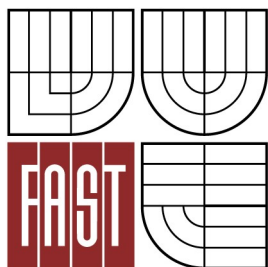




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

OBLOUKOVÉ ZASTŘEŠENÍ VÍCEÚČELOVÉ HALY

TRUSS ARCH STRUCTURE FOR MULTI-PURPOSE HALL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Vojtěch Chalupa

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. VÁCLAV RÖDER

BRNO 2012

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Vojtěch Chalupa
Název	Obloukové zastřešení víceúčelové haly
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Václav Röder
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2011
Datum odevzdání bakalářské práce	25. 5. 2012
V Brně dne 30. 11. 2011	

.....
doc. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Použity budou platné normy pro stanovení zatížení a návrh ocelových konstrukcí:

- [1] ČSN EN 1991-1-1: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [2] ČSN EN 1991-1-3: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- [3] ČSN EN 1991-1-4: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- [4] ČSN EN 1993-1-1: Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [5] ČSN EN 1993-1-8: Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků

Zásady pro vypracování

Při řešení této práce bude navržena a posouzena ocelová oblouková konstrukce pro mobilní víceúčelovou halu o maximálním rozpětí oblouku 30 m. Dispoziční a konstrukční uspořádání bude vycházet ze tří variant, přičemž nejméně jedno řešení bude rozpracováno až do fáze výrobní dokumentace. Geometrické uspořádání jednotlivých variant vychází z ekonomických požadavků. Z hlediska klimatického zatížení se objekt nachází v lokalitě se středním zatížením: sníh 1,5 kPa, vítr 27,5 m.s⁻¹.

.....
Ing. Václav Röder
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Náplní bakalářské práce je návrh obloukového zastřešení víceúčelové mobilní haly. Rozpětí oblouku je 25 m. Celková délka haly je 30 m. Nosný systém je tvořen příhradovými příčnými vazbami z trubkových profilů. V návrhu je řešena varianta příčných vazeb jako obloukového Vierendeelova nosníku. Příčné vazby jsou kloubově uloženy na patky. Výpočet byl proveden ručně a s použitím programu Scia Engineer 2011.

Klíčová slova

víceúčelová hala, obloukové zastřešení, příčná vazba, příhradový vazník, Vierendeelův nosník, svařovaný spoj, šroubový spoj

Abstract

The main objective of this bachelor's thesis is a design of a multipurpose mobile arc hall. The arc span is 25 m. Total hall length is 30 m. The load-carrying construction system consists of a transversal truss beams composed of tube profiles. The variant of transversal truss beams as Vierendeel beams is further designed in this thesis. Transversal beams are supported by joint bearings. The calculation was done in the Scia Engineer 2011 software.

Keywords

multipurpose hall, arc roof, transversal truss, Vierendeel beam, welded connection, bolted connection

Bibliografická citace VŠKP

CHALUPA, Vojtěch. *Obloukové zastřešení víceúčelové haly*. Brno, 2012. 72 s., 21 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Václav Röder.

Prohlášení:

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

V Brně dne 25.5.2012

.....
podpis autora
Vojtěch Chalupa

Poděkování:

Rád bych tímto poděkoval panu Ing. Václavu Röderovi za odborné vedení práce, připomínky a rady.

TECHNICKÁ ZPRÁVA

1. Úvod

Zastřešení haly tvoří příčné vazby – obloukové Vierendeelovy nosníky o rozpětí 25 m. Celková délka haly je 30 m. Vzdálenost příčných vazeb je 2 m. Příčné vazby jsou uloženy na kloubových podporách. Mezi příčnými vazbami jsou navrženy prosté vaznice z trubkových profilů. Konstrukce je ztužena větrovými ztužidly systému Macalloy 460 a podélnými ztužidly z trubkových profilů. Opláštění haly tvoří polyesterovaná technická tkanina s hmotností 1 000 g/m².

2. Použité normativní dokumenty

ČSN EN 1991-1-1	Zatížená konstrukcí – Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitné zatížení pozemních staveb
ČSN EN 1991-1-3	Zatížená konstrukcí – Obecná zatížení – Zatížení sněhem
ČSN EN 1991-1-4	Zatížená konstrukcí – Obecná zatížení – Zatížení větrem
ČSN EN 1993-1-1	Navrhování ocelových konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
ČSN EN 1993-1-8	Navrhování ocelových konstrukcí – Navrhování styčníků

3. Zatížení

Zatížení pro výpočet vnitřních sil na ocelové konstrukci je stanoveno v souladu s ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí. Podrobná specifikace zatížení je uvedena ve statickém výpočtu.

3.1 Stálá zatížení

Vlastní tíha konstrukce:	Vlastní tíha konstrukce byla vypočtena automaticky v programu Scia Engineer 2011.
Střešní plášť:	0,010 kN/m ²

3.2 Klimatická zatížení

Zatížení sněhem:	Sněhová oblast III 1,500 kN/m ²
Zatížení větrem:	Větrná oblast III 27,5 m · s ⁻¹

4. Statické řešení

4.1 Příčné vazby

Příčné vazby mají rozpětí 25 m a jsou uloženy kloubově. Vzepětí oblouku je 11 m. Sestávají z horního a dolního pásu a kolmých mezipásových svislic. Připojení svislic na pásy je uvažováno tuhé, čímž je vytvořen obloukový Vierendeelův nosník. Horní pás je tvořen profilem RO 82,5x4,0, dolní pás taktéž trubkovým profilem RO 88,9x4,0. Mezipásové svislice jsou navrženy z profilů RO 70x3,6. Horní i dolní pás byl posouzen na vzpěr s ohybem se vzpěrnými délkami určenými buď vzdáleností vaznic v rovině kolmé k příčné vazbě, nebo vzdáleností mezipásových svislic v rovině vazby. Dále byl posouzen globální vzpěr celé příčné vazby. Příčné vazby jsou zatíženy reakcemi prostých vaznic.

Vazník je rozdělen na 3 montážní celky. Všechny montážní styky jsou navrženy jako šroubované.

Příčné vazby jsou kloubově uloženy na patky pomocí čepů.

4.1.2 Vaznice

Vaznice jsou kloubově uloženy na příčných vazbách a staticky jsou řešeny jako prosté nosníky na rozpětí 2 m. Vaznice jsou z trubkových profilů RO 60,3x4,0. Vaznice je na příčnou vazbu ukotvena pomocí styčnickových plechů vložených do vaznic a pomocí šroubovaného spoje. Vaznice přenáší klimatická zatížení a zatížení od střešního pláště. Protože je střešní plášť netuhý, neovlivňuje nijak vzpěrnou délku vaznic, která je v obou směrech rovna rozpětí vaznic 2 m.

4.1.3 Podélná ztužidla

Podélná ztužidla jsou umístěna pod vaznicemi. Jsou složena z dolního pásu z profilů RO 60,3x4,0 a vzpěr z profilů RO 33,7x3,2. Dolní pás je kloubově uložený na dolním pásu příčné vazby. Staticky je tento pás řešen jako prostý nosník o rozpětí 2 m. Vzpěrná délka dolního pásu ztužidla je v rovině kolmé k rovině ztužidla shodná s jeho délkou, v rovině podélného ztužidla je díky připojení vzpěr poloviční. K dolnímu pásu jsou do osy kloubově připojeny vzpěry, kterými je připojen horní pás příčné vazby. Vzpěrné délky ztužidel jsou shodné s jejich délkou v obou směrech.

4.1.4 Příčná ztužidla

Příčné ztužení je tvořeno třemi systémy táhel umístěnými mezi krajními a prostředními vazbami. Táhla jsou tyče o průměru 19 mm. Ztužidla jsou navržena ze systému Macalloy 460. V jednotlivých polích jsou vždy 4 táhla kotvená do středového kruhu.

4.1.5 Spodní stavba

Přes čepové spoje je zatížení z příčných vazeb přenášeno na patní desky tloušťky 20 mm a poté pomocí kotevní zarážky a 4 šroubů M24 5.6 s kotevní hlavou do betonové patky z betonu C16/20. Vazby ztužené příčným ztužidlem přenášejí do podpor příčné síly, proto jsou desky čepového spoje pod těmito vazbami ztuženy příčnými výztuhami.

5. Ochrana proti korozi

Všechny nátěry a ochrana proti korozi musí být provedeny v souladu s platnými normami.

- Na konstrukci bude proveden:
- základní nátěr nanesený na podklad
 - podkladový nátěr
 - konečný nátěr, chránící spodní nátěry před okolními vlivy a tvořící konečný vzhled

Po dokončení montáže je nutné zkontrolovat a případně opravit poškození nátěru.

6. Ochrana proti požáru

Protipožárním nátěrem je konstrukce ošetřena mezi protikorozními nátěry. Nátěr bude proveden ve dvou vrstvách natíráním či stříkáním.

7. Materiál

Jako základní materiál pro výrobu ocelové konstrukce bude použita ocel S355. Šrouby jsou z oceli jakosti 5.6. Systémové spojky dle systému Macalloy 460 jsou z oceli S355, táhla poté z oceli S460.

8. Výroba a montáž

Všechny dílenské spoje jsou svařované a budou provedeny ve výrobě. Ostatní styky jsou navrženy jako šroubované. Prvky musí být z výroby dodány tvarově neporušené a bez poškození základního nátěru. Rozhodující dílce z hlediska přepravy budou 12 m dlouhé části příčných vazeb.

Montáž ocelové konstrukce začne smontováním a osazením dvou krajních příčných vazeb na betonové patky s předem zabetonovanými šrouby. Mezi ně poté bude upevněno podélné ztužidlo, příčná ztužidla a vaznice. Montáž bude pokračovat osazením následující příčné vazby. Po montáži ocelové konstrukce se provede opláštění.

9. Ekonomické hledisko

Celková hmotnost konstrukce je 22,55 tun. Celková nátěrová plocha 758m². Zastavěná plocha 750 m² a obestavěný prostor 8250 m³. Průměrná hmotnost je poté 30 kg/m² a 2,733 kg/m³.

