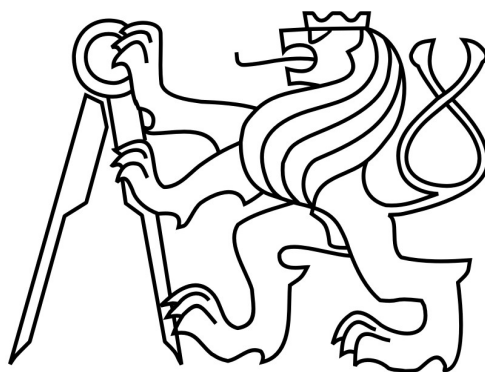


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

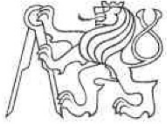
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



Bakalářská práce

Autobusové nádraží

Bus station



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Machačová Jméno: Dominika Osobní číslo: 468454

Zadávací katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Autobusové nádraží

Název bakalářské práce anglicky: Bus station

Pokyny pro vypracování:

V návaznosti na projekt P02C, ve kterém byly řešeny varianty nosné konstrukce a předběžný statický výpočet, je zadáním bakalářské práce podrobný statický výpočet vybrané varianty ocelové konstrukce zastřešení autobusového nádraží a podrobný výpočet všech významných detailů, které v rámci projektu P02C nebyly řešeny. Statický výpočet bude doplněn konstrukčními výkresy v obvyklém rozsahu (půdory a řezy 1:100 a 1:200), výkresy řešených detailů 1:10 a technickou zprávou.

Seznam doporučené literatury:

Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. Martina Eliášová, CSc.

Datum zadání bakalářské práce: 24.2.2020 Termín odevzdání bakalářské práce: 18.5.2020

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

24.2.2020

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, pouze za odborného vedení vedoucí doc. Ing. Martiny Eliášové, CSc.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpala, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

.....

podpis

Poděkování

Tímto děkuji doc. Ing. Martině Eliášové, CSc. za odborné vedení, cenné rady a sdílení zkušeností s danou problematikou. Dále děkuji za trpělivost a ochotu při konzultacích této bakalářské práce.

Anotace:

Tato bakalářská práce se zabývá statickým a konstrukčním řešením ocelového autobusového nádraží. V této práci je obsaženo podrobné statické posouzení konstrukce haly a vybraných detailů. Konstrukce se skládá ze dvou částí – z autobusového nádraží a z přístřešku vedoucího k vlakovému nádraží. Byl vytvořen 2D model štítové vazby a na základě výstupů ze softwaru SCIA Engineer byly prvky navrženy a posouzeny. Dále byla vypracována projektová dokumentace, která zahrnuje výkresy půdorysu, řezů a vybraných detailů. Součástí práce je také technická zpráva.

Klíčová slova: *autobusové nádraží, ocelová konstrukce, obloukový vazník, přístřešek*

Abstract:

This bachelor thesis focuses on static and structural design of steel structure of a bus station. The thesis contains a detailed static assessment of the hall structure and selected details. The structure consists of two parts – the bus station and the shelter leading to the train station. The two-dimension model of gable wall was created and based on the outputs from the Scia Engineer software, the elements were designed and assessed. Furthermore, project documentation, which includes designs of floor plan, sections and selected details, was prepared. A technical report is part of the thesis.

Keywords: *bus station, steel structure, arch truss, shelter*

OBSAH

I. TECHNICKÁ ZPRÁVA

II. STATICKÝ VÝPOČET

Příloha A – Zatěžovací stavy

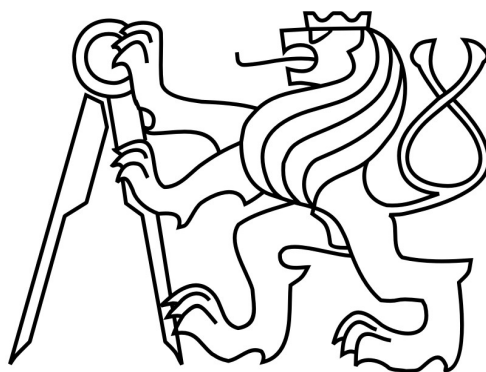
III. VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

- a) Půdorys střechy 1:150**
- b) Řez AA' 1:75**
- c) Dispoziční výkresy 1:200, 1:100**
- d) Detail A – Napojení příhradového sloupu k obloukovému vazníku 1:15, 1:10, 1:5**
- e) Detail B – Napojení vazníku přístřešku k příhradovému sloupu 1:10**
- f) Detail C – Napojení vazníku a konzoly přístřešku na sloup 1:10**
- g) Detail D – Vetknutá patka přístřešku 1:10**
- h) Detail E – Čepový spoj - kloubová patka příhradového sloupu 1:10, 1:5**
- i) Detail F – Čepový spoj – kloubová patka oblouku 1:15, 1:10, 1:5**

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



Technická zpráva

Obsah

1	Základní údaje o projektu.....	2
1.1	Obecné informace	2
1.2	Použité normy	2
1.3	Metody výpočtu.....	2
1.4	Posouzení konstrukce.....	3
2	Základní charakteristika konstrukčního řešení.....	3
2.1	Urbanistické, architektonické a dispoziční řešení stavby.....	3
2.2	Materiálové řešení haly	3
3	Zatížení.....	4
4	Základové konstrukce.....	4
5	Nosný systém.....	4
5.1	Nosné konstrukce	4
5.2	Ztužení haly.....	5
6	Řešené detaily – styčníky	5
7	Obalové konstrukce.....	6
7.1	Střešní plášť	6
7.2	Obvodový plášť	6
8	Montáž ocelové konstrukce	6
9	Protikorozní ochrana ocelové konstrukce.....	7

1 Základní údaje o projektu

1.1 Obecné informace

Předmětem tohoto projektu je oblouková halová konstrukce, pro kterou byla zvolena lokalita v Mladé Boleslavi. Halová konstrukce slouží jako autobusové a vlakové nádraží. Objekt se nachází v I. sněhové oblasti, ve II. větrné oblasti, v oblasti překážek s volným prostorem a v předměstské oblasti s kategorií terénu III.

Objekt bude napojen na inženýrské sítě, které jsou vedeny v přílehlé komunikaci. Stavbou nebudou dotčeny žádné stávající konstrukce.

1.2 Použité normy

- ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1.1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1.3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1.4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1.1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 1993-1-5 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1.5: Boulení stěn
- ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1.8: Navrhování styčníků

1.3 Metody výpočtu

Pro výpočet vnitřních sil a posouzení konstrukce haly byl vytvořen 2D model příčné vazby v softwaru SCIA Engineer, kde byly vnitřní síly v prutech vypočítány metodou konečných prvků. Tyto vnitřní síly byly ze softwaru převzaty a bylo s nimi dále počítáno v posudcích 1. mezního stavu (MSÚ). Ze softwaru byly také převzaty výpočty deformací pro posouzení 2. mezního stavu (MSP).

1.4 Posouzení konstrukce

Konstrukce byla posouzena na 1. a 2. mezní stav (MSÚ a MSP). Nosná konstrukce ocelové haly je navržena tak, aby vyhověla na oba mezní stavy. Dále byly navrženy a posouzeny vybrané detaily konstrukce. Návrhu a posouzení jednotlivých prvků a detailů se věnuje statický výpočet. Konstrukce a její detaily byly navrženy podle norem ČSN EN 1993 – Eurokód 3. Pro návrh a posouzení byl využit software Scia Engineer a FIN EC Ocelové spoje.

2 Základní charakteristika konstrukčního řešení

2.1 Urbanistické, architektonické a dispoziční řešení stavby

Předmětem tohoto projektu je jednopodlažní ocelová hala s přístřeškem. Hala má obloukový tvar a přístřešek je navržen jako rámová konstrukce s vykonzolovanou stříškou. Pod obloukovou částí se nachází autobusový terminál. Autobusový terminál je postaven na železobetonovém objektu, který se v rámci této bakalářské práce neřeší. Přístřešek vede k vlakovému nástupišti. Ze železobetonového objektu vede podchod k dalším vlakovým nástupištím.

Oblouková hala má délku 48 m a celkovou výšku 14 m. Rozpětí oblouku je 19,15 m. Samotná délka oblouku je navržena na 25,33 m. Přístřešek je dlouhý 100 m a rozpětí až k vykonzolované části je 6,93 m.

Zastřešení obloukové haly je tvořeno skleněnými tabulemi, které jsou osazeny do hliníkových rámců. Střešní plášť přístřešku je navržen z trapézového plechu. Obě skladby střešních pláštíků jsou uloženy na vaznicích.

2.2 Materiálové řešení haly

- Nosná konstrukce: ocel S235JR, třída provedení EXC2
- Základové konstrukce: beton C16/20–XC2–C1 0,1–Dmax 22–S2
- Výztuž základových konstrukcí: ocel B500B
- Šrouby: 8.8

3 Zatížení

Pro účely této práce je uvažováno s následujícími zatěžovacími stavy:

- *Vlastní tíha* - která byla do výpočtu zahrnuta přímo softwarem SCIA Engineer.
- *Ostatní stálé zatížení* (tíha vaznic, střešních pláštěů a obvodového pláště).
- *Zatížení sněhem* – kde byly uvažovány tři zatěžovací stavy.
- *Zatížení větrem* – kde byly také uvažovány tři zatěžovací stavy.

Zatížení bylo rozděleno na zatížení na fasádu a na střechu.

Přístřešek byl řešen samostatně.

4 Základové konstrukce

Patky obloukového vazníku a příhradového sloupu jsem navrženy kloubové konstrukčně řešené jako čepový spoj. Oba čepy jsou dvoustřížné průměru 36 mm z oceli S275. Styčnickové plechy mající tloušťku 10 a 20 mm jsou navrženy z oceli S235.

Vetknutá patka sloupu přístřešku je navržena s výztuhami, příčníky a s předem zabetonovanými kotevními šrouby. Ocelová patka o rozměrech 990x50 mm a tloušťkou 30 mm je uložena na podliti o výšce 55 mm. Výška betonové patky s půdorysnými rozměry 1500x1000 mm je 800 mm. Výztuhy jsou navrženy z profilu U 220, zatímco kotevní příčníky z profilu U 120. Kotevní šrouby o průměru M36x3 jsou z oceli S275. K přenesení smykových sil slouží smyková zarážka z profilu HEB 100.

5 Nosný systém

5.1 Nosné konstrukce

Oblouk autobusové haly je navržen jako plnostěnný ze svařovaného profilu IPE 550. Osová vzdálenost obloukových vazníků je 8 m. Kolmo na oblouk jsou po 1,9 m uloženy plnostěnné vaznice z válcovaného profilu IPE 180. Vaznice jsou navrženy jako spojitě podepřené nosníky stykované v místě příčných vazeb. Obloukový vazník je uložený na příhradovém sloupu.

Příhradový sloup o výšce 10 m je navržen ze dvou pásů a šesti diagonál. Oba pásy jsou navrženy z trubkových profilů CSH 219.1/8.0. Diagonály jsou z trubek CSH 60.3/4.0. Jeden

z pásů je svislý, druhý svírá se svislicí úhel 12° . Pasy jsou od sebe vzdálené 2,05 m ve vrcholu sloupu v místě napojení na obloukový vazník.

Vazníky přístřešku jsou plnostěnné z profilu IPE 240. Jejich osová vzdálenost je 4 m. Délka vazníku je navržena na 5 m, na který navazuje konzola délky 2 m. V místě hlavní vazby zastřešení jsou vazníky připojeny k příhradovému sloupu. V místě mezilehlých vazeb jsou vazníky připevněny ke sloupu profilu HEA 200, který se nachází v polovině vzdálenosti mezi obloukovými vazbami. Sloup HEA 200 lícuje s vnějším dřikem příhradového sloupu. Druhá strana vazníku IPE 240 je uložena na sloupu z válcovaného profilu HEA 340. Kolmo na vazníky jsou navrženy plnostěnné vaznice profilu IPE 100 uložené po 2,5 m na nosníku přístřešku a po 2 m na vykonzolované části. Vaznice jsou navrženy jako spojitě podepřené nosníky stykované v místě příčných vazeb.

Sloupy přístřešku jsou navrženy z válcovaných profilů HEA 340 a HEA 200. Sloup profilu HEA 200, navržený po 8 m, je pomocí průvlaků profilu IPE 100 kloubově připojen k příhradovým sloupům. Osová vzdálenost sloupů HEA 340 je 4 m. Délka obou sloupů je 5 m.

5.2 Ztužení haly

Tuhost obou střešních rovin je zajištěna spojitými vaznicemi přes 2 pole a diagonálami v rovině střešní konstrukce.

Tuhost haly v příčném směru zajišťuje příhradový sloup, který vytváří tuhý spoj v napojení obloukového vazníku. Příčné diagonály ve střešní rovině roznáší zatížení do obloukových vazníků a poté do sloupů.

Podélný směr je ztužen svislými ztužidly v rovině obvodového pláště a rovině sloupů přístřešku HEA 340. Podélné diagonály ve střešní rovině roznáší zatížení do svislých ztužidel mezi příhradovými sloupy.

6 Řešené detaily – styčníky

Přípoj příhradové sloupu k obloukovému vazníku je kloubový konstrukčně řešený jako čepový spoj. Dvoustřížný čep je o průměru 46 mm. Styčníkové plechy z oceli S275 jsou tloušťky 12 a 24 mm.

Nosník a konzola přístřešku jsou ke sloupu HEA 340 připojeny přes čelní desku, čímž se vytvoří tuhý rámový přípoj. Sloup HEA 340 je v místě napojení nosníků vyztužen výztuhami.

Diagonály CHS 60.3/4.0 příhradového sloupu jsou k pasům z trubek CHS 219.1/8.0 přivařeny.

Přípoj přístřešku k příhradovému sloupu je řešen kloubově čelní deskou, která je k příhradovému sloupu přivařena. Na stěnu nosníku IPE 240 je čelní deska připojena šrouby M20 s pevností 8.8.

7 Obalové konstrukce

7.1 Střešní plášť

Střešní plášť obloukové konstrukce je navržen jako skleněný, uložený do hliníkovým rámu od výrobce SCHÜCO. Skleněné tabule mají rozměr 1,5x1 m. Střešní plášť je ukončen 6 metrů od kloubového uložení oblouku. Hliníkové rámy SCHÜCO jsou šroubovým spojem uchyceny k vaznicím.

Střešní plášť přístřešku je navržen z trapézového plechu 45/150x0,7. Trapézový plech je k vaznicím uchycen pomocí šroubů.

7.2 Obvodový plášť

Obvodový plášť je navržen v místech příhradových sloupů. Obvodový plášť tvoří plechové kazety PK VK1. Plechové kazety jsou uchyceny pomocí šroubů a fasádních konzol na hliníkové lišty. Fasádní konzoly jsou šroubem připevněny na profily UPE 100. Profily jsou přišroubovány k plechu navařenému na příhradový pás. Výjimku tvoří vzhledem k omezeným prostorovým podmínkám profil UPE 80, který je přišroubován k navařenému plechu přímo na obloukový vazník.

8 Montáž ocelové konstrukce

Nejprve bude osazen příhradový sloup, který bude patřičně zajištěn. Sloup na místo stavby bude dovezen v celku, tzn. s přivařenými diagonálami a vyztuženým svařencem v patě sloupu. Obloukový vazník bude na místě sešroubován ze tří dílců a připevněn k příhradovému sloupu. Délky jednotlivých dílců jsou 8,44 m. Po osazení jedné vazby se bude pokračovat stejným způsobem s ostatními. Paždíky, střešní a stěnová ztužidla budou montována vždy po osazení

dvou příčných vazeb. Po zhotovení třetí příčné vazby se osadí spojitě vaznice. Takto bude provedena montáž celé obloukové části haly. Následně bude smontována konstrukce přístřešku. Nejprve dojde k upevnění sloupu a poté bude namontován vazník s vykonzolovanou částí, který bude zároveň upevněn k příhradovému sloupu. Po dvou příčných vazbách budou připevněny střešní a stěnová ztužidla. Spojité vaznice budou opět osazeny po upevnění třech příčných vazeb. Jako poslední budou instalovány střešní pláště a obvodový plášť. Pro šroubované spoje je navržen spojovací materiál pevnosti 8.8. Nejdelším prvkem konstrukce je příhradový sloup – jeho levý pas s délkou 10,132 m.

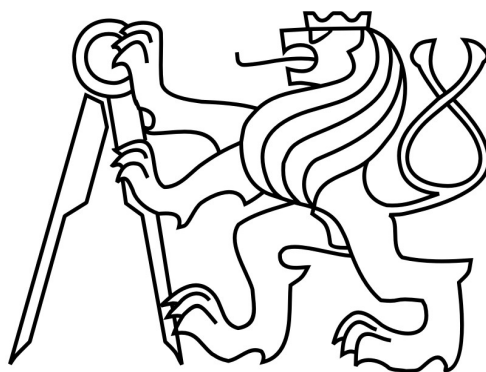
9 Protikorozi ochrana ocelové konstrukce

Konstrukce haly bude chráněna proti korozi. Všechny prvky jsou vystaveny agresivnímu a vlhkému prostředí, jelikož se nachází v exteriéru. Protikorozi ochrana je navržena v souladu s ČSN EN ISO 12944. Stupeň korozi agresivity je na úrovni C3 (městské a průmyslové atmosféry). Očekávaná životnost konstrukce je vysoká tj. větší než 15 let. Příprava povrchu pro nanesení protikorozi ochrany je Sa 2,5 – otryskání. Ochrana proti korozi bude řešena nátěry. Na základní vrstvu i krycí nátěr byl zvolen SikaCor PUR Color. Tento nátěr je na bázi polyuretanu s aktivním pigmentem – fosfátem zinku. V dílně dojde k nanesení základního nátěru ve dvou vrstvách o celkové tloušťce 80 µm. Následně bude na stavbě proveden dvouvrstvý krycí nátěr opět s celkovou tloušťkou 80 µm.

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



Statický výpočet

Obsah

Seznam použitých symbolů.....	3
1 Úvod.....	6
1.1 Základní informace	6
1.2 Schématický půdorys konstrukce.....	6
1.3 Schématický řez konstrukce.....	7
2 Podrobné posouzení konstrukce haly.....	8
2.1 Vnitřní síly a deformace	8
2.2 Materiálové charakteristiky a součinitelé spolehlivosti	10
2.3 Posouzení obloukového vazníku.....	10
2.3.1 MSP.....	11
2.3.2 MSÚ	11
2.4 Posouzení sloupu přístřešku	26
2.4.1 MSP.....	27
2.4.2 MSÚ	27
2.5 Posouzení nosníku nad přístřeškem	36
2.5.1 MSP.....	37
2.5.2 MSÚ	37
2.6 Posouzení příhradového sloupu	50
2.6.1 MSP.....	51
2.6.2 MSÚ	52
2.7 Posouzení vykonzolované části přístřešku.....	61
2.7.1 MSP.....	62
2.7.2 MSÚ	62
3 Návrh a posouzení vybraných detailů	64
3.1 Kloubové uložení obloukového vazníku – čepový spoj.....	64
3.2 Kloubové uložení příhradového sloupu – čepový spoj	67
3.3 Kloubový přípoj příhradového sloupu k vazníku – čepový spoj	70
3.4 Vetknutá patka sloupu přístřešku s výztuhami.....	73
3.4.1 Geometrie	76
3.4.2 Výpočet sil do šroubů.....	78
3.4.3 Průřez patky.....	80
3.4.4 Připojení podélných výztuh k patnímu plechu	83
3.4.5 Kotevní šrouby	84
3.4.6 Kotevní příčník.....	86
3.4.7 Přenos vodorovné posouvající síly do betonové patky	87
3.4.8 Svarový přípoj smykové zarážky	89
3.5 Šroubovaný styčník s čelní deskou – přípoj nosníku přístřešku	91
3.5.1 Návrh svarů	94

3.5.2	Únosnosti řad šroubů v tahu.....	94
3.5.2.1	Únosnost první řady šroubů	95
3.5.2.2	Únosnost druhé řady šroubů.....	97
3.5.2.3	Únosnost třetí řady šroubů	100
3.5.3	Únosnost tlačené oblasti.....	102
3.5.4	Stěna sloupu ve smyku	103
3.5.5	Momentová únosnost	104
3.5.6	Smyková únosnost.....	105
3.5.7	Namáhání od osově síly	106
3.5.8	Posouzení přípoje ve FIN EC Ocelové spoje	106
3.6	Šroubovaný styčnick s čelní deskou – přípoj konzoly přístřešku	107
3.6.1	Návrh svarů	110
3.6.2	Únosnosti řad šroubů v tahu.....	111
3.6.2.1	Únosnost první řady šroubů	111
3.6.2.2	Únosnost druhé řady šroubů.....	114
3.6.3	Únosnost tlačené oblasti.....	116
3.6.4	Stěna sloupu ve smyku	118
3.6.5	Momentová únosnost	118
3.6.6	Smyková únosnost.....	119
3.6.7	Namáhání od osově síly	119
3.6.8	Posouzení přípoje ve FIN EC Ocelové spoje	120
3.7	Svařovaný spoj na příhradovém sloupu – diagonála a pás.....	121
3.8	Přípoj nosníku přístřešku k příhradovému sloupu.....	125
4	Závěr.....	131
	Seznam zdrojů	132
	Seznam příloh	133
	Seznam obrázků.....	134

Seznam použitých symbolů

Posouzení konstrukce haly

E	modul pružnosti v tlaku a tahu
G	modul pružnosti ve smyku
f_y	mez kluzu oceli
f_u	mez pevnosti oceli
h	výška
b	šířka
b_{eff}	efektivní šířka
t	tloušťka
A	průřezová plocha
A_v	smyková plocha
I_y	moment setrvačnosti kolem osy y
I_z	moment setrvačnosti kolem osy z
i_y	poloměr setrvačnosti k ose y
i_z	poloměr setrvačnosti k ose z
$W_{el,y}$	pružný průřezový modul kolem osy y
$W_{pl,y}$	plastický průřezový modul kolem osy y
$W_{el,z}$	pružný průřezový modul kolem osy z
$W_{pl,z}$	plastický průřezový modul kolem osy z
I_t	moment setrvačnosti ve volném kroucení
I_w	výsečový moment setrvačnosti
r	poloměr
d	výška stěny průřezu mezi zaoblením (svařením)
c	šířka tlačené části průřezu
c_{eff}	efektivní šířka tlačené části průřezu
δ	průhyb
M_{Ed}	hodnota ohybového momentu od zatížení
M_{Rd}	hodnota návrhového ohybového momentu
N_{Ed}	hodnota normálové síly od zatížení
N_{Rd}	hodnota návrhové normálové síly
V_{Ed}	hodnota posouvající síly od zatížení
V_{Rd}	hodnota návrhové posouvající síly

L	délka
L_{cr}	kritická délka
k_y	součinitel vzpěru ve směru osy y
λ	štíhlost
$\bar{\lambda}$	poměrná štíhlost
$\overline{\lambda}_{LT}$	poměrná štíhlost v klopení
$\overline{\lambda}_p$	poměrná štíhlost při boulení
χ	součinitel vzpěru
χ_{Lt}	součinitel klopení
e	excentricita
x	délka tlačené oblasti
C_1, C_2	součinitelé závislé na průběhu momentu a uložení konců
c_{my}	součinitel ekvivalentního momentu pro vzpěr
c_{mLT}	součinitel ekvivalentního momentu pro klopení
k_z	součinitel vzpěrné délky - uložení v ohybu
k_w	součinitel vzpěrné délky - uložení v kroucení
M_{Cr}	kritický moment
κ_{wt}	bezrozměrný parametr kroucení
μ_{Cr}	bezrozměrný kritický moment
k_{yy}, k_{zy}	interakční součinitele
$\gamma_{M0}, \gamma_{M1}, \gamma_{M2}, \gamma_{M5}$	dílčí součinitelé spolehlivosti materiálu
k_σ	součinitel kritického napětí
ρ	součinitel boulení
ε	součinitel závislé na mezi kluzu

Posouzení detailů

d	poloměr
F	výsledná síla
$F_{t,Rd}$	návrhová hodnota síly v tahu
$F_{b,Rd}$	návrhová hodnota síly v tlaku
a	délka
a_w	tloušťka svaru
b	šířka

f_{ck}	charakteristická pevnost betonu v tlaku
r_t	vzdálenost šroubu od osy sloupu
σ	normálové napětí
τ	smykové napětí
S	statický moment
T	tahová síla ve šroubech
μ	součinitel tření
ω	redukční součinitel interakce se smykem
ρ	redukční součinitel ohybové únosnosti v důsledku smyku
z_T	vzdálenost krajních bodů od těžiště ve směru osy z
β_w	korelační součinitel pro koutové svary
γ_c	bezpečnostní součinitel betonu

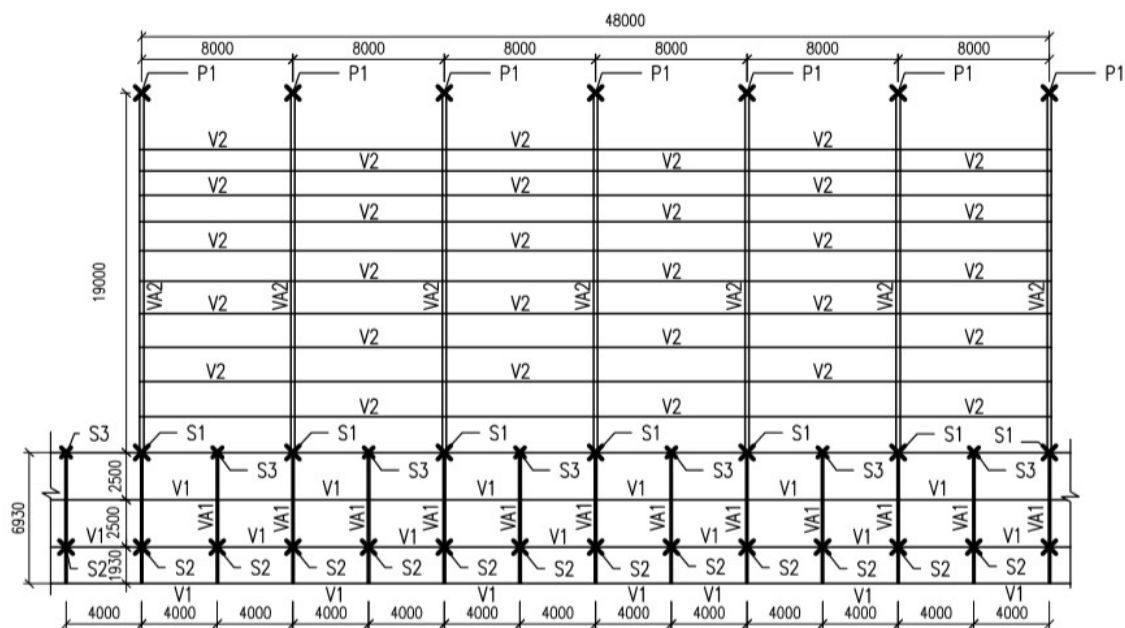
1 Úvod

Statický výpočet obsahuje podrobné posouzení konstrukce a posouzení vybraných detailů haly. Tato bakalářská práce navazuje na podklady vypracované v rámci předmětu Projekt 2C, kde bylo navrženo více konstrukčních řešení autobusového nádraží, byla vybrána jedna varianta řešení, bylo stanoveno zatížení a byl proveden předběžný statický výpočet. Pro výpočet vnitřních sil od zatížení (viz. Příloha A – Zatěžovací stavy), které bylo převzato z předmětu Projekt 2C, a pro posouzení nosné konstrukce na 2. mezní stav byl použit software Scia Engineer. Pro posouzení 1. mezního stavu byla použita aplikace Microsoft Excel. Výsledky posouzení některých vybraných detailů byly ověřeny v softwaru FIN EC Ocelové spoje.

1.1 Základní informace

Předmětem bakalářské práce je oblouková halová konstrukce, pro kterou byla zvolena lokalita v Mladé Boleslavi. Halová konstrukce slouží jako autobusové a vlakové nádraží. Objekt se nachází v I. sněhové oblasti (podle které bylo stanoveno charakteristické zatížení sněhem $0,67 \text{ kN/m}^2$), ve II. větrné oblasti, v oblasti překážek s volným prostorem, v předměstské oblasti s kategorií terénu III. Hlavní roli z hlediska účinku zatížení na ztužující konstrukce hraje sání na obloukovém vazníku, příhradovém sloupu a na konstrukci přístřešku.

1.2 Schématický půdorys konstrukce

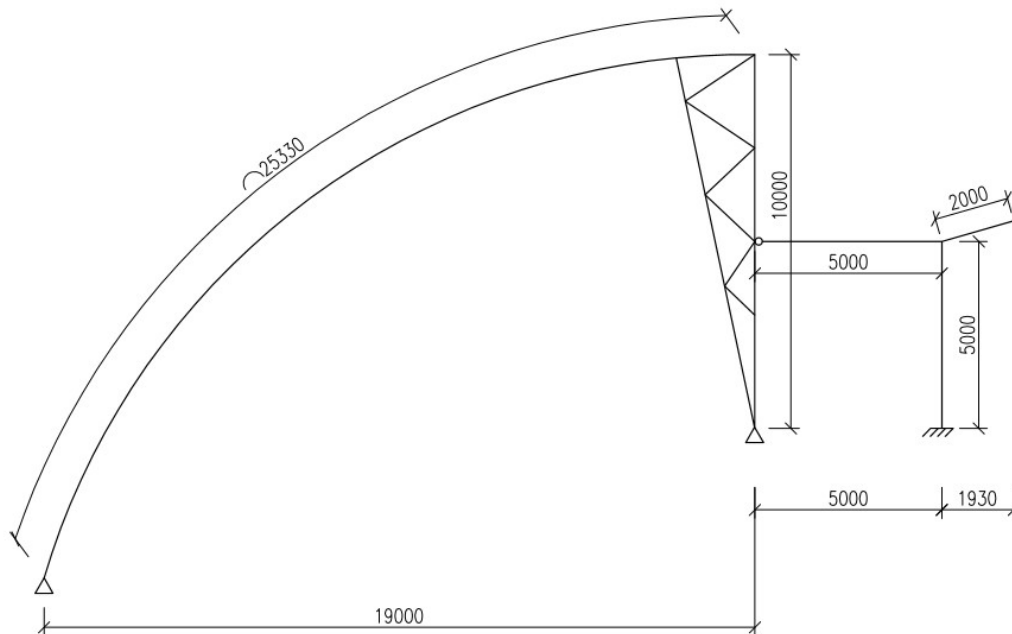


Obr. 1: Schématický půdorys konstrukce autobusového nádraží

Vysvětlivky:

P1	kloubová patka oblouku	VA1	vazník IPE 240
S1	příhradový sloup	VA2	vazník IPE 550
S2	sloup HEA 340	V1	vaznice IPE 100
S3	sloup HEA 200	V2	vaznice IPE 180

1.3 Schématický řez konstrukce

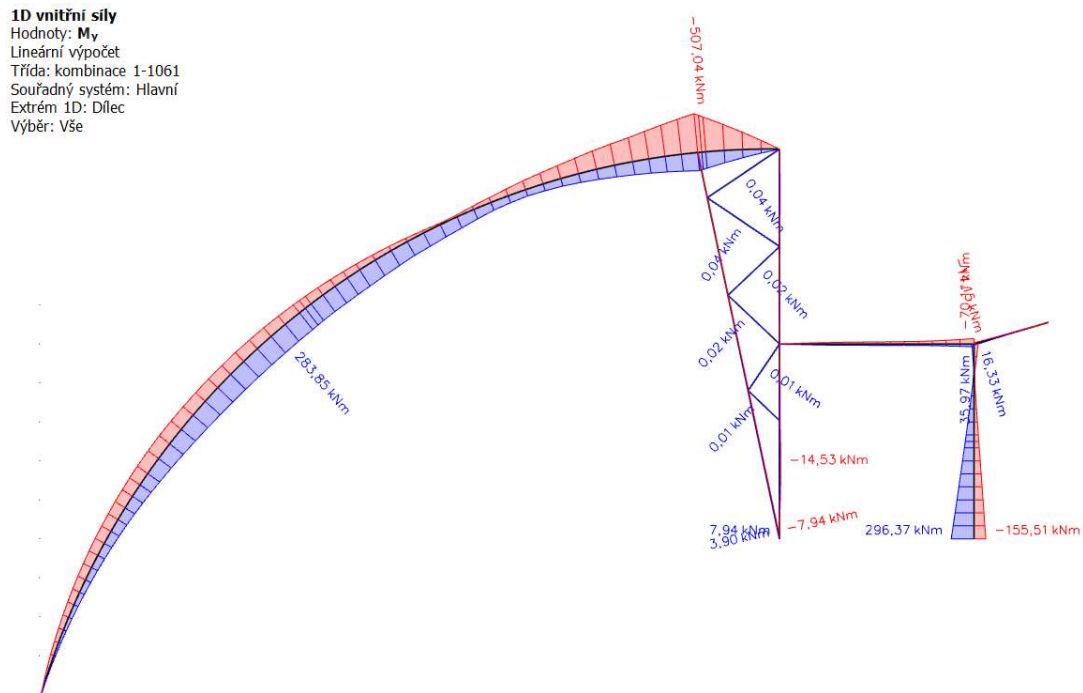


Obr. 2: Schématický řez konstrukce autobusového nádraží

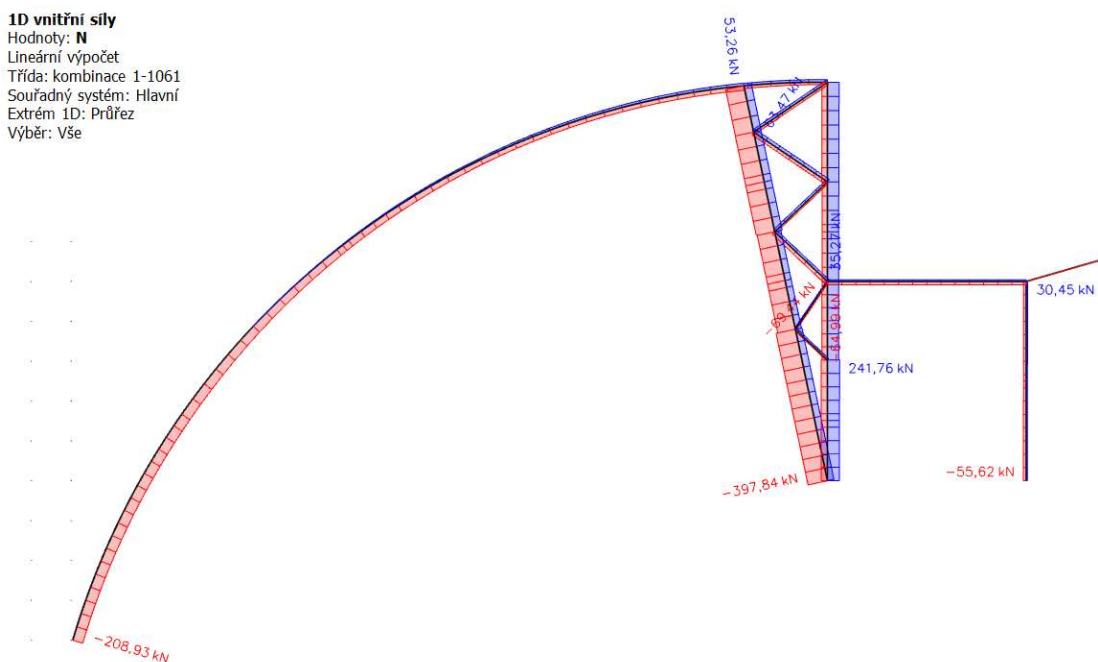
2 Podrobné posouzení konstrukce haly

2.1 Vnitřní síly a deformace

Konstrukce haly je navržena na základě výstupů ze softwaru SCIA Engineer.

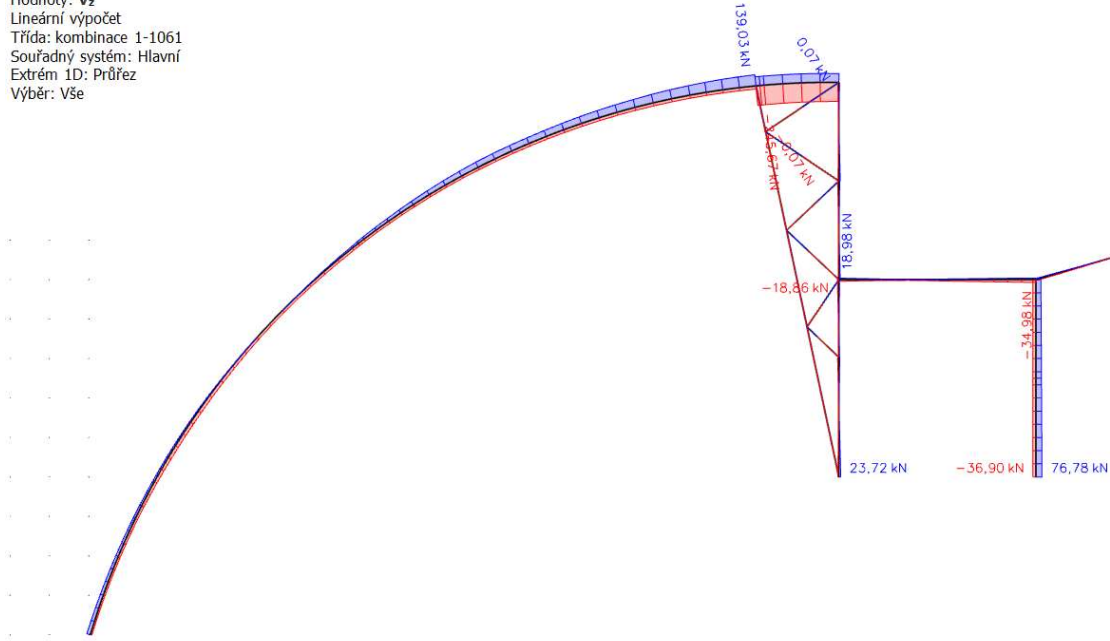


Obr. 3: Obálka ohybových momentů



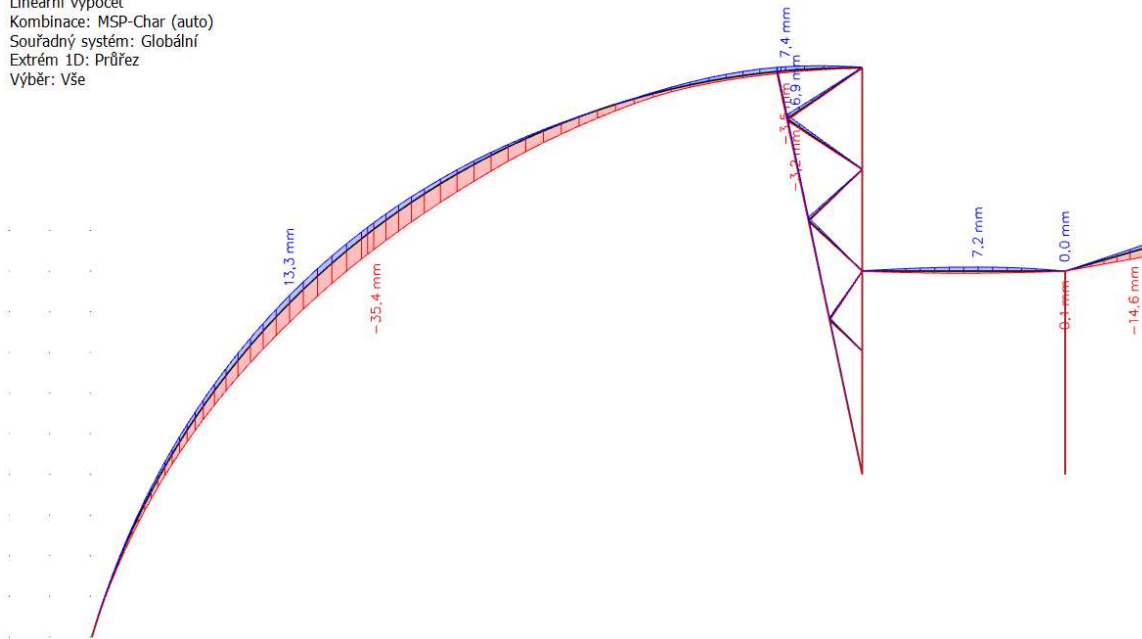
Obr. 4: Obálka normálových sil

1D vnitřní síly
 Hodnoty: V_z
 Lineární výpočet
 Třída: kombinace 1-1061
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Průřez
 Výběr: Vše



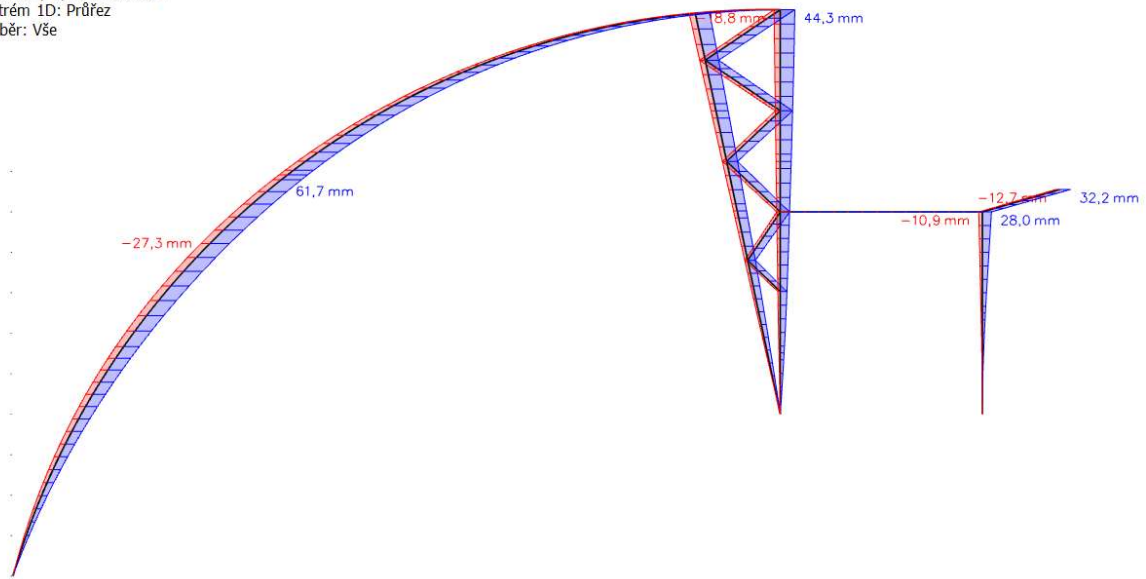
Obr. 5: Obálka posouvajících sil

1D deformace
 Hodnoty: u_z
 Lineární výpočet
 Kombinace: MSP-Char (auto)
 Souřadný systém: Globální
 Extrém 1D: Průřez
 Výběr: Vše



Obr. 6: Svislý průhyb

1D deformace
Hodnoty: u_x
Lineární výpočet
Kombinace: MSP-Char (auto)
Souřadný systém: Globální
Extrém 1D: Průřez
Výběr: Vše



Obr. 7: Vodorovný posun

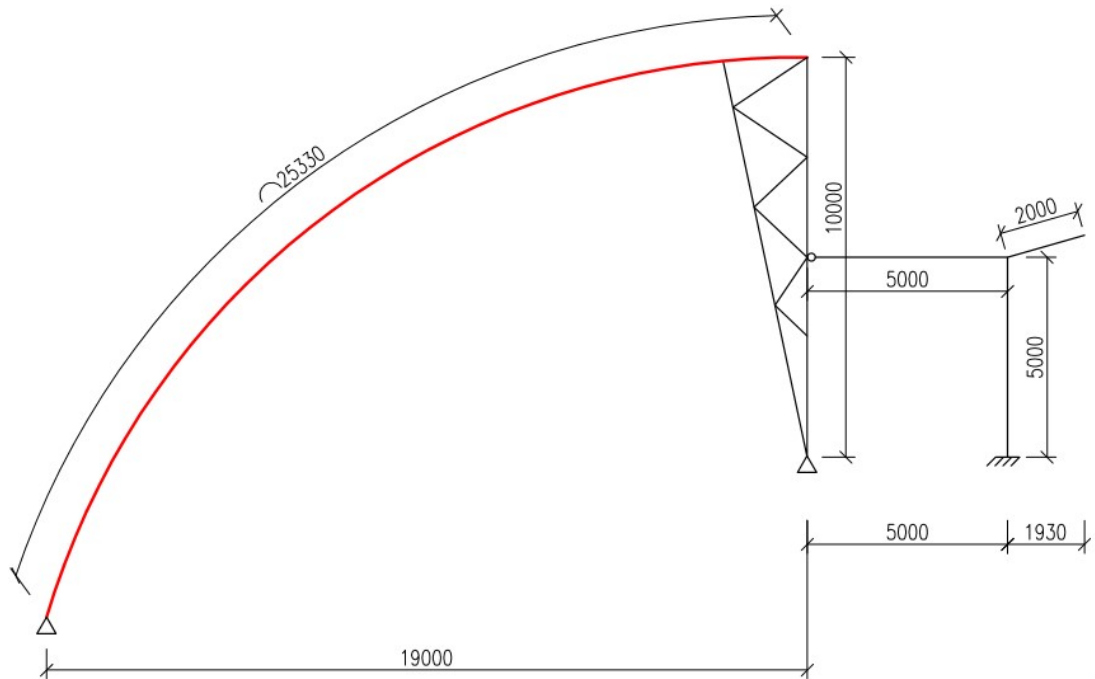
2.2 Materiálové charakteristiky a součinitelé spolehlivosti

Není-li uvedeno jinak, uvažuje se s následujícími materiálovými charakteristikami:

Ocel S235		Součinitelé spolehlivosti	
$E = 210 \text{ GPa}$	$f_y = 235 \text{ MPa}$	$\gamma_{M0} = 1,0$	$\gamma_{M2} = 1,25$
$G = 81 \text{ GPa}$	$f_u = 360 \text{ MPa}$	$\gamma_{M1} = 1,0$	$\gamma_{M5} = 1,0$

2.3 Posouzení obloukového vazníku

svařované IPE 550		
$A = 1,282 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$	$h = 550 \text{ mm}$	
$A_{vz} = 6,09 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	$b = 210 \text{ mm}$	
$I_y = 6,332 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$	$t_w = 11 \text{ mm}$	
$I_z = 2,630 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$	$t_f = 17 \text{ mm}$	
$I_w = 1,864 \cdot 10^{12} \text{ mm}^6$	$d = 516 \text{ mm}$	
$I_t = 9,243 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$	$i_y = 222 \text{ mm}$	
$W_{pl,y} = 2,635 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$	$i_z = 45 \text{ mm}$	
$W_{el,y} = 2,303 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$		



Obr. 8: Vyznačení obloukového vazníku v řezu

2.3.1 MSP

$$\delta \leq \delta_{lim} = \frac{L}{250}$$

$$35,4 \text{ mm} \leq \frac{25300}{250} = 101,32 \text{ mm}$$

Vazník vyhovuje.

2.3.2 MSÚ

Vazník bude posuzován na kombinaci tlak + ohyb, na tlakové namáhání (v kloubovém uložení) a na smyk.

