

STRENGTH, s.r.o.

Ing. Jozef JOŠT, PhD.

Horný Hričov 158
013 42 Horný Hričov
Slovenská republika

IČO: 50 357 221

DIČ: 212 029 4726

mail: strength.sro@gmail.com

mobil: +421 907 473 653

STATICKÝ PŘEPOČET

železničního mostu

**„Kout n/Šumavě u zámku“ v evd. km 24,922 traťového
úseku 0351 Janovice nad Úhlavou (mimo) – Domažlice
(mimo)**



Zodp. statik: Ing. Jozef Vičan

Zpracovali: Ing. Jozef Vičan

Žilina, únor 2019



OBSAH

Základní části přepočtu:

1	TECHNICKÁ ZPRÁVA K STATICKÉMU PŘEPOČTU.....	4
2	DISPOZIČNÍ VÝKRES	9
3	STATICÝ PŘEPOČET NOSNÉ KONSTRUKCE K01	12
4	PŘEHLED ZATÍŽITELNOSTI ČÁSTÍ MOSTU	65
5	OVĚŘENÍ PŘECHODNOSTI PROVOZNIHO ZATÍŽENÍ	68
6	OVĚŘENÍ PŘECHODNOSTI TĚŽKÉ ZÁSILKY	86
7	ZÁVĚR STATICKÉHO PŘEPOČTU A NÁVRH OPATŘENÍ	90

Podrobné členění:

1	TECHNICKÁ ZPRÁVA K STATICKÉMU PŘEPOČTU.....	4
1.1	Úvod.....	4
1.2	Zadavatel a zpracovatelé statického přepočtu	4
1.3	Základní identifikační údaje mostního objektu	4
1.3.1	Identifikace objektu.....	4
1.3.2	Charakteristika mostního objektu dle ČSN 73 6200	4
1.3.3	Základní technické parametry objektu	5
1.4	Použité podklady, normy a software	5
1.5	Popis mostního objektu	6
1.5.1	Spodní stavba	6
1.5.2	Nosná konstrukce.....	7
1.5.3	Ložiska	7
1.5.4	Železniční svršek	7
1.5.5	Vybavení mostu	7
1.6	Předmět přepočtu a zavedené předpoklady	8
1.6.1	Předmět přepočtu	8
1.6.2	Zohlednění poruch mostního objektu.....	8
1.6.3	Uvažovaná geometrická poloha koleje a převýšení.....	8
1.6.4	Další předpoklady přepočtu	8
2	DISPOZIČNÍ VÝKRES	9
3	STATICÝ PŘEPOČET NOSNÉ KONSTRUKCE K01.....	12
3.1	Výpočetní model	12
3.1.1	Popis výpočetního modelu pro pružnou analýzu.....	12
3.1.2	Průřezy ve výpočtovém modelu.....	13
3.1.3	Materiály v modelu.....	14
3.1.4	Popis výpočetního modelu pro stabilitní analýzu hlavního nosníku	15
3.2	Zatížení na nosné konstrukci mostu.....	15
3.2.1	Stále zatížení	15

3.2.1.1	Vlastní tíha nosné konstrukce.....	15
3.2.1.2	Doplňk k vlastní tíze konstrukce	16
3.2.2	Zatížení dopravou.....	16
3.2.2.1	Svislé proměnné zatížení dopravou	16
3.2.2.2	Dynamické účinky svislého železničního zatížení	17
3.2.2.3	Odstředivé síly	17
3.2.2.4	Bočný ráz	17
3.2.2.5	Rozjezdové a brzdné síly.....	18
3.2.3	Zatížení větrem	18
3.2.3.1	Obecně	18
3.2.3.2	Výpočet účinků větru na zatížený most	19
3.3	Výpočet vnitřních sil	20
3.3.1	Polohy krátkodobého zatížení	21
3.3.2	Součinitele zatížení a kombinace.....	21
3.3.2.1	Skupiny zatížení od železniční dopravy „Q“	22
3.3.2.2	Kombinace s ostatními zatíženími.....	22
3.4	Výpočet tuhosti přípoje podélníku na příčník	22
3.5	Vnitřní síly a systém posuzování.....	25
3.5.1	Poznámky k vnitřním silám z globální analýzy	25
3.5.2	Vyčíslování zatížitelností.....	25
3.6	Zatížitelnost podélníků	26
3.6.1	Stanovení zatížitelnosti podélníku 1L.....	26
3.6.1.1	Stanovení zatížitelnosti krčních nýtu podélníků	32
3.6.1.2	Stanovení zatížitelnosti přípoje podélníků na příčník – část 1.....	34
3.6.1.3	Stanovení zatížitelnosti přípoje podélníků na příčník – část 2.....	37
3.7	Zatížitelnost příčníků	40
3.7.1	Stanovení zatížitelnosti příčníku 5.....	40
3.7.1.1	Stanovení zatížitelnosti krčních nýtu příčníků	45
3.7.1.2	Stanovení zatížitelnosti přípoje příčníku na hlavní nosník – část 1.....	47
3.7.1.3	Stanovení zatížitelnosti přípoje příčníku na hlavní nosník – část 2.....	50
3.8	Zatížitelnost hlavních nosníků	54
3.8.1	Stanovení zatížitelnosti hlavního nosníku 3.....	54
3.8.1.1	Stanovení zatížitelnosti krčních nýtu hlavního nosníku	60
3.9	Zatížitelnost s ohledem na únavovou životnost	62
3.10	Mezní stavy použitelnosti	64
3.11	spodní stavba	64
4	PŘEHLED ZATÍŽITELNOSTI ČÁSTÍ MOSTU	65
5	OVĚŘENÍ PŘECHODNOSTI PROVOZNÍHO ZATÍŽENÍ.....	68
6	OVĚŘENÍ PŘECHODNOSTI TĚŽKÉ ZÁSILKY	86
7	ZÁVĚR STATICKÉHO PŘEPOČTU A NÁVRH OPATŘENÍ	90

1 TECHNICKÁ ZPRÁVA K STATICKÉMU PŘEPOČTU

1.1 ÚVOD

Předmětem statického přepočtu je určení zatížitelnosti a ověření traťové třídy zatížení mostu „Kout n/Š u zámku“ v evd. km 24,922 traťového úseku 0351 Janovice nad Úhlavou (mimo) – Domažlice (mimo). Nosnou konstrukci tvoří nýtovaný plnostěnný trámový most s dolní prvkovou mostovkou. Spodní stavbu na obou stranách tvoří zděné kamenné gravitační opěry se šikmými křídly.

Přepočet je zpracován v souladu s *Metodickým pokynem SŽDC Pro určení zatížitelnosti železničních mostních objektů* v aktuálním znění s účinností od 1. září 2015, [7]. Na základě dohody se zadavatelem přepočtu, jsou při stanovení účinků vetru využity korekční součinitele z připravované změny Metodického pokynu, [8]. Posouzení vychází se soustavy nových evropských norem ČSN EN pro návrh a posouzení mostních konstrukcí, [9 - 18].

1.2 ZADAVATEL A ZPRACOVATELÉ STATICKÉHO PŘEPOČTU

Zadavatelem přepočtu je

TOP CON SERVIS s.r.o.

Varšavská 30, 120 00 Praha 2

Zpracovatelé posudku jsou

Autorizovaný inženýr:

Ing. Jozef Vičan

1.3 ZÁKLADNÍ IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE MOSTNÍHO OBJEKTU

1.3.1 Identifikace objektu

Objekt:	Most v evd. km 24,922 „Kout n/Š u zámku“
Definiční úsek:	DÚ 10 Kout na Šumavě - Domažlice
Traťový úsek:	TÚ 0351 Janovice nad Úhlavou (mimo) – Domažlice (mimo)
Obec:	extravilán obce Kout na Šumavě
Katastrální území:	Kout na Šumavě
Okres:	Domažlice
Kraj:	Plzeňský kraj
Překážka:	silnice III.třídy,
Označení objektu na ŘSD:	24-922, podjezd

1.3.2 Charakteristika mostního objektu dle ČSN 73 6200

- a) most drážní komunikace - železniční
- b) –
- c) přes silnici
- d) most o jednom otvoru
- e) jednopodlažní
- f) s dolní mostovkou
- g) nepohyblivý
- h) trvalý
- i) v přímé, v stoupání
- j) kolmý

- k) s normovanou zatížitelností
- l) nemasívní
- m) plnostěnný
- n) trémový
- o) otevřeně uspořádaný
- p) s neomezenou volnou výškou

1.3.3 Základní technické parametry objektu

Směrové poměry:	v přímé
Sklonové poměry:	+17,80 ‰
Počet kolejí:	1
Překážka:	silnice III. třídy č. 0222a
Úhel křížení s překážkou:	90°
Šikmost mostu/nosné konstr.:	kolmý
Počet mostních polí:	1
Světlost mostního otvoru:	10,00 m
Rozpětí mostního pole:	10,80 m
Délka nosné konstrukce:	11,20 m
Délka přemostění:	10,00 m
Délka mostu:	16,20 m
Stavební výška:	0,77 m
Výška mostu:	4,70 m
Volná výška pod mostem:	4,08 m
Šířka mostu:	4,83 m
Volná šířka mostu:	4,30 m mezi vnitřními líci pásnic hlavních nosníků 4,62 m mezi vnitřními líci zábradlí
Nosná konstrukce:	NK1 - nýtovaný ocelový plnostěnný trám s dolní prvkovou mostovkou
Spodní stavba:	O1 a O2, 2 železobetonové opěry s kamennými úložnými prahy a šikmými svahovými křídly
Založení:	plošné (předpoklad)
Svršek:	S49 na rozponových podkladnicích upevněných na dřevěné mostnice s plošným uložením na podélníky, kolej svařovaná
Traťová třída:	C3-60
Traťová rychlost:	60 km/h
Rychlost na mostě (v úseku):	60 km/h
Návrhové zatížení:	neznámé
Zatížitelnost:	Z _{LM71}
Materiál nosné konstrukce:	svářkové železo – prvky nosné konstrukce i nýty
Materiál spodní stavby:	zděné kamenné kvádry v rozích opěr a v úložném prahu, zbytek: železobeton

1.4 POUŽITÉ PODKLADY, NORMY A SOFTWARE

Podklady:

[1] Archivní původní dokumentace mostu. Přehledný výkres z r. 1885. (ve formátu .pdf)

- [2] Návrh zesílení podélníků a výměnu ložisek mostu v km 24,922 tr. Janovice – Domažlice, z r. 1955 (ve formátu .pdf)
- [3] Protokol o podrobné prohlídce ze dne 23.11.2016: Most v evd. km 24,922 traťového úseku 0351 Janovice nad Úhlavou (mimo) – Domažlice (mimo). SŽDC, s.o., TÚDC (ve formátu .pdf).
- [4] Poskytnutá fotodokumentace z podrobné prohlídky vykonané SŽDC, s.o., TÚDC dne 16.08.2016
- [5] Pasport tratě Janovice nad Úhlavou (mimo) – Domažlice (mimo), označení traťového def.úseku R20200 (ve formátu .pdf).
- [6] Fotodokumentace z prohlídky mostu zadavatelem statického přepočtu.

Předpisy a normy:

- [7] Metodický pokyn pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů. SŽDC, účinnost od 01.09.2015.
- [8] Plánovaná aktualizace Metodického pokynu pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů. SŽDC, návrh z roku 2018.
- [9] ČSN EN 1990 ed. 2: Zásady navrhování konstrukcí. ÚTNMSZ 2015
- [10] ČSN EN 1991-1-1 - Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. ÚTNMSZ 2004. (+ Oprava 1: 2010, + Změna Z1: 2010, + Změna Z2: 2010, + ČSN EN 1991-1-1 NA ed. A: 2011)
- [11] ČSN EN 1991-1-4 ed. 2 - Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem. ÚTNMSZ 2013 (+ Změna A1: 2016)
- [12] ČSN EN 1991-1-5 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou. ÚTNMSZ 2005. (+ Oprava 1: 2010, + Oprava 2: 2011, + Změna Z1: 2010, + Změna Z2: 2010, + ČSN EN 1991-1-5 NA ed. A: 2011)
- [13] ČSN EN 1991-2 ed. 2 - Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou. ÚTNMSZ 2018
- [14] ČSN EN 1993-1-1 ed. 2 - Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. ÚTNMSZ 2011 (+ Oprava 1: 2016, + Změna A1: 2016)
- [15] ČSN EN 1993-1-5 ed. 2 - Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-5: Boulení stěn. ÚTNMSZ 2013 (+ Oprava 1: 2016, + změna A1: 2016)
- [16] ČSN EN 1993-1-8 ed. 2 - Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků. ÚTNMSZ 2011.
- [17] ČSN EN 1993-1-9 ed. 2 - Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-9: Únava. ÚTNMSZ 2013
- [18] ČSN EN 1993-2 - Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 2: Ocelové mosty. ÚTNMSZ 2008 (+ Oprava 1: 2010, + změna Z1: 2010, + ČSN EN 1993-2 NA ed. A: 2012)

Literatura:

- [19] V. Kvočák, J. Vičan a kol.: Navrhovanie ocelových mostov podľa Európskych noriem. TU Košice 2013.

Software:

- [20] Midas Civil, ver. 2019
- [21] MS Office (EXCEL, WORD)
- [22] AutoCAD 2016
- [23] Mathcad M15

1.5 POPIS MOSTNÍHO OBJEKTU

1.5.1 Spodní stavba

Spodní stavbu tvoří dvojice krajních opěr se šikmými křídly. Rok výstavby spodní stavby je 1888. Bližší data o materiálech nejsou známa.

Dřík a závěrná zídka opěry O1 a O2 je železobetonová. Úložný práh je kamenný s úložnými kvádry. Šířka opěry je 5,42 m.

Šikmé křídla jsou kamenná z kamenného zdiva s nepravidelným řádkováním. Římsa je z kamenných kvádrů. Délka křídel vlevo je cca 5,90m a vpravo cca 7,75m.

Založení spodní stavby je neznámé, předpokládá se plošné založení.

1.5.2 Nosná konstrukce

Nosnou konstrukci (NK) mostu tvoří ocelová nýtovaná plnostěnná trámová konstrukce o rozpětí 10,80 m s otevřenou prvkovou mostovkou. Vzhledem k roku výstavby 1885, lze předpokládat, že konstrukce je vyrobena ze svářkového železa.

Hlavní nosníky jsou plnostěnné trámy osově vzdálené 4,52 m a mají stěnu s rozměry 10x1000 mm. Krční úhelníky tvoří dvojice L 100x100x12. Oba hlavní nosníky mají odstupňované horní a dolní pásnice. Od začátku hl. nosníku (resp. konce) jsou postupně do středu rozpětí nanýtovány pásnice z pásů 13x220 mm. Uprostřed rozpětí jsou horní a dolní pásnice hl. nosníků tloušťky 51mm (12+13+13+13mm). Nad opěrami jsou horní i dolní pásnice hlavních nosníků tvořeny pouze rameny krčních úhelníků.

Příčnický jsou podélně rozmístěny po 1,8 m. Všechny 7 příčnicků má konstantní stěnu z plechu 10x500mm a krční úhelníky 2 x L 90x130x14 tvořící jak spodní tak i dolní pásnici. V přípoji příčnicků na hlavní nosník je stěna nahrazena lichoběžníkovým plechem s výškou 965 mm, který tvoří kromě stěny příčnicků i výztuhu hlavního nosníku.

Podélníky mostovky jsou umístěny v konstantní vzdálenosti 1,36 m od osy hlavních nosníků ve vzájemné osově vzdálenosti 1,80 m. Podélníky byly původně výšky 330mm. V roce 1955 byly zesíleny přidáním horní pásnice a mají celkovou výšku 342mm. Stěna podélníků je z plechu 8x330mm. Krční úhelníky všech podélníků jsou z dvojice úhelníků L 70x70x8. Oba podélníky mají na horních úhelnících přinýtovanou i pásnici z pásu 12x220 mm. Tato pásnice je umístěna nesymetricky vůči ose podélníků o 25 mm směrem k hlavním nosníkům, čím je vytvořen prostor po uchycení plošně uložených mostnic pomocí mostnicových šroubů o průměru 20 mm k pásnici. Přípoj podélníků k příčnickům je realizován zejména stěnou podélníků.

Podélné podmostovkové ztužení mostu je řešeno složenou soustavou. Diagonály ztužení jsou tvořeny ocelovou pasovinou rozměru 10x120 mm. Ztužení je připojeno pomocí styčnickových plechů k dolní pásnici příčnicků.

Všechny nýtované spoje nosné konstrukce mají průměr nýtu 20 mm. Vzhledem k roku výstavby 1885, lze předpokládat, že i materiál nýtů byl v tomto období ze svářkového železa.

1.5.3 Ložiska

Ložiska na opěře O1 jsou pevná stolicová.

Na opěře O2 jsou umístěny pohyblivá jednoválcová ocelová ložiska.

1.5.4 Železniční svršek

Na mostě se nachází kolejnice S 49 se žebrovými podkladnicemi uchycenými v rámci nosné konstrukce na dubových mostnicích. Na podélnících je celkem 20 ks mostnic s rozměry 240x240 - 2470 mm s plošným uložením se svislým mostnicovým šroubem. Zařezání mostnic je oboustranné až o 215mm. Osová vzdálenost mostnic variuje od 580 do 605 mm.

V délce NK nejsou otevřené kolejnicové styky.

Ve výběžích je šterkové lože s dřevěnými (2x-před a 3x-za) pražci, jinak jsou pražce betonové.

1.5.5 Vybavení mostu

Podlahu na nosné konstrukci tvoří ocelový plech rýhovaný – na mostnicích, resp. s oválnými výstupky – mimo mostnic, tloušťky 6 mm.

Zábradlí na NK mostu je nýtované s výškou cca 1,00 m nad podlahou. Přibližně 420 mm je tvořeno hlavním nosníkem. Na jeho horní pásnici jsou pak přinýtovány sloupky v místě příčnicků a dvě madla z úhelníků.

Zábradlí na římsách křídel je svařované, přičemž délka kopíruje délku říms křídel mostu. Zábradlí je složené z úhelníkových sloupků zalitých do říms a ze dvou madel.

1.6 PŘEDMĚT PŘEPOČTU A ZAVEDENÉ PŘEDPOKLADY

1.6.1 Předmět přepočtu

Účelem přepočtu je stanovení zatížitelnosti mostního objektu kategorie C, tedy zatížitelnost stanovená přepočtem na základě ověřeného skutečného stavu.

Pro **nosnou konstrukci** mostu je zpracován přepočet **kategorie C**.

Pro spodní stavbu je po dohodě s odborným útvarem zadavatele aplikován článek 4.8.2 metodického pokynu [5]. Protože spodní stavba nevykazuje závažné poruchy, lze její zatížitelnost nebo zatížitelnost její části určit v nižší kategorii, než byla stanovena pro nosnou konstrukci. Vzhledem k chybějícím datům o rozměrech, kvalitě materiálu, podloží i způsobu založení je pro **spodní stavbu** určena **zatížitelnost v kategorii A**.

1.6.2 Zohlednění poruch mostního objektu

Hlavní nosníky

- Při stanovení zatížitelnosti hlavních nosníků nebylo uvažováno s poruchami.

Příčníky

- Při stanovení zatížitelnosti příčníků nebylo uvažováno s poruchami.

Podélníky

- Při stanovení zatížitelnosti podélníků nebylo uvažováno s poruchami.

Korozivní úbytky na mostě na základě protokolu o podrobné prohlídce prohlídky nejsou [3].

Další závady a poruchy nosné konstrukce a spodní stavby popsané v správě [3] **nebyly v přepočtu zohledněny**, protože se předpokládá **jejich odstranění!** Jde zejména o opravy zdeformovaných prutů dolního ztužení, opravy ložisek (vystředění, zalití), obnova PKO celé NK a ložisek, a dále pak opravy spodní stavby. Co se týče vrubů a natržených krčních úhelníků zjištěných při podrobné prohlídce mostu [3], tyto nebyly zohledněny, jelikož se předpokládá **výměna** krčních úhelníků podélníků. Vruby na přířnicích a hlavních nosnících nejsou uvažovány, nakolik oslabení těmito vrubami je menší než oslabení krčními nýty. Konkrétní místa závad jsou dostupné v prohlídce mostu [3].

1.6.3 Uvažovaná geometrická poloha koleje a převýšení

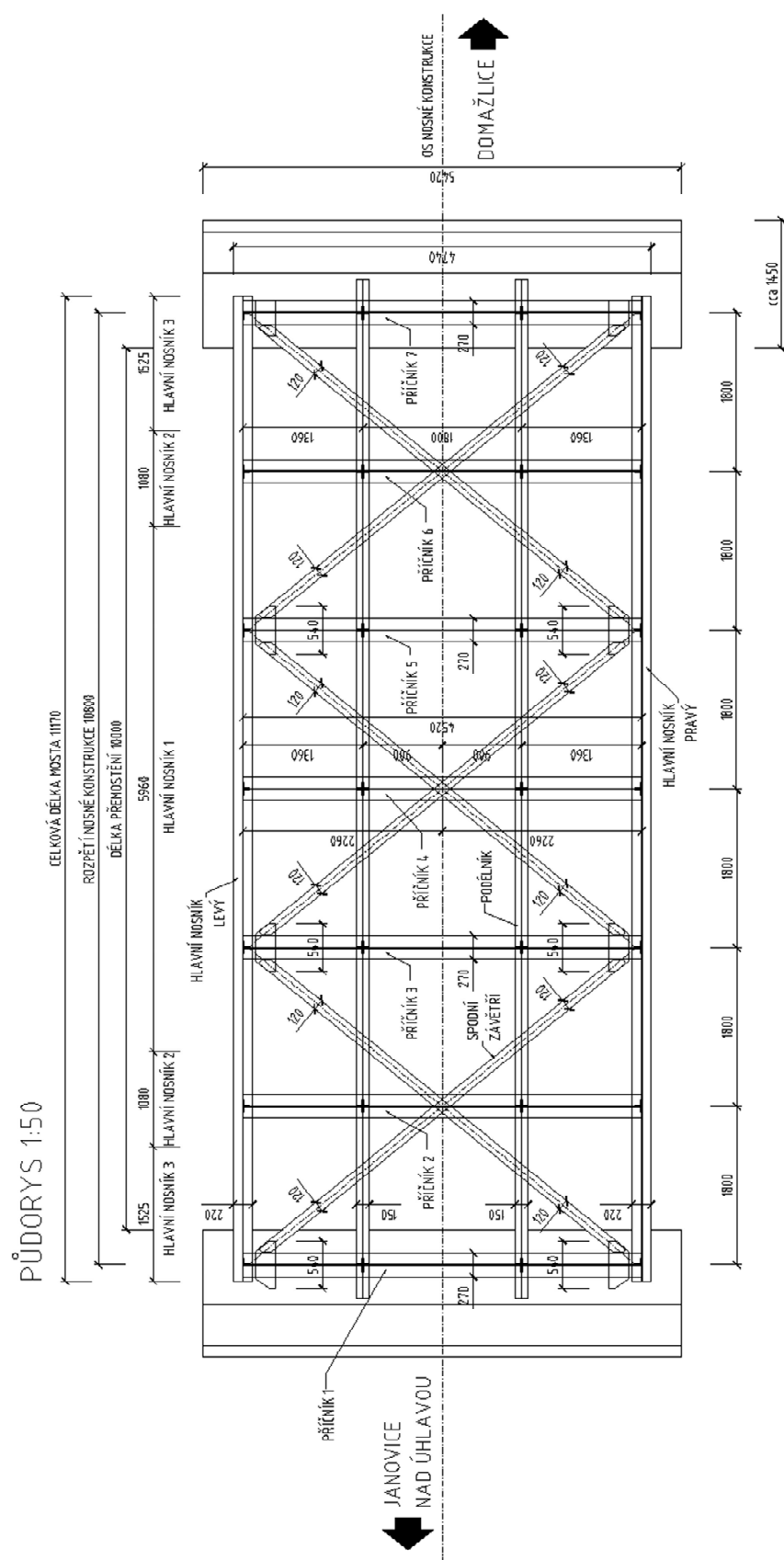
Na základě zaměření polohy koleje [3] na mostnicích č. 1, 10 a 20 bylo v statickém přepočtu uvažováno s posunem koleje o 20 mm vlevo od osy mostu.

Převýšení na mostě nebylo uvažováno.

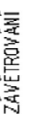
1.6.4 Další předpoklady přepočtu

- Současný věk mostu je **131 let**.
- Návrhová životnost byla 100 let.
- Plánovaná zbytková životnost (~~při posouzení na únavu~~) je **5 let** (požadavek zadavatele přepočtu).
- Provozní zatížení na trati je podle údajů od zadavatele méně než **1,825 mil. hrt/ton** (řád 6).
- Po trati můžou jezdit i soupravy CityElefant (požadavek zadavatele přepočtu).

2 DISPOZIČNÍ VÝKRES



DOMAŽLICE

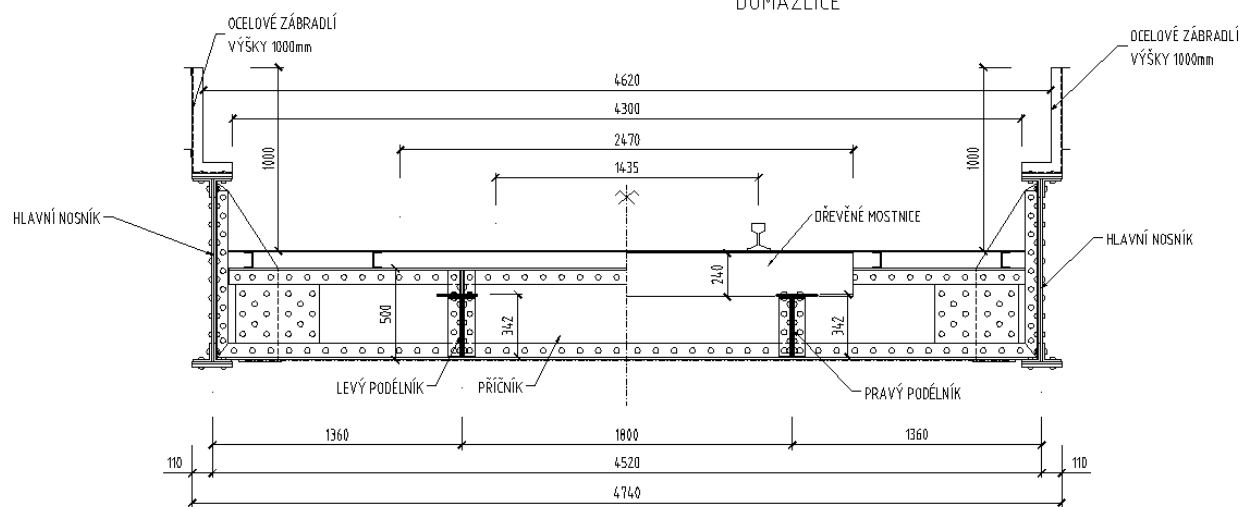


PŘÍČNÝ ŘEZ 1:25

JANOVICE NAD ÚHLAVOU



DOMAŽLICE



3 STATICKÝ PŘEPOČET NOSNÉ KONSTRUKCE K01

3.1 VÝPOČETNÍ MODEL

3.1.1 Popis výpočetního modelu pro pružnou analýzu

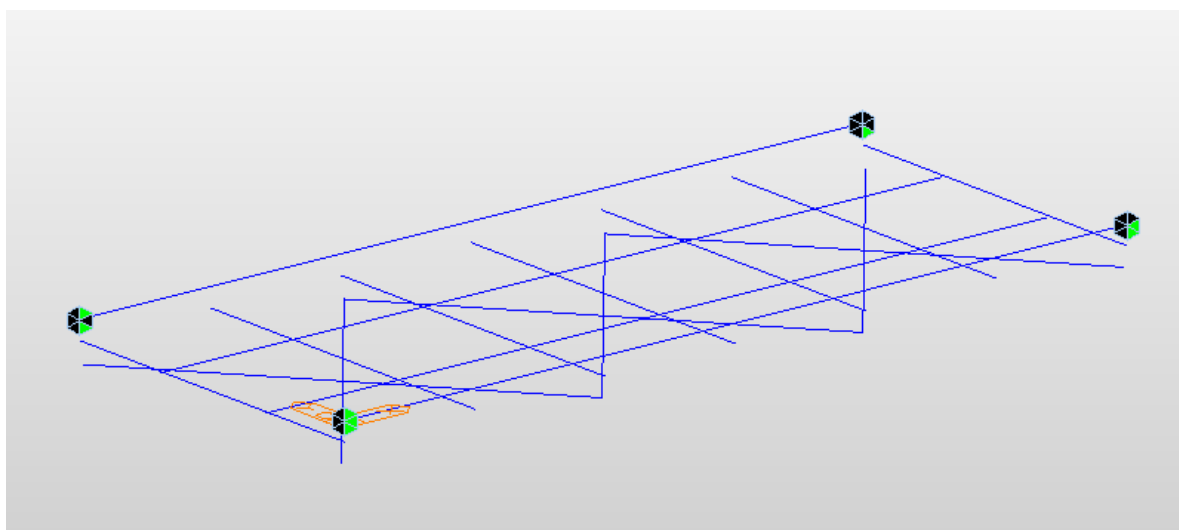
Pro stanovení vnitřních sil na prvcích ocelové nosné konstrukce byl použitý prostorový prutový výpočetní model. Model byl vytvořený v programu Midas Civil v2019. Všechny prvky jsou modelovány jako pruty a v modelu byly také zohledněny posuny těžišť jednotlivých prvků.

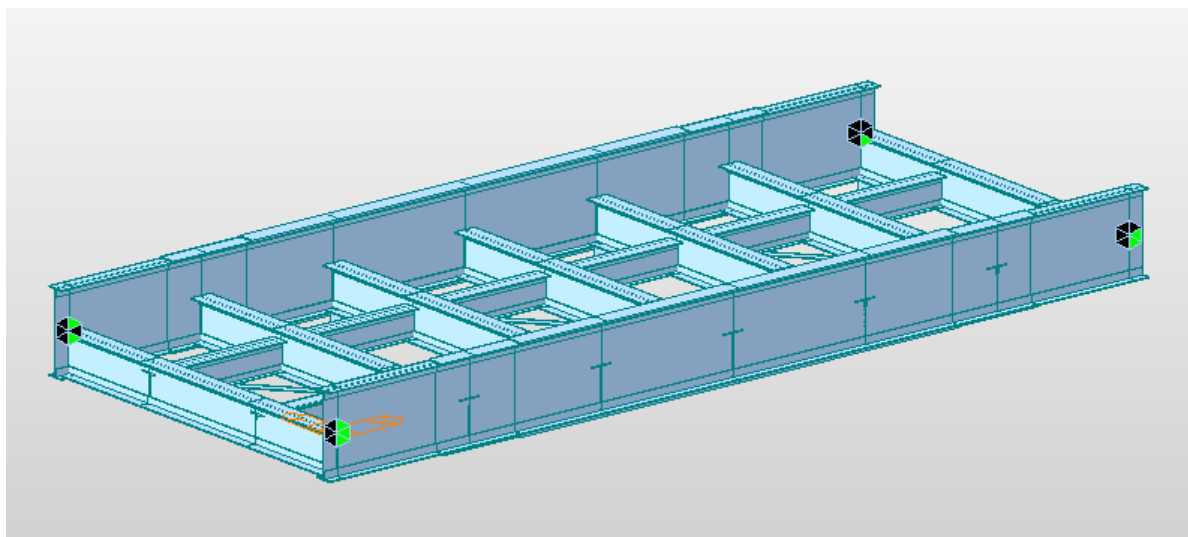
Podélníky jsou na příčníky připojeny kloubově v obou směrech, tzn. Nepřenáší se svislý a vodorovný ohybový moment. Toto připojení bylo zvoleno z důvodu, že podélníky jsou na příčníky připojeny jen stěnou.

Přípoj příčníků na hlavní nosníky je modelován jako kloub ve vodorovné rovině a ve svislé rovině je tento přípoj tuhý, nakolik přípoj příčníku je realizován přes lichoběžníkovou výztuhu na stěnu hlavního nosníku. Pásnice příčníků nejsou připojeny.

V modelu bylo také uvažováno s dolním ztužením, ale nebylo uvažováno s počáteční deformací na základě prohlídky [3].

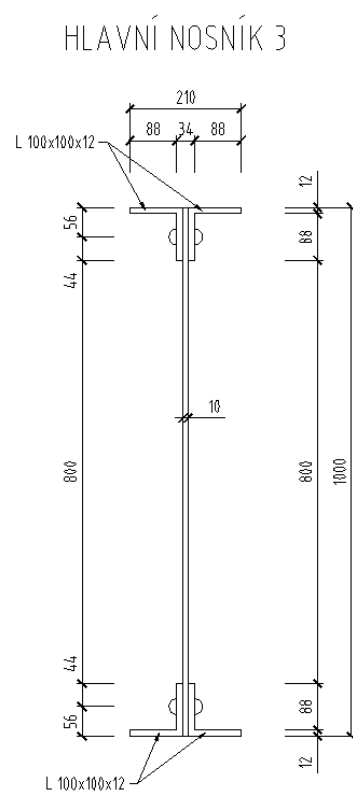
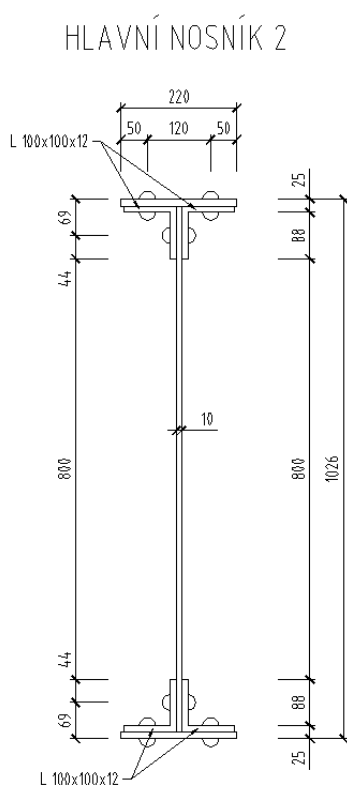
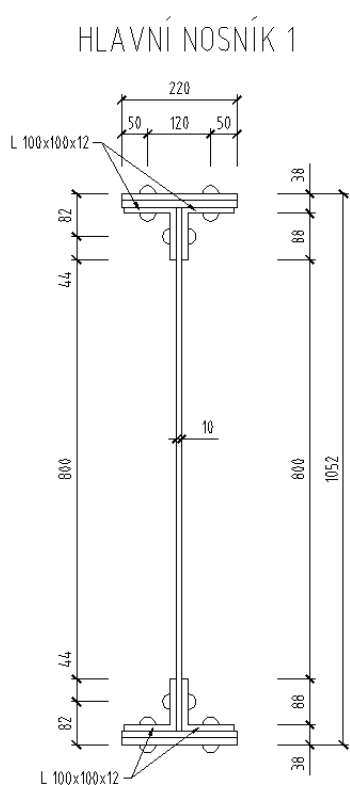
Uložení nosné konstrukce je přes tuhé podpěry hlavních nosníků. Rozložení podpěr je klasické. Na opěře O1 je podpěra neposuvná ve všech směrech a podpěra posuvná ve směru Y (kolmo na os nosné konstrukce). Na opěře O2 je potom jedna podpěra posuvná ve všech směrech a jedna je posuvná ve směru X (podélně s osou nosné konstrukce).

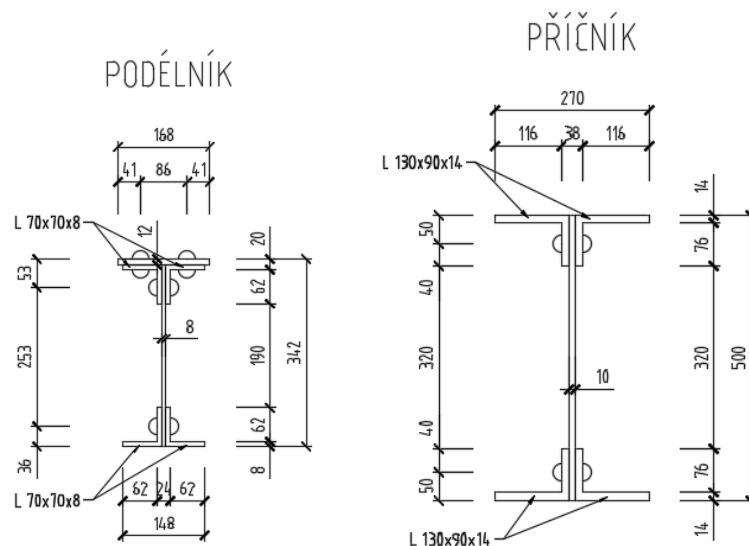




3.1.2 Průřezy ve výpočtovém modelu

Ve výpočtovém modelu byly průřezy uvažovány bez vrubů a dalších chyb zjištěných podrobnou prohlídkou mostu [3].





3.1.3 Materiály v modelu

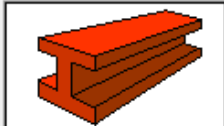
V modelu byly použity tyto materiály:

Material Data ×

General

Material ID: Name:

Elasticity Data

Type of Design: 

Type of Material: ☒ Isotropic ☐ Orthotropic

Steel

Standard: DB:

Concrete

Standard: Code: DB:

Steel

Modulus of Elasticity: kN/m²

Poisson's Ratio:

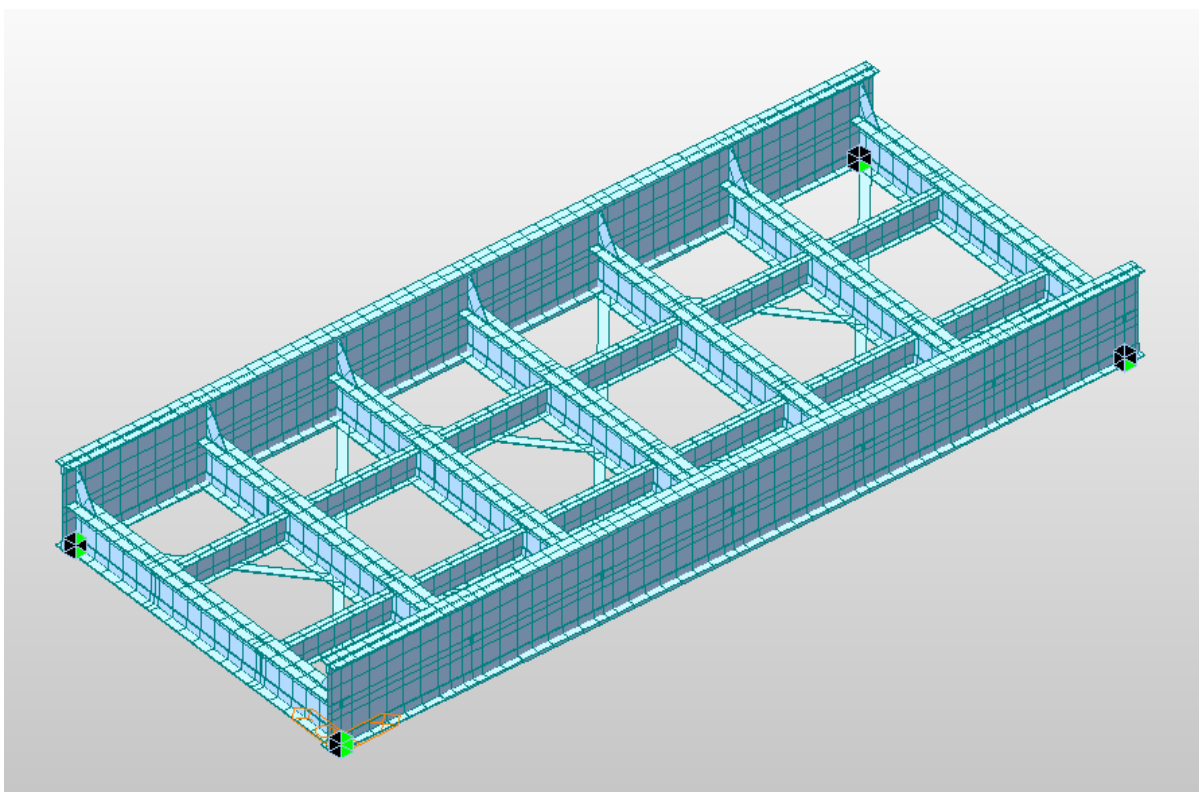
Thermal Coefficient: 1/[C]

Weight Density: kN/m³

☒ Use Mass Density: kN/m³/g

3.1.4 Popis výpočetního modelu pro stabilitní analýzu hlavního nosníku

Pro získání kritického momentu a délky vybočení hlavních nosníků ve vodorovné rovině byl využit skořepinový výpočetní model. Všechny hlavní prvky ocelové nosné konstrukce byly modelovány pomocí skořepin kromě podélných, příčných a koncových ztužidel. Tyto ztužidla byly modelovány prutovými prvky. Následně byl model zatížen svislým zatížením a vykonána stabilitní analýza. Výsledkem stabilitní analýzy je pak součinitel α_{cr} , ze kterého následně přenásobením maximálního ohybového momentu na příslušném hlavním nosníku dostaneme kritický moment pro klopení.



3.2 ZATÍŽENÍ NA NOSNÉ KONSTRUKCI MOSTU

3.2.1 Stále zatížení

3.2.1.1 Vlastní tíha nosné konstrukce

Základní vlastní **tíha ocelové konstrukce** je generovaná výpočtovým programem. Tíha svářkového železa smí být uvažovaná hodnotou $78,5 \text{ kN/m}^3$. Základní rozměry prvků byly ověřeny. Tíha modelovaných prvků byla zvětšená o vliv hlav nýtů a o vliv nemodelovaných výztuh a příložek. Toto zvětšení je uvažováno hodnotou +3 % vlastní tíhy – 8100 kg/m^3 .

3.2.1.2 Doplněk k vlastní tíze konstrukce

- zábradlí – profil L45x45x5 – délka 11,36m
sloupky 7x L60x60x6 – dl. 700mm – $5,42\text{kg/m} \times 0,7\text{m} \times 7 = 26,6\text{kg}$
madlo 2x L45x45x5 – dl. 11,36m – $3,38\text{kg/m} \times 11,36\text{m} \times 2 = 76,8\text{kg}$
spolu hmotnost zábradlí – $26,6\text{kg} + 76,8\text{kg} = 103,4\text{kg}$
tíha zábradlí – $103,4\text{kg} \times 10\text{kg.m/s}^2 / 11,36\text{m} = 0,09\text{kN/m}$
- krycí plech – tl. 6mm + profil U100 (10,6kg/m)
tíha plechu na m² – $0,006\text{m} \times 78,5\text{kN/m}^3 = 0,47\text{kN/m}^2$
tíha plechu na podélník – $0,47 \times 2,47 / 2 = 0,58\text{kN/m}$
tíha plechu na příčník (+ U100) – $0,47 \times 1,0 / (2 \times 1,8) + 0,1 / 1,8 = 0,19\text{kN}$
- mostní svršek – mostnice dubové rozměr 240x240x2470mm (objemová hmotnost 700kg/m³)
osová vzdálenost mostnic a=600mm
hmotnost na 1 běžný metr – $0,24 \times 0,24 \times 2,47 \times 700 / 0,6 = 166\text{kg/m}$
kolejnice S49 – 49,4kg/m
tíha svršku na podélník – $(166\text{kg/m} + 49,4\text{kg/m}) \times 9,81\text{kg.m/s}^2 = 2,1\text{kN/m}$

3.2.2 Zatížení dopravou

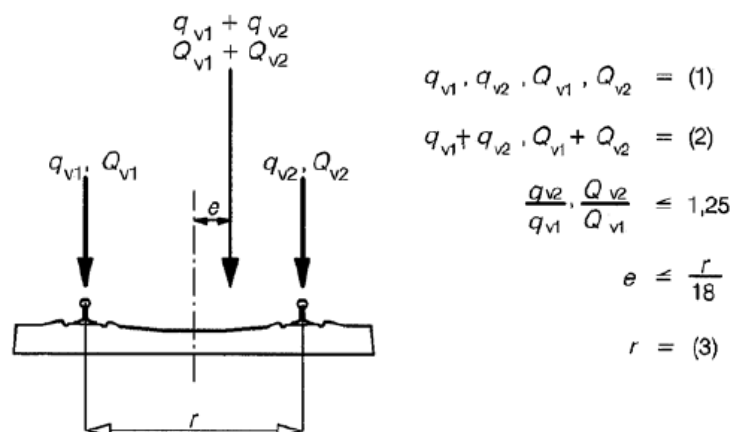
3.2.2.1 Svislé proměnné zatížení dopravou

Ve smyslu Metodického pokynu [7] se uvažovalo so **zatěžovacím modelem 71** dle [13]. Zatížení je uvažováno v ose podélníků a excentricita koleje „x“ (x=-20mm) vůči ose nosné konstrukce je zohledněna zvětšením/zmenšením kolových sil a rovnoměrného zatížení zatěžovacího modelu 71 na jednotlivé podélníky. Stejně je zohledněna i excentricita v důsledku nerovnoměrnosti kolových sil „e“, kdy e=83,33mm na obě strany od osy koleje:

- +e** napravo od osy nosné konstrukce,
- e** nalevo od osy nosné konstrukce.

Výsledná excentricita kolových sil je následující:

- e = 83,3mm + 20mm = 103,3mm
- +e = 83,3mm – 20mm = 63,3mm



Legenda

- (1) rovnoměrné zatížení a osamělé síly na každé kolejnici
- (2) LM71 (a SW/0, kde se požaduje)
- (3) příčná vzdálenost mezi kolovými zatíženími

Obrázek 6.3 – Excentricita svislých zatížení

Do výpočtového modelu byly zadány účinky svislého zatížení při $Z_{LM71} = 1,00$ se součinitelem $\alpha = 1,0$.

Při modelování svislého zatížení zatěžovacím modelem 71 byl využit také podélný roznos kolových sil ve smyslu ČSN EN 1991-2 na tři sousední mostnice s osovou vzdáleností mostnic $a = 533\text{mm}$.

3.2.2.2 Dynamické účinky svislého železničního zatížení

Dynamické účinky zohledníme dynamickým součinitelem pro standardně udržovanou trať Φ_3 . Platnost jednotlivých součinitelů, náhradní délky i omezení velikosti součinitelů jsou uvedeny v [13].

$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,73 \quad \begin{cases} \leq 2,00 \\ \geq 1,00 \end{cases} \quad \Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,82 \quad \begin{cases} \leq 1,67 \\ \geq 1,00 \end{cases}$$

Pro jednotlivé prvky pak vychází:

Prvek		Náhradní délka L_Φ	Dyn. součinitel Φ_3
Hlavní nosníky		$L = 10,80\text{ m}$	1,43
Příčníky	vnitřní	$2 \times b = 2 \times 4,52 = 9,04\text{ m}$	1,50
	koncové	3,6 m	2,00
Podélníky		$a + 3\text{ m} = 1,8 + 3 = 4,8\text{ m}$	1,81

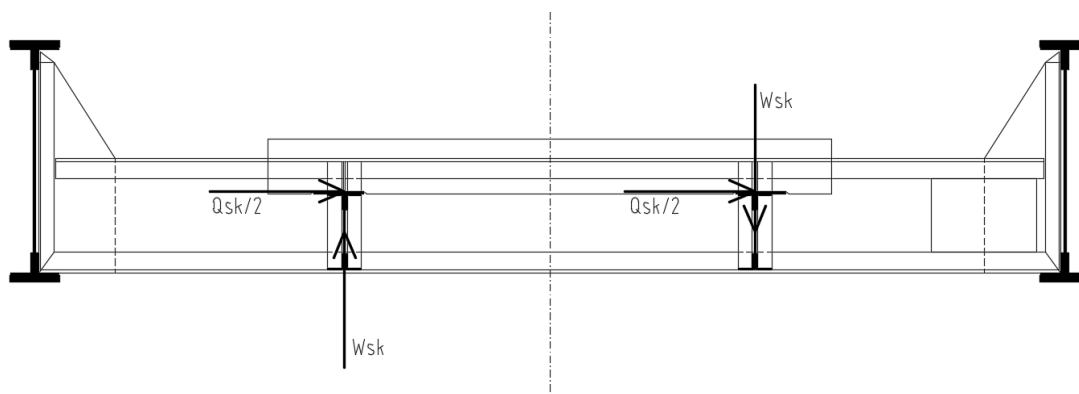
3.2.2.3 Odstředivé síly

Kolej je na mostě v přímé.

3.2.2.4 Bočný ráz

Uvažujeme sílu $Q_{sk} = 100\text{ kN}$. Zatížení je modelováno horizontálně v úrovni horní pásnice podélníků (na svislé excentricitě od těžiště podélníků). Kroutící účinky jsou zohledněny přitížením/odlehčením podélníků. Uvažovány byly alternativně oba možné směry bočních rázů.

Při modelování svislého zatížení bočními rázy byl využit také podélný roznos sil ve smyslu ČSN EN 1991-2 na tři sousední mostnice s osovou vzdáleností mostnic $a = 533\text{mm}$.



3.2.2.5 Rozjezdové a brzdné síly

Vzhledem k velikosti mostu a k omezení velikosti brzdění a rozjezdových sil v ČSN EN 1991-2 [12], rozhoduje rozjezdová síla o velikosti

$$Q_{lak} = 33 \times 11,2\text{m} = 370\text{kN} \text{ v úrovni kolejnice ve směru } x$$

Zatížení je uvažováno a modelováno v podélné ose koleje. Délku zatížení uvažujeme shodnou s délkou svislého zatížení dopravou.

3.2.3 Zatížení větrem

3.2.3.1 Obecně

Uvažují se zatížení dle **ČSN EN 1991-4 ed. 2 [10]**. Zároveň zohledníme ve smyslu dohody se zadavatelem přepočtu i úlevy vyplývající z **Přílohy G** nově navrhované **aktualizace Metodického pokynu [7]**.

Mostní objekt se nachází v oblasti s fundamentální hodnotou základné rychlosti větru $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$. Jde o most nad pozemní komunikaci na začátku vesnice s morfologií terénu spadající do **kategorie terénu III**.

Při ověřování konstrukce by se mělo uvažovat se zatížením větrem pro:

- 1) **nezatížený most** - pro daný typ nízké plnostěnné konstrukce není rozhodující,
- 2) **most zatížený extrémními účinky dopravou** – budeme se dále zabývat pouze tímto zatížením.

3.2.3.2 Výpočet účinků větru na zatížený most

VÝPOČET ŠPIČKOVÉHO TLAKU VĚTRU DLE KAP. 4 ČSN EN 1991-1-4

- výška mostu nad terénem $z := 5\text{m}$

- fundamentální hodnota základní rychlosti větru $v_{b,0} := 25\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

- kategorie terénu - typ 3 $z_0 := 0.3\text{m}$ $z_{\min} := 5\text{m}$ $z_{\max} := 200\text{m}$

- součinitel sezónnosti $c_{\text{season}} := 1$

- součinitel směrovosti $c_{\text{dir}} := 1$

- základní rychlost větru

$$v_b := c_{\text{season}} \cdot c_{\text{dir}} \cdot v_{b,0} \quad v_b = 25\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

- střední rychlost větru

$$z_{0,II} := 0.05\text{m} \quad c_0 := 1$$

$$k_r := 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0.07} \quad k_r = 0.215$$

- pre $z_{\min} < z < z_{\max}$

$$c_r := k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad c_r = 0.606$$

$$v_m := c_r \cdot c_0 \cdot v_b \quad v_m = 15.149\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

- intenzita turbulence větru

$$k_I := 1$$

$$\sigma_v := k_r \cdot v_b \cdot k_I \quad \sigma_v = 5.385\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

pre $z_{\min} < z < z_{\max}$

$$I_v := \frac{\sigma_v}{v_m} \quad I_v = 0.355$$

- špičkový tlak větru

$$\text{hustota vzduchu} \quad \rho := 1.25\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$q_p := \left(1 + 7 \cdot I_v\right) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2 \quad q_p = 0.5\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$$

VÝPOČET TLAKU VĚTRU NA KONSTRUKCI DLE KAP. 8 1991-1-4

$$b := 4.74\text{m} \quad d_{\text{tot}} := 4.77\text{m} \quad \frac{b}{d_{\text{tot}}} = 0.994 \quad \underline{\underline{L}} := 10.8\text{m}$$

$$c_{fx,0} := 2.25 \quad c_{kor,x} := 0.87 \quad c_{fx} := c_{fx,0} \cdot c_{kor,x} = 1.957$$

- výpočet účinků větru na podélníky ve směru x (ve směru šířky mostu)

$$b_{\text{poz}} := 1.8\text{m} \quad r_{w1} := 2.65\text{m} \quad r_{w2} := 0.53\text{m} \quad H_{w1} := 3.72\text{m} \quad H_{w2} := 1.05\text{m}$$

$$b_{\text{hn}} := 4.52\text{m}$$

$$q_b := \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = 0.391 \cdot \text{kPa}$$

$$c_e := \frac{q_p}{q_b} = 1.281$$

$$W_1 := q_b \cdot c_e \cdot c_{fx} \cdot H_{w1} = 3.643 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad - \text{ v těžišti podélníků}$$

$$F_{W1} := \frac{W_1 \cdot r_{w1}}{b_{\text{poz}}} = 5.364 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad - \text{ pritížení/odlehčení podélníků}$$

$$W_2 := q_b \cdot c_e \cdot c_{fx} \cdot H_{w2} = 1.028 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad - \text{ v místě dolního ztužení}$$

$$F_{W2} := \frac{W_2 \cdot r_{w2}}{b_{\text{hn}}} = 0.121 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad - \text{ pritížení/odlehčení hl. nosníků}$$

- výpočet účinků větru na hlavní nosníky ve směru x (ve směru šířky mostu)

$$\underline{\underline{b_{\text{hn}}}} := 4.52\text{m} \quad r_{w3} := 2.386\text{m} \quad H_{w3} := 4.77\text{m}$$

$$W_3 := q_b \cdot c_e \cdot c_{fx} \cdot H_{w3} = 4.672 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad - \text{ v úrovni dolního ztužení}$$

$$F_{W3} := \frac{W_3 \cdot r_{w3}}{b_{\text{hn}}} = 2.466 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad - \text{ pritížení/odlehčení hl. nosníků}$$

3.3 VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL

Statická analýza výpočtového modelu byla provedena v programovém prostředí Midas Civil s využitím **lineární pružné analýzy**.