STATICKÝ VÝPOČET – OBSAH

1. ÚVOD	- 3 -
1.1 Zadání	- 3 -
1.2 Konstrukční řešení	- 3 -
2. GEOMETRICKÉ SCHÉMA	- 4 -
2.1 Schématický půdorys	- 4 -
2.2 Schématický příčný řez	- 5 -
2.3 Axonometrie	- 5 -
3. ZATÍŽENÍ	- 6 -
3.1 Vlastní tíha konstrukce	- 6 -
3.2 Vlastní tíha střešního pláště	- 6 -
3.3 Zatížení sněhem	- 6 -
3.4 Zatížení větrem	- 8 -
3.4.1 Příčný vítr	- 9 -
3.4.2 Podélný vítr	- 11 -
4. ZATĚŽOVACÍ STAVY A KOMBINACE	- 13 -
4.1. Přehled zatěžovacích stavů	- 13 -
4.2 Kombinace	- 14 -
4.2.1 Kombinační rovnice pro mezní stav únosnosti	- 14 -
4.2.2 Kombinační rovnice pro mezní stav použitelnosti	- 16 -
5. DIMENZOVÁNÍ	- 18 -
5.1 Vaznice	- 18 -
5.1.1 Posouzení	- 19 -
5.2 Dolní pás	- 22 -
5.2.1 Posouzení	- 23 -
5.3 Horní pás	- 26 -
5.3.1 Posouzení	- 28 -
5.4 Horní a dolní pás – globální stabilita oblouku	- 29 -
5.4.1 Posouzení	- 30 -
5.5 Mezipásové svislice	- 31 -
5.5.1 Posouzení	- 32 -
5.6 Dolní pás podélného ztužidla	- 33 -
5.6.1 Posouzení	- 34 -
5.7 Vzpěry podélného ztužidla	- 36 -

5.7.1 Posouzení	- 37 -
5.8 Táhlá příčného ztužidla.....	- 38 -
5.8.1 Posouzení	- 39 -
6. POSOUZENÍ MEZNÍHO STAVU POUŽITELNOSTI	- 40 -
6.1 Mezní průhyb	- 40 -
6.1.1 Vazník	- 40 -
6.1.2 Vaznice.....	- 40 -
7. STYČNÍKY	- 41 -
7.1 Styčník mezipásové svislice a dolního pásu – styčník typu T	- 41 -
7.1.1 Posouzení svaru	- 41 -
7.1.2 Posouzení stěn prutů.....	- 43 -
7.2 Styčník mezipásové svislice a horního pásu – styčník typu T.....	- 44 -
7.2.1 Posouzení svaru	- 44 -
7.2.2 Posouzení prutů.....	- 45 -
7.3 Přípoj vaznic, dolního pásu podélného ztužidla a vzpěr podélného ztužidla	- 47 -
7.3.1 Posouzení	- 48 -
7.4 Přípoj vzpěr podélného ztužidla k dolnímu pásu	- 50 -
7.4.1 Posouzení	- 51 -
7.5 Montážní spoje horního a dolního pásu.....	- 51 -
7.5.1 Posouzení	- 52 -
8. POSOUZENÍ PATKY.....	- 53 -
8.1 Posouzení čepu ve stříhu a v otlacení	- 54 -
8.2 Styčnickový plech	- 54 -
8.2.1 Únosnost v tahu	- 55 -
8.2.2 Tlak	- 55 -
8.2.3 Vzpěrná únosnost.....	- 55 -
8.2.4 Posouzení svarů.....	- 55 -
8.3 Kotevní zarážka.....	- 57 -
8.3.1 Posouzení svarů.....	- 57 -
8.4 Posouzení únosnosti betonu patky	- 58 -
8.4.1 Únosnost betonu v tlaku	- 58 -
8.5 Posouzení kotevních šroubů	- 59 -
8.5.1 Únosnost šroubu v tahu	- 59 -
8.5.2 Posouzení účinné délky šroubu	- 59 -

1. ÚVOD

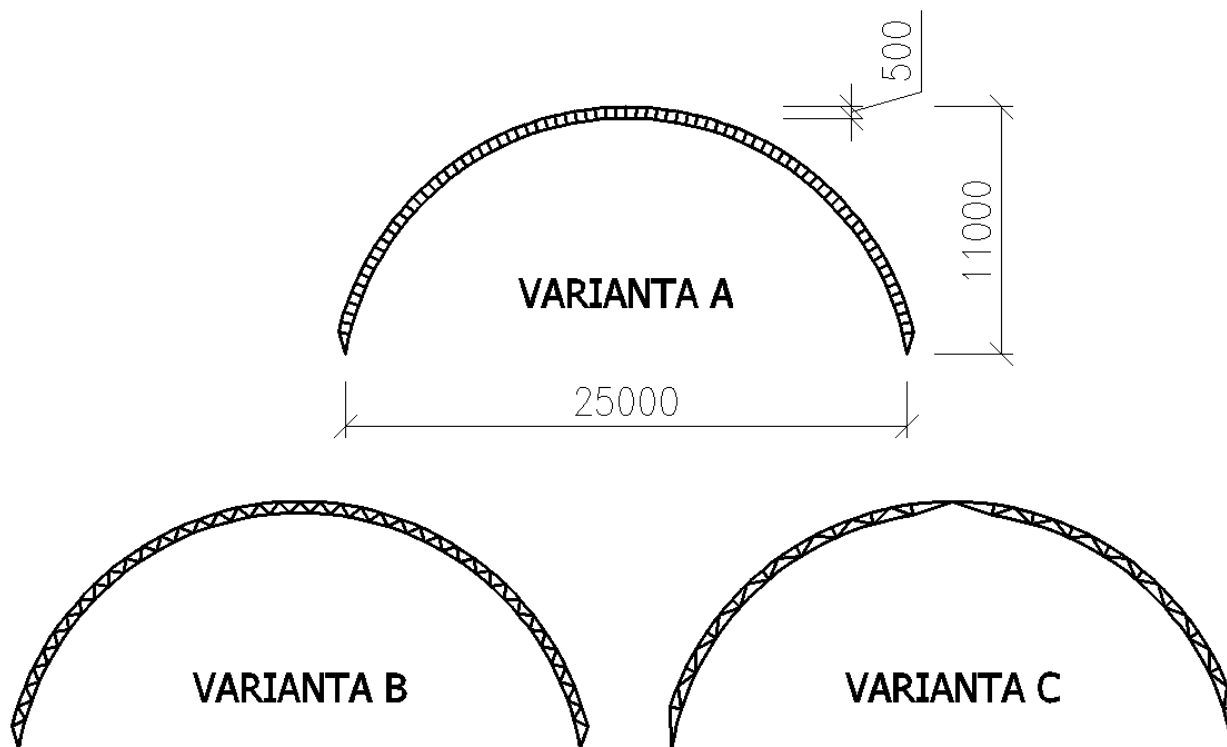
Statická analýza prostorového modelu konstrukce byla provedena v programu Scia Engineer 2011. Konstrukce byla posouzena na účinky zatížení stanoveného podle „ČSN EN 1991-1“. Návrh a posouzení nosných prvků konstrukce bylo provedeno ručně podle „ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby“. Součástí ručního výpočtu je dále návrh a posouzení vybraných styčníků podle „ČSN EN 1993-1-8 Navrhování ocelových konstrukcí – Navrhování styčníků“.

1.1 Zadání

Při řešení této práce bude navržena a posouzena ocelová oblouková konstrukce pro mobilní víceúčelovou halu o rozpětí oblouku 25 m a délce 30 m. Z hlediska klimatického zatížení se objekt nachází v lokalitě se středním zatížením sněhem 1,5 kPa a větrem 27,5 m.s⁻¹.

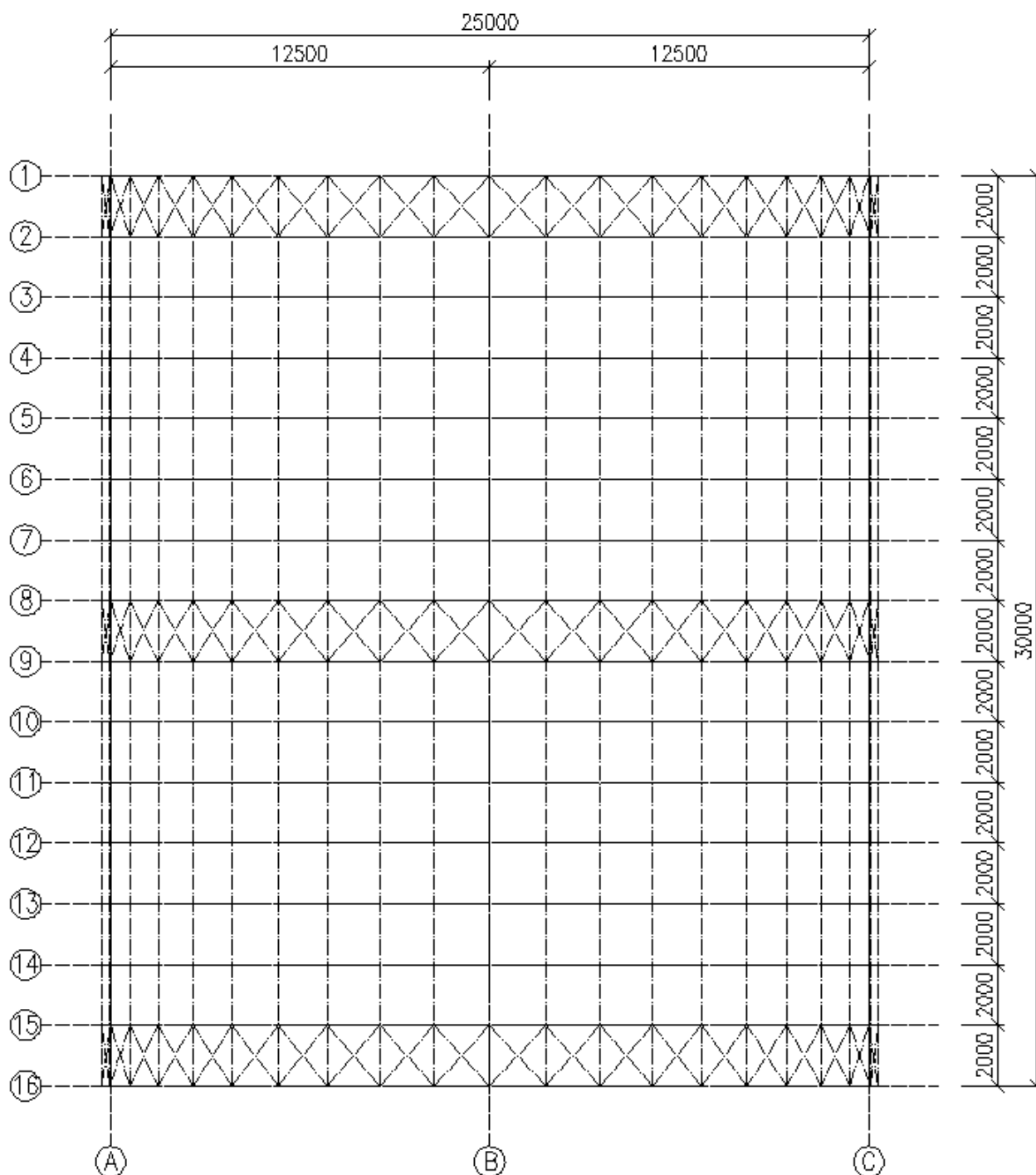
1.2 Konstrukční řešení

Zastřešení haly je navrženo jako systém obloukových příčných vazeb na rozpětí 25 m, na nichž jsou uloženy vaznice jako prosté nosníky. Vzdálenost příčných vazeb je 2 m. Příčné vazby jsou uloženy na kloubových podporách. V rámci posouzení byly řešeny tři varianty konstrukce příčných vazeb dle schématu. Tyto byly navrženy v programu Scia Engineer 2011 a poté byla vybrána nejúspěšnější varianta při splnění požadavků na únosnost a použitelnost. Statický výpočet se dále věnuje vybrané variantě A. Hala je opláštěna polyesterovanou technickou tkaninou s hmotností 1 000 g/m².