Kombinace tlaku a ohybu

Kombinace tlaku a ohybu je posuzována ve dvou místech - v místě největšího momentu v poli s odpovídající normálovou silou a v místě největšího momentu nad podporou s odpovídající normálovou silou.

a) v poli - $M_{Ed} = 283,85 \text{ kNm} + N_{Ed} = 74,54 \text{ kN}$

- KZS 750 – min. stálé zatížení + max. tlak větrem na oblouk

1D vnitřní síly

Hodnoty: M_y

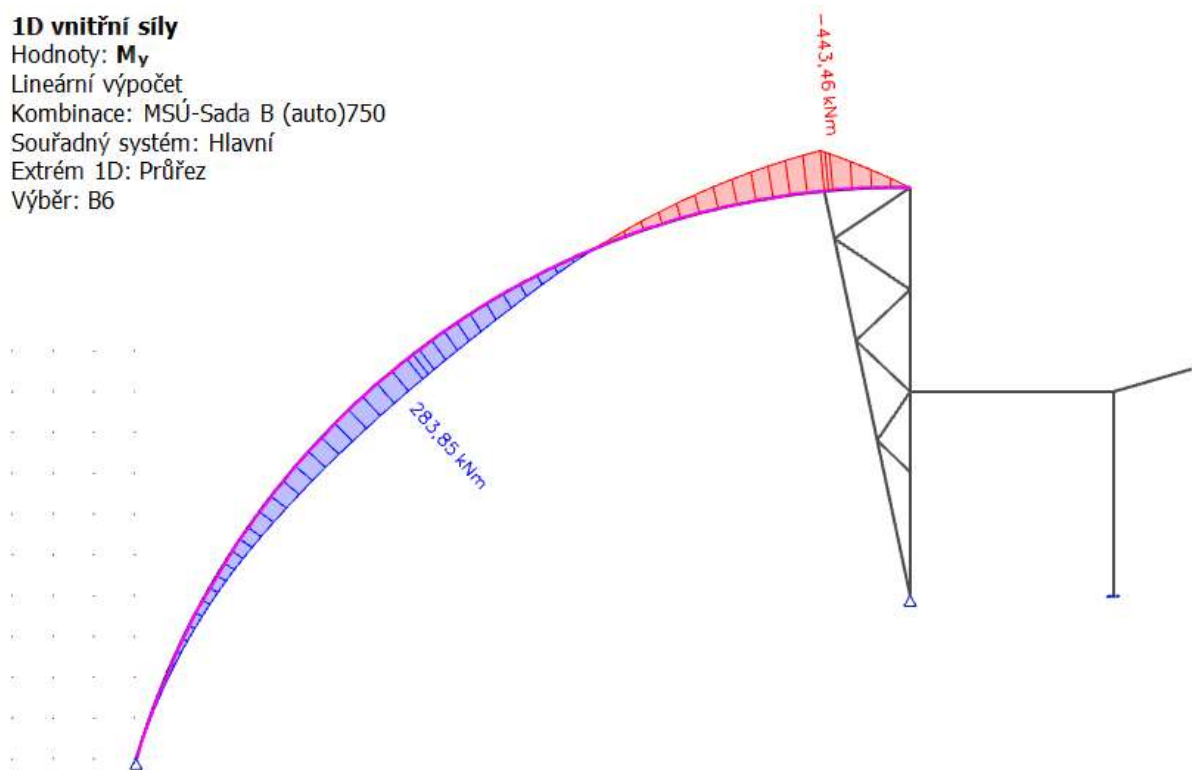
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)750

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Průřez

Výběr: B6



Obr. 9: Průběh ohybového momentu na oblouku - KZS 750

1D vnitřní síly

Hodnoty: N

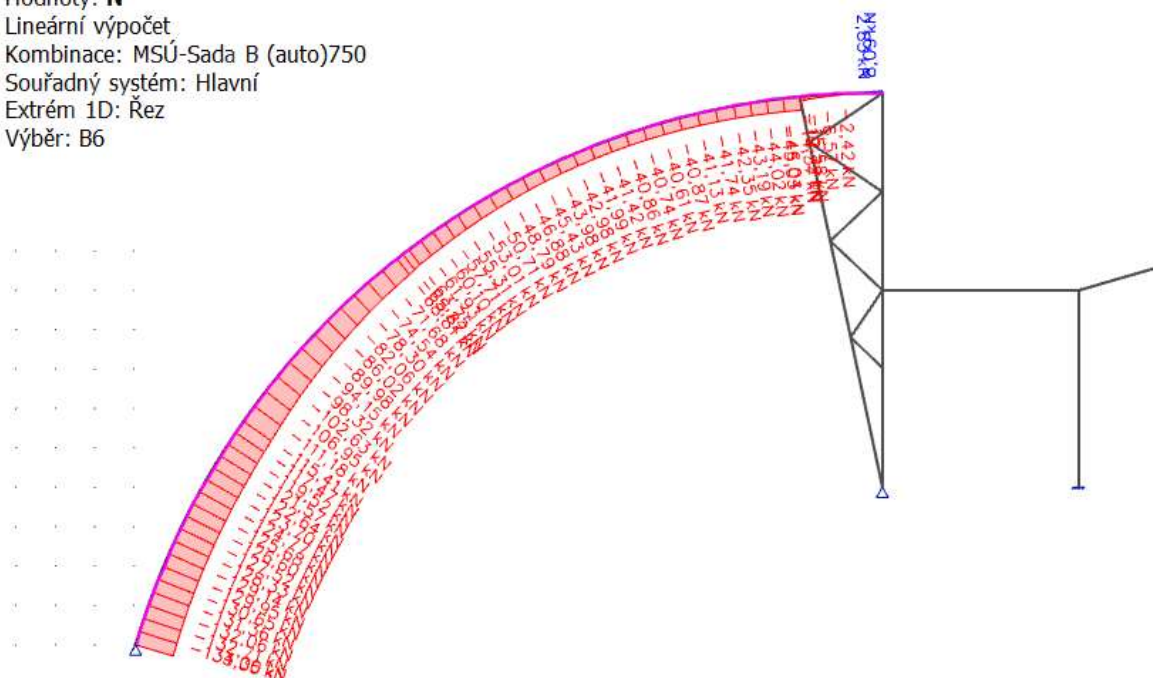
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)750

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Řez

Výběr: B6



Obr. 10: Průběh normálové síly na oblouku - KZS 750

b) nad podporou - $M_{Ed} = 507,04 \text{ kNm} + N_{Ed} = 59,05 \text{ kN}$

- KZS 324 – min. stálé zatížení + max. trojúhelníkové zatížení sněhem na oblouk

1D vnitřní sílyHodnoty: M_y

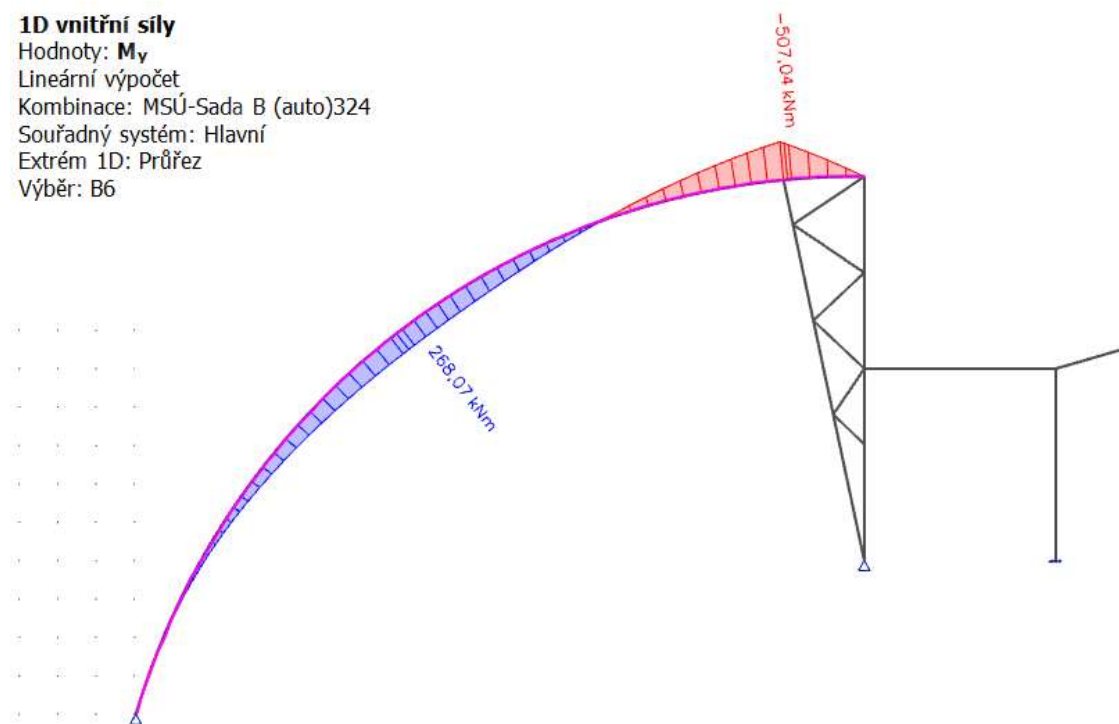
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)324

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Průřez

Výběr: B6



Obr. 11: Průběh ohybového momentu na oblouku – KZS 324

1D vnitřní sílyHodnoty: N

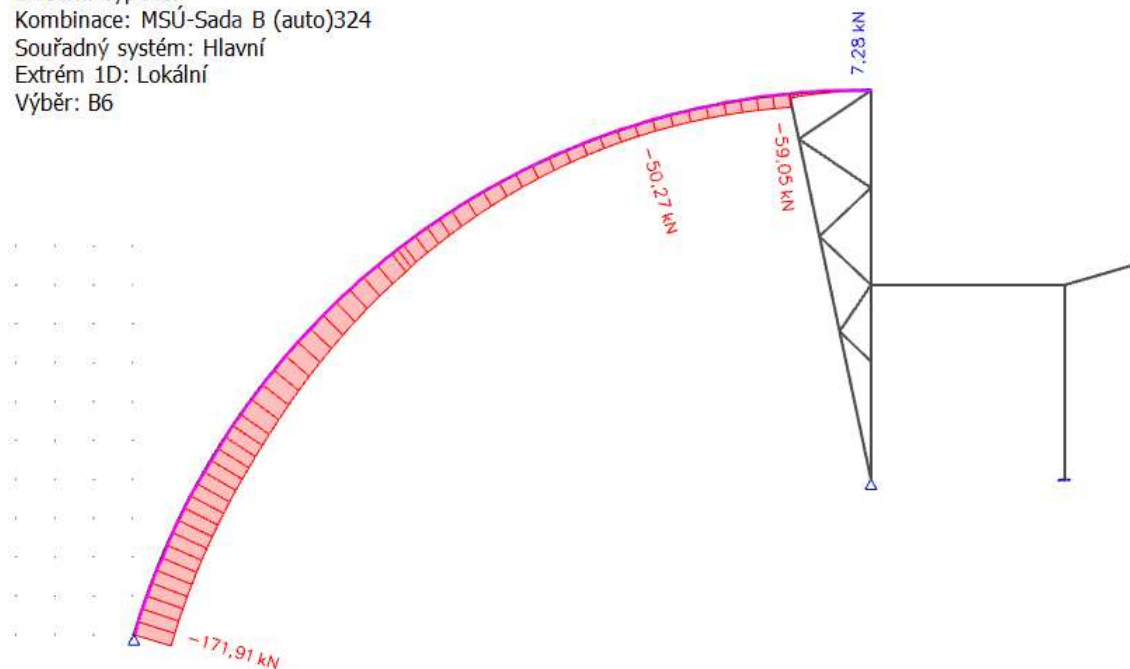
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)324

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Lokální

Výběr: B6



Obr. 12: Průběh normálové síly na oblouku – KZS 324

- vzpěrné délky:

a) v rovině oblouku $L_{Cr,y} = k_y \cdot L = 0,74 \cdot 23,221 \text{ m} = 17,18 \text{ m}$

Součinitel k_y byl převzat ze softwaru SCIA Engineer, kde byla konstrukce posouzena na vzpěr.

Pro určení vzpěrné délky v rovině oblouku uvažujeme délku oblouku L , což je vzdálenost mezi podporami oblouku, tj. od kloubového uložení k podepření oblouku levým pasem příhradového sloupu.

b) z roviny oblouku $L_{Cr,z} = 1,9$ m

Pro určené vzpěrné délky z roviny oblouku uvažujeme délku mezi vaznicemi, kterými je oblouk držen proti vybočení z roviny.

- štíhlost prutu:

$$\lambda_y = \frac{L_{Cr,y}}{i_y} = \frac{17\,180}{222} = 77,39$$

$$\lambda_z = \frac{L_{Cr,z}}{i_z} = \frac{1900}{45} = 42,22$$

- relativní štíhlost:

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1 = 93,9$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

- poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{77,39}{93,9} = 0,82$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{42,22}{93,9} = 0,45$$

- křivky vzpěrnosti pro vybočení: (dle tab. 5.5 v [1])

a) pro vybočení kolmo k ose y-y...křivka vzpěrnosti $b \rightarrow \chi_y = 0,712$

b) pro vybočení kolmo k ose z-z...křivka vzpěrnosti $c \rightarrow \chi_z = 0,871$

a) v poli

V poli uvažujeme, že je zabráněno klopení. Klopení brání vaznice, které jsou od sebe vzdálené 1,9 m ($\chi_{LT} = 1$).

- zařídění průřezu: (dle tab. 5.1 v [1])

1. stojina – stojina je namáhaná kombinací tlaku a ohybu

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{283,85}{74,54} = 3808 \text{ mm}$$

$$x = \frac{-e \cdot t_w + \sqrt{(e \cdot t_w)^2 + t_w \cdot W_{pl,y}}}{t_w} = \frac{-3808 \cdot 11 + \sqrt{(3808 \cdot 11)^2 + 11 \cdot 2,635 \cdot 10^6}}{11}$$

$$x = 31,32 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{0,5 \cdot d + x}{d} = \frac{0,5 \cdot 516 + 31,32}{516} = 0,56$$

$$\frac{c}{t} \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1}$$

$$\frac{516}{11} \leq \frac{396 \cdot 1}{13 \cdot 0,56 - 1}$$

$$46,9 \leq 63,1 \rightarrow \text{vyhovuje} - \text{stojina je třídy 1}$$

2. pásnice – pásnice je namáhaná tlakem

$$\frac{c}{t} \leq 9 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{99,5}{17} \leq 9 \cdot 1$$

$$5,9 \leq 9 \rightarrow \text{vyhovuje} - \text{pásnice je třídy 1}$$

Průřez je zaříděn do třídy 1.

- interakce tlaku a ohybu:

Určení součinitele c_{my} (dle tab. B.3 v [9]):

$$\Psi = 0$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{283,85}{443,46} = 0,64$$

$$c_{my} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_s = 0,2 + 0,8 \cdot 0,64 = 0,712$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 1,282 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^3 = 3011,76 \text{ kN}$$

$$k_{yy} = \min \left(c_{my} \cdot \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right] \right. \\ \left. c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) \right)$$

$$k_{yy} = \min \left(0,712 \cdot \left[1 + (0,82 - 0,2) \cdot \frac{74,54}{\frac{0,712 \cdot 3011,76}{1}} \right] \right. \\ \left. 0,712 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{74,54}{\frac{0,712 \cdot 3011,76}{1}} \right) \right)$$

$$k_{yy} = \min \begin{pmatrix} 0,72 \\ 0,72 \end{pmatrix} \rightarrow k_{yy} = 0,72$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,72 = 0,43$$

- posouzení:

$$M_{Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 2,635 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3 = 619,23 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{74,54}{\frac{0,712 \cdot 3011,76}{1}} + 0,72 \cdot \frac{283,85}{\frac{1 \cdot 619,23}{1}} \leq 1,0$$

$$\frac{74,54}{\frac{0,871 \cdot 3011,76}{1}} + 0,43 \cdot \frac{283,85}{\frac{1 \cdot 619,23}{1}} \leq 1,0$$

$$0,37 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$0,23 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

A zároveň:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + \frac{M_{Ed}}{M_{Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{74,54}{3011,76} + \frac{283,85}{619,23} \leq 1,0$$

$$0,48 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

b) nad podporou

Nad podporou posoudíme vazník s vlivem klopení, protože tlačena pásnice průřezu není vaznicemi držena proti klopení. Není tedy zabráněno klopení průřezu.

- zatřídění průřezu: (dle tab. 5.1 v [1])

1. stojina – stojina je namáhaná kombinací tlaku a ohybu

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{507,04}{59,05} = 8587 \text{ mm}$$

$$x = \frac{-e \cdot t_w + \sqrt{(e \cdot t_w)^2 + t_w \cdot W_{pl,y}}}{t_w} = \frac{-8587 \cdot 11 + \sqrt{(8587 \cdot 11)^2 + 11 \cdot 2,635 \cdot 10^6}}{11}$$

$$x = 13,94 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{0,5 \cdot d + x}{d} = \frac{0,5 \cdot 516 + 13,94}{516} = 0,53$$

$$\frac{c}{t} \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1}$$

$$\frac{516}{11} \leq \frac{396 \cdot 1}{13 \cdot 0,53 - 1}$$

$$46,9 \leq 67,2 \rightarrow \text{vyhovuje} - \text{stojina je třídy 1}$$

2. pásnice – pásnice je namáhaná tlakem

$$\frac{c}{t} \leq 9 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{99,5}{17} \leq 9 \cdot 1$$

$$5,9 \leq 9 \rightarrow \text{vyhovuje} - \text{pásnice je třídy 1}$$

Průřez je zatříděn do třídy 1.

- klopení:

Pro zjednodušení výpočtu uvažujeme mezi body zajištěnými proti klopení průběh momentu lineární. Lze tedy uvažovat součinitel $C_2 = 0$.

$$k_z = 1 \quad k_w = 1$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 5,491} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^6 \cdot 1,864 \cdot 10^{-6}}{81 \cdot 10^6 \cdot 9,243 \cdot 10^{-7}}} = 1,31$$

$$C_1 = 1,85 \text{ (dle tab. NB 3.1. v [9])}$$

$$\mu_{Cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2} = \frac{1,85}{1} \cdot \sqrt{1 + 1,31^2} = 3,05$$

$$M_{Cr} = \mu_{Cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 3,05 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^6 \cdot 2,630 \cdot 10^{-5} \cdot 81 \cdot 10^6 \cdot 9,243 \cdot 10^{-7}}}{5,491}$$

$$M_{Cr} = 1119,82 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{Cr}}} = \sqrt{\frac{2,635 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1119,82}} = 0,74$$

- křivka pro klopení: (dle tab. 5.5 v [1])

křivka vzpěrné pevnosti d (svařovaný profil, $h/b > 2$) $\rightarrow \chi_{LT} = 0,617$

- interakce tlaku a ohybu:

Určení součinitele c_{my} (dle tab. B.3 v [9]):

$$\Psi = 0$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{268,07}{507,04} = 0,53$$

$$c_{my} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_s = 0,2 + 0,8 \cdot 0,53 = 0,624$$

Určení součinitele C_{mLT} (dle tab. B.3 v [9]):

$$\Psi = 0$$

$$c_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0 = 0,6$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 1,282 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^3 = 3011,76 \text{ kN}$$

$$k_{yy} = \min \left(c_{my} \cdot \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right], c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \right)$$

$$k_{yy} = \min \left(0,624 \cdot \left[1 + (0,82 - 0,2) \cdot \frac{59,05}{\frac{0,712 \cdot 3011,76}{1}} \right] \right. \\ \left. 0,624 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{59,05}{\frac{0,712 \cdot 3011,76}{1}} \right) \right)$$

$$k_{yy} = \min(0,63) \rightarrow k_{yy} = 0,63$$

$$k_{zy} = \max \left(1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{c_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \cdot \frac{\gamma_{M1}}{\gamma_{M1}} \right. \\ \left. 1 - \frac{0,1}{c_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \cdot \frac{\gamma_{M1}}{\gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zy} = \max \left(1 - \frac{0,1 \cdot 0,45}{0,6 - 0,25} \cdot \frac{59,05}{\frac{0,871 \cdot 3011,76}{1}} \right. \\ \left. 1 - \frac{0,1}{0,6 - 0,25} \cdot \frac{59,05}{\frac{0,871 \cdot 3011,76}{1}} \right)$$

$$k_{zy} = \max(1,0) \rightarrow k_{zy} = 1,0$$

- posouzení:

$$M_{Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 2,635 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3 = 619,23 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{59,05}{\frac{0,712 \cdot 3011,76}{1}} + 0,63 \cdot \frac{507,04}{\frac{0,617 \cdot 619,23}{1}} \leq 1,0$$

$$\frac{59,05}{\frac{0,871 \cdot 3011,76}{1}} + 1,0 \cdot \frac{507,04}{\frac{0,617 \cdot 619,23}{1}} \leq 1,0$$

$$0,87 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$1,35 \leq 1,0 \rightarrow \text{nevyhovuje}$$

A zároveň:

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M0} \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{Ed}}{\gamma_{M0} \cdot \frac{M_{Rk}}{\gamma_{M0}}} \leq 1,0$$
$$\frac{59,05}{3011,76} + \frac{507,04}{619,23} \leq 1,0$$
$$0,84 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Obloukový nosník nevyhověl. Navrhne tedy vzpěrky v místě vaznic. Vaznice jsou od sebe vzdálené 1,9 m. Délka pro klopení vazníku bude uvažována jako $L = 1,9$ m.

- klopení:

Pro zjednodušení výpočtu uvažujeme mezi body zajištěnými proti klopení průběh momentu lineární. Lze tedy uvažovat součinitel $C_2 = 0$.

$$k_z = 1 \quad k_w = 1$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 1,9} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^6 \cdot 1,864 \cdot 10^{-6}}{81 \cdot 10^6 \cdot 9,243 \cdot 10^{-7}}} = 3,78$$

$$C_1 = 1,23 \text{ (dle tab. NB 3.1. v [9])}$$

$$\mu_{Cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2} = \frac{1,23}{1} \cdot \sqrt{1 + 3,78^2} = 4,81$$

$$M_{Cr} = \mu_{Cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 4,81 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^6 \cdot 2,630 \cdot 10^{-5} \cdot 81 \cdot 10^6 \cdot 9,243 \cdot 10^{-7}}}{1,9}$$

$$M_{Cr} = 5109,46 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{Cr}}} = \sqrt{\frac{2,635 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{5109,46}} = 0,35$$

- křivka pro klopení: (dle tab. 5.5 v [1])

$$\text{křivka vzpěrné pevnosti } d \text{ (svařovaný profil, } h/b > 2) \rightarrow \chi_{LT} = 0,887$$

- interakce tlaku a ohybu:

Určení součinitele c_{my} (dle tab. B.3 v [9]):

$$\Psi = 0$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{268,07}{507,04} = 0,53$$

$$c_{my} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_s = 0,2 + 0,8 \cdot 0,53 = 0,624$$

Určení součinitele C_{mLT} (dle tab. B.3 v [9]):

$$\Psi = 0,62$$

$$c_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,62 = 0,848$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 1,282 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^3 = 3011,76 \text{ kN}$$

$$k_{yy} = \min \left(c_{my} \cdot \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right] \right. \\ \left. c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) \right)$$

$$k_{yy} = \min \left(0,624 \cdot \left[1 + (0,82 - 0,2) \cdot \frac{59,05}{\frac{0,712 \cdot 3011,76}{1}} \right] \right. \\ \left. 0,624 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{59,05}{\frac{0,712 \cdot 3011,76}{1}} \right) \right)$$

$$k_{yy} = \min \left(\begin{matrix} 0,63 \\ 0,64 \end{matrix} \right) \rightarrow k_{yy} = 0,63$$

$$k_{zy} = \max \left(1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{c_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right. \\ \left. 1 - \frac{0,1}{c_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right)$$

$$k_{zy} = \max \left(1 - \frac{0,1 \cdot 0,45}{0,848 - 0,25} \cdot \frac{59,05}{\frac{0,871 \cdot 3011,76}{1}} \right. \\ \left. 1 - \frac{0,1}{0,848 - 0,25} \cdot \frac{59,05}{\frac{0,871 \cdot 3011,76}{1}} \right)$$

$$k_{zy} = \max \left(\begin{matrix} 1,0 \\ 1,0 \end{matrix} \right) \rightarrow k_{zy} = 1,0$$

- posouzení:

$$M_{Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 2,635 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3 = 619,23 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{59,05}{0,712 \cdot 3011,76} + 0,63 \cdot \frac{507,04}{0,887 \cdot 619,23} \leq 1,0$$

$$\frac{59,05}{0,871 \cdot 3011,76} + 1,0 \cdot \frac{283,85}{0,887 \cdot 619,23} \leq 1,0$$

0,61 ≤ 1,0 → vyhovuje

0,94 ≤ 1,0 → vyhovuje

A zároveň:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + \frac{M_{Ed}}{M_{Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{59,05}{3011,76} + \frac{507,04}{619,23} \leq 1,0$$

0,84 ≤ 1,0 → vyhovuje

Namáhání tlakem v kloubovém uložení

V místě uložení posoudíme nosník jen na tlak (moment $M_{Ed} = 0$ kNm). Právě v kloubovém uložení je velikost normálové síly největší.

$$N_{Ed} = 208,93 \text{ kN}$$

- KZS 363 – min. stálé zatížení + max. zatížení sněhem na oblouk

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

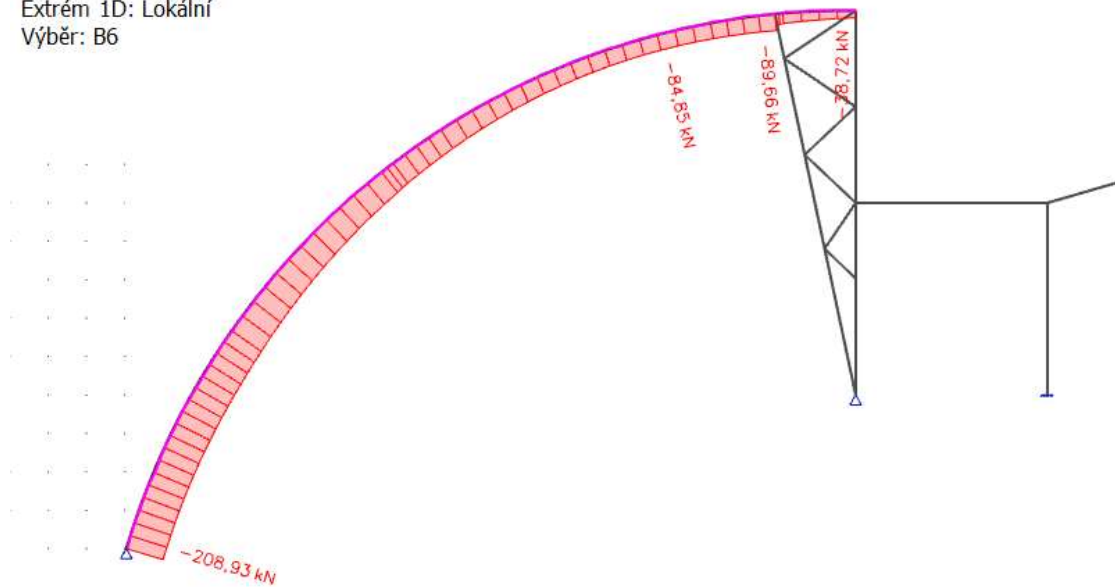
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)363

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Lokální

Výběr: B6



Obr. 13: Průběh normálové síly na oblouku – KZS 363

- vzpěrné délky:

a) v rovině oblouku $L_{Cr,y} = k_y \cdot L = 0,74 \cdot 23,221 \text{ m} = 17,18 \text{ m}$

Součinitel k_y byl převzat ze softwaru SCIA Engineer, kde byla konstrukce posouzena na vzpěr.

Pro určení vzpěrné délky v rovině oblouku uvažujeme délku oblouku L , což je vzdálenost mezi podporami oblouku, tj. od kloubového uložení k podepření oblouku levým pasem příhradového sloupu.

b) z roviny oblouku $L_{Cr,z} = 6 \text{ m}$

Pro určené vzpěrné délky z roviny oblouku uvažujeme délku oblouku mezi poslední vaznicí a kloubovým uložení vazníku.

- štíhlost prutu:

$$\lambda_y = \frac{L_{Cr,y}}{i_y} = \frac{17\,180}{222} = 77,39$$

$$\lambda_z = \frac{L_{Cr,z}}{i_z} = \frac{6000}{45} = 133,33$$

- relativní štíhlost:

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1 = 93,9$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

- poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{77,39}{93,9} = 0,82$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{133,33}{93,9} = 1,42$$

- křivky vzpěrnosti pro vybočení: (dle tab. 5.5 v [1])

a) pro vybočení kolmo k ose y-y...křivka vzpěrnosti $b \rightarrow \chi_y = 0,712$

b) pro vybočení kolmo k ose z-z...křivka vzpěrnosti $c \rightarrow \chi_z = 0,342$

- zatřídění průřezu: (dle tab. 5.1 v [1])

1. stojina – stojina je namáhaná tlakem

$$\frac{c}{t} \leq 42 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{516}{11} \leq 42 \cdot 1$$

$46,9 \leq 42 \rightarrow$ nevyhovuje – stojina je třídy 4

\rightarrow nutno vyloučit boulicí část stojiny

2. pásnice – pásnice je namáhaná tlakem

$$\frac{c}{t} \leq 9 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{99,5}{17} \leq 9 \cdot 1$$

$5,9 \leq 9 \rightarrow$ vyhovuje – pásnice je třídy 1

Průřez je zatříděn do třídy 4.

- posouzení: (dle kap. 4 v [11])

$$\psi = 1 \rightarrow k_{\sigma} = 4 \text{ (dle tab. 4.1 v [11])}$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\frac{c}{t}}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_{\sigma}}} = \frac{\frac{516}{11}}{28,4 \cdot 1 \cdot \sqrt{4}} = 0,826$$

$$\text{pro } \bar{\lambda}_p > 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \psi} = 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot 1} = 0,673$$

$$\rightarrow \rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{0,826 - 0,055 \cdot (3 + 1)}{0,826^2} = 0,888 \leq 1,0$$

$$A_{mod} = c_{eff} \cdot t_w + A_{pásnic} = c \cdot \rho \cdot t_w + b \cdot t_f \cdot 2 = 516 \cdot 0,888 \cdot 11 + 210 \cdot 17 \cdot 2$$

$$A_{mod} = 12180,29 \text{ mm}^2$$

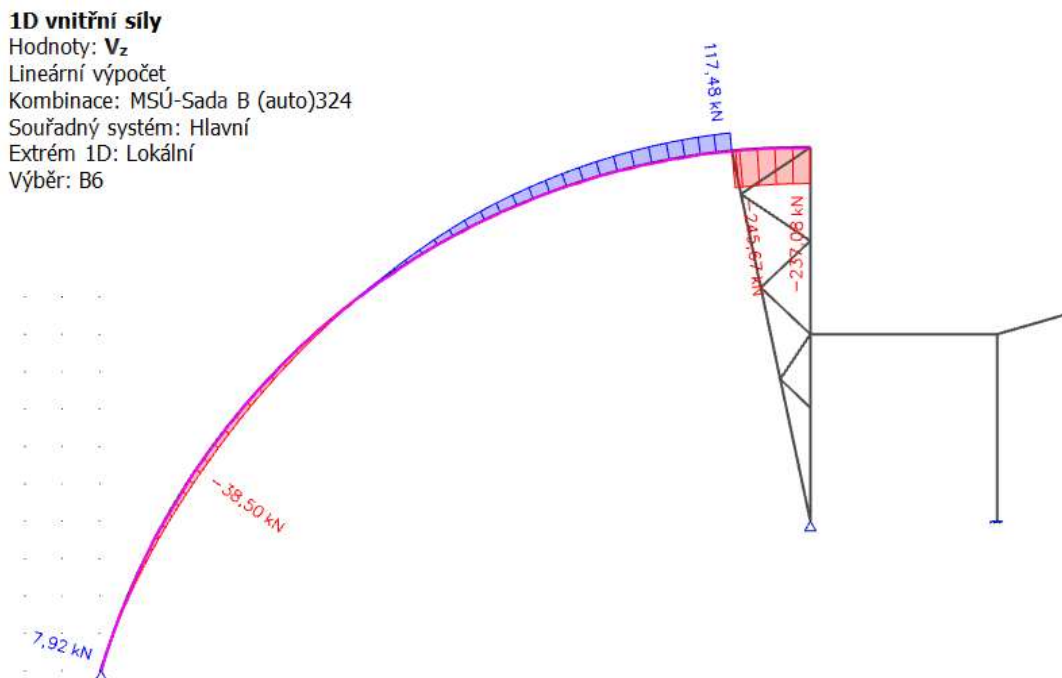
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A_{mod} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \geq N_{Ed}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,342 \cdot 1,218 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 978,91 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 208,93 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Smyk

$$V_{Ed} = 245,67 \text{ kN}$$

- KZS 324 - min. stálé zatížení + max. trojúhelníkové zatížení sněhem na oblouk



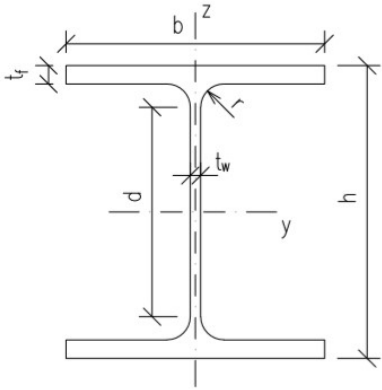
Obr. 14: Průběh posouvající síly na oblouku – KZS 324

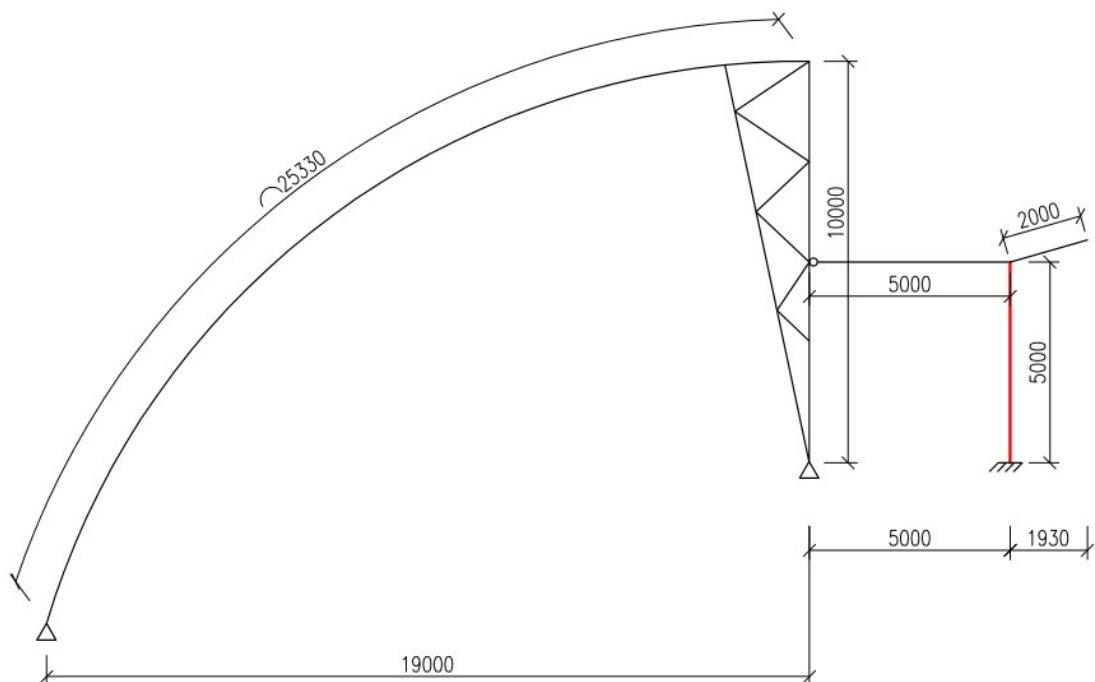
$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \geq V_{Ed}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{6,09 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 826,23 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 245,67 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Vazník vyhovuje.

2.4 Posouzení sloupu přístřešku

válcované HEA 340		
$A = 1,335 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$	$h = 330 \text{ mm}$	
$A_{vz} = 4,495 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	$b = 300 \text{ mm}$	
$I_y = 2,769 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$	$t_w = 9,5 \text{ mm}$	
$I_z = 7,436 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$	$t_f = 16,5 \text{ mm}$	
$I_w = 1,824 \cdot 10^{12} \text{ mm}^6$	$d = 243 \text{ mm}$	
$I_t = 1,272 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$	$i_y = 144 \text{ mm}$	
$W_{pl,y} = 1,850 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$	$i_z = 75 \text{ mm}$	
$W_{el,y} = 1,678 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$	$r = 27 \text{ mm}$	



Obr. 15: Znárodnění sloupu přístřešku v řezu

2.4.1 MSP

$$\delta \leq \delta_{lim} = \frac{L}{150}$$

$$28 \text{ mm} \leq \frac{5000}{150} = 33,3 \text{ mm}$$

Sloup vyhovuje.

2.4.2 MSÚ

Sloup bude posuzován na kombinaci tlak + ohyb a na smyk.

Kombinace tlaku a ohybu

Kombinace tlaku a ohybu je posuzována ve vetknutí, kde budou vyšetřeny dva stavy, pro největší moment s odpovídající normálovou silou a pro největší normálovou sílu s odpovídajícím ohybovým momentem.

a) $M_{Ed} = 296,37 \text{ kNm} + N_{Ed} = 38,51 \text{ kN}$

- KZS 540 – min. stálé zatížení + min. zatížení sněhem + max. zatížení větrem na sloup
(obvodový plášť)

1D vnitřní síly

Hodnoty: M_y

Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)540

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Lokální

Výběr: B2



Obr. 16: Průběh ohybového momentu na sloupu – KZS 540

1D vnitřní sílyHodnoty: **N**

Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)540

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Lokální

Výběr: B2

*Obr. 17: Průběh normálové síly na sloupu – KZS 540*

b) $M_{Ed} = 270,67 \text{ kNm} + N_{Ed} = 55,62 \text{ kN}$

- KZS 324 – min. stálé zatížení + max. trojúhelníkové zatížení sněhem

1D vnitřní sílyHodnoty: **M_y**

Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)324

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Lokální

Výběr: B2

*Obr. 18: Průběh ohybového momentu na sloupu – KZS 324*

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

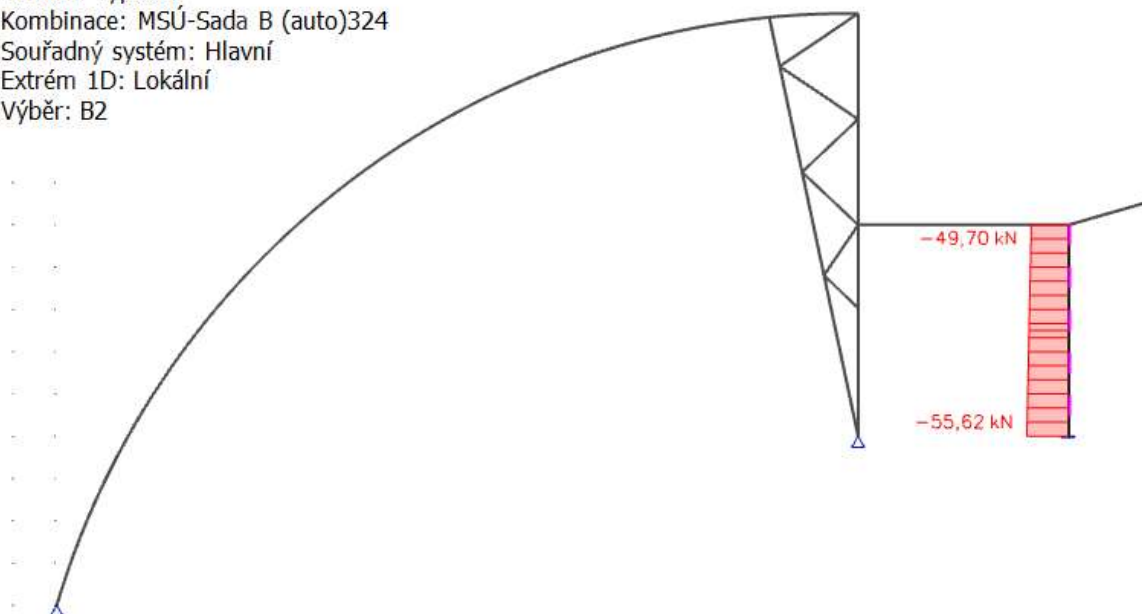
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)324

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Lokální

Výběr: B2



Obr. 19: Průběh normálové síly na sloupu – KZS 324

Oba dva stavy posoudíme s vlivem klopení, protože tlačená pásnice sloupu není v příčném směru podepřena.

- vzpěrné délky:

$$\text{a) v rovině sloupu } L_{Cr,y} = k_y \cdot L = 0,69 \cdot 5,0 \text{ m} = 3,45 \text{ m}$$

Součinitel k_y byl převzat ze softwaru SCIA Engineer, kde byla konstrukce posouzena na vzpěr.

Pro určení vzpěrné délky v rovině sloupu uvažujeme délku sloupu L , což je vzdálenost mezi vetknutím sloupu a místem napojení nosníku přístřešku.

$$\text{b) z roviny oblouku } L_{Cr,z} = 5,0 \text{ m}$$

Pro určení vzpěrné délky z roviny sloupu uvažujeme délku sloupu L shodnou s délkou sloupu uvažovanou při vybočení v rovině sloupu.

- štíhlost prutu:

$$\lambda_y = \frac{L_{Cr,y}}{i_y} = \frac{3450}{144} = 23,96$$

$$\lambda_z = \frac{L_{Cr,z}}{i_z} = \frac{5000}{75} = 66,67$$

- relativní štíhlost:

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1 = 93,9$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

- poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{23,96}{93,9} = 0,26$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{66,67}{93,9} = 0,71$$

- křivky vzpěrnosti pro vybočení: (dle tab. 5.5 v [1])

a) pro vybočení kolmo k ose y-y...křivka vzpěrnosti $b \rightarrow \chi_y = 0,979$

b) pro vybočení kolmo k ose z-z...křivka vzpěrnosti $c \rightarrow \chi_z = 0,718$

a) největší ohybový moment s odpovídající normálovou silou

- zatřídění průřezu: (dle tab. 5.1 v [1])

1. stojina – stojina je namáhaná kombinací tlaku a ohybu

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{296,37}{38,51} = 7696 \text{ mm}$$

$$x = \frac{-e \cdot t_w + \sqrt{(e \cdot t_w)^2 + t_w \cdot W_{pl,y}}}{t_w} = \frac{-7696 \cdot 9,5 + \sqrt{(7696 \cdot 9,5)^2 + 9,5 \cdot 1,850 \cdot 10^6}}{9,5}$$

$$x = 12,64 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{0,5 \cdot d + x}{d} = \frac{0,5 \cdot 243 + 12,64}{243} = 0,55$$

$$\frac{c}{t} \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1}$$

$$\frac{297}{9,5} \leq \frac{396 \cdot 1}{13 \cdot 0,55 - 1}$$

$$31,3 \leq 64,4 \rightarrow \text{vyhovuje} - \text{stojina je třídy 1}$$

2. pásnice – pásnice je namáhaná tlakem

$$\frac{c}{t} \leq 9 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{145,25}{16,5} \leq 9 \cdot 1$$

$8,8 \leq 9 \rightarrow$ vyhovuje – pásnice je třídy 1

Průřez je zaříděn do třídy 1.

- klopení:

Pro zjednodušení výpočtu uvažujeme mezi body zajištěnými proti klopení průběh momentu lineární. Lze tedy uvažovat součinitel $C_2 = 0$.

$k_z = 1$ $k_w = 0,7 \rightarrow$ v patce podélnými přivařenými výztuhami zabráněno deplanaci

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{0,7 \cdot 5} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^6 \cdot 1,824 \cdot 10^{-6}}{81 \cdot 10^6 \cdot 1,272 \cdot 10^{-6}}} = 1,73$$

$C_1 = 3,32$ (dle tab. NB 3.1. v [9])

$$\mu_{Cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2} = \frac{3,32}{1} \cdot \sqrt{1 + 1,73^2} = 6,63$$

$$M_{Cr} = \mu_{Cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 6,63 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^6 \cdot 7,436 \cdot 10^{-5} \cdot 81 \cdot 10^6 \cdot 1,272 \cdot 10^{-6}}}{5}$$

$$M_{Cr} = 5284,143 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{Cr}}} = \sqrt{\frac{1,85 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{5284,1}} = 0,29$$

- křivka pro klopení: (dle tab. 5.5 v [1])

křivka vzpěrné pevnosti a (válcovaný profil, $h/b \leq 2$) $\rightarrow \chi_{LT} = 0,98$

- interakce tlaku a ohybu:

Určení součinitele c_{my} (dle tab. B.3 v [9]):

$$\Psi = -0,2$$

$$c_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot (-0,2) = 0,52$$

Určení součinitele C_{mLT} (dle tab. B.3 v [9]):

$$\Psi = -0,2$$

$$c_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot (-0,2) = 0,52$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 1,335 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^3 = 3137,25 \text{ kN}$$

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} c_{my} \cdot \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right] \\ c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) \end{array} \right)$$

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} 0,52 \cdot \left[1 + (0,26 - 0,2) \cdot \frac{38,51}{\frac{0,979 \cdot 3137,25}{1}} \right] \\ 0,712 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{38,51}{\frac{0,979 \cdot 3137,25}{1}} \right) \end{array} \right)$$

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} 0,52 \\ 0,53 \end{array} \right) \rightarrow k_{yy} = 0,52$$

$$k_{zy} = \max \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{c_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \\ 1 - \frac{0,1}{c_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \end{array} \right)$$

$$k_{zy} = \max \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 0,71}{0,52 - 0,25} \cdot \frac{38,51}{\frac{0,718 \cdot 3137,25}{1}} \\ 1 - \frac{0,1}{0,52 - 0,25} \cdot \frac{38,51}{\frac{0,718 \cdot 3137,25}{1}} \end{array} \right)$$

$$k_{zy} = \max \left(\begin{array}{l} 1,0 \\ 0,99 \end{array} \right) \rightarrow k_{zy} = 1,0$$

- posouzení:

$$M_{Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 1,85 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3 = 434,75 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{38,51}{\frac{0,718 \cdot 3137,25}{1}} + 0,52 \cdot \frac{296,37}{\frac{0,98 \cdot 434,75}{1}} \leq 1,0$$

$$\frac{38,51}{0,718 \cdot 3137,25} + 1,0 \cdot \frac{296,37}{0,98 \cdot 434,75} \leq 1,0$$

$$0,37 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$0,71 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

A zároveň:

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M0} N_{Rk}} + \frac{M_{Ed}}{\gamma_{M0} M_{Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{38,51}{3137,25} + \frac{296,37}{434,75} \leq 1,0$$

$$0,69 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

b) největší normálová síla s odpovídajícím ohybovým momentem

- zatřídění průřezu: (dle tab. 5.1 v [1])

1. stojina – stojina je namáhaná kombinací tlaku a ohybu

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{270,67}{55,62} = 4866 \text{ mm}$$

$$x = \frac{-e \cdot t_w + \sqrt{(e \cdot t_w)^2 + t_w \cdot W_{pl,y}}}{t_w} = \frac{-4866 \cdot 9,5 + \sqrt{(4866 \cdot 9,5)^2 + 9,5 \cdot 1,850 \cdot 10^6}}{9,5}$$

$$x = 19,97 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{0,5 \cdot d + x}{d} = \frac{0,5 \cdot 243 + 19,97}{243} = 0,58$$

$$\frac{c}{t} \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1}$$

$$\frac{297}{9,5} \leq \frac{396 \cdot 1}{13 \cdot 0,58 - 1}$$

$$31,3 \leq 60,6 \rightarrow \text{vyhovuje} - \text{stojina je třídy 1}$$

2. pásnice – pásnice je namáhaná tlakem

$$\frac{c}{t} \leq 9 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{145,25}{16,5} \leq 9 \cdot 1$$

$$8,8 \leq 9 \rightarrow \text{vyhovuje} - \text{pásnice je třídy 1}$$

Průřez je zaříděn do třídy 1.

- klopení: (viz. klopení 2.4.2 část a)

$$\chi_{LT} = 0,98$$

- interakce tlaku a ohybu: (viz. interakce tlaku a ohybu 2.4.2 část a)

$$c_{my} = 0,52$$

$$c_{mLT} = 0,52$$

$$N_{Rk} = 3137,25 \text{ kN}$$

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} c_{my} \cdot \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right] \\ c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) \end{array} \right)$$

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} 0,52 \cdot \left[1 + (0,26 - 0,2) \cdot \frac{55,62}{0,979 \cdot 3137,25} \right] \\ 0,712 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{55,62}{0,979 \cdot 3137,25} \right) \end{array} \right)$$

$$k_{yy} = \min(0,52, 0,53) \rightarrow k_{yy} = 0,52$$

$$k_{zy} = \max \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{c_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \\ 1 - \frac{0,1}{c_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \end{array} \right)$$

$$k_{zy} = \max \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 0,71}{0,52 - 0,25} \cdot \frac{55,62}{0,718 \cdot 3137,25} \\ 1 - \frac{0,1}{0,52 - 0,25} \cdot \frac{55,62}{0,718 \cdot 3137,25} \end{array} \right)$$

$$k_{zy} = \max(0,99, 0,99) \rightarrow k_{zy} = 0,99$$

- posouzení:

$$M_{Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 1,85 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3 = 434,75 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk}} \leq 1,0$$
$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk}} \leq 1,0$$
$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{55,62}{0,718 \cdot 3137,25} + 0,52 \cdot \frac{270,67}{0,98 \cdot 434,75} \leq 1,0$$
$$\frac{55,62}{1} + 0,52 \cdot \frac{270,67}{1} \leq 1,0$$

$$\frac{55,62}{0,718 \cdot 3137,25} + 0,99 \cdot \frac{270,67}{0,98 \cdot 434,75} \leq 1,0$$
$$\frac{55,62}{1} + 0,99 \cdot \frac{270,67}{1} \leq 1,0$$

$$0,35 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$0,66 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

A zároveň:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + \frac{M_{Ed}}{M_{Rk}} \leq 1,0$$
$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M0}} + \frac{M_{Ed}}{\gamma_{M0}} \leq 1,0$$

$$\frac{55,62}{3137,25} + \frac{270,67}{434,75} \leq 1,0$$
$$\frac{55,62}{1} + \frac{270,67}{1} \leq 1,0$$

$$0,64 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Smyk

$$V_{Ed} = 76,78 \text{ kN}$$

- KZS 540 - min. stálé zatížení + min. zatížení sněhem + max. zatížení větrem na sloup
(obvodový plášť)

1D vnitřní síly

Hodnoty: V_z

Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)540

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Lokální

Výběr: B2



Obr. 20: Průběh posouvající síly na sloupu – KZS 540

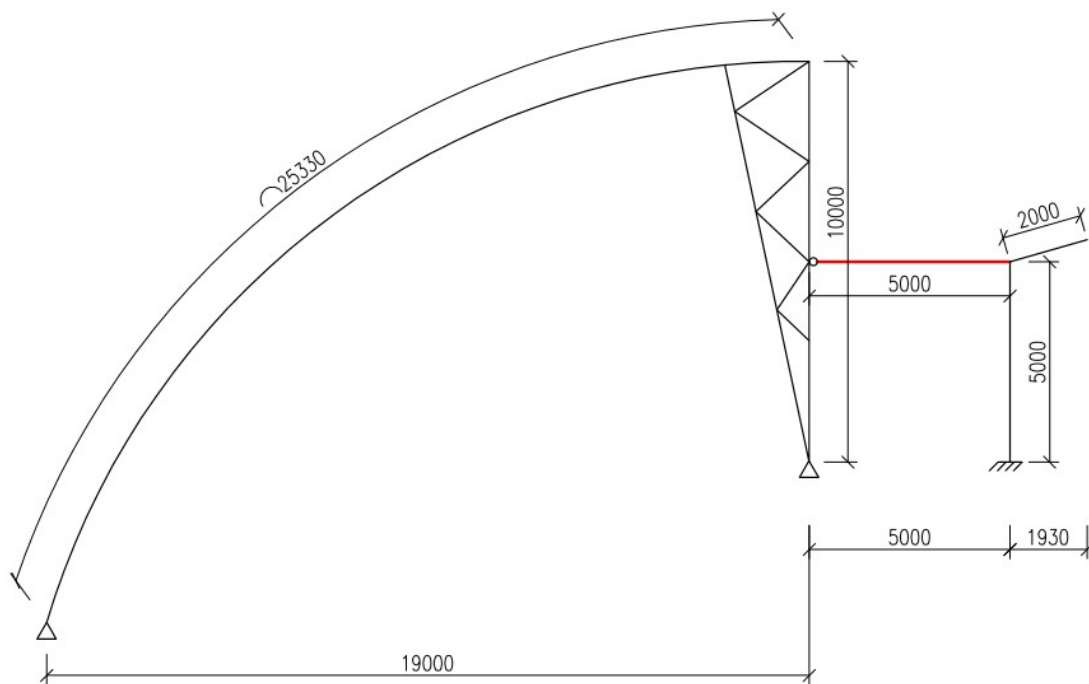
$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \geq V_{Ed}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{4,495 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 609,87 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 76,78 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Sloup vyhovuje.

