ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: BAJTEK Jméno: JOSEF Osobní číslo: 380925

Zadávající katedra: K134 - KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KCÍ

Studijní program: S1

Studijní obor: K

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: ZASTŘEŠENÍ SPORTOVNÍ HALY

Název diplomové práce anglicky: ROOF STRUCTURE OF THE STADIUM

Pokyny pro vypracování: NÁVRH KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ, STATICKÝ VÝPOČET A POSOUZENÍ KONSTRUKCE NA NUMERICKÉM 3D MODELU + RUČNĚ, VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE KONSTRUKCE A DETAILŮ, TECHNICKÁ ZPRÁVA

Seznam doporučené literatury: SKRIPTA ČVUT OCELOVÉ KONSTRUKCE
EN

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Michal Nekvasil, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 3.10.2016 Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2017

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 diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové 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“.

3.10.2016

Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

ZASTŘEŠENÍ SPORTOVNÍ HALY

ROOF STRUCTURE OF THE STADIUM

Diplomová práce

Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Vedoucí práce: Ing. Michal Netušil, Ph.D.

JOSEF BAJTEK

Abstrakt

Tématem práce je návrh a posouzení zastřešení sportovní haly. Hlavním cílem je návrh ocelové konstrukce kulového vrchlíku s centrálním prstencem a předpjatými táhly. Výpočet vnitřních sil, deformací konstrukce a posudek prvků byl proveden ve Scia Engineer a Dlubal. Byl proveden také ruční posudek podle platných norem. Prvky konstrukce byly posouzeny dle mezních stavů únosnosti a mezních stavů použitelnosti.

Klíčová slova

Ocelová konstrukce, prostorový nosník, předpjatá táhla

Abstract

Theme of thesis is the design and assessment of roof structure of stadium. The main objective is design of steel sphere cap structure with central tubus and prestressed strings. Calculation of internal forces, deformation of the structure and assessment of structural elements were performed in Scia Engineer and Dlubal. Assessment of the structural elements was done manually according to valid standards too. Structural elements were assessed according to the ultimate limit state and serviceability limit state.

Keywords

Steel structure, space beam structure, prestressed string

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Praze dne 5. 1. 2017

……

podpis autora
Josef Bajtek

Obsah

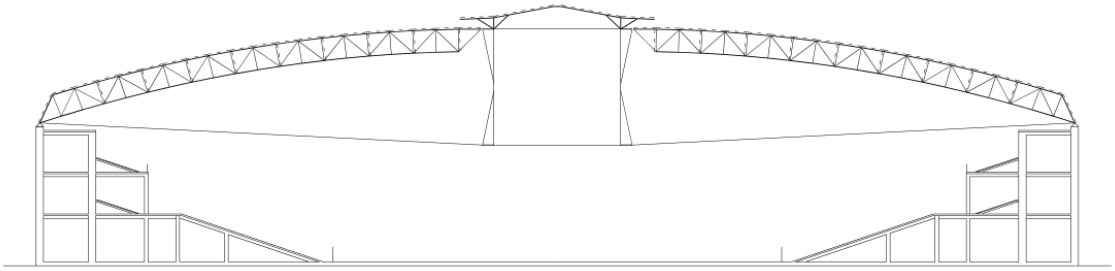
ÚVOD 6
1 POPIS KONSTRUKCE 6
1.1 Střešní plášť 6
1.2 Příhradové nosníky 7
1.3 Ztužující prvky 7
1.4 Prstenec 8
1.5 Vrchlík 8
1.6 Tyčové táhla 9
1.7 Uložení konstrukce 9
2 VÝPOČETNÍ MODEL 10
3 ZATÍŽENÍ A ZATĚŽOVACÍ STAVY 11
3.1 Zatížení stálá 11
3.1.1 Vlastní tíha 11
3.1.2 Ostatní stálé zatížení 11
3.2 Zatížení proměnná 12
3.2.1 Zatížení sněhem 12
3.2.2 Zatížení větrem 13
3.3 Předpětí 15
3.4 Zatěžovací stavy a rozdělení na konstrukci 16
4 KOMBINACE ZATÍŽENÍ 18
5 POSUDEK – MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI 19
5.1 Vaznice 19
5.2 Příhradový nosník 22
5.2.1 Horní pás nosníku 22
5.2.2 Dolní pás nosníku – část 1 26
5.2.3 Dolní pás nosníku – část 2 28
5.2.4 Dolní pás nosníku – část 3 30
5.2.5 Diagonály 32
5.3 Ztužující prvky 33
5.3.1 Ztužení v rovině střešního pláště 33
5.3.2 Propojení dolních pásů nosníků 34
5.3.3 Svislé ztužení 36
5.4 Prstencová vzpěra 39
5.4.1 Horní prstence 40
5.4.2 Dolní prstence 45
5.4.3 Stojka prstencové vzpěry 47
5.5 Stříška vrchlíku 51
5.5.1 Vaznice stříšky 51
5.5.2 Stojky stříšky 52
5.6 Tyčové táhlo 53
5.7 Uložení konstrukce 54

6 POSUDEK – MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI 55
6.1 Mezní stav omezení průhybů 55
6.2 Mezní stav omezení napětí 55
6.2.1 Horní pás příhradového nosníku 55
6.2.2 Dolní pás nosníku – část 1 55
6.2.3 Dolní pás nosníku – část 2 56
6.2.4 Dolní pás nosníku – část 3 56
6.2.5 Horní prstenec 57
6.2.6 Dolní prstenec 57
6.2.7 Vaznice 58
ZÁVĚR 58
SEZNAM POUŽITÝCH NOREM A LITERATURY 59
SEZNAM PŘÍLOH 59

ÚVOD

Diplomová práce je zpracována v návaznosti na práci diplomového semináře a rozvíjí variantu kulového vrchlíku se vzpínadlem. Cílem této práce je komplexní posudek konstrukce takovéhoto typu. Podružným cílem je vytvoření modelu konstrukce v programech Scia Engineer a Dlubal, tak aby výsledky, které z nich získáme, byly ekvivalentní.

1 POPIS KONSTRUKCE



Konstrukce se skládá z několika základních částí. Jedná se o radiální systém, kde hlavními nosnými prvky je 48 příhradových nosníků opírající se o válcový prstenec, který je vpínán 48 tyčovými táhly. Příhradové nosníky jsou mezi sebou spojeny vaznicemi a ztužením. Vaznice dále tvoří podpůrný systém pro střešní plášť a jsou půdorysně od sebe vzdáleny přibližně 3 m. Posledním prvkem je stříška vrchlíku nad prstencem, která zakrývá otvor tubusu.

Hlavní rozpětí konstrukce je 138,4 m. Jeden příhradový nosník překlenuje 59,2 m a jeho vzepětí je 12,5 m. Centrální prstenec má průměr 20 m a výšku 15,5 m.

1.1 Střešní plášť

Skladba střešního pláště je navrhnuta s ohledem na tepelně-akustické požadavky budovy. Jeho součástí trapézový plech, který plní funkci nosnou a roznáší zatížení, která na plášť působí.

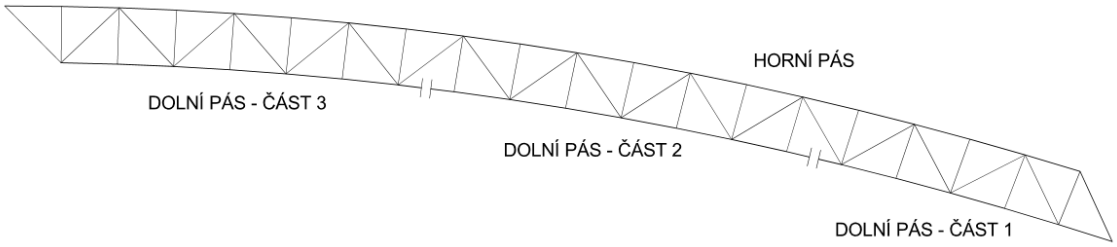
Skladba střešního pláště:

DEKPLAN 76	hydroizolační vrstva
ISOVER-S tl. 60 mm	pochozí tepelná izolace
ISOVER LAM30 tl. 100 mm	tepelná izolace
DEKSEPAR	separační vrstva
TR 150/280/0,75	nosný prvek

1.2 Příhradové nosníky

Příhradové nosníky jsou jedním z hlavních nosných prvků. Skládají se ze dvou pásů (horní a dolní) a diagonál, které je propojují. Z hlediska výstavby jsou rozděleny na tři montážní dílce. Tohoto faktu bylo využito ke změně průřezu dolního pásu a diagonál po délce nosníku. Tím bylo zajištěno odlehčení ve středové části konstrukce.

Všech 48 příhradových nosníků je uloženo na konstrukci budovy pomocí posuvných ložisek a ve středové části se opírají o prstenec. K dolnímu pásu je dále připojeno tyčové táhlo v místě uložení na konstrukci budovy.



1.3 Ztužující prvky

Ztužující prvky zajišťují prostorovou stabilitu celé konstrukce. Lze je rozdělit na tři typy – ztužení horního pásu nosníku, propojení dolního pásu nosníku a svislé ztužení.

Ztužení horního pásu nosníku vytváří ve středu konstrukce hustou síť prvků. Tento fakt je dán tím, že v této oblasti vzniká velký tlak v horním pásu nosníku, který by mohl díky tomuto tlaku ztratit stabilitu.

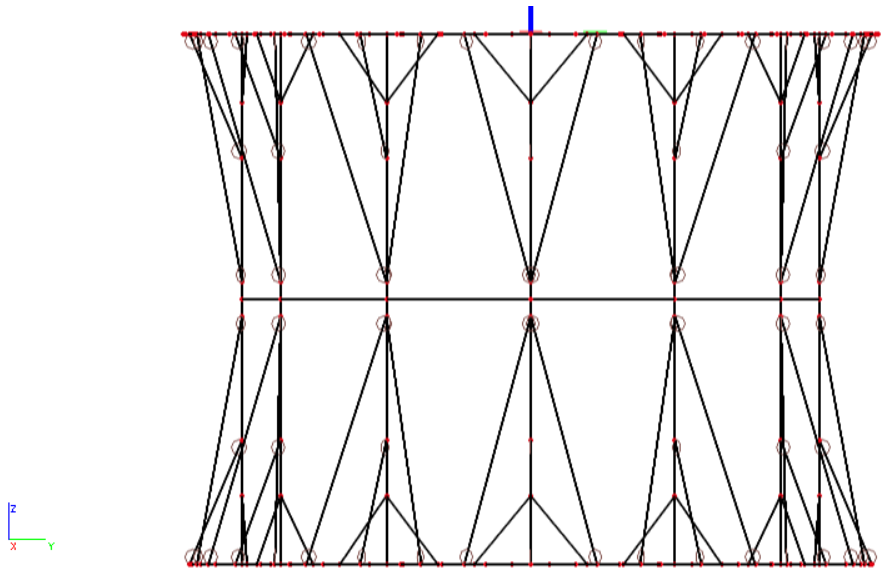
Propojení dolního pásu nosníku zajišťuje polohu tohoto pásu, kterou by mu samotné svislé ztužení zaručit nemohlo. Dále pak uzavírá sousední nosníky do tuhých komor, u nichž tuhost poskytuje svislé ztužení.

1.4 Prstenec

Prstenec je úhelným kamenem celého konstrukčního systému. V horní části se na něj připojují nosníky a v dolní části táhla. Funguje jako vzpěra, kterou žene vzhůru přepětí táhel a tím mění klasické chování střechy ve tvaru kopule.

Prstenec se skládá ze tří částí – horního prstence, prstencových stojek a dolního prstence. Horní a dolní prstenec tvoří dva pásy ve tvaru soustředných kruhů, které jsou propojeny diagonálami. Stojky prstence spojují horní a dolní část prstence ve svislém směru.

Prstenec je vzhledem k jeho mohutnosti rozdělen do montážních segmentů, které se pospojují při výstavbě.



1.5 Vrchlík

Vrchlík je část konstrukce, která svým působením nepřispívá nosné funkci konstrukce. Slouží k zastřešení prostoru nad prstencem. Je tvořen 12 vaznicemi, které se stýkají ve vrcholu celé konstrukce, kde je pro ně navrhnut styčníkový prstenec. Stabilita těchto vaznice je zajištěna ztužidly v rovině střešního pláště. Celá stříška vrchlíku je na konstrukci umístěna pomocí stojek.

1.6 Tyčové táhla

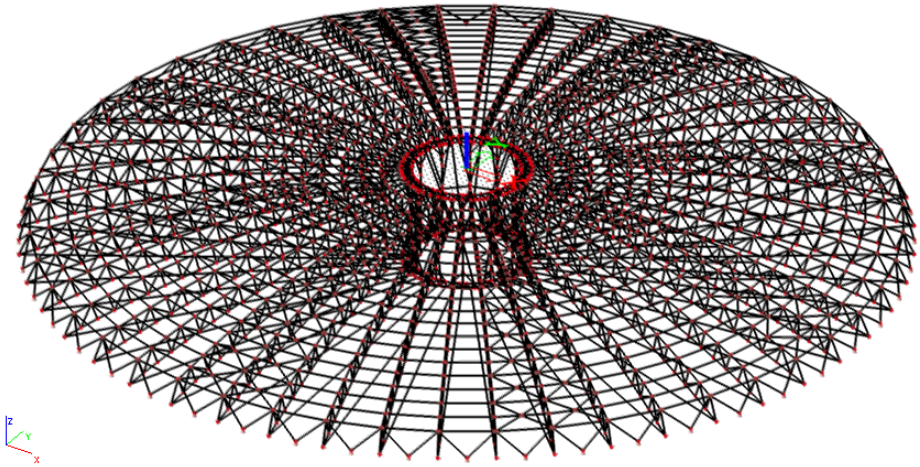
Funkce táhel v konstrukci je dvojího druhu. Zaprvé svým předepnutím tlačí vzhůru centrální tubus. A za druhé snižují vodorovné reakce tím, že jsou připojena k dolnímu pásu nosníku. Aby nedocházelo ke ztrátám předpětí, jsou táhla zavěšena pod nosníky pomocí závěsů.

1.7 Uložení konstrukce

Konstrukce střechy je uložena na konstrukci budovy pomocí posuvných ložisek, která umožňují pohyb nosníku v radiálním směru a tím nebrání funkčnosti vzpínadla.

2 VÝPOČETNÍ MODEL

Výpočetní model je vytvořen ve výpočetních programech Scia Engineer a Dlubal. Jedním z důvodů vytvoření dvou modelů byla snaha získat takový model konstrukce, který by poskytoval ekvivalentní výsledky a tím se stal univerzálním modelem. Z hlediska metody konečných prvků se jedná o prostorovou prutovou konstrukci.



Příhradový nosník byl modelován jako dva spojité pásy, na které se v uzlech kloubově napojují diagonály, ztužení a vaznice. Připojení horního pásu nosníku k prstenci je také kloubové. Dolní pás nosníku je uložen na posuvné podpoře, u které byl souřadný systém pootočen, tak aby odpovídal radiálnímu působení konstrukce.

Pásy horního a dolního prstence jsou tuze propojeny diagonálami. Stojky prstence jsou k oběma pásům připojeny kloubově.

Tyčová táhla, jelikož se jedná o prvky tuhé, byla modelována jako klasické pruty bez žádné nadbytečné funkcionality. Prvky táhel jsou ke konstrukci připojeny kloubově.

3 ZATÍŽENÍ A ZATĚŽOVACÍ STAVY

Na konstrukci byly definovány tři typy zatížení – zatížení stálé, proměnné a předpětím. Zatížení stálé je bráno od vlastní tíhy konstrukce a od střešního pláště (ostatní stálé zatížení). Zatížení proměnné vychází z normových hodnot pro zatížení sněhem a větrem. Předpětí tyčových táhel je stanoveno v závislosti na odezvě modelu konstrukce. V závěru kapitoly jsou shrnuty všechny zatěžovací stavy a jejich umístění na konstrukci.

3.1 Zatížení stálá

3.1.1 Vlastní tíha

Vlastní tíha konstrukce je stanovena softwarem na základě průřezové plochy příslušného prvku a objemové hmotnosti oceli (ρ = 7850 kg/m^3). Tato hmota působí ve svislém směru na střednici prutu s gravitačním zrychlením 9,81 m/s^2. Zatěžovací stav *ZS1 – Vlastní tíha* je tedy definován jako spojité rovnoměrné zatížení zatěžující střednici prutu s orientací svisle dolů.

3.1.2 Ostatní stálé zatížení

Ostatní stálé zatížení je vypočteno jako součet vlastních tíh jednotlivých vrstev střešního pláště. Střešní plášť je plošný prvek, jehož zatížení působí na vaznice. Proto je rozděleno pomocí zatěžovacích šířek na vaznice. Zatěžovací stav *ZS2 – Ostatní stálé zatížení* je definován jako spojité zatížení zatěžující střednici vaznice s orientací svisle dolů.