3.3.1 Polohy krátkodobého zatížení

Poloha krátkodobého zatížení zatěžovacím vlakem 71 byla vyhodnocena automaticky programem Midas Civil. Ve výpočetním programu byl zadán pojezd soupravy a následně program sám vyhodnotí nejnepříznivější postavení vozidla na každém prvku a vyhodnotí maximální vnitřní sílu a k ní síly příslušející.

Co se týče bočního rázu, ten byl modelován jako statický zatěžovací stav v nejnepříznivější poloze pro každý prvek a následně byly spolu s rozjezdovými silami kombinovány se svislým zatížením vlakem LM71 do skupiny gr11, resp. gr12.

3.3.2 Součinitele zatížení a kombinace

Dílčí součinitelé zatížení a poslehlivosti metriálu byly vypočítány dle přílohy F Metodického pokynu [7] pro věk 90 a více let a pro zbytkovou životnost 5 let. Příloha F Metodického pokynu byla také použita pro výpočet součinitele účinků zatížení pro posouzení přechodnosti provozního zatížení, tj. $\gamma_{Q,LM71} = \gamma_{Q,TTZ}$.

věk mostu		131	let
index spolehlivosti β_t		2.791	
zbytková životnost		5	let

součinitel účinků stálého zatížení			
$\alpha_E =$	-0.7		
$\gamma_{Sd} =$	1.05		
$v_G =$	0.05		
$\gamma_G =$	1.20		
součinitel účinků proměnného zatížení LM71			
$v_Q =$	0.29		
$\gamma_{Q,LM71} =$	1.16		
součinitel účinků proměnného klimatického zatížení			
$v_Q =$	0.12		
$\gamma_{Q,W} =$	1.15		
součinitel spolehlivosti ocele γ_{M0}			
$\gamma_{Rd} =$	1	pro stanovení γ_{M0}	
$\gamma_{Rd} =$	1.1	pro stanovení γ_{M1}	
$\alpha_R =$	-0.8		
$k_{ax} =$	1.645		
$m_a =$	1.03	pro nýtované průřezy	
$v_a =$	0.067		
$a_a =$	0		
$v_R =$	0.084	pro ocel 235	
$a_R =$	0.509	pro ocel 235	
$\kappa_k =$	0.2		
$\kappa_d =$	0.312		
$\gamma_{M0} =$	1.07		
$\gamma_{M1} =$	1.17		

3.3.2.1 Skupiny zatížení od železniční dopravy „Q“

V MSÚ i v MSP se uplatnili dvě skupiny zatížení dopravou

$$\begin{matrix} \mathbf{Q_{gr11}} \\ (Z_{LM71} \times \Phi_3 \times Q_{LM71} + 1,0 \times Q_{lak} + 0,5 \times Q_{sk}) \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \mathbf{Q_{gr12}} \\ (Z_{LM71} \times \Phi_3 \times Q_{LM71} + 0,5 \times Q_{lak} + 1,0 \times Q_{sk}) \end{matrix}$$

V případě, že zatížení železniční dopravou není „dominantním“ zatížením, součinitel $\psi_{0,Q} = 0,80$.

POZNÁMKA

Při některých posudcích v mezních stavech použitelnosti i v mezním stavu únavy se pracuje jen se svislými účinky dopravy ve smyslu platných ČSN.

Rovněž se při únavě aplikuje dynamický součinitel Φ_2 místo Φ_3 .

3.3.2.2 Kombinace s ostatními zatíženími

Součinitele zatížení v MSÚ a kombinační součinitele pro ostatní nahodilá zatažení (kromě dopravy) uvažujeme podle platných ČSN EN, se zohledněním **přílohy F** Metodického pokynu [7].

Zatížení větrem	$\gamma_{Q,W} = 1,15$	$\psi_{0,W} = 0,75$
-----------------	-----------------------	---------------------

Při stanovení zatížitelnosti platí při kombinacích s ostatními zatíženími pravidlo, že dominantním zatížením je zatížení železniční dopravou.

$$(\gamma_G \cdot G_{0k} + \gamma_G \cdot G_{1k}) + \psi_{0,LM71} \gamma_{Q,LM71} Q_{grij} + \gamma_{Q,W} \psi_{0,W} Q_{wk} \quad (6.10a)$$

$$\xi_G \cdot (\gamma_G \cdot G_{0k} + \gamma_G \cdot G_{1k}) + \gamma_{Q,LM71} Q_{grij} + \gamma_{Q,W} \psi_{0,W} Q_{wk} \quad (6.10b)$$

3.4 VÝPOČET TUHOSTI PŘÍPOJE PODÉLNÍKU NA PŘÍČNÍK

Pro potřeby globální analýzy a pro vyhodnocení vnitřních sil na prutech byla provedena analýza tuhosti přípoje podélníku na příčníc. Výpočet byl proveden v programu IDEA RS, ve kterém byl namodelován tento přípoj a byla proveden výpočet tuhosti přípoje ve vodorovném směru. Na základě výsledku této analýzy lze považovat přípoj podélníku na příčníc ve vodorovném za dokonale kloubový.

Projekt:
Číslo projektu:
Autor:

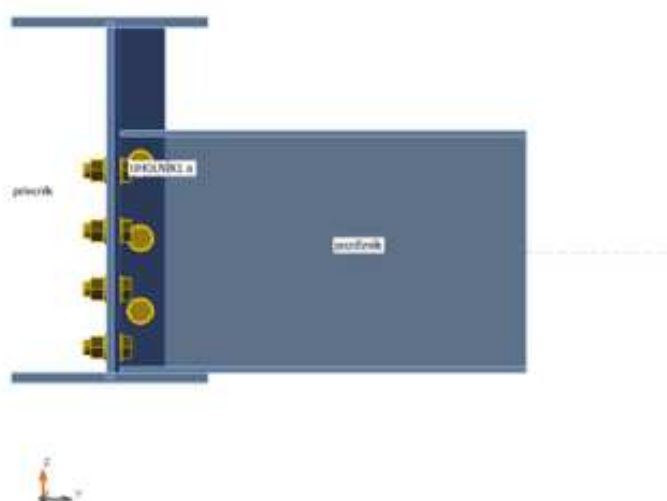
Položka projektu CON1

Prípoj

Meno CON1
Popis
Výpočet Tuhosť

Nosníky a stĺpy

Meno	Prierez	β - Smer [°]	γ - Sklon [°]	α - Pootočení [°]	Odsadenie e_x [mm]	Odsadenie e_y [mm]	Odsadenie e_z [mm]	Sily v
pozdĺžnik	2 - Iw330x148	90.0	0.0	0.0	0	0	-71	Úzol
priečník	1 - I500	0.0	0.0	0.0	0	0	0	Úzol



Prierezy

Meno	Materiál
2 - Iw330x148	S 235
1 - I500	S 235
6 - L70	S 235

Skrutky

Meno	Zostava skrutky	Priemer [mm]	f_u [MPa]	Čistá plocha [mm ²]
M20 4.6	M20 4.6	20	400.0	314

Projekt:
Číslo projektu:
Autor:

Účinky zaťaženia

Meno	Prvok	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	pozdĺžnik	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0

Posudek

Rotačná tuhosť

Meno	Komp.	Zaťaženie	Mj,Rd [kNm]	Sj,ini [MNm/rad]	Φc [mrad]	L [m]	Sj,R [MNm/rad]	Sj,P [MNm/rad]	Klas.
pozdĺžnik	Mz	LE1	4.4	0.1	348.0	1.80	12.6	0.3	Kĺbový

Dotýčnicová rotačná tuhosť

Meno	Komp.	Zaťaženie	M [kNm]	Sjs [MNm/rad]	Φ [mrad]
pozdĺžnik	Mz	LE1	5.0	0.0	337.6

Vysvetlenie symbolov

$M_{j,Rd}$	Ohybová únosnosť
$S_{j,ini}$	Počiatočná rotačná tuhosť
$S_{j,s}$	Dotýčnicová rotačná tuhosť
Φ	Rotačná deformácia
Φ_c	Rotačná kapacita
$S_{j,R}$	Medzná hodnota - tuhý styčník
$S_{j,P}$	Medzná hodnota - kĺbový styčník

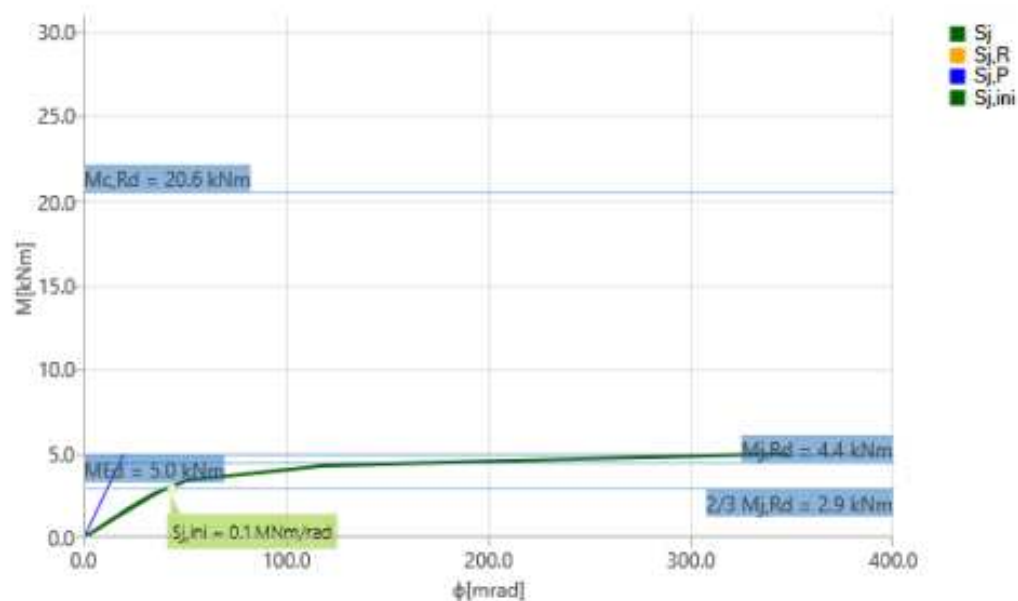


Diagram tuhosti Mz - ϕ , LE1

3.5 VNITŘNÍ SÍLY A SYSTÉM POSUZOVÁNÍ

3.5.1 Poznámky k vnitřním silám z globální analýzy

Detailní výpis vnitřních sil není uveden, protože je to velké množství dat. Nejdříve byli vytipované kritické kombinace vnitřních sil a na ty byl pak konkrétní prvek resp. řez posouzen (byla stanovena zatížitelnost). Jednotlivé typy posouzení, ze kterých vyplynuly nejnižší zatížitelnosti pro každý typ konstrukčního prvku jsou pak uvedeny dále. Konkrétní hodnoty vnitřních sil, napětí a deformací jsou vždy **použité při konkrétních posudcích** s případným komentářem, je-li to potřebné.

Ve výstupech jsou zatížení označované indexem následovně:

G	- stálé zatížení
W	- zatížení větrem
LM71	- svislé zatížení zatěžovacím vlakem 71
BR	- brzdné a rozjezdové síly
S	- boční rázy

3.5.2 Vyčíslování zatížitelností

Pro velký rozsah posouzení je uvedený vždy jen posudek v rozhodujícím průřezu, popřípadě posudek rozhodujícího prutu.

Při vyčíslení zatížitelnosti byl využit **iterační postup**, kdy v prvním kroku byla zvolena hodnota $Z_{LM71}=1$ a byly vypočteny zatížitelnosti. Následně se hodnoty vnitřních sil od zatížení LM71 redukovaly vypočtenou zatížitelností (pokud byla vypočtená hodnota menší než 1) a byla spočtena nová hodnota Z_{LM71} . Tento iterační postup byl opakován, dokud se volená hodnota a vypočtená hodnota zatížitelnosti nerovnaly.

POZNÁMKY:

Pro velký rozsah posouzení je uvedený vždy **jen posudek v rozhodujícím průřezu, popřípadě posudek rozhodujícího prutu**, ostatní místa a pruty byli rovněž posouzeny, resp. byla v nich určena zatížitelnost, ale nejsou dále uvedena. Výsledky těchto výpočtů jsou ale uvedeny v přehledné tabulce zatížitelnosti.

3.6 ZATÍŽITELNOST PODÉLNÍKŮ

3.6.1 Stanovení zatížitelnosti podélníku 1L

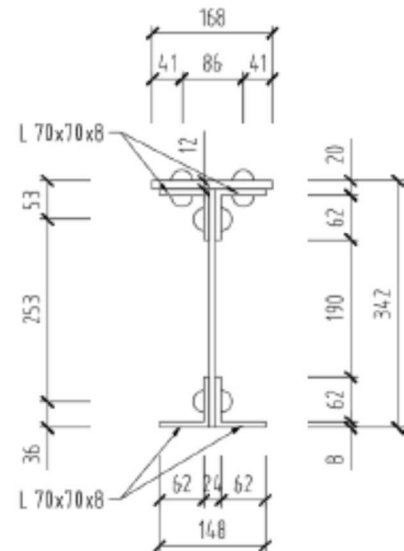
VÝPOČET ODOLNOSTI VNITŘNÍHO PODÉLNÍKU 1L A STANOVENÍ ZATÍŽITELNOSTI

1. vstupní údaje:

- délka prutu $L_{po} := 1.8\text{m}$ $L_{\phi} := 4.8\text{m}$

- průřezové charakteristiky

$$\begin{aligned} H_w &:= 342\text{mm} & H_w &:= H - 8\text{mm} - 20\text{mm} = 0.314\text{m} \\ B_h &:= 168\text{mm} & B_d &:= 148\text{mm} & A_w &:= 9504\text{mm}^2 \\ t_{fh} &:= 20\text{mm} & I_y &:= 1.596 \cdot 10^8 \text{mm}^4 & z_h &:= 138.2\text{mm} \\ t_{fd} &:= 8\text{mm} & I_z &:= 9.215 \cdot 10^6 \text{mm}^4 & z_d &:= 203.8\text{mm} \\ t_w &:= 8\text{mm} & y_h &:= 84\text{mm} \\ I_y &:= 1.057 \cdot 10^6 \text{mm}^4 & y_d &:= 84\text{mm} \\ I_w &:= 2.010 \cdot 10^{11} \text{mm}^6 \end{aligned}$$



$$W_{el.y,h} := \frac{I_y}{z_h} = 1154848 \cdot \text{mm}^3 \quad W_{el.z,h} := \frac{2 \cdot I_z}{B_h} = 109702 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el.y,d} := \frac{I_y}{z_d} = 783121 \cdot \text{mm}^3 \quad W_{el.z,d} := \frac{2 \cdot I_z}{B_d} = 124527 \cdot \text{mm}^3$$

- průřezové charakteristiky průřezu oslabeného krčnými nýty

$$A_{net} := A - 2 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_w - 4 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_{fd} = 8544 \cdot \text{mm}^2$$

$$I_{y,net} := I_y - 0.02\text{m} \cdot (t_w + 2t_{fd}) \cdot (z_d - 36\text{mm})^2 - 0.02\text{m} \cdot (t_w + 2t_{fd}) \cdot (z_h - 53\text{mm})^2 = 1.426 \times 10^8 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{z,net} := I_z - 2 \cdot 0.01\text{m} \cdot t_w \cdot \left(\frac{t_w}{4}\right)^2 - 4 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_{fd} \cdot \left(\frac{t_w}{2} + \frac{t_{fd}}{2}\right)^2 = 9.173 \times 10^6 \cdot \text{mm}^4$$

$$W_{el.y,net,h} := \frac{I_{y,net}}{z_h} = 1031841 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el.y,net,d} := \frac{I_{y,net}}{z_d} = 699707 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{y,osl,h} := \frac{W_{el.y,net,h} + W_{el,y,h}}{2} = 1093344 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{y,osl,d} := \frac{W_{el,y,net,d} + W_{el,y,d}}{2} = 741414 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el.z,net,h} := \frac{I_{z,net}}{y_h} = 109207 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el.z,net,d} := \frac{I_{z,net}}{y_d} = 109207 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{z,osl,h} := \frac{W_{el,z,net,h} + W_{el,z,h}}{2} = 109455 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{z,osl,d} := \frac{W_{el,z,net,d} + W_{el,z,d}}{2} = 116867 \cdot \text{mm}^3$$

- materiálové charakteristiky	svářkové železo	$\gamma_{M0} := 1.07$
	$E := 210 \text{ GPa}$	$\gamma_{M1} := 1.17$
	$G := \frac{E}{2 \cdot (1 + 0.3)} = 80769 \cdot \text{MPa}$	$\gamma_{M2} := 1.3$
	$f_{yk} := 210 \text{ MPa}$	

2. zatřídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1 čl. 5.5:

$$\xi_w := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_{yk}}} = 1.058$$

- stěna $\frac{H - 2 \cdot 70 \text{ mm} - 12 \text{ mm}}{t_w} < 72 \cdot \epsilon = 1$ třída 1

- příruba $\xi_w := \frac{B_h}{2} - \frac{t_w}{2} = 80 \cdot \text{mm}$ $\frac{c}{t_{fh}} < 9 \cdot \epsilon = 1$ třída 1

Průřez patří do **třídy 3**, jelikož se jedná o nitovaný průřez.

3a. vnitřní síly ve středu rozpětí

$M_{y,Ed,G} := 2.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,Ed,G} := 0.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$N_{Ed,G} := 0.3 \text{ kN}$	$V_{z,Ed,G} := 1.2 \text{ kN}$
$M_{y,Ed,W} := 1.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,Ed,W} := 0.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$N_{Ed,W} := 1.0 \text{ kN}$	$V_{z,Ed,W} := 0.1 \text{ kN}$
$M_{y,Ed,br} := 0.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,Ed,br} := 0.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$N_{Ed,br} := 6.6 \text{ kN}$	$V_{z,Ed,br} := -4.8 \text{ kN}$
$M_{y,Ed,s} := 7.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,Ed,s} := 17.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$N_{Ed,s} := 0.4 \text{ kN}$	$V_{z,Ed,s} := -6.1 \text{ kN}$
$M_{y,Ed,LM71} := 116.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,Ed,LM71} := 0.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$N_{Ed,LM71} := 4.2 \text{ kN}$	$V_{z,Ed,LM71} := 95.9 \text{ kN}$

3b. vnitřní síly na začátku

$V_{z2,Ed,G} := 4.3 \text{ kN}$
$V_{z2,Ed,W} := 4.3 \text{ kN}$
$V_{z2,Ed,br} := 4.7 \text{ kN}$
$V_{z2,Ed,s} := 12.1 \text{ kN}$
$V_{z2,Ed,LM71} := 269.5 \text{ kN}$

4. odolnost průřezu

- plastická smyková odolnost stěny průřezu

$$V_{pl,Rd} := \frac{H_w \cdot t_w \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 284.639 \cdot \text{kN}$$

- statický moment plochy

$$S_y := 3812 \text{ mm}^2 \cdot 154 \text{ mm} = 5.87 \times 10^5 \cdot \text{mm}^3$$

- elastická smyková odolnost průřezu

$$V_{Rd} := \frac{f_{yk} \cdot I_y \cdot t_w}{S_y \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 246.447 \cdot \text{kN}$$

5. výpočet kritického momentu dle ČSN EN 1993-1-1/NA :

- faktory vzpěrné délky $k_{\omega} := 1$ $k_y := 1$ $k_z := 1$
- vzdálenost působíště síly od středu smyku $z_g := z_h = 0.138 \text{ m}$
- moment setrvačnosti tlačené pásnice $I_{fc} := \frac{1}{12} \cdot B_h \cdot t_{fh}^3 = 1.12 \times 10^5 \cdot \text{mm}^4$
- moment setrvačnosti tažené pásnice $I_{ft} := \frac{1}{12} \cdot B_d \cdot t_{fd}^3 = 6.315 \times 10^3 \cdot \text{mm}^4$
- parametr nesymetrie průřezu $\psi_f := \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} = 0.893$
- poměr koncových momentů $\psi := 0$
- vzdálenost zj
 $h_f := 328 \text{ mm}$ $z_j := 0.45 \cdot \psi_f \cdot h_f = 0.132 \text{ m}$

- parametr zohledňující nesymetrii průřezu, krutovou a výsekovou tuhost a působíště zatížení

$$\kappa_{\omega t} := \frac{\pi}{k_{\omega} \cdot L_{po}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}} \quad \kappa_{\omega t} = 1.227$$

$$\zeta_g := \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L_{po}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} \quad \zeta_g = 1.148$$

$$\zeta_j := \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L_{po}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} \quad \zeta_j = 1.096$$

- faktory zohledňující typ zatížení a podmínky uložení dle ČSN EN 1993-1-1/NA

$$C_1 := 1.13 \quad \text{pre } \kappa_{\omega t} > 1$$

$$C_2 := 0.46 \quad \text{pre } \psi_f = 0.893$$

$$C_3 := 0.53 \quad \text{pre } \psi_f = 0.893$$

$$\mu_{cr} := \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + \kappa_{\omega t}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right] \quad \mu_{cr} = 1.849$$

$$M_{cr} := \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L_{po}} \quad M_{cr} = 1312 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

6. výpočet součinitele klopení :

$$\chi := \sqrt{\frac{W_{el,y,h} \cdot f_{yk}}{M_{cr}}} \quad \chi = 0.43$$

$$\text{křivka vzpěrné pevnosti "d"} \quad \alpha_{LT} := 0.76$$

$$\phi_{LT} := 0.5 \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda' - 0.2) + \lambda'^2 \right] \quad \phi_{LT} = 0.68$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda'^2}} \quad \chi_{LT} = 0.829$$

7. stanovení zatížitelnosti dle MP SŽDC:

- zatížitelnost průřezu - normálová napětí dolní vlákno

$$Z_{LM71} := 0.637$$

pro iteraci

- poměr smykové síly a plastické smykové odolnosti

$$\eta_3 := \frac{V_{z.Ed.G} + V_{z.Ed.W} + Z_{LM71} \cdot V_{z.Ed.LM71}}{V_{pl.Rd}} = 0.219 \quad \text{smyk nemá vliv na ohybovou únosnost}$$

$$\eta_{1.G} := \frac{N_{Ed.G}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.G}}{W_{y.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.G}}{W_{z.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.018$$

$$\eta_{1.W} := \frac{N_{Ed.W}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.W}}{W_{y.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.W}}{W_{z.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.048$$

$$\eta_{1.br} := \frac{N_{Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{W_{y.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 4.656 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{1.s} := \frac{N_{Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{W_{y.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.57$$

$$\eta_{1.LM71} := \frac{N_{Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{W_{y.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.563$$

$$Z_{LM71} := \frac{1 - \eta_{1.G} - \eta_{1.W} - \eta_{1.br} - \eta_{1.s}}{\eta_{1.LM71}} = 0.638$$

- zatížitelnost prutu - normálová napětí horní vlákno

$$\eta_{1.G} := \frac{-N_{Ed.G}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.G}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.G}}{W_{z.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.015$$

$$\eta_{1.W} := \frac{-N_{Ed.W}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.W}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.W}}{W_{z.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.047$$

$$Z_{LM71} := 0.663$$

pro iteraci

$$\eta_{1,br} := \frac{-N_{Ed,br} \cdot Z_{LM71}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed,br} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y,osl,h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed,br} \cdot Z_{LM71}}{W_{z,osl,h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = -9.348 \times 10^{-4}$$

$$\eta_{1,s} := \frac{-N_{Ed,s} \cdot Z_{LM71}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed,s} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y,osl,h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed,s} \cdot Z_{LM71}}{W_{z,osl,h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.624$$

$$\eta_{1,LM71} := \frac{-N_{Ed,LM71} \cdot Z_{LM71}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed,LM71} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y,osl,h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed,LM71} \cdot Z_{LM71}}{W_{z,osl,h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.477$$

$$Z_{LM71} := \frac{1 - \eta_{1,G} - \eta_{1,W} - \eta_{1,br} - \eta_{1,s}}{\eta_{1,LM71}} = 0.662$$

- zatížitelnost průřezu - smyková napětí

$$\eta_{3,G} := \frac{V_{z2,Ed,G}}{V_{Rd}} = 0.017$$

$$\eta_{3,W} := \frac{V_{z2,Ed,W}}{V_{Rd}} = 0.017$$

$$\eta_{3,br} := \frac{V_{z2,Ed,br} \cdot Z_{LM71}}{V_{Rd}} = 0.017$$

$$\eta_{3,s} := \frac{V_{z2,Ed,s} \cdot Z_{LM71}}{V_{Rd}} = 0.045$$

$$\eta_{3,LM71} := \frac{V_{z2,Ed,LM71} \cdot Z_{LM71}}{V_{Rd}} = 0.994$$

$$Z_{LM71} := \frac{1 - \eta_{3,G} - \eta_{3,W} - \eta_{3,br} - \eta_{3,s}}{\eta_{3,LM71}} = 0.909$$

$Z_{LM71} := 0.909$
pro iteraci

- zatížitelnost - lokální napjatost

$$F_{Ek} := 71.1 \text{ kN} \quad \alpha := 1 \quad \Phi_3 := \frac{2.16}{\sqrt{L \cdot \Phi \cdot \frac{1}{m} - 0.2}} + 0.73 = 1.815 \quad \gamma_{Q,LM71} := 1.16$$

$$F_{Ed} := F_{Ek} \cdot \alpha \cdot \Phi_3 \cdot \gamma_{Q,LM71} = 149.689 \text{ kN}$$

- součinitel lokálního boulení

$$k_F := 6 + 2 \cdot \left(\frac{H_w}{L_{po}} \right)^2 = 6.061$$

$$F_{cr} := 0.9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{H_w} = 1868 \text{ kN}$$

$$m_1 := \frac{B_d}{t_w} = 18.5$$

$$m_2 := 0$$

$$s_s := 24 \text{ mm}$$

$$l_y := s_s + 2 \cdot t_{fd} \cdot \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2} \right) = 0.109 \text{ m}$$

$$\lambda'_F := \sqrt{\frac{l_y \cdot t_w \cdot f_{yk}}{F_{cr}}} = 0.313$$

$$\chi_F := \frac{0.5}{\lambda'_F} = 1.598$$

$$L_{eff} := \chi_F \cdot l_y = 0.174 \text{ m}$$

$$\eta_{2.LM71} := \frac{F_{Ed}}{\left(\frac{f_{yk} \cdot L_{eff} \cdot t_w}{\gamma_{M1}} \right)} = 0.599$$

$$\eta_{2.LM71} \cdot Z_{LM71} + 0.8 \eta_1 = 1.4$$

$$\cancel{Z_{LM71}} := \frac{1.4 - 0.8(\eta_{1.G} + \eta_{1.W} + \eta_{1.br} + \eta_{1.s})}{\eta_{2.LM71} + 0.8 \eta_{1.LM71}} = 0.869$$

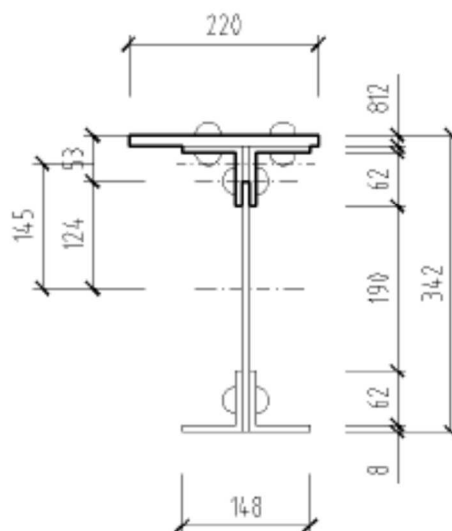
3.6.1.1 Stanovení zatížitelnosti krčních nýtů podélníků

POSOUZENÍ KRČNÍCH NÝTŮ PODÉLNÍKA A STANOVENÍ ZATŽITELNOSTI

1. vstupní údaje:

- průřezové charakteristiky

$$\begin{aligned} H_w &:= 342 \text{ mm} & H_w &:= H - 8 \text{ mm} - 20 \text{ mm} = 0.314 \text{ m} \\ B_h &:= 220 \text{ mm} & B_d &:= 148 \text{ mm} & A_w &:= 9504 \text{ mm}^2 \\ t_{fh} &:= 20 \text{ mm} & I_y &:= 1.700 \cdot 10^8 \text{ mm}^4 & z_h &:= 129.5 \text{ mm} \\ t_{fd} &:= 8 \text{ mm} & I_z &:= 1.641 \cdot 10^8 \text{ mm}^4 & z_d &:= 212.5 \text{ mm} \\ t_w &:= 8 \text{ mm} & y_h &:= 91.2 \text{ mm} \\ I_t &:= 1.057 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 & y_d &:= 128.8 \text{ mm} \\ I_w &:= 2.010 \cdot 10^{11} \text{ mm}^6 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} W_{el.y,h} &:= \frac{I_y}{z_h} = 1312741 \cdot \text{mm}^3 & W_{el.z,h} &:= \frac{I_z}{y_h} = 1799342 \cdot \text{mm}^3 \\ W_{el.y,d} &:= \frac{I_y}{z_d} = 800000 \cdot \text{mm}^3 & W_{el.z,d} &:= \frac{I_z}{y_d} = 1274068 \cdot \text{mm}^3 \end{aligned}$$

- materiálové charakteristiky $f_{yk} := 210 \text{ MPa}$ $f_{yt} := 200 \text{ MPa}$ $f_{ur} := 310 \text{ MPa}$ $f_{uk} := 340 \text{ MPa}$
- partiální součinitele spolehlivosti $\gamma_{M0} := 1.07$ $\gamma_{M1} := 1.17$ $\gamma_{M2} := 1.3$
- osová vzdálenost nýtů $p_1 := 72 \text{ mm}$
- počet stříhů v přípoj $i := 2$
- průměr nýtu $\Phi_t := 21 \text{ mm}$
- vzdálenost nýtu od okraje - kolmo na směr síly $c_2 := 40 \text{ mm}$
- vzdálenost nýtu od okraje - ve směru síly $c_1 := 45 \text{ mm}$

- návrhová smyková síla v příčniku

$$V_{z,Ed,G} := 4.3 \text{ kN} \quad V_{z,Ed,W} := 4.3 \text{ kN} \quad V_{z,Ed,br} := 4.7 \text{ kN} \quad V_{z,Ed,s} := 12.1 \text{ kN} \quad V_{z,Ed,LM71} := 269.5 \text{ kN}$$

2 výpočet odolnosti nýtovaného přípoje dle ČSN EN 1993-1-8

- odolnost v stříhu

$$\begin{aligned} A_0 &:= \pi \cdot \frac{\Phi_r^2}{4} = 346.361 \cdot \text{mm}^2 \\ F_{v,Rd} &:= \frac{0.6 \cdot f_{ur} \cdot A_0 \cdot i}{\gamma_{M2}} = 99.112 \cdot \text{kN} \end{aligned}$$

- odolnost v otláčení - krajní nýt

$$k_1 := \min\left(\frac{2.8 \cdot e_2}{\Phi_r} - 1.7, 2.5\right) = 2.5 \quad \alpha_d := \frac{e_1}{3 \cdot \Phi_r} = 0.714 \quad \alpha_b := \min\left(\alpha_d, \frac{f_{ur}}{f_{uk}}, 1\right) = 0.714$$

$$F_{b,Rd.1} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{uk} \cdot \Phi_r \cdot t_{fd}}{\gamma_{M2}} = 78.462 \cdot \text{kN}$$

- odolnost v otláčení - vnitřní nýt

$$k_{1v} := \min\left(\frac{2.8 \cdot e_2}{\Phi_r} - 1.7, 2.5\right) = 2.5 \quad \alpha_{dv} := \frac{p_1}{3 \cdot \Phi_r} - \frac{1}{4} = 0.893 \quad \alpha_{bv} := \min\left(\alpha_{dv}, \frac{f_{ur}}{f_{uk}}, 1\right) = 0.893$$

$$F_{b,Rd.2} := \frac{k_{1v} \cdot \alpha_{bv} \cdot f_{uk} \cdot \Phi_r \cdot t_{fd}}{\gamma_{M2}} = 98.077 \cdot \text{kN}$$

$$F_{b,Rd} := \min(F_{b,Rd.1}, F_{b,Rd.2}) = 78.462 \cdot \text{kN}$$

3. výpočet smykového toku v krčcích nýtech podélníku

- statický moment plochy po os krčcích nýtů

$$S_y := 2 \cdot 1056 \text{ mm}^2 \cdot 145 \text{ mm} + B_h \cdot 12 \text{ mm} \cdot \left(\frac{H}{2} - 6 \text{ mm}\right) + (53 \text{ mm} - 12 \text{ mm}) \cdot t_w \cdot \left(\frac{H}{2} - 12 \text{ mm} - \frac{41 \text{ mm}}{2}\right) = 787268 \cdot \text{mm}^3$$

- smykový tok

$$\tau_G := \frac{V_{z,Ed,G} \cdot S_y}{I_y} = 19.913 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \tau_W := \frac{V_{z,Ed,W} \cdot S_y}{I_y} = 19.913 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\tau_{br} := \frac{V_{z,Ed,br} \cdot S_y}{I_y} = 21.766 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \tau_s := \frac{V_{z,Ed,s} \cdot S_y}{I_y} = 56.035 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \tau_{LM71} := \frac{V_{z,Ed,LM71} \cdot S_y}{I_y} = 1248.051 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

4. určení zatížitelnosti dle MPSŽDC:

únosnost v stříhu

$$\eta_{1G} := \frac{p_1 \cdot \tau_G}{F_{v,Rd}} = 0.014 \quad Z_{LM71.a} := 1 \quad \text{pro iteraci}$$

$$\eta_{1W} := \frac{p_1 \cdot \tau_W}{F_{v,Rd}} = 0.014$$

$$\eta_{1br} := \frac{p_1 \cdot \tau_{br} \cdot Z_{LM71.a}}{F_{v,Rd}} = 0.016$$

$$\eta_{1s} := \frac{p_1 \cdot \tau_s \cdot Z_{LM71.a}}{F_{v,Rd}} = 0.041$$

$$\eta_{1LM71} := \frac{p_1 \cdot \tau_{LM71} \cdot Z_{LM71.a}}{F_{v,Rd}} = 0.907$$

$$Z_{LM71.a} := \frac{1 - \eta_{1G} - \eta_{1W} - \eta_{1br} - \eta_{1s}}{\eta_{1LM71}} = 1.009$$

$$Z_{LM71} := \min(Z_{LM71.a}, Z_{LM71.b}) = 0.887$$

únosnost v otláčení

$$\eta_{2G} := \frac{p_1 \cdot \tau_G}{F_{b,Rd}} = 0.018 \quad Z_{LM71.b} := 0.886 \quad \text{pro iteraci}$$

$$\eta_{2W} := \frac{p_1 \cdot \tau_W}{F_{b,Rd}} = 0.018$$

$$\eta_{2br} := \frac{p_1 \cdot \tau_{br} \cdot Z_{LM71.b}}{F_{b,Rd}} = 0.018$$

$$\eta_{2s} := \frac{p_1 \cdot \tau_s \cdot Z_{LM71.b}}{F_{b,Rd}} = 0.046$$

$$\eta_{2LM71} := \frac{p_1 \cdot \tau_{LM71} \cdot Z_{LM71.b}}{F_{b,Rd}} = 1.015$$

$$Z_{LM71.b} := \frac{1 - \eta_{2G} - \eta_{2W} - \eta_{2br} - \eta_{2s}}{\eta_{2LM71}} = 0.887$$

3.6.1.2 Stanovení zatížitelnosti přípoje podélníků na příčník – část 1

POSOUZENÍ PŘÍPOJE PODÉLNÍKU NA PŘÍČNÍK

1. vstupní údaje:

- smyková síla v přípoji

$$F_{z.Ed.G} := 4.3 \text{ kN} \quad F_{z.Ed.W} := 4.3 \text{ kN} \quad F_{z.Ed.LM71} := 269.5 \text{ kN} \quad F_{z.Ed.br} := 9.3 \text{ kN} \quad F_{z.Ed.s} := 6.1 \text{ kN}$$

$$F_{x.Ed.G} := 0.3 \text{ kN} \quad F_{x.Ed.W} := 1.0 \text{ kN} \quad F_{x.Ed.LM71} := 2.5 \text{ kN} \quad F_{x.Ed.br} := 31.1 \text{ kN} \quad F_{x.Ed.s} := 0.2 \text{ kN}$$

- počet nýtů v přípoji

$$n := 3$$

- počet stříhů v přípoji

$$i := 2$$

- průměr nýtu

$$\Phi_r := 21 \text{ mm}$$

- vzdálenost nýtu od okraje - kolmo na směr síly

$$e_2 := 30 \text{ mm}$$

- vzdálenost nýtu od okraje - ve směru síly

$$e_1 := 30 \text{ mm}$$

- osová vzdálenost nýtů

$$p_1 := 100 \text{ mm}$$

- tloušťka spájaného materiálu

$$t := 8 \text{ mm}$$

- materiálové charakteristiky

$$f_{ur} := 310 \text{ MPa}$$

$$f_{yT} := 200 \text{ MPa}$$

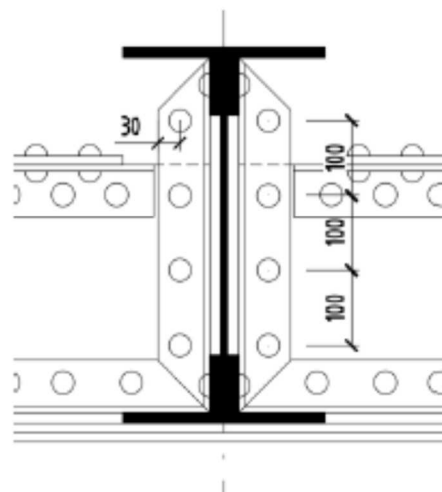
$$f_{uk} := 360 \text{ MPa}$$

- dílčí součinitelé spolehlivosti

$$\gamma_{M0} := 1.07$$

$$\gamma_{M1} := 1.17$$

$$\gamma_{M2} := 1.3$$



2. výpočet odolnosti nýtového přípoje

- odolnost v stříhu

$$A_0 := \pi \cdot \frac{\Phi_r^2}{4} = 346.361 \cdot \text{mm}^2$$

$$F_{v.Rd} := \frac{0.6 \cdot f_{ur} \cdot A_0 \cdot i}{\gamma_{M2}} = 99.112 \cdot \text{kN}$$

- odolnost v otláčení - krajní nýt

$$k_1 := \min \left(\frac{2.8 \cdot e_2}{\Phi_r} - 1.7, 2.5 \right) = 2.3 \quad \alpha_d := \frac{e_1}{3 \cdot \Phi_r} = 0.476$$

$$\alpha_b := \min \left(\alpha_d, \frac{f_{ur}}{f_{uk}}, 1 \right) = 0.476$$

$$F_{b.Rd.1} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{uk} \cdot \Phi_r \cdot t}{\gamma_{M2}} = 50.954 \cdot \text{kN}$$

- odolnost v otláčení - vnitřní nýt

$$k_{1,w} := \min\left(\frac{2.8 \cdot e_2}{\Phi_r} - 1.7, 2.5\right) = 2.3 \quad \alpha_{s,d} := \frac{P_1}{3 \cdot \Phi_r} - \frac{1}{4} = 1.337 \quad \alpha_{b,d} := \min\left(\alpha_d, \frac{f_{ur}}{f_{uk}}, 1\right) = 0.861$$

$$F_{b,Rd.2} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{uk} \cdot \Phi_r \cdot t}{\gamma_{M2}} = 92.142 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} := \min(F_{b,Rd.1}, F_{b,Rd.2}) = 50.954 \text{ kN}$$

3. stanovení zatížitelnosti dle MP SŽDC:

únosnost v sřihu

$$\eta_{1,G} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,G} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{x,Ed,G} \cdot \frac{1}{n}\right)^2}}{F_{v,Rd}} = 0.014$$

$$\eta_{1,W} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,W} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{x,Ed,W} \cdot \frac{1}{n}\right)^2}}{F_{v,Rd}} = 0.015$$

$$\eta_{1,br} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,br} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{x,Ed,br} \cdot \frac{1}{n}\right)^2} \cdot Z_{1,LM71}}{F_{v,Rd}} = 0.105$$

$$\eta_{1,s} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,s} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{x,Ed,s} \cdot \frac{1}{n}\right)^2} \cdot Z_{1,LM71}}{F_{v,Rd}} = 0.02$$

$$\eta_{1,LM71} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,LM71} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{x,Ed,LM71} \cdot \frac{1}{n}\right)^2} \cdot Z_{1,LM71}}{F_{v,Rd}} = 0.876$$

$$Z_{1,LM71} := \frac{1 - \eta_{1,G} - \eta_{1,W} - \eta_{1,br} - \eta_{1,s}}{\eta_{1,LM71}} = 0.965$$

$$Z_{1,LM71} := 0.966$$

pro iteraci

únosnost v ořažení

$$\eta_{2,G} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,G} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{x,Ed,G} \cdot \frac{1}{n}\right)^2}}{F_{b,Rd}} = 0.028$$

$$\eta_{2,W} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,W} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{x,Ed,W} \cdot \frac{1}{n}\right)^2}}{F_{b,Rd}} = 0.029$$

$$\eta_{2,br} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,br} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{x,Ed,br} \cdot \frac{1}{n}\right)^2} \cdot Z_{2,LM71}}{F_{b,Rd}} = 0.141$$

$$\eta_{2,s} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,s} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{x,Ed,s} \cdot \frac{1}{n}\right)^2} \cdot Z_{2,LM71}}{F_{b,Rd}} = 0.026$$

$$\eta_{2,LM71} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,LM71} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{x,Ed,LM71} \cdot \frac{1}{n}\right)^2} \cdot Z_{2,LM71}}{F_{b,Rd}} = 1.169$$

$$Z_{2,LM71} := \frac{1 - \eta_{2,G} - \eta_{2,W} - \eta_{2,br} - \eta_{2,s}}{\eta_{2,LM71}} = 0.664$$

$$Z_{LM71} := \min(Z_{1,LM71}, Z_{2,LM71}) = 0.664$$

$$Z_{2,LM71} := 0.663$$

pro iteraci

3.6.1.3 Stanovení zatížitelnosti přípoje podélníků na příčník – část 2

POSOUZENÍ PŘÍPOJE PODÉLNÍKU NA PŘÍČNÍK

1. vstupní údaje:

- smyková síla v přípoji

$$F_{z,Ed,G} := 4.3 \text{ kN} \quad F_{z,Ed,W} := 4.3 \text{ kN} \quad F_{z,Ed,LM71} := 269.5 \text{ kN} \quad F_{z,Ed,br} := 9.3 \text{ kN} \quad F_{z,Ed,s} := 6.1 \text{ kN}$$

$$F_{x,Ed,G} := 0.3 \text{ kN} \quad F_{x,Ed,W} := 1.0 \text{ kN} \quad F_{x,Ed,LM71} := 2.5 \text{ kN} \quad F_{x,Ed,br} := 15.55 \text{ kN} \quad F_{x,Ed,s} := 0.1 \text{ kN}$$

$$F_{y,Ed,G} := 0.0 \text{ kN} \quad F_{y,Ed,W} := 1.5 \text{ kN} \quad F_{y,Ed,LM71} := 0.1 \text{ kN} \quad F_{y,Ed,br} := 0.0 \text{ kN} \quad F_{y,Ed,s} := 29.2 \text{ kN}$$

- počet nýtů v přípoji

$$n := 6$$

- počet stříhů v přípoji

$$i := 1$$

- průměr nýtu

$$\Phi_r := 21 \text{ mm}$$

- vzdálenost nýtu od okraje - kolmo na směr síly

$$e_2 := 30 \text{ mm}$$

- vzdálenost nýtu od okraje - ve směru síly

$$e_1 := 30 \text{ mm}$$

- osová vzdálenost nýtů

$$p_1 := 100 \text{ mm}$$

- tloušťka spájaného materiálu

$$t := 8 \text{ mm}$$

- materiálové charakteristiky

$$f_{ur} := 310 \text{ MPa}$$

$$f_{yr} := 200 \text{ MPa}$$

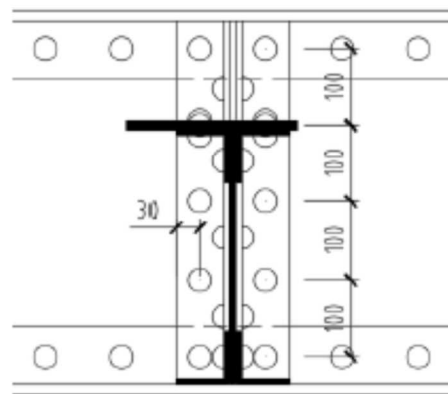
$$f_{uk} := 360 \text{ MPa}$$

- dílčí součinitele spolehlivosti

$$\gamma_{M0} := 1.07$$

$$\gamma_{M1} := 1.17$$

$$\gamma_{M2} := 1.3$$



2. výpočet odolnosti nýtového přípoje

- odolnost v stříhu

$$A_0 := \pi \cdot \frac{\Phi_r^2}{4} = 346.361 \cdot \text{mm}^2$$

$$F_{v,Rd} := \frac{0.6 \cdot f_{ur} \cdot A_0 \cdot i}{\gamma_{M2}} = 49.556 \cdot \text{kN}$$

- odolnost v otláčení - krajní nýt

$$k_1 := \min \left(\frac{2.8 \cdot e_2}{\Phi_r} - 1.7, 2.5 \right) = 2.3 \quad \alpha_d := \frac{e_1}{3 \cdot \Phi_r} = 0.476$$

$$\alpha_b := \min \left(\alpha_d, \frac{f_{ur}}{f_{uk}}, 1 \right) = 0.476$$

$$F_{b,Rd,1} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{uk} \cdot \Phi_r \cdot t}{\gamma_{M2}} = 50.954 \cdot \text{kN}$$

- odolnost v otláčení - vnitřní nýt

$$k_{av} := \min\left(\frac{2.8 \cdot e_2}{\Phi_r} - 1.7, 2.5\right) = 2.3 \quad \alpha_{M2} := \frac{P_1}{3 \cdot \Phi_r} - \frac{1}{4} = 1.337 \quad \alpha_{uk} := \min\left(\alpha_d, \frac{f_{ur}}{f_{uk}}, 1\right) = 0.861$$

$$F_{b,Rd.2} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{uk} \cdot \Phi_r \cdot t}{\gamma_{M2}} = 92.142 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} := \min(F_{b,Rd.1}, F_{b,Rd.2}) = 50.954 \text{ kN}$$

- odolnost v tahu

$$A_0 := \pi \cdot \frac{\Phi_r^2}{4} = 346.361 \text{ mm}^2$$

$$F_{t,Rd} := \frac{0.6 \cdot f_{ur} \cdot A_0}{\gamma_{M2}} = 49.556 \text{ kN}$$

3. stanovení zatížitelnosti dle MP SŽDC:

únosnost v střihu

$$\eta_{1,G} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed} \cdot G \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{y,Ed} \cdot G \cdot \frac{1}{n}\right)^2}}{F_{v,Rd}} = 0.014$$

$$\eta_{1,W} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed} \cdot W \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{y,Ed} \cdot W \cdot \frac{1}{n}\right)^2}}{F_{v,Rd}} = 0.015$$

$$\eta_{1,br} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed} \cdot br \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{y,Ed} \cdot br \cdot \frac{1}{n}\right)^2} \cdot Z_{1,LM71}}{F_{v,Rd}} = 0.03$$

$$\eta_{1,s} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed} \cdot s \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{y,Ed} \cdot s \cdot \frac{1}{n}\right)^2} \cdot Z_{1,LM71}}{F_{v,Rd}} = 0.097$$

$$\eta_{1,LM71} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed} \cdot LM71 \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{y,Ed} \cdot LM71 \cdot \frac{1}{n}\right)^2} \cdot Z_{1,LM71}}{F_{v,Rd}} = 0.875$$

$$Z_{LM71} := \frac{1 - \eta_{1,G} - \eta_{1,W} - \eta_{1,br} - \eta_{1,s}}{\eta_{1,LM71}} = 0.964$$

$Z_{1,LM71} := 0.965$
pro iteraci

únosnost v otláčení

$$\eta_{2,G} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed} \cdot G \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{y,Ed} \cdot G \cdot \frac{1}{n}\right)^2}}{F_{b,Rd}} = 0.014$$

$$\eta_{2,W} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,W} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{y,Ed,W} \cdot \frac{1}{n}\right)^2}}{F_{b,Rd}} = 0.015$$

$$Z_{2,LM71} := 0.980$$

pro iteraci

$$\eta_{2,br} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,br} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{y,Ed,br} \cdot \frac{1}{n}\right)^2} \cdot Z_{2,LM71}}{F_{b,Rd}} = 0.03$$

$$\eta_{2,s} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,s} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{y,Ed,s} \cdot \frac{1}{n}\right)^2} \cdot Z_{2,LM71}}{F_{b,Rd}} = 0.096$$

$$\eta_{2,LM71} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,LM71} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{y,Ed,LM71} \cdot \frac{1}{n}\right)^2} \cdot Z_{2,LM71}}{F_{b,Rd}} = 0.864$$

$$Z_{2,LM71} := \frac{1 - \eta_{2,G} - \eta_{2,W} - \eta_{2,br} - \eta_{2,s}}{\eta_{2,LM71}} = 0.979$$

únosnost v tahu

$$\eta_{3,G} := \frac{F_{x,Ed,G} \cdot \frac{1}{n}}{F_{t,Rd}} = 1.009 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{3,W} := \frac{F_{x,Ed,W} \cdot \frac{1}{n}}{F_{t,Rd}} = 3.363 \times 10^{-3}$$

$$Z_{3,LM71} := 1$$

pro iteraci

$$\eta_{3,br} := \frac{F_{x,Ed,br} \cdot \frac{1}{n} \cdot Z_{3,LM71}}{F_{t,Rd}} = 0.052$$

$$\eta_{3,s} := \frac{F_{x,Ed,s} \cdot \frac{1}{n} \cdot Z_{3,LM71}}{F_{t,Rd}} = 3.363 \times 10^{-4}$$

$$\eta_{3,LM71} := \frac{F_{x,Ed,LM71} \cdot \frac{1}{n} \cdot Z_{3,LM71}}{F_{t,Rd}} = 8.408 \times 10^{-3}$$

$$Z_{3,LM71} := \frac{1 - \eta_{3,G} - \eta_{3,W} - \eta_{3,br} - \eta_{3,s}}{\eta_{3,LM71}} = 112.155$$

Kombinace tahu a stříhu nebude rozhodující kvůli malé tahové síle v nýttech.