2.5 Posouzení nosníku nad přístřeškem

válcované IPE 240		
$A = 3,912 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	$h = 240 \text{ mm}$	
$A_{vz} = 1,914 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	$b = 120 \text{ mm}$	
$I_y = 3,892 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$	$t_w = 6,2 \text{ mm}$	
$I_z = 2,836 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$	$t_f = 9,8 \text{ mm}$	
$I_w = 3,739 \cdot 10^{10} \text{ mm}^6$	$d = 190,4 \text{ mm}$	
$I_t = 1,288 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$	$i_y = 100 \text{ mm}$	
$W_{pl,y} = 3,666 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$	$i_z = 27 \text{ mm}$	
$W_{el,y} = 3,243 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$	$r = 15 \text{ mm}$	



Obr. 21: Znárodnění nosníku v řezu

2.5.1 MSP

$$\delta \leq \delta_{lim} = \frac{L}{250}$$

$$7,2 \text{ mm} \leq \frac{5000}{250} = 20 \text{ mm}$$

Vazník vyhovuje.

2.5.2 MSÚ

Nosník bude posuzován na kombinaci tlak + ohyb a na smyk.

Kombinace tlaku a ohybu

Kombinace tlaku a ohybu je posuzována v místě napojení na sloup přístřešku, kde budou vyšetřeny dva stavy, pro největší moment s odpovídající normálovou silou a pro největší normálovou sílu s odpovídajícím ohybovým momentem.

a) $M_{Ed} = 70,11 \text{ kNm} + N_{Ed} = 61,32 \text{ kN}$

- KZS 324 – min. stálé zatížení + max. trojúhelníkové zatížení sněhem

1D vnitřní sílyHodnoty: **M_y**

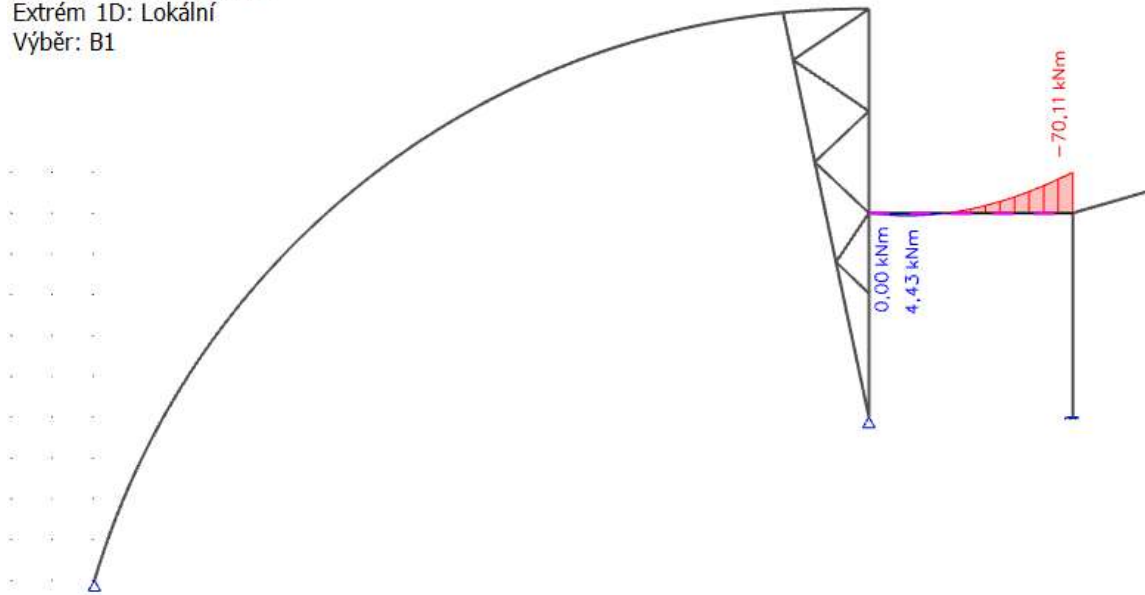
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)324

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Lokální

Výběr: B1

*Obr. 22: Průběh ohybového momentu na nosníku – KZS 324***1D vnitřní síly**Hodnoty: **N**

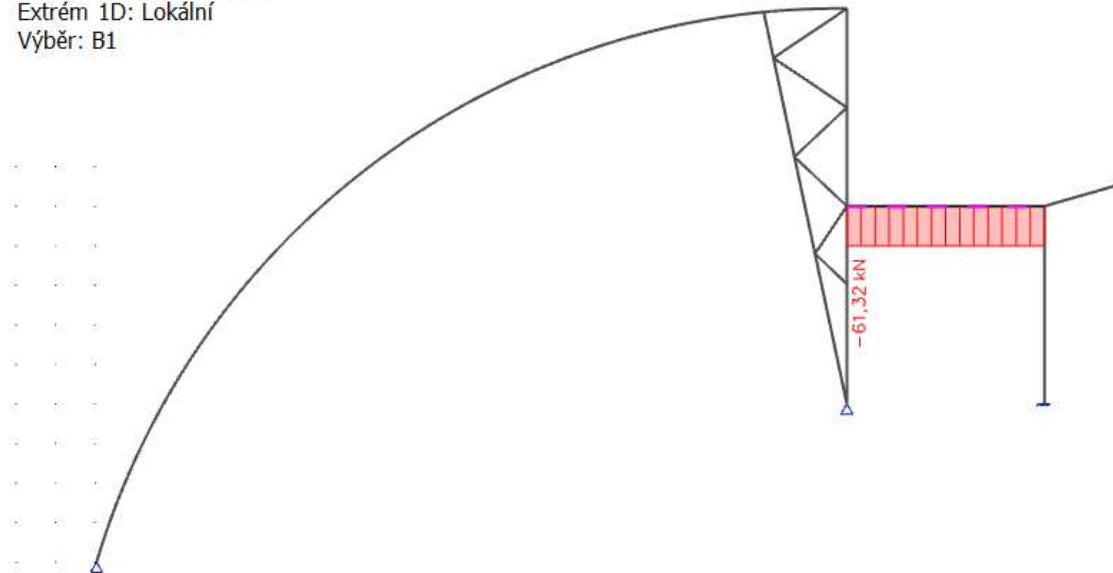
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)324

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Lokální

Výběr: B1

*Obr. 23: Průběh normálové síly na nosníku – KZS 324*

$$b) M_{Ed} = 49,97 \text{ kNm} + N_{Ed} = 64,99 \text{ kN}$$

- KZS 585 – min. stálé zatížení + max. zatížení větrem na sloupy (obvodový plášť)

1D vnitřní síly

Hodnoty: M_y

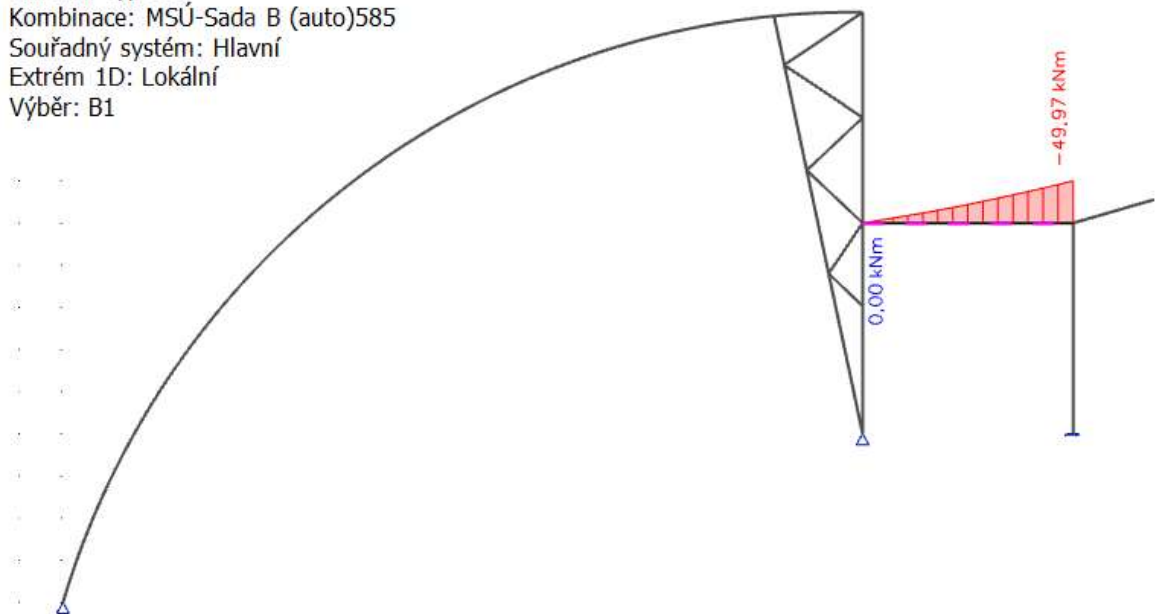
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)585

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Lokální

Výběr: B1



Obr. 24: Průběh ohybového momentu na nosníku – KZS 585

1D vnitřní síly

Hodnoty: N

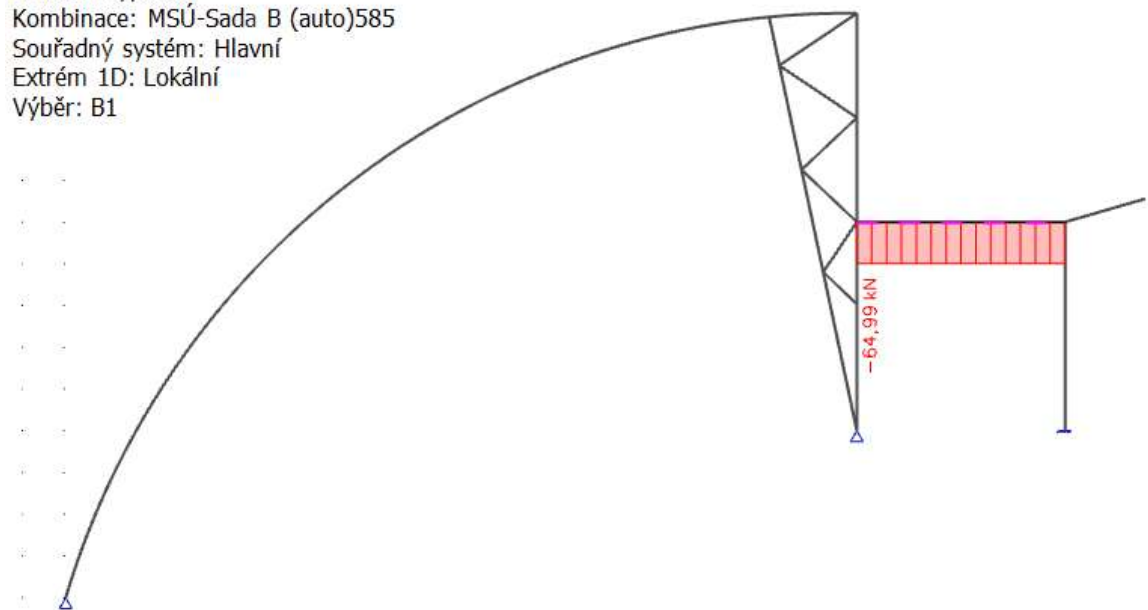
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)585

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Lokální

Výběr: B1



Obr. 25: Průběh normálové síly na nosníku – KZS 585

Oba dva stavy posoudíme s vlivem klopení, protože tlačená pásnice vazníku není vaznicemi držena proti klopení. Není tedy zabráněno klopení průřezu.

- vzpěrné délky:

a) v rovině sloupu $L_{Cr,y} = k_y \cdot L = 0,84 \cdot 5,0 \text{ m} = 4,2 \text{ m}$

Součinitel k_y byl převzat ze softwaru SCIA Engineer, kde byla konstrukce posouzena na vzpěr.

Pro určení vzpěrné délky v rovině nosníku uvažujeme délku nosníku L , což je vzdálenost mezi kloubovým připojením k příhradovému sloupu a místem napojení na sloup přístřešku.

b) z roviny oblouku $L_{Cr,z} = 2,5 \text{ m}$

Pro určení vzpěrné délky z roviny nosníku uvažujeme délku mezi vaznicemi, kterými je nosník držen proti vybočení z roviny.

- štíhlost prutu:

$$\lambda_y = \frac{L_{Cr,y}}{i_y} = \frac{4200}{100} = 42$$

$$\lambda_z = \frac{L_{Cr,z}}{i_z} = \frac{2500}{27} = 92,59$$

- relativní štíhlost:

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1 = 93,9$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

- poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{42}{93,9} = 0,45$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{92,59}{93,9} = 0,99$$

- křivky vzpěrnosti pro vybočení: (dle tab. 5.5 v [1])

a) pro vybočení kolmo k ose y-y...křivka vzpěrnosti $a \rightarrow \chi_y = 0,939$

b) pro vybočení kolmo k ose z-z...křivka vzpěrnosti $b \rightarrow \chi_z = 0,603$

a) největší ohybový moment s odpovídající normálovou silou

- zatřídění průřezu: (dle tab. 5.1 v [1])

1. stojina – stojina je namáhaná kombinací tlaku a ohybu

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{70,11}{61,32} = 1143 \text{ mm}$$

$$x = \frac{-e \cdot t_w + \sqrt{(e \cdot t_w)^2 + t_w \cdot W_{pl,y}}}{t_w} = \frac{-1143 \cdot 6,2 + \sqrt{(1143 \cdot 6,2)^2 + 6,2 \cdot 3,666 \cdot 10^5}}{6,2}$$

$$x = 25,58 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{0,5 \cdot d + x}{d} = \frac{0,5 \cdot 190,4 + 25,58}{190,4} = 0,63$$

$$\frac{c}{t} \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1}$$

$$\frac{220,4}{6,2} \leq \frac{396 \cdot 1}{13 \cdot 0,63 - 1}$$

$$35,5 \leq 55,1 \rightarrow \text{vyhovuje} - \text{stojina je třídy 1}$$

2. pásnice – pásnice je namáhaná tlakem

$$\frac{c}{t} \leq 9 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{56,9}{9,8} \leq 9 \cdot 1$$

$$5,8 \leq 9 \rightarrow \text{vyhovuje} - \text{pásnice je třídy 1}$$

Průřez je zatříděn do třídy 1.

- klopení:

Pro zjednodušení výpočtu uvažujeme mezi body zajištěnými proti klopení průběh momentu lineární. Lze tedy uvažovat součinitel $C_2 = 0$.

$$k_z = 1 \quad k_w = 1$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 5} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^6 \cdot 3,739 \cdot 10^{-8}}{81 \cdot 10^6 \cdot 1,288 \cdot 10^{-7}}} = 0,54$$

$$C_1 = 1,83 \text{ (dle tab. NB 3.1. v [9])}$$

$$\mu_{Cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2} = \frac{1,83}{1} \cdot \sqrt{1 + 0,54^2} = 2,08$$

$$M_{Cr} = \mu_{Cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 2,08 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^6 \cdot 2,836 \cdot 10^{-6} \cdot 81 \cdot 10^6 \cdot 1,288 \cdot 10^{-7}}}{5}$$

$$M_{Cr} = 103,16 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{Cr}}} = \sqrt{\frac{3,666 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{103,16}} = 0,91$$

- křivka pro klopení: (dle tab. 5.5 v [1])

křivka vzpěrné pevnosti a (válcovaný profil, $h/b \leq 2$) $\rightarrow \chi_{LT} = 0,727$

- interakce tlaku a ohybu:

Určení součinitele c_{my} (dle tab. B.3 v [9]):

$$\Psi = 0$$

$$c_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0 = 0,6$$

Určení součinitele C_{mLT} (dle tab. B.3 v [9]):

$$\Psi = 0$$

$$c_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0 = 0,6$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 3,912 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3 = 919,32 \text{ kN}$$

$$k_{yy} = \min \left(c_{my} \cdot \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right], c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) \right)$$

$$k_{yy} = \min \left(0,6 \cdot \left[1 + (0,45 - 0,2) \cdot \frac{61,32}{0,939 \cdot 919,32} \right], 0,6 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{61,32}{0,939 \cdot 919,32} \right) \right)$$

$$k_{yy} = \min(0,61, 0,63) \rightarrow k_{yy} = 0,61$$

$$k_{zy} = \max \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{c_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \\ 1 - \frac{0,1}{c_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \end{array} \right)$$

$$k_{zy} = \max \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 0,97}{0,6 - 0,25} \cdot \frac{61,32}{0,616 \cdot 919,32} \\ 1 - \frac{0,1}{0,6 - 0,25} \cdot \frac{61,32}{0,616 \cdot 919,32} \end{array} \right)$$

$$k_{zy} = \max \left(\begin{array}{l} 0,97 \\ 0,97 \end{array} \right) \rightarrow k_{zy} = 0,97$$

- posouzení:

$$M_{Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 3,666 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3 = 86,151 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{61,32}{0,939 \cdot 919,32} + 0,61 \cdot \frac{70,11}{0,727 \cdot 86,151} \leq 1,0$$

$$\frac{61,32}{0,7616 \cdot 919,32} + 0,97 \cdot \frac{70,11}{0,727 \cdot 86,151} \leq 1,0$$

$$0,75 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$1,2 \leq 1,0 \rightarrow \text{nevyhovuje}$$

A zároveň:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + \frac{M_{Ed}}{M_{Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{61,32}{919,32} + \frac{70,11}{86,151} \leq 1,0$$

$$0,88 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Nosník nevyhověl. Navrhne tedy vzpěrky v místě vaznic. Vaznice jsou od sebe vzdálené 2,5 m. Délka pro klopení nosníku bude uvažována $L = 2,5$ m.

- klopení:

Pro zjednodušení výpočtu uvažujeme mezi body zajištěnými proti klopení průběh momentu lineární. Lze tedy uvažovat součinitel $C_2 = 0$.

$$k_z = 1 \quad k_w = 1$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 2,5} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^6 \cdot 3,739 \cdot 10^{-8}}{81 \cdot 10^6 \cdot 1,288 \cdot 10^{-7}}} = 1,09$$

$$C_1 = 1,85 \text{ (dle tab. NB v [9])}$$

$$\mu_{Cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2} = \frac{1,85}{1} \cdot \sqrt{1 + 1,09^2} = 2,74$$

$$M_{Cr} = \mu_{Cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 2,74 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^6 \cdot 2,836 \cdot 10^{-6} \cdot 81 \cdot 10^6 \cdot 1,288 \cdot 10^{-7}}}{2,5}$$

$$M_{Cr} = 270,88 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{Cr}}} = \sqrt{\frac{3,666 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{270,88}} = 0,56$$

- křivka vzpěrnosti pro klopení: (dle tab. 5.5 v [1])

$$\text{křivka vzpěrné pevnosti } a \text{ (válcovaný profil, } h/b \leq 2) \rightarrow \chi_{LT} = 0,905$$

- interakce tlaku a ohybu:

Určení součinitele c_{my} (dle tab. B.3 v [9]):

$$\Psi = 0$$

$$c_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0 = 0,6$$

Určení součinitele C_{mLT} (dle tab. B.3 v [9]):

$$\Psi = 0$$

$$c_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0 = 0,6$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 3,912 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3 = 919,32 \text{ kN}$$

$$k_{yy} = \min \left(c_{my} \cdot \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right] \right. \\ \left. c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) \right)$$

$$k_{yy} = \min \left(0,6 \cdot \left[1 + (0,45 - 0,2) \cdot \frac{61,32}{\frac{0,939 \cdot 919,32}{1}} \right] \right. \\ \left. 0,6 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{61,32}{\frac{0,939 \cdot 919,32}{1}} \right) \right)$$

$$k_{yy} = \min(0,61) \\ (0,63) \rightarrow k_{yy} = 0,61$$

$$k_{zy} = \max \left(1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{c_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right. \\ \left. 1 - \frac{0,1}{c_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right)$$

$$k_{zy} = \max \left(1 - \frac{0,1 \cdot 0,97}{0,6 - 0,25} \cdot \frac{61,32}{\frac{0,616 \cdot 919,32}{1}} \right. \\ \left. 1 - \frac{0,1}{0,6 - 0,25} \cdot \frac{61,32}{\frac{0,616 \cdot 919,32}{1}} \right)$$

$$k_{zy} = \max(0,97) \\ (0,97) \rightarrow k_{zy} = 0,97$$

- posouzení:

$$M_{Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 3,666 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3 = 86,151 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{61,32}{\frac{0,939 \cdot 919,32}{1}} + 0,61 \cdot \frac{70,11}{\frac{0,905 \cdot 86,151}{1}} \leq 1,0$$

$$\frac{61,32}{0,616 \cdot 919,32} + 0,97 \cdot \frac{70,11}{0,905 \cdot 86,151} \leq 1,0$$

$$0,62 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$0,98 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

A zároveň:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + \frac{M_{Ed}}{M_{Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{61,32}{919,32} + \frac{70,11}{86,151} \leq 1,0$$

$$0,88 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

b) největší normálová síla s odpovídajícím ohybovým momentem

- zařídění průřezu: (dle tab. 5.1 v [1])

1. stojina – stojina je namáhaná kombinací tlaku a ohybu

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{49,97}{64,99} = 769 \text{ mm}$$

$$x = \frac{-e \cdot t_w + \sqrt{(e \cdot t_w)^2 + t_w \cdot W_{pl,y}}}{t_w} = \frac{-769 \cdot 6,2 + \sqrt{(769 \cdot 6,2)^2 + 6,2 \cdot 3,666 \cdot 10^5}}{6,2}$$

$$x = 37,53 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{0,5 \cdot d + x}{d} = \frac{0,5 \cdot 190,4 + 37,53}{190,4} = 0,7$$

$$\frac{c}{t} \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1}$$

$$\frac{220,4}{6,2} \leq \frac{396 \cdot 1}{13 \cdot 0,7 - 1}$$

$$35,5 \leq 48,9 \rightarrow \text{vyhovuje} - \text{stojina je třídy 1}$$

2. pásnice – pásnice je namáhaná tlakem

$$\frac{c}{t} \leq 9 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{56,9}{9,8} \leq 9 \cdot 1$$

$$5,8 \leq 9 \rightarrow \text{vyhovuje} - \text{pásnice je třídy 1}$$

Průřez je zaříděn do třídy 1.

- klopení:

Pro zjednodušení výpočtu uvažujeme mezi body zajištěnými proti klopení průběh momentu lineární. Lze tedy uvažovat součinitel $C_2 = 0$.

V části *a* v kapitole 2.5.2 byly navrženy kvůli nevyhovujícímu posudku nosníku vzpěrky. Nosník bude tedy posouzen s klopením na délce $L = 2,5$ m.

$$k_z = 1 \quad k_w = 1$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 2,5} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^6 \cdot 3,739 \cdot 10^{-8}}{81 \cdot 10^6 \cdot 1,288 \cdot 10^{-7}}} = 1,09$$

$$C_1 = 1,44 \text{ (dle tab. NB 3.1 v [9])}$$

$$\mu_{Cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2} = \frac{1,44}{1} \cdot \sqrt{1 + 1,09^2} = 2,13$$

$$M_{Cr} = \mu_{Cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 2,13 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^6 \cdot 2,836 \cdot 10^{-6} \cdot 81 \cdot 10^6 \cdot 1,288 \cdot 10^{-7}}}{2,5}$$

$$M_{Cr} = 210,85 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{Cr}}} = \sqrt{\frac{3,666 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{210,85}} = 0,64$$

- křivka pro klopení: (dle tab. 5.5 v [1])

křivka vzpěrné pevnosti *a* (válcovaný profil, $h/b \leq 2$) $\rightarrow \chi_{LT} = 0,874$

- interakce tlaku a ohybu:

Určení součinitele c_{my} (dle tab. B.3 v [9]):

$$\Psi = 0$$

$$c_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0 = 0,6$$

Určení součinitele C_{mLT} (dle tab. B.3 v [9]):

$$\Psi = 0,35$$

$$c_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,35 = 0,74$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 3,912 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3 = 919,32 \text{ kN}$$

$$k_{yy} = \min \left(c_{my} \cdot \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right] \right. \\ \left. c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) \right)$$

$$k_{yy} = \min \left(0,6 \cdot \left[1 + (0,45 - 0,2) \cdot \frac{64,99}{\frac{0,939 \cdot 919,32}{1}} \right] \right. \\ \left. 0,6 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{64,99}{\frac{0,939 \cdot 919,32}{1}} \right) \right)$$

$$k_{yy} = \min(0,61) \rightarrow k_{yy} = 0,61$$

$$k_{zy} = \max \left(1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{c_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right. \\ \left. 1 - \frac{0,1}{c_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right)$$

$$k_{zy} = \max \left(1 - \frac{0,1 \cdot 0,97}{0,74 - 0,25} \cdot \frac{64,99}{\frac{0,616 \cdot 919,32}{1}} \right. \\ \left. 1 - \frac{0,1}{0,74 - 0,25} \cdot \frac{64,99}{\frac{0,616 \cdot 919,32}{1}} \right)$$

$$k_{zy} = \max(0,98) \rightarrow k_{zy} = 0,98$$

- posouzení:

$$M_{Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 3,666 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3 = 86,151 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{64,99}{\frac{0,939 \cdot 919,32}{1}} + 0,61 \cdot \frac{49,97}{\frac{0,874 \cdot 86,151}{1}} \leq 1,0$$

$$\frac{64,99}{0,616 \cdot 919,32} + 0,98 \cdot \frac{49,97}{0,874 \cdot 86,151} \leq 1,0$$

$$0,48 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$0,77 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

A zároveň:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + \frac{M_{Ed}}{M_{Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{64,99}{919,32} + \frac{49,97}{86,151} \leq 1,0$$

$$0,65 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Smyk

$$V_{Ed} = 34,98 \text{ kN}$$

- KZS 324 - min. stálé zatížení + min. zatížení sněhem + max. zatížení větrem na sloup

(obvodový plášť)

1D vnitřní síly

Hodnoty: V_z

Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)324

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Lokální

Výběr: B1



Obr. 26: Průběh posouvající síly na nosníku – KZS 324

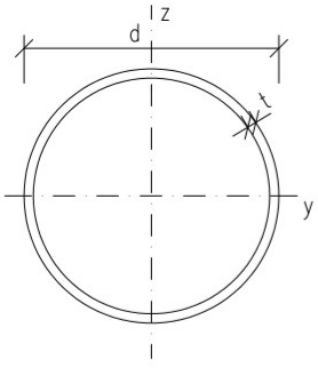
$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \geq V_{Ed}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{1,914 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 259,69 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 34,98 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Nosník vyhovuje.

2.6 Posouzení příhradového sloupu

- levý a pravý pás:

za tepla válcované CHS 219.1/8.0		
$A = 5,31 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$ $A_{vz} = 3,378 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$ $I_y = 2,960 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$ $I_z = 2,960 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$ $W_{pl,y} = 3,511 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ $W_{el,y} = 2,700 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$	$d = 219,1 \text{ mm}$ $t = 8 \text{ mm}$ $i_y = 75 \text{ mm}$ $i_z = 75 \text{ mm}$	

- zařídění průřezu: (dle tab. 5.1 v [1])

→ průřez je tlačný

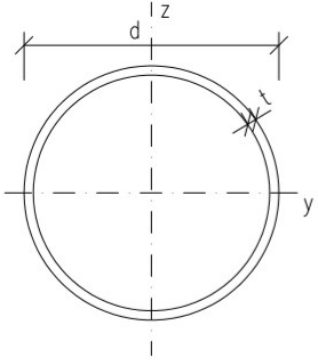
$$\frac{d}{t} \leq 50 \varepsilon^2$$

$$\frac{219,1}{8} \leq 50 \cdot 1^2$$

$$27,4 \leq 50 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Průřez je zaříděn do 1. třídy.

- diagonály:

za tepla válcované CHS 60.3/4.0		
$A = 7,070 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$ $A_{vz} = 4,504 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$ $I_y = 2,820 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$ $I_z = 2,820 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$ $W_{pl,y} = 1,250 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$ $W_{el,y} = 9,340 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$	$d = 60,3 \text{ mm}$ $t = 4 \text{ mm}$ $i_y = 20 \text{ mm}$ $i_z = 20 \text{ mm}$	

- zařídění průřezu: (dle tab. 5.1 v [1])

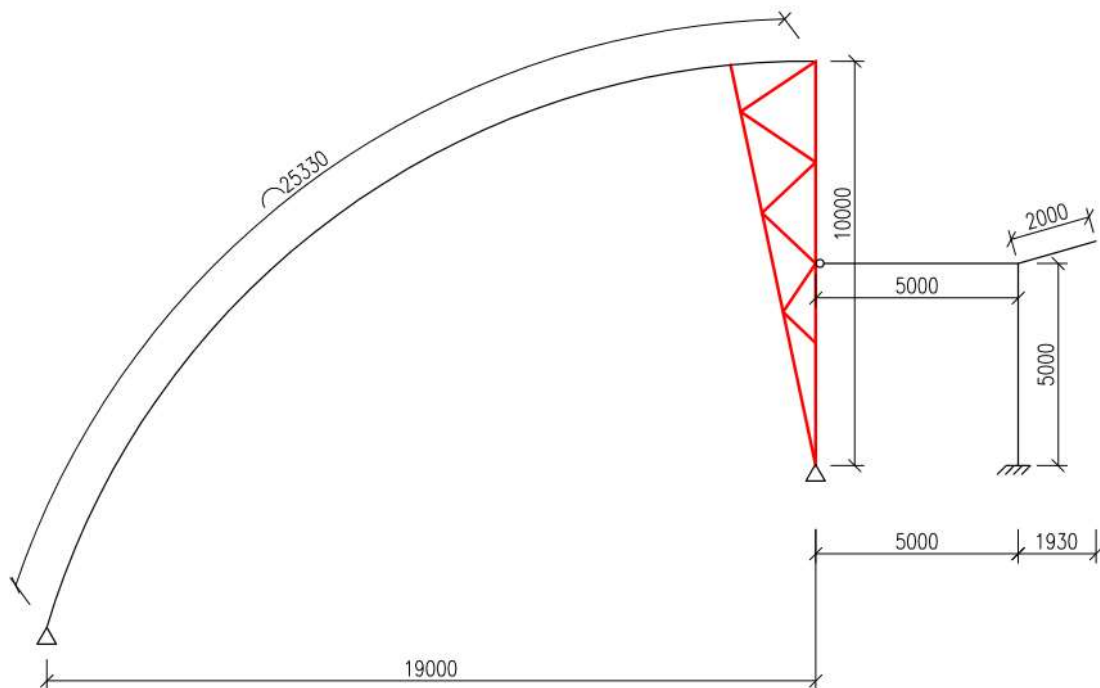
→ průřez je tlačný

$$\frac{d}{t} \leq 50 \varepsilon^2$$

$$\frac{60,3}{4} \leq 50 \cdot 1^2$$

$$15,1 \leq 50 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Průřez je zaříděn do 1. třídy.



Obr. 27: Znárodnění příhradového sloupu v řezu

2.6.1 MSP

$$\delta \leq \delta_{lim} = \frac{L}{200}$$

$$44,3 \text{ mm} \leq \frac{10000}{200} = 50 \text{ mm}$$

Sloup vyhovuje.

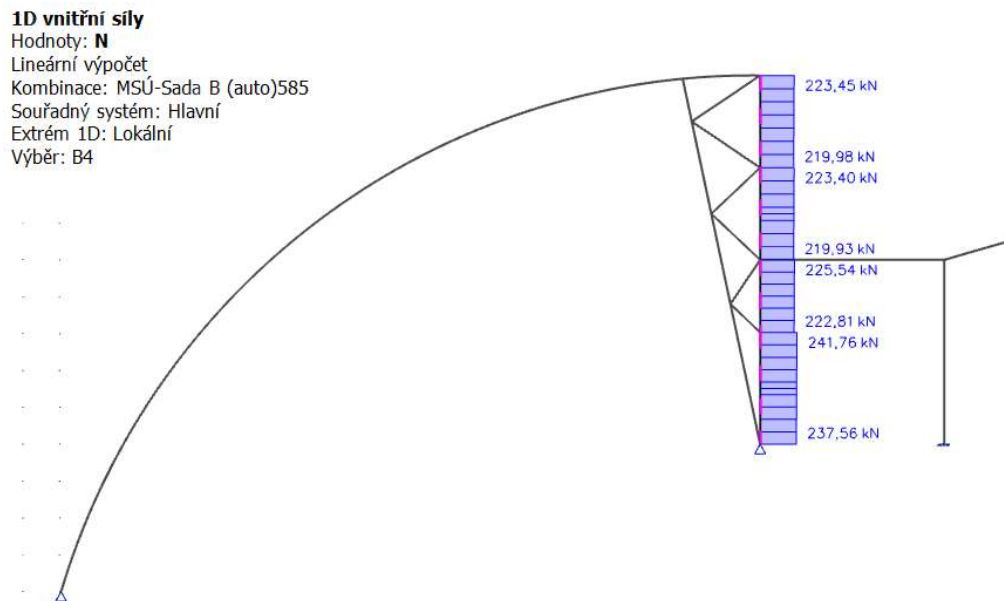
Bylo provedeno snížení limitního vodorovného posunu vzhledem ke skleněné konstrukci střešního pláště. Pro přesnější posouzení MSP by byl limitní vodorovný posun specifikován výrobcem.

2.6.2 MSÚ

Prvky příhradového sloupu budou posuzovány na tah a tlak.

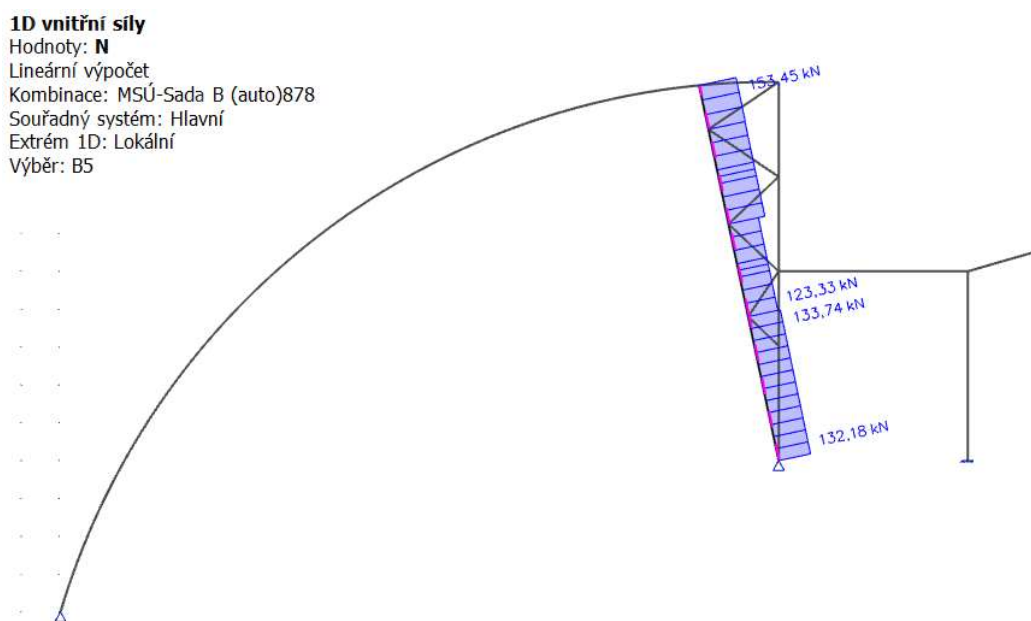
a) posouzení tažených prutů

- KZS 585 - min. stálé zatížení + max. zatížení větrem na sloupy (obvodový plášť)



Obr. 28: Průběh normálové síly na pravém pasu – KZS 585

- KZS 878 – min. stálé zatížení + max. sání větru na oblouk

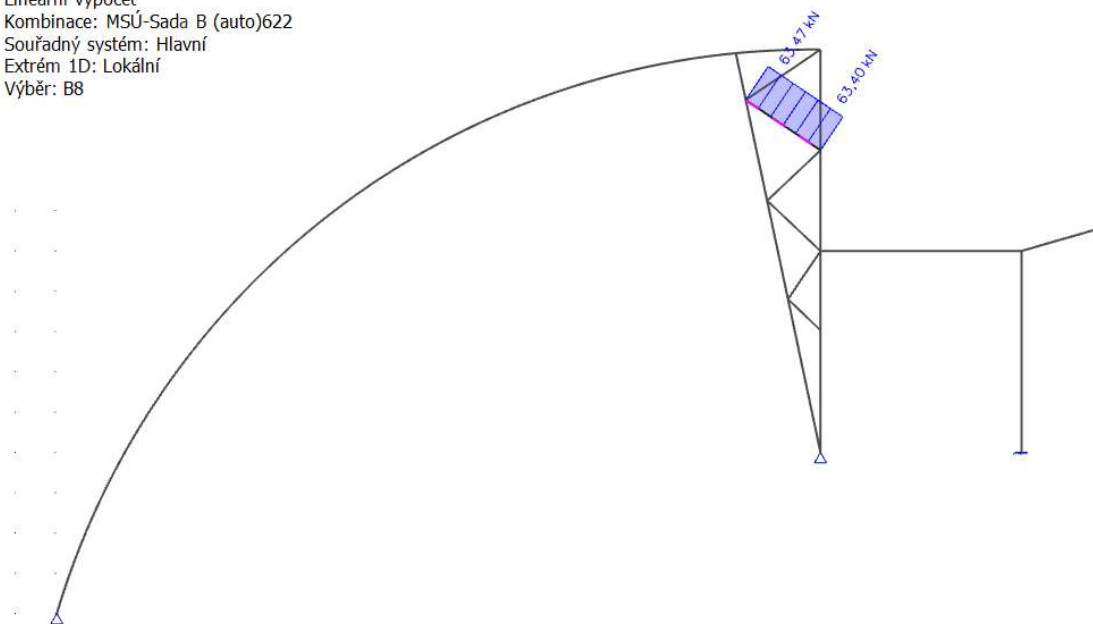


Obr. 29: Průběh normálové síly na levém pasu – KZS 878

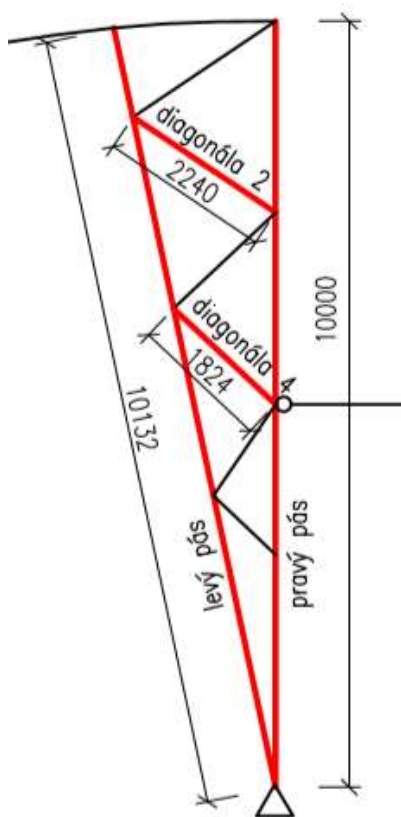
- KZS 622 – min. stálé zatížení + max. zatížení větrem na sloupky (obvodový plášť)

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**
 Lineární výpočet
 Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)622
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Lokální
 Výběr: B8



Obr. 30: Průběh normálové síly na diagonále 2 – KZS 622



1. pravý pás – CHS 219.1/8.0

$$N_{t,Ed} = 241,76 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \geq N_{t,Ed}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{5,31 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1}$$

$$N_{t,Rd} = 1247,85 \text{ kN} \geq N_{t,Ed} = 241,76 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

2. levý pás – CHS 219.1/8.0

$$N_{t,Ed} = 153,45 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \geq N_{t,Ed}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{5,31 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1}$$

$$N_{t,Rd} = 1247,85 \text{ kN} \geq N_{t,Ed} = 153,45 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Obr. 31: Znázornění diagonál a pásů sloupu

3. diagonála 2 – CHS 60.3/4.0

Pro posouzení tažených diagonál byla vybrána diagonála s největší tahovou normálovou silou a s největší délkou prutu.

$$N_{t,Ed} = 63,47 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \geq N_{t,Ed}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{7,07 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 166,145 \text{ kN} \geq N_{t,Ed} = 63,47 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

b) posouzení tlačných prutů

1. pravý pás – CHS 219.1/8.0

- vzpěrné délky:

$$\text{a) v rovině pásu } L_{Cr,y} = k_y \cdot L = 0,94 \cdot 3,032 \text{ m} = 2,85 \text{ m}$$

Součinitel k_y byl převzat ze softwaru SCIA Engineer, kde byla konstrukce posouzena na vzpěr.

Pro určení vzpěrné délky v rovině pravého pásu uvažujeme největší délku pásu L, což je vzdálenost mezi dvěma body, kde dochází k držení pásu proti vybočení v rovině diagonálami.

$$\text{b) z roviny pásu } L_{Cr,z} = L = 10,0 \text{ m}$$

Pro určení vzpěrné délky z roviny pravého pásu uvažujeme celou délku pásu L. Pás není držen proti vybočení z roviny.

Pro posouzení pravého pásu rozhoduje vybočení z roviny, proto pro další postup výpočtu je počítáno pouze s kritickou délkou pásu $L_{Cr,z}$.

- štíhlost prutu:

$$\lambda_z = \frac{L_{Cr,z}}{i_z} = \frac{10000}{75} = 133,33$$

- relativní štíhlost:

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1 = 93,9$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

- poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{133,33}{93,9} = 1,42$$

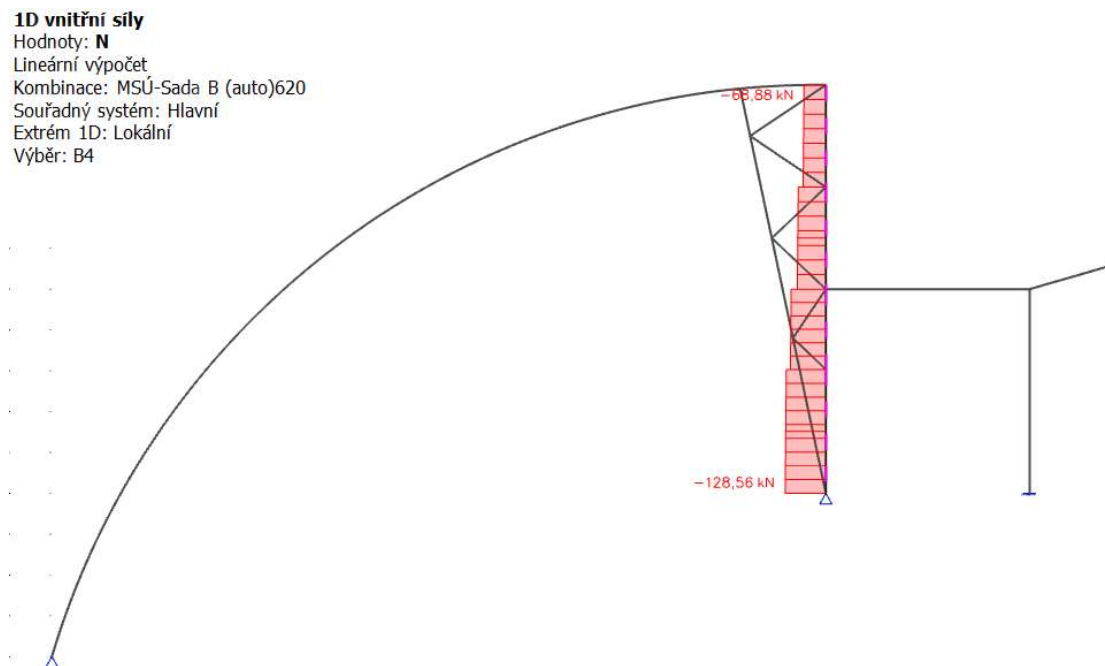
- křivky vzpěrnosti pro vybočení: (tab. 5.5 v [1])

pro vybočení kolmo k ose z-z...křivka vzpěrnosti $a \rightarrow \chi_z = 0,408$

- posouzení:

$$N_{b,Ed} = 128,56 \text{ kN}$$

- KZS 620 – min. stálé zatížení + max. zatížením větrem na sloupy (obvodový plášť)



Obr. 32: Průběh normálové síly na pravém pasu – KZS 620

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \geq N_{b,Ed}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,408 \cdot 5,31 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 509,12 \text{ kN} \geq N_{b,Ed} = 128,56 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

2. levý pás – CHS 219.1/8.0

- vzpěrné délky:

$$a) \text{ v rovině pásu } L_{Cr,y} = k_y \cdot L = 0,98 \cdot 3,888 \text{ m} = 3,81 \text{ m}$$

Součinitel k_y byl převzat ze softwaru SCIA Engineer, kde byla konstrukce posouzena na vzpěr.

Pro určení vzpěrné délky v rovině levého pásu uvažujeme největší délku pásu L , což je vzdálenost mezi dvěma body, kde dochází k držení pásu proti vybočení v rovině diagonálami.

$$b) \text{ z roviny pásu } L_{Cr,z} = L = 10,132 \text{ m}$$

Pro určení vzpěrné délky z rovině levého pásu uvažujeme celou délku pásu L . Pás není držen proti vybočení z roviny.

Pro posouzení levého pásu rozhoduje vybočení z roviny, proto pro další postup výpočtu je počítáno pouze s kritickou délkou pásu $L_{Cr,z}$.

- štíhlost prutu:

$$\lambda_z = \frac{L_{Cr,z}}{i_z} = \frac{10132}{75} = 135,09$$

- relativní štíhlost:

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1 = 93,9$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

- poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{135,09}{93,9} = 1,44$$

- křivky vzpěrnosti pro vybočení: (tab. 5.5 v [1])

pro vybočení kolmo k ose z-z...křivka vzpěrnosti $a \rightarrow \chi_z = 0,399$

- posouzení:

$$N_{b,Ed} = 397,84 \text{ kN}$$

- KZS 506 – min. stálé zatížení + max. zatížením větrem na sloupy (obvodový plášť)

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

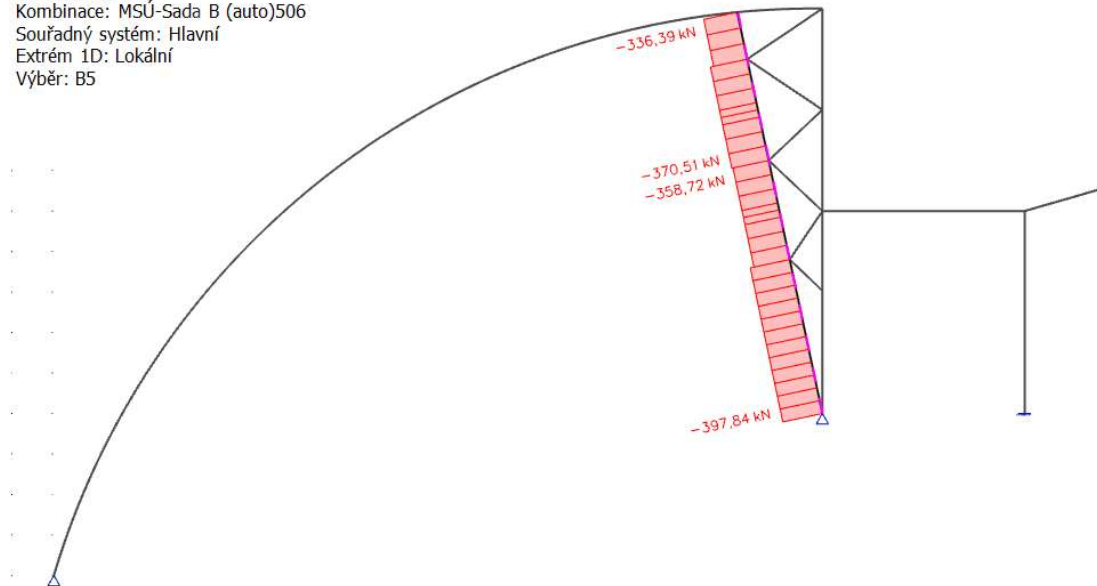
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)506

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Lokální

Výběr: B5



Obr. 33: Průběh normálové síly na levém pasu – KZS 506

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \geq N_{b,Ed}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,399 \cdot 5,31 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 498,83 \text{ kN} \geq N_{b,Ed} = 397,84 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

3. diagonála 2 – CHS 60.3/4.0

Pro posouzení tlačných diagonál byla vybrána diagonála 4 s největší tlakovou normálovou silou a diagonála 2 s největší délkou prutu.