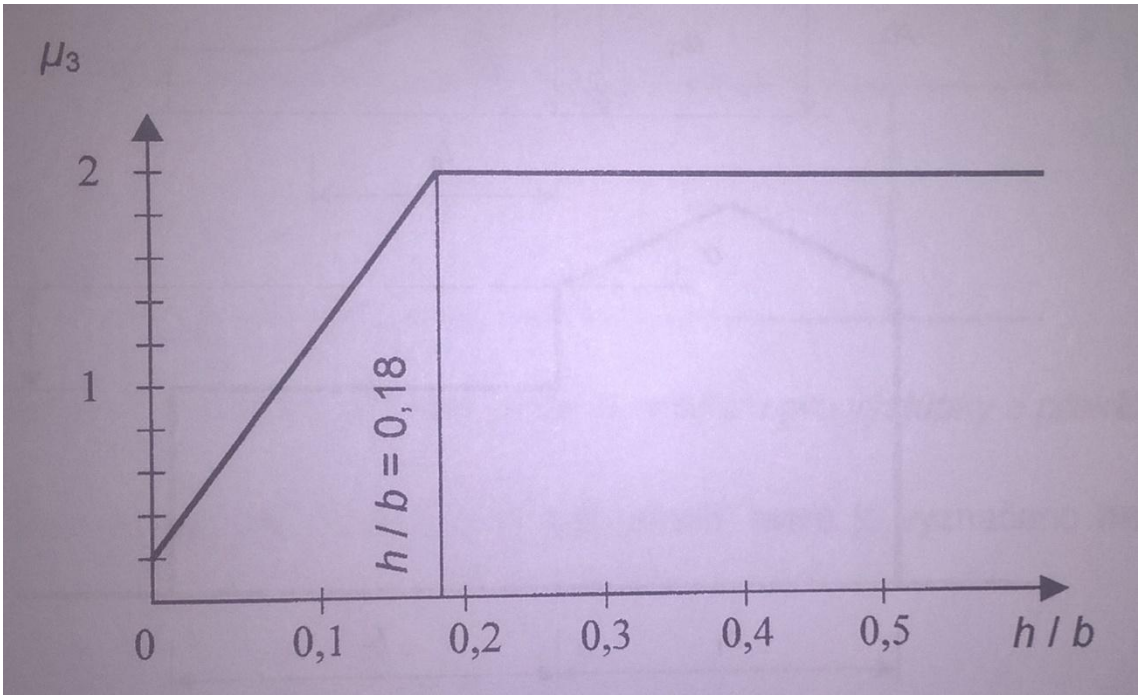
Ostatní stálé zatížení

Vrstva střešního pláště		g_k [kN/m^2]
DEKPLAN 76	2,20 kg/m2	0,022
ISOVER-S tl. 60 mm	1,75 kN/m3	0,105
ISOVER LAM30 tl. 100 mm	0,65 kN/m3	0,065
DEKSEPAR	0,18 kg/m3	0,002
TR 150/280/0,75	11,0 kg/m2	0,110
Ostatní stálé zatížení		0,304

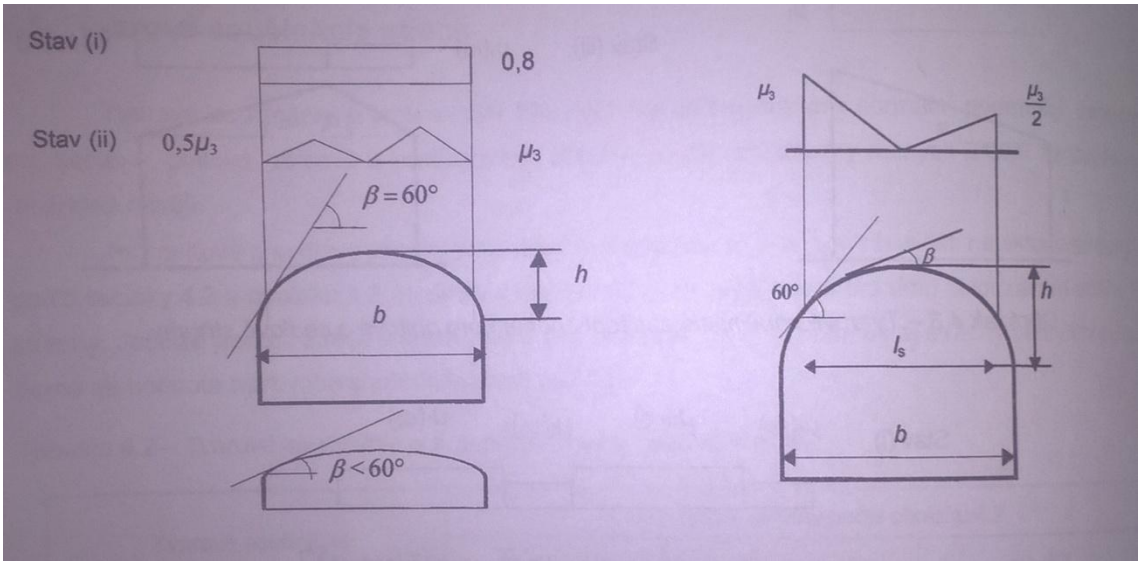
3.2 Zatížení proměnná

3.2.1 Zatížení sněhem

Zatížení sněhem je stanoveno dle normy ČSN EN 1991-1-3 a pro Oblast II je charakteristická hodnota zatížení sněhem $s = 1{,}0\ kN/m^2$. Hodnota součinitele expozice je $c_e = 1{,}0$ a tepelného součinitele je $c_t = 1{,}0$. Dle normy jsou definovány tři zatěžovací stavy závislé na tvarovém součiniteli zatížení sněhem μ_i a rozložení zatížení na střeše. Zatěžovací stavy jsou *ZS3 – Rovnoměrné zasněžení*, *ZS4 – Nerovnoměrné zasněžení* a *ZS5 – Návěje*. Tyto stavy jsou patrné z obrázku. Pro válcové střechy je doporučena hodnota $\mu_1 = 0{,}8$ a hodnota μ_3 vychází z grafu.



$$\frac{h}{b} = \frac{11{,}8}{135} = 0{,}087 \ \rightarrow \ \mu_3 = \frac{2{,}0 - 0{,}2}{0{,}18} \times 0{,}087 = 0{,}87$$



Charakteristické zatížení sněhem

$s_{k,1} = \mu_1 c_e c_t s = 0{,}80 \times 1{,}0 \times 1{,}0 \times 1{,}0 = 0{,}80\ kN/m^2$

$s_{k,2} = \mu_3 c_e c_t s = 0{,}87 \times 1{,}0 \times 1{,}0 \times 1{,}0 = 0{,}87\ kN/m^2$

Zatížení sněhem působí plošně na střešní plášť, který ho roznese na vaznice. Proto je definováno definován jako spojité zatížení zatěžující střednici vaznice s orientací svisle dolů.

3.2.2 Zatížení větrem

Zatížení větrem je stanoveno dle normy ČSN EN 1991-1-4 a je definováno tlakem větru w_e na střešní plášť.

$w_e = q_{p(z)} c_{pe}$

Maximální dynamický tlak větru $q_{p(z)}$ je vypočten ze vzorce

$q_{p(z)} = q_p c_{e(z)}$

Základní dynamický tlak větru q_p vychází z měrné hmotnosti vzduchu ρ = 1,25 kg/m^3 a základní rychlosti větru v_b.

$v_b = c_{dir}\, c_{season}\, v_{b,0}$

Norma doporučuje hodnotu c_{dir} = 1,0 a hodnotu c_{season} = 1,0. Hodnota základní rychlosti větru je $v_{b,0}$ = 25 m/s pro Oblast II.

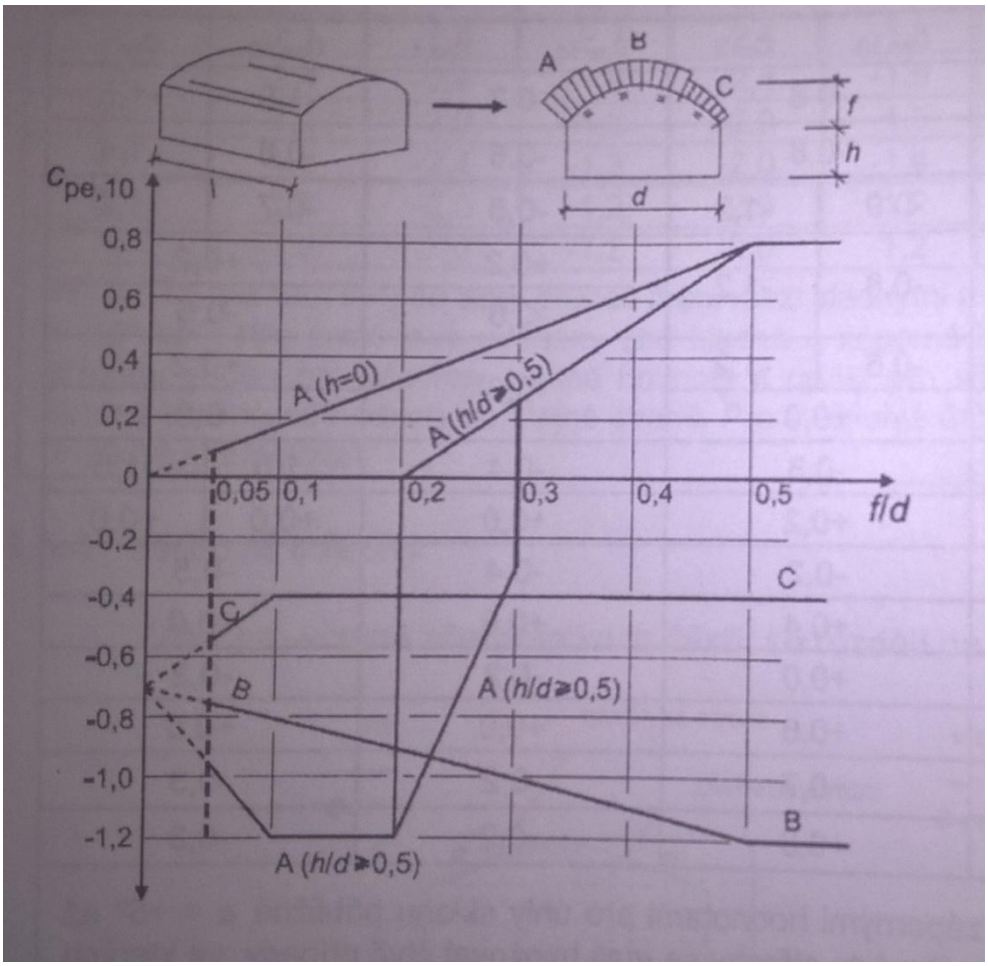
$$v_b = c_{dir}\, c_{season}\, v_{b,0} = 1{,}0 \times 1{,}0 \times 25 = 25\ m/s$$

$$q_p = 0{,}5\rho v_b^2 = 0{,}5 \times 1{,}25 \times 25^2 = 390{,}6\ N/m^2$$

Součinitel expozice $c_{e(41,8)}$ = 2,1 je stanoven z grafu pro kategorii terénu IV a pro výšku budovy z = 41,8 m.

$$q_{p(41{,}8)} = q_p c_{e(41{,}8)} = 390{,}6 \times 2{,}1 = 820{,}26\ N/m^2$$

Součinitel vnějšího tlaku c_{pe} je určen na základě geometrie konstrukce z grafu.



$$\frac{f}{d} = \frac{11{,}8}{135} = 0{,}087$$

$$\frac{h}{d} = \frac{30}{135} = 0{,}22$$

Oblast A

$c_{pe} = c_{pe,10} = 0{,}10$

$w_e = q_{p(41,8)} c_{pe} = 820{,}26 \times 0{,}10 = 82{,}026\ N/m^2\ (tlak)$

$c_{pe} = c_{pe,10} = -1{,}0$

$w_e = q_{p(41,8)} c_{pe} = 820{,}26 \times (-1{,}0) = -820{,}26\ N/m^2\ (sání)$

Oblast B

$c_{pe} = c_{pe,10} = -0{,}75$

$w_e = q_{p(41,8)} c_{pe} = 820{,}26 \times (-0{,}75) = -615{,}19\ N/m^2\ (sání)$

Oblast C

$c_{pe} = c_{pe,10} = -0{,}50$

$w_e = q_{p(41,8)} c_{pe} = 820{,}26 \times (-0{,}5) = -410{,}13\ N/m^2\ (sání)$

Z výpočtu zatížení větrem vyplívají dva zatěžovací stavy, které se liší v účincích zatížení v oblasti A. Zatěžovací stavy jsou *ZS6 – Částečné sání pláště* a *ZS7 – Sání celého pláště*. Zatížení větrem působí plošně na střešní plášť, který ho roznese na vaznice. Proto je definováno jako spojité zatížení zatěžující střednici vaznice s orientací svisle dolů.

3.3 Předpětí

Předpětí tyčových táhel Macalloy M100 je limitováno maximální předpínací silou P = 2031,3 kN, kterou je možno tyč předepnout. Tato hodnota je převzata z technických listů firmy Macalloy. Zatížení je do modelu vloženo jako zatěžovací stav *ZS8 – Předpětí*. V modelu Dlubal je použita funkcionalita počáteční předpětí s hodnotou 2000 kN. V modelu Scia je předpětí vloženo jako rovnoměrné ochlazení prutu o ΔT = 107,4°C, které vyvolá potřebné přepětí 2000 kN.

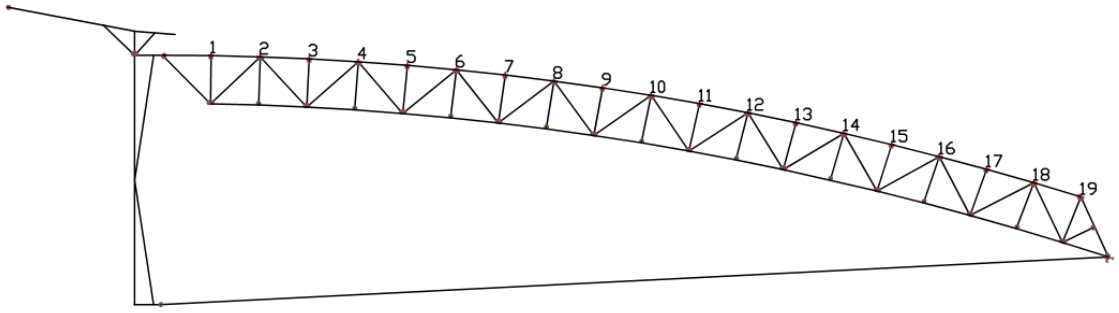
$$N = EA\alpha_T \Delta T = 210 \times \frac{0{,}097^2 \times \pi}{4} \times 12 \times 107{,}4 = 2000{,}04\ kN$$

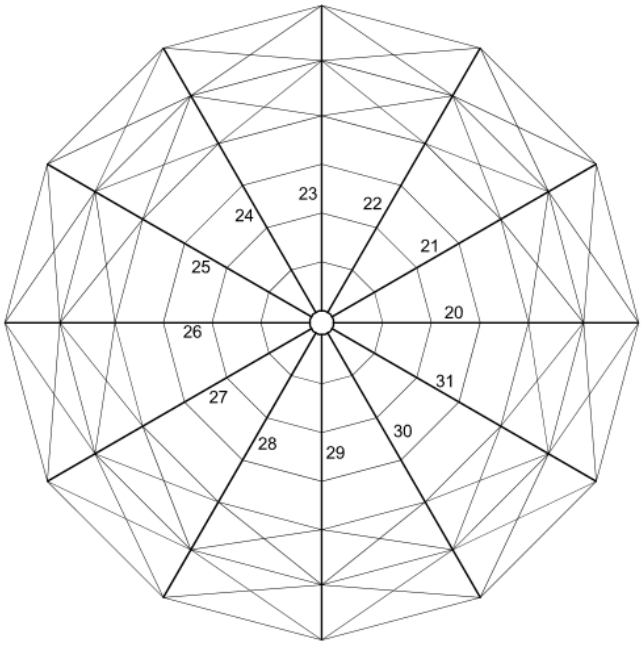
3.4 Zatěžovací stavy a rozdělení na konstrukci

Na model konstrukce jsou zavedeny tyto zatěžovací stavy:

ZS1 – Vlastní tíha
ZS2 – Ostatní stálé zatížení
ZS3 – Rovnoměrné zasněžení
ZS4 – Nerovnoměrné zasněžení
ZS5 – Návěje
ZS6 – Částečné sání pláště
ZS7 – Sání celého pláště
ZS8 – Předpětí

Zatížení zatěžovacích stavů ZS2 až ZS7 je umístěno na vaznicích kopule V1 až V19 v každém poli a je rovnoměrné spojité. Dále jsou pro tyto stavy zatíženy vaznice stříšky vrchlíku V20 až V31 trojúhelníkovitým spojitým zatížením. Pro zatěžovací stavy ZS3 až ZS7 je nutno rozdělit konstrukci na dva úseky – návětrná strana a strany v zákrytu vrchlíku.





Intenzity spojitého zatížení na vaznicích

	Délka [m]	ZS4 [kN/m]		ZS5 [kN/m]		ZS6 [kN/m]		ZS7 [kN/m]	
V1	1,704	0,520	1,040	0,260	0,520	-1,870		-1,870	
V2	2,103	0,645	1,290	0,320	0,640	-1,870		-1,870	
V3	2,501	0,765	1,530	0,380	0,760	-1,870		-1,870	
V4	2,899	0,885	1,770	0,440	0,880	-1,870		-1,870	
V5	3,297	1,005	2,010	0,500	1,000	-1,870		-1,870	
V6	3,694	1,120	2,240	0,560	1,120	-1,870		-1,870	
V7	4,091	1,240	2,480	0,620	1,240	-1,870		-1,870	
V8	4,487	1,290	2,580	0,680	1,360	-1,870		-1,870	
V9	4,881	1,170	2,340	0,735	1,470	0,250	-1,240	-2,490	-1,240
V10	5,275	1,045	2,090	0,795	1,590	0,250	-1,240	-2,490	-1,240
V11	5,668	0,925	1,850	0,850	1,700	0,250	-1,240	-2,490	-1,240
V12	6,060	0,805	1,610	0,905	1,810	0,250	-1,240	-2,490	-1,240
V13	6,450	0,690	1,380	0,960	1,920	0,250	-1,240	-2,490	-1,240
V14	6,840	0,570	1,140	1,015	2,030	0,250	-1,240	-2,490	-1,240
V15	7,227	0,450	0,900	1,065	2,130	0,250	-1,240	-2,490	-1,240
V16	7,614	0,340	0,680	1,120	2,240	0,250	-1,240	-2,490	-1,240
V17	7,998	0,225	0,450	1,170	2,340	0,250	-1,240	-2,490	-1,240
V18	8,381	0,110	0,220	1,220	2,440	0,250	-1,240	-2,490	-1,240
V19	8,763	0,000	0,000	0,635	1,270	0,125	-0,620	-1,245	-0,620
V20	12,644	4,550		2,275		3,500		3,500	
V21	12,644	4,550		2,275		3,500		3,500	
V22	12,644	4,550		2,275		3,500		3,500	
V23	12,644	3,410		1,700		3,500		3,500	
V24	12,644	2,275		1,137		3,500		3,500	
V25	12,644	2,275		1,137		3,500		3,500	
V26	12,644	2,275		1,137		3,500		3,500	
V27	12,644	2,275		1,137		3,500		3,500	
V28	12,644	2,275		1,137		3,500		3,500	
V29	12,644	3,410		1,700		3,500		3,500	
V30	12,644	4,550		2,275		3,500		3,500	
V31	12,644	4,550		2,275		3,500		3,500	

Intenzity spojitého zatížení na vaznicích

	ZS2 [kN/m]	ZS3 [kN/m]
V1 - V18	0,930	2,400
V19	0,465	1,200
V20 – V31	1,730	4,550

4 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

Pro posouzení konstrukce je stanoveno pět kombinací zatěžovacích stavů. Vždy se kombinuje stálé zatížení a předpětí se zbylými proměnnými zatíženími (sníh/vítr). V každé kombinaci dominuje pouze jeden ze zatěžovacích stavů ZS3 až ZS7. Pro posudek mezního stavu únosnosti se uvažuje navýšení účinků zatížení pomocí součinitelů γ_G = 1,35 pro stálé zatížení a γ_Q = 1,5 pro proměnná zatížení. Účinek předpětí se nenavyšuje.

$$KZ \rightarrow \sum \gamma_G G + P + \gamma_Q Q_i$$

KZ1 – dominantní ZS3 – Rovnoměrné zasněžení
KZ2 – dominantní ZS4 – Nerovnoměrné zasněžení
KZ3 – dominantní ZS5 – Návěje
KZ4 – dominantní ZS6 – Částečné sání pláště
KZ5 – dominantní ZS7 – Sání celého pláště

5 POSUDEK – MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

Konstrukce je navrhnuta z oceli S355. Tyčové táhla Macalloy jsou z oceli S460 a jsou navrhnuty za pomoci technických listů výrobce.