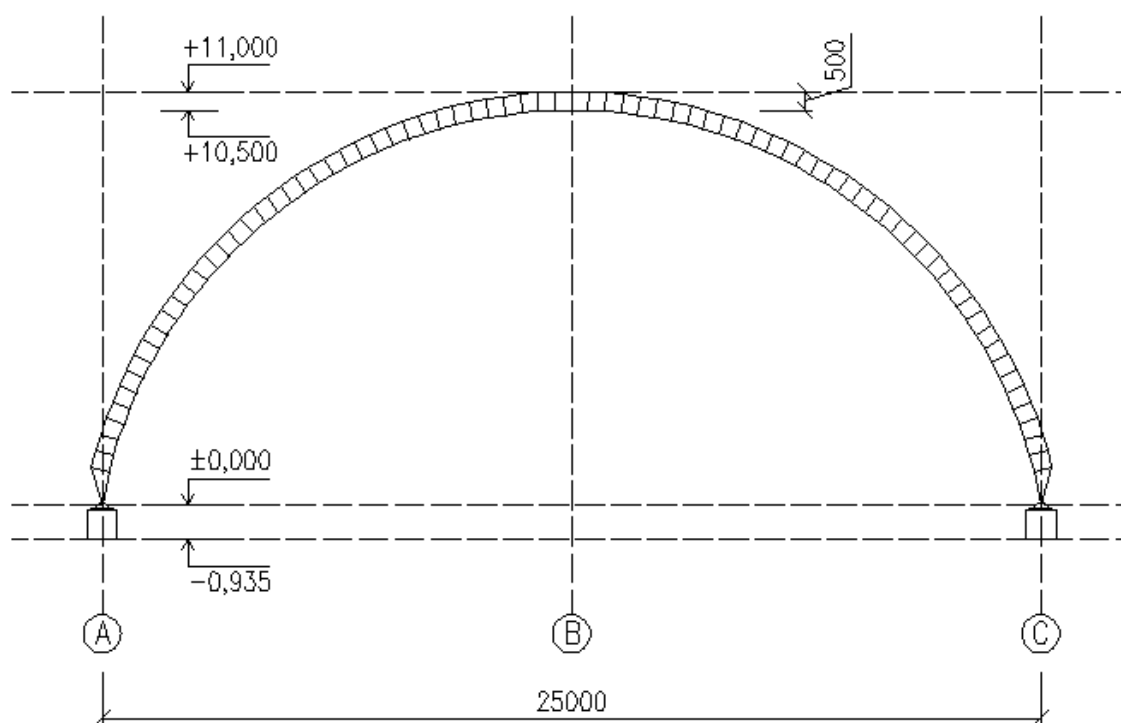


2. GEOMETRICKÉ SCHÉMA

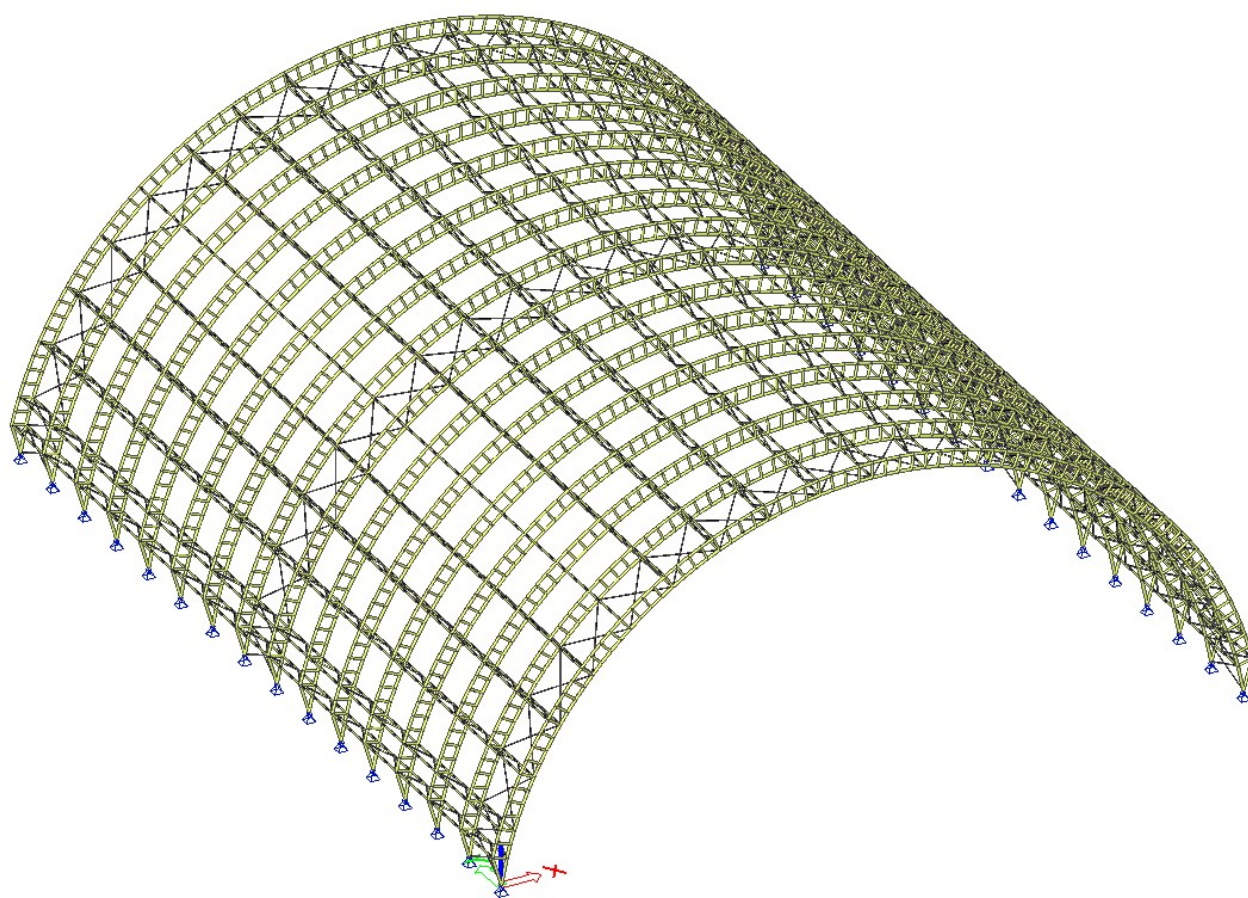
2.1 Schématický půdorys



2.2 Schématický příčný řez



2.3 Axonometrie



3. ZATÍŽENÍ

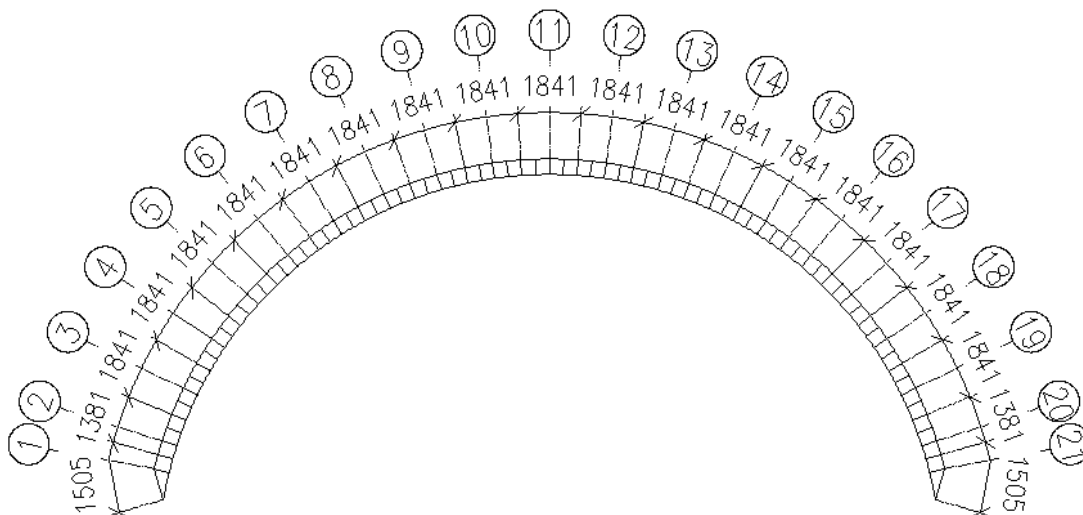
3.1 Vlastní tíha konstrukce

Vlastní tíha konstrukce byla automaticky počítána programem Scia Engineer 2011.

3.2 Vlastní tíha střešního pláště

Hmotnost udávaná výrobcem je $1000 \text{ g/m}^2 \Rightarrow 0,01 \text{ kN/m}^2$

Zatěžovací šířky vaznic pro tíhu střešního pláště:



Vaznice č.	1; 21	2; 20	3-19
Zatěžovací šířka [m]	1,505	1,381	1,841
Svislá složka zatížení na 1 mb [kN/m]	0,015	0,014	0,018

3.3 Zatížení sněhem

Zóna III $\Rightarrow s_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$

Úprava zatížení sněhem na zemi na dobu návratu 20 let:

$$V = 0,7$$

$$P_n = \frac{1}{n} = \frac{1}{20} = 0,05$$

$$s_n = s_k \cdot \left\{ \frac{1 - V \cdot \frac{\sqrt{6}}{\pi} \cdot [\ln(-\ln(1 - P_n)) + 0,57722]}{(1 + 2,5923 \cdot V)} \right\} = 1,5 \cdot \left\{ \frac{1 - 0,7 \cdot \frac{\sqrt{6}}{\pi} \cdot [\ln(-\ln(1 - 0,05)) + 0,57722]}{(1 + 2,5923 \cdot 0,7)} \right\}$$

$$s_n = 1,229 \text{ kN/m}^2$$

$$C_e = 1,0$$

$$C_t = 1,0$$

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_n = \mu_i \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,229$$

Tvarové součinitele:

pro $\beta \geq 60^\circ$ jsou všechna $\mu = 0$

$$\frac{h}{b} = \frac{11,000}{25,600} = 0,429$$

Případ I; $\mu_1 = 0,8$

Případ II a III; $\mu_3 = 2,0$

Byly stanoveny půdorysné zatěžovací šířky vaznic A_{ij} s vlivem tvarových součinitelů viz obrázek, kde:

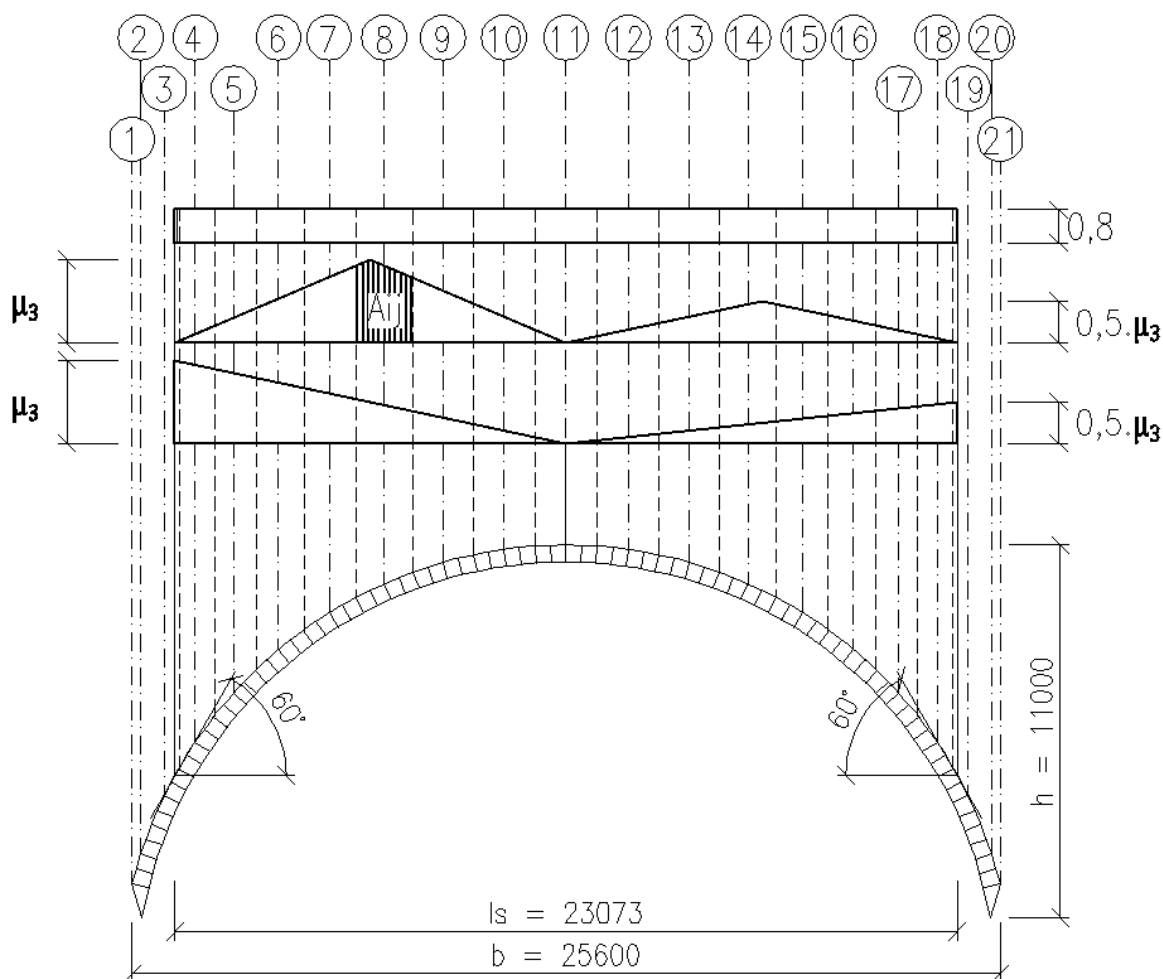
$$A_{ij} = Z\dot{S}_j \cdot \mu$$

i – číslo zatěžovacího případu

j – číslo vaznice

Zatížení sněhem na vaznici je potom:

$$s_{ij} = A_{ij} \cdot s_n = A_{ij} \cdot 1,229$$



Vaznice č.	Zatěžovací šířka s vlivem μ			Svislá složka zatížení sněhem na 1 mb		
	$A_{1j}[\text{m}]$	$A_{2j}[\text{m}]$	$A_{3j}[\text{m}]$	$s_{1j}[\text{kN/m}]$	$s_{2j}[\text{kN/m}]$	$s_{3j}[\text{kN/m}]$
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-
3	0,022	0,000	0,042	0,027	0,000	0,052
4	0,821	0,192	1,957	1,009	0,236	2,405
5	0,983	0,715	2,099	1,208	0,879	2,580
6	1,125	1,467	2,079	1,383	1,803	2,555
7	1,245	2,432	1,898	1,531	2,989	2,332
8	1,342	3,061	1,570	1,649	3,762	1,929
9	1,412	2,240	1,120	1,735	2,753	1,376
10	1,460	1,167	0,584	1,794	1,434	0,717
11	1,469	0,222	0,111	1,805	0,273	0,137
12	1,460	0,583	0,291	1,794	0,716	0,357
13	1,412	1,118	0,559	1,735	1,374	0,687
14	1,342	1,530	0,784	1,649	1,880	0,963
15	1,245	1,218	0,948	1,531	1,497	1,165
16	1,125	0,735	1,039	1,383	0,904	1,277
17	0,983	0,359	1,049	1,208	0,441	1,289
18	0,821	0,097	0,978	1,009	0,120	1,202
19	0,022	0,000	0,028	0,027	0,000	0,034
20	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-

3.4 Zatížení větrem

Větrná oblast III $\Rightarrow v_{b,0} = 27,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Kategorie terénu II. $\Rightarrow z_0 = 0,05 \text{ m}$; $z_{min} = 2,00 \text{ m}$

Úprava zatížení větrem na dobu návratu 20 let:

$$p = \frac{1}{r} = \frac{1}{20} = 0,05$$

$$K = 0,2$$

$$n = 0,5$$

$$c_{prob} = \left(\frac{1 - K \cdot \ln(-\ln(1 - p))}{1 - K \cdot \ln(-\ln(0,98))} \right)^n = \left(\frac{1 - 0,2 \cdot \ln(-\ln(1 - 0,05))}{1 - 0,2 \cdot \ln(-\ln(0,98))} \right)^{0,5} = 0,946$$

$$C_{dir} = 1,0; C_{season} = 1,0$$

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} \cdot c_{prob} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 27,5 \cdot 0,946 = 26,021 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{11}{0,05}\right) = 1,025$$

$$c_o(z) = 1,0$$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 1,025 \cdot 1,0 \cdot 26,021 = 26,672 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$k_I(z) = 1,0$$

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{11}{0,05}\right)} = 0,1854$$

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,1854] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 26,672^2 = 1021 \text{ Pa}$$

$$q_p(z) = 1,021 \text{ kN/m}^2$$

$$h = 11 \text{ m} \leq d = 25,6 \text{ m} \Rightarrow z_e = h = 11 \text{ m}$$

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 1,021 \cdot c_{pe}$$

3.4.1 Příčný vítr

Byly stanoveny délkové zatěžovací šířky vaznic $A_{s,j}$ s vlivem součinitelů tlaku větru viz obrázek, kde:

$$A_{s,j} = Z\check{S}_j \cdot c_{pe}$$

s – zatížení na střešní plášť

j – číslo vaznice

Zatížení větrem na vaznici je potom:

$$w_{s,j} = A_{s(c),j} \cdot q_p(z_e) = A_{s(c),j} \cdot 1,021$$

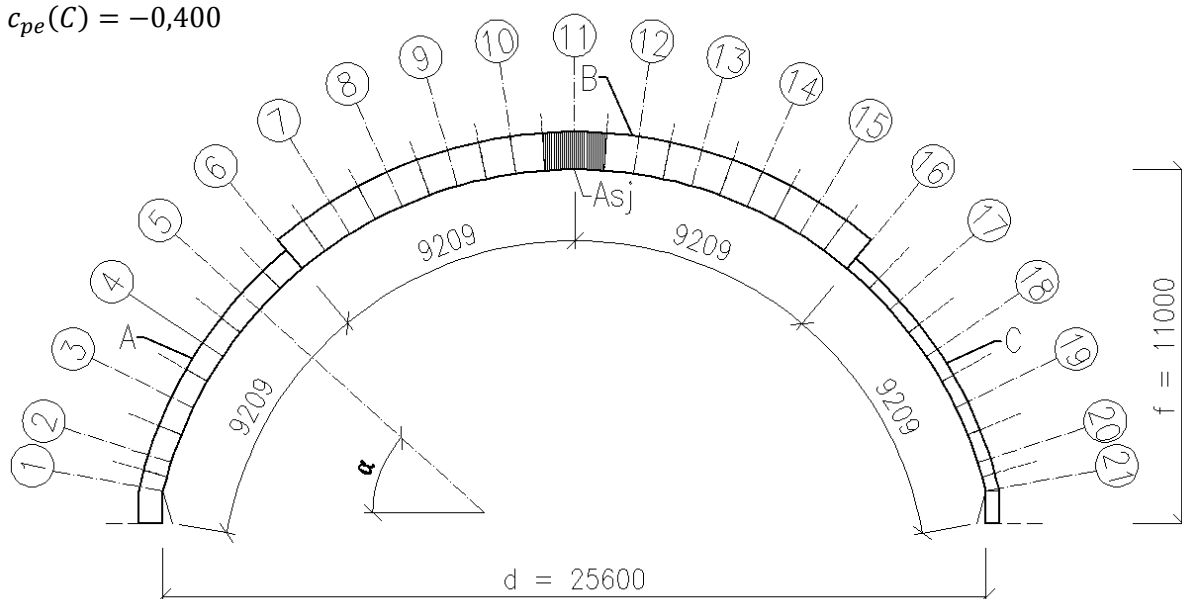
Součinitele tlaku pro příčný vítr – střešní plášť

$$\frac{f}{d} = \frac{11000}{25600} = 0,430 \Rightarrow \text{součinitele } c_{pe} \text{ stanoveny lineární interpolací}$$

$$c_{pe}(A) = 0,742$$

$$c_{pe}(B) = -1,140$$

$$c_{pe}(C) = -0,400$$



Byly stanoveny zatěžovací plochy vaznic $A_{c,j}$, přičemž na jednotlivé vaznice je vždy přeneseno zatížení na polovinu této plochy viz obrázek.