- vzpěrné délky:

a) v rovině pásu $L_{Cr,y} = k_y \cdot L = 0,75 \cdot 2,24 \text{ m} = 1,68 \text{ m}$

Pro určení vzpěrné délky v rovině diagonály uvažujeme délku diagonály L. Vzpěrná délka $L_{Cr,y}$ se určí jako 0,75 L, protože poměr šířky profilu diagonály k šířce profilu pásu je menší než 0,6.

b) z roviny pásu $L_{Cr,z} = L_{Cr,y} = 1,68 \text{ m}$

- štíhlost prutu:

$$\lambda_y = \frac{L_{Cr,y}}{i_y} = \frac{1680}{20} = 84$$

- relativní štíhlost:

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1 = 93,9$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

- poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{84}{93,9} = 0,89$$

- křivky vzpěrnosti pro vybočení: (tab. 5.5 v [1])

pro vybočení kolmo k ose z-z...křivka vzpěrnosti $a \rightarrow \chi_z = 0,740$

- posouzení:

$$N_{b,Ed} = 63,48 \text{ kN}$$

- KZS 579 – min. stálé zatížení + max. zatížení větrem na sloupy (obvodový plášť) + sání větru na přístřešek

1D vnitřní sílyHodnoty: **N**

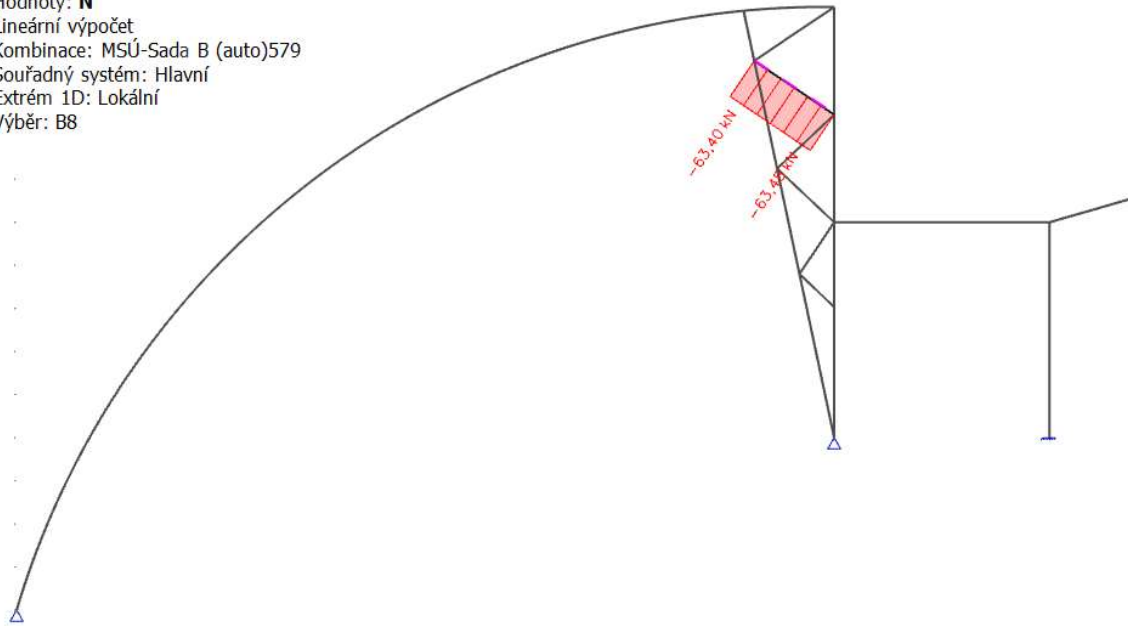
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)579

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Lokální

Výběr: B8



Obr. 34: Průběh normálové síly na diagonále 2 – KZS 579

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \geq N_{b,Ed}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,740 \cdot 7,07 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 122,95 \text{ kN} \geq N_{b,Ed} = 63,48 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

4. diagonála 4 – CHS 60.3/4.0

Pro posouzení tlakových diagonál byla vybrána diagonála 4 s největší tlakovou normálovou silou a diagonála 2 s největší délkou prutu.

- vzpěrné délky:

$$\text{a) v rovině pásu } L_{Cr,y} = k_y \cdot L = 0,75 \cdot 1,824 \text{ m} = 1,368 \text{ m}$$

Pro určení vzpěrné délky v rovině diagonály uvažujeme délku diagonály L. Vzpěrná délka $L_{Cr,y}$ se určí jako 0,75 L, protože poměr šířky profilu diagonály k šířce profilu pásu je menší než 0,6.

$$\text{b) z roviny pásu } L_{Cr,z} = L_{Cr,y} = 1,368 \text{ m}$$

- štíhlost prutu:

$$\lambda_y = \frac{L_{Cr,y}}{i_y} = \frac{1368}{20} = 68,4$$

- relativní štíhlost:

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1 = 93,9$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

- poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{68,4}{93,9} = 0,73$$

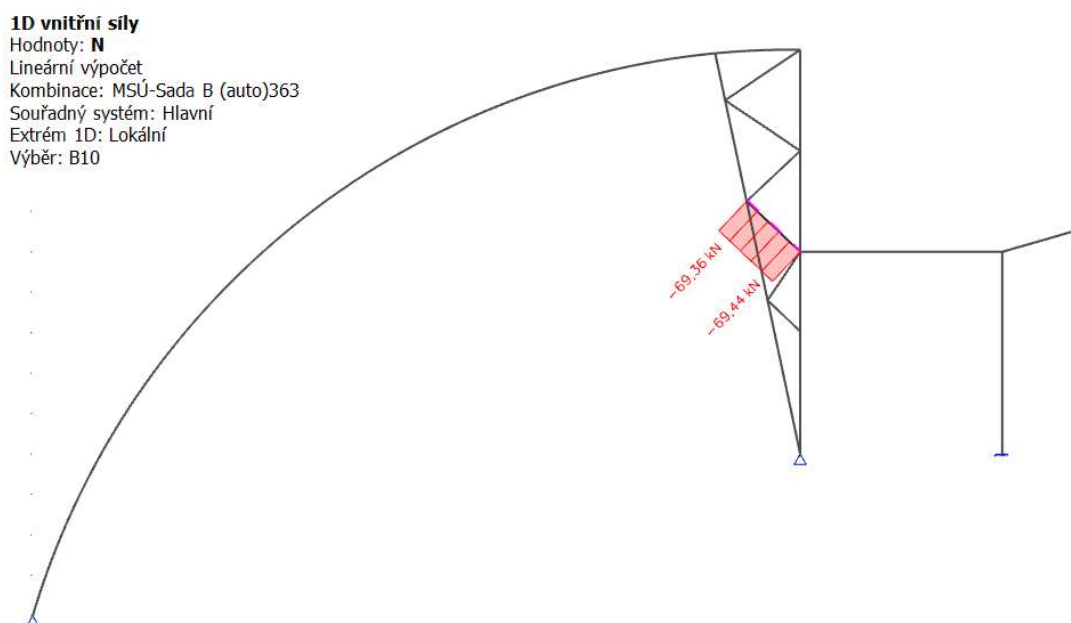
- křivky vzpěrnosti pro vybočení: (tab. 5.5 v [1])

pro vybočení kolmo k ose z-z...křivka vzpěrnosti $a \rightarrow \chi_z = 0,833$

- posouzení:

$$N_{b,Ed} = 69,44 \text{ kN}$$

- KZS 363 – min. stálé zatížení + max. trojúhelníkové zatížení sněhem



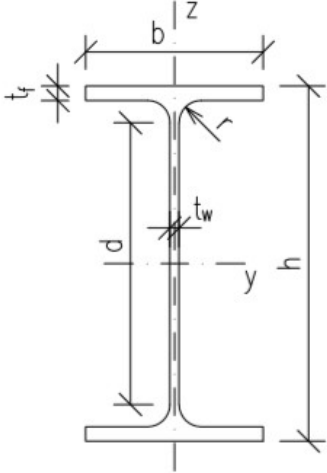
Obr. 35: Průběh normálové síly na diagonále 4 – KZS 363

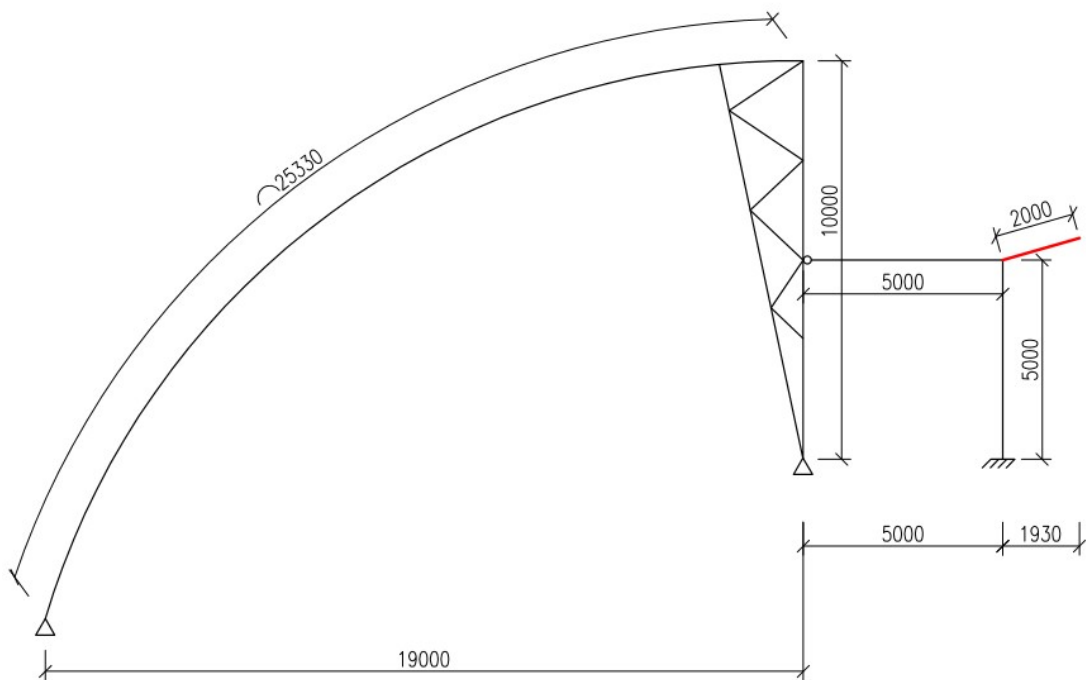
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \geq N_{b,Ed}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,833 \cdot 7,07 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 138,4 \text{ kN} \geq N_{b,Ed} = 69,44 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Příhradový sloup vyhovuje.

2.7 Posouzení vykonzolované části přístřešku

válcované IPE 240		
$A = 3,912 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	$h = 240 \text{ mm}$	
$A_{vz} = 1,914 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	$b = 120 \text{ mm}$	
$I_y = 3,892 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$	$t_w = 6,2 \text{ mm}$	
$I_z = 2,836 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$	$t_f = 9,8 \text{ mm}$	
$I_w = 3,739 \cdot 10^{10} \text{ mm}^6$	$d = 190,4 \text{ mm}$	
$I_t = 1,288 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$	$i_y = 100 \text{ mm}$	
$W_{pl,y} = 3,666 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$	$i_z = 27 \text{ mm}$	
$W_{el,y} = 3,243 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$	$r = 15 \text{ mm}$	



Obr. 36: Znárodnění konzoly v řezu

2.7.1 MSP

$$\delta \leq \delta_{lim} = \frac{L \cdot 2}{250}$$
$$14,6 \text{ mm} \leq \frac{2000 \cdot 2}{250} = 16 \text{ mm}$$

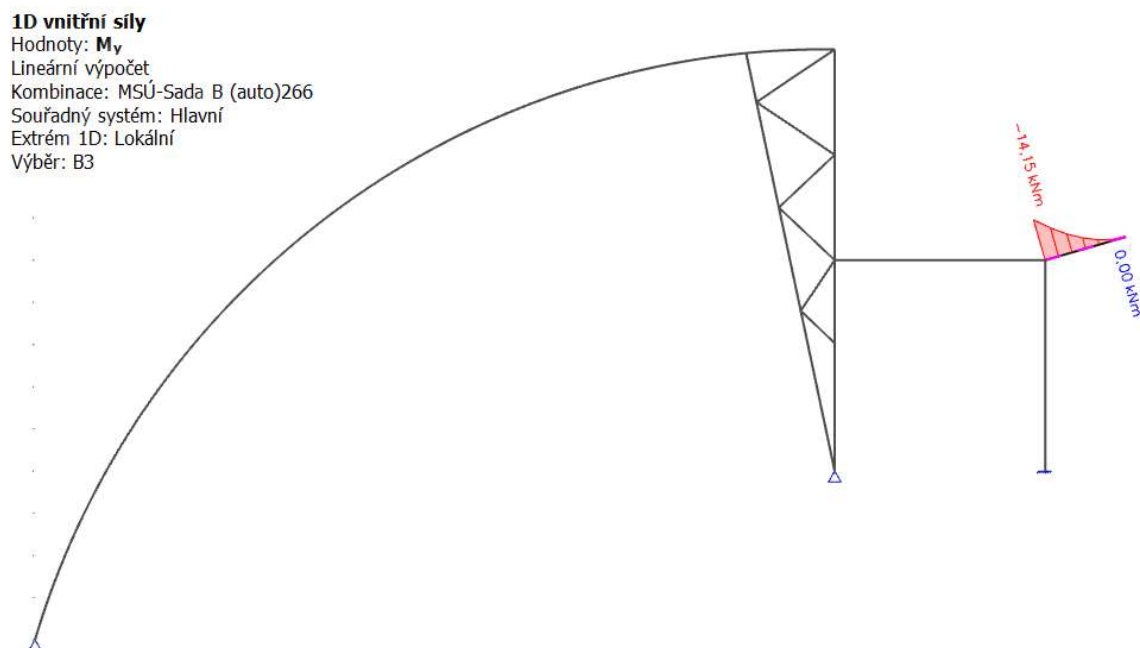
Konzola vyhovuje.

2.7.2 MSÚ

Konzola bude posuzována na ohyb s klopením pro případ, kdy tlačena část průřezu není držena vaznicemi, a tak nedochází k zabránění klopení průřezu.

$$M_{Ed} = 14,15 \text{ kNm}$$

- KZS 266 – min. stálé zatížení + max. trojúhelníkové zatížení sněhem



Obr. 37: Průběh ohybového momentu na konzole – KZS 266

- zařídění průřezu: (dle tab. 5.1 v [1])

1. stojina – stojina je namáhaná ohybem

$$\frac{c}{t} \leq 72\varepsilon$$

$$\frac{220,4}{6,2} \leq 72 \cdot 1$$

$35,5 \leq 72 \rightarrow$ vyhovuje – stojina je třídy 1

2. pásnice – pásnice je namáhaná tlakem

$$\frac{c}{t} \leq 9 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{56,9}{9,8} \leq 9 \cdot 1$$

$5,8 \leq 9 \rightarrow$ vyhovuje – pásnice je třídy 1

Průřez je zaříděn do třídy 1.

- klopení:

Pro zjednodušení výpočtu uvažujeme mezi body zajištěnými proti klopení průběh momentu lineární. Lze tedy uvažovat součinitel $C_2 = 0$.

$$k_z = 1 \quad k_w = 1$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 2} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^6 \cdot 3,739 \cdot 10^{-8}}{81 \cdot 10^6 \cdot 1,288 \cdot 10^{-7}}} = 1,36$$

$$C_1 = 1,85 \text{ (dle tab. NB 3.1. v [9])}$$

$$\mu_{Cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2} = \frac{1,85}{1} \cdot \sqrt{1 + 1,36^2} = 3,13$$

$$M_{Cr} = \mu_{Cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 3,13 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^6 \cdot 2,836 \cdot 10^{-6} \cdot 81 \cdot 10^6 \cdot 1,288 \cdot 10^{-7}}}{2}$$

$$M_{Cr} = 387,55 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{Cr}}} = \sqrt{\frac{3,666 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{387,55}} = 0,47$$

- křivka pro klopení: (dle tab. 5.5 v [1])

křivka vzpěrné pevnosti a (válcovaný profil, $h/b \leq 2$) $\rightarrow \chi_{LT} = 0,933$

- posouzení:

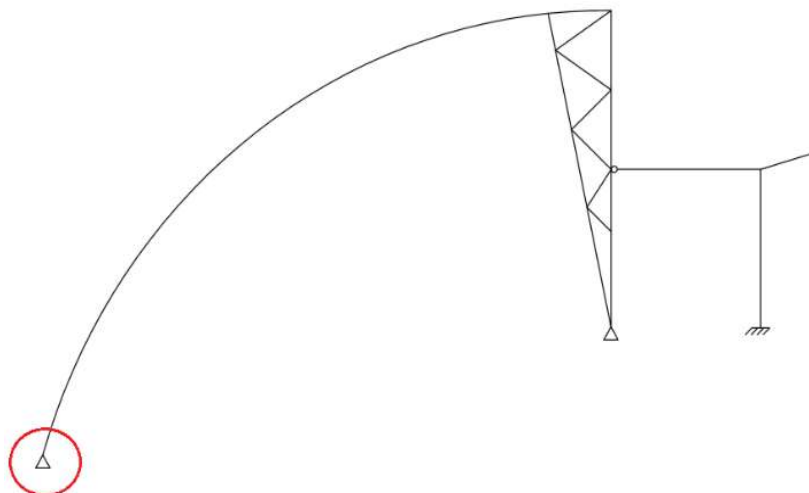
$$M_{Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y \geq M_{Ed}$$

$$M_{Rd} = 0,933 \cdot 3,666 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3 = 80,47 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 14,15 \text{ kNm}$$

Vykonzolidovaná část přístřešku vyhovuje.

3 Návrh a posouzení vybraných detailů

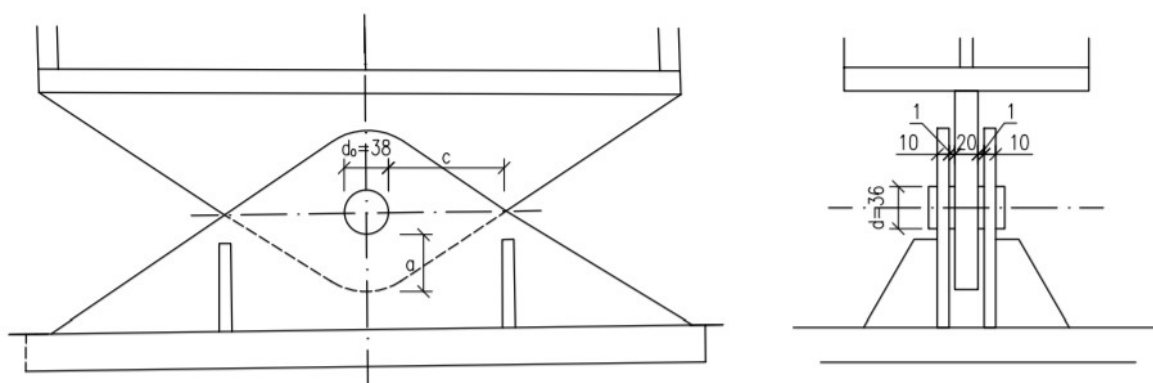
3.1 Kloubové uložení obloukového vazníku – čepový spoj



Obr. 38: Znárodnění kloubového uložení obloukového vazníku

Čepový spoj kloubového uložení vazníku je navržen jako dvoustržný. Styčnickové plechy o tloušťce 10 mm a 20 mm jsou navrženy z oceli S235. Čep o průměru 36 mm je navržen z oceli S275. Čep přenáší tlakovou osovou sílu $N_{Ed} = 208,93$ kN a posouvající sílu $V_{Ed} = 25,96$ kN.

$d_{\text{čepu}} = 36$ mm	$f_{y,p} = 235$ MPa
$d_{o,\text{čep}} = 38$ mm	$f_{y,\text{čep}} = 275$ MPa
$t_l = 10$ mm	$f_{u,p} = 360$ MPa
$t = 20$ mm	$f_{u,\text{čep}} = 430$ MPa



Obr. 39: Schéma čepového spoje 1

- KZS 363 - min. stálé zatížení + max. trojúhelníkové zatížení sněhem

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

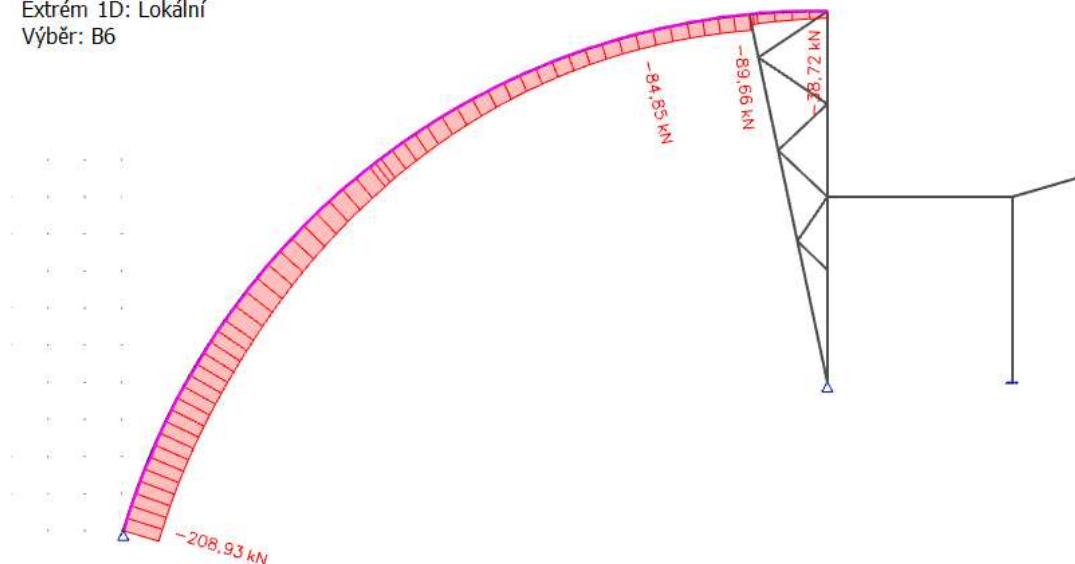
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)363

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Lokální

Výběr: B6



Obr. 40: Namáhání čepu I normálovou silou (KZS 363)

1D vnitřní síly

Hodnoty: **V_z**

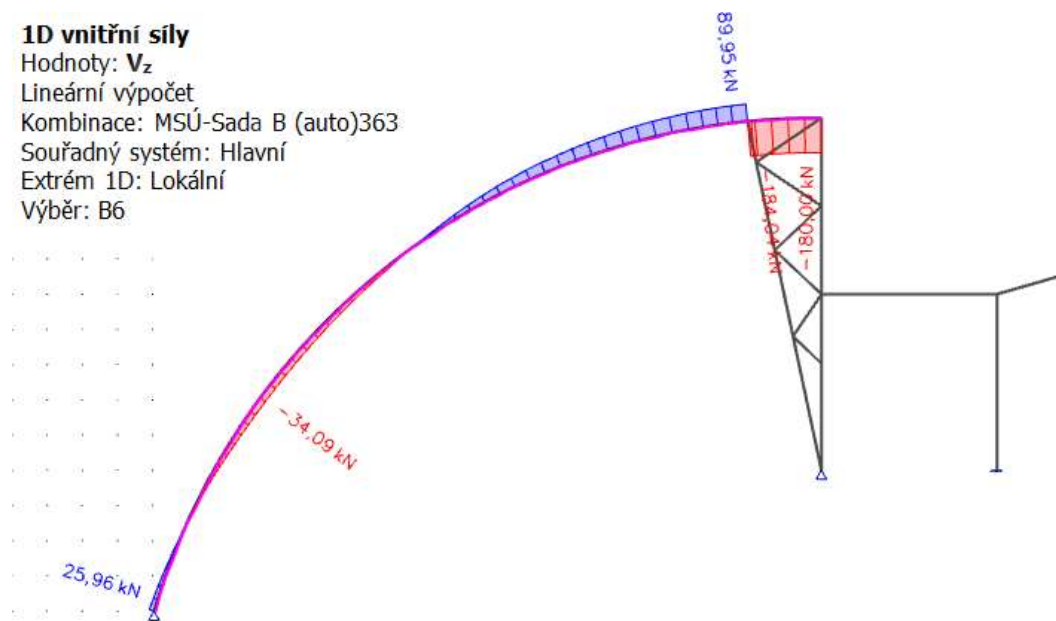
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)363

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Lokální

Výběr: B6



Obr. 41: Namáhání čepu I posouvající silou (KZS 363)

- výsledná síla, kterou čep přenáší:

$$F_{v,Ed} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{Ed}^2} = \sqrt{208,93^2 + 25,96^2} = 210,54 \text{ kN}$$

- návrh koncových roztečí styčnickového plechu čepu:

$$a \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_{y,p}} + \frac{2 \cdot d_{o,\check{c}ep}}{3} = \frac{210,54 \cdot 10^3 \cdot 1}{2 \cdot 20 \cdot 235} + \frac{2 \cdot 38}{3} = 47,73 \text{ mm} \rightarrow a = 50 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_{y,p}} + \frac{d_{o,\check{c}ep}}{3} = \frac{210,54 \cdot 10^3 \cdot 1}{2 \cdot 20 \cdot 235} + \frac{38}{3} = 35,06 \text{ mm} \rightarrow c = 36 \text{ mm}$$

Výpočet koncové rozteče c je pouze orientační. V projektu je uvažován čep s rozšiřujícím se plechem tzn. skutečná koncová rozteč c bude vždy větší. Rozteč a je dodržena podle výpočtu.

- návrhová únosnost čepu ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot 0,6 \cdot A \cdot \frac{f_{u,\check{c}ep}}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot 0,6 \cdot \frac{\pi \cdot 0,036^2}{4} \cdot \frac{430 \cdot 10^3}{1,25} = 420,18 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 420,18 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 210,54 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- únosnost čepu v ohybu:

$$M_{Rd} = 1,5 \cdot W_{el} \cdot \frac{f_{y,\check{c}ep}}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot \frac{\pi \cdot 0,036^3}{32} \cdot \frac{275 \cdot 10^3}{1} = 1,889 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{v,Ed}}{8} \cdot (t + 4 \cdot b + t_1) = \frac{210,54}{8} \cdot (0,02 + 4 \cdot 0,001 + 2 \cdot 0,01) = 1,158 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 1,889 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 1,158 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- posouzení čepu na kombinace ohybu a smyku:

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 = \left(\frac{1,158}{1,889}\right)^2 + \left(\frac{210,54}{420,18}\right)^2 = 0,63 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- otláčení desky a čepu:

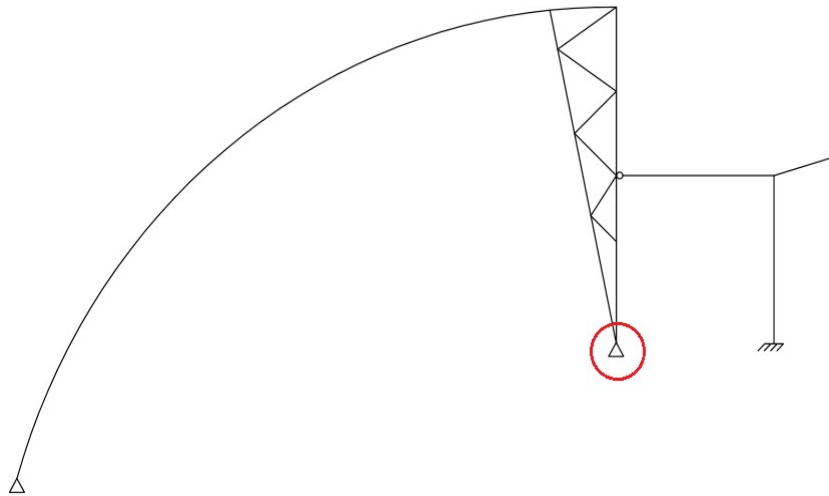
Pro otláčení desky a čepu se ve výpočtu počítá s nižší mezí kluzu čepu a spojovaných částí $f_{y,\check{c}ep} = 275 \text{ MPa} \geq f_{y,p} = 235 \text{ MPa}$ a pro menší tloušťku plechu spojovaných částí $2 \cdot t_1 = 2 \cdot 10 \geq t = 20 \text{ mm}$.

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot d_{\check{c}ep} \cdot t \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 0,036 \cdot 0,02 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 253,8 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 253,8 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 210,54 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Čepový spoj vyhovuje.

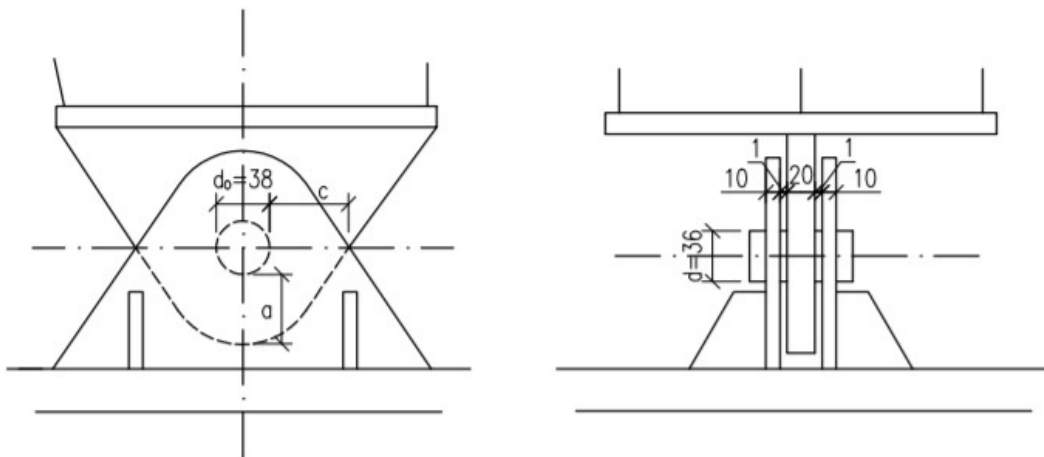
3.2 Kloubové uložení příhradového sloupu – čepový spoj



Obr. 42: Znáznornění kloubové uložení příhradového sloupu

Čepový spoj kloubového uložení příhradového sloupu je navržen jako dvoustrážný. Styčnickové plechy o tloušťce 10 mm a 20 mm jsou navrženy z oceli S235. Čep o průměru 36 mm je navržen z oceli S275. Čep přenáší tlakovou normálovou sílu levého pásu $N_{Ed,l} = 397,84$ kN, tahovou normálovou sílu pravého pásu $N_{Ed,p} = 226,13$ kN a posouvající sílu pravého pásu $V_{Ed,p} = 23,72$ kN.

$d_{\text{čepu}} = 36$ mm	$f_{y,p} = 235$ MPa
$d_{o,\text{čep}} = 38$ mm	$f_{y,\text{čep}} = 275$ MPa
$t_l = 10$ mm	$f_{u,p} = 360$ MPa
$t = 20$ mm	$f_{u,\text{čep}} = 430$ MPa

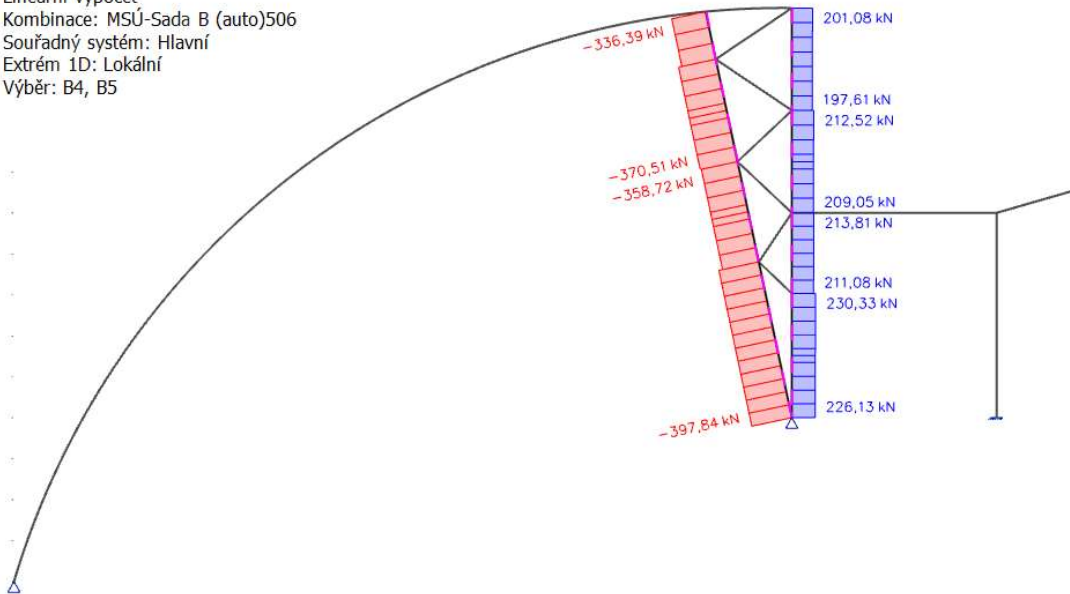


Obr. 43: Schéma čepového spoje 2

- KZS 506 - min. stálé zatížení + max. zatížením větrem na sloupy (obvodový plášť)

1D vnitřní síly

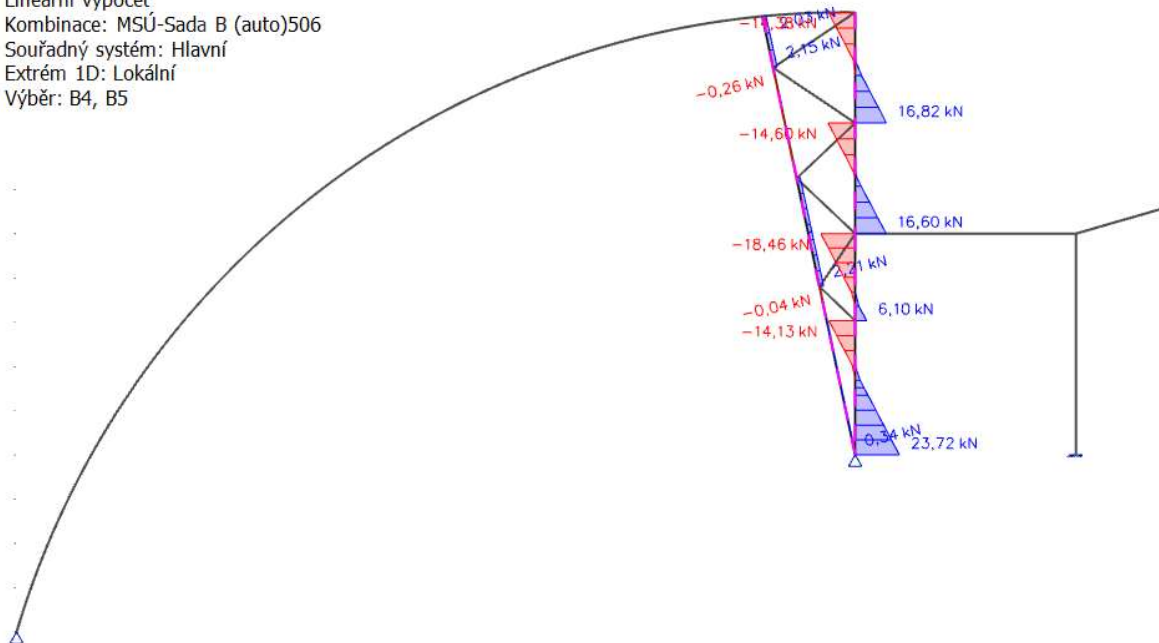
Hodnoty: **N**
 Lineární výpočet
 Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)506
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Lokální
 Výběr: B4, B5



Obr. 44: Namáhání čepu 2 normálovou silou (KZS 506)

1D vnitřní síly

Hodnoty: **V_z**
 Lineární výpočet
 Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)506
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Lokální
 Výběr: B4, B5



Obr. 45: Namáhání čepu 2 posouvající silou (KZS 506)

- výsledná síla, kterou čep přenáší:

$$F_{Ed,p} = \sqrt{N_{Ed,p}^2 + V_{Ed,p}^2} = \sqrt{226,13^2 + 23,72^2} = 227,37 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_{Ed,p}^2 + N_{Ed,l}^2 - 2 \cdot N_{Ed,l} \cdot F_{Ed,p} \cdot \cos(180 - \alpha)}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{227,37^2 + 397,84^2 - 2 \cdot 397,84 \cdot 227,37 \cdot \cos(180 - 162)} = 194,72 \text{ kN}$$

- návrh koncových roztečí styčnickového plechu čepu:

$$a \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_{y,p}} + \frac{2 \cdot d_{o,\text{čep}}}{3} = \frac{194,72 \cdot 10^3 \cdot 1}{2 \cdot 20 \cdot 235} + \frac{2 \cdot 38}{3} = 46,05 \text{ mm} \rightarrow a = 50 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_{y,p}} + \frac{d_{o,\text{čep}}}{3} = \frac{194,72 \cdot 10^3 \cdot 1}{2 \cdot 20 \cdot 235} + \frac{38}{3} = 33,38 \text{ mm} \rightarrow c = 36 \text{ mm}$$

Výpočet koncové rozteče c je pouze orientační. V projektu je uvažován čep s rozšiřujícím se plechem tzn. skutečná koncová rozteč c bude vždy větší. Rozteč a je dodržena podle výpočtu.

- návrhová únosnost čepu ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot 0,6 \cdot A \cdot \frac{f_{u,\text{čep}}}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot 0,6 \cdot \frac{\pi \cdot 0,036^2}{4} \cdot \frac{430 \cdot 10^3}{1,25} = 420,18 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 420,18 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 194,72 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- únosnost čepu v ohybu:

$$M_{Rd} = 1,5 \cdot W_{el} \cdot \frac{f_{y,\text{čep}}}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot \frac{\pi \cdot 0,036^3}{32} \cdot \frac{275 \cdot 10^3}{1} = 1,889 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{v,Ed}}{8} \cdot (t + 4 \cdot b + t_1) = \frac{194,72}{8} \cdot (0,02 + 4 \cdot 0,001 + 2 \cdot 0,01) = 1,07 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 1,889 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 1,07 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- posouzení čepu na kombinace ohybu a smyku:

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 = \left(\frac{1,07}{1,889}\right)^2 + \left(\frac{194,72}{420,18}\right)^2 = 0,54 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- otláčení desky a čepu:

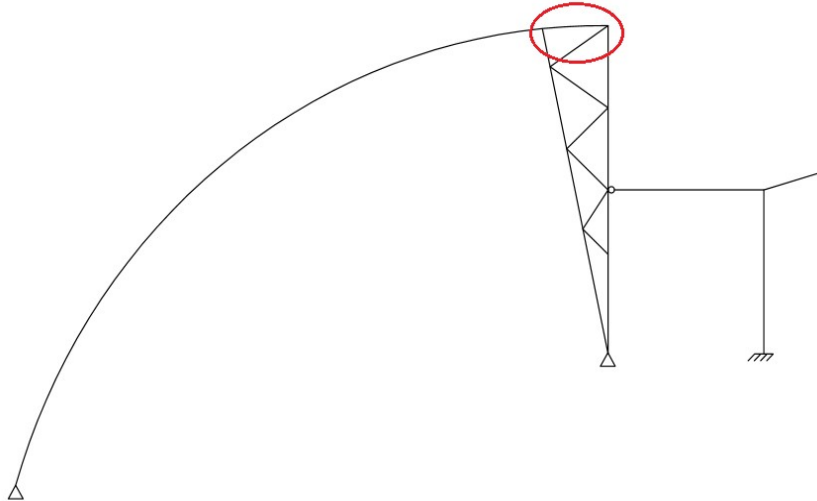
Pro otláčení desky a čepu se ve výpočtu počítá s nižší mezí kluzu čepu a spojovaných částí $f_{y,\text{čep}} = 275 \text{ MPa} \geq f_{y,p} = 235 \text{ MPa}$ a pro menší tloušťku plechu spojovaných částí $2 \cdot t_1 = 2 \cdot 10 \geq t = 20 \text{ mm}$.

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot d_{\text{čep}} \cdot t \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 0,036 \cdot 0,02 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 253,8 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 253,8 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 194,72 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Čepový spoj vyhovuje.

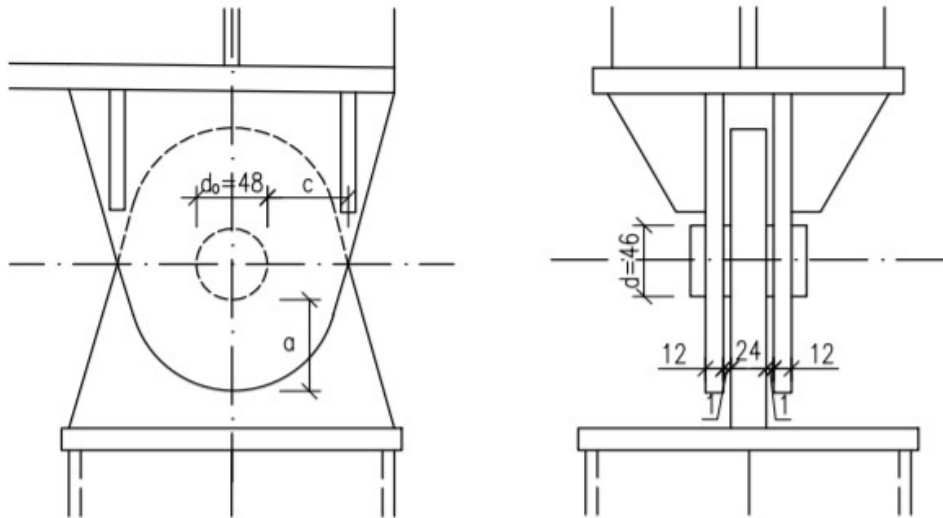
3.3 Kloubový přípoj příhradového sloupu k vazníku – čepový spoj



Obr. 46: Znáznornění kloubového přípoje sloupu k vazníku

Čepový spoj kloubového přípoje příhradového sloupu je navržen jako dvoustřížný. Styčnickové plechy o tloušťce 12 a 24 mm jsou navrženy z oceli S275. Čep o průměru 46 mm je navržen z oceli S275. Čep přenáší tlakovou normálovou sílu $N_{Ed} = 373,23 \text{ kN}$ a posouvající sílu $V_{Ed} = 1,8 \text{ kN}$. V posouzení detailu je počítáno s levým čepem, který je více namáhán vnitřními silami.

$d_{\text{čepu}} = 46 \text{ mm}$	$f_{y,p} = 275 \text{ MPa}$
$d_{o,\text{čep}} = 48 \text{ mm}$	$f_{y,\text{čep}} = 275 \text{ MPa}$
$t_1 = 12 \text{ mm}$	$f_{u,p} = 430 \text{ MPa}$
$t = 24 \text{ mm}$	$f_{u,\text{čep}} = 430 \text{ MPa}$



Obr. 47: Schéma čepového spoje 3

- KZS 290 – min. stálé zatížení + max. trojúhelníkové zatížení sněhem

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

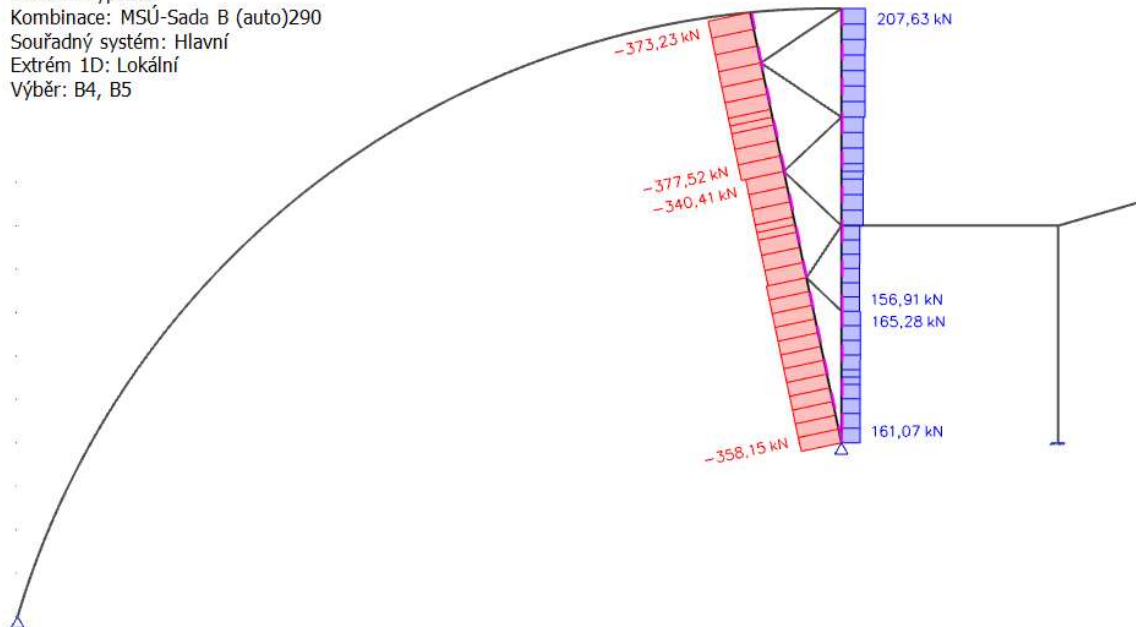
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)290

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Lokální

Výběr: B4, B5



Obr. 48: Namáhání čepu 3 normálovou silou (KZS 290)

1D vnitřní síly

Hodnoty: V_z

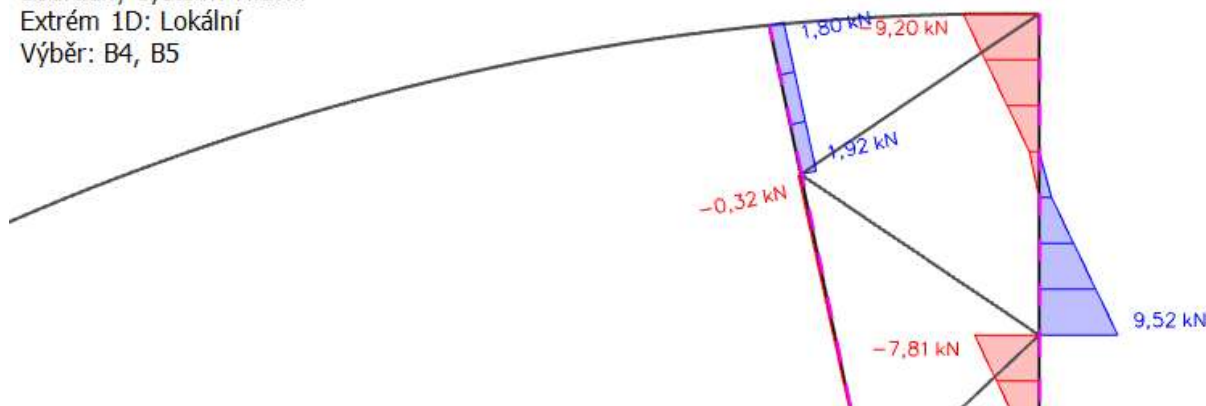
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)290

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Lokální

Výběr: B4, B5



Obr. 49: Namáhání čepu 3 posouvající silou (KZS 290)

- výsledná síla, kterou čep přenáší:

$$F_{v,Ed} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{Ed}^2} = \sqrt{373,23^2 + 1,8^2} = 373,23 \text{ kN}$$

- návrh koncových roztečí styčnickového plechu čepu:

$$a \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_{y,p}} + \frac{2 \cdot d_{o,čep}}{3} = \frac{373,23 \cdot 10^3 \cdot 1}{2 \cdot 24 \cdot 275} + \frac{2 \cdot 48}{3} = 60,3 \text{ mm} \rightarrow a = 65 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_{y,p}} + \frac{d_{o,čep}}{3} = \frac{373,23 \cdot 10^3 \cdot 1}{2 \cdot 24 \cdot 275} + \frac{48}{3} = 44,3 \text{ mm} \rightarrow c = 46 \text{ mm}$$

Výpočet koncové rozteče c je pouze orientační. V projektu je uvažován čep s rozšiřujícím se plechem tzn. skutečná koncová rozteč c bude vždy větší. Rozteč a je dodržena podle výpočtu.