Návrhové materiálové parametry:

- únosnost průřezu

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{355}{1{,}0} = 355\ MPa$$

- únosnost průřezu – stabilitní výpočet

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{355}{1{,}0} = 355\ MPa$$

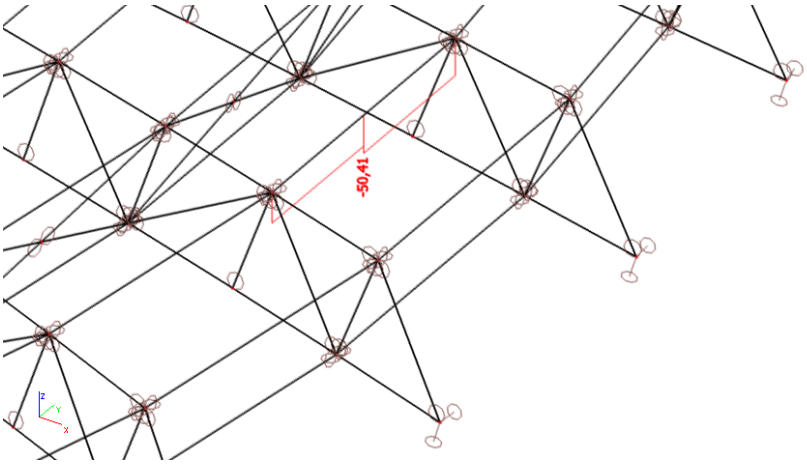
- únosnost spojů - plechy

$$f_u = 510\ MPa \quad pro \quad t \leq 40\ mm$$
$$f_u = 470\ MPa \quad pro \quad 40\ mm < t \leq 80mm$$

Jakostní třídy šroubů jsou blíže určeny ve výpočtu.

5.1 Vaznice

Navrhuji průřez **HEB180**. Horní pásnice vaznice je držena trapézovým a z toho plyne, že prvek neztratí stabilitu vlivem klopení.



Vnitřní síly:

KZ1

N_{Ed} = -50,41 kN

$M_{y,Ed}$ = 61,25 kNm

$M_{z,Ed}$ = -7,62 kNm

C_{my} = 0,6

C_{mz} = 0,6

$L_{cr,y}$ = 8443 mm

$L_{cr,z}$ = 8443 mm

Průřezové charakteristiky:

Klasifikace průřezu - třída 1

A = 6530 mm^2

N_{Rd} = 2318.15 kN

i_y = 76,6 mm

i_z = 45,7 mm

$W_{y,pl}$ = 482000 mm^3

$M_{y,pl,Rd}$ = 171,11 kNm

$W_{z,pl}$ = 151000 mm^3

$M_{z,pl,Rd}$ = 53,605 kNm

Posudek - interakce M+N:

Srovnávací štíhlost:

$$\lambda_1 = 93{,}9\varepsilon = 93{,}9 \times 0{,}81 = 76{,}06$$

Poměrná štíhlost prutu:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y\,\lambda_1} = \frac{8443}{76{,}6 \times 76{,}06} = 1{,}45$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z\,\lambda_1} = \frac{8443}{45{,}7 \times 76{,}06} = 2{,}43$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\emptyset_y = 0{,}5\left(1 + \alpha\left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_y^2\right) = 0{,}5(1 + 0{,}34(1{,}45 - 0{,}2) + 1{,}45^2) = 1{,}76$$

$$\chi_y = \frac{1}{\emptyset + \sqrt{\emptyset^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1{,}76 + \sqrt{1{,}76^2 - 1{,}45^2}} = 0{,}36$$

$$\emptyset_z = 0{,}5\left(1 + \alpha\left(\bar{\lambda}_z - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_z^2\right) = 0{,}5(1 + 0{,}49(2{,}43 - 0{,}2) + 2{,}43^2) = 4{,}00$$

$$\chi_z = \frac{1}{\emptyset + \sqrt{\emptyset^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{4{,}00 + \sqrt{4{,}00^2 - 2{,}43^2}} = 0{,}14$$

Součinitelé interakce:

$$k_{yy} = C_{my}\left(1 + \left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right)\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}}\right) \leq C_{my}\left(1 + 0{,}8\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}}\right)$$

$$k_{yy} = 0{,}6\left(1 + (1{,}45 - 0{,}2)\frac{50{,}41}{0{,}36 \times 2318}\right) \leq 0{,}6\left(1 + 0{,}8\frac{50{,}41}{0{,}36 \times 2318}\right)$$

$$k_{yy} = 0{,}65 < 0{,}63 \rightarrow k_{yy} = 0{,}63$$

$$k_{zz} = C_{mz}\left(1 + \left(2\bar{\lambda}_z - 0{,}6\right)\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rd}}\right) \leq C_{mz}\left(1 + 1{,}4\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rd}}\right)$$

$$k_{zz} = 0{,}6\left(1 + (2 \times 2{,}43 - 0{,}6)\frac{50{,}41}{0{,}14 \times 2318}\right) \leq 0{,}6\left(1 + 1{,}4\frac{50{,}41}{0{,}14 \times 2318}\right)$$

$$k_{zz} = 0{,}99 < 0{,}70 \rightarrow k_{zz} = 0{,}70$$

$$k_{zy} = 0{,}6k_{yy} = 0{,}6 \times 0{,}63 = 0{,}38$$

$$k_{yz} = 0{,}6k_{zz} = 0{,}6 \times 0{,}70 = 0{,}42$$

Posudek 1:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}} + k_{yy}\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} + k_{yz}\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{50{,}41}{0{,}36 \times 2318} + 0{,}63\frac{61{,}25}{171} + 0{,}42\frac{7{,}62}{53} \leq 1$$

$$0{,}35 < 1 \rightarrow vyhoví$$

Posudek 2:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rd}} + k_{zy}\frac{M_{y,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} + k_{zz}\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} \leq 1$$

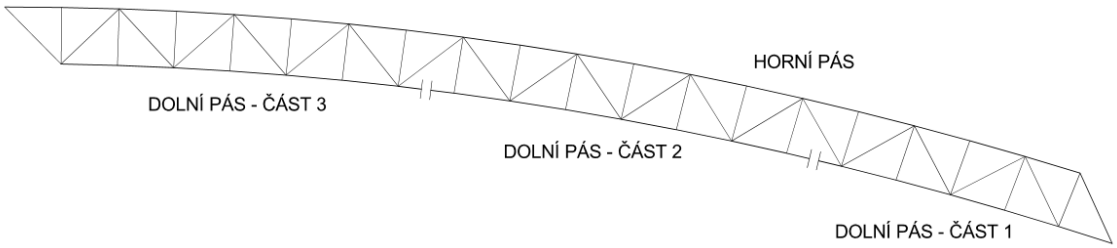
$$\frac{50{,}41}{0{,}14 \times 2318} + 0{,}38\frac{61{,}25}{171} + 0{,}70\frac{7{,}62}{53} \leq 1$$

$$0{,}43 < 1 \rightarrow vyhoví$$

Navrhovaný průřez vaznice **HEB180** vyhoví.

5.2 Příhradový nosník

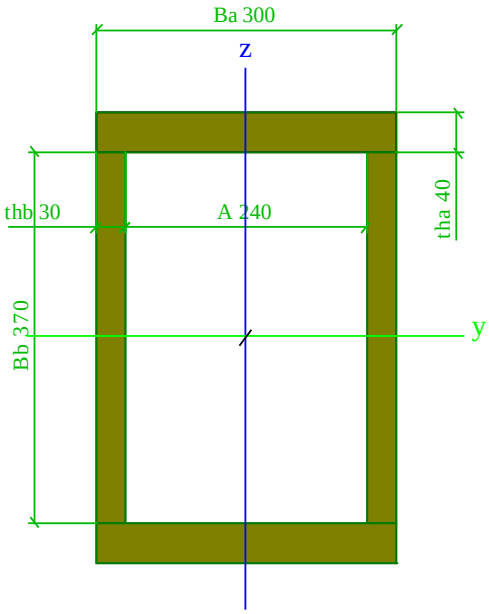
V této kapitole jsou posouzeny části příhradového nosníku. Mezi tyto části patří horní pás nosníku, tři části dolního pásu nosníku a diagonály.

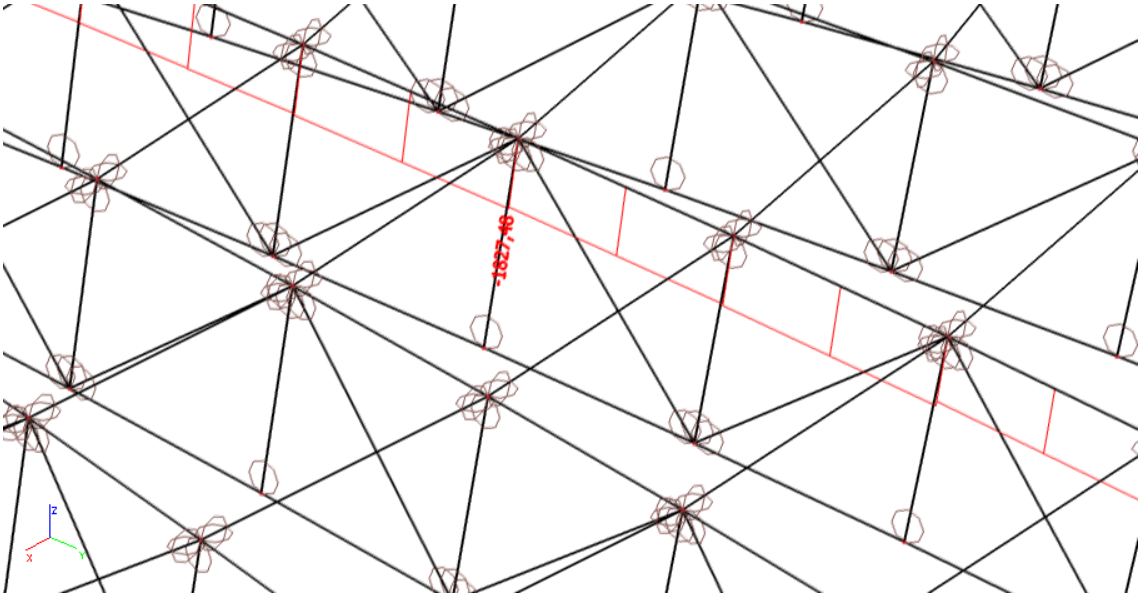


5.2.1 Horní pás nosníku

Horní pás nosníku je tvořen svařovaným hranatým dutým profilem. Pásnice jsou z plechu 300x40 a stojiny z plechu 370x30. V místě přípojů diagonál a vaznic jsou vloženy do horního pásu diafragmata.

Horní pás nosníku





Vnitřní síly:

KZ1

N_{Ed} = -1827,40 kN

$M_{y,Ed}$ = 19,80 kNm

$M_{z,Ed}$ = 58,70 kNm

C_{my} = 1,0

C_{mz} = 0,4

$L_{cr,y}$ = 30590 mm

$L_{cr,z}$ = 2894 mm

Průřezové charakteristiky:

Klasifikace průřezu – třída 1

A = 46200 mm^2

N_{Rd} = 16401 kN

i_y = 165,5 mm

i_z = 112,6 mm

$W_{y,pl}$ = 6973500 mm^3

$M_{y,pl,Rd}$ = 2476 kNm

$W_{z,pl}$ = 4797000 mm^3

$M_{z,pl,Rd}$ = 1703 kNm

Posudek – interakce M+N:

Srovnávací štíhlost:

$\lambda_1 = 93{,}9\varepsilon = 93{,}9 \times 0{,}81 = 76{,}06$

Poměrná štíhlost prutu:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y\,\lambda_1} = \frac{30590}{165{,}5 \times 76{,}06} = 2{,}43$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z\,\lambda_1} = \frac{2894}{112{,}6 \times 76{,}06} = 0{,}34$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\emptyset_y = 0{,}5\left(1 + \alpha\left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_y^2\right) = 0{,}5(1 + 0{,}34(2{,}43 - 0{,}2) + 2{,}43^2) = 3{,}83$$

$$\chi_y = \frac{1}{\emptyset + \sqrt{\emptyset^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{3{,}83 + \sqrt{3{,}83^2 - 2{,}43^2}} = 0{,}15$$

$$\emptyset_z = 0{,}5\left(1 + \alpha\left(\bar{\lambda}_z - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_z^2\right) = 0{,}5(1 + 0{,}34(0{,}34 - 0{,}2) + 0{,}34^2) = 0{,}58$$

$$\chi_z = \frac{1}{\emptyset + \sqrt{\emptyset^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0{,}58 + \sqrt{0{,}58^2 - 0{,}34^2}} = 0{,}95$$

Součinitel interakce:

$$k_{yy} = C_{my}\left(1 + \left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right)\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}}\right) \leq C_{my}\left(1 + 0{,}8\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}}\right)$$

$$k_{yy} = 1{,}0\left(1 + (2{,}43 - 0{,}2)\frac{1827{,}40}{0{,}15 \times 16401}\right) \leq 1{,}0\left(1 + 0{,}8\frac{1827{,}40}{0{,}15 \times 16401}\right)$$

$$k_{yy} = 2{,}69 < 1{,}61 \rightarrow k_{yy} = 1{,}61$$

$$k_{zz} = C_{mz}\left(1 + \left(\bar{\lambda}_z - 0{,}2\right)\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rd}}\right) \leq C_{mz}\left(1 + 0{,}8\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rd}}\right)$$

$$k_{zz} = 0{,}4\left(1 + (0{,}34 - 0{,}2)\frac{1827{,}40}{0{,}95 \times 16401}\right) \leq 0{,}4\left(1 + 0{,}8\frac{1827{,}40}{0{,}95 \times 16401}\right)$$

$$k_{zz} = 0{,}41 < 0{,}44 \rightarrow k_{zz} = 0{,}41$$

$$k_{zy} = 0{,}6k_{yy} = 0{,}6 \times 1{,}61 = 0{,}96$$

$$k_{yz} = 0{,}6k_{zz} = 0{,}6 \times 0{,}41 = 0{,}24$$

Posudek 1:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}} + k_{yy}\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} + k_{yz}\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{1827{,}40}{0{,}15 \times 16401} + 1{,}61\frac{19{,}80}{2476} + 0{,}24\frac{58{,}70}{1703} \leq 1$$

$$0{,}78 < 1 \rightarrow vyhoví$$

Posudek 2:

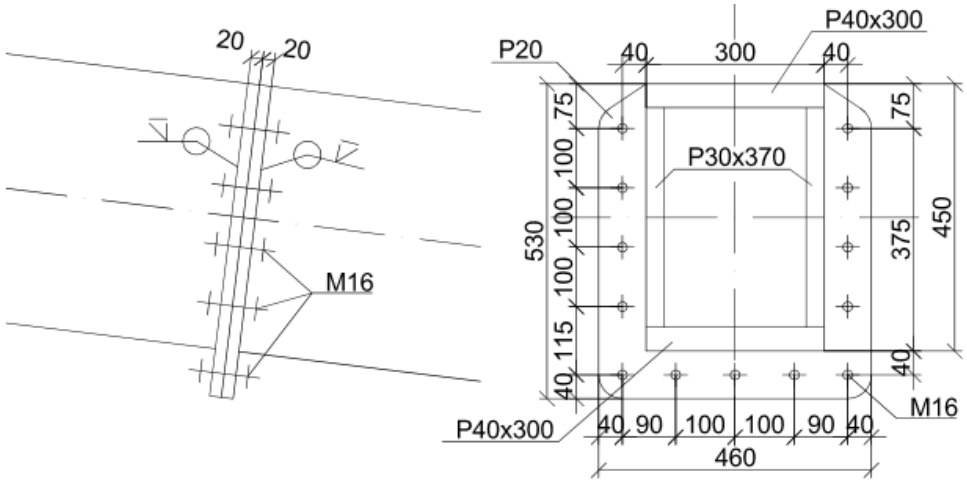
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rd}} + k_{zy}\frac{M_{y,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} + k_{zz}\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{1827{,}40}{0{,}95 \times 16401} + 0{,}96\frac{19{,}80}{2476} + 0{,}41\frac{58{,}70}{1703} \leq 1$$

$$0{,}14 < 1 \rightarrow vyhoví$$

Navrhovaný svařovaný průřez horního pásu nosníku vyhoví.