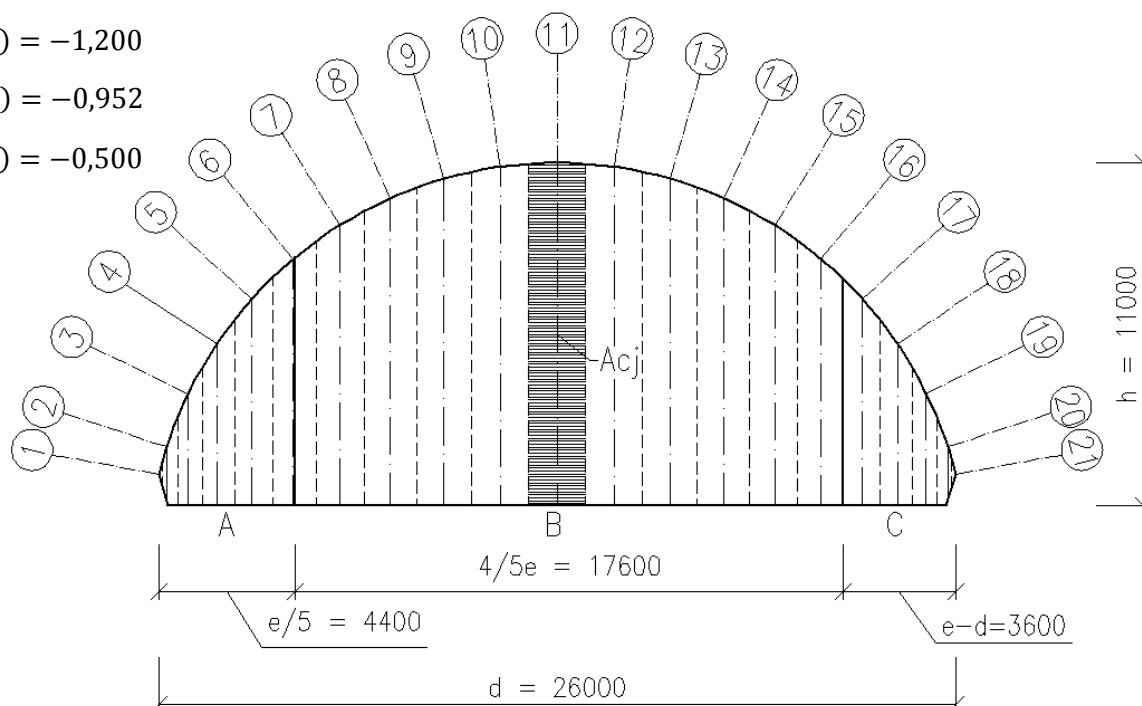
$$W_{c,j} = 0,5 \cdot A_{c,j} \cdot c_{pe} \cdot q_p(z_e) = 0,5 \cdot A_{c,j} \cdot c_{pe} \cdot 1,021$$

Součinitele tlaku pro příčný vítr – čelní stěna

$$c_{pe}(A) = -1,200$$

$$c_{pe}(B) = -0,952$$

$$c_{pe}(C) = -0,500$$



Vaznice č.	α [°]	$A_{s,j}$ [m]	$w_{s,j}$ [kN/m]	Svislá složka $w_{s,j} \cdot \sin \alpha$ [kN/m]	Vod. složka $w_{s,j} \cdot \cos \alpha$ [kN/m]	$A_{c,j}$ [kN/m]	$W_{c,j}$ [kN]
1	14	1,095	1,118	-	1,118	0,106	-0,065
2	18	1,047	1,069	0,330	1,017	1,035	-0,634
3	26	1,372	1,401	0,614	1,259	2,982	-1,827
4	34	1,372	1,401	0,783	1,161	5,401	-3,309
5	42	1,372	1,401	0,937	1,041	8,214	-5,032
6	50	-0,393	-0,402	-0,308	-0,258	11,083	-6,467
7	58	-2,157	-2,202	-1,867	-1,167	13,966	-6,787
8	66	-2,157	-2,202	-2,012	-0,896	16,539	-8,038
9	74	-2,157	-2,202	-2,117	-0,607	18,521	-9,001
10	82	-2,157	-2,202	-2,180	-0,306	19,730	-9,589
11	90	-2,157	-2,202	-2,202	0,000	20,200	-9,817
12	82	-2,157	-2,202	-2,180	-0,306	19,730	-9,589
13	74	-2,157	-2,202	-2,117	-0,607	18,521	-9,001
14	66	-2,157	-2,202	-2,012	-0,896	16,539	-8,038
15	58	-2,157	-2,202	-1,867	-1,167	13,966	-6,787
16	50	-1,469	-1,500	-1,149	-0,964	11,083	-5,386
17	42	-0,718	-0,733	-0,490	-0,545	8,214	-2,664
18	34	-0,718	-0,733	-0,410	-0,608	5,401	-1,379
19	26	-0,718	-0,733	-0,321	-0,659	2,982	-0,761
20	18	-0,566	-0,578	-0,179	-0,550	1,035	-0,264
21	14	-0,589	-0,602	-	-0,602	0,106	-0,027

3.4.2 Podélný vítr

Byly stanoveny délkové zatěžovací šířky vaznic $A_{s,j}$ s vlivem součinitelů tlaku větru viz obrázek, kde:

$$A_{s,j} = Z\check{S}_j \cdot c_{pe}$$

s – zatížení na střešní plášť

j – číslo vaznice

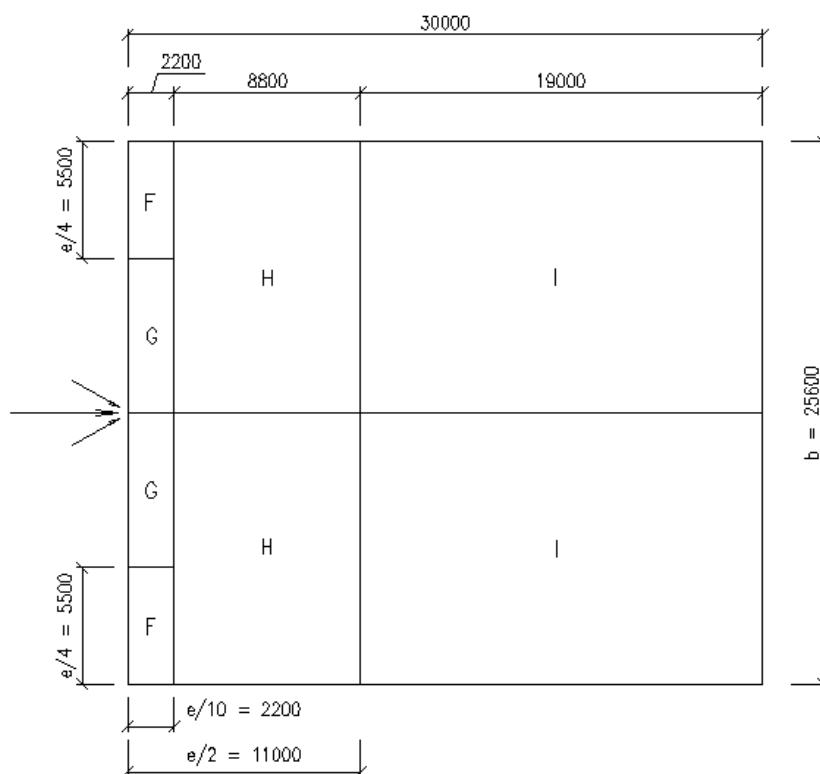
Zatížení větrem na vaznici je potom:

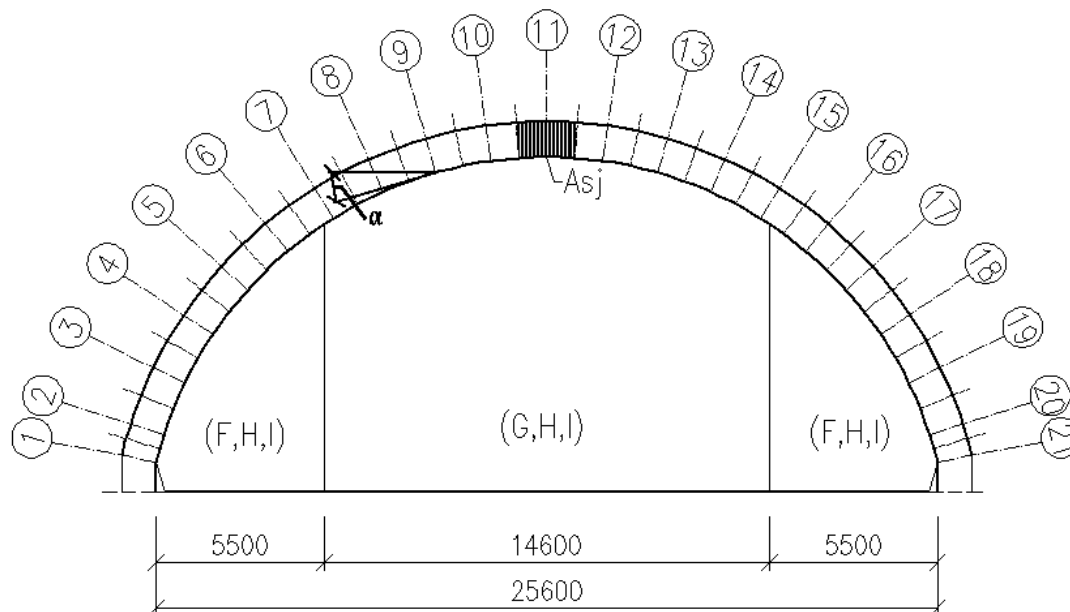
$$w_{s,j} = A_{s(c),j} \cdot q_p(z_e) = A_{s(c),j} \cdot 1,021$$

Součinitele tlaku pro podélný vítr – střešní plášť

Součinitele c_{pe} stanoveny lineární interpolací v závislosti na úhlu sklonu α

Vaznice č.	α [°]	$c_{pe}(F)$	$c_{pe}(G)$	$c_{pe}(H)$	$c_{pe}(I)$	$A_{s,j} F(G)$ [m]	$A_{s,j} H$ [m]	$A_{s,j} I$ [m]
1 a 21	76	-1,1	-	-0,8	-0,5	-1,607	-1,169	-0,730
2 a 20	72	-1,1	-	-0,8	-0,5	-1,519	-1,105	-0,691
3 a 19	64	-1,1	-	-0,8	-0,5	-2,026	-1,473	-0,921
4 a 18	56	-1,1	-	-0,83	-0,5	-2,026	-1,528	-0,921
5 a 17	48	-1,1	-	-0,88	-0,5	-2,026	-1,620	-0,921
6 a 16	40	-1,1	-	-0,87	-0,5	-2,026	-1,602	-0,921
7 a 15	32	-1,1	-1,4	-0,81	-0,5	-2,414	-1,492	-0,921
8 a 14	24	-	-1,36	-0,72	-0,5	-2,504	-1,326	-0,921
9 a 13	16	-	-1,31	-0,61	-0,5	-2,412	-1,123	-0,921
10 a 12	8	-	-1,3	-0,68	-0,58	-2,394	-1,252	-1,068
11	0	-	-1,25	-0,7	-0,6	-2,302	-1,289	-1,105