- návrhová únosnost čepu ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot 0,6 \cdot A \cdot \frac{f_{u,čep}}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot 0,6 \cdot \frac{\pi \cdot 0,046^2}{4} \cdot \frac{430 \cdot 10^3}{1,25} = 686,03 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 686,03 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 373,23 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- únosnost čepu v ohybu:

$$M_{Rd} = 1,5 \cdot W_{el} \cdot \frac{f_{y,čep}}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot \frac{\pi \cdot 0,046^3}{32} \cdot \frac{275 \cdot 10^3}{1} = 3,94 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{v,Ed}}{8} \cdot (t + 4 \cdot b + t_1) = \frac{373,23}{8} \cdot (0,024 + 4 \cdot 0,001 + 2 \cdot 0,012) = 2,426 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 3,94 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 2,426 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- posouzení čepu na kombinace ohybu a smyku:

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 = \left(\frac{2,426}{3,94}\right)^2 + \left(\frac{373,23}{686,03}\right)^2 = 0,68 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- otláčení desky a čepu:

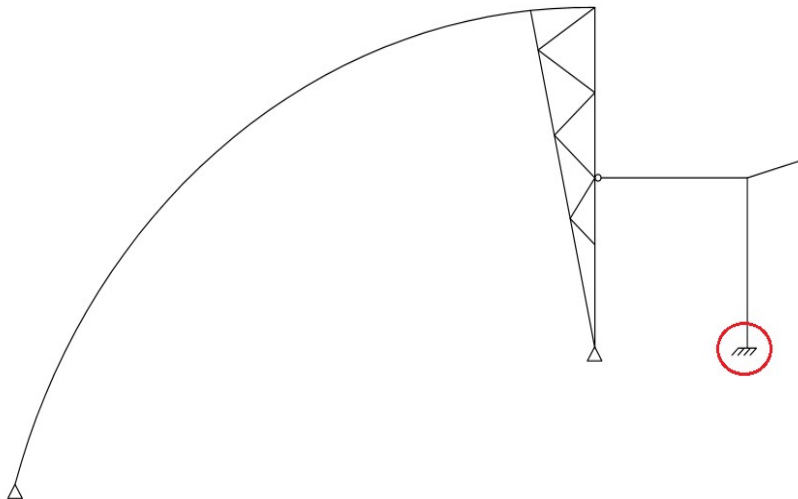
Pro otláčení desky a čepu se ve výpočtu počítá s nižší mezí kluzu čepu a spojovaných částí $f_{y,\text{čep}} = 275 \text{ MPa} \geq f_{y,p} = 275 \text{ MPa}$ a pro menší tloušťku plechu spojovaných částí $2 \cdot t_l = 2 \cdot 12 \geq t = 24 \text{ mm}$.

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot d_{\text{čep}} \cdot t \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 0,046 \cdot 0,024 \cdot 275 \cdot 10^3}{1} = 455,4 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 373,23 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 455,4 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Čepový spoj vyhovuje.

3.4 Vetknutá patka sloupu přístřešku s výztuhami

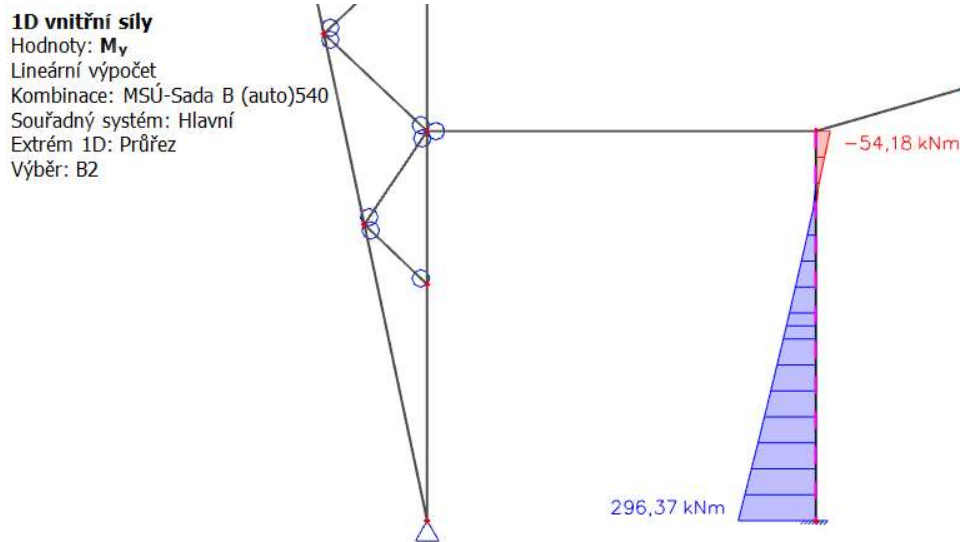


Obr. 50: Znárodnění vetknuté patky

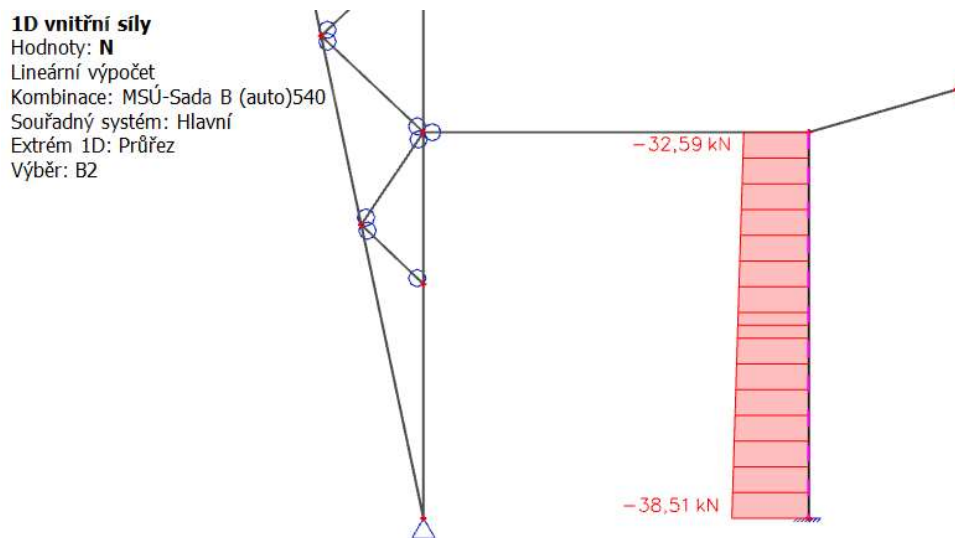
Vetknutá patka sloupu se posoudí na tři kombinace. První kombinace je s největším ohybovým momentem a s odpovídající tlakovou normálovou silou (KZS 540). Druhá kombinace je s největším poměrem M_{Ed}/N_{Ed} (KZS 568) a poslední kombinace je s největší tahovou normálovou silou a s příslušným momentem (KZS 1 033).

a) KZS 540 – $M_{Ed} = 296,37 \text{ kNm} + N_{Ed} = -38,5 \text{ kN}$

- min. stálé zatížení + max. zatížení větrem na sloupy konstrukce + min. zatížení sněhem



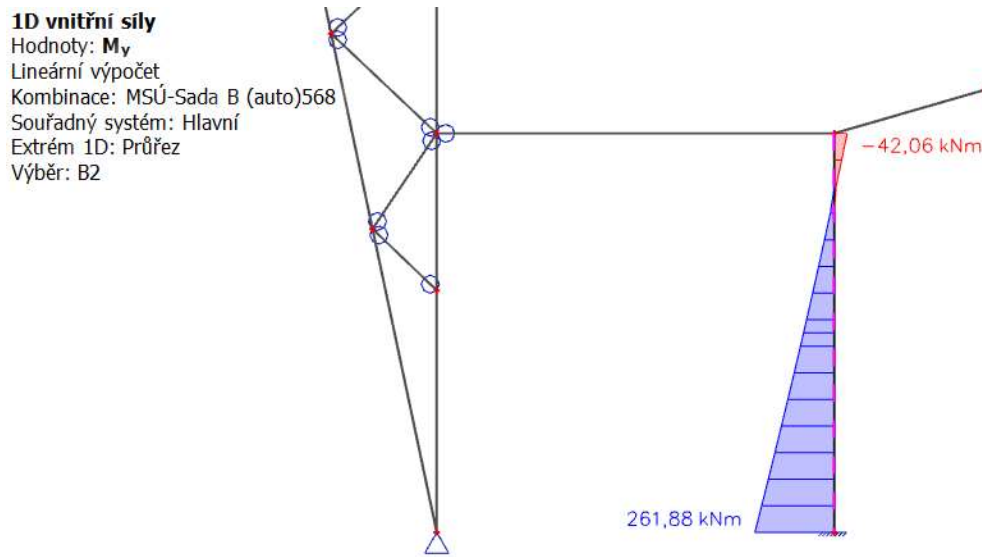
Obr. 51: Ohybový moment (KZS 540) ve vetknutí



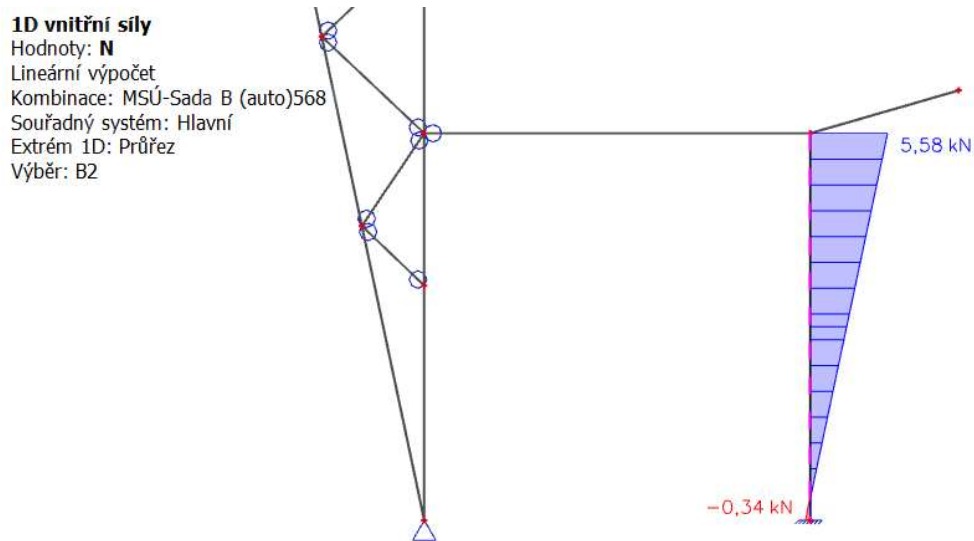
Obr. 52: Normálová síla (KZS 540) ve vetknutí

b) KZS 568 – $M_{Ed} = 261,88 \text{ kNm} + N_{Ed} = -0,34 \text{ kN}$

- min. stálé zatížení + max. zatížení větrem na sloupy konstrukce + zatížení sněhem nulové



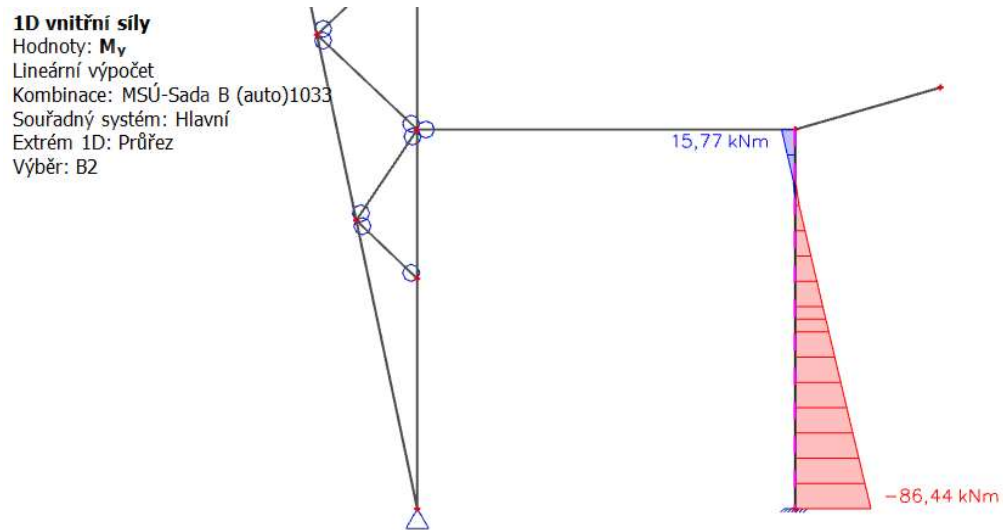
Obr. 53: Ohybový moment (KZS 568) ve vetknutí



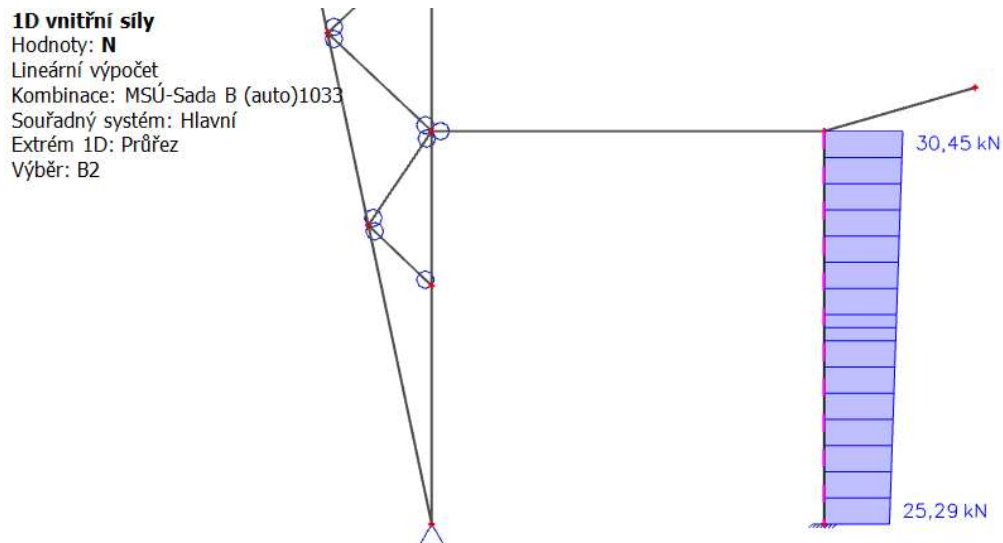
Obr. 54: Normálová síla (KZS 568) ve vetknutí

c) KZS 1 033 – $M_{Ed} = 86,44 \text{ kNm} + N_{Ed} = 25,29 \text{ kN}$

- min. stálé zatížení + max. zatížení větrem na konstrukci přístřešku



Obr. 55: Ohybový moment (KZS 1033) ve vetknutí



Obr. 56: Normálová síla (KZS 1033) ve vetknutí

3.4.1 Geometrie

- profil sloupu: válcované HEA 340

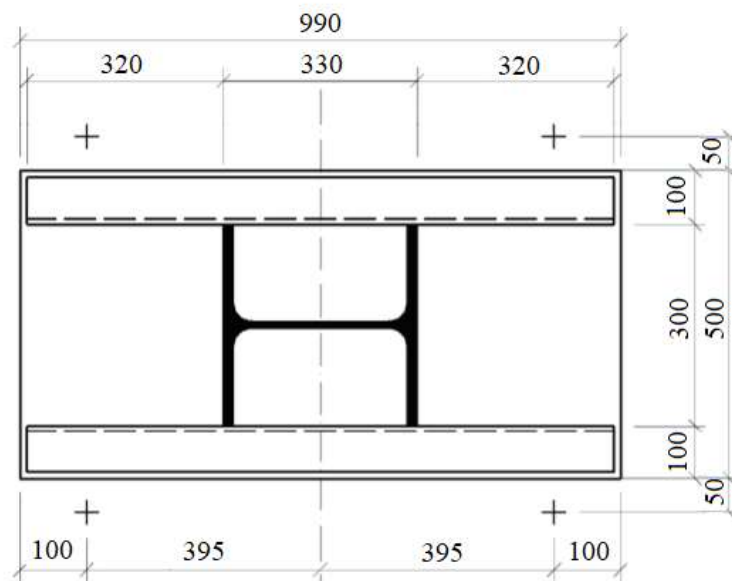
- geometrie ocelové patky:

$$a = 3 \cdot h_{HEA} = 3 \cdot 330 = 990 \text{ mm}$$

$$b = b_{HEA} + 2 \cdot 100 = 300 + 200 = 500 \text{ mm}$$

$$t_p = 30 \text{ mm}$$

$$r_t = \frac{a}{2} - 100 = 395 \text{ mm}$$



Obr. 57: Geometrie patky [2]

- betonová patka:

beton C16/20 → $f_{ck} = 16 \text{ MPa}$

výška podlití: $h_p > 0,1 \cdot b = 0,1 \cdot 500 = 50 \text{ mm} \rightarrow h_p = 55 \text{ mm}$

- geometrie betonové patky:

$a_c = 1500 \text{ mm}$

$b_c = 1000 \text{ mm}$

$h_c = 800 \text{ mm}$

- započitatelné rozměry betonové patky:

$a_1 = \min(a_c; 3 \cdot a; a + h_c) = \min(1500; 3 \cdot 990; 990 + 800) = \min(1500; 2970; 1790)$

$a_1 = 1500 \text{ mm}$

$b_1 = \min(b_c; 3 \cdot b; b + h_c) = \min(1000; 3 \cdot 500; 500 + 800) = \min(1000; 1500; 1300)$

$b_1 = 1000 \text{ mm}$

- součinitel koncentrace napětí:

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{1500 \cdot 1000}{990 \cdot 500}} = 1,74$$

- návrhová pevnost v betonu (v koncentrovaném tlaku):

$$f_{jd} = \frac{2}{3} \cdot \frac{k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} \cdot \frac{1,74 \cdot 16}{1,5} = 12,37 \text{ MPa}$$

- přesah desky:

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 12,37}} = 75,49 \text{ mm}$$

- účinná šířka patního plechu:

$$b_{eff} = 2 \cdot 100 + 2 \cdot c = 2 \cdot 100 + 2 \cdot 75,49 = 350,98 \text{ mm}$$

3.4.2 Výpočet sil do šroubů

a) KZS 540

$$M_{Ed} = 296,37 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -38,5 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 76,78 \text{ kN}$$

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{296,37}{38,5} = 7,698 \text{ m}$$

- délka tlačené oblasti pod patním plechem x:

Délku tlačené oblasti určíme pomocí soustavy dvou rovnic. První rovnice vyjadřuje momentovou podmínku rovnováhy k působišti šroubů.

$$N_{Ed} \cdot (e + r_t) = N_c \cdot \left(r_t + \frac{a}{2} - \frac{x}{2} \right)$$

$$N_c = b_{eff} \cdot x \cdot f_{jd} \rightarrow N_c = 350,98 \cdot 84,66 \cdot 12,37 = 367,76 \text{ kN}$$

po sloučení těchto dvou rovnic vznikne:

$$b_{eff} \cdot f_{jd} \cdot x^2 - b_{eff} \cdot f_{jd} \cdot (2 \cdot r_t + a) \cdot x + 2 \cdot N_{Ed} \cdot (r_t + e) = 0$$

$$350,98 \cdot 12,37 \cdot x^2 - 350,98 \cdot 12,37 \cdot (2 \cdot 395 + 990) \cdot x + 2 \cdot 38,5 \cdot 10^3 \cdot (395 + 7698) = 0$$

$$\rightarrow x_1 = 1695,34 \text{ mm}$$

$$\rightarrow x_2 = 84,66 \text{ mm} - \text{toto je hledaný kořen řešení kvadratické rovnice}$$

- hledaná síla T do kotevních šroubů se určí ze svislé podmínky rovnováhy:

$$T = N_c - N_{Ed} = 367,76 - 38,5 = 329,26 \text{ kN}$$

b) KZS 568

$$M_{Ed} = 261,88 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -0,34 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 67,46 \text{ kN}$$

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{261,88}{0,34} = 770,24 \text{ m}$$

- délka tlačené oblasti pod patním plechem x:

Délku tlačené oblasti určíme pomocí soustavy dvou rovnic. První rovnice vyjadřuje momentovou podmínku rovnováhy k působišti šroubů.

$$N_{Ed} \cdot (e + r_t) = N_c \cdot \left(r_t + \frac{a}{2} - \frac{x}{2} \right)$$

$$N_c = b_{eff} \cdot x \cdot f_{jd} \rightarrow N_c = 350,98 \cdot 70,61 \cdot 12,37 = 306,56 \text{ kN}$$

po sloučení těchto dvou rovnic vznikne:

$$b_{eff} \cdot f_{jd} \cdot x^2 - b_{eff} \cdot f_{jd} \cdot (2 \cdot r_t + a) \cdot x + 2 \cdot N_{Ed} \cdot (r_t + e) = 0$$

$$350,98 \cdot 12,37 \cdot x^2 - 350,98 \cdot 12,37 \cdot (2 \cdot 395 + 990) \cdot x + 2 \cdot 0,34 \cdot 10^3 \cdot (395 + 770240) = 0$$

$$\rightarrow x_1 = 1709,39 \text{ mm}$$

$$\rightarrow x_2 = 70,61 \text{ mm} - \text{toto je hledaný kořen řešení kvadratické rovnice}$$

- hledaná síla T do kotevních šroubů se určí ze svislé podmínky rovnováhy:

$$T = N_c - N_{Ed} = 306,56 - 0,34 = 306,22 \text{ kN}$$

c) KZS 1033

$$M_{Ed} = 86,44 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 25,29 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 20,85 \text{ kN}$$

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{86,44}{25,29} = 3,418 \text{ m}$$

- délka tlačené oblasti pod patním plechem x:

Délku tlačené oblasti určíme pomocí soustavy dvou rovnic. První rovnice vyjadřuje momentovou podmínku rovnováhy k působišti šroubů.

$$N_{Ed} \cdot (e + r_t) = N_c \cdot \left(r_t + \frac{a}{2} - \frac{x}{2} \right)$$

$$N_c = b_{eff} \cdot x \cdot f_{jd} \rightarrow N_c = 350,98 \cdot 25,32 \cdot 12,37 = 109,93 \text{ kN}$$

po sloučení těchto dvou rovnic vznikne:

$$b_{eff} \cdot f_{jd} \cdot x^2 - b_{eff} \cdot f_{jd} \cdot (2 \cdot r_t + a) \cdot x + 2 \cdot N_{Ed} \cdot (r_t + e) = 0$$

$$350,98 \cdot 12,37 \cdot x^2 - 350,98 \cdot 12,37 \cdot (2 \cdot 395 + 990) \cdot x + 2 \cdot 25,29 \cdot 10^3 \cdot (395 + 3418) = 0$$

$$\rightarrow x_1 = 1754,68 \text{ mm}$$

$$\rightarrow x_2 = 25,32 \text{ mm} - \text{toto je hledaný kořen řešení kvadratické rovnice}$$

- hledaná síla T do kotevních šroubů se určí ze svislé podmínky rovnováhy:

$$T = N_c + N_{ed} = 109,93 + 25,29 = 135,22 \text{ kN}$$

Ze všech kombinací, které byly posuzovány, je rozhodující kombinace KZS 540, která po výpočtu má největší, jak tahovou sílu do šroubů T, tak sílu mezi betonem a ocelí N_c . Ve výpočtu je tedy dále uvažováno se silami $T = 329,26 \text{ kN}$ a $N_c = 367,76 \text{ kN}$.

3.4.3 Průřez patky

Jako výztuhy jsou navrženy dva válcované profily U 220. Plech ocelové patky je tloušťky 30 mm a šířka patky měří 500 mm.

- patní plech: 30 x 500 mm

- výztuhy 2x U220:

$$A = 2 \cdot 3740 = 7480 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 2 \cdot 2690 \cdot 10^4 = 53,8 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$A_{vz} = 2 \cdot 2062 = 4124 \text{ mm}^2$$

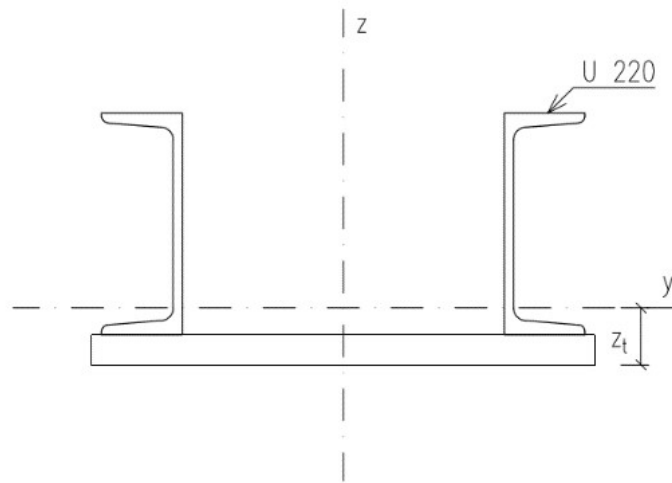
- svařený průřez:

$$A = 30 \cdot 500 + 7480 = 22480 \text{ mm}^2$$

$$z_T = \frac{\sum A_i \cdot z_i}{A} = \frac{30 \cdot 500 \cdot 15 + 7480 \cdot (30 + 110)}{22480} = 56,59 \text{ mm}$$

$$I_y = \frac{1}{2} \cdot 500 \cdot 30^3 + 30 \cdot 500 \cdot (56,59 - 15)^2 + 53,8 \cdot 10^6 + 7480 \cdot (30 + 110 - 56,59)^2$$

$$I_y = 112,59 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$



Obr. 58: Svařený průřez

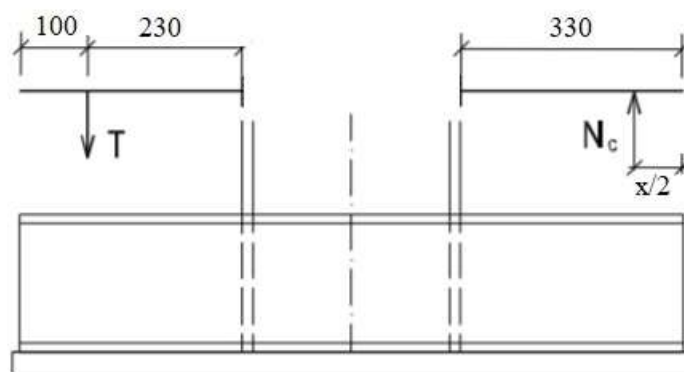
Průřez patky posoudíme na kombinaci ohybu a smyku. Průřez je namáhán silou T ve šroubech a silou mezi betonem a ocelí N_c .

- tlačená pravá strana patky:

$$M_p = N_c \cdot \left(0,330 - \frac{x}{2}\right) = 367,76 \cdot \left(0,330 - \frac{0,08466}{2}\right) = 105,79 \text{ kNm}$$

- tažená levá strana patky:

$$M_l = T \cdot 0,23 = 329,26 \cdot 0,23 = 75,73 \text{ kNm}$$



Obr. 59: Působíště sil T a N_c [2]

Pro zjednodušení provedeme pružný výpočet. Průřez není symetrický okolo osy y, proto se posoudí následovně:

$$W_{y,h} = \frac{I_y}{z_h} = \frac{112,59 \cdot 10^6}{220 + 30 - 56,59} = 582\,132 \text{ mm}^3$$

$$W_{y,d} = \frac{I_y}{z_d} = \frac{112,59 \cdot 10^6}{56,59} = 1\,989\,461 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{h,max} = \frac{M_{max}}{W_{y,h}} = \frac{105,79}{582,132 \cdot 10^{-6}} = 181,73 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{h,max} = 181,73 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 235 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\tau_{max} = \frac{V_{max}}{A_{vz}} = \frac{367,76}{4124 \cdot 10^6} = 89,18 \text{ MPa}$$

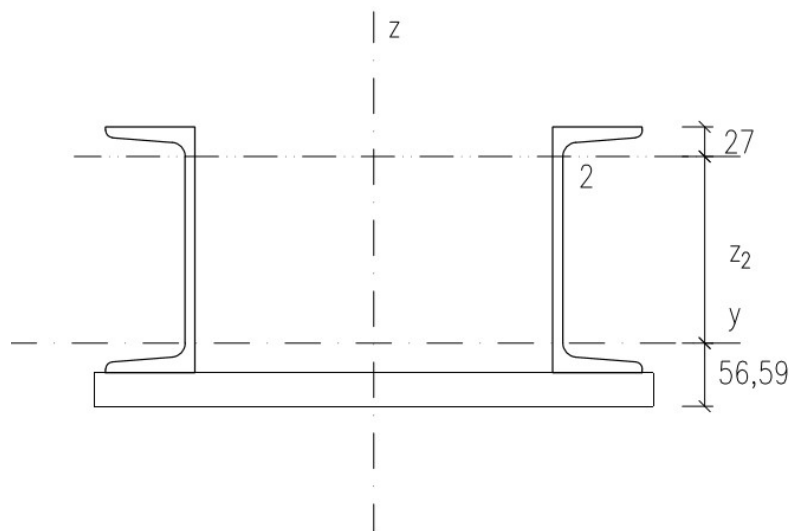
$$\tau_{max} = 89,18 \text{ MPa} \leq \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{235}{\sqrt{3}} = 135,7 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\tau_{max} = 89,18 \text{ MPa} \geq \frac{f_{yd}}{\sqrt{3} \cdot 2} = 67,85 \text{ MPa}$$

→ je nutné posoudit na kombinaci M + V:

$$\sigma_2 = \frac{M_{max}}{I_y} \cdot z_2 = \frac{105,79}{112,59 \cdot 10^{-6}} \cdot (250 - 27 - 56,59) = 156,36 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_2^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{156,36^2 + 3 \cdot 89,18^2} = 221,12 \leq f_{yd} = 235 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obr. 60: Řez 2 – pro posouzení kombinace M + V

3.4.4 Připojení podélných výztuh k patnímu plechu

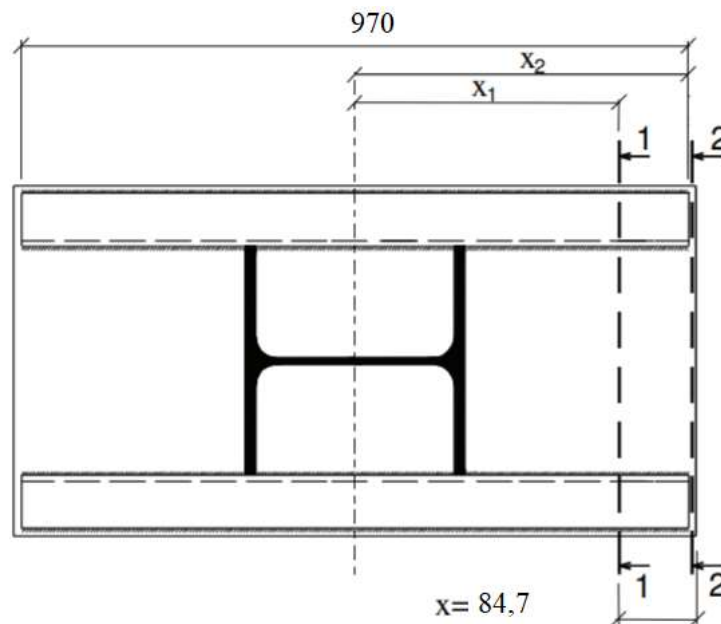
Výztuhy budou k patnímu plechu připojeny koutovým svarem $a_{we} = 4$ mm. Posouzení bude provedeno na dvou místech. V řezu 1-1, kde se projeví síla V_p , a v řezu 2-2, kde je největší moment M_{Ed} (kombinace KZS 540). Každá výztuha bude připojena dvěma svary.

$$V_p = N_c = 367,76 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 296,37 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 76,78 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 38,5 \text{ kN}$$



Obr. 61: Řezy pro posouzení připojení podélných výztuh [2]

- napětí ve svarech:

$$a_{we} = 4 \text{ mm}$$

$$l_{we} = 970 \text{ mm}$$

$$A_{we} = 4 \cdot a_{we} \cdot l_{we} = 4 \cdot 4 \cdot 970 = 15520 \text{ mm}^2$$

$$I_{we} = 4 \cdot \frac{1}{12} \cdot a_{we} \cdot l_{we}^3 = 4 \cdot \frac{1}{12} \cdot 4 \cdot 970^3 = 1216,9 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$S_{f,y} = 500 \cdot 30 \cdot (56,59 - 15) = 623850 \text{ mm}^3$$

a) řez 1-1

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_{we}} + \frac{V_p \cdot S_{f,y}}{I_y \cdot 4 \cdot a_{we}} = \frac{76,78}{15520 \cdot 10^{-6}} + \frac{367,76 \cdot 623,850 \cdot 10^{-6}}{112,59 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 0,004} = 132,30 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{we} = \frac{N_{Ed}}{A_{we}} + \frac{M_{Ed}}{I_{we}} \cdot x_1 = \frac{38,5}{15520 \cdot 10^{-6}} + \frac{296,37}{1216,9 \cdot 10^{-6}} \cdot 0,4103 = 102,41 \text{ MPa}$$

$$x_1 = \frac{a}{2} - x = \frac{990}{2} - 84,7 = 410,3 \text{ mm}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{we}}{2} = \frac{102,41}{\sqrt{2}} = 72,41 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{72,41^2 + 3 \cdot (72,41^2 + 132,30^2)} = 271,08 \text{ MPa}$$

$$271,08 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\beta_w = 0,8 \text{ (dle tab. 7.1 v [1])}$$

b) řez 2-2

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_{we}} = \frac{76,78}{15520 \cdot 10^{-6}} = 4,95 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{we} = \frac{N_{Ed}}{A_{we}} + \frac{M_{Ed}}{I_{we}} \cdot x_2 = \frac{38,5}{15520 \cdot 10^{-6}} + \frac{296,37}{1216,9 \cdot 10^{-6}} \cdot 0,485 = 120,6 \text{ MPa}$$

$$x_2 = \frac{970}{2} = 475 \text{ mm}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{we}}{2} = \frac{120,6}{\sqrt{2}} = 85,28 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{85,28^2 + 3 \cdot (85,28^2 + 4,95^2)} = 170,78 \text{ MPa}$$

$$170,78 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\beta_w = 0,8 \text{ (dle tab. 7.1 v [1])}$$

Svary podélných výtuh k patnímu plechu vyhoví.

3.4.5 Kotevní šrouby

Tolerance v osazení kotevních šroubů je ± 50 mm. Pro posouzení kotevních šroubů rozhoduje kombinace KZS 540, která má největší velikost takové síly ve šroubech.

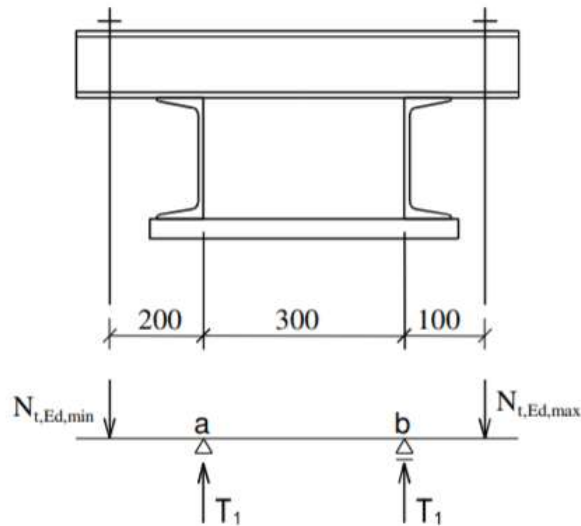
$$T_1 = \frac{T_{max}}{2} = \frac{329,26}{2} = 164,63 \text{ kN}$$

- momentová podmínka rovnováhy k působišti síly $N_{Ed,min}$:

$$T_1 \cdot 200 + T_1 \cdot 500 - N_{Ed,max} \cdot 600 = 0$$

$$\rightarrow N_{Ed,max} = \frac{T_1 \cdot (200 + 500)}{600} = \frac{164,63 \cdot (200 + 500)}{600} = 192,07 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,min} = T_{max} - N_{Ed,max} = 329,26 - 192,07 = 137,19 \text{ kN}$$



Obr. 62: Poloha kotevních šroubů [2]

Kotevní šrouby jsou navrženy jako M 36x3 z ocele S 275.

$$A_s = 865 \text{ mm}^2$$

$$D = 40 \text{ mm}$$

$$f_{y,kot} = 275 \text{ MPa}$$

$$f_{u,kot} = 430 \text{ MPa}$$

- porušení v místě řezaného závitu:

$$F_{t,Rd} = 0,85 \cdot \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 0,85 \cdot \frac{0,9 \cdot 865 \cdot 10^{-6} \cdot 430 \cdot 10^3}{1,25} = 227,63 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 227,63 \text{ kN} \geq N_{Ed,max} = 192,07 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- porušení v místě dříku:

$$F_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{\pi \cdot \left(\frac{40 \cdot 10^{-3}}{2}\right)^2 \cdot 275 \cdot 10^3}{1} = 345,58 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 345,58 \text{ kN} \geq N_{Ed,max} = 192,07 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kotevní šrouby vyhoví.

3.4.6 Kotevní příčník

Schéma kotevního příčníku viz obr. 62: Poloha kotevních šroubů.

$$V_{l,d} = N_{Ed,min} = 137,19 \text{ kN}$$

$$M_{l,d} = V_{l,d} \cdot 0,2 = 137,19 \cdot 0,2 = 27,44 \text{ kNm}$$

$$V_{p,d} = N_{Ed,max} = 192,07 \text{ kN}$$

$$M_{p,d} = V_{p,d} \cdot 0,1 = 192,07 \cdot 0,1 = 19,21 \text{ kNm}$$

Kotevní příčník je navržen jako dva válcované profily U 120.

$$W_{pl,y} = 2 \cdot 72600 = 145,2 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$A_{v,z} = 2 \cdot 880 = 1760 \text{ mm}^2$$

- zařídění kotevního příčníku: (dle tab. 5.1 v [1])

1. stojina – stojina je namáhaná na ohyb

$$\frac{c}{t} \leq 72 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{102}{7} \leq 72 \cdot 1$$

$$14,6 \leq 72 \rightarrow \text{vyhovuje} - \text{stojina je třídy 1}$$

2. pásnice – pásnice je namáhaná na tlak

$$\frac{c}{t} \leq 9 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{48}{9} \leq 9 \cdot \varepsilon$$

$$5,3 \leq 9 \rightarrow \text{vyhovuje} - \text{pásnice je třídy 1}$$

Průřez kotevního příčníku je třídy 1.

- posouzení:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{1760 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} = 238,8 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 238,8 \text{ kN} \geq V_{p,d} = 192,07 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$V_{p,d} = 192,07 \text{ kN} \geq \frac{V_{pl,Rd}}{2} = \frac{238,8}{2} = 119,4 \text{ kN}$$

→ je nutné posoudit na kombinaci M + V:

a) v místě působivosti $N_{Ed,min}$

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left(\frac{2 \cdot 137,19}{238,8} - 1 \right)^2 = 0,022$$

$$M_{v,Rd} = \left(W_{pl,y} - \frac{\rho \cdot A_{vz}^2}{4 \cdot t_w} \right) \cdot f_y = \left(145,2 \cdot 10^{-6} - \frac{0,022 \cdot (1760 \cdot 10^{-6})^2}{4 \cdot 2 \cdot 0,007} \right) \cdot 235 \cdot 10^3$$

$$M_{v,Rd} = 33,84 \text{ kNm} \geq M_{l,d} = 27,44 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

b) v místě působivosti $N_{Ed,max}$

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left(\frac{2 \cdot 192,07}{238,8} - 1 \right)^2 = 0,37$$

$$M_{v,Rd} = \left(W_{pl,y} - \frac{\rho \cdot A_{vz}^2}{4 \cdot t_w} \right) \cdot f_y = \left(145,2 \cdot 10^{-6} - \frac{0,37 \cdot (1760 \cdot 10^{-6})^2}{4 \cdot 2 \cdot 0,007} \right) \cdot 235 \cdot 10^3$$

$$M_{v,Rd} = 29,31 \text{ kNm} \geq M_{p,d} = 19,21 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

3.4.7 Přenos vodorovné posouvající síly do betonové patky

O přenosu vodorovné síly do betonové patky rozhoduje kombinace KZS 540 a KZS 568. Kombinace KZS 1033 se nebude uvažovat, protože síla N_c není tlaková. Je potřeba ověřit, zda vodorovnou reakci přeneseme tření mezi patním plechem a betonem.

$$V_{Ed} < \mu \cdot N_c$$

$$\text{KZS 540: } V_{Ed} = 76,78 \text{ kN} < 0,2 \cdot N_c = 0,2 \cdot 367,76 = 73,55 \rightarrow \text{nevyhovuje}$$

$$\text{KZS 568: } V_{Ed} = 67,46 \text{ kN} < 0,2 \cdot N_c = 0,2 \cdot 306,54 = 61,31 \rightarrow \text{nevyhovuje}$$

→ navrhujeme smykovou zarážku

Smyková zarážka je navržena jako válcovaný profil HEB 100. Smyková síla, kterou musí zarážka přenést, se uvažuje jako celá velikost V_{Ed} . Nikoliv zmenšená o velikost, kterou přeneseme tření, protože v tomto případě by vyšla smyková zarážka nesmyslně malá.

Smyková zarážka HEB 100:

$$A_{vz} = 904 \text{ mm}^2$$

$$W_{pl,y} = 1\,04,2 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

- zařídění průřezu smykové zarážky: (dle tab. 5.1 v [1])

1. stojina – stojina je namáhaná na ohyb

$$\frac{c}{t} \leq 72 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{80}{6} \leq 72 \cdot 1$$

$$13,3 \leq 72 \rightarrow \text{vyhovuje} - \text{stojina je třídy 1}$$

2. pásnice – pásnice je namáhaná na tlak

$$\frac{c}{t} \leq 9 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{47}{10} \leq 9 \cdot \varepsilon$$

$$4,7 \leq 9 \rightarrow \text{vyhovuje} - \text{pásnice je třídy 1}$$

Průřez smykové zarážky je třídy 1.

- návrh délky smykové zarážky pod zálivkou:

$$h > \frac{V_{Ed}}{b \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}} = \frac{76,78}{0,1 \cdot \frac{16 \cdot 10^3}{1,5}} = 0,072 \text{ m} \rightarrow h = 80 \text{ mm}$$

$$b = 100 \text{ mm} \rightarrow \text{šířka pásnice profilu HEB 100}$$

- posouzení na smyk:

$$V_{Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{904 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 122,65 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 76,78 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$V_{Ed} = 76,78 \text{ kN} \geq \frac{V_{Rd}}{2} = \frac{122,65}{2} = 61,33 \text{ kN}$$

→ je nutné posoudit na kombinaci M + V:

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{Rd}} - 1 \right)^2 = \left(\frac{2 \cdot 76,78}{122,65} - 1 \right)^2 = 0,064$$

$$M_{v,Rd} = \left(W_{pl,y} - \frac{\rho \cdot A_{vz}^2}{4 \cdot t_w} \right) \cdot f_y = \left(104,2 \cdot 10^{-6} - \frac{0,064 \cdot (904 \cdot 10^{-6})^2}{4 \cdot 0,006} \right) \cdot 235 \cdot 10^3$$

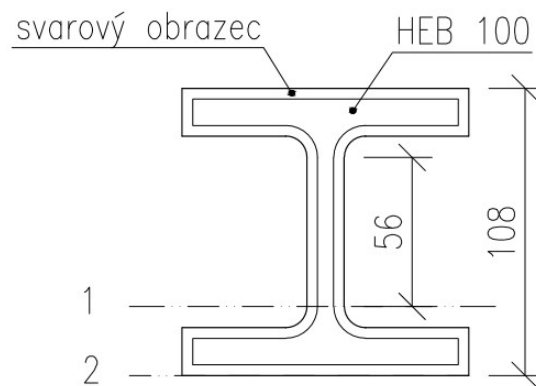
$$M_{v,Rd} = 23,97 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = V_{Ed} \cdot e = 76,78 \cdot \left(0,05 + \frac{0,08}{2} \right) = 6,91 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Smyková zarážka vyhoví.

3.4.8 Svarový přípoj smykové zarážky

Smyková zarážka je připojena k patnímu plechu koutovým svarem $a = 4\text{mm}$. Svarový obrazec je namáhán kombinací ohybu a smyku.

$$I_w = 3,983 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$



Obr. 63: Svarový obrazec

Svarový obrazec se posoudí ve dvou bodech:

a) posouzení v bodě 1:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{76,78}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,056} = 171,38 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_{Ed} \cdot e}{\frac{I_w}{z_1}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{76,78 \cdot 0,095}{\frac{3,983 \cdot 10^{-6}}{0,056}} = 36,26 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{36,26^2 + 3 \cdot (36,26^2 + 171,38^2)} = 305,57 \text{ MPa}$$

$$305,57 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\beta_w = 0,8 \text{ (tab. 7.1 v [1])}$$

$$\sigma_{\perp} = 36,26 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

b) posouzení v bodě 2:

$$\tau_{\parallel} = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_{Ed} \cdot e}{\frac{I_w}{z_2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{76,78 \cdot 0,095}{\frac{3,983 \cdot 10^{-6}}{0,108}} = 69,93 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{69,93^2 + 3 \cdot (69,93^2 + 0^2)} = 139,86 \text{ MPa}$$

$$139,86 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

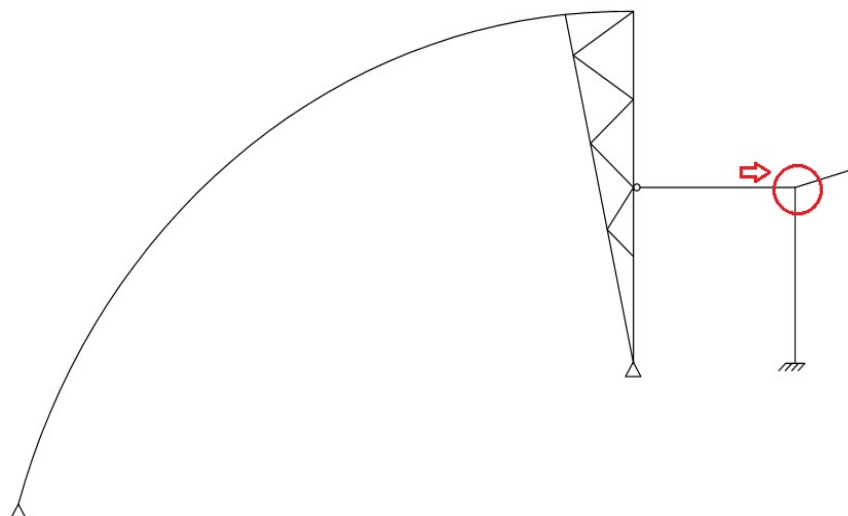
$$\beta_w = 0,8 \text{ (tab. 7.1 v [1])}$$

$$\sigma_{\perp} = 69,93 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Svarový přípoj smykové zarážky vyhoví.

Svarový přípoj byl posouzen na neredukovanou sílu V_{Ed} , tedy nezmenšenou o vliv tření. Tímto zjednodušením je výpočet na straně bezpečnosti.

3.5 Šroubovaný styčník s čelní deskou – přípoj nosníku přístřešku



Obr. 64: Znárodnění šroubovaného přípoje nosníku

Jedná se o přípoj nosníku přístřešku IPE 240 na sloup přístřešku HEB 340. Čelní deska šroubovaného styčníku je navržena tloušťky 20 mm z oceli S 275. Šrouby tohoto styčníku jsou navrženy jako M20 s třídou pevnosti 8.8.

