mz} = \frac{0,125+0,150}{0,212+1,105} = \underline{\underline{0,208}} [-]$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

$$0,701 \geq (0,694 * 1,095 * 0,038) + (0,000 * 1,095 * 0,721) + (0,754 * 1,095 * 0,705) + (0,208 * 1,095 * 0,318)$$

$$0,701 \geq 0,683$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jak je patrné ze splněné podmínky, prvek nevyhověl na posudek zatížitelnosti, ale na posudek přechodnosti vyhověl s výpočtem rychlosti na mostě 60 km/h. Prvek je nepřechodný pro traťovou rychlost 75 km/h ale je přechodný pro rychlost na mostě 60 km/h. Jelikož ale nevyšel na jednoosý ohyb, zesílíme jej.

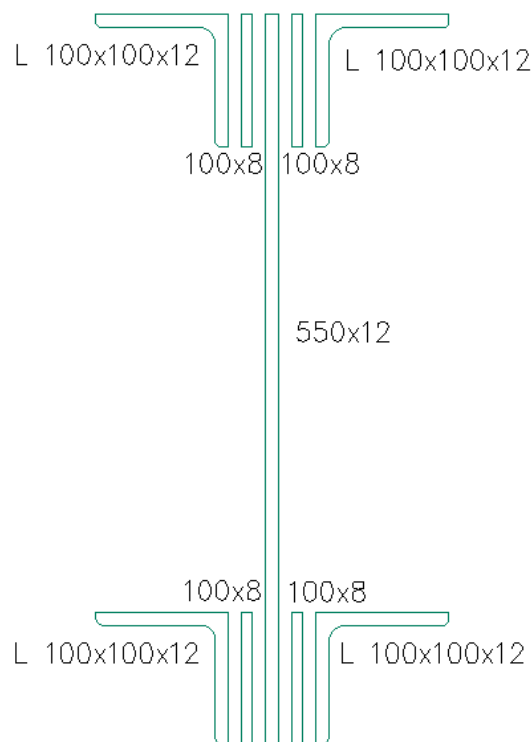
7.1.4.2. Posouzení průřezu po zesílení průřezu

Průřez byl zesílen v místech krčnicích úhelníku z původní tloušťky 10 mm na novou hodnotu 12 mm a v místě stojiny z původních 10 mm na novou hodnotu 12 mm. Dále byl změněn materiál na dnes používanou ocel S 275.

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,550 m
Šířka pásnice b:	0,228 m
Tloušťka pásnice t_f :	0,012 m
Tloušťka stojiny t_w :	0,012 m
Výška stojiny h_w :	0,550 m
Krční úhelníky:	L 100x100x12



Obrázek 106: Průřez zesíleného prostředního příčniku_maximální Vz

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,018 887 m ²
Moment setrvačnosti I_y :	0,000 801 410 m ⁴
Moment setrvačnosti I_z :	0,000 025 503 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i_y :	0,206 m
Poloměr setrvačnosti i_z :	0,037 m
Průřezový elastický modul $W_{el,y}$:	0,002 811 100 m ³
Průřezový elastický modul $W_{el,z}$:	0,000 223 710 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,y}$:	0,003 672 100 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,z}$:	0,000 442 770 m ³

Posouzení průřezu při jednoosém ohybu

$$\eta_1 = \frac{144\,936}{275\,000\,000 \cdot 0,019\,277} + \frac{467\,908 + 144\,936 \cdot 0,000}{275\,000\,000 \cdot 0,002\,797}$$

$$\eta_1 = \underline{0,696\,495} \leq 1,0$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Posouzení účinku boulení stěn vlivem normálových napětí

$$z_1 = 0,264\ 913\ \text{m}$$

$$z_2 = 0,285\ 087\ \text{m}$$

Výpočet napětí σ_1 a σ_2 :

$$W_{\sigma 1} = \frac{I_y}{z_1} = \frac{0,000\ 801}{0,264\ 913}$$

$$W_{\sigma 2} = \frac{I_y}{z_2} = \frac{0,000\ 801}{0,285\ 087}$$

$$W_{\sigma 1} = \underline{0,003\ 025\ \text{m}^3}$$

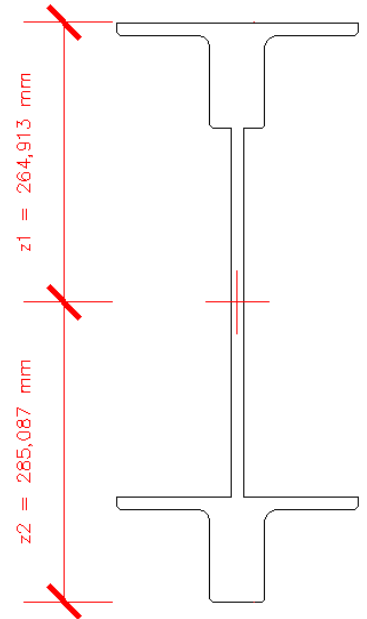
$$W_{\sigma 2} = \underline{0,002\ 811\ \text{m}^3}$$

$$\sigma_1 = \frac{M_y}{W_{\sigma 1}} = \frac{467\ 098,670}{0,003\ 025}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_y}{W_{\sigma 2}} = \frac{467\ 098,670}{0,002\ 811}$$

$$\sigma_1 = \underline{154,671\ \text{MPa}}$$

$$\sigma_2 = \underline{166,450\ \text{MPa}}$$



Obrázek 107: Těžiště průřezu zesíleného prostředního příčniku _maximální Vz

Výpočet poměru napětí ψ :

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{154,671}{166,450}$$

$$\psi = \underline{0,929}$$

$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Součinitel kritického napětí k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

$$k_\sigma = \frac{8,2}{1,05 + \psi} = \frac{8,2}{1,05 + 0,929}$$

$$k_\sigma = \underline{4,143\ 014}$$

Výpočet koeficientu $\bar{\lambda}_p$:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{0,350/0,012}{28,4 * 0,924 * \sqrt{4,143}}$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{0,545\ 812}$$

Stanovení součinitele boulení ρ :

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{0,545\ 812 - 0,055(3 + 0,929)}{0,545\ 812^2}$$

$$\rho = \underline{1,106\ 721}$$

Jelikož hodnota koeficientu vyšla $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$, není průřez náchylný na boulení a berou se tedy hodnoty $A_{\text{eff}} = A$ a $W_{\text{eff}} = W_{\text{ey}}$.

Posouzení průřezu na únosnost ve smyku

Příspěvek stojiny

Výpočet součinitele příspěvku stojiny χ_w :

Součinitel kritického napětí ve smyku k_τ :

$$\frac{a}{h_w} = \frac{1,348}{0,550} = \underline{2,450}$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a/h_w \geq 1$$

$$k_\tau = 4,00 + 5,34 \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a/h_w < 1$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + k_{\tau sl} = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{0,550}{1,348}\right)^2 + 0 = \underline{6,006\ 389}$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} = \frac{0,550}{37,4 * 0,012 * 0,924 * \sqrt{6,006\ 389}}$$

$$\bar{\lambda}_w = \underline{0,540\ 923}$$

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

$$\eta = 1,2$$

$$0,83/\eta = 0,83/1,2 = 0,691\ 667$$

Jak je z tabulky a výpočtu patrné, hodnota χ_w pro netuhou koncovou výztuhu bude rovna první hodnotě, jelikož $\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$.

$$\chi_w \leq 1,0;$$

$$\chi_w = \eta = 1,2 > 1,0$$

$$\chi_w = \underline{1,0}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{M1}} = \frac{1,0 * 275\ 000\ 000 * 0,550 * 0,012}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{bw,Rd} = \underline{873\ 242,282\ N}$$

Příspěvek pásnic

$$b_f = \underline{0,100 \text{ m}}$$

$$15 * \varepsilon * t_f = 15 * 0,924 * 0,012 = \underline{0,166 \text{ 395}}$$

$$0,100 \leq 0,166 \text{ 395}$$

Jelikož je podmínka splněna, bere se do výpočtu celá šířka pásnice $b = 0,100 \text{ m}$.

Výpočet koeficientu c:

ČSN EN 1993-1-5: 5.4 (1) výraz (5.8)

$$c = a * \left(0,25 + \frac{1,6 * b_f * t_f^2 * f_{yf}}{t * h_w^2 * f_{yw}} \right) = 1,348 * \left(0,25 + \frac{1,6 * 0,100 * 0,012^2 * 275 \text{ 000 000}}{0,012 * 0,550^2 * 275 \text{ 000 000}} \right)$$

$$c = \underline{0,341 \text{ 579}}$$

Výpočet momentu únosnosti průřezu sestávající pouze z účinné plochy pásnic $M_{f,Rd}$:

Pro výpočet účinné plochy pásnice byl využit program AutoCad, kde byly odměřeny jednotlivé plochy pásnic a krčnicích úhelníků. U krčnicích úhelníku se brala vždy pouze plocha, která představuje pásnici (tedy vodorovná část profilu L). Dále se odměřily už pouze těžiště jednotlivých pásnic od celkového těžiště průřezu.

$$A_{\text{úhel,h}} = 0,002 \text{ 721 m}^2$$

$$z_h = 0,258 \text{ 913 m}$$

$$A_{\text{úhel,d}} = 0,002 \text{ 721 m}^2$$

$$z_d = 0,191 \text{ 061 m}$$

$$W_{fy} = 0,002 \text{ 721} * 0,258 \text{ 913} + 0,002 \text{ 721} * 0,191 \text{ 061}$$

$$W_{fy} = \underline{0,001 \text{ 224 m}^3}$$

$$M_{f,Rd} = \frac{W_{fy} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,001 \text{ 224} * 275 \text{ 000 000}}{1,10} = \underline{306 \text{ 044,079 Nm}}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f * t_f^2 * f_{yf}}{c * \gamma_{M1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = \frac{0,070 * 0,012^2 * 275 \text{ 000 000}}{0,341 \text{ 579} * 1,20} * \left(1 - \left(\frac{467 \text{ 908,670}}{306 \text{ 044,079}} \right)^2 \right)$$

$$V_{bf,Rd} = \underline{-12 \text{ 621,743 N}}$$

Jelikož byla únosnost pro ohybový moment pásnice plně využita ($M_{Ed} > M_{f,Rd}$), s příspěvkem pásnic se nepočítá a do dalších vzorců vstupuje pouze příspěvek stojiny.

Celková smyková návrhová únosnost

1. Podmínka

$$V_{b,Rd} = 873\,242,282 + 0,000 \leq \frac{1,2 * 275\,000\,000 * 0,550 * 0,012}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{b,Rd} = \underline{873\,242,282} \leq \underline{1\,047\,890,739}$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

2. Podmínka

$$\eta_3 = \frac{366\,050,280}{873\,242,282} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 0,419\,185 \leq 1,0$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Interakce mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

Pokud $\bar{\eta}_3$ nepřesáhne hodnotu 0,5, není nutné návrhovou únosnost pro ohybový moment a osovou sílu redukovat s ohledem na smykovou sílu. Jestliže je $\bar{\eta}_3$ větší než 0,5, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojině nosníku I, nebo nosníku komorového, splňovat následující podmínku. ČSN EN 1993-1-5: 7.1 (1)

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0 \quad \text{pro} \quad \eta_1 \geq \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}$$

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = \frac{366\,050,280}{873\,242,282}$$

$$\bar{\eta}_3 = 0,419\,185 \leq 0,5$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jelikož je podmínka splněná, výpočet nemusí pokračovat dále a můžeme říci, že průřez vyhovuje na interakci mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou.

Posouzení průřezu na klopení (Zjednodušený výpočet)

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

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

$$M_{c,Rd} = W_y * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{c,Rd} = 0,002\,811 * \frac{275\,000\,000}{1,20} = \underline{\underline{644\,210\,Nm}}$$

$$\lambda_1 = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = 3,14 * \sqrt{\frac{210\,000\,000\,000}{275\,000\,000}} = \underline{\underline{86,814\,681}}$$

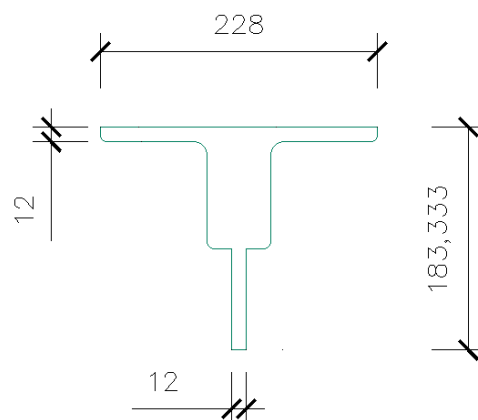
$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

Hodnoty pro plochu a moment setrvačnosti byly odměřeny v programu AutoCad, pro průřez, který se skládá z horních pásnic, horních krčních úhelníků a 1/3 výšky stojiny.

$$I_z = 0,000\,121\,165\,m^4$$

$$A = 0,008\,343\,m^2$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{0,000\,121\,165}{0,008\,343}} = \underline{\underline{0,120\,512\,m}}$$



Největší hodnotu štíhlosti se doporučuje následující hodnota:

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

$$\overline{\lambda}_{c0} = \underline{\underline{0,5}}$$

Obrázek 108: Průřez pro výpočet klopení zesíleného prostředního příčnicku_maximální Vz

Stanovení opravného součinitele k_c :

$$k_c = \frac{1}{1,33-0,33\psi} = \frac{1}{1,33-0,33*\frac{65,58}{223,52}} = \underline{\underline{0,810\,912}}$$

$$\overline{\lambda}_1 = \frac{0,810\,912 * 1,348}{0,120\,512 * 86,814\,681} \leq 0,5 * \frac{644\,210}{467\,909}$$

$$\overline{\lambda}_1 = \underline{\underline{0,104\,443}} \leq \underline{\underline{0,688\,393}}$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
-144,937		366,050		467,909		-12,962	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
-47,699	-97,237	27,075	338,975	34,950	432,958	-7,791	-5,172

Tabulka 112: Vnitřní síly pro zesílený prostřední příčník_maximální Vz

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,550 * 0,012 * 275\,000\,000}{\sqrt{3} * 1,1} = 952\,627,944 \text{ N} = \underline{\underline{952,628 \text{ kN}}}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 * 338,975 + 27,075 = \underline{\underline{366,050 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{366,050}{952\,627,944} = \underline{\underline{0,384\,253 \text{ [-]}}}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{47\,699}{\frac{0,018\,887 * 275\,000\,000}{1,10}} + \frac{34\,950}{\frac{0,002\,811 * 275\,000\,000}{1,10}} + \frac{7\,791}{\frac{0,000\,224 * 275\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,010 + 0,050 + 0,139 = \underline{\underline{0,199 \text{ [-]}}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{97\,237}{\frac{0,018\,877 * 275\,000\,000}{1,10}} + \frac{432\,958}{\frac{0,002\,811 * 275\,000\,000}{1,10}} + \frac{5\,172}{\frac{0,000\,224 * 275\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,021 + 0,616 + 0,092 = \underline{\underline{0,729 \text{ [-]}}}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,RS}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,199}{0,729}$$

$$Z_{LM71} = \underline{\underline{1,098 [-]}}$$

Kontrolní přepoččet podmínky η_3 po prvním iteračním kroku:

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,098 * 338,975 + 27,075$$

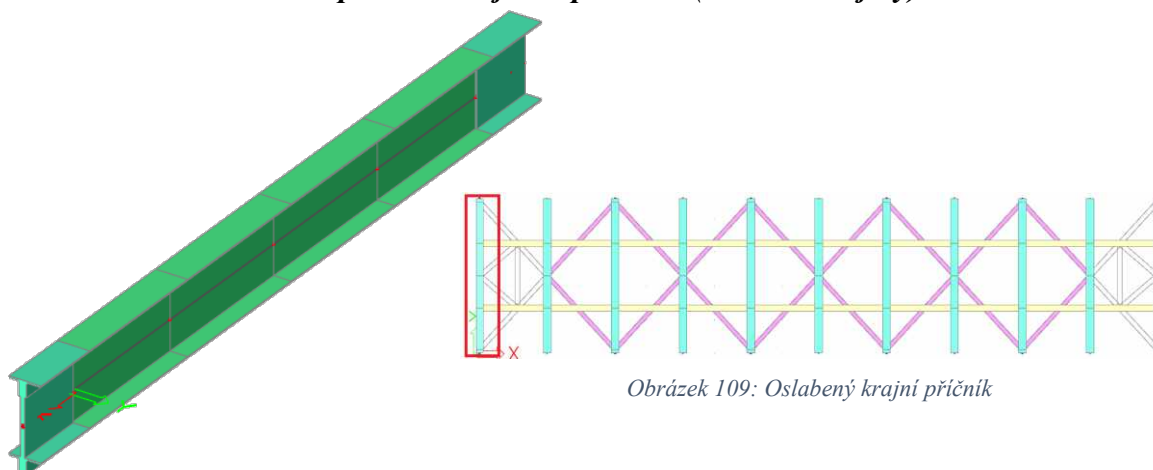
$$V_{Ed} = \underline{\underline{400,496 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{400,496}{952\,627,944} = \underline{\underline{0,420\,412 [-]}}$$

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je menší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy nemusíme pokračovat v iteračním postupu a hodnota zatížitelnosti je rovna $Z_{LM71} = 1,098 [-]$. Jelikož je zatížitelnost větší než jedna, prvek na zatížitelnost vyhovuje.

Zesílený prvek již vyhovuje na zatížitelnost, jelikož vyšla větší než jedna, v přechodnosti se již pokračovat nemusí, jelikož by vyšla menší než jedna, prvek je tedy přechodný.

7.1.5. Posouzení oslabeného průřezu krajního příčnicku (oslabení stojiny)



Obrázek 109: Oslabený krajní příčnick

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR12, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z_{uvaz}/Gr_{XX}	Zuvaž/součinitel α
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.2	Teplota zima	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.36	BR Pk osl. max My	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.36a	OS 75 Pk osl. max M	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.36	LM71 Pk osl. max M	1,30	1,00	1,49	1,00	1,00
8.11	C2 Vkl tlak	1,30	1,00	1,84	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-8,32 kN	3,01 kN	3,61 kNm	-0,54 kNm	-9,48 kN	3,43 kN	4,12 kNm	-0,49 kNm
-1,75 kN	0,62 kN	0,86 kNm	-0,12 kNm	-2,00 kN	0,71 kN	0,98 kNm	-0,11 kNm
13,30 kN	-3,54 kN	2,79 kNm	-0,95 kNm	0,00 kN	0,00 kN	2,82 kNm	0,00 kNm
117,93 kN	7,96 kN	38,33 kNm	-0,33 kNm	0,00 kN	7,16 kN	34,50 kNm	0,00 kNm
-32,67 kN	10,67 kN	5,03 kNm	2,38 kNm	-42,47 kN	13,87 kN	6,54 kNm	3,09 kNm
-10,05 kN	8,06 kN	7,32 kNm	1,00 kNm	-13,07 kN	10,48 kN	9,52 kNm	1,30 kNm
28,26 kN	9,82 kN	18,01 kNm	3,16 kNm	0,00 kN	6,38 kN	11,71 kNm	2,05 kNm
-69,63 kN	162,17 kN	201,44 kNm	0,65 kNm	-134,87 kN	314,12 kN	390,19 kNm	1,26 kNm
-51,42 kN	130,04 kN	160,93 kNm	1,09 kNm	-122,80 kN	310,55 kN	384,32 kNm	2,60 kNm
37,07 kN	198,77 kN	277,39 kNm	5,25 kNm	-201,89	356,16	460,37	7,11

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

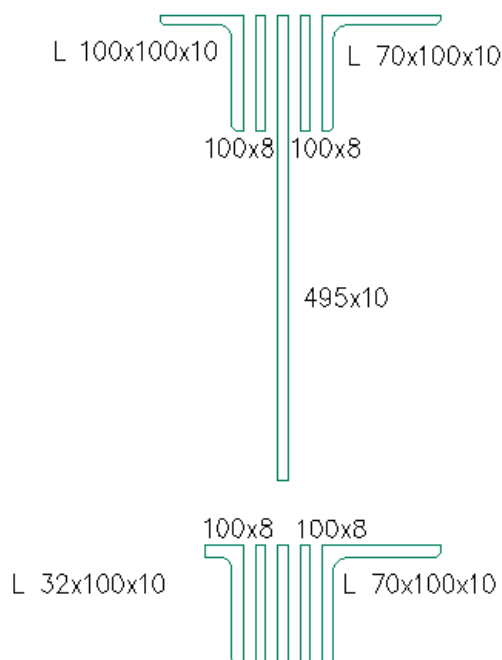
	Celkem	Rs	LM71
N =	-201,89	-67,02	-134,87
Vz =	356,16	42,03	314,12
My =	460,37	70,18	390,19
Mz =	7,11	5,85	1,26

Tabulka 113: Kombinace pro oslabený krajní příčnick

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,550 m
Šířka pásnice b:	0,196 m
Tloušťka pásnice t_f :	0,010 m
Tloušťka stojiny t_w :	0,010 m
Výška stojiny h_w :	0,495 m
Krční úhelníky:	L 70x100x10 L 100x100x10



Obrázek 110: Průřez oslabeného krajního příčnicku

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,014 535 m ²
Moment setrvačnosti I_y :	0,000 620 560 m ⁴
Moment setrvačnosti I_z :	0,000 011 688 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i_y :	0,207 m
Poloměr setrvačnosti i_z :	0,028 m
Průřezový elastický modul $W_{el,y}$:	0,002 145 000 m ³
Průřezový elastický modul $W_{el,z}$:	0,000 106 900 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,y}$:	0,002 824 300 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,z}$:	0,000 259 690 m ³

Posouzení průřezu při jednoosém ohybu

$$\eta_1 = \frac{201\,889}{\frac{210\,000\,000 \cdot 0,014\,535}{1,10}} + \frac{460\,368 + 201\,889 \cdot 0,000}{\frac{210\,000\,000 \cdot 0,002\,145}{1,10}}$$

$$\eta_1 = \underline{1,196\,743} \leq 1,0$$

NESPLNĚNÁ PODMÍNKÁ

Posouzení účinku boulení stěn vlivem normálových napětí

$$z_1 = 0,259\ 255\ \text{m}$$

$$z_2 = 0,289\ 245\ \text{m}$$

Výpočet napětí σ_1 a σ_2 :

$$W_{\sigma 1} = \frac{I_y}{z_1} = \frac{0,000\ 621}{0,259\ 255}$$

$$W_{\sigma 2} = \frac{I_y}{z_2} = \frac{0,000\ 621}{0,289\ 245}$$

$$W_{\sigma 1} = \underline{0,002\ 394\ \text{m}^3}$$

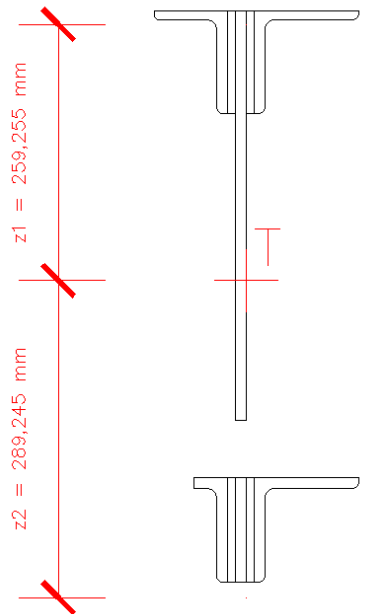
$$W_{\sigma 2} = \underline{0,002\ 145\ \text{m}^3}$$

$$\sigma_1 = \frac{M_y}{W_{\sigma 1}} = \frac{460\ 368,460}{0,002\ 394}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_y}{W_{\sigma 2}} = \frac{460\ 368,460}{0,002\ 145}$$

$$\sigma_1 = \underline{192,331\ \text{MPa}}$$

$$\sigma_2 = \underline{214,579\ \text{MPa}}$$



Obrázek 111: Těžiště oslabeného průřezu krajního příčnicku

Výpočet poměru napětí ψ :

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{214,579}{192,331}$$

$$\psi = \underline{0,896}$$

$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Součinitel kritického napětí k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

$$k_\sigma = \frac{8,2}{1,05 + \psi} = \frac{8,2}{1,05 + 0,896}$$

$$k_\sigma = \underline{4,213\ 087}$$

Výpočet koeficientu $\bar{\lambda}_p$:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{0,295/0,010}{28,4 * 1,058 * \sqrt{4,213}}$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{0,478\ 387}$$

Stanovení součinitele boulení ρ :

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{0,478\ 387 - 0,055(3 + 0,896)}{0,478\ 387^2}$$

$$\rho = \underline{1,153\ 965}$$

Jelikož hodnota koeficientu vyšla $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$, není průřez náchylný na boulení a berou se tedy hodnoty $A_{\text{eff}} = A$ a $W_{\text{eff}} = W_{\text{ey}}$.

Posouzení průřezu na únosnost ve smyku

Příspěvek stojiny

Výpočet součinitele příspěvku stojiny χ_w :

Součinitel kritického napětí ve smyku k_τ :

$$\frac{a}{h_w} = \frac{1,348}{0,495} = \underline{2,722}$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a / h_w \geq 1$$

$$k_\tau = 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a / h_w < 1$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + k_{\tau sl} = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{0,495}{1,348}\right)^2 + 0 = \underline{5,879\ 775}$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} = \frac{0,495}{37,4 * 0,010 * 1,058 * \sqrt{5,879\ 775}}$$

$$\bar{\lambda}_w = \underline{0,515\ 975}$$

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$	η	η
$0,83 / \eta \leq \bar{\lambda}_w < 108$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 108$	$1,37 / (0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$

$$\eta = 1,2$$

$$0,83 / \eta = 0,83 / 1,2 = 0,691\ 667$$

Jak je z tabulky a výpočtu patrné, hodnota χ_w pro netuhou koncovou výztuhu bude rovna první hodnotě, jelikož $\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$.

$$\chi_w \leq 1,0;$$

$$\chi_w = \eta = 1,2 > 1,0$$

$$\chi_w = \underline{1,0}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{M1}} = \frac{1,0 * 210\ 000\ 000 * 0,495 * 0,010}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{bw,Rd} = \underline{500\ 129,671\ N}$$

Příspěvek pásnic

$$b_f = \underline{0,070 \text{ m}}$$

$$15 * \varepsilon * t_f = 15 * 1,058 * 0,010 = \underline{0,158 \text{ 678}}$$

$$0,070 \leq 0,158 \text{ 678}$$

Jelikož je podmínka splněna, bere se do výpočtu celá šířka pásnice $b = 0,070 \text{ m}$.

Výpočet koeficientu c:

$$c = a * \left(0,25 + \frac{1,6 * b_f * t_f^2 * f_{yf}}{t * h_w^2 * f_{yw}} \right) = 1,348 * \left(0,25 + \frac{1,6 * 0,070 * 0,010^2 * 210 \text{ 000 000}}{0,010 * 0,495^2 * 210 \text{ 000 000}} \right)$$

$$c = \underline{0,339 \text{ 924}}$$

Výpočet momentu únosnosti průřezu sestávající pouze z účinné plochy pásnic $M_{f,Rd}$:

Pro výpočet účinné plochy pásnice byl využit program AutoCad, kde byly odměřeny jednotlivé plochy pásnic a krčních úhelníků. U krčních úhelníku se brala vždy pouze plocha, která představuje pásnici (tedy vodorovná část profilu L). Dále se odměřily už pouze těžiště jednotlivých pásnic od celkového těžiště průřezu.

$$A_{\text{úhel.h}} = 0,001 \text{ 653 m}^2$$

$$z_h = 0,259 \text{ 255 m}$$

$$A_{\text{úhel.d}} = 0,001 \text{ 572 m}^2$$

$$z_d = 0,194 \text{ 245 m}$$

$$W_{fy} = 0,001 \text{ 653} * 0,259 \text{ 255} + 0,001 \text{ 572} * 0,194 \text{ 245}$$

$$W_{fy} = \underline{0,000 \text{ 734 m}^3}$$

$$M_{f,Rd} = \frac{W_{fy} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,000 \text{ 734} * 210 \text{ 000 000}}{1,10} = \underline{140 \text{ 114,155 Nm}}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f * t_f^2 * f_{yf}}{c * \gamma_{M1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = \frac{0,070 * 0,010^2 * 210 \text{ 000 000}}{0,339 \text{ 924} * 1,20} * \left(1 - \left(\frac{460 \text{ 368,460}}{140 \text{ 114,155}} \right)^2 \right)$$

$$V_{bf,Rd} = \underline{-35 \text{ 300,901 N}}$$

Jelikož byla únosnost pro ohybový moment pásnice plně využita ($M_{Ed} > M_{f,Rd}$), s příspěvkem pásnic se nepočítá a do dalších vzorců vstupuje pouze příspěvek stojiny.

Celková smyková návrhová únosnost

1. Podmínka

$$V_{b,Rd} = 500\,129,671 + 0,000 \leq \frac{1,2 * 210\,000\,000 * 0,495 * 0,010}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{b,Rd} = \underline{500\,129,671} \leq \underline{600\,155,605}$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

2. Podmínka

$$\eta_3 = \frac{356\,157,490}{500\,129,671} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 0,712\,130 \leq 1,0$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Interakce mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

Pokud $\bar{\eta}_3$ nepřesáhne hodnotu 0,5, není nutné návrhovou únosnost pro ohybový moment a osovou sílu redukovat s ohledem na smykovou sílu. Jestliže je $\bar{\eta}_3$ větší než 0,5, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojině nosníku I, nebo nosníku komorového, splňovat následující podmínku.

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0 \quad \text{pro} \quad \eta_1 \geq \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}$$

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = \frac{356\,157,490}{500\,129,671}$$

$$\bar{\eta}_3 = 0,712\,130 \leq 0,5$$

NESPLNĚNÁ PODMÍNKÁ

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,002\,824 * 210\,000\,000}{1,10} = \underline{539\,184,545 \text{ Nm}}$$

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{460\,368,460}{539\,184,545}$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{0,853\,824}$$

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0$$

$$0,853\ 824 + \left(1 - \frac{140\ 114,155}{539\ 184,545}\right) * (2 * 0,712\ 130 - 1)^2 \leq 1,0$$

$$\underline{0,987\ 046} \leq 1,0$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Posouzení průřezu na klopení (Zjednodušený výpočet)

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

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

$$M_{c,Rd} = W_y * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{c,Rd} = 0,002\ 145 * \frac{210\ 000\ 000}{1,20} = \underline{375\ 375\ \text{Nm}}$$

$$\lambda_1 = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = 3,14 * \sqrt{\frac{210\ 000\ 000\ 000}{210\ 000\ 000}} = \underline{99,345\ 883}$$

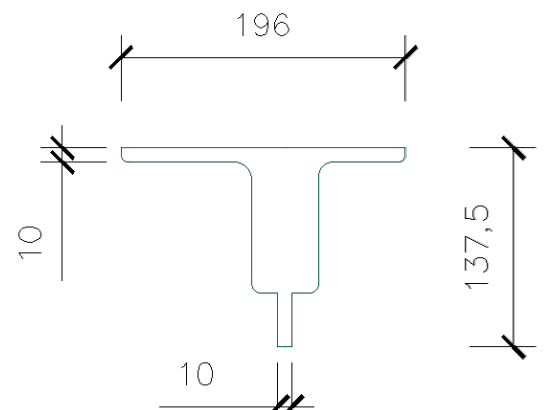
$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

Hodnoty pro plochu a moment setrvačnosti byly odměřeny v programu AutoCad, pro průřez, který se skládal z horních pásnic, horních krčních úhelníků a ¼ výšky stojiny.

$$I_z = 0,000\ 089\ 620\ \text{m}^4$$

$$A = 0,006\ 960\ \text{m}^2$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{0,000\ 089\ 620}{0,006\ 960}} = \underline{0,113\ 478\ \text{m}}$$



Obrázek 112: Průřez pro výpočet klopení oslabeného krajního příčniku

Největší hodnotu štíhlosti se doporučuje následující hodnota:

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

$$\overline{\lambda}_{c0} = \underline{0,5}$$

Stanovení opravného součinitele k_c :

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi} = \frac{1}{1,33 - 0,33 \cdot \frac{55,09}{201,44}} = \underline{0,806\ 613}$$

$$\overline{\lambda}_1 = \frac{0,806\ 613 \cdot 1,348}{0,113\ 478 \cdot 99,345\ 883} \leq 0,5 \cdot \frac{375\ 375}{460\ 368}$$

$$\overline{\lambda}_1 = \underline{0,096\ 412} \leq \underline{0,407\ 690}$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
-201,889		356,157		460,368		7,113	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
-67,016	-134,873	42,034	314,123	70,179	390,189	5,854	1,259

Tabulka 114: Vnitřní síly pro oslabený krajní příčník

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \overline{\eta_3} = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,495 \cdot 0,010 \cdot 210\ 000\ 000}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 545\ 596,004\ \text{N} = \underline{545,596\ \text{kN}}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} \cdot V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 \cdot 314,123 + 42,034 = \underline{356,160\ \text{kN}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{356,160}{545,596} = \underline{0,652\ 791\ [-]}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je větší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{67\,016}{\frac{0,014\,535 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{70\,179}{\frac{0,002\,145 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{5\,854}{\frac{0,000\,107 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,024 + 0,171 + 0,287 = \underline{0,482 [-]}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{134\,873}{\frac{0,014\,535 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{390\,189}{\frac{0,002\,145 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{1\,259}{\frac{0,000\,107 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,049 + 0,953 + 0,062 = \underline{1,063 [-]}$$

$$\eta_{3,Rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{42\,034}{545\,596}$$

MP A.2.2.11_vztah (A.14)

$$\eta_{3,Rs} = \underline{0,077 [-]}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{314\,123}{545\,596}$$

MP A.2.2.11_vztah (A.15)

$$\eta_{3,Rs} = \underline{0,576 [-]}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,N,Rd}}{M_{pl,N,Rd}} \right) = 1 - \left(\frac{140\,114,150}{539\,184,550} \right)$$

MP A.2.2.11_vztah (A.16)

$$k = \underline{0,740\,137 [-]}$$

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

MP A.2.2.11_vztah (A.16)

$$0,981\,364 * Z_{LM71}^2 - 0,378\,733 * Z_{LM71} + 0,011\,995 = 0$$

$$D = (-0,378\,733)^2 - 4 * 0,981\,364 * 0,011\,995 = 0,096\,351$$

$$Z_{LM71,1} = \frac{0,378\,733 + \sqrt{0,096\,351}}{2 * 0,981\,364} = 0,351\,112$$

$$Z_{LM71,2} = \frac{0,378\,733 - \sqrt{0,096\,351}}{2 * 0,981\,364} = 0,034\,813$$

$$Z_{LM71} = Z_{LM71,1} = \underline{0,351}$$

Jelikož zatížitelnost vyšla menší než 1,0, je možnost provést redukce ostatních účinků od zatížení železniční dopravou (účinky bočního rázu, rozjezdová a brzdňá síla a zároveň odstředivé síly) o vypočítanou zatížitelnost. Výslednou hodnotu zatížitelnosti Z_{LM71} je třeba určit iterační formou výpočtu.

MP 4.7.7

V následujících tabulkách jsou znázorněny změny hodnot vnitřních sil od ostatních zatížení železniční dopravy po jednotlivých iteracích. Dále jsou v tabulkách znázorněny jednotlivé změny zatížitelnosti, které se počítaly stejným způsobem, jako v předchozím případě výpočtu Z_{LM71} .

Iterace č. 0				Iterace č. 1				Iterace č. 2				Iterace č. 3			
0,351				0,729				0,548				0,638			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-9,48	3,43	4,12	-0,49	-9,48	3,43	4,12	-0,49	-9,48	3,43	4,12	-0,49	-9,48	3,43	4,12	-0,49
-2,00	0,71	0,98	-0,11	-2,00	0,71	0,98	-0,11	-2,00	0,71	0,98	-0,11	-2,00	0,71	0,98	-0,11
0,00	0,00	2,82	0,00	0,00	0,00	2,82	0,00	0,00	0,00	2,82	0,00	0,00	0,00	2,82	0,00
0,00	7,16	34,50	0,00	0,00	7,16	34,50	0,00	0,00	7,16	34,50	0,00	0,00	7,16	34,50	0,00
-42,47	13,87	6,54	3,09	-14,91	4,87	2,30	1,09	-30,96	10,11	4,77	2,26	-23,27	7,60	3,58	1,70
-13,07	10,48	9,52	1,30	-4,59	3,68	3,34	0,46	-9,52	7,64	6,94	0,95	-7,16	5,74	5,21	0,71
0,00	6,38	11,71	2,05	0,00	2,24	4,11	0,72	0,00	4,65	8,53	1,50	-7,16	3,50	6,41	1,13
-134,87	314,12	390,19	1,26	-134,87	314,12	390,19	1,26	-134,87	314,12	390,19	1,26	-134,87	314,12	390,19	1,26

Iterace č. 4				Iterace č. 5				Iterace č. 6				Iterace č. 7			
0,597				0,617				0,607				0,612			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-9,48	3,43	4,12	-0,49	-9,48	3,43	4,12	-0,49	-9,48	3,43	4,12	-0,49	-9,48	3,43	4,12	-0,49
-2,00	0,71	0,98	-0,11	-2,00	0,71	0,98	-0,11	-2,00	0,71	0,98	-0,11	-2,00	0,71	0,98	-0,11
0,00	0,00	2,82	0,00	0,00	0,00	2,82	0,00	0,00	0,00	2,82	0,00	0,00	0,00	2,82	0,00
0,00	7,16	34,50	0,00	0,00	7,16	34,50	0,00	0,00	7,16	34,50	0,00	0,00	7,16	34,50	0,00
-27,09	8,85	4,17	1,97	-25,34	8,28	3,90	1,85	-26,22	8,56	4,04	1,91	-25,78	8,42	3,97	1,88
-8,33	6,68	6,07	0,83	-7,80	6,25	5,68	0,78	-8,07	6,47	5,88	0,80	-7,93	6,36	5,78	0,79
0,00	4,07	7,47	1,31	0,00	3,81	6,99	1,23	0,00	3,94	7,23	1,27	0,00	3,87	7,11	1,25
-134,87	314,12	390,19	1,26	-134,87	314,12	390,19	1,26	-134,87	314,12	390,19	1,26	-134,87	314,12	390,19	1,26

Iterace č. 8				Iterace č. 9				Iterace č. 10			
0,610				0,611				0,610			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
-9,48	3,43	4,12	-0,49	-9,48	3,43	4,12	-0,49	-9,48	3,43	4,12	-0,49
-2,00	0,71	0,98	-0,11	-2,00	0,71	0,98	-0,11	-2,00	0,71	0,98	-0,11
0,00	0,00	2,82	0,00	0,00	0,00	2,82	0,00	0,00	0,00	2,82	0,00
0,00	7,16	34,50	0,00	0,00	7,16	34,50	0,00	0,00	7,16	34,50	0,00
-26,00	8,49	4,00	1,89	-25,89	8,46	3,99	1,89	-25,95	8,47	3,99	1,89
-8,00	6,41	5,83	0,80	-7,97	6,39	5,80	0,79	-7,98	6,40	5,81	0,79
0,00	3,91	7,17	1,26	0,00	3,89	7,14	1,25	0,00	3,90	7,15	1,25
-134,87	314,12	390,19	1,26	-134,87	314,12	390,19	1,26	-134,87	314,12	390,19	1,26

Tabulka 115: Iterace pro oslabený krajní příčník

Jak je z posledního sedmého kroku iterace patrné, poslední zatížitelnost, a tím tedy i výsledná zatížitelnost, je rovna hodnotě $Z_{LM71} = 0,610 [-]$.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,49}{1,84} = \underline{\underline{1,233 [-]}}$$

Zatížení	γ_f	N	Vz	My	Mz
$M_{ttz,C2} =$	1,30	-51,42	130,04	160,93	0,00
$M_{LM71} =$	1,30	-69,63	162,17	201,44	0,65

Tabulka 116: Vnitřní síly od vlaků pro oslabený krajní příčník

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 * (-51,420)}{1,3 * (-69,630)} = \underline{\underline{0,738 [-]}}$$

$$\text{pro Vz: } \lambda_{LM71,Vz} = \frac{1,3 * 130,040}{1,3 * 162,170} = \underline{\underline{0,802 [-]}}$$

$$\text{pro My: } \lambda_{LM71,My} = \frac{1,3 * 160,930}{1,3 * 201,440} = \underline{\underline{0,799 [-]}}$$

$$\text{pro Mz: } \lambda_{LM71,Mz} = \frac{1,3 * 0,000}{1,3 * 0,650} = \underline{\underline{0,000 [-]}}$$

$$\text{pro N: } k_{i,N} = \frac{0,016 + 0,049}{0,325 + 1,063} = \underline{\underline{0,047 [-]}}$$

$$\text{pro Vz: } k_{i,Vz} = \frac{0,000 + 0,000}{0,325 + 1,063} = \underline{\underline{0,000 [-]}}$$

$$\text{pro My: } k_{i,My} = \frac{0,145 + 0,953}{0,325 + 1,063} = \underline{\underline{0,791 [-]}}$$

$$\text{pro Mz: } k_{i,Mz} = \frac{0,164 + 0,062}{0,325 + 1,063} = \underline{\underline{0,162 [-]}}$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

$$0,610 \geq (0,047 * 1,233 * 0,738) + (0,000 * 1,233 * 0,802) + (0,791 * 1,233 * 0,799) + (0,162 * 1,233 * 0,000)$$

$$0,610 \geq 0,821$$

NESPLNĚNÁ PODMÍNKA

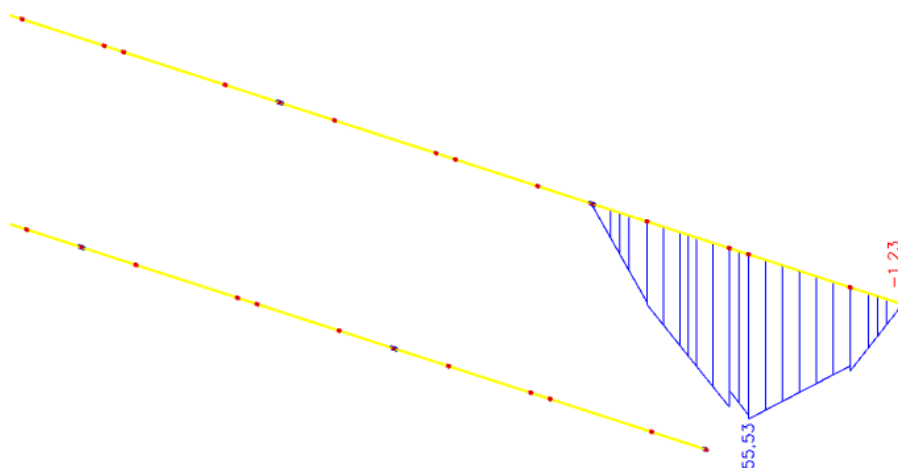
Jak je patrné z nesplněné podmínky, prvek nevyhověl na posudek zatížitelnosti, ani na posudek přechodnosti. Prvek je nepřechodný pro traťovou rychlost 75 km/h. Je potřeba jej tedy posoudit na nižší rychlost, a to rychlost na mostě 60 km/h. Tento výpočet probíhá stejně jako v kapitole 7.1.1. a 7.1.2.. Na rychlost prvek též nevyjde a bude potřeba jej stejně jako ve zmíněných kapitolách zesílit. Po té již prvek vyjde, protože postup probíhá stejně a na tento konkrétní příčník působí menší zatížení než v kapitole 7.1.2..