3.7 ZATÍŽITELNOST PŘÍČNÍKŮ

3.7.1 Stanovení zatížitelnosti příčníku 5

VÝPOČET ODOLNOSTI PŘÍČNÍKU č.5 A STANOVENÍ ZATÍŽITELNOSTI

1. vstupní údaje:

- délka prutu $L_{pr} := 4.52\text{m}$ $L_{\Phi} := 9.04\text{m}$

- průřezové charakteristiky plného průřezu

$$H := 500\text{mm} \quad H_w := H - 2 \cdot 14\text{mm} = 472\text{mm}$$

$$B := 270\text{mm} \quad A := 16535\text{mm}^2$$

$$t_f := 14\text{mm} \quad I_y := 7.030 \cdot 10^8 \text{mm}^4$$

$$t_w := 10\text{mm} \quad I_z := 4.663 \cdot 10^7 \text{mm}^4$$

$$z_p := 250\text{mm} \quad y_p := 135\text{mm}$$

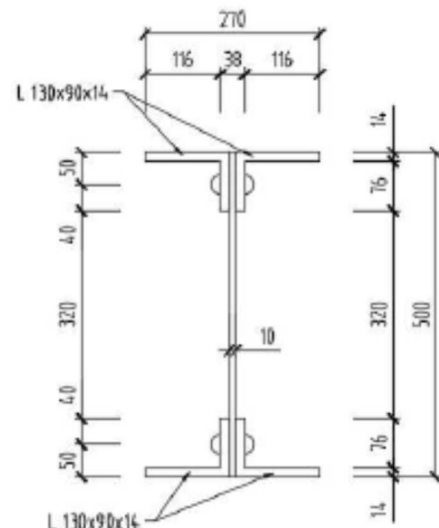
$$z_m := 250\text{mm} \quad y_m := 135\text{mm}$$

$$I_t := 3.062 \cdot 10^6 \text{mm}^4$$

$$I_w := 2.677 \cdot 10^{12} \text{mm}^6$$

$$W_{el,y} := \frac{I_y}{\frac{H}{2}} = 2812000 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el,z} := \frac{I_z}{\frac{B}{2}} = 345407 \cdot \text{mm}^3$$



- průřezové charakteristiky oslabeného průřezu v místě připoje podélníku

$$A_{net} := A - 5 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_w - 4 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_f = 14415 \cdot \text{mm}^2$$

$$I_{y,net} := I_y - 2 \cdot 0.02\text{m} \cdot 2 \cdot t_f \cdot (z_p - 50\text{mm})^2 - 4 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_w \cdot (z_p - 150\text{mm})^2 - 2 \cdot 0.01\text{m} \cdot t_w \cdot (z_p - 240\text{mm})^2 = 6.502 \times 10^8 \cdot \text{mm}^4$$

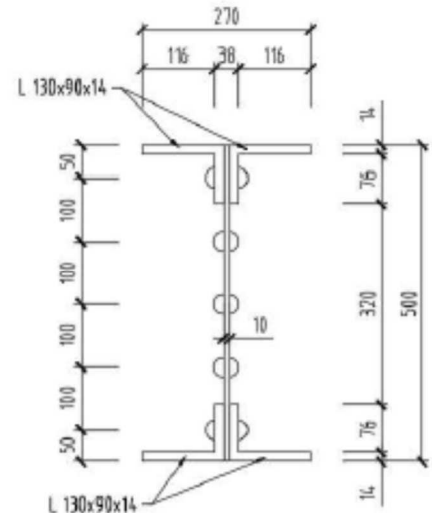
$$I_{z.net} := I_z - 10 \cdot 0.01m \cdot t_w \left(\frac{t_w}{4} \right)^2 - 4 \cdot 0.02m \cdot t_f \left(\frac{t_w}{2} + \frac{t_f}{2} \right)^2 = 4.646 \times 10^7 \cdot \text{mm}^4$$

$$W_{el.y.net} := \frac{I_{y.net}}{z_p} = 2600720 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{y.osl} := \frac{W_{el.y.net} + W_{el.y}}{2} = 2706360 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el.z.net} := \frac{I_{z.net}}{y_p} = 344166 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{z.osl} := \frac{W_{el.z.net} + W_{el.z}}{2} = 344787 \cdot \text{mm}^3$$



- materiálové charakteristiky :
- | | |
|---|-----------------------|
| svařkové železo | $\gamma_{M0} := 1.07$ |
| $E := 210 \text{ GPa}$ | $\gamma_{M1} := 1.17$ |
| $\bar{G} := \frac{E}{2 \cdot (1 + 0.3)} = 80769 \cdot \text{MPa}$ | $\gamma_{M2} := 1.3$ |
| $f_{yk} := 210 \text{ MPa}$ | |

2. zařazení průřezu dle ČSN EN 1993-1-1 čl. 5.5 :

$$\bar{\epsilon}_s := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_{yk}}} = 1.058$$

- | | | |
|-----------------|--|---------|
| - stěna na ohyb | $\frac{H - 2 \cdot 90 \text{ mm}}{t_w} < 72 \cdot \bar{\epsilon} = 1$ | třída 1 |
| - stěna na tlak | $\frac{H - 2 \cdot 90 \text{ mm}}{t_w} < 33 \cdot \bar{\epsilon} = 1$ | třída 1 |
| - pásnice | $\bar{c} := \frac{B}{2} - \frac{t_w}{2} = 130 \cdot \text{mm}$
$\frac{\bar{c}}{t_f} < 9 \bar{\epsilon} = 1$ | třída 1 |

Průřez patří do **třídy 3**, jelikož se jedná o nýťovaný průřez.

3. vnitřní síly :

- | | | | |
|------------------------------|---|---|-------------------------------------|
| - v místě připoje podélníku | $M_{y2.Ed.G} := 10.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_{z2.Ed.G} := 0.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $V_{z2.Ed.G} := -1.2 \text{ kN}$ |
| | $M_{y2.Ed.W} := 2.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_{z2.Ed.W} := 0.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $V_{z2.Ed.W} := 4.3 \text{ kN}$ |
| | $M_{y2.Ed.br} := 0.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_{z2.Ed.br} := 41.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $V_{z2.Ed.br} := 0.0 \text{ kN}$ |
| | $M_{y2.Ed.s} := 1.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_{z2.Ed.s} := 0.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $V_{z2.Ed.s} := 2.3 \text{ kN}$ |
| | $M_{y2.Ed.LM71} := 344.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_{z2.Ed.LM71} := 2.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $V_{z2.Ed.LM71} := 21.1 \text{ kN}$ |
| - v připoji na hlavní nosník | $V_{z3.Ed.G} := 9.9 \text{ kN}$ | | |

$$V_{z3.Ed.W} := 4.9 \text{ kN}$$

$$V_{z3.Ed.br} := 0.1 \text{ kN}$$

$$V_{z3.Ed.s} := 14.3 \text{ kN}$$

$$V_{z3.Ed.LM71} := 277.2 \text{ kN}$$

4. výpočet kritického momentu dle ČSN EN 1993-1-1/NA:

$$\text{- faktory vzpěrné délky} \quad k_{\omega} := 1 \quad k_y := 1 \quad k_z := 1 \quad L_z := 1.8 \text{ m}$$

$$\text{- vzdálenost působíště síly od středu smyku} \quad z_g := \frac{H}{2} = 250 \text{ mm}$$

$$\text{- moment setrvačnosti tlačené pásnice} \quad I_{fc} := \frac{1}{12} \cdot B \cdot t_f^3 = 6.174 \times 10^4 \cdot \text{mm}^4$$

$$\text{- moment setrvačnosti tažené pásnice} \quad I_{ft} := \frac{1}{12} \cdot B \cdot t_f^3 = 6.174 \times 10^4 \cdot \text{mm}^4$$

$$\text{- parametr nesymetrie průřezu} \quad \psi_f := \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} = 0$$

$$\text{- poměr koncových momentů} \quad \psi := 0.86$$

$$\text{- vzdálenost } z_j$$

$$h_f := 486 \text{ mm}$$

$$z_j := 0.45 \cdot \psi_f \cdot h_f = 0$$

$$\text{- parametr zohledňující nesymetri průřezu, krutovou a výsekovou tuhost a působíště zatížení}$$

$$\kappa_{\omega t} := \frac{\pi}{k_{\omega} \cdot L_z} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}} \quad \kappa_{\omega t} = 2.631$$

$$\zeta_g := \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L_z} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{z.net}}{G \cdot I_t}} \quad \zeta_g = 2.741$$

$$\zeta_j := \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L_z} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{z.net}}{G \cdot I_t}} \quad \zeta_j = 0$$

$$\text{- faktory zohledňující typ zatížení a podmínky uložení dle ČSN EN 1993-1-1/NA}$$

$$C_1 := 1.07 \quad \text{pre } \kappa_{\omega t} > 1 \text{ a } \psi = 0.86$$

$$C_2 := 0 \quad \text{pre } \psi_f = 0$$

$$C_3 := 1 \quad \text{pre } \psi_f = 0$$

$$\mu_{cr} := \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + \kappa_{\omega t}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right] \quad \mu_{cr} = 3.012$$

$$M_{cr} := \mu_{cr} \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_{z.net} \cdot G \cdot I_t}}{L_z}$$

$$M_{cr} = 8166 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

5. výpočet součinitele klopení :

$$\lambda' := \sqrt{\frac{W_{el,y} \cdot f_{yk}}{M_{cr}}}$$

$$\lambda' = 0.269$$

krivka vzpěrné pevnosti "d"

$$\alpha_{LT} := 0.76$$

$$\phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} (\lambda' - 0.2) + \lambda'^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0.562$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda'^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0.947$$

6. výpočet smykové odolnosti průřezu dle ČSN EN 1993-1-1 :

- statický moment plochy

$$S_y := 8268 \text{mm}^2 \cdot 196 \text{mm} = 1.621 \times 10^6 \cdot \text{mm}^3$$

- elastická smyková odolnost průřezu

$$V_{Rd} := \frac{f_{yk} \cdot I_y \cdot t_w}{S_y \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 491.557 \cdot \text{kN}$$

- plastická smyková odolnost stěny průřezu

$$V_{pl,Rd} := \frac{H_w \cdot t_w \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 534.831 \cdot \text{kN}$$

7. přídavný ohybový moment od tuhosti polorámu ČSN EN 1993-2, čl. 6.3.4.2 (5) :

- vzdálenost mezi pružinami

$$l_w := 1.8 \text{m}$$

- moment setvačnosti horního pásu včetně účinné části stěny k "z"

$$I_{w,fl} := 3.263 \cdot 10^7 \text{mm}^4$$

- statický moment plochy horního pásu včetně účinné části stěny

$$S_{yf} := 12562 \text{mm}^2 \cdot 473.8 \text{mm} = 5.952 \times 10^6 \cdot \text{mm}^3$$

- moment setvačnosti hlavního nosníku

$$I_{y.net.HL} := 5.499 \times 10^{-3} \text{m}^4$$

- maximální ohybový moment

$$M_{y.Ed,max} := 2112 \text{kN} \cdot \text{m}$$

- osová síla v horním pásu

$$N_{Ed,max} := \frac{M_{y.Ed,max} \cdot S_{yf}}{I_{y.net.HL}} = 2285.9 \cdot \text{kN}$$

- dodatečná příčná síla v místě připoje pásu ke svislici

$$F_{Ed} := \frac{N_{Ed,max}}{100} = 22.859 \cdot \text{kN}$$

- vzdálenost težiště horního pásu k horní pásnici příčniku

$$h_v := 0.322 \text{m}$$

- přídavný ohybový moment v příčniku

$$M_{y.Ed.H1} := F_{Ed} \cdot h_v = 7.361 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

8a. stanovení zatížitelnosti dle MP SŽDC v místě připoje podélníku :

$$\frac{V_{z2.Ed.G} + V_{z2.Ed.W} + V_{z2.Ed.br} + V_{z2.Ed.s} + V_{z2.Ed.LM71}}{V_{pl.Rd}} = 0.05 \quad \text{smyk nemá vliv na ohybovou odolnost průřezu}$$

$$\eta_{1.G} := \frac{M_{y2.Ed.G}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z2.Ed.G}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.026$$

$$\eta_{1.W} := \frac{M_{y2.Ed.W}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z2.Ed.W}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 7.922 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{1.H1} := \frac{M_{y.Ed.H1}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.016$$

$$\eta_{1.br} := \frac{M_{y2.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z2.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.504$$

$$\eta_{1.s} := \frac{M_{y2.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z2.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 2.939 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{1.LM71} := \frac{M_{y2.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z2.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.591$$

$$Z_{1.LM71} := \frac{1 - \eta_{1.G} - \eta_{1.W} - \eta_{1.H1} - \eta_{1.br} - \eta_{1.s}}{\eta_{1.LM71}} = 0.75$$

8b. stanovení zatížitelnosti dle MP SŽDC na konci příčniku:

$$\eta_{3.G} := \frac{V_{z3.Ed.G}}{V_{Rd}} = 0.02$$

$$\eta_{3.W} := \frac{V_{z3.Ed.W}}{V_{Rd}} = 9.968 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{3.br} := \frac{V_{z3.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{V_{Rd}} = 2.034 \times 10^{-4}$$

$$\eta_{3.s} := \frac{V_{z3.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{V_{Rd}} = 0.029$$

$$\eta_{3.LM71} := \frac{V_{z3.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{V_{Rd}} = 0.564$$

$$Z_{3.LM71} := \frac{1 - \eta_{3.G} - \eta_{3.W} - \eta_{3.br} - \eta_{3.s}}{\eta_{3.LM71}} = 1.668$$

3.7.1.1 Stanovení zatížitelnosti krčných nýtů příčníků

POSOUZENÍ KRČNÝCH NÝTŮ PŘÍČNÍKU A STANOVENÍ ZATÍŽITELNOSTI

1. vstupní údaje:

- průřezové charakteristiky

$$H := 500\text{mm} \quad H_w := H - 2 \cdot 14\text{mm} = 472\text{mm}$$

$$B := 270\text{mm} \quad A_w := 16535\text{mm}^2$$

$$t_f := 14\text{mm} \quad I_y := 7.030 \cdot 10^8 \text{mm}^4$$

$$t_w := 10\text{mm} \quad I_z := 4.663 \cdot 10^7 \text{mm}^4$$

$$z_h := 250\text{mm} \quad y_h := 135\text{mm}$$

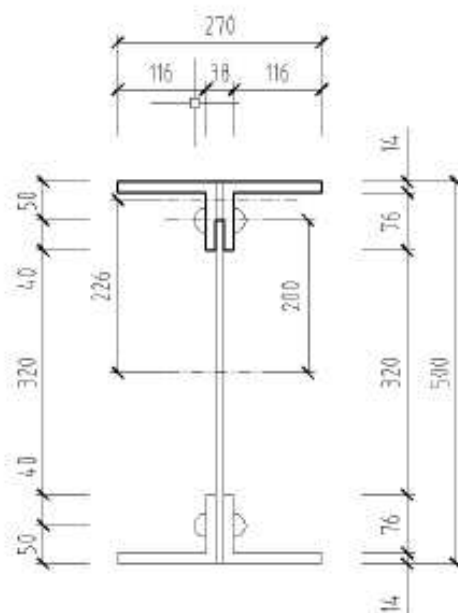
$$z_d := 250\text{mm} \quad y_d := 135\text{mm}$$

$$I_l := 3.062 \cdot 10^6 \text{mm}^4$$

$$I_w := 2.677 \cdot 10^{12} \text{mm}^6$$

$$W_{eLy} := \frac{I_y}{\frac{H}{2}} = 2812000 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{eLz} := \frac{I_z}{\frac{B}{2}} = 345407 \cdot \text{mm}^3$$



- materiálové charakteristiky

$$f_{yk} := 210\text{MPa}$$

$$f_{yr} := 200\text{MPa}$$

$$f_{ur} := 310\text{MPa}$$

$$f_{uk} := 340\text{MPa}$$

- dílčí součinitele spolehlivosti

$$\gamma_{M0} := 1.07$$

$$\gamma_{M1} := 1.17$$

$$\gamma_{M2} := 1.3$$

- osová vzdálenost nýtů

$$p_1 := 100\text{mm}$$

- počet stříhů v přípoj

$$i := 2$$

- průměr nýtu

$$\Phi_r := 21\text{mm}$$

- vzdálenost nýtu od okraje - kolmo na směr síly

$$e_2 := 40\text{mm}$$

- vzdálenost nýtu od okraje - ve směru síly

$$e_1 := 45\text{mm}$$

- návrhová smyková síla v příčniku

$$V_{z,Ed,G} := 9.9\text{kN}$$

$$V_{z,Ed,W} := 4.9\text{kN}$$

$$V_{z,Ed,br} := 0.1\text{kN}$$

$$V_{z,Ed,s} := 14.3\text{kN}$$

$$V_{z,Ed,LM71} := 284.6\text{kN}$$

2. výpočet odolnosti nýtovaného přípoje dle ČSN EN 1993-1-8

- odolnost v stříhu

$$A_0 := \pi \cdot \frac{\Phi_r^2}{4} = 346.361 \cdot \text{mm}^2$$

$$F_{v,Rd} := \frac{0.6 \cdot f_{ur} \cdot A_0 \cdot i}{\gamma_{M2}} = 99.112 \cdot \text{kN}$$

- odolnost v otláčení - krajní nýt

$$k_1 := \min\left(\frac{2.8 \cdot e_2}{\Phi_r} - 1.7, 2.5\right) = 2.5 \quad \alpha_d := \frac{e_1}{3 \cdot \Phi_r} = 0.714 \quad \alpha_b := \min\left(\alpha_d, \frac{f_{ur}}{f_{uk}}, 1\right) = 0.714$$

$$F_{b,Rd.1} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{uk} \cdot \Phi_r \cdot t_f}{\gamma_{M2}} = 137.308 \cdot \text{kN}$$

- odolnost v otláčení - vnitřní nýt

$$k_{1W} := \min\left(\frac{2.8 \cdot e_2}{\Phi_r} - 1.7, 2.5\right) = 2.5 \quad \alpha_{dW} := \frac{p_1}{3 \cdot \Phi_r} - \frac{1}{4} = 1.337 \quad \alpha_{bW} := \min\left(\alpha_d, \frac{f_{ur}}{f_{uk}}, 1\right) = 0.912$$

$$F_{b,Rd.2} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{uk} \cdot \Phi_r \cdot t_f}{\gamma_{M2}} = 175.269 \cdot \text{kN}$$

$$F_{b,Rd} := \min(F_{b,Rd.1}, F_{b,Rd.2}) = 137.308 \cdot \text{kN}$$

3. výpočet smykového toku v krčnících nýtech příčniku

- statický moment plochy po os krčnících nýtů

$$S_y := 2 \cdot 2884 \text{ mm}^2 \cdot 226.4 \text{ mm} + 50 \text{ mm} \cdot t_w \cdot \left(\frac{H}{2} - 25 \text{ mm}\right) = 1418375 \cdot \text{mm}^3$$

- smykový tok

$$\tau_G := \frac{V_{z,Ed,G} \cdot S_y}{I_y} = 19.974 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\tau_W := \frac{V_{z,Ed,W} \cdot S_y}{I_y} = 9.886 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\tau_{br} := \frac{V_{z,Ed,br} \cdot S_y}{I_y} = 0.202 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\tau_s := \frac{V_{z,Ed,s} \cdot S_y}{I_y} = 28.852 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\tau_{LM71} := \frac{V_{z,Ed,LM71} \cdot S_y}{I_y} = 574.21 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

4. určení zatížitelnosti dle MPSŽDC:

únosnost v stříhu

$$\eta_{1G} := \frac{p_1 \cdot \tau_G}{F_{v,Rd}} = 0.02$$

$$Z_{LM71,a} := 1 \text{ pro iteraci}$$

$$\eta_{1W} := \frac{p_1 \cdot \tau_W}{F_{v,Rd}} = 9.975 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{1br} := \frac{p_1 \cdot \tau_{br} \cdot Z_{LM71,a}}{F_{v,Rd}} = 2.036 \times 10^{-4}$$

$$\eta_{1s} := \frac{p_1 \cdot \tau_s \cdot Z_{LM71,a}}{F_{v,Rd}} = 0.029$$

$$\eta_{1LM71} := \frac{p_1 \cdot \tau_{LM71} \cdot Z_{LM71,a}}{F_{v,Rd}} = 0.579$$

$$Z_{LM71,a} := \frac{1 - \eta_{1G} - \eta_{1W} - \eta_{1br} - \eta_{1s}}{\eta_{1LM71}} = 1.623$$

únosnost v otláčení

$$\eta_{2G} := \frac{p_1 \cdot \tau_G}{F_{b,Rd}} = 0.015$$

$$Z_{LM71,b} := 1 \text{ pro iteraci}$$

$$\eta_{2W} := \frac{p_1 \cdot \tau_W}{F_{b,Rd}} = 7.2 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{2br} := \frac{p_1 \cdot \tau_{br} \cdot Z_{LM71,b}}{F_{b,Rd}} = 1.469 \times 10^{-4}$$

$$\eta_{2s} := \frac{p_1 \cdot \tau_s \cdot Z_{LM71,b}}{F_{b,Rd}} = 0.021$$

$$\eta_{2LM71} := \frac{p_1 \cdot \tau_{LM71} \cdot Z_{LM71,b}}{F_{b,Rd}} = 0.418$$

$$Z_{LM71,b} := \frac{1 - \eta_{2G} - \eta_{2W} - \eta_{2br} - \eta_{2s}}{\eta_{2LM71}} = 2.289$$

$$Z_{LM71} := \min(Z_{LM71,a}, Z_{LM71,b}) = 1.623$$

3.7.1.2 Stanovení zatížitelnosti přípoje příčnicku na hlavní nosník – část 1

POSOUZENÍ PŘÍPOJE PŘÍČNÍKU NA HLAVNÍ NOSNÍK

1. vstupní údaje:

- vnitřní síly v přípoji

$$F_{z,Ed,G} := 9.9 \text{ kN} \quad F_{z,Ed,W} := 4.9 \text{ kN} \quad F_{z,Ed,LM71} := 277.2 \text{ kN} \quad F_{z,Ed,br} := 0.1 \text{ kN} \quad F_{z,Ed,s} := 14.3 \text{ kN}$$

$$F_{x,Ed,G} := 7.6 \text{ kN} \quad F_{x,Ed,W} := 5.0 \text{ kN} \quad F_{x,Ed,LM71} := 129.4 \text{ kN} \quad F_{x,Ed,br} := 1.3 \text{ kN} \quad F_{x,Ed,s} := 39.7 \text{ kN}$$

- počet nýtů v přípoji

$$n := 9$$

- počet stříhů v přípoji

$$i := 2$$

- průměr nýtu

$$\Phi_r := 21 \text{ mm}$$

- vzdálenost nýtu od okraje - kolmo na směr síly

$$e_2 := 30 \text{ mm}$$

- vzdálenost nýtu od okraje - ve směru síly

$$e_1 := 35 \text{ mm}$$

- osová vzdálenost nýtů

$$p_1 := 100 \text{ mm}$$

- tloušťka spájaného materiálu

$$t := 8 \text{ mm}$$

- materiálové charakteristiky

$$f_{ur} := 310 \text{ MPa}$$

$$f_{yr} := 200 \text{ MPa}$$

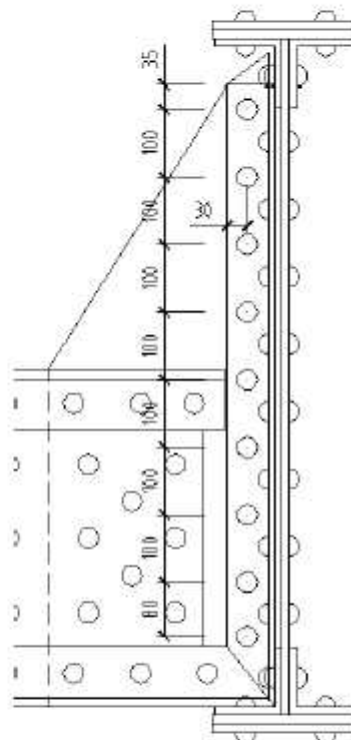
$$f_{uk} := 360 \text{ MPa}$$

- dílčí součinitelé spolehlivosti

$$\gamma_{M0} := 1.07$$

$$\gamma_{M1} := 1.17$$

$$\gamma_{M2} := 1.3$$



2. výpočet odolnosti nýtového přípoje

- odolnost v stříhu

$$A_0 := \pi \cdot \frac{\Phi_r^2}{4} = 346.361 \cdot \text{mm}^2$$

$$F_{v,Rd} := \frac{0.6 \cdot f_{ur} \cdot A_0 \cdot i}{\gamma_{M2}} = 99.112 \text{ kN}$$

- odolnost v otažení - krajní nýt

$$k_1 := \min \left(\frac{2.8 \cdot e_2}{\Phi_r} - 1.7, 2.5 \right) = 2.3 \quad \alpha_d := \frac{e_1}{3 \cdot \Phi_r} = 0.556$$

$$\alpha_b := \min \left(\alpha_d, \frac{f_{ur}}{f_{uk}}, 1 \right) = 0.556$$

$$F_{b,Rd,1} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{uk} \cdot \Phi_r \cdot t}{\gamma_{M2}} = 59.446 \text{ kN}$$

- odolnost v otažení - vnitřní nýt

$$k_1 := \min\left(\frac{2.8e_2}{\Phi_r} - 1.7, 2.5\right) = 2.3 \quad \alpha_d := \frac{p_1}{3 \cdot \Phi_r} - \frac{1}{4} = 1.337 \quad \alpha_{br} := \min\left(\alpha_d, \frac{f_{ur}}{f_{uk}}, 1\right) = 0.861$$

$$F_{b,Rd.2} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{uk} \cdot \Phi_r^1}{\gamma_{M2}} = 92.142 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} := \min(F_{b,Rd.1}, F_{b,Rd.2}) = 59.446 \text{ kN}$$

3. stanovení zatížitelnosti dle MP SŽDC:

únosnost v střihu

$$\eta_{1,G} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,G} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{x,Ed,G} \cdot \frac{1}{n}\right)^2}}{F_{v,Rd}} = 0.014$$

$$\eta_{1,W} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,W} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{x,Ed,W} \cdot \frac{1}{n}\right)^2}}{F_{v,Rd}} = 7.848 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{1,br} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,br} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{x,Ed,br} \cdot \frac{1}{n}\right)^2} \cdot Z_{1,LM71}}{F_{v,Rd}} = 1.462 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{1,s} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,s} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{x,Ed,s} \cdot \frac{1}{n}\right)^2} \cdot Z_{1,LM71}}{F_{v,Rd}} = 0.047$$

$$\eta_{1,LM71} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,LM71} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{x,Ed,LM71} \cdot \frac{1}{n}\right)^2} \cdot Z_{1,LM71}}{F_{v,Rd}} = 0.343$$

$$Z_{1,LM71} := \frac{1 - \eta_{1,G} - \eta_{1,W} - \eta_{1,br} - \eta_{1,s}}{\eta_{1,LM71}} = 2.71$$

$$Z_{1,LM71} \geq 1$$

pro iteraci

únosnost v otažení

$$\eta_{2,G} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,G} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{x,Ed,G} \cdot \frac{1}{n}\right)^2}}{F_{b,Rd}} = 0.023$$

$$\eta_{2,W} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,W} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{x,Ed,W} \cdot \frac{1}{n}\right)^2}}{F_{b,Rd}} = 0.013$$

$$\eta_{2,br} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,br} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{x,Ed,br} \cdot \frac{1}{n}\right)^2} \cdot Z_{2,LM71}}{F_{b,Rd}} = 2.437 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{2,s} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,s} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{x,Ed,s} \cdot \frac{1}{n}\right)^2} \cdot Z_{2,LM71}}{F_{b,Rd}} = 0.079$$

$$\eta_{2,LM71} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,LM71} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{x,Ed,LM71} \cdot \frac{1}{n}\right)^2} \cdot Z_{2,LM71}}{F_{b,Rd}} = 0.572$$

$$\cancel{Z_{2,LM71}} := \frac{1 - \eta_{2,G} - \eta_{2,W} - \eta_{2,br} - \eta_{2,s}}{\eta_{2,LM71}} = 1.543$$

$$Z_{LM71} := \min(Z_{1,LM71}, Z_{2,LM71}) = 1.543$$

$$Z_{2,LM71} := 1$$

pro iteraci

3.7.1.3 Stanovení zatížitelnosti přípoje příčnicku na hlavní nosník – část 2

POSOUZENÍ PŘÍPOJE PŘÍČNÍKU NA HLAVNÍ NOSNÍK

1. vstupní údaje:

- vnitřní síly v přípoji

$$\begin{aligned} F_{z,Ed,G} &:= 9.9 \text{ kN} & F_{z,Ed,W} &:= 4.9 \text{ kN} & F_{z,Ed,LM71} &:= 277.2 \text{ kN} & F_{z,Ed,br} &:= 0.1 \text{ kN} & F_{z,Ed,s} &:= 14.3 \text{ kN} \\ F_{y,Ed,G} &:= 0.1 \text{ kN} & F_{y,Ed,W} &:= 0.1 \text{ kN} & F_{y,Ed,LM71} &:= 1.7 \text{ kN} & F_{y,Ed,br} &:= 15.2 \text{ kN} & F_{y,Ed,s} &:= 0.1 \text{ kN} \\ M_{y,Ed,G} &:= -1.5 \text{ kN}\cdot\text{m} & M_{y,Ed,W} &:= -2.4 \text{ kN}\cdot\text{m} & M_{y,Ed,LM71} &:= -32.7 \text{ kN}\cdot\text{m} & M_{y,Ed,br} &:= 0.0 \text{ kN}\cdot\text{m} & M_{y,Ed,s} &:= -16.0 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

- počet nýtů v přípoji

$$n := 8$$

- počet stříhů v přípoji

$$i := 1$$

- průměr nýtu

$$\Phi_r := 21 \text{ mm}$$

- vzdálenost nýtu od okraje - kolmo na směr síly

$$e_2 := 30 \text{ mm}$$

- vzdálenost nýtu od okraje - ve směru síly

$$e_1 := 30 \text{ mm}$$

- osová vzdálenost nýtů

$$p_1 := 100 \text{ mm}$$

- tloušťka spájaného materiálu

$$t := 8 \text{ mm}$$

- materiálové charakteristiky

$$f_{ur} := 310 \text{ MPa}$$

$$f_{yr} := 200 \text{ MPa}$$

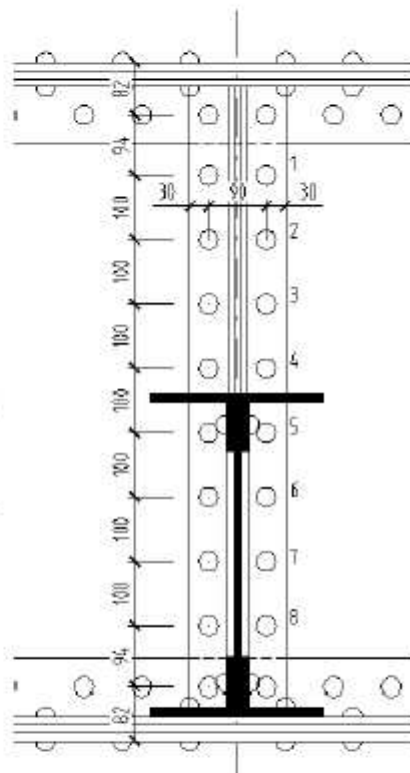
$$f_{uk} := 360 \text{ MPa}$$

- dílčí součinitelé spolehlivosti

$$\gamma_{M0} := 1.07$$

$$\gamma_{M1} := 1.17$$

$$\gamma_{M2} := 1.3$$



2. výpočet tahové síly v nýtech od ohybového momentu v přípoji

Bod otáčení je uvažován ve středu spodních nýtů č.8, tj. 82mm od spodní pásnice hlavního nosníku.

- rameno síly od bodu otáčení

$$r_1 := 700 \text{ mm} \quad r_2 := 600 \text{ mm} \quad r_3 := 500 \text{ mm} \quad r_4 := 400 \text{ mm} \quad r_5 := 300 \text{ mm} \quad r_6 := 200 \text{ mm} \quad r_7 := 100 \text{ mm}$$

$$F_{L1,G} := \frac{|M_{y,Ed,G}| \cdot r_1}{(r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + r_4^2 + r_5^2 + r_6^2 + r_7^2)} = 0.75 \text{ kN}$$

$$F_{L1,W} := \frac{|M_{y,Ed,W}| \cdot r_1}{(r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + r_4^2 + r_5^2 + r_6^2 + r_7^2)} = 1.2 \text{ kN}$$

$$F_{L1,br} := \frac{|M_{y,Ed,br}| \cdot r_1}{(r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + r_4^2 + r_5^2 + r_6^2 + r_7^2)} = 0 \text{ kN}$$

$$F_{L1,s} := \frac{|M_{y,Ed,s}| \cdot r_1}{(r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + r_4^2 + r_5^2 + r_6^2 + r_7^2)} = 8 \text{ kN}$$

$$F_{L1,LM71} := \frac{|M_{y,Ed,LM71}| \cdot r_1}{(r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + r_4^2 + r_5^2 + r_6^2 + r_7^2)} = 16.35 \text{ kN}$$

2 výpočet odolnosti nýtového připoje

- odolnost v stříhu

$$A_0 := \pi \cdot \frac{\Phi_r^2}{4} = 346.361 \cdot \text{mm}^2$$

$$F_{v,Rd} := \frac{0.6 \cdot f_{ur} \cdot A_0 \cdot i}{\gamma_{M2}} = 49.556 \text{ kN}$$

- odolnost v otláčení - krajní nýt

$$k_1 := \min\left(\frac{2.8 \cdot e_2}{\Phi_r} - 1.7, 2.5\right) = 2.3 \quad \alpha_d := \frac{e_1}{3 \cdot \Phi_r} = 0.476$$

$$\alpha_b := \min\left(\alpha_d, \frac{f_{ur}}{f_{uk}}, 1\right) = 0.476$$

$$F_{b,Rd,1} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{uk} \cdot \Phi_r \cdot t}{\gamma_{M2}} = 50.954 \text{ kN}$$

- odolnost v otláčení - vnitřní nýt

$$k_1 := \min\left(\frac{2.8 \cdot e_2}{\Phi_r} - 1.7, 2.5\right) = 2.3 \quad \alpha_d := \frac{p_1}{3 \cdot \Phi_r} - \frac{1}{4} = 1.337$$

$$\alpha_b := \min\left(\alpha_d, \frac{f_{ur}}{f_{uk}}, 1\right) = 0.861$$

$$F_{b,Rd,2} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{uk} \cdot \Phi_r \cdot t}{\gamma_{M2}} = 92.142 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} := \min(F_{b,Rd,1}, F_{b,Rd,2}) = 50.954 \text{ kN}$$

- odolnost v tahu

$$A_0 := \pi \cdot \frac{\Phi_r^2}{4} = 346.361 \cdot \text{mm}^2$$

$$F_{t,Rd} := \frac{0.6 \cdot f_{ur} \cdot A_0}{\gamma_{M2}} = 49.556 \text{ kN}$$

3. stanovení zatžitelnosti dle MP SŽDC:

únosnost v stříhu

$$\eta_{1,G} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,G} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{y,Ed,G} \cdot \frac{1}{n}\right)^2}}{F_{v,Rd}} = 0.025$$

$$\eta_{1,W} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,W} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{y,Ed,W} \cdot \frac{1}{n}\right)^2}}{F_{v,Rd}} = 0.012$$

$$\eta_{1,br} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,br} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{y,Ed,br} \cdot \frac{1}{n}\right)^2} \cdot Z_{1,LM71}}{F_{v,Rd}} = 0.038$$

$$\eta_{1,s} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,s} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{y,Ed,s} \cdot \frac{1}{n}\right)^2} \cdot Z_{1,LM71}}{F_{v,Rd}} = 0.036$$

$$\eta_{1,LM71} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,LM71} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{y,Ed,LM71} \cdot \frac{1}{n}\right)^2} \cdot Z_{1,LM71}}{F_{v,Rd}} = 0.699$$

$$Z_{1,LM71} := \frac{1 - \eta_{1,G} - \eta_{1,W} - \eta_{1,br} - \eta_{1,s}}{\eta_{1,LM71}} = 1.27$$

$Z_{1,LM71} \approx 1$
pro iteraci

únosnost v otláčení

$$\eta_{2,G} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,G} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{y,Ed,G} \cdot \frac{1}{n}\right)^2}}{F_{b,Rd}} = 0.024$$

$$\eta_{2,W} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,W} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{y,Ed,W} \cdot \frac{1}{n}\right)^2}}{F_{b,Rd}} = 0.012$$

$$\eta_{2,br} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,br} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{y,Ed,br} \cdot \frac{1}{n}\right)^2} \cdot Z_{2,LM71}}{F_{b,Rd}} = 0.037$$

$$\eta_{2,s} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,s} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{y,Ed,s} \cdot \frac{1}{n}\right)^2} \cdot Z_{2,LM71}}{F_{b,Rd}} = 0.035$$

$$\eta_{2,LM71} := \frac{\sqrt{\left(F_{z,Ed,LM71} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 + \left(F_{y,Ed,LM71} \cdot \frac{1}{n}\right)^2} \cdot Z_{2,LM71}}{F_{b,Rd}} = 0.68$$

$Z_{2,LM71} \approx 1$
pro iteraci

$$Z_{3,LM71} := \frac{1 - \eta_{2,G} - \eta_{2,W} - \eta_{2,br} - \eta_{2,s}}{\eta_{2,LM71}} = 1,311$$

únosnost v tahu

$$\eta_{3,G} := \frac{F_{L1,G} \cdot \frac{1}{n}}{F_{t,Rd}} = 1,892 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{3,W} := \frac{F_{L1,W} \cdot \frac{1}{n}}{F_{t,Rd}} = 3,027 \times 10^{-3}$$

$$Z_{3,LM71} \approx 1$$

pro iteraci

$$\eta_{3,br} := \frac{F_{L1,br} \cdot \frac{1}{n} \cdot Z_{3,LM71}}{F_{t,Rd}} = 0$$

$$\eta_{3,s} := \frac{F_{L1,s} \cdot \frac{1}{n} \cdot Z_{3,LM71}}{F_{t,Rd}} = 0,02$$

$$\eta_{3,LM71} := \frac{F_{L1,LM71} \cdot \frac{1}{n} \cdot Z_{3,LM71}}{F_{t,Rd}} = 0,041$$

$$Z_{3,LM71} := \frac{1 - \eta_{3,G} - \eta_{3,W} - \eta_{3,br} - \eta_{3,s}}{\eta_{3,LM71}} = 23,639$$

Kombinace tahu a stíhu nebude rozhodující kvůli malé tahové síle v nýtech.

3.8 ZATÍŽITELNOST HLAVNÍCH NOSNÍKŮ

3.8.1 Stanovení zatížitelnosti hlavního nosníku 3

VÝPOČET ODOLNOSTI HLAVNÍHO NOSNÍKU Ž.3 A STANOVENÍ ZATÍŽITELNOSTI

1. vstupní údaje:

- délka prutu $L_{\text{hn}} := 10.8\text{m}$ $L_{\Phi} := 10.8\text{m}$

- průřezové charakteristiky plného průřezu

$$H := 1000\text{mm}$$

$$H_w := 976\text{mm}$$

$$B := 210\text{mm}$$

$$A := 19024\text{mm}^2$$

$$t_f := 12\text{mm}$$

$$I_y := 2.840 \cdot 10^9 \text{mm}^4$$

$$t_w := 10\text{mm}$$

$$I_z := 1.918 \cdot 10^7 \text{mm}^4$$

$$z_p := 500\text{mm}$$

$$y_p := 105\text{mm}$$

$$z_m := 500\text{mm}$$

$$y_m := 105\text{mm}$$

$$I_t := 2.603 \cdot 10^6 \text{mm}^4$$

$$I_w := 4.589 \cdot 10^{12} \text{mm}^6$$

$$W_{el,y} := \frac{I_y}{\frac{H}{2}} = 5680000 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el,z} := \frac{I_z}{\frac{B}{2}} = 182667 \cdot \text{mm}^3$$

- průřezové charakteristiky oslabeného průřezu

$$A_{\text{net}} := A - 10 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_w - 4 \cdot 0.02\text{m} \cdot 0.012\text{m} = 16064 \cdot \text{mm}^2$$

$$I_{y,\text{net}} := I_y - 2 \cdot 20\text{mm} \cdot 34\text{mm} \cdot (z_p - 56\text{mm})^2 - 2 \cdot 20\text{mm} \cdot t_w \left[(z_p - 150\text{mm})^2 + (z_p - 250\text{mm})^2 + (z_p - 350\text{mm})^2 \dots + (z_p - 450\text{mm})^2 \right] = 2.488 \times 10^{-3}$$

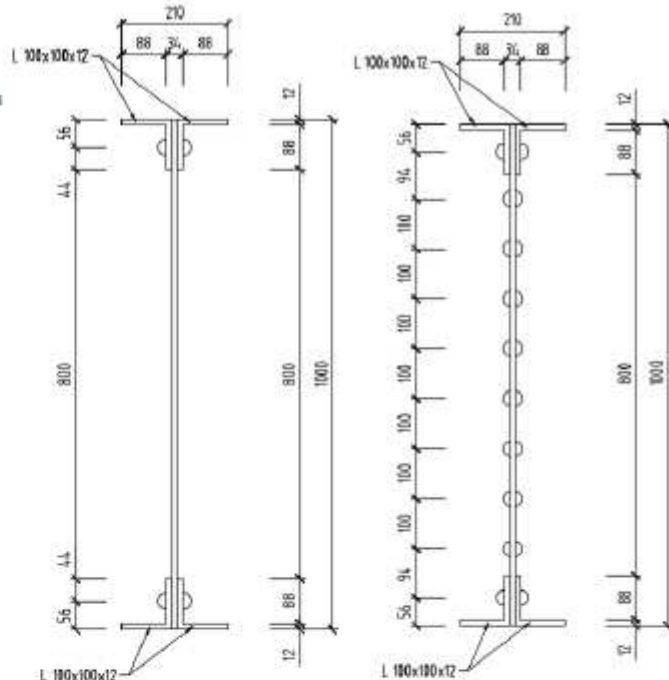
$$I_{z,\text{net}} := I_z - 20 \cdot 10\text{mm} \cdot t_w \left(\frac{t_w}{4} \right)^2 - 4 \cdot 20\text{mm} \cdot 12\text{mm} \left(\frac{t_w}{2} + \frac{12\text{mm}}{2} \right)^2 = 1.905 \times 10^7 \cdot \text{mm}^4$$

$$W_{el,y,\text{net}} := \frac{I_{y,\text{net}}}{z_p} = 4975790 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{y,\text{osl}} := \frac{W_{el,y,\text{net}} + W_{el,y}}{2} = 5327895 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el,z,\text{net}} := \frac{I_{z,\text{net}}}{y_p} = 181441 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{z,\text{osl}} := \frac{W_{el,z,\text{net}} + W_{el,z}}{2} = 182054 \cdot \text{mm}^3$$



$$f_{uk} := 340 \text{ MPa}$$

$$\lambda'_{pM} := \frac{\frac{h_w}{t_w}}{28.4 \cdot \epsilon \cdot \sqrt{k_{\sigma M}}} = 0.545$$

$$\rho_M := 1$$

Boulení vlivem ohybu nenastane.

4. boulení vlivem smyku dle ČSN EN 1993-1-5:

$$\eta := 1.2 \quad \text{dle ČSN EN 1993-1-5/NA}$$

- vzdálenost příčných výstuh

$$a := 1.8 \text{ m} \quad \frac{a}{h_w} = 2.25$$

- součinitel kritického napětí

$$k_T := 5.34 + 4 \cdot \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 = 6.13$$

$$\frac{h_w}{t_w} < \frac{31}{\eta} \cdot \epsilon \cdot \sqrt{k_T} = 0$$

nastává boulení vlivem smyku

- návrhová únosnost ve smyku

$$\lambda'_w := \frac{h_w}{37.4 \cdot t_w \cdot \epsilon \cdot \sqrt{k_T}} = 0.817$$

$$\chi_w := \frac{0.83}{\lambda'_w} = 1.016$$

$$V_{bw,Rd} := \frac{\chi_w \cdot f_{yk} \cdot h_w \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 842.522 \text{ kN}$$

S příspěvkem pásnic se neuvažuje.

5. vnitřní síly:

- v místě změny průřezu

$M_{y,Ed,G} := 44.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,Ed,G} := 0.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$V_{z,Ed,G} := 32.9 \text{ kN}$	$N_{Ed,G} := -3.0 \text{ kN}$
$M_{y,Ed,W} := 15.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,Ed,W} := -0.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$V_{z,Ed,W} := 8.3 \text{ kN}$	$N_{Ed,W} := 5.6 \text{ kN}$
$M_{y,Ed,br} := 0.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,Ed,br} := 0.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$V_{z,Ed,br} := -2.0 \text{ kN}$	$N_{Ed,br} := 14.7 \text{ kN}$
$M_{y,Ed,s} := 28.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,Ed,s} := 3.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$V_{z,Ed,s} := 11.1 \text{ kN}$	$N_{Ed,s} := 27.5 \text{ kN}$
$M_{y,Ed,LM71} := 708.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,Ed,LM71} := 0.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$V_{z,Ed,LM71} := 546.5 \text{ kN}$	$N_{Ed,LM71} := -51.3 \text{ kN}$

- v místě připoje příčniku nad ložiskem

$$V_{z2.Ed.G} := 35.1 \text{ kN}$$

$$V_{z2.Ed.W} := 11.2 \text{ kN}$$

$$V_{z2.Ed.br} := 2.0 \text{ kN}$$

$$V_{z2.Ed.s} := 11.7 \text{ kN}$$

$$V_{z2.Ed.LM71} := 546.6 \text{ kN}$$

6. výpočet kritického momentu pro klopení hlavního nosníku :

- faktor kritického momentu ze stabilitní analýzy

$$\alpha_{cr} := 9.892$$

- maximální ohybový moment

$$M_{Ek,max} := 686 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- kritický moment pro klopení hlavního nosníku

$$M_{cr} := M_{Ek,max} \cdot \alpha_{cr} = 6786 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

7. výpočet součinitele klopení dle ČSN EN 1993-1-1 d. 6322 :

$$\lambda' := \sqrt{\frac{W_{el,y} \cdot f_{yk}}{M_{cr}}}$$

$$\lambda' = 0.419$$

krivka vzpernej pevnosti "d"

$$\alpha_{LT} := 0.76$$

$$\phi_{LT} := 0.5 \left[1 + \alpha_{LT} (\lambda' - 0.2) + \lambda'^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0.671$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda'^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0.837$$

8. výpočet smykové odolnosti průřezu dle ČSN EN 1993-1-1 :

- statický moment plochy

$$S_y := 9512 \text{ mm}^2 \cdot 354.6 \text{ mm} = 3.373 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

- elastická smyková odolnost

$$V_{Rd} := \frac{f_{yk} \cdot I_y \cdot t_w}{S_y \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 954.075 \text{ kN}$$

- plastická smyková odolnost

$$V_{pl,Rd} := \frac{H_w \cdot t_w \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 1.106 \times 10^3 \text{ kN}$$

9. určení zatížitelnosti dle MPSŽDC v místě změny průřezu - pro horní vlákna :

$$\frac{V_{z.Ed.G} + V_{z.Ed.W} + V_{z.Ed.LM71} + V_{z.Ed.br} + V_{z.Ed.s}}{V_{pl,Rd}} = 0.54 \quad \text{smyk má vliv na ohybovou odolnost průřezu}$$

$$\eta_{1,G} := \frac{-N_{Ed,G}}{A_{eff} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed,G}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed,G}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.053$$

$$\eta_{1,W} := \frac{-N_{Ed,W}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed,W}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed,W}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.014$$

$$\eta_{1,br} := \frac{-N_{Ed,br} \cdot Z_{LM71}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed,br} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed,br} \cdot Z_{LM71}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = -2.655 \times 10^{-3}$$

$Z_{LM71} \approx 0.762$
pro iteraci

$$\eta_{1,s} := \frac{-N_{Ed,s} \cdot Z_{LM71}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed,s} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed,s} \cdot Z_{LM71}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.098$$

$$\eta_{1,LM71} := \frac{-N_{Ed,LM71} \cdot Z_{LM71}}{A_{eff} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed,LM71} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed,LM71} \cdot Z_{LM71}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.656$$

$$\eta_{3,G} := \frac{V_{z,Ed,G}}{V_{bw,Rd}} = 0.039$$

$$\eta_{3,W} := \frac{V_{z,Ed,W}}{V_{bw,Rd}} = 9.851 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{3,br} := \frac{V_{z,Ed,br} \cdot Z_{LM71}}{V_{bw,Rd}} = -1.809 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{3,s} := \frac{V_{z,Ed,s} \cdot Z_{LM71}}{V_{bw,Rd}} = 0.01$$

$$\eta_{3,LM71} := \frac{V_{z,Ed,LM71} \cdot Z_{LM71}}{V_{bw,Rd}} = 0.494$$

- ohybový moment únosnosti průřezu složeného z účinných ploch pásnic

$$I_{yf} := 2 \cdot \left[\frac{1}{12} B \cdot t_f^3 + B \cdot t_f \cdot \left(z_p - \frac{t_f}{2} \right)^2 \right] = 1.23 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$M_{f,N,Rd} := \frac{I_{yf}}{z_p} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 482.804 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

- ohybový moment únosnosti plného průřezu

$$M_{N,Rd} := \frac{I_y}{z_p} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 1.115 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$k := 1 - \left(\frac{M_{f,N,Rd}}{M_{N,Rd}} \right) = 0.567$$

$$\begin{aligned}
& + k \cdot Z_{3LM71}^2 \cdot \eta_{3,LM71} \dots \\
& + Z_{3LM71} \left[\eta_{1,LM71} + 8 \cdot k \cdot \eta_{3,LM71} \cdot (\eta_{3,G} + \eta_{3,W} + \eta_{3,br} + \eta_{3,s}) - 4 \cdot k \cdot \eta_{3,LM71} \right] \dots \\
& + (\eta_{1,G} + \eta_{1,W} + \eta_{1,br} + \eta_{1,s}) \dots \\
& + 4 \cdot k \cdot (\eta_{3,G} + \eta_{3,W} + \eta_{3,br} + \eta_{3,s})^2 - 4 \cdot k \cdot (\eta_{3,G} + \eta_{3,W} + \eta_{3,br} + \eta_{3,s}) + k - 1
\end{aligned}
= 0 \text{ solve } \rightarrow \begin{pmatrix} 0.76109840620101090531 \\ -0.46039373053945098113 \end{pmatrix}$$

$$Z_{3LM71} := 0.761$$

10. určení zatížitelnosti dle MP SŽDC v místě případě přičniku nad ložiskem:

$$\eta_{3,G} := \frac{V_{z2,Ed,G}}{V_{bw,Rd}} = 0.042$$

$$\eta_{3,W} := \frac{V_{z2,Ed,W}}{V_{bw,Rd}} = 0.013$$

$$Z_{LM71} := 1$$

pro iteraci

$$\eta_{3,br} := \frac{V_{z2,Ed,br} \cdot Z_{LM71}}{V_{bw,Rd}} = 2.374 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{3,s} := \frac{V_{z2,Ed,s} \cdot Z_{LM71}}{V_{bw,Rd}} = 0.014$$

$$\eta_{3,LM71} := \frac{V_{z2,Ed,LM71} \cdot Z_{LM71}}{V_{bw,Rd}} = 0.649$$

$$Z_{LM71} := \frac{1 - \eta_{3,G} - \eta_{3,W} - \eta_{3,br} - \eta_{3,s}}{\eta_{3,LM71}} = 1.432$$

3.8.1.1 Stanovení zatížitelnosti krčních nýtů hlavního nosníku

POSOUZENÍ KRČNÍCH NÝTŮ PODÉLNÍKA A STANOVENÍ ZATÍŽITELNOSTI

1. vstupní údaje:

- průřezové charakteristiky

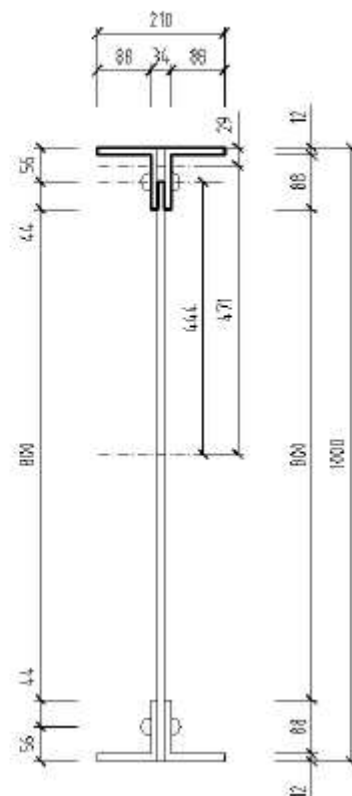
$$\begin{aligned} H &:= 1000 \text{ mm} & H_w &:= 976 \text{ mm} \\ B &:= 210 \text{ mm} & A &:= 19024 \text{ mm}^2 \\ t_f &:= 12 \text{ mm} & I_y &:= 2.840 \cdot 10^9 \text{ mm}^4 \\ t_w &:= 10 \text{ mm} & I_z &:= 1.918 \cdot 10^7 \text{ mm}^4 \\ z_h &:= 500 \text{ mm} & y_h &:= 105 \text{ mm} \\ z_d &:= 500 \text{ mm} & y_d &:= 105 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$I_t := 2.603 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_w := 4.589 \cdot 10^{12} \text{ mm}^6$$

$$W_{el,y} := \frac{I_y}{\frac{H}{2}} = 5680000 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el,z} := \frac{I_z}{\frac{B}{2}} = 182667 \cdot \text{mm}^3$$



- materiálové charakteristiky $f_{yk} := 210 \text{ MPa}$ $f_{yt} := 200 \text{ MPa}$ $f_{ur} := 310 \text{ MPa}$ $f_{uk} := 340 \text{ MPa}$
- partiální součinitele spolehlivosti $\gamma_{M0} := 1.07$ $\gamma_{M1} := 1.17$ $\gamma_{M2} := 1.3$
- osová vzdálenost nýtů $p_1 := 120 \text{ mm}$
- počet stříhů v přípoj $i := 2$
- průměr nýtu $\Phi_t := 21 \text{ mm}$
- vzdálenost nýtu od okraje - kolmo na směr síly $e_2 := 45 \text{ mm}$
- vzdálenost nýtu od okraje - ve směru síly $e_1 := 45 \text{ mm}$

- návrhová smyková síla v příčniku

$$V_{z,Ed,G} := 35.1 \text{ kN} \quad V_{z,Ed,W} := 11.2 \text{ kN} \quad V_{z,Ed,br} := 2.0 \text{ kN} \quad V_{z,Ed,s} := 11.7 \text{ kN} \quad V_{z,Ed,LM71} := 546.6 \text{ kN}$$

2 výpočet odolnosti nýtovaného přípoje dle ČSN EN 1993-1-8

- odolnost v stříhu

$$A_0 := \pi \cdot \frac{\Phi_t^2}{4} = 346.361 \cdot \text{mm}^2$$

$$F_{v,Rd} := \frac{0.6 \cdot f_{ur} \cdot A_0 \cdot i}{\gamma_{M2}} = 99.112 \text{ kN}$$

- odolnost v otažení - krajní nýt

$$k_1 := \min\left(\frac{2.8 \cdot e_2}{\Phi_r} - 1.7, 2.5\right) = 2.5 \quad \alpha_d := \frac{e_1}{3 \cdot \Phi_r} = 0.714 \quad \alpha_b := \min\left(\alpha_d, \frac{f_{ur}}{f_{uk}}, 1\right) = 0.714$$

$$F_{b,Rd.1} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{uk} \cdot \Phi_r \cdot t_f}{\gamma_{M2}} = 117.692 \cdot \text{kN}$$