Montážní styk horního pásu nosníku

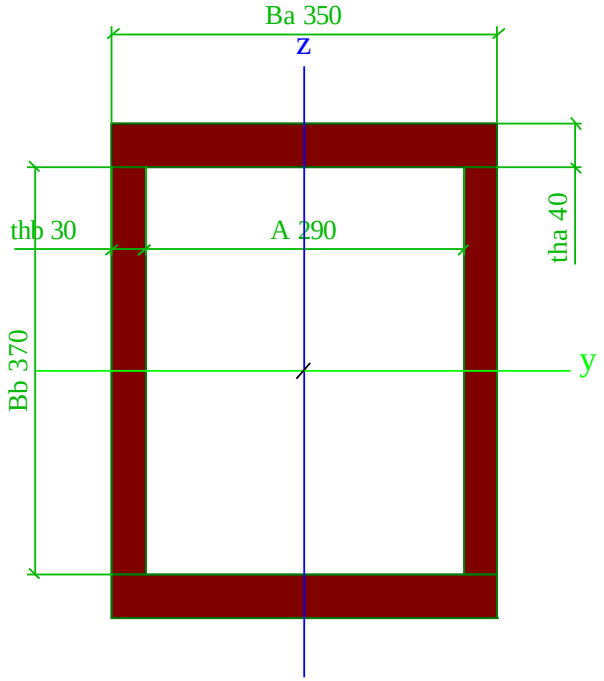


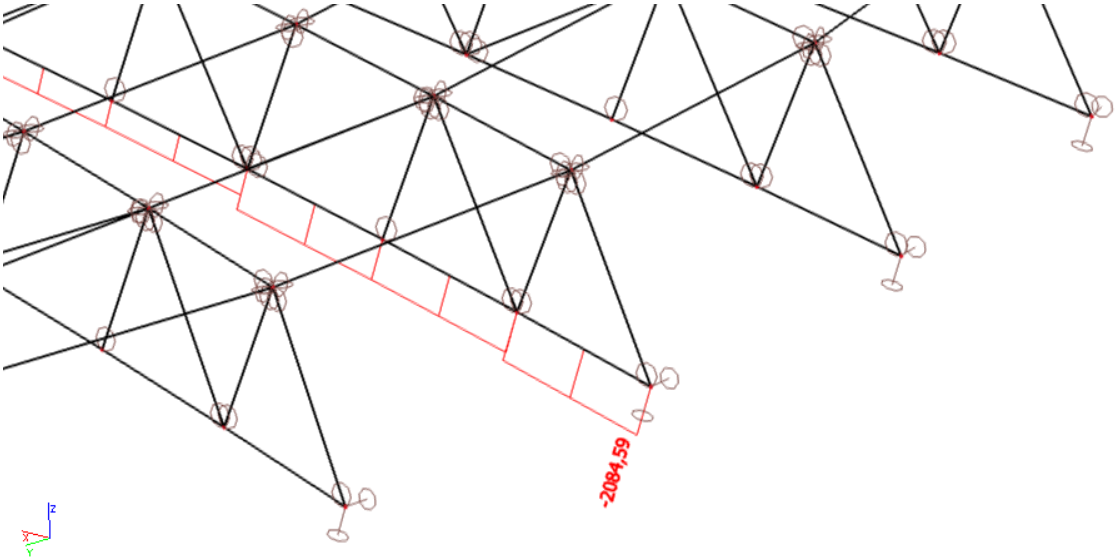
PRO PŘÍPOJ JE POUŽITO 13xM16 ŠROUBŮ

5.2.2 Dolní pás nosníku – část 1

Dolní pás nosníku – část 1 je tvořen svařovaným hranatým dutým profilem. Pásnice jsou z plechu 350x40 a stojiny z plechu 370x30. V místě přípojů diagonál a vaznic jsou vloženy do horního pásu diafragmata. Dolní část tohoto pásu je uložen na ložiscích upevněných na konstrukci budovy.

Dolní pás nosníku – část 1





Vnitřní síly:

KZ1

N_{Ed} = -2084,59 kN

$M_{y,Ed}$ = 0,00 kNm

$M_{z,Ed}$ = 0,00 kNm

$L_{cr,y}$ = 29993 mm

Průřezové charakteristiky:

Klasifikace průřezu – třída 1

A = 50200 mm^2

N_{Rd} = 17821 kN

I_y = 14337 x10^5 mm^4

i_y = 169,0 mm

Posudek – vzpěrná únosnost:

Srovnávací štíhlost:

$$\lambda_1 = 93{,}9\varepsilon = 93{,}9 \times 0{,}81 = 76{,}06$$

Poměrná štíhlost prutu:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y\,\lambda_1} = \frac{29993}{169{,}0 \times 76{,}06} = 2{,}33$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\emptyset_y = 0{,}5\left(1 + \alpha\left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_y^2\right) = 0{,}5(1 + 0{,}34(2{,}33 - 0{,}2) + 2{,}33^2) = 3{,}59$$

$$\chi_y = \frac{1}{\emptyset + \sqrt{\emptyset^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{3{,}59 + \sqrt{3{,}59^2 - 2{,}33^2}} = 0{,}16$$

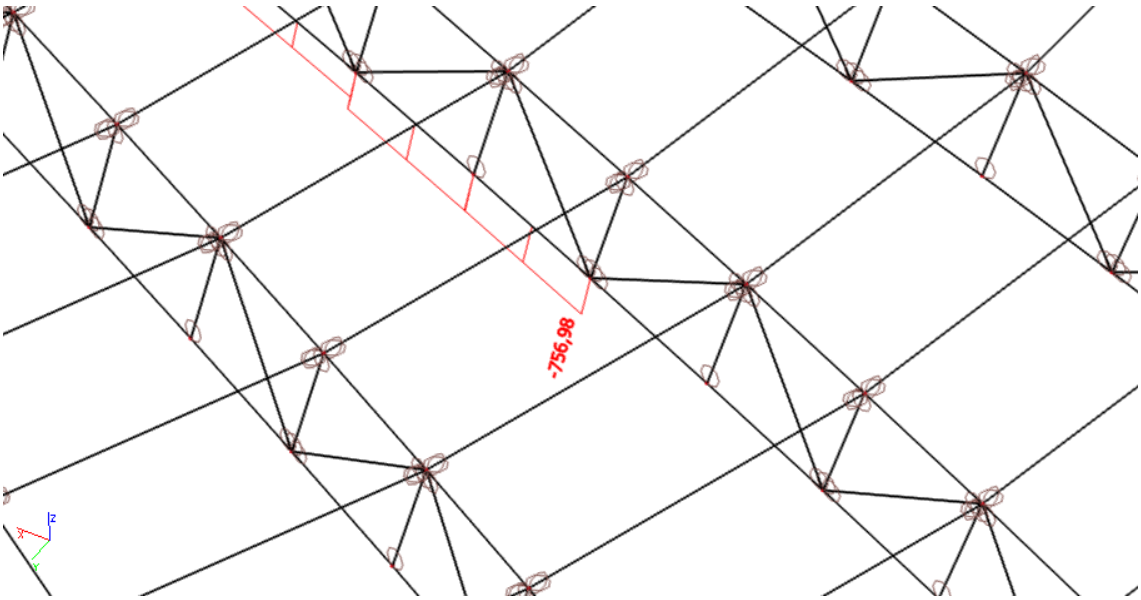
Posudek:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}} = \frac{2084{,}59}{0{,}16 \times 17821} = 0{,}74 < 1{,}0 \;\rightarrow vyhovuje$$

Navrhovaný svařovaný průřez dolního pásu nosníku – část 1 vyhoví.

5.2.3 Dolní pás nosníku – část 2

Pro dolní pás nosníku – část 2 navrhuji obdélníkový válcovaný dutý profil **RHS300/200/16.0.**



Vnitřní síly:

KZ2

N_{Ed} = -756,98 kN

$M_{y,Ed}$ = -10,51 kNm

$M_{z,Ed}$ = 0,00 kNm

Cmy = 0,84

$L_{cr,y}$ = 18514 mm

Průřezové charakteristiky:

Klasifikace průřezu – třída 1

A = 14700 mm^2

N_{Rd} = 5218 kN

I_y = 1739 x10^5 mm^4

i_y = 108,7 mm

$W_{y,pl}$ = 1418000 mm^3

$M_{y,pl,Rd}$ = 503 kNm

Posudek – interakce M+N:

Srovnávací štíhlost:

$$\lambda_1 = 93{,}9\varepsilon = 93{,}9 \times 0{,}81 = 76{,}06$$

Poměrná štíhlost prutu:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y\,\lambda_1} = \frac{18514}{108{,}7 \times 76{,}06} = 2{,}24$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\emptyset_y = 0{,}5\left(1 + \alpha\left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_y^2\right) = 0{,}5(1 + 0{,}21(2{,}24 - 0{,}2) + 2{,}24^2) = 3{,}22$$

$$\chi_y = \frac{1}{\emptyset + \sqrt{\emptyset^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{3{,}32 + \sqrt{3{,}32^2 - 2{,}24^2}} = 0{,}18$$

Součinitel interakce:

$$k_{yy} = C_{my}\left(1 + \left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right)\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}}\right) \leq C_{my}\left(1 + 0{,}8\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}}\right)$$

$$k_{yy} = 0{,}84\left(1 + (2{,}24 - 0{,}2)\frac{756{,}98}{0{,}18 \times 5218}\right) \leq 0{,}84\left(1 + 0{,}8\frac{756{,}98}{0{,}18 \times 5218}\right)$$

$$k_{yy} = 2{,}21 < 1{,}38 \rightarrow k_{yy} = 1{,}38$$

Posudek:

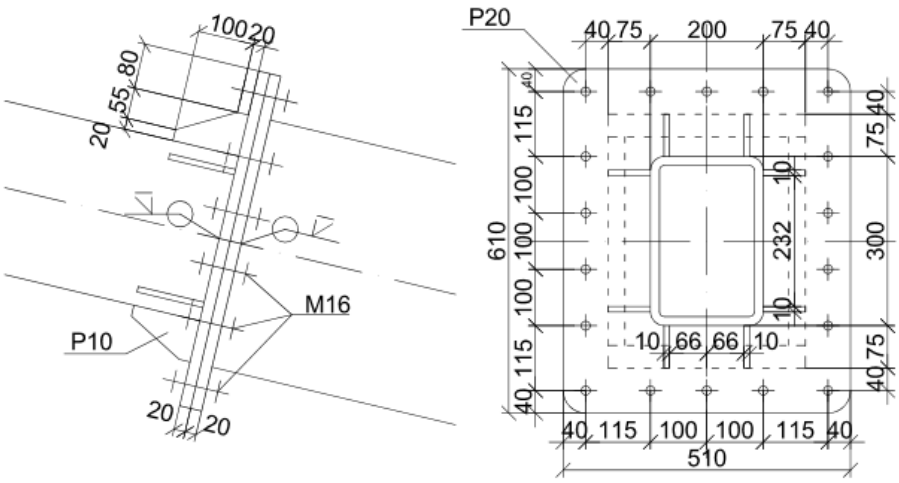
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}} + k_{yy}\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{756{,}98}{0{,}18 \times 5218} + 1{,}38\frac{10{,}51}{503} \leq 1$$

$$0{,}83 < 1 \rightarrow vyhoví$$

Navrhovaný průřez dolního pásu nosníku – část 2 **RHS300/200/16.0** vyhoví.

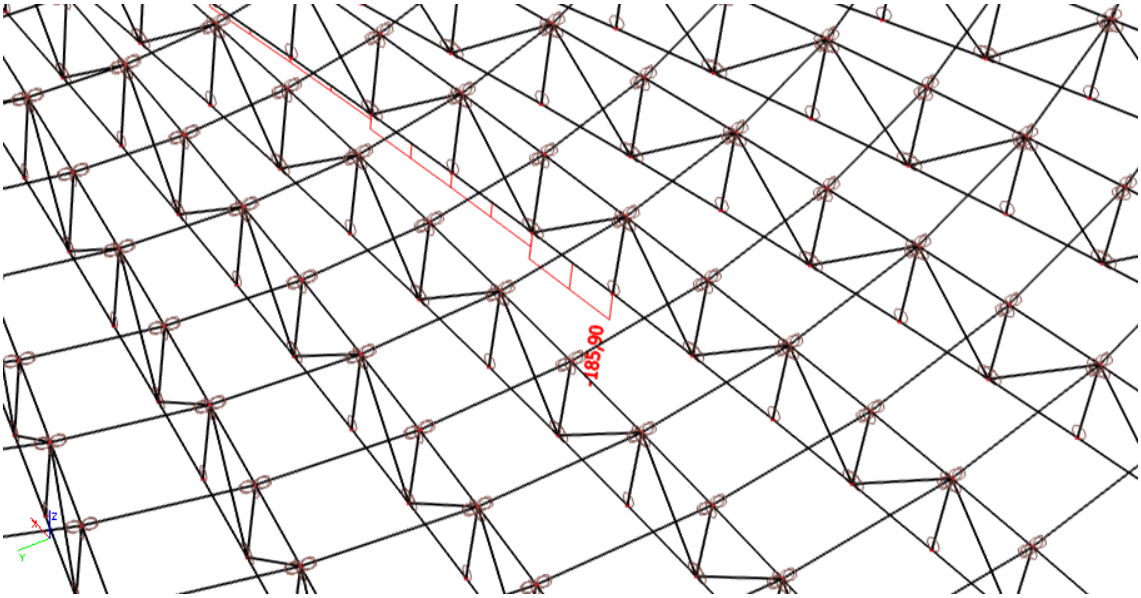
Montážní styk dolního pásu nosníku – část 1 + část 2



PRO PŘÍPOJ JE POUŽITO 18xM16 ŠROUBŮ

5.2.4 Dolní pás nosníku – část 3

Dolní pás nosníku – část 3 je navržena čtvercových válcovaných dutých profilů **SHS180x8.0.**



Vnitřní síly:

KZ5

N_{Ed} = -185,90 kN

$M_{y,Ed}$ = 2,61 kNm

$M_{z,Ed}$ = 0,00 kNm

C_{my} = 0,44

$L_{cr,y}$ = 11538 mm

Průřezové charakteristiky:

Klasifikace průřezu – třída 1

A = 5440 mm^2

N_{Rd} = 1931 kN

i_y = 69,9 mm

$W_{y,pl}$ = 349000 mm^3

$M_{y,pl,Rd}$ = 124 kNm

Posudek – interakce M+N:

Srovnávací štíhlost:

$$\lambda_1 = 93{,}9\varepsilon = 93{,}9 \times 0{,}81 = 76{,}06$$

Poměrná štíhlost prutu:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y\,\lambda_1} = \frac{11538}{69{,}9 \times 76{,}06} = 2{,}17$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\emptyset_y = 0{,}5\left(1 + \alpha\left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_y^2\right) = 0{,}5(1 + 0{,}21(2{,}17 - 0{,}2) + 2{,}17^2) = 3{,}06$$

$$\chi_y = \frac{1}{\emptyset + \sqrt{\emptyset^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{3{,}06 + \sqrt{3{,}06^2 - 2{,}17^2}} = 0{,}19$$

Součinitel interakce:

$$k_{yy} = C_{my}\left(1 + \left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right)\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}}\right) \leq C_{my}\left(1 + 0{,}8\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}}\right)$$

$$k_{yy} = 0{,}44\left(1 + (2{,}17 - 0{,}2)\frac{185{,}90}{0{,}19 \times 1931}\right) \leq 0{,}44\left(1 + 0{,}8\frac{185{,}90}{0{,}19 \times 1931}\right)$$

$$k_{yy} = 0{,}88 < 0{,}62 \rightarrow k_{yy} = 0{,}62$$

Posudek:

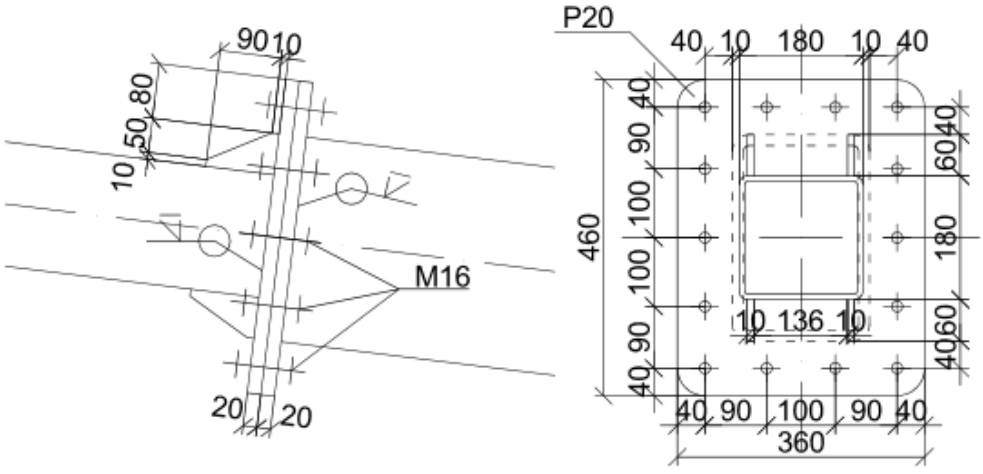
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}} + k_{yy}\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{185{,}90}{0{,}19 \times 1931} + 0{,}62\frac{2{,}61}{124} \leq 1$$

$$0{,}52 < 1 \rightarrow vyhoví$$

Navrhovaný průřez dolního pásu nosníku – část 3 **SHS180x8.0** vyhoví.

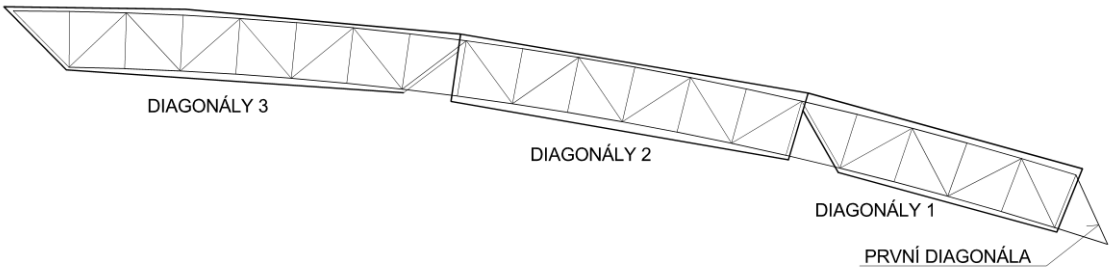
Montážní styk dolního pásu nosníku – část 2 + část 3



PRO PŘÍPOJ JE POUŽITO 14xM16 ŠROUBŮ

5.2.5 Diagonály

Na každém nosníku se nachází čtyři typy diagonál. První diagonála spojuje horní pás nosníku s uložením na konstrukci budovy. První skupina diagonál přísluší první části pásu dolního nosníku. Druhá skupina diagonál přísluší druhé části pásu dolního nosníku. Třetí skupina diagonál přísluší třetí části pásu dolního nosníku.