7.2. Posouzení podélníků

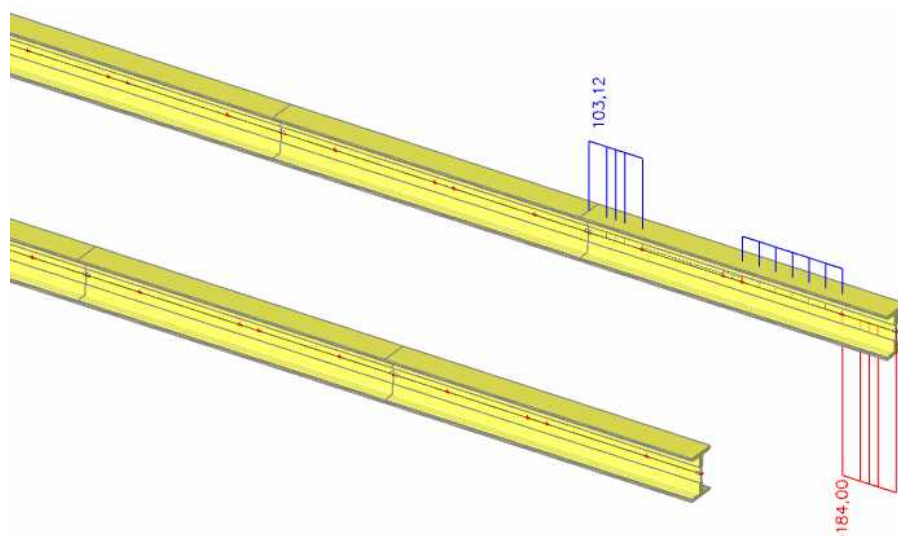
Podélníky se posuzovaly vždy ve dvou místech, a to tam, kde působí největší smyková síla V_z a v místě maximálního ohybového momentu M_y . K posudku byl vybrán podélník na konci mostu u levého hlavního nosníku (vzhledem k excentricitě působení sil), který byl nejvíce namáhaný. Dalším podélníkem na posudek byl vybrán podélník uprostřed konstrukce, který se posoudil na účinky nejhorší normálové síly.

Prvky se posuzovaly na boulení, posouzení únosnosti příčného řezu, únosnost ve smyku, interakce mezi osovou silou, ohybovým momentem a smykovou silou, klopení, zatížitelnost a přechodnost.

Posuzovaly se vždy jen prvky, u kterých vyšlo nejhorší kombinace zatížení, u ostatních můžeme předpokládat, že vyhoví taktéž.

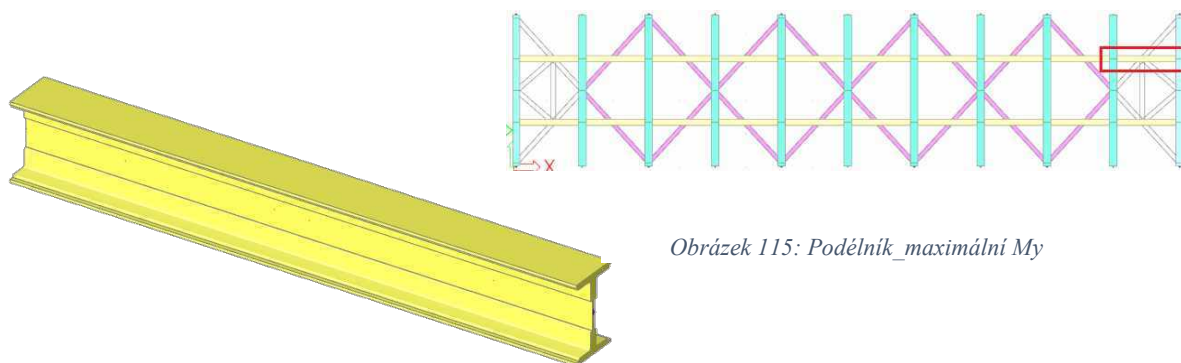


Obrázek 113: Průběh ohybového momentu M_y od vlaku LM71 pro podélník



Obrázek 114: Průběh smykové síly V_z od vlaku LM71 pro podélník

7.2.1. Posouzení průřezu podélníku v místě maximálního momentu M_y



Obrázek 115: Podélník_maximální M_y

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR14, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z_{uvaz}/Gr_{XX}	Zuvaž/součinitel α
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.28	BR Po max M_y	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.28a	OS 75 Po max M_y	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.28	LM71 Po max M_y	1,30	1,00	1,69	1,00	1,00
8.28	C2 Po max M_y	1,30	1,00	1,84	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
1,03 kN	-0,20 kN	0,71 kNm	-0,04 kNm	1,17 kN	0,23 kN	0,81 kNm	-0,05 kNm
0,22 kN	-0,15 kN	0,26 kNm	0,00 kNm	0,25 kN	0,17 kN	0,30 kNm	0,00 kNm
0,09 kN	1,01 kN	0,76 kNm	-0,59 kNm	0,09 kN	0,00 kN	0,77 kNm	-0,60 kNm
-4,04 kN	6,62 kN	-2,73 kNm	4,04 kNm	0,00 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
0,51 kN	-4,71 kN	5,78 kNm	-9,51 kNm	0,66 kN	6,12 kN	7,51 kNm	-12,36 kNm
0,10 kN	-5,06 kN	5,57 kNm	-1,05 kNm	0,13 kN	6,58 kN	7,24 kNm	-1,37 kNm
3,22 kN	-9,64 kN	6,38 kNm	0,70 kNm	2,09 kN	6,27 kN	4,15 kNm	0,00 kNm
3,65 kN	-44,65 kN	55,53 kNm	0,17 kNm	8,02 kN	98,10 kN	122,00 kNm	-0,19 kNm
3,60 kN	-35,69 kN	44,25 kNm	0,09 kNm	8,61 kN	-85,37 kN	105,85 kNm	0,22 kNm
4,78 kN	-56,78 kN	72,26 kNm	-6,28 kNm	12,42	117,46	142,78	-14,56

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

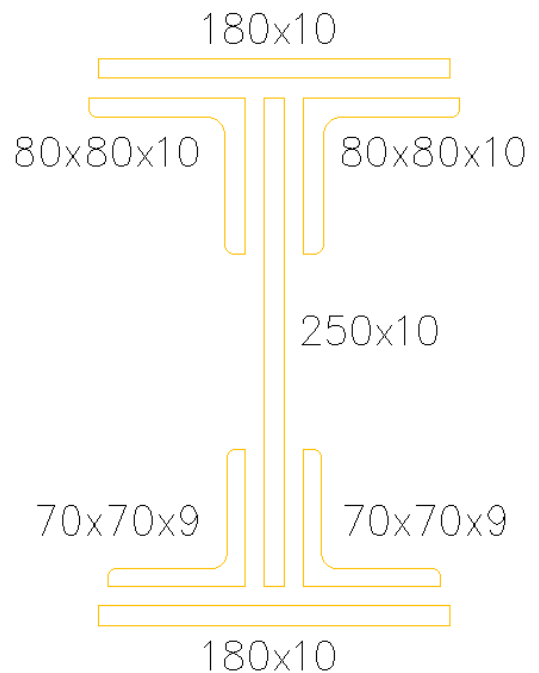
	Celkem	Rs	LM71
N =	12,42	4,40	8,02
Vz =	117,46	19,37	98,10
My =	142,78	20,78	122,00
Mz =	-14,56	-14,37	-0,19

Tabulka 117: Kombinace pro podélník_maximální M_y

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,270 m
Šířka pásnice b:	0,180 m
Tloušťka pásnice t_f :	0,010 m
Tloušťka stojiny t_w :	0,010 m
Výška stojiny h_w :	0,250 m
Krční úhelníky:	L 70x70x9 L 80x80x10



Obrázek 116: Průřez podélníku_maximální M_y

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,011 498 m ²
Moment setrvačnosti I_y :	0,000 133 540 m ⁴
Moment setrvačnosti I_z :	0,000 016 516 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i_y :	0,108 m
Poloměr setrvačnosti i_z :	0,038 m
Průřezový elastický modul $W_{el,y}$:	0,000 953 000 m ³
Průřezový elastický modul $W_{el,z}$:	0,000 183 510 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,y}$:	0,001 169 200 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,z}$:	0,000 314 570 m ³

Posouzení průřezu při jednoosém ohybu

$$\eta_1 = \frac{12\,421}{\frac{210\,000\,000 \cdot 0,011\,498}{1,10}} + \frac{142\,777 + 12\,421 \cdot 0,000}{\frac{210\,000\,000 \cdot 0,000\,935}{1,10}}$$

$$\eta_1 = \underline{\underline{0,825\,110}} \leq 1,0$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Posouzení účinku boulení stěn vlivem normálových napětí

$$z_1 = 0,123\ 680\ \text{m}$$

$$z_2 = 0,146\ 320\ \text{m}$$

Výpočet napětí σ_1 a σ_2 :

$$W_{\sigma 1} = \frac{I_y}{z_1} = \frac{0,000\ 134}{0,123\ 680}$$

$$W_{\sigma 1} = \underline{0,001\ 080\ \text{m}^3}$$

$$\sigma_1 = \frac{M_y}{W_{\sigma 1}} = \frac{142\ 776,710}{0,001\ 080}$$

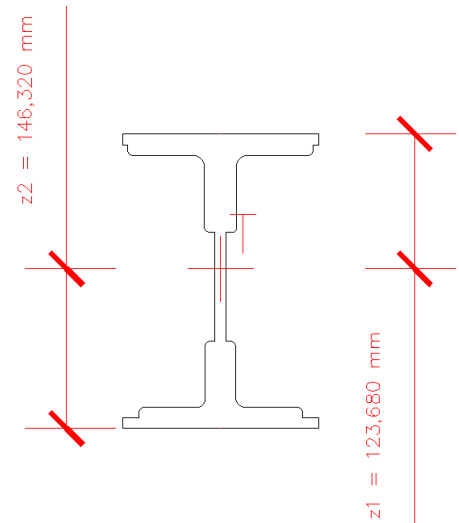
$$\sigma_1 = \underline{132,235\ \text{MPa}}$$

$$W_{\sigma 2} = \frac{I_y}{z_2} = \frac{0,000\ 134}{0,146\ 320}$$

$$W_{\sigma 2} = \underline{0,000\ 913\ \text{m}^3}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_y}{W_{\sigma 2}} = \frac{142\ 776,710}{0,000\ 913}$$

$$\sigma_2 = \underline{156,441\ \text{MPa}}$$



Obrázek 117: Těžiště průřezu podélníku_maximální M_y

Výpočet poměru napětí ψ :

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{156,441}{132,235}$$

$$\psi = \underline{0,845}$$

$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Součinitel kritického napětí k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

$$k_\sigma = \frac{8,2}{1,05 + \psi} = \frac{8,2}{1,05 + 0,845}$$

$$k_\sigma = \underline{4,326\ 559}$$

Výpočet koeficientu $\bar{\lambda}_p$:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{0,100/0,010}{28,4 * 1,058 * \sqrt{4,327}}$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{0,160\ 024}$$

Jelikož hodnota koeficientu vyšla $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$, není průřez náchylný na boulení a berou se tedy hodnoty $A_{\text{eff}} = A$ a $W_{\text{eff}} = W_{ey}$.

Posouzení průřezu na únosnost ve smyku

Příspěvek stojiny

Výpočet součinitele příspěvku stojiny χ_w :

Součinitel kritického napětí ve smyku k_τ :

$$\frac{a}{h_w} = \frac{2,000}{0,250} = \underline{8,000}$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a / h_w \geq 1$$

$$k_\tau = 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a / h_w < 1$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + k_{\tau sl} = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{0,250}{8,000}\right)^2 + 0 = \underline{5,402\ 500}$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} = \frac{0,250}{37,4 * 0,010 * 1,058 * \sqrt{5,402\ 500}}$$

$$\bar{\lambda}_w = \underline{0,271\ 861}$$

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$	η	η
$0,83 / \eta \leq \bar{\lambda}_w < 108$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 108$	$1,37 / (0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$

$$\eta = 1,2$$

$$0,83 / \eta = 0,83 / 1,2 = 0,691\ 667$$

Jak je z tabulky a výpočtu patrné, hodnota χ_w pro netuhou koncovou výztuhu bude rovna první hodnotě, jelikož $\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$.

$$\chi_w \leq 1,0;$$

$$\chi_w = \eta = 1,2 > 1,0$$

$$\chi_w = \underline{1,0}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{M1}} = \frac{1,0 * 210\ 000\ 000 * 0,250 * 0,010}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{bw,Rd} = \underline{252\ 590,743\ N}$$

Příspěvek pásnic

$$b_f = \underline{0,090 \text{ m}}$$

$$15 * \varepsilon * t_f = 15 * 1,058 * 0,010 = \underline{0,158 \text{ 678}}$$

$$0,090 \leq 0,158 \text{ 678}$$

Jelikož je podmínka splněna, bere se do výpočtu celá šířka pásnice $b = 0,090 \text{ m}$.

Výpočet koeficientu c:

$$c = a * \left(0,25 + \frac{1,6 * b_f * t_f^2 * f_{yf}}{t * h_w^2 * f_{yw}} \right) = 2,000 * \left(0,25 + \frac{1,6 * 0,090 * 0,010^2 * 210 \text{ 000 000}}{0,010 * 0,250^2 * 210 \text{ 000 000}} \right)$$

$$c = \underline{0,511 \text{ 520}}$$

Výpočet momentu únosnosti průřezu sestávající pouze z účinné plochy pásnic $M_{f,Rd}$:

Pro výpočet účinné plochy pásnice byl využit program AutoCad, kde byly odměřeny jednotlivé plochy pásnic a krčních úhelníků. U krčních úhelníku se brala vždy pouze plocha, která představuje pásnici (tedy vodorovná část profilu L). Dále se odměřily už pouze těžiště jednotlivých pásnic od celkového těžiště průřezu.

$$A_{\text{pásnice,h}} = 0,001 \text{ 800 m}^2$$

$$z_{\text{pás,h}} = 0,118 \text{ 680 m}$$

$$A_{\text{pásnice,d}} = 0,001 \text{ 800 m}^2$$

$$z_{\text{pás,d}} = 0,141 \text{ 320 m}$$

$$A_{\text{úhel,h}} = 0,001 \text{ 589 m}^2$$

$$z_h = 0,108 \text{ 706 m}$$

$$A_{\text{úhel,d}} = 0,001 \text{ 251 m}^2$$

$$z_d = 0,131 \text{ 844 m}$$

$$W_{fy} = 0,001 \text{ 800} * 0,118 \text{ 680} + 0,001 \text{ 800} * 0,141 \text{ 320} + 0,001 \text{ 589} * 0,108 \text{ 706} \\ + 0,001 \text{ 251} * 0,131 \text{ 844}$$

$$W_{fy} = \underline{0,000 \text{ 806 m}^3}$$

$$M_{f,Rd} = \frac{W_{fy} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,000 \text{ 806} * 210 \text{ 000 000}}{1,10} = \underline{153 \text{ 823,212 Nm}}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f * t_f^2 * f_{yf}}{c * \gamma_{M1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = \frac{0,090 * 0,010^2 * 210 \text{ 000 000}}{0,511 \text{ 520} * 1,20} * \left(1 - \left(\frac{142 \text{ 776,710}}{153 \text{ 823,212}} \right)^2 \right)$$

$$V_{bf,Rd} = \underline{426,354 \text{ N}}$$

Celková smyková návrhová únosnost

1. Podmínka

$$V_{b,Rd} = 252\,590,743 + 426,354 \leq \frac{1,2 * 210\,000\,000 * 0,250 * 0,010}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{b,Rd} = \underline{253\,017,096} \leq \underline{303\,108,891}$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

2. Podmínka

$$\eta_3 = \frac{117\,462,050}{253\,017,096} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 0,464\,246 \leq 1,0$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Interakce mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

Pokud $\bar{\eta}_3$ nepřesáhne hodnotu 0,5, není nutné návrhovou únosnost pro ohybový moment a osovou sílu redukovat s ohledem na smykovou sílu. Jestliže je $\bar{\eta}_3$ větší než 0,5, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojině nosníku I, nebo nosníku komorového, splňovat následující podmínku.

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0 \quad \text{pro} \quad \eta_1 \geq \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}$$

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = \frac{117\,462,050}{253\,017,096}$$

$$\bar{\eta}_3 = 0,464\,246 \leq 0,5$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Jelikož je podmínka splněná, výpočet nemusí pokračovat dále a můžeme říci, že průřez vyhovuje na interakci mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou.

Posouzení průřezu na klopení (Zjednodušený výpočet)

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

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

$$M_{c,Rd} = W_y * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{c,Rd} = 0,000\,953 * \frac{210\,000\,000}{1,20} = \underline{\underline{166\,775\,Nm}}$$

$$\lambda_1 = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = 3,14 * \sqrt{\frac{210\,000\,000\,000}{210\,000\,000}} = \underline{\underline{99,345\,883}}$$

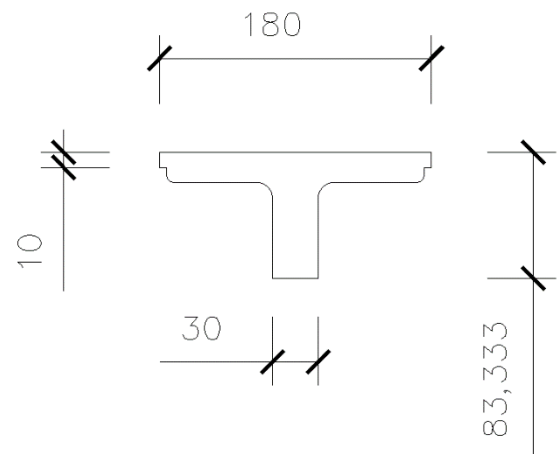
$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

Hodnoty pro plochu a moment setrvačnosti byly odměřeny v programu AutoCad, pro průřez, který se skládá z horních pásnic, horních krčních úhelníků a ¼ výšky stojiny.

$$I_z = 0,000\,053\,035\,m^4$$

$$A = 0,005\,432\,m^2$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{0,000\,053\,035}{0,005\,432}} = \underline{\underline{0,098\,808\,m}}$$



Obrázek 118: Průřez pro výpočet klopení podélníku_maximální My

Největší hodnotu štíhlosti se doporučuje následující hodnota:

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

$$\overline{\lambda}_{c0} = \underline{\underline{0,5}}$$

Stanovení opravného součinitele k_c :

$$k_c = \underline{\underline{0,940\,000}}$$

$$\overline{\lambda}_1 = \frac{0,940\,000 * 2,000}{0,098\,808 * 99,345\,883} \leq 0,5 * \frac{166\,775}{142\,777}$$

$$\overline{\lambda}_1 = \underline{\underline{0,191\,520}} \leq \underline{\underline{0,584\,041}}$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
12,421		117,462		142,777		-14,558	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
4,402	8,019	19,366	98,096	20,777	121,999	-14,371	-0,187

Tabulka 118: Vnitřní síly pro podélník_maximální M_y

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,250 * 0,010 * 210\,000\,000}{\sqrt{3} * 1,1} = 275\,553,538 \text{ N} = \underline{\underline{275,554 \text{ kN}}}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 * 98,096 + 19,366 = \underline{\underline{117,460 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{117,460}{275,554} = \underline{\underline{0,426\,269 \text{ [-]}}}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je větší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{4\,402}{\frac{0,011\,498 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{20\,777}{\frac{0,000\,953 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{14\,371}{\frac{0,000\,184 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,002 + 0,114 + 0,410 = \underline{\underline{0,526 \text{ [-]}}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{8\,019}{\frac{0,011\,498 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{121\,999}{\frac{0,000\,953 * 210\,000\,000}{1,10}} + \frac{187}{\frac{0,000\,184 * 210\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,004 + 0,671 + 0,005 = \underline{\underline{0,680 \text{ [-]}}}$$

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,RS}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,526}{0,680}$$

$$Z_{LM71} = \underline{0,697 [-]}$$

Jelikož zatížitelnost vyšla menší než 1,0, je možnost provést redukce ostatních účinků od zatížení železniční dopravou (účinky bočního rázu, rozjezdová a brzdňá síla a zároveň odstředivé síly) o vypočítanou zatížitelnost. Výslednou hodnotu zatížitelnosti Z_{LM71} je třeba určit iterační formou výpočtu.

MP 4.7.7

V následujících tabulkách jsou znázorněny změny hodnot vnitřních sil od ostatních zatížení železniční dopravy po jednotlivých iteracích. Dále jsou v tabulkách znázorněny jednotlivé změny zatížitelnosti, které se počítaly stejným způsobem, jako v předchozím případě výpočtu Z_{LM71} .

Iterakce č. 0				Iterakce č. 1				Iterakce č. 2				Iterakce č. 3			
0,697				0,919				0,756				0,876			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
1,17	0,23	0,81	-0,05	1,17	0,23	0,81	-0,05	1,17	0,23	0,81	-0,05	1,17	0,23	0,81	-0,05
0,25	0,17	0,30	0,00	0,25	0,17	0,30	0,00	0,25	0,17	0,30	0,00	0,25	0,17	0,30	0,00
0,09	0,00	0,77	-0,60	0,09	0,00	0,77	-0,60	0,09	0,00	0,77	-0,60	0,09	0,00	0,77	-0,60
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,66	6,12	7,51	-12,36	0,46	4,27	5,24	-8,62	0,61	5,62	6,90	-11,36	0,50	4,63	5,68	-9,35
0,13	6,58	7,24	-1,37	0,09	4,58	5,05	-0,95	0,12	6,04	6,65	-1,25	0,10	4,98	5,48	-1,03
2,09	6,27	4,15	0,00	1,46	4,37	2,89	0,00	1,92	5,76	3,81	0,00	0,10	4,74	3,14	0,00
8,02	98,10	122,00	-0,19	8,02	98,10	122,00	-0,19	8,02	98,10	122,00	-0,19	8,02	98,10	122,00	-0,19

Iterakce č. 4				Iterakce č. 5				Iterakce č. 6				Iterakce č. 7			
0,788				0,852				0,805				0,840			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
1,17	0,23	0,81	-0,05	1,17	0,23	0,81	-0,05	1,17	0,23	0,81	-0,05	1,17	0,23	0,81	-0,05
0,25	0,17	0,30	0,00	0,25	0,17	0,30	0,00	0,25	0,17	0,30	0,00	0,25	0,17	0,30	0,00
0,09	0,00	0,77	-0,60	0,09	0,00	0,77	-0,60	0,09	0,00	0,77	-0,60	0,09	0,00	0,77	-0,60
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,58	5,36	6,58	-10,83	0,52	4,82	5,92	-9,74	0,57	5,22	6,40	-10,54	0,53	4,93	6,05	-9,95
0,11	5,76	6,34	-1,20	0,10	5,18	5,70	-1,08	0,11	5,61	6,17	-1,16	0,10	5,30	5,83	-1,10
1,83	5,49	3,63	0,00	1,65	4,93	3,27	0,00	1,78	5,34	3,53	0,00	1,68	5,04	3,34	0,00
8,02	98,10	122,00	-0,19	8,02	98,10	122,00	-0,19	8,02	98,10	122,00	-0,19	8,02	98,10	122,00	-0,19

Iterakce č. 8				Iterakce č. 9				Iterakce č. 10			
0,814				0,833				0,819			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kNm	kNm
1,17	0,23	0,81	-0,05	1,17	0,23	0,81	-0,05	1,17	0,23	0,81	-0,05
0,25	0,17	0,30	0,00	0,25	0,17	0,30	0,00	0,25	0,17	0,30	0,00
0,09	0,00	0,77	-0,60	0,09	0,00	0,77	-0,60	0,09	0,00	0,77	-0,60
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,56	5,14	6,31	-10,38	0,54	4,99	6,12	-10,07	0,55	5,10	6,26	-10,30
0,11	5,52	6,08	-1,15	0,11	5,36	5,90	-1,11	0,11	5,48	6,03	-1,14
1,76	5,26	3,48	0,00	1,70	5,10	3,38	0,00	1,74	5,22	3,46	0,00
8,02	98,10	122,00	-0,19	8,02	98,10	122,00	-0,19	8,02	98,10	122,00	-0,19

Tabulka 119: Iterace pro podélník_maximální My

Jak je z posledního desátého kroku iterace patrné, poslední zatížitelnost, a tím tedy i výsledná zatížitelnost, je rovna hodnotě $Z_{LM71} = 0,819 [-]$.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,84}{1,69} = \underline{1,089 [-]}$$

Zatížení	γ_f	N	Vz	My	Mz
$M_{ttz,C2} =$	1,30	3,60	-35,69	44,25	0,09
$M_{LM71} =$	1,30	3,65	-44,65	55,53	0,17

Tabulka 120: Vnitřní síly od vlaků pro podélník_maximální My

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 \cdot 3,600}{1,3 \cdot 3,650} = \underline{0,986 [-]}$$

$$\text{pro Vz: } \lambda_{LM71,Vz} = \frac{1,3 \cdot (-35,690)}{1,3 \cdot (-44,650)} = \underline{0,799 [-]}$$

$$\text{pro My: } \lambda_{LM71,My} = \frac{1,3 \cdot 44,250}{1,3 \cdot 55,530} = \underline{0,797 [-]}$$

$$\text{pro Mz: } \lambda_{LM71,Mz} = \frac{1,3 \cdot 0,009}{1,3 \cdot 0,170} = \underline{0,529 [-]}$$

$$\text{pro } N: k_{i,N} = \frac{0,002+0,003}{0,443+0,679} = \underline{\underline{0,004}} [-]$$

$$\text{pro } Vz: k_{i,Vz} = \frac{0,000+0,000}{0,443+0,679} = \underline{\underline{0,000}} [-]$$

$$\text{pro } My: k_{i,My} = \frac{0,097+0,671}{0,443+0,679} = \underline{\underline{0,684}} [-]$$

$$\text{pro } Mz: k_{i,Mz} = \frac{0,345+0,005}{0,443+0,679} = \underline{\underline{0,312}} [-]$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

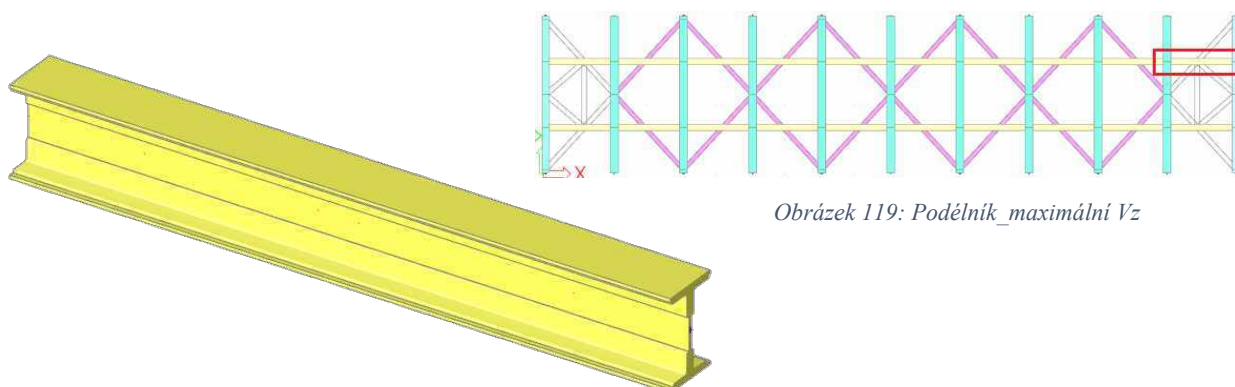
$$0,819 \geq (0,004 * 1,089 * 0,986) + (0,000 * 1,089 * 0,799) + (0,684 * 1,089 * 0,797) + (0,312 * 1,089 * 0,529)$$

$$0,819 \geq 0,778$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jak je patrné ze splněné podmínky, ačkoli prvek nevyhověl na posudek zatížitelnosti, tak je prvek přechodný pro traťovou třídu C2 s přidruženou rychlostí 75 km/h. Tímto pádem prvek nemusí být zesílen ani upravován, protože sice konstrukce nepřenesla celý model LM71, ale je schopna přenést model zatížení, který se na konstrukci reálně vyskytuje (model C2).

7.2.2. Posouzení průřezu podélníku v místě maximální smykové síly Vz



Obrázek 119: Podélník_maximální Vz

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR14, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.2	Teplota zima	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.29	BR Po max Vz	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.29a	OS 75 Po max Vz	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.29	LM71 Po max Vz	1,30	1,00	1,69	1,00	1,00
8.29	C2 Po max Vz	1,30	1,00	1,84	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
0,60 kN	-1,94 kN	0,38 kNm	-0,25 kNm	0,54 kN	2,21 kN	0,43 kNm	-0,23 kNm
0,12 kN	-0,66 kN	0,13 kNm	-0,06 kNm	0,11 kN	0,75 kN	0,15 kNm	-0,05 kNm
0,10 kN	-3,87 kN	1,03 kNm	1,37 kNm	0,00 kN	3,92 kN	1,04 kNm	1,39 kNm
10,06 kN	-6,72 kN	2,57 kNm	0,46 kNm	0,00 kN	6,05 kN	2,31 kNm	0,41 kNm
-0,21 kN	-2,75 kN	0,81 kNm	3,82 kNm	-0,27 kN	3,58 kN	1,05 kNm	4,97 kNm
0,23 kN	-14,55 kN	3,37 kNm	0,87 kNm	0,00 kN	18,92 kN	4,38 kNm	1,13 kNm
-6,32 kN	-11,47 kN	3,21 kNm	1,74 kNm	-4,11 kN	7,46 kN	2,09 kNm	1,13 kNm
-2,14 kN	-184,00 kN	41,69 kNm	-0,89 kNm	-4,70 kN	404,25 kN	91,59 kNm	0,98 kNm
-1,14 kN	-146,69 kN	33,19 kNm	-0,88 kNm	-2,73 kN	-350,88 kN	79,39 kNm	-2,10 kNm
2,44 kN	-225,96 kN	53,19 kNm	7,06 kNm	-8,43	447,12	103,05	9,73

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

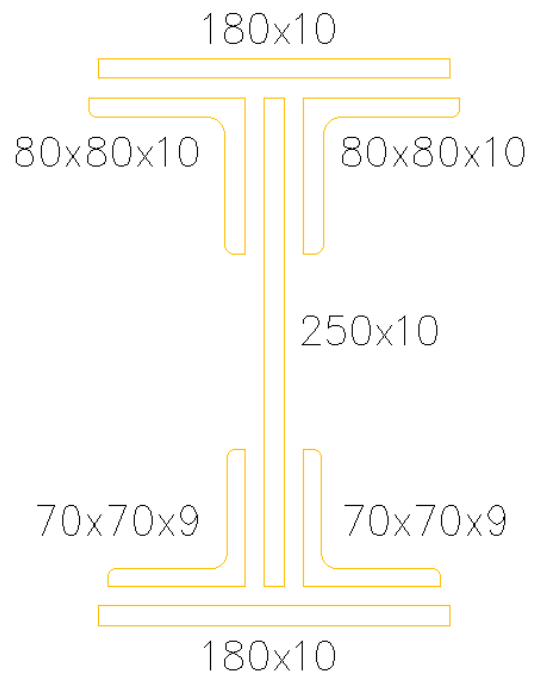
	Celkem	Rs	LM71
N =	-8,43	-3,73	-4,70
Vz =	447,12	42,88	404,25
My =	103,05	11,46	91,59
Mz =	9,73	8,75	0,98

Tabulka 121: Kombinace pro podélník_maximální Vz

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,270 m
Šířka pásnice b:	0,180 m
Tloušťka pásnice t_f :	0,010 m
Tloušťka stojiny t_w :	0,010 m
Výška stojiny h_w :	0,250 m
Krční úhelníky:	L 70x70x9 L 80x80x10



Základní průřezové charakteristiky

Obrázek 120: Průřez podélníku _maximální Vz

Plocha A:	0,011 498 m ²
Moment setrvačnosti I_y :	0,000 133 540 m ⁴
Moment setrvačnosti I_z :	0,000 016 516 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i_y :	0,108 m
Poloměr setrvačnosti i_z :	0,038 m
Průřezový elastický modul $W_{el,y}$:	0,000 953 000 m ³
Průřezový elastický modul $W_{el,z}$:	0,000 183 510 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,y}$:	0,001 169 200 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,z}$:	0,000 314 570 m ³

Posouzení průřezu při jednoosém ohybu

$$\eta_1 = \frac{8\,435}{\frac{210\,000\,000 \cdot 0,011\,498}{1,10}} + \frac{103\,051 + 8\,435 \cdot 0,000}{\frac{210\,000\,000 \cdot 0,000\,935}{1,10}}$$

$$\eta_1 = \underline{0,595\,291} \leq 1,0$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Posouzení účinku boulení stěn vlivem normálových napětí

$$z_1 = 0,123\ 680\ \text{m}$$

$$z_2 = 0,146\ 320\ \text{m}$$

Výpočet napětí σ_1 a σ_2 :

$$W_{\sigma 1} = \frac{I_y}{z_1} = \frac{0,000\ 134}{0,123\ 680}$$

$$W_{\sigma 1} = \underline{0,001\ 080\ \text{m}^3}$$

$$\sigma_1 = \frac{M_y}{W_{\sigma 1}} = \frac{142\ 776,710}{0,001\ 080}$$

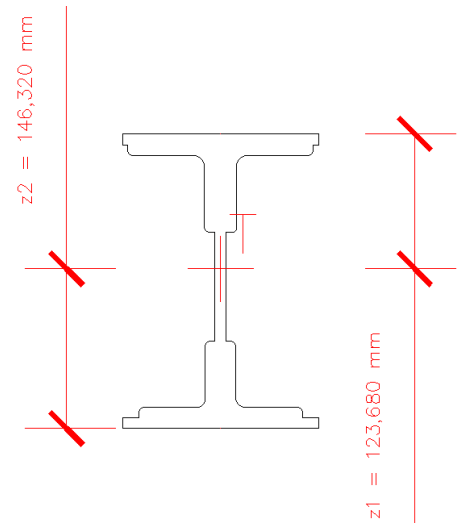
$$\sigma_1 = \underline{132,235\ \text{MPa}}$$

$$W_{\sigma 2} = \frac{I_y}{z_2} = \frac{0,000\ 134}{0,146\ 320}$$

$$W_{\sigma 2} = \underline{0,000\ 913\ \text{m}^3}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_y}{W_{\sigma 2}} = \frac{142\ 776,710}{0,000\ 913}$$

$$\sigma_2 = \underline{156,441\ \text{MPa}}$$



Obrázek 121: Těžiště průřezu podélníku_maximální Vz

Výpočet poměru napětí ψ :

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{156,441}{132,235}$$

$$\psi = \underline{0,845}$$

$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Součinitel kritického napětí k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

$$k_\sigma = \frac{8,2}{1,05 + \psi} = \frac{8,2}{1,05 + 0,845}$$

$$k_\sigma = \underline{4,326\ 559}$$

Výpočet koeficientu $\bar{\lambda}_p$:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{0,100/0,010}{28,4 * 1,058 * \sqrt{4,327}}$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{0,160\ 024}$$

Jelikož hodnota koeficientu vyšla $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$, není průřez náchylný na boulení a berou se tedy hodnoty $A_{\text{eff}} = A$ a $W_{\text{eff}} = W_{\text{ey}}$.

Posouzení průřezu na únosnost ve smyku

Příspěvek stojiny

Výpočet součinitele příspěvku stojiny χ_w :

Součinitel kritického napětí ve smyku k_τ :

$$\frac{a}{h_w} = \frac{2,000}{0,250} = \underline{8,000}$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a / h_w \geq 1$$

$$k_\tau = 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a / h_w < 1$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + k_{\tau sl} = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{0,250}{8,000}\right)^2 + 0 = \underline{5,402\ 500}$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} = \frac{0,250}{37,4 * 0,010 * 1,058 * \sqrt{5,402\ 500}}$$

$$\bar{\lambda}_w = \underline{0,271\ 861}$$

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$	η	η
$0,83 / \eta \leq \bar{\lambda}_w < 108$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 108$	$1,37 / (0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$

$$\eta = 1,2$$

$$0,83 / \eta = 0,83 / 1,2 = 0,691\ 667$$

Jak je z tabulky a výpočtu patrné, hodnota χ_w pro netuhou koncovou výztuhu bude rovna první hodnotě, jelikož $\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$.

$$\chi_w \leq 1,0;$$

$$\chi_w = \eta = 1,2 > 1,0$$

$$\chi_w = \underline{1,0}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{M1}} = \frac{1,0 * 210\ 000\ 000 * 0,250 * 0,010}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{bw,Rd} = \underline{252\ 590,743\ N}$$

Příspěvek pásnic

$$b_f = \underline{0,090 \text{ m}}$$

$$15 * \varepsilon * t_f = 15 * 1,058 * 0,010 = \underline{0,158 \ 678}$$

$$0,090 \leq 0,158 \ 678$$

Jelikož je podmínka splněna, bere se do výpočtu celá šířka pásnice $b = 0,090 \text{ m}$.

Výpočet koeficientu c:

$$c = a * \left(0,25 + \frac{1,6 * b_f * t_f^2 * f_{yf}}{t * h_w^2 * f_{yw}} \right) = 2,000 * \left(0,25 + \frac{1,6 * 0,090 * 0,010^2 * 210 \ 000 \ 000}{0,010 * 0,250^2 * 210 \ 000 \ 000} \right)$$

$$c = \underline{0,511 \ 520}$$

Výpočet momentu únosnosti průřezu sestávající pouze z účinné plochy pásnic $M_{f,Rd}$:

Pro výpočet účinné plochy pásnice byl využit program AutoCad, kde byly odměřeny jednotlivé plochy pásnic a krčnicích úhelníků. U krčnicích úhelníku se brala vždy pouze plocha, která představuje pásnici (tedy vodorovná část profilu L). Dále se odměřily už pouze těžiště jednotlivých pásnic od celkového těžiště průřezu.

$$A_{\text{pásnice,h}} = 0,001 \ 800 \text{ m}^2$$

$$z_{\text{pás,h}} = 0,118 \ 680 \text{ m}$$

$$A_{\text{pásnice,d}} = 0,001 \ 800 \text{ m}^2$$

$$z_{\text{pás,d}} = 0,141 \ 320 \text{ m}$$

$$A_{\text{úhel,h}} = 0,001 \ 589 \text{ m}^2$$

$$z_h = 0,108 \ 706 \text{ m}$$

$$A_{\text{úhel,d}} = 0,001 \ 251 \text{ m}^2$$

$$z_d = 0,131 \ 844 \text{ m}$$

$$W_{fy} = 0,001 \ 800 * 0,118 \ 680 + 0,001 \ 800 * 0,141 \ 320 + 0,001 \ 589 * 0,108 \ 706 + 0,001 \ 251 * 0,131 \ 844$$

$$W_{fy} = \underline{0,000 \ 806 \text{ m}^3}$$

$$M_{f,Rd} = \frac{W_{fy} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,000 \ 806 * 210 \ 000 \ 000}{1,10} = \underline{153 \ 823,212 \text{ Nm}}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f * t_f^2 * f_{yf}}{c * \gamma_{M1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = \frac{0,090 * 0,010^2 * 210 \ 000 \ 000}{0,511 \ 520 * 1,20} * \left(1 - \left(\frac{101 \ 477,710}{153 \ 823,212} \right)^2 \right)$$

$$V_{bf,Rd} = \underline{1 \ 739,026 \text{ N}}$$

Celková smyková návrhová únosnost

1. Podmínka

$$V_{b,Rd} = 252\,590,743 + 1\,739,026 \leq \frac{1,2 \cdot 210\,000\,000 \cdot 0,250 \cdot 0,010}{\sqrt{3} \cdot 1,20}$$

$$V_{b,Rd} = \underline{254\,329,768} \leq \underline{303\,108,891} \quad \text{PODMÍNKA SPLNĚNÁ}$$

2. Podmínka

$$\eta_3 = \frac{447\,123,880}{254\,329,768} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 1,758\,337 \leq 1,0 \quad \text{NESPLNĚNÁ PODMÍNKA}$$

Jelikož je podmínka nesplněná, průřez je neúnosný na smyk, nelze dále vypočítat zatížitelnost, protože není splněna podmínka η_3 . Prvek je nepřechodný pro traťovou rychlost 75 km/h. Je potřeba jej tedy posoudit na nižší rychlost, a to rychlost na mostě 60 km/h.

7.2.2.1. Posouzení průřezu pro rychlost na mostě $v = 60 \text{ km/h}$

Jelikož má rychlost pouze vliv na odstředivé síly, ve výpočtu se tedy změní pouze hodnoty vnitřních sil odstředivých sil, všechny ostatní hodnoty zůstávají stejné.