Šrouby M20	Čelní deska	Nosník IPE 240	Sloup HEA 340
$d_s = 20 \text{ mm}$	$t_p = 20 \text{ mm}$	$t_w = 6,2 \text{ mm} = t_{wb}$	$t_w = 9,5 \text{ mm} = t_{wc}$
$d_o = 22 \text{ mm}$	$b_p = 170 \text{ mm}$	$t_f = 9,8 \text{ mm} = t_{fb}$	$t_f = 16,5 \text{ mm} = t_{fc}$
$A_s = 245 \text{ mm}^2$	$h_p = 330 \text{ mm}$	$r_b = 15 \text{ mm}$	$r_c = 27 \text{ mm}$
$f_y = 640 \text{ MPa}$	$f_{y,p} = 275 \text{ MPa}$	$A_b = 3912 \text{ mm}^2$	$A_{vz,c} = 4495 \text{ mm}^2$
$f_u = 800 \text{ MPa}$	$f_{u,p} = 430 \text{ MPa}$	$W_{pl,y,b} = 366,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$	$f_{y,c} = 235 \text{ MPa}$
		$f_{y,b} = 235 \text{ MPa}$	$f_{u,c} = 360 \text{ MPa}$
		$f_{u,b} = 360 \text{ MPa}$	

Tento spoj navrhujeme na největší ohybový moment M_{Ed} s odpovídající normálovou silou N_{Ed} a posouvající silou V_{Ed} .

$$- M_{Ed} = 70,11 \text{ kNm} + N_{Ed} = 61,32 \text{ kN} + V_{Ed} = 34,98 \text{ kN}$$

- KZS 324 – min. stálé zatížení + max. trojúhelníkové zatížení sněhem

1D vnitřní síly

Hodnoty: M_y

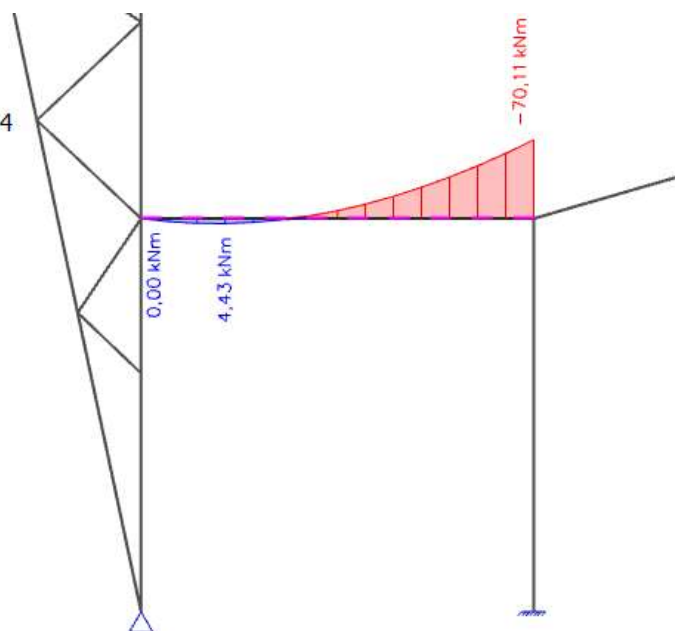
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)324

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Lokální

Výběr: B1



Obr. 65: Namáhání šroubovaného styčnicku ohybovým momentem (KZS 324)

1D vnitřní síly

Hodnoty: N

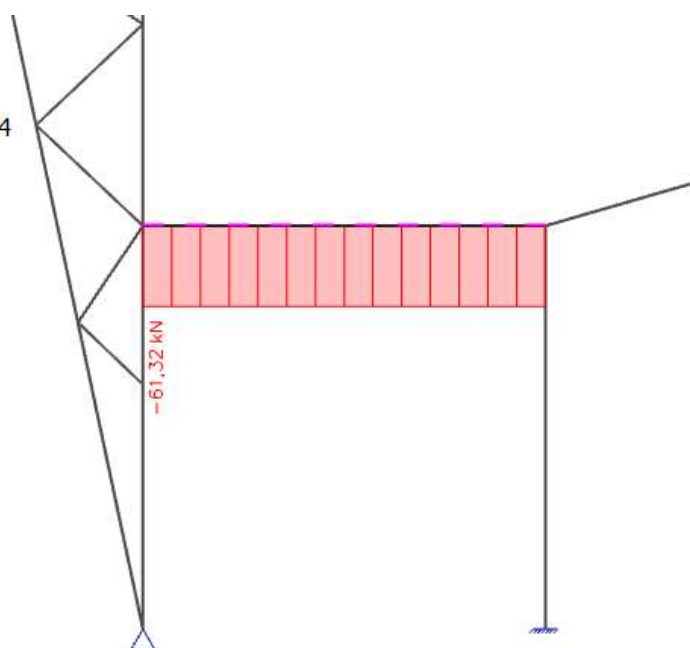
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)324

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Lokální

Výběr: B1



Obr. 66: Namáhání šroubovaného styčnicku normálovou silou (KZS 324)

1D vnitřní sílyHodnoty: V_z

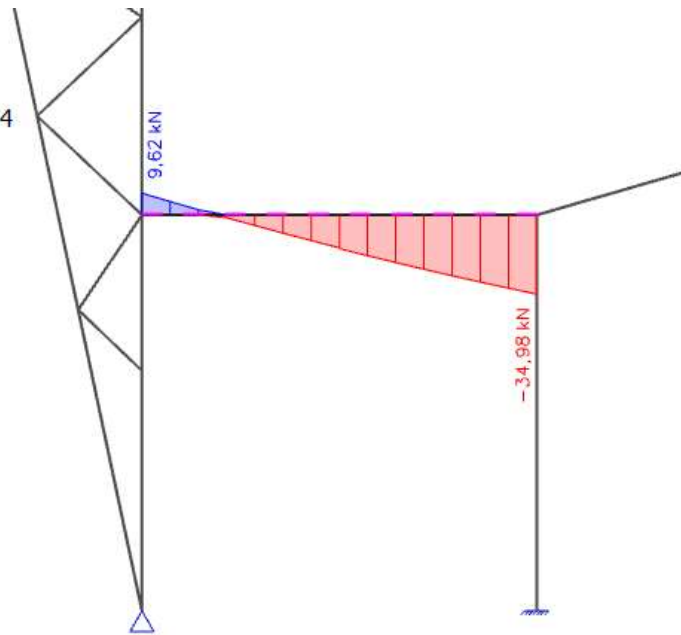
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)324

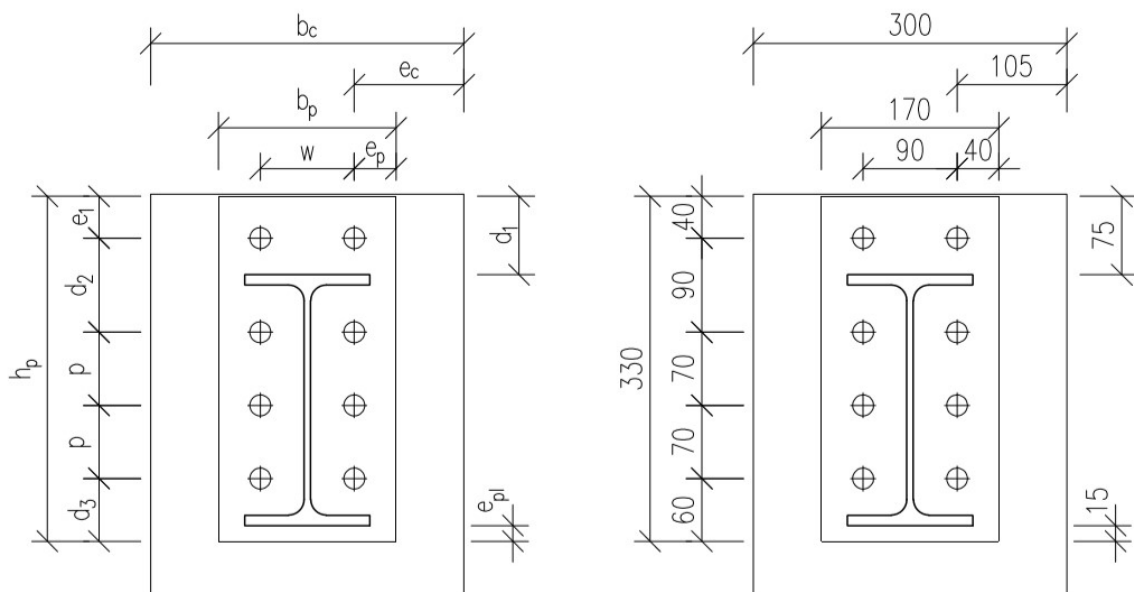
Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Lokální

Výběr: B1



Obr. 67: Namáhání šroubovaného styčnicku posouvající silou (KZS 324)



Obr. 68: Přípoj nosníku přístřešku

Styčnick posoudíme plasticky. Jsou navrženy čtyři řady šroubů, přičemž je uvažováno, že momentovou únosnost zajistí první tři řady šroubů a přenos posouvající síly je zajištěn poslední čtvrtou řadou šroubů.

3.5.1 Návrh svarů

a) svar čelní desky a tažené pásnice příčle IPE 240

$$a_{tf} \geq 0,55 \cdot t_{fb} = 0,55 \cdot 9,8 = 5,39 \text{ mm} \rightarrow a_{tf} = 6 \text{ mm}$$

b) svar čelní desky a stěny příčle IPE 240

$$a_{tw} \geq 0,55 \cdot t_{wb} = 0,55 \cdot 6,2 = 3,41 \text{ mm} \rightarrow a_{tf} = 4 \text{ mm}$$

c) svar čelní desky a tlačené pásnice příčle IPE 240

$$a_{cf} = a_{tf} = 6 \text{ mm}$$

3.5.2 Únosnosti řad šroubů v tahu

Únosnost řady šroubů se určí jako nejmenší hodnota z:

$$F_{t,Rd(row\ i)} = \min \begin{pmatrix} F_{t,wc,Rd} \\ F_{t,fc,Rd} \\ F_{t,ep,Rd} \\ F_{t,wb,Rd} \end{pmatrix}$$

Dále je uvažováno, že efektivní šířka T-průřezu pro způsob porušení 1 a způsob porušení 2 je stejná. Způsob porušení 1 je plastický mechanismus se 4 plastickými klouby. Způsob porušení 2 je plastický mechanismus se 2 plastickými klouby a porušením šroubů v tahu. Způsob porušení 3 bere v úvahu porušení šroubů v tahu.

$$m_{px} = d_1 - e_x - 0,8\sqrt{2} \cdot a_{tf} = 75 - 40 - 0,8\sqrt{2} \cdot 6 = 28,2 \text{ mm}$$

$$m_{p1} = \frac{w - t_{wb} - 2 \cdot 0,8\sqrt{2} \cdot a_w}{2} = \frac{90 - 6,2 - 2 \cdot 0,8\sqrt{2} \cdot 4}{2} = 37,4 \text{ mm}$$

$$m_{p2} = d_2 - (d_1 - e_x - t_{fb}) - 0,8\sqrt{2} \cdot a_{tf} = 90 - (75 - 40 - 9,8) - 0,8\sqrt{2} \cdot 6 = 58 \text{ mm}$$

$$m_{c1} = \frac{w - 0,8 \cdot 2 \cdot r_c - t_{wc}}{2} = \frac{90 - 0,8 \cdot 2 \cdot 27 - 9,5}{2} = 18,65 \text{ mm}$$

3.5.2.1 Únosnost první řady šroubů

a) nevyztužená pásnice sloupu v ohybu

Efektivní šířka T-průřezu se určí jako minimum z hodnot:

$$\min \left(\begin{array}{l} 2 \pi m_{c1} = 2 \cdot \pi \cdot 18,65 = 117,18 \text{ mm} \\ 4 m_{c1} + 1,25 e_c = 4 \cdot 18,65 + 1,25 \cdot 105 = 205,85 \text{ mm} \\ \pi m_{c1} + 0,5 d_2 = \pi \cdot 18,65 + 0,5 \cdot 90 = 103,59 \text{ mm} \\ 2 m_{c1} + 0,625 e_c + 0,5 d_2 = 2 \cdot 18,65 + 0,625 \cdot 105 + 0,5 \cdot 90 = 147,93 \text{ mm} \\ e_x + 0,5 d_2 = 40 + 0,5 \cdot 90 = 85 \text{ mm} \end{array} \right)$$

$$L_{eff,1,c} = L_{eff,2,c} = 85 \text{ mm}$$

Únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

1. způsob porušení

$$M_{pl,1,Rd,r1,c} = \frac{0,25 L_{eff,1,c} t_{fc}^2 f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,085 \cdot 0,0165^2 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 1,36 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd,c} = \frac{4 M_{pl,1,Rd,r1,c}}{m_{c1}} = \frac{4 \cdot 1,36}{0,01865} = 291,69 \text{ kN}$$

2. způsob porušení

$$M_{pl,2,Rd,r1,c} = \frac{0,25 L_{eff,2,c} t_{fc}^2 f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,085 \cdot 0,0165^2 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 1,36 \text{ kNm}$$

$$F_{T,2,Rd,c} = \frac{2 M_{pl,2,Rd,r1,c} + n_{p,c} \cdot \sum F_{t,Rd}}{m_{c1} + n_{p,c}} = \frac{2 \cdot 1,36 + 0,02331 \cdot 282,24}{0,01865 + 0,02331} = 221,62 \text{ kN}$$

$$\sum F_{t,Rd} = 2 F_{t,Rd} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot 245 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 282,24 \text{ kN}$$

$$n_{p,c} = \min(e_c; 1,25 m_{c1}) = \min(105; 1,25 \cdot 18,65) = \min(105; 23,31) = 23,31 \text{ mm}$$

3. způsob porušení

$$F_{T,3,Rd,fc} = \sum F_{t,Rd} = 282,24 \text{ kN}$$

- únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

$$F_{T,Rd,fc} = \min(F_{T,1,Rd,c}; F_{T,2,Rd,c}; F_{T,3,Rd,fc}) = \min(291,69; 221,62; 282,24) = 221,62 \text{ kN}$$

b) stěna sloupu v tahu

Únosnost nevyztužené stěny sloupu v tahu:

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega_{1,r1,c} b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,93 \cdot 0,085 \cdot 0,0095 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 176,48 \text{ kN}$$

- pro oboustranný přípoj ($\beta = 2$), platí: (dle tab. 5.4 v [8])

$$\omega_{1,r1,c} = \omega_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2 \left(\frac{b_{eff,t,wc} t_w}{A_{vz,c}} \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2 \cdot \left(\frac{0,085 \cdot 0,0095}{4495 \cdot 10^{-6}} \right)^2}} = 0,93$$

$$b_{eff,t,wc} = L_{eff,2,c} = 85 \text{ mm}$$

c) čelní deska v ohybu

Efektivní šířka T-průřezu se určí jako minimum z hodnot:

$$\min \left(\begin{array}{l} 2 \pi m_{px} = 2 \cdot \pi \cdot 28,2 = 177,19 \text{ mm} \\ \pi m_{px} + w = \pi \cdot 28,2 + 90 = 178,59 \text{ mm} \\ \pi m_{px} + 2 e_p = \pi \cdot 28,2 + 2 \cdot 40 = 168,59 \text{ mm} \\ 4 m_{px} + 1,25 e_x = 4 \cdot 28,2 + 1,25 \cdot 40 = 162,8 \text{ mm} \\ e_p + 2 m_{px} + 0,625 e_x = 40 + 2 \cdot 28,2 + 0,625 \cdot 40 = 121,4 \text{ mm} \\ 0,5 b_p = 0,5 \cdot 170 = 85 \text{ mm} \\ 0,5 w + 2 m_{px} + 0,625 e_x = 0,5 \cdot 90 + 2 \cdot 28,2 + 0,625 \cdot 40 = 126,4 \text{ mm} \end{array} \right)$$

$$L_{eff,1,b} = L_{eff,2,b} = 85 \text{ mm}$$

Únosnost čelní desky v ohybu:

1. způsob porušení

$$M_{pl,1,Rd,r1,b} = \frac{0,25 L_{eff,1,b} t_p^2 f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,085 \cdot 0,02^2 \cdot 275 \cdot 10^3}{1} = 2,34 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd,ep} = \frac{4 M_{pl,1,Rd,r1,b}}{m_{p1}} = \frac{4 \cdot 2,34}{0,0374} = 250,27 \text{ kN}$$

2. způsob porušení

$$M_{pl,2,Rd,r1,b} = \frac{0,25 L_{eff,2,b} t_p^2 f_p}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,085 \cdot 0,02^2 \cdot 275 \cdot 10^3}{1} = 2,34 \text{ kNm}$$

$$F_{T,2,Rd,ep} = \frac{2 M_{pl,2,Rd,r1,b} + n_{p,ep} \cdot \sum F_{t,Rd}}{m_{p1} + n_{p,ep}} = \frac{2 \cdot 2,34 + 0,04 \cdot 282,24}{0,0374 + 0,04} = 206,33 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_{t,Rd} = 2 F_{t,Rd} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot 245 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 282,24 \text{ kN}$$

$$n_{p,ep} = \min(e_p; 1,25 m_{p1}) = \min(40; 1,25 \cdot 37,4) = \min(40; 46,75) = 40 \text{ mm}$$

3. způsob porušení

$$F_{T,3,Rd,ep} = \Sigma F_{t,Rd} = 282,24 \text{ kN}$$

- únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

$$F_{T,Rd,ep} = \min(F_{T,1,Rd,ep}; F_{T,2,Rd,ep}; F_{T,3,Rd,ep}) = \min(250,27; 206,33; 282,24) = 206,33 \text{ kN}$$

Výsledná únosnost první řady šroubů

$$F_{t,Rd(row 1)} = \min(221,62; 176,48; 206,33) = 176,48 \text{ kN}$$

3.5.2.2 Únosnost druhé řady šroubů

a) nevyztužená pásnice sloupu v ohybu

Efektivní šířka T-průřezu se určí jako minimum z hodnot:

$$\min \left(\begin{array}{l} 2 \pi m_{c1} = 2 \cdot \pi \cdot 18,65 = 117,18 \text{ mm} \\ 4 m_{c1} + 1,25 e_c = 4 \cdot 18,65 + 1,25 \cdot 105 = 205,85 \text{ mm} \\ \pi m_{c1} + 0,5 p = \pi \cdot 18,65 + 0,5 \cdot 70 = 93,59 \text{ mm} \\ 2 m_{c1} + 0,625 e_c + 0,5 p = 2 \cdot 18,65 + 0,625 \cdot 105 + 0,5 \cdot 70 = 137,93 \text{ mm} \\ \pi m_{c1} + 0,5 d_2 = \pi \cdot 18,65 + 0,5 \cdot 90 = 103,59 \text{ mm} \\ 2 m_{c1} + 0,625 e_c + 0,5 d_2 = 2 \cdot 18,65 + 0,625 \cdot 105 + 0,5 \cdot 90 = 147,93 \text{ mm} \\ 0,5 d_2 + 0,5 p = 0,5 \cdot 90 + 0,5 \cdot 70 = 80 \text{ mm} \end{array} \right)$$

$$L_{eff,1,c} = L_{eff,2,c} = 80 \text{ mm}$$

Únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

1. způsob porušení

$$M_{pl,1,Rd,r2,c} = \frac{0,25 L_{eff,1,c} t_{fc}^2 f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,080 \cdot 0,0165^2 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 1,28 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd,c} = \frac{4 M_{pl,1,Rd,r1,c}}{m_{c1}} = \frac{4 \cdot 1,28}{0,01865} = 274,53 \text{ kN}$$

2. způsob porušení

$$M_{pl,2,Rd,r2,c} = \frac{0,25 L_{eff,2,c} t_{fc}^2 f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,080 \cdot 0,0165^2 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 1,28 \text{ kNm}$$

$$F_{T,2,Rd,c} = \frac{2 M_{pl,2,Rd,r1,c} + n_{p,c} \cdot \sum F_{t,Rd}}{m_{c1} + n_{p,c}} = \frac{2 \cdot 1,28 + 0,02331 \cdot 282,24}{0,01865 + 0,02331} = 217,80 \text{ kN}$$

$$\sum F_{t,Rd} = 2 F_{t,Rd} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot 245 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 282,24 \text{ kN}$$

$$n_{p,c} = \min(e_c; 1,25 m_{c1}) = \min(105; 1,25 \cdot 18,65) = \min(105; 23,31) = 23,31 \text{ mm}$$

3. způsob porušení

$$F_{T,3,Rd,fc} = \sum F_{t,Rd} = 282,24 \text{ kN}$$

- únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

$$F_{T,Rd,fc} = \min(F_{T,1,Rd,c}; F_{T,2,Rd,c}; F_{T,3,Rd,fc}) = \min(274,53; 217,80; 282,24) = 217,80 \text{ kN}$$

b) stěna sloupu v tahu

Únosnost nevyztužené stěny sloupu v tahu:

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega_{1,r2,c} b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,93 \cdot 0,080 \cdot 0,0095 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 166,10 \text{ kN}$$

- pro oboustranný přípoj ($\beta = 2$), platí: (dle tab. 5.4 v [8])

$$\omega_{1,r2,c} = \omega_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2 \left(\frac{b_{eff,t,wc} t_w}{A_{vz,c}} \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2 \cdot \left(\frac{0,080 \cdot 0,0095}{4495 \cdot 10^{-6}} \right)^2}} = 0,93$$

$$b_{eff,t,wc} = L_{eff,2,c} = 80 \text{ mm}$$

c) čelní deska v ohybu

Efektivní šířka T-průřezu se určí jako minimum z hodnot:

$$\min \left(\begin{array}{l} 2 \pi m_{p1} = 2 \cdot \pi \cdot 37,4 = 234,99 \text{ mm} \\ \alpha_{r2,b} \cdot m_{p1} = 4,65 \cdot 37,4 = 173,91 \text{ mm} \end{array} \right)$$

$$\alpha_{r2,b} \rightarrow \lambda_{1,r2,b} = \frac{m_{p1}}{m_{p1} + e_p} = \frac{37,4}{37,4 + 40} = 0,48$$

$$\rightarrow \lambda_{2,r2,b} = \frac{m_{p2}}{m_{p1} + e_p} = \frac{58}{37,4 + 40} = 0,75$$

$$\alpha_{r2,b} = 4,65 \text{ (dle obr. 6.11 v [8])}$$

$$L_{eff,1,b} = L_{eff,2,b} = 173,91 \text{ mm}$$

Únosnost čelní desky v ohybu:

1. způsob porušení

$$M_{pl,1,Rd,r2,b} = \frac{0,25 L_{eff,1,b} t_p^2 f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,17391 \cdot 0,02^2 \cdot 275 \cdot 10^3}{1} = 4,78 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd,ep} = \frac{4 M_{pl,1,Rd,r1,b}}{m_{p1}} = \frac{4 \cdot 4,78}{0,0374} = 511,23 \text{ kN}$$

2. způsob porušení

$$M_{pl,2,Rd,r2,b} = \frac{0,25 L_{eff,2,b} t_p^2 f_p}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,17391 \cdot 0,02^2 \cdot 275 \cdot 10^3}{1} = 4,78 \text{ kNm}$$

$$F_{T,2,Rd,ep} = \frac{2 M_{pl,2,Rd,r1,b} + n_{p,ep} \cdot \sum F_{t,Rd}}{m_{p1} + n_{p,ep}} = \frac{2 \cdot 4,78 + 0,04 \cdot 282,24}{0,0374 + 0,04} = 269,37 \text{ kN}$$

$$\sum F_{t,Rd} = 2 F_{t,Rd} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot 245 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 282,24 \text{ kN}$$

$$n_{p,ep} = \min(e_p; 1,25 m_{p1}) = \min(40; 1,25 \cdot 37,4) = \min(40; 46,75) = 40 \text{ mm}$$

3. způsob porušení

$$F_{T,3,Rd,ep} = \sum F_{t,Rd} = 282,24 \text{ kN}$$

- únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

$$F_{T,Rd,ep} = \min(F_{T,1,Rd,ep}; F_{T,2,Rd,ep}; F_{T,3,Rd,ep}) = \min(511,23; 269,37; 282,24) = 269,37 \text{ kN}$$

d) stěna příčle v tahu

$$F_{t,wb,Rd} = \frac{b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,17391 \cdot 0,0062 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 253,39 \text{ kN}$$

$$b_{eff,t,wb} = L_{eff,2,b} = 173,91 \text{ mm}$$

Výsledná únosnost druhé řady šroubů

$$F_{t,Rd(row 2)} = \min(217,80; 166,10; 269,37; 253,39) = 166,10 \text{ kN}$$

3.5.2.3 Únosnost třetí řady šroubů

a) nevyztužená pásnice sloupu v ohybu

Efektivní šířka T-průřezu se určí jako minimum z hodnot:

$$\min \left(\begin{array}{l} 2 \pi m_{c1} = 2 \cdot \pi \cdot 18,65 = 117,18 \text{ mm} \\ 4 m_{c1} + 1,25 e_c = 4 \cdot 18,65 + 1,25 \cdot 105 = 205,85 \text{ mm} \\ \pi m_{c1} + 0,5 p = \pi \cdot 18,65 + 0,5 \cdot 70 = 93,59 \text{ mm} \\ 2 m_{c1} + 0,625 e_c + 0,5 p = 2 \cdot 18,65 + 0,625 \cdot 105 + 0,5 \cdot 70 = 137,93 \text{ mm} \\ p = 70 \text{ mm} \end{array} \right)$$

$$L_{eff,1,c} = L_{eff,2,c} = 70 \text{ mm}$$

Únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

1. způsob porušení

$$M_{pl,1,Rd,r3,c} = \frac{0,25 L_{eff,1,c} t_{fc}^2 f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,07 \cdot 0,0165^2 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 1,12 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd,c} = \frac{4 M_{pl,1,Rd,r3,c}}{m_{c1}} = \frac{4 \cdot 1,12}{0,01865} = 240,21 \text{ kN}$$

2. způsob porušení

$$M_{pl,2,Rd,r3,c} = \frac{0,25 L_{eff,2,c} t_{fc}^2 f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,07 \cdot 0,0165^2 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 1,12 \text{ kNm}$$

$$F_{T,2,Rd,c} = \frac{2 M_{pl,2,Rd,r3,c} + n_{p,c} \cdot \sum F_{t,Rd}}{m_{c1} + n_{p,c}} = \frac{2 \cdot 1,12 + 0,02331 \cdot 282,24}{0,01865 + 0,02331} = 210,18 \text{ kN}$$

$$\sum F_{t,Rd} = 2 F_{t,Rd} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot 245 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 282,24 \text{ kN}$$

$$n_{p,c} = \min(e_c; 1,25 m_{c1}) = \min(105; 1,25 \cdot 18,65) = \min(105; 23,31) = 23,31 \text{ mm}$$

3. způsob porušení

$$F_{T,3,Rd,fc} = \sum F_{t,Rd} = 282,24 \text{ kN}$$

- únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

$$F_{T,Rd,fc} = \min(F_{T,1,Rd,c}; F_{T,2,Rd,c}; F_{T,3,Rd,fc}) = \min(240,21; 210,18; 282,24) = 210,18 \text{ kN}$$

b) stěna sloupu v tahu

Únosnost nevyztužené stěny sloupu v tahu:

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega_{1,r3,c} b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,95 \cdot 0,07 \cdot 0,0095 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 148,46 \text{ kN}$$

- pro oboustranný přípoj ($\beta = 2$), platí: (dle tab. 5.4 v [8])

$$\omega_{1,r3,c} = \omega_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2 \left(\frac{b_{eff,t,wc} t_w}{A_{vz,c}} \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2 \cdot \left(\frac{0,07 \cdot 0,0095}{4495 \cdot 10^{-6}} \right)^2}} = 0,95$$

$$b_{eff,t,wc} = L_{eff,2,c} = 70 \text{ mm}$$

c) čelní deska v ohybu

Efektivní šířka T-průřezu se určí jako minimum z hodnot:

$$\min \left(\begin{array}{l} 2 \pi m_{p1} = 2 \cdot \pi \cdot 37,4 = 234,99 \text{ mm} \\ 4 m_{p1} + 1,25 e_p = 4 \cdot 37,4 + 1,25 \cdot 40 = 199,6 \text{ mm} \\ \pi m_{p1} + 0,5 p = \pi \cdot 37,4 + 0,5 \cdot 70 = 152,5 \text{ mm} \\ 2 m_{p1} + 0,625 e_p + 0,5 p = 2 \cdot 37,4 + 0,625 \cdot 40 + 0,5 \cdot 70 = 135,3 \text{ mm} \\ p = 70 \text{ mm} \end{array} \right)$$

$$L_{eff,1,b} = L_{eff,2,b} = 70 \text{ mm}$$

Únosnost čelní desky v ohybu:

1. způsob porušení

$$M_{pl,1,Rd,r3,b} = \frac{0,25 L_{eff,1,b} t_p^2 f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,07 \cdot 0,02^2 \cdot 275 \cdot 10^3}{1} = 1,93 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd,ep} = \frac{4 M_{pl,1,Rd,r1,b}}{m_{p1}} = \frac{4 \cdot 1,93}{0,0374} = 205,88 \text{ kN}$$

2. způsob porušení

$$M_{pl,2,Rd,r3,b} = \frac{0,25 L_{eff,2,b} t_p^2 f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,085 \cdot 0,02^2 \cdot 275 \cdot 10^3}{1} = 1,93 \text{ kNm}$$

$$F_{T,2,Rd,ep} = \frac{2 M_{pl,2,Rd,r3,b} + n_{p,ep} \cdot \Sigma F_{t,Rd}}{m_{p1} + n_{p,ep}} = \frac{2 \cdot 1,93 + 0,04 \cdot 282,24}{0,0374 + 0,04} = 195,73 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_{t,Rd} = 2 F_{t,Rd} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot 245 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 282,24 \text{ kN}$$

$$n_{p,ep} = \min(e_p; 1,25 m_{p1}) = \min(40; 1,25 \cdot 37,4) = \min(40; 46,75) = 40 \text{ mm}$$

3. způsob porušení

$$F_{T,3,Rd,ep} = \sum F_{t,Rd} = 282,24 \text{ kN}$$

- únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

$$F_{T,Rd,ep} = \min(F_{T,1,Rd,ep}; F_{T,2,Rd,ep}; F_{T,3,Rd,ep}) = \min(205,88; 195,73; 282,24) = 195,73 \text{ kN}$$

d) stěna příčle v tahu

$$F_{t,wb,Rd} = \frac{b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,07 \cdot 0,0062 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 101,99 \text{ kN}$$

$$b_{eff,t,wb} = L_{eff,2,b} = 70 \text{ mm}$$

Výsledná únosnost třetí řady šroubů

$$F_{t,Rd(row 3)} = \min(210,18; 148,46; 195,73; 101,99) = 101,99 \text{ kN}$$

3.5.3 Únosnost tlačené oblasti

a) stěna sloupu v tlaku

$$F_{c,wc,Rd} = \min\left(\frac{\omega_c k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,c}}{\gamma_{M0}}; \frac{\omega_c k_{wc} \rho_c b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,c}}{\gamma_{M0}}\right)$$

- $k_{wc} = 0,7$ (konzervativně dle 6.2.6.2(2) v [8])

- efektivní šířka pro tlačenu stěnu sloupu:

$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_{cf} + 5(t_{fc} + r_c) + \sqrt{2} t_p = 9,8 + 2\sqrt{2} \cdot 6 + 5 \cdot (16,5 + 27) + \sqrt{2} \cdot 20$$

$$b_{eff,c,wc} = 9,8 + 2\sqrt{2} \cdot 6 + 5 \cdot (16,5 + 27) + \sqrt{2} \cdot 20 = 272,55 \text{ mm}$$

- pro oboustranný přípoj ($\beta = 2$), platí: (dle tab. 5.4 v [8])

$$\omega_{1,c} = \omega_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2 \left(\frac{b_{eff,t,wc} t_w}{A_{vz,c}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2 \cdot \left(\frac{0,27255 \cdot 0,0095}{4495 \cdot 10^{-6}}\right)^2}} = 0,606$$

- štíhlost stěny sloupu:

$$\lambda_{p,c} = 0,932 \sqrt{\frac{b_{eff,c,wc} d_c f_{y,c}}{E t_{wc}^2}} = 0,932 \cdot \sqrt{\frac{0,27255 \cdot 0,243 \cdot 235 \cdot 10^3}{210 \cdot 10^6 \cdot 0,0095^2}} = 0,84$$

$$\rho_c = \frac{\lambda_{p,c} - 0,2}{\lambda_{p,c}^2} = \frac{0,84 - 0,2}{0,84^2} = 0,91$$

$$F_{c,wc,Rd} = \min \left(\begin{array}{l} \frac{0,606 \cdot 0,7 \cdot 0,27255 \cdot 0,0095 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 258,11 \text{ kN} \\ \frac{0,606 \cdot 0,7 \cdot 0,91 \cdot 0,27255 \cdot 0,0095 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 234,88 \text{ kN} \end{array} \right)$$

$$F_{c,wc,Rd} = 234,88 \text{ kN}$$

Únosnost tlačené oblasti je malá, ovlivnila by negativně momentovou únosnost styčnicku. Proto se navrhne výztuha v tlačené oblasti. Předpokládá se, že vlivem výztuhy tlačená oblast přeneše minimálně takovou sílu, která se rovná součtu tahových sil v řadách šroubů. Návrh a posouzení výztuhy není součástí této práce.

$$\sum F_{t,Rd}(\text{row } i) = F_{c,wc,Rd} = 176,48 + 166,1 + 101,99 = 444,57 \text{ kN}$$

b) pásnice a stěna nosníku v tlaku

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{(h - t_{fb})} = \frac{86,151}{(0,24 - 0,0098)} = 374,24 \text{ kN}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y,b} f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{366,6 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 86,151 \text{ kNm}$$

Výsledná únosnost tlačené oblasti

$$F_{c,Rd} = \min(F_{c,wc,Rd}; F_{c,fb,Rd}) = \min(444,57; 374,24) = 374,24 \text{ kN}$$

3.5.4 Stěna sloupu ve smyku

- štíhlost stěny sloupu:

$$\frac{d_c}{t_{wc}} = \frac{243}{9,5} = 25,58 \leq 69 \cdot \varepsilon = 69 \rightarrow \text{vyhovuje} \rightarrow \text{stěna ve smyku nebouří}$$

- únosnost ve smyku:

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 A_{vz,c} f_{y,c}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{0,9 \cdot 4495 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 548,88 \text{ kN}$$

$$V_{wp,Rd} = 548,88 \text{ kN} \geq F_{c,wc,Rd} = 444,57 \text{ kN}$$

Únosnost stěny ve smyku je větší než součet tahové únosnosti jednotlivých řad šroubů, proto není potřeba navrhovat příložku na stěnu sloupu. Nedojde ke snížení momentové únosnosti přípoje.

3.5.5 Momentová únosnost

Jednotlivé síly v řadách šroubů upravíme tak, aby tahová únosnost $F_{c,wc,Rd}$ nepřekročila únosnost tlačené oblasti $F_{c,fb,Rd}$. Je potřeba zredukovat tahovou sílu v poslední řadě šroubů, aby nedošlo k překročení únosnosti tlačené pásnice nosníku.

Řada	Únosnost řady	Redukce únosnosti řady	Rameno h_i
1	$F_{t,Rd(row 1)} = 176,48 \text{ kN}$	$F_{t1,Rd} = 176,48 \text{ kN}$	270,1 mm
2	$F_{t,Rd(row 2)} = 166,10 \text{ kN}$	$F_{t2,Rd} = 166,10 \text{ kN}$	180,1 mm
3	$F_{t,Rd(row 3)} = 101,99 \text{ kN}$	$F_{t3,Rd} = 31,66 \text{ kN}$	110,1 mm
celkem	$\sum F_{t,Rd(row i)} = 444,57 \text{ kN}$	$\sum F_{t,Rd} = 374,24 \text{ kN}$	

- únosnost stěny sloupu ve smyku: ($\beta = 2$) (dle tab. 5.4 v [8])

$$\frac{V_{wp,Rd}}{\beta} = \frac{548,88}{2} = 274,44 \text{ kN} \geq \sum F_{t,Rd} = 374,24 \text{ kN} \rightarrow \text{nevyhovuje}$$

→ smyková únosnost stěny sloupu je menší než součet tahových sil v řadách šroubů, proto navrhne příložky tloušťky $t_s = 8 \text{ mm}$ na stěnu sloupu na obou stranách:

- započitatelná šířka příložky je:

$$b_s = \min(40 \varepsilon t_s; h_c - 2 r_c - 2 t_s - 2 t_{fc})$$

$$b_s = \min(40 \cdot 1 \cdot 16; 330 - 2 \cdot 27 - 2 \cdot 2 \cdot 8 - 2 \cdot 16,5) = \min(640; 211) = 211 \text{ mm}$$

- nová smyková plocha stěny:

$$A_{vz,c,mod} = A_{vz,c} + b_s t_{wc} = 4495 + 211 \cdot 9,5 = 6499,5 \text{ mm}^2$$

- nová smyková únosnost vyztužené stěny sloupu:

$$V_{wp,Rd,mod} = \frac{0,9 A_{vz,c,mod} f_{y,c}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{0,9 \cdot 6499,5 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 793,65 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{wp,Rd,mod}}{\beta} = \frac{793,65}{2} = 396,83 \text{ kN} \geq \Sigma F_{t,Rd} = 374,24 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- největší síla v řadě šroubů nesmí překročit 1,9 násobek únosnosti šroubu v tahu:

$$F_{t1,Rd} = 176,48 \text{ kN} \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd} = 1,9 \cdot 142,12 = 270,03 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- momentová únosnost navrženého styčnicku:

$$M_{j,Rd} = F_{t1,Rd} h_1 + F_{t2,Rd} h_2 + F_{t3,Rd} h_3$$

$$M_{j,Rd} = 176,48 \cdot 0,2701 + 166,1 \cdot 0,1801 + 31,66 \cdot 0,1101 = 81,07 \text{ kNm}$$

$$M_{j,Rd} = 81,07 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 70,11 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

3.5.6 Smyková únosnost

- únosnost šroubu ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot \frac{0,6 A_s f_u}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 245 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 2 \cdot 94,08 = 188,16 \text{ kN}$$

- únosnost v otláčení (pro pásnici sloupu):

$$F_{b,Rd} = 2 \cdot \frac{k_1 \alpha_b d_s t_{fc} f_{u,c}}{\gamma_{M2}}$$

$$\alpha_b = \min \begin{pmatrix} \frac{p_1}{3 d_0} - \frac{1}{4} \\ \frac{f_u}{f_{u,c}} \\ 1,0 \end{pmatrix} = \min \begin{pmatrix} \frac{70}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} \\ \frac{800}{360} \\ 1,0 \end{pmatrix} = \min \begin{pmatrix} 0,81 \\ 2,22 \\ 1,0 \end{pmatrix} = 0,81$$

$$k_1 = \min \begin{pmatrix} \frac{2,8 e_2}{d_0} - 1,7 \\ 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,4 \end{pmatrix} = \min \begin{pmatrix} \frac{2,8 \cdot 40}{22} - 1,7 \\ 1,4 \cdot \frac{90}{22} - 1,7 \\ 2,5 \end{pmatrix} = \min \begin{pmatrix} 3,39 \\ 4,03 \\ 2,5 \end{pmatrix} = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = 2 \cdot \frac{2,5 \cdot 0,81 \cdot 0,02 \cdot 0,0165 \cdot 360 \cdot 10^3}{1,25} = 2 \cdot 192,5 = 384,91 \text{ kN}$$

- smyková únosnost:

$$V_{Rd} = \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = \min(188,16; 384,91) = 188,16 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 188,16 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 34,98 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

3.5.7 Namáhání od osově síly

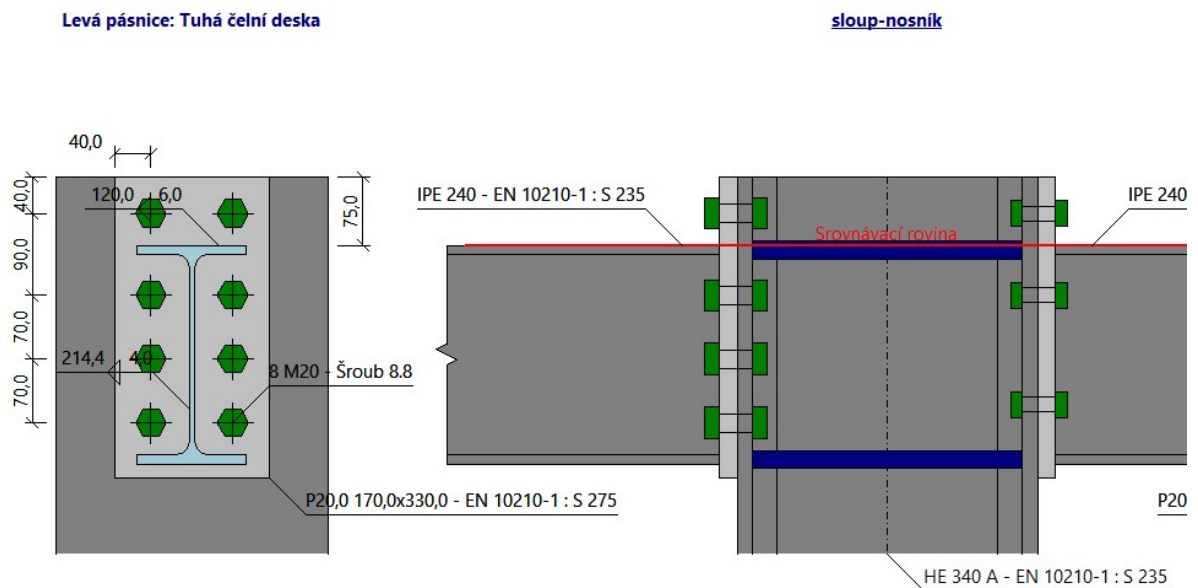
$$N_{Ed} \leq 0,1 N_{pl,Rd} = 0,1 \cdot \frac{A_b \cdot f_{y,b}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{Ed} = 61,32 \text{ kN} \leq 0,1 \cdot \frac{3912 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 91,93 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Pokud je osová síla ve styčnicku menší než 10% tlakové únosnosti nosníku, lze osově namáhání nosníku zanedbat.

Navrhovaný styčnick vyhovuje.

3.5.8 Posouzení přípoje ve FIN EC Ocelové spoje



Obr. 69: Šroubovaný styčnick na levé straně sloupu

PŘÍPOJ NA LEVÉ STRANĚ - VYHOVUJE (83,25 %)
 Momentová únosnost : $M_{y,Rd} = 88,13 \text{ kNm}$ (79,55%)
 Smyková únosnost : $V_{z,Rd} = 632,60 \text{ kN}$ (32,33%)
 Únosnost svarů : Maximální využití (83,25%)
 Počáteční tuhost : $S_{i,ini} = 14565,56 \text{ kNm/rad}$

Obr. 70: Posouzení levého styčnicku ve FIN EC Ocelové spoje

Porovnání s ručním výpočtem

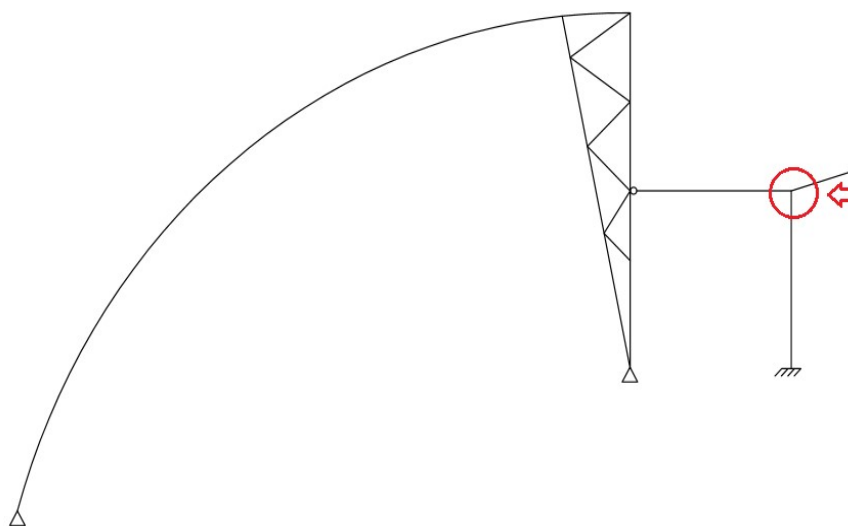
	<i>Ruční výpočet</i>	<i>Výpočet ve FIN EC</i>
Momentová únosnost	$M_{j,Rd} = 81,07 \text{ kNm}$	$M_{y,Rd} = 88,13 \text{ kNm}$
Smyková únosnost	$V_{Rd} = 188,16 \text{ kN}$	$V_{z,Rd} = 632,60 \text{ kN}$

Program uvažuje, že momentovou a smykovou únosnost zajišťují všechny 4 řady šroubů. Momentová únosnost je v softwaru větší díky uvažované výztuze i v tahové části připojovaného nosníku, jelikož v praxi by byl styčník s největší pravděpodobností navržen takto. V ručním výpočtu byla uvažována pouze v tlačené části a bez posudku. Tedy nebyla navržena ani její tloušťka. Bylo předpokládáno, že po přidání výztuhy výztuha unese tlakovou sílu rovnou součtu tahových sil v řadách šroubů.

Smyková únosnost v softwaru je větší, protože smyk je přenášen všemi 4 řadami šroubů.

Tímto je potvrzeno správné posouzení šroubovaného styčníku. Styčník vyhověl i na základě výpočtu softwaru.

3.6 Šroubovaný styčník s čelní deskou – přípoj konzoly přístřešku



Obr. 71: Znáornění šroubovaného přípoje konzoly

Jedná se o přípoj konzoly přístřešku IPE 240 na sloup přístřešku HEB 340. Čelní deska šroubovaného styčníku je navržena tloušťky 20 mm z oceli S 275. Šrouby tohoto styčníku jsou navrženy jako M16 s třídou pevnosti 8.8.

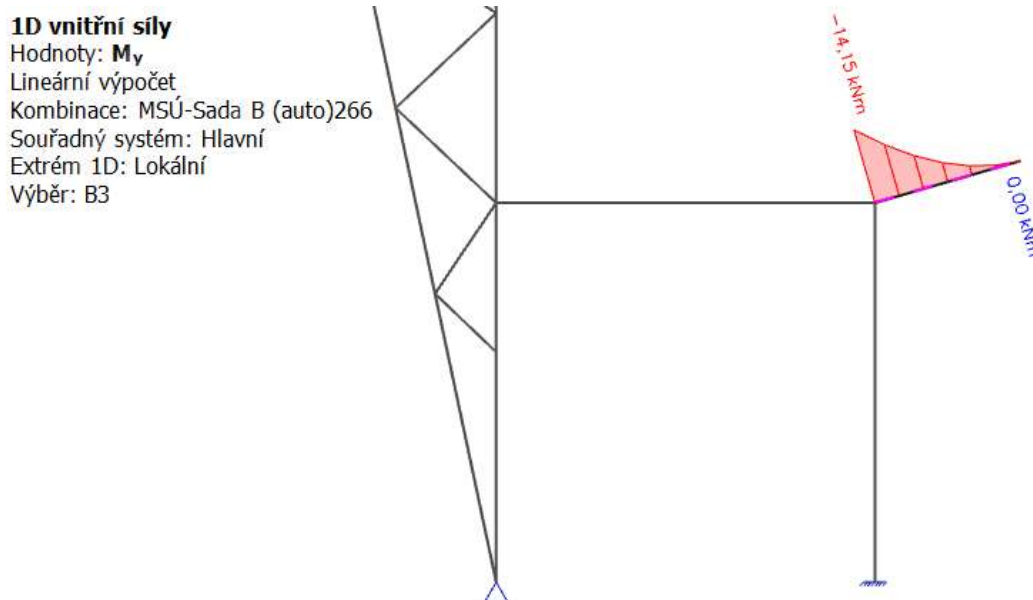
Pro zjednodušení návrhu a posouzení styčnicku je styčnick uvažován jako vodorovný, tzn. svírá se sloupem přístřešku pravý úhel.