- odolnost v otažení - vnitřní nýt

$$k_{1w} := \min\left(\frac{2.8 \cdot e_2}{\Phi_r} - 1.7, 2.5\right) = 2.5 \quad \alpha_{dw} := \frac{p_1}{3 \cdot \Phi_r} - \frac{1}{4} = 1.655 \quad \alpha_{bw} := \min\left(\alpha_{dw}, \frac{f_{ur}}{f_{uk}}, 1\right) = 0.912$$

$$F_{b,Rd.2} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{uk} \cdot \Phi_r \cdot t_f}{\gamma_{M2}} = 150.231 \cdot \text{kN}$$

$$F_{b,Rd} := \min(F_{b,Rd.1}, F_{b,Rd.2}) = 117.692 \cdot \text{kN}$$

3. výpočet smykového toku v krčních nýtech podélníku

- statický moment plochy po os krčních nýtů

$$S_y := 2 \cdot 2256 \text{ mm}^2 \cdot 471 \text{ mm} + 56 \text{ mm} \cdot t_w \left(\frac{H}{2} - \frac{56 \text{ mm}}{2}\right) = 2389472 \cdot \text{mm}^3$$

- smykový tok

$$\tau_G := \frac{V_{z,Ed,G} \cdot S_y}{I_y} = 29.532 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\tau_W := \frac{V_{z,Ed,W} \cdot S_y}{I_y} = 9.423 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\tau_{br} := \frac{V_{z,Ed,br} \cdot S_y}{I_y} = 1.683 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\tau_s := \frac{V_{z,Ed,s} \cdot S_y}{I_y} = 9.844 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\tau_{LM71} := \frac{V_{z,Ed,LM71} \cdot S_y}{I_y} = 459.889 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

4. určení zatížitelnosti dle MPSŽDC:

únosnost v střihu

$$\eta_{1G} := \frac{p_1 \cdot \tau_G}{F_{v,Rd}} = 0.036$$

$$Z_{LM71,a} := 1 \quad \text{pro iteraci}$$

$$\eta_{1W} := \frac{p_1 \cdot \tau_W}{F_{v,Rd}} = 0.011$$

$$\eta_{1br} := \frac{p_1 \cdot \tau_{br} \cdot Z_{LM71,a}}{F_{v,Rd}} = 2.037 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{1s} := \frac{p_1 \cdot \tau_s \cdot Z_{LM71,a}}{F_{v,Rd}} = 0.012$$

$$\eta_{1LM71} := \frac{p_1 \cdot \tau_{LM71} \cdot Z_{LM71,a}}{F_{v,Rd}} = 0.557$$

$$Z_{LM71,a} := \frac{1 - \eta_{1G} - \eta_{1W} - \eta_{1br} - \eta_{1s}}{\eta_{1LM71}} = 1.686$$

únosnost v otažení

$$\eta_{2G} := \frac{p_1 \cdot \tau_G}{F_{b,Rd}} = 0.03$$

$$Z_{LM71,b} := 1 \quad \text{pro iteraci}$$

$$\eta_{2W} := \frac{p_1 \cdot \tau_W}{F_{b,Rd}} = 9.608 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{2br} := \frac{p_1 \cdot \tau_{br} \cdot Z_{LM71,b}}{F_{b,Rd}} = 1.716 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{2s} := \frac{p_1 \cdot \tau_s \cdot Z_{LM71,b}}{F_{b,Rd}} = 0.01$$

$$\eta_{2LM71} := \frac{p_1 \cdot \tau_{LM71} \cdot Z_{LM71,b}}{F_{b,Rd}} = 0.469$$

$$Z_{LM71,b} := \frac{1 - \eta_{2G} - \eta_{2W} - \eta_{2br} - \eta_{2s}}{\eta_{2LM71}} = 2.023$$

$$Z_{LM71} := \min(Z_{LM71,a}, Z_{LM71,b}) = 1.686$$

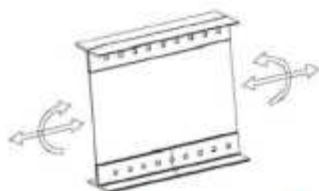
3.9 ZATÍŽITELNOST S OHLEDEM NA ÚNAVOVOU ŽIVOTNOST

STANOVENÍ ÚNAVOVÉ ZATÍŽITELNOSTI

1. vstupní údaje:

- součinitel spolehlivosti pro únavové zatížení $\gamma_{Pf} := 1$
- součinitel únavové pevnosti $\gamma_{Mf} := 1.15$
- materiálové charakteristiky svářkové železo
 - $E := 210 \text{ GPa}$
 - $G_w := \frac{E}{2 \cdot (1 + 0.3)} = 80769 \text{ MPa}$
 - $f_{yk} := 210 \text{ MPa}$
 - $f_{uk} := 340 \text{ MPa}$

2. zatřídění únavových detailů



spojení stěny a krčních úhelníků

$$\Delta\sigma_{C1} := 85 \text{ MPa}$$



spojení pásnice a krčních úhelníků

$$\Delta\sigma_{C2} := 71 \text{ MPa}$$

3. rozkmit napětí pro posouzení podélníků na únavu

- součinitel účinků poškození od dopravy $\lambda_{1,po} := 1.50$ pro $L \leq 1.8 \text{ m}$
- součinitel objemu dopravy $\lambda_2 := 0.72$ pro 1,8 mil. hrůvek
- součinitel návrhové životnosti mostu $\lambda_3 := 1.04$ pro životnost 120 let
- součinitel pro zatížení více než jednou kolejí $\lambda_4 := 1.0$ pro 1 kolej
- max hodnota součinitele $\lambda_{max} := 1.4$

$$\lambda_{po} := \lambda_{1,po} \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 1.123$$

- rozkmit napětí v místě krčních nýtů pro podélník 2L

$$\sigma_{max} := Z_{LM71} \cdot 109.2 \text{ MPa} \quad \sigma_{min} := Z_{LM71} \cdot (-18.6 \text{ MPa}) \quad \Delta\sigma := \sigma_{max} - \sigma_{min} = 91.76 \text{ MPa}$$

4. stanovení únavové zatížitelnosti podélníků

$$Z_{LM71} := \frac{\frac{\Delta\sigma_{C1}}{\gamma_{Mf}}}{\gamma_{Ff} \cdot \lambda_{po} \cdot \Delta\sigma} = 0.717$$

5. rozkmit napětí pro posouzení příčníků na únavu

- součinitel účinků poškození od dopravy $\lambda_{1,pr} := 1.17$ pro $L \geq 3,6m$

$$\lambda_{pr} := \lambda_{1,pr} \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 0.876$$

- rozkmit napětí v místě krčnic nýtů pro příčník 4

$$\sigma_{max} := Z_{LM71} \cdot 77.72 \text{ MPa} \quad \sigma_{min} := Z_{LM71} \cdot (-2.89 \text{ MPa}) \quad \Delta\sigma := \sigma_{max} - \sigma_{min} = 80.61 \text{ MPa}$$

6. stanovení únavové zatížitelnosti příčníků

$$Z_{LM71} := \frac{\frac{\Delta\sigma_{C1}}{\gamma_{Mf}}}{\gamma_{Ff} \cdot \lambda_{pr} \cdot \Delta\sigma} = 1.047$$

7. rozkmit napětí pro posouzení hlavních nosníků na únavu

- součinitel účinků poškození od dopravy $\lambda_{1,hn} := 0.85$ pro $L \geq 10,8m$

$$\lambda_{hn} := \lambda_{1,hn} \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 0.636$$

- rozkmit napětí v místě krčnic nýtů pro hlavní nosník 1

$$\sigma_{1,max} := Z_{1,LM71} \cdot 106.29 \text{ MPa} \quad \sigma_{1,min} := Z_{1,LM71} \cdot (2.68 \text{ MPa}) \quad \Delta\sigma_1 := \sigma_{1,max} - \sigma_{1,min} = 103.61 \text{ MPa}$$

- rozkmit napětí v místě krčnic nýtů pro hlavní nosník 2

$$\sigma_{2,max} := Z_{2,LM71} \cdot 96.83 \text{ MPa} \quad \sigma_{2,min} := Z_{2,LM71} \cdot (-2.12 \text{ MPa}) \quad \Delta\sigma_2 := \sigma_{2,max} - \sigma_{2,min} = 98.95 \text{ MPa}$$

- rozkmit napětí v místě krčnic nýtů pro hlavní nosník 3

$$\sigma_{3,max} := Z_{3,LM71} \cdot 89.87 \text{ MPa} \quad \sigma_{3,min} := Z_{3,LM71} \cdot (-0.22 \text{ MPa}) \quad \Delta\sigma_3 := \sigma_{3,max} - \sigma_{3,min} = 90.09 \text{ MPa}$$

- rozkmit napětí v místě spojení pásnice a krčnic úhelníků pro hlavní nosník 1

$$\sigma_{4,max} := Z_{4,LM71} \cdot 116.44 \text{ MPa} \quad \sigma_{4,min} := Z_{4,LM71} \cdot (-1.49 \text{ MPa}) \quad \Delta\sigma_4 := \sigma_{4,max} - \sigma_{4,min} = 106.963 \text{ MPa}$$

8. stanovení únavové zatížitelnosti hlavních nosníků

$$Z_{1,LM71} := \frac{\frac{\Delta\sigma_{C1}}{\gamma_{Mf}}}{\gamma_{Ff} \cdot \lambda_{hn} \cdot \Delta\sigma_1} = 1.121 \quad Z_{2,LM71} := \frac{\frac{\Delta\sigma_{C1}}{\gamma_{Mf}}}{\gamma_{Ff} \cdot \lambda_{hn} \cdot \Delta\sigma_2} = 1.174 \quad Z_{3,LM71} := \frac{\frac{\Delta\sigma_{C1}}{\gamma_{Mf}}}{\gamma_{Ff} \cdot \lambda_{hn} \cdot \Delta\sigma_3} = 1.289$$

$$Z_{4,LM71} := \frac{\frac{\Delta\sigma_{C2}}{\gamma_{Mf}}}{\gamma_{Ff} \cdot \lambda_{hn} \cdot \Delta\sigma_4} = 0.907$$

3.10 MEZNÍ STAVY POUŽITELNOSTI

STANOVENÍ ZATÍŽITELNOSTI V MEZNÍM STAVU POUŽITELNOSTI - PRŮHYB

- zvislý průhyb hlavního nosníku od pohyblivého zatížení vlakem LM71 z výpočetního modelu

$$\delta_{LM71} := 17.1 \text{ mm}$$

- délka mostu

$$L_{kv} := 11.17 \text{ m}$$

- maximální zvislý průhyb dle ČSN EN 1993-2/NA

$$\delta_{lim} := \frac{L}{300} = 37.2 \text{ mm}$$

- zatížitelnost v mezním stavu použitelnosti

$$Z_{LM71} := \frac{\delta_{lim}}{\delta_{LM71}} = 2.177$$

3.11 SPODNÍ STAVBA

Jelikož ke spodní stavbě mostu nejsou dostatečné údaje byla zatížitelnost stanovena v kategorii A odborným odhadem na hodnotu $Z_{LM71} = 1,0$.

4 PŘEHLED ZATÍŽITELNOSTI ČÁSTÍ MOSTU

PŘEHLED ZATÍŽITELNOSTI ČÁSTÍ MOSTU

A. Identifikace mostu

TÚ (číslo, název): 0351 - Janovice nad Úhlavou (mimo) - Domažlice (mimo) DÚ: 10 km: 24.922

B. Identifikace části mostu

Část mostu: NK poř.č. 1 pod kolejí č. : 1

C. Doplnující údaje části mostu

Kategorie zatížitelnosti : normální Výpočetní model: prostorový prutový

Geometrie koleje uvažovaná v přepočtu části mostu (ve směru staničení):

	na začátku	uprostřed	na konci
poloměr oblouku (m)	-	-	-
převýšení koleje (mm)	-	-	-
excentricita osy koleje (mm)	-31	-23	0

Popis závad uvažovaných v přepočtu části mostu:

Bez závad - předpokládá se, že všechny závady budou odstraněny

Datum zjištění technického stavu mostu : SŽDC, s.o. : 23.06.2016
zpracovatelem přepočtu:

Poznámka k části mostu :

Poř.číslo	Prvek	Detail	Namáhání	kl	typ	Lp	Φ3/Φ2	LΦ	γQ,LM71	γQ,LM71,E	č.strany	ZLM71	ZLM71,E	Přechodnost TTZ			Poznámky
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	C3/60	C3/30	B2/40	15
1	Podélník 1L	horní pásnice	normálové napětí	1	M	1.8	1.81	4.8	1.16			0.662					
		stěna	smyk	1	V	1.8	1.81	4.8	1.16			0.909					
			příčná síla	1	S	1.8	1.81	4.8	1.16			0.869					
		dolní pásnice	normálové napětí	1	M	1.8	1.81	4.8	1.16			0.638		1.133	1.076	0.996	
		krčné nýty	smyk	1	V	1.8	1.81	4.8	1.16			0.887					
2	Podélník 2L	horní pásnice	normálové napětí	1	M	1.8	1.81	4.8	1.16			0.709					
		stěna	smyk	1	V	1.8	1.81	4.8	1.16			0.913					
			příčná síla	1	S	1.8	1.81	4.8	1.16			0.872					
		dolní pásnice	normálové napětí	1	M	1.8	1.81	4.8	1.16			0.670					
		únava	normálové napětí	1	M	1.8	1.54	4.8	1.00			0.717					NE (únava)

3	Podélník 3L	horní pásnice	normálové napětí	1	M	1.8	1.81	4.8	1.16			0.720						
		stěna	smyk	1	V	1.8	1.81	4.8	1.16			0.911						
			příčná síla	1	S	1.8	1.81	4.8	1.16			0.875						
4	Podélník 4L	dolní pásnice	normálové napětí	1	M	1.8	1.81	4.8	1.16			0.676						
		horní pásnice	normálové napětí	1	M	1.8	1.81	4.8	1.16			0.719						
		stěna	smyk	1	V	1.8	1.81	4.8	1.16			0.911						
			příčná síla	1	S	1.8	1.81	4.8	1.16			0.875						
		dolní pásnice	normálové napětí	1	M	1.8	1.81	4.8	1.16			0.677						
Zatížitelnost podélníků												0.638						
5	Příčník 4 L podélník	horní pásnice	normálové napětí	1	A	4.52	1.50	9.04	1.16			1.056						
	Příčník 4 konec	stěna	smyk	1	V	4.52	1.50	9.04	1.16			1.874						
	Příčník 4	únava	normálové napětí	1	A	4.52	1.33	9.04	1.00			1.047					NE (únava)	
6	Příčník 5 L podélník	horní pásnice	normálové napětí	1	A	4.52	1.50	9.04	1.16			0.750		0.973				
	Příčník 5 konec	stěna	smyk	1	V	4.52	1.50	9.04	1.16			1.668						
		krčné nýty	smyk	1	V	4.52	1.50	9.04	1.16			1.623						
7	Příčník 6 L podélník	horní pásnice	normálové napětí	1	A	4.52	1.50	9.04	1.16			0.755						
	Příčník 6 konec	stěna	smyk	1	V	4.52	1.50	9.04	1.16			1.935						
8	Příčník 7 L podélník	horní pásnice	normálové napětí	1	A	4.52	1.50	9.04	1.16			0.760						
	Příčník 7 konec	stěna	smyk	1	V	4.52	1.50	9.04	1.16			1.729						
Zatížitelnost příčníků												0.75						

9	hlavní nosník 1	horní pásnice	normálové napětí	1	M	10.8	1.43	10.8	1.16			0.825					
		dolní pásnice	normálové napětí	1	M							0.884					
		únava	normálové napětí	1	M							0.907					NE (únava)
10	hlavní nosník 2 změna průřezu	horní pásnice	normálové napětí	1	M	10.8	1.43	10.8	1.16			0.960					
	hlavní nosník 2 příčník	horní pásnice	normálové napětí	1	M	10.8	1.43	10.8	1.16			0.799					
	hlavní nosník 3 změna průřezu	horní pásnice	normálové napětí	1	M	10.8	1.43	10.8	1.16			0.761		0.561			
11	hlavní nosník 3 nad ložiskem	stěna	smyk	1	V	10.8	1.43	10.8	1.16			1.432					
	hlavní nosník 3	krčné nýty	smyk	1	V	10.8	1.43	10.8	1.16			1.686					
Zatížitelnost hlavních nosníků												0.761					
12	přípoj podélníku na příčník	spojovací nýty	smyk	1	V	1.8	1.81	4.8	1.16			0.781					
13	přípoj příčníku na hlavní nosník	spojovací nýty	smyk	1	V	4.52	1.50	9.04	1.16			1.270					
Zatížitelnost spojů												0.781					

Dne: 28.02.2019

Zatížitelnost určil:

Ing. Jozef Vičan

5 OVĚŘENÍ PŘECHODNOSTI PROVOZNÍHO ZATÍŽENÍ

Pro ověření přechodnosti byly vybrány prvky s nejmenší hodnotou zatížitelnosti Z_{LM71} pro každý typ prvku (podélník, příčník, hlavní nosník). Pro tyto prvky pak byla ověřena přechodnost zatížení traťové třídy C3 pro rychlost 60km/h. Jelikož prvky nevyhověly na traťovou třídu C3/60 došlo po dohodě s objednatelem k následujícím změnám ve výpočtu. Byl použit dynamický spučinitel pro pečlivě udržovanou kolej, dále byl snížen korekční součinitel větru ve vodorovném směru dle přílohy G Metodického pokynu SŽDC.

STANOVENÍ PŘECHODNOSTI ZATÍŽENÍ NA PODÉLNÍKU 1L

1. vstupní údaje:

- délka prutu $L_{po} := 1.8m$ $L_{\Phi} := 4.8m$

- průřezové charakteristiky plného průřezu

$$\begin{aligned} H_w &:= 342mm & H_w &:= H - 8mm - 20mm = 314mm \\ B_h &:= 168mm & B_d &:= 148mm & A_w &:= 9504mm^2 \\ t_{fh} &:= 20mm & I_y &:= 1.596 \cdot 10^8 mm^4 & z_h &:= 138.2mm \\ t_{fd} &:= 8mm & I_z &:= 9.215 \cdot 10^6 mm^4 & z_d &:= 203.8mm \\ t_w &:= 8mm & y_h &:= 84mm \\ I_y &:= 1.057 \cdot 10^6 mm^4 & y_d &:= 84mm \end{aligned}$$

$$I_w := 2.010 \cdot 10^{11} mm^6$$

$$W_{el.y.h} := \frac{I_y}{z_h} = 1154848 \cdot mm^3 \quad W_{el.z.h} := \frac{I_z}{B_h} = 109702 \cdot mm^3$$

$$W_{el.y.d} := \frac{I_y}{z_d} = 783121 \cdot mm^3 \quad W_{el.z.d} := \frac{I_z}{B_d} = 124527 \cdot mm^3$$

- průřezové charakteristiky průřezu oslabeného krčnými nýty

$$A_{net} := A - 2 \cdot 0.02m \cdot t_w - 4 \cdot 0.02m \cdot t_{fd} = 8544 \cdot mm^2$$

$$I_{y.net} := I_y - 0.02m \cdot (t_w + 2t_{fd}) \cdot (z_d - 36mm)^2 - 0.02m \cdot (t_w + 2t_{fd}) \cdot (z_h - 53mm)^2 = 1.426 \cdot 10^8 \cdot mm^4$$

$$I_{z.net} := I_z - 2 \cdot 0.01m \cdot t_w \cdot \left(\frac{t_w}{4}\right)^2 - 4 \cdot 0.02m \cdot t_{fd} \cdot \left(\frac{t_w}{2} + \frac{t_{fd}}{2}\right)^2 = 9.173 \cdot 10^6 \cdot mm^4$$

$$W_{el.y.net.h} := \frac{I_{y.net}}{z_h} = 1031841 \cdot mm^3$$

$$W_{el.y.net.d} := \frac{I_{y.net}}{z_d} = 699707 \cdot mm^3$$

$$W_{y.osl.h} := \frac{W_{el.y.net.h} + W_{el.y.h}}{2} = 1093344 \cdot mm^3$$

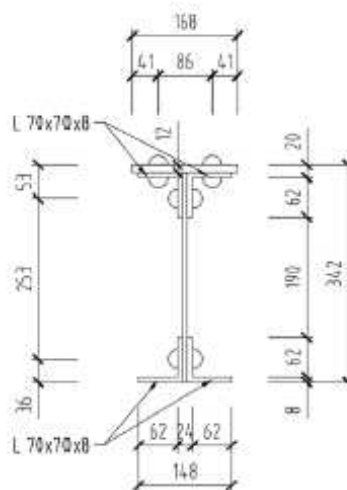
$$W_{y.osl.d} := \frac{W_{el.y.net.d} + W_{el.y.d}}{2} = 741414 \cdot mm^3$$

$$W_{el.z.net.h} := \frac{I_{z.net}}{y_h} = 109207 \cdot mm^3$$

$$W_{el.z.net.d} := \frac{I_{z.net}}{y_d} = 109207 \cdot mm^3$$

$$W_{z.osl.h} := \frac{W_{el.z.net.h} + W_{el.z.h}}{2} = 109455 \cdot mm^3$$

$$W_{z.osl.d} := \frac{W_{el.z.net.d} + W_{el.z.d}}{2} = 116867 \cdot mm^3$$



- materiálové charakteristiky	svářkové železo	$\gamma_{M0} := 1.07$
	$E := 210 \text{ GPa}$	$\gamma_{M1} := 1.17$
	$G := \frac{E}{2 \cdot (1 + 0.3)} = 80769 \cdot \text{MPa}$	$\gamma_{M2} := 1.3$
	$f_{yk} := 210 \text{ MPa}$	

2. zatížení průřezu dle ČSN EN 1993-1-1 čl. 5.5 :

$$\xi_{yk} := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_{yk}}} = 1.058$$

$$\text{- stěna} \quad \frac{H - 2 \cdot 70 \text{ mm} - 12 \text{ mm}}{t_w} < 72 \cdot \xi = 1 \quad \text{řída 1}$$

$$\text{- příruba} \quad \xi_{yk} := \frac{B_h}{2} - \frac{t_w}{2} = 80 \cdot \text{mm} \quad \frac{c}{t_{fl}} < 9 \cdot \xi = 1 \quad \text{řída 1}$$

Průřez patří do třídy 3, jelikož se jedná o nýtovaný průřez.

3a. vnitřní síly ve středu rozpětí

$M_{y,Ed,G} := 2.4 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z,Ed,G} := 0.0 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$N_{Ed,G} := 0.3 \text{ kN}$	$V_{z,Ed,G} := 1.2 \text{ kN}$
$M_{y,Ed,W} := 1.9 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z,Ed,W} := 0.7 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$N_{Ed,W} := 1.0 \text{ kN}$	$V_{z,Ed,W} := 0.1 \text{ kN}$
$M_{y,Ed,br} := 0.3 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z,Ed,br} := 0.0 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$N_{Ed,br} := 5.3 \text{ kN}$	$V_{z,Ed,br} := -3.7 \text{ kN}$
$M_{y,Ed,s} := 5.8 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z,Ed,s} := 14.1 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$N_{Ed,s} := 0.3 \text{ kN}$	$V_{z,Ed,s} := -4.9 \text{ kN}$
$M_{y,Ed,TTZ} := 60.0 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z,Ed,TTZ} := 0.0 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$N_{Ed,TTZ} := 0.2 \text{ kN}$	$V_{z,Ed,TTZ} := 45.1 \text{ kN}$

3b. vnitřní síly na začátku

$V_{z2,Ed,G} := 4.3 \text{ kN}$
$V_{z2,Ed,W} := 4.3 \text{ kN}$
$V_{z2,Ed,br} := 4.7 \text{ kN}$
$V_{z2,Ed,s} := 12.1 \text{ kN}$
$V_{z2,Ed,TTZ} := 269.5 \text{ kN}$

4. odolnost průřezu

- plastická smyková odolnost stěny průřezu

$$V_{pl,Rd} := \frac{H_w \cdot t_w \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 284.639 \cdot \text{kN}$$

- statický moment plochy

$$S_y := 3812 \text{ mm}^2 \cdot 154 \text{ mm} = 5.87 \times 10^5 \cdot \text{mm}^3$$

- elastická smyková odolnost průřezu

$$V_{Rd} := \frac{f_{yk} \cdot I_y \cdot t_w}{S_y \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 246.447 \cdot \text{kN}$$

5. výpočet kritického momentu dle ČSN EN 1993-1-1/NA:

- faktory vzpěrné délky $k_w := 1$ $k_y := 1$ $k_z := 1$
- vzdálenost působí síly od středu smyku $z_g := z_h = 0.138 \text{ m}$
- moment setrvačnosti tlačené pásnice $I_{fc} := \frac{1}{12} \cdot B_h \cdot t_{fh}^3 = 1.12 \times 10^5 \cdot \text{mm}^4$
- moment setrvačnosti tažené pásnice $I_{ft} := \frac{1}{12} \cdot B_d \cdot t_{fd}^3 = 6.315 \times 10^3 \cdot \text{mm}^4$
- parametr nesymetrie průřezu $\psi_f := \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} = 0.893$
- poměr koncových momentů $\psi := 0$
- vzdálenost z_j
 $h_f := 328 \text{ mm}$ $z_j := 0.45 \cdot \psi_f \cdot h_f = 0.132 \text{ m}$
- parametr zohledňující nesymetri průřezu, krutovou a výsekovou tuhost a působí zatížení

$$\kappa_{wt} := \frac{\pi}{k_w \cdot L_{po}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} \quad \kappa_{wt} = 1.227$$

$$\zeta_g := \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L_{po}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} \quad \zeta_g = 1.148$$

$$\zeta_j := \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L_{po}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} \quad \zeta_j = 1.096$$

- faktory zohledňující typ zatížení a podmínky uložení dle ČSN EN 1993-1-1/NA

$$C_1 := 1.13 \quad \text{pre } \kappa_{wt} > 1$$

$$C_2 := 0.46 \quad \text{pre } \psi_f = 0.893$$

$$C_3 := 0.53 \quad \text{pre } \psi_f = 0.893$$

$$\mu_{cr} := \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right] \quad \mu_{cr} = 1.849$$

$$M_{cr} := \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L_{po}} \quad M_{cr} = 1312 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

6. výpočet součinitele klopení:

$$\chi' := \sqrt{\frac{W_{el,y} \cdot h \cdot f_{yk}}{M_{cr}}} \quad \chi' = 0.43$$

$$\text{křivka vzpěrné pevnosti "d"} \quad \alpha_{LT} := 0.76$$

$$\phi_{LT} := 0.5 \left[1 + \alpha_{LT} (\lambda - 0.2) + \lambda^2 \right] \quad \phi_{LT} = 0.68$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda^2}} \quad \chi_{LT} = 0.829$$

7. stanovení zatížitelnosti dle MP SŽDC:

- zatížitelnost průřezu - normálová napětí dolní vlákno

- poměr smykové síly a plastické smykové odolnosti

$$\eta_3 := \frac{V_{z,Ed,G} + V_{z,Ed,W} + V_{z,Ed,br} + V_{z,Ed,s} + V_{z,Ed,TTZ}}{V_{pl,Rd}} = 0.133 \quad \text{smyk nemá vliv na ohybovou únosnost}$$

$$\eta_{1,G} := \frac{N_{Ed,G}}{A_{net} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,Ed,G}}{W_{y,osl,d} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z,Ed,G}}{W_{z,osl,d} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} = 0.017$$

$$\eta_{1,W} := \frac{N_{Ed,W}}{A_{net} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,Ed,W}}{W_{y,osl,d} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z,Ed,W}}{W_{z,osl,d} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} = 0.044$$

$$\eta_{1,br} := \frac{N_{Ed,br}}{A_{net} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,Ed,br}}{W_{y,osl,d} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z,Ed,br}}{W_{z,osl,d} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} = 5.222 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{1,s} := \frac{N_{Ed,s}}{A_{net} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,Ed,s}}{W_{y,osl,d} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z,Ed,s}}{W_{z,osl,d} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} = 0.655$$

$$\eta_{1,TTZ} := \frac{N_{Ed,TTZ}}{A_{net} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,Ed,TTZ}}{W_{y,osl,d} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z,Ed,TTZ}}{W_{z,osl,d} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} = 0.412$$

$$\eta_1 := \eta_{1,G} + \eta_{1,W} + \eta_{1,br} + \eta_{1,s} + \eta_{1,TTZ} = 1.133$$

"vyhovuje" if $\eta_1 < 1$	= "nevyhovuje"
"nevyhovuje" otherwise	

Přechodnost podélníku na traťovou třídu zatížení C3/60 **nevyhovuje** ani po snížení součinitelů. Proto bylo nutno přistoupit k dalšímu snížení traťové rychlosti a ke snížení traťové třídy zatížení na třídu B2.

STANOVENÍ PŘECHODNOSTI ZATÍŽENÍ NA PODÉLNÍKU 1L

1. vstupní údaje:

- délka prutu $L_{po} := 1.8\text{m}$ $L_{\Phi} := 4.8\text{m}$

- průřezové charakteristiky plného průřezu

$$\begin{aligned} H_w &:= 342\text{mm} & H_w &:= H - 8\text{mm} - 20\text{mm} = 0.314\text{m} \\ B_h &:= 168\text{mm} & B_d &:= 148\text{mm} & A &:= 9504\text{mm}^2 \\ t_{fh} &:= 20\text{mm} & I_y &:= 1.596 \cdot 10^8 \text{mm}^4 & z_h &:= 138.2\text{mm} \\ t_{fd} &:= 8\text{mm} & I_z &:= 9.215 \cdot 10^6 \text{mm}^4 & z_d &:= 203.8\text{mm} \\ t_w &:= 8\text{mm} & y_h &:= 84\text{mm} \\ I_t &:= 1.057 \cdot 10^6 \text{mm}^4 & y_d &:= 84\text{mm} \\ I_{\omega} &:= 2.010 \cdot 10^{11} \text{mm}^6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{el.y.h} &:= \frac{I_y}{z_h} = 1154848 \cdot \text{mm}^3 & W_{el.z.h} &:= \frac{2 \cdot I_z}{B_h} = 109702 \cdot \text{mm}^3 \\ W_{el.y.d} &:= \frac{I_y}{z_d} = 783121 \cdot \text{mm}^3 & W_{el.z.d} &:= \frac{2 \cdot I_z}{B_d} = 124527 \cdot \text{mm}^3 \end{aligned}$$

- průřezové charakteristiky průřezu oslabeného krčními nýty

$$A_{net} := A - 2 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_w - 4 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_{fd} = 8544 \cdot \text{mm}^2$$

$$I_{y.net} := I_y - 0.02\text{m} \cdot (t_w + 2 \cdot t_{fd}) \cdot (z_d - 36\text{mm})^2 - 0.02\text{m} \cdot (t_w + 2 \cdot t_{fd}) \cdot (z_h - 53\text{mm})^2 = 1.426 \times 10^8 \cdot \text{mm}^4$$

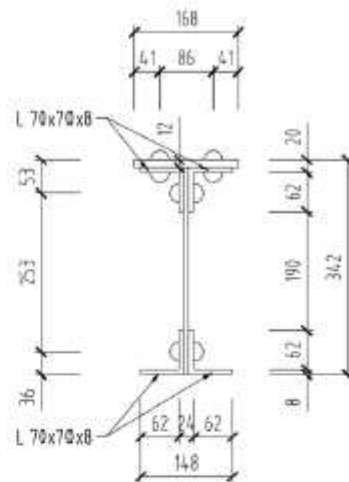
$$I_{z.net} := I_z - 2 \cdot 0.01\text{m} \cdot t_w \cdot \left(\frac{t_w}{4}\right)^2 - 4 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_{fd} \cdot \left(\frac{t_w}{2} + \frac{t_{fd}}{2}\right)^2 = 9.173 \times 10^6 \cdot \text{mm}^4$$

$$W_{el.y.net.h} := \frac{I_{y.net}}{z_h} = 1031841 \cdot \text{mm}^3 \quad W_{el.y.net.d} := \frac{I_{y.net}}{z_d} = 699707 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{y.osl.h} := \frac{W_{el.y.net.h} + W_{el.y.h}}{2} = 1093344 \cdot \text{mm}^3 \quad W_{y.osl.d} := \frac{W_{el.y.net.d} + W_{el.y.d}}{2} = 741414 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el.z.net.h} := \frac{I_{z.net}}{y_h} = 109207 \cdot \text{mm}^3 \quad W_{el.z.net.d} := \frac{I_{z.net}}{y_d} = 109207 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{z.osl.h} := \frac{W_{el.z.net.h} + W_{el.z.h}}{2} = 109455 \cdot \text{mm}^3 \quad W_{z.osl.d} := \frac{W_{el.z.net.d} + W_{el.z.d}}{2} = 116867 \cdot \text{mm}^3$$



- materiálové charakteristiky	svárkové železo	$\gamma_{M0} := 1.07$
	$E := 210 \text{ GPa}$	$\gamma_{M1} := 1.17$
	$G := \frac{E}{2 \cdot (1 + 0.3)} = 80769 \cdot \text{MPa}$	$\gamma_{M2} := 1.3$
	$f_{yk} := 210 \text{ MPa}$	

2. zařazení průřezu dle ČSN EN 1993-1-1 čl. 5.5 :

$$\beta_{yk} := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_{yk}}} = 1.058$$

- stěna $\frac{H - 2 \cdot 70 \text{ mm} - 12 \text{ mm}}{t_w} < 72 \cdot \epsilon = 1$ třída 1

- příruba $\beta_{yk} = \frac{B_h}{2} - \frac{t_w}{2} = 80 \cdot \text{mm}$ $\frac{c}{t_{fl}} < 9 \epsilon = 1$ třída 1

Průřez patří do **třídy 3**, jelikož se jedná o nýtovaný průřez.

3a. vnitřní síly ve středu rozpětí

$M_{y,Ed,G} := 2.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,Ed,G} := 0.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$N_{Ed,G} := 0.3 \text{ kN}$	$V_{z,Ed,G} := -1.2 \text{ kN}$
$M_{y,Ed,W} := 1.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,Ed,W} := 0.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$N_{Ed,W} := 1.0 \text{ kN}$	$V_{z,Ed,W} := -0.1 \text{ kN}$
$M_{y,Ed,br} := 0.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,Ed,br} := 0.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$N_{Ed,br} := 5.3 \text{ kN}$	$V_{z,Ed,br} := 3.7 \text{ kN}$
$M_{y,Ed,s} := 5.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,Ed,s} := 12.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$N_{Ed,s} := 0.3 \text{ kN}$	$V_{z,Ed,s} := -4.4 \text{ kN}$
$M_{y,Ed,TTZ} := 49.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,Ed,TTZ} := 0.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$N_{Ed,TTZ} := 0.0 \text{ kN}$	$V_{z,Ed,TTZ} := 21.6 \text{ kN}$

3b. vnitřní síly na začátku

$V_{z2,Ed,G} := 4.3 \text{ kN}$

$V_{z2,Ed,W} := 4.3 \text{ kN}$

$V_{z2,Ed,br} := 4.7 \text{ kN}$

$V_{z2,Ed,s} := 12.1 \text{ kN}$

$V_{z2,Ed,TTZ} := 269.5 \text{ kN}$

4. odolnost průřezu

- plastická smyková odolnost stěny průřezu	$V_{pl,Rd} := \frac{H_w \cdot t_w \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 284.639 \cdot \text{kN}$
- statický moment plochy	$S_y := 3812 \text{ mm}^2 \cdot 154 \text{ mm} = 5.87 \times 10^5 \cdot \text{mm}^3$
- elastická smyková odolnost průřezu	$V_{Rd} := \frac{f_{yk} \cdot I_y \cdot t_w}{S_y \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 246.447 \cdot \text{kN}$

5. výpočet kritického momentu dle ČSN EN 1993-1-1/NA:

- faktory vzpěrné délky $k_w := 1$ $k_y := 1$ $k_z := 1$
- vzdálenost působíště síly od středu smyku $z_g := z_h = 0.138 \text{ m}$
- moment setrvačnosti tlačené pásnice $I_{fc} := \frac{1}{12} \cdot B_h \cdot t_{fh}^3 = 1.12 \times 10^5 \cdot \text{mm}^4$
- moment setrvačnosti tažené pásnice $I_{ft} := \frac{1}{12} \cdot B_d \cdot t_{fd}^3 = 6.315 \times 10^3 \cdot \text{mm}^4$
- parametr nesymetrie průřezu $\psi_f := \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} = 0.893$
- poměr koncových momentů $\psi := 0$
- vzdálenost z_j
 $h_f := 328 \text{ mm}$ $z_j := 0.45 \cdot \psi_f \cdot h_f = 0.132 \text{ m}$

- parametr zohledňující nesymetrii průřezu, krutovou a výsekovou tuhost a působíště zatížení

$$\kappa_{wt} := \frac{\pi}{k_w \cdot L_{po}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} \quad \kappa_{wt} = 1.227$$

$$\zeta_g := \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L_{po}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} \quad \zeta_g = 1.148$$

$$\zeta_j := \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L_{po}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} \quad \zeta_j = 1.096$$

- faktory zohledňující typ zatížení a podmínky uložení dle ČSN EN 1993-1-1/NA

$$C_1 := 1.13 \quad \text{pre } \kappa_{wt} > 1$$

$$C_2 := 0.46 \quad \text{pre } \psi_f = 0.893$$

$$C_3 := 0.53 \quad \text{pre } \psi_f = 0.893$$

$$\mu_{cr} := \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right] \quad \mu_{cr} = 1.849$$

$$M_{cr} := \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L_{po}} \quad M_{cr} = 1312 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

6. výpočet součinitele klopení:

$$\lambda' := \sqrt{\frac{W_{el,y} \cdot h' \cdot \zeta_{yk}}{M_{cr}}} \quad \lambda' = 0.43$$

$$\text{křivka vzpěrné pevnosti "d"} \quad \alpha_{LT} := 0.76$$

$$\phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda - 0.2) + \lambda^2 \right] \quad \phi_{LT} = 0.68$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda^2}} \quad \chi_{LT} = 0.829$$

7. stanovení zatížitelnosti dle MP SŽDC:

- zatížitelnost průřezu - normálová napětí dolní vlákno

- poměr smykové síly a plastické smykové odolnosti

$$\eta_3 := \frac{V_{z,Ed,G} + V_{z,Ed,W} + V_{z,Ed,br} + V_{z,Ed,s} + V_{z,Ed,TTZ}}{V_{pl,Rd}} = 0.1 \quad \text{smyk nemá vliv na ohybovou únosnost}$$

$$\eta_{1,G} := \frac{N_{Ed,G}}{A_{net} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,Ed,G}}{W_{y,osl,d} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z,Ed,G}}{W_{z,osl,d} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} = 0.017$$

$$\eta_{1,W} := \frac{N_{Ed,W}}{A_{net} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,Ed,W}}{W_{y,osl,d} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z,Ed,W}}{W_{z,osl,d} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} = 0.044$$

$$\eta_{1,br} := \frac{N_{Ed,br}}{A_{net} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,Ed,br}}{W_{y,osl,d} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z,Ed,br}}{W_{z,osl,d} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} = 5.222 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{1,s} := \frac{N_{Ed,s}}{A_{net} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,Ed,s}}{W_{y,osl,d} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z,Ed,s}}{W_{z,osl,d} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} = 0.59$$

$$\eta_{1,TTZ} := \frac{N_{Ed,TTZ}}{A_{net} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,Ed,TTZ}}{W_{y,osl,d} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z,Ed,TTZ}}{W_{z,osl,d} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} = 0.339$$

$$\eta_1 := \eta_{1,G} + \eta_{1,W} + \eta_{1,br} + \eta_{1,s} + \eta_{1,TTZ} = 0.996 \quad \left| \begin{array}{l} \text{"vyhovuje" if } \eta_1 < 1 \\ \text{"nevyhovuje" otherwise} \end{array} \right. = \text{"vyhovuje"}$$

Přechodnost podélníku na traťovou třídu zatížení B2/40 **vyhovuje**.

STANOVENÍ PŘECHODNOSTI ZATÍŽENÍ NA PŘÍČNÍKU č.5

1. vstupní údaje:

- délka prutu $L_{pr} := 4.52\text{m}$ $L_{q\phi} := 9.04\text{m}$

- průřezové charakteristiky plného průřezu

$$H := 500\text{mm} \quad H_w := H - 2 \cdot 14\text{mm} = 472\text{mm}$$

$$B := 270\text{mm} \quad A := 16535\text{mm}^2$$

$$t_f := 14\text{mm} \quad I_y := 7.030 \cdot 10^8 \text{mm}^4$$

$$t_w := 10\text{mm} \quad I_z := 4.663 \cdot 10^7 \text{mm}^4$$

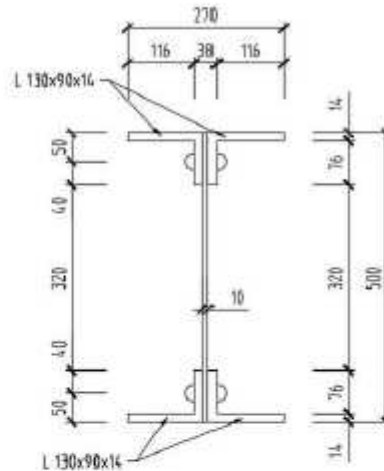
$$z_p := 250\text{mm} \quad y_p := 135\text{mm}$$

$$z_m := 250\text{mm} \quad y_m := 135\text{mm}$$

$$I_t := 3.062 \cdot 10^6 \text{mm}^4$$

$$I_{\omega} := 2.677 \cdot 10^{12} \text{mm}^6$$

$$W_{el,y} := \frac{I_y}{\frac{H}{2}} = 2812000 \cdot \text{mm}^3 \quad W_{el,z} := \frac{I_z}{\frac{B}{2}} = 345407 \cdot \text{mm}^3$$



- průřezové charakteristiky oslabeného průřezu v místě připoje podélníku

$$A_{net} := A - 5 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_w - 4 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_f = 14415 \cdot \text{mm}^2$$

$$I_{y,net} := I_y - 2 \cdot 0.02\text{m} \cdot 2 \cdot t_f \cdot (z_p - 50\text{mm})^2 - 4 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_w \cdot (z_p - 150\text{mm})^2 - 2 \cdot 0.01\text{m} \cdot t_w \cdot (z_p - 240\text{mm})^2 = 6.502 \times 10^8 \cdot \text{mm}^4$$

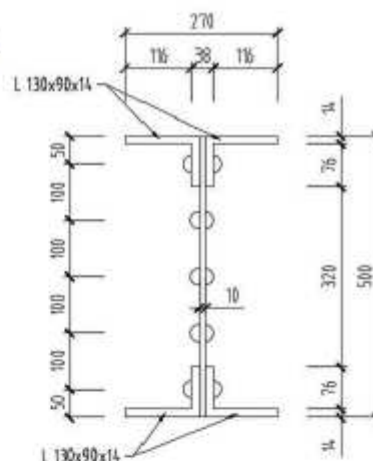
$$I_{z.net} := I_z - 10 \cdot 0.01m \cdot t_w \cdot \left(\frac{t_w}{4}\right)^2 - 4 \cdot 0.02m \cdot t_f \cdot \left(\frac{t_w}{2} + \frac{t_f}{2}\right)^2 = 4.646 \times 10^7 \cdot \text{mm}^4$$

$$W_{el.y.net} := \frac{I_{y.net}}{z_p} = 2600720 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{y.osl} := \frac{W_{el.y.net} + W_{el.y}}{2} = 2706360 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el.z.net} := \frac{I_{z.net}}{y_p} = 344166 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{z.osl} := \frac{W_{el.z.net} + W_{el.z}}{2} = 344787 \cdot \text{mm}^3$$



- materiálové charakteristiky :
- | | |
|---|-----------------------|
| svárkové železo | $\gamma_{M0} := 1.07$ |
| $E := 210 \text{ GPa}$ | $\gamma_{M1} := 1.17$ |
| $\sigma_{yk} := \frac{E}{2 \cdot (1 + 0.3)} = 80769 \cdot \text{MPa}$ | $\gamma_{M2} := 1.3$ |
| $f_{yk} := 210 \text{ MPa}$ | |

2. zatřídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1 čl. 5.5 :

$$\bar{\sigma}_k := \sqrt{\frac{2353 \text{ MPa}}{f_{yk}}} = 1.058$$

- | | | |
|-----------------|--|---------|
| - stěna na ohyb | $\frac{H - 2 \cdot 90 \text{ mm}}{t_w} < 72 \cdot \epsilon = 1$ | třída 1 |
| - stěna na tlak | $\frac{H - 2 \cdot 90 \text{ mm}}{t_w} < 33 \cdot \epsilon = 1$ | třída 1 |
| - pásnice | $\bar{\sigma}_k := \frac{B}{2} - \frac{t_w}{2} = 130 \cdot \text{mm} \quad \frac{c}{t_f} < 9 \cdot \epsilon = 1$ | třída 1 |

Průřez patří do třídy 3, jelikož se jedná o nýtovaný průřez.

3. vnější síly :

- | | | | |
|------------------------------------|---|---|----------------------------------|
| - v místě připoje levého podélníku | $M_{y.Ed.G} := 10.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_{z.Ed.G} := 0.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $V_{z.Ed.G} := -1.2 \text{ kN}$ |
| | $M_{y.Ed.W} := 2.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_{z.Ed.W} := 0.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $V_{z.Ed.W} := 4.3 \text{ kN}$ |
| | $M_{y.Ed.br} := 0.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_{z.Ed.br} := 33.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $V_{z.Ed.br} := 0.0 \text{ kN}$ |
| | $M_{y.Ed.s} := 1.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_{z.Ed.s} := 0.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $V_{z.Ed.s} := 1.8 \text{ kN}$ |
| | $M_{y.Ed.TTZ} := 177.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_{z.Ed.TTZ} := 0.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $V_{z.Ed.TTZ} := 2.6 \text{ kN}$ |

4. výpočet kritického momentu dle ČSN EN 1993-1-1/A :

- faktory vzpěrné délky $k_{\omega} := 1$ $k_y := 1$ $k_z := 1$ $L_z := 1.8\text{m}$

- vzdálenost působíště síly od středu smyku $z_g := \frac{H}{2} = 250\text{mm}$

- moment setrvačnosti tlačené pásnice $I_{fc} := \frac{1}{12} \cdot B \cdot t_f^3 = 6.174 \times 10^4 \text{mm}^4$

- moment setrvačnosti tažené pásnice $I_{ft} := \frac{1}{12} \cdot B \cdot t_f^3 = 6.174 \times 10^4 \text{mm}^4$

- parametr nesymetrie průřezu $\psi_f := \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} = 0$

- poměr koncových momentů $\psi := 0.86$

- vzdálenost zj $h_f := 486\text{mm}$ $z_j := 0.45 \cdot \psi_f \cdot h_f = 0$

- parametr zohledňující nesymetri průřezu, krutovou a výsekovou tuhost a působíště zatížení

$$\kappa_{\omega t} := \frac{\pi}{k_{\omega} \cdot I_z} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}} \quad \kappa_{\omega t} = 2.631$$

$$\zeta_g := \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot I_z} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{z,net}}{G \cdot I_t}} \quad \zeta_g = 2.741$$

$$\zeta_j := \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot I_z} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{z,net}}{G \cdot I_t}} \quad \zeta_j = 0$$

- faktory zohledňující typ zatížení a podmínky uložení dle ČSN EN 1993-1-1/NA

$$C_1 := 1.07 \quad \text{pre } \kappa_{\omega t} > 1 \text{ a } \psi = 0.86$$

$$C_2 := 0 \quad \text{pre } \psi_f = 0$$

$$C_3 := 1 \quad \text{pre } \psi_f = 0$$

$$\mu_{cr} := \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + \kappa_{\omega t}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right] \quad \mu_{cr} = 3.012$$

$$M_{cr} := \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_{z,net} \cdot G \cdot I_t}}{L_z} \quad M_{cr} = 8166 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

5. výpočet součinitele kloupení:

$$\lambda' := \sqrt{\frac{W_{el,y} \cdot f_{yk}}{M_{cr}}} \quad \lambda' = 0.269$$

krivka vzpěrné pevnosti "d" $\alpha_{LT} := 0.76$

$$\phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda' - 0.2) + \lambda'^2 \right] \quad \phi_{LT} = 0.562$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0.947$$

6. výpočet smykové odolnosti průřezu dle ČSN EN 1993-1-1:

- statický moment plochy $S_y := 8268 \text{ mm}^2 \cdot 196 \text{ mm} = 1.621 \times 10^6 \cdot \text{mm}^3$

- elastická smyková odolnost průřezu $V_{Rd} := \frac{f_{yk} \cdot I_y \cdot t_w}{S_y \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 491.557 \cdot \text{kN}$

- plastická smyková odolnost stěny průřezu $V_{pl.Rd} := \frac{H_w \cdot t_w \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 534.831 \cdot \text{kN}$

7. přídavný ohybový moment od tuhosti polorámu ČSN EN 1993-2, čl. 6.3.4.2 (5):

- vzdálenost mezi pružinami $l_v := 1.8 \text{ m}$

- moment setrvačnosti horního pásu včetně účinné části stěny k "z" $I_{ax} := 3.263 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$

- statický moment plochy horního pásu včetně účinné části stěny $S_{yf} := 12562 \text{ mm}^2 \cdot 473.8 \text{ mm} = 5.952 \times 10^6 \cdot \text{mm}^3$

- moment setrvačnosti hlavního nosníku $I_{y.net.HL} := 5.499 \times 10^{-3} \text{ m}^4$

- maximální ohybový moment $M_{y.Ed.max} := 1827.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$

- osová síla v horním pásu $N_{Ed.max} := \frac{M_{y.Ed.max} \cdot S_{yf}}{I_{y.net.HL}} = 1978.1 \cdot \text{kN}$

- dodatečná příčná síla v místě připoje pásu ke svislici $F_{Ed} := \frac{N_{Ed.max}}{100} = 19.781 \cdot \text{kN}$

- vzdálenost těžiště horního pásu k horní pásnici příčniku $h_v := 0.322 \text{ m}$

- přídavný ohybový moment v příčniku $M_{y.Ed.H1} := F_{Ed} \cdot h_v = 6.37 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

8a. stanovení zatížitelnosti dle MP SZDC v místě připoje podélníku:

$$\frac{V_{z.Ed.G} + V_{z.Ed.W} + V_{z.Ed.br} + V_{z.Ed.s} + V_{z.Ed.TTZ}}{V_{pl.Rd}} = 0.014$$

smyk nemá vliv na ohybovou odolnost průřezu

$$\eta_{1.G} := \frac{M_{y.Ed.G}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.G}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.026$$

$$\eta_{1.W} := \frac{M_{y.Ed.W}}{X_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.W}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 9.538 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{1.H1} := \frac{M_{y.Ed.H1}}{X_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.014$$

$$\eta_{1.br} := \frac{M_{y.Ed.br}}{X_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.br}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.538$$

$$\eta_{1.s} := \frac{M_{y.Ed.s}}{X_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.s}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 3.044 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{1.TTZ} := \frac{M_{y.Ed.TTZ}}{X_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.TTZ}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.396$$

$$\eta_1 := \eta_{1.G} + \eta_{1.W} + \eta_{1.br} + \eta_{1.s} + \eta_{1.TTZ} = 0.973$$

"vyhovuje" if $\eta_1 < 1$	= "vyhovuje"
"nevyhovuje" otherwise	

Přechodnost příčníků na traťovou třídu zatížení C3/60 **vyhovuje**.

STANOVENÍ PŘECHODNOSTI ZATÍŽENÍ HLAVNÍHO NOSNÍKU č.3

1. vstupní údaje:

- délka prutu $L_{\text{hn}} := 10.8\text{m}$ $L_{\Phi} := 10.8\text{m}$

- průřezové charakteristiky plného průřezu

$$H_w := 1000\text{mm} \quad H_w := 976\text{mm}$$

$$B := 210\text{mm} \quad A_w := 19024\text{mm}^2$$

$$t_f := 12\text{mm} \quad I_y := 2.840 \cdot 10^9 \text{mm}^4$$

$$t_w := 10\text{mm} \quad I_z := 1.918 \cdot 10^7 \text{mm}^4$$

$$z_p := 500\text{mm} \quad y_p := 105\text{mm}$$

$$z_m := 500\text{mm} \quad y_m := 105\text{mm}$$

$$I_t := 2.603 \cdot 10^6 \text{mm}^4$$

$$I_w := 4.589 \cdot 10^{12} \text{mm}^6$$

$$W_{el,y} := \frac{I_y}{\frac{H}{2}} = 5680000 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el,z} := \frac{I_z}{\frac{B}{2}} = 182667 \cdot \text{mm}^3$$

- průřezové charakteristiky oslabeného průřezu

$$A_{\text{net}} := A - 10 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_w - 4 \cdot 0.02\text{m} \cdot 0.012\text{m} = 16064 \cdot \text{mm}^2$$

$$I_{y,\text{net}} := I_y - 2 \cdot 20\text{mm} \cdot 34\text{mm} \cdot (z_p - 56\text{mm})^2 - 2 \cdot 20\text{mm} \cdot t_w \left[(z_p - 150\text{mm})^2 + (z_p - 250\text{mm})^2 + (z_p - 350\text{mm})^2 + (z_p - 450\text{mm})^2 \right] = 2.488 \times 10^9$$

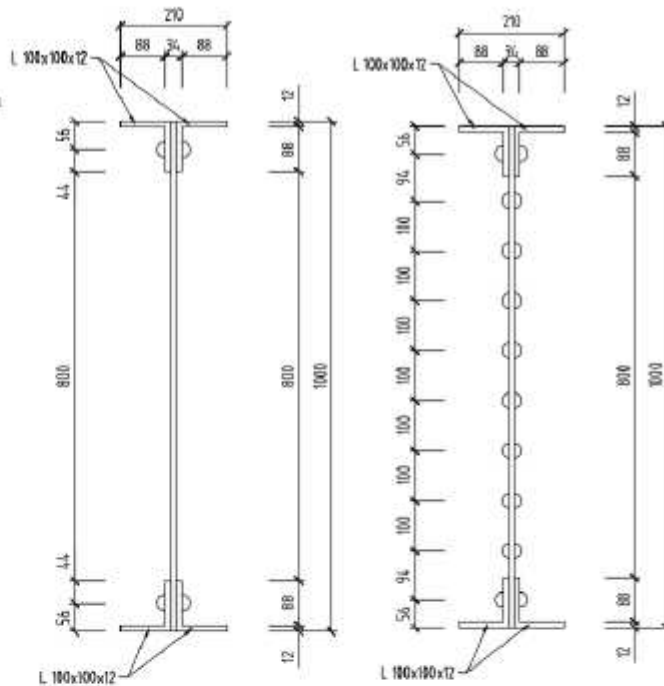
$$I_{z,\text{net}} := I_z - 20 \cdot 10\text{mm} \cdot t_w \left(\frac{t_w}{4} \right)^2 - 4 \cdot 20\text{mm} \cdot 12\text{mm} \left(\frac{t_w}{2} + \frac{12\text{mm}}{2} \right)^2 = 1.905 \times 10^7 \text{mm}^4$$

$$W_{el,y,\text{net}} := \frac{I_{y,\text{net}}}{z_p} = 4975790 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{y,\text{osl}} := \frac{W_{el,y,\text{net}} + W_{el,y}}{2} = 5327895 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el,z,\text{net}} := \frac{I_{z,\text{net}}}{y_p} = 181441 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{z,\text{osl}} := \frac{W_{el,z,\text{net}} + W_{el,z}}{2} = 182054 \cdot \text{mm}^3$$



$$f_{uk} := 340 \text{ MPa}$$
$$\psi_M := -1 \qquad k_{\sigma M} := 23.9$$

$$\lambda'_{pM} := \frac{\frac{h_w}{t_w}}{28.4 \cdot \epsilon \cdot \sqrt{k_{\sigma M}}} = 0.545$$

$$\rho_M := 1$$

Boulení vlivem ohybu nenastane.