5.29	OS 60 Po max Vz	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00	
Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
0,15 kN	-9,31 kN	2,16 kNm	0,56 kNm	0,00 kN	12,10 kN	2,81 kNm	0,73 kNm

Tabulka 122: Odstředivé síly pro rychlost 60 km/h pro podélník_maximální Vz

Posouzení průřezu při jednoosém ohybu

$$\eta_1 = \frac{8\,435}{\frac{210\,000\,000 * 0,011\,498}{1,10}} + \frac{101\,478 + 8\,435 * 0,000}{\frac{210\,000\,000 * 0,000\,935}{1,10}}$$

$$\eta_1 = \underline{0,586\,263} \leq 1,0$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Posouzení účinku boulení stěn vlivem normálových napětí

$$z_1 = 0,123\,680 \text{ m}$$

$$z_2 = 0,146\,320 \text{ m}$$

Výpočet napětí σ_1 a σ_2 :

$$W_{\sigma 1} = \frac{I_y}{z_1} = \frac{0,000\,134}{0,123\,680}$$

$$W_{\sigma 1} = \underline{0,001\,080 \text{ m}^3}$$

$$\sigma_1 = \frac{M_y}{W_{\sigma 1}} = \frac{142\,776,710}{0,001\,080}$$

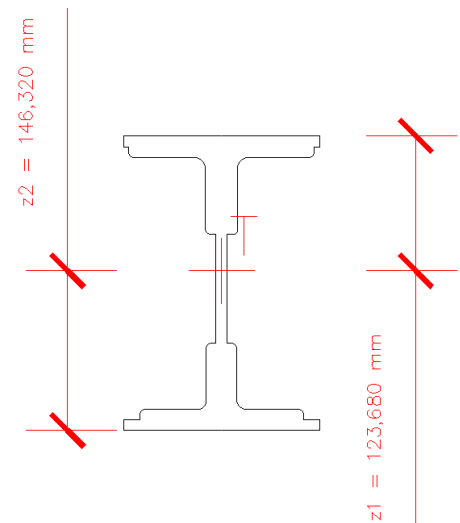
$$\sigma_1 = \underline{132,235 \text{ MPa}}$$

$$W_{\sigma 2} = \frac{I_y}{z_2} = \frac{0,000\,134}{0,146\,320}$$

$$W_{\sigma 2} = \underline{0,000\,913 \text{ m}^3}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_y}{W_{\sigma 2}} = \frac{142\,776,710}{0,000\,913}$$

$$\sigma_2 = \underline{156,441 \text{ MPa}}$$



Obrázek 122: Těžiště průřezu pro rychlost 60 km/h podélníku_maximální Vz

Výpočet poměru napětí ψ :

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{156,441}{132,235}$$

$$\psi = \underline{0,845}$$

$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Součinitel kritického napětí k_{σ}	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

$$k_{\sigma} = \frac{8,2}{1,05 + \psi} = \frac{8,2}{1,05 + 0,845}$$

$$k_{\sigma} = \underline{\underline{4,326\ 559}}$$

Výpočet koeficientu $\bar{\lambda}_p$:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{0,100/0,010}{28,4 * 1,058 * \sqrt{4,327}}$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{\underline{0,160\ 024}}$$

Jelikož hodnota koeficientu vyšla $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$, není průřez náchylný na boulení a berou se tedy hodnoty $A_{\text{eff}} = A$ a $W_{\text{eff}} = W_{\text{ey}}$.

Posouzení průřezu na únosnost ve smyku

Příspěvek stojiny

Výpočet součinitele příspěvku stojiny χ_w :

Součinitel kritického napětí ve smyku k_{τ} :

$$\frac{a}{h_w} = \frac{2,000}{0,250} = \underline{\underline{8,000}}$$

$$k_{\tau} = 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{\tau\text{sl}} \quad \text{pokud } a / h_w \geq 1$$

$$k_{\tau} = 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{\tau\text{sl}} \quad \text{pokud } a / h_w < 1$$

$$k_{\tau} = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + k_{\tau\text{sl}} = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{0,250}{8,000}\right)^2 + 0 = \underline{\underline{5,402\ 500}}$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_{\tau}}} = \frac{0,250}{37,4 * 0,010 * 1,058 * \sqrt{5,402\ 500}}$$

$$\bar{\lambda}_w = \underline{\underline{0,271\ 861}}$$

	Tuhá koncová výtzuha	Netuhá koncová výtzuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$	η	η
$0,83 / \eta \leq \bar{\lambda}_w < 108$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 108$	$1,37 / (0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$

$$\eta = 1,2$$

$$0,83 / \eta = 0,83 / 1,2 = 0,691\ 667$$

Jak je z tabulky a výpočtu patrné, hodnota χ_w pro netuhou koncovou výztuhu bude rovna první hodnotě, jelikož $\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$.

$$\chi_w \leq 1,0;$$

$$\chi_w = \eta = 1,2 > 1,0$$

$$\chi_w = \underline{1,0}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{M1}} = \frac{1,0 * 210\,000\,000 * 0,250 * 0,010}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{bw,Rd} = \underline{252\,590,743\,N}$$

Příspěvek pásnic

$$b_f = \underline{0,090\,m}$$

$$15 * \varepsilon * t_f = 15 * 1,058 * 0,010 = \underline{0,158\,678}$$

$$0,090 \leq 0,158\,678$$

Jelikož je podmínka splněna, bere se do výpočtu celá šířka pásnice $b = 0,090\,m$.

Výpočet koeficientu c:

$$c = a * \left(0,25 + \frac{1,6 * b_f * t_f^2 * f_{yf}}{t * h_w^2 * f_{yw}} \right) = 2,000 * \left(0,25 + \frac{1,6 * 0,090 * 0,010^2 * 210\,000\,000}{0,010 * 0,250^2 * 210\,000\,000} \right)$$

$$c = \underline{0,511\,520}$$

Výpočet momentu únosnosti průřezu sestávající pouze z účinné plochy pásnic $M_{f,Rd}$:

Pro výpočet účinné plochy pásnice byl využit program AutoCad, kde byly odměřeny jednotlivé plochy pásnic a krčnic úhelníků. U krčnic úhelníku se brala vždy pouze plocha, která představuje pásnici (tedy vodorovná část profilu L). Dále se odměřily už pouze těžiště jednotlivých pásnic od celkového těžiště průřezu.

$$A_{pásnice,h} = 0,001\,800\,m^2$$

$$z_{pás,h} = 0,118\,680\,m$$

$$A_{pásnice,d} = 0,001\,800\,m^2$$

$$z_{pás,d} = 0,141\,320\,m$$

$$A_{úhel,h} = 0,001\,589\,m^2$$

$$z_h = 0,108\,706\,m$$

$$A_{úhel,d} = 0,001\,251\,m^2$$

$$z_d = 0,131\,844\,m$$

$$W_{fy} = 0,001\,800 * 0,118\,680 + 0,001\,800 * 0,141\,320 + 0,001\,589 * 0,108\,706 + 0,001\,251 * 0,131\,844$$

$$W_{fy} = \underline{0,000\,806\,m^3}$$

$$M_{f,Rd} = \frac{W_{fy} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,000\,806 * 210\,000\,000}{1,10} = \underline{153\,823,212\,Nm}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f * t_f^2 * f_{yf}}{c * \gamma_{M1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}}\right)^2\right) = \frac{0,090 * 0,010^2 * 210\,000\,000}{0,511\,520 * 1,20} * \left(1 - \left(\frac{103\,050,710}{153\,823,212}\right)^2\right)$$

$$V_{bf,Rd} = \underline{1\,697,160\,N}$$

Celková smyková návrhová únosnost

1. Podmínka

$$V_{b,Rd} = 252\,590,743 + 1\,697,160 \leq \frac{1,2 * 210\,000\,000 * 0,250 * 0,010}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{b,Rd} = \underline{254\,287,903} \leq \underline{303\,108,891}$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

2. Podmínka

$$\eta_3 = \frac{440\,312}{254\,287,903} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 1,731\,264 \leq 1,0$$

NESPLNĚNÁ PODMÍNKÁ

Jelikož je podmínka nesplněná, průřez je neúnosný na smyk, nelze dále vypočítat zatížitelnost, protože není splněna podmínka η_3 . Prvek je nepřechodný pro traťovou rychlost 75 km/h i pro rychlost na mostě. Prvek je tedy potřeba zesílit, popřípadě snížit rychlosti či traťovou třídu.

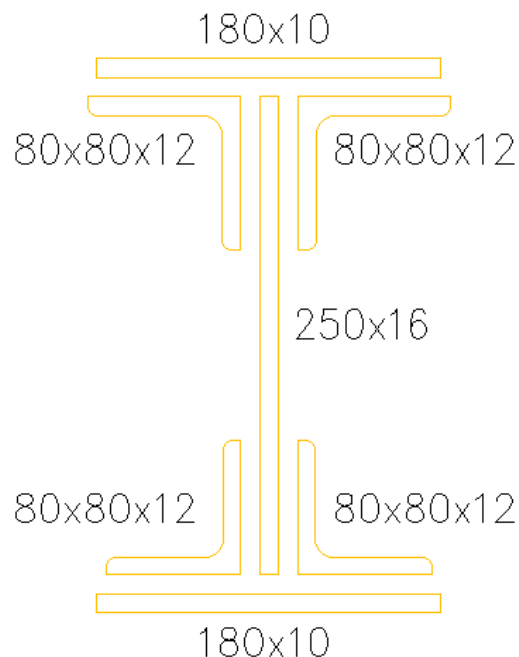
7.2.2.2. Posouzení průřezu po zesílení průřezu

Průřez byl zesílen v místech krčnicích úhelníků z původních profilů na nové L 80x80x12 mm a v místě stojiny z původních 10 mm na novou hodnotu 16 mm. Dále byl změněn materiál na dnes používanou ocel S 275.

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,270 m
Šířka pásnice b:	0,180 m
Tloušťka pásnice t_f :	0,010 m
Tloušťka stojiny t_w :	0,016 m
Výška stojiny h_w :	0,250 m
Krční úhelníky:	L 80x80x12



Obrázek 123: Průřez zesíleného podélníku_maximální Vz

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,014 748 m ²
Moment setrvačnosti I_y :	0,000 155 800 m ⁴
Moment setrvačnosti I_z :	0,000 021 250 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i_y :	0,104 m
Poloměr setrvačnosti i_z :	0,038 m
Průřezový elastický modul $W_{el,y}$:	0,001 174 100 m ³
Průřezový elastický modul $W_{el,z}$:	0,000 236 120 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,y}$:	0,001 439 000 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,z}$:	0,000 407 650 m ³

Posouzení průřezu při jednoosém ohybu

$$\eta_1 = \frac{8\,430}{\frac{275\,000\,000 * 0,014\,748}{1,10}} + \frac{103\,050 + 8\,430 * 0,000}{\frac{275\,000\,000 * 0,001\,174}{1,10}}$$

$$\eta_1 = \underline{0,359\,460} \leq 1,0$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Posouzení účinku boulení stěn vlivem normálových napětí

$$z_1 = 0,135 \text{ m}$$

$$z_2 = 0,135 \text{ m}$$

Výpočet napětí σ_1 a σ_2 :

$$W_{\sigma 1} = \frac{I_y}{z_1} = \frac{0,000\ 156}{0,135}$$

$$W_{\sigma 1} = \underline{0,001\ 154\ \text{m}^3}$$

$$\sigma_1 = \frac{M_y}{W_{\sigma 1}} = \frac{103\ 050,710}{0,001\ 154}$$

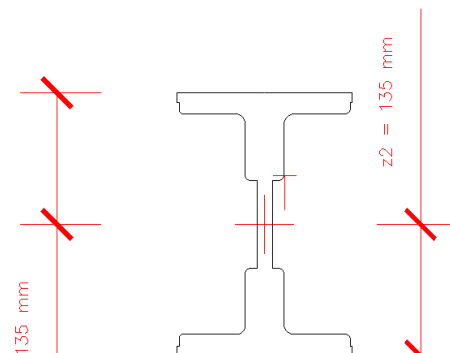
$$\sigma_1 = \underline{89,293\ \text{MPa}}$$

$$W_{\sigma 2} = \frac{I_y}{z_2} = \frac{0,000\ 156}{0,135}$$

$$W_{\sigma 2} = \underline{0,001\ 154\ \text{m}^3}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_y}{W_{\sigma 2}} = \frac{103\ 050,710}{0,001\ 154}$$

$$\sigma_2 = \underline{89,293\ \text{MPa}}$$



Obrázek 124: Těžiště průřezu zesíleného podélníku _maximální Vz

Výpočet poměru napětí ψ :

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{89,293}{89,293}$$

$$\psi = \underline{1,000}$$

$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Součinitel kritického napětí k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

$$k_\sigma = \underline{4,000}$$

Výpočet koeficientu $\bar{\lambda}_p$:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{0,082/0,016}{28,4 * 0,924 * \sqrt{4,000}}$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{0,097\ 606}$$

Jelikož hodnota koeficientu vyšla $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$, není průřez náchylný na boulení a berou se tedy hodnoty $A_{\text{eff}} = A$ a $W_{\text{eff}} = W_{ey}$.

Posouzení průřezu na únosnost ve smyku

Příspěvek stojiny

Výpočet součinitele příspěvku stojiny χ_w :

Součinitel kritického napětí ve smyku k_τ :

$$\frac{a}{h_w} = \frac{2,000}{0,250} = \underline{8,000}$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a / h_w \geq 1$$

$$k_\tau = 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a / h_w < 1$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + k_{\tau sl} = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{0,250}{2,000}\right)^2 + 0 = \underline{5,102\ 500}$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} = \frac{0,250}{37,4 * 0,016 * 0,924 * \sqrt{5,102\ 500}}$$

$$\bar{\lambda}_w = \underline{0,194\ 439}$$

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

$$\eta = 1,2$$

$$0,83 / \eta = 0,83 / 1,2 = 0,691\ 667$$

Jak je z tabulky a výpočtu patrné, hodnota χ_w pro netuhou koncovou výztuhu bude rovna první hodnotě, jelikož $\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$.

$$\chi_w \leq 1,0;$$

$$\chi_w = \eta = 1,2 > 1,0$$

$$\chi_w = \underline{1,0}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{M1}} = \frac{1,0 * 275\ 000\ 000 * 0,250 * 0,016}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{bw,Rd} = \underline{529\ 237,747\ N}$$

Příspěvek pásnic

$$b_f = \underline{0,070 \text{ m}}$$

$$15 * \varepsilon * t_f = 15 * 0,924 * 0,022 = \underline{0,305 \ 057}$$

$$0,070 \leq 0,305 \ 057$$

Jelikož je podmínka splněna, bere se do výpočtu celá šířka pásnice $b = 0,070 \text{ m}$.

Výpočet koeficientu c:

ČSN EN 1993-1-5: 5.4 (1) výraz (5.8)

$$c = a * \left(0,25 + \frac{1,6 * b_f * t_f^2 * f_{yf}}{t * h_w^2 * f_{yw}} \right) = 2,000 * \left(0,25 + \frac{1,6 * 0,070 * 0,022^2 * 275 \ 000 \ 000}{0,016 * 0,250^2 * 275 \ 000 \ 000} \right)$$

$$c = \underline{0,527 \ 104}$$

Výpočet momentu únosnosti průřezu sestávající pouze z účinné plochy pásnic $M_{f,Rd}$:

Pro výpočet účinné plochy pásnice byl využit program AutoCad, kde byly odměřeny jednotlivé plochy pásnic a krčních úhelníků. U krčních úhelníků se brala vždy pouze plocha, která představuje pásnici (tedy vodorovná část profilu L). Dále se odměřily už pouze těžiště jednotlivých pásnic od celkového těžiště průřezu.

$$A_h = 0,003 \ 901 \text{ m}^2$$

$$z_h = 0,130 \ 089 \text{ m}$$

$$A_d = 0,003 \ 901 \text{ m}^2$$

$$z_d = 0,130 \ 089 \text{ m}$$

$$W_{fy} = 0,003 \ 901 * 0,130 \ 089 + 0,003 \ 901 * 0,130 \ 089$$

$$W_{fy} = \underline{0,001 \ 015 \text{ m}^3}$$

$$M_{f,Rd} = \frac{W_{fy} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,001 \ 015 * 275 \ 000 \ 000}{1,10} = \underline{253 \ 756,157 \text{ Nm}}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f * t_f^2 * f_{yf}}{c * \gamma_{M1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = \frac{0,070 * 0,022^2 * 275 \ 000 \ 000}{0,527 \ 104 * 1,20} * \left(1 - \left(\frac{103 \ 050,710}{253 \ 756,157} \right)^2 \right)$$

$$V_{bf,Rd} = \underline{12 \ 300,635 \text{ N}}$$

Celková smyková návrhová únosnost

1. Podmínka

$$V_{b,Rd} = 529\,237,747 + 12\,300,635 \leq \frac{1,2 * 275\,000\,000 * 0,250 * 0,016}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{b,Rd} = \underline{541\,538,382} \leq \underline{635\,085,296} \quad \text{PODMÍNKA SPLNĚNÁ}$$

2. Podmínka

$$\eta_3 = \frac{447\,123,880}{541\,538,382} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 0,825\,655 \leq 1,0 \quad \text{PODMÍNKA SPLNĚNÁ}$$

Interakce mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

Pokud $\bar{\eta}_3$ nepřesáhne hodnotu 0,5, není nutné návrhovou únosnost pro ohybový moment a osovou sílu redukovat s ohledem na smykovou sílu. Jestliže je $\bar{\eta}_3$ větší než 0,5, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojině nosníku I, nebo nosníku komorového, splňovat následující podmínku. ČSN EN 1993-1-5: 7.1 (1)

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0 \quad \text{pro} \quad \eta_1 \geq \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}$$

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = \frac{447\,123,880}{541\,538,382}$$

$$\bar{\eta}_3 = 0,825\,655 \leq 0,5 \quad \text{NESPLNĚNÁ PODMÍNKA}$$

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,001\,439 * 275\,000\,000}{1,10} = \underline{359\,750,000 \text{ Nm}}$$

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{103\,050,710}{359\,750,000}$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{0,286\,451}$$

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0$$

$$0,286\ 451 + \left(1 - \frac{253\ 756,157}{359\ 750,000}\right) * (2 * 0,825\ 655 - 1)^2 \leq 1,0$$

$$\underline{0,426\ 599} \leq 1,0$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Posouzení průřezu na klopení (Zjednodušený výpočet)

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

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

$$M_{c,Rd} = W_y * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{c,Rd} = 0,001\ 174 * \frac{275\ 000\ 000}{1,20} = \underline{269\ 064\ \text{Nm}}$$

$$\lambda_1 = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = 3,14 * \sqrt{\frac{210\ 000\ 000\ 000}{275\ 000\ 000}} = \underline{86,814\ 681}$$

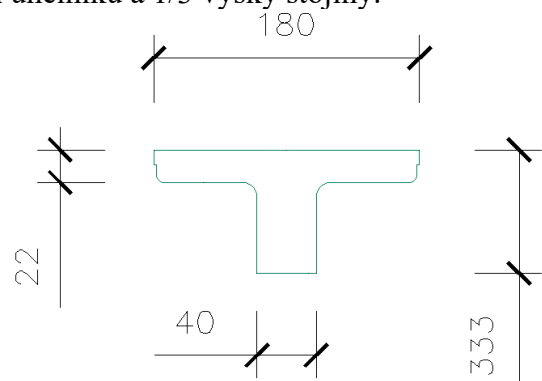
$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

Hodnoty pro plochu a moment setrvačnosti byly odměřeny v programu AutoCad, pro průřez, který se skládá z horních pásnic, horních krčních úhelníků a 1/3 výšky stojiny.

$$I_z = 0,000\ 062\ 399\ \text{m}^4$$

$$A = 0,006\ 398\ \text{m}^2$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{0,000\ 062\ 399}{0,006\ 398}} = \underline{0,098\ 761\ \text{m}}$$



Obrázek 125: Průřez pro výpočet klopení zesíleného podélníku_maximální Vz

Největší hodnotu štíhlosti se doporučuje následující hodnota:

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

$$\overline{\lambda}_{c0} = \underline{0,5}$$

Stanovení opravného součinitele k_c :

$$k_c = \underline{0,940}$$

$$\overline{\lambda}_1 = \frac{0,940 * 2,000}{0,098\ 761 * 86,814\ 681} \leq 0,5 * \frac{269\ 064}{103\ 051}$$

$$\overline{\lambda}_1 = \underline{0,219\ 271} \leq \underline{1,305\ 496}$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
-8,435		447,124		103,051		9,728	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
-3,733	-4,702	42,876	404,248	11,458	91,593	8,750	0,978

Tabulka 123: Vnitřní síly pro zesílený podélník maximální Vz

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \overline{\eta_3} = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,250 * 0,016 * 275\ 000\ 000}{\sqrt{3} * 1,1} = 577\ 350,269\ \text{N} = \underline{577,350\ \text{kN}}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 * 404,248 + 42,876 = \underline{447,120\ \text{kN}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{447,120}{577,350} = \underline{0,774\ 435\ [-]}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je větší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{3\,733}{\frac{0,014\,748 * 275\,000\,000}{1,10}} + \frac{11\,458}{\frac{0,001\,174 * 275\,000\,000}{1,10}} + \frac{8\,750}{\frac{0,000\,236 * 275\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,001 + 0,039 + 0,148 = \underline{0,188 [-]}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{4\,702}{\frac{0,014\,748 * 275\,000\,000}{1,10}} + \frac{91\,593}{\frac{0,001\,174 * 275\,000\,000}{1,10}} + \frac{978}{\frac{0,000\,236 * 275\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,001 + 0,312 + 0,017 = \underline{0,330 [-]}$$

$$\eta_{3,Rs} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{42\,876}{577\,350}$$

MP A.2.2.11_vztah (A.14)

$$\eta_{3,Rs} = \underline{0,074 [-]}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{404\,248}{577\,350}$$

MP A.2.2.11_vztah (A.15)

$$\eta_{3,Rs} = \underline{0,700 [-]}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,N,Rd}}{M_{pl,N,Rd}} \right) = 1 - \left(\frac{253\,756,200}{359\,750,000} \right)$$

MP A.2.2.11_vztah (A.16)

$$k = \underline{0,294\,632 [-]}$$

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

MP A.2.2.11_vztah (A.16)

$$0,577\,772 * Z_{LM71}^2 - 0,372\,736 * Z_{LM71} - 0,598\,110 = 0$$

$$D = (-0,372\,736)^2 - 4 * 0,577\,772 * (-0,598\,110) = 1,521\,219$$

$$Z_{LM71,1} = \frac{0,372\,736 + \sqrt{1,521\,219}}{2 * 0,577\,772} = 1,389\,919$$

$$Z_{LM71,2} = \frac{0,372\,736 - \sqrt{1,521\,219}}{2 * 0,577\,772} = -0,744\,792$$

$$Z_{LM71} = Z_{LM71,1} = \underline{1,390}$$

Hodnota zatížitelnosti je rovna $Z_{LM71} = 1,390 [-]$. Jelikož je zatížitelnost větší než jedna, prvek na zatížitelnost vyhovuje.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,84}{1,69} = \underline{1,087 [-]}$$

Zatížení	γ_f	N	Vz	My	Mz
$M_{ttz,C2} =$	1,30	-1,14	-146,69	33,19	-0,88
$M_{LM71} =$	1,30	-2,14	-184,00	41,69	-0,89

Tabulka 124: Vnitřní síly od vlaků pro zesílený podélník_maximální Vz

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 * (-1,140)}{1,3 * (-2,140)} = \underline{0,533 [-]}$$

$$\text{pro Vz: } \lambda_{LM71,Vz} = \frac{1,3 * (-146,690)}{1,3 * (-184,000)} = \underline{0,797 [-]}$$

$$\text{pro My: } \lambda_{LM71,My} = \frac{1,3 * 33,190}{1,3 * 41,690} = \underline{0,796 [-]}$$

$$\text{pro Mz: } \lambda_{LM71,Mz} = \frac{1,3 * (-0,880)}{1,3 * (-0,890)} = \underline{0,989 [-]}$$

$$\text{pro N: } k_{i,N} = \frac{0,001 + 0,001}{0,188 + 0,330} = \underline{0,004 [-]}$$

$$\text{pro Vz: } k_{i,Vz} = \frac{0,000 + 0,000}{0,188 + 0,330} = \underline{0,000 [-]}$$

$$\text{pro My: } k_{i,My} = \frac{0,039 + 0,312}{0,188 + 0,330} = \underline{0,678 [-]}$$

$$\text{pro Mz: } k_{i,Mz} = \frac{0,148 + 0,017}{0,188 + 0,330} = \underline{0,318 [-]}$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i * \psi_i * \lambda_{LM71,i}$$

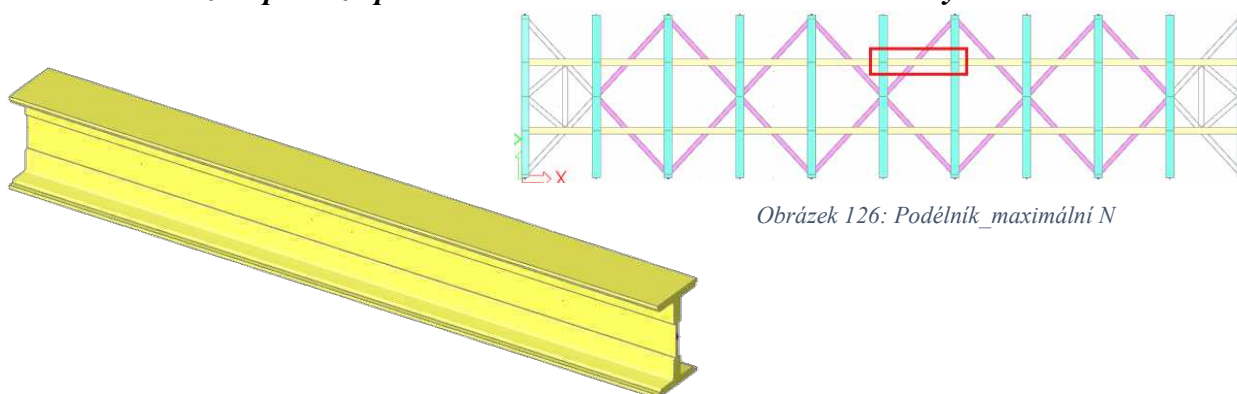
$$1,390 \geq (0,004 * 1,087 * 0,533) + (0,000 * 1,087 * 0,797) + (0,678 * 1,087 * 0,796) + (0,318 * 1,087 * 0,989)$$

$$1,390 \geq 0,931$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jak je patrné ze splnění podmínky, prvek po zesílení již je přechodný pro traťovou třídu C2 s přidruženou rychlostí 75 km/h.

7.2.3. Posouzení průřezu podélníku v místě maximální normálové síly N



Obrázek 126: Podélník_maximální N

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR14, která vyšla jako nejméně příznivá.

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z_{uvaz}/Gr_{XX}	Zuvaž/součinitel α
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.2	Vítr zleva	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.2	Teplota zima	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.30	BR Po max N	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.30a	OS 75 Po max N	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.30	LM71 Po max N	1,30	1,00	1,69	1,00	1,00
8.30	C2 Po max N	1,30	1,00	1,84	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
15,89 kN	2,05 kN	0,23 kNm	0,08 kNm	18,11 kN	2,34 kN	0,21 kNm	0,07 kNm
3,21 kN	0,47 kN	0,05 kNm	0,02 kNm	3,66 kN	0,54 kN	0,05 kNm	0,02 kNm
-25,38 kN	-6,13 kN	0,34 kNm	-0,83 kNm	0,00 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,84 kNm
14,91 kN	0,59 kN	0,42 kNm	2,91 kNm	13,42 kN	0,53 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-32,30 kN	-7,06 kN	0,21 kNm	-11,58 kNm	0,00 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-15,05 kNm
25,93 kN	14,54 kN	-0,67 kNm	1,67 kNm	33,71 kN	18,90 kN	-0,87 kNm	0,00 kNm
-5,80 kN	-6,69 kN	-0,21 kNm	-3,55 kNm	0,00 kN	0,00 kN	-0,14 kNm	-2,31 kNm
126,84 kN	111,76 kN	-3,10 kNm	0,68 kNm	278,67 kN	245,54 kN	-6,81 kNm	-0,75 kNm
70,27 kN	74,54 kN	1,24 kNm	-0,67 kNm	168,09 kN	178,30 kN	2,97 kNm	-1,60 kNm
123,30 kN	109,53 kN	-2,73 kNm	-10,60 kNm	347,57	267,84	-7,57	-18,86

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

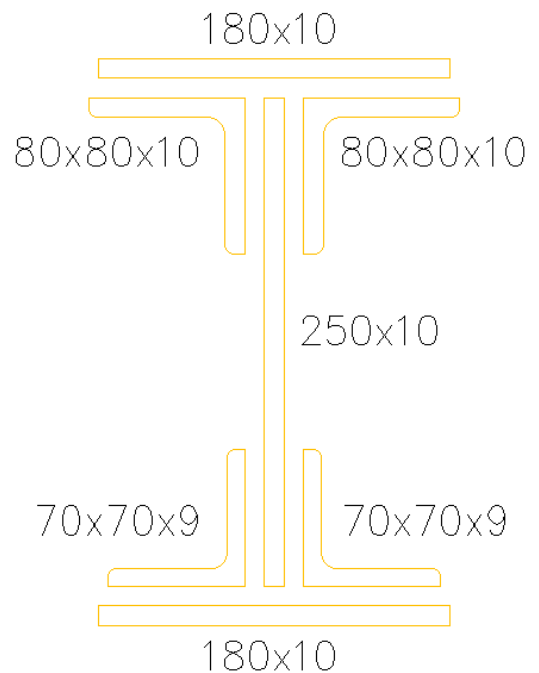
	Celkem	Rs	LM71
N =	347,57	68,90	278,67
Vz =	267,84	22,31	245,54
My =	-7,57	-0,76	-6,81
Mz =	-18,86	-18,11	-0,75

Tabulka 125: Kombinace pro podélník_maximální N

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,270 m
Šířka pásnice b:	0,180 m
Tloušťka pásnice t_f :	0,010 m
Tloušťka stojiny t_w :	0,010 m
Výška stojiny h_w :	0,250 m
Krční úhelníky:	L 70x70x9 L 80x80x10



Základní průřezové charakteristiky

Obrázek 127: Průřez podélníku _maximální N

Plocha A:	0,011 498 m ²
Moment setrvačnosti I_y :	0,000 133 540 m ⁴
Moment setrvačnosti I_z :	0,000 016 516 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i_y :	0,108 m
Poloměr setrvačnosti i_z :	0,038 m
Průřezový elastický modul $W_{el,y}$:	0,000 953 000 m ³
Průřezový elastický modul $W_{el,z}$:	0,000 183 510 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,y}$:	0,001 169 200 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,z}$:	0,000 314 570 m ³

Posouzení průřezu při jednoosém ohybu

$$\eta_1 = \frac{347\,569}{\frac{210\,000\,000 \cdot 0,011\,498}{1,10}} + \frac{7\,566 + 347\,569 \cdot 0,000}{\frac{210\,000\,000 \cdot 0,000\,935}{1,10}}$$

$$\eta_1 = \underline{\underline{0,201\,766}} \leq 1,0$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Posouzení účinku boulení stěn vlivem normálových napětí

$$z_1 = 0,123\ 680\ \text{m}$$

$$z_2 = 0,146\ 320\ \text{m}$$

Výpočet napětí σ_1 a σ_2 :

$$W_{\sigma 1} = \frac{I_y}{z_1} = \frac{0,000\ 134}{0,123\ 680}$$

$$W_{\sigma 1} = \underline{0,001\ 080\ \text{m}^3}$$

$$\sigma_1 = \frac{M_y}{W_{\sigma 1}} = \frac{7\ 566,200}{0,001\ 080}$$

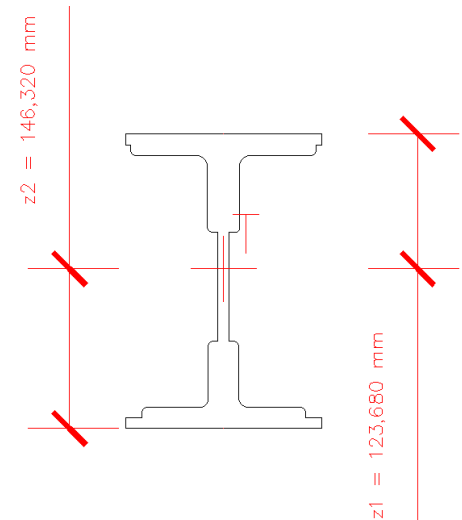
$$\sigma_1 = \underline{7,008\ \text{MPa}}$$

$$W_{\sigma 2} = \frac{I_y}{z_2} = \frac{0,000\ 134}{0,146\ 320}$$

$$W_{\sigma 2} = \underline{0,000\ 913\ \text{m}^3}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_y}{W_{\sigma 2}} = \frac{7\ 566,200}{0,000\ 913}$$

$$\sigma_2 = \underline{8,290\ \text{MPa}}$$



Obrázek 128: Těžiště průřezu podélníku_maximální N

Výpočet poměru napětí ψ :

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{8,290}{7,008}$$

$$\psi = \underline{0,845}$$

$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Součinitel kritického napětí k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

$$k_\sigma = \frac{8,2}{1,05 + \psi} = \frac{8,2}{1,05 + 0,845}$$

$$k_\sigma = \underline{4,326\ 559}$$

Výpočet koeficientu $\bar{\lambda}_p$:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{0,100/0,010}{28,4 * 1,058 * \sqrt{4,327}}$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{0,160\ 024}$$

Jelikož hodnota koeficientu vyšla $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$, není průřez náchylný na boulení a berou se tedy hodnoty $A_{\text{eff}} = A$ a $W_{\text{eff}} = W_{\text{ey}}$.

Posouzení průřezu na únosnost ve smyku

Příspěvek stojiny

Výpočet součinitele příspěvku stojiny χ_w :

Součinitel kritického napětí ve smyku k_τ :

$$\frac{a}{h_w} = \frac{2,000}{0,250} = \underline{8,000}$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a / h_w \geq 1$$

$$k_\tau = 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a / h_w < 1$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + k_{\tau sl} = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{0,250}{8,000}\right)^2 + 0 = \underline{5,402\ 500}$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} = \frac{0,250}{37,4 * 0,010 * 1,058 * \sqrt{5,402\ 500}}$$

$$\bar{\lambda}_w = \underline{0,271\ 861}$$

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$	η	η
$0,83 / \eta \leq \bar{\lambda}_w < 108$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 108$	$1,37 / (0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$

$$\eta = 1,2$$

$$0,83 / \eta = 0,83 / 1,2 = 0,691\ 667$$

Jak je z tabulky a výpočtu patrné, hodnota χ_w pro netuhou koncovou výztuhu bude rovna první hodnotě, jelikož $\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$.

$$\chi_w \leq 1,0;$$

$$\chi_w = \eta = 1,2 > 1,0$$

$$\chi_w = \underline{1,0}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{M1}} = \frac{1,0 * 210\ 000\ 000 * 0,250 * 0,010}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{bw,Rd} = \underline{252\ 590,743\ N}$$

Příspěvek pásnic

$$b_f = \underline{0,090 \text{ m}}$$

$$15 * \varepsilon * t_f = 15 * 1,058 * 0,010 = \underline{0,158 \text{ 678}}$$

$$0,090 \leq 0,158 \text{ 678}$$

Jelikož je podmínka splněna, bere se do výpočtu celá šířka pásnice $b = 0,090 \text{ m}$.

Výpočet koeficientu c:

$$c = a * \left(0,25 + \frac{1,6 * b_f * t_f^2 * f_{yf}}{t * h_w^2 * f_{yw}} \right) = 2,000 * \left(0,25 + \frac{1,6 * 0,090 * 0,010^2 * 210 \text{ 000 000}}{0,010 * 0,250^2 * 210 \text{ 000 000}} \right)$$

$$c = \underline{0,511 \text{ 520}}$$

Výpočet momentu únosnosti průřezu sestávající pouze z účinné plochy pásnic $M_{f,Rd}$:

Pro výpočet účinné plochy pásnice byl využit program AutoCad, kde byly odměřeny jednotlivé plochy pásnic a krčních úhelníků. U krčních úhelníků se brala vždy pouze plocha, která představuje pásnici (tedy vodorovná část profilu L). Dále se odměřily už pouze těžiště jednotlivých pásnic od celkového těžiště průřezu.

$$A_{\text{pásnice,h}} = 0,001 \text{ 800 m}^2$$

$$z_{\text{pás,h}} = 0,118 \text{ 680 m}$$

$$A_{\text{pásnice,d}} = 0,001 \text{ 800 m}^2$$

$$z_{\text{pás,d}} = 0,141 \text{ 320 m}$$

$$A_{\text{úhel,h}} = 0,001 \text{ 589 m}^2$$

$$z_h = 0,108 \text{ 706 m}$$

$$A_{\text{úhel,d}} = 0,001 \text{ 251 m}^2$$

$$z_d = 0,131 \text{ 844 m}$$

$$W_{fy} = 0,001 \text{ 800} * 0,118 \text{ 680} + 0,001 \text{ 800} * 0,141 \text{ 320} + 0,001 \text{ 589} * 0,108 \text{ 706} \\ + 0,001 \text{ 251} * 0,131 \text{ 844}$$

$$W_{fy} = \underline{0,000 \text{ 806 m}^3}$$

$$M_{f,Rd} = \frac{W_{fy} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,000 \text{ 806} * 210 \text{ 000 000}}{1,10} = \underline{153 \text{ 823,212 Nm}}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f * t_f^2 * f_{yf}}{c * \gamma_{M1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = \frac{0,090 * 0,010^2 * 210 \text{ 000 000}}{0,511 \text{ 520} * 1,20} * \left(1 - \left(\frac{7 \text{ 566,200}}{153 \text{ 823,212}} \right)^2 \right)$$

$$V_{bf,Rd} = \underline{3 \text{ 071,609 N}}$$

Celková smyková návrhová únosnost

1. Podmínka

$$V_{b,Rd} = 252\,590,743 + 3\,071,609 \leq \frac{1,2 \cdot 210\,000\,000 \cdot 0,250 \cdot 0,010}{\sqrt{3} \cdot 1,20}$$

$$V_{b,Rd} = \underline{255\,662,352} \leq \underline{303\,108,891} \quad \text{PODMÍNKA SPLNĚNÁ}$$

2. Podmínka

$$\eta_3 = \frac{267\,842,520}{255\,662,352} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 1,047\,642 \leq 1,0 \quad \text{NESPLNĚNÁ PODMÍNKA}$$

Jelikož je podmínka nesplněná, průřez je neúnosný na smyk, nelze dále vypočítat zatížitelnost, protože není splněna podmínka η_3 . Prvek je nepřechodný pro traťovou rychlost 75 km/h. Je potřeba jej tedy posoudit na nižší rychlost, a to rychlost na mostě 60 km/h.

7.2.3.1. Posouzení průřezu pro rychlost na mostě $v = 60 \text{ km/h}$

Jelikož má rychlost pouze vliv na odstředivé síly, ve výpočtu se tedy změní pouze hodnoty vnitřních sil odstředivých sil, všechny ostatní hodnoty zůstávají stejné.

5.30	OS 60 Po max N	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00	
Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
16,60 kN	9,30 kN	-0,43 kNm	1,07 kNm	21,58 kN	12,09 kN	-0,56 kNm	0,00 kNm

Tabulka 126: Odstředivé síly pro rychlost 60 km/h pro podélník_maximální N

Posouzení průřezu při jednoosém ohybu

$$\eta_1 = \frac{335\,440}{210\,000\,000 \cdot 0,011\,498} + \frac{7\,254 + 335\,440 \cdot 0,000}{210\,000\,000 \cdot 0,000\,935}$$

$$\eta_1 = \underline{0,194\,450} \leq 1,0$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Posouzení účinku boulení stěn vlivem normálových napětí

$$z_1 = 0,123\,680 \text{ m}$$

$$z_2 = 0,146\,320 \text{ m}$$

Výpočet napětí σ_1 a σ_2 :

$$W_{\sigma 1} = \frac{I_y}{z_1} = \frac{0,000\,134}{0,123\,680}$$

$$W_{\sigma 1} = \underline{0,001\,080 \text{ m}^3}$$

$$\sigma_1 = \frac{M_y}{W_{\sigma 1}} = \frac{7\,254,200}{0,001\,080}$$

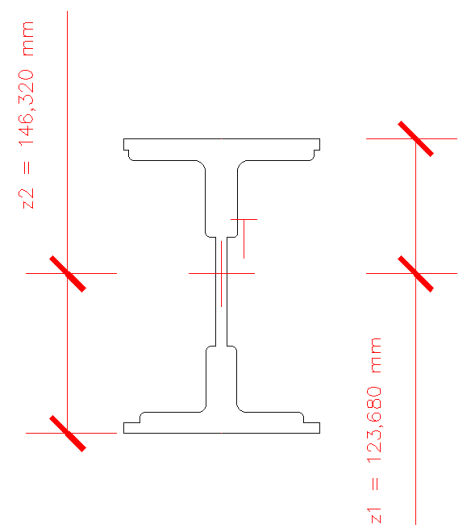
$$\sigma_1 = \underline{6,719 \text{ MPa}}$$

$$W_{\sigma 2} = \frac{I_y}{z_2} = \frac{0,000\,134}{0,146\,320}$$

$$W_{\sigma 2} = \underline{0,000\,913 \text{ m}^3}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_y}{W_{\sigma 2}} = \frac{7\,254,200}{0,000\,913}$$

$$\sigma_2 = \underline{7,948 \text{ MPa}}$$



Obrázek 129: Těžiště průřezu pro rychlost 60 km/h pro podélník_maximální N

Výpočet poměru napětí ψ :

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{7,948}{6,719}$$

$$\psi = \underline{0,845}$$

$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Součinitel kritického napětí k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

$$k_\sigma = \frac{8,2}{1,05 + \psi} = \frac{8,2}{1,05 + 0,845}$$

$$k_\sigma = \underline{4,326\,559}$$

Výpočet koeficientu $\bar{\lambda}_p$:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{0,100/0,010}{28,4 * 1,058 * \sqrt{4,327}}$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{\underline{0,160\ 024}}$$

Jelikož hodnota koeficientu vyšla $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$, není průřez náchylný na boulení a berou se tedy hodnoty $A_{\text{eff}} = A$ a $W_{\text{eff}} = W_{\text{ey}}$.