Šrouby M16	Čelní deska	Nosník IPE 240	Sloup HEA 340
$d_s = 16 \text{ mm}$	$t_p = 20 \text{ mm}$	$t_w = 6,2 \text{ mm} = t_{wb}$	$t_w = 9,5 \text{ mm} = t_{wc}$
$d_o = 18 \text{ mm}$	$b_p = 170 \text{ mm}$	$t_f = 9,8 \text{ mm} = t_{fb}$	$t_f = 16,5 \text{ mm} = t_{fc}$
$A_s = 157 \text{ mm}^2$	$h_p = 330 \text{ mm}$	$r_b = 15 \text{ mm}$	$r_c = 27 \text{ mm}$
$f_y = 640 \text{ MPa}$	$f_{y,p} = 275 \text{ MPa}$	$A_b = 3912 \text{ mm}^2$	$A_{vz,c} = 4495 \text{ mm}^2$
$f_u = 800 \text{ MPa}$	$f_{u,p} = 430 \text{ MPa}$	$W_{pl,y,b} = 366,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$	$f_{y,c} = 235 \text{ MPa}$
		$f_{y,b} = 235 \text{ MPa}$	$f_{u,c} = 360 \text{ MPa}$
		$f_{u,b} = 360 \text{ MPa}$	

Tento spoj navrhujeme na největší ohybový moment M_{Ed} s odpovídající normálovou silou N_{Ed} a posouvající silou V_{Ed} .

$$- M_{Ed} = 14,15 \text{ kNm} + N_{Ed} = 3,98 \text{ kN} + V_{Ed} = 13,79 \text{ kN}$$

- KZS 266 – min. stálé zatížení + max. trojúhelníkové zatížení sněhem



Obr. 72: Namáhání šroubovaného styčnicku ohybovým momentem (KZS 266)

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

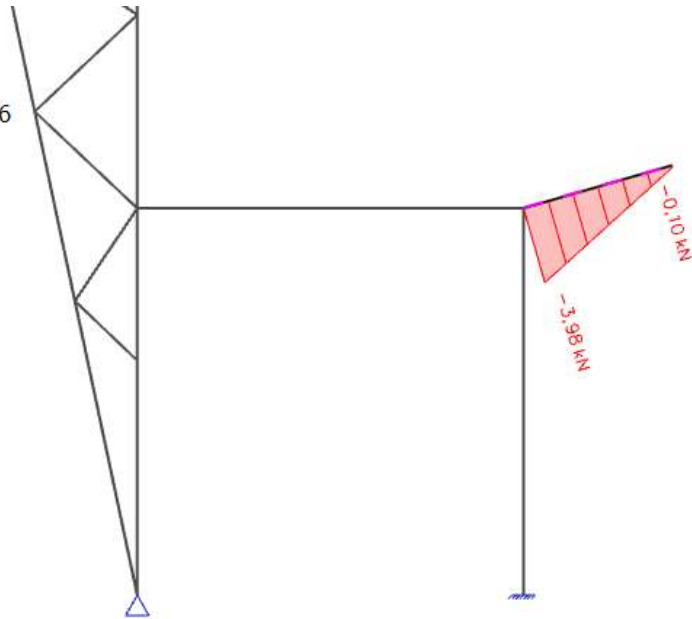
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)266

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Lokální

Výběr: B3



Obr. 73: Namáhání šroubového styčnicku normálovou silou (KZS 266)

1D vnitřní síly

Hodnoty: **V_z**

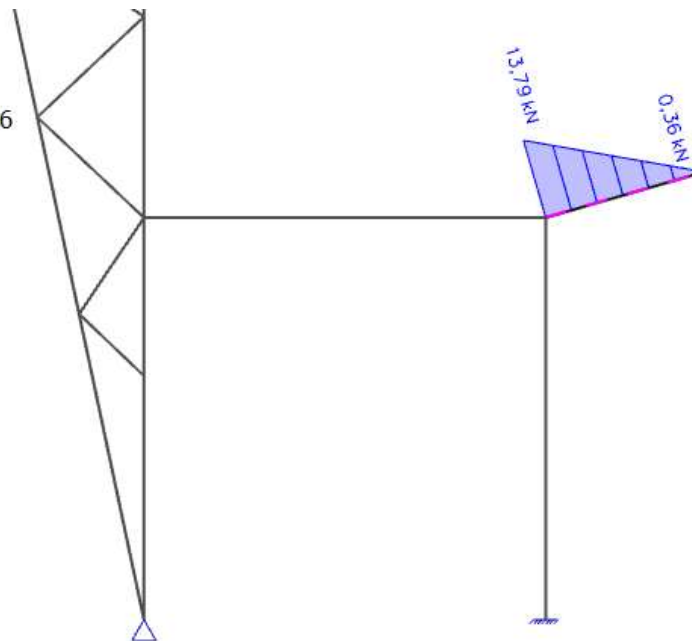
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)266

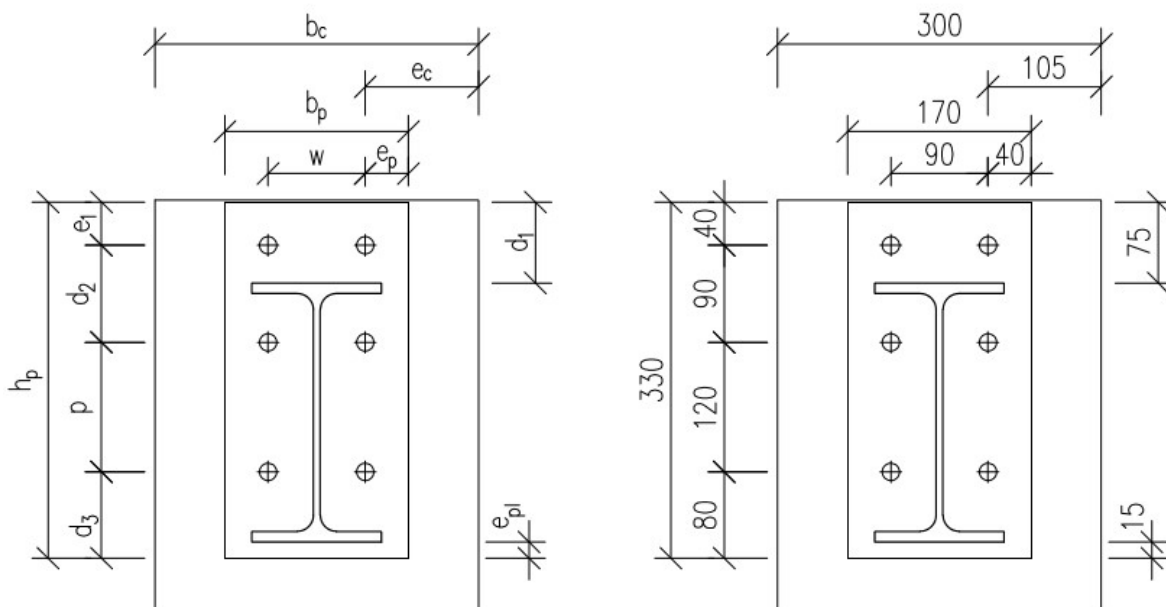
Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Lokální

Výběr: B3



Obr. 74: Namáhání šroubovaného styčnicku posouvající silou (KZS 266)



Obr. 75: Přípoj konzoly přístřešku

Styčník posoudíme plasticky. Jsou navrženy tři řady šroubů, přičemž je uvažováno, že momentovou únosnost zajistí první dvě řady šroubů a přenos posouvající síly je zajištěn poslední třetí řadou šroubů.

3.6.1 Návrh svarů

a) svar čelní desky a tažené pásnice příčle IPE 240

$$a_{tf} \geq 0,55 \cdot t_{fb} = 0,55 \cdot 9,8 = 5,39 \text{ mm} \rightarrow a_{tf} = 6 \text{ mm}$$

b) svar čelní desky a stěny příčle IPE 240

$$a_{tw} \geq 0,55 \cdot t_{wb} = 0,55 \cdot 6,2 = 3,41 \text{ mm} \rightarrow a_{tf} = 4 \text{ mm}$$

c) svar čelní desky a tlačené pásnice příčle IPE 240

$$a_{cf} = a_{tf} = 6 \text{ mm}$$

3.6.2 Únosnosti řad šroubů v tahu

Únosnost řady šroubů se určí jako nejmenší hodnota z:

$$F_{t,Rd(row\ i)} = \min \begin{pmatrix} F_{t,wc,Rd} \\ F_{t,fc,Rd} \\ F_{t,ep,Rd} \\ F_{t,wb,Rd} \end{pmatrix}$$

Dále je uvažováno, že efektivní šířka T-průřezu pro způsob porušení 1 a způsob porušení 2 je stejná. Způsob porušení 1 je plastický mechanismus se 4 plastickými klouby. Způsob porušení 2 je plastický mechanismus se 2 plastickými klouby a porušením šroubů v tahu. Způsob porušení 3 bere v úvahu porušení šroubů v tahu.

$$m_{px} = d_1 - e_x - 0,8\sqrt{2} \cdot a_{tf} = 75 - 40 - 0,8\sqrt{2} \cdot 6 = 28,2 \text{ mm}$$

$$m_{p1} = \frac{w - t_{wb} - 2 \cdot 0,8\sqrt{2} \cdot a_w}{2} = \frac{90 - 6,2 - 2 \cdot 0,8\sqrt{2} \cdot 4}{2} = 37,4 \text{ mm}$$

$$m_{p2} = d_2 - (d_1 - e_x - t_{fb}) - 0,8\sqrt{2} \cdot a_{tf} = 90 - (75 - 40 - 9,8) - 0,8\sqrt{2} \cdot 6 = 58 \text{ mm}$$

$$m_{c1} = \frac{w - 0,8 \cdot 2 \cdot r_c - t_{wc}}{2} = \frac{90 - 0,8 \cdot 2 \cdot 27 - 9,5}{2} = 18,65 \text{ mm}$$

3.6.2.1 Únosnost první řady šroubů

a) nevyztužená pásnice sloupu v ohybu

Efektivní šířka T-průřezu se určí jako minimum z hodnot:

$$\min \begin{pmatrix} 2 \pi m_{c1} = 2 \cdot \pi \cdot 18,65 = 117,18 \text{ mm} \\ 4 m_{c1} + 1,25 e_c = 4 \cdot 18,65 + 1,25 \cdot 105 = 205,85 \text{ mm} \\ \pi m_{c1} + 0,5 d_2 = \pi \cdot 18,65 + 0,5 \cdot 90 = 103,59 \text{ mm} \\ 2 m_{c1} + 0,625 e_c + 0,5 d_2 = 2 \cdot 18,65 + 0,625 \cdot 105 + 0,5 \cdot 90 = 147,93 \text{ mm} \\ e_x + 0,5 d_2 = 40 + 0,5 \cdot 90 = 85 \text{ mm} \end{pmatrix}$$

$$L_{eff,1,c} = L_{eff,2,c} = 85 \text{ mm}$$

Únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

1. způsob porušení

$$M_{pl,1,Rd,r1,c} = \frac{0,25 L_{eff,1,c} t_{fc}^2 f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,085 \cdot 0,0165^2 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 1,36 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd,c} = \frac{4 M_{pl,1,Rd,r1,c}}{m_{c1}} = \frac{4 \cdot 1,36}{0,01865} = 291,69 \text{ kN}$$

2. způsob porušení

$$M_{pl,2,Rd,r1,c} = \frac{0,25 L_{eff,2,c} t_{fc}^2 f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,085 \cdot 0,0165^2 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 1,36 \text{ kNm}$$

$$F_{T,2,Rd,c} = \frac{2 M_{pl,2,Rd,r1,c} + n_{p,c} \cdot \sum F_{t,Rd}}{m_{c1} + n_{p,c}} = \frac{2 \cdot 1,36 + 0,02331 \cdot 180,86}{0,01865 + 0,02331} = 165,3 \text{ kN}$$

$$\sum F_{t,Rd} = 2 F_{t,Rd} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot 157 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 180,86 \text{ kN}$$

$$n_{p,c} = \min(e_c; 1,25 m_{c1}) = \min(105; 1,25 \cdot 18,65) = \min(105; 23,31) = 23,31 \text{ mm}$$

3. způsob porušení

$$F_{T,3,Rd,fc} = \sum F_{t,Rd} = 180,86 \text{ kN}$$

- únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

$$F_{T,Rd,fc} = \min(F_{T,1,Rd,c}; F_{T,2,Rd,c}; F_{T,3,Rd,fc}) = \min(291,69; 165,3; 180,86) = 165,3 \text{ kN}$$

b) stěna sloupu v tahu

Únosnost nevyztužené stěny sloupu v tahu:

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega_{1,r1,c} b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,93 \cdot 0,085 \cdot 0,0095 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 176,48 \text{ kN}$$

$$\omega_{1,r1,c} = \omega_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2 \left(\frac{b_{eff,t,wc} t_w}{A_{vz,c}} \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2 \cdot \left(\frac{0,085 \cdot 0,0095}{4495 \cdot 10^{-6}} \right)^2}} = 0,93$$

$$b_{eff,t,wc} = L_{eff,2,c} = 85 \text{ mm}$$

c) čelní deska v ohybu

Efektivní šířka T-průřezu se určí jako minimum z hodnot:

$$\min \left(\begin{array}{l} 2 \pi m_{px} = 2 \cdot \pi \cdot 28,2 = 177,19 \text{ mm} \\ \pi m_{px} + w = \pi \cdot 28,2 + 90 = 178,59 \text{ mm} \\ \pi m_{px} + 2 e_p = \pi \cdot 28,2 + 2 \cdot 40 = 168,59 \text{ mm} \\ 4 m_{px} + 1,25 e_x = 4 \cdot 28,2 + 1,25 \cdot 40 = 162,8 \text{ mm} \\ e_p + 2 m_{px} + 0,625 e_x = 40 + 2 \cdot 28,2 + 0,625 \cdot 40 = 121,4 \text{ mm} \\ 0,5 b_p = 0,5 \cdot 170 = 85 \text{ mm} \\ 0,5 w + 2 m_{px} + 0,625 e_x = 0,5 \cdot 90 + 2 \cdot 28,2 + 0,625 \cdot 40 = 126,4 \text{ mm} \end{array} \right)$$

$$L_{eff,1,b} = L_{eff,2,b} = 85 \text{ mm}$$

Únosnost čelní desky v ohybu:

1. způsob porušení

$$M_{pl,1,Rd,r1,b} = \frac{0,25 L_{eff,1,b} t_p^2 f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,085 \cdot 0,02^2 \cdot 275 \cdot 10^3}{1} = 2,34 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd,ep} = \frac{4 M_{pl,1,Rd,r1,b}}{m_{p1}} = \frac{4 \cdot 2,34}{0,0374} = 250,27 \text{ kN}$$

2. způsob porušení

$$M_{pl,2,Rd,r1,b} = \frac{0,25 L_{eff,2,b} t_p^2 f_p}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,085 \cdot 0,02^2 \cdot 275 \cdot 10^3}{1} = 2,34 \text{ kNm}$$

$$F_{T,2,Rd,ep} = \frac{2 M_{pl,2,Rd,r1,b} + n_{p,ep} \cdot \sum F_{t,Rd}}{m_{p1} + n_{p,ep}} = \frac{2 \cdot 2,34 + 0,04 \cdot 180,86}{0,0374 + 0,04} = 153,93 \text{ kN}$$

$$\sum F_{t,Rd} = 2 F_{t,Rd} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot 157 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 180,86 \text{ kN}$$

$$n_{p,ep} = \min(e_p; 1,25 m_{p1}) = \min(40; 1,25 \cdot 37,4) = \min(40; 46,75) = 40 \text{ mm}$$

3. způsob porušení

$$F_{T,3,Rd,ep} = \sum F_{t,Rd} = 180,86 \text{ kN}$$

- únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

$$F_{T,Rd,ep} = \min(F_{T,1,Rd,ep}; F_{T,2,Rd,ep}; F_{T,3,Rd,ep}) = \min(250,27; 153,93; 180,86) = 153,93 \text{ kN}$$

Výsledná únosnost první řady šroubů

$$F_{t,Rd(row 1)} = \min(165,3; 176,48; 153,93) = 153,93 \text{ kN}$$

3.6.2.2 Únosnost druhé řady šroubů

a) nevyztužená pásnice sloupu v ohybu

Efektivní šířka T-průřezu se určí jako minimum z hodnot:

$$\min \left(\begin{array}{l} 2 \pi m_{c1} = 2 \cdot \pi \cdot 18,65 = 117,18 \text{ mm} \\ 4 m_{c1} + 1,25 e_c = 4 \cdot 18,65 + 1,25 \cdot 105 = 205,85 \text{ mm} \\ \pi m_{c1} + 0,5 p = \pi \cdot 18,65 + 0,5 \cdot 120 = 118,59 \text{ mm} \\ 2 m_{c1} + 0,625 e_c + 0,5 p = 2 \cdot 18,65 + 0,625 \cdot 105 + 0,5 \cdot 120 = 162,93 \text{ mm} \\ \pi m_{c1} + 0,5 d_2 = \pi \cdot 18,65 + 0,5 \cdot 90 = 103,59 \text{ mm} \\ 2 m_{c1} + 0,625 e_c + 0,5 d_2 = 2 \cdot 18,65 + 0,625 \cdot 105 + 0,5 \cdot 90 = 147,93 \text{ mm} \\ 0,5 d_2 + 0,5 p = 0,5 \cdot 90 + 0,5 \cdot 120 = 105 \text{ mm} \end{array} \right)$$

$$L_{eff,1,c} = L_{eff,2,c} = 103,59 \text{ mm}$$

Únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

1. způsob porušení

$$M_{pl,1,Rd,r2,c} = \frac{0,25 L_{eff,1,c} t_{fc}^2 f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,10359 \cdot 0,0165^2 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 1,66 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd,c} = \frac{4 M_{pl,1,Rd,r1,c}}{m_{c1}} = \frac{4 \cdot 1,66}{0,01865} = 356,03 \text{ kN}$$

2. způsob porušení

$$M_{pl,2,Rd,r2,c} = \frac{0,25 L_{eff,2,c} t_{fc}^2 f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,10359 \cdot 0,0165^2 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 1,66 \text{ kNm}$$

$$F_{T,2,Rd,c} = \frac{2 M_{pl,2,Rd,r1,c} + n_{p,c} \cdot \sum F_{t,Rd}}{m_{c1} + n_{p,c}} = \frac{2 \cdot 1,66 + 0,02331 \cdot 180,86}{0,01865 + 0,02331} = 179,6 \text{ kN}$$

$$\sum F_{t,Rd} = 2 F_{t,Rd} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot 157 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 180,86 \text{ kN}$$

$$n_{p,c} = \min(e_c; 1,25 m_{c1}) = \min(105; 1,25 \cdot 18,65) = \min(105; 23,31) = 23,31 \text{ mm}$$

3. způsob porušení

$$F_{T,3,Rd,fc} = \sum F_{t,Rd} = 180,86 \text{ kN}$$

- únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

$$F_{T,Rd,fc} = \min(F_{T,1,Rd,c}; F_{T,2,Rd,c}; F_{T,3,Rd,fc}) = \min(356,03; 179,6; 180,86) = 179,6 \text{ kN}$$

b) stěna sloupu v tahu

Únosnost nevyztužené stěny sloupu v tahu:

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega_{1,r2,c} b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,89 \cdot 0,10359 \cdot 0,0095 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 205,83 \text{ kN}$$

$$\omega_{1,r2,c} = \omega_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2 \left(\frac{b_{eff,t,wc} t_{wc}}{A_{vz,c}} \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2 \cdot \left(\frac{0,10359 \cdot 0,0095}{4495 \cdot 10^{-6}} \right)^2}} = 0,89$$

$$b_{eff,t,wc} = L_{eff,2,c} = 103,59 \text{ mm}$$

c) čelní deska v ohybu

Efektivní šířka T-průřezu se určí jako minimum z hodnot:

$$\min \left(\begin{array}{l} 2 \pi m_{p1} = 2 \cdot \pi \cdot 37,4 = 234,99 \text{ mm} \\ \alpha_{r2,b} \cdot m_{p1} = 4,65 \cdot 37,4 = 173,91 \text{ mm} \end{array} \right)$$

$$\alpha_{r2,b} \rightarrow \lambda_{1,r2,b} = \frac{m_{p1}}{m_{p1} + e_p} = \frac{37,4}{37,4 + 40} = 0,48$$

$$\rightarrow \lambda_{2,r2,b} = \frac{m_{p2}}{m_{p1} + e_p} = \frac{58}{37,4 + 40} = 0,75$$

$$\alpha_{r2,b} = 4,65 \text{ (dle obr. 6.11 v [8])}$$

$$L_{eff,1,b} = L_{eff,2,b} = 173,91 \text{ mm}$$

Únosnost čelní desky v ohybu:

1. způsob porušení

$$M_{pl,1,Rd,r2,b} = \frac{0,25 L_{eff,1,b} t_p^2 f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,17391 \cdot 0,02^2 \cdot 275 \cdot 10^3}{1} = 4,78 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd,ep} = \frac{4 M_{pl,1,Rd,r1,b}}{m_{p1}} = \frac{4 \cdot 4,78}{0,0374} = 511,23 \text{ kN}$$

2. způsob porušení

$$M_{pl,2,Rd,r2,b} = \frac{0,25 L_{eff,2,b} t_p^2 f_p}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,17391 \cdot 0,02^2 \cdot 275 \cdot 10^3}{1} = 4,78 \text{ kNm}$$

$$F_{T,2,Rd,ep} = \frac{2 M_{pl,2,Rd,r1,b} + n_{p,ep} \cdot \Sigma F_{t,Rd}}{m_{p1} + n_{p,ep}} = \frac{2 \cdot 4,78 + 0,04 \cdot 180,86}{0,0374 + 0,04} = 216,98 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_{t,Rd} = 2 F_{t,Rd} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot 157 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 180,86 \text{ kN}$$

$$n_{p,ep} = \min(e_p; 1,25 m_{p1}) = \min(40; 1,25 \cdot 37,4) = \min(40; 46,75) = 40 \text{ mm}$$

3. způsob porušení

$$F_{T,3,Rd,ep} = \Sigma F_{t,Rd} = 180,86 \text{ kN}$$

- únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

$$F_{T,Rd,ep} = \min(F_{T,1,Rd,ep}; F_{T,2,Rd,ep}; F_{T,3,Rd,ep}) = \min(511,23; 216,98; 180,86) = 180,86 \text{ kN}$$

d) stěna příčle v tahu

$$F_{t,wb,Rd} = \frac{b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,17391 \cdot 0,0062 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 253,39 \text{ kN}$$

$$b_{eff,t,wb} = L_{eff,2,b} = 173,91 \text{ mm}$$

Výsledná únosnost druhé řady šroubů

$$F_{t,Rd(row 2)} = \min(179,6; 205,83; 180,86; 253,39) = 179,6 \text{ kN}$$

3.6.3 Únosnost tlačené oblasti

a) stěna sloupu v tlaku

$$F_{c,wc,Rd} = \min\left(\frac{\omega_c k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,c}}{\gamma_{M0}}; \frac{\omega_c k_{wc} \rho_c b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,c}}{\gamma_{M0}}\right)$$

- $k_{wc} = 0,7$ (konzervativně dle 6.2.6.2(2) v [8])

- efektivní šířka pro tlačanou stěnu sloupu:

$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_{cf} + 5(t_{fc} + r_c) + \sqrt{2} t_p = 9,8 + 2\sqrt{2} \cdot 6 + 5 \cdot (16,5 + 27) + \sqrt{2} \cdot 20$$

$$b_{eff,c,wc} = 9,8 + 2\sqrt{2} \cdot 6 + 5 \cdot (16,5 + 27) + \sqrt{2} \cdot 20 = 272,55 \text{ mm}$$

- pro oboustranný přípoj ($\beta = 2$), platí: (dle tab. 5.4 v [8])

$$\omega_{1,c} = \omega_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2 \left(\frac{b_{eff,t,wc} t_w}{A_{vz,c}} \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2 \cdot \left(\frac{0,27255 \cdot 0,0095}{4495 \cdot 10^{-6}} \right)^2}} = 0,606$$

- štíhlost stěny sloupu:

$$\lambda_{p,c} = 0,932 \sqrt{\frac{b_{eff,c,wc} d_c f_{y,c}}{E t_{wc}^2}} = 0,932 \cdot \sqrt{\frac{0,27255 \cdot 0,243 \cdot 235 \cdot 10^3}{210 \cdot 10^6 \cdot 0,0095^2}} = 0,84$$

$$\rho_c = \frac{\lambda_{p,c} - 0,2}{\lambda_{p,c}^2} = \frac{0,84 - 0,2}{0,84^2} = 0,91$$

$$F_{c,wc,Rd} = \min \left(\begin{array}{l} \frac{0,606 \cdot 0,7 \cdot 0,27255 \cdot 0,0095 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 258,11 \text{ kN} \\ \frac{0,606 \cdot 0,7 \cdot 0,91 \cdot 0,27255 \cdot 0,0095 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 234,88 \text{ kN} \end{array} \right)$$

$$F_{c,wc,Rd} = 234,88 \text{ kN}$$

Únosnost tlačené oblasti je malá, ovlivnila by negativně momentovou únosnost styčnicku. Proto se navrhne výztuha v tlačené oblasti. Předpokládá se, že vlivem výztuhy tlačená oblast přeneše minimálně takovou sílu, která se rovná součtu tahových sil v řadách šroubů. Návrh a posouzení výztuhy není součástí této práce.

$$\Sigma F_{t,Rd(row i)} = F_{c,wc,Rd} = 153,93 + 179,6 = 333,53 \text{ kN}$$

b) pásnice a stěna nosníku v tlaku

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{(h - t_{fb})} = \frac{86,151}{(0,24 - 0,0098)} = 374,24 \text{ kN}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y,b} f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{366,6 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 86,151 \text{ kNm}$$

Výsledná únosnost tlačené oblasti

$$F_{c,Rd} = \min(F_{c,wc,Rd}; F_{c,fb,Rd}) = \min(333,53; 374,24) = 333,53 \text{ kN}$$

3.6.4 Stěna sloupu ve smyku

- štíhlost stěny sloupu:

$$\frac{d_c}{t_{wc}} = \frac{243}{9,5} = 25,58 \leq 69 \cdot \varepsilon = 69 \rightarrow \text{vyhovuje} \rightarrow \text{stěna ve smyku nebouří}$$

- únosnost ve smyku:

Z předešlého výpočtu šroubovaného styčnicku (kapitola 3.5) máme již navržené příložky na stěnu sloupu, tudíž únosnost ve smyku je již počítána s novou smykovou plochou stěny $A_{vz,c,mod}$ (viz. kapitola 3.5.5).

$$V_{wp,Rd,mod} = \frac{0,9 A_{vz,c,mod} f_{y,c}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{0,9 \cdot 6499,5 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 793,65 \text{ kN}$$

$$V_{wp,Rd,mod} = 793,65 \geq F_{c,wc,Rd} = 355,77 \text{ kN}$$

Únosnost stěny ve smyku je větší než součet tahové únosnosti jednotlivých řad šroubů. Nedojde tedy k omezení momentové únosnosti přípoje.

3.6.5 Momentová únosnost

Jednotlivé síly v řadách šroubů nemusíme redukovat. Tahová únosnost $F_{c,wc,Rd}$ je menší než únosnost tlačené oblasti $F_{c,fb,Rd}$. Proto nedojde k tlakovému porušení dřívě, než dojde k tahové únosnosti ve šroubech.

Řada	Únosnost řady	Redukce únosnosti řady	Rameno h_i
1	$F_{t,Rd(row 1)} = 153,93 \text{ kN}$	$F_{t1,Rd} = 153,93 \text{ kN}$	270,1 mm
2	$F_{t,Rd(row 2)} = 179,6 \text{ kN}$	$F_{t2,Rd} = 179,6 \text{ kN}$	180,1 mm
celkem	$\sum F_{t,Rd(row i)} = 333,53 \text{ kN}$	$\sum F_{t,Rd} = 333,53 \text{ kN}$	

- únosnost stěny sloupu ve smyku: ($\beta = 2$) (dle tab. 5.4 v [8])

$$\frac{V_{wp,Rd,mod}}{\beta} = \frac{793,65}{2} = 396,83 \text{ kN} \geq \sum F_{t,Rd} = 333,53 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- největší síla v řadě šroubů nesmí překročit 1,9 násobek únosnosti šroubu v tahu:

$$F_{t2,Rd} = 179,6 \text{ kN} \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd} = 1,9 \cdot 142,12 = 270,03 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- momentová únosnost navrženého styčnicku:

$$M_{j,Rd} = F_{t1,Rd} h_1 + F_{t2,Rd} h_2 + F_{t3,Rd} h_3$$

$$M_{j,Rd} = 153,93 \cdot 0,2701 + 179,6 \cdot 0,1801 = 73,92 \text{ kNm}$$

$$M_{j,Rd} = 73,92 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 14,15 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

3.6.6 Smyková únosnost

- únosnost šroubu ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot \frac{0,6 A_s f_u}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 157 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 2 \cdot 60,29 = 120,58 \text{ kN}$$

- únosnost v otláčení (pro pásnici sloupu):

$$F_{b,Rd} = 2 \cdot \frac{k_1 \alpha_b d_s t_{fc} f_{u,c}}{\gamma_{M2}}$$

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{c} \frac{p_1}{3 d_0} - \frac{1}{4} \\ \frac{f_u}{f_{u,c}} \\ 1,0 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} \frac{120}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4} \\ \frac{800}{360} \\ 1,0 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} 1,97 \\ 2,22 \\ 1,0 \end{array} \right) = 1,0$$

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{c} \frac{2,8 e_2}{d_0} - 1,7 \\ 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} \frac{2,8 \cdot 40}{18} - 1,7 \\ 1,4 \cdot \frac{90}{18} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} 4,52 \\ 5,3 \\ 2,5 \end{array} \right) = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = 2 \cdot \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 0,016 \cdot 0,0165 \cdot 360 \cdot 10^3}{1,25} = 2 \cdot 190,08 = 380,16 \text{ kN}$$

- smyková únosnost:

$$V_{Rd} = \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = \min(120,58; 380,16) = 120,58 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 120,58 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 13,79 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

3.6.7 Namáhání od osově síly

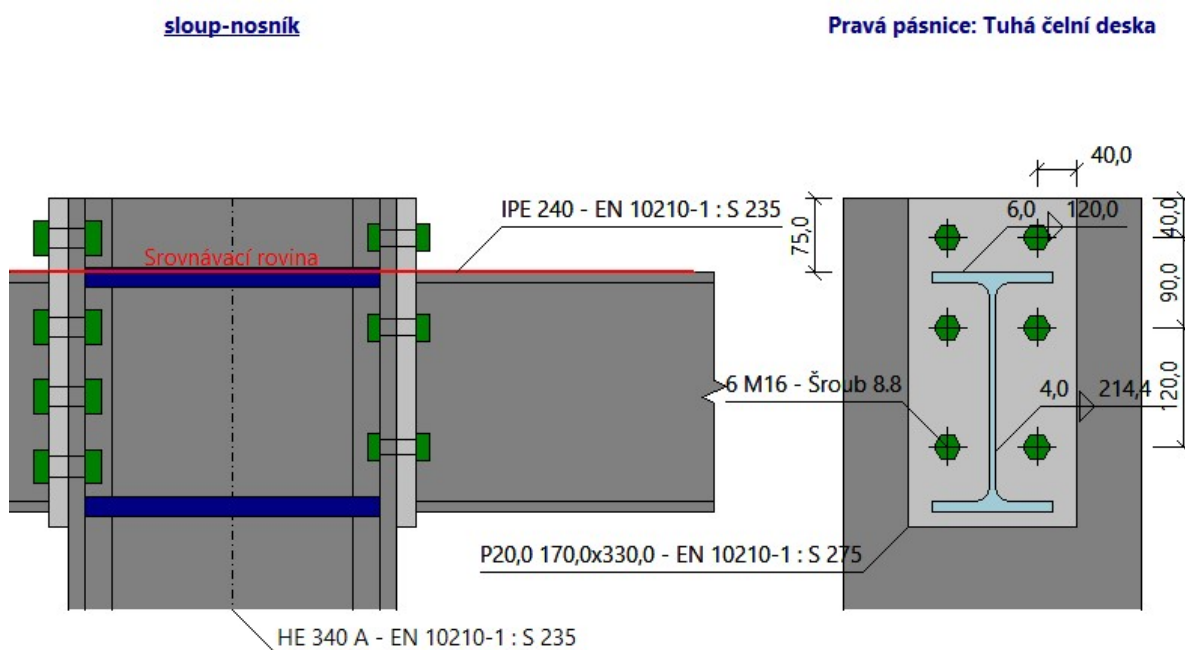
$$N_{Ed} \leq 0,1 N_{pl,Rd} = 0,1 \cdot \frac{A_b \cdot f_{y,b}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{Ed} = 3,98 \text{ kN} \leq 0,1 \cdot \frac{3912 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 91,93 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Pokud je osová síla ve styčnicku menší než 10% tlakové únosnosti nosníku, lze osově namáhání nosníku zanedbat.

Navrhovaný styčnick vyhovuje. Návrh styčnicku je předimenzovaný, avšak menší šrouby než M16 se pro spoje ocelových konstrukcí používají pouze výjimečně. Proto byly navrženy šrouby M16 jako nejmenší možné.

3.6.8 Posouzení přípoje ve FIN EC Ocelové spoje



Obr. 76: Šroubovaný styčnick na pravé straně sloupu

PŘÍPOJ NA PŘÁVÉ STRANĚ - VYHOVUJE (32,33 %)
 Momentová únosnost : $M_{y,Rd} = 70,19 \text{ kNm}$ (20,16%)
 Smyková únosnost : $V_{z,Rd} = 632,60 \text{ kN}$ (32,33%)
 Únosnost svarů : Maximální využití (16,06%)
 Počáteční tuhost : $S_{j,ini} = 14406,51 \text{ kNm/rad}$

Obr. 77: Posouzení pravého styčnicku ve FIN EC Ocelové spoje

Porovnání s ručním výpočtem

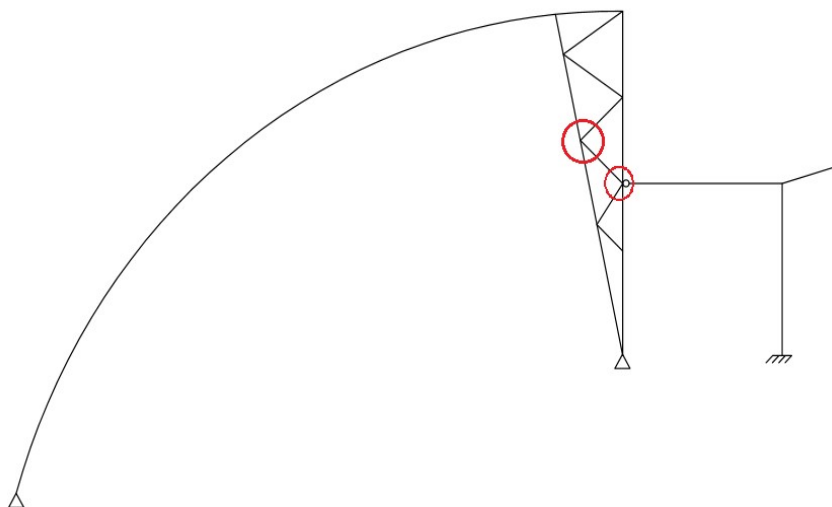
	<i>Ruční výpočet</i>	<i>Výpočet ve FIN EC</i>
Momentová únosnost	$M_{j,Rd} = 73,92 \text{ kNm}$	$M_{y,Rd} = 70,19 \text{ kNm}$
Smyková únosnost	$V_{Rd} = 120,58 \text{ kN}$	$V_{z,Rd} = 632,60 \text{ kN}$

Program uvažuje, že momentovou a smykovou únosnost zajišťují všechny 3 řady šroubů. Rozdíl v momentové únosnosti není nijak velký. Přesto se nepatrně liší kvůli jinému postupu posouzení styčnicku.

Smyková únosnost v softwaru je větší, protože smyk je přenášen všemi 3 řadami šroubů.

Tímto je potvrzeno správné posouzení šroubovaného styčnicku. Styčnick vyhověl i na základě výpočtu softwaru.

3.7 Svařovaný spoj na příhradovém sloupu – diagonála a pás



Obr. 78: Znázornění svařovaného přípoje diagonál

Svařovaný přípoj je provedený koutovým svarem $a_w = 3$ mm kolem diagonály. Pro posouzení koutového svaru je vybrána nejvíce namáhaná diagonála – diagonála 4.

- KZS 363 – min. stálé zatížení + max. trojúhelníkové zatížení sněhem

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

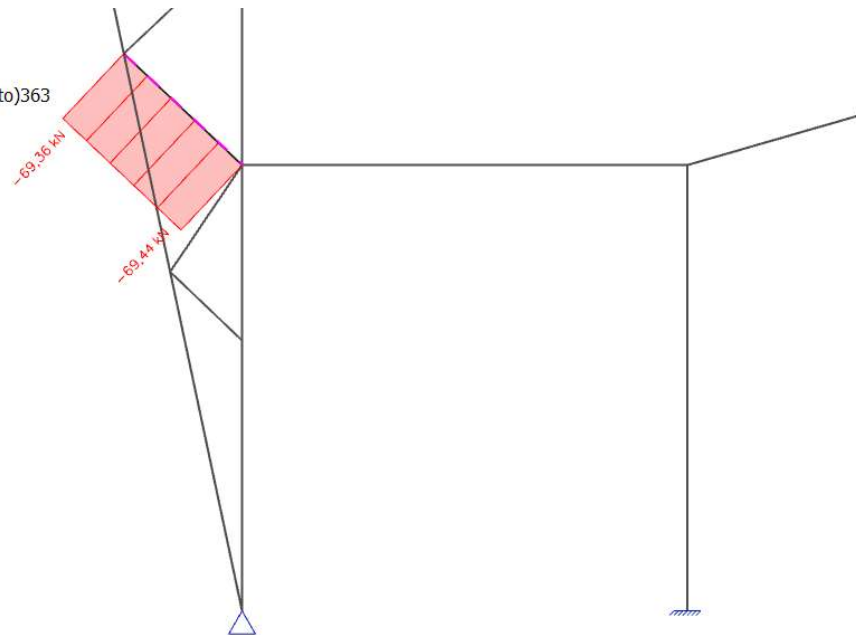
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)363

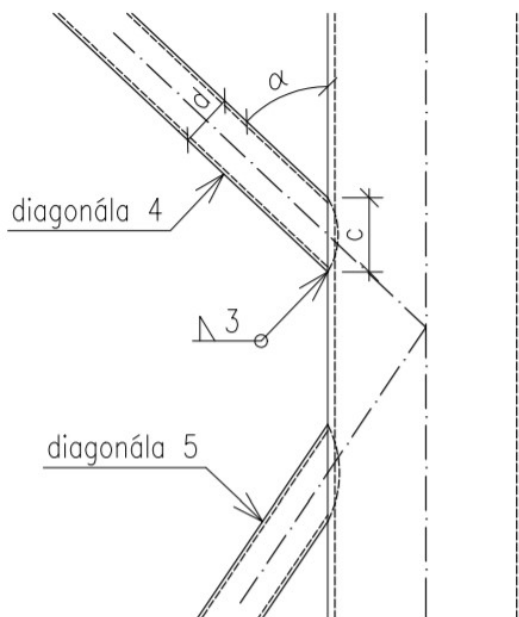
Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Lokální

Výběr: B10



Obr. 79: Namáhání svaru normálovou silou (KZS 363)



Obr. 80: Koutový svar diagonály 4

Diagonála CHS 60.3/4.0 je namáhaná normálovou silou $N_{Ed,4} = 69,44$ kN. Bude posouzena smyková únosnost svaru. Svar má tvar elipsy.

- délka elipsy přibližně:

$$l_w = \pi \left[\frac{3}{4} (c + d) - \frac{1}{2} \sqrt{c d} \right]$$

$$l_w = \pi \left[\frac{3}{4} (82,9 + 60,3) - \frac{1}{2} \sqrt{82,9 \cdot 60,3} \right]$$

$$l_w = 226,35 \text{ mm}$$

$$c = \frac{d}{\sin \alpha} = \frac{60,3}{\sin(46,7^\circ)} = 82,9 \text{ mm}$$

- návrhová smyková pevnost svaru

$$f_{vwd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 207,85 \text{ MPa}$$

$$\beta_w = 0,8 \text{ (tab. 7.1 v [1])}$$

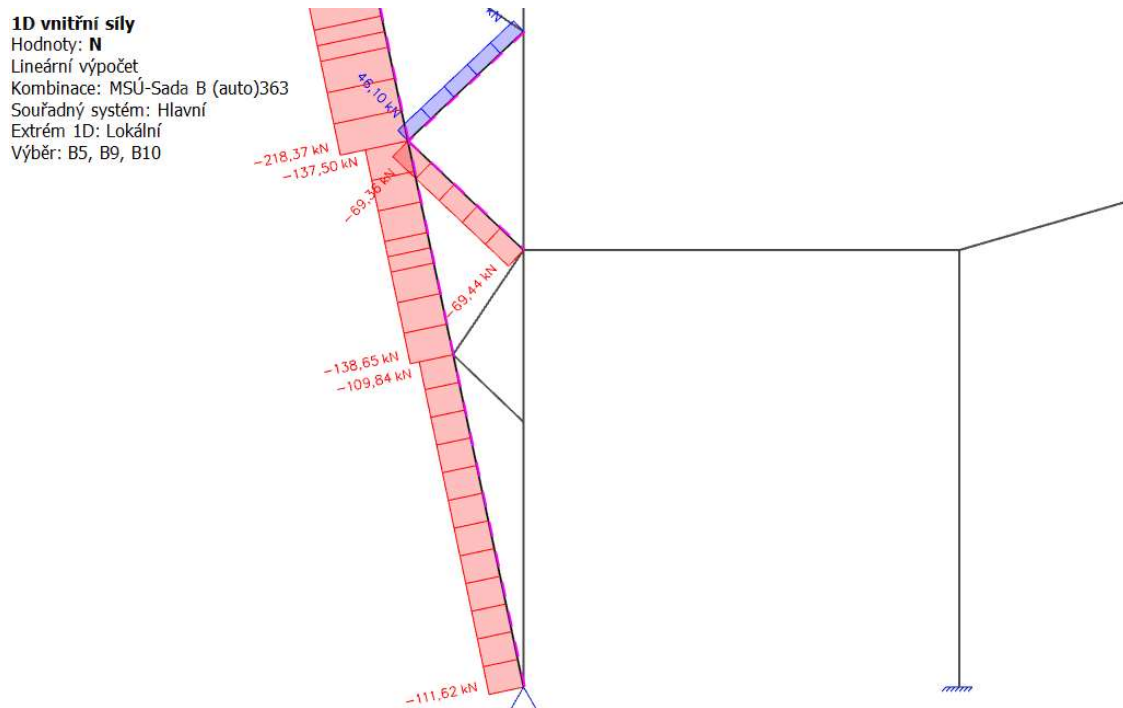
- únosnost svaru:

$$F_{w,Rd} = a_w l_w f_{vw} = 0,003 \cdot 0,22635 \cdot 207,85 \cdot 10^3 = 141,14 \text{ kN}$$

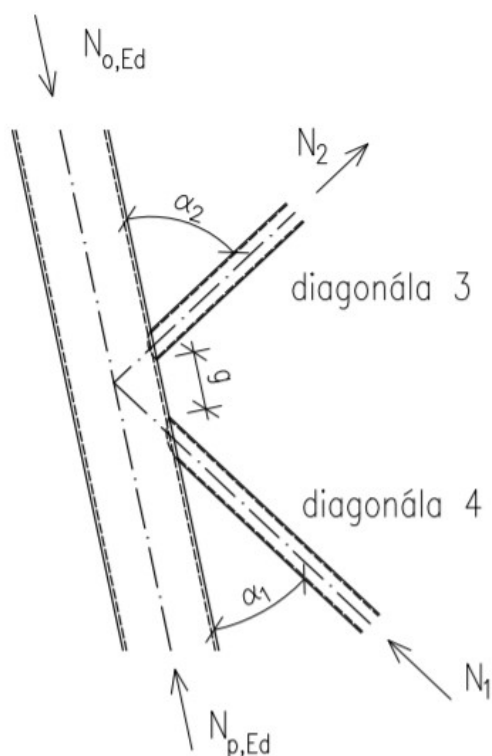
$$F_{w,Rd} = 141,14 \text{ kN} \geq N_{Ed,4} = 69,44 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Dále bude posouzena osová únosnost svařovaného styčnicku. Momentovou únosnost lze zanedbat, jelikož v připojovaných diagonálách je ohybový moment téměř nulový. Pro toto posouzení byl vybrán styčnick s diagonálou 3 a diagonálou 4. Tyto diagonály jsou nejvíce namáhány.

Styčnick posoudíme na porušení povrchu pásu a prolomení smykem, jelikož splňuje všechny požadavky tabulky 7.1. v [10].



Obr. 81: Namáhání svařovaného styčnicku normálovou silou (KZS 363)



diagonála 4 - CHS 60.3/4.0

$$N_1 = 69,36 \text{ kN} \quad \alpha_1 = 34,74^\circ$$

$$d_1 = 60,3 \text{ mm} \quad t_1 = 4 \text{ mm}$$

diagonála 3 - CHS 60.3/4.0

$$N_2 = 46,10 \text{ kN} \quad \alpha_2 = 58,73^\circ$$

$$d_2 = 60,3 \text{ mm} \quad t_2 = 4 \text{ mm}$$

pás - CHS 219.1/8.0

$$N_{p,Ed} = 137,50 \text{ kN} \quad N_{o,Ed} = 218,37 \text{ kN}$$

$$d_0 = 219,1 \text{ mm} \quad t_0 = 8 \text{ mm}$$

$$A_0 = 5,31 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$g = 136 \text{ mm}$$

Obr. 82: Osová únosnost styčnicku

a) porušení povrchu pásu

$$N_{1,Rd,a} = \frac{k_g k_p f_{y,0} t_0^2}{\sin \alpha_1} \cdot \frac{\left(1,8 + 10,2 \frac{d_1}{d_0}\right)}{\gamma_{M5}}$$

$$k_g = \gamma^{0,2} \left(1 + \frac{0,024 \gamma^{1,2}}{1 + \exp\left(0,5 \frac{g}{t_0} - 1,33\right)}\right) = 13,7^{0,2} \cdot \left(1 + \frac{0,024 \cdot 13,7^{1,2}}{1 + \exp\left(0,5 \cdot \frac{0,136}{0,008} - 1,33\right)}\right)$$

$$k_g = 1,69$$

$$\gamma = \frac{d_0}{2 t_0} = \frac{219,1}{2 \cdot 8} = 13,7$$

$$k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p) = 1 - 0,3 \cdot 0,11 \cdot (1 + 0,11) = 0,96$$

$$n_p = \frac{\sigma_{p,Ed}}{f_{y,0} \gamma_{M5}} = \frac{25,9}{235 \cdot 1} = 0,11$$

$$\sigma_{p,Ed} = \frac{N_{p,Ed}}{A_0} = \frac{137,5}{5,31 \cdot 10^{-3}} = 25,9 \text{ MPa}$$

$$N_{1,Rd,a} = \frac{1,69 \cdot 0,96 \cdot 235 \cdot 10^3 \cdot 0,008^2}{\sin(34,74^\circ)} \cdot \frac{\left(1,8 + 10,2 \cdot \frac{0,004}{0,008}\right)}{1} = 295,46 \text{ kN}$$

$$N_{2,Rd,a} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} N_{1,Rd} = \frac{\sin(34,74^\circ)}{\sin(58,73^\circ)} \cdot 295,46 = 196,98 \text{ kN}$$

b) porušení prolomením smykem

$$N_{1,Rd,b} = \frac{f_{y,0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_1 \frac{1 + \sin \alpha_1}{2 \sin^2 \alpha_1} \frac{1}{\gamma_{M5}}$$

$$N_{1,Rd,b} = \frac{235 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \cdot 0,008 \cdot \pi \cdot 0,0603 \cdot \frac{1 + \sin(34,74^\circ)}{2 \cdot \sin^2(34,74^\circ)} \cdot \frac{1}{1} = 497,01 \text{ kN}$$

$$N_{1,Rd,b} = \frac{f_{y,0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_2 \frac{1 + \sin \alpha_2}{2 \sin^2 \alpha_2} \frac{1}{\gamma_{M5}}$$

$$N_{1,Rd,b} = \frac{235 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \cdot 0,008 \cdot \pi \cdot 0,0603 \cdot \frac{1 + \sin(58,73^\circ)}{2 \cdot \sin^2(58,73^\circ)} \cdot \frac{1}{1} = 261,01 \text{ kN}$$

$$N_{1,Rd} = \min(N_{1,Rd,a}; N_{1,Rd,b}) = \min(295,46; 497,01) = 295,46 \text{ kN}$$

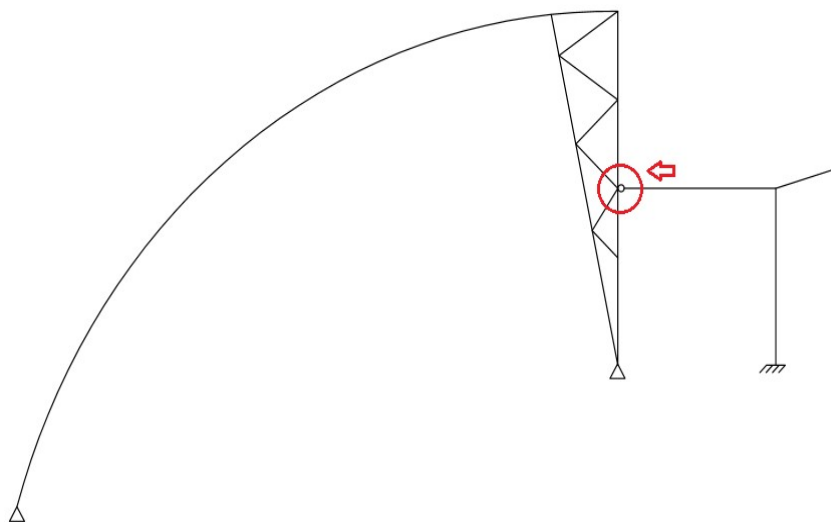
$$N_{1,Rd} = 295,46 \text{ kN} \geq N_1 = 69,36 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$N_{2,Rd} = \min(N_{2,Rd,a}; N_{2,Rd,b}) = \min(196,98; 261,01) = 261,01 \text{ kN}$$

$$N_{2,Rd} = 261,01 \text{ kN} \geq N_2 = 46,10 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Navržený svařovaný přípoj diagonál k pásu vyhovuje.