Posudek diagonál nosníku				
	1. diagonála	Diagonály 1	Diagonály 2	Diagonály 3
	CHS219.1/20	**CHS168.3/12.5**	**CHS168.3/8.0**	**CHS114.3/6.3**
Kritická KZ	KZ5	KZ3	KZ1	KZ2
N_{Ed} [kN]	-808,59	-474,41	-305,19	-60,53
N_{Rd} [kN]	4437	2172	1430	759
L_{cr} [mm]	4107	4116	4144	4261
i [mm]	70,7	55,2	56,73	38,2
$\bar{\lambda}$	0,76	0,98	0,96	1,46
Ø	0,93	1,17	1,15	1,88
χ	0,69	0,55	0,56	0,33
$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}}$	0,27	0,39	0,38	0,24

Použité vzorce:

Poměrná štíhlost prutu:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i\,\lambda_1} \qquad \lambda_1 = 76{,}06$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$Ø = 0{,}5\left(1 + \alpha\left(\bar{\lambda} - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}^2\right)$$

$$\chi = \frac{1}{Ø + \sqrt{Ø^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

Posudek:

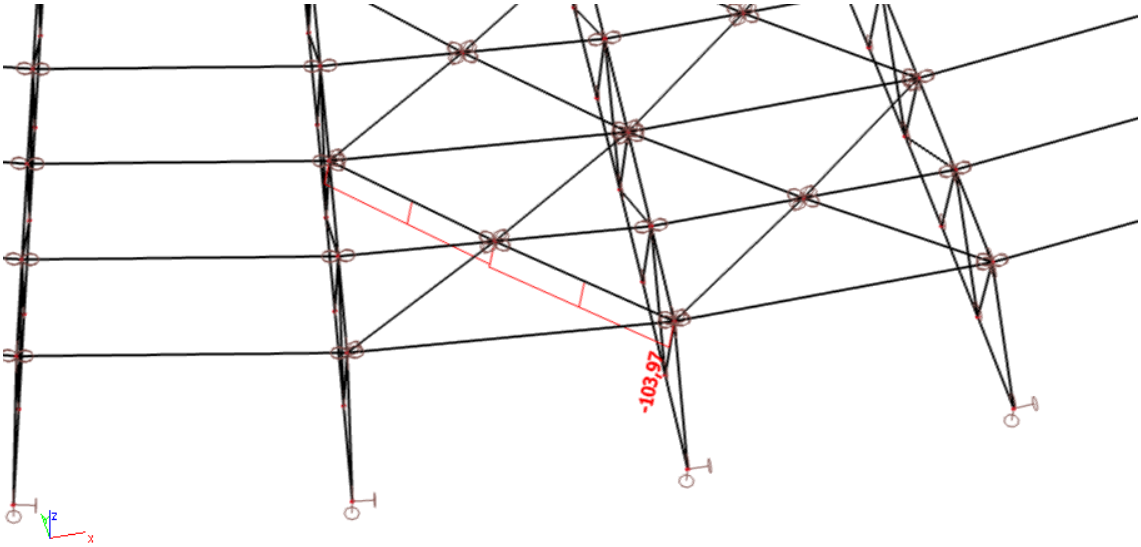
$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} \leq 1{,}0 \;\rightarrow vyhovuje$$

5.3 Ztužující prvky

V této kapitole jsou posouzeny prvky ztužení – ztužení v rovině střešního pláště, propojení dolních pásů nosníku a svislé ztužení.

5.3.1 Ztužení v rovině střešního pláště

Ztužení v rovině střešního pláště zajišťuje stabilitu horního pásu nosníku a tím stabilitu celé konstrukce. Vzhledem k jeho složitosti a různým druhům namáhání je proveden posudek prvku s kritickým poměrem normálové síly ke vzpěrné délce. Toto ztužení je navrženo z kruhových dutých trubek **CHS139.7/8.0.**



Vnitřní síly:

KZ4

N_{Ed} = -103,97 kN

$M_{y,Ed}$ = 0,00 kNm

$M_{z,Ed}$ = 0,00 kNm

L_{cr} = 5367 mm

Průřezové charakteristiky:

Klasifikace průřezu – třída 1

A = 3310 mm^2

N_{Rd} = 1175 kN

i = 46,64 mm

Posudek – vzpěrná únosnost:

Srovnávací štíhlost:

$\lambda_1 = 93{,}9\varepsilon = 93{,}9 \times 0{,}81 = 76{,}06$

Poměrná štíhlost prutu:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i\,\lambda_1} = \frac{5367}{46{,}6 \times 76{,}06} = 1{,}51$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\emptyset = 0{,}5\left(1 + \alpha\left(\bar{\lambda} - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}^2\right) = 0{,}5(1 + 0{,}49(1{,}51 - 0{,}2) + 1{,}51^2) = 1{,}97$$

$$\chi = \frac{1}{\emptyset + \sqrt{\emptyset^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1{,}97 + \sqrt{1{,}97^2 - 1{,}51^2}} = 0{,}31$$

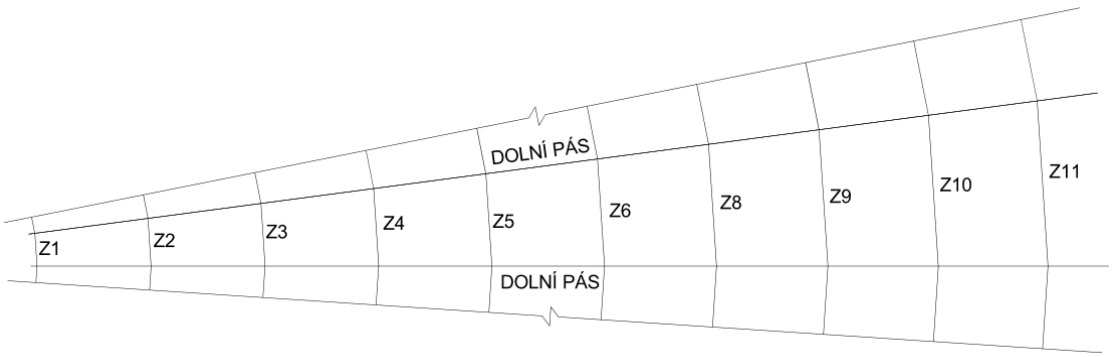
Posudek:

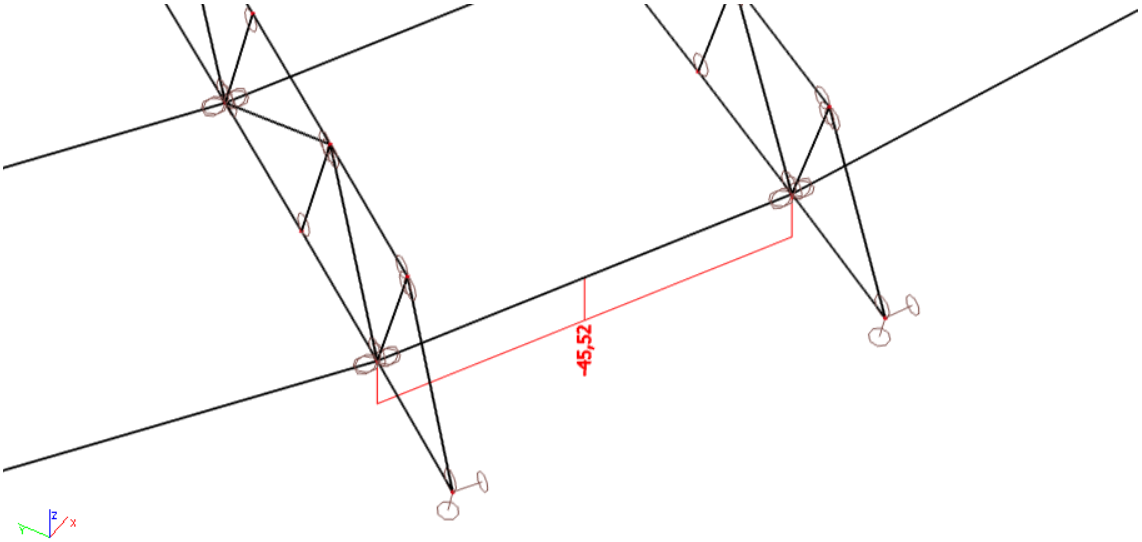
$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} = \frac{103{,}97}{0{,}31 \times 1175} = 0{,}29 < 1{,}0 \;\rightarrow vyhovuje$$

Navrhovaný průřez ztužení horního pásu nosníku **CHS139.7/8.0** vyhovuje.

5.3.2 Propojení dolních pásů nosníků

Propojení dolních pásů nosníku je důležité z hlediska zajištění polohy dolních pásů nosníku při namáhání. Tím je dosaženo stability celé konstrukce. Prvky jsou navrženy z kruhových dutých profilů **CHS 193.7/8.0.**





Vnitřní síly:

KZ5

N_{Ed} = -45,52 kN

$M_{y,Ed}$ = 0,00 kNm

$M_{z,Ed}$ = 0,00 kNm

L_{cr} = 8676 mm

Průřezové charakteristiky:

Klasifikace průřezu - třída 1

A = 3310 mm^2

N_{Rd} = 1175 kN

i = 46,6 mm

Posudek – vzpěrná únosnost:

Srovnávací štíhlost:

$$\lambda_1 = 93{,}9\varepsilon = 93{,}9 \times 0{,}81 = 76{,}06$$

Poměrná štíhlost prutu:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i\,\lambda_1} = \frac{8676}{46{,}6 \times 76{,}06} = 2{,}45$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\emptyset = 0{,}5\left(1 + \alpha\left(\bar{\lambda} - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}^2\right) = 0{,}5(1 + 0{,}49(2{,}45 - 0{,}2) + 2{,}45^2) = 4{,}04$$

$$\chi = \frac{1}{\emptyset + \sqrt{\emptyset^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{4{,}04 + \sqrt{4{,}04^2 - 2{,}45^2}} = 0{,}14$$

Posudek:

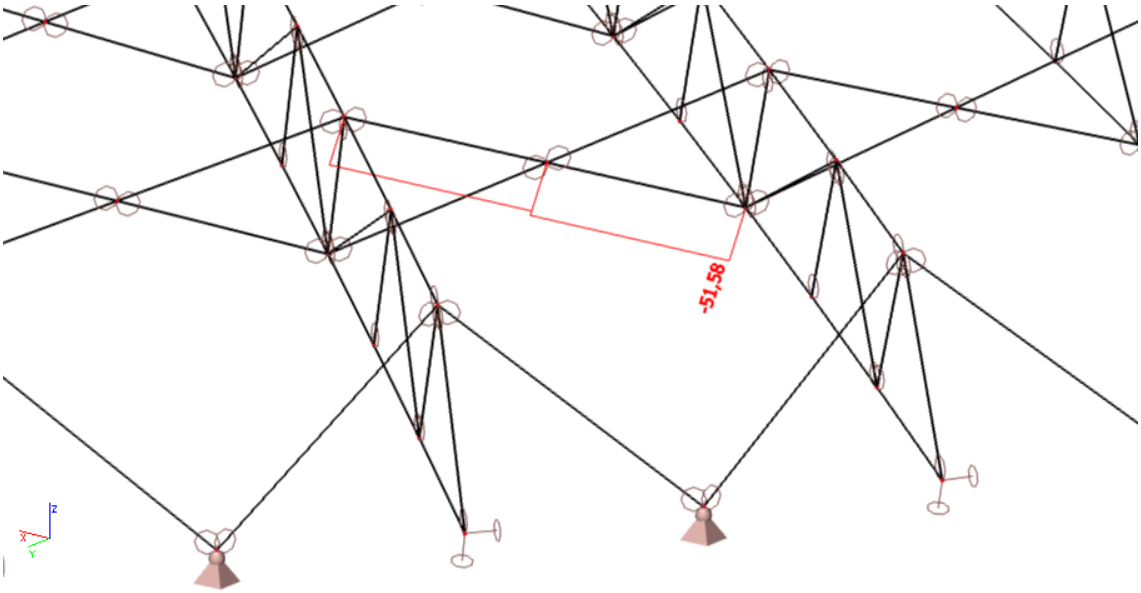
$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} = \frac{45{,}52}{0{,}14 \times 1175} = 0{,}28 < 1{,}0 \ \rightarrow vyhovuje$$

Navrhovaný průřez propojení dolního pásu nosníku **CHS139.7/8.0** vyhovuje.

5.3.3 Svislé ztužení

Svislé ztužení je na konstrukci dvojího typu. První typ zajišťuje stabilitu příhradových nosníků tím, že propojuje horní a dolní pás dvou sousedních nosníků. Druhý typ ztužení stabilizuje horní pás nosníku v místě uložení konstrukce na budovu a tím zvyšuje stabilitu celé konstrukce.

Svislé ztužení horního a dolního pásu je navrženo z kruhových dutých profilů **CHS139.7/8.0.**



Vnitřní síly:

KZ4

N_{Ed} = -51,58 kN

$M_{y,Ed}$ = 0,00 kNm

$M_{z,Ed}$ = 0,00 kNm

L_{cr} = 8551 mm

Průřezové charakteristiky:

Klasifikace průřezu – třída 1

A = 3310 mm^2

N_{Rd} = 1175 kN

i = 51,58 mm

Posudek – vzpěrná únosnost:

Srovnávací štíhlost:

$$\lambda_1 = 93{,}9\varepsilon = 93{,}9 \times 0{,}81 = 76{,}06$$

Poměrná štíhlost prutu:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i\,\lambda_1} = \frac{8551}{51{,}58 \times 76{,}06} = 2{,}41$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\emptyset = 0{,}5\left(1 + \alpha\left(\bar{\lambda} - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}^2\right) = 0{,}5(1 + 0{,}49(2{,}41 - 0{,}2) + 2{,}41^2) = 3{,}95$$

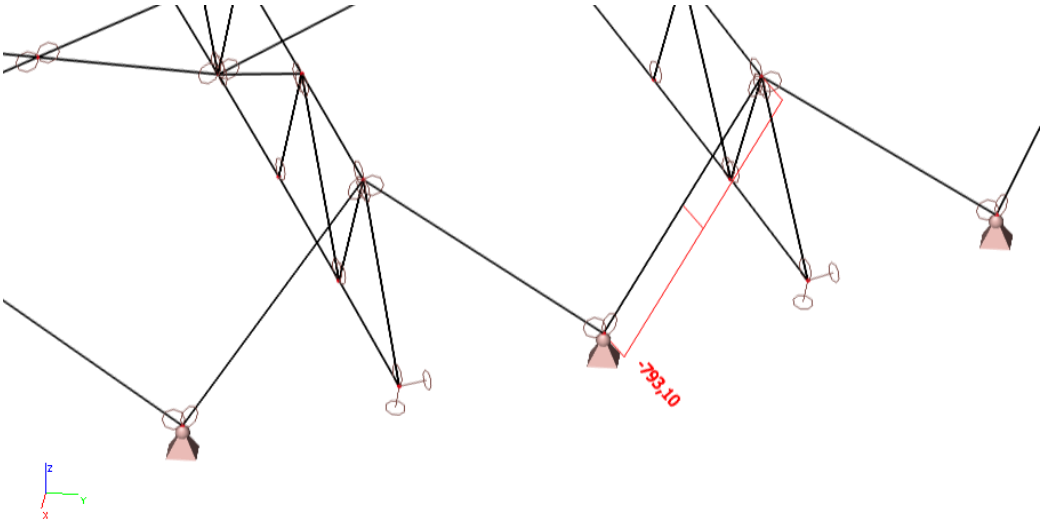
$$\chi = \frac{1}{\emptyset + \sqrt{\emptyset^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{3{,}95 + \sqrt{3{,}95^2 - 2{,}41^2}} = 0{,}14$$

Posudek:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} = \frac{51{,}58}{0{,}14 \times 1175} = 0{,}31 < 1{,}0 \;\rightarrow vyhovuje$$

Navrhovaný průřez svislého ztužení horního a dolního pásu nosníku **CHS139.7/8.0** vyhovuje.

Svislé ztužení horního pásu nosníku je navrženo z kruhových dutých profilů **CHS219.1/20.0.**



Vnitřní síly:

KZ1

N_{Ed} = -793,10 kN

$M_{y,Ed}$ = 0,00 kNm

$M_{z,Ed}$ = 0,00 kNm

L_{cr} = 6028 mm

Průřezové charakteristiky:

Klasifikace průřezu – třída 1

A = 12500 mm^2

N_{Rd} = 4437 kN

i = 70,7 mm

Posudek – vzpěrná únosnost:

Srovnávací štíhlost:

$$\lambda_1 = 93{,}9\varepsilon = 93{,}9 \times 0{,}81 = 76{,}06$$

Poměrná štíhlost prutu:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i\,\lambda_1} = \frac{6028}{70{,}7 \times 76{,}06} = 1{,}12$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\emptyset = 0{,}5\left(1 + \alpha\left(\bar{\lambda} - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}^2\right) = 0{,}5(1 + 0{,}49(1{,}12 - 0{,}2) + 1{,}12^2) = 1{,}35$$

$$\chi = \frac{1}{\emptyset + \sqrt{\emptyset^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1{,}35 + \sqrt{1{,}35^2 - 1{,}12^2}} = 0{,}47$$

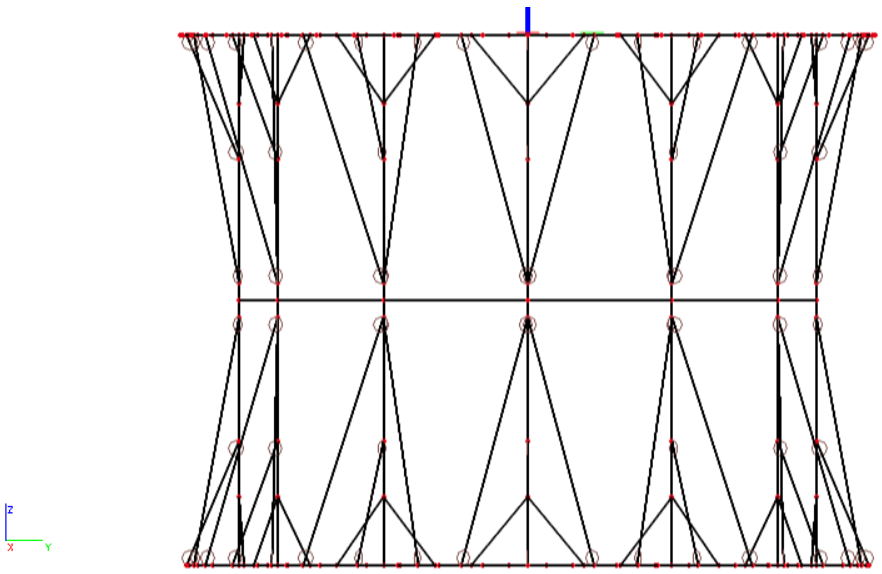
Posudek:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} = \frac{793{,}10}{0{,}47 \times 4437} = 0{,}38 < 1{,}0 \;\rightarrow vyhovuje$$

Navrhovaný průřez svislého ztužení horního pásu nosníku **CHS219.1/20.0** vyhovuje.