Posouzení průřezu na únosnost ve smyku

Příspěvek stojiny

Výpočet součinitele příspěvku stojiny χ_w :

Součinitel kritického napětí ve smyku k_τ :

$$\frac{a}{h_w} = \frac{2,000}{0,250} = \underline{\underline{8,000}}$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a / h_w \geq 1$$

$$k_\tau = 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a / h_w < 1$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + k_{\tau sl} = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{0,250}{8,000}\right)^2 + 0 = \underline{\underline{5,402\ 500}}$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 * \epsilon * \sqrt{k_\tau}} = \frac{0,250}{37,4 * 0,010 * 1,058 * \sqrt{5,402\ 500}}$$

$$\bar{\lambda}_w = \underline{\underline{0,271\ 861}}$$

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$	η	η
$0,83 / \eta \leq \bar{\lambda}_w < 108$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 108$	$1,37 / (0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$

$$\eta = 1,2$$

$$0,83 / \eta = 0,83 / 1,2 = 0,691\ 667$$

Jak je z tabulky a výpočtu patrné, hodnota χ_w pro netuhou koncovou výztuhu bude rovna první hodnotě, jelikož $\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$.

$$\chi_w \leq 1,0;$$

$$\chi_w = \eta = 1,2 > 1,0$$

$$\chi_w = \underline{1,0}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{M1}} = \frac{1,0 * 210\,000\,000 * 0,250 * 0,010}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{bw,Rd} = \underline{252\,590,743\,N}$$

Příspěvek pásnic

$$b_f = \underline{0,090\,m}$$

$$15 * \varepsilon * t_f = 15 * 1,058 * 0,010 = \underline{0,158\,678}$$

$$0,090 \leq 0,158\,678$$

Jelikož je podmínka splněna, bere se do výpočtu celá šířka pásnice $b = 0,090\,m$.

Výpočet koeficientu c:

$$c = a * \left(0,25 + \frac{1,6 * b_f * t_f^2 * f_{yf}}{t * h_w^2 * f_{yw}} \right) = 2,000 * \left(0,25 + \frac{1,6 * 0,090 * 0,010^2 * 210\,000\,000}{0,010 * 0,250^2 * 210\,000\,000} \right)$$

$$c = \underline{0,511\,520}$$

Výpočet momentu únosnosti průřezu sestávající pouze z účinné plochy pásnic $M_{f,Rd}$:

Pro výpočet účinné plochy pásnice byl využit program AutoCad, kde byly odměřeny jednotlivé plochy pásnic a krčních úhelníků. U krčních úhelníků se brala vždy pouze plocha, která představuje pásnici (tedy vodorovná část profilu L). Dále se odměřily už pouze těžiště jednotlivých pásnic od celkového těžiště průřezu.

$$A_{pásnice,h} = 0,001\,800\,m^2$$

$$z_{pás,h} = 0,118\,680\,m$$

$$A_{pásnice,d} = 0,001\,800\,m^2$$

$$z_{pás,d} = 0,141\,320\,m$$

$$A_{úhel,h} = 0,001\,589\,m^2$$

$$z_h = 0,108\,706\,m$$

$$A_{úhel,d} = 0,001\,251\,m^2$$

$$z_d = 0,131\,844\,m$$

$$W_{fy} = 0,001\,800 * 0,118\,680 + 0,001\,800 * 0,141\,320 + 0,001\,589 * 0,108\,706 + 0,001\,251 * 0,131\,844$$

$$W_{fy} = \underline{0,000\,806\,m^3}$$

$$M_{f,Rd} = \frac{W_{fy} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,000\,806 * 210\,000\,000}{1,10} = \underline{153\,823,212\,Nm}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f * t_f^2 * f_{yf}}{c * \gamma_{M1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}}\right)^2\right) = \frac{0,090 * 0,010^2 * 210\,000\,000}{0,511\,520 * 1,20} * \left(1 - \left(\frac{7\,254,200}{153\,823,212}\right)^2\right)$$

$$V_{bf,Rd} = \underline{3\,072,211\,N}$$

Celková smyková návrhová únosnost

1. Podmínka

$$V_{b,Rd} = 252\,590,743 + 3\,072,211 \leq \frac{1,2 * 210\,000\,000 * 0,250 * 0,010}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{b,Rd} = \underline{255\,662,953} \leq \underline{303\,108,891}$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

2. Podmínka

$$\eta_3 = \frac{261\,030,520}{255\,662,953} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 1,020\,995 \leq 1,0$$

NESPLNĚNÁ PODMÍNKA

Jelikož je podmínka nesplněná, průřez je neúnosný na smyk, nelze dále vypočítat zatížitelnost, protože není splněna podmínka η_3 . Prvek je nepřechodný pro traťovou rychlost 75 km/h i pro rychlost na mostě. Prvek je tedy potřeba zesílit, popřípadě snížit rychlosti či traťovou třídu.

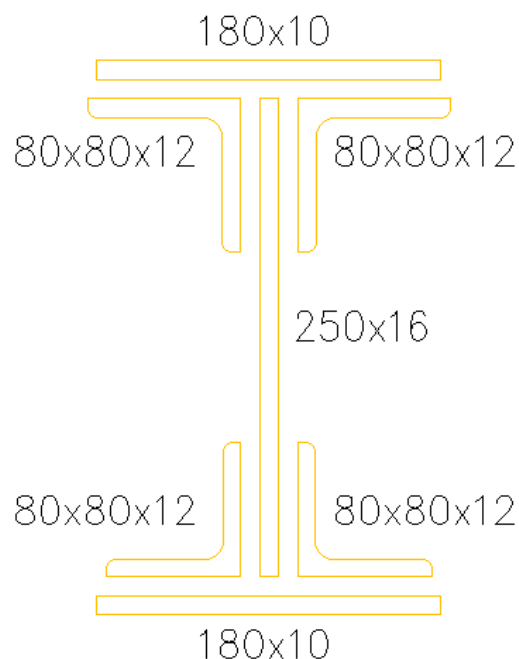
7.2.3.2. Posouzení průřezu po zesílení průřezu

Průřez byl zesílen v místech krčnicích úhelníku z původních profilů na nové L 80x80x12 mm a v místě stojiny z původních 10 mm na novou hodnotu 16 mm. Dále byl změněn materiál na dnes používanou ocel S 275.

Základní charakteristiky průřezu

Rozměry průřezu

Celková výška profilu H:	0,270 m
Šířka pásnice b:	0,180 m
Tloušťka pásnice t_f :	0,010 m
Tloušťka stojiny t_w :	0,016 m
Výška stojiny h_w :	0,250 m
Krční úhelníky:	L 80x80x12



Obrázek 130: Průřez zesíleného podélníku_maximální N

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,014 748 m ²
Moment setrvačnosti I_y :	0,000 155 800 m ⁴
Moment setrvačnosti I_z :	0,000 021 250 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i_y :	0,104 m
Poloměr setrvačnosti i_z :	0,038 m
Průřezový elastický modul $W_{el,y}$:	0,001 174 100 m ³
Průřezový elastický modul $W_{el,z}$:	0,000 236 120 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,y}$:	0,001 439 000 m ³
Průřezový plastický modul $W_{pl,z}$:	0,000 407 650 m ³

Posouzení průřezu při jednoosém ohybu

$$\eta_1 = \frac{347\,569}{\frac{275\,000\,000 \cdot 0,014\,748}{1,10}} + \frac{7\,566 + 347\,569 \cdot 0,000}{\frac{275\,000\,000 \cdot 0,001\,174}{1,10}}$$

$$\eta_1 = \underline{0,120\,493} \leq 1,0$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Posouzení účinku boulení stěn vlivem normálových napětí

$$z_1 = 0,135 \text{ m}$$

$$z_2 = 0,135 \text{ m}$$

Výpočet napětí σ_1 a σ_2 :

$$W_{\sigma 1} = \frac{I_y}{z_1} = \frac{0,000\ 156}{0,135}$$

$$W_{\sigma 1} = \underline{0,001\ 154 \text{ m}^3}$$

$$\sigma_1 = \frac{M_y}{W_{\sigma 1}} = \frac{7\ 566,200}{0,001\ 154}$$

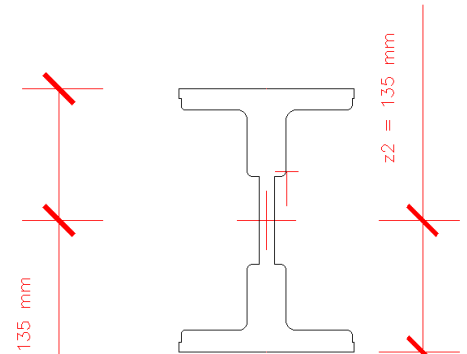
$$\sigma_1 = \underline{6,556 \text{ MPa}}$$

$$W_{\sigma 2} = \frac{I_y}{z_2} = \frac{0,000\ 156}{0,135}$$

$$W_{\sigma 2} = \underline{0,001\ 154 \text{ m}^3}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_y}{W_{\sigma 2}} = \frac{7\ 566,200}{0,001\ 154}$$

$$\sigma_2 = \underline{6,556 \text{ MPa}}$$



Obrázek 131: Těžiště průřezu zesíleného podélníku_maximální N

Výpočet poměru napětí ψ :

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{6,556}{6,556}$$

$$\psi = \underline{1,000}$$

$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Součinitel kritického napětí k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

$$k_\sigma = \underline{4,000}$$

Výpočet koeficientu $\bar{\lambda}_p$:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{0,082/0,016}{28,4 * 0,924 * \sqrt{4,000}}$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{0,097\ 606}$$

Jelikož hodnota koeficientu vyšla $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$, není průřez náchylný na boulení a berou se tedy hodnoty $A_{\text{eff}} = A$ a $W_{\text{eff}} = W_{\text{ey}}$.

Posouzení průřezu na únosnost ve smyku

Příspěvek stojiny

Výpočet součinitele příspěvku stojiny χ_w :

Součinitel kritického napětí ve smyku k_τ :

$$\frac{a}{h_w} = \frac{2,000}{0,250} = \underline{8,000}$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a/h_w \geq 1$$

$$k_\tau = 4,00 + 5,34 \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a/h_w < 1$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + k_{\tau sl} = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{0,250}{2,000}\right)^2 + 0 = \underline{5,102\ 500}$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 * t * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}} = \frac{0,250}{37,4 * 0,016 * 0,924 * \sqrt{5,102\ 500}}$$

$$\bar{\lambda}_w = \underline{0,194\ 439}$$

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

$$\eta = 1,2$$

$$0,83/\eta = 0,83/1,2 = 0,691\ 667$$

Jak je z tabulky a výpočtu patrné, hodnota χ_w pro netuhou koncovou výztuhu bude rovna první hodnotě, jelikož $\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$.

$$\chi_w \leq 1,0;$$

$$\chi_w = \eta = 1,2 > 1,0$$

$$\chi_w = \underline{1,0}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t}{\sqrt{3} * \gamma_{M1}} = \frac{1,0 * 275\ 000\ 000 * 0,250 * 0,016}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{bw,Rd} = \underline{529\ 237,747\ N}$$

Příspěvek pásnic

$$b_f = \underline{0,070 \text{ m}}$$

$$15 * \varepsilon * t_f = 15 * 0,924 * 0,022 = \underline{0,305 \ 057}$$

$$0,070 \leq 0,305 \ 057$$

Jelikož je podmínka splněna, bere se do výpočtu celá šířka pásnice $b = 0,070 \text{ m}$.

Výpočet koeficientu c:

ČSN EN 1993-1-5: 5.4 (1) výraz (5.8)

$$c = a * \left(0,25 + \frac{1,6 * b_f * t_f^2 * f_{yf}}{t * h_w^2 * f_{yw}} \right) = 2,000 * \left(0,25 + \frac{1,6 * 0,070 * 0,022^2 * 275 \ 000 \ 000}{0,016 * 0,250^2 * 275 \ 000 \ 000} \right)$$

$$c = \underline{0,527 \ 104}$$

Výpočet momentu únosnosti průřezu sestávající pouze z účinné plochy pásnic $M_{f,Rd}$:

Pro výpočet účinné plochy pásnice byl využit program AutoCad, kde byly odměřeny jednotlivé plochy pásnic a krčních úhelníků. U krčních úhelníku se brala vždy pouze plocha, která představuje pásnici (tedy vodorovná část profilu L). Dále se odměřily už pouze těžiště jednotlivých pásnic od celkového těžiště průřezu.

$$A_h = 0,003 \ 901 \text{ m}^2$$

$$z_h = 0,130 \ 089 \text{ m}$$

$$A_d = 0,003 \ 901 \text{ m}^2$$

$$z_d = 0,130 \ 089 \text{ m}$$

$$W_{fy} = 0,003 \ 901 * 0,130 \ 089 + 0,003 \ 901 * 0,130 \ 089$$

$$W_{fy} = \underline{0,001 \ 015 \text{ m}^3}$$

$$M_{f,Rd} = \frac{W_{fy} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,001 \ 015 * 275 \ 000 \ 000}{1,10} = \underline{253 \ 756,157 \text{ Nm}}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f * t_f^2 * f_{yf}}{c * \gamma_{M1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = \frac{0,070 * 0,022^2 * 275 \ 000 \ 000}{0,527 \ 104 * 1,20} * \left(1 - \left(\frac{7 \ 566,200}{253 \ 756,157} \right)^2 \right)$$

$$V_{bf,Rd} = \underline{14 \ 716,762 \text{ N}}$$

Celková smyková návrhová únosnost

1. Podmínka

$$V_{b,Rd} = 529\,237,747 + 14\,716,762 \leq \frac{1,2 * 275\,000\,000 * 0,250 * 0,016}{\sqrt{3} * 1,20}$$

$$V_{b,Rd} = \underline{543\,954,809} \leq \underline{635\,085,296} \quad \text{PODMÍNKA SPLNĚNÁ}$$

2. Podmínka

$$\eta_3 = \frac{267\,842,520}{543\,954,809} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 0,492\,399 \leq 1,0 \quad \text{PODMÍNKA SPLNĚNÁ}$$

Interakce mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

Pokud $\bar{\eta}_3$ nepřesáhne hodnotu 0,5, není nutné návrhovou únosnost pro ohybový moment a osovou sílu redukovat s ohledem na smykovou sílu. Jestliže je $\bar{\eta}_3$ větší než 0,5, má kombinovaný účinek momentu a smyku ve stojině nosníku I, nebo nosníku komorového, splňovat následující podmínku. ČSN EN 1993-1-5: 7.1 (1)

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) * (2 * \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0 \quad \text{pro} \quad \eta_1 \geq \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}$$

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = \frac{267\,842,520}{543\,954,809}$$

$$\bar{\eta}_3 = 0,492\,399 \leq 0,5 \quad \text{PODMÍNKA SPLNĚNÁ}$$

Jelikož je podmínka splněná, výpočet nemusí pokračovat dále a můžeme říci, že průřez vyhovuje na interakci mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou.

Posouzení průřezu na klopení (Zjednodušený výpočet)

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

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

$$M_{c,Rd} = W_y * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{c,Rd} = 0,001\ 174 * \frac{275\ 000\ 000}{1,20} = \underline{\underline{269\ 064\ Nm}}$$

$$\lambda_1 = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = 3,14 * \sqrt{\frac{210\ 000\ 000\ 000}{275\ 000\ 000}} = \underline{\underline{86,814\ 681}}$$

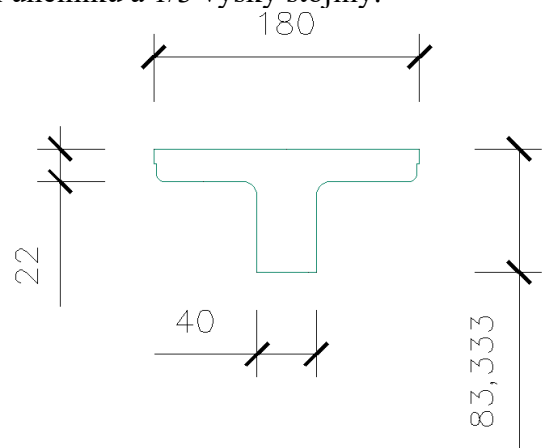
$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

Hodnoty pro plochu a moment setrvačnosti byly odměřeny v programu AutoCad, pro průřez, který se skládá z horních pásnic, horních krčních úhelníků a 1/3 výšky stojiny.

$$I_z = 0,000\ 062\ 399\ m^4$$

$$A = 0,006\ 398\ m^2$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{0,000\ 062\ 399}{0,006\ 398}} = \underline{\underline{0,098\ 761\ m}}$$



Největší hodnotu štíhlosti se doporučuje následující hodnota:

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

$$\overline{\lambda}_{c0} = \underline{\underline{0,5}}$$

Obrázek 132: Průřez pro výpočet klopení zesíleného podélníku_maximální N

Stanovení opravného součinitele k_c :

$$k_c = \underline{\underline{0,940}}$$

$$\overline{\lambda}_1 = \frac{0,940 * 2,000}{0,098\ 761 * 86,814\ 681} \leq 0,5 * \frac{269\ 064}{7\ 566}$$

$$\overline{\lambda}_1 = \underline{\underline{0,219\ 271}} \leq \underline{\underline{17,780\ 695}}$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Výpočet zatížitelnosti

Hodnoty potřebné pro výpočet:

Hodnoty končící příponou $_{cel}$ jsou celkové hodnoty od všech zatížení. Hodnoty končící příponou $_{Rs,Ed}$ jsou hodnoty vzniklé součtem všech zatížení, kromě zatížení od zatěžovacího modelu LM71 (dopravy), což představují hodnoty končící příponou $_{LM71,Ed}$.

N_{cel} [kN]		$V_{z,cel}$ [kN]		$M_{y,cel}$ [kN]		$M_{z,cel}$ [kN]	
347,569		267,843		-7,566		-18,112	
$N_{Rs,Ed}$	$N_{LM71,Ed}$	$V_{z,Rs,Ed}$	$V_{z,LM71,Ed}$	$M_{y,Rs,Ed}$	$M_{y,LM71,Ed}$	$M_{z,Rs,Ed}$	$M_{z,LM71,Ed}$
68,902	278,667	22,306	245,537	-0,756	-6,811	-18,112	0,000

Tabulka 127: Vnitřní síly pro zesílený podélník_maximální N

Výpočet podmínky η_3 :

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{resp.} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{MP A.2.2.11_vztah (A.4)}$$

$$V_{bw,Rd} = 529\,237,747 \text{ N} = \underline{\underline{529,238 \text{ kN}}}$$

$$V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71} + V_{rs,Ed}$$

$$V_{Ed} = 1,0 * 245,537 + 22,306 = \underline{\underline{267,840 \text{ kN}}}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = \frac{267,840}{529,238} = \underline{\underline{0,506\,000 \text{ [-]}}}$$

Výpočet zatížitelnosti:

Jak je patrné ze vztahu, hodnota η_3 je větší než 0,5 a dle Metodického pokynu tedy výpočet zatížitelnosti pokračuje podle následujících vztahů.

$$\eta_{1,Rs} = \frac{68\,902}{\frac{0,014\,748 * 275\,000\,000}{1,10}} + \frac{756}{\frac{0,001\,174 * 275\,000\,000}{1,10}} + \frac{18\,112}{\frac{0,000\,236 * 275\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,Rs} = 0,019 + 0,003 + 0,307 = \underline{\underline{0,328 \text{ [-]}}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{278\,667}{\frac{0,014\,748 * 275\,000\,000}{1,10}} + \frac{6\,811}{\frac{0,001\,174 * 275\,000\,000}{1,10}} + \frac{0}{\frac{0,000\,236 * 275\,000\,000}{1,10}}$$

$$\eta_{1,LM71} = 0,076 + 0,023 + 0,000 = \underline{\underline{0,099 \text{ [-]}}}$$

$$\eta_{3,RS} = \frac{V_{rs,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{22\,306}{577\,350} \quad MP\ A.2.2.11_vztah\ (A.14)$$

$$\eta_{3,RS} = \underline{0,039} \text{ [-]}$$

$$\eta_{3,LM71} = \frac{V_{LM71,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{245\,537}{577\,350} \quad MP\ A.2.2.11_vztah\ (A.15)$$

$$\eta_{3,LM71} = \underline{0,425} \text{ [-]}$$

$$k = 1 - \left(\frac{M_{f,N,Rd}}{M_{pl,N,Rd}} \right) = 1 - \left(\frac{253\,756,200}{359\,750,000} \right) \quad MP\ A.2.2.11_vztah\ (A.16)$$

$$k = \underline{0,294\,632} \text{ [-]}$$

$$4 * k * Z_{LM71}^2 * \eta_{3,LM71} + Z_{LM71} * (\eta_{1,LM71} + 8 * k * \eta_{3,LM71} * \eta_{3,rs} - 4 * k * \eta_{3,LM71}) + \eta_{1,rs} + 4 * k * \eta_{3,rs}^2 - 4 * k * \eta_{3,rs} + k - 1 = 0$$

MP A.2.2.11_vztah (A.16)

$$0,213\,154 * Z_{LM71}^2 - 0,363\,694 * Z_{LM71} - 0,421\,054 = 0$$

$$D = (-0,363\,694)^2 - 4 * 0,213\,154 * (-0,421\,054) = 0,491\,272$$

$$Z_{LM71,1} = \frac{0,363\,694 + \sqrt{0,491\,272}}{2 * 0,213\,154} = 2,497\,258$$

$$Z_{LM71,2} = \frac{0,363\,694 - \sqrt{0,491\,272}}{2 * 0,213\,154} = -0,791\,008$$

$$Z_{LM71} = Z_{LM71,1} = \underline{2,497}$$

The value of the loadability is equal to $Z_{LM71} = 2,497$ [-]. Because the loadability is greater than one, the member satisfies the loadability.

Výpočet přechodnosti

Přechodnost provozního zatížení vyhovuje, pokud vyjde základní vztah dle Metodického pokynu.

$$\psi = \frac{1,84}{1,69} = \underline{1,087} [-]$$

Zatížení	γ_f	N	Vz	My	Mz
$M_{ttz,C2} =$	1,30	70,27	74,54	1,24	-0,67
$M_{LM71} =$	1,30	126,84	111,76	3,10	0,68

Tabulka 128: Vnitřní síly od vlaků pro zesílený podélník_maximální N

$$\text{pro N: } \lambda_{LM71,N} = \frac{1,3 \cdot 70,270}{1,3 \cdot 126,840} = \underline{0,554} [-]$$

$$\text{pro Vz: } \lambda_{LM71,Vz} = \frac{1,3 \cdot 74,540}{1,3 \cdot 111,760} = \underline{0,667} [-]$$

$$\text{pro My: } \lambda_{LM71,My} = \frac{1,3 \cdot 1,240}{1,3 \cdot 3,100} = \underline{0,400} [-]$$

$$\text{pro Mz: } \lambda_{LM71,Mz} = \frac{1,3 \cdot (-0,670)}{1,3 \cdot (-0,680)} = \underline{0,985} [-]$$

$$\text{pro N: } k_{i,N} = \frac{0,001 + 0,001}{0,328 + 0,099} = \underline{0,221} [-]$$

$$\text{pro Vz: } k_{i,Vz} = \frac{0,000 + 0,000}{0,328 + 0,099} = \underline{0,000} [-]$$

$$\text{pro My: } k_{i,My} = \frac{0,039 + 0,312}{0,328 + 0,099} = \underline{0,060} [-]$$

$$\text{pro Mz: } k_{i,Mz} = \frac{0,148 + 0,017}{0,328 + 0,099} = \underline{0,719} [-]$$

$$Z_{LM71} \geq \sum_{i=1}^n k_i \cdot \psi_i \cdot \lambda_{LM71,i}$$

$$2,497 \geq (0,221 \cdot 1,087 \cdot 0,554) + (0,000 \cdot 1,087 \cdot 0,667) + (0,060 \cdot 1,087 \cdot 0,400) + (0,719 \cdot 1,087 \cdot 0,985)$$

$$2,497 \geq 0,929$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

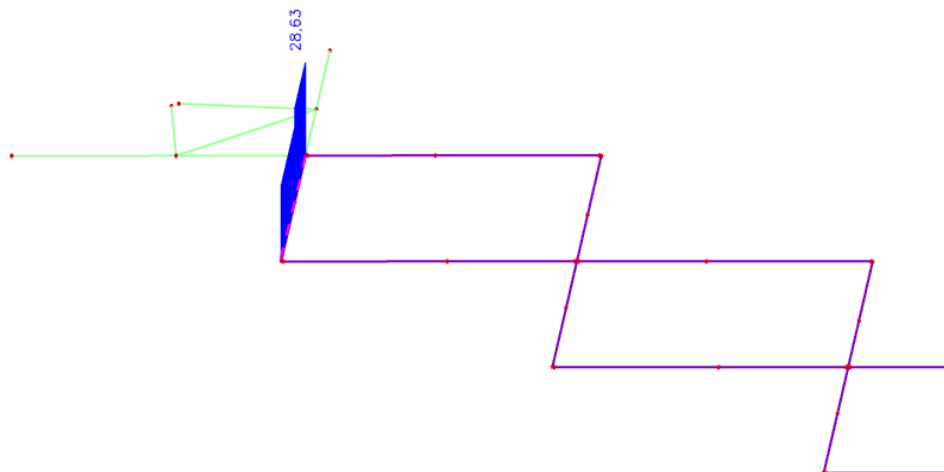
Jak je patrné ze splněné podmínky, prvek po zesílení již je přechodný pro traťovou třídu C2 s přidruženou rychlostí 75 km/h.

8. Posouzení ztužení

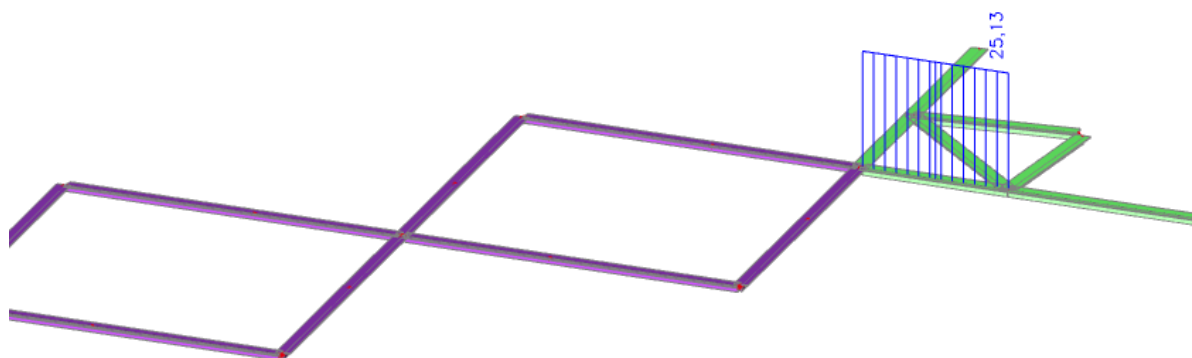
Ztužení se posuzovaly vždy v místě namáhání největší normálové síly. Mezi posuzované ztužení patří podélné ztužení hlavních nosníků a brzdné ztužení hlavních nosníků.

Prvky se posuzovaly na tah a tlak.

Posuzovaly se vždy jen prvky, u kterých vyšlo nejhorsí kombinace zatížení, u ostatních můžeme předpokládat, že vyhoví taktéž.



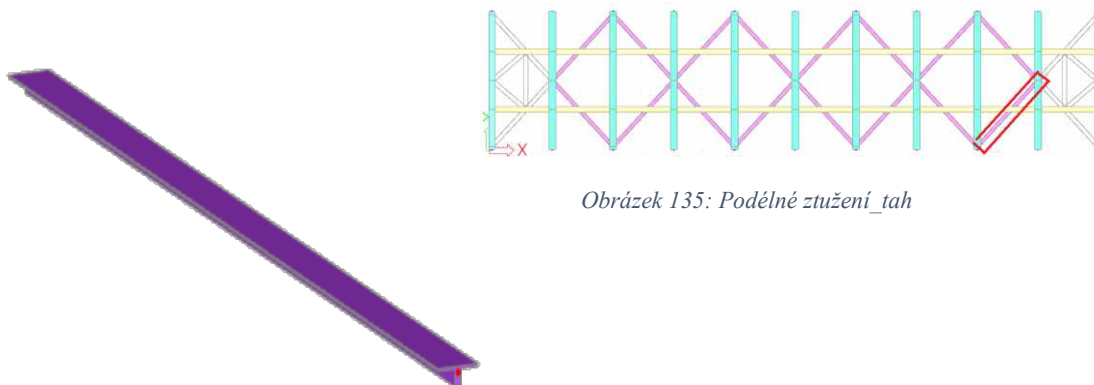
Obrázek 133: Průběh tahu pro výpočet podélného ztužení



Obrázek 134: Průběh tahu pro výpočet brzdného ztužení

8.1. Podélné ztužení

8.1.1. Posouzení průřezu ztužení v místě maximálního tahu



Obrázek 135: Podélné ztužení_tah

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR12, která vyšla jako nejméně příznivá.

zs	zatížení	γ_f	ψ_0	ϕ	Z_{uvaz}	Zuvaž/součinitel α	Vnitřní síly		
							Charakteristické kN	Návrhové kN	
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00	0,510	0,581	
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00	0,240	0,274	
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00	28,110	28,461	
3.3	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00	-12,870	-11,583	
4.32	BR Br Zt tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00	43,630	56,719	
5.32a	OS 75 Br Zt tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00	25,150	32,695	
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00	14,800	9,620	
7.32	LM71 Br Zt tah	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00	28,630	45,988	
8.32	C2 Br Zt tah	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00	20,660	35,721	
Celkem:								128,200	162,755

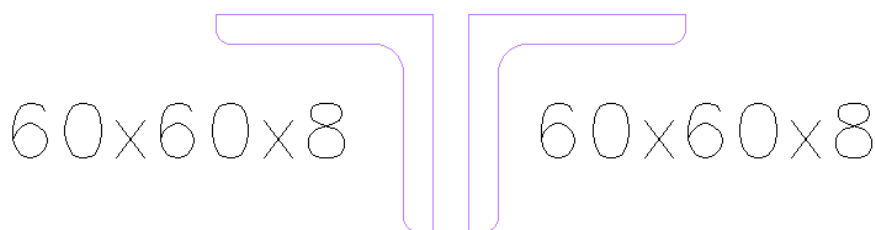
Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

	Celkem	Rs	LM71
N =	162,76	116,77	45,99

Tabulka 129: Kombinace pro podélné ztužení_tah

Základní charakteristiky průřezu



Obrázek 136: Průřez podélného ztužení_tah

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,001 806 m ²
Oslabená plocha A _{net} :	0,001 470 m ²
Moment setrvačnosti I _y :	0,000 000 583 m ⁴
Moment setrvačnosti I _z :	0,000 001 148 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i _y :	0,018 m
Poloměr setrvačnosti i _z :	0,025 m
Průřezový elastický modul W _{el,y} :	0,000 013 774 m ³
Průřezový elastický modul W _{el,z} :	0,000 019 129 m ³
Průřezový plastický modul W _{pl,y} :	0,000 025 137 m ³
Průřezový plastický modul W _{pl,z} :	0,000 031 939 m ³

Posouzení průřezu na tahové účinky

$$N_{pl,Rd} = \frac{210\,000\,000 \cdot 0,001\,470}{1,10} = 280\,585,773 \text{ N} = \underline{\underline{280,586 \text{ kN}}}$$

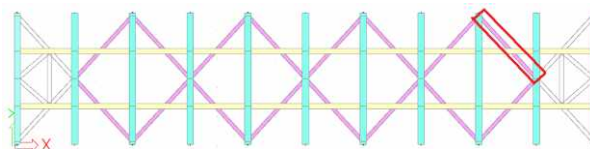
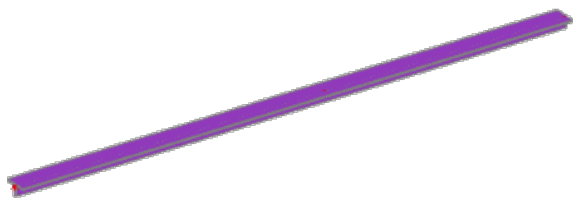
$$N_{pl,Rd} > N_{pl,Ed}$$

$$280,586 \text{ kN} > 162,760 \text{ kN}$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jak je patrné z podmínky dané normou, která vyhověla, průřez je na zatížení v tahu únosný a průřez se tedy nemusí zesilovat.

8.1.2. Posouzení průřezu ztužení v místě maximálního tlaku



Obrázek 137: Podélné ztužení_tlak

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR12, která vyšla jako nejméně příznivá.

zs	zatížení	γ_f	ψ_0	ϕ	$Z_{\text{úvaž}}$	Zuvaž/součinitel α
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.31	BR Br Zt tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.31a	OS 75 Br Zt tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.31	LM71 Br Zt tlak	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.31	C2 Br Zt tlak	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

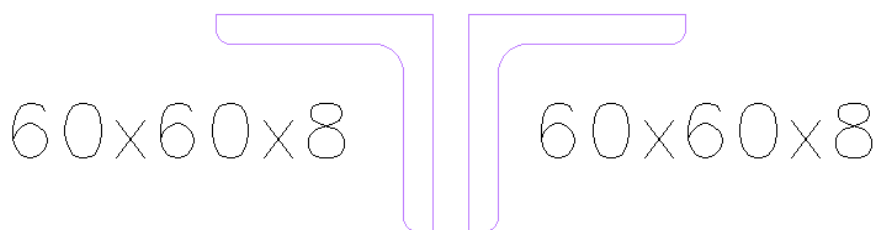
Vnitřní síly charakteristické			Vnitřní síly návrhové		
N	My	Mz	N	My	Mz
N [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-0,410	-0,010	0,030	0,47	0,01	0,03
0,060	0,010	0,010	-0,06	-0,01	0,01
-28,540	-0,290	0,040	28,90	0,29	0,04
-14,930	-0,020	-0,060	13,44	0,02	0,00
-41,550	-0,230	0,040	54,02	0,30	0,05
-29,640	-0,290	0,040	38,53	0,38	0,05
-27,970	0,060	0,240	18,18	0,00	0,16
0,470	0,240	0,210	0,00	0,00	0,34
-8,480	0,07	0,13	14,66	0,121	0,225
-142,510	-0,530	0,55	153,467	0,989	0,68

Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.
 Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

	Celkem	Rs	LM71
N =	153,47	153,47	0,00
My =	0,99	0,99	0,000
Mz =	0,68	0,35	0,337

Tabulka 130: Kombinace pro podélné ztužení_tlak

Základní charakteristiky průřezu



Obrázek 138: Průřez podélného ztužení_tlak

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,001 806 m ²
Oslabená plocha A _{net} :	0,001 470 m ²
Moment setrvačnosti I _y :	0,000 000 583 m ⁴
Moment setrvačnosti I _z :	0,000 001 148 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i _y :	0,018 m
Poloměr setrvačnosti i _z :	0,025 m
Průřezový elastický modul W _{el,y} :	0,000 013 774 m ³
Průřezový elastický modul W _{el,z} :	0,000 019 129 m ³
Průřezový plastický modul W _{pl,y} :	0,000 025 137 m ³
Průřezový plastický modul W _{pl,z} :	0,000 031 939 m ³

Posouzení průřezu na tlakové účinky

Zatřídění L průřezu

$$\frac{h}{t} = \frac{0,060}{0,008} = \underline{\underline{7,5}}$$

$$15 * \varepsilon = 15 * 1,06 = 15,868 [-]$$

$$\frac{h}{t} \leq 15 * \varepsilon = 7,5 \leq 15,868$$

PODMÍNKY SPLNĚNÁ

Průřez profilu L spadá dle normy automaticky do III. třídy průřezu.

ČSN EN 1993-1-1_5.6_tabulka 5.2

Průřez spadá do III. třídy průřezu. Pro výpočet a dle Metodického pokynu (odstavce A 2.2.4.) se ve výpočtech používají hodnoty elastické.

Výpočet součinitele vzpěrnosti

Štíhlost prutu: $L_y = L_z = 0,9 * L_{vzpěr} = 0,9 * 1,569 = \underline{1,41 \text{ m}}$

$$\lambda_y = \frac{1,41}{0,018} = \underline{78,484 \ 400 \ [-]}$$

$$\lambda_z = \frac{1,41}{0,025} = \underline{56,508 \ 770 \ [-]}$$

Poměrná štíhlost prutu: $\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 1,06 = \underline{99,534 \ [-]}$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{78,484 \ 400}{99,534} = \underline{0,790 \ 121 \ [-]}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{56,508 \ 770}{99,534} = \underline{0,568 \ 887 \ [-]}$$

Součinitel vzpěrnosti y: $\alpha = \text{křivka } b = 0,34$

$$\theta_y = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,790 \ 121 - 0,2) + 0,790 \ 121^2]$$

$$\theta_y = \underline{0,912 \ 466 \ [-]}$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,912 \ 466 + \sqrt{0,912 \ 466^2 - 0,790 \ 121^2}} = \underline{0,730 \ 530 \ [-]}$$

Součinitel vzpěrnosti z: $\alpha = \text{křivka } b = 0,34$

$$\theta_z = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,568 \ 887 - 0,2) + 0,568 \ 887^2]$$

$$\theta_z = \underline{0,724 \ 527 \ [-]}$$

$$\chi_z = \frac{1}{0,724 \ 527 + \sqrt{0,724 \ 527^2 - 0,568 \ 887^2}} = \underline{0,852 \ 370 \ [-]}$$

Pro výpočet únosnosti průřezu na tlak bereme méně příznivou hodnotu součinitele vzpěrnosti. Pro tento případ se jedná o součinitel vzpěrnosti χ_y .

Výpočet únosnosti průřezu na tlak

$$N_{b,Rd} = \frac{0,730 \ 530 * 210 \ 000 \ 000 * 0,001 \ 806}{1,20} = 230 \ 884,100 \text{ N} = \underline{230,884 \text{ kN}}$$

$$N_{b,Rd} > N_{b,Ed}$$

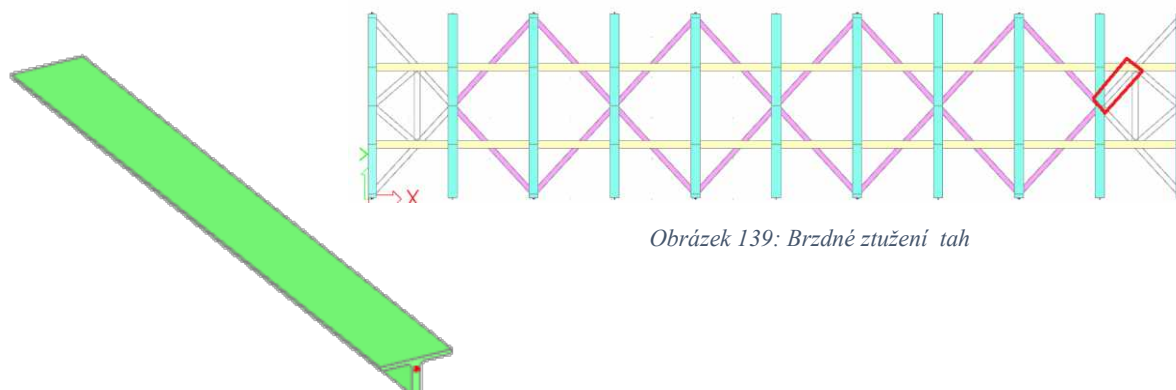
$$230,884 \text{ kN} > 153,467 \text{ kN}$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Jak je patrné z podmínky dané normou, která vyhověla, průřez je na zatížení v tlaku únosný a průřez se tedy nemusí zesilovat.

8.2. Brzdné ztužení

8.2.1. Posouzení průřezu ztužení v místě maximálního tahu



Obrázek 139: Brzdné ztužení tahu

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR12, která vyšla jako nejméně příznivá.

zs	zatížení	γ_f	ψ_0	ϕ	$Z_{uvaž}$	Zuvaž/součinitel α	Vnitřní síly		
							Charakteristické kN	Návrhové kN	
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00	1,200	1,368	
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00	0,390	0,445	
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00	37,970	38,445	
3.3	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00	-18,590	-16,731	
4.34	BR Po Zt tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00	51,700	67,210	
5.34a	OS 75 Po Zt tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00	38,480	50,024	
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00	-6,470	-4,206	
7.34	LM71 Po Zt tah	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00	25,130	40,366	
8.34	C2 Po Zt tah	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00	6,140	10,616	
Celkem:								129,810	176,921

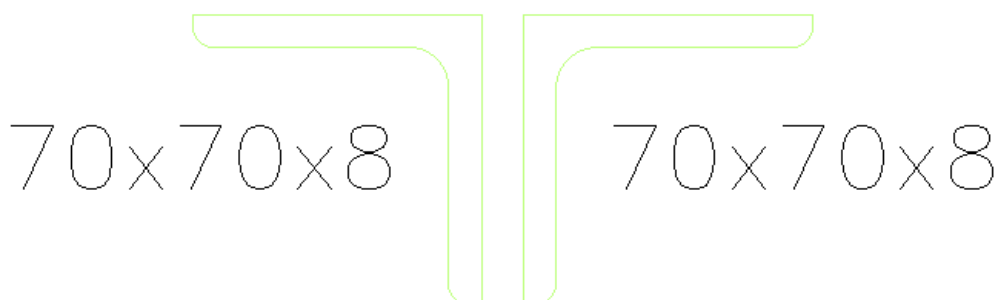
Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

	Celkem	Rs	LM71
N =	176,92	136,55	40,37

Tabulka 131: Kombinace pro brzdné ztužení_tah

Základní charakteristiky průřezu



Obrázek 140: Průřez brzděného ztužení_tah

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,002 134 m ²
Oslabená plocha A _{net} :	0,001 814 m ²
Moment setrvačnosti I _y :	0,000 000 945 m ⁴
Moment setrvačnosti I _z :	0,000 001 803 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i _y :	0,021 m
Poloměr setrvačnosti i _z :	0,029 m
Průřezový elastický modul W _{el,y} :	0,000 018 917 m ³
Průřezový elastický modul W _{el,z} :	0,000 025 755 m ³
Průřezový plastický modul W _{pl,y} :	0,000 034 640 m ³
Průřezový plastický modul W _{pl,z} :	0,000 042 789 m ³

Posouzení průřezu na tahové účinky

$$N_{pl,Rd} = \frac{210\,000\,000 \cdot 0,001\,814}{1,10} = 346\,206,000 \text{ N} = \underline{\underline{346,206 \text{ kN}}}$$

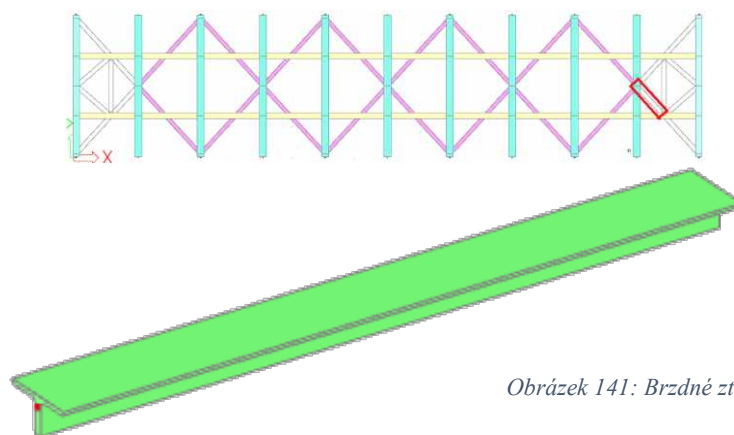
$$N_{pl,Rd} > N_{pl,Ed}$$

$$346,206 \text{ kN} > 176,920 \text{ kN}$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jak je patrné z podmínky dané normou, která vyhověla, průřez je na zatížení v tahu únosný a průřez se tedy nemusí zesilovat.