3.8 Přípoj nosníku přístřešku k příhradovému sloupu

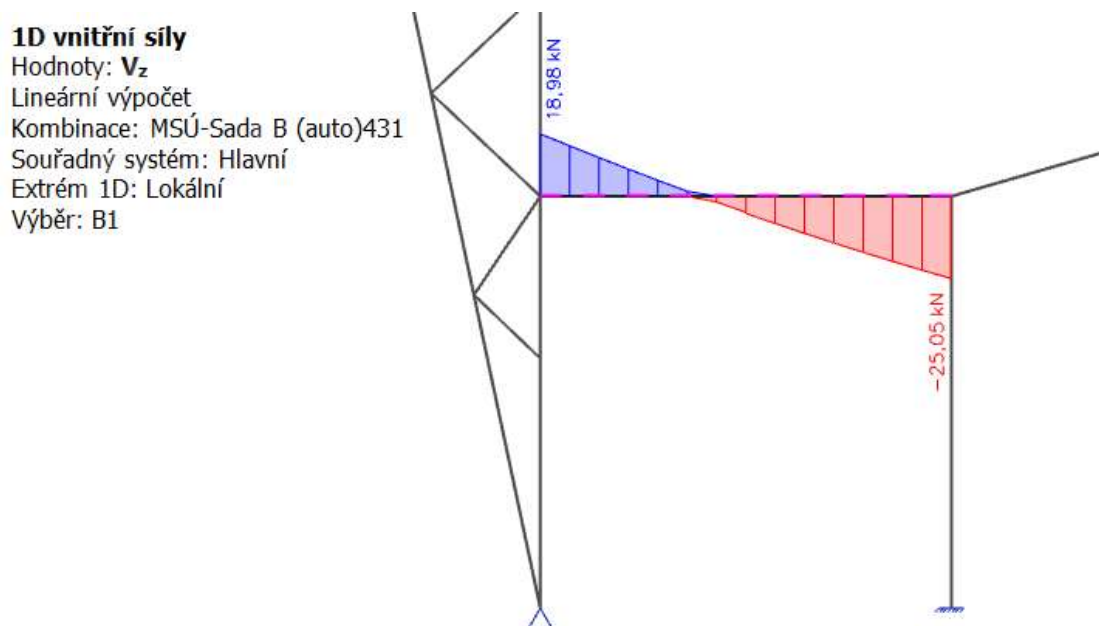


Obr. 83: Znárodnění přípoje nosníku k příhradovému sloupu

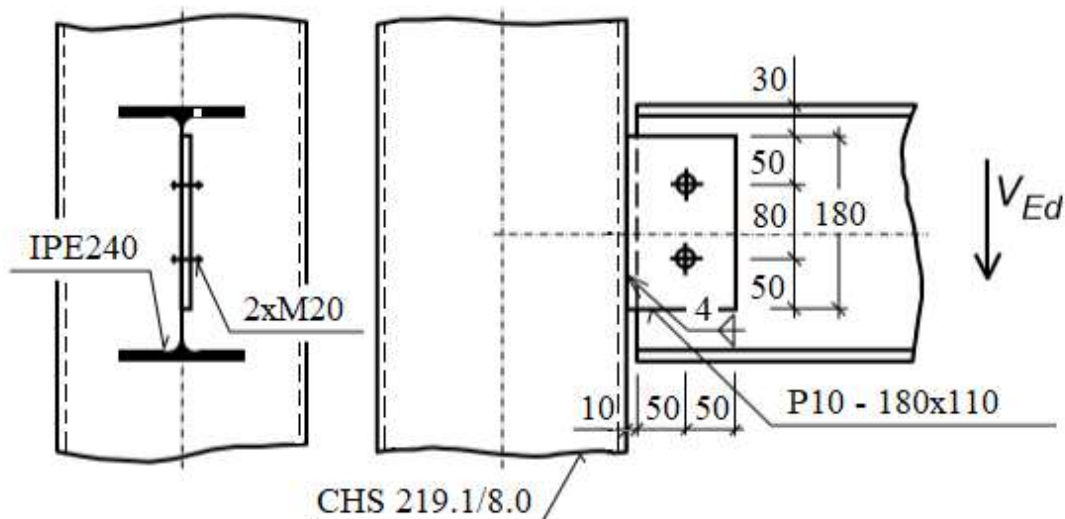
Jedná se o přípoj nosníku přístřešku IPE 240 na pás příhradového sloupu CHS 219.1/8.0. Provede se přípoj pomocí tzv. žiletky – desky na stěně nosníku. Přípoj musí přenést posouvající sílu $V_{Ed} = 18,98$ kN. Jsou navrženy šrouby M20 s pevností 8.8 a deska tloušťky 10 mm z oceli S 275. Deska je přivařena svarem $a_w = 4$ mm.

Šrouby M20	Čelní deska	Nosník IPE 240	Svar
$d_s = 20$ mm	$t_d = 10$ mm	$t_w = 6,2$ mm	$a_w = 4$ mm
$d_o = 22$ mm	$b_d = 110$ mm	$t_f = 9,8$ mm	$l_w = 180$ mm
$A_s = 245$ mm ²	$h_d = 180$ mm	$A = 3912$ mm ²	
$f_{yb} = 640$ MPa	$f_{y,d} = 275$ MPa	$f_y = 235$ MPa	
$f_{ub} = 800$ MPa	$f_{u,d} = 430$ MPa	$f_u = 360$ MPa	

- KZS 431 – min. stálé zatížení + max. trojúhelníkové zatížení sněhem



Obr. 84: Namáhání přípoje posouvající silou (KZS 431)



Obr. 85: Připoj pomocí desky na stěně nosníku ^[4]

a) posouzení šroubů

- únosnost jednoho šroubu při stříhu v závitu:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 245 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 94,08 \text{ kN}$$

- únosnost jednoho šroubu při otláčení desky:

$$F_{b,Rd,d} = \frac{k_1 \alpha_1 d_s t_d f_{u,d}}{\gamma_{M2}}$$

$$\alpha_1 = \min \left(\begin{array}{c} \frac{e_1}{3 d_0} \\ \frac{p_1}{3 d_0} - \frac{1}{4} \\ \frac{f_{ub}}{f_{u,d}} \\ 1,0 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} \frac{50}{3 \cdot 22} \\ \frac{80}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} \\ \frac{800}{360} \\ 1,0 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} 0,76 \\ 0,96 \\ 2,22 \\ 1,0 \end{array} \right) = 0,76$$

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{c} \frac{2,8 e_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} \frac{2,8 \cdot 50}{22} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} 4,66 \\ 2,5 \end{array} \right) = 2,5$$

$$F_{b,Rd,d} = \frac{2,5 \cdot 0,76 \cdot 0,020 \cdot 0,01 \cdot 360 \cdot 10^3}{1,25} = 109,44 \text{ kN}$$

- únosnost jednoho šroubu při otláčení stěny nosníku:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_1 d_s t_w f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\alpha_1 = \min \left(\begin{array}{c} \frac{e_1}{3 d_0} \\ \frac{p_1}{3 d_0} - \frac{1}{4} \\ \frac{f_{ub}}{f_{u,w}} \\ 1,0 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} \frac{80}{3 \cdot 22} \\ \frac{80}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} \\ \frac{800}{360} \\ 1,0 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} 1,21 \\ 0,96 \\ 2,22 \\ 1,0 \end{array} \right) = 0,96$$

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{c} \frac{2,8 e_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} \frac{2,8 \cdot 50}{22} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} 4,66 \\ 2,5 \end{array} \right) = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,96 \cdot 0,020 \cdot 0,0062 \cdot 360 \cdot 10^3}{1,25} = 85,71 \text{ kN}$$

- posouzení:

$$V_{Rd} = 2 \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd,d}; F_{b,Rd}) = 2 \min(94,08; 109,44; 85,71) = 2 \cdot 85,71 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 171,42 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 18,98 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Navrhované šrouby M20 vyhoví.

b) posouzení koutového svaru

- excentricitou šroubů vzniká ve svaru ohybový moment:

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot e = 18,98 \cdot 0,06 = 1,139 \text{ kNm}$$

$$\sigma_w = \frac{M_{Ed}}{W_{el,w}} = \frac{M_{Ed}}{\frac{2 a_w l_w^2}{6}} = \frac{1,139}{\frac{2 \cdot 0,004 \cdot 0,18^2}{6}} = 26,37 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{26,37}{\sqrt{2}} = 18,65 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{18,98}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,18} = 13,18 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{18,65^2 + 3 \cdot (18,65^2 + 13,18^2)} = 43,73 \text{ MPa}$$

$$43,73 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\beta_w = 0,8 \text{ (tab. 7.1 v [1])}$$

$$\sigma_{\perp} = 18,65 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Navržený koutový svar vyhoví.

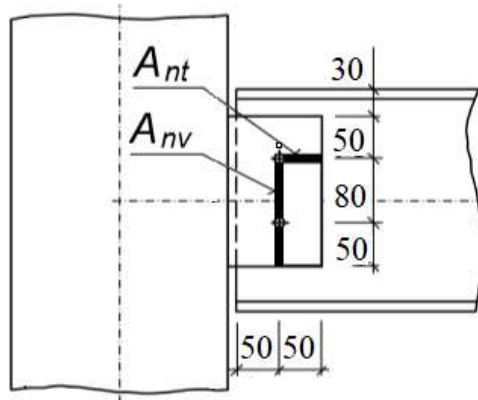
c) posouzení desky ve smyku

- oslabená plocha přenášející tahovou sílu:

$$A_{nt} = 10 \cdot \left(50 - \frac{22}{2}\right) = 390 \text{ mm}^2$$

- oslabená plocha přenášející smykovou sílu:

$$A_{nv} = 10 \cdot \left(50 + 80 - 22 - \frac{22}{2}\right) = 970 \text{ mm}^2$$



Obr. 86: Oslabené plochy pro posouzení desky [4]

$$V_{Rd} = \frac{0,5 A_{nt} f_{u,d}}{\gamma_{M2}} + \frac{A_{nv} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,5 \cdot 390 \cdot 10^{-6} \cdot 360 \cdot 10^3}{1,25} + \frac{970 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 187,77 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 187,77 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 18,98 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- únosnost plného průřezu ve smyku:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,d} f_{y,d}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{0,01 \cdot 0,18 \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 244,22 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 18,98 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Navržená deska tloušťky 10 mm o rozměrech 180x110 mm vyhovuje.

d) posouzení stěny nosníku ve smyku

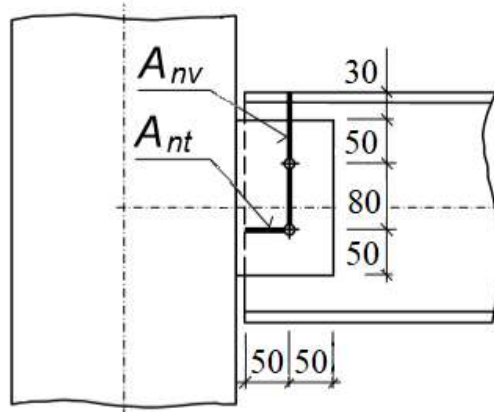
- oslabená plocha přenášející tahovou sílu:

$$A_{nt} = 6,2 \cdot \left(50 - \frac{22}{2}\right) = 241,8 \text{ mm}^2$$

- oslabená plocha přenášející smykovou sílu:

$$A_{nv} = 6,2 \cdot \left(50 + 80 + 30 - 22 - \frac{22}{2}\right)$$

$$A_{nv} = 787,4 \text{ mm}^2$$



Obr. 87: Oslabené plochy pro posouzení stěny [4]

$$V_{Rd} = \frac{0,5 A_{nt} f_{u,d}}{\gamma_{M2}} + \frac{A_{nv} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,5 \cdot 241,8 \cdot 10^{-6} \cdot 360 \cdot 10^3}{1,25} + \frac{787,4 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 141,65 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 141,65 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 18,98 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Stěna nosníku na smyk vyhoví.

e) posouzení desky v ohybu

- při posouzení na ohyb je průřez desky zatříděn do 3. třídy

$$M_{el,Rd} = \frac{W_{el} f_{y,d}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{el,Rd} = \frac{0,01 \cdot 0,18^2 \cdot 235 \cdot 10^3}{\frac{6}{1}} = 12,69 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 1,205 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Deska na ohyb vyhoví.

f) namáhání od osově síly

$$N_{Ed} \leq 0,1 N_{pl,Rd} = 0,1 \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{Ed} = 64,99 \text{ kN} \leq 0,1 \cdot \frac{3912 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 91,93 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Pokud je osová síla ve styčnicku menší než 10% tlakové únosnosti nosníku, lze osově namáhání nosníku zanedbat.

Navrhovaný přípoj pomocí tzv. žiletky - desky na stěnu nosníku vyhoví.

4 Závěr

Konstrukční systém autobusového nádraží patří ke komplikovanějším. Z hlediska realizace by bylo vhodné konstrukci optimalizovat a zvolit jednodušší variantu řešení. V rámci této práce byla navržena a posouzena právě tato varianta díky atraktivitě a nekonvekčnímu řešení konstrukce. Vybrané detaily byly řešeny z hlediska statického i konstrukčního. Kvůli zvolené variantě řešení byly některé detaily po konstrukční stránce obtížné. V praxi by se usilovalo o zjednodušení celého konceptu za účelem snížení ekonomických nákladů a konstrukční náročnosti projektu.

Seznam zdrojů

- [1] SOKOL, Z. - WALD, F.: *Ocelové konstrukce, Tabulky*. 3. vydání. Praha: Česká technika, 2017. ISBN 978-80-01-06032-2.
- [2] JANDERA, M. - ELIÁŠOVÁ, M. - VRATNÝ, T.: *Ocelové konstrukce 1, Cvičení*. 3. opravené vydání. Praha, 2015.
- [3] ELIÁŠOVÁ, M. - DOLEJŠ, J. - MIKEŠ, K. - SOKOL, Z.: *Ocelové konstrukce 3, Příklady*. 1. vydání. Praha: Česká technika, 2010. ISBN 978-80-01-04516-9.
- [4] ELIÁŠOVÁ, M. - SOKOL, Z.: *Navrhování nosných konstrukcí – Ocel, Příklady*. 3. vydání. Praha, 2013.
- [5] ČSN EN 1990 Eurokód: *Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2015.
- [6] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 1.1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [7] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 1.3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [8] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 1.4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [9] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1.1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [10] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1.8: Navrhování styčníků*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [11] ČSN EN 1993-1-5 Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1.5: Boulení stěn*. Praha: Český normalizační institut, 2008.

Seznam příloh

Příloha A – Zatěžovací stavy

Seznam obrázků

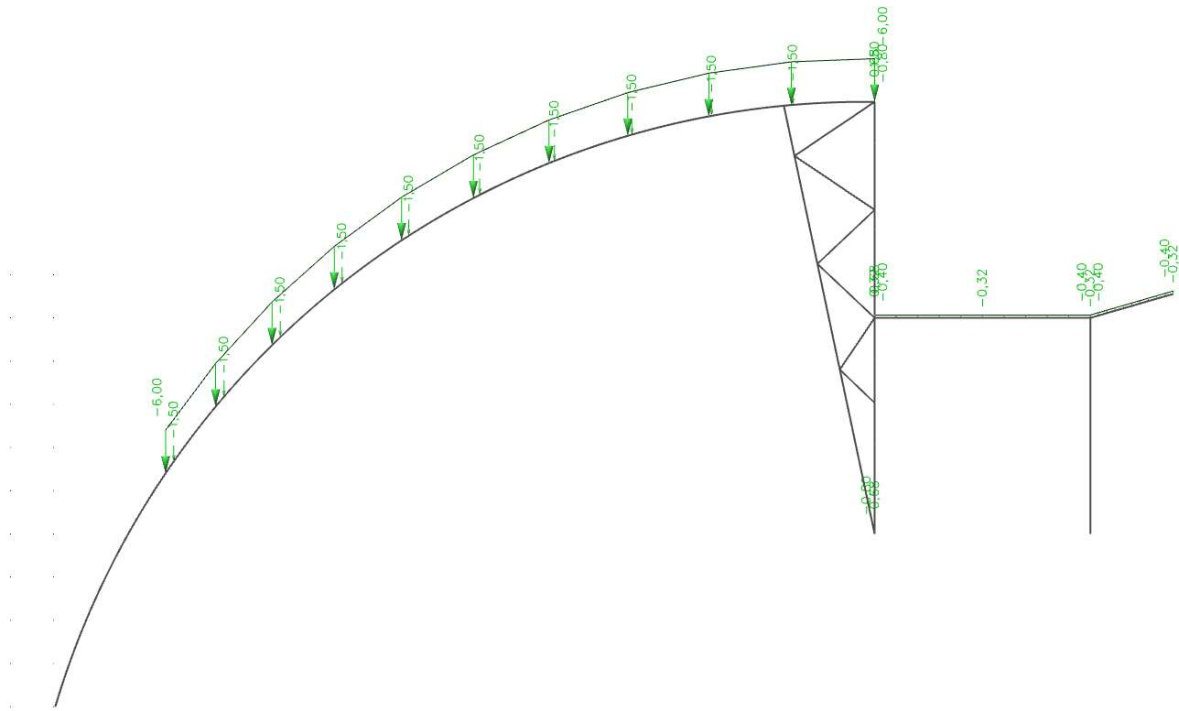
Obr. 1: Schématický půdorys konstrukce autobusového nádraží.....	6
Obr. 2: Schématický řez konstrukce autobusového nádraží.....	7
Obr. 3: Obálka ohybových momentů	8
Obr. 4: Obálka normálových sil	8
Obr. 5: Obálka posouvajících sil	9
Obr. 6: Svislý průhyb	9
Obr. 7: Vodorovný posun	10
Obr. 8: Vyznačení obloukového vazníku v řezu	11
Obr. 9: Průběh ohybového momentu na oblouku - KZS 750.....	12
Obr. 10: Průběh normálové síly na oblouku - KZS 750.....	12
Obr. 11: Průběh ohybového momentu na oblouku – KZS 324	13
Obr. 12: Průběh normálové síly na oblouku – KZS 324	13
Obr. 13: Průběh normálové síly na oblouku – KZS 363	23
Obr. 14: Průběh posouvající síly na oblouku – KZS 324.....	25
Obr. 15: Znázornění sloupu přístřešku v řezu	26
Obr. 16: Průběh ohybového momentu na sloupu – KZS 540.....	27
Obr. 17: Průběh normálové síly na sloupu – KZS 540.....	28
Obr. 18: Průběh ohybového momentu na sloupu – KZS 324.....	28
Obr. 19: Průběh normálové síly na sloupu – KZS 324.....	29
Obr. 20: Průběh posouvající síly na sloupu – KZS 540	36
Obr. 21: Znázornění nosníku v řezu	37
Obr. 22: Průběh ohybového momentu na nosníku – KZS 324.....	38
Obr. 23: Průběh normálové síly na nosníku – KZS 324.....	38
Obr. 24: Průběh ohybového momentu na nosníku – KZS 585.....	39
Obr. 25: Průběh normálové síly na nosníku – KZS 585.....	39
Obr. 26: Průběh posouvající síly na nosníku – KZS 324	49
Obr. 27: Znázornění příhradového sloupu v řezu.....	51
Obr. 28: Průběh normálové síly na pravém pasu – KZS 585	52
Obr. 29: Průběh normálové síly na levém pasu – KZS 878	52
Obr. 30: Průběh normálové síly na diagonále 2 – KZS 622.....	53
Obr. 31: Znázornění diagonál a pásů sloupu	53

Obr. 32: Průběh normálové síly na pravém pasu – KZS 620	55
Obr. 33: Průběh normálové síly na levém pasu – KZS 506	57
Obr. 34: Průběh normálové síly na diagonále 2 – KZS 579	59
Obr. 35: Průběh normálové síly na diagonále 4 – KZS 363	60
Obr. 36: Znázornění konzoly v řezu.....	61
Obr. 37: Průběh ohybového momentu na konzole – KZS 266.....	62
Obr. 38: Znázornění kloubového uložení obloukového vazníku	64
Obr. 39: Schéma čepového spoje 1	64
Obr. 40: Namáhání čepu 1 normálovou silou (KZS 363).....	65
Obr. 41: Namáhání čepu 1 posouvající silou (KZS 363)	65
Obr. 42: Znázornění kloubové uložení příhradového sloupu.....	67
Obr. 43: Schéma čepového spoje 2	67
Obr. 44: Namáhání čepu 2 normálovou silou (KZS 506).....	68
Obr. 45: Namáhání čepu 2 posouvající silou (KZS 506)	68
Obr. 46: Znázornění kloubového přípoje sloupu k vazníku	70
Obr. 47: Schéma čepového spoje 3	71
Obr. 48: Namáhání čepu 3 normálovou silou (KZS 290).....	71
Obr. 49: Namáhání čepu 3 posouvající silou (KZS 290)	72
Obr. 50: Znázornění vetknuté patky	73
Obr. 51: Ohybový moment (KZS 540) ve vetknutí.....	74
Obr. 52: Normálová síla (KZS 540) ve vetknutí	74
Obr. 53: Ohybový moment (KZS 568) ve vetknutí.....	75
Obr. 54: Normálová síla (KZS 568) ve vetknutí	75
Obr. 55: Ohybový moment (KZS 1 033) ve vetknutí.....	76
Obr. 56: Normálová síla (KZS 1 033) ve vetknutí	76
Obr. 57: Geometrie patky ^[2]	77
Obr. 58: Svařený průřez.....	81
Obr. 59: Působíště sil T a N _c ^[2]	81
Obr. 60: Řez 2 – pro posouzení kombinace M + V.....	82
Obr. 61: Řezy pro posouzení připojení podélných výztuh ^[2]	83
Obr. 62: Poloha kotevních šroubů ^[2]	85
Obr. 63: Svarový obrazec	89
Obr. 64: Znázornění šroubovaného přípoje nosníku	91
Obr. 65: Namáhání šroubovaného styčnicku ohybovým momentem (KZS 324).....	92

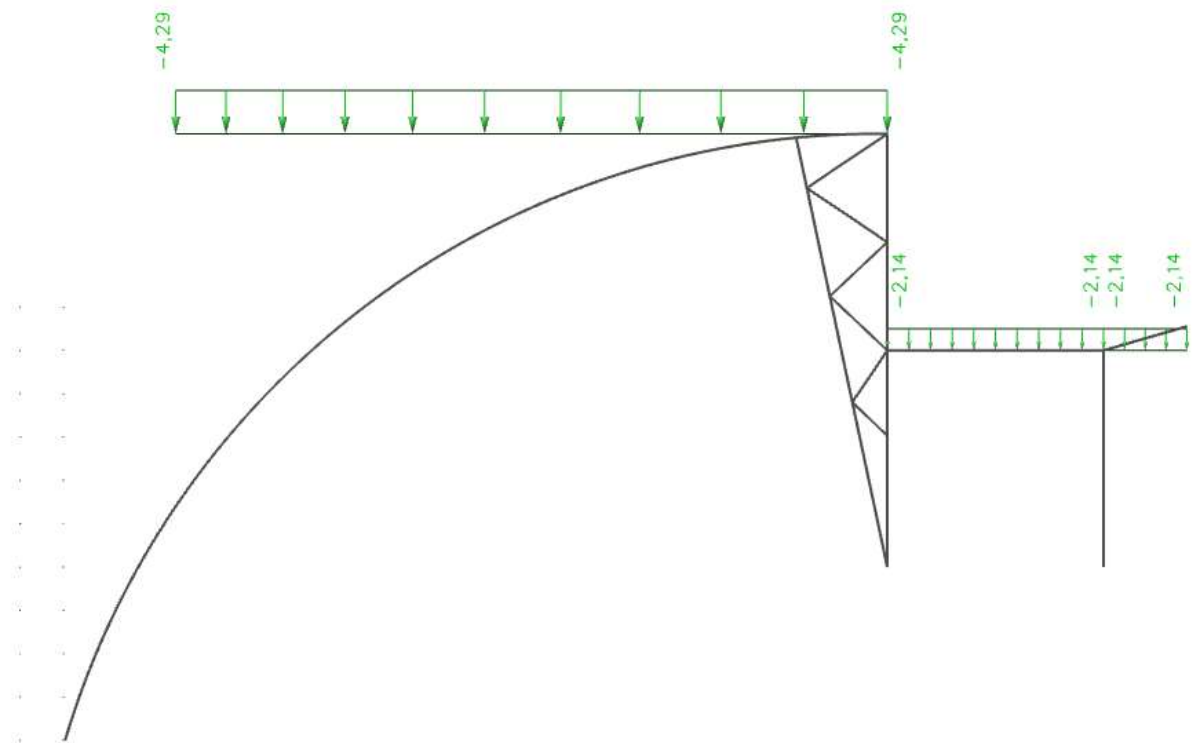
Obr. 66: Namáhání šroubovaného styčnicku normálovou silou (KZS 324)	92
Obr. 67: Namáhání šroubovaného styčnicku posouvající silou (KZS 324)	93
Obr. 68: Přípoj nosníku přístřešku	93
Obr. 69: Šroubovaný styčnick na levé straně sloupu	1 06
Obr. 70: Posouzení levého styčnicku ve FIN EC Ocelové spoje	1 06
Obr. 71: Znázornění šroubovaného přípoje konzoly	1 07
Obr. 72: Namáhání šroubovaného styčnicku ohybovým momentem (KZS 266)	1 08
Obr. 73: Namáhání šroubovaného styčnicku normálovou silou (KZS 266)	1 09
Obr. 74: Namáhání šroubovaného styčnicku posouvající silou (KZS 266)	1 09
Obr. 75: Přípoj konzoly přístřešku	1 10
Obr. 76: Šroubovaný styčnick na pravé straně sloupu	1 20
Obr. 77: Posouzení pravého styčnicku ve FIN EC Ocelové spoje	1 20
Obr. 78: Znázornění svařovaného přípoje diagonál	1 21
Obr. 79: Namáhání svaru normálovou silou (KZS 363)	1 22
Obr. 80: Koutový svar diagonály 4	1 22
Obr. 81: Namáhání svařovaného styčnicku normálovou silou (KZS 363)	1 23
Obr. 82: Osová únosnost styčnicku	1 24
Obr. 83: Znázornění přípoje nosníku k příhradovému sloupu	1 25
Obr. 84: Namáhání přípoje posouvající silou (KZS 431)	1 26
Obr. 85: Přípoj pomocí desky na stěně nosníku ^[4]	1 27
Obr. 86: Oslabené plochy pro posouzení desky ^[4]	1 29
Obr. 87: Oslabené plochy pro posouzení stěny ^[4]	1 29

Příloha A

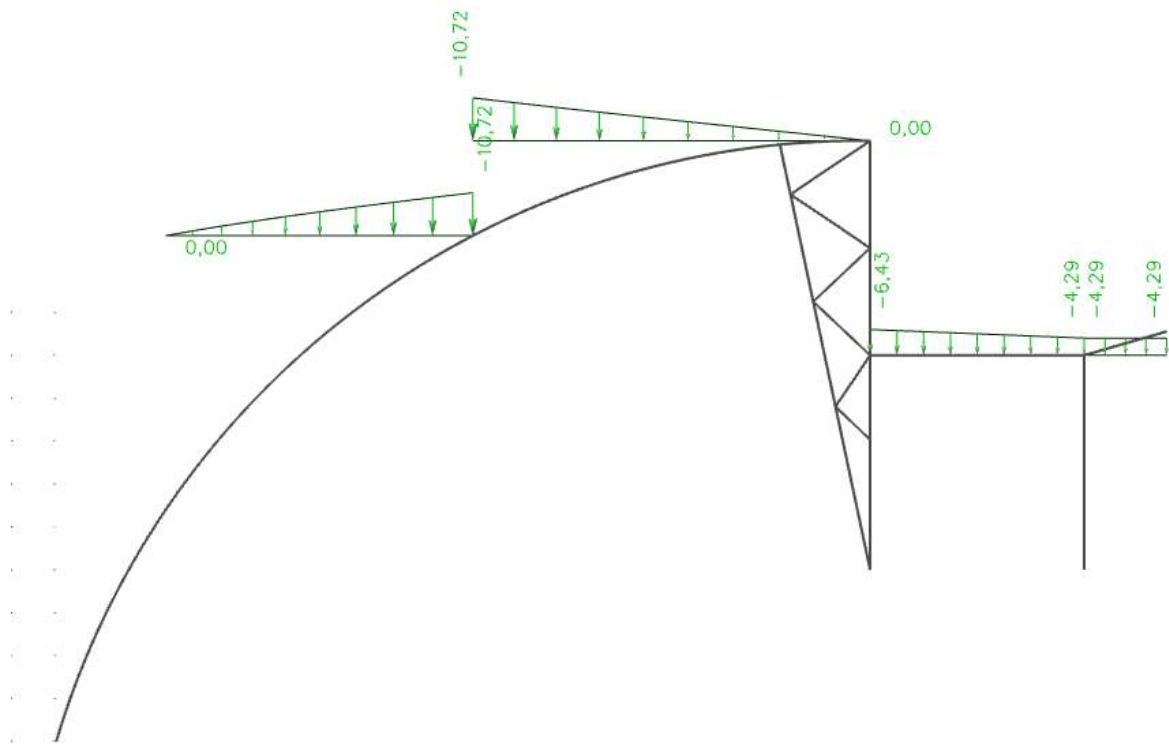
Zatěžovací stavy



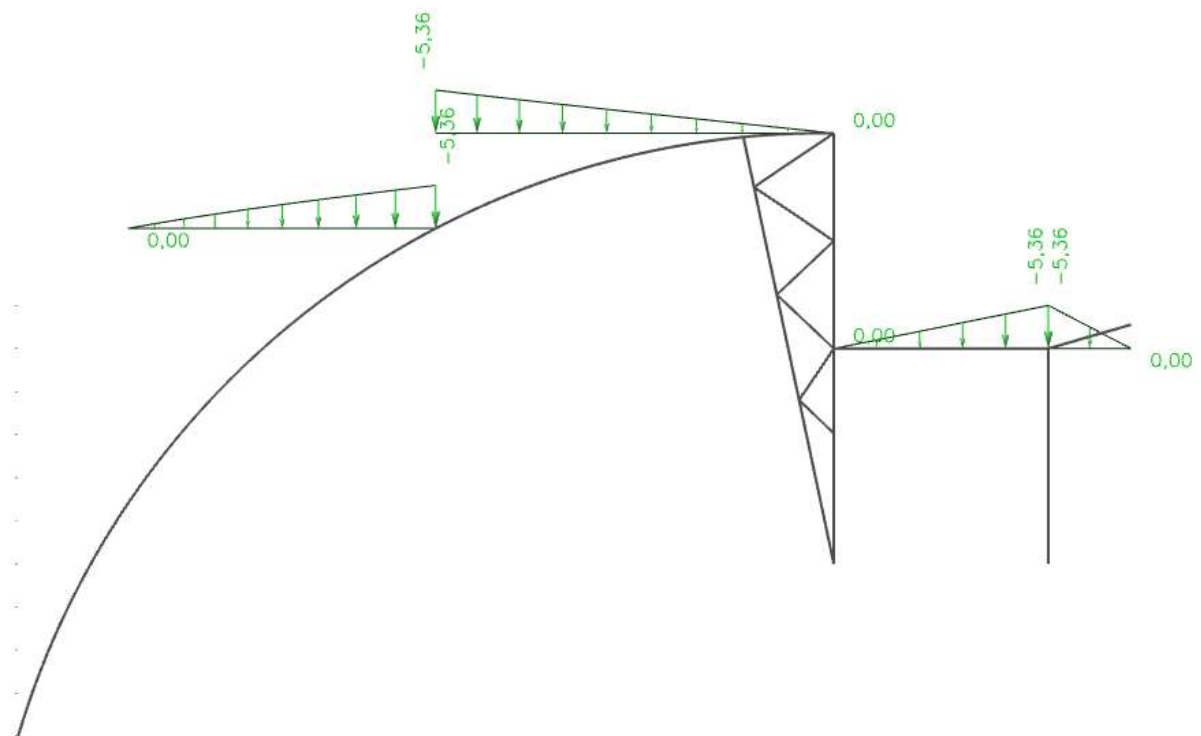
Obr. 1: Stálé zatížení – generováno ze SCIA Engineer



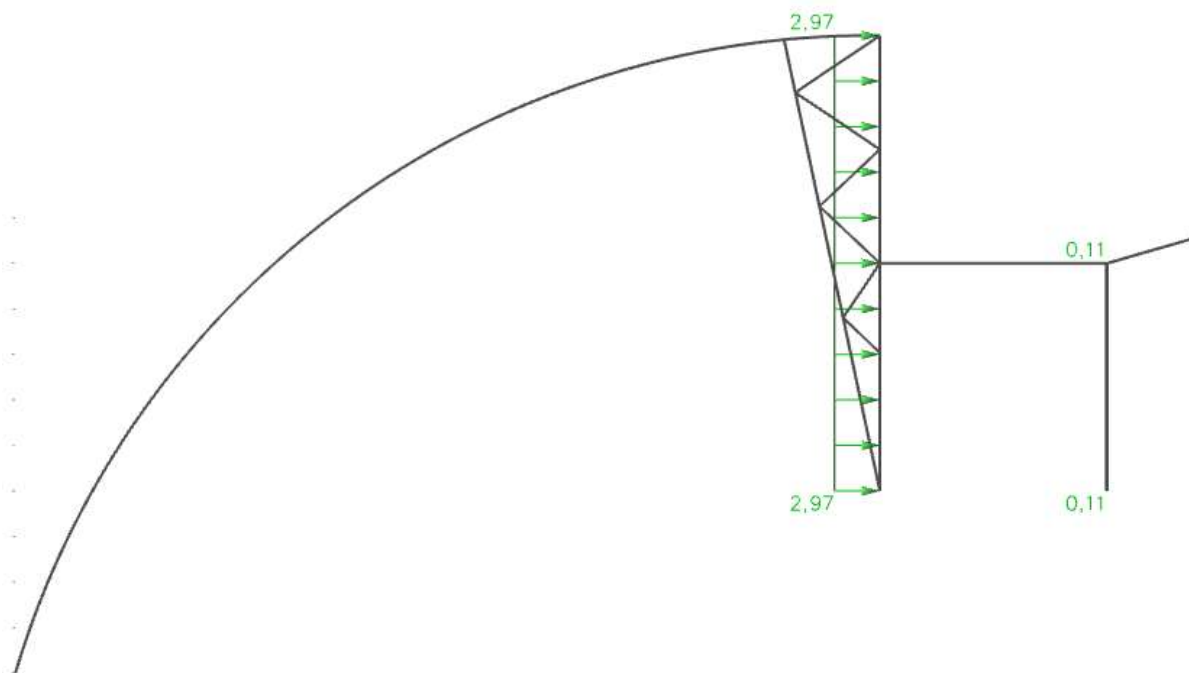
Obr. 2: Sníh I - generováno ze SCIA Engineer



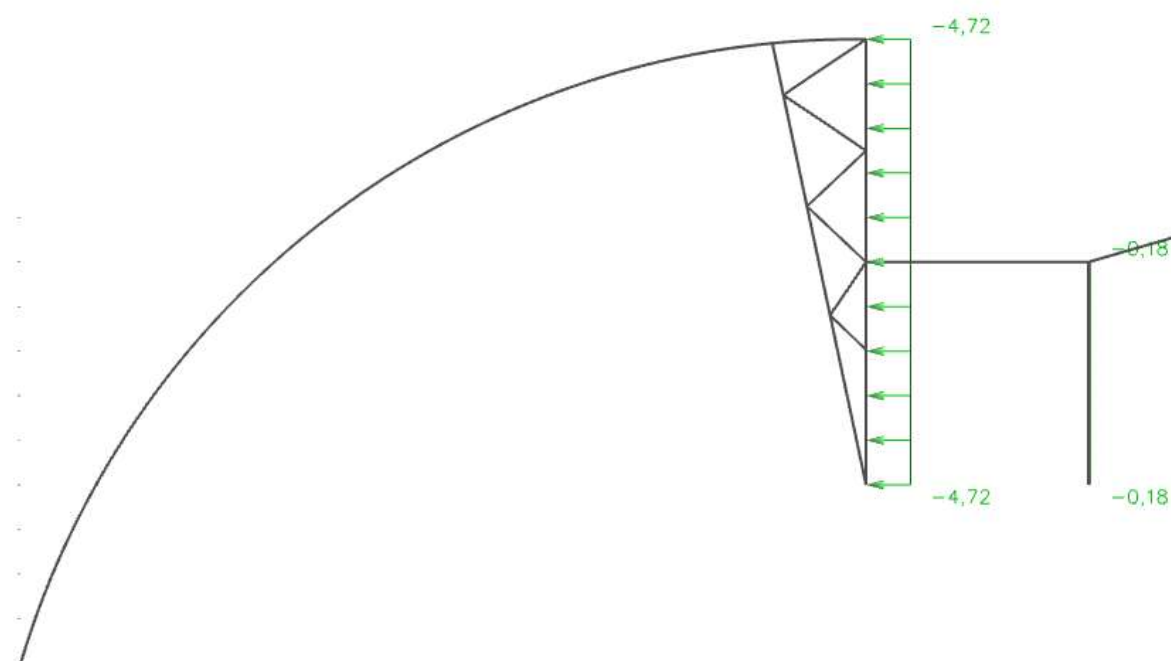
Obr. 3: Sneh II - generováno ze SCIA Engineer



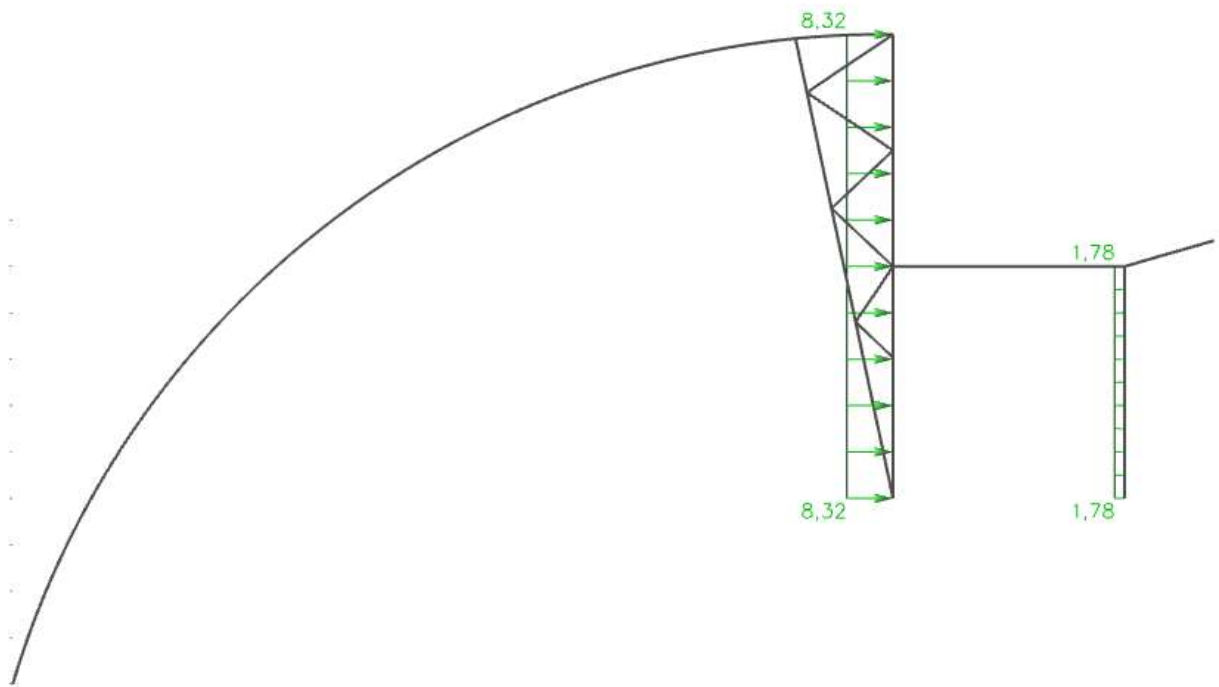
Obr. 4: Sneh III - generováno ze SCIA Engineer



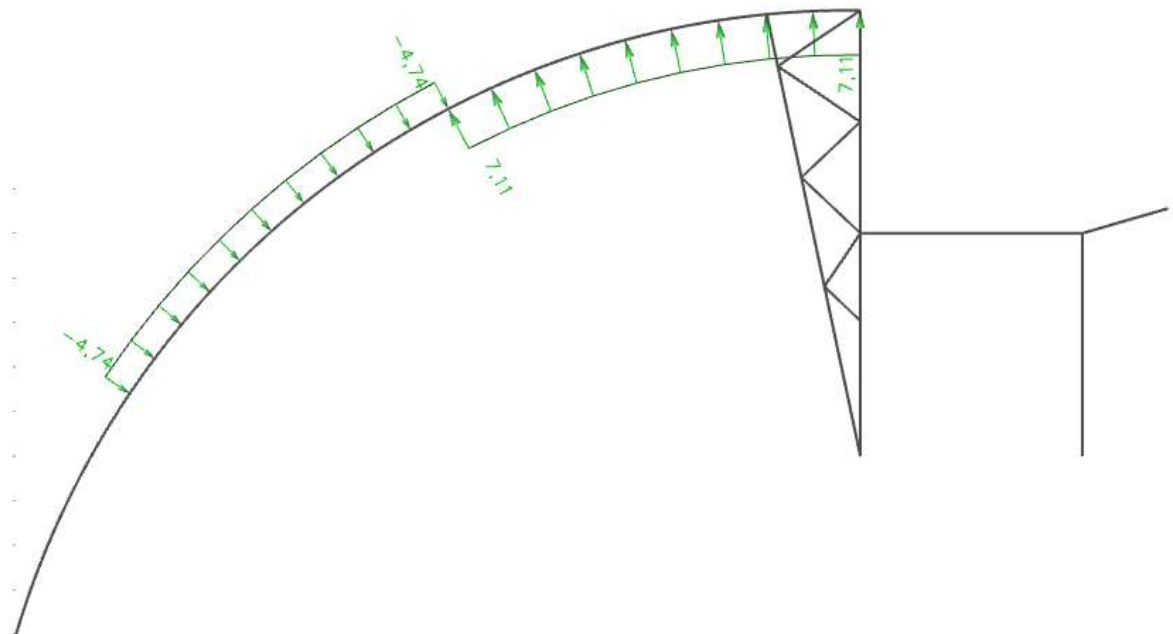
Obr. 5: Vítr – fasáda I - generováno ze SCIA Engineer



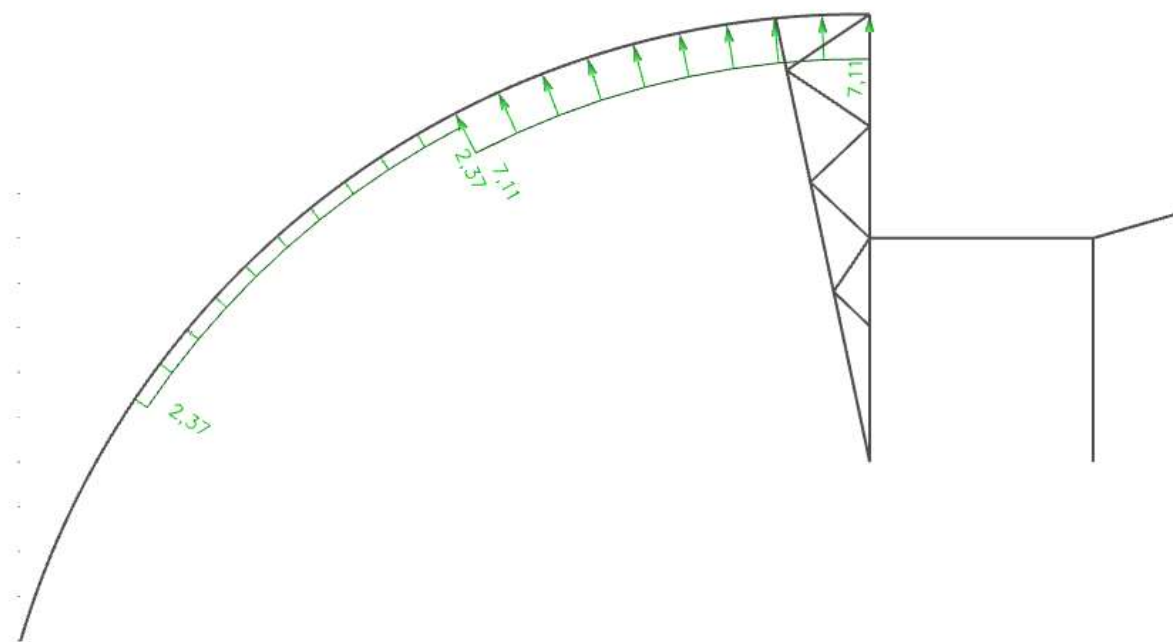
Obr. 6: Vítr – fasáda II - generováno ze SCIA Engineer



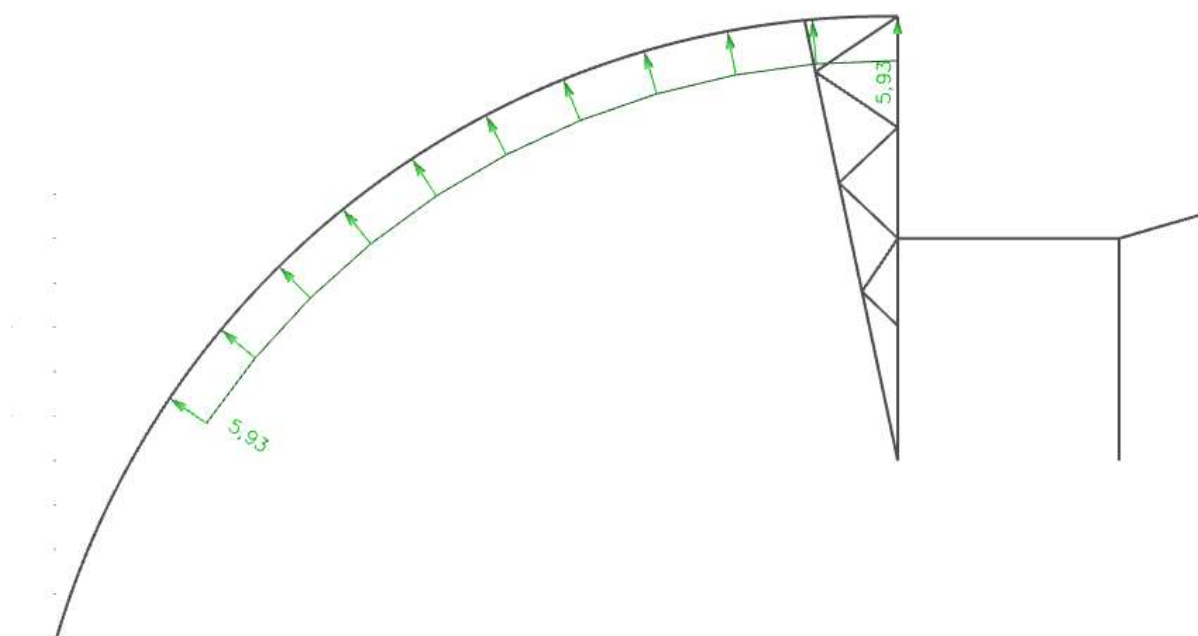
Obr. 7: Vítr – fasáda III - generováno ze SCIA Engineer



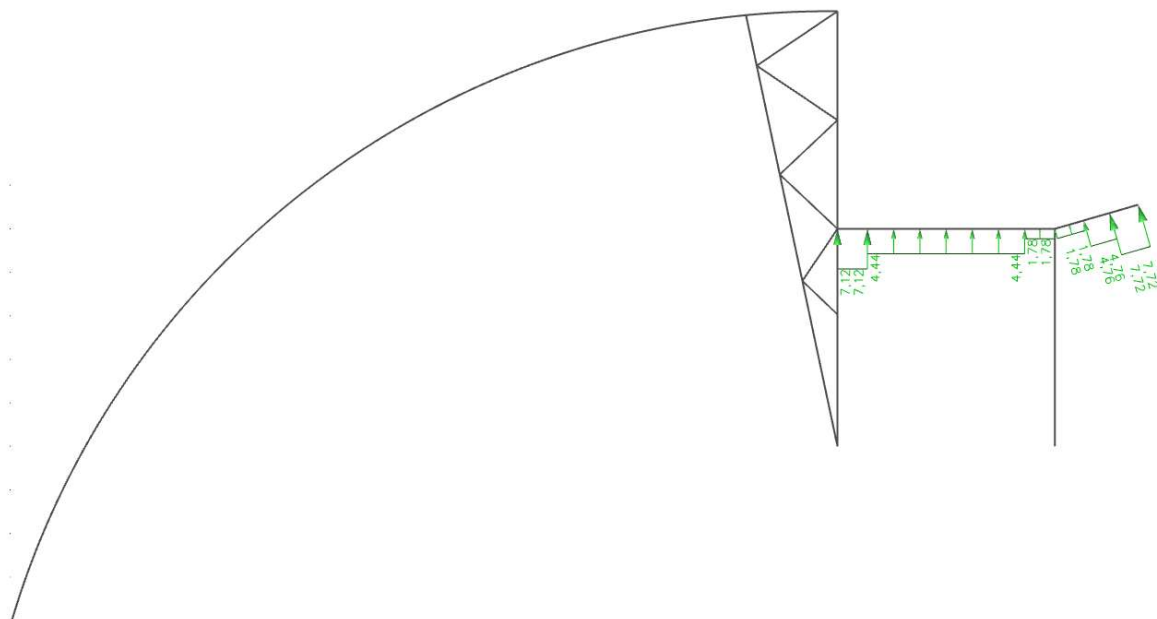
Obr. 8: Vítr – střecha I - generováno ze SCIA Engineer



Obr. 9: Vítr – střecha II - generováno ze SCIA Engineer



Obr. 10: Vítr – střecha III - generováno ze SCIA Engineer



Obr. 11: Vitr – přístřešek - generováno ze SCIA Engineer