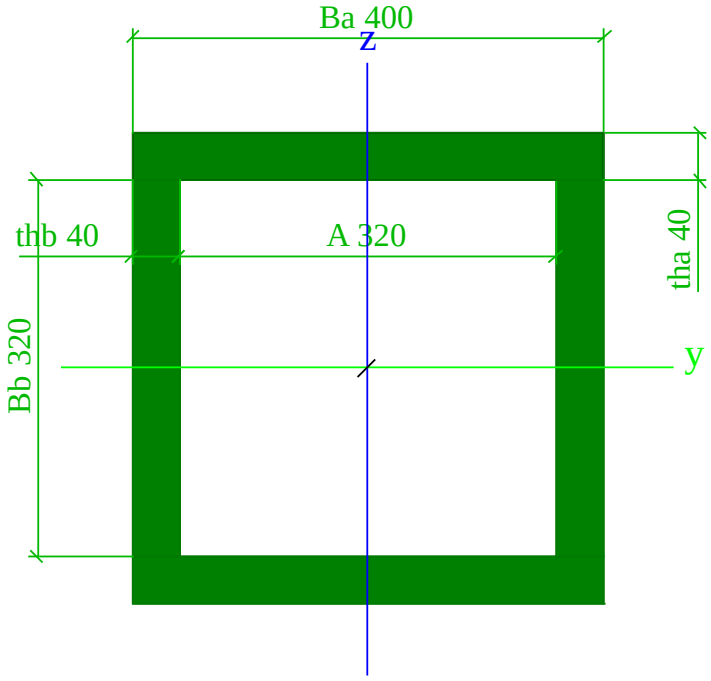
5.4 Prstencová vzpěra

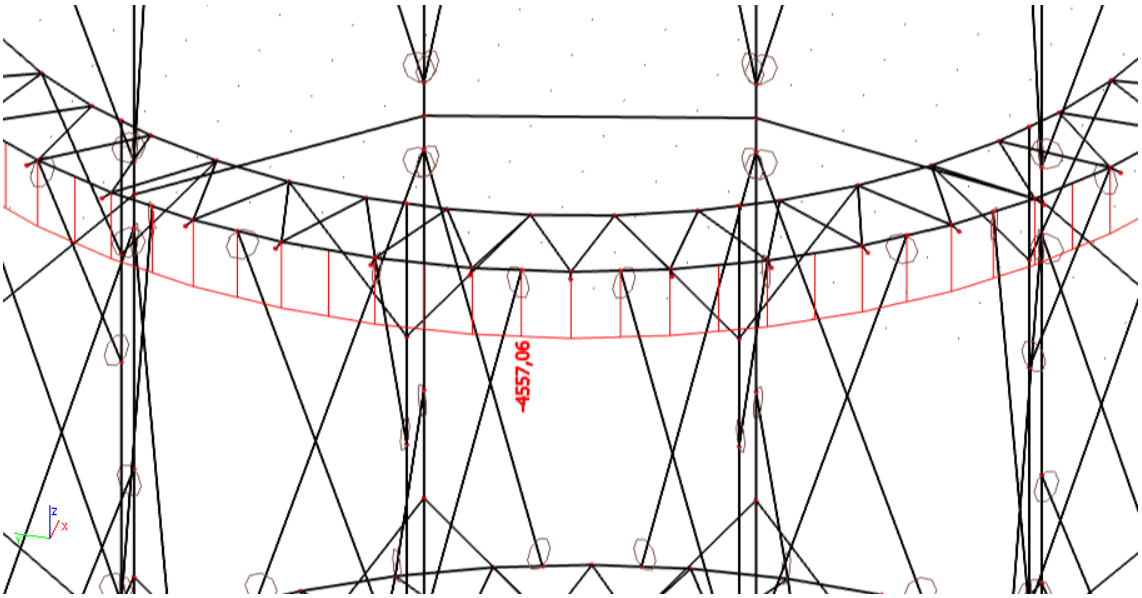
Posudek prstencové vzpěry proběhne ve třech fázích – horní prstence, dolní prstence a stojky prstencové vzpěry. Horní a dolní prstence se skládají ze soustředných prstenců spojených diagonálami. Horní prstence jsou namáhány extrémním tlakem. Pro prstence jsou zvoleny svařené hranaté duté profily a pro diagonály jsou použity profily **CHS219.1/8.0.** Oproti tomu dolní prstence odolávají extrémnímu tahu, a proto jsou zde využity profily **CHS355.6/25.0** a na diagonály **CHS219.1/8.0.** Stojka prstencové vzpěry je tvořena několika pruty – hlavní svislice, vzpěry hlavní svislice a středový prstenec. Hlavní svislice je navrhnuta z profilu **CHS273.0/12.5,** vzpěry a středový prstenec z profilů **CHS168.3/10.0.**



5.4.1 Horní prstence

Oba pásy prstenců jsou navrhnuty ze stejných svařovaných hranatých trubek. Pásnice jsou z plechů 400x40 a stojiny jsou plechů 320x40. Na vnější prstenec jsou připojeny přes styčníkové plechy horní pásy příhradového nosníků. Vzhledem ke vzpěrným délkám bude posouzen vnější pás.





Vnitřní síly:

KZ1

N_{Ed} = -4557,06 kN

My,Ed = 38,91 kNm

Mz,Ed = 11,19 kNm

C_{my} = 0,62

C_{mz} = 0,40

$L_{cr,y}$ = 13081 mm

$L_{cr,z}$ = 838 mm

Průřezové charakteristiky:

Klasifikace průřezu – třída 1

A = 57600 mm^2

N_{Rd} = 20448 kN

i_y = 147,8 mm

i_z = 147,8 mm

$W_{y,pl}$ = 7808 x10^3 mm^3

$M_{y,pl,Rd}$ = 2772 kNm

$W_{z,pl}$ = 7808 x10^3 mm^3

$M_{z,pl,Rd}$ = 2772 kNm

Posudek – interakce M+N:

Srovnávací štíhlost:

$$\lambda_1 = 93{,}9\varepsilon = 93{,}9 \times 0{,}81 = 76{,}06$$

Poměrná štíhlost prutu:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y\,\lambda_1} = \frac{13081}{147{,}8 \times 76{,}06} = 1{,}16$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z\,\lambda_1} = \frac{838}{147{,}8 \times 76{,}06} = 0{,}07$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\emptyset_y = 0{,}5\left(1 + \alpha\left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_y^2\right) = 0{,}5(1 + 0{,}34(1{,}16 - 0{,}2) + 1{,}16^2) = 1{,}34$$

$$\chi_y = \frac{1}{\emptyset + \sqrt{\emptyset^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1{,}34 + \sqrt{1{,}34^2 - 1{,}16^2}} = 0{,}50$$

$$\emptyset_z = 0{,}5\left(1 + \alpha\left(\bar{\lambda}_z - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_z^2\right) = 0{,}5(1 + 0{,}34(0{,}07 - 0{,}2) + 0{,}07^2) = 0{,}48$$

$$\chi_z = \frac{1}{\emptyset + \sqrt{\emptyset^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0{,}48 + \sqrt{0{,}48^2 - 0{,}07^2}} = 1{,}04 \rightarrow 1{,}00$$

Součinitel interakce:

$$k_{yy} = C_{my}\left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0{,}2)\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}}\right) \leq C_{my}\left(1 + 0{,}8\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}}\right)$$

$$k_{yy} = 0{,}62\left(1 + (1{,}16 - 0{,}2)\frac{4557{,}67}{0{,}50 \times 20448}\right) \leq 0{,}62\left(1 + 0{,}8\frac{4557{,}67}{0{,}50 \times 20448}\right)$$

$$k_{yy} = 0{,}89 < 0{,}84 \rightarrow k_{yy} = 0{,}84$$

$$k_{zz} = C_{mz}\left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0{,}2)\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rd}}\right) \leq C_{mz}\left(1 + 0{,}8\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rd}}\right)$$

$$k_{zz} = 0{,}4\left(1 + (0{,}07 - 0{,}2)\frac{4557{,}67}{1{,}00 \times 20448}\right) \leq 0{,}4\left(1 + 0{,}8\frac{4557{,}67}{1{,}00 \times 20448}\right)$$

$$k_{zz} = 0{,}39 < 0{,}47 \rightarrow k_{zz} = 0{,}39$$

$$k_{zy} = 0{,}6k_{yy} = 0{,}6 \times 0{,}84 = 0{,}51$$

$$k_{yz} = 0{,}6k_{zz} = 0{,}6 \times 0{,}39 = 0{,}23$$

Posudek 1:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}} + k_{yy}\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} + k_{yz}\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{4557{,}67}{0{,}50 \times 20448} + 0{,}84\frac{38{,}91}{2772} + 0{,}23\frac{11{,}19}{2772} \leq 1$$

$$0{,}46 < 1 \rightarrow vyhoví$$

Posudek 2:

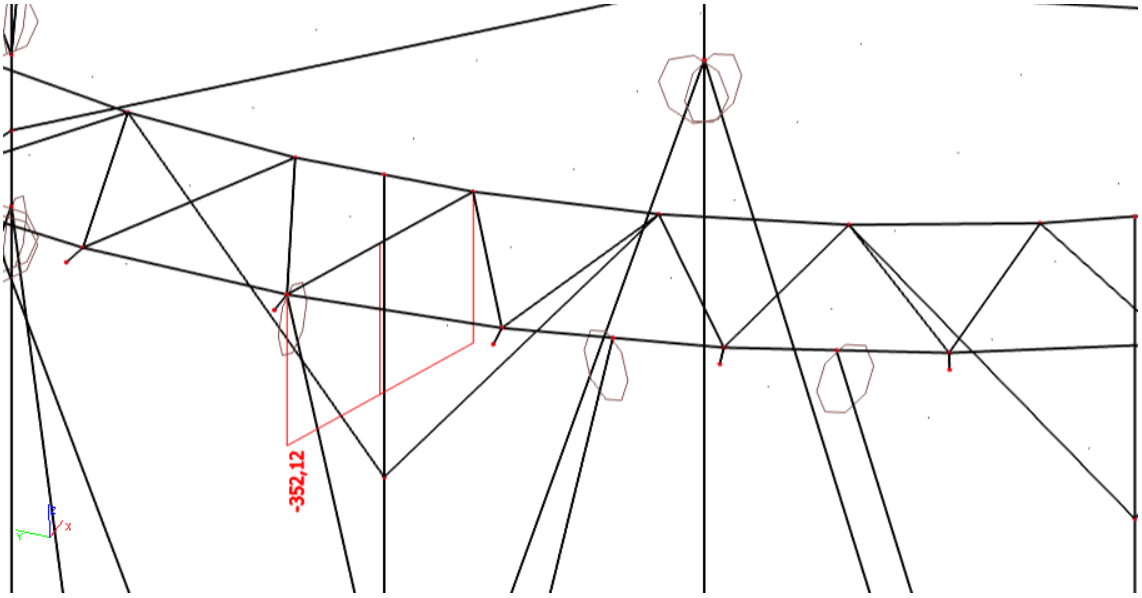
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rd}} + k_{zy}\frac{M_{y,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} + k_{zz}\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{4557{,}67}{1{,}0 \times 20448} + 0{,}51\frac{38{,}91}{2772} + 0{,}39\frac{11{,}19}{2772} \leq 1$$

$$0{,}22 < 1 \rightarrow vyhoví$$

Navrhovaný svařovaný průřez horního prstence vyhoví.

Diagonály, které propojují oba prstence, jsou navrženy z kruhových dutých profilů **CHS219.1/8.0.**



Vnitřní síly:

KZ1

N_{Ed} = -352,12 kN

$M_{y,Ed}$ = 0,00 kNm

$M_{z,Ed}$ = 0,00 kNm

L_{cr} = 10592 mm

Průřezové charakteristiky:

Klasifikace průřezu – třída 1

A = 5310 mm^2

N_{Rd} = 1885 kN

i = 74,66 mm

Posudek – vzpěrná únosnost:

Srovnávací štíhlost:

$$\lambda_1 = 93{,}9\varepsilon = 93{,}9 \times 0{,}81 = 76{,}06$$

Poměrná štíhlost prutu:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i\,\lambda_1} = \frac{10592}{74{,}6 \times 76{,}06} = 1{,}87$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\emptyset = 0{,}5\left(1 + \alpha\left(\bar{\lambda} - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}^2\right) = 0{,}5(1 + 0{,}21(1{,}87 - 0{,}2) + 1{,}87^2) = 2{,}41$$

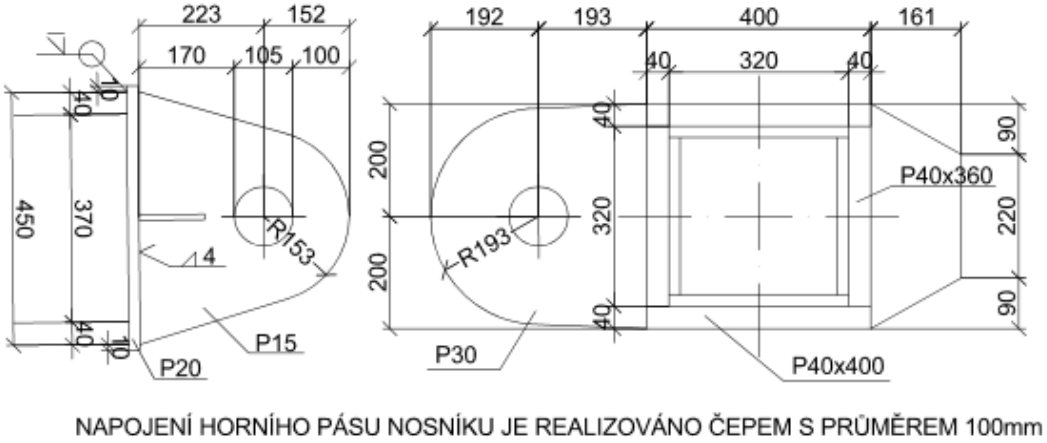
$$\chi = \frac{1}{\emptyset + \sqrt{\emptyset^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2{,}41 + \sqrt{2{,}41^2 - 1{,}87^2}} = 0{,}25$$

Posudek:

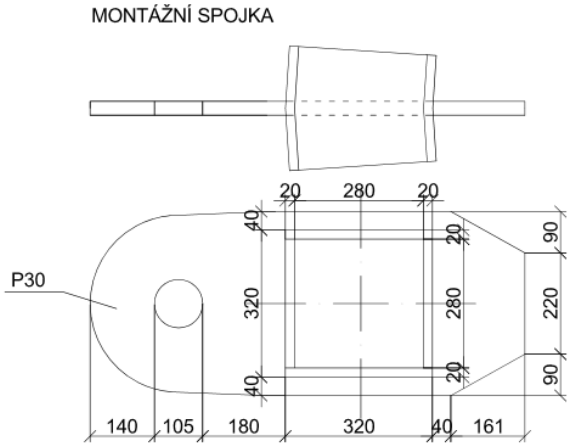
$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} = \frac{325{,}12}{0{,}25 \times 1885} = 0{,}74 < 1{,}0 \ \rightarrow vyhovuje$$

Navrhovaný průřez diagonál horního prstence **CHS219.1/8.0** vyhoví.

Přípoj horního pásu nosníku k hornímu prstenci



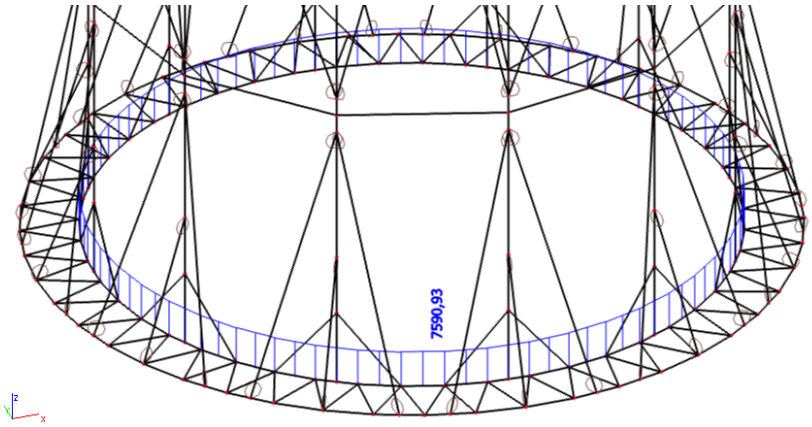
Montážní spoj horního prstence



Montážní spoj je realizován pomocí montážní spojky, která se zasune do obou stykovaných profilů pásu a svaří se dohromady.

5.4.2 Dolní prstence

Pro oba pásy prstence jsou použity profily **CHS355.6/25.0.** Na vnější prstenec jsou připojeny přes styčníkové plechy tyčové táhla.



Vnitřní síly:

KZ1

N_{Ed} = 7590,93 kN

$M_{y,Ed}$ = 16,65 kNm

$M_{z,Ed}$ = 0,00 kNm

Průřezové charakteristiky:

Klasifikace průřezu – třída 1

A = 26000 mm^2

$$N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}\ ;\ N_{u,Rd})$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{26000 \times 355}{1{,}0} = 9230\ kN$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}9Af_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 \times 26000 \times 490}{1{,}25} = 9172\ kN$$

$$N_{t,Rd} = 9172\ kN$$

$W_{y,pl}$ = 2694,5 x10^3 mm^3

$M_{y,pl,Rd}$ = 957 kNm

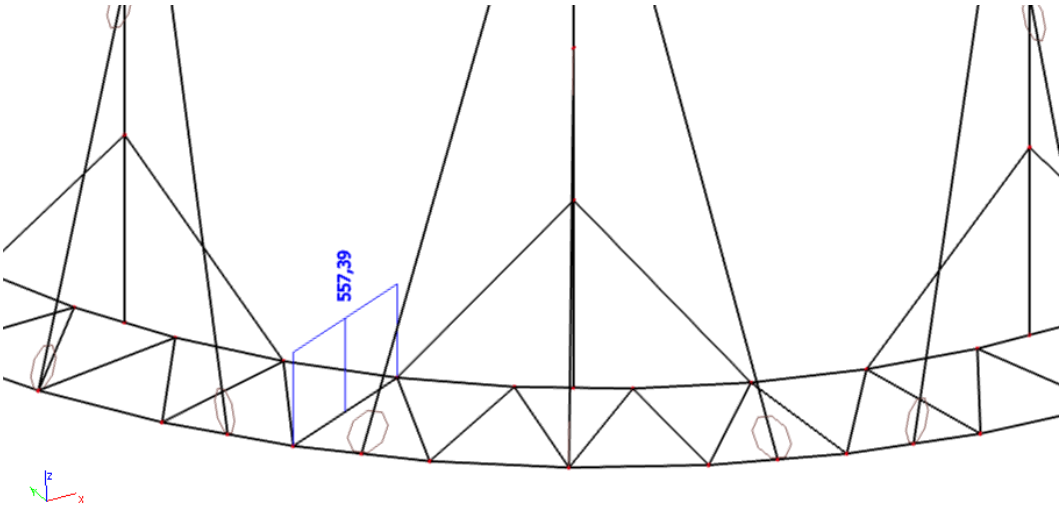
Posudek:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{7590{,}93}{9172} + \frac{16{,}65}{957} = 0{,}84 < 1{,}0\ \rightarrow vyhovuje$$

Navrhovaný průřez dolního prstence **CHS355.6/25.0** vyhoví.