8.2.2. Posouzení průřezu ztužení v místě maximálního tlaku



Obrázek 141: Brzdné ztužení_tlak

Kombinace

Kombinace byla zjištěna a přepočtena podle kombinační rovnice 6.10b pro zatěžovací třídu GR12, která vyšla jako nejméně příznivá.

zs	zatížení	γ_i	ψ_0	ϕ	$Z_{uvaž}$	Zuvaž/součinitel α
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.33	BR Po Zt tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.33a	OS 75 Po Zt tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.33	LM71 Po Zt tlak	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.33	C2 Po Zt tlak	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické			Vnitřní síly návrhové		
N	My	Mz	N	My	Mz
N [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]
1,240	-0,030	0,000	-1,27	0,03	0,00
0,420	0,000	0,000	-0,43	0,00	0,00
-37,790	0,150	0,000	38,26	0,00	0,00
-31,080	0,410	0,000	27,97	0,00	0,00
-51,700	0,090	0,000	67,21	0,00	0,00
-34,520	0,190	0,000	44,88	0,00	0,00
-12,370	-0,460	0,000	8,04	0,30	0,00
23,560	-0,080	0,000	0,00	0,13	0,00
3,270	-0,30	0,00	5,65	-0,519	0,000
-142,240	0,270	0,00	184,658	0,462	0,00

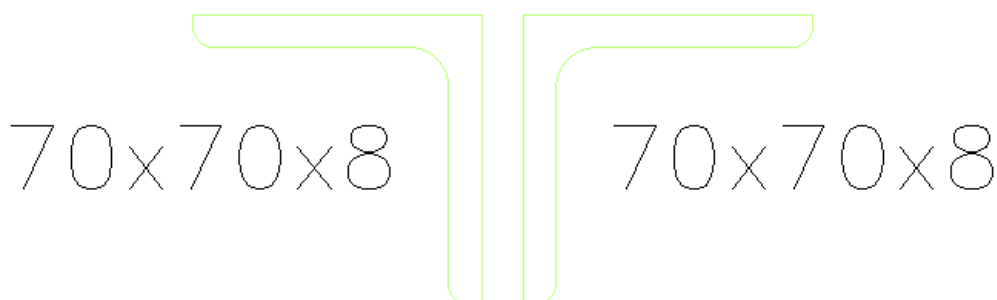
Hodnoty uvedené ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty bez výsledků vlaku C2.

Výsledné vnitřní síly použité do výstupu:

	Celkem	Rs	LM71
N =	184,66	184,66	0,00
My =	0,46	0,33	0,129
Mz =	0,00	0,00	0,000

Tabulka 132: Kombinace pro brzdné ztužení_tlak

Základní charakteristiky průřezu



Obrázek 142: Průřez brzdného ztužení_tlak

Základní průřezové charakteristiky

Plocha A:	0,002 134 m ²
Oslabená plocha A _{net} :	0,001 814 m ²
Moment setrvačnosti I _y :	0,000 000 945 m ⁴
Moment setrvačnosti I _z :	0,000 001 803 m ⁴
Poloměr setrvačnosti i _y :	0,021 m
Poloměr setrvačnosti i _z :	0,029 m
Průřezový elastický modul W _{el,y} :	0,000 018 917 m ³
Průřezový elastický modul W _{el,z} :	0,000 025 755 m ³
Průřezový plastický modul W _{pl,y} :	0,000 034 640 m ³
Průřezový plastický modul W _{pl,z} :	0,000 042 789 m ³

Posouzení průřezu na tlakové účinky

Zatřídění L průřezu

$$\frac{h}{t} = \frac{0,070}{0,008} = \underline{8,75}$$

$$15 * \epsilon = 15 * 1,06 = 15,868 [-]$$

$$\frac{h}{t} \leq 15 * \epsilon = 8,75 \leq 15,868$$

PODMÍNKY SPLNĚNÁ

Průřez profilu L spadá dle normy automaticky do III. třídy průřezu.

ČSN EN 1993-1-1_5.6_tabulka 5.2

Průřez spadá do III. třídy průřezu. Pro výpočet a dle Metodického pokynu (odstavce A 2.2.4.) se ve výpočtech používají hodnoty elastické.

Výpočet součinitele vzpěrnosti

Štíhlost prutu: $L_y = L_z = 0,9 * L_{vzpěr} = 0,9 * 0,891 = \underline{0,801 \text{ m}}$

$$\lambda_y = \frac{0,801}{0,021} = \underline{38,150 \ 314 \ [-]}$$

$$\lambda_z = \frac{0,801}{0,029} = \underline{27,626 \ 090 \ [-]}$$

Poměrná štíhlost prutu: $\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 1,06 = \underline{99,534 \ [-]}$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{38,150 \ 314}{99,534} = \underline{0,384 \ 068 \ [-]}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{27,626 \ 090}{99,534} = \underline{0,278 \ 118 \ [-]}$$

Součinitel vzpěrnosti y: $\alpha = \text{křivka b} = 0,34$

$$\theta_y = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,384 \ 068 - 0,2) + 0,384 \ 068^2]$$

$$\theta_y = \underline{0,605 \ 046 \ [-]}$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,605 \ 046 + \sqrt{0,605 \ 046^2 - 0,384 \ 068^2}} = \underline{0,932 \ 347 \ [-]}$$

Součinitel vzpěrnosti z: $\alpha = \text{křivka b} = 0,34$

$$\theta_z = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,278 \ 118 - 0,2) + 0,278 \ 118^2]$$

$$\theta_z = \underline{0,551 \ 955 \ [-]}$$

$$\chi_z = \frac{1}{0,551 \ 955 + \sqrt{0,551 \ 955^2 - 0,278 \ 118^2}} = \underline{0,972 \ 082 \ [-]}$$

Pro výpočet únosnosti průřezu na tlak bereme méně příznivou hodnotu součinitele vzpěrnosti. Pro tento případ se jedná o součinitel vzpěrnosti χ_y .

Výpočet únosnosti průřezu na tlak

$$N_{b,Rd} = \frac{0,932 \ 347 * 210 \ 000 \ 000 * 0,002 \ 134}{1,20} = 348 \ 168,486 \ \text{N} = \underline{348,168 \ \text{kN}}$$

$$N_{b,Rd} > N_{b,Ed}$$

$$348,168 \ \text{kN} > 184,658 \ \text{kN}$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jak je patrné z podmínky dané normou, která vyhověla, průřez je na zatížení v tlaku únosný a průřez se tedy nemusí zesilovat.

9. Posouzení spoje hlavního nosníku

9.1. Vzorový výpočet

Materiál konstrukce

$$f_y = 210\,000\,000 \text{ Pa}$$

$$f_u = 340\,000\,000 \text{ Pa}$$

$$\gamma_{M,0} = 1,100 [-]$$

$$\gamma_{M,1} = 1,200 [-]$$

$$\gamma_{M,2} = 1,300 [-]$$

Materiál nýtů

$$f_{y,b} = 200\,000\,000 \text{ Pa}$$

$$f_{u,b} = 310\,000\,000 \text{ Pa}$$

$$\gamma_{M,0} = 1,100 [-]$$

$$\gamma_{M,1} = 1,200 [-]$$

$$\gamma_{M,2} = 1,300 [-]$$

Materiál šroubů

$$f_{y,b} = 900\,000\,000 \text{ Pa}$$

$$f_{u,b} = 1\,000\,000\,000 \text{ Pa}$$

$$\gamma_{M,2} = 1,250 [-]$$

Vnitřní síly potřebné pro výpočet spoje

$$N = -499,780 \text{ kN}$$

9.1.1. Únosnost nýtu ve střihu

Počet nýtů použité ve spoji $n = 6$ ks.

$$F_{b,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{u,b} \cdot A_0}{\gamma_{M,2}}$$

ČSN EN 1993-1-8_3.6.1_tabulka 3.4

A_0 plocha nýtů

$$A_0 = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

d průměr nýtu

$$d = 0,021 \text{ m}$$

$$A_0 = \frac{\pi \cdot 0,021^2}{4} = \underline{\underline{0,000\,346 \text{ m}^2}}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{0,6 \cdot 310\,000\,000 \cdot 0,000\,346}{1,20} = \underline{\underline{49\,556,208 \text{ N}}}$$

$$F_{b,Rd,cel} = F_{b,Rd} \cdot n = 49\,556,208 \cdot 6 = \underline{\underline{297\,337,245 \text{ N}}}$$

$$F_{b,Rd,cel} > N$$

$$297\,337,245 > 499\,779,495 \text{ N}$$

NESPLNĚNÁ PODMÍNKA

Jelikož je únosnost nýtu nižší než zatížení, které na něj působí, spoj na zatížení nevyhovuje a je potřeba jej změnit.

9.1.2. Únosnost třecího šroubu ve stříhu

Počet nýtů použité ve spoji $n = 6$ ks.

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n_s \cdot \mu}{\gamma_{M,3}} * F_{p,C} \quad \text{ČSN EN 1993-1-8}_3.9.1_vztah\ 3.6$$

k_s druh otvoru pro šrouby ČSN EN 1993-1-8}_3.9.1_tabulka\ 3.6

$$k_s = 1,00 \text{ (šroub v obyčejných otvorech)}$$

n_s počet třecích ploch

$$n_s = 2,00 \text{ ks}$$

μ součinitel tření, který se stanoví zkouškami třecích povrchů podle souvisejících norem ČSN EN 1993-1-8}_3.9.1_tabulka\ 3.7

$$\mu = 0,5 \quad \text{pro třídu třecího povrchu A}$$

$F_{p,C}$ předpínací síla ČSN EN 1993-1-8}_3.9.1_vztah\ 3.7

$$F_{p,C} = 0,7 * f_{u,b} * A_s$$

A_s plocha šroubu

$$A_s = \frac{\pi * d^2}{4}$$

d průměr šroubu

$$d = 0,021 \text{ m}$$

$$A_s = \frac{\pi * 0,021^2}{4} = \underline{\underline{0,000\,346 \text{ m}^2}}$$

$$F_{p,C} = 0,7 * 1\,000\,000\,000 * 0,000\,346 = \underline{\underline{242\,452,413 \text{ N}}}$$

$$F_{s,Rd} = \frac{1 * 2 * 0,5}{1,25} * 242\,452,413 = \underline{\underline{193\,961,930 \text{ N}}}$$

$$F_{s,Rd,cel} = F_{s,Rd} * n = 193\,961,930 * 6 = \underline{\underline{1\,163\,771,583 \text{ N}}}$$

$$F_{s,Rd,cel} > N$$

$$1\,163\,771,583\text{ N} > 499\,779,495\text{ N}$$

PODMÍNKÁ SPLNĚNÁ

Jelikož je únosnost nýtu vyšší než zatížení, které na něj působí, spoj na zatížení vyhovuje.

9.1.3. Únosnost spoje v otláčení

Počet nýtů použité ve spoji $n = 6$ ks.

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * t * d * f_{u,b}}{\gamma_{M,2}} * n$$

ČSN EN 1993-1-8_3.6.1_tabulka 3.4

k_1 součinitel umístění šroubů

$$k_{1,\text{šrouby u okraje}} = \min(k_{1,\text{šrouby u okraje,1}}; k_{1,\text{šrouby u okraje,2}})$$

$$k_{1,\text{šrouby u okraje,1}} = 2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 * \frac{0,052}{0,021} - 1,7 = \underline{\underline{5,233 [-]}}$$

$$k_{1,\text{šrouby u okraje,2}} = \underline{\underline{2,5 [-]}}$$

$$k_{1,\text{šrouby u okraje}} = \underline{\underline{2,5 [-]}}$$

$$k_{1,\text{vnitřní šrouby}} = \min(k_{1,\text{vnitřní šrouby,1}}; k_{1,\text{vnitřní šrouby,2}})$$

$$k_{1,\text{vnitřní šrouby,1}} = 1,4 * \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 * \frac{0,066}{0,021} - 1,7 = \underline{\underline{2,7 [-]}}$$

$$k_{1,\text{vnitřní šrouby,2}} = \underline{\underline{2,5 [-]}}$$

$$k_{1,\text{vnitřní šrouby}} = \underline{\underline{2,5 [-]}}$$

α_b je nejmenší z hodnot $\alpha_{b,1}$, $\alpha_{b,2}$, $\alpha_{b,3}$

$$\alpha_{b,1} = \frac{f_{u,b}}{f_u} = \frac{310\,000\,000}{340\,000\,000} = \underline{\underline{0,912 [-]}}$$

$$\alpha_{b,2} = \underline{\underline{1,0 [-]}}$$

$$\alpha_{b,3} = \min(\alpha_{d,1}; \alpha_{d,2})$$

$$\alpha_{d,1} = \frac{e_1}{3 * d_0} = \frac{0,030}{3 * 0,021} = \underline{\underline{0,476 [-]}}$$

$$\alpha_{d,2} = \frac{p_1}{3 * d_0} - \frac{1}{4} = \frac{0,085}{3 * 0,021} - \frac{1}{4} = \underline{\underline{1,099 [-]}}$$

t tloušťka materiálu

$$t = 0,016 \text{ m}$$

d průměr nýtu

$$d = 0,021 \text{ m}$$

$$F_{b,Rd,krajní \text{ šroub}} = \frac{2,5 * 0,476 * 0,018 * 0,021 * 310\,000\,000}{1,3} * 6 = \underline{\underline{572\,307,692 \text{ N}}}$$

$$F_{b,Rd,vnitřní \text{ šroub}} = \frac{2,5 * 1,099 * 0,018 * 0,021 * 310\,000\,000}{1,3} * 6 = \underline{\underline{1\,321\,076,923 \text{ N}}}$$

$$F_{b,Rd,krajní \text{ šroub}} > N$$

$$572\,307,692 \text{ N} > 499\,779,495 \text{ N}$$

PODMÍNKA SPLNĚNÁ

Jelikož je únosnost nýtu vyšší než zatížení, které na něj působí, spoj na zatížení v otláčení vyhovuje.

9.1.4. Únosnost oslabeného průřezu v tahu

Jelikož se jedná o prut tlačný, posudek únosnosti prutu oslabeného průřezu v tahu se neprovádí.

9.2. Tabulka spojů

V následujících tabulkách jsou uvedeny výsledky jednotlivých spojů.

Statický přepoččet příhradové ocelové mostní konstrukce v km 123,974 Chlumeck nad Cidlinou (mimo) - Trutnov střed — obvod Poříčí (mimo)
- Statický výpočet -

Název prvku	N [kN]	Počet nýtů [ks]	Průměr nýtů [m]	Plocha A ₀ [m ²]	f _u [MPa]	f _{u,b} [MPa]	γ _{m2} [-]	Únosnost ve stříhu nýtu			Únosnost třecího spoje							
								F _{b,Rd} [kN]	F _{b,Rd,cel} [kN]	Podmínka	n _s [ks]	γ _{m3} [-]	Jakost	μ [-]	F _{p,c} [kN]	F _{s,Rd} [kN]	F _{s,Rd,cel} [kN]	Podmínka
Svislice krajní tlak	-499,78	6	0,021	0,000346	340	310	1,3	49,556	297,337	Nevyhovuje	2	1,25	10.9	0,5	242,452	193,962	1 163,772	Vyhovuje
Svislice prostřední tlak	-135,15	6	0,021	0,000346	340	310	1,3	49,556	297,337	Vyhovuje	Prvek vyhovuje na únosnost ve stříhu pro nýty							
Svislice prostřední tah	264,93	6	0,021	0,000346	340	310	1,3	49,556	297,337	Vyhovuje	Prvek vyhovuje na únosnost ve stříhu pro nýty							
Diagonála E1 tah	736,55	5	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	297,225	Nevyhovuje	2	1,25	10.9	0,5	290,833	232,666	1 163,332	Vyhovuje
Diagonála E2,E3 tah	667,03	4	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	237,780	Nevyhovuje	2	1,25	10.9	0,5	290,833	232,666	930,665	Vyhovuje
Diagonála E4 tah	420,08	4	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	237,780	Nevyhovuje	2	1,25	10.9	0,5	290,833	232,666	930,665	Vyhovuje
Diagonála E4 tlak	-98,07	4	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	237,780	Vyhovuje	Prvek vyhovuje na únosnost ve stříhu pro nýty							
Diagonála E5 tah	284,92	5	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	297,225	Vyhovuje	Prvek vyhovuje na únosnost ve stříhu pro nýty							
Diagonála E5 tlak	-187,84	5	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	297,225	Vyhovuje	Prvek vyhovuje na únosnost ve stříhu pro nýty							
Diagonála D1 tlak	-1 002,41	5	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	297,225	Nevyhovuje	4	1,25	10.9	0,5	290,833	465,333	2 326,664	Vyhovuje
Diagonála D2,D3 tlak	-686,42	5	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	297,225	Nevyhovuje	4	1,25	10.9	0,5	290,833	465,333	2 326,664	Vyhovuje
Diagonála D4,D5 tlak	-393,39	5	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	297,225	Nevyhovuje	4	1,25	10.9	0,5	290,833	465,333	2 326,664	Vyhovuje
Diagonála D4,D5 tah	214,32	5	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	297,225	Vyhovuje	Prvek vyhovuje na únosnost ve stříhu pro nýty							

Název prvku	Únosnost v otláčení					Únosnost oslabeného průřezu v tahu		
	t [m]	F _{b,Rd,vnitřní} [kN]	F _{b,Rd,krajní} [kN]	F _{b,Rd,cel} [kN]	Podmínka	Plocha A [m ²]	F _{b,Rd} [kN]	Podmínka
Svislice krajní tlak	0,016	95,385	220,179	572,308	Vyhovuje	Prvek je tlačný.		
Svislice prostřední tlak	0,016	95,385	220,179	572,308	Vyhovuje	Prvek je tlačný.		
Svislice prostřední tah	0,016	95,385	220,179	572,308	Vyhovuje	0,004415	947,613	Vyhovuje
Diagonála E1 tah	0,015	67,500	60,469	302,347	Nevyhovuje	0,004061	871,639	Vyhovuje
Diagonála E2,E3 tah	0,015	98,365	28,692	114,767	Nevyhovuje	0,004061	871,639	Vyhovuje
Diagonála E4 tah	0,015	98,365	28,692	114,767	Nevyhovuje	0,004061	871,639	Vyhovuje
Diagonála E4 tlak	0,015	98,365	28,692	114,767	Vyhovuje	Prvek je tlačný.		
Diagonála E5 tah	0,016	97,259	104,128	486,296	Vyhovuje	0,004383	940,745	Vyhovuje
Diagonála E5 tlak	0,016	97,259	104,128	486,296	Vyhovuje	Prvek je tlačný.		
Diagonála D1 tlak	0,020	190,769	90,417	452,083	Nevyhovuje	Prvek je tlačný.		
Diagonála D2,D3 tlak	0,020	190,769	90,417	452,083	Nevyhovuje	Prvek je tlačný.		
Diagonála D4,D5 tlak	0,020	190,769	90,417	452,083	Vyhovuje	Prvek je tlačný.		
Diagonála D4,D5 tah	0,020	190,769	90,417	452,083	Vyhovuje	0,004383	940,745	Vyhovuje

Tabulka 133: Výsledné tabulky na spoje

10. Závěr

Prvky podélného i brzdného ztužení vyšlo na posudky tahu i tlaku.

ZTUŽENÍ			
Popis dílce	N_{Ed} [kN]	N_{Rd} [kN]	Podmínka
PODÉLNÉ ZTUŽENÍ			
Podélné ztužení tahu	162,76	280,586	Splněna
Podélné ztužení tlaku	153,467	230,884	Splněna
BRZDNÉ ZTUŽENÍ			
Brzdné ztužení tahu	176,92	346,206	Splněna
Brzdné ztužení tlaku	184,658	348,168	Splněna

Tabulka 134: Výsledná tabulka ztužení

Některé prvky hlavního nosníku mezi které patří horní pás (změna průřezu III. - IV. a maximální N), dolní pás (změna průřezu I. - II., změna průřezu III. - IV. a maximální N), svislice (krajní na tlak, prostřední na tah) a diagonály (E1 tah, E2 a E3 tah a D1 tlak) nevyhověly na výpočet zatížitelnosti ($Z_{LM71} < 1,0$). Tyto prvky ale vyhověly na přechodnost (na traťovou třídu C2) a díky tomu se nemuseli zesilovat ani upravovat jiným způsobem. V následujících tabulkách jsou uvedeny hodnoty jednotlivých prvků.

Krajní příčníky nevyhověly na zatížitelnost a ani na přechodnost pro TTZ C2. Prvky musely být zesíleny (především tloušťka stojiny a zesílení krčních úhelníků) a zároveň musel být zlepšen materiál z původní svářkové oceli na ocel S 275. Prostřední příčníky vyšly alespoň na přechodnost pro rychlost na mostě 60 km/h, ale jelikož nevyšla na jednoosý ohyb, zesílily se taktéž. Podélníky též nevyšly na zatížitelnost a ani na přechodnost (kromě výpočtu maximálního ohybového momentu). Opět se muselo přistoupit k zesílení stojiny a krčních úhelníků a zlepšení materiálu na ocel S 275. V následujících tabulkách jsou uvedeny hodnoty jednotlivých prvků.

Téměř všechny spoje hlavního nosníku se svislicemi a diagonálami nevyšly na původní nýty na zatížení na stříh. Kvůli tomu se spoje přepočítaly na třecí spoje, které nově již vyhovují. V následujících tabulkách jsou uvedeny hodnoty jednotlivých prvků.

HLAVNÍ NOSNÍK						
Popis dílce	N_{Ed} [kN]	N_{Rd} [kN]	Podmínka	Zatížitelnost	Přechodnost	
HORNÍ PÁS						
Horní pás _změna průřezu I. - II.	1 665,241	1 968,791	Splněna	1,162	0,667	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Horní pás _změna průřezu II. - III.	1 665,241	2 344,161	Splněna	1,557	0,651	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Horní pás _změna průřezu III. - IV.	3 199,841	2 859,401	Nesplněna	0,87	0,581	Prvek je přechodný
Horní pás _maximální N	3 245,772	3 288,809	Splněna	0,779	0,624	Prvek je přechodný
DOLNÍ PÁS						
Dolní pás _změna průřezu I. - II.	1 719,622	2 100,573	Splněna	0,974	0,719	Prvek je přechodný
Dolní pás _změna průřezu II. - III.	1 641,970	2 282,525	Splněna	1,071	0,717	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Dolní pás _změna průřezu III. - IV.	3 178,930	2 639,525	Nesplněna	0,744	0,571	Prvek je přechodný
Dolní pás _maximální N	3 264,700	2 996,525	Nesplněna	0,584	0,572	Prvek je přechodný
SVISLICE						
Svislice krajní _tlak	499,780	766,096	Splněna	0,873	0,669	Prvek je přechodný
Svislice prostřední _tlak	135,148	567,529	Splněna	4,711	0,518	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Svislice prostřední _tah	264,930	514,535	Splněna	0,916	0,634	Prvek je přechodný
DIAGONÁLY						
Diagonála E1 _tah	736,550	729,750	Nesplněna	0,955	0,601	Prvek je přechodný
Diagonála E2 a E3 _tah	667,030	624,750	Nesplněna	0,874	0,574	Prvek je přechodný
Diagonála E4 _tah	420,080	519,750	Splněna	1,112	0,466	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Diagonála E4 _tlak	98,069	453,931	Splněna	5,985	0,577	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Diagonála E5 _tah	284,920	514,535	Splněna	1,993	0,505	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Diagonála E5 _tlak	187,840	556,425	Splněna	2,645	0,326	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Diagonála D1 _tlak	1 002,410	990,177	Nesplněna	0,860	0,363	Prvek je přechodný
Diagonála D2 a D3 _tlak	686,422	757,022	Splněna	1,155	0,624	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Diagonála D4 a D5 _tlak	393,395	556,425	Splněna	1,485	0,519	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Diagonála D4 a D5 _tah	214,320	514,535	Splněna	1,881	0,391	Prvek vyhovuje na zatížitelnost

Tabulka 135: Výsledná tabulka pro hlavní nosník

MOSTOVKA								
Popis dílce	η_1 [-]	Podmínka	η_3 [-]	Podmínka	Klopení	Zatížitelnost	Přechodnost	
PŘÍČNÍK								
Příčník krajní_max. My	1,084	Nesplněna	0,534	Splněna	Splněna	0,652	0,804	Prvek je nepřechodný
Příčník krajní_max. My pro 60 km/h	-	-	0,584	Splněna	-	0,662	0,716	Prvek je nepřechodný
Příčník krajní_max. My zesílení	0,701	Splněna	0,349	Splněna	Splněna	1,175	0,761	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Příčník krajní_max. Vz	1,06	Nesplněna	0,632	Splněna	Splněna	0,614	0,770	Prvek je nepřechodný
Příčník krajní_max. Vz pro 60 km/h	-	-	0,573	Splněna	-	0,636	0,689	Prvek je nepřechodný
Příčník krajní_max. Vz zesílení	0,693	Splněna	0,344	Splněna	Splněna	1,157	0,744	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Příčník prostřední_max. My	1,072	Nesplněna	0,678	Splněna	Splněna	0,72	0,804	Prvek je nepřechodný
Příčník prostřední_max. My pro 60 km/h	-	-	0,615	Splněna	-	0,718	0,704	Prvek je přechodný
Příčník prostřední_max My zesílení	0,697	Splněna	0,419	Splněna	Splněna	1,123	0,663	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Příčník prostřední_max. Vz	1,071	Nesplněna	0,678	Splněna	Splněna	0,695	0,770	Prvek je nepřechodný
Příčník prostřední_max. Vz pro 60 km/h	-	-	0,615	Splněna	-	0,701	0,683	Prvek je přechodný
Příčník prostřední_max. Vz zesílení	0,696	Splněna	0,419	Splněna	Splněna	1,098	0,652	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Příčník_oslabení	1,197	Nesplněna	0,712	Splněna	Splněna	0,61	0,821	Prvek je nepřechodný
PODÉLNÍK								
Podélník_maximální My	0,825	Splněna	0,464	Splněna	Splněna	0,819	0,778	Prvek je přechodný
Podélník_maximální Vz	0,595	Splněna	1,758	Nesplněna	-	-	-	Prvek je nepřechodný
Podélník_maximální Vz pro 60 km/h	0,586	Splněna	1,731	Nesplněna	-	-	-	Prvek je nepřechodný
Podélník_maximální Vz zesílení	0,359	Splněna	0,826	Splněna	Splněna	1,39	0,931	Prvek vyhovuje na zatížitelnost
Podélník_maximální N	0,202	Splněna	1,048	Nesplněna	-	-	-	Prvek je nepřechodný
Podélník_maximální N pro 60 km/h	0,194	Splněna	1,021	Nesplněna	-	-	-	Prvek je nepřechodný
Podélník_maximální N zesílení	0,12	Splněna	0,492	Splněna	Splněna	2,497	0,929	Prvek vyhovuje na zatížitelnost

Tabulka 136: Výsledná tabulka pro mostovku

Statický přepoččet příhradové ocelové mostní konstrukce v km 123,974 Chlumeck nad Cidlinou (mimo) - Trutnov střed — obvod Poříčí (mimo)
- Statický výpočet -

Název prvku	N [kN]	Počet nýtů [ks]	Průměr nýtů [m]	Plocha A ₀ [m ²]	f _u [MPa]	f _{u,b} [MPa]	γ _{m2} [-]	Únosnost ve stříhu nýtu			Únosnost třecího spoje							
								F _{b,Rd} [kN]	F _{b,Rd,cel} [kN]	Podmínka	n _s [ks]	γ _{m3} [-]	Jakost	μ [-]	F _{p,c} [kN]	F _{s,Rd} [kN]	F _{s,Rd,cel} [kN]	Podmínka
Svislice krajní tlak	-499,78	6	0,021	0,000346	340	310	1,3	49,556	297,337	Nevyhovuje	2	1,25	10.9	0,5	242,452	193,962	1 163,772	Vyhovuje
Svislice prostřední tlak	-135,15	6	0,021	0,000346	340	310	1,3	49,556	297,337	Vyhovuje	Prvek vyhovuje na únosnost ve stříhu pro nýty							
Svislice prostřední tah	264,93	6	0,021	0,000346	340	310	1,3	49,556	297,337	Vyhovuje	Prvek vyhovuje na únosnost ve stříhu pro nýty							
Diagonála E1_tah	736,55	5	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	297,225	Nevyhovuje	2	1,25	10.9	0,5	290,833	232,666	1 163,332	Vyhovuje
Diagonála E2,E3_tah	667,03	4	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	237,780	Nevyhovuje	2	1,25	10.9	0,5	290,833	232,666	930,665	Vyhovuje
Diagonála E4_tah	420,08	4	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	237,780	Nevyhovuje	2	1,25	10.9	0,5	290,833	232,666	930,665	Vyhovuje
Diagonála E4_tlak	-98,07	4	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	237,780	Vyhovuje	Prvek vyhovuje na únosnost ve stříhu pro nýty							
Diagonála E5_tah	284,92	5	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	297,225	Vyhovuje	Prvek vyhovuje na únosnost ve stříhu pro nýty							
Diagonála E5_tlak	-187,84	5	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	297,225	Vyhovuje	Prvek vyhovuje na únosnost ve stříhu pro nýty							
Diagonála D1_tlak	-1 002,41	5	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	297,225	Nevyhovuje	4	1,25	10.9	0,5	290,833	465,333	2 326,664	Vyhovuje
Diagonála D2,D3_tlak	-686,42	5	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	297,225	Nevyhovuje	4	1,25	10.9	0,5	290,833	465,333	2 326,664	Vyhovuje
Diagonála D4,D5_tlak	-393,39	5	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	297,225	Nevyhovuje	4	1,25	10.9	0,5	290,833	465,333	2 326,664	Vyhovuje
Diagonála D4,D5_tah	214,32	5	0,023	0,000415	340	310	1,3	59,445	297,225	Vyhovuje	Prvek vyhovuje na únosnost ve stříhu pro nýty							

Název prvku	Únosnost v otláčení					Únosnost oslabeného průřezu v tahu		
	t [m]	F _{b,Rd,vnitřní} [kN]	F _{b,Rd,krajní} [kN]	F _{b,Rd,cel} [kN]	Podmínka	Plocha A [m ²]	F _{b,Rd} [kN]	Podmínka
Svislice krajní tlak	0,016	95,385	220,179	572,308	Vyhovuje	Prvek je tlačný.		
Svislice prostřední tlak	0,016	95,385	220,179	572,308	Vyhovuje	Prvek je tlačný.		
Svislice prostřední tah	0,016	95,385	220,179	572,308	Vyhovuje	0,004415	947,613	Vyhovuje
Diagonála E1_tah	0,015	67,500	60,469	302,347	Nevyhovuje	0,004061	871,639	Vyhovuje
Diagonála E2,E3_tah	0,015	98,365	28,692	114,767	Nevyhovuje	0,004061	871,639	Vyhovuje
Diagonála E4_tah	0,015	98,365	28,692	114,767	Nevyhovuje	0,004061	871,639	Vyhovuje
Diagonála E4_tlak	0,015	98,365	28,692	114,767	Vyhovuje	Prvek je tlačný.		
Diagonála E5_tah	0,016	97,259	104,128	486,296	Vyhovuje	0,004383	940,745	Vyhovuje
Diagonála E5_tlak	0,016	97,259	104,128	486,296	Vyhovuje	Prvek je tlačný.		
Diagonála D1_tlak	0,020	190,769	90,417	452,083	Nevyhovuje	Prvek je tlačný.		
Diagonála D2,D3_tlak	0,020	190,769	90,417	452,083	Nevyhovuje	Prvek je tlačný.		
Diagonála D4,D5_tlak	0,020	190,769	90,417	452,083	Vyhovuje	Prvek je tlačný.		
Diagonála D4,D5_tah	0,020	190,769	90,417	452,083	Vyhovuje	0,004383	940,745	Vyhovuje

Tabulka 137: Výsledná tabulka pro spoje

11. Použité podklady a normy

- [1] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. ČNI, 2004.
- [2] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí — Část 1-1: Obecná zatížení — Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. ČNI, 2004.
- [3] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí — Část 1-4: Obecná zatížení — Zatížení větrem. ČNI, 2007.
- [4] ČSN EN 1991-1-5 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí — Část 1-5: Obecná zatížení — Zatížení teplotou. ČNI, 2005.
- [5] ČSN EN 1991-2 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí — Část 2: Zatížení mostu dopravou. ČNI, 2005.
- [6] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí — Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. ČNI, 2006.
- [7] ČSN EN 1993-1-5 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí — Část 1-5: Boulení stěn. ČNI, 2008.
- [8] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí — Část 1-8: Navrhování styčnicků. ČNI, 2007.
- [9] ČSN EN 1993-1-9 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí — Část 1-9: Únava. ČNI, 2006.
- [10] ČSN EN 1993-2 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí — Část 2: Ocelové mosty. ČNI, 2008.
- [11] Metodický pokyn pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů. Druhé aktualizované vydání 09/2019. SŽDC, 2015.
- [12] Dokumentace mostní konstrukce. ČSD, Správa pražské dráhy, mostní obvod, 1959.
- [13] Protokol o podrobné prohlídce mostního objektu. SŽDC, 2019.

12. Zdroje a seznamy

12.1. Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma hlavního nosníku_pohled	7
Obrázek 2: Schéma hlavního nosníku_půdorys	7
Obrázek 3: Připojení svislíc k pásům	8
Obrázek 4: Celkový pohled na hlavní nosník	9
Obrázek 5: Napojení příčníků na dolní pás	9
Obrázek 6: Ukázka napojení mostovky a ztužení	10
Obrázek 7: Napojení svršku na mostovku.....	10
Obrázek 8: Ostatní stálé zatížení_krajní pole.....	13
Obrázek 9: Ostatní stálé zatížení_prostřední pole.....	14
Obrázek 10: Mapa větrných oblastí	18
Obrázek 11: Ukázka plochy nosníku zatížené větrem	19
Obrázek 12: Zatížení větrem na referenční plocha A1	20
Obrázek 13: Zatížení větrem na referenční plocha A2	20
Obrázek 14: Součinitel čelního odporu.....	21
Obrázek 15: Součinitel expozice.....	22
Obrázek 16: Zatížení větrem_příčný řez.....	26
Obrázek 17: Zatížení větrem_pohled na NK.....	26
Obrázek 18: Mapa tepelných oblastí.....	27
Obrázek 19: Zatížení teplotou v létě_hlavní nosník.....	32
Obrázek 20: Zatížení teplotou v zimě_mostovka.....	32
Obrázek 21: Ukázka excentricity	33
Obrázek 22: Zatížení bočním rázem pro horní pás ve změně průřezu I. - II.	34
Obrázek 23: Zatížení odstředivými silami pro rychlost 60 km/h pro dolní pás u změny průřezu I. - II.....	36
Obrázek 24: Zatížení odstředivými silami pro rychlost 75 km/h pro krajní svslíci pro posudek na tlak	36
Obrázek 25: Zatížení rozjezdem ve směru staničení.....	37
Obrázek 26: Zatěžovací model LM71	38
Obrázek 27: Zatěžovací model C2	39
Obrázek 28: Příčinková čára pro horní pás	40
Obrázek 29: Průběh normálové síly od LM71 pro výpočet maximální N	47

Obrázek 30: Průběh normálové síly od LM71 pro výpočet maximální N	47
Obrázek 31: Horní pás _změna průřezu I. - II.....	48
Obrázek 32: Průřez horního pásu _změna průřezu I. - II.	49
Obrázek 33: Horní pás _změna průřezu II. - III.....	56
Obrázek 34: Průřez horního pásu _změna průřezu II. - III.	57
Obrázek 35: Horní pás _změna průřezu III. - IV.	62
Obrázek 36: Průřez horního pásu _změna průřezu III. - IV.....	63
Obrázek 37: Horní pás _maximální N.....	69
Obrázek 38: Průřez horního pásu _maximální N	70
Obrázek 39: Průběh normálové síly od LM71 pro výpočet maximální N	76
Obrázek 40: Průběh normálové síly od LM71 pro výpočet maximální N	76
Obrázek 41: Dolní pás _změna průřezu I. - II.....	77
Obrázek 42: Průřez dolního pásu _změna průřezu I. - II.	78
Obrázek 43: Dolní pás _změna průřezu II. - III.	82
Obrázek 44: Průřez dolního pásu _změna průřezu II. - III.....	83
Obrázek 45: Dolní pás _změna průřezu III. - IV.....	87
Obrázek 46: Průřez dolního pásu _změna průřezu III. - IV.	88
Obrázek 47: Dolní pás _maximální N.....	92
Obrázek 48: Průřez dolního pásu _maximální N	93
Obrázek 49: Průběh normálové síly od LM71 pro výpočet střední svislice na tah	97
Obrázek 50: Průběh normálové síly od LM71 pro výpočet krajní svislice.....	97
Obrázek 51: Svislice krajní _tlak	98
Obrázek 52: Průřez krajní svislice _tlak	99
Obrázek 53: Střední svislice _tlak.....	104
Obrázek 54: Průřez střední svislice _tlak.....	105
Obrázek 55: Střední svislice _tah.....	110
Obrázek 56: Průřez střední svislice _tah.....	111
Obrázek 57: Průběh normálové síly od LM71 pro výpočet diagonály D1	115
Obrázek 58: Průběh normálové síly od LM71 pro výpočet diagonály E1	115
Obrázek 59: Diagonála E1 _tah	116
Obrázek 60: Průřez diagonály E1 _tah.....	117
Obrázek 61: Diagonála E2 a E3 _tah	121
Obrázek 62: Průřez diagonály E2 a E3 _tah	122

Obrázek 63: Diagonála E4_tah	126
Obrázek 64: Průřez diagonály E4_tah.....	127
Obrázek 65: Diagonála E4_tlak	131
Obrázek 66: Průřez diagonály E4_tlak.....	132
Obrázek 67: Diagonála E5_tah	137
Obrázek 68: Průřez diagonály E5_tah.....	138
Obrázek 69: Diagonála E5_tlak	142
Obrázek 70: Průřez diagonály E5_tlak.....	143
Obrázek 71: Diagonála D1_tlak.....	148
Obrázek 72: Průřez diagonály D1_tlak	149
Obrázek 73: Diagonála D2 a D3_tlak	154
Obrázek 74: Průřez diagonály D2 a D3_tlak	155
Obrázek 75: Diagonála D4 a D5_tlak	160
Obrázek 76: Průřez diagonály D4 a D5_tlak	161
Obrázek 77: Diagonála D4 a D5_tah	166
Obrázek 78: Průřez diagonály D4 a D5_tah.....	167
Obrázek 79: Průběh ohybového momentu M_y od vlaku LM71 pro krajní příčník.....	171
Obrázek 80: Průběh smykové síly V_z od vlaku LM71 pro prostřední příčník	171
Obrázek 81: Příčník krajní_maximální M_y	172
Obrázek 82: Průřez krajního příčníku_maximální M_y	173
Obrázek 83: Těžiště průřezu krajního příčníku_maximální M_y	174
Obrázek 84: Průřez pro výpočet klopení krajního příčníku_maximální M_y	180
Obrázek 85: Průřez zesíleného krajního příčníku_maximální M_y	189
Obrázek 86: Těžiště průřezu zesíleného krajního příčníku_maximální M_y	190
Obrázek 87: Průřez pro výpočet klopení zesíleného krajního příčníku_maximální M_y	194
Obrázek 88: Krajní příčník_maximální V_z	197
Obrázek 89: Průřez krajního příčníku_maximální V_z	198
Obrázek 90: Těžiště průřezu krajního příčníku_maximální V_z	199
Obrázek 91: Průřez pro výpočet klopení krajního příčníku_maximální V_z	203
Obrázek 92: Průřez zesíleného krajního příčníku_maximální V_z	212
Obrázek 93: Těžiště průřezu zesíleného krajního příčníku_maximální V_z	213
Obrázek 94: Průřez pro výpočet klopení zesíleného krajního příčníku_maximální V_z	217
Obrázek 95: Příčník prostřední_maximální M_y	220