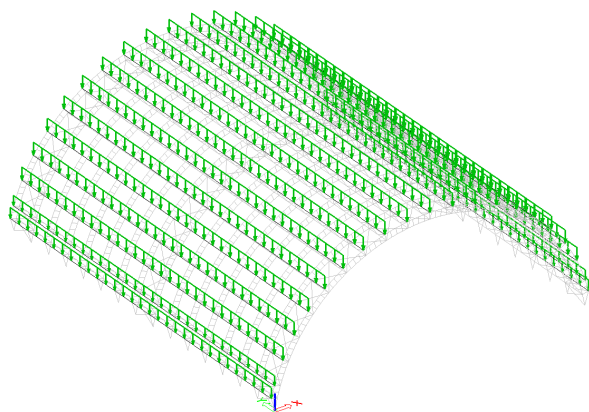
Vaznice č.	$w_{s,j} F(G)$ [kN/m]	Svislá složka $w_{s,j} F(G) \cdot \sin \alpha$ [kN/m]	Vod. složka $w_{s,j} F(G) \cdot \cos \alpha$ [kN/m]	$w_{s,j} H$ [kN/m]	Svislá složka $w_{s,j} H \cdot \sin \alpha$ [kN/m]	Vod. složka $w_{s,j} H \cdot \cos \alpha$ [kN/m]	$w_{s,j} I$ [kN/m]	Svislá složka $w_{s,j} I \cdot \sin \alpha$ [kN/m]	Vod. složka $w_{s,j} I \cdot \cos \alpha$ [kN/m]	$W_{c,j}$ [kN]
1 a 21	-1,641	-0,397	-1,592	-1,193	-0,289	-1,158	-0,746	-0,180	-0,724	-0,027
2 a 20	-1,551	-0,479	-1,475	-1,128	-0,349	-1,073	-0,705	-0,218	-0,670	-0,264
3 a 19	-2,068	-0,907	-1,859	-1,504	-0,659	-1,352	-0,940	-0,412	-0,845	-0,761
4 a 18	-2,068	-1,156	-1,715	-1,560	-0,873	-1,294	-0,940	-0,526	-0,779	-1,379
5 a 17	-2,068	-1,384	-1,537	-1,654	-1,107	-1,230	-0,940	-0,629	-0,699	-2,097
6 a 16	-2,068	-1,584	-1,329	-1,636	-1,253	-1,051	-0,940	-0,720	-0,604	-2,829
7 a 15	-2,464	-2,090	-1,306	-1,523	-1,291	-0,807	-0,940	-0,797	-0,498	-3,565
8 a 14	-2,557	-2,336	-1,040	-1,354	-1,237	-0,551	-0,940	-0,859	-0,382	-4,222
9 a 13	-2,463	-2,367	-0,679	-1,147	-1,102	-0,316	-0,940	-0,904	-0,259	-4,727
10 a 12	-2,444	-2,420	-0,340	-1,278	-1,266	-0,178	-1,090	-1,080	-0,152	-5,036
11	-2,350	-2,350	0,000	-1,316	-1,316	0,000	-1,128	-1,128	0,000	-5,156

4. ZATĚŽOVACÍ STAVY A KOMBINACE

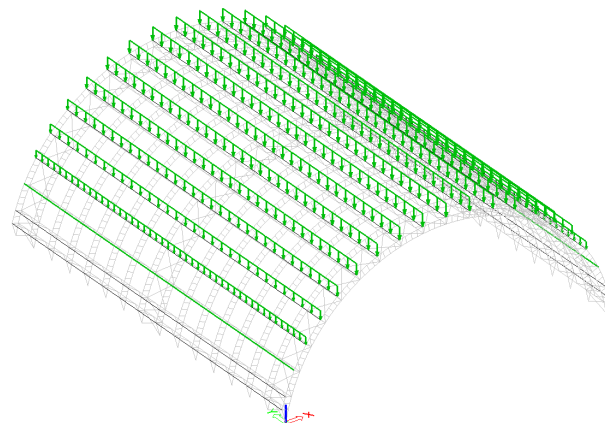
4.1. Přehled zatěžovacích stavů:

G1 – Vlastní tíha konstrukce

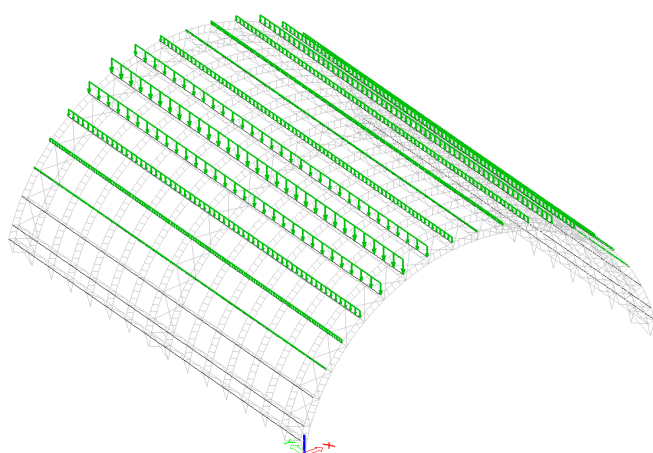
G2 – Vlastní tíha střešního pláště



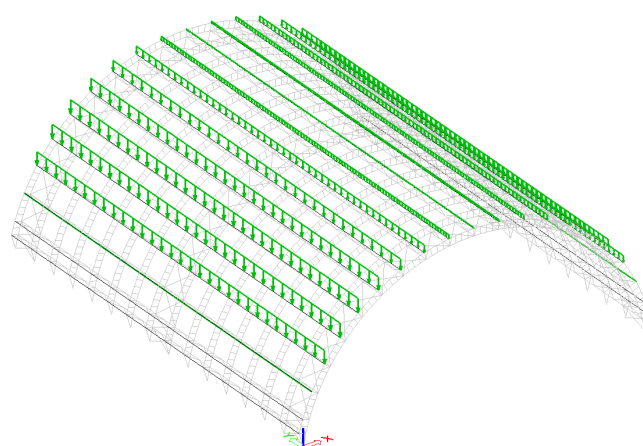
S1 – Zatížení sněhem I



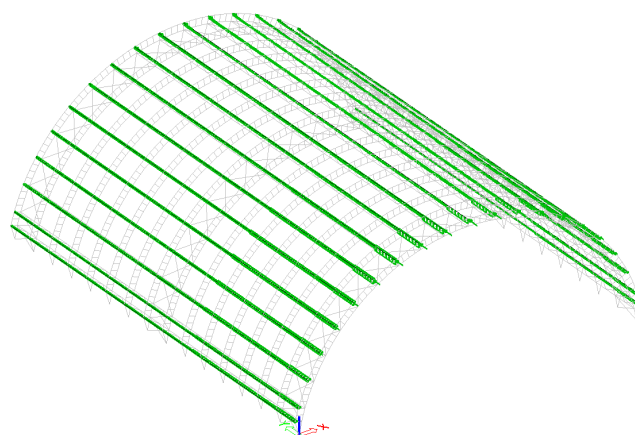
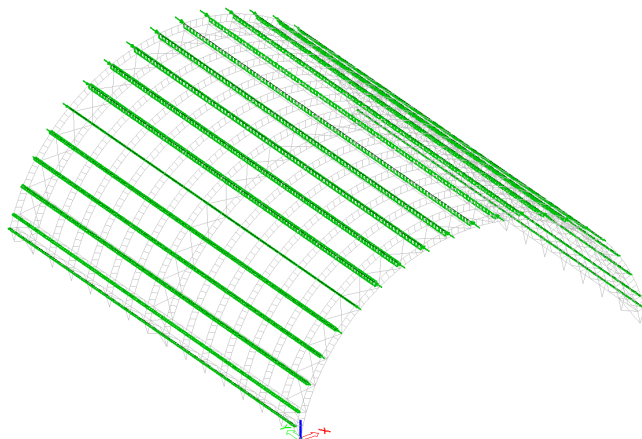
S2L a S2P – Zatížení sněhem II zleva a zprava



S3L a S3P – Zatížení sněhem III zleva a zprava



V1L a V1P – Zatížení příčným větrem zleva a zprava **V2** – Zatížení podélným větrem



4.2 Kombinace

4.2.1 Kombinační rovnice pro mezní stav únosnosti:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \gamma_{Q,2} \cdot \psi_{0,2} \cdot Q_{k,2}$$

a) $\gamma_G \cdot (G1_k + G2_k)$, kde $\gamma_G = 1,00; 1,35$

Kombinace č.	G1 + G2
1	1,00
2	1,35

b) $\gamma_G \cdot (G1_k + G2_k) + \gamma_Q \cdot Q_k$, kde $\gamma_G = 1,00; 1,35; \gamma_Q = 1,50$

$$Q_{k,1} = S1; S2L; S2P; S3L; S3P; V1L; V1P; V2$$

Kombinace č.	G1 + G2	S1	S2L	S2P	S3L	S3P	V1L	V1P	V2
3	1,00	1,50							
4	1,00		1,50						
5	1,00			1,50					
6	1,00				1,50				
7	1,00					1,50			
8	1,00						1,50		
9	1,00							1,50	
10	1,00								1,50
11	1,35	1,50							
12	1,35		1,50						
13	1,35			1,50					
14	1,35				1,50				
15	1,35					1,50			
16	1,35						1,50		
17	1,35							1,50	
18	1,35								1,50

c) $\gamma_G \cdot (G1_k + G2_k) + \gamma_Q \cdot (Q_{k,1} + \psi_{0,2} \cdot Q_{k,2})$, kde: $\gamma_G = 1,00; 1,35; \gamma_Q = 1,50; \psi_{0,2} = 0,60$

$$Q_{k,1} = S1; S2L; S2P; S3L; S3P$$

$$Q_{k,2} = V1L; V1P; V2$$

Kombinace č.	G1 + G2	S1	S2L	S2P	S3L	S3P	V1L	V1P	V2
19	1,00	1,50					0,90		
20	1,00	1,50						0,90	
21	1,00	1,50							0,90
22	1,00		1,50				0,90		
23	1,00		1,50					0,90	
24	1,00		1,50						0,90
25	1,00			1,50			0,90		
26	1,00			1,50				0,90	
27	1,00			1,50					0,90
28	1,00				1,50		0,90		
29	1,00				1,50			0,90	
30	1,00				1,50				0,90
31	1,00					1,50	0,90		
32	1,00					1,50		0,90	
33	1,00					1,50			0,90

34	1,35	1,50					0,90		
35	1,35	1,50						0,90	
36	1,35	1,50							0,90
37	1,35		1,50				0,90		
38	1,35		1,50					0,90	
39	1,35		1,50						0,90
40	1,35			1,50			0,90		
41	1,35			1,50				0,90	
42	1,35			1,50					0,90
43	1,35				1,50		0,90		
44	1,35				1,50			0,90	
45	1,35				1,50				0,90
46	1,35					1,50	0,90		
47	1,35					1,50		0,90	
48	1,35					1,50			0,90

d) $\gamma_G \cdot (G1_k + G2_k) + \gamma_Q \cdot (Q_{k,1} + \psi_{0,2} \cdot Q_{k,2})$, kde: $\gamma_G = 1,00; 1,35; \gamma_Q = 1,50; \psi_{0,2} = 0,50$