Diagonály, které propojují oba prstence, jsou navrženy z profilů **CHS 219.1/8.0.**



Vnitřní síly:

KZ1

N_{Ed} = 557,39 kN

$M_{y,Ed}$ = 0,00 kNm

$M_{z,Ed}$ = 0,00 kNm

Průřezové charakteristiky:

Klasifikace průřezu – třída 1

A = 5310 mm^2

$$N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}\ ;\ N_{u,Rd})$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5310 \times 355}{1{,}0} = 1885\ kN$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}9Af_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 \times 5310 \times 490}{1{,}25} = 1873\ kN$$

$$N_{t,Rd} = 1873\ kN$$

Posudek:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1{,}0$$

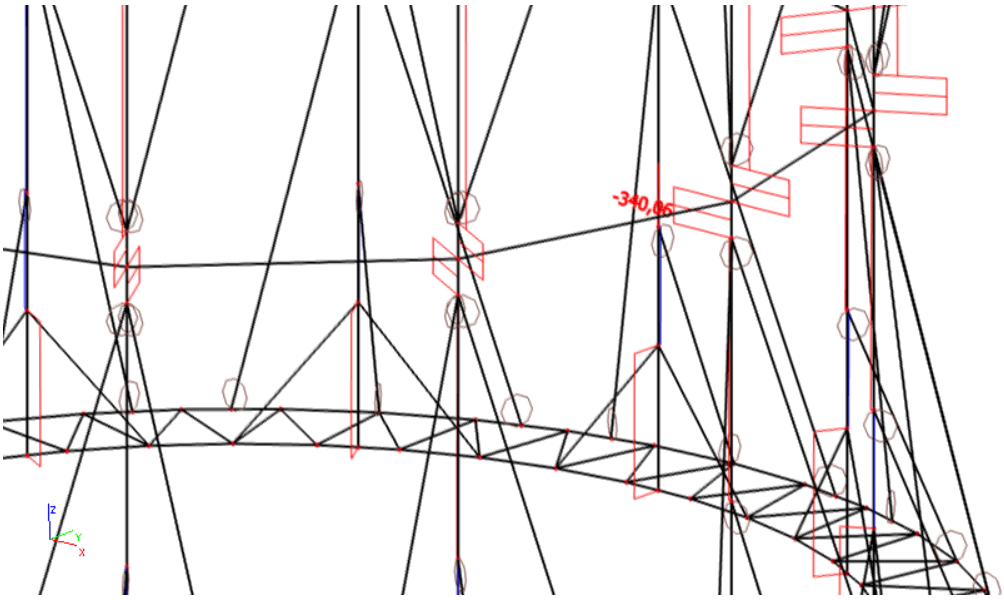
$$\frac{557{,}39}{1873} = 0{,}30 < 1{,}0\ \rightarrow vyhovuje$$

Navrhovaný průřez diagonál dolního prstence **CHS219.1/8.0** vyhoví.

5.4.3 Stojka prstencové vzpěry

Stojka prstencové vzpěry je tvořena několika pruty – hlavní svislice, vzpěry hlavní svislice a středový prstenec. Hlavní svislice je navrhnuta z profilu **CHS273.0/12.5**, vzpěry a středový prstenec z profilů **CHS168.3/10.0.**

Hlavní svislice CHS273.0/12.5



Vnitřní síly:

KZ2

N_{Ed} = -340,06 kN

$M_{y,Ed}$ = 22,96 kNm

$M_{z,Ed}$ = 18,16 kNm

C_{my} = 0,70

C_{mz} = 0,95

$L_{cr,y}$ = 15140 mm

$L_{cr,z}$ = 5078 mm

Průřezové charakteristiky:

Klasifikace průřezu – třída 1

A = 10200 mm^2

N_{Rd} = 3621 kN

i_y = 92,34 mm

i_z = 92,34 mm

$W_{y,pl}$ = 835,52 x10^3 mm^3

$M_{y,pl,Rd}$ = 297 kNm

$W_{z,pl}$ = 835,52 x10^3 mm^3

$M_{z,pl,Rd}$ = 297 kNm

Posudek – interakce M+N:

Srovnávací štíhlost:

$\lambda_1 = 93{,}9\varepsilon = 93{,}9 \times 0{,}81 = 76{,}06$

Poměrná štíhlost prutu:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y\,\lambda_1} = \frac{15140}{92{,}3 \times 76{,}06} = 2{,}16$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z\,\lambda_1} = \frac{5078}{92{,}3 \times 76{,}06} = 0{,}72$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\emptyset_y = 0{,}5\left(1 + \alpha\left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_y^2\right) = 0{,}5(1 + 0{,}21(2{,}16 - 0{,}2) + 2{,}16^2) = 3{,}03$$

$$\chi_y = \frac{1}{\emptyset + \sqrt{\emptyset^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{3{,}03 + \sqrt{3{,}03^2 - 2{,}16^2}} = 0{,}19$$

$$\emptyset_z = 0{,}5\left(1 + \alpha\left(\bar{\lambda}_z - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_z^2\right) = 0{,}5(1 + 0{,}21(0{,}72 - 0{,}2) + 0{,}72^2) = 0{,}82$$

$$\chi_z = \frac{1}{\emptyset + \sqrt{\emptyset^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0{,}82 + \sqrt{0{,}82^2 - 0{,}72^2}} = 0{,}84$$

Součinitel interakce:

$$k_{yy} = C_{my}\left(1 + \left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right)\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}}\right) \leq C_{my}\left(1 + 0{,}8\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}}\right)$$

$$k_{yy} = 0{,}7\left(1 + (2{,}16 - 0{,}2)\frac{340{,}06}{0{,}19 \times 3621}\right) \leq 0{,}7\left(1 + 0{,}8\frac{340{,}06}{0{,}19 \times 3621}\right)$$

$$k_{yy} = 1{,}36 < 0{,}97 \rightarrow k_{yy} = 0{,}97$$

$$k_{zz} = C_{mz}\left(1 + \left(\bar{\lambda}_z - 0{,}2\right)\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rd}}\right) \leq C_{mz}\left(1 + 0{,}8\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rd}}\right)$$

$$k_{zz} = 0{,}95\left(1 + (0{,}72 - 0{,}2)\frac{340{,}06}{0{,}84 \times 3621}\right) \leq 0{,}95\left(1 + 0{,}8\frac{340{,}06}{0{,}84 \times 3621}\right)$$

$$k_{zz} = 1{,}01 < 1{,}04 \rightarrow k_{zz} = 1{,}01$$

$$k_{zy} = 0{,}6k_{yy} = 0{,}6 \times 0{,}97 = 0{,}58$$

$$k_{yz} = 0{,}6k_{zz} = 0{,}6 \times 1{,}01 = 0{,}60$$

Posudek 1:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}} + k_{yy}\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} + k_{yz}\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{340{,}06}{0{,}19 \times 3621} + 0{,}97\frac{22{,}96}{297} + 0{,}60\frac{18{,}16}{297} \leq 1$$

$$0{,}60 < 1 \rightarrow vyhoví$$

Posudek 2:

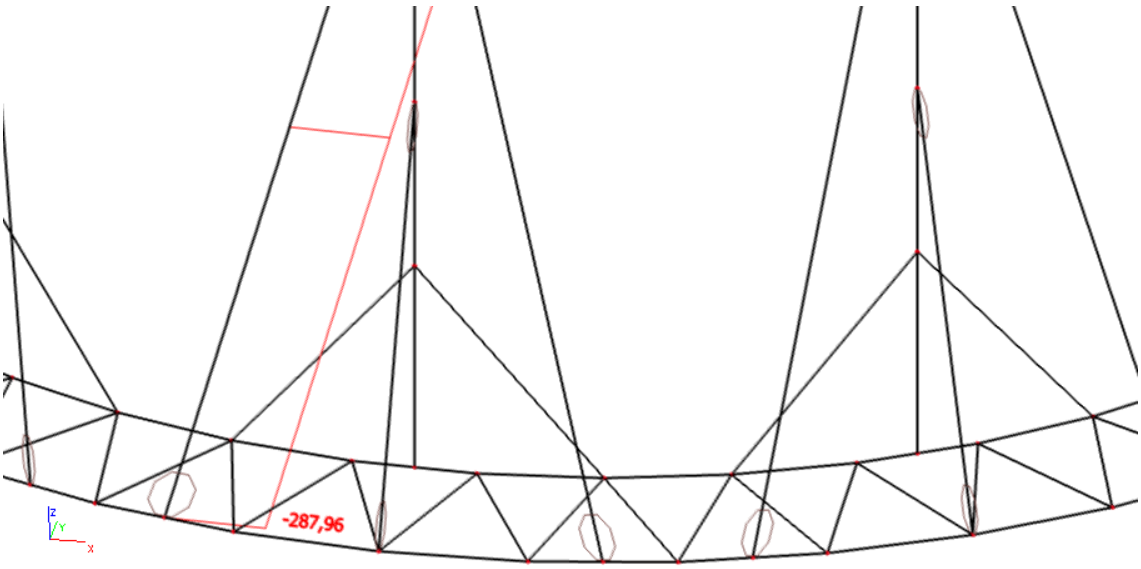
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rd}} + k_{zy}\frac{M_{y,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} + k_{zz}\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{340{,}06}{0{,}84 \times 3621} + 0{,}58\frac{22{,}96}{297} + 1{,}01\frac{18{,}16}{297} \leq 1$$

$$0{,}22 < 1 \rightarrow vyhoví$$

Navrhovaný průřez hlavní svislice stojky prstence **CHS273.0/12.5** vyhoví.

Vzpěra hlavní svislice CHS168.3/10.0



Vnitřní síly:

KZ2

N_{Ed} = -287,96 kN

$M_{y,Ed}$ = 0,00 kNm

$M_{z,Ed}$ = 0,00 kNm

L_{cr} = 7623 mm

Průřezové charakteristiky:

Klasifikace průřezu – třída 1

A = 4970 mm^2

N_{Rd} = 1764 kN

i = 56,1 mm

Posudek – vzpěrná únosnost:

Srovnávací štíhlost:

$$\lambda_1 = 93{,}9\varepsilon = 93{,}9 \times 0{,}81 = 76{,}06$$

Poměrná štíhlost prutu:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i\,\lambda_1} = \frac{7623}{56{,}1 \times 76{,}06} = 1{,}79$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\emptyset = 0{,}5\left(1 + \alpha\left(\bar{\lambda} - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}^2\right) = 0{,}5(1 + 0{,}49(1{,}79 - 0{,}2) + 1{,}79^2) = 2{,}48$$

$$\chi = \frac{1}{\emptyset + \sqrt{\emptyset^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2{,}48 + \sqrt{2{,}48^2 - 1{,}79^2}} = 0{,}24$$

Posudek:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} = \frac{287{,}96}{0{,}24 \times 1764} = 0{,}69 < 1{,}0 \;\rightarrow vyhovuje$$

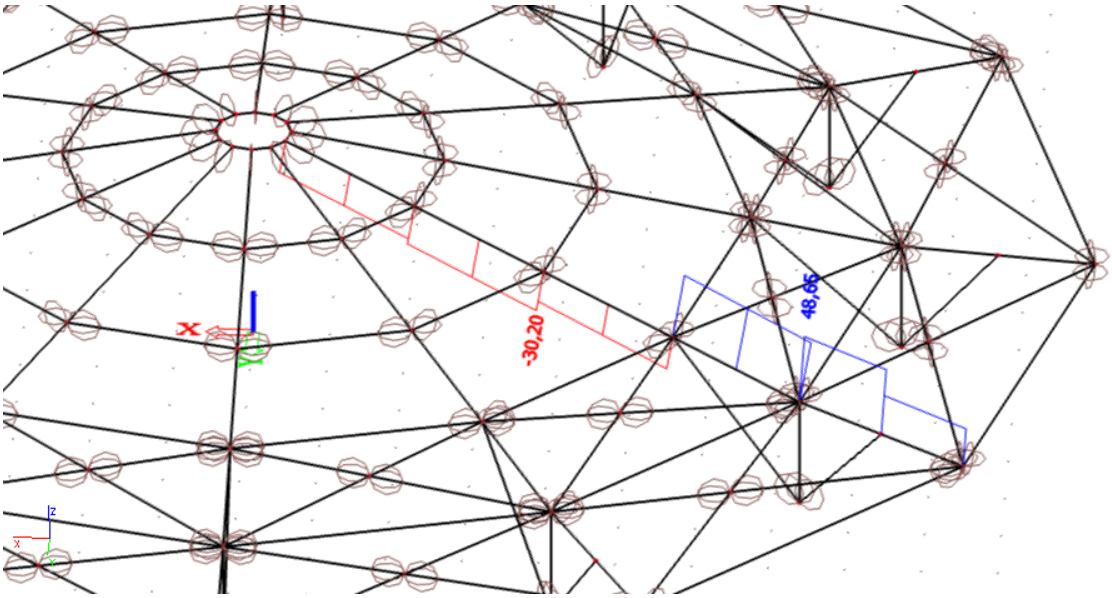
Navrhovaný průřez hlavní svislice stojky prstence **CHS168.3/10.0** vyhoví.

5.5 Stříška vrchlíku

V této kapitole jsou posouzeny hlavní prvky stříšky vrchlíku – vaznice a stojky.

5.5.1 Vaznice stříšky

Vaznice stříšky je navrhnuta z profilů **HEB200.**



Vnitřní síly:

KZ1

N_{Ed} = -30,20 kN

$M_{y,Ed}$ = 0,00 kNm

$M_{z,Ed}$ = 0,00 kNm

L_{cr} = 32318 mm

Průřezové charakteristiky:

Klasifikace průřezu – třída 1

A = 7808 mm^2

N_{Rd} = 2772 kN

i = 85,41 mm

Posudek – vzpěrná únosnost:

Srovnávací štíhlost:

$$\lambda_1 = 93{,}9\varepsilon = 93{,}9 \times 0{,}81 = 76{,}06$$

Poměrná štíhlost prutu:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i\,\lambda_1} = \frac{32318}{85{,}4 \times 76{,}06} = 4{,}97$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\emptyset = 0{,}5\left(1 + \alpha\left(\bar{\lambda} - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}^2\right) = 0{,}5(1 + 0{,}34(4{,}97 - 0{,}2) + 4{,}97^2) = 13{,}69$$

$$\chi = \frac{1}{\emptyset + \sqrt{\emptyset^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{13{,}69 + \sqrt{13{,}69^2 - 4{,}97^2}} = 0{,}04$$

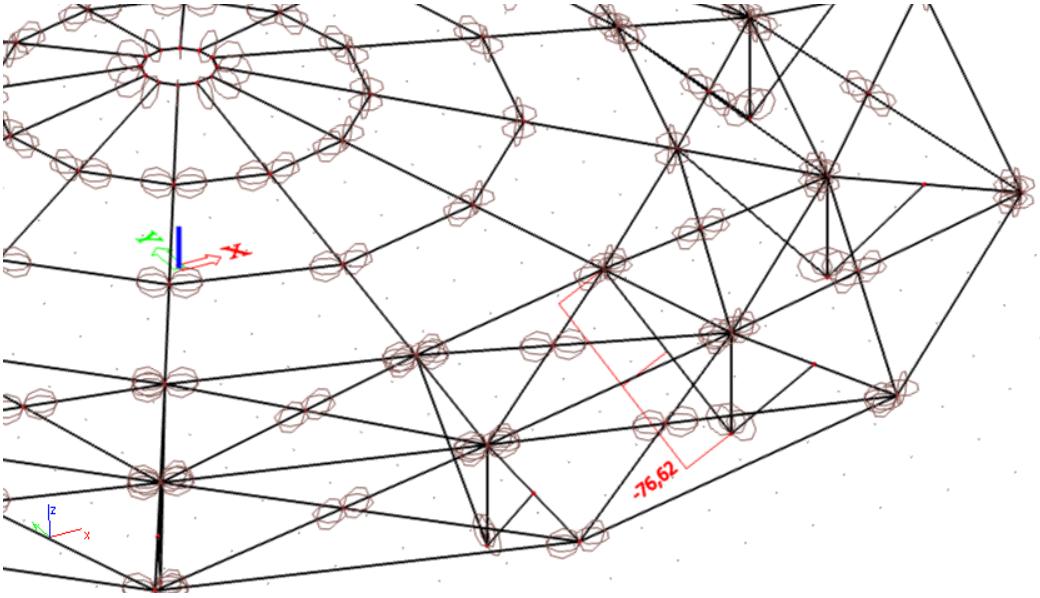
Posudek:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} = \frac{30{,}20}{0{,}04 \times 2772} = 0{,}29 < 1{,}0 \ \rightarrow vyhovuje$$

Navrhovaný průřez vaznice stříšky vrchlíku **HEB200** vyhoví.

5.5.2 Stojky stříšky

Stojka vaznice je navrhnuta z profilů **SHS180/10.0.**



Vnitřní síly:

KZ1

N_{Ed} = -76,62 kN

$M_{y,Ed}$ = 0,00 kNm

$M_{z,Ed}$ = 0,00 kNm

L_{cr} = 26289 mm

Průřezové charakteristiky:

Klasifikace průřezu - třída 1

A = 6690 mm^2

N_{Rd} = 2375 kN

i = 69,09 mm

Posudek – vzpěrná únosnost:

Srovnávací štíhlost:

$\lambda_1 = 93{,}9\varepsilon = 93{,}9 \times 0{,}81 = 76{,}06$

Poměrná štíhlost prutu:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i\,\lambda_1} = \frac{26289}{69{,}1 \times 76{,}06} = 5{,}00$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\emptyset = 0{,}5\left(1 + \alpha\left(\bar{\lambda} - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}^2\right) = 0{,}5(1 + 0{,}21(5{,}00 - 0{,}2) + 5{,}00^2) = 13{,}52$$

$$\chi = \frac{1}{\emptyset + \sqrt{\emptyset^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{13{,}52 + \sqrt{13{,}52^2 - 5{,}00^2}} = 0{,}04$$

Posudek:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} = \frac{76{,}62}{0{,}04 \times 2375} = 0{,}84 < 1{,}0 \;\rightarrow vyhovuje$$

Navrhovaný průřez stojky stříšky vrchlíku **SHS180/10.0** vyhoví.

5.6 Tyčové táhlo

Prvek tyčového táhla je navrhnut z technických listů táhel Macalloy. Pro konstrukci jsou zvoleny táhla Macalloy M100 s maximální tahovou pevností R = 3172 kN a jsou předepnuta 2000 kN.

Posudek:

F_{Ed} = 1882,13 kN (KZ1)

$$\frac{F_{Ed}}{R} = \frac{1882{,}13}{3172} = 0{,}59 < 1{,}0 \;\rightarrow vyhovuje$$

Navrhované tyčové táhlo **Macalloy M100** vyhoví.

5.7 Uložení konstrukce

Konstrukce je uložena na posuvných ložiscích firmy freyssinet, která převádějí zatížení střešní konstrukce do konstrukce budovy. Ložiska podpírají konstrukci zastřešení v nejnižších bodech dolního pásu nosníků. Dále jsou do konstrukce budovy zapřeny svislá ztužidla horních pásů nosníků. Toto zapření je realizováno přes podkladní plechy uložené na železobetonové sokly.