Obrázek 96: Průřez prostředního příčnicku_maximální My.....	221
Obrázek 97: Těžiště průřezu prostředního příčnicku_maximální My	222
Obrázek 98: Průřez pro výpočet klopení prostředního příčnicku_maximální My.....	226
Obrázek 99: Průřez zesíleného prostředního příčnicku_maximální My.....	235
Obrázek 100: Těžiště průřezu zesíleného prostředního příčnicku_maximální My	236
Obrázek 101: Průřez pro výpočet klopení zesíleného prostředního příčnicku_maximální My	240
Obrázek 102: Příčnick prostřední_maximální Vz.....	243
Obrázek 103: Průřez prostředního příčnicku_maximální Vz	244
Obrázek 104: Těžiště průřezu prostředního příčnicku_maximální Vz	245
Obrázek 105: Průřez pro výpočet klopení prostředního příčnicku_maximální Vz	249
Obrázek 106: Průřez zesíleného prostředního příčnicku_maximální Vz.....	258
Obrázek 107: Těžiště průřezu zesíleného prostředního příčnicku_maximální Vz	259
Obrázek 108: Průřez pro výpočet klopení zesíleného prostředního příčnicku_maximální Vz	263
Obrázek 109: Oslabený krajní příčnick	266
Obrázek 110: Průřez oslabeného krajního příčnicku	267
Obrázek 111: Těžiště oslabeného průřezu krajního příčnicku.....	268
Obrázek 112: Průřez pro výpočet klopení oslabeného krajního příčnicku	272
Obrázek 113: Průběh ohybového momentu My od vlaku LM71 pro podélník	277
Obrázek 114: Průběh smykové síly Vz od vlaku LM71 pro podélník.....	277
Obrázek 115: Podélník_maximální My	278
Obrázek 116: Průřez podélníku_maximální My	279
Obrázek 117: Těžiště průřezu podélníku_maximální My.....	280
Obrázek 118: Průřez pro výpočet klopení podélníku_maximální My	284
Obrázek 119: Podélník_maximální Vz	289
Obrázek 120: Průřez podélníku_maximální Vz	290
Obrázek 121: Těžiště průřezu podélníku_maximální Vz.....	291
Obrázek 122: Těžiště průřezu pro rychlost 60 km/h podélníku_maximální Vz	295
Obrázek 123: Průřez zesíleného podélníku_maximální Vz	299
Obrázek 124: Těžiště průřezu zesíleného podélníku_maximální Vz.....	300
Obrázek 125: Průřez pro výpočet klopení zesíleného podélníku_maximální Vz	304
Obrázek 126: Podélník_maximální N	308
Obrázek 127: Průřez podélníku_maximální N.....	309

Obrázek 128: Těžiště průřezu podélníku_maximální N	310
Obrázek 129: Těžiště průřezu pro rychlost 60 km/h pro podélník_maximální N.....	314
Obrázek 130: Průřez zesíleného podélníku_maximální N.....	318
Obrázek 131: Těžiště průřezu zesíleného podélníku_maximální N.....	319
Obrázek 132: Průřez pro výpočet klopení zesíleného podélníku_maximální N.....	323
Obrázek 133: Průběh tahu pro výpočet podélního ztužení.....	327
Obrázek 134: Průběh tahu pro výpočet brzdícího ztužení.....	327
Obrázek 135: Podélné ztužení_tah.....	328
Obrázek 136: Průřez podélního ztužení_tah.....	329
Obrázek 137: Podélné ztužení_tlak.....	330
Obrázek 138: Průřez podélního ztužení_tlak.....	331
Obrázek 139: Brzdící ztužení_tah	333
Obrázek 140: Průřez brzdícího ztužení_tah	334
Obrázek 141: Brzdící ztužení_tlak	335
Obrázek 142: Průřez brzdícího ztužení_tlak	336

12.2. Seznam tabulek

Tabulka 1: Tabulky výpočtu zbytkového stálého zatížení	16
Tabulka 2: Tabulka součinitelů stálého zatížení	42
Tabulka 3: Tabulky GR11 - GR14.....	45
Tabulka 4: Kombinace pro horní pás_změna průřezu I. - II.	48
Tabulka 5: Vnitřní síly pro horní pás_změna průřezu I. - II.	52
Tabulka 6: Vnitřní síly od vlaků pro horní pás_změna průřezu I. - II.	54
Tabulka 7: Kombinace pro horní pás_změna průřezu II. - III.	56
Tabulka 8: Vnitřní síly pro horní pás_změna průřezu II. - III.....	59
Tabulka 9: Vnitřní síly od vlaků pro horní pás_změna průřezu II. - III.....	61
Tabulka 10: Kombinace pro horní pás_změna průřezu III. - IV.....	62
Tabulka 11: Vnitřní síly pro horní pás_změna průřezu III. - IV.	65
Tabulka 12: Iterace pro horní pás_změna průřezu III. - IV.	67
Tabulka 13: Vnitřní síly od vlaků pro horní pás_změna průřezu III. - IV.	68
Tabulka 14: Kombinace pro horní pás_maximální N	69
Tabulka 15: Vnitřní síly pro horní pás_maximální N	72
Tabulka 16: Iterace pro horní pás_maximální N.....	74

Tabulka 17: Vnitřní síly od vlaků pro horní pás_maximální N	74
Tabulka 18: Kombinace pro dolní pás_změna průřezu I. - II.	77
Tabulka 19: Vnitřní síly pro dolní pás_změna průřezu I. - II.	79
Tabulka 20: Iterace pro dolní pás_průřez I. - II.	80
Tabulka 21: Vnitřní síly od vlaků pro dolní pás_změna průřezu I. - II.....	81
Tabulka 22: Kombinace pro dolní pás_změna průřezu II. - III.....	82
Tabulka 23: Vnitřní síly pro dolní pás_změna průřezu II. - III.....	84
Tabulka 24: Vnitřní síly od vlaků pro dolní pás_změna průřezu II. - III.....	85
Tabulka 25: Kombinace pro dolní pás_změna průřezu III. - IV.	87
Tabulka 26: Vnitřní síly pro dolní pás_změna průřezu III. - IV.	89
Tabulka 27: Iterace pro dolní pás_změna průřezu III. - IV.....	90
Tabulka 28: Vnitřní síly od vlaků pro dolní pás_změna průřezu III. - IV.	91
Tabulka 29: Kombinace pro horní pás_maximální N	92
Tabulka 30: Vnitřní síly pro dolní pás_maximální N	94
Tabulka 31: Iterace pro dolní pás_maximální N.....	95
Tabulka 32: Vnitřní síly od vlaků pro dolní pás_maximální N.....	96
Tabulka 33: Kombinace pro krajní svislici_tlak	98
Tabulka 34: Vnitřní síly pro krajní svislici_tlak	101
Tabulka 35: Iterace pro krajní svislici_tlak.....	102
Tabulka 36: Vnitřní síly od vlaků pro krajní svislici_tlak	103
Tabulka 37: Kombinace pro prostřední svislici_tlak	104
Tabulka 38: Vnitřní síly pro prostřední svislici_tlak	107
Tabulka 39: Vnitřní síly od vlaků pro prostřední svislici_tlak.....	108
Tabulka 40: Kombinace pro prostřední svislici_tah	110
Tabulka 41: Vnitřní síly pro prostřední svislici_tah.....	112
Tabulka 42: Iterace pro prostřední svislici_tah	113
Tabulka 43: Vnitřní síly od vlaků pro prostřední svislici_tah.....	114
Tabulka 44: Kombinace pro diagonálu E1_tah.....	116
Tabulka 45: Vnitřní síly pro diagonálu E1_tah.....	118
Tabulka 46: Iterace pro diagonálu E1_tah	119
Tabulka 47: Vnitřní síly od vlaků pro diagonálu E1_tah.....	120
Tabulka 48: Kombinace pro diagonálu E2 a E3_tah.....	121
Tabulka 49: Vnitřní síly pro diagonálu E2 a E3_tah.....	123

Tabulka 50: Iterace pro diagonálu E2 a E3_tah	124
Tabulka 51: Vnitřní síly od vlaků pro diagonálu E2 a E3_tah.....	125
Tabulka 52: Kombinace pro diagonálu E4_tah.....	126
Tabulka 53: Vnitřní síly pro diagonálu E4_tah	128
Tabulka 54: Vnitřní síly od vlaků pro diagonálu E4_tah	129
Tabulka 55: Kombinace pro diagonálu E4_tlak.....	131
Tabulka 56: Vnitřní síly pro diagonálu E4_tlak.....	134
Tabulka 57: Vnitřní síly od vlaků pro diagonálu E4_tlak	135
Tabulka 58: Kombinace pro diagonálu E5_tah.....	137
Tabulka 59: Vnitřní síly pro diagonálu E5_tah.....	139
Tabulka 60: Vnitřní síly od vlaků pro diagonálu E5_tah.....	140
Tabulka 61: Kombinace pro diagonálu E5_tlak.....	142
Tabulka 62: Vnitřní síly pro diagonálu E5_tlak.....	145
Tabulka 63: Vnitřní síly od vlaků pro diagonálu E5_tlak	146
Tabulka 64: Kombinace pro diagonálu D1_tlak	148
Tabulka 65: Vnitřní síly pro diagonálu D1_tlak	151
Tabulka 66: Iterace pro diagonálu D1_tlak.....	152
Tabulka 67: Vnitřní síly od vlaků pro diagonálu D1_tlak	153
Tabulka 68: Kombinace pro diagonálu D2 a D3_tlak.....	154
Tabulka 69: Vnitřní síly pro diagonálu D2 a D3_tlak.....	157
Tabulka 70: Vnitřní síly od vlaků pro diagonálu D2 a D3_tlak.....	158
Tabulka 71: Kombinace pro diagonálu D4 a D5_tlak.....	160
Tabulka 72: Vnitřní síly pro diagonálu D4 a D5_tlak.....	163
Tabulka 73: Vnitřní síly od vlaků pro diagonálu D4 a D5_tlak.....	164
Tabulka 74: Kombinace pro diagonálu D4 a D5_tah.....	166
Tabulka 75: Vnitřní síly pro diagonály D4 a D5_tah.....	168
Tabulka 76: Vnitřní síly od vlaků pro diagonálu D4 a D5_tah.....	169
Tabulka 77: Kombinace pro krajní příčník_maximální My.....	172
Tabulka 78: Vnitřní síly pro krajní příčník_maximální My.....	181
Tabulka 79: Iterace pro krajní příčník_maximální My	183
Tabulka 80: Vnitřní síly od vlaků pro krajní příčník_maximální My.....	184
Tabulka 81: Odstředivé síly pro rychlost 60 km/h pro krajní příčník_maximální My	185
Tabulka 82: Vnitřní síly pro rychlost 60 km/h pro krajní příčník_maximální My	185

Tabulka 83: Iterace pro rychlost 60 km/h pro krajní příčník_maximální My.....	187
Tabulka 84: Vnitřní síly od vlaků pro rychlost 60 km/h pro krajní příčník_maximální My .	188
Tabulka 85: Vnitřní síly pro zesílený krajní příčník_maximální My.....	195
Tabulka 86: Kombinace pro krajní příčník_maximální Vz	197
Tabulka 87: Vnitřní síly pro krajní příčník_maximální Vz.....	204
Tabulka 88: Iterace pro krajní příčník_maximální Vz	206
Tabulka 89: Vnitřní síly od vlaků pro krajní příčník_maximální Vz.....	207
Tabulka 90: Odstředivé síly pro rychlost 60 km/h pro krajní příčník_maximální Vz	208
Tabulka 91: Vnitřní síly pro rychlost 60 km/h pro krajní příčník_maximální Vz	208
Tabulka 92: Iterace pro rychlost 60 km/h pro krajní příčník_maximální Vz.....	210
Tabulka 93: Vnitřní síly od vlaků pro rychlost 60 km/h pro krajní příčník_maximální Vz ..	211
Tabulka 94: Vnitřní síly pro zesílený krajní příčník_maximální Vz	218
Tabulka 95: Kombinace pro prostřední příčník_maximální My.....	220
Tabulka 96: Vnitřní síly pro prostřední příčník_maximální My.....	227
Tabulka 97: Iterace pro prostřední příčník_maximální My	229
Tabulka 98: Vnitřní síly od vlaků pro prostřední příčník_maximální My	230
Tabulka 99: Odstředivé síly pro rychlost 60 km/h pro prostřední příčník_maximální My ...	231
Tabulka 100: Vnitřní síly pro rychlost 60 km/h pro prostřední příčník_maximální My	231
Tabulka 101: Iterace pro rychlost 60 km/h pro prostřední příčník_maximální My	233
Tabulka 102: Vnitřní síly od vlaků pro rychlost 60 km/h pro prostřední příčník_maximální My	234
Tabulka 103: Vnitřní síly pro zesílený prostřední příčník_maximální My.....	241
Tabulka 104: Kombinace pro prostřední příčník_maximální Vz.....	243
Tabulka 105: Vnitřní síly pro prostřední příčník_maximální Vz.....	250
Tabulka 106: Iterace pro prostřední příčník_maximální Vz	252
Tabulka 107: Vnitřní síly od vlaků pro prostřední příčník_maximální Vz.....	253
Tabulka 108: Odstředivé síly pro rychlost 60 km/h pro prostřední příčník_maximální Vz ..	254
Tabulka 109: Vnitřní síly pro rychlost 60 km/h pro prostřední příčník_maximální Vz	254
Tabulka 110: Iterace pro rychlost 60 km/h pro prostřední příčník_maximální Vz.....	256
Tabulka 111: Vnitřní síly od vlaků pro rychlost 60 km/h pro prostřední příčník_maximální Vz	257
Tabulka 112: Vnitřní síly pro zesílený prostřední příčník_maximální Vz.....	264
Tabulka 113: Kombinace pro oslabený krajní příčník	266

Tabulka 114: Vnitřní síly pro oslabený krajní příčník	273
Tabulka 115: Iterace pro oslabený krajní příčník.....	275
Tabulka 116: Vnitřní síly od vlaků pro oslabený krajní příčník	276
Tabulka 117: Kombinace pro podélník_maximální My	278
Tabulka 118: Vnitřní síly pro podélník_maximální My	285
Tabulka 119: Iterace pro podélník_maximální My.....	287
Tabulka 120: Vnitřní síly od vlaků pro podélník_maximální My	287
Tabulka 121: Kombinace pro podélník_maximální Vz	289
Tabulka 122: Odstředivé síly pro rychlost 60 km/h pro podélník_maximální Vz.....	295
Tabulka 123: Vnitřní síly pro zesílený podélník_maximální Vz.....	305
Tabulka 124: Vnitřní síly od vlaků pro zesílený podélník_maximální Vz	307
Tabulka 125: Kombinace pro podélník_maximální N.....	308
Tabulka 126: Odstředivé síly pro rychlost 60 km/h pro podélník_maximální N.....	314
Tabulka 127: Vnitřní síly pro zesílený podélník_maximální N.....	324
Tabulka 128: Vnitřní síly od vlaků pro zesílený podélník_maximální N	326
Tabulka 129: Kombinace pro podélné ztužení_tah.....	328
Tabulka 130: Kombinace pro podélné ztužení_tlak.....	330
Tabulka 131: Kombinace pro brzdné ztužení_tah.....	333
Tabulka 132: Kombinace pro brzdné ztužení_tlak	335
Tabulka 133: Výsledné tabulky na spoje	342
Tabulka 134: Výsledná tabulka ztužení	343
Tabulka 135: Výsledná tabulka pro hlavní nosník.....	344
Tabulka 136: Výsledná tabulka pro mostovku.....	345
Tabulka 137: Výsledná tabulka pro spoje	346

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra dopravního stavitelství

Seznam kombinací

**Statický přepočítání příhradové ocelové mostní konstrukce v km 123,974 - TÚ
1404, Chlumec nad Cidlinou (mimo) - Trutnov střed — obvod Poříčí
(mimo)**

Bc. Lucie Zučková

Diplomová práce

2021

Obsah

1. Kombinace pro horní pás	2
1.1. Posouzení změny průřezu I. - II.	2
1.2. Posouzení změny průřezu II. - III.	3
1.3. Posouzení změny průřezu III. - IV.	4
1.4. Posouzení maximální normálové síly	5
2. Kombinace pro dolní pás.....	6
2.1. Posouzení změny průřezu I. - II.	6
2.2. Posouzení změny průřezu II. - III.	7
2.3. Posouzení změny průřezu III. - IV.	8
2.4. Posouzení maximální normálové síly	9
3. Kombinace pro svislíce	10
3.1. Posouzení krajní svislíce na tlak	10
3.2. Posouzení prostřední svislíce na tlak	11
3.3. Posouzení prostřední svislíce na tah.....	12
4. Kombinace pro diagonály	13
4.1. Posouzení diagonály E1 na tah.....	13
4.2. Posouzení diagonály E2 a E3 na tah	14
4.3. Posouzení diagonály E4 na tah.....	15
4.4. Posouzení diagonály E4 na tlak	16
4.5. Posouzení diagonály E5 na tah.....	17
4.6. Posouzení diagonály E5 na tlak	18
4.7. Posouzení diagonály D1 na tlak.....	19
4.8. Posouzení diagonály D2 a D3 na tlak	20
4.9. Posouzení diagonály D4 a D5 na tlak	21
4.10. Posouzení diagonály D4 a D5 na tah	22
5. Kombinace pro příčníky	23
5.1. Posouzení krajního příčníku na max M_y	23
5.2. Posouzení krajního příčníku na max V_z	24
5.3. Posouzení prostředního příčníku na max M_y	25
5.4. Posouzení prostředního příčníku na max V_z	26
6. Kombinace pro příčníky	27
6.1. Posouzení podélníku na max M_y	27
6.2. Posouzení podélníku na max V_z	28
6.3. Posouzení podélníku na max N	29

1. Kombinace pro horní pás

V následujících tabulkách jsou uvedeny kombinace pro horní pás pro třídy GR11 - GR14 pro kombinací rovnici 6.10b.

1.1. Posouzení změny průřezu I. - II.

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α	
		γ _f	ψ _{0,i}	φ			
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00	
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00	
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00	
3.2	Teplota zima	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00	
4.1	BR HP pr I.-II.	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00	
5.1a	OS 75 HP pr I.-II.	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00	
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00	
7.1	LM71 HP pr I.-II.	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00	
8.1	C2 HP pr I.-II.	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00	
Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-95,44 kN	-0,85 kN	0,56 kNm	0,04 kNm	-108,80 kN	0,97 kN	0,64 kNm	0,05 kNm
-19,97 kN	-0,13 kN	0,09 kNm	0,02 kNm	-22,77 kN	0,15 kN	0,10 kNm	0,02 kNm
-40,11 kN	-0,29 kN	0,18 kNm	0,10 kNm	-40,61 kN	0,29 kN	0,18 kNm	0,10 kNm
-2,83 kN	-0,09 kN	0,98 kNm	-0,48 kNm	-2,55 kN	0,08 kN	0,88 kNm	0,00 kNm
-18,48 kN	-0,21 kN	0,17 kNm	-0,32 kNm	-12,01 kN	0,14 kN	0,11 kNm	0,00 kNm
-46,94 kN	-0,36 kN	0,22 kNm	0,03 kNm	-30,51 kN	0,23 kN	0,14 kNm	0,02 kNm
-16,39 kN	0,12 kN	0,72 kNm	0,23 kNm	-21,31 kN	0,00 kN	0,94 kNm	0,30 kNm
-868,35 kN	-6,02 kN	4,01 kNm	0,99 kNm	-1394,82 kN	9,67 kN	6,44 kNm	1,59 kNm
-519,82 kN	-3,51 kN	2,55 kNm	1,04 kNm	-898,77 kN	6,07 kN	4,41 kNm	1,80 kNm
-1108,51 kN	-7,83 kN	6,93 kNm	0,61 kNm	-1633,37	11,53	9,44	2,08

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α	
		γ _f	ψ _{0,i}	φ			
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00	
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00	
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00	
3.2	Teplota zima	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00	
4.1	BR HP pr I.-II.	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00	
5.1a	OS 75 HP pr I.-II.	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00	
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00	
7.1	LM71 HP pr I.-II.	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00	
8.1	C2 HP pr I.-II.	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00	
Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-95,44 kN	-0,85 kN	0,56 kNm	0,04 kNm	-108,80 kN	0,97 kN	0,64 kNm	0,05 kNm
-19,97 kN	-0,13 kN	0,09 kNm	0,02 kNm	-22,77 kN	0,15 kN	0,10 kNm	0,02 kNm
-40,11 kN	-0,29 kN	0,18 kNm	0,10 kNm	-40,61 kN	0,29 kN	0,18 kNm	0,10 kNm
-2,83 kN	-0,09 kN	0,98 kNm	-0,48 kNm	-2,55 kN	0,08 kN	0,88 kNm	0,00 kNm
-18,48 kN	-0,21 kN	0,17 kNm	-0,32 kNm	-24,02 kN	0,27 kN	0,22 kNm	0,00 kNm
-46,94 kN	-0,36 kN	0,22 kNm	0,03 kNm	-61,02 kN	0,47 kN	0,29 kNm	0,04 kNm
-16,39 kN	0,12 kN	0,72 kNm	0,23 kNm	-10,65 kN	0,00 kN	0,47 kNm	0,15 kNm
-868,35 kN	-6,02 kN	4,01 kNm	0,99 kNm	-1394,82 kN	9,67 kN	6,44 kNm	1,59 kNm
-519,82 kN	-3,51 kN	2,55 kNm	1,04 kNm	-898,77 kN	6,07 kN	4,41 kNm	1,80 kNm
-1108,51 kN	-7,83 kN	6,93 kNm	0,61 kNm	-1665,24	11,90	9,22	1,95

1.2. Posouzení změny průřezu II. - III.

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.2	Teplota zima	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.2	BR HP pr II.-III.	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.2a	OS 75 HP pr II.-III.	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.2	LM71 HP pr II.-III.	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.2	C2 HP pr II.-III.	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-95,44 kN	0,27 kN	-0,13 kNm	0,04 kNm	-108,80 kN	0,24 kN	-0,12 kNm	0,05 kNm
-19,97 kN	-0,13 kN	0,01 kNm	0,02 kNm	-22,77 kN	0,15 kN	0,01 kNm	0,02 kNm
-40,11 kN	-0,29 kN	0,06 kNm	-0,16 kNm	-40,61 kN	0,29 kN	0,06 kNm	0,00 kNm
-2,83 kN	-0,09 kN	1,04 kNm	-0,58 kNm	-2,55 kN	0,08 kN	0,94 kNm	0,00 kNm
-18,48 kN	-0,21 kN	0,18 kNm	-0,78 kNm	-12,01 kN	0,14 kN	0,12 kNm	0,00 kNm
-46,94 kN	-0,36 kN	0,09 kNm	-0,26 kNm	-30,51 kN	0,23 kN	0,06 kNm	0,00 kNm
-16,39 kN	0,12 kN	0,44 kNm	0,24 kNm	-21,31 kN	0,00 kN	0,57 kNm	0,31 kNm
-868,35 kN	-6,02 kN	1,03 kNm	1,41 kNm	-1394,82 kN	9,67 kN	1,65 kNm	2,26 kNm
-519,82 kN	-3,51 kN	0,68 kNm	0,89 kNm	-898,77 kN	6,07 kN	1,18 kNm	1,54 kNm
-1108,51 kN	-6,71 kN	2,72 kNm	-0,07 kNm	-1633,37	10,81	3,29	2,65

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.2	Teplota zima	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.2	BR HP pr II.-III.	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.2a	OS 75 HP pr II.-III.	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.2	LM71 HP pr II.-III.	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.2	C2 HP pr II.-III.	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-95,44 kN	0,27 kN	-0,13 kNm	0,04 kNm	-108,80 kN	0,24 kN	-0,12 kNm	0,05 kNm
-19,97 kN	-0,13 kN	0,01 kNm	0,02 kNm	-22,77 kN	0,15 kN	0,01 kNm	0,02 kNm
-40,11 kN	-0,29 kN	0,06 kNm	-0,16 kNm	-40,61 kN	0,29 kN	0,06 kNm	0,00 kNm
-2,83 kN	-0,09 kN	1,04 kNm	-0,58 kNm	-2,55 kN	0,08 kN	0,94 kNm	0,00 kNm
-18,48 kN	-0,21 kN	0,18 kNm	-0,78 kNm	-24,02 kN	0,27 kN	0,23 kNm	0,00 kNm
-46,94 kN	-0,36 kN	0,09 kNm	-0,26 kNm	-61,02 kN	0,47 kN	0,12 kNm	0,00 kNm
-16,39 kN	0,12 kN	0,44 kNm	0,24 kNm	-10,65 kN	0,00 kN	0,29 kNm	0,16 kNm
-868,35 kN	-6,02 kN	1,03 kNm	1,41 kNm	-1394,82 kN	9,67 kN	1,65 kNm	2,26 kNm
-519,82 kN	-3,51 kN	0,68 kNm	0,89 kNm	-898,77 kN	6,07 kN	1,18 kNm	1,54 kNm
-1108,51 kN	-6,71 kN	2,72 kNm	-0,07 kNm	-1665,24	11,18	3,18	2,49

1.3. Posouzení změny průřezu III. - IV.

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	$Z_{uvaž}/Gr_{XX}$	Zuvaž/součinitel α
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.3	BR HP pr III.-IV.	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.3a	OS 75 HP pr III.-IV.	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.3	LM71 HP pr III.-IV.	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.3	C2 HP pr III.-IV.	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-185,99 kN	1,37 kN	0,53 kNm	0,00 kNm	-212,03 kN	1,56 kN	0,60 kNm	0,00 kNm
-38,49 kN	0,19 kN	0,07 kNm	0,00 kNm	-43,88 kN	0,22 kN	0,08 kNm	0,00 kNm
-76,47 kN	0,39 kN	0,26 kNm	-1,03 kNm	-77,43 kN	0,39 kN	0,26 kNm	-1,04 kNm
-8,17 kN	-0,04 kN	-1,18 kNm	0,04 kNm	-7,35 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-32,27 kN	0,07 kN	0,35 kNm	-1,90 kNm	-20,98 kN	0,05 kN	0,23 kNm	-1,24 kNm
-89,74 kN	0,45 kN	0,34 kNm	-1,23 kNm	-58,33 kN	0,29 kN	0,22 kNm	-0,80 kNm
-5,85 kN	0,01 kN	0,25 kNm	-0,01 kNm	-7,61 kN	0,01 kN	0,33 kNm	-0,01 kNm
-1678,87 kN	8,49 kN	3,75 kNm	0,82 kNm	-2696,74 kN	13,64 kN	6,02 kNm	0,00 kNm
-930,56 kN	5,38 kN	1,88 kNm	0,31 kNm	-1608,94 kN	9,30 kN	3,25 kNm	0,54 kNm
-2115,85 kN	10,93 kN	4,37 kNm	-3,31 kNm	-3124,34	16,16	7,74	-3,09

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	$Z_{uvaž}/Gr_{XX}$	Zuvaž/součinitel α
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.3	BR HP pr III.-IV.	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.3a	OS 75 HP pr III.-IV.	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.3	LM71 HP pr III.-IV.	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.3	C2 HP pr III.-IV.	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-185,99 kN	1,37 kN	0,53 kNm	0,00 kNm	-212,03 kN	1,56 kN	0,60 kNm	0,00 kNm
-38,49 kN	0,19 kN	0,07 kNm	0,00 kNm	-43,88 kN	0,22 kN	0,08 kNm	0,00 kNm
-76,47 kN	0,39 kN	0,26 kNm	-1,03 kNm	-77,43 kN	0,39 kN	0,26 kNm	-1,04 kNm
-8,17 kN	-0,04 kN	-1,18 kNm	0,04 kNm	-7,35 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-32,27 kN	0,07 kN	0,35 kNm	-1,90 kNm	-41,95 kN	0,09 kN	0,46 kNm	-2,47 kNm
-89,74 kN	0,45 kN	0,34 kNm	-1,23 kNm	-116,66 kN	0,59 kN	0,44 kNm	-1,60 kNm
-5,85 kN	0,01 kN	0,25 kNm	-0,01 kNm	-3,80 kN	0,01 kN	0,16 kNm	-0,01 kNm
-1678,87 kN	8,49 kN	3,75 kNm	0,82 kNm	-2696,74 kN	13,64 kN	6,02 kNm	-0,66 kNm
-930,56 kN	5,38 kN	1,88 kNm	0,31 kNm	-1608,94 kN	9,30 kN	3,25 kNm	0,54 kNm
-2115,85 kN	10,93 kN	4,37 kNm	-3,31 kNm	-3199,84	16,49	8,03	-5,78

1.4. Posouzení maximální normálové síly

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.4	BR HP max N	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.4a	OS 75 HP max N	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.4	LM71 HP max N	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.4	C2 HP max N	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-188,61 kN	-1,85 kN	1,01 kNm	0,00 kNm	-215,02 kN	2,11 kN	1,15 kNm	0,00 kNm
-38,94 kN	-0,62 kN	0,32 kNm	0,01 kNm	-44,39 kN	0,71 kN	0,36 kNm	0,01 kNm
-75,98 kN	0,10 kN	0,74 kNm	-1,24 kNm	-76,93 kN	0,00 kN	0,75 kNm	-1,26 kNm
-20,94 kN	-12,76 kN	-1,12 kNm	-0,02 kNm	-18,85 kN	11,48 kN	0,00 kNm	-0,02 kNm
-30,88 kN	-0,74 kN	0,55 kNm	-2,42 kNm	-20,07 kN	0,48 kN	0,36 kNm	-1,57 kNm
-89,16 kN	-0,27 kN	0,88 kNm	-1,51 kNm	-57,95 kN	0,18 kN	0,57 kNm	-0,98 kNm
-3,76 kN	3,35 kN	0,32 kNm	0,00 kNm	-4,89 kN	0,00 kN	0,42 kNm	0,00 kNm
-1700,88 kN	-35,16 kN	14,59 kNm	1,04 kNm	-2732,09 kN	56,48 kN	23,44 kNm	0,00 kNm
-935,09 kN	-12,77 kN	8,71 kNm	0,95 kNm	-1616,77 kN	22,08 kN	15,06 kNm	1,64 kNm
-2149,15 kN	-47,95 kN	17,29 kNm	-4,14 kNm	-3170,19	71,43	27,05	-3,82

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.4	BR HP max N	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.4a	OS 75 HP max N	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.4	LM71 HP max N	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.4	C2 HP max N	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-188,61 kN	-1,85 kN	1,01 kNm	0,00 kNm	-215,02 kN	2,11 kN	1,15 kNm	0,00 kNm
-38,94 kN	-0,62 kN	0,32 kNm	0,01 kNm	-44,39 kN	0,71 kN	0,36 kNm	0,01 kNm
-75,98 kN	0,10 kN	0,74 kNm	-1,24 kNm	-76,93 kN	0,00 kN	0,75 kNm	-1,26 kNm
-20,94 kN	-12,76 kN	-1,12 kNm	-0,02 kNm	-18,85 kN	11,48 kN	0,00 kNm	-0,02 kNm
-30,88 kN	-0,74 kN	0,55 kNm	-2,42 kNm	-40,14 kN	0,96 kN	0,72 kNm	-3,15 kNm
-89,16 kN	-0,27 kN	0,88 kNm	-1,51 kNm	-115,91 kN	0,35 kN	1,14 kNm	-1,96 kNm
-3,76 kN	3,35 kN	0,32 kNm	0,00 kNm	-2,44 kN	0,00 kN	0,21 kNm	0,00 kNm
-1700,88 kN	-35,16 kN	14,59 kNm	1,04 kNm	-2732,09 kN	56,48 kN	23,44 kNm	-0,84 kNm
-935,09 kN	-12,77 kN	8,71 kNm	0,95 kNm	-1616,77 kN	22,08 kN	15,06 kNm	1,64 kNm
-2149,15 kN	-47,95 kN	17,29 kNm	-4,14 kNm	-3245,77	72,09	27,77	-7,21

2. Kombinace pro dolní pás

V následujících tabulkách jsou uvedeny kombinace pro dolní pás pro třídy GR11 - GR14 pro kombinační rovnici 6.10b.

2.1. Posouzení změny průřezu I. - II.

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáله zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.6	BR DP pr I.-II.	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.6a	OS 75 DP pr I.-II.	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.2	Rozj. proti směř	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.6	LM71 DP pr I.-II.	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.6	C2 DP pr I.-II.	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
84,87 kN	-0,49 kN	0,61 kNm	-0,04 kNm	96,75 kN	0,56 kN	0,70 kNm	-0,05 kNm
17,62 kN	-0,06 kN	0,10 kNm	-0,01 kNm	20,09 kN	0,07 kN	0,11 kNm	-0,01 kNm
37,11 kN	-1,05 kN	0,53 kNm	-0,09 kNm	37,57 kN	1,06 kN	0,54 kNm	-0,09 kNm
51,48 kN	-0,30 kN	0,71 kNm	0,16 kNm	46,33 kN	0,27 kN	0,64 kNm	0,00 kNm
33,66 kN	-1,61 kN	0,34 kNm	-0,41 kNm	21,88 kN	1,05 kN	0,22 kNm	-0,27 kNm
43,86 kN	-1,15 kN	0,56 kNm	-0,08 kNm	28,51 kN	0,75 kN	0,36 kNm	-0,05 kNm
199,31 kN	-2,14 kN	-1,50 kNm	-0,42 kNm	259,10 kN	2,78 kN	0,00 kNm	-0,55 kNm
752,91 kN	-3,16 kN	4,59 kNm	-0,33 kNm	1209,39 kN	5,08 kN	7,37 kNm	-0,53 kNm
448,82 kN	-1,79 kN	3,16 kNm	-0,63 kNm	776,01 kN	3,09 kN	5,46 kNm	-1,09 kNm
1220,82 kN	-9,96 kN	5,94 kNm	-1,22 kNm	1719,62	11,61	9,94	-1,54

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáله zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.6	BR DP pr I.-II.	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.6a	OS 75 DP pr I.-II.	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směř	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.6	LM71 DP pr I.-II.	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.6	C2 DP pr I.-II.	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
84,87 kN	-0,49 kN	0,61 kNm	-0,04 kNm	96,75 kN	0,56 kN	0,70 kNm	-0,05 kNm
17,62 kN	-0,06 kN	0,10 kNm	-0,01 kNm	20,09 kN	0,07 kN	0,11 kNm	-0,01 kNm
37,11 kN	-1,05 kN	0,53 kNm	-0,09 kNm	37,57 kN	1,06 kN	0,54 kNm	-0,09 kNm
51,48 kN	-0,30 kN	0,71 kNm	0,16 kNm	46,33 kN	0,27 kN	0,64 kNm	0,00 kNm
33,66 kN	-1,61 kN	0,34 kNm	-0,41 kNm	43,76 kN	2,09 kN	0,44 kNm	-0,53 kNm
43,86 kN	-1,15 kN	0,56 kNm	-0,08 kNm	57,02 kN	1,50 kN	0,73 kNm	-0,10 kNm
199,31 kN	-2,14 kN	-1,50 kNm	-0,42 kNm	129,55 kN	1,39 kN	0,00 kNm	-0,27 kNm
752,91 kN	-3,16 kN	4,59 kNm	-0,33 kNm	1209,39 kN	5,08 kN	7,37 kNm	-0,53 kNm
448,82 kN	-1,79 kN	3,16 kNm	-0,63 kNm	776,01 kN	3,09 kN	5,46 kNm	-1,09 kNm
1220,82 kN	-9,96 kN	5,94 kNm	-1,22 kNm	1640,46	12,01	10,53	-1,59

2.2. Posouzení změny průřezu II. - III.

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.7	BR DP pr II.-III.	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.7a	OS 75 DP pr II.-III.	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.7	LM71 DP pr II.-III.	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.7	C2 DP pr II.-III.	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
88,16 kN	1,48 kN	0,32 kNm	-0,50 kNm	100,50 kN	1,69 kN	0,36 kNm	-0,57 kNm
18,11 kN	0,06 kN	0,13 kNm	-0,12 kNm	20,65 kN	0,07 kN	0,15 kNm	-0,14 kNm
55,05 kN	1,19 kN	-0,24 kNm	0,77 kNm	55,74 kN	1,20 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
31,53 kN	0,11 kN	1,12 kNm	0,92 kNm	28,38 kN	0,10 kN	1,01 kNm	0,00 kNm
43,69 kN	1,78 kN	-0,80 kNm	2,27 kNm	28,40 kN	1,16 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
62,54 kN	1,31 kN	-0,28 kNm	0,87 kNm	40,65 kN	0,85 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
38,84 kN	1,67 kN	-1,18 kNm	2,28 kNm	50,49 kN	2,17 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
792,74 kN	3,39 kN	5,14 kNm	-4,16 kNm	1273,36 kN	5,45 kN	8,26 kNm	-6,68 kNm
473,09 kN	1,73 kN	3,78 kNm	-3,82 kNm	817,97 kN	2,99 kN	6,54 kNm	-6,60 kNm
1130,66 kN	10,99 kN	4,21 kNm	2,33 kNm	1598,17	12,68	9,78	-7,39

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.7	BR DP pr II.-III.	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.7a	OS 75 DP pr II.-III.	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.7	LM71 DP pr II.-III.	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.7	C2 DP pr II.-III.	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
88,16 kN	1,48 kN	0,32 kNm	-0,50 kNm	100,50 kN	1,69 kN	0,36 kNm	-0,57 kNm
18,11 kN	0,06 kN	0,13 kNm	-0,12 kNm	20,65 kN	0,07 kN	0,15 kNm	-0,14 kNm
55,05 kN	1,19 kN	-0,24 kNm	0,77 kNm	55,74 kN	1,20 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
31,53 kN	0,11 kN	1,12 kNm	0,92 kNm	28,38 kN	0,10 kN	1,01 kNm	0,00 kNm
43,69 kN	1,78 kN	-0,80 kNm	2,27 kNm	56,80 kN	2,31 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
62,54 kN	1,31 kN	-0,28 kNm	0,87 kNm	81,30 kN	1,70 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
38,84 kN	1,67 kN	-1,18 kNm	2,28 kNm	25,25 kN	1,09 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
792,74 kN	3,39 kN	5,14 kNm	-4,16 kNm	1273,36 kN	5,45 kN	8,26 kNm	-6,68 kNm
473,09 kN	1,73 kN	3,78 kNm	-3,82 kNm	817,97 kN	2,99 kN	6,54 kNm	-6,60 kNm
1130,66 kN	10,99 kN	4,21 kNm	2,33 kNm	1641,97	13,61	9,78	-7,39

2.3. Posouzení změny průřezu III. - IV.

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.8	BR DP pr III.-IV.	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.8a	OS 75 DP pr III.-IV.	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.8	LM71 DP pr III.-IV.	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.8	C2 DP pr III.-IV.	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
167,79 kN	1,18 kN	0,67 kNm	-0,04 kNm	191,28 kN	1,35 kN	0,76 kNm	-0,05 kNm
34,54 kN	0,15 kN	0,10 kNm	0,00 kNm	39,38 kN	0,17 kN	0,11 kNm	0,00 kNm
120,76 kN	0,80 kN	-0,05 kNm	-0,37 kNm	122,27 kN	0,81 kN	0,00 kNm	-0,37 kNm
28,61 kN	0,44 kN	0,94 kNm	0,11 kNm	25,75 kN	0,40 kN	0,85 kNm	0,00 kNm
110,26 kN	1,85 kN	-0,70 kNm	-0,78 kNm	71,67 kN	1,20 kN	0,00 kNm	-0,51 kNm
135,58 kN	0,90 kN	0,00 kNm	-0,52 kNm	88,13 kN	0,59 kN	0,00 kNm	-0,34 kNm
105,96 kN	2,18 kN	-0,51 kNm	0,76 kNm	137,75 kN	2,83 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
1501,47 kN	6,55 kN	5,23 kNm	-0,75 kNm	2411,78 kN	10,52 kN	8,40 kNm	-1,20 kNm
835,22 kN	5,21 kN	2,55 kNm	-0,02 kNm	1444,10 kN	9,01 kN	4,41 kNm	-0,03 kNm
2204,97 kN	14,05 kN	5,68 kNm	-1,59 kNm	3088,00	17,86	10,12	-2,47

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.8	BR DP pr III.-IV.	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.8a	OS 75 DP pr III.-IV.	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.8	LM71 DP pr III.-IV.	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.8	C2 DP pr III.-IV.	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
167,79 kN	1,18 kN	0,67 kNm	-0,04 kNm	191,28 kN	1,35 kN	0,76 kNm	-0,05 kNm
34,54 kN	0,15 kN	0,10 kNm	0,00 kNm	39,38 kN	0,17 kN	0,11 kNm	0,00 kNm
120,76 kN	0,80 kN	-0,05 kNm	-0,37 kNm	122,27 kN	0,81 kN	0,00 kNm	-0,37 kNm
28,61 kN	0,44 kN	0,94 kNm	0,11 kNm	25,75 kN	0,40 kN	0,85 kNm	0,00 kNm
110,26 kN	1,85 kN	-0,70 kNm	-0,78 kNm	143,34 kN	2,41 kN	0,00 kNm	-1,01 kNm
135,58 kN	0,90 kN	0,00 kNm	-0,52 kNm	176,25 kN	1,17 kN	0,00 kNm	-0,68 kNm
105,96 kN	2,18 kN	-0,51 kNm	0,76 kNm	68,87 kN	1,42 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
1501,47 kN	6,55 kN	5,23 kNm	-0,75 kNm	2411,78 kN	10,52 kN	8,40 kNm	-1,20 kNm
835,22 kN	5,21 kN	2,55 kNm	-0,02 kNm	1444,10 kN	9,01 kN	4,41 kNm	-0,03 kNm
2204,97 kN	14,05 kN	5,68 kNm	-1,59 kNm	3178,93	18,24	10,12	-3,31

2.4. Posouzení maximální normálové síly

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaz/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.9	BR DP max N	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.9a	OS 75 DP max N	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.9	LM71 DP max N	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.9	C2 DP max N	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
170,66 kN	1,82 kN	0,92 kNm	-0,02 kNm	194,55 kN	2,07 kN	1,05 kNm	-0,02 kNm
35,25 kN	0,84 kN	0,30 kNm	-0,02 kNm	40,19 kN	0,96 kN	0,34 kNm	-0,02 kNm
123,12 kN	3,07 kN	0,98 kNm	-1,94 kNm	124,66 kN	3,11 kN	0,99 kNm	-1,96 kNm
40,42 kN	11,83 kN	1,55 kNm	-0,56 kNm	36,38 kN	10,65 kN	1,40 kNm	-0,50 kNm
111,46 kN	3,60 kN	0,77 kNm	-5,38 kNm	72,45 kN	2,34 kN	0,50 kNm	-3,50 kNm
138,65 kN	4,02 kN	1,16 kNm	-2,52 kNm	90,12 kN	2,61 kN	0,75 kNm	-1,64 kNm
108,62 kN	4,78 kN	2,30 kNm	-3,83 kNm	141,21 kN	6,21 kN	2,99 kNm	-4,98 kNm
1539,69 kN	48,53 kN	13,82 kNm	-0,99 kNm	2473,18 kN	77,95 kN	22,20 kNm	-1,59 kNm
849,15 kN	21,27 kN	9,41 kNm	-2,90 kNm	1468,18 kN	36,78 kN	16,27 kNm	-5,01 kNm
2267,87 kN	78,49 kN	21,80 kNm	-15,26 kNm	3172,73	105,91	30,22	-14,22

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaz/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.9	BR DP max N	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.9a	OS 75 DP max N	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.9	LM71 DP max N	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.9	C2 DP max N	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
170,66 kN	1,82 kN	0,92 kNm	-0,02 kNm	194,55 kN	2,07 kN	1,05 kNm	-0,02 kNm
35,25 kN	0,84 kN	0,30 kNm	-0,02 kNm	40,19 kN	0,96 kN	0,34 kNm	-0,02 kNm
123,12 kN	3,07 kN	0,98 kNm	-1,94 kNm	124,66 kN	3,11 kN	0,99 kNm	-1,96 kNm
40,42 kN	11,83 kN	1,55 kNm	-0,56 kNm	36,38 kN	10,65 kN	1,40 kNm	-0,50 kNm
111,46 kN	3,60 kN	0,77 kNm	-5,38 kNm	144,90 kN	4,68 kN	1,00 kNm	-6,99 kNm
138,65 kN	4,02 kN	1,16 kNm	-2,52 kNm	180,25 kN	5,23 kN	1,51 kNm	-3,28 kNm
108,62 kN	4,78 kN	2,30 kNm	-3,83 kNm	70,60 kN	3,11 kN	1,50 kNm	-2,49 kNm
1539,69 kN	48,53 kN	13,82 kNm	-0,99 kNm	2473,18 kN	77,95 kN	22,20 kNm	-1,59 kNm
849,15 kN	21,27 kN	9,41 kNm	-2,90 kNm	1468,18 kN	36,78 kN	16,27 kNm	-5,01 kNm
2267,87 kN	78,49 kN	21,80 kNm	-15,26 kNm	3264,70	107,75	29,98	-16,86

3. Kombinace pro svislice

V následujících tabulkách jsou uvedeny kombinace pro svislice pro třídy GR11 - GR14 pro kombinační rovnici 6.10b.