$Q_{k,1} = V1L; V1P; V2$

$Q_{k,2} = S1; S2L; S2P; S3L; S3P$

Kombinace č.	G1 + G2	S1	S2L	S2P	S3L	S3P	V1L	V1P	V2
49	1,00	0,75					1,50		
50	1,00		0,75				1,50		
51	1,00			0,75			1,50		
52	1,00				0,75		1,50		
53	1,00					0,75	1,50		
54	1,00	0,75						1,50	
55	1,00		0,75					1,50	
56	1,00			0,75				1,50	
57	1,00				0,75			1,50	
58	1,00					0,75		1,50	
59	1,00	0,75							1,50
60	1,00		0,75						1,50
61	1,00			0,75					1,50
62	1,00				0,75				1,50
63	1,00					0,75			1,50
64	1,35	0,75					1,50		
65	1,35		0,75				1,50		
66	1,35			0,75			1,50		
67	1,35				0,75		1,50		
68	1,35					0,75	1,50		
69	1,35	0,75						1,50	
70	1,35		0,75					1,50	
71	1,35			0,75				1,50	
72	1,35				0,75			1,50	
73	1,35					0,75		1,50	
74	1,35	0,75							1,50
75	1,35		0,75						1,50
76	1,35			0,75					1,50
77	1,35				0,75				1,50
78	1,35					0,75			1,50

4.2.2 Kombinační rovnice pro mezní stav použitelnosti:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \psi_{0,2} \cdot Q_{k,2}$$

a) $(G1_k + G2_k)$

Kombinace č.	$G1 + G2$
1P	1,00

b) $(G1_k + G2_k) + Q_k$, kde: $Q_k = S1; S2L; S2P; S3L; S3P; V1L; V1P; V2$

Kombinace č.	$G1 + G2$	S1	S2L	S2P	S3L	S3P	V1L	V1P	V2
2P	1,00	1,00							
3P	1,00		1,00						
4P	1,00			1,00					
5P	1,00				1,00				
6P	1,00					1,00			
7P	1,00						1,00		
8P	1,00							1,00	
9P	1,00								1,00

c) $(G1_k + G2_k) + Q_{k,1} + \psi_{0,2} \cdot Q_{k,2}$, kde: $\psi_{0,2} = 0,60$

$Q_{k,1} = S1; S2L; S2P; S3L; S3P$

$Q_{k,2} = V1L; V1P; V2$

Kombinace č.	$G1 + G2$	S1	S2L	S2P	S3L	S3P	V1L	V1P	V2
10P	1,00	1,00					0,60		
11P	1,00	1,00						0,60	
12P	1,00	1,00							0,60
13P	1,00		1,00				0,60		
14P	1,00		1,00					0,60	
15P	1,00		1,00						0,60
16P	1,00			1,00			0,60		
17P	1,00			1,00				0,60	
18P	1,00			1,00					0,60
19P	1,00				1,00		0,60		
20P	1,00				1,00			0,60	
21P	1,00				1,00				0,60
22P	1,00					1,00	0,60		
23P	1,00					1,00		0,60	
24P	1,00					1,00			0,60

d) $(G1_k + G2_k) + Q_{k,1} + \psi_{0,2} \cdot Q_{k,2}$, kde: $\psi_{0,2} = 0,50$

$Q_{k,1} = V1L; V1P; V2$

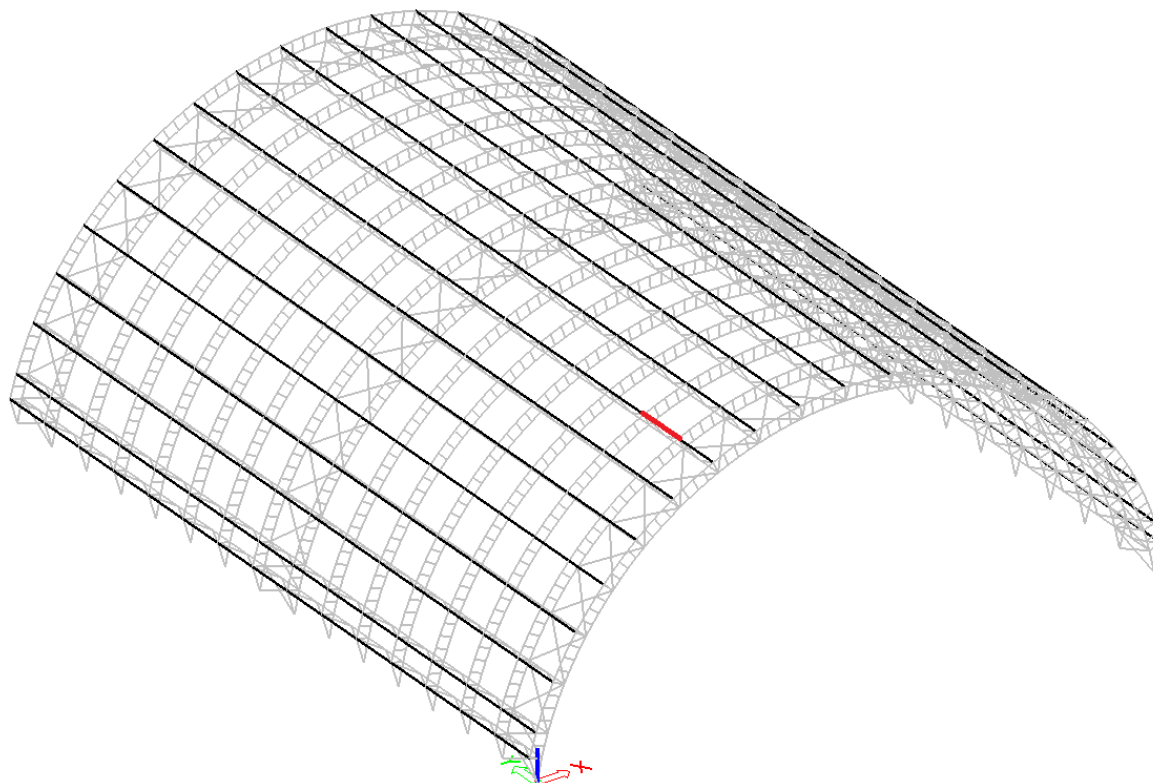
$Q_{k,2} = S1; S2L; S2P; S3L; S3P$

Kombinace č.	$G1 + G2$	S1	S2L	S2P	S3L	S3P	V1L	V1P	V2
25P	1,00	0,50					1,00		
26P	1,00		0,50				1,00		
27P	1,00			0,50			1,00		
28P	1,00				0,50		1,00		
29P	1,00					0,50	1,00		
30P	1,00	0,50						1,00	
31P	1,00		0,50					1,00	
32P	1,00			0,50				1,00	
33P	1,00				0,50			1,00	
34P	1,00					0,50		1,00	
35P	1,00	0,50							1,00
36P	1,00		0,50						1,00
37P	1,00			0,50					1,00
38P	1,00				0,50				1,00
39P	1,00					0,50			1,00

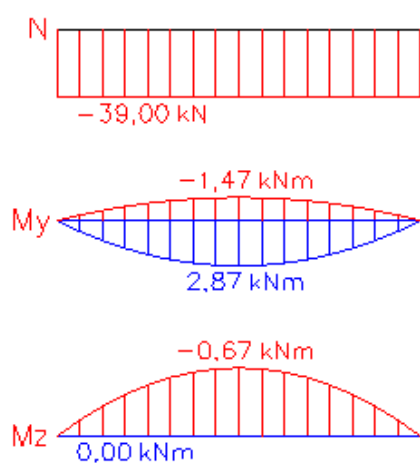
5. DIMENZOVÁNÍ

5.1 Vaznice

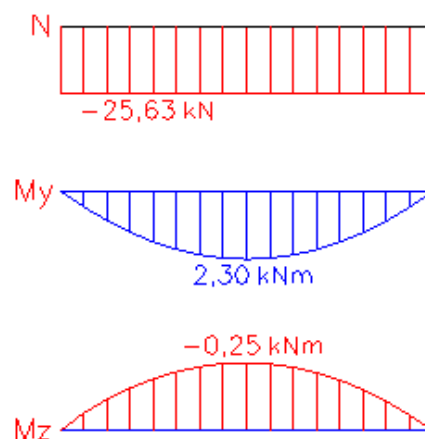
Poloha nejvíce namáhané vaznice na konstrukci:



Obálka vnitřních sil:



Vnitřní síly z kritické kombinace (K45):



Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém průřezu:

$$N_{Ed} = -25,632 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 2,300 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -0,252 \text{ kNm}$$

Materiálové charakteristiky:

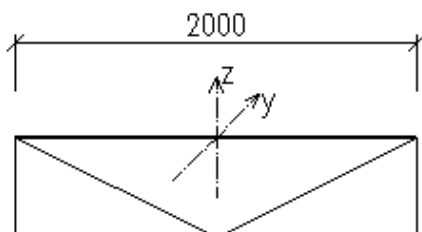
Ocel S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Geometrie:

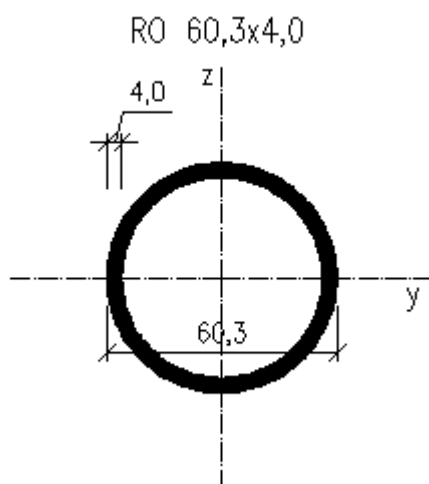


$$L = 2,000 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{cr} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 2,000 = 2,000 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = \lambda = L_{cr} \cdot \sqrt{\frac{A}{I}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{7,070 \cdot 10^{-4}}{2,820 \cdot 10^{-7}}} = 100,140$$

Průřezové charakteristiky:



$$d = 6,030 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$t = 4,000 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$A = 7,070 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = I = 2,820 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = W_{pl} = 1,264 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{d}{t} = \frac{60,3}{4} = 15,075 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,130 \Rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

5.1.1 Posouzení:

5.1.1.1 Tlak:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{7,070 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 250,985 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{25,632}{250,985} = 0,102 \leq 1,0$$

5.1.1.2 Vzpěrná únosnost:

Křivka vzpěrné pevnosti $a \Rightarrow \alpha = 0,21$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 2,820 \cdot 10^{-7}}{2,000^2} = 146,119 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{7,070 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{146,119}} = 1,311$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,311 - 0,2) + 1,311^2] = 1,475$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,475 + \sqrt{1,475^2 - 1,311^2}} = 0,465$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,465 \cdot 7,070 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 116,628 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{25,632}{116,628} = \mathbf{0,220 \leq 1,0}$$

5.1.1.3 Ohybový moment:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,264 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 4,487 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{2,300}{4,487} = \mathbf{0,513 \leq 1,0}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,252}{4,487} = \mathbf{0,056 \leq 1,0}$$

5.1.1.4 Kombinace ohybu a osového tlaku:

$$N_{Rk} = f_y \cdot A = 355 \cdot 10^3 \cdot 7,070 \cdot 10^{-4} = 250,985 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = f_y \cdot W_{pl} = 355 \cdot 10^3 \cdot 1,264 \cdot 10^{-5} = 4,487 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = 1,311$$

$$\chi_y = \chi_z = 0,465$$

Pro pruty necitlivé na distorzní deformace se uvažuje $\chi_{LT} = 1,0$.