4. boulení vlivem smyku dle ČSN EN 1993-1-5:

$$\eta := 1.2 \quad \text{dle ČSN EN 1993-1-5/NA}$$

- vzdálenost příčných výstuh

$$a := 1.8 \text{ m}$$

$$\frac{a}{h_w} = 2.25$$

- součinitel kritického napětí

$$k_T := 5.34 + 4 \cdot \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 = 6.13$$

$$\frac{h_w}{t_w} < \frac{31}{\eta} \cdot \epsilon \cdot \sqrt{k_T} = 0$$

nastává boulení vlivem smyku

- návrhová únosnost ve smyku

$$\lambda'_w := \frac{h_w}{37.4 \cdot t_w \cdot \epsilon \cdot \sqrt{k_T}} = 0.817$$

$$\chi_w := \frac{0.83}{\lambda'_w} = 1.016$$

$$V_{bw,Rd} := \frac{\chi_w \cdot f_{yk} \cdot h_w \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 842.522 \text{ kN}$$

S příspěvkem pásnic se neuvažuje.

5. vnitřní síly:

- v místě změny průřezu

$$M_{y,Ed,G} := 44.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z,Ed,G} := 0.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{z,Ed,G} := 32.9 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,G} := -3.0 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed,W} := 15.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z,Ed,W} := -0.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{z,Ed,W} := 8.3 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,W} := 5.6 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed,br} := 0.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z,Ed,br} := 0.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{z,Ed,br} := -1.6 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,br} := 11.8 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed,s} := 22.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z,Ed,s} := 2.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{z,Ed,s} := 8.9 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,s} := 22.0 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed,TTZ} := 320.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z,Ed,TTZ} := 0.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{z,Ed,TTZ} := 248.2 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,TTZ} := -24.9 \text{ kN}$$

6. výpočet kritického momentu pro kloupení hlavního nosníku:

- faktor kritického momentu ze stabilní analýzy	$\alpha_{cr} := 9.892$
- maximální ohybový moment	$M_{Ek,max} := 686 \text{ kN} \cdot \text{m}$
- kritický moment pro kloupení hlavního nosníku	$M_{cr} := M_{Ek,max} \cdot \alpha_{cr} = 6786 \text{ kN} \cdot \text{m}$

7. výpočet součinitele kloupení dle ČSN EN 1993-1-1 d. 63.22:

$$\chi' := \sqrt{\frac{W_{el,y} \cdot f_{yk}}{M_{cr}}} \quad \chi' = 0.419$$

krivka vzpernej pevnosti "d"

$$\phi_{LT} := 0.5 \left[1 + \alpha_{LT} (\chi' - 0.2) + \chi'^2 \right] \quad \alpha_{LT} := 0.76 \quad \phi_{LT} = 0.671$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \chi'^2}} \quad \chi_{LT} = 0.837$$

8. výpočet smykové odolnosti průřezu dle ČSN EN 1993-1-1:

- statický moment plochy	$S_y := 9512 \text{ mm}^2 \cdot 354.6 \text{ mm} = 3.373 \times 10^6 \text{ mm}^3$
- elastická smyková odolnost	$V_{Rd} := \frac{f_{yk} \cdot I_y \cdot t_w}{S_y \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 954.075 \text{ kN}$
- plastická smyková odolnost	$V_{pl,Rd} := \frac{H_w \cdot t_w \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 1.106 \times 10^3 \text{ kN}$

9. určení zatížitelnosti dle MP SŽDC v místě změny průřezu - pro horní vlákna:

$$\frac{V_{z,Ed,G} + V_{z,Ed,W} + V_{z,Ed,TTZ} + V_{z,Ed,br} + V_{z,Ed,s}}{V_{pl,Rd}} = 0.268 \quad \text{smyk nemá vliv na ohybovou odolnost průřezu}$$

$$\eta_{1,G} := \frac{-N_{Ed,G}}{A_{eff} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed,G}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed,G}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.053$$

$$\eta_{1,W} := \frac{-N_{Ed,W}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed,W}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed,W}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.014$$

$$\eta_{1,br} := \frac{-N_{Ed,br}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed,br}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed,br}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = -2.87 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{1,s} := \frac{-N_{Ed,s}}{A \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed,s}}{\chi_{LT} W_{el,y} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed,s}}{W_{el,z} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.103$$

$$\eta_{1,TTZ} := \frac{-N_{Ed,TTZ}}{A_{eff} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed,TTZ}}{\chi_{LT} W_{el,y} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed,TTZ}}{W_{el,z} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.394$$

$$\eta_1 := \eta_{1,G} + \eta_{1,W} + \eta_{1,br} + \eta_{1,s} + \eta_{1,TTZ} = 0.561 \quad \left| \begin{array}{ll} \text{"vyhovuje"} & \text{if } \eta_1 < 1 \\ \text{"nevyhovuje"} & \text{otherwise} \end{array} \right. = \text{"vyhovuje"}$$

Přechodnost hlavních nosníků na traťovou třídu zatížení C3/60 **vyhovuje**.

6 OVĚŘENÍ PŘECHODNOSTI TĚŽKÉ ZÁSILKY

Těžká zásilka je definována traťovou třídou zatížení D2 a rychlostí na mostě 10km/h. Pro tyto vstupní parametry byla stanovena přechodnost. Dílčí součinitel účinků zatížení byl zvolen v souladu s tab.2 Metodického pokynu pro „Vůz pro zvláštní přepravu s prověřenou hmotností“, tj. $\gamma_T = 1,03$. Rozhodující pro určení přechodnosti těžké zasilky byl podélník.

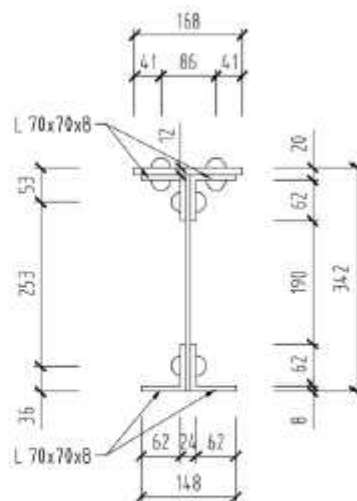
STANOVENÍ PŘECHODNOSTI ZATÍŽENÍ NA PODÉLNÍKU 1L

1. vstupní údaje:

- délka prutu $L_{po} := 1.8m$ $L_{\Phi} := 4.8m$

- průřezové charakteristiky plného průřezu

$$\begin{aligned} H &:= 342mm & H_w &:= H - 8mm - 20mm = 0.314m \\ B_h &:= 168mm & B_d &:= 148mm & A &:= 9504mm^2 \\ t_{fh} &:= 20mm & I_y &:= 1.596 \cdot 10^8 mm^4 & z_h &:= 138.2mm \\ t_{fd} &:= 8mm & I_z &:= 9.215 \cdot 10^6 mm^4 & z_d &:= 203.8mm \\ t_w &:= 8mm & y_h &:= 84mm \\ I_t &:= 1.057 \cdot 10^6 mm^4 & y_d &:= 84mm \\ I_w &:= 2.010 \cdot 10^{11} mm^6 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} W_{el,y,h} &:= \frac{I_y}{z_h} = 1154848 \cdot mm^3 & W_{el,z,h} &:= \frac{2 \cdot I_z}{B_h} = 109702 \cdot mm^3 \\ W_{el,y,d} &:= \frac{I_y}{z_d} = 783121 \cdot mm^3 & W_{el,z,d} &:= \frac{2 \cdot I_z}{B_d} = 124527 \cdot mm^3 \end{aligned}$$

- průřezové charakteristiky průřezu oslabeného krčnými nýty

$$A_{net} := A - 2 \cdot 0.02m \cdot t_w - 4 \cdot 0.02m \cdot t_{fd} = 8544 \cdot mm^2$$

$$I_{y,net} := I_y - 0.02m \cdot (t_w + 2t_{fd}) \cdot (z_d - 36mm)^2 - 0.02m \cdot (t_w + 2t_{fd}) \cdot (z_h - 53mm)^2 = 1.426 \cdot 10^8 \cdot mm^4$$

$$I_{z,net} := I_z - 2 \cdot 0.01m \cdot t_w \cdot \left(\frac{t_w}{4}\right)^2 - 4 \cdot 0.02m \cdot t_{fd} \cdot \left(\frac{t_w}{2} + \frac{t_{fd}}{2}\right)^2 = 9.173 \cdot 10^6 \cdot mm^4$$

$$W_{el,y,net,h} := \frac{I_{y,net}}{z_h} = 1031841 \cdot mm^3$$

$$W_{el,y,net,d} := \frac{I_{y,net}}{z_d} = 699707 \cdot mm^3$$

$$W_{y,osl,h} := \frac{W_{el,y,net,h} + W_{el,y,h}}{2} = 1093344 \cdot mm^3$$

$$W_{y,osl,d} := \frac{W_{el,y,net,d} + W_{el,y,d}}{2} = 741414 \cdot mm^3$$

$$W_{el,z,net,h} := \frac{I_{z,net}}{y_h} = 109207 \cdot mm^3$$

$$W_{el,z,net,d} := \frac{I_{z,net}}{y_d} = 109207 \cdot mm^3$$

$$W_{z,osl,h} := \frac{W_{el,z,net,h} + W_{el,z,h}}{2} = 109455 \cdot mm^3$$

$$W_{z,osl,d} := \frac{W_{el,z,net,d} + W_{el,z,d}}{2} = 116867 \cdot mm^3$$

- materiálové charakteristiky	svářkové železo	$\gamma_{M0} := 1.07$
	$E := 210 \text{ GPa}$	$\gamma_{M1} := 1.17$
	$G_{\omega} := \frac{E}{2 \cdot (1 + 0.3)} = 80769 \text{ MPa}$	$\gamma_{M2} := 1.3$
	$f_{yk} := 210 \text{ MPa}$	

2. zatížení průřezu dle ČSN EN 1993-1-1 čl. 5.5:

$$\xi_{yk} := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_{yk}}} = 1.058$$

- stěna $\frac{H - 2 \cdot 70 \text{ mm} - 12 \text{ mm}}{t_w} < 72 \cdot \epsilon = 1$ třída 1

- příruha $\xi_{yk} := \frac{B_h}{2} - \frac{t_w}{2} = 80 \text{ mm}$ $\frac{c}{t_{fh}} < 9 \cdot \epsilon = 1$ třída 1

Průřez patří do **třídy 3**, jelikož se jedná o nýtovaný průřez.

3a. vnitřní síly ve středu rozpětí

$M_{y,Ed,G} := 2.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,Ed,G} := 0.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$N_{Ed,G} := 0.3 \text{ kN}$	$V_{z,Ed,G} := -1.2 \text{ kN}$
$M_{y,Ed,W} := 1.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,Ed,W} := 0.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$N_{Ed,W} := 1.0 \text{ kN}$	$V_{z,Ed,W} := -0.1 \text{ kN}$
$M_{y,Ed,br} := 0.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,Ed,br} := 0.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$N_{Ed,br} := 5.3 \text{ kN}$	$V_{z,Ed,br} := 3.7 \text{ kN}$
$M_{y,Ed,s} := 5.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,Ed,s} := 14.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$N_{Ed,s} := 0.3 \text{ kN}$	$V_{z,Ed,s} := 4.9 \text{ kN}$
$M_{y,Ed,TTZ} := 46.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,Ed,TTZ} := 0.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$N_{Ed,TTZ} := 0.2 \text{ kN}$	$V_{z,Ed,TTZ} := 22.0 \text{ kN}$

3b. vnitřní síly na začátku

$V_{z2,Ed,G} := 4.3 \text{ kN}$
$V_{z2,Ed,W} := 4.3 \text{ kN}$
$V_{z2,Ed,br} := 4.7 \text{ kN}$
$V_{z2,Ed,s} := 12.1 \text{ kN}$
$V_{z2,Ed,TTZ} := 269.5 \text{ kN}$

4. odolnost průřezu

- plastická smyková odolnost stěny průřezu

$$V_{pl,Rd} := \frac{H_w \cdot t_w \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 284.639 \text{ kN}$$

- statický moment plochy

$$S_y := 3812 \text{ mm}^2 \cdot 154 \text{ mm} = 5.87 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

- elastická smyková odolnost průřezu

$$V_{Rd} := \frac{f_{yk} \cdot I_y \cdot t_w}{S_y \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 246.447 \text{ kN}$$

5. výpočet kritického momentu dle ČSN EN 1993-1-1/NA:

- faktory vzpěrné délky $k_\omega := 1$ $k_y := 1$ $k_z := 1$
- vzdálenost působíště síly od středu smyku $z_g := z_h = 0.138 \text{ m}$
- moment setrvačnosti tlačené pásnice $I_{fc} := \frac{1}{12} \cdot B_h \cdot t_{fh}^3 = 1.12 \times 10^5 \cdot \text{mm}^4$
- moment setrvačnosti tažené pásnice $I_{ft} := \frac{1}{12} \cdot B_d \cdot t_{fd}^3 = 6.315 \times 10^3 \cdot \text{mm}^4$
- parametr nesymetrie průřezu $\psi_f := \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} = 0.893$
- poměr koncových momentů $\psi := 0$
- vzdálenost z_j
 $h_f := 328 \text{ mm}$ $z_j := 0.45 \cdot \psi_f \cdot h_f = 0.132 \text{ m}$

- parametr zohledňující nesymetrii průřezu, krutovou a výsekovou tuhost a působíště zatížení

$$\kappa_{\omega t} := \frac{\pi}{k_\omega \cdot L_{po}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_\omega}{G \cdot I_t}} \quad \kappa_{\omega t} = 1.227$$

$$\zeta_g := \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L_{po}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} \quad \zeta_g = 1.148$$

$$\zeta_j := \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L_{po}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} \quad \zeta_j = 1.096$$

- faktory zohledňující typ zatížení a podmínky uložení dle ČSN EN 1993-1-1/NA

$$C_1 := 1.13 \quad \text{pre } \kappa_{\omega t} > 1$$

$$C_2 := 0.46 \quad \text{pre } \psi_f = 0.893$$

$$C_3 := 0.53 \quad \text{pre } \psi_f = 0.893$$

$$\mu_{cr} := \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + \kappa_{\omega t}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right] \quad \mu_{cr} = 1.849$$

$$M_{cr} := \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L_{po}} \quad M_{cr} = 1312 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

6. výpočet součinitele kloupení:

$$\chi := \sqrt{\frac{W_{el.y} \cdot h \cdot f_{yk}}{M_{cr}}} \quad \chi = 0.43$$

$$\text{křivka vzpěrné pevnosti "d"} \quad \alpha_{LT} := 0.76$$

$$\phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda' - 0.2) + \lambda'^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0.68$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda'^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0.829$$

7. stanovení zatížitelnosti dle MP SŽDC:

- zatížitelnost průřezu - normálová napětí dolní vlákno

- poměr smykové síly a plastické smykové odolnosti

$$\eta_3 := \frac{V_{z.Ed.G} + V_{z.Ed.W} + V_{z.Ed.br} + V_{z.Ed.s} + V_{z.Ed.TTZ}}{V_{pl.Rd}} = 0.103 \quad \text{smyk nemá vliv na ohybovou únosnost}$$

$$\eta_{1,G} := \frac{N_{Ed,G}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,Ed,G}}{W_{y.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z,Ed,G}}{W_{z.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} = 0.017$$

$$\eta_{1,W} := \frac{N_{Ed,W}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,Ed,W}}{W_{y.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z,Ed,W}}{W_{z.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} = 0.044$$

$$\eta_{1,br} := \frac{N_{Ed,br}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,Ed,br}}{W_{y.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z,Ed,br}}{W_{z.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} = 5.222 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{1,s} := \frac{N_{Ed,s}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,Ed,s}}{W_{y.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z,Ed,s}}{W_{z.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} = 0.655$$

$$\eta_{1,TTZ} := \frac{N_{Ed,TTZ}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,Ed,TTZ}}{W_{y.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z,Ed,TTZ}}{W_{z.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} = 0.319$$

$$\eta_1 := \eta_{1,G} + \eta_{1,W} + \eta_{1,br} + \eta_{1,s} + \eta_{1,TTZ} = 1.04$$

"vyhovuje" if $\eta_1 < 1$ = "nevyhovuje"
"nevyhovuje" otherwise

Přechodnost mostu pro těžkou zásilku **nevyhovuje** při rychlosti 10km/h.

7 ZÁVĚR STATICKÉHO PŘEPOČTU A NÁVRH OPATŘENÍ

Účelem statického přepočtu mostu v evd. km 24,922 „Kout n/Š u zámku“ bylo stanovení zatížitelnosti Z_{LM71} a následně ověření přechodnosti zatížení traťové třídy C3/60. Z výsledků statického přepočtu vyplývá, že most **nevyhovuje** na traťovou třídu C3/60.

Byl také proveden výpočet přechodnosti pro TTZ C3 se snížením rychlosti na mostě na 30km/h. Na základě výsledků je zřejmé, že most je nepřechodný pro traťovou třídu C3 ani se snížením rychlosti na 30km/h.

Dále byla ověřena přechodnost těžké zásilky, která byla definována traťovou třídou D2 a rychlostí na mostě 10km/h. Most pro tyto parametry těžké zásilky **nevyhovuje**. Po snížení traťové rychlosti na 5km/h můžeme přechodnost těžké zásilky považovat za vyhovující.

Nutná opatření vyplývající se statického přepočtu:

1. Stavební opatření
 - výměna zdeformovaného dolního ztužení
 - výměna natržených a zdeformovaných krčních úhelníků podélníku ve třetím poli dle [3]
2. Dopravní opatření
 - snížení traťové třídy zatížení na B2
 - snížení traťové rychlosti na mostě na 40km/h
 - pro zabezpečení přechodnosti těžké zásilky snížení traťové rychlosti na mostě na 5km/h

Přílohy:

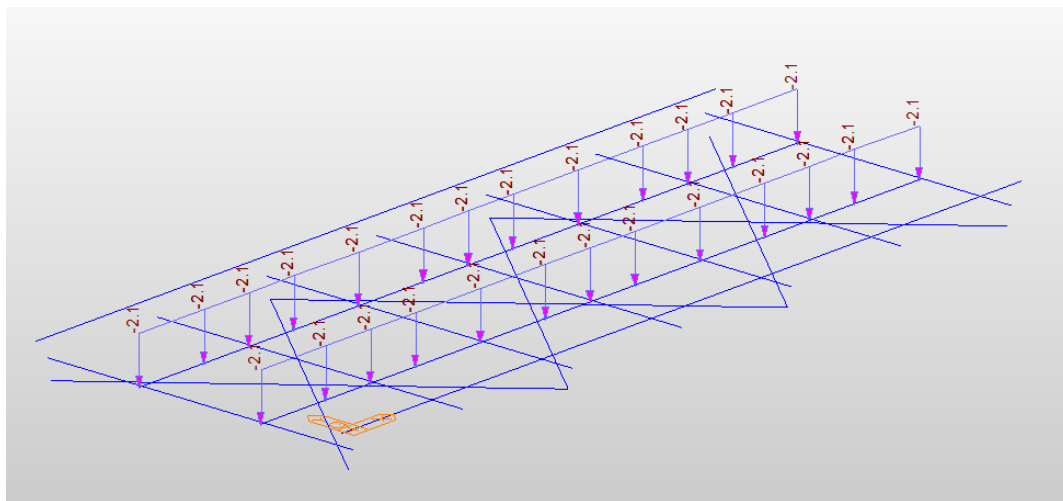
1. Vybrané zatěžovací stavy
2. Tabulkový výpis vnitřních sil
3. Výpočet zatížitelnosti ostatních prvků

Žilina, 28.02.2019

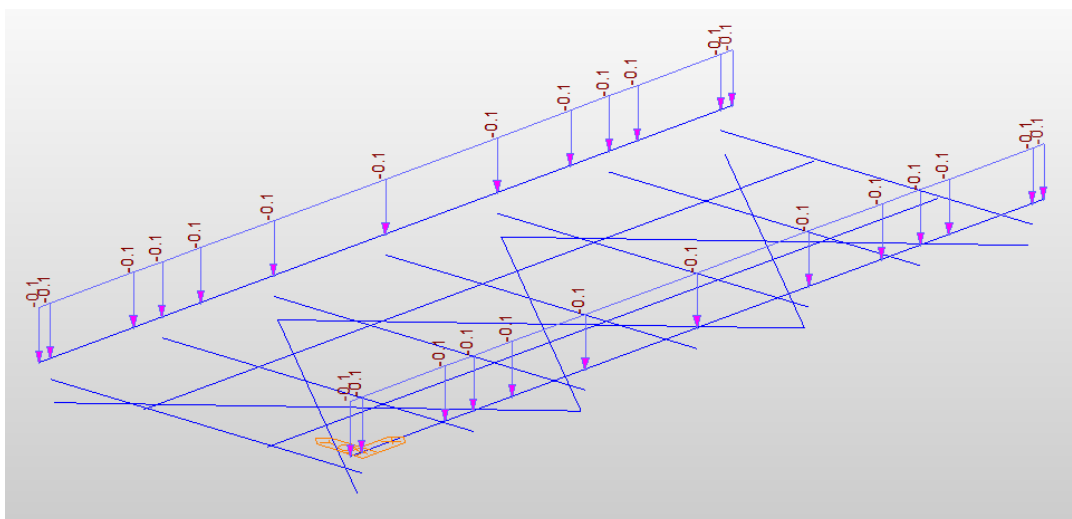


Ing. Jozef Vičan

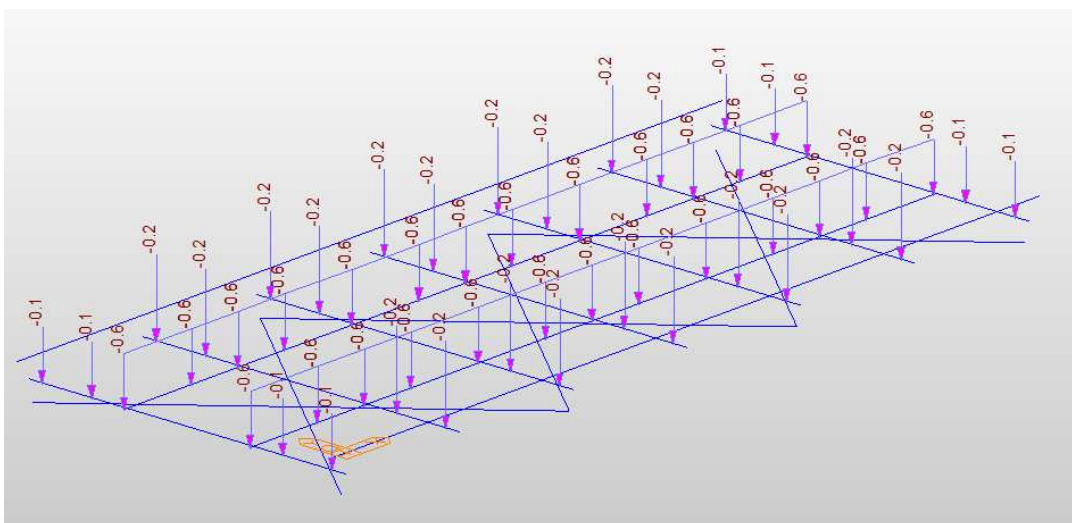
Příloha 1. Vybrané zatěžovací stavy



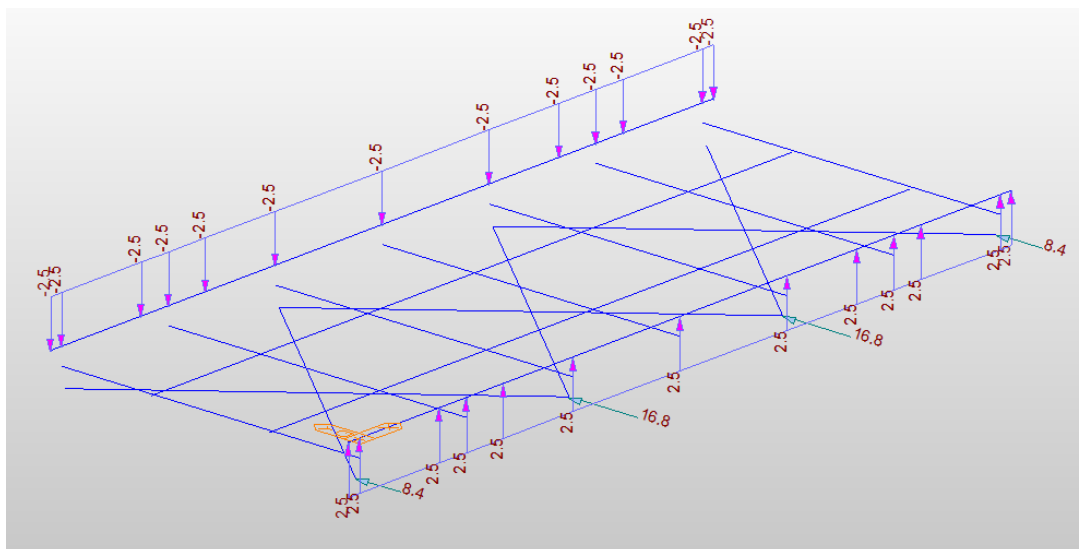
Obr. Mostní svršek



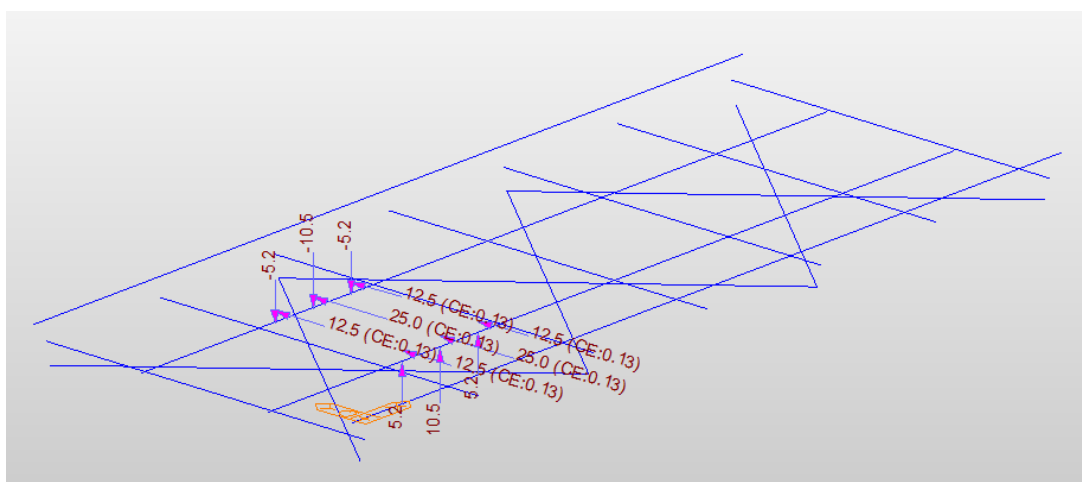
Obr. Zábradlí



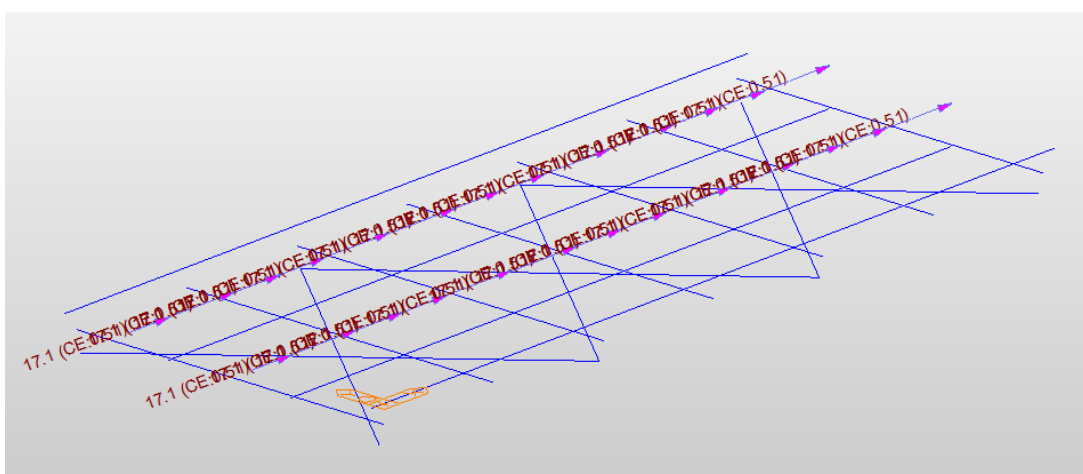
Obr. Krycí plech



Obr. Vítr na hlavní nosníky



Obr. Bočný ráz v poli 2



Obr. Rozjezdové síly

Příloha 2. Tabulkový výpis vnitřních sil

Podélník 1L

charakteristické hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
25	vietor na pozdlniky +Y	2/4	Moment-y	0.6	0.1	0.4	0.0	1.9	-0.8
25	brzdne sily +X	2/4		6.9	0.0	4.9	0.0	0.4	0.0
25	brzdne sily -X	2/4		-6.9	0.0	-4.9	0.0	-0.4	0.0
25	rozjzdove sily +X	2/4		11.4	0.0	8.0	0.0	0.7	0.0
25	rozjzdove sily -X	2/4		-11.4	0.0	-8.0	0.0	-0.6	0.0
25	vietor na HN +Y	2/4		0.6	0.0	-0.5	0.0	0.4	0.0
25	LM71_L(all)	2/4		2.0	0.1	-45.5	0.0	55.4	-0.1
25	stale	2/4		0.3	0.0	-1.1	0.0	2.4	0.0
25	bocnerazy +Y(all)	2/4		0.4	-12.3	5.3	1.6	6.3	-15.2

navrhove hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
25	vietor na pozdlniky +Y	2/4	Moment-y	0.7	0.1	0.4	0.0	2.1	-0.9
25	brzdne sily +X	2/4		8.1	0.0	5.6	0.0	0.5	0.0
25	brzdne sily -X	2/4		-8.1	0.0	-5.6	0.0	-0.5	0.0
25	rozjzdove sily +X	2/4		13.2	0.0	9.3	0.0	0.8	0.0
25	rozjzdove sily -X	2/4		-13.2	0.0	-9.3	0.0	-0.7	0.0
25	vietor na HN +Y	2/4		0.7	0.0	-0.5	0.0	0.5	0.0
25	LM71_L(all)	2/4		4.2	0.2	-95.9	0.0	116.7	-0.1
25	stale	2/4		0.4	0.0	-1.4	0.0	2.9	0.0
25	bocnerazy +Y(all)	2/4		0.4	-14.3	6.1	1.9	7.3	-17.6

kombinacia 6.10b

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
	stale		Moment-y	0.3	0.0	-1.2	0.0	2.4	0.0
	LM71 - gr11			17.6	-7.0	-83.5	1.0	121.1	-8.9
	LM71 - gr12			11.2	-14.1	-85.1	1.9	124.4	-17.7
	vietor			1.0	0.1	-0.1	0.0	1.9	-0.7
	suma			18.9	-6.9	-84.8	1.9	128.8	-9.7

charakteristické hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
25	vietor na pozdlniky +Y	I[28]	Shear-z	0.6	1.7	-4.5	0.0	0.0	0.0
25	brzdne sily +X	I[28]		16.3	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0
25	brzdne sily -X	I[28]		-16.3	0.0	-4.9	0.0	0.0	0.0
25	rozjzdove sily +X	I[28]		26.8	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0
25	rozjzdove sily -X	I[28]		-26.8	0.0	-8.0	0.0	0.0	0.0
25	vietor na HN +Y	I[28]		0.6	0.0	-0.5	0.0	0.0	0.0
25	LM71_L(all)	I[28]		1.2	0.1	-128.0	0.0	0.0	0.0
25	stale	I[28]		0.3	0.0	-4.2	0.0	0.0	0.0
25	bocnerazy +Y(all)	I[28]		0.4	25.2	-10.4	-3.3	0.0	0.0

navrhové hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
25	vietor na pozdlniky +Y	I[28]	Shear-z	0.7	2.0	-5.1	0.0	0.0	0.0
25	brzdne sily +X	I[28]		18.9	0.0	5.6	0.0	0.0	0.0
25	brzdne sily -X	I[28]		-18.9	0.0	-5.6	0.0	0.0	0.0
25	rozjzdove sily +X	I[28]		31.1	0.0	9.3	0.0	0.0	0.0
25	rozjzdove sily -X	I[28]		-31.1	0.0	-9.3	0.0	0.0	0.0
25	vietor na HN +Y	I[28]		0.7	0.0	-0.5	0.0	0.0	0.0
25	LM71_L(all)	I[28]		2.5	0.1	-269.5	0.0	0.0	0.0
25	stale	I[28]		0.4	0.0	-5.0	0.0	0.0	0.0
25	bocnerazy +Y(all)	I[28]		0.4	29.2	-12.1	-3.8	0.0	0.0

kombinácia 6.10b

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
	stale		Shear-z	0.3	0.0	-4.3	0.0	0.0	0.0
	LM71 - gr11			-28.3	14.7	-284.8	-1.9	0.0	0.0
	LM71 - gr12			-12.6	29.3	-286.2	-3.7	0.0	0.0
	vietor			1.0	1.5	-4.3	0.0	0.0	0.0
	suma			-11.3	30.8	-293.4	-1.9	0.0	0.0

Podélník 1L smyk

charakteristicke hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
26	vietor na pozdlniky +Y	2/4	Moment-y	1.0	-0.5	0.3	0.0	1.3	-0.4
26	brzdne sily +X	2/4		4.4	0.0	5.7	0.0	0.5	0.0
26	brzdne sily -X	2/4		-4.4	0.0	-5.7	0.0	-0.5	0.0
26	rozjazdove sily +X	2/4		7.2	0.0	9.3	0.0	0.8	0.0
26	rozjazdove sily -X	2/4		-7.2	0.0	-9.3	0.0	-0.8	0.0
26	vietor na HN +Y	2/4		1.0	0.1	0.3	0.0	0.6	-0.1
26	LM71_L(all)	2/4		3.1	-0.1	-31.9	0.0	64.1	0.0
26	stale	2/4		0.6	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0
26	bocnerazy +Y(all)	2/4		1.4	7.6	6.2	-1.6	5.6	-11.9

navrhove hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
26	vietor na pozdlniky +Y	2/4	Moment-y	1.2	-0.6	0.3	0.0	1.5	-0.5
26	brzdne sily +X	2/4		5.1	0.0	6.6	0.0	0.5	0.0
26	brzdne sily -X	2/4		-5.1	0.0	-6.6	0.0	-0.5	0.0
26	rozjazdove sily +X	2/4		8.4	0.0	10.8	0.0	0.9	0.0
26	rozjazdove sily -X	2/4		-8.4	0.0	-10.8	0.0	-0.9	0.0
26	vietor na HN +Y	2/4		1.2	0.1	0.3	0.0	0.6	-0.1
26	LM71_L(all)	2/4		6.6	-0.1	-67.2	0.0	135.0	-0.1
26	stale	2/4		0.7	0.0	0.0	0.0	4.1	0.0
26	bocnerazy +Y(all)	2/4		1.6	8.8	7.2	-1.9	6.4	-13.8

kombinacia 6.10b

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
	stale		Moment-y	0.6	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0
	LM71 - gr11			15.7	4.3	-52.8	-0.9	139.1	-6.9
	LM71 - gr12			12.3	8.7	-54.6	-1.9	141.9	-13.8
	vietor			1.8	-0.4	0.5	0.0	1.6	-0.5
	suma			18.1	8.3	-52.3	-0.9	147.0	-7.4

Podélník 2L

charakteristicke hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
26	vietor na pozdlniky +Y	J[30]	Shear-z	1.0	-2.2	5.1	0.0	-1.1	0.8
26	brzdne sily +X	J[30]		-5.0	0.0	5.7	0.0	0.1	0.0
26	brzdne sily -X	J[30]		5.0	0.0	-5.7	0.0	-0.1	0.0
26	rozjazdove sily +X	J[30]		-8.2	0.0	9.3	0.0	0.2	0.0
26	rozjazdove sily -X	J[30]		8.2	0.0	-9.3	0.0	-0.2	0.0
26	vietor na HN +Y	J[30]		1.0	0.1	0.3	0.0	0.3	-0.2
26	LM71_L(all)	J[30]		4.0	0.0	126.3	0.0	6.0	0.0
26	stale	J[30]		0.6	0.0	3.0	0.0	2.1	0.0
26	bocnerazy +Y(all)	J[30]		1.4	-29.9	11.4	3.3	-1.6	7.6

navrhove hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
26	vietor na pozdlniky +Y	J[30]	Shear-z	1.2	-2.5	5.9	0.0	-1.3	0.9
26	brzdne sily +X	J[30]		-5.8	0.0	6.6	0.0	0.2	0.0
26	brzdne sily -X	J[30]		5.8	0.0	-6.6	0.0	-0.2	0.0
26	rozjazdove sily +X	J[30]		-9.5	0.0	10.8	0.0	0.2	0.0
26	rozjazdove sily -X	J[30]		9.5	0.0	-10.8	0.0	-0.2	0.0
26	vietor na HN +Y	J[30]		1.2	0.1	0.3	0.0	0.3	-0.2
26	LM71_L(all)	J[30]		8.3	-0.1	265.8	0.0	12.6	0.0
26	stale	J[30]		0.7	0.0	3.6	0.0	2.5	0.0
26	bocnerazy +Y(all)	J[30]		1.6	-34.7	13.2	3.8	-1.9	8.8

kombinacia 6.10b

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
	stale		Shear-z	0.6	0.0	3.1	0.0	2.1	0.0
	LM71 - gr11			-0.3	-17.4	283.3	1.9	11.9	4.4
	LM71 - gr12			5.2	-34.8	284.5	3.7	10.9	8.8
	vietor			1.8	-1.8	4.6	0.0	-0.7	0.5
	suma			7.5	-19.2	292.2	3.7	13.3	9.3

Podélník 2L smyk

charakteristicke hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
27	vietor na pozdlniky +Y	2/4	Moment-y	1.3	0.3	-0.2	0.0	1.2	-0.3
27	brzdne sily +X	2/4		1.8	0.0	5.4	0.0	0.1	0.0
27	brzdne sily -X	2/4		-1.8	0.0	-5.4	0.0	-0.1	0.0
27	rozjazdove sily +X	2/4		2.9	0.0	8.8	0.0	0.1	0.0
27	rozjazdove sily -X	2/4		-2.9	0.0	-8.8	0.0	-0.1	0.0
27	vietor na HN +Y	2/4		1.3	0.0	-0.3	0.0	0.5	-0.1
27	LM71_L(all)	2/4		4.1	0.1	-37.2	0.0	65.0	0.0
27	stale	2/4		0.7	0.0	-0.3	0.0	3.7	0.0
27	bocnerazy +Y(all)	2/4		2.1	14.9	4.5	-1.6	5.4	-11.5

navrhove hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
27	vietor na pozdlniky +Y	2/4	Moment-y	1.5	0.4	-0.3	0.0	1.4	-0.3
27	brzdne sily +X	2/4		2.0	0.0	6.2	0.0	0.1	0.0
27	brzdne sily -X	2/4		-2.0	0.0	-6.2	0.0	-0.1	0.0
27	rozjazdove sily +X	2/4		3.4	0.0	10.2	0.0	0.2	0.0
27	rozjazdove sily -X	2/4		-3.4	0.0	-10.2	0.0	-0.2	0.0
27	vietor na HN +Y	2/4		1.5	0.0	-0.3	0.0	0.6	-0.2
27	LM71_L(all)	2/4		8.6	0.3	-78.2	0.0	136.9	-0.1
27	stale	2/4		0.8	0.0	-0.4	0.0	4.5	0.0
27	bocnerazy +Y(all)	2/4		2.4	17.2	5.2	-1.9	6.3	-13.4

kombinacia 6.10b

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
	stale		Moment-y	0.7	0.0	-0.3	0.0	3.8	0.0
	LM71 - gr11			13.2	8.9	-65.4	-0.9	140.2	-6.8
	LM71 - gr12			12.7	17.5	-67.9	-1.9	143.3	-13.4
	vietor			2.2	0.3	-0.4	0.0	1.5	-0.3
	suma			16.1	17.8	-66.1	-0.9	148.6	-7.1

Podélník 3L

charakteristicke hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
27	vietor na pozdlniky +Y	I[30]	Shear-z	1.3	2.0	-5.1	0.0	-1.1	0.8
27	brzdne sily +X	I[30]		11.1	0.0	5.4	0.0	0.1	0.0
27	brzdne sily -X	I[30]		-11.1	0.0	-5.4	0.0	-0.1	0.0
27	rozjazdove sily +X	I[30]		18.3	0.0	8.8	0.0	0.2	0.0
27	rozjazdove sily -X	I[30]		-18.3	0.0	-8.8	0.0	-0.2	0.0
27	vietor na HN +Y	I[30]		1.3	0.0	-0.3	0.0	0.3	-0.2
27	LM71_L(all)	I[30]		3.9	0.1	-126.9	0.0	6.2	0.0
27	stale	I[30]		0.7	0.0	-3.4	0.0	2.1	0.0
27	bocnerazy +Y(all)	I[30]		2.1	27.4	-11.2	-3.3	-1.5	5.6

navrhove hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
27	vietor na pozdlniky +Y	I[30]	Shear-z	1.5	2.3	-5.8	0.0	-1.3	0.9
27	brzdne sily +X	I[30]		12.9	0.0	6.2	0.0	0.2	0.0
27	brzdne sily -X	I[30]		-12.9	0.0	-6.2	0.0	-0.2	0.0
27	rozjazdove sily +X	I[30]		21.2	0.0	10.2	0.0	0.2	0.0
27	rozjazdove sily -X	I[30]		-21.2	0.0	-10.2	0.0	-0.2	0.0
27	vietor na HN +Y	I[30]		1.5	0.0	-0.3	0.0	0.3	-0.2
27	LM71_L(all)	I[30]		8.1	0.2	-267.2	0.0	12.9	0.1
27	stale	I[30]		0.8	0.0	-4.0	0.0	2.5	0.0
27	bocnerazy +Y(all)	I[30]		2.4	31.7	-13.0	-3.8	-1.8	6.5

kombinacia 6.10b

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
	stale		Shear-z	0.7	0.0	-3.4	0.0	2.1	0.0
	LM71 - gr11			-11.8	16.0	-283.9	-1.9	11.8	3.3
	LM71 - gr12			0.0	31.9	-285.3	-3.7	11.1	6.6
	vietor			2.2	1.7	-4.6	0.0	-0.7	0.5
	suma			2.9	33.6	-291.9	-1.9	13.2	7.1

Podélník 3L smyk

charakteristicke hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
28	vietor na pozdlniky +Y	2/4	Moment-y	1.3	-0.3	0.2	0.0	1.2	-0.3
28	brzdne sily +X	2/4		-0.9	0.0	5.5	0.0	-0.1	0.0
28	brzdne sily -X	2/4		0.9	0.0	-5.5	0.0	0.1	0.0
28	rozjazdove sily +X	2/4		-1.6	0.0	9.0	0.0	-0.2	0.0
28	rozjazdove sily -X	2/4		1.6	0.0	-9.0	0.0	0.2	0.0
28	vietor na HN +Y	2/4		1.3	0.0	0.3	0.0	0.5	-0.1
28	LM71_L(all)	2/4		4.0	-0.1	37.2	0.0	65.0	0.0
28	stale	2/4		0.7	0.0	0.3	0.0	3.7	0.0
28	bocnerazy +Y(all)	2/4		2.1	10.1	6.0	-1.6	5.4	-11.5

navrhove hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
28	vietor na pozdlniky +Y	2/4	Moment-y	1.5	-0.4	0.3	0.0	1.4	-0.3
28	brzdne sily +X	2/4		-1.1	0.0	6.3	0.0	-0.1	0.0
28	brzdne sily -X	2/4		1.1	0.0	-6.3	0.0	0.1	0.0
28	rozjazdove sily +X	2/4		-1.8	0.0	10.4	0.0	-0.2	0.0
28	rozjazdove sily -X	2/4		1.8	0.0	-10.4	0.0	0.2	0.0
28	vietor na HN +Y	2/4		1.5	0.0	0.3	0.0	0.6	-0.2
28	LM71_L(all)	2/4		8.4	-0.3	78.2	0.0	136.9	-0.1
28	stale	2/4		0.8	0.0	0.4	0.0	4.5	0.0
28	bocnerazy +Y(all)	2/4		2.4	11.8	7.0	-1.9	6.3	-13.4

kombinacia 6.10b

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
	stale		Moment-y	0.7	0.0	0.3	0.0	3.8	0.0
	LM71 - gr11			11.4	5.6	71.3	-1.0	140.3	-6.8
	LM71 - gr12			11.7	11.5	80.0	-1.9	143.3	-13.4
	vietor			2.2	-0.3	0.4	0.0	1.5	-0.3
	suma			14.6	11.2	80.7	-1.0	148.6	-7.1

Podélník 4L

charakteristicke hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
28	vietor na pozdlniky +Y	J[32]	Shear-z	1.3	-2.0	5.1	0.0	-1.1	0.8
28	brzdne sily +X	J[32]		-10.3	0.0	5.5	0.0	-0.3	0.0
28	brzdne sily -X	J[32]		10.3	0.0	-5.5	0.0	0.3	0.0
28	rozjzdove sily +X	J[32]		-16.9	0.0	9.0	0.0	-0.4	0.0
28	rozjzdove sily -X	J[32]		16.9	0.0	-9.0	0.0	0.4	0.0
28	vietor na HN +Y	J[32]		1.3	0.0	0.3	0.0	0.3	-0.2
28	LM71_L(all)	J[32]		4.0	-0.1	126.9	0.0	6.2	0.0
28	stale	J[32]		0.7	0.0	3.4	0.0	2.1	0.0
28	bocne razy +Y(all)	J[32]		2.1	-27.4	11.2	3.3	-1.5	5.6

navrhove hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
28	vietor na pozdlniky +Y	J[32]	Shear-z	1.5	-2.3	5.8	0.0	-1.3	0.9
28	brzdne sily +X	J[32]		-11.9	0.0	6.3	0.0	-0.3	0.0
28	brzdne sily -X	J[32]		11.9	0.0	-6.3	0.0	0.3	0.0
28	rozjzdove sily +X	J[32]		-19.7	0.0	10.4	0.0	-0.5	0.0
28	rozjzdove sily -X	J[32]		19.7	0.0	-10.4	0.0	0.5	0.0
28	vietor na HN +Y	J[32]		1.5	0.0	0.3	0.0	0.3	-0.2
28	LM71_L(all)	J[32]		8.4	-0.2	267.2	0.0	12.9	0.1
28	stale	J[32]		0.8	0.0	4.0	0.0	2.5	0.0
28	bocne razy +Y(all)	J[32]		2.4	-31.7	13.0	3.8	-1.8	6.5

kombinacia 6.10b

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
	stale		Shear-z	0.7	0.0	3.4	0.0	2.1	0.0
	LM71 - gr11			-10.0	-16.0	284.1	1.9	11.6	3.3
	LM71 - gr12			1.0	-31.9	285.4	3.7	10.9	6.6
	vietor			2.2	-1.7	4.6	0.0	-0.7	0.5
	suma			3.9	-17.7	293.4	3.7	13.0	7.1

Podélník 4L smyk

Podélník 1L přechodnost C3/60

charakteristické hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
25	viator na pozdlzniky +Y	2/4	Moment-y	0.6	0.1	0.4	0.0	1.9	-0.8
25	C3_brzdne sily +X	2/4		5.5	0.0	3.9	0.0	0.3	0.0
25	C3_brzdne sily -X	2/4		-5.5	0.0	-3.9	0.0	-0.3	0.0
25	C3_rozjazdove sily +X	2/4		9.1	0.0	6.4	0.0	0.5	0.0
25	C3_rozjazdove sily -X	2/4		-9.1	0.0	-6.4	0.0	-0.5	0.0
25	viator na HN +Y	2/4		0.6	0.0	-0.5	0.0	0.4	0.0
25	C3_L(all)	2/4		0.1	0.0	18.0	0.0	37.8	0.0
25	stale	2/4		0.3	0.0	-1.1	0.0	2.4	0.0
25	C3_bocnerazy +Y(all)	2/4		0.3	-9.9	4.2	1.3	5.0	-12.2

navrhové hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
25	viator na pozdlzniky +Y	2/4	Moment-y	0.7	0.1	0.4	0.0	2.1	-0.9
25	C3_brzdne sily +X	2/4		6.4	0.0	4.5	0.0	0.4	0.0
25	C3_brzdne sily -X	2/4		-6.4	0.0	-4.5	0.0	-0.4	0.0
25	C3_rozjazdove sily +X	2/4		10.6	0.0	7.4	0.0	0.6	0.0
25	C3_rozjazdove sily -X	2/4		-10.6	0.0	-7.4	0.0	-0.6	0.0
25	viator na HN +Y	2/4		0.7	0.0	-0.5	0.0	0.5	0.0
25	C3_L(all)	2/4		0.2	0.0	28.5	0.0	60.0	0.0
25	stale	2/4		0.4	0.0	-1.4	0.0	2.9	0.0
25	C3_bocnerazy +Y(all)	2/4		0.3	-11.4	4.9	1.5	5.8	-14.1

kombinácia 6.10b

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
	stale		Moment-y	0.3	0.0	-1.2	0.0	2.4	0.0
	C3_60 - gr11			11.0	-5.7	38.4	0.8	63.5	-7.1
	C3_60 – gr12			5.9	-11.4	37.2	1.5	66.1	-14.1
	viator			1.0	0.1	-0.1	0.0	1.9	-0.7
	suma			12.3	-5.6	37.2	1.5	70.5	-7.8

Podélník 1L přechodnost B2/40

charakteristické hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
25	viator na pozdlzniky +Y	2/4	Moment-y	0.6	0.1	0.4	0.0	1.9	-0.8
25	B2_brzdne sily +X	2/4		5.0	0.0	3.5	0.0	0.3	0.0
25	B2_brzdne sily -X	2/4		-5.0	0.0	-3.5	0.0	-0.3	0.0
25	B2_rozjazdove sily +X	2/4		9.1	0.0	6.4	0.0	0.5	0.0
25	B2_rozjazdove sily -X	2/4		-9.1	0.0	-6.4	0.0	-0.5	0.0
25	viator na HN +Y	2/4		0.6	0.0	-0.5	0.0	0.4	0.0
25	B2_L(all)	2/4		0.0	0.0	15.8	0.0	34.3	0.0
25	stale	2/4		0.3	0.0	-1.1	0.0	2.4	0.0
25	B2_bocnerazy +Y(all)	2/4		0.3	-8.9	3.8	1.2	4.5	-11.0

navrhové hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
25	viator na pozdlzniky +Y	2/4	Moment-y	0.7	0.1	0.4	0.0	2.1	-0.9
25	B2_brzdne sily +X	2/4		5.8	0.0	4.1	0.0	0.3	0.0
25	B2_brzdne sily -X	2/4		-5.8	0.0	-4.1	0.0	-0.3	0.0
25	B2_rozjazdove sily +X	2/4		10.6	0.0	7.4	0.0	0.6	0.0
25	B2_rozjazdove sily -X	2/4		-10.6	0.0	-7.4	0.0	-0.6	0.0
25	viator na HN +Y	2/4		0.7	0.0	-0.5	0.0	0.5	0.0
25	B2_L(all)	2/4		0.0	0.0	22.7	0.0	49.4	0.0
25	stale	2/4		0.4	0.0	-1.4	0.0	2.9	0.0
25	B2_bocnerazy +Y(all)	2/4		0.3	-10.3	4.4	1.4	5.3	-12.7

kombinácia 6.10b

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
	stale		Moment-y	0.3	0.0	-1.2	0.0	2.4	0.0
	B2_40 - gr11			10.7	-5.2	32.3	0.7	52.6	-6.4
	B2_40 – gr12			5.6	-10.3	30.8	1.4	54.9	-12.7
	viator			1.0	0.1	-0.1	0.0	1.9	-0.7
	suma			12.0	-5.1	31.1	1.4	59.3	-7.1