3.1. Posouzení krajní svislice na tlak

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaž} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.11	BR Vk tlak	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.11a	OS 75 Vk tlak	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.11	LM71 Vk tlak	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.11	C2 Vk tlak	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-28,83 kN	0,00 kN	0,01 kNm	-0,48 kNm	-32,87 kN	0,00 kN	0,01 kNm	-0,55 kNm
-5,77 kN	-0,01 kN	0,00 kNm	-0,09 kNm	-6,58 kN	0,01 kN	0,00 kNm	-0,10 kNm
-12,47 kN	-0,06 kN	-0,03 kNm	-0,14 kNm	-12,63 kN	0,06 kN	0,00 kNm	-0,14 kNm
-12,61 kN	0,23 kN	-0,09 kNm	0,20 kNm	-11,35 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-6,70 kN	0,10 kN	0,02 kNm	-0,03 kNm	-4,36 kN	0,00 kN	0,01 kNm	-0,02 kNm
-14,70 kN	-0,04 kN	-0,03 kNm	-0,17 kNm	-9,56 kN	0,03 kN	0,00 kNm	-0,11 kNm
-0,69 kN	0,00 kN	-0,05 kNm	0,10 kNm	-0,90 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-254,06 kN	-0,51 kN	0,14 kNm	-3,99 kNm	-408,09 kN	0,82 kN	0,22 kNm	-6,41 kNm
-157,05 kN	-0,52 kN	0,07 kNm	-2,50 kNm	-271,54 kN	-0,90 kN	0,12 kNm	-4,32 kNm
-335,83 kN	-0,29 kN	-0,03 kNm	-4,60 kNm	-486,32	0,92	0,25	-7,33

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaž} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.11	BR Vk tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.11a	OS 75 Vk tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.11	LM71 Vk tlak	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.11	C2 Vk tlak	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-28,83 kN	0,00 kN	0,01 kNm	-0,48 kNm	-32,87 kN	0,00 kN	0,01 kNm	-0,55 kNm
-5,77 kN	-0,01 kN	0,00 kNm	-0,09 kNm	-6,58 kN	0,01 kN	0,00 kNm	-0,10 kNm
-12,47 kN	-0,06 kN	-0,03 kNm	-0,14 kNm	-12,63 kN	0,06 kN	0,00 kNm	-0,14 kNm
-12,61 kN	0,23 kN	-0,09 kNm	0,20 kNm	-11,35 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-6,70 kN	0,10 kN	0,02 kNm	-0,03 kNm	-8,71 kN	0,00 kN	0,03 kNm	-0,04 kNm
-14,70 kN	-0,04 kN	-0,03 kNm	-0,17 kNm	-19,11 kN	0,05 kN	0,00 kNm	-0,22 kNm
-0,69 kN	0,00 kN	-0,05 kNm	0,10 kNm	-0,45 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-254,06 kN	-0,51 kN	0,14 kNm	-3,99 kNm	-408,09 kN	0,82 kN	0,22 kNm	-6,41 kNm
-157,05 kN	-0,52 kN	0,07 kNm	-2,50 kNm	-271,54 kN	-0,90 kN	0,12 kNm	-4,32 kNm
-335,83 kN	-0,29 kN	-0,03 kNm	-4,60 kNm	-499,78	0,94	0,26	-7,46

3.2. Posouzení prostřední svislíce na tlak

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.12	BR Vp tlak	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.12a	OS 75 Vp tlak	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.12	LM71 Vp tlak	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.12	C2 Vp tlak	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-1,17 kN	-0,05 kN	0,00 kNm	0,11 kNm	-1,33 kN	0,06 kN	0,00 kNm	0,13 kNm
-0,63 kN	-0,02 kN	0,00 kNm	0,02 kNm	-0,72 kN	0,02 kN	0,00 kNm	0,02 kNm
-1,67 kN	-0,27 kN	0,04 kNm	-0,83 kNm	-1,69 kN	0,27 kN	0,04 kNm	0,00 kNm
-59,60 kN	0,06 kN	0,01 kNm	0,15 kNm	-53,64 kN	0,00 kN	0,01 kNm	0,14 kNm
-3,28 kN	0,70 kN	-0,08 kNm	-0,86 kNm	-2,13 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-2,50 kN	-0,31 kN	0,02 kNm	-0,38 kNm	-1,63 kN	0,20 kN	0,01 kNm	0,00 kNm
-4,98 kN	0,28 kN	-0,03 kNm	0,96 kNm	-6,47 kN	0,00 kN	0,00 kNm	1,25 kNm
-41,72 kN	-0,88 kN	0,16 kNm	0,25 kNm	-67,01 kN	1,41 kN	0,26 kNm	0,40 kNm
-29,39 kN	0,72 kN	0,26 kNm	0,09 kNm	-50,82 kN	1,24 kN	0,45 kNm	0,16 kNm
-115,55 kN	-0,49 kN	0,12 kNm	-0,58 kNm	-134,63	1,97	0,32	1,93

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.12	BR Vp tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.12a	OS 75 Vp tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.12	LM71 Vp tlak	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.12	C2 Vp tlak	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-1,17 kN	-0,05 kN	0,00 kNm	0,11 kNm	-1,33 kN	0,06 kN	0,00 kNm	0,10 kNm
-0,63 kN	-0,02 kN	0,00 kNm	0,02 kNm	-0,72 kN	0,02 kN	0,00 kNm	0,02 kNm
-1,67 kN	-0,27 kN	0,04 kNm	-0,83 kNm	-1,69 kN	0,27 kN	0,04 kNm	-0,84 kNm
-59,60 kN	0,06 kN	0,01 kNm	0,15 kNm	-53,64 kN	0,00 kN	0,01 kNm	0,00 kNm
-3,28 kN	0,70 kN	-0,08 kNm	-0,86 kNm	-4,26 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-1,12 kNm
-2,50 kN	-0,31 kN	0,02 kNm	-0,38 kNm	-3,25 kN	0,40 kN	0,03 kNm	-0,49 kNm
-4,98 kN	0,28 kN	-0,03 kNm	0,96 kNm	-3,24 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-41,72 kN	-0,88 kN	0,16 kNm	0,25 kNm	-67,01 kN	1,41 kN	0,26 kNm	-0,20 kNm
-29,39 kN	0,72 kN	0,26 kNm	0,09 kNm	-50,82 kN	1,24 kN	0,45 kNm	0,16 kNm
-115,55 kN	-0,49 kN	0,12 kNm	-0,58 kNm	-135,15	2,17	0,33	-2,54

3.3. Posouzení prostřední svislíce na tah

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	$Z_{uvaž}/GrXX$	Zuvaž/součinitel α
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.13	BR Vp tah	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.13a	OS 75 Vp tah	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.13	LM71 Vp tah	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.13	C2 Vp tah	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
10,05 kN	0,10 kN	0,03 kNm	-0,28 kNm	11,46 kN	0,11 kN	0,03 kNm	-0,32 kNm
2,56 kN	0,03 kN	0,01 kNm	-0,06 kNm	2,92 kN	0,03 kN	0,01 kNm	-0,07 kNm
4,88 kN	0,29 kN	0,10 kNm	-0,10 kNm	4,94 kN	0,29 kN	0,10 kNm	-0,10 kNm
31,48 kN	0,92 kN	0,15 kNm	-0,01 kNm	28,33 kN	0,83 kN	0,14 kNm	-0,01 kNm
4,81 kN	-0,17 kN	-0,26 kNm	0,00 kNm	3,13 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
6,38 kN	0,24 kN	0,06 kNm	-0,11 kNm	4,15 kN	0,16 kN	0,04 kNm	-0,07 kNm
2,77 kN	0,41 kN	0,16 kNm	-0,06 kNm	3,60 kN	0,53 kN	0,21 kNm	-0,08 kNm
125,09 kN	1,66 kN	0,44 kNm	-2,33 kNm	200,93 kN	2,67 kN	0,71 kNm	-3,74 kNm
86,43 kN	1,93 kN	0,54 kNm	-1,41 kNm	149,44 kN	3,34 kN	0,93 kNm	-2,44 kNm
188,02 kN	3,48 kN	0,69 kNm	-2,95 kNm	259,45	4,63	1,24	-4,39

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	$Z_{uvaž}/GrXX$	Zuvaž/součinitel α
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.13	BR Vp tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.13a	OS 75 Vp tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.13	LM71 Vp tah	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.13	C2 Vp tah	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
10,05 kN	0,10 kN	0,03 kNm	-0,28 kNm	11,46 kN	0,11 kN	0,03 kNm	-0,32 kNm
2,56 kN	0,03 kN	0,01 kNm	-0,06 kNm	2,92 kN	0,03 kN	0,01 kNm	-0,07 kNm
4,88 kN	0,29 kN	0,10 kNm	-0,10 kNm	4,94 kN	0,29 kN	0,10 kNm	-0,10 kNm
31,48 kN	0,92 kN	0,15 kNm	-0,01 kNm	28,33 kN	0,83 kN	0,14 kNm	-0,01 kNm
4,81 kN	-0,17 kN	-0,26 kNm	0,00 kNm	6,25 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
6,38 kN	0,24 kN	0,06 kNm	-0,11 kNm	8,29 kN	0,31 kN	0,08 kNm	-0,14 kNm
2,77 kN	0,41 kN	0,16 kNm	-0,06 kNm	1,80 kN	0,27 kN	0,10 kNm	-0,04 kNm
125,09 kN	1,66 kN	0,44 kNm	-2,33 kNm	200,93 kN	2,67 kN	0,71 kNm	-3,74 kNm
86,43 kN	1,93 kN	0,54 kNm	-1,41 kNm	149,44 kN	3,34 kN	0,93 kNm	-2,44 kNm
188,02 kN	3,48 kN	0,69 kNm	-2,95 kNm	264,93	4,51	1,17	-4,42

4. Kombinace pro diagonály

V následujících tabulkách jsou uvedeny kombinace pro diagonály pro třídy GR11 - GR14 pro kombinační rovnici 6.10b.

4.1. Posouzení diagonály E1 na tah

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	$Z_{uvaž}/GrXX$	Zuvaž/součinitel α
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.14	BR E1 tah	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.14a	OS 75 E1 tah	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.14	LM71 E1 tah	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.14	C2 E1 tah	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
40,04 kN	-0,16 kN	-0,08 kNm	0,03 kNm	45,65 kN	0,18 kN	-0,09 kNm	0,03 kNm
8,55 kN	0,00 kN	-0,01 kNm	0,01 kNm	9,75 kN	0,00 kN	-0,01 kNm	0,01 kNm
18,55 kN	-0,02 kN	-0,03 kNm	0,00 kNm	18,78 kN	0,02 kN	-0,03 kNm	0,00 kNm
18,23 kN	-0,67 kN	-0,27 kNm	-0,16 kNm	16,41 kN	0,60 kN	-0,24 kNm	0,00 kNm
9,90 kN	0,01 kN	0,02 kNm	-0,13 kNm	6,44 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
21,85 kN	-0,02 kN	-0,03 kNm	-0,01 kNm	14,20 kN	0,01 kN	-0,02 kNm	0,00 kNm
1,27 kN	-0,02 kN	0,02 kNm	-0,15 kNm	1,65 kN	0,03 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
375,94 kN	0,04 kN	-0,50 kNm	0,30 kNm	603,87 kN	0,00 kN	-0,80 kNm	0,48 kNm
231,93 kN	0,14 kN	-0,21 kNm	0,25 kNm	401,01 kN	0,24 kN	-0,36 kNm	0,43 kNm
494,33 kN	-0,84 kN	-0,88 kNm	-0,11 kNm	716,74	0,84	-1,20	0,53

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	$Z_{uvaž}/GrXX$	Zuvaž/součinitel α
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.14	BR E1 tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.14a	OS 75 E1 tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.14	LM71 E1 tah	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.14	C2 E1 tah	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
40,04 kN	-0,16 kN	-0,08 kNm	0,03 kNm	45,65 kN	0,18 kN	-0,09 kNm	0,03 kNm
8,55 kN	0,00 kN	-0,01 kNm	0,01 kNm	9,75 kN	0,00 kN	-0,01 kNm	0,01 kNm
18,55 kN	-0,02 kN	-0,03 kNm	0,00 kNm	18,78 kN	0,02 kN	-0,03 kNm	0,00 kNm
18,23 kN	-0,67 kN	-0,27 kNm	-0,16 kNm	16,41 kN	0,60 kN	-0,24 kNm	0,00 kNm
9,90 kN	0,01 kN	0,02 kNm	-0,13 kNm	12,87 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
21,85 kN	-0,02 kN	-0,03 kNm	-0,01 kNm	28,41 kN	0,03 kN	-0,04 kNm	0,00 kNm
1,27 kN	-0,02 kN	0,02 kNm	-0,15 kNm	0,83 kN	0,01 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
375,94 kN	0,04 kN	-0,50 kNm	0,30 kNm	603,87 kN	0,00 kN	-0,80 kNm	0,48 kNm
231,93 kN	0,14 kN	-0,21 kNm	0,25 kNm	401,01 kN	0,24 kN	-0,36 kNm	0,43 kNm
494,33 kN	-0,84 kN	-0,88 kNm	-0,11 kNm	736,55	0,84	-1,22	0,53

4.2. Posouzení diagonály E2 a E3 na tah

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.15	BR E2,3 tah	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.15a	OS 75 E2,3 tah	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.15	LM71 E2,3 tah	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.15	C2 E2,3 tah	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
35,41 kN	0,24 kN	-0,08 kNm	0,01 kNm	40,37 kN	0,27 kN	-0,09 kNm	0,01 kNm
7,61 kN	0,02 kN	-0,01 kNm	0,00 kNm	8,68 kN	0,02 kN	-0,01 kNm	0,00 kNm
15,06 kN	-0,05 kN	0,07 kNm	-0,08 kNm	15,25 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
15,41 kN	0,42 kN	-0,19 kNm	0,00 kNm	13,87 kN	0,38 kN	-0,17 kNm	0,00 kNm
8,34 kN	-0,06 kN	0,07 kNm	-0,15 kNm	5,42 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
18,41 kN	-0,05 kN	0,07 kNm	-0,09 kNm	11,97 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
6,26 kN	0,35 kN	-0,20 kNm	0,10 kNm	8,14 kN	0,46 kN	-0,26 kNm	0,13 kNm
342,42 kN	0,85 kN	-0,54 kNm	0,20 kNm	550,02 kN	1,37 kN	-0,87 kNm	0,32 kNm
206,99 kN	0,42 kN	-0,26 kNm	0,20 kNm	357,89 kN	0,73 kN	-0,45 kNm	0,35 kNm
448,92 kN	1,72 kN	-0,81 kNm	-0,01 kNm	653,71	2,49	-1,40	0,46

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.15	BR E2,3 tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.15a	OS 75 E2,3 tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.15	LM71 E2,3 tah	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.15	C2 E2,3 tah	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
35,41 kN	0,24 kN	-0,08 kNm	0,01 kNm	40,37 kN	0,27 kN	-0,09 kNm	0,01 kNm
7,61 kN	0,02 kN	-0,01 kNm	0,00 kNm	8,68 kN	0,02 kN	-0,01 kNm	0,00 kNm
15,06 kN	-0,05 kN	0,07 kNm	-0,08 kNm	15,25 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
15,41 kN	0,42 kN	-0,19 kNm	0,00 kNm	13,87 kN	0,38 kN	-0,17 kNm	0,00 kNm
8,34 kN	-0,06 kN	0,07 kNm	-0,15 kNm	10,84 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
18,41 kN	-0,05 kN	0,07 kNm	-0,09 kNm	23,93 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
6,26 kN	0,35 kN	-0,20 kNm	0,10 kNm	4,07 kN	0,23 kN	-0,13 kNm	0,07 kNm
342,42 kN	0,85 kN	-0,54 kNm	0,20 kNm	550,02 kN	1,37 kN	-0,87 kNm	0,32 kNm
206,99 kN	0,42 kN	-0,26 kNm	0,20 kNm	357,89 kN	0,73 kN	-0,45 kNm	0,35 kNm
448,92 kN	1,72 kN	-0,81 kNm	-0,01 kNm	667,03	2,27	-1,27	0,40

4.3. Posouzení diagonály E4 na tah

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvazj} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.16	BR E4 tah	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.16a	OS 75 E4 tah	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.16	LM71 E4 tah	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.16	C2 E4 tah	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
15,72 kN	-0,22 kN	-0,06 kNm	0,00 kNm	17,92 kN	0,25 kN	-0,07 kNm	0,00 kNm
3,48 kN	-0,02 kN	-0,01 kNm	0,00 kNm	3,97 kN	0,02 kN	-0,01 kNm	0,00 kNm
8,33 kN	-0,05 kN	-0,02 kNm	0,00 kNm	8,43 kN	0,05 kN	-0,02 kNm	0,00 kNm
15,42 kN	-0,24 kN	-0,11 kNm	-0,01 kNm	13,88 kN	0,22 kN	-0,10 kNm	0,00 kNm
8,05 kN	-0,02 kN	0,00 kNm	-0,08 kNm	5,23 kN	0,01 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
12,85 kN	-0,04 kN	-0,01 kNm	-0,02 kNm	8,35 kN	0,03 kN	-0,01 kNm	0,00 kNm
3,76 kN	-0,02 kN	0,01 kNm	-0,05 kNm	4,89 kN	0,03 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
215,57 kN	-0,76 kN	-0,43 kNm	0,22 kNm	346,27 kN	1,22 kN	-0,69 kNm	0,35 kNm
119,38 kN	-0,39 kN	-0,18 kNm	0,18 kNm	206,41 kN	-0,67 kN	-0,31 kNm	0,31 kNm
283,18 kN	-1,37 kN	-0,63 kNm	0,06 kNm	408,94	1,83	-0,90	0,35

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvazj} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.16	BR E4 tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.16a	OS 75 E4 tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.16	LM71 E4 tah	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.16	C2 E4 tah	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
15,72 kN	-0,22 kN	-0,06 kNm	0,00 kNm	17,92 kN	0,25 kN	-0,07 kNm	0,00 kNm
3,48 kN	-0,02 kN	-0,01 kNm	0,00 kNm	3,97 kN	0,02 kN	-0,01 kNm	0,00 kNm
8,33 kN	-0,05 kN	-0,02 kNm	0,00 kNm	8,43 kN	0,05 kN	-0,02 kNm	0,00 kNm
15,42 kN	-0,24 kN	-0,11 kNm	-0,01 kNm	13,88 kN	0,22 kN	-0,10 kNm	0,00 kNm
8,05 kN	-0,02 kN	0,00 kNm	-0,08 kNm	10,47 kN	0,03 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
12,85 kN	-0,04 kN	-0,01 kNm	-0,02 kNm	16,71 kN	0,05 kN	-0,01 kNm	0,00 kNm
3,76 kN	-0,02 kN	0,01 kNm	-0,05 kNm	2,44 kN	0,01 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
215,57 kN	-0,76 kN	-0,43 kNm	0,22 kNm	346,27 kN	1,22 kN	-0,69 kNm	0,35 kNm
119,38 kN	-0,39 kN	-0,18 kNm	0,18 kNm	206,41 kN	-0,67 kN	-0,31 kNm	0,31 kNm
283,18 kN	-1,37 kN	-0,63 kNm	0,06 kNm	420,08	1,85	-0,90	0,35

4.4. Posouzení diagonály E4 na tlak

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.17	BR E4 tlak	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.17a	OS 75 E4 tlak	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.17	LM71 E4 tlak	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.17	C2 E4 tlak	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
15,72 kN	-0,22 kN	-0,06 kNm	0,00 kNm	14,15 kN	0,25 kN	-0,05 kNm	0,00 kNm
3,48 kN	-0,02 kN	-0,01 kNm	0,00 kNm	3,13 kN	0,02 kN	-0,01 kNm	0,00 kNm
-8,33 kN	0,05 kN	0,02 kNm	-0,09 kNm	-8,43 kN	0,00 kN	0,02 kNm	-0,09 kNm
-15,98 kN	0,24 kN	0,11 kNm	0,01 kNm	-14,38 kN	0,00 kN	0,10 kNm	0,00 kNm
-0,54 kN	0,08 kN	0,05 kNm	-0,07 kNm	-0,35 kN	0,00 kN	0,03 kNm	-0,05 kNm
-2,36 kN	-0,04 kN	-0,02 kNm	0,01 kNm	-1,53 kN	0,03 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-3,76 kN	0,02 kN	-0,01 kNm	0,05 kNm	-4,89 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-53,39 kN	-0,20 kN	0,05 kNm	-0,17 kNm	-85,76 kN	0,32 kN	0,08 kNm	-0,27 kNm
-30,22 kN	-0,12 kN	0,02 kNm	-0,10 kNm	-52,25 kN	-0,21 kN	0,03 kNm	-0,17 kNm
-65,16 kN	-0,09 kN	0,13 kNm	-0,26 kNm	-98,07	0,62	0,17	-0,41

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.17	BR E4 tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.17a	OS 75 E4 tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.17	LM71 E4 tlak	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.17	C2 E4 tlak	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
15,72 kN	-0,22 kN	-0,06 kNm	0,00 kNm	14,15 kN	0,25 kN	-0,05 kNm	0,00 kNm
3,48 kN	-0,02 kN	-0,01 kNm	0,00 kNm	3,13 kN	0,02 kN	-0,01 kNm	0,00 kNm
-8,33 kN	0,05 kN	0,02 kNm	-0,09 kNm	-8,43 kN	0,00 kN	0,02 kNm	-0,09 kNm
-15,98 kN	0,24 kN	0,11 kNm	0,01 kNm	-14,38 kN	0,00 kN	0,10 kNm	0,00 kNm
-0,54 kN	0,08 kN	0,05 kNm	-0,07 kNm	-0,70 kN	0,00 kN	0,07 kNm	-0,09 kNm
-2,36 kN	-0,04 kN	-0,02 kNm	0,01 kNm	-3,07 kN	0,05 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-3,76 kN	0,02 kN	-0,01 kNm	0,05 kNm	-2,44 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-53,39 kN	-0,20 kN	0,05 kNm	-0,17 kNm	-85,76 kN	0,32 kN	0,08 kNm	-0,27 kNm
-30,22 kN	-0,12 kN	0,02 kNm	-0,10 kNm	-52,25 kN	-0,21 kN	0,03 kNm	-0,17 kNm
-65,16 kN	-0,09 kN	0,13 kNm	-0,26 kNm	-97,51	0,65	0,20	-0,46

4.5. Posouzení diagonály E5 na tah

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.18	BR E5 tah	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.18a	OS 75 E5 tah	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.18	LM71 E5 tah	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.18	C2 E5 tah	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
4,78 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,03 kNm	5,45 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,03 kNm
0,98 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm	1,12 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
3,24 kN	0,06 kN	0,11 kNm	0,00 kNm	3,28 kN	0,06 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
16,02 kN	0,01 kN	0,01 kNm	0,03 kNm	14,42 kN	0,01 kN	0,00 kNm	0,03 kNm
6,45 kN	0,07 kN	-0,02 kNm	0,01 kNm	4,19 kN	0,05 kN	-0,01 kNm	0,01 kNm
9,18 kN	0,05 kN	0,07 kNm	0,01 kNm	5,97 kN	0,03 kN	0,00 kNm	0,01 kNm
2,20 kN	-0,06 kN	-0,02 kNm	0,00 kNm	2,86 kN	0,00 kN	-0,03 kNm	0,00 kNm
148,73 kN	0,36 kN	-0,09 kNm	0,11 kNm	238,90 kN	0,58 kN	-0,14 kNm	0,18 kNm
74,90 kN	0,29 kN	0,03 kNm	0,06 kNm	129,50 kN	0,50 kN	0,05 kNm	0,10 kNm
191,58 kN	0,49 kN	0,06 kNm	0,13 kNm	276,19	0,73	-0,18	0,19

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.18	BR E5 tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.18a	OS 75 E5 tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.18	LM71 E5 tah	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.18	C2 E5 tah	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
4,78 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,03 kNm	5,45 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,03 kNm
0,98 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm	1,12 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
3,24 kN	0,06 kN	0,11 kNm	0,00 kNm	3,28 kN	0,06 kN	0,11 kNm	0,00 kNm
16,02 kN	0,01 kN	0,01 kNm	0,03 kNm	14,42 kN	0,01 kN	0,01 kNm	0,03 kNm
6,45 kN	0,07 kN	-0,02 kNm	0,01 kNm	8,39 kN	0,09 kN	0,00 kNm	0,01 kNm
9,18 kN	0,05 kN	0,07 kNm	0,01 kNm	11,93 kN	0,07 kN	0,09 kNm	0,01 kNm
2,20 kN	-0,06 kN	-0,02 kNm	0,00 kNm	1,43 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
148,73 kN	0,36 kN	-0,09 kNm	0,11 kNm	238,90 kN	0,58 kN	0,00 kNm	0,18 kNm
74,90 kN	0,29 kN	0,03 kNm	0,06 kNm	129,50 kN	0,50 kN	0,05 kNm	0,10 kNm
191,58 kN	0,49 kN	0,06 kNm	0,13 kNm	284,92	0,80	0,21	0,20

4.6. Posouzení diagonály E5 na tlak

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	$Z_{uvaz}/GrXX$	Zuvaž/součinitel α
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.2	Vítr zleva	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.19	BR E5 tlak	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.19a	OS 75 E5 tlak	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.19	LM71 E5 tlak	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.19	C2 E5 tlak	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
4,06 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,03 kNm	3,65 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,03 kNm
0,99 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm	0,89 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-3,33 kN	-0,18 kN	0,21 kNm	0,02 kNm	-3,37 kN	0,18 kN	0,21 kNm	0,02 kNm
-16,93 kN	-0,04 kN	0,06 kNm	0,10 kNm	-15,24 kN	0,04 kN	0,05 kNm	0,09 kNm
1,31 kN	-0,14 kN	-0,03 kNm	0,01 kNm	0,00 kN	0,09 kN	0,00 kNm	0,01 kNm
-5,16 kN	0,01 kN	0,03 kNm	0,00 kNm	-3,35 kN	0,00 kN	0,02 kNm	0,00 kNm
-2,22 kN	-0,23 kN	0,24 kNm	0,06 kNm	-2,89 kN	0,30 kN	0,31 kNm	0,08 kNm
-103,11 kN	-0,35 kN	1,13 kNm	0,02 kNm	-165,62 kN	0,56 kN	1,82 kNm	0,03 kNm
-48,85 kN	-0,19 kN	0,60 kNm	0,00 kNm	-84,46 kN	-0,33 kN	1,04 kNm	0,00 kNm
-124,39 kN	-0,93 kN	1,64 kNm	0,18 kNm	-185,93	1,17	2,41	0,20

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	$Z_{uvaz}/GrXX$	Zuvaž/součinitel α
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.2	Vítr zleva	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.19	BR E5 tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.19a	OS 75 E5 tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.19	LM71 E5 tlak	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.19	C2 E5 tlak	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
4,06 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,03 kNm	3,65 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,03 kNm
0,99 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm	0,89 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-3,33 kN	-0,18 kN	0,21 kNm	0,02 kNm	-3,37 kN	0,18 kN	0,21 kNm	0,02 kNm
-16,93 kN	-0,04 kN	0,06 kNm	0,10 kNm	-15,24 kN	0,04 kN	0,05 kNm	0,09 kNm
1,31 kN	-0,14 kN	-0,03 kNm	0,01 kNm	0,00 kN	0,18 kN	0,00 kNm	0,01 kNm
-5,16 kN	0,01 kN	0,03 kNm	0,00 kNm	-6,71 kN	0,00 kN	0,04 kNm	0,00 kNm
-2,22 kN	-0,23 kN	0,24 kNm	0,06 kNm	-1,44 kN	0,15 kN	0,16 kNm	0,04 kNm
-103,11 kN	-0,35 kN	1,13 kNm	0,02 kNm	-165,62 kN	0,56 kN	1,82 kNm	0,03 kNm
-48,85 kN	-0,19 kN	0,60 kNm	0,00 kNm	-84,46 kN	-0,33 kN	1,04 kNm	0,00 kNm
-124,39 kN	-0,93 kN	1,64 kNm	0,18 kNm	-187,84	1,11	2,28	0,17

4.7. Posouzení diagonály D1 na tlak

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	$Z_{uvaz}/GrXX$	Zuvaž/součinitel α
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.20	BR D1 tlak	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.20a	OS 75 D1 tlak	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.20	LM71 D1 tlak	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.20	C2 D1 tlak	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-55,53 kN	0,08 kN	-0,03 kNm	-0,24 kNm	-63,30 kN	0,09 kN	-0,03 kNm	-0,27 kNm
-11,62 kN	0,02 kN	-0,01 kNm	-0,05 kNm	-13,25 kN	0,02 kN	-0,01 kNm	-0,06 kNm
-24,25 kN	0,01 kN	-0,16 kNm	-0,10 kNm	-24,55 kN	0,01 kN	-0,16 kNm	-0,10 kNm
-31,62 kN	0,65 kN	-0,02 kNm	-0,11 kNm	-28,46 kN	0,59 kN	-0,02 kNm	-0,10 kNm
-9,59 kN	0,06 kN	0,36 kNm	-0,03 kNm	-6,23 kN	0,04 kN	0,00 kNm	-0,02 kNm
-28,41 kN	0,00 kN	-0,14 kNm	-0,11 kNm	-18,47 kN	0,00 kN	-0,09 kNm	-0,07 kNm
-10,21 kN	-0,46 kN	0,27 kNm	-0,06 kNm	-13,27 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,08 kNm
-508,51 kN	1,08 kN	-0,21 kNm	-2,01 kNm	-816,81 kN	1,73 kN	-0,34 kNm	-3,23 kNm
-308,96 kN	0,93 kN	-0,50 kNm	-1,18 kNm	-534,19 kN	1,61 kN	-0,86 kNm	-2,04 kNm
-679,74 kN	1,44 kN	0,06 kNm	-2,71 kNm	-984,35	2,48	-0,65	-3,93

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	$Z_{uvaz}/GrXX$	Zuvaž/součinitel α
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.20	BR D1 tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.20a	OS 75 D1 tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.20	LM71 D1 tlak	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.20	C2 D1 tlak	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-55,53 kN	0,08 kN	-0,03 kNm	-0,24 kNm	-63,30 kN	0,09 kN	-0,03 kNm	-0,27 kNm
-11,62 kN	0,02 kN	-0,01 kNm	-0,05 kNm	-13,25 kN	0,02 kN	-0,01 kNm	-0,06 kNm
-24,25 kN	0,01 kN	-0,16 kNm	-0,10 kNm	-24,55 kN	0,01 kN	-0,16 kNm	-0,10 kNm
-31,62 kN	0,65 kN	-0,02 kNm	-0,11 kNm	-28,46 kN	0,59 kN	-0,02 kNm	-0,10 kNm
-9,59 kN	0,06 kN	0,36 kNm	-0,03 kNm	-12,47 kN	0,08 kN	0,00 kNm	-0,04 kNm
-28,41 kN	0,00 kN	-0,14 kNm	-0,11 kNm	-36,93 kN	0,00 kN	-0,18 kNm	-0,14 kNm
-10,21 kN	-0,46 kN	0,27 kNm	-0,06 kNm	-6,64 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,04 kNm
-508,51 kN	1,08 kN	-0,21 kNm	-2,01 kNm	-816,81 kN	1,73 kN	-0,34 kNm	-3,23 kNm
-308,96 kN	0,93 kN	-0,50 kNm	-1,18 kNm	-534,19 kN	1,61 kN	-0,86 kNm	-2,04 kNm
-679,74 kN	1,44 kN	0,06 kNm	-2,71 kNm	-1002,41	2,52	-0,74	-3,98

4.8. Posouzení diagonály D2 a D3 na tlak

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáie zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.21	BR D2,3 tlak	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.21a	OS 75 D2,3 tlak	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.21	LM71 D2,3 tlak	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.21	C2 D2,3 tlak	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-37,52 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,08 kNm	-42,77 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,09 kNm
-7,71 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,01 kNm	-8,79 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,01 kNm
-13,99 kN	0,07 kN	-0,02 kNm	-0,02 kNm	-14,16 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,02 kNm
-21,62 kN	0,04 kN	0,11 kNm	-0,05 kNm	-19,46 kN	0,00 kN	0,10 kNm	-0,05 kNm
-5,91 kN	0,15 kN	0,37 kNm	-0,01 kNm	-3,84 kN	0,00 kN	0,24 kNm	-0,01 kNm
-17,91 kN	0,09 kN	0,00 kNm	-0,03 kNm	-11,64 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,02 kNm
-0,26 kN	-0,01 kN	0,00 kNm	0,00 kNm	-0,34 kN	0,01 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-354,92 kN	-0,29 kN	0,10 kNm	-0,57 kNm	-570,10 kN	0,47 kN	0,16 kNm	-0,92 kNm
-214,10 kN	-0,39 kN	-0,18 kNm	-0,33 kNm	-370,18 kN	-0,67 kN	-0,31 kNm	-0,57 kNm
-459,84 kN	0,05 kN	0,56 kNm	-0,77 kNm	-671,11	0,48	0,50	-1,11

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáie zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.21	BR D2,3 tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.21a	OS 75 D2,3 tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.21	LM71 D2,3 tlak	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.21	C2 D2,3 tlak	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-37,52 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,08 kNm	-42,77 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,09 kNm
-7,71 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,01 kNm	-8,79 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,01 kNm
-13,99 kN	0,07 kN	-0,02 kNm	-0,02 kNm	-14,16 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,02 kNm
-21,62 kN	0,04 kN	0,11 kNm	-0,05 kNm	-19,46 kN	0,00 kN	0,10 kNm	-0,05 kNm
-5,91 kN	0,15 kN	0,37 kNm	-0,01 kNm	-7,68 kN	0,00 kN	0,48 kNm	-0,01 kNm
-17,91 kN	0,09 kN	0,00 kNm	-0,03 kNm	-23,28 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,04 kNm
-0,26 kN	-0,01 kN	0,00 kNm	0,00 kNm	-0,17 kN	0,01 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-354,92 kN	-0,29 kN	0,10 kNm	-0,57 kNm	-570,10 kN	0,47 kN	0,16 kNm	-0,92 kNm
-214,10 kN	-0,39 kN	-0,18 kNm	-0,33 kNm	-370,18 kN	-0,67 kN	-0,31 kNm	-0,57 kNm
-459,84 kN	0,05 kN	0,56 kNm	-0,77 kNm	-686,42	0,47	0,74	-1,14

4.9. Posouzení diagonály D4 a D5 na tlak

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	$Z_{uvaž}/GrXX$	Zuvaž/součinitel α
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.22	BR D4,5 tlak	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.22a	OS 75 D4,5 tlak	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.22	LM71 D4,5 tlak	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.22	C2 D4,5 tlak	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-16,10 kN	0,01 kN	0,01 kNm	-0,01 kNm	-18,35 kN	0,01 kN	0,01 kNm	-0,01 kNm
-3,07 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm	-3,50 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-4,65 kN	0,03 kN	0,03 kNm	0,00 kNm	-4,71 kN	0,03 kN	0,03 kNm	0,00 kNm
-19,17 kN	-0,01 kN	0,00 kNm	0,10 kNm	-17,25 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,09 kNm
-3,07 kN	-0,10 kN	0,00 kNm	0,00 kNm	-2,00 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-10,13 kN	-0,03 kN	-0,05 kNm	0,01 kNm	-6,58 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,01 kNm
-5,93 kN	-0,14 kN	-0,19 kNm	0,00 kNm	-7,71 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-204,55 kN	0,34 kN	0,98 kNm	0,15 kNm	-328,57 kN	0,55 kN	1,57 kNm	0,24 kNm
-111,05 kN	0,41 kN	0,80 kNm	0,08 kNm	-192,01 kN	0,71 kN	1,38 kNm	0,14 kNm
-266,67 kN	0,10 kN	0,78 kNm	0,25 kNm	-388,67	0,59	1,62	0,33

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	$Z_{uvaž}/GrXX$	Zuvaž/součinitel α
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.22	BR D4,5 tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.22a	OS 75 D4,5 tlak	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.22	LM71 D4,5 tlak	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.22	C2 D4,5 tlak	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-16,10 kN	0,01 kN	0,01 kNm	-0,01 kNm	-18,35 kN	0,01 kN	0,01 kNm	-0,01 kNm
-3,07 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm	-3,50 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-4,65 kN	0,03 kN	0,03 kNm	0,00 kNm	-4,71 kN	0,03 kN	0,03 kNm	0,00 kNm
-19,17 kN	-0,01 kN	0,00 kNm	0,10 kNm	-17,25 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,09 kNm
-3,07 kN	-0,10 kN	0,00 kNm	0,00 kNm	-3,99 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-10,13 kN	-0,03 kN	-0,05 kNm	0,01 kNm	-13,17 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,01 kNm
-5,93 kN	-0,14 kN	-0,19 kNm	0,00 kNm	-3,85 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-204,55 kN	0,34 kN	0,98 kNm	0,15 kNm	-328,57 kN	0,55 kN	1,57 kNm	0,24 kNm
-111,05 kN	0,41 kN	0,80 kNm	0,08 kNm	-192,01 kN	0,71 kN	1,38 kNm	0,14 kNm
-266,67 kN	0,10 kN	0,78 kNm	0,25 kNm	-393,39	0,59	1,62	0,33

4.10. Posouzení diagonály D4 a D5 na tah

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		Y _f	ψ _{0i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.23	BR D4,5 tah	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.23a	OS 75 D4,5 tah	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.23	LM71 D4,5 tah	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.23	C2 D4,5 tah	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-4,22 kN	-0,01 kN	0,02 kNm	-0,01 kNm	-3,80 kN	0,01 kN	0,02 kNm	-0,01 kNm
-0,61 kN	0,00 kN	0,01 kNm	0,00 kNm	-0,55 kN	0,00 kN	0,01 kNm	0,00 kNm
0,78 kN	0,13 kN	-0,07 kNm	-0,01 kNm	0,79 kN	0,13 kN	-0,07 kNm	-0,01 kNm
17,12 kN	0,03 kN	-0,04 kNm	-0,09 kNm	15,41 kN	0,03 kN	-0,04 kNm	-0,08 kNm
6,59 kN	-0,15 kN	0,29 kNm	-0,01 kNm	4,28 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,01 kNm
7,42 kN	0,01 kN	0,02 kNm	0,00 kNm	4,82 kN	0,01 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
2,76 kN	0,22 kN	-0,23 kNm	-0,04 kNm	3,59 kN	0,29 kN	-0,30 kNm	-0,05 kNm
113,59 kN	0,37 kN	-1,04 kNm	-0,08 kNm	182,46 kN	0,59 kN	-1,67 kNm	-0,13 kNm
55,00 kN	0,32 kN	-0,73 kNm	-0,04 kNm	95,10 kN	0,55 kN	-1,26 kNm	-0,07 kNm
143,43 kN	0,60 kN	-1,04 kNm	-0,24 kNm	207,00	1,05	-2,05	-0,29

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		Y _f	ψ _{0i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.4	Teplota zima P	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.23	BR D4,5 tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.23a	OS 75 D4,5 tah	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.2	Rozj. proti směr	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.23	LM71 D4,5 tah	1,30	1,00	1,24	1,00	1,00
8.23	C2 D4,5 tah	1,30	1,00	1,33	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-4,22 kN	-0,01 kN	0,02 kNm	-0,01 kNm	-3,80 kN	0,01 kN	0,02 kNm	-0,01 kNm
-0,61 kN	0,00 kN	0,01 kNm	0,00 kNm	-0,55 kN	0,00 kN	0,01 kNm	0,00 kNm
0,78 kN	0,13 kN	-0,07 kNm	-0,01 kNm	0,79 kN	0,13 kN	-0,07 kNm	-0,01 kNm
17,12 kN	0,03 kN	-0,04 kNm	-0,09 kNm	15,41 kN	0,03 kN	-0,04 kNm	-0,08 kNm
6,59 kN	-0,15 kN	0,29 kNm	-0,01 kNm	8,57 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,01 kNm
7,42 kN	0,01 kN	0,02 kNm	0,00 kNm	9,65 kN	0,01 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
2,76 kN	0,22 kN	-0,23 kNm	-0,04 kNm	1,79 kN	0,14 kN	-0,15 kNm	-0,03 kNm
113,59 kN	0,37 kN	-1,04 kNm	-0,08 kNm	182,46 kN	0,59 kN	-1,67 kNm	-0,13 kNm
55,00 kN	0,32 kN	-0,73 kNm	-0,04 kNm	95,10 kN	0,55 kN	-1,26 kNm	-0,07 kNm
143,43 kN	0,60 kN	-1,04 kNm	-0,24 kNm	214,32	0,92	-1,90	-0,27

5. Kombinace pro příčníky

V následujících tabulkách jsou uvedeny kombinace pro příčníky pro třídy GR11 - GR14 pro kombinační rovnici 6.10b.