Ložiska freyssinet **GG 1500-150-50** jsou navrhnuta z technických listů výrobce na maximální svislou sílu. Svislá únosnost těchto ložisek je R_d = 1500 kN.

Svislé reakce v ložiscích od jednotlivých kombinací:

KZ1 – R_z = 335,43 kN
KZ2 – R_z = 591,51 kN
KZ3 – R_z = 643,38 kN
KZ4 – R_z = 1111,28 kN
KZ5 – R_z = 1247,62 kN

Posudek:

$$R_z = 1247{,}62\ kN\ < 1500\ kN = R_d\ \rightarrow vyhovuje$$

Navrhované ložiska **Freyssinet GG 1500-150-50** vyhoví.

6 POSUDEK – MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

6.1 Mezní stav omezení průhybů

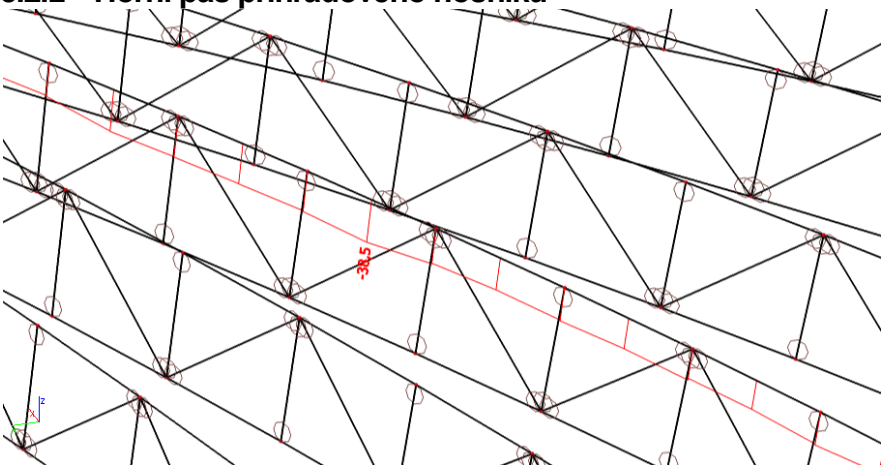
V mezním stavu omezení průhybů byl sledován svislý posun spodní části prstence a byla zjištěna hodnota 18,2mm.

$$\delta_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{138000}{250} = 552mm > 18{,}2mm \rightarrow vyhovuje$$

Konstrukce vyhoví z hlediska mezního stavu omezení průhybů.

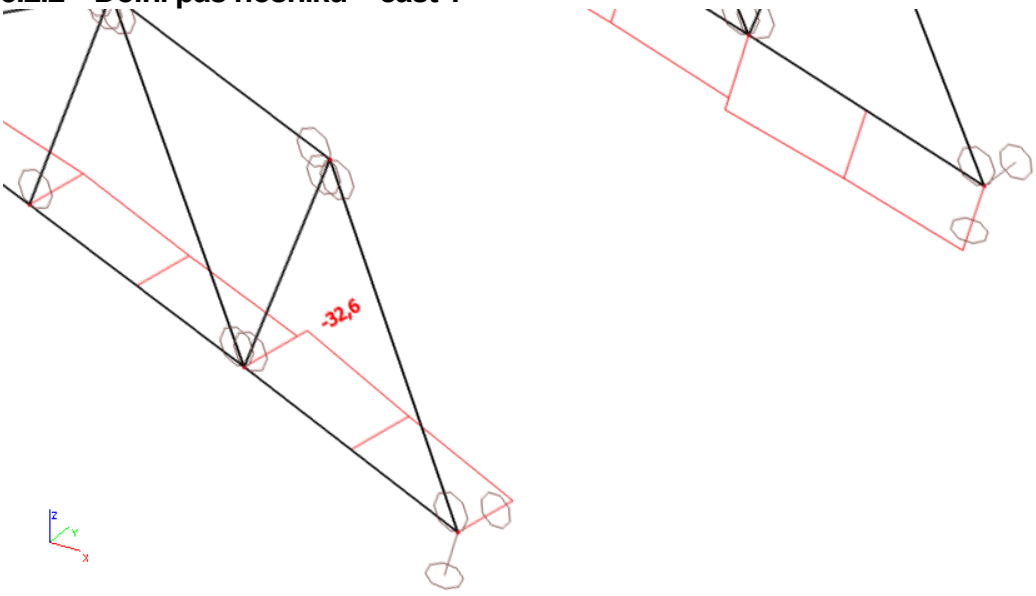
6.2 Mezní stav omezení napětí

6.2.1 Horní pás příhradového nosníku



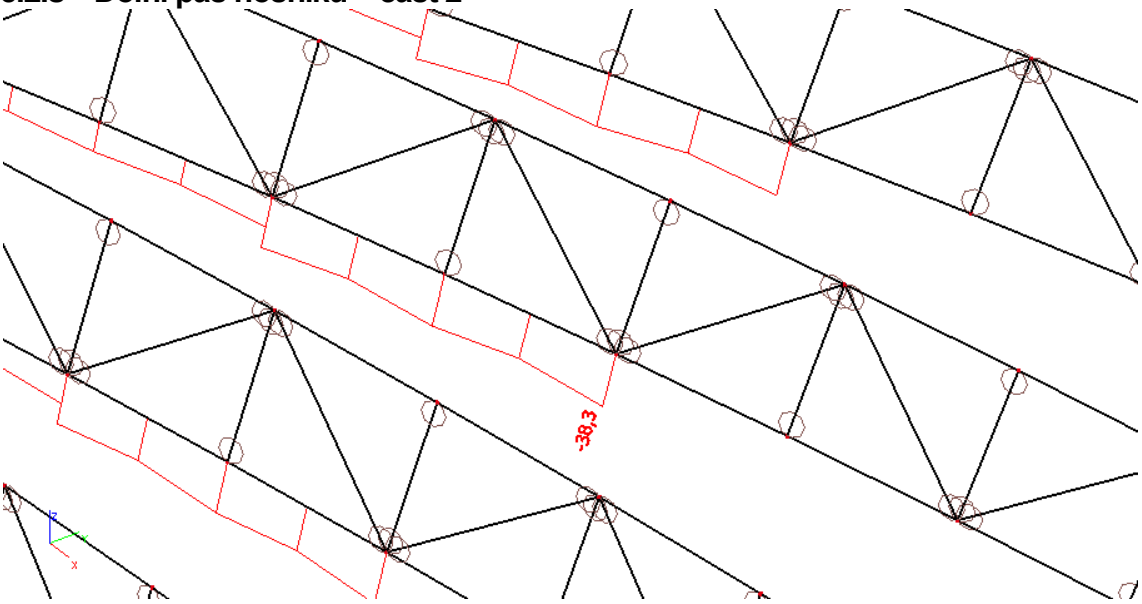
$$|\sigma_x| = 38{,}5\ MPa < 355\ MPa = f_{yk} \rightarrow vyhovuje$$

6.2.2 Dolní pás nosníku – část 1



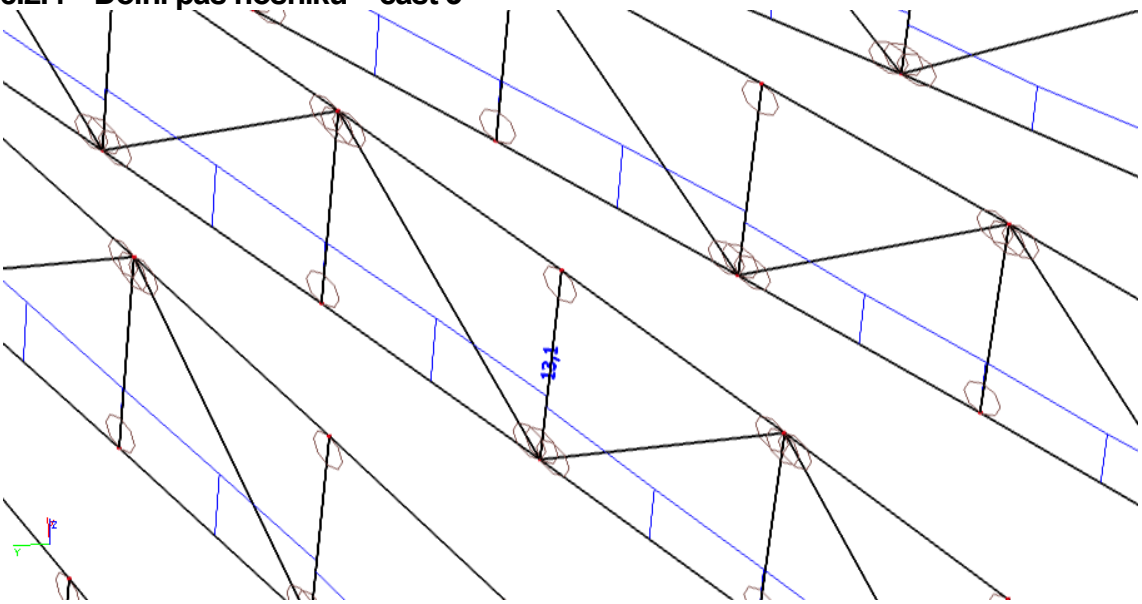
$$|\sigma_x| = 32{,}6\ MPa < 355\ MPa = f_{yk} \rightarrow vyhovuje$$

6.2.3 Dolní pás nosníku – část 2



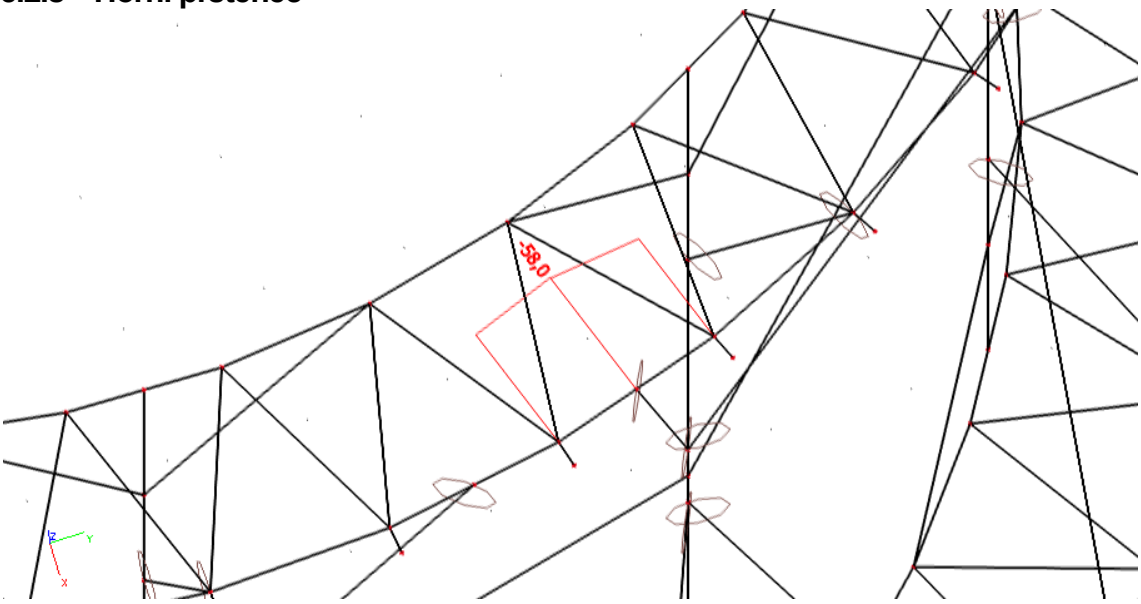
$|\sigma_x| = 38{,}3\ MPa\ < 355\ MPa = f_{yk}\ \rightarrow vyhovuje$

6.2.4 Dolní pás nosníku – část 3



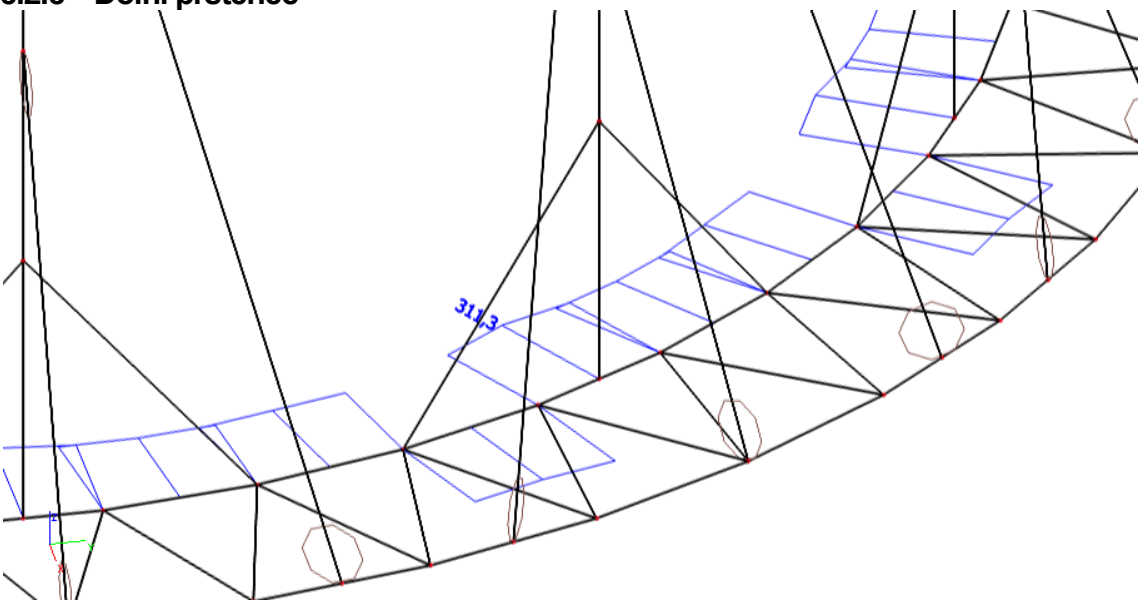
$|\sigma_x| = 13{,}1\ MPa\ < 355\ MPa = f_{yk}\ \rightarrow vyhovuje$

6.2.5 Horní prstenec



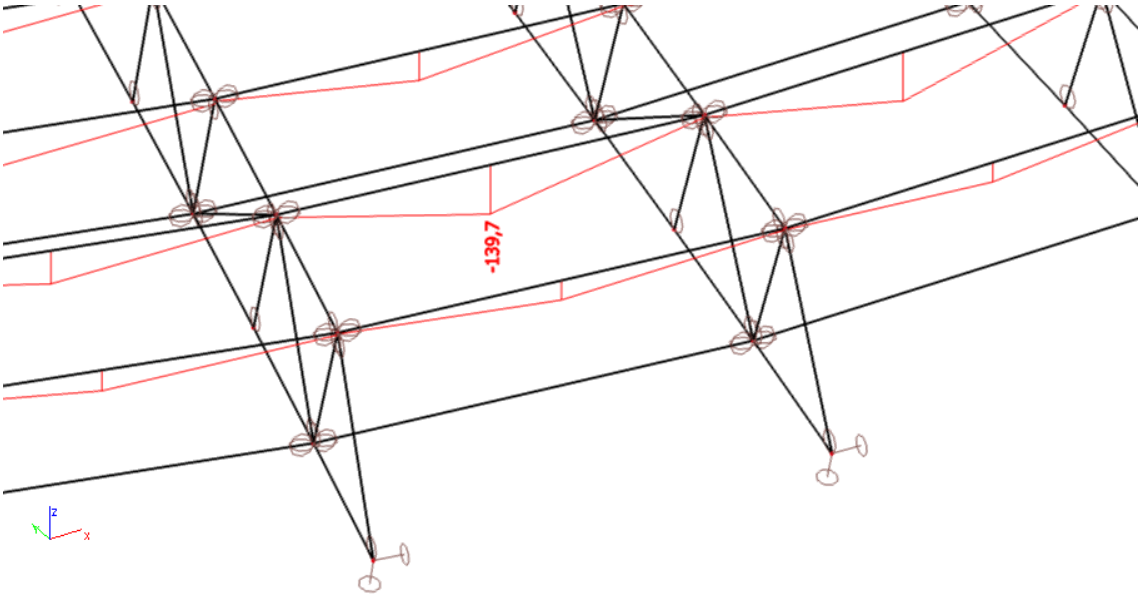
$|\sigma_x| = 58{,}0\ MPa\ < 355\ MPa = f_{yk}\ \rightarrow vyhovuje$

6.2.6 Dolní prstenec



$|\sigma_x| = 311{,}3\ MPa\ < 355\ MPa = f_{yk}\ \rightarrow vyhovuje$

6.2.7 Vaznice



$|\sigma_x| = 139{,}7\ MPa\ < 355\ MPa = f_{yk}\ \rightarrow vyhovuje$

Konstrukce vyhoví z hlediska mezního stavu omezení napětí.

ZÁVĚR

Diplomová práce byla zpracována v návaznosti na práci diplomového semináře a rozvíjí variantu kulového vrchlíku se vzpínadlem. Cíl této práce byl komplexní posudek konstrukce takovéhoto typu a jako takový byl splněn. Konstrukce vyhověla požadavkům mezního stavu únosnosti i mezního stavu použitelnosti. Podružným cílem bylo vytvoření modelu konstrukce v programech Scia Engineer a Dlubal, tak aby výsledky, které z nich získáme, byly ekvivalentní. Tento cíl byl rovněž splněn. Výsledky sice mají drobné odchylky, které jsou v toleranci. Tyto odchylky nejspíše způsobeny odlišností modelování konstrukce samotné v obou programech.

SEZNAM POUŽITÝCH NOREM A LITERATURY

ČSN EN 1991-1-1 - Eurokód 1. *Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, meteorologii a státní zkušebnictví, 2004. 44 stran.

ČSN EN 1991-1-4 - Eurokód 1. *Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, meteorologii a státní zkušebnictví, 2007. 124 stran.

ČSN EN 1993-1-1 - Eurokód 3. *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, meteorologii a státní zkušebnictví, 2007. 94 stran.

ČSN EN 1993-1-8 - Eurokód 3. *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, meteorologii a státní zkušebnictví, 2007. 128 stran.

STUDNIČKA, Jiří. *Ocelové konstrukce – Normy*. 1. vydání. Praha: Česká technika – Nakladatelství ČVUT, 2011. 55 stran. ISBN 978-80-01-03930-4.

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A	Diplomový seminář – Zastřešení sportovní haly
PŘÍLOHA B	Posudky programu Scia Engineer
PŘÍLOHA C	Posudky programu Dlubal
PŘÍLOHA D	Výkresová dokumentace