Příčník 4

charakteristické hodnoty

	Ele m	Load	Part	Compone nt	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
polovica rozpatia	41	vietor na pozdlzniky +Y	2/4	Moment- y	0.0	-0.1	-5.9	0.0	0.0	0.0
	41	brzdne sily +X	2/4	Moment- y	0.2	0.0	0.0	0.0	-0.2	3.8
	41	brzdne sily -X	2/4	Moment- y	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	-3.8
	41	rozjazdove sily +X	2/4	Moment- y	0.3	0.0	0.0	0.0	-0.3	6.2
	41	rozjazdove sily -X	2/4	Moment- y	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	-6.2
	41	vietor na HN +Y	2/4	Moment- y	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.6	0.0
	41	LM71_L(all)	2/4	Moment- y	4.5	0.0	-9.7	0.0	188.6	0.0
	41	stale	2/4	Moment- y	0.4	0.0	0.0	0.0	10.9	0.0
	41	bocnerazy +Y(all)	2/4	Moment- y	0.0	-5.2	-6.7	0.0	0.3	0.0
pravy pozdlznik	41	vietor na pozdlzniky +Y	I[45]	Moment- y	0.0	-0.1	-5.9	0.0	-5.3	0.0
	41	brzdne sily +X	I[45]	Moment- y	0.2	0.0	0.0	0.0	-0.2	3.8
	41	brzdne sily -X	I[45]	Moment- y	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	-3.8
	41	rozjazdove sily +X	I[45]	Moment- y	0.3	0.0	0.0	0.0	-0.3	6.2
	41	rozjazdove sily -X	I[45]	Moment- y	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	-6.2
	41	vietor na HN +Y	I[45]	Moment- y	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.6	0.0

	41	LM71_L(all)	I[45]	Moment-y	4.5	0.0	-9.5	0.0	180.0	0.0
	41	stale	I[45]	Moment-y	0.4	0.0	-1.2	0.0	10.4	0.0
	41	bocne razy +Y(all)	I[45]	Moment-y	0.0	-5.2	-6.7	0.0	-5.7	-4.6
lavy pozdlnik	41	vietor na pozdlniky +Y	J[52]	Moment-y	0.0	-0.1	-5.9	0.0	5.3	0.0
	41	brzdne sily +X	J[52]	Moment-y	0.2	0.0	0.0	0.0	-0.2	3.8
	41	brzdne sily -X	J[52]	Moment-y	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	-3.8
	41	rozjzдове sily +X	J[52]	Moment-y	0.3	0.0	0.0	0.0	-0.3	6.2
	41	rozjzдове sily -X	J[52]	Moment-y	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	-6.2
	41	vietor na HN +Y	J[52]	Moment-y	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.6	0.0
	41	LM71_L(all)	J[52]	Moment-y	4.5	0.0	-9.9	0.0	197.5	0.0
	41	stale	J[52]	Moment-y	0.4	0.0	1.2	0.0	10.4	0.0
	41	bocne razy +Y(all)	J[52]	Moment-y	0.0	-5.2	-6.7	0.0	6.3	4.6
koniec	48	vietor na pozdlniky +Y	J[59]	Shear-z	-2.4	-0.1	3.4	0.0	0.6	0.1
	48	brzdne sily +X	J[59]	Shear-z	0.1	18.8	-0.1	0.0	0.0	-14.1
	48	brzdne sily -X	J[59]	Shear-z	-0.1	-18.8	0.1	0.0	0.0	14.1
	48	rozjzдове sily +X	J[59]	Shear-z	0.2	30.9	-0.2	0.0	-0.1	-23.2
	48	rozjzдове sily -X	J[59]	Shear-z	-0.2	-30.9	0.2	0.0	0.1	23.2
	48	vietor na HN +Y	J[59]	Shear-z	0.2	-0.1	-0.4	0.0	0.0	0.1
	48	LM71_L(all)	J[59]	Shear-z	3.0	0.2	146.0	0.0	-1.1	-0.2
	48	stale	J[59]	Shear-z	0.3	0.0	8.8	0.0	-0.1	0.0
	48	bocne razy +Y(all)	J[59]	Shear-z	-18.4	-5.2	3.5	0.0	4.3	2.9

Kombinacia 6.10b -
 $\xi G^* \gamma G^* G_k + \gamma Q^* \text{grLM71} + \gamma Q^* \psi_0, W^* W_k$

	Ele m	Load	Part	Compo nent	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
polovica rozpatia	41	stale	2/4	Moment- y	0.4	0.0	0.0	0.0	11.1	0.0
	41	LM71-gr11	2/4	Moment- y	7.4	-3.0	-20.8	0.0	328.6	-7.2
	41	LM71-gr12	2/4	Moment- y	7.6	-5.9	-24.7	0.0	328.6	-3.6
	41	vietor	2/4	Moment- y	0.0	0.0	-5.1	0.0	-0.6	0.0
	41	suma	2/4	Moment- y	8.0	-3.0	-25.9	0.0	339.2	-3.6
pravy pozdlnik	41	stale	I[45]	Moment- y	0.4	0.0	-1.2	0.0	10.6	0.0
	41	LM71-gr11	I[45]	Moment- y	7.4	-3.0	-20.4	0.0	310.1	-9.8
	41	LM71-gr12	I[45]	Moment- y	7.6	-6.0	-24.3	0.0	306.6	-8.9
	41	vietor	I[45]	Moment- y	0.0	0.0	-5.1	0.0	-5.1	0.0
	41	suma	I[45]	Moment- y	8.0	-3.0	-26.7	0.0	315.5	-8.9
lavy pozdlnik	41	stale	J[52]	Moment- y	0.4	0.0	1.2	0.0	10.6	0.0
	41	LM71-gr11	J[52]	Moment- y	7.4	-3.0	-21.1	0.0	347.5	-4.5
	41	rozjazdove sily -X *0,5	J[52]	Moment- y	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	-3.6
	41	bocnerazy +Y(all)	J[52]	Moment- y	0.0	-6.0	-7.8	0.0	7.3	5.4
	41	LM71-gr12	J[52]	Moment- y	7.8	0.0	-17.2	0.0	343.5	-0.1

	41	vietor	J[52]	Moment- y	0.0	0.0	-5.1	0.0	4.0	0.0
	41	suma	J[52]	Moment- y	8.0	-6.0	-28.9	0.0	369.5	1.8
koniec	48	stale	J[59]	Shear-z	0.3	0.0	9.0	0.0	-0.1	0.0
	48	LM71-gr11	J[59]	Shear-z	-5.6	-38.4	256.1	0.0	0.7	28.1
	48	rozjazdowe sily -X * 0,5	J[59]	Shear-z	-0.1	-17.9	0.1	0.0	0.0	13.4
	48	bocne razy +Y(all)	J[59]	Shear-z	-21.4	-6.1	4.1	0.0	5.0	3.3
	48	LM71-gr12	J[59]	Shear-z	5.3	0.4	253.9	0.0	-1.9	-0.4
	48	vietor	J[59]	Shear-z	-2.1	-0.1	2.6	0.0	0.5	0.1
	48	suma	J[59]	Shear-z	3.5	0.4	271.8	0.0	5.5	28.2

Příčník 5

charakteristicke hodnoty

	Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
polovica rozpatia	42	vietor na pozdlzniky +Y	2/4	Moment-y	-1.6	0.2	-5.0	0.0	-0.1	0.0
	42	brzdne sily +X	2/4	Moment-y	-1.4	0.0	0.0	0.0	-0.5	21.7
	42	brzdne sily -X	2/4	Moment-y	1.3	0.0	0.0	0.0	0.5	-21.7
	42	rozjzdove sily +X	2/4	Moment-y	-2.2	0.0	0.0	0.0	-0.8	35.7
	42	rozjzdove sily -X	2/4	Moment-y	2.2	0.0	0.0	0.0	0.8	-35.7
	42	vietor na HN +Y	2/4	Moment-y	-7.4	0.2	0.0	0.0	-1.0	0.0
	42	LM71_L(max)	2/4	Moment-y	-72.3	0.1	-12.0	0.0	187.4	-1.2
	42	stale	2/4	Moment-y	-7.5	0.0	0.0	0.0	10.7	-0.2
	42	bocnerazy +Y(all)	2/4	Moment-y	0.0	0.0	3.9	0.0	0.5	0.0
pravy pozdlznik	42	vietor na pozdlzniky +Y	I[46]	Moment-y	-1.6	0.2	-5.0	0.0	-4.6	0.1
	42	brzdne sily +X	I[46]	Moment-y	-1.4	0.0	0.0	0.0	-0.5	21.7
	42	brzdne sily -X	I[46]	Moment-y	1.3	0.0	0.0	0.0	0.5	-21.7
	42	rozjzdove sily +X	I[46]	Moment-y	-2.2	0.0	0.0	0.0	-0.8	35.7
	42	rozjzdove sily -X	I[46]	Moment-y	2.2	0.0	0.0	0.0	0.8	-35.7
	42	vietor na HN +Y	I[46]	Moment-y	-7.4	0.2	0.0	0.0	-1.1	0.1

	42	LM71_L(max)	I[46]	Moment-y	-72.6	0.1	-11.9	0.0	176.6	-1.1
	42	stale	I[46]	Moment-y	-7.5	0.0	-1.2	0.0	10.2	-0.2
	42	bocne razy +Y(all)	I[46]	Moment-y	0.0	0.0	3.9	0.0	4.0	0.0
lavy pozdlnik	42	viator na pozdlniky +Y	J[53]	Moment-y	-1.6	0.2	-5.0	0.0	4.4	-0.1
	42	brzdne sily +X	J[53]	Moment-y	-1.4	0.0	0.0	0.0	-0.5	21.7
	42	brzdne sily -X	J[53]	Moment-y	1.3	0.0	0.0	0.0	0.5	-21.7
	42	rozjzдове sily +X	J[53]	Moment-y	-2.2	0.0	0.0	0.0	-0.8	35.7
	42	rozjzдове sily -X	J[53]	Moment-y	2.2	0.0	0.0	0.0	0.8	-35.7
	42	viator na HN +Y	J[53]	Moment-y	-7.4	0.2	0.0	0.0	-1.0	-0.1
	42	LM71_L(max)	J[53]	Moment-y	-72.4	0.1	-12.1	0.0	198.2	-1.3
	42	stale	J[53]	Moment-y	-7.5	0.0	1.2	0.0	10.2	-0.2
	42	bocne razy -Y(all)	J[53]	Moment-y	0.0	0.0	-3.9	0.0	3.0	0.0
koniec	49	viator na pozdlniky +Y	J[60]	Shear-z	-5.8	-0.1	5.2	0.0	-2.8	0.0
	49	brzdne sily +X	J[60]	Shear-z	-1.4	16.0	-0.1	0.0	-0.3	0.0
	49	brzdne sily -X	J[60]	Shear-z	1.4	-16.0	0.1	0.0	0.3	0.0
	49	rozjzдове sily +X	J[60]	Shear-z	-2.2	26.3	-0.2	0.0	-0.6	0.0
	49	rozjzдове sily -X	J[60]	Shear-z	2.2	-26.3	0.2	0.0	0.6	0.0
	49	viator na HN +Y	J[60]	Shear-z	-7.3	-0.1	0.5	0.0	-1.7	0.0
	49	LM71_L(max)	J[60]	Shear-z	-74.4	-1.0	159.4	0.0	-18.8	0.0
	49	stale	J[60]	Shear-z	-7.5	-0.1	9.7	0.0	-1.5	0.0
	49	bocne razy +Y(all)	J[60]	Shear-z	-34.2	-0.1	12.3	0.0	-13.8	0.0

Kombinacia 6.10b –
 $\xi G^* \gamma G^* G_k + \gamma Q^* \text{grLM71} + \gamma Q^* \psi_0, W^* W_k$

	Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
polovica rozpatia	42	stale	2/4	Moment-y	-7.6	0.0	0.0	0.0	10.9	-0.2
	42	LM71-gr11	2/4	Moment-y	-123.2	0.2	-18.7	0.0	327.1	-43.5
	42	LM71-gr12	2/4	Moment-y	-124.5	0.3	-16.4	0.0	326.9	-22.8
	42	vietor	2/4	Moment-y	-1.4	0.1	-4.3	0.0	-1.0	0.0
	42	suma	2/4	Moment-y	-132.3	0.4	-20.7	0.0	337.0	-23.0
pravy pozdlznik	42	stale	I[46]	Moment-y	-7.6	0.0	-1.2	0.0	10.4	-0.2
	42	LM71-gr11	I[46]	Moment-y	-123.6	0.2	-18.5	0.0	310.4	-43.3
	42	LM71-gr12	I[46]	Moment-y	-124.9	0.3	-16.2	0.0	312.2	-22.6
	42	vietor	I[46]	Moment-y	-1.4	0.1	-4.3	0.0	-4.9	0.1
	42	suma	I[46]	Moment-y	-132.7	0.4	-21.7	0.0	317.7	-22.7
lavy pozdlznik	42	stale	J[53]	Moment-y	-7.6	0.0	1.2	0.0	10.4	-0.2
	42	LM71-gr11	J[53]	Moment-y	-125.9	0.2	-21.1	0.0	344.8	-2.3
	42	rozjazdove sily -X	J[53]	Moment-y	2.6	0.0	0.0	0.0	0.9	-41.4
	42	bocnerazy -Y(all)	J[53]	Moment-y	0.0	0.0	-2.3	0.0	1.8	0.0
	42	LM71-gr12	J[53]	Moment-y	-125.9	0.2	-21.1	0.0	344.8	-2.3

	42	vietor	J[53]	Moment-y	-1.4	0.1	-4.3	0.0	2.9	-0.1
	42	suma	J[53]	Moment-y	-132.4	0.3	-26.5	0.0	360.8	-44.0
koniec	49	stale	J[60]	Shear-z	-7.6	-0.1	9.9	0.0	-1.5	0.0
	49	LM71-gr11	J[60]	Shear-z	-146.6	-32.3	284.6	0.0	-40.0	0.0
	49	rozjazdowe sily -X	J[60]		1.3	-15.2	0.1	0.0	0.3	0.0
	49	bocne razy +Y(all)	J[60]		-39.7	-0.1	14.3	0.0	-16.0	0.0
	49	LM71-gr12	J[60]	Shear-z	-129.4	-1.7	277.2	0.0	-32.7	0.0
	49	vietor	J[60]	Shear-z	-5.0	-0.1	4.9	0.0	-2.4	0.0
	49	suma	J[60]	Shear-z	-11.3	-0.3	313.8	0.0	-3.6	0.0

Příčník 6

charakteristické hodnoty

	Ele m	Load	Part	Compone nt	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
polovica rozpatia	43	vietor na pozdlzniky +Y	2/4	Moment- y	0.1	0.3	-6.4	0.0	-0.6	0.0
	43	brzdne sily +X	2/4	Moment- y	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	21.7
	43	brzdne sily -X	2/4	Moment- y	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.9	-21.7
	43	rozjazdove sily +X	2/4	Moment- y	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	35.6
	43	rozjazdove sily -X	2/4	Moment- y	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.5	-35.6
	43	vietor na HN +Y	2/4	Moment- y	0.0	0.3	0.0	0.0	-1.0	0.0
	43	LM71_L(all)	2/4	Moment- y	1.2	0.2	-12.2	0.0	180.8	-1.7
	43	stale	2/4	Moment- y	0.1	0.0	0.0	0.0	10.3	-0.3
	43	bocnerazy +Y(all)	2/4	Moment- y	0.3	0.1	-8.2	0.0	-1.6	0.0
pravy pozdlznik	43	vietor na pozdlzniky +Y	I[47]	Moment- y	0.1	0.3	-6.4	0.0	-6.3	0.2
	43	brzdne sily +X	I[47]	Moment- y	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	21.7
	43	brzdne sily -X	I[47]	Moment- y	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.9	-21.7
	43	rozjazdove sily +X	I[47]	Moment- y	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	35.6
	43	rozjazdove sily -X	I[47]	Moment- y	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.5	-35.6
	43	vietor na HN +Y	I[47]	Moment- y	0.0	0.3	0.0	0.0	-1.0	0.2

	43	LM71_L(all)	I[47]	Moment-y	1.3	0.3	-10.7	0.0	170.3	-1.4
	43	stale	I[47]	Moment-y	0.1	0.0	-1.2	0.0	9.8	-0.3
	43	bocne razy +Y(all)	I[47]	Moment-y	0.3	0.1	-8.2	0.0	-9.0	0.1
lavy pozdlnik	43	vietor na pozdlniky +Y	J[54]	Moment-y	0.1	0.3	-6.4	0.0	5.2	-0.2
	43	brzdne sily +X	J[54]	Moment-y	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	21.7
	43	brzdne sily -X	J[54]	Moment-y	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.9	-21.7
	43	rozjzдове sily +X	J[54]	Moment-y	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	35.6
	43	rozjzдове sily -X	J[54]	Moment-y	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.5	-35.6
	43	vietor na HN +Y	J[54]	Moment-y	0.0	0.3	0.0	0.0	-1.0	-0.2
	43	LM71_L(all)	J[54]	Moment-y	1.3	0.1	-14.0	0.0	192.3	-1.7
	43	stale	J[54]	Moment-y	0.1	0.0	1.2	0.0	9.8	-0.3
	43	bocne razy +Y(all)	J[54]	Moment-y	0.3	0.1	-8.2	0.0	5.8	-0.1
	50	vietor na pozdlniky +Y	J[61]	Shear-z	-2.6	-0.2	3.3	0.0	0.6	0.0
	50	brzdne sily +X	J[61]	Shear-z	0.0	15.9	0.7	0.0	0.0	0.0
koniec	50	brzdne sily -X	J[61]	Shear-z	0.0	-15.9	-0.7	0.0	0.0	0.0
	50	rozjzдове sily +X	J[61]	Shear-z	0.0	26.2	1.1	0.0	0.0	0.0
	50	rozjzдове sily -X	J[61]	Shear-z	0.0	-26.2	-1.1	0.0	0.0	0.0
	50	vietor na HN +Y	J[61]	Shear-z	0.0	-0.2	-0.7	0.0	0.0	0.0
	50	LM71_L(all)	J[61]	Shear-z	1.4	-1.3	141.8	0.0	-0.5	0.0
	50	stale	J[61]	Shear-z	0.1	-0.2	8.3	0.0	0.0	0.0
	50	bocne razy +Y(all)	J[61]	Shear-z	-19.2	-0.2	2.4	0.0	4.5	0.0

Kombinacia 6.10b -

$\xi G^* \gamma G^* G_k + \gamma Q^* \text{grLM71} + \gamma Q^* \psi_0, W^* W_k$

	Ele m	Load	Part	Compo nent	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
polovica rozpatia	43	stale	2/4	Moment- y	0.1	0.0	0.0	0.0	10.5	-0.3
	43	LM71-gr11	2/4	Moment- y	2.2	0.4	-25.9	0.0	311.7	-44.2
	43	LM71-gr12	2/4	Moment- y	2.4	0.4	-30.6	0.0	311.7	-23.5
	43	vietor	2/4	Moment- y	0.0	0.2	-5.5	0.0	-1.3	0.0
	43	suma	2/4	Moment- y	2.5	0.7	-31.4	0.0	320.9	-23.9
pravy pozdlnik	43	stale	I[47]	Moment- y	0.1	0.0	-1.2	0.0	10.0	-0.3
	43	LM71-gr11	I[47]	Moment- y	2.4	0.6	-23.3	0.0	289.4	-43.7
	43	LM71-gr12	I[47]	Moment- y	2.6	0.6	-28.0	0.0	285.0	-23.0
	43	vietor	I[47]	Moment- y	0.0	0.2	-5.5	0.0	-6.3	0.2
	43	suma	I[47]	Moment- y	2.7	0.9	-30.0	0.0	293.0	-23.1
lavy pozdlnik	43	stale	J[54]	Moment- y	0.1	0.0	1.2	0.0	10.0	-0.3
	43	LM71-gr11	J[54]	Moment- y	2.3	0.1	-24.3	0.0	334.6	-3.0
	43	rozjazdove sily -X	J[54]	Moment- y	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.8	-41.3
	43	bocne razy -Y(all)	J[54]	Moment- y	0.1	0.1	-4.7	0.0	3.3	-0.1
	43	LM71-gr12	J[54]	Moment- y	2.3	0.1	-24.3	0.0	334.6	-3.0

	43	viator	J[54]	Moment- y	0.0	0.2	-5.5	0.0	3.6	-0.2
	43	suma	J[54]	Moment- y	2.6	0.4	-33.4	0.0	349.8	-44.9
koniec	50	stale	J[61]	Shear-z	0.1	-0.2	8.5	0.0	0.0	0.0
	50	LM71-gr11	J[61]	Shear-z	-8.7	-32.7	246.8	0.0	1.7	0.0
	50	rozjzadowe sily -X	J[61]	Shear-z	0.0	15.2	0.6	0.0	0.0	0.0
	50	bocne razy +Y(all)	J[61]	Shear-z	-22.3	-0.2	2.8	0.0	5.2	0.0
	50	LM71-gr12	J[61]	Shear-z	2.5	-2.2	246.7	0.0	-0.9	0.0
	50	viator	J[61]	Shear-z	-2.3	-0.1	2.3	0.0	0.5	0.0
	50	suma	J[61]	Shear-z	0.3	14.8	261.0	0.0	5.7	0.0

Příčnick 7

charakteristicke hodnoty

	Ele m	Load	Part	Compone nt	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
polovica rozpatia	44	vietor na pozdlzniky +Y	2/4	Moment- y	11.5	0.4	-4.8	0.0	-2.8	0.0
	44	brzdne sily +X	2/4	Moment- y	-0.5	0.0	-0.1	0.0	6.4	21.6
	44	brzdne sily -X	2/4	Moment- y	0.5	0.0	0.1	0.0	-6.4	-21.6
	44	rozjzdove sily +X	2/4	Moment- y	-0.9	0.0	-0.1	0.0	10.5	35.5
	44	rozjzdove sily -X	2/4	Moment- y	0.9	0.0	0.1	0.0	-10.5	-35.5
	44	vietor na HN +Y	2/4	Moment- y	8.6	0.4	-2.7	0.0	-3.5	0.0
	44	LM71_L(all)	2/4	Moment- y	-20.1	0.2	-8.4	0.0	146.0	-1.5
	44	stale	2/4	Moment- y	-3.3	0.0	0.0	0.0	8.5	-0.4
	44	bocne razy -Y(all)	2/4	Moment- y	-45.1	-0.2	9.7	0.0	9.8	0.0
pravy pozdlznik	44	vietor na pozdlzniky +Y	I[48]	Moment- y	11.5	0.4	-4.8	0.0	-7.1	0.3
	44	brzdne sily +X	I[48]	Moment- y	-0.5	0.0	-0.1	0.0	6.3	21.6
	44	brzdne sily -X	I[48]	Moment- y	0.5	0.0	0.1	0.0	-6.3	-21.6
	44	rozjzdove sily +X	I[48]	Moment- y	-0.9	0.0	-0.1	0.0	10.4	35.5
	44	rozjzdove sily -X	I[48]	Moment- y	0.9	0.0	0.1	0.0	-10.4	-35.5
	44	vietor na HN +Y	I[48]	Moment- y	8.6	0.4	-2.7	0.0	-5.9	0.3

	44	LM71_L(all)	I[48]	Moment-y	-22.0	0.4	-7.3	0.0	138.5	-1.3
	44	stale	I[48]	Moment-y	-3.3	0.0	-1.2	0.0	8.0	-0.4
	44	bocne razy -Y(all)	I[48]	Moment-y	-45.1	-0.2	9.7	0.0	18.5	-0.2
lavy pozdlnik	44	vietor na pozdlniky +Y	J[55]	Moment-y	11.5	0.4	-4.8	0.0	1.5	-0.3
	44	brzdne sily +X	J[55]	Moment-y	-0.5	0.0	-0.1	0.0	6.4	21.6
	44	brzdne sily -X	J[55]	Moment-y	0.5	0.0	0.1	0.0	-6.4	-21.6
	44	rozjzдове sily +X	J[55]	Moment-y	-0.9	0.0	-0.1	0.0	10.6	35.5
	44	rozjzдове sily -X	J[55]	Moment-y	0.9	0.0	0.1	0.0	-10.6	-35.5
	44	vietor na HN +Y	J[55]	Moment-y	8.6	0.4	-2.7	0.0	-1.1	-0.3
	44	LM71_L(all)	J[55]	Moment-y	-21.0	0.0	-9.6	0.0	153.8	-1.6
	44	stale	J[55]	Moment-y	-3.3	0.0	1.2	0.0	8.0	-0.4
	44	bocne razy -Y(all)	J[55]	Moment-y	-36.6	-0.5	5.7	0.0	2.8	0.5
koniec	51	vietor na pozdlniky -Y	J[62]	Shear-z	-11.4	0.2	0.4	0.0	-2.3	0.0
	51	brzdne sily +X	J[62]	Shear-z	-0.5	15.9	4.8	0.0	-0.1	0.0
	51	brzdne sily -X	J[62]	Shear-z	0.5	-15.9	-4.8	0.0	0.1	0.0
	51	rozjzдове sily +X	J[62]	Shear-z	-0.9	26.1	8.0	0.0	-0.2	0.0
	51	rozjzдове sily -X	J[62]	Shear-z	0.9	-26.1	-8.0	0.0	0.2	0.0
	51	vietor na HN -Y	J[62]	Shear-z	-16.1	0.2	2.5	0.0	-3.9	0.0
	51	LM71_L(all)	J[62]	Shear-z	-23.3	-1.4	116.8	0.0	-5.4	0.0
	51	stale	J[62]	Shear-z	-3.3	-0.3	7.3	0.0	-0.6	0.0
	51	bocne razy -Y(all)	J[62]	Shear-z	-28.3	0.4	5.9	0.0	-7.8	0.0

Kombinacia 6.10b -
 $\xi G^* \gamma G^* G_k + \gamma Q^* \text{grLM71} + \gamma Q^* \psi_0, W^* W_k$

	Ele m	Load	Part	Compone nt	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
polovica rozpatia	44	stale	2/4	Moment- y	-3.4	0.0	0.0	0.0	8.6	-0.4
	44	LM71-gr11	2/4	Moment- y	-71.9	0.3	-13.9	0.0	332.5	-44.6
	44	LM71-gr12	2/4	Moment- y	-98.6	0.2	-8.3	0.0	344.3	-24.1
	44	vietor	2/4	Moment- y	9.9	0.3	-4.1	0.0	-5.4	0.0
	44	suma	2/4	Moment- y	-65.4	0.6	-12.4	0.0	347.5	-24.5
pravy pozdlnik	44	stale	I[48]	Moment- y	-3.4	0.0	-1.2	0.0	8.1	-0.4
	44	LM71-gr11	I[48]	Moment- y	-76.4	0.8	-11.2	0.0	320.4	-44.3
	44	LM71-gr12	I[48]	Moment- y	-103.0	0.7	-5.7	0.0	337.2	-23.8
	44	vietor	I[48]	Moment- y	9.9	0.3	-4.1	0.0	-11.2	0.3
	44	suma	I[48]	Moment- y	-69.8	1.1	-11.0	-0.1	334.1	-23.9
lavy pozdlnik	44	stale	J[55]	Moment- y	-3.4	0.0	1.2	0.0	8.1	-0.4
	44	LM71-gr11	J[55]	Moment- y	-48.8	0.0	-22.2	0.0	357.2	-3.6
	44	rozjazdove sily -X	J[55]	Moment- y	1.0	0.0	0.1	0.0	-12.3	-41.1
	44	bocne razy -Y(all)	J[55]	Moment- y	-21.2	-0.3	3.3	0.0	1.6	0.3
	44	LM71-gr12	J[55]	Moment- y	-48.8	0.0	-22.2	0.0	357.2	-3.6

	44	vietor	J[55]	Moment- y	9.9	0.3	-4.1	0.0	0.4	-0.3
	44	suma	J[55]	Moment- y	-62.5	0.0	-21.7	0.0	355.0	-45.2
koniec	51	stale	J[62]	Shear-z	-3.4	-0.3	7.4	0.0	-0.6	0.0
	51	LM71-gr11	J[62]	Shear-z	-69.6	-33.3	271.3	0.0	-16.7	0.0
	51	rozjzdzowe sily +X	J[62]	Shear-z	-1.0	30.3	9.2	0.0	-0.3	0.0
	51	bocne razy -Y(all)	J[62]	Shear-z	-16.4	0.2	3.4	0.0	-4.5	0.0
	51	LM71-gr12	J[62]	Shear-z	-54.2	-3.3	271.3	0.0	-12.4	0.0
	51	vietor	J[62]	Shear-z	-9.8	0.2	2.4	0.0	-2.0	0.0
	51	suma	J[62]	Shear-z	-14.2	30.2	293.8	0.0	-2.8	0.0

Příčník 5 přechodnost C3/60

charakteristické hodnoty

	Ele m	Load	Part	Compone nt	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
polovica rozpatia	42	vietor na pozdlzniky +Y	2/4	Moment- y	-1.6	0.2	-5.0	0.0	-0.1	0.0
	42	C3_brzdne sily +X	2/4	Moment- y	-1.1	0.0	0.0	0.0	-0.4	17.3
	42	C3_brzdne sily -X	2/4	Moment- y	1.1	0.0	0.0	0.0	0.4	-17.3
	42	C3_rozjazdove sily +X	2/4	Moment- y	-1.8	0.0	0.0	0.0	-0.7	28.6
	42	C3_rozjazdove sily - X	2/4	Moment- y	1.8	0.0	0.0	0.0	0.7	-28.6
	42	vietor na HN +Y	2/4	Moment- y	-7.4	0.2	0.0	0.0	-1.0	0.0
	42	C3_L(all)	2/4	Moment- y	-31.0	0.0	-1.7	0.0	115.0	-0.5
	42	stale	2/4	Moment- y	-7.5	0.0	0.0	0.0	10.7	-0.2
	42	C3_bocnerazy +Y(all)	2/4	Moment- y	0.0	0.0	3.1	0.0	0.4	0.0
pravy pozdlzn ik	42	vietor na pozdlzniky +Y	I[46]	Moment- y	-1.6	0.2	-5.0	0.0	-4.6	0.1
	42	C3_brzdne sily +X	I[46]	Moment- y	-1.1	0.0	0.0	0.0	-0.4	17.3
	42	C3_brzdne sily -X	I[46]	Moment- y	1.1	0.0	0.0	0.0	0.4	-17.3
	42	C3_rozjazdove sily +X	I[46]	Moment- y	-1.8	0.0	0.0	0.0	-0.7	28.6
	42	C3_rozjazdove sily - X	I[46]	Moment- y	1.8	0.0	0.0	0.0	0.7	-28.6
	42	vietor na HN +Y	I[46]	Moment- y	-7.4	0.2	0.0	0.0	-1.1	0.1

	42	C3_L(all)	I[46]	Moment-y	-31.0	0.0	-1.7	0.0	113.5	-0.5
	42	stale	I[46]	Moment-y	-7.5	0.0	-1.2	0.0	10.2	-0.2
	42	C3_bocne razy +Y(all)	I[46]	Moment-y	0.0	0.0	3.1	0.0	3.2	0.0
lavy pozdlzn ik	42	vietor na pozdlzniky +Y	J[53]	Moment-y	-1.6	0.2	-5.0	0.0	4.4	-0.1
	42	vietor na HN +Y	J[53]	Moment-y	-7.4	0.2	0.0	0.0	-1.0	-0.1
	42	C3_brzdne sily +X	J[53]	Moment-y	-1.1	0.0	0.0	0.0	-0.4	17.3
	42	C3_brzdne sily -X	J[53]	Moment-y	1.1	0.0	0.0	0.0	0.4	-17.3
	42	C3_rozjazdowe sily +X	J[53]	Moment-y	-1.8	0.0	0.0	0.0	-0.7	28.6
	42	C3_rozjazdowe sily -X	J[53]	Moment-y	1.8	0.0	0.0	0.0	0.7	-28.6
	42	C3_L(all)	J[53]	Moment-y	-31.0	0.0	-1.7	0.0	116.6	-0.5
	42	stale	J[53]	Moment-y	-7.5	0.0	1.2	0.0	10.2	-0.2
	42	C3_bocne razy -Y(all)	J[53]	Moment-y	0.0	0.0	-3.1	0.0	2.4	0.0
koniec	49	vietor na pozdlzniky +Y	J[60]	Shear-z	-5.8	-0.1	5.2	0.0	-2.8	0.0
	49	C3_brzdne sily +X	J[60]	Shear-z	-1.1	12.7	-0.1	0.0	-0.3	0.0
	49	C3_brzdne sily -X	J[60]	Shear-z	1.1	-12.7	0.1	0.0	0.3	0.0
	49	C3_rozjazdowe sily +X	J[60]	Shear-z	-1.8	21.0	-0.2	0.0	-0.4	0.0
	49	C3_rozjazdowe sily -X	J[60]	Shear-z	1.8	-21.0	0.2	0.0	0.4	0.0

49	vietor na HN +Y	J[60]	Shear-z	-7.3	-0.1	0.5	0.0	-1.7	0.0
49	C3_L(all)	J[60]	Shear-z	-31.0	-0.4	92.4	0.0	-9.1	0.0
49	stale	J[60]	Shear-z	-7.5	-0.1	9.7	0.0	-1.5	0.0
49	C3_bocne razy +Y(all)	J[60]	Shear-z	-27.4	-0.1	9.9	0.0	-11.0	0.0

charakteristické hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
Hlavní nosník 1	vietor na pozdĺžniky +Y	I[82]	Moment-y	13.0	-1.3	1.7	0.0	42.3	-1.2
	brzdne sily +X	I[82]		47.9	0.0	-2.7	0.0	-2.3	0.0
	brzdne sily -X	I[82]		-47.9	0.0	2.7	0.0	2.3	0.0
	rozjazdove sily +X	I[82]		78.8	0.0	-4.4	0.0	-3.7	0.0
	rozjazdove sily -X	I[82]		-78.8	0.0	4.4	0.0	3.7	0.0
	vietor na HN +Y	I[82]		12.3	-0.1	-0.2	0.0	41.7	-0.6
	LM71_L(all)	I[82]		-47.4	-0.1	77.1	-0.2	1 063.1	-0.2
	stale	I[82]		-4.2	0.0	4.4	0.0	107.4	0.0
	bocnerazy +Y(all)	I[82]		40.1	-13.0	4.3	0.0	53.6	-16.7

navrhové hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
Hlavní nosník 1	vietor na pozdĺžniky +Y	I[82]	Moment-y	15.0	-1.5	2.0	0.0	48.6	-1.4
	brzdne sily +X	I[82]		55.6	0.0	-3.1	0.0	-2.6	0.0
	brzdne sily -X	I[82]		-55.6	0.0	3.1	0.0	2.6	0.0
	rozjazdove sily +X	I[82]		91.4	0.0	-5.1	0.0	-4.3	0.0
	rozjazdove sily -X	I[82]		-91.4	0.0	5.1	0.0	4.3	0.0
	vietor na HN +Y	I[82]		14.1	-0.1	-0.2	0.0	47.9	-0.7
	LM71_L(all)	I[82]		-78.6	-0.2	127.8	-0.2	1 763.3	-0.3
	stale	I[82]		-5.1	0.0	5.3	0.0	128.8	0.0
	bocnerazy +Y(all)	I[82]		46.6	-15.1	5.0	0.0	62.1	-19.4

kombinácia 6.10b

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
	stale		Moment-y	-4.3	0.0	4.5	0.0	109.5	0.0
	rozjazdove sily -X			-45.7	0.0	2.6	0.0	2.2	0.0
	bocnerazy +Y(all)			46.6	-15.1	5.0	0.0	62.1	-19.4
	LM71			-78.6	-0.2	127.8	-0.2	1 763.3	-0.3
	vietor			10.6	-0.1	-0.2	0.0	35.9	-0.5
	suma			-71.4	-15.3	139.7	-0.3	1 973.0	-20.3

charakteristické hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
Hlavní nosník 2	viator na pozdlzniky +Y	I[84]	Moment-y	6.6	1.4	7.3	0.0	27.2	-0.9
	brzdne sily +X	I[84]		31.4	0.0	-2.8	0.0	1.8	0.0
	brzdne sily -X	I[84]		-31.4	0.0	2.8	0.0	-1.8	0.0
	rozjzdove sily +X	I[84]		51.6	0.0	-4.6	0.0	2.9	0.0
	rozjzdove sily -X	I[84]		-51.6	0.0	4.6	0.0	-2.9	0.0
	viator na HN +Y	I[84]		6.3	-0.3	7.7	0.0	27.7	-0.5
	LM71_L(all)	I[84]		-33.0	-0.2	207.4	0.0	706.0	0.8
	stale	I[84]		-3.2	0.0	21.8	0.0	71.9	0.1
	bocnerazy +Y(all)	I[84]		23.4	-1.5	10.4	0.0	35.4	2.5

navrhové hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
Hlavní nosník 2	viator na pozdlzniky +Y	I[84]	Moment-y	7.6	1.6	8.3	0.0	31.3	-1.0
	brzdne sily +X	I[84]		36.4	0.0	-3.2	0.0	2.1	0.0
	brzdne sily -X	I[84]		-36.4	0.0	3.2	0.0	-2.1	0.0
	rozjzdove sily +X	I[84]		59.8	0.0	-5.3	0.0	3.4	0.0
	rozjzdove sily -X	I[84]		-59.8	0.0	5.3	0.0	-3.4	0.0
	viator na HN +Y	I[84]		7.2	-0.4	8.8	0.0	31.8	-0.5
	LM71_L(all)	I[84]		-54.8	-0.2	343.9	0.0	1 171.0	1.2
	stale	I[84]		-3.8	0.0	26.2	0.0	86.3	0.1
	bocnerazy +Y(all)	I[84]		27.2	-1.8	12.1	0.0	41.0	2.9

kombinácia 6.10b

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
	stale		Moment-y	-3.2	0.0	22.3	0.0	73.4	0.1
	rozjzdove sily +X			29.9	0.0	-2.7	0.0	1.7	0.0
	bocnerazy +Y(all)			27.2	-1.8	12.1	0.0	41.0	2.9
	LM71			-54.8	-0.2	343.9	0.0	1 171.0	1.2
	viator			5.4	-0.3	6.6	0.0	23.9	-0.4
	suma			4.5	-2.3	382.3	0.0	1 311.0	3.7

charakteristické hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
Hlavní nosník 2 - smyk	viator na pozdlzniky +Y	I[85]	Shear-z	6.7	-1.2	10.7	0.0	22.8	-1.8
	brzdne sily +X	I[85]		15.4	0.0	-2.1	0.0	-0.3	0.0
	brzdne sily -X	I[85]		-15.4	0.0	2.1	0.0	0.3	0.0
	rozjzdove sily +X	I[85]		25.4	0.0	-3.5	0.0	-0.4	0.0
	rozjzdove sily -X	I[85]		-25.4	0.0	3.5	0.0	0.4	0.0
	viator na HN +Y	I[85]		6.5	-0.4	8.5	0.0	22.5	-0.3
	LM71_L(all)	I[85]		-31.1	1.4	329.6	-0.1	578.6	0.9
	stale	I[85]		-2.9	0.1	31.4	0.0	58.1	0.1
	bocnerazy +Y(all)	I[85]		22.0	-8.7	10.1	0.0	29.1	-14.0

navrhove hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
Hlavní nosník 2 - smyk	viator na pozdlzniky +Y	I[85]	Shear-z	7.8	-1.4	12.3	0.0	26.2	-2.0
	brzdne sily +X	I[85]		17.9	0.0	-2.5	0.0	-0.3	0.0
	brzdne sily -X	I[85]		-17.9	0.0	2.5	0.0	0.3	0.0
	rozjzdove sily +X	I[85]		29.4	0.0	-4.0	0.0	-0.5	0.0
	rozjzdove sily -X	I[85]		-29.4	0.0	4.0	0.0	0.5	0.0
	viator na HN +Y	I[85]		7.4	-0.4	9.8	0.0	25.9	-0.3
	LM71_L(all)	I[85]		-51.6	2.4	546.6	-0.2	959.6	1.5
	stale	I[85]		-3.5	0.1	37.6	0.0	69.7	0.1
	bocnerazy +Y(all)	I[85]		25.5	-10.1	11.7	0.0	33.7	-16.2

kombinacia 6.10b

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
	stale		Shear-z	-3.0	0.1	32.0	0.0	59.2	0.1
	rozjzdove sily +X			-14.7	0.0	2.0	0.0	0.2	0.0
	bocnerazy +Y(all)			25.5	-10.1	11.7	0.0	33.7	-16.2
	LM71			-51.6	2.4	546.6	-0.2	959.6	1.5
	viator			5.6	-0.3	7.3	0.0	19.4	-0.2
	suma			-38.2	-7.9	599.7	-0.2	1 072.2	-14.9

charakteristické hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
Hlavní nosník 3	vietor na pozdĺžniky +Y	I[86]	Moment-y	6.7	-1.2	10.7	0.0	17.8	-1.2
	brzdne sily +X	I[86]		15.4	0.0	-2.1	0.0	0.7	0.0
	brzdne sily -X	I[86]		-15.4	0.0	2.1	0.0	-0.7	0.0
	rozjazdové sily +X	I[86]		25.4	0.0	-3.5	0.0	1.2	0.0
	rozjazdové sily -X	I[86]		-25.4	0.0	3.5	0.0	-1.2	0.0
	vietor na HN +Y	I[86]		6.5	-0.4	9.6	0.0	18.3	-0.1
	LM71_L(all)	I[86]		-30.9	1.4	329.5	-0.1	427.0	0.2
	stale	I[86]		-2.9	0.1	32.3	0.0	43.4	0.0
	bocnerazy +Y(all)	I[86]		23.7	1.1	9.6	0.0	24.6	2.9

navrhové hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
Hlavní nosník 3	vietor na pozdĺžniky +Y	I[86]	Moment-y	7.8	-1.4	12.3	0.0	20.5	-1.4
	brzdne sily +X	I[86]		17.9	0.0	-2.5	0.0	0.8	0.0
	brzdne sily -X	I[86]		-17.9	0.0	2.5	0.0	-0.8	0.0
	rozjazdové sily +X	I[86]		29.4	0.0	-4.0	0.0	1.4	0.0
	rozjazdové sily -X	I[86]		-29.4	0.0	4.0	0.0	-1.4	0.0
	vietor na HN +Y	I[86]		7.4	-0.4	11.1	0.0	21.1	-0.1
	LM71_L(all)	I[86]		-51.3	2.4	546.5	-0.2	708.3	0.4
	stale	I[86]		-3.5	0.1	38.7	0.0	52.1	0.0
	bocnerazy +Y(all)	I[86]		27.5	1.3	11.1	0.0	28.5	3.4

kombinácia 6.10b

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
	stale		Moment-y	-3.0	0.1	32.9	0.0	44.3	0.0
	rozjazdové sily +X			14.7	0.0	-2.0	0.0	0.7	0.0
	bocnerazy +Y(all)			27.5	1.3	11.1	0.0	28.5	3.4
	LM71			-51.3	2.4	546.5	-0.2	708.3	0.4
	vietor			5.6	-0.3	8.3	0.0	15.8	-0.1
	suma			-6.5	3.4	596.8	-0.2	797.6	3.7

charakteristicke hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
Hlavní nosník 3 - smyk	viator na pozdlzniky +Y	J[87]	Shear-z	6.7	-1.2	10.9	0.0	3.4	0.5
	brzdne sily +X	J[87]		15.4	0.0	-2.1	0.0	3.6	0.0
	brzdne sily -X	J[87]		-15.4	0.0	2.1	0.0	-3.6	0.0
	rozjzdove sily +X	J[87]		25.4	0.0	-3.5	0.0	5.9	0.0
	rozjzdove sily -X	J[87]		-25.4	0.0	3.5	0.0	-5.9	0.0
	viator na HN +Y	J[87]		6.5	-0.4	12.9	0.0	3.2	0.4
	LM71_L(all)	J[87]		-31.1	1.4	329.6	-0.1	-14.6	-1.7
	stale	J[87]		-2.9	0.1	34.4	0.0	-1.2	-0.2
	bocnerazy +Y(all)	J[87]		22.0	-8.7	10.1	0.0	10.9	1.7

navrhove hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
Hlavní nosník 3 - smyk	viator na pozdlzniky +Y	J[87]	Shear-z	7.8	-1.4	12.5	0.0	3.9	0.5
	brzdne sily +X	J[87]		17.9	0.0	-2.5	0.0	4.1	0.0
	brzdne sily -X	J[87]		-17.9	0.0	2.5	0.0	-4.1	0.0
	rozjzdove sily +X	J[87]		29.4	0.0	-4.0	0.0	6.8	0.0
	rozjzdove sily -X	J[87]		-29.4	0.0	4.0	0.0	-6.8	0.0
	viator na HN +Y	J[87]		7.4	-0.4	14.9	0.0	3.7	0.5
	LM71_L(all)	J[87]		-51.6	2.4	546.6	-0.2	-24.2	-2.8
	stale	J[87]		-3.5	0.1	41.2	0.0	-1.5	-0.2
	bocnerazy +Y(all)	J[87]		25.5	-10.1	11.7	0.0	12.7	1.9

kombinacia 6.10b

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
	stale		Shear-z	-3.0	0.1	35.1	0.0	-1.3	-0.2
	rozjzdove sily +X			-14.7	0.0	2.0	0.0	-3.4	0.0
	bocnerazy +Y(all)			25.5	-10.1	11.7	0.0	12.7	1.9
	LM71			-51.6	2.4	546.6	-0.2	-24.2	-2.8
	viator			5.6	-0.3	11.2	0.0	2.7	0.4
	suma			-38.2	-7.9	606.6	-0.2	-13.5	-0.7

charakteristicke hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
Hlavní nosník 3 prechodnost	viator na pozdlzniky +Y	I[86]	Moment-y	6.7	-1.2	10.7	0.0	17.8	-1.2
	viator na HN +Y	I[86]	Moment-y	6.5	-0.4	9.6	0.0	18.3	-0.1
	C3_brzdne sily +X	I[86]	Moment-y	12.3	0.0	-1.7	0.0	0.6	0.0
	C3_brzdne sily -X	I[86]	Moment-y	-12.3	0.0	1.7	0.0	-0.6	0.0
	C3_rozjazdove sily +X	I[86]	Moment-y	20.3	0.0	-2.8	0.0	0.9	0.0
	C3_rozjazdove sily -X	I[86]	Moment-y	-20.3	0.0	2.8	0.0	-0.9	0.0
	C3_L(all)	I[86]	Moment-y	-15.0	0.8	149.6	-0.1	193.4	0.2
	stale	I[86]	Moment-y	-2.9	0.1	32.3	0.0	43.4	0.0
	C3_bocnerazy +Y(all)	I[86]	Moment-y	19.0	0.9	7.7	0.0	19.7	2.3

navrhove hodnoty

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
Hlavní nosník 3 prechodnost	viator na pozdlzniky +Y	I[86]	Moment-y	7.8	-1.4	12.3	0.0	20.5	-1.4
	viator na HN +Y	I[86]		7.4	-0.4	11.1	0.0	21.1	-0.1
	C3_brzdne sily +X	I[86]		14.3	0.0	-2.0	0.0	0.7	0.0
	C3_brzdne sily -X	I[86]		-14.3	0.0	2.0	0.0	-0.7	0.0
	C3_rozjazdove sily +X	I[86]		23.6	0.0	-3.2	0.0	1.1	0.0
	C3_rozjazdove sily -X	I[86]		-23.6	0.0	3.2	0.0	-1.1	0.0
	C3_L(all)	I[86]		-24.9	1.3	248.2	-0.2	320.8	0.3
	stale	I[86]		-3.5	0.1	38.7	0.0	52.1	0.0
	C3_bocnerazy +Y(all)	I[86]		22.0	1.0	8.9	0.0	22.8	2.7

kombinacia 6.10b

Elem	Load	Part	Component	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
	stale		Moment-y	-3.0	0.1	32.9	0.0	44.3	0.0
	C3/60			-24.9	1.3	248.2	-0.2	320.8	0.3
	C3_rozjazdove sily +X			11.8	0.0	-1.6	0.0	0.5	0.0
	C3_bocnerazy +Y(all)			22.0	1.0	8.9	0.0	22.8	2.7
	viator			5.6	-0.3	8.3	0.0	15.8	-0.1
	suma			11.4	2.1	296.7	-0.2	404.2	2.9

Příloha 3. Výpočet zatížitelnosti ostatních prvků

VÝPOČET ODOLNOSTI VNITŘNÍHO PODÉLNÍKU 2L A STANOVENÍ ZATÍŽITELNOSTI

1. vstupní údaje:

- délka prutu $L_{po} := 1.8\text{m}$ $L_{\Phi} := 4.8\text{m}$

- průřezové charakteristiky

$$H_w := 342\text{mm} \quad H_w := H - 8\text{mm} - 20\text{mm} = 314\text{mm}$$

$$B_h := 168\text{mm} \quad B_d := 148\text{mm} \quad A_w := 9504\text{mm}^2$$

$$t_{fh} := 20\text{mm} \quad I_y := 1.596 \cdot 10^8 \text{mm}^4 \quad z_h := 138.2\text{mm}$$

$$t_{fd} := 8\text{mm} \quad I_z := 9.215 \cdot 10^6 \text{mm}^4 \quad z_d := 203.8\text{mm}$$

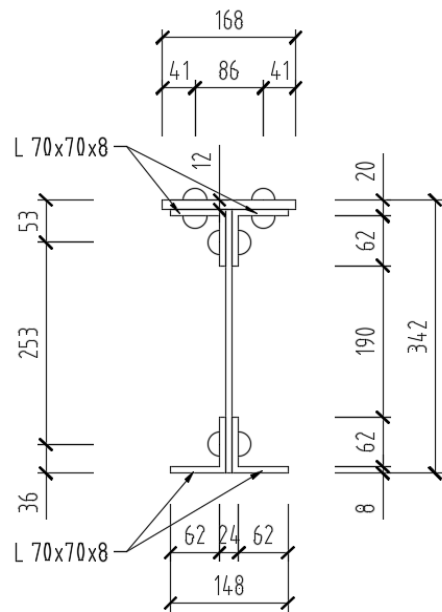
$$t_w := 8\text{mm} \quad y_h := 84\text{mm}$$

$$I_t := 1.057 \cdot 10^6 \text{mm}^4 \quad y_d := 84\text{mm}$$

$$I_w := 2.010 \cdot 10^{11} \text{mm}^6$$

$$W_{el.y.h} := \frac{I_y}{z_h} = 1154848 \cdot \text{mm}^3 \quad W_{el.z.h} := \frac{2 \cdot I_z}{B_h} = 109702 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el.y.d} := \frac{I_y}{z_d} = 783121 \cdot \text{mm}^3 \quad W_{el.z.d} := \frac{2 \cdot I_z}{B_d} = 124527 \cdot \text{mm}^3$$



- průřezové charakteristiky průřezu oslabeného krčnými nýty

$$A_{net} := A - 2 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_w - 4 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_{fd} = 8544 \cdot \text{mm}^2$$

$$I_{y.net} := I_y - 0.02\text{m} \cdot (t_w + 2t_{fd}) \cdot (z_d - 36\text{mm})^2 - 0.02\text{m} \cdot (t_w + 2t_{fd}) \cdot (z_h - 53\text{mm})^2 = 1.426 \times 10^8 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{z.net} := I_z - 2 \cdot 0.01\text{m} \cdot t_w \cdot \left(\frac{t_w}{4}\right)^2 - 4 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_{fd} \cdot \left(\frac{t_w}{2} + \frac{t_{fd}}{2}\right)^2 = 9.173 \times 10^6 \cdot \text{mm}^4$$

$$W_{el.y.net.h} := \frac{I_{y.net}}{z_h} = 1031841 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el.y.net.d} := \frac{I_{y.net}}{z_d} = 699707 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{y.osl.h} := \frac{W_{el.y.net.h} + W_{el.y.h}}{2} = 1093344 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{y.osl.d} := \frac{W_{el.y.net.d} + W_{el.y.d}}{2} = 741414 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el.z.net.h} := \frac{I_{z.net}}{y_h} = 109207 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el.z.net.d} := \frac{I_{z.net}}{y_d} = 109207 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{z.osl.h} := \frac{W_{el.z.net.h} + W_{el.z.h}}{2} = 109455 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{z.osl.d} := \frac{W_{el.z.net.d} + W_{el.z.d}}{2} = 116867 \cdot \text{mm}^3$$

- materiálové charakteristiky	svářkové železo	$\gamma_{M0} := 1.07$
	$E := 210\text{GPa}$	$\gamma_{M1} := 1.17$
	$G := \frac{E}{2 \cdot (1 + 0.3)} = 80769 \cdot \text{MPa}$	$\gamma_{M2} := 1.3$
	$f_{yk} := 210\text{MPa}$	

2. zatřídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1 čl. 5.5 :

$$\varepsilon_{\text{M}} := \sqrt{\frac{235\text{MPa}}{f_{yk}}} = 1.058$$

- stěna	$\frac{H - 2 \cdot 70\text{mm} - 12\text{mm}}{t_w} < 72 \cdot \varepsilon = 1$	třída 1
- příruba	$\frac{c}{2} := \frac{B_h}{2} - \frac{t_w}{2} = 80 \cdot \text{mm}$ $\frac{c}{t_{fh}} < 9\varepsilon = 1$	třída 1

Průřez patří do **třídy 3**, jelikož se jedná o nýtovaný průřez.