5.1. Posouzení krajního příčníku na max My

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaž} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.2	Teplota zima	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.24	BR Pk max My	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.24	OS 60 Pk max My	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.24	LM71 Pk max My	1,30	1,00	1,49	1,00	1,00
8.24	C2 Pk max My	1,30	1,00	1,84	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-7,98 kN	3,19 kN	3,92 kNm	0,51 kNm	-9,10 kN	3,64 kN	4,47 kNm	0,46 kNm
-1,68 kN	0,66 kN	0,93 kNm	0,11 kNm	-1,92 kN	0,75 kN	1,06 kNm	0,10 kNm
-16,97 kN	3,85 kN	-1,74 kNm	-1,10 kNm	-17,18 kN	3,90 kN	0,00 kNm	-1,11 kNm
108,24 kN	5,61 kN	33,47 kNm	1,29 kNm	0,00 kN	5,05 kN	30,12 kNm	0,00 kNm
-32,90 kN	12,10 kN	6,89 kNm	-2,38 kNm	-21,39 kN	7,87 kN	4,48 kNm	-1,55 kNm
-13,69 kN	8,08 kN	5,92 kNm	-1,14 kNm	-8,90 kN	5,25 kN	3,85 kNm	-0,74 kNm
46,44 kN	10,54 kN	22,40 kNm	-4,32 kNm	0,00 kN	13,70 kN	29,12 kNm	-5,62 kNm
-89,45 kN	162,99 kN	197,13 kNm	0,83 kNm	-173,26 kN	315,71 kN	381,84 kNm	0,00 kNm
-76,88 kN	129,83 kN	155,42 kNm	1,10 kNm	-183,60 kN	310,05 kN	371,16 kNm	2,63 kNm
-7,99 kN	207,02 kN	268,92 kNm	-6,20 kNm	-231,74	355,87	454,94	-8,46

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaž} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.2	Teplota zima	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.24	BR Pk max My	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.24	OS 60 Pk max My	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.24	LM71 Pk max My	1,30	1,00	1,49	1,00	1,00
8.24	C2 Pk max My	1,30	1,00	1,84	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-7,98 kN	3,19 kN	3,92 kNm	0,51 kNm	-9,10 kN	3,64 kN	4,47 kNm	0,46 kNm
-1,68 kN	0,66 kN	0,93 kNm	0,11 kNm	-1,92 kN	0,75 kN	1,06 kNm	0,10 kNm
-16,97 kN	3,85 kN	-1,74 kNm	-1,10 kNm	-17,18 kN	3,90 kN	0,00 kNm	-1,11 kNm
108,24 kN	5,61 kN	33,47 kNm	1,29 kNm	0,00 kN	5,05 kN	30,12 kNm	0,00 kNm
-32,90 kN	12,10 kN	6,89 kNm	-2,38 kNm	-42,77 kN	15,73 kN	8,96 kNm	-3,09 kNm
-13,69 kN	8,08 kN	5,92 kNm	-1,14 kNm	-17,80 kN	10,50 kN	7,70 kNm	-1,48 kNm
46,44 kN	10,54 kN	22,40 kNm	-4,32 kNm	0,00 kN	6,85 kN	14,56 kNm	-2,81 kNm
-89,45 kN	162,99 kN	197,13 kNm	0,83 kNm	-173,26 kN	315,71 kN	381,84 kNm	0,00 kNm
-76,88 kN	129,83 kN	155,42 kNm	1,10 kNm	-183,60 kN	310,05 kN	371,16 kNm	2,63 kNm
-7,99 kN	207,02 kN	268,92 kNm	-6,20 kNm	-262,03	362,13	448,71	-7,94

5.2. Posouzení krajního příčnicku na max Vz

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	$Z_{uvaz}/GrXX$	Zuvaž/součinitel α	
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ			
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00	
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00	
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00	
3.2	Teplota zima	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00	
4.25	BR Pk max Vz	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00	
5.25a	OS 75 Pk max Vz	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00	
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00	
7.25	LM71 Pk max Vz	1,30	1,00	1,49	1,00	1,00	
8.25	C2 Pk max Vz	1,30	1,00	1,84	1,00	1,00	
Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-7,98 kN	3,19 kN	3,92 kNm	0,51 kNm	-9,10 kN	3,64 kN	4,47 kNm	0,46 kNm
-1,68 kN	0,66 kN	0,93 kNm	0,11 kNm	-1,92 kN	0,75 kN	1,06 kNm	0,10 kNm
-16,97 kN	3,85 kN	-1,74 kNm	-1,10 kNm	-17,18 kN	3,90 kN	0,00 kNm	-1,11 kNm
108,24 kN	5,61 kN	33,47 kNm	1,29 kNm	0,00 kN	5,05 kN	30,12 kNm	0,00 kNm
-23,41 kN	3,76 kN	-3,84 kNm	-3,59 kNm	-15,22 kN	2,44 kN	0,00 kNm	-2,33 kNm
-8,82 kN	5,17 kN	3,77 kNm	-0,73 kNm	-5,73 kN	3,36 kN	2,45 kNm	-0,47 kNm
46,44 kN	10,54 kN	22,40 kNm	-4,32 kNm	0,00 kN	13,70 kN	29,12 kNm	-5,62 kNm
-89,96 kN	162,97 kN	196,91 kNm	0,87 kNm	-174,25 kN	315,67 kN	381,41 kNm	0,00 kNm
-76,88 kN	129,83 kN	155,42 kNm	1,10 kNm	-183,60 kN	310,05 kN	371,16 kNm	2,63 kNm
5,86 kN	195,75 kN	255,82 kNm	-6,96 kNm	-223,40	348,52	448,64	-8,98

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	$Z_{uvaz}/GrXX$	Zuvaž/součinitel α	
		γ_f	$\psi_{0,i}$	ϕ			
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00	
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00	
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00	
3.2	Teplota zima	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00	
4.25	BR Pk max Vz	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00	
5.25a	OS 75 Pk max Vz	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00	
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00	
7.25	LM71 Pk max Vz	1,30	1,00	1,49	1,00	1,00	
8.25	C2 Pk max Vz	1,30	1,00	1,84	1,00	1,00	
Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-7,98 kN	3,19 kN	3,92 kNm	0,51 kNm	-9,10 kN	3,64 kN	4,47 kNm	0,46 kNm
-1,68 kN	0,66 kN	0,93 kNm	0,11 kNm	-1,92 kN	0,75 kN	1,06 kNm	0,10 kNm
-16,97 kN	3,85 kN	-1,74 kNm	-1,10 kNm	-17,18 kN	3,90 kN	0,00 kNm	-1,11 kNm
108,24 kN	5,61 kN	33,47 kNm	1,29 kNm	0,00 kN	5,05 kN	30,12 kNm	0,00 kNm
-23,41 kN	3,76 kN	-3,84 kNm	-3,59 kNm	-30,43 kN	4,89 kN	0,00 kNm	-4,67 kNm
-8,82 kN	5,17 kN	3,77 kNm	-0,73 kNm	-11,47 kN	6,72 kN	4,90 kNm	-0,95 kNm
46,44 kN	10,54 kN	22,40 kNm	-4,32 kNm	0,00 kN	6,85 kN	14,56 kNm	-2,81 kNm
-89,96 kN	162,97 kN	196,91 kNm	0,87 kNm	-174,25 kN	315,67 kN	381,41 kNm	-0,84 kNm
-76,88 kN	129,83 kN	155,42 kNm	1,10 kNm	-183,60 kN	310,05 kN	371,16 kNm	2,63 kNm
5,86 kN	195,75 kN	255,82 kNm	-6,96 kNm	-244,35	347,47	436,53	-9,82

5.3. Posouzení prostředního příčnicku na max My

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaž} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.26	BR Pp max My	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.26	OS 60 Pp max My	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.26	LM71 Pp max My	1,30	1,00	1,49	1,00	1,00
8.26	C2 Pp max My	1,30	1,00	1,84	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-3,49 kN	5,66 kN	8,16 kNm	-0,65 kNm	-3,98 kN	6,45 kN	9,30 kNm	-0,74 kNm
-0,90 kN	1,20 kN	2,51 kNm	-0,14 kNm	-1,03 kN	1,37 kN	2,86 kNm	-0,16 kNm
-8,22 kN	6,03 kN	6,49 kNm	1,36 kNm	-8,32 kN	6,11 kN	6,57 kNm	0,00 kNm
18,32 kN	2,21 kN	6,05 kNm	-1,69 kNm	0,00 kN	1,99 kN	5,45 kNm	-1,52 kNm
-41,70 kN	8,52 kN	3,77 kNm	6,07 kNm	-27,11 kN	5,54 kN	2,45 kNm	0,00 kNm
-7,14 kN	5,40 kN	5,99 kNm	0,54 kNm	-4,64 kN	3,51 kN	3,89 kNm	0,00 kNm
8,40 kN	0,10 kN	1,72 kNm	-4,13 kNm	0,00 kN	0,13 kN	2,24 kNm	-5,37 kNm
-49,92 kN	174,92 kN	223,59 kNm	-2,21 kNm	-96,70 kN	338,82 kN	433,09 kNm	-4,28 kNm
-34,85 kN	126,13 kN	157,62 kNm	-0,85 kNm	-83,23 kN	301,21 kN	376,41 kNm	-2,03 kNm
-84,65 kN	204,04 kN	258,28 kNm	-0,85 kNm	-141,77	363,91	465,85	-12,07

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaž} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.26	BR Pp max My	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.26	OS 60 Pp max My	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.26	LM71 Pp max My	1,30	1,00	1,49	1,00	1,00
8.26	C2 Pp max My	1,30	1,00	1,84	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-3,49 kN	5,66 kN	8,16 kNm	-0,65 kNm	-3,98 kN	6,45 kN	9,30 kNm	-0,74 kNm
-0,90 kN	1,20 kN	2,51 kNm	-0,14 kNm	-1,03 kN	1,37 kN	2,86 kNm	-0,16 kNm
-8,22 kN	6,03 kN	6,49 kNm	1,36 kNm	-8,32 kN	6,11 kN	6,57 kNm	0,00 kNm
18,32 kN	2,21 kN	6,05 kNm	-1,69 kNm	0,00 kN	1,99 kN	5,45 kNm	-1,52 kNm
-41,70 kN	8,52 kN	3,77 kNm	6,07 kNm	-54,21 kN	11,08 kN	4,90 kNm	0,00 kNm
-7,14 kN	5,40 kN	5,99 kNm	0,54 kNm	-9,28 kN	7,02 kN	7,79 kNm	0,00 kNm
8,40 kN	0,10 kN	1,72 kNm	-4,13 kNm	0,00 kN	0,07 kN	1,12 kNm	-2,68 kNm
-49,92 kN	174,92 kN	223,59 kNm	-2,21 kNm	-96,70 kN	338,82 kN	433,09 kNm	-4,28 kNm
-34,85 kN	126,13 kN	157,62 kNm	-0,85 kNm	-83,23 kN	301,21 kN	376,41 kNm	-2,03 kNm
-84,65 kN	204,04 kN	258,28 kNm	-0,85 kNm	-173,51	372,90	471,08	-9,39

5.4. Posouzení prostředního příčnicku na max Vz

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.27	BR Pp max Vz	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.27	OS 60 Pp max Vz	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.27	LM71 Pp max Vz	1,30	1,00	1,49	1,00	1,00
8.27	C2 Pp max Vz	1,30	1,00	1,84	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-3,49 kN	5,66 kN	8,16 kNm	-0,65 kNm	-3,98 kN	6,45 kN	9,30 kNm	-0,74 kNm
-0,90 kN	1,20 kN	2,51 kNm	-0,14 kNm	-1,03 kN	1,37 kN	2,86 kNm	-0,16 kNm
-8,22 kN	6,03 kN	6,49 kNm	1,36 kNm	-8,32 kN	6,11 kN	6,57 kNm	0,00 kNm
18,32 kN	2,21 kN	6,05 kNm	-1,69 kNm	0,00 kN	1,99 kN	5,45 kNm	-1,52 kNm
-41,70 kN	8,52 kN	3,77 kNm	6,07 kNm	-27,11 kN	5,54 kN	2,45 kNm	0,00 kNm
-7,15 kN	5,41 kN	5,99 kNm	0,57 kNm	-4,65 kN	3,52 kN	3,89 kNm	0,00 kNm
8,40 kN	0,10 kN	1,72 kNm	-4,13 kNm	0,00 kN	0,13 kN	2,24 kNm	-5,37 kNm
-50,20 kN	175,00 kN	223,52 kNm	-2,67 kNm	-97,24 kN	338,98 kN	432,96 kNm	-5,17 kNm
-34,85 kN	126,13 kN	157,62 kNm	-0,85 kNm	-83,23 kN	301,21 kN	376,41 kNm	-2,03 kNm
-84,94 kN	204,13 kN	258,21 kNm	-1,28 kNm	-142,32	364,07	465,72	-12,96

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.27	BR Pp max Vz	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.27	OS 60 Pp max Vz	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.27	LM71 Pp max Vz	1,30	1,00	1,49	1,00	1,00
8.27	C2 Pp max Vz	1,30	1,00	1,84	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
-3,49 kN	5,66 kN	8,16 kNm	-0,65 kNm	-3,98 kN	6,45 kN	9,30 kNm	-0,74 kNm
-0,90 kN	1,20 kN	2,51 kNm	-0,14 kNm	-1,03 kN	1,37 kN	2,86 kNm	-0,16 kNm
-8,22 kN	6,03 kN	6,49 kNm	1,36 kNm	-8,32 kN	6,11 kN	6,57 kNm	0,00 kNm
18,32 kN	2,21 kN	6,05 kNm	-1,69 kNm	0,00 kN	1,99 kN	5,45 kNm	-1,52 kNm
-41,70 kN	8,52 kN	3,77 kNm	6,07 kNm	-54,21 kN	11,08 kN	4,90 kNm	0,00 kNm
-7,15 kN	5,41 kN	5,99 kNm	0,57 kNm	-9,30 kN	7,03 kN	7,79 kNm	0,00 kNm
8,40 kN	0,10 kN	1,72 kNm	-4,13 kNm	0,00 kN	0,07 kN	1,12 kNm	-2,68 kNm
-50,20 kN	175,00 kN	223,52 kNm	-2,67 kNm	-97,24 kN	338,98 kN	432,96 kNm	-5,17 kNm
-34,85 kN	126,13 kN	157,62 kNm	-0,85 kNm	-83,23 kN	301,21 kN	376,41 kNm	-2,03 kNm
-84,94 kN	204,13 kN	258,21 kNm	-1,28 kNm	-174,07	373,06	470,94	-10,28

6. Kombinace pro příčníky

V následujících tabulkách jsou uvedeny kombinace pro příčníky pro třídy GR11 - GR14 pro kombinační rovnici 6.10b.

6.1. Posouzení podélníku na max My

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{úvaž} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		Y _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.28	BR Po max My	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.28a	OS 75 Po max My	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.28	LM71 Po max My	1,30	1,00	1,69	1,00	1,00
8.28	C2 Po max My	1,30	1,00	1,84	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
1,03 kN	-0,20 kN	0,71 kNm	-0,04 kNm	1,17 kN	0,23 kN	0,81 kNm	-0,05 kNm
0,22 kN	-0,15 kN	0,26 kNm	0,00 kNm	0,25 kN	0,17 kN	0,30 kNm	0,00 kNm
0,09 kN	1,01 kN	0,76 kNm	-0,59 kNm	0,09 kN	0,00 kN	0,77 kNm	-0,60 kNm
-4,04 kN	6,62 kN	-2,73 kNm	4,04 kNm	0,00 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
0,51 kN	-4,71 kN	5,78 kNm	-9,51 kNm	0,33 kN	3,06 kN	3,76 kNm	-6,18 kNm
0,10 kN	-5,06 kN	5,57 kNm	-1,05 kNm	0,07 kN	3,29 kN	3,62 kNm	-0,68 kNm
3,22 kN	-9,64 kN	6,38 kNm	0,70 kNm	4,19 kN	12,53 kN	8,29 kNm	0,00 kNm
3,65 kN	-44,65 kN	55,53 kNm	0,17 kNm	8,02 kN	98,10 kN	122,00 kNm	0,00 kNm
3,60 kN	-35,69 kN	44,25 kNm	0,09 kNm	8,61 kN	-85,37 kN	105,85 kNm	0,22 kNm
4,78 kN	-56,78 kN	72,26 kNm	-6,28 kNm	14,12	117,38	139,55	-7,51

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{úvaž} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		Y _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.1	Teplota léto	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.28	BR Po max My	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.28a	OS 75 Po max My	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.28	LM71 Po max My	1,30	1,00	1,69	1,00	1,00
8.28	C2 Po max My	1,30	1,00	1,84	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
1,03 kN	-0,20 kN	0,71 kNm	-0,04 kNm	1,17 kN	0,23 kN	0,81 kNm	-0,05 kNm
0,22 kN	-0,15 kN	0,26 kNm	0,00 kNm	0,25 kN	0,17 kN	0,30 kNm	0,00 kNm
0,09 kN	1,01 kN	0,76 kNm	-0,59 kNm	0,09 kN	0,00 kN	0,77 kNm	-0,60 kNm
-4,04 kN	6,62 kN	-2,73 kNm	4,04 kNm	0,00 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
0,51 kN	-4,71 kN	5,78 kNm	-9,51 kNm	0,66 kN	6,12 kN	7,51 kNm	-12,36 kNm
0,10 kN	-5,06 kN	5,57 kNm	-1,05 kNm	0,13 kN	6,58 kN	7,24 kNm	-1,37 kNm
3,22 kN	-9,64 kN	6,38 kNm	0,70 kNm	2,09 kN	6,27 kN	4,15 kNm	0,00 kNm
3,65 kN	-44,65 kN	55,53 kNm	0,17 kNm	8,02 kN	98,10 kN	122,00 kNm	-0,19 kNm
3,60 kN	-35,69 kN	44,25 kNm	0,09 kNm	8,61 kN	-85,37 kN	105,85 kNm	0,22 kNm
4,78 kN	-56,78 kN	72,26 kNm	-6,28 kNm	12,42	117,46	142,78	-14,56

6.2. Posouzení podélníku na max Vz

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvazj} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.2	Teplota zima	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.29	BR Po max Vz	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.29	OS 60 Po max Vz	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.29	LM71 Po max Vz	1,30	1,00	1,69	1,00	1,00
8.29	C2 Po max Vz	1,30	1,00	1,84	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
0,60 kN	-1,94 kN	0,38 kNm	-0,25 kNm	0,54 kN	2,21 kN	0,43 kNm	-0,23 kNm
0,12 kN	-0,66 kN	0,13 kNm	-0,06 kNm	0,11 kN	0,75 kN	0,15 kNm	-0,05 kNm
0,10 kN	-3,87 kN	1,03 kNm	1,37 kNm	0,00 kN	3,92 kN	1,04 kNm	1,39 kNm
10,06 kN	-6,72 kN	2,57 kNm	0,46 kNm	0,00 kN	6,05 kN	2,31 kNm	0,41 kNm
-0,21 kN	-2,75 kN	0,81 kNm	3,82 kNm	-0,14 kN	1,79 kN	0,53 kNm	2,48 kNm
0,23 kN	-14,55 kN	3,37 kNm	0,87 kNm	0,00 kN	9,46 kN	2,19 kNm	0,57 kNm
-6,32 kN	-11,47 kN	3,21 kNm	1,74 kNm	-8,22 kN	14,91 kN	4,17 kNm	2,26 kNm
-2,14 kN	-184,00 kN	41,69 kNm	-0,89 kNm	-4,70 kN	404,25 kN	91,59 kNm	0,00 kNm
-1,14 kN	-146,69 kN	33,19 kNm	-0,88 kNm	-2,73 kN	-350,88 kN	79,39 kNm	-2,10 kNm
2,44 kN	-225,96 kN	53,19 kNm	7,06 kNm	-12,41	443,33	102,42	6,83

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvazj} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stáje zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.1	Vítr zprava	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.2	Teplota zima	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.29	BR Po max Vz	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.29	OS 60 Po max Vz	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.29	LM71 Po max Vz	1,30	1,00	1,69	1,00	1,00
8.29	C2 Po max Vz	1,30	1,00	1,84	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
0,60 kN	-1,94 kN	0,38 kNm	-0,25 kNm	0,54 kN	2,21 kN	0,43 kNm	-0,23 kNm
0,12 kN	-0,66 kN	0,13 kNm	-0,06 kNm	0,11 kN	0,75 kN	0,15 kNm	-0,05 kNm
0,10 kN	-3,87 kN	1,03 kNm	1,37 kNm	0,00 kN	3,92 kN	1,04 kNm	1,39 kNm
10,06 kN	-6,72 kN	2,57 kNm	0,46 kNm	0,00 kN	6,05 kN	2,31 kNm	0,41 kNm
-0,21 kN	-2,75 kN	0,81 kNm	3,82 kNm	-0,27 kN	3,58 kN	1,05 kNm	4,97 kNm
0,23 kN	-14,55 kN	3,37 kNm	0,87 kNm	0,00 kN	18,92 kN	4,38 kNm	1,13 kNm
-6,32 kN	-11,47 kN	3,21 kNm	1,74 kNm	-4,11 kN	7,46 kN	2,09 kNm	1,13 kNm
-2,14 kN	-184,00 kN	41,69 kNm	-0,89 kNm	-4,70 kN	404,25 kN	91,59 kNm	0,98 kNm
-1,14 kN	-146,69 kN	33,19 kNm	-0,88 kNm	-2,73 kN	-350,88 kN	79,39 kNm	-2,10 kNm
2,44 kN	-225,96 kN	53,19 kNm	7,06 kNm	-8,43	447,12	103,05	9,73

6.3. Posouzení podélníku na max N

Rovnice 6.10b třída GR11 a GR13

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.2	Vítr zleva	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.2	Teplota zima	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.30	BR Po max N	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
5.30	OS 60 Po max N	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
7.30	LM71 Po max N	1,30	1,00	1,69	1,00	1,00
8.30	C2 Po max N	1,30	1,00	1,84	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
15,89 kN	2,05 kN	0,23 kNm	0,08 kNm	18,11 kN	2,34 kN	0,21 kNm	0,07 kNm
3,21 kN	0,47 kN	0,05 kNm	0,02 kNm	3,66 kN	0,54 kN	0,05 kNm	0,02 kNm
-25,38 kN	-6,13 kN	0,34 kNm	-0,83 kNm	0,00 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,84 kNm
14,91 kN	0,59 kN	0,42 kNm	2,91 kNm	13,42 kN	0,53 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-32,30 kN	-7,06 kN	0,21 kNm	-11,58 kNm	0,00 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-7,53 kNm
16,60 kN	9,30 kN	-0,43 kNm	1,07 kNm	10,79 kN	6,05 kN	-0,28 kNm	0,00 kNm
-5,80 kN	-6,69 kN	-0,21 kNm	-3,55 kNm	0,00 kN	0,00 kN	-0,27 kNm	-4,62 kNm
126,84 kN	111,76 kN	-3,10 kNm	0,68 kNm	278,67 kN	245,54 kN	-6,81 kNm	0,00 kNm
70,27 kN	74,54 kN	1,24 kNm	-0,67 kNm	168,09 kN	178,30 kN	2,97 kNm	-1,60 kNm
113,97 kN	104,29 kN	-2,49 kNm	-11,20 kNm	324,65	254,99	-7,11	-12,89

Rovnice 6.10b třída GR12 a GR14

ZS	Zatížení	Součinitel zatížení	součinitel kombinace	Dynamický součinitel	Z _{uvaz} /GrXX	Zuvaž/součinitel α
		γ _f	ψ _{0,i}	φ		
1.1	Vlastní tíha	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
1.2	Ostatní stále zat.	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00
2.2	Vítr zleva	1,35	0,75	1,00	1,00	1,00
3.2	Teplota zima	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00
4.30	BR Po max N	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
5.30	OS 60 Po max N	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
6.1	Rozj. ve směru	1,30	1,00	1,00	0,50	1,00
7.30	LM71 Po max N	1,30	1,00	1,69	1,00	1,00
8.30	C2 Po max N	1,30	1,00	1,84	1,00	1,00

Vnitřní síly charakteristické				Vnitřní síly návrhové			
N	Vz	My	Mz	N	Vz	My	Mz
[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
15,89 kN	2,05 kN	0,23 kNm	0,08 kNm	18,11 kN	2,34 kN	0,21 kNm	0,07 kNm
3,21 kN	0,47 kN	0,05 kNm	0,02 kNm	3,66 kN	0,54 kN	0,05 kNm	0,02 kNm
-25,38 kN	-6,13 kN	0,34 kNm	-0,83 kNm	0,00 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,84 kNm
14,91 kN	0,59 kN	0,42 kNm	2,91 kNm	13,42 kN	0,53 kN	0,00 kNm	0,00 kNm
-32,30 kN	-7,06 kN	0,21 kNm	-11,58 kNm	0,00 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-15,05 kNm
16,60 kN	9,30 kN	-0,43 kNm	1,07 kNm	21,58 kN	12,09 kN	-0,56 kNm	0,00 kNm
-5,80 kN	-6,69 kN	-0,21 kNm	-3,55 kNm	0,00 kN	0,00 kN	-0,14 kNm	-2,31 kNm
126,84 kN	111,76 kN	-3,10 kNm	0,68 kNm	278,67 kN	245,54 kN	-6,81 kNm	-0,75 kNm
70,27 kN	74,54 kN	1,24 kNm	-0,67 kNm	168,09 kN	178,30 kN	2,97 kNm	-1,60 kNm
113,97 kN	104,29 kN	-2,49 kNm	-11,20 kNm	335,44	261,03	-7,25	-18,86

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra dopravního stavitelství

Fotodokumentace

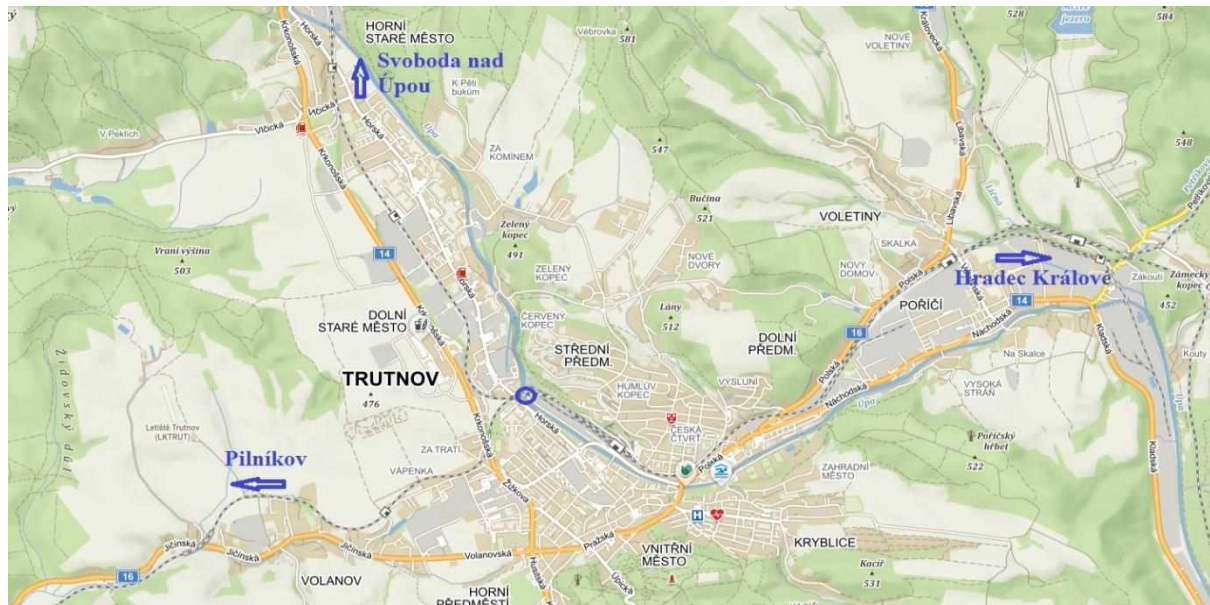
**Statický přepočítání příhradové ocelové mostní konstrukce v km 123,974 - TÚ
1404, Chlumec nad Cidlinou (mimo) - Trutnov střed — obvod Poříčí
(mimo)**

Bc. Lucie Zučková

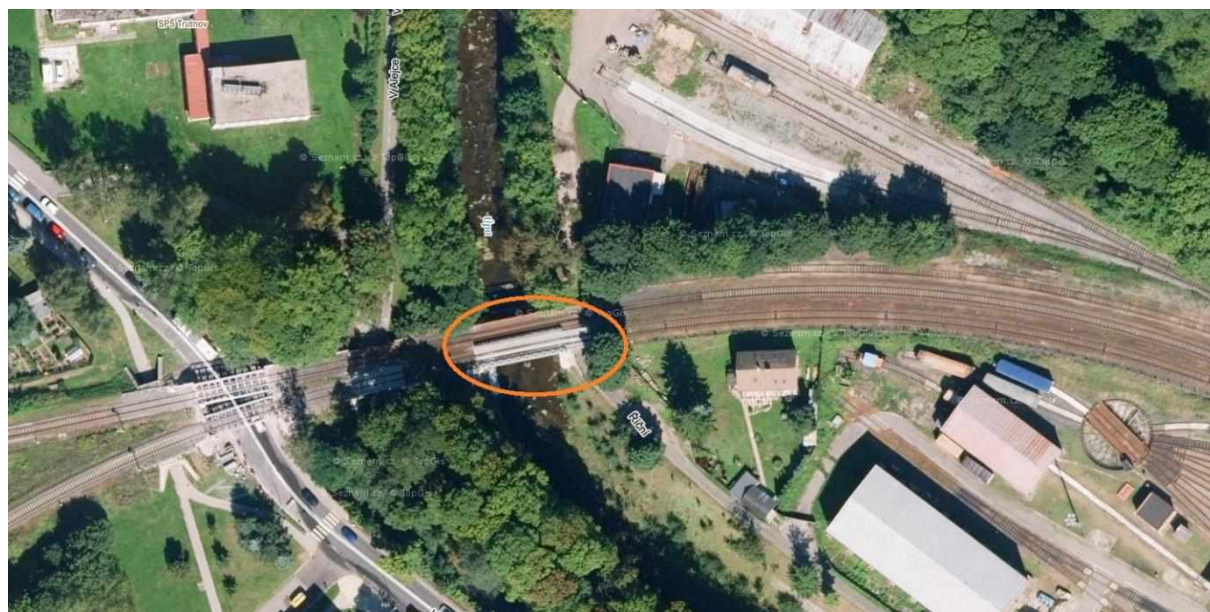
Diplomová práce

2021

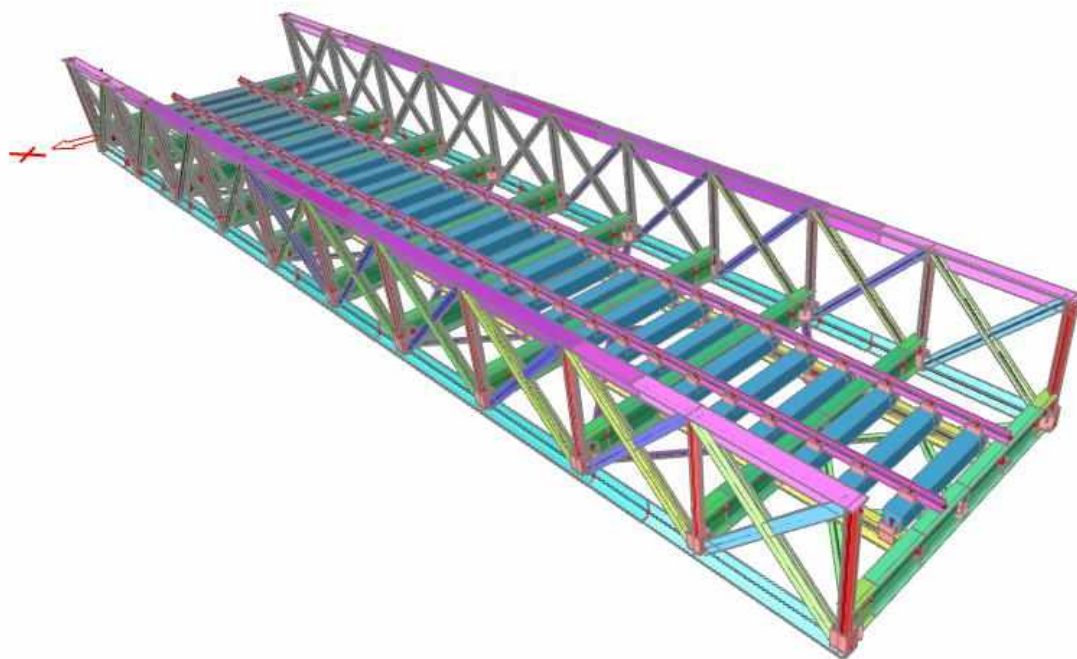
Statický přepočet příhradové ocelové mostní konstrukce v km 123,974 Chlumeck nad Cidlinou (mimo) - Trutnov střed —
obvod Poříčí (mimo)
- Fotodokumentace -



Obrázek 1: Umístění mostní konstrukce _širší vztah



Obrázek 2: Umístění mostní konstrukce



Obrázek 3: Model konstrukce_pohled



Obrázek 4: Model konstrukce_příčný řez



Obrázek 5: Pohled na konstrukci zleva



Obrázek 6: Pohled na konstrukci zprava



Obrázek 7: Detail připojení prvního pole



Obrázek 8: Detail připojení prostředního pole



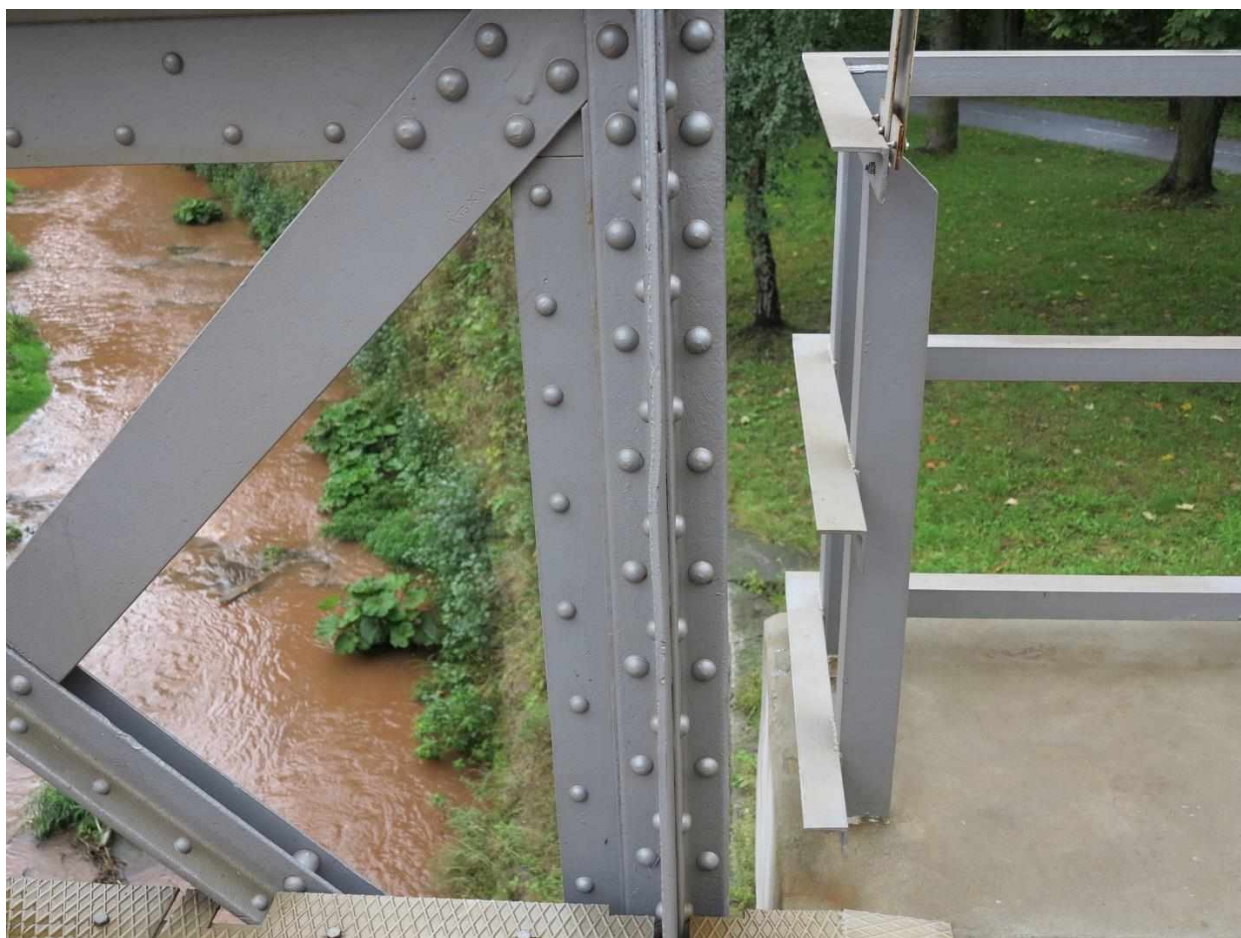
Obrázek 9: Pohled konstrukce



Obrázek 10: Příčný řez konstrukcí proti směru



Obrázek 11: Detail pevného ložiska



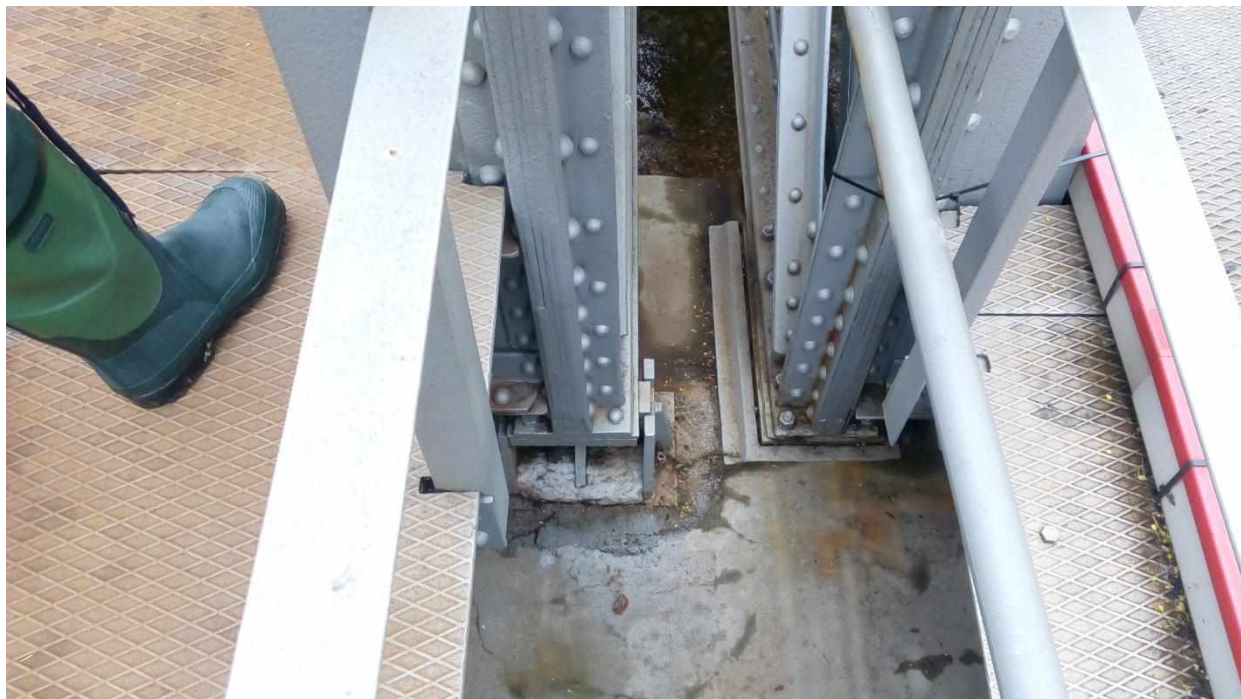
Obrázek 12: Detail krajní svislice



Obrázek 13: Detail připojení příčnicku k hlavnímu nosniku



Obrázek 14: Detail připojení podélníku k příčnicku



Obrázek 15: Detail mezery mezi konstrukcemi a jejich podepření



Obrázek 16: Detail styčnicku připojení horního pásu s diagonálami a svislicí



Obrázek 17: Detail křížení diagonál v prostředním poli



Obrázek 18: Detail největšího oslabení příčniku nad opěrou 01 (1)



Obrázek 19: Detail největšího oslabení příčniku na opěrou 01 (2)



Obrázek 20: Konstrukce zatížená dopravou

Zdroje a seznamy

Zdroje

Obrázek 1: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.9018048&y=50.5685172&z=19&base=ophoto>

Obrázek 2: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.9018075&y=50.5714874&z=14&l=0>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Umístění mostní konstrukce_širší vztah.....	1
Obrázek 2: Umístění mostní konstrukce	1
Obrázek 3: Model konstrukce_pohled	2
Obrázek 4: Model konstrukce_příčný řez	2
Obrázek 5: Pohled na konstrukci zleva	3
Obrázek 6: Pohled na konstrukci zprava.....	3
Obrázek 7: Detail připojení prvního pole.....	4
Obrázek 8: Detail připojení prostředního pole	4
Obrázek 9: Podhled konstrukce.....	5
Obrázek 10: Příčný řez konstrukcí proti směru.....	5
Obrázek 11: Detail pevného ložiska.....	6
Obrázek 12: Detail krajní svislice	6
Obrázek 13: Detail připojení příčnicku k hlavnímu nosníku	7
Obrázek 14: Detail připojení podélníku k příčnicku.....	7
Obrázek 15: Detail mezery mezi konstrukcemi a jejich podepření	8
Obrázek 16: Detail styčnicku připojení horního pásu s diagonálami a svislicí	8
Obrázek 17: Detail křížení diagonál v prostředním poli	9
Obrázek 18: Detail největšího oslabení příčnicku nad opěrou 01 (1).....	10
Obrázek 19: Detail největšího oslabení příčnicku na opěrou 01 (2).....	10
Obrázek 20: Konstrukce zatížená dopravou.....	11