3a. vnitřní síly ve středu rozpětí

$M_{y.Ed.G} := 3.5\text{kN} \cdot \text{m}$	$M_{z.Ed.G} := 0.0\text{kN} \cdot \text{m}$	$N_{Ed.G} := 0.6\text{kN}$	$V_{z.Ed.G} := 0.0\text{kN}$
$M_{y.Ed.W} := 1.6\text{kN} \cdot \text{m}$	$M_{z.Ed.W} := 0.5\text{kN} \cdot \text{m}$	$N_{Ed.W} := 1.8\text{kN}$	$V_{z.Ed.W} := 0.5\text{kN}$
$M_{y.Ed.br} := 0.5\text{kN} \cdot \text{m}$	$M_{z.Ed.br} := 0.0\text{kN} \cdot \text{m}$	$N_{Ed.br} := 4.2\text{kN}$	$V_{z.Ed.br} := 5.4\text{kN}$
$M_{y.Ed.s} := 6.4\text{kN} \cdot \text{m}$	$M_{z.Ed.s} := 13.8\text{kN} \cdot \text{m}$	$N_{Ed.s} := 1.6\text{kN}$	$V_{z.Ed.s} := 7.2\text{kN}$
$M_{y.Ed.LM71} := 135.0\text{kN} \cdot \text{m}$	$M_{z.Ed.LM71} := 0.1\text{kN} \cdot \text{m}$	$N_{Ed.LM71} := 6.6\text{kN}$	$V_{z.Ed.LM71} := -67.2\text{kN}$

3b. vnitřní síly na začátku

$V_{z2.Ed.G} := 3.1\text{kN}$
$V_{z2.Ed.W} := 4.6\text{kN}$
$V_{z2.Ed.br} := 5.4\text{kN}$
$V_{z2.Ed.s} := 13.2\text{kN}$
$V_{z2.Ed.LM71} := 265.8\text{kN}$

4. odolnost průřezu

- plastická smyková odolnost stěny průřezu	$V_{pl.Rd} := \frac{H_w \cdot t_w \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 284.639 \cdot \text{kN}$
- statický moment plochy	$S_y := 3812\text{mm}^2 \cdot 154\text{mm} = 5.87 \times 10^5 \cdot \text{mm}^3$
- elastická smyková odolnost průřezu	$V_{Rd} := \frac{f_{yk} \cdot I_y \cdot t_w}{S_y \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 246.447 \cdot \text{kN}$

5. výpočet kritického momentu dle ČSN EN 1993-1-1/NA :

- faktory vzpěrné délky $k_{\omega} := 1$ $k_y := 1$ $k_z := 1$
- vzdálenost působíště síly od středu smyku $z_g := z_h = 0.138 \text{ m}$
- moment setrvačnosti tlačené pásnice $I_{fc} := \frac{1}{12} \cdot B_h \cdot t_{fh}^3 = 1.12 \times 10^5 \cdot \text{mm}^4$
- moment setrvačnosti tažené pásnice $I_{ft} := \frac{1}{12} \cdot B_d \cdot t_{fd}^3 = 6.315 \times 10^3 \cdot \text{mm}^4$
- parametr nesymetrie průřezu $\psi_f := \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} = 0.893$
- poměr koncových momentů $\psi := 0$
- vzdálenost z_j
 $h_f := 328 \text{ mm}$ $z_j := 0.45 \cdot \psi_f \cdot h_f = 0.132 \text{ m}$
- parametr zohledňující nesymetri průřezu, krutovou a výsekovou tuhost a působíště zatížení

$$\kappa_{\omega t} := \frac{\pi}{k_{\omega} \cdot L_{po}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}} \quad \kappa_{\omega t} = 1.227$$

$$\zeta_g := \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L_{po}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} \quad \zeta_g = 1.148$$

$$\zeta_j := \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L_{po}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} \quad \zeta_j = 1.096$$

- faktory zohledňující typ zatížení a podmínky uložení dle ČSN EN 1993-1-1/NA

$$C_1 := 1.13 \quad \text{pre } \kappa_{\omega t} > 1$$

$$C_2 := 0.46 \quad \text{pre } \psi_f = 0.893$$

$$C_3 := 0.53 \quad \text{pre } \psi_f = 0.893$$

$$\mu_{cr} := \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + \kappa_{\omega t}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right] \quad \mu_{cr} = 1.849$$

$$M_{cr} := \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L_{po}} \quad M_{cr} = 1312 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

6. výpočet součinitele klopení :

$$\lambda' := \sqrt{\frac{W_{el,y} \cdot h^f \cdot y_k}{M_{cr}}} \quad \lambda' = 0.43$$

$$\text{křivka vzpěrné pevnosti "d"} \quad \alpha_{LT} := 0.76$$

$$\phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda' - 0.2) + \lambda'^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0.68$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda'^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0.829$$

7. stanovení zatížitelnosti dle MP SŽDC :

- zatížitelnost průřezu - normálová napětí dolní vlákno

$$Z_{LM71} := 0.669$$

- poměr smykové síly a plastické smykové odolnosti

pro iteraci

$$\eta_3 := \frac{V_{z.Ed.G} + V_{z.Ed.W} + Z_{LM71} \cdot V_{z.Ed.LM71}}{V_{pl.Rd}} = -0.156$$

smyk nemá vliv na ohybovou únosnost

$$\eta_{1.G} := \frac{N_{Ed.G}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.G}}{W_{y.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.G}}{W_{z.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.027$$

$$\eta_{1.W} := \frac{N_{Ed.W}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.W}}{W_{y.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.W}}{W_{z.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.037$$

$$\eta_{1.br} := \frac{N_{Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{W_{y.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 4.346 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{1.s} := \frac{N_{Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{W_{y.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.473$$

$$\eta_{1.LM71} := \frac{N_{Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{W_{y.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.685$$

$$Z_{LM71} := \frac{1 - \eta_{1.G} - \eta_{1.W} - \eta_{1.br} - \eta_{1.s}}{\eta_{1.LM71}} = 0.67$$

- zatížitelnost prutu - normálová napětí horní vlákno

$$\eta_{1.G} := \frac{-N_{Ed.G}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.G}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.G}}{W_{z.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.021$$

$$\eta_{1.W} := \frac{-N_{Ed.W}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.W}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.W}}{W_{z.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.034$$

$$Z_{LM71} := 0.710$$

pro iteraci

$$\eta_{1.br} := \frac{-N_{Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 4.343 \times 10^{-4}$$

$$\eta_{1.s} := \frac{-N_{Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.526$$

$$\eta_{1.LM71} := \frac{-N_{Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.59$$

$$Z_{LM71} := \frac{1 - \eta_{1.G} - \eta_{1.W} - \eta_{1.br} - \eta_{1.s}}{\eta_{1.LM71}} = 0.709$$

- zatížitelnost průřezu - smyková napětí

$$\eta_{3.G} := \frac{V_{z2.Ed.G}}{V_{Rd}} = 0.013$$

$$\eta_{3.W} := \frac{V_{z2.Ed.W}}{V_{Rd}} = 0.019$$

$$\eta_{3.br} := \frac{V_{z2.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{V_{Rd}} = 0.02$$

$$\eta_{3.s} := \frac{V_{z2.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{V_{Rd}} = 0.049$$

$$\eta_{3.LM71} := \frac{V_{z2.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{V_{Rd}} = 0.986$$

$$Z_{LM71} := \frac{1 - \eta_{3.G} - \eta_{3.W} - \eta_{3.br} - \eta_{3.s}}{\eta_{3.LM71}} = 0.913$$

- zatížitelnost - lokální napjatost

$$F_{Ek} := 71.1 \text{ kN}$$

$$\alpha := 1$$

$$\Phi_3 := \frac{2.16}{\sqrt{L_{\Phi} \cdot \frac{1}{m} - 0.2}} + 0.73 = 1.815$$

$$\gamma_{Q.LM71} := 1.16$$

$$F_{Ed} := F_{Ek} \cdot \alpha \cdot \Phi_3 \cdot \gamma_{Q.LM71} = 149.689 \text{ kN}$$

- součinitel lokálního boulení

$$k_F := 6 + 2 \cdot \left(\frac{H_w}{L_{po}}\right)^2 = 6.061$$

$$F_{cr} := 0.9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{H_w} = 1868 \cdot \text{kN} \qquad m_1 := \frac{B_d}{t_w} = 18.5 \qquad m_2 := 0 \qquad s_s := 24 \text{mm}$$

$$l_y := s_s + 2 \cdot t_{fd} \cdot \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2}\right) = 0.109 \text{m}$$

$$\lambda_{\text{'F}} := \sqrt{\frac{l_y \cdot t_w \cdot f_{yk}}{F_{cr}}} = 0.313$$

$$\chi_F := \frac{0.5}{\lambda_{\text{'F}}} = 1.598$$

$$L_{eff} := \chi_F \cdot l_y = 0.174 \text{m}$$

$$\eta_{2.LM71} := \frac{F_{Ed}}{\left(\frac{f_{yk} \cdot L_{eff} \cdot t_w}{\gamma_{M1}}\right)} = 0.599$$

$$\eta_{2.LM71} \cdot Z_{LM71} + 0.8 \eta_1 = 1.4$$

$$\textcolor{green}{Z_{LM71}} := \frac{1.4 - 0.8 \left(\eta_{1.G} + \eta_{1.W} + \eta_{1.br} + \eta_{1.s}\right)}{\eta_{2.LM71} + 0.8 \eta_{1.LM71}} = 0.872$$

VÝPOČET ODOLNOSTI VNITŘNÍHO PODÉLNÍKU 3L A STANOVENÍ ZATÍŽITELNOSTI

1. vstupní údaje:

- délka prutu $L_{po} := 1.8\text{m}$ $L_{\Phi} := 4.8\text{m}$

- průřezové charakteristiky

$$H_w := 342\text{mm} \quad H_w := H - 8\text{mm} - 20\text{mm} = 0.314\text{m}$$

$$B_h := 168\text{mm} \quad B_d := 148\text{mm} \quad A_w := 9504\text{mm}^2$$

$$t_{fh} := 20\text{mm} \quad I_y := 1.596 \cdot 10^8 \text{mm}^4 \quad z_h := 138.2\text{mm}$$

$$t_{fd} := 8\text{mm} \quad I_z := 9.215 \cdot 10^6 \text{mm}^4 \quad z_d := 203.8\text{mm}$$

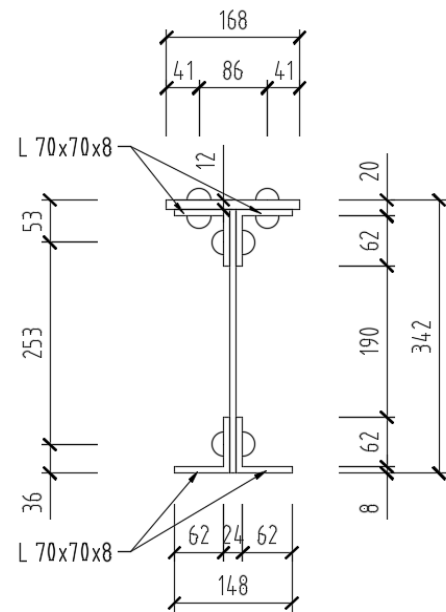
$$t_w := 8\text{mm} \quad y_h := 84\text{mm}$$

$$I_t := 1.057 \cdot 10^6 \text{mm}^4 \quad y_d := 84\text{mm}$$

$$I_w := 2.010 \cdot 10^{11} \text{mm}^6$$

$$W_{el.y.h} := \frac{I_y}{z_h} = 1154848 \cdot \text{mm}^3 \quad W_{el.z.h} := \frac{2 \cdot I_z}{B_h} = 109702 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el.y.d} := \frac{I_y}{z_d} = 783121 \cdot \text{mm}^3 \quad W_{el.z.d} := \frac{2 \cdot I_z}{B_d} = 124527 \cdot \text{mm}^3$$



- průřezové charakteristiky průřezu oslabeného krčnými nýty

$$A_{net} := A - 2 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_w - 4 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_{fd} = 8544 \cdot \text{mm}^2$$

$$I_{y.net} := I_y - 0.02\text{m} \cdot (t_w + 2t_{fd}) \cdot (z_d - 36\text{mm})^2 - 0.02\text{m} \cdot (t_w + 2t_{fd}) \cdot (z_h - 53\text{mm})^2 = 1.426 \times 10^8 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{z.net} := I_z - 2 \cdot 0.01\text{m} \cdot t_w \cdot \left(\frac{t_w}{4}\right)^2 - 4 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_{fd} \cdot \left(\frac{t_w}{2} + \frac{t_{fd}}{2}\right)^2 = 9.173 \times 10^6 \cdot \text{mm}^4$$

$$W_{el.y.net.h} := \frac{I_{y.net}}{z_h} = 1031841 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el.y.net.d} := \frac{I_{y.net}}{z_d} = 699707 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{y.osl.h} := \frac{W_{el.y.net.h} + W_{el.y.h}}{2} = 1093344 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{y.osl.d} := \frac{W_{el.y.net.d} + W_{el.y.d}}{2} = 741414 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el.z.net.h} := \frac{I_{z.net}}{y_h} = 109207 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el.z.net.d} := \frac{I_{z.net}}{y_d} = 109207 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{z.osl.h} := \frac{W_{el.z.net.h} + W_{el.z.h}}{2} = 109455 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{z.osl.d} := \frac{W_{el.z.net.d} + W_{el.z.d}}{2} = 116867 \cdot \text{mm}^3$$

- materiálové charakteristiky	svářkové železo	$\gamma_{M0} := 1.07$
	$E := 210\text{GPa}$	$\gamma_{M1} := 1.17$
	$G := \frac{E}{2 \cdot (1 + 0.3)} = 80769 \cdot \text{MPa}$	$\gamma_{M2} := 1.3$
	$f_{yk} := 210\text{MPa}$	

2. zatřídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1 čl. 5.5 :

$$\varepsilon_{\text{M}} := \sqrt{\frac{235\text{MPa}}{f_{yk}}} = 1.058$$

- stěna	$\frac{H - 2 \cdot 70\text{mm} - 12\text{mm}}{t_w} < 72 \cdot \varepsilon = 1$	třída 1
- příruba	$\frac{c}{2} := \frac{B_h}{2} - \frac{t_w}{2} = 80 \cdot \text{mm}$ $\frac{c}{t_{fh}} < 9\varepsilon = 1$	třída 1

Průřez patří do **třídy 3**, jelikož se jedná o nýtovaný průřez.

3a. vnitřní síly ve středu rozpětí

$M_{y.Ed.G} := 3.8\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_{z.Ed.G} := 0.0\text{kN}\cdot\text{m}$	$N_{Ed.G} := 0.7\text{kN}$	$V_{z.Ed.G} := -0.3\text{kN}$
$M_{y.Ed.W} := 1.5\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_{z.Ed.W} := 0.3\text{kN}\cdot\text{m}$	$N_{Ed.W} := 2.2\text{kN}$	$V_{z.Ed.W} := -0.4\text{kN}$
$M_{y.Ed.br} := 0.1\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_{z.Ed.br} := 0.0\text{kN}\cdot\text{m}$	$N_{Ed.br} := 1.7\text{kN}$	$V_{z.Ed.br} := 5.1\text{kN}$
$M_{y.Ed.s} := 6.3\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_{z.Ed.s} := 13.4\text{kN}\cdot\text{m}$	$N_{Ed.s} := 2.4\text{kN}$	$V_{z.Ed.s} := 5.2\text{kN}$
$M_{y.Ed.LM71} := 136.9\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_{z.Ed.LM71} := 0.1\text{kN}\cdot\text{m}$	$N_{Ed.LM71} := 8.6\text{kN}$	$V_{z.Ed.LM71} := -78.2\text{kN}$

3b. vnitřní síly na začátku

$V_{z2.Ed.G} := 3.4\text{kN}$
$V_{z2.Ed.W} := 4.6\text{kN}$
$V_{z2.Ed.br} := 5.1\text{kN}$
$V_{z2.Ed.s} := 13.0\text{kN}$
$V_{z2.Ed.LM71} := 267.2\text{kN}$

4. odolnost průřezu

- plastická smyková odolnost stěny průřezu	$V_{pl.Rd} := \frac{H_w \cdot t_w \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 284.639 \cdot \text{kN}$
- statický moment plochy	$S_y := 3812\text{mm}^2 \cdot 154\text{mm} = 5.87 \times 10^5 \cdot \text{mm}^3$
- elastická smyková odolnost průřezu	$V_{Rd} := \frac{f_{yk} \cdot I_y \cdot t_w}{S_y \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 246.447 \cdot \text{kN}$

5. výpočet kritického momentu dle ČSN EN 1993-1-1/NA :

- faktory vzpěrné délky $k_{\omega} := 1$ $k_y := 1$ $k_z := 1$
- vzdálenost působíště síly od středu smyku $z_g := z_h = 0.138 \text{ m}$
- moment setrvačnosti tlačené pásnice $I_{fc} := \frac{1}{12} \cdot B_h \cdot t_{fh}^3 = 1.12 \times 10^5 \cdot \text{mm}^4$
- moment setrvačnosti tažené pásnice $I_{ft} := \frac{1}{12} \cdot B_d \cdot t_{fd}^3 = 6.315 \times 10^3 \cdot \text{mm}^4$
- parametr nesymetrie průřezu $\psi_f := \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} = 0.893$
- poměr koncových momentů $\psi := 0$
- vzdálenost z_j
 $h_f := 328 \text{ mm}$ $z_j := 0.45 \cdot \psi_f \cdot h_f = 0.132 \text{ m}$
- parametr zohledňující nesymetri průřezu, krutovou a výsekovou tuhost a působíště zatížení

$$\kappa_{\omega t} := \frac{\pi}{k_{\omega} \cdot L_{po}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}} \quad \kappa_{\omega t} = 1.227$$

$$\zeta_g := \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L_{po}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} \quad \zeta_g = 1.148$$

$$\zeta_j := \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L_{po}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} \quad \zeta_j = 1.096$$

- faktory zohledňující typ zatížení a podmínky uložení dle ČSN EN 1993-1-1/NA

$$C_1 := 1.13 \quad \text{pre } \kappa_{\omega t} > 1$$

$$C_2 := 0.46 \quad \text{pre } \psi_f = 0.893$$

$$C_3 := 0.53 \quad \text{pre } \psi_f = 0.893$$

$$\mu_{cr} := \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + \kappa_{\omega t}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right] \quad \mu_{cr} = 1.849$$

$$M_{cr} := \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L_{po}} \quad M_{cr} = 1312 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

6. výpočet součinitele klopení :

$$\lambda' := \sqrt{\frac{W_{el.y.h} \cdot f_{yk}}{M_{cr}}} \quad \lambda' = 0.43$$

$$\text{křivka vzpěrné pevnosti "d"} \quad \alpha_{LT} := 0.76$$

$$\phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda' - 0.2) + \lambda'^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0.68$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda'^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0.829$$

7. stanovení zatížitelnosti dle MP SŽDC :

- zatížitelnost průřezu - normálová napětí dolní vlákno

$$Z_{LM71} := 0.678$$

pro iteraci

- poměr smykové síly a plastické smykové odolnosti

$$\eta_3 := \frac{V_{z.Ed.G} + V_{z.Ed.W} + Z_{LM71} \cdot V_{z.Ed.LM71}}{V_{pl.Rd}} = -0.189$$

smyk nemá vliv na ohybovou únosnost

$$\eta_{1.G} := \frac{N_{Ed.G}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.G}}{W_{y.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.G}}{W_{z.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.029$$

$$\eta_{1.W} := \frac{N_{Ed.W}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.W}}{W_{y.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.W}}{W_{z.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.027$$

$$\eta_{1.br} := \frac{N_{Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{W_{y.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 1.261 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{1.s} := \frac{N_{Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{W_{y.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.466$$

$$\eta_{1.LM71} := \frac{N_{Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{W_{y.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.705$$

$$Z_{LM71} := \frac{1 - \eta_{1.G} - \eta_{1.W} - \eta_{1.br} - \eta_{1.s}}{\eta_{1.LM71}} = 0.676$$

- zatížitelnost prutu - normálová napětí horní vlákno

$$\eta_{1.G} := \frac{-N_{Ed.G}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.G}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.G}}{W_{z.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.023$$

$$\eta_{1.W} := \frac{-N_{Ed.W}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.W}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.W}}{W_{z.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.023$$

$$Z_{LM71} := 0.720$$

pro iteraci

$$\eta_{1.br} := \frac{-N_{Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = -2.749 \times 10^{-4}$$

$$\eta_{1.s} := \frac{-N_{Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.518$$

$$\eta_{1.LM71} := \frac{-N_{Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.606$$

$$Z_{LM71} := \frac{1 - \eta_{1.G} - \eta_{1.W} - \eta_{1.br} - \eta_{1.s}}{\eta_{1.LM71}} = 0.72$$

- zatížitelnost průřezu - smyková napětí

$$\eta_{3.G} := \frac{V_{z2.Ed.G}}{V_{Rd}} = 0.014$$

$$\eta_{3.W} := \frac{V_{z2.Ed.W}}{V_{Rd}} = 0.019$$

$$Z_{LM71} := 0.912$$

pro iteraci

$$\eta_{3.br} := \frac{V_{z2.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{V_{Rd}} = 0.019$$

$$\eta_{3.s} := \frac{V_{z2.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{V_{Rd}} = 0.048$$

$$\eta_{3.LM71} := \frac{V_{z2.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{V_{Rd}} = 0.989$$

$$Z_{LM71} := \frac{1 - \eta_{3.G} - \eta_{3.W} - \eta_{3.br} - \eta_{3.s}}{\eta_{3.LM71}} = 0.911$$

- zatížitelnost - lokální napjatost

$$F_{Ek} := 71.1 \text{ kN}$$

$$\alpha := 1$$

$$\Phi_3 := \frac{2.16}{\sqrt{L_{\Phi} \cdot \frac{1}{m} - 0.2}} + 0.73 = 1.815$$

$$\gamma_{Q.LM71} := 1.16$$

$$F_{Ed} := F_{Ek} \cdot \alpha \cdot \Phi_3 \cdot \gamma_{Q.LM71} = 149.689 \text{ kN}$$

- součinitel lokálního boulení

$$k_F := 6 + 2 \cdot \left(\frac{H_w}{L_{po}}\right)^2 = 6.061$$

$$F_{cr} := 0.9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{H_w} = 1868 \cdot \text{kN} \qquad m_1 := \frac{B_d}{t_w} = 18.5 \qquad m_2 := 0 \qquad s_s := 24 \text{mm}$$

$$l_y := s_s + 2 \cdot t_{fd} \cdot \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2}\right) = 0.109 \text{m}$$

$$\lambda'_F := \sqrt{\frac{l_y \cdot t_w \cdot f_{yk}}{F_{cr}}} = 0.313$$

$$\chi_F := \frac{0.5}{\lambda'_F} = 1.598$$

$$L_{eff} := \chi_F \cdot l_y = 0.174 \text{m}$$

$$\eta_{2.LM71} := \frac{F_{Ed}}{\left(\frac{f_{yk} \cdot L_{eff} \cdot t_w}{\gamma_{M1}}\right)} = 0.599$$

$$\eta_{2.LM71} \cdot Z_{LM71} + 0.8 \eta_1 = 1.4$$

$$\textcolor{green}{Z_{LM71}} := \frac{1.4 - 0.8 \left(\eta_{1.G} + \eta_{1.W} + \eta_{1.br} + \eta_{1.s}\right)}{\eta_{2.LM71} + 0.8 \eta_{1.LM71}} = 0.875$$

VÝPOČET ODOLNOSTI VNITŘNÍHO PODÉLNÍKU 4L A STANOVENÍ ZATÍŽITELNOSTI

1. vstupní údaje:

- délka prutu $L_{po} := 1.8\text{m}$ $L_{\Phi} := 4.8\text{m}$

- průřezové charakteristiky

$$H_w := 342\text{mm} \quad H_w := H - 8\text{mm} - 20\text{mm} = 0.314\text{m}$$

$$B_h := 168\text{mm} \quad B_d := 148\text{mm} \quad A_w := 9504\text{mm}^2$$

$$t_{fh} := 20\text{mm} \quad I_y := 1.596 \cdot 10^8 \text{mm}^4 \quad z_h := 138.2\text{mm}$$

$$t_{fd} := 8\text{mm} \quad I_z := 9.215 \cdot 10^6 \text{mm}^4 \quad z_d := 203.8\text{mm}$$

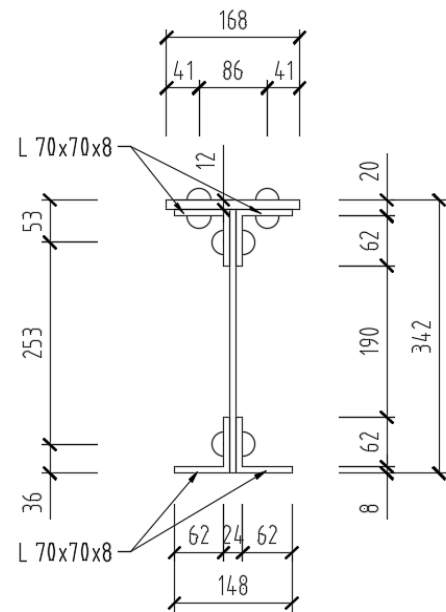
$$t_w := 8\text{mm} \quad y_h := 84\text{mm}$$

$$I_t := 1.057 \cdot 10^6 \text{mm}^4 \quad y_d := 84\text{mm}$$

$$I_w := 2.010 \cdot 10^{11} \text{mm}^6$$

$$W_{el.y.h} := \frac{I_y}{z_h} = 1154848 \cdot \text{mm}^3 \quad W_{el.z.h} := \frac{2 \cdot I_z}{B_h} = 109702 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el.y.d} := \frac{I_y}{z_d} = 783121 \cdot \text{mm}^3 \quad W_{el.z.d} := \frac{2 \cdot I_z}{B_d} = 124527 \cdot \text{mm}^3$$



- průřezové charakteristiky průřezu oslabeného krčnými nýty

$$A_{net} := A - 2 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_w - 4 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_{fd} = 8544 \cdot \text{mm}^2$$

$$I_{y.net} := I_y - 0.02\text{m} \cdot (t_w + 2t_{fd}) \cdot (z_d - 36\text{mm})^2 - 0.02\text{m} \cdot (t_w + 2t_{fd}) \cdot (z_h - 53\text{mm})^2 = 1.426 \times 10^8 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{z.net} := I_z - 2 \cdot 0.01\text{m} \cdot t_w \cdot \left(\frac{t_w}{4}\right)^2 - 4 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_{fd} \cdot \left(\frac{t_w}{2} + \frac{t_{fd}}{2}\right)^2 = 9.173 \times 10^6 \cdot \text{mm}^4$$

$$W_{el.y.net.h} := \frac{I_{y.net}}{z_h} = 1031841 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el.y.net.d} := \frac{I_{y.net}}{z_d} = 699707 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{y.osl.h} := \frac{W_{el.y.net.h} + W_{el.y.h}}{2} = 1093344 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{y.osl.d} := \frac{W_{el.y.net.d} + W_{el.y.d}}{2} = 741414 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el.z.net.h} := \frac{I_{z.net}}{y_h} = 109207 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el.z.net.d} := \frac{I_{z.net}}{y_d} = 109207 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{z.osl.h} := \frac{W_{el.z.net.h} + W_{el.z.h}}{2} = 109455 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{z.osl.d} := \frac{W_{el.z.net.d} + W_{el.z.d}}{2} = 116867 \cdot \text{mm}^3$$

- materiálové charakteristiky	svářkové železo	$\gamma_{M0} := 1.07$
	$E := 210\text{GPa}$	$\gamma_{M1} := 1.17$
	$G := \frac{E}{2 \cdot (1 + 0.3)} = 80769 \cdot \text{MPa}$	$\gamma_{M2} := 1.3$
	$f_{yk} := 210\text{MPa}$	

2. zatřídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1 čl. 5.5 :

$$\varepsilon_{\text{M}} := \sqrt{\frac{235\text{MPa}}{f_{yk}}} = 1.058$$

- stěna	$\frac{H - 2 \cdot 70\text{mm} - 12\text{mm}}{t_w} < 72 \cdot \varepsilon = 1$	třída 1
- příruba	$\frac{c}{2} := \frac{B_h}{2} - \frac{t_w}{2} = 80 \cdot \text{mm}$ $\frac{c}{t_{fh}} < 9\varepsilon = 1$	třída 1

Průřez patří do **třídy 3**, jelikož se jedná o nýtovaný průřez.

3a. vnitřní síly ve středu rozpětí

$M_{y.Ed.G} := 3.8\text{kN} \cdot \text{m}$	$M_{z.Ed.G} := 0.0\text{kN} \cdot \text{m}$	$N_{Ed.G} := 0.7\text{kN}$	$V_{z.Ed.G} := 0.3\text{kN}$
$M_{y.Ed.W} := 1.5\text{kN} \cdot \text{m}$	$M_{z.Ed.W} := 0.3\text{kN} \cdot \text{m}$	$N_{Ed.W} := 2.2\text{kN}$	$V_{z.Ed.W} := 0.4\text{kN}$
$M_{y.Ed.br} := 0.1\text{kN} \cdot \text{m}$	$M_{z.Ed.br} := 0.0\text{kN} \cdot \text{m}$	$N_{Ed.br} := 0.9\text{kN}$	$V_{z.Ed.br} := -5.2\text{kN}$
$M_{y.Ed.s} := 6.3\text{kN} \cdot \text{m}$	$M_{z.Ed.s} := 13.4\text{kN} \cdot \text{m}$	$N_{Ed.s} := 2.4\text{kN}$	$V_{z.Ed.s} := 7.0\text{kN}$
$M_{y.Ed.LM71} := 136.9\text{kN} \cdot \text{m}$	$M_{z.Ed.LM71} := 0.1\text{kN} \cdot \text{m}$	$N_{Ed.LM71} := 8.4\text{kN}$	$V_{z.Ed.LM71} := 78.2\text{kN}$

3b. vnitřní síly na začátku

$V_{z2.Ed.G} := 3.4\text{kN}$
$V_{z2.Ed.W} := 4.6\text{kN}$
$V_{z2.Ed.br} := 5.2\text{kN}$
$V_{z2.Ed.s} := 13.0\text{kN}$
$V_{z2.Ed.LM71} := 267.2\text{kN}$

4. odolnost průřezu

- plastická smyková odolnost stěny průřezu	$V_{pl.Rd} := \frac{H_w \cdot t_w \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 284.639 \cdot \text{kN}$
- statický moment plochy	$S_y := 3812\text{mm}^2 \cdot 154\text{mm} = 5.87 \times 10^5 \cdot \text{mm}^3$
- elastická smyková odolnost průřezu	$V_{Rd} := \frac{f_{yk} \cdot I_y \cdot t_w}{S_y \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 246.447 \cdot \text{kN}$

5. výpočet kritického momentu dle ČSN EN 1993-1-1/NA :

- faktory vzpěrné délky $k_{\omega} := 1$ $k_y := 1$ $k_z := 1$
- vzdálenost působíště síly od středu smyku $z_g := z_h = 0.138 \text{ m}$
- moment setrvačnosti tlačené pásnice $I_{fc} := \frac{1}{12} \cdot B_h \cdot t_{fh}^3 = 1.12 \times 10^5 \cdot \text{mm}^4$
- moment setrvačnosti tažené pásnice $I_{ft} := \frac{1}{12} \cdot B_d \cdot t_{fd}^3 = 6.315 \times 10^3 \cdot \text{mm}^4$
- parametr nesymetrie průřezu $\psi_f := \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} = 0.893$
- poměr koncových momentů $\psi := 0$
- vzdálenost z_j
 $h_f := 328 \text{ mm}$ $z_j := 0.45 \cdot \psi_f \cdot h_f = 0.132 \text{ m}$
- parametr zohledňující nesymetri průřezu, krutovou a výsekovou tuhost a působíště zatížení

$$\kappa_{\omega t} := \frac{\pi}{k_{\omega} \cdot L_{po}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}} \quad \kappa_{\omega t} = 1.227$$

$$\zeta_g := \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L_{po}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} \quad \zeta_g = 1.148$$

$$\zeta_j := \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L_{po}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} \quad \zeta_j = 1.096$$

- faktory zohledňující typ zatížení a podmínky uložení dle ČSN EN 1993-1-1/NA

$$C_1 := 1.13 \quad \text{pre } \kappa_{\omega t} > 1$$

$$C_2 := 0.46 \quad \text{pre } \psi_f = 0.893$$

$$C_3 := 0.53 \quad \text{pre } \psi_f = 0.893$$

$$\mu_{cr} := \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + \kappa_{\omega t}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right] \quad \mu_{cr} = 1.849$$

$$M_{cr} := \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L_{po}} \quad M_{cr} = 1312 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

6. výpočet součinitele klopení :

$$\lambda' := \sqrt{\frac{W_{el.y.h} \cdot f_{yk}}{M_{cr}}} \quad \lambda' = 0.43$$

$$\text{křivka vzpěrné pevnosti "d"} \quad \alpha_{LT} := 0.76$$

$$\phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda' - 0.2) + \lambda'^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0.68$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda'^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0.829$$

7. stanovení zatížitelnosti dle MP SŽDC :

- zatížitelnost průřezu - normálová napětí dolní vlákno

$$Z_{LM71} := 0.678$$

pro iteraci

- poměr smykové síly a plastické smykové odolnosti

$$\eta_3 := \frac{V_{z.Ed.G} + V_{z.Ed.W} + Z_{LM71} \cdot V_{z.Ed.LM71}}{V_{pl.Rd}} = 0.189$$

smyk nemá vliv na ohybovou únosnost

$$\eta_{1.G} := \frac{N_{Ed.G}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.G}}{W_{y.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.G}}{W_{z.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.029$$

$$\eta_{1.W} := \frac{N_{Ed.W}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.W}}{W_{y.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.W}}{W_{z.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.027$$

$$\eta_{1.br} := \frac{N_{Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{W_{y.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 9.074 \times 10^{-4}$$

$$\eta_{1.s} := \frac{N_{Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{W_{y.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.466$$

$$\eta_{1.LM71} := \frac{N_{Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{W_{y.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl.d} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.704$$

$$Z_{LM71} := \frac{1 - \eta_{1.G} - \eta_{1.W} - \eta_{1.br} - \eta_{1.s}}{\eta_{1.LM71}} = 0.677$$

- zatížitelnost prutu - normálová napětí horní vlákno

$$\eta_{1.G} := \frac{-N_{Ed.G}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.G}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.G}}{W_{z.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.023$$

$$\eta_{1.W} := \frac{-N_{Ed.W}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.W}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.W}}{W_{z.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.023$$

$$Z_{LM71} := 0.720$$

pro iteraci

$$\eta_{1.br} := \frac{-N_{Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 6.276 \times 10^{-5}$$

$$\eta_{1.s} := \frac{-N_{Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.518$$

$$\eta_{1.LM71} := \frac{-N_{Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl.h} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.606$$

$$Z_{LM71} := \frac{1 - \eta_{1.G} - \eta_{1.W} - \eta_{1.br} - \eta_{1.s}}{\eta_{1.LM71}} = 0.719$$

- zatížitelnost průřezu - smyková napětí

$$\eta_{3.G} := \frac{V_{z2.Ed.G}}{V_{Rd}} = 0.014$$

$$\eta_{3.W} := \frac{V_{z2.Ed.W}}{V_{Rd}} = 0.019$$

$$\eta_{3.br} := \frac{V_{z2.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{V_{Rd}} = 0.019$$

$$\eta_{3.s} := \frac{V_{z2.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{V_{Rd}} = 0.048$$

$$\eta_{3.LM71} := \frac{V_{z2.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{V_{Rd}} = 0.988$$

$$Z_{LM71} := \frac{1 - \eta_{3.G} - \eta_{3.W} - \eta_{3.br} - \eta_{3.s}}{\eta_{3.LM71}} = 0.911$$

$Z_{LM71} := 0.911$
pro iteraci

- zatížitelnost - lokální napjatost

$$F_{Ek} := 71.1 \text{ kN}$$

$$\alpha := 1$$

$$\Phi_3 := \frac{2.16}{\sqrt{L_{\Phi} \cdot \frac{1}{m} - 0.2}} + 0.73 = 1.815$$

$$\gamma_{Q.LM71} := 1.16$$

$$F_{Ed} := F_{Ek} \cdot \alpha \cdot \Phi_3 \cdot \gamma_{Q.LM71} = 149.689 \text{ kN}$$

- součinitel lokálního boulení

$$k_F := 6 + 2 \cdot \left(\frac{H_w}{L_{po}}\right)^2 = 6.061$$

$$F_{cr} := 0.9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{H_w} = 1868 \cdot \text{kN} \qquad m_1 := \frac{B_d}{t_w} = 18.5 \qquad m_2 := 0 \qquad s_s := 24 \text{mm}$$

$$l_y := s_s + 2 \cdot t_{fd} \cdot \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2}\right) = 0.109 \text{m}$$

$$\lambda_F' := \sqrt{\frac{l_y \cdot t_w \cdot f_{yk}}{F_{cr}}} = 0.313$$

$$\chi_F := \frac{0.5}{\lambda_F'} = 1.598$$

$$L_{eff} := \chi_F \cdot l_y = 0.174 \text{m}$$

$$\eta_{2.LM71} := \frac{F_{Ed}}{\left(\frac{f_{yk} \cdot L_{eff} \cdot t_w}{\gamma_{M1}}\right)} = 0.599$$

$$\eta_{2.LM71} \cdot Z_{LM71} + 0.8 \eta_1 = 1.4$$

$$\textcolor{green}{Z_{LM71}} := \frac{1.4 - 0.8 \left(\eta_{1.G} + \eta_{1.W} + \eta_{1.br} + \eta_{1.s}\right)}{\eta_{2.LM71} + 0.8 \eta_{1.LM71}} = 0.875$$

VÝPOČET ODOLNOSTI PŘÍČNÍKU č.4 A STANOVENÍ ZATÍŽITELNOSTI

1. vstupní údaje:

- délka prutu $L_{pr} := 4.52\text{m}$ $L_{\Phi} := 9.04\text{m}$

- průřezové charakteristiky plného průřezu

$$H := 500\text{mm} \quad H_w := H - 2 \cdot 14\text{mm} = 472\text{mm}$$

$$B := 270\text{mm} \quad A := 16535\text{mm}^2$$

$$t_f := 14\text{mm} \quad I_y := 7.030 \cdot 10^8 \text{mm}^4$$

$$t_w := 10\text{mm} \quad I_z := 4.663 \cdot 10^7 \text{mm}^4$$

$$z_p := 250\text{mm} \quad y_p := 135\text{mm}$$

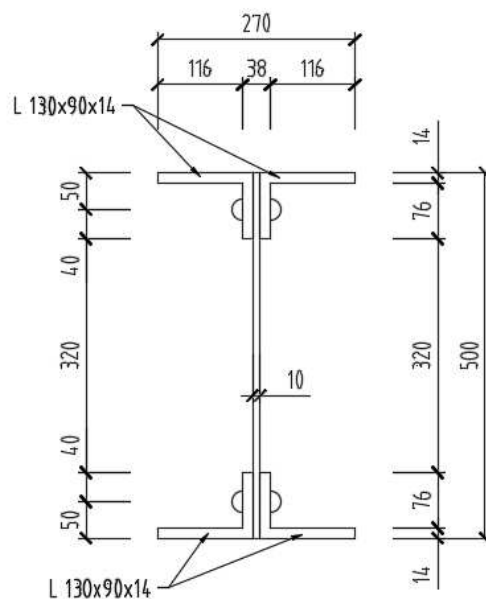
$$z_m := 250\text{mm} \quad y_m := 135\text{mm}$$

$$I_t := 3.062 \cdot 10^6 \text{mm}^4$$

$$I_{\omega} := 2.677 \cdot 10^{12} \text{mm}^6$$

$$W_{el,y} := \frac{I_y}{\frac{H}{2}} = 2812000 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el,z} := \frac{I_z}{\frac{B}{2}} = 345407 \cdot \text{mm}^3$$



- průřezové charakteristiky oslabeného průřezu v místě přípoje podélníku

$$A_{net} := A - 5 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_w - 4 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_f = 14415 \cdot \text{mm}^2$$

$$I_{y.net} := I_y - 2 \cdot 0.02\text{m} \cdot 2 \cdot t_f \cdot (z_p - 50\text{mm})^2 - 4 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_w \cdot (z_p - 150\text{mm})^2 - 2 \cdot 0.01\text{m} \cdot t_w \cdot (z_p - 240\text{mm})^2 = 6.502 \times 10^8 \cdot \text{mm}^4$$

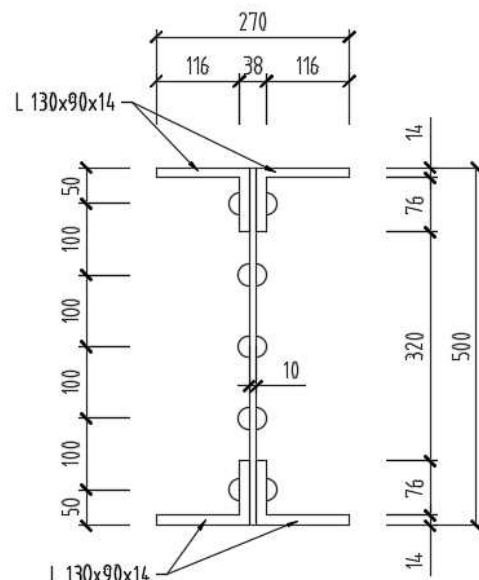
$$I_{z.net} := I_z - 10 \cdot 0.01m \cdot t_w \cdot \left(\frac{t_w}{4}\right)^2 - 4 \cdot 0.02m \cdot t_f \cdot \left(\frac{t_w}{2} + \frac{t_f}{2}\right)^2 = 4.646 \times 10^7 \cdot mm^4$$

$$W_{el.y.net} := \frac{I_{y.net}}{z_p} = 2600720 \cdot mm^3$$

$$W_{y.osl} := \frac{W_{el.y.net} + W_{el.y}}{2} = 2706360 \cdot mm^3$$

$$W_{el.z.net} := \frac{I_{z.net}}{y_p} = 344166 \cdot mm^3$$

$$W_{z.osl} := \frac{W_{el.z.net} + W_{el.z}}{2} = 344787 \cdot mm^3$$



- materiálové charakteristiky : svářkové železo $\gamma_{M0} := 1.07$
- $E := 210 \text{ GPa}$ $\gamma_{M1} := 1.17$
- $G := \frac{E}{2 \cdot (1 + 0.3)} = 80769 \cdot \text{MPa}$ $\gamma_{M2} := 1.3$
- $f_{yk} := 210 \text{ MPa}$

2. zatřídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1 čl. 5.5 :

$$\bar{\epsilon} := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_{yk}}} = 1.058$$

- stěna na ohyb $\frac{H - 2 \cdot 90 \text{ mm}}{t_w} < 72 \cdot \epsilon = 1$ třída 1
- stěna na tlak $\frac{H - 2 \cdot 90 \text{ mm}}{t_w} < 33 \cdot \epsilon = 1$ třída 1
- pásnice $\bar{\epsilon}_s := \frac{B}{2} - \frac{t_w}{2} = 130 \cdot \text{mm}$ $\frac{c}{t_f} < 9 \epsilon = 1$ třída 1

Průřez patří do **třídy 3**, jelikož se jedná o nýtovaný průřez.

3. vnitřní síly :

- v místě připoje podélníku
- | | | |
|---|---|-------------------------------------|
| $M_{y2.Ed.G} := 10.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_{z2.Ed.G} := 0.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $V_{z2.Ed.G} := -1.2 \text{ kN}$ |
| $M_{y2.Ed.W} := 4.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_{z2.Ed.W} := 0.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $V_{z2.Ed.W} := 5.1 \text{ kN}$ |
| $M_{y2.Ed.br} := 0.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_{z2.Ed.br} := 3.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $V_{z2.Ed.br} := 0.0 \text{ kN}$ |
| $M_{y2.Ed.s} := 7.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_{z2.Ed.s} := 5.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $V_{z2.Ed.s} := 7.8 \text{ kN}$ |
| $M_{y2.Ed.LM71} := 343.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_{z2.Ed.LM71} := 0.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $V_{z2.Ed.LM71} := 17.2 \text{ kN}$ |
- v připoji na hlavní nosník $V_{z3.Ed.G} := 9.0 \text{ kN}$

$$V_{z3.Ed.W} := 2.6 \text{ kN}$$

$$V_{z3.Ed.br} := 0.1 \text{ kN}$$

$$V_{z3.Ed.s} := 4.1 \text{ kN}$$

$$V_{z3.Ed.LM71} := 253.9 \text{ kN}$$

4. výpočet kritického momentu dle ČSN EN 1993-1-1/NA :

$$\text{- faktory vzpěrné délky} \quad k_{\omega} := 1 \quad k_y := 1 \quad k_z := 1 \quad L_z := 1.8 \text{ m}$$

$$\text{- vzdálenost působíště síly od středu smyku} \quad z_g := \frac{H}{2} = 250 \cdot \text{mm}$$

$$\text{- moment setrvačnosti tláčené pásnice} \quad I_{fc} := \frac{1}{12} \cdot B \cdot t_f^3 = 6.174 \times 10^4 \cdot \text{mm}^4$$

$$\text{- moment setrvačnosti tažené pásnice} \quad I_{ft} := \frac{1}{12} \cdot B \cdot t_f^3 = 6.174 \times 10^4 \cdot \text{mm}^4$$

$$\text{- parametr nesymetrie průřezu} \quad \psi_f := \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} = 0$$

$$\text{- poměr koncových momentů} \quad \psi := 0.86$$

$$\text{- vzdálenost } z_j \quad h_f := 486 \text{ mm} \quad z_j := 0.45 \cdot \psi_f \cdot h_f = 0$$

- parametr zohledňující nesymetri průřezu, krutovou a výsekovou tuhost a působíště zatížení

$$\kappa_{\omega t} := \frac{\pi}{k_{\omega} \cdot L_z} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}} \quad \kappa_{\omega t} = 2.631$$

$$\zeta_g := \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L_z} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{z.net}}{G \cdot I_t}} \quad \zeta_g = 2.741$$

$$\zeta_j := \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L_z} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{z.net}}{G \cdot I_t}} \quad \zeta_j = 0$$

- faktory zohledňující typ zatížení a podmínky uložení dle ČSN EN 1993-1-1/NA

$$C_1 := 1.07 \quad \text{pre } \kappa_{\omega t} > 1 \text{ a } \psi = 0.86$$

$$C_2 := 0 \quad \text{pre } \psi_f = 0$$

$$C_3 := 1 \quad \text{pre } \psi_f = 0$$

$$\mu_{cr} := \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + \kappa_{\omega t}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right] \quad \mu_{cr} = 3.012$$

$$M_{cr} := \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_{z.net} \cdot G \cdot I_t}}{L_z}$$

$$M_{cr} = 8166 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

5. výpočet součinitele klopení :

$$\lambda' := \sqrt{\frac{W_{el.y} \cdot f_{yk}}{M_{cr}}}$$

$$\lambda' = 0.269$$

krivka vzpěrné pevnosti "d"

$$\alpha_{LT} := 0.76$$

$$\phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda' - 0.2) + \lambda'^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0.562$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda'^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0.947$$

6. výpočet smykové odolnosti průřezu dle ČSN EN 1993-1-1 :

- statický moment plochy

$$S_y := 8268 \text{mm}^2 \cdot 196 \text{mm} = 1.621 \times 10^6 \cdot \text{mm}^3$$

- elastická smyková odolnost průřezu

$$V_{Rd} := \frac{f_{yk} \cdot I_y \cdot t_w}{S_y \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 491.557 \cdot \text{kN}$$

- plastická smyková odolnost stěny průřezu

$$V_{pl.Rd} := \frac{H_w \cdot t_w \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 534.831 \cdot \text{kN}$$

7. přídatný ohybový moment od tuhosti polorámu ČSN EN 1993-2, čl. 6.3.4.2 (5) :

- vzdálenost mezi pružinami

$$l_w := 1.8 \text{m}$$

- moment setrvačnosti horního pásu včetně účinné části stěny k "z"

$$I_{wz} := 3.263 \cdot 10^7 \text{mm}^4$$

- statický moment plochy horního pásu včetně účinné části stěny

$$S_{yf} := 12562 \text{mm}^2 \cdot 473.8 \text{mm} = 5.952 \times 10^6 \cdot \text{mm}^3$$

- moment setrvačnosti hlavního nosníku

$$I_{y.net.HL} := 5.499 \times 10^{-3} \text{m}^4$$

- maximální ohybový moment

$$M_{y.Ed.max} := 2112 \text{kN} \cdot \text{m}$$

- osová síla v horním pásu

$$N_{Ed.max} := \frac{M_{y.Ed.max} \cdot S_{yf}}{I_{y.net.HL}} = 2285.9 \cdot \text{kN}$$

- dodatečná příčná síla v místě přípoje pásu ke svislici

$$F_{Ed} := \frac{N_{Ed.max}}{100} = 22.859 \cdot \text{kN}$$

- vzdálenost těžiště horního pásu k horní pásnici příčníku

$$h_v := 0.322 \text{m}$$

- přídatný ohybový moment v příčníku

$$M_{y.Ed.H1} := F_{Ed} \cdot h_v = 7.361 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

8a. stanovení zatížitelnosti dle MP SŽDC v místě přípoje podélníku :

$$\frac{V_{z2.Ed.G} + V_{z2.Ed.W} + V_{z2.Ed.br} + V_{z2.Ed.s} + V_{z2.Ed.LM71}}{V_{pl.Rd}} = 0.054 \quad \text{smyk nemá vliv na ohybovou odolnost průřezu}$$

$$\eta_{1.G} := \frac{M_{y2.Ed.G}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z2.Ed.G}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.023$$

$$\eta_{1.W} := \frac{M_{y2.Ed.W}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z2.Ed.W}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 8.698 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{1.H1} := \frac{M_{y.Ed.H1}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.016$$

$$\eta_{1.br} := \frac{M_{y2.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z2.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.059$$

$$\eta_{1.s} := \frac{M_{y2.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z2.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.103$$

$$\eta_{1.LM71} := \frac{M_{y2.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z2.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.749$$

$$\eta_{1.LM71} := \frac{1 - \eta_{1.G} - \eta_{1.W} - \eta_{1.H1} - \eta_{1.br} - \eta_{1.s}}{\eta_{1.LM71}} = 1.056$$

8b. stanovení zatížitelnosti dle MP SŽDC na konci přičníku :

$$\eta_{3.G} := \frac{V_{z3.Ed.G}}{V_{Rd}} = 0.018$$

$$\eta_{3.W} := \frac{V_{z3.Ed.W}}{V_{Rd}} = 5.289 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{3.br} := \frac{V_{z3.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{V_{Rd}} = 2.034 \times 10^{-4}$$

$$\eta_{3.s} := \frac{V_{z3.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{V_{Rd}} = 8.341 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{3.LM71} := \frac{V_{z3.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{V_{Rd}} = 0.517$$

$$\textcolor{green}{Z_{\text{LM71}}} := \frac{1 - \eta_{3.\text{G}} - \eta_{3.\text{W}} - \eta_{3.\text{br}} - \eta_{3.\text{s}}}{\eta_{3.\text{LM71}}} = 1.874$$

VÝPOČET ODOLNOSTI PŘÍČNÍKU č.5 A STANOVENÍ ZATÍŽITELNOSTI

1. vstupní údaje:

- délka prutu $L_{pr} := 4.52\text{m}$ $L_{\Phi} := 9.04\text{m}$

- průřezové charakteristiky plného průřezu

$$H := 500\text{mm} \quad H_w := H - 2 \cdot 14\text{mm} = 472\text{mm}$$

$$B := 270\text{mm} \quad A := 16535\text{mm}^2$$

$$t_f := 14\text{mm} \quad I_y := 7.030 \cdot 10^8 \text{mm}^4$$

$$t_w := 10\text{mm} \quad I_z := 4.663 \cdot 10^7 \text{mm}^4$$

$$z_p := 250\text{mm} \quad y_p := 135\text{mm}$$

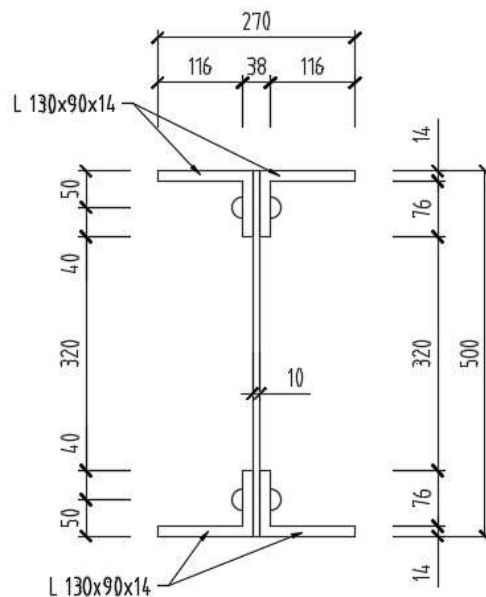
$$z_m := 250\text{mm} \quad y_m := 135\text{mm}$$

$$I_t := 3.062 \cdot 10^6 \text{mm}^4$$

$$I_{\omega} := 2.677 \cdot 10^{12} \text{mm}^6$$

$$W_{el,y} := \frac{I_y}{\frac{H}{2}} = 2812000 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el,z} := \frac{I_z}{\frac{B}{2}} = 345407 \cdot \text{mm}^3$$



- průřezové charakteristiky oslabeného průřezu v místě přípoje podélníku

$$A_{net} := A - 5 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_w - 4 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_f = 14415 \cdot \text{mm}^2$$

$$I_{y.net} := I_y - 2 \cdot 0.02\text{m} \cdot 2 \cdot t_f \cdot (z_p - 50\text{mm})^2 - 4 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_w \cdot (z_p - 150\text{mm})^2 - 2 \cdot 0.01\text{m} \cdot t_w \cdot (z_p - 240\text{mm})^2 = 6.502 \times 10^8 \cdot \text{mm}^4$$

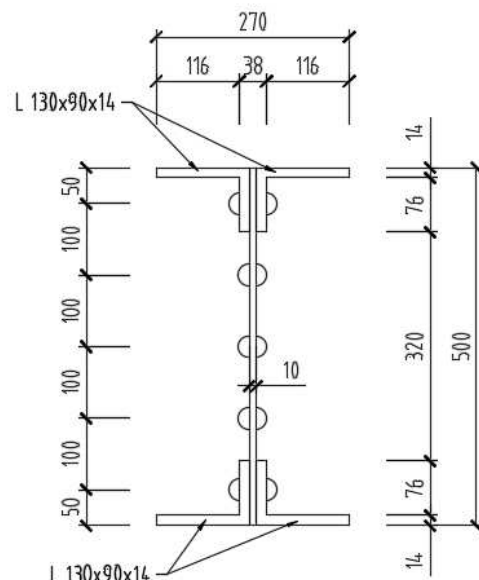
$$I_{z.net} := I_z - 10 \cdot 0.01m \cdot t_w \cdot \left(\frac{t_w}{4} \right)^2 - 4 \cdot 0.02m \cdot t_f \cdot \left(\frac{t_w}{2} + \frac{t_f}{2} \right)^2 = 4.646 \times 10^7 \cdot mm^4$$

$$W_{el.y.net} := \frac{I_{y.net}}{z_p} = 2600720 \cdot mm^3$$

$$W_{y.osl} := \frac{W_{el.y.net} + W_{el.y}}{2} = 2706360 \cdot mm^3$$

$$W_{el.z.net} := \frac{I_{z.net}}{y_p} = 344166 \cdot mm^3$$

$$W_{z.osl} := \frac{W_{el.z.net} + W_{el.z}}{2} = 344787 \cdot mm^3$$



- materiálové charakteristiky : svářkové železo $\gamma_{M0} := 1.07$
- $E := 210 \text{ GPa}$ $\gamma_{M1} := 1.17$
- $G := \frac{E}{2 \cdot (1 + 0.3)} = 80769 \cdot \text{MPa}$ $\gamma_{M2} := 1.3$
- $f_{yk} := 210 \text{ MPa}$

2. zatřídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1 čl. 5.5 :

$$\bar{\epsilon} := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_{yk}}} = 1.058$$

- stěna na ohyb $\frac{H - 2 \cdot 90 \text{ mm}}{t_w} < 72 \cdot \epsilon = 1$ třída 1
- stěna na tlak $\frac{H - 2 \cdot 90 \text{ mm}}{t_w} < 33 \cdot \epsilon = 1$ třída 1
- pásnice $\bar{c} := \frac{B}{2} - \frac{t_w}{2} = 130 \cdot \text{mm}$ $\frac{c}{t_f} < 9 \epsilon = 1$ třída 1

Průřez patří do **třídy 3**, jelikož se jedná o nýtovaný průřez.

3. vnitřní síly :

- v místě připoje podélníku
- | | | |
|---|---|-------------------------------------|
| $M_{y2.Ed.G} := 10.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_{z2.Ed.G} := 0.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $V_{z2.Ed.G} := -1.2 \text{ kN}$ |
| $M_{y2.Ed.W} := 2.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_{z2.Ed.W} := 0.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $V_{z2.Ed.W} := 4.3 \text{ kN}$ |
| $M_{y2.Ed.br} := 0.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_{z2.Ed.br} := 41.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $V_{z2.Ed.br} := 0.0 \text{ kN}$ |
| $M_{y2.Ed.s} := 1.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_{z2.Ed.s} := 0.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $V_{z2.Ed.s} := 2.3 \text{ kN}$ |
| $M_{y2.Ed.LM71} := 344.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_{z2.Ed.LM71} := 2.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $V_{z2.Ed.LM71} := 21.1 \text{ kN}$ |
- v připoji na hlavní nosník $V_{z3.Ed.G} := 9.9 \text{ kN}$

$$V_{z3.Ed.W} := 4.9 \text{ kN}$$

$$V_{z3.Ed.br} := 0.1 \text{ kN}$$

$$V_{z3.Ed.s} := 14.3 \text{ kN}$$

$$V_{z3.Ed.LM71} := 277.2 \text{ kN}$$

4. výpočet kritického momentu dle ČSN EN 1993-1-1/NA :

$$\text{- faktory vzpěrné délky} \quad k_{\omega} := 1 \quad k_y := 1 \quad k_z := 1 \quad L_z := 1.8 \text{ m}$$

$$\text{- vzdálenost působíště síly od středu smyku} \quad z_g := \frac{H}{2} = 250 \cdot \text{mm}$$

$$\text{- moment setrvačnosti tláčené pásnice} \quad I_{fc} := \frac{1}{12} \cdot B \cdot t_f^3 = 6.174 \times 10^4 \cdot \text{mm}^4$$

$$\text{- moment setrvačnosti tažené pásnice} \quad I_{ft} := \frac{1}{12} \cdot B \cdot t_f^3 = 6.174 \times 10^4 \cdot \text{mm}^4$$

$$\text{- parametr nesymetrie průřezu} \quad \psi_f := \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} = 0$$

$$\text{- poměr koncových momentů} \quad \psi := 0.86$$

$$\text{- vzdálenost } z_j \quad h_f := 486 \text{ mm} \quad z_j := 0.45 \cdot \psi_f \cdot h_f = 0$$

- parametr zohledňující nesymetri průřezu, krutovou a výsekovou tuhost a působíště zatížení

$$\kappa_{\omega t} := \frac{\pi}{k_{\omega} \cdot L_z} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}} \quad \kappa_{\omega t} = 2.631$$

$$\zeta_g := \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L_z} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{z.net}}{G \cdot I_t}} \quad \zeta_g = 2.741$$

$$\zeta_j := \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L_z} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{z.net}}{G \cdot I_t}} \quad \zeta_j = 0$$

- faktory zohledňující typ zatížení a podmínky uložení dle ČSN EN 1993-1-1/NA

$$C_1 := 1.07 \quad \text{pre } \kappa_{\omega t} > 1 \text{ a } \psi = 0.86$$

$$C_2 := 0 \quad \text{pre } \psi_f = 0$$

$$C_3 := 1 \quad \text{pre } \psi_f = 0$$

$$\mu_{cr} := \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + \kappa_{\omega t}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right] \quad \mu_{cr} = 3.012$$

$$M_{cr} := \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_{z.net} \cdot G \cdot I_t}}{L_z}$$

$$M_{cr} = 8166 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

5. výpočet součinitele klopení :

$$\lambda' := \sqrt{\frac{W_{el.y} \cdot f_{yk}}{M_{cr}}}$$

$$\lambda' = 0.269$$

krivka vzpěrné pevnosti "d"

$$\alpha_{LT} := 0.76$$

$$\phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda' - 0.2) + \lambda'^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0.562$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda'^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0.947$$

6. výpočet smykové odolnosti průřezu dle ČSN EN 1993-1-1 :

- statický moment plochy

$$S_y := 8268 \text{mm}^2 \cdot 196 \text{mm} = 1.621 \times 10^6 \cdot \text{mm}^3$$

- elastická smyková odolnost průřezu

$$V_{Rd} := \frac{f_{yk} \cdot I_y \cdot t_w}{S_y \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 491.557 \cdot \text{kN}$$

- plastická smyková odolnost stěny průřezu

$$V_{pl.Rd} := \frac{H_w \cdot t_w \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 534.831 \cdot \text{kN}$$

7. přídatný ohybový moment od tuhosti polorámu ČSN EN 1993-2, čl. 6.3.4.2 (5) :

- vzdálenost mezi pružinami

$$l_w := 1.8 \text{m}$$

- moment setrvačnosti horního pásu včetně účinné části stěny k "z"

$$I_{xx} := 3.263 \cdot 10^7 \text{mm}^4$$

- statický moment plochy horního pásu včetně účinné části stěny

$$S_{yf} := 12562 \text{mm}^2 \cdot 473.8 \text{mm} = 5.952 \times 10^6 \cdot \text{mm}^3$$

- moment setrvačnosti hlavního nosníku

$$I_{y.net.HL} := 5.499 \times 10^{-3} \text{m}^4$$

- maximální ohybový moment

$$M_{y.Ed.max} := 2112 \text{kN} \cdot \text{m}$$

- osová síla v horním pásu

$$N_{Ed.max} := \frac{M_{y.Ed.max} \cdot S_{yf}}{I_{y.net.HL}} = 2285.9 \cdot \text{kN}$$

- dodatečná příčná síla v místě přípoje pásu ke svislici

$$F_{Ed} := \frac{N_{Ed.max}}{100} = 22.859 \cdot \text{kN}$$

- vzdálenost těžiště horního pásu k horní pásnici příčníku

$$h_v := 0.322 \text{m}$$

- přídatný ohybový moment v příčníku

$$M_{y.Ed.H1} := F_{Ed} \cdot h_v = 7.361 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

8a. stanovení zatížitelnosti dle MP SŽDC v místě přípoje podélníku :

$$\frac{V_{z2.Ed.G} + V_{z2.Ed.W} + V_{z2.Ed.br} + V_{z2.Ed.s} + V_{z2.Ed.LM71}}{V_{pl.Rd}} = 0.05$$

smyk nemá vliv na ohybovou odolnost průřezu

$$\eta_{1.G} := \frac{M_{y2.Ed.G}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z2.Ed.G}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.026$$

$$\eta_{1.W} := \frac{M_{y2.Ed.W}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z2.Ed.W}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 7.922 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{1.H1} := \frac{M_{y.Ed.H1}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.016$$

$$\eta_{1.br} := \frac{M_{y2.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z2.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.504$$

$$\eta_{1.s} := \frac{M_{y2.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z2.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 2.939 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{1.LM71} := \frac{M_{y2.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z2.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.591$$

$$\eta_{1.LM71} := \frac{1 - \eta_{1.G} - \eta_{1.W} - \eta_{1.H1} - \eta_{1.br} - \eta_{1.s}}{\eta_{1.LM71}} = 0.75$$

8b. stanovení zatížitelnosti dle MP SŽDC na konci přičniku :

$$\eta_{3.G} := \frac{V_{z3.Ed.G}}{V_{Rd}} = 0.02$$

$$\eta_{3.W} := \frac{V_{z3.Ed.W}}{V_{Rd}} = 9.968 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{3.br} := \frac{V_{z3.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{V_{Rd}} = 2.034 \times 10^{-4}$$

$$\eta_{3.s} := \frac{V_{z3.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{V_{Rd}} = 0.029$$

$$\eta_{3.LM71} := \frac{V_{z3.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{V_{Rd}} = 0.564$$

$$\textcolor{green}{Z_{\text{LM71}}} := \frac{1 - \eta_{3.\text{G}} - \eta_{3.\text{W}} - \eta_{3.\text{br}} - \eta_{3.\text{s}}}{\eta_{3.\text{LM71}}} = 1.668$$

VÝPOČET ODOLNOSTI PŘÍČNÍKU č.7 A STANOVENÍ ZATÍŽITELNOSTI

1. vstupní údaje:

- délka prutu $L_{pr} := 4.52\text{m}$ $L_{\Phi} := 3.6\text{m}$

- průřezové charakteristiky plného průřezu

$$H := 500\text{mm} \quad H_w := H - 2 \cdot 14\text{mm} = 472\text{mm}$$

$$B := 270\text{mm} \quad A := 16535\text{mm}^2$$

$$t_f := 14\text{mm} \quad I_y := 7.030 \cdot 10^8 \text{mm}^4$$

$$t_w := 10\text{mm} \quad I_z := 4.663 \cdot 10^7 \text{mm}^4$$

$$z_p := 250\text{mm} \quad y_p := 135\text{mm}$$

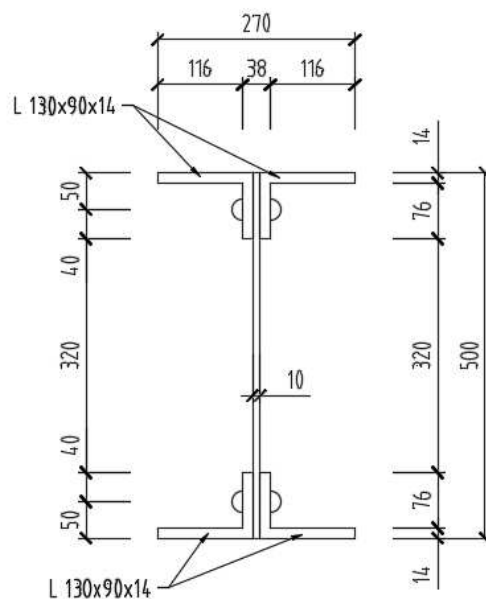
$$z_m := 250\text{mm} \quad y_m := 135\text{mm}$$

$$I_t := 3.062 \cdot 10^6 \text{mm}^4$$

$$I_{\omega} := 2.677 \cdot 10^{12} \text{mm}^6$$

$$W_{el,y} := \frac{I_y}{\frac{H}{2}} = 2812000 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el,z} := \frac{I_z}{\frac{B}{2}} = 345407 \cdot \text{mm}^3$$



- průřezové charakteristiky oslabeného průřezu v místě přípoje podélníku

$$A_{net} := A - 5 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_w - 4 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_f = 14415 \cdot \text{mm}^2$$

$$I_{y.net} := I_y - 2 \cdot 0.02\text{m} \cdot 2 \cdot t_f \cdot (z_p - 50\text{mm})^2 - 4 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_w \cdot (z_p - 150\text{mm})^2 - 2 \cdot 0.01\text{m} \cdot t_w \cdot (z_p - 240\text{mm})^2 = 6.502 \times 10^8 \cdot \text{mm}^4$$

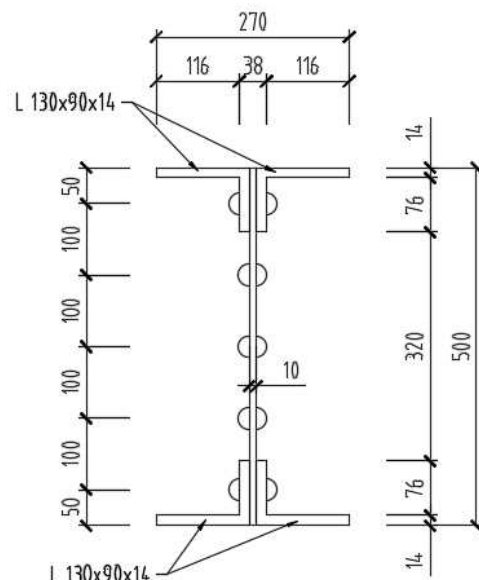
$$I_{z.net} := I_z - 10 \cdot 0.01m \cdot t_w \cdot \left(\frac{t_w}{4} \right)^2 - 4 \cdot 0.02m \cdot t_f \cdot \left(\frac{t_w}{2} + \frac{t_f}{2} \right)^2 = 4.646 \times 10^7 \cdot mm^4$$

$$W_{el.y.net} := \frac{I_{y.net}}{z_p} = 2600720 \cdot mm^3$$

$$W_{y.osl} := \frac{W_{el.y.net} + W_{el.y}}{2} = 2706360 \cdot mm^3$$

$$W_{el.z.net} := \frac{I_{z.net}}{y_p} = 344166 \cdot mm^3$$

$$W_{z.osl} := \frac{W_{el.z.net} + W_{el.z}}{2} = 344787 \cdot mm^3$$



- materiálové charakteristiky : svářkové železo $\gamma_{M0} := 1.07$
- $E := 210 \text{ GPa}$ $\gamma_{M1} := 1.17$
- $G := \frac{E}{2 \cdot (1 + 0.3)} = 80769 \cdot \text{MPa}$ $\gamma_{M2} := 1.3$
- $f_{yk} := 210 \text{ MPa}$

2. zatřídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1 čl. 5.5 :

$$\bar{\epsilon} := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_{yk}}} = 1.058$$

- stěna na ohyb $\frac{H - 2 \cdot 90 \text{ mm}}{t_w} < 72 \cdot \epsilon = 1$ třída 1
- stěna na tlak $\frac{H - 2 \cdot 90 \text{ mm}}{t_w} < 33 \cdot \epsilon = 1$ třída 1
- pásnice $\bar{c} := \frac{B}{2} - \frac{t_w}{2} = 130 \cdot \text{mm}$ $\frac{c}{t_f} < 9 \epsilon = 1$ třída 1

Průřez patří do **třídy 3**, jelikož se jedná o nýtovaný průřez.

3. vnitřní síly :

- v místě přípoje podélníku
- | | | |
|---|---|-------------------------------------|
| $M_{y2.Ed.G} := 8.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_{z2.Ed.G} := 0.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $V_{z2.Ed.G} := -1.2 \text{ kN}$ |
| $M_{y2.Ed.W} := 0.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_{z2.Ed.W} := 0.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $V_{z2.Ed.W} := 4.1 \text{ kN}$ |
| $M_{y2.Ed.br} := -12.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_{z2.Ed.br} := 41.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $V_{z2.Ed.br} := 0.0 \text{ kN}$ |
| $M_{y2.Ed.s} := 1.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_{z2.Ed.s} := 0.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $V_{z2.Ed.s} := -3.3 \text{ kN}$ |
| $M_{y2.Ed.LM71} := 343.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_{z2.Ed.LM71} := 3.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $V_{z2.Ed.LM71} := 22.2 \text{ kN}$ |
- v přípojce na hlavní nosník
- $V_{z3.Ed.G} := 7.4 \text{ kN}$

$$V_{z3.Ed.W} := 2.4 \text{ kN}$$

$$V_{z3.Ed.br} := 9.2 \text{ kN}$$

$$V_{z3.Ed.s} := 3.4 \text{ kN}$$

$$V_{z3.Ed.LM71} := 271.3 \text{ kN}$$

4. výpočet kritického momentu dle ČSN EN 1993-1-1/NA :

$$\text{- faktory vzpěrné délky} \quad k_{\omega} := 1 \quad k_y := 1 \quad k_z := 1 \quad L_z := 1.8 \text{ m}$$

$$\text{- vzdálenost působíště síly od středu smyku} \quad z_g := \frac{H}{2} = 250 \cdot \text{mm}$$

$$\text{- moment setrvačnosti tlacené pásnice} \quad I_{fc} := \frac{1}{12} \cdot B \cdot t_f^3 = 6.174 \times 10^4 \cdot \text{mm}^4$$

$$\text{- moment setrvačnosti tažené pásnice} \quad I_{ft} := \frac{1}{12} \cdot B \cdot t_f^3 = 6.174 \times 10^4 \cdot \text{mm}^4$$

$$\text{- parametr nesymetrie průřezu} \quad \psi_f := \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} = 0$$

$$\text{- poměr koncových momentů} \quad \psi := 0.86$$

$$\text{- vzdálenost } z_j \quad h_f := 486 \text{ mm} \quad z_j := 0.45 \cdot \psi_f \cdot h_f = 0$$

- parametr zohledňující nesymetri průřezu, krutovou a výsekovou tuhost a působíště zatížení

$$\kappa_{\omega t} := \frac{\pi}{k_{\omega} \cdot L_z} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}} \quad \kappa_{\omega t} = 2.631$$

$$\zeta_g := \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L_z} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{z.net}}{G \cdot I_t}} \quad \zeta_g = 2.741$$

$$\zeta_j := \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L_z} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{z.net}}{G \cdot I_t}} \quad \zeta_j = 0$$

- faktory zohledňující typ zatížení a podmínky uložení dle ČSN EN 1993-1-1/NA

$$C_1 := 1.07 \quad \text{pre } \kappa_{\omega t} > 1 \text{ a } \psi = 0.86$$

$$C_2 := 0 \quad \text{pre } \psi_f = 0$$

$$C_3 := 1 \quad \text{pre } \psi_f = 0$$

$$\mu_{cr} := \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + \kappa_{\omega t}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right] \quad \mu_{cr} = 3.012$$

$$M_{cr} := \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_{z.net} \cdot G \cdot I_t}}{L_z}$$

$$M_{cr} = 8166 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

5. výpočet součinitele klopení :

$$\lambda' := \sqrt{\frac{W_{el.y} \cdot f_{yk}}{M_{cr}}}$$

$$\lambda' = 0.269$$

krivka vzpěrné pevnosti "d"

$$\alpha_{LT} := 0.76$$

$$\phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda' - 0.2) + \lambda'^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0.562$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda'^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0.947$$

6. výpočet smykové odolnosti průřezu dle ČSN EN 1993-1-1 :

- statický moment plochy

$$S_y := 8268 \text{mm}^2 \cdot 196 \text{mm} = 1.621 \times 10^6 \cdot \text{mm}^3$$

- elastická smyková odolnost průřezu

$$V_{Rd} := \frac{f_{yk} \cdot I_y \cdot t_w}{S_y \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 491.557 \cdot \text{kN}$$

- plastická smyková odolnost stěny průřezu

$$V_{pl.Rd} := \frac{H_w \cdot t_w \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 534.831 \cdot \text{kN}$$

7. přídatný ohybový moment od tuhosti polorámu ČSN EN 1993-2, čl. 6.3.4.2 (5) :

- vzdálenost mezi pružinami

$$l_w := 1.8 \text{m}$$

- moment setrvačnosti horního pásu včetně účinné části stěny k "z"

$$I_{wz} := 3.263 \cdot 10^7 \text{mm}^4$$

- statický moment plochy horního pásu včetně účinné části stěny

$$S_{yf} := 12562 \text{mm}^2 \cdot 473.8 \text{mm} = 5.952 \times 10^6 \cdot \text{mm}^3$$

- moment setrvačnosti hlavního nosníku

$$I_{y.net.HL} := 2.488 \times 10^{-3} \text{m}^4$$

- maximální ohybový moment

$$M_{y.Ed.max} := 796 \text{kN} \cdot \text{m}$$

- osová síla v horním pásu

$$N_{Ed.max} := \frac{M_{y.Ed.max} \cdot S_{yf}}{I_{y.net.HL}} = 1904.2 \cdot \text{kN}$$

- dodatečná příčná síla v místě připoje pásu ke svislici

$$F_{Ed} := \frac{N_{Ed.max}}{100} = 19.042 \cdot \text{kN}$$

- vzdálenost těžiště horního pásu k horní pásnici příčníku

$$h_v := 0.322 \text{m}$$

- přídatný ohybový moment v příčníku

$$M_{y.Ed.H1} := F_{Ed} \cdot h_v = 6.132 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

8a. stanovení zatížitelnosti dle MP SŽDC v místě připoje podélníku :

$$\frac{V_{z2.Ed.G} + V_{z2.Ed.W} + V_{z2.Ed.br} + V_{z2.Ed.s} + V_{z2.Ed.LM71}}{V_{pl.Rd}} = 0.041 \quad \text{smyk nemá vliv na ohybovou odolnost průřezu}$$

$$\eta_{1.G} := \frac{M_{y2.Ed.G}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z2.Ed.G}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.024$$

$$\eta_{1.W} := \frac{M_{y2.Ed.W}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z2.Ed.W}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 5.717 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{1.H1} := \frac{M_{y.Ed.H1}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.013$$

$$\eta_{1.br} := \frac{M_{y2.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z2.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.485$$

$$\eta_{1.s} := \frac{M_{y2.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z2.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 6.337 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{1.LM71} := \frac{M_{y2.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z2.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.613$$

$$\eta_{1.LM71} := \frac{1 - \eta_{1.G} - \eta_{1.W} - \eta_{1.H1} - \eta_{1.br} - \eta_{1.s}}{\eta_{1.LM71}} = 0.76$$

8b. stanovení zatížitelnosti dle MP SŽDC na konci přičníku :

$$\eta_{3.G} := \frac{V_{z3.Ed.G}}{V_{Rd}} = 0.015$$

$$\eta_{3.W} := \frac{V_{z3.Ed.W}}{V_{Rd}} = 4.882 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{3.br} := \frac{V_{z3.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{V_{Rd}} = 0.019$$

$$\eta_{3.s} := \frac{V_{z3.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{V_{Rd}} = 6.917 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{3.LM71} := \frac{V_{z3.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{V_{Rd}} = 0.552$$

$$\textcolor{green}{Z_{\text{LM71}}} := \frac{1 - \eta_{3.\text{G}} - \eta_{3.\text{W}} - \eta_{3.\text{br}} - \eta_{3.\text{s}}}{\eta_{3.\text{LM71}}} = 1.729$$

VÝPOČET ODOLNOSTI HLAVNÍHO NOSNÍKU č.1 A STANOVENÍ ZATÍŽITELNOSTI

1. vstupní údaje:

- délka prutu $L_{hn} := 10.8\text{m}$ $L_{\Phi} := 10.8\text{m}$

- průřezové charakteristiky plného průřezu

$$\underline{H} := 1052\text{mm} \qquad H_w := 976\text{mm}$$

B := 220mm A := 30464mm²

$$t_f := 38\text{mm} \quad I_y := 5.851 \cdot 10^9 \text{mm}^4$$

$$t_w := 10\text{mm} \quad I_z := 6.532 \cdot 10^7 \text{mm}^4$$

$$z_p := 526\text{mm} \qquad y_p := 110\text{mm}$$

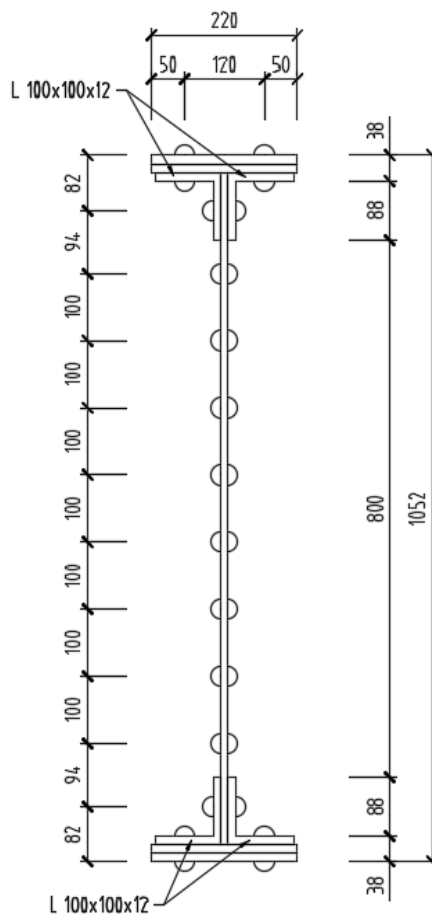
$$z_m := 526\text{mm} \qquad y_m := 110\text{mm}$$

$$I_t := 1.038 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$I_{(1)} := 1.659 \cdot 10^{13} \text{ mm}^6$$

$$W_{el.y} := \frac{I_y}{\frac{H}{2}} = 11123574 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el.z} := \frac{I_z}{\frac{B}{2}} = 593818 \cdot \text{mm}^3$$



- průřezové charakteristiky oslabeného průřezu

$$A_{\text{net}} := A - 10 \cdot 0.02\text{m} \cdot t_w - 4 \cdot 0.02\text{m} \cdot 0.012\text{m} = 27504 \cdot \text{mm}^2$$

$$I_{y,\text{net}} := I_y - 2 \cdot 20\text{mm} \cdot 34\text{mm} \cdot (z_p - 82\text{mm})^2 - 2 \cdot 20\text{mm} \cdot t_w \left[(z_p - 176\text{mm})^2 + (z_p - 276\text{mm})^2 + (z_p - 376\text{mm})^2 \dots + (z_p - 476\text{mm})^2 \right] = 5.499 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{Z,\text{net}} := I_Z - 20 \cdot 10\text{mm} \cdot t_w \cdot \left(\frac{t_w}{4}\right)^2 - 4 \cdot 20\text{mm} \cdot 12\text{mm} \cdot \left(\frac{t_w}{2} + \frac{12\text{mm}}{2}\right)^2 = 6.519 \times 10^7 \cdot \text{mm}^4$$

$$W_{el.y.net} := \frac{I_{y.net}}{z_p} = 10454173 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{y.osl} := \frac{W_{el.y.net} + W_{el.y}}{2} = 10788874 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{el.z.net} := \frac{I_{z.net}}{y_p} = 592649 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{z.osl} := \frac{W_{el.z.net} + W_{el.z}}{2} = 593233 \cdot \text{mm}^3$$

- materiálové charakteristiky :

svářkové železo	$\gamma_{M0} := 1.07$
$E := 210 \text{ GPa}$	$\gamma_{M1} := 1.17$
$G := \frac{E}{2 \cdot (1 + 0.3)} = 80769 \cdot \text{MPa}$	$\gamma_{M2} := 1.3$
$f_{yk} := 210 \text{ MPa}$	
$f_{uk} := 340 \text{ MPa}$	

2. zatřídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1 čl. 5.5 :

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_{yk}}} = 1.058$$

- stěna na ohyb	$\frac{H - 2 \cdot 126 \text{ mm}}{t_w} < 83 \cdot \varepsilon = 1$	třída 2
- stěna na tlak	$\frac{H - 2 \cdot 126 \text{ mm}}{t_w} < 42 \cdot \varepsilon = 0$	třída 4
- odstávající příruba	$\frac{50 \text{ mm}}{13 \text{ mm}} < 9 \varepsilon = 1$	třída 1
- vzdálenost nýtů příčná	$\frac{120 \text{ mm}}{13 \text{ mm}} < 45 \varepsilon = 1$	třída 1
- vzdálenost nýtů podélná	$\frac{120 \text{ mm}}{13 \text{ mm}} < 22 \varepsilon = 1$	třída 1

Průřez patří do **třídy 4**.

3. boulení vlivem normálových napětí dle ČSN EN 1993-1-5 :

- efektivní průřezové charakteristiky průřezu třídy 4 - tlačená stěna

$$\psi_N := 1 \quad k_{\sigma N} := 4 \quad h_w := H - 2 \cdot 126 \text{ mm} = 0.8 \text{ m}$$

$$\lambda'_{pN} := \frac{\frac{h_w}{t_w}}{28.4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_{\sigma N}}} = 1.331$$

$$\rho_N := \frac{\lambda'_{pN} - 0.055 \cdot (3 + \psi_N)}{\lambda'_{pN}^2} = 0.627$$

$$A_c := h_w \cdot t_w = 8 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{c, \text{eff}} := \rho_N \cdot A_c = 5016 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{\text{eff}} := 2 \cdot B \cdot t_f + 2 \cdot 88 \text{ mm} \cdot 34 \text{ mm} + A_{c, \text{eff}} = 27720 \cdot \text{mm}^2$$

- efektivní průřezové charakteristiky průřezu třídy 4 - ohýbaná stěna

$$\psi_M := -1 \quad k_{\sigma M} := 23.9$$

$$\chi'_{pM} := \frac{\frac{h_w}{t_w}}{28.4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_{\sigma M}}} = 0.545$$

$$\rho_M := 1$$

Boulení vlivem ohybu nenastane.

4. boulení vlivem smyku dle ČSN EN 1993-1-5 :

$$\eta := 1.2 \quad \text{dle ČSN EN 1993-1-5/NA}$$

- vzdálenost příčných výstuh

$$a := 1.8\text{m} \quad \frac{a}{h_w} = 2.25$$

- součinitel kritického napětí

$$k_T := 5.34 + 4 \cdot \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 = 6.13$$

$$\frac{h_w}{t_w} < \frac{31}{\eta} \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_T} = 0$$

nastává boulení vlivem smyku

- návrhová únosnost ve smyku

$$\chi'_w := \frac{h_w}{37.4 \cdot t_w \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_T}} = 0.817$$

$$\chi_w := \frac{0.83}{\chi'_w} = 1.016$$

$$V_{bw.Rd} := \frac{\chi_w \cdot f_{yk} \cdot h_w \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 842.522 \cdot \text{kN}$$

S příspěvkem pásnic se neuvažuje.

3. vnitřní síly :

- v místě připojení příčníku 4

$$M_{y.Ed.G} := 109.5\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z.Ed.G} := 0.0\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{z.Ed.G} := 4.5\text{kN}$$

$$N_{Ed.G} := -4.3\text{kN}$$

$$M_{y.Ed.W} := 35.9\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z.Ed.W} := 0.5\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{z.Ed.W} := -0.2\text{kN}$$

$$N_{Ed.W} := 10.6\text{kN}$$

$$M_{y.Ed.br} := 62.1\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z.Ed.br} := 0.0\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{z.Ed.br} := 2.6\text{kN}$$

$$N_{Ed.br} := -45.7\text{kN}$$

$$M_{y.Ed.s} := 2.2\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z.Ed.s} := 19.4\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{z.Ed.s} := 5.0\text{kN}$$

$$N_{Ed.s} := 46.6\text{kN}$$

$$M_{y.Ed.LM71} := 1763.3\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z.Ed.LM71} := 0.3\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{z.Ed.LM71} := 127.8\text{kN}$$

$$N_{Ed.LM71} := -78.6\text{kN}$$

4. výpočet kritického momentu pro klopení hlavního nosníku :

- faktor kritického ohybového momentu ze stabilitní analýzy $\alpha_{cr} := 9.734$
- maximální ohybový moment $M_{Ek,max} := 1698 \text{ kN}\cdot\text{m}$
- kritický moment pro klopení hlavního nosníku $M_{cr} := M_{Ek,max} \cdot \alpha_{cr} = 16528 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$

5. výpočet součinitele klopení dle ČSN EN 1993-1-1 cl. 6.3.2.2 :

$$\lambda' := \sqrt{\frac{W_{el,y} \cdot f_{yk}}{M_{cr}}} \quad \lambda' = 0.376$$

$$\text{krivka vzpernej pevnosti "d"} \quad \alpha_{LT} := 0.76$$

$$\phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda' - 0.2) + \lambda'^2 \right] \quad \phi_{LT} = 0.638$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda'^2}} \quad \chi_{LT} = 0.868$$

6. výpočet smykové odolnosti průřezu dle ČSN EN 1993-1-1 :

- statický moment plochy $S_y := 15232 \text{ mm}^2 \cdot 414.1 \text{ mm} = 6.308 \times 10^6 \cdot \text{mm}^3$
- elastická smyková odolnost $V_{Rd} := \frac{f_{yk} \cdot I_y \cdot t_w}{S_y \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 1.051 \times 10^3 \cdot \text{kN}$
- plastická smyková odolnost $V_{pl,Rd} := \frac{H_w \cdot t_w \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 1.106 \times 10^3 \cdot \text{kN}$

7. určení zatížitelnosti dle MP SŽDC pro horní vlákno :

$$\eta_{1,G} := \frac{-N_{Ed,G}}{A_{eff} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed,G}}{\chi_{LT} \cdot W_{y,osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed,G}}{W_{z,osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.066$$

$$\frac{V_{z,Ed,G} + V_{z,Ed,W} + V_{z,Ed,LM71}}{V_{bw,Rd}} = 0.157$$

smyk nemá vliv na ohybovou odolnost průřezu

$$\eta_{1,W} := \frac{-N_{Ed,W}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed,W}}{\chi_{LT} \cdot W_{y,osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed,W}}{W_{z,osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.024$$

$$\eta_{1,br} := \frac{-N_{Ed,br} \cdot Z_{LM71}}{A_{eff} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed,br} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y,osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed,br} \cdot Z_{LM71}}{W_{z,osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.038$$

$$Z_{LM71} := 0.826$$

pro iteraci

$$\eta_{1,s} := \frac{-N_{Ed,s} \cdot Z_{LM71}}{A_{eff} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed,s} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y,osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed,s} \cdot Z_{LM71}}{W_{z,osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.144$$

$$\eta_{1.LM71} := \frac{-N_{Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{A_{eff} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.882$$

$$Z_{LM71} := \frac{1 - \eta_{1.G} - \eta_{1.W} - \eta_{1.br} - \eta_{1.s}}{\eta_{1.LM71}} = 0.825$$

8. určení zatížitelnosti dle MP SŽDC pro dolní vlákno:

$$\eta_{1.G} := \frac{-N_{Ed.G}}{A_{eff} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.G}}{W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.G}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.057$$

$$\eta_{1.W} := \frac{-N_{Ed.W}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.W}}{W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.W}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.021$$

$$Z_{LM71} := 0.885$$

pro iteraci

$$\eta_{1.br} := \frac{-N_{Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{A_{eff} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.041$$

$$\eta_{1.s} := \frac{-N_{Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.154$$

$$\eta_{1.LM71} := \frac{-N_{Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{A_{eff} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.822$$

$$Z_{LM71} := \frac{1 - \eta_{1.G} - \eta_{1.W} - \eta_{1.br} - \eta_{1.s}}{\eta_{1.LM71}} = 0.884$$

VÝPOČET ODOLNOSTI HLAVNÍHO NOSNÍKU č.2 A STANOVENÍ ZATÍŽITELNOSTI

1. vstupní údaje:

- délka prutu $L_{hn} := 10.8m$ $L_{\Phi} := 10.8m$

- průřezové charakteristiky plného průřezu

$$H := 1026mm \quad H_w := 976mm$$

$$B := 220mm \quad A := 24744mm^2$$

$$t_f := 25mm \quad I_y := 4.308 \cdot 10^9 mm^4$$

$$t_w := 10mm \quad I_z := 4.225 \cdot 10^7 mm^4$$

$$z_p := 513mm \quad y_p := 110mm$$

$$z_m := 513mm \quad y_m := 110mm$$

$$I_t := 4.843 \cdot 10^6 mm^4$$

$$I_{\omega} := 1.044 \cdot 10^{13} mm^6$$

$$W_{el,y} := \frac{I_y}{\frac{H}{2}} = 8397661 \cdot mm^3$$

$$W_{el,z} := \frac{I_z}{\frac{B}{2}} = 384091 \cdot mm^3$$

- průřezové charakteristiky oslabeného průřezu

$$A_{net} := A - 10 \cdot 0.02m \cdot t_w - 4 \cdot 0.02m \cdot 0.012m = 21784 \cdot mm^2$$

$$I_{y.net} := \left[I_y - 2 \cdot 20mm \cdot 34mm \cdot (z_p - 69mm)^2 \right] - 2 \cdot 20mm \cdot t_w \left[(z_p - 163mm)^2 + (z_p - 263mm)^2 + (z_p - 363mm)^2 \dots + (z_p - 463mm)^2 \right] = 3.956 \times 10^9 \cdot mm^4$$

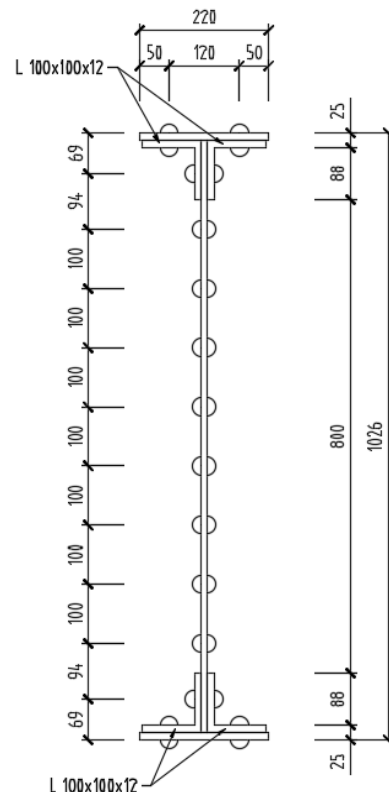
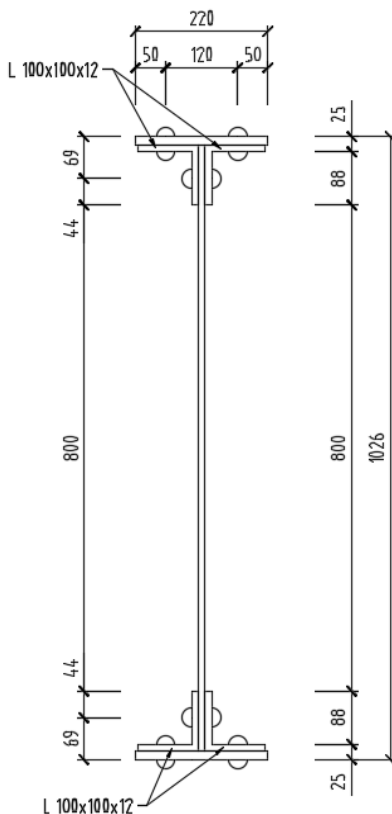
$$I_{z.net} := I_z - 20 \cdot 10mm \cdot t_w \cdot \left(\frac{t_w}{4} \right)^2 - 4 \cdot 20mm \cdot 12mm \cdot \left(\frac{t_w}{2} + \frac{12mm}{2} \right)^2 = 4.212 \times 10^7 \cdot mm^4$$

$$W_{el,y.net} := \frac{I_{y.net}}{z_p} = 7711296 \cdot mm^3$$

$$W_{y.osl} := \frac{W_{el,y.net} + W_{el,y}}{2} = 8054479 \cdot mm^3$$

$$W_{el,z.net} := \frac{I_{z.net}}{y_p} = 382921 \cdot mm^3$$

$$W_{z.osl} := \frac{W_{el,z.net} + W_{el,z}}{2} = 383506 \cdot mm^3$$



- materiálové charakteristiky :	svářkové železo	$\gamma_{M0} := 1.07$
	$E := 210\text{GPa}$	$\gamma_{M1} := 1.17$
	$G := \frac{E}{2 \cdot (1 + 0.3)} = 80769 \cdot \text{MPa}$	$\gamma_{M2} := 1.3$
	$f_{yk} := 210\text{MPa}$	
	$f_{uk} := 340\text{MPa}$	

2. zařídění průřezu dle ČSN EN 1993-1-1 čl. 5.5 :

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235\text{MPa}}{f_{yk}}} = 1.058$$

- stěna na ohyb	$\frac{H - 2 \cdot 113\text{mm}}{t_w} < 83 \cdot \varepsilon = 1$	třída 2
- stěna na tlak	$\frac{H - 2 \cdot 113\text{mm}}{t_w} < 42 \cdot \varepsilon = 0$	třída 4
- odstávající příruba	$\frac{50\text{mm}}{13\text{mm}} < 9\varepsilon = 1$	třída 1
- vzdálenost nýtů příčná	$\frac{120\text{mm}}{13\text{mm}} < 45\varepsilon = 1$	třída 1
- vzdálenost nýtů podélná	$\frac{120\text{mm}}{13\text{mm}} < 22\varepsilon = 1$	třída 1

Průřez patří do **třídy 4**.

3. boulení vlivem normálových napětí dle ČSN EN 1993-1-5 :

- efektivní průřezové charakteristiky průřezu třídy 4 - tlačená stena

$$\psi_N := 1 \quad k_{\sigma N} := 4 \quad h_w := H - 2 \cdot 113\text{mm} = 0.8\text{m}$$

$$\lambda'_{pN} := \frac{\frac{h_w}{t_w}}{28.4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_{\sigma N}}} = 1.331$$

$$\rho_N := \frac{\lambda'_{pN} - 0.055 \cdot (3 + \psi_N)}{\lambda'_{pN}^2} = 0.627$$

$$A_c := h_w \cdot t_w = 8 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{c,\text{eff}} := \rho_N \cdot A_c = 5016 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{\text{eff}} := 2 \cdot B \cdot t_f + 2 \cdot 88\text{mm} \cdot 34\text{mm} + A_{c,\text{eff}} = 22000 \cdot \text{mm}^2$$

- efektivní průřezové charakteristiky průřezu třídy 4 - ohýbaná stěna

$$\psi_M := -1 \quad k_{\sigma M} := 23.9$$

$$\chi'_{pM} := \frac{\frac{h_w}{t_w}}{28.4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_{\sigma M}}} = 0.545$$

$$\rho_M := 1$$

Boulení vlivem ohybu nenastane.

4. boulení vlivem smyku dle ČSN EN 1993-1-5 :

$$\eta := 1.2 \quad \text{dle ČSN EN 1993-1-5/NA}$$

- vzdálenost příčných výstuh

$$a := 1.8\text{m} \quad \frac{a}{h_w} = 2.25$$

- součinitel kritického napětí

$$k_T := 5.34 + 4 \cdot \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 = 6.13$$

$$\frac{h_w}{t_w} < \frac{31}{\eta} \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_T} = 0$$

nastává boulení vlivem smyku

- návrhová únosnost ve smyku

$$\chi'_w := \frac{h_w}{37.4 \cdot t_w \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_T}} = 0.817$$

$$\chi_w := \frac{0.83}{\chi'_w} = 1.016$$

$$V_{bw.Rd} := \frac{\chi_w \cdot f_{yk} \cdot h_w \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 842.522 \cdot \text{kN}$$

S příspěvkem pásnic se neuvažuje.

5. vnitřní síly :

- v místě změny průřezu

$$M_{y.Ed.G} := 73.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z.Ed.G} := 0.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{z.Ed.G} := 22.3 \text{ kN}$$

$$N_{Ed.G} := -3.2 \text{ kN}$$

$$M_{y.Ed.W} := 23.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z.Ed.W} := -0.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{z.Ed.W} := 6.6 \text{ kN}$$

$$N_{Ed.W} := 5.4 \text{ kN}$$

$$M_{y.Ed.br} := 1.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z.Ed.br} := 0.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{z.Ed.br} := -2.7 \text{ kN}$$

$$N_{Ed.br} := 29.9 \text{ kN}$$

$$M_{y.Ed.s} := 41.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z.Ed.s} := 2.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{z.Ed.s} := 12.1 \text{ kN}$$

$$N_{Ed.s} := 27.2 \text{ kN}$$

$$M_{y.Ed.LM71} := 1171.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z.Ed.LM71} := 1.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{z.Ed.LM71} := 343.9 \text{ kN}$$

$$N_{Ed.LM71} := -54.8 \text{ kN}$$

- v místě připoje příčniku

$M_{y2.Ed.G} := 59.2 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z2.Ed.G} := 0.0 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{z2.Ed.G} := 32.0 \text{ kN}$	$N_{2Ed.G} := -3.0 \text{ kN}$
$M_{y2.Ed.W} := 19.4 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z2.Ed.W} := 0.2 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{z2.Ed.W} := 7.3 \text{ kN}$	$N_{2Ed.W} := 5.6 \text{ kN}$
$M_{y2.Ed.br} := 0.2 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z2.Ed.br} := 0.0 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{z2.Ed.br} := 2.0 \text{ kN}$	$N_{2Ed.br} := -14.7 \text{ kN}$
$M_{y2.Ed.s} := 33.7 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z2.Ed.s} := 16.2 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{z2.Ed.s} := 11.7 \text{ kN}$	$N_{2Ed.s} := 25.5 \text{ kN}$
$M_{y2.Ed.LM71} := 959.6 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z2.Ed.LM71} := -1.5 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{z2.Ed.LM71} := 546.6 \text{ kN}$	$N_{2Ed.LM71} := -51.6 \text{ kN}$

6. výpočet kritického momentu pro klopení hlavního nosníku :

- faktor kritického momentu ze stabilitní analýzy	$\alpha_{cr} := 9.892$
- maximální ohybový moment	$M_{Ek,max} := 1128 \text{ kN}\cdot\text{m}$
- kritický moment pro klopení hlavního nosníku	$M_{cr} := M_{Ek,max} \cdot \alpha_{cr} = 11158 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$

7. výpočet součinitele klopení dle ČSN EN 1993-1-1 cl. 6.3.22 :

$$\lambda' := \sqrt{\frac{W_{el,y} \cdot f_{yk}}{M_{cr}}} \quad \lambda' = 0.398$$

$$\text{krivka vzpernej pevnosti "d"} \quad \alpha_{LT} := 0.76$$

$$\phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda' - 0.2) + \lambda'^2 \right] \quad \phi_{LT} = 0.654$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda'^2}} \quad \chi_{LT} = 0.852$$

8. výpočet smykové odolnosti průřezu dle ČSN EN 1993-1-1 :

- statický moment plochy	$S_y := 12372 \text{ mm}^2 \cdot 389.7 \text{ mm} = 4.821 \times 10^6 \cdot \text{mm}^3$
- elastická smyková odolnost	$V_{Rd} := \frac{f_{yk} \cdot I_y \cdot t_w}{S_y \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 1.012 \times 10^3 \cdot \text{kN}$
- plastická smyková odolnost	$V_{pl,Rd} := \frac{H_w \cdot t_w \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 1.106 \times 10^3 \cdot \text{kN}$

9. určení zatížitelnosti dle MP SŽDC v místě změny průřezu - horní vlákna :

$$\frac{V_{z.Ed.G} + V_{z.Ed.W} + V_{z.Ed.LM71} + V_{z.Ed.br} + V_{z.Ed.s}}{V_{pl,Rd}} = 0.346 \quad \text{smyk nemá vliv na ohybovou odolnost průřezu}$$

$$\eta_{1.G} := \frac{-N_{Ed.G}}{A_{eff} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.G}}{\chi_{LT} \cdot W_{el.y} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.G}}{W_{el.z} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.059$$

$$\eta_{1.W} := \frac{-N_{Ed.W}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.W}}{\chi_{LT} \cdot W_{el.y} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.W}}{W_{el.z} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.012$$

$$\eta_{1.br} := \frac{-N_{Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{el.y} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{W_{el.z} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = -5.192 \times 10^{-3}$$

$Z_{LM71} := 0.960$
pro iteraci

$$\eta_{1.s} := \frac{-N_{Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{el.y} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{W_{el.z} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.065$$

$$\eta_{1.LM71} := \frac{-N_{Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{A_{eff} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{el.y} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed.LM71} \cdot Z_{LM71}}{W_{el.z} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.905$$

$$Z_{LM71} := \frac{1 - \eta_{1.G} - \eta_{1.W} - \eta_{1.br} - \eta_{1.s}}{\eta_{1.LM71}} = 0.96$$

10. určení zatížitelnosti dle MP SZDC v místě připoje příčnicku - pro horní vlákna :

$$\frac{V_{z2.Ed.G} + V_{z2.Ed.W} + V_{z2.Ed.LM71} + V_{z.Ed.br} + V_{z.Ed.s}}{V_{pl.Rd}} = 0.538 \quad \text{smyk má vliv na ohybovou odolnost průřezu}$$

$$\eta_{1.G} := \frac{-N_{2Ed.G}}{A_{eff} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y2.Ed.G}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z2.Ed.G}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.049$$

$$\eta_{1.W} := \frac{-N_{2Ed.W}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y2.Ed.W}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z2.Ed.W}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.017$$

$$\eta_{1.br} := \frac{-N_{2Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{A_{eff} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y2.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z2.Ed.br} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 3.73 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{1.s} := \frac{-N_{2Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{A_{net} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y2.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z2.Ed.s} \cdot Z_{LM71}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.208$$

$Z_{LM71} := 0.799$
pro iteraci

$$\eta_{3.LM71} := \frac{-N_{2.Ed.LM71} \cdot Z_{2LM71}}{A_{eff} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y2.Ed.LM71} \cdot Z_{2LM71}}{\chi_{LT} \cdot W_{y.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z2.Ed.LM71} \cdot Z_{2LM71}}{W_{z.osl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = 0.615$$

$$\eta_{3.G} := \frac{V_{z2.Ed.G}}{V_{bw.Rd}} = 0.038$$

$$\eta_{3.W} := \frac{V_{z2.Ed.W}}{V_{bw.Rd}} = 8.664 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{3.br} := \frac{V_{z2.Ed.br} \cdot Z_{2LM71}}{V_{bw.Rd}} = 1.897 \times 10^{-3}$$

$$\eta_{3.s} := \frac{V_{z2.Ed.s} \cdot Z_{2LM71}}{V_{bw.Rd}} = 0.011$$

$$\eta_{3.LM71} := \frac{V_{z2.Ed.LM71} \cdot Z_{2LM71}}{V_{bw.Rd}} = 0.518$$

- ohybový moment únosnosti průřezu složeného z účinných ploch pásnic

$$I_{yf} := 2 \cdot \left[\frac{1}{12} B \cdot t_f^3 + B \cdot t_f \cdot \left(z_p - \frac{t_f}{2} \right)^2 \right] = 2.756 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$M_{f.N.Rd} := \frac{I_{yf}}{z_p} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 1.054 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

- ohybový moment únosnosti plného průřezu

$$M_{N.Rd} := \frac{I_y}{z_p} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 1.648 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$k := 1 - \left(\frac{M_{f.N.Rd}}{M_{N.Rd}} \right) = 0.36$$

$$\begin{aligned} & 4 \cdot k \cdot Z_{3LM71}^2 \cdot \eta_{3.LM71} \dots \\ & + Z_{3LM71} \cdot \left[\eta_{1.LM71} + 8 \cdot k \cdot \eta_{3.LM71} \cdot (\eta_{3.G} + \eta_{3.W} + \eta_{3.br} + \eta_{3.s}) - 4 \cdot k \cdot \eta_{3.LM71} \right] \dots \\ & + (\eta_{1.G} + \eta_{1.W} + \eta_{1.br} + \eta_{1.s}) \dots \\ & + 4 \cdot k \cdot (\eta_{3.G} + \eta_{3.W} + \eta_{3.br} + \eta_{3.s})^2 - 4 \cdot k \cdot (\eta_{3.G} + \eta_{3.W} + \eta_{3.br} + \eta_{3.s}) + k - 1 \end{aligned} = 0 \text{ solve} \rightarrow \begin{pmatrix} 0.79885004733568755293 \\ -0.74201787785207828401 \end{pmatrix}$$

$$Z_{3LM71} := 0.799$$