Interakční součinitele podle přílohy B

$$\alpha_{h,y} = \alpha_{h,z} = \alpha_h = 0$$

$$\psi_y = \psi_z = 0$$

$$C_{my} = C_{mz} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0 = 0,95$$

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

$$k_{yy} = 0,95 \cdot \left(1 + (1,311 - 0,2) \cdot \frac{25,632}{\frac{0,465 \cdot 250,985}{1,00}} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{25,632}{\frac{0,465 \cdot 250,985}{1,00}} \right)$$

$$k_{yy} = 1,182 \not\leq 1,117 \Rightarrow k_{yy} = 1,117$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,95 \cdot \left(1 + (1,311 - 0,2) \cdot \frac{25,632}{\frac{0,465 \cdot 250,985}{1,00}} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{25,632}{\frac{0,465 \cdot 250,985}{1,00}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,182 \not\leq 1,117 \Rightarrow k_{zz} = 1,117$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,117 = 0,670$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,117 = 0,670$$

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

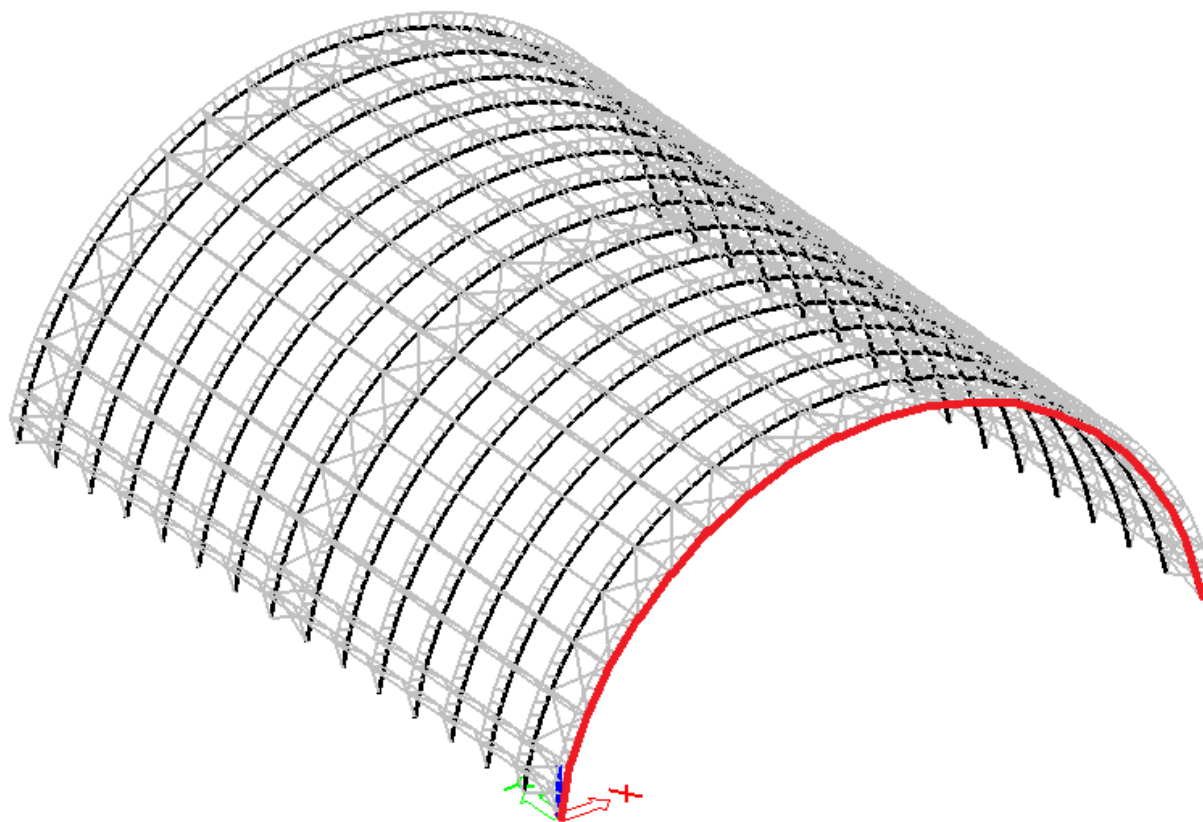
$$\frac{25,632}{\frac{0,465 \cdot 250,985}{1,00}} + 1,117 \cdot \frac{2,300}{\frac{1,0 \cdot 4,487}{1,00}} + 0,670 \cdot \frac{0,252}{\frac{1,0 \cdot 4,487}{1,00}} = \mathbf{0,830} \leq \mathbf{1,0}$$

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

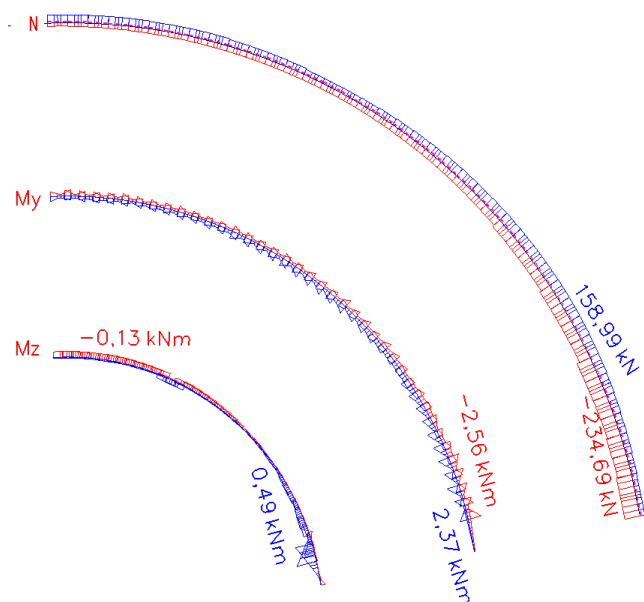
$$\frac{25,632}{\frac{0,465 \cdot 250,985}{1,00}} + 0,670 \cdot \frac{2,300}{\frac{1,0 \cdot 4,487}{1,00}} + 1,117 \cdot \frac{0,252}{\frac{1,0 \cdot 4,487}{1,00}} = \mathbf{0,626} \leq \mathbf{1,0}$$

5.2 Dolní pás

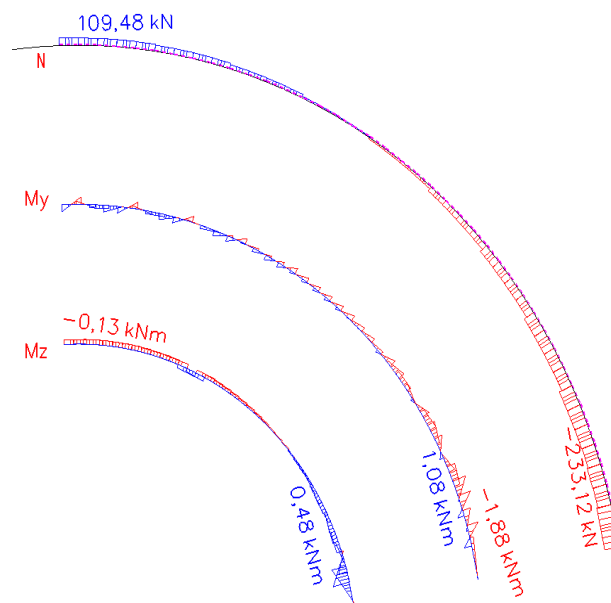
Poloha nejvíce namáhaného dolního pásu vazníku na konstrukci:



Obálka vnitřních sil:



Vnitřní síly z kritické kombinace (K75):



Vnitřní síly v kritickém průřezu:

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= -233,120 \text{ kN} \\ M_{y,Ed} &= -1,120 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed} &= 0,160 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Materiálové charakteristiky:

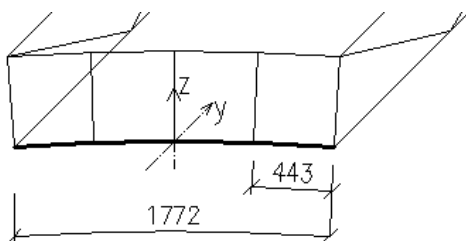
Ocel S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Geometrie:



$$L = 0,443 \text{ m}$$

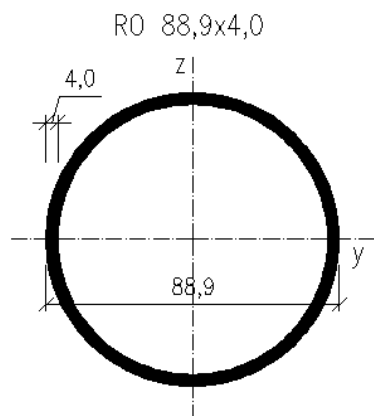
$$L_{cr,y} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 0,443 = 0,443 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = \beta \cdot L \cdot 4 = 1,0 \cdot 0,443 \cdot 4 = 1,772 \text{ m}$$

$$\lambda_y = L_{cr,y} \cdot \sqrt{\frac{A}{I}} = 0,443 \cdot \sqrt{\frac{1,070 \cdot 10^{-3}}{9,630 \cdot 10^{-7}}} = 14,767$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \cdot \sqrt{\frac{A}{I}} = 1,772 \cdot \sqrt{\frac{1,070 \cdot 10^{-3}}{9,630 \cdot 10^{-7}}} = 59,067$$

Průřezové charakteristiky:



$$d = 8,890 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$t = 4,000 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$A = 1,070 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = I = 9,630 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = W_{pl} = 2,880 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{d}{t} = \frac{88,9}{4,0} = 22,225 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,130 \Rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

5.2.1 Posouzení:

5.2.1.1 Tlak:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,070 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 379,850 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{233,120}{379,850} = 0,614 \leq 1,0$$

5.2.1.2 Vzpěrná únosnost:

Křivka vzpěrné pevnosti $a \Rightarrow \alpha = 0,21$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 9,630 \cdot 10^{-7}}{0,443^2} = 10170,396 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,070 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{10170,396}} = 0,193 \leq 0,2 \Rightarrow \text{účinky vzpěru je možno zanedbat}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 9,630 \cdot 10^{-7}}{1,772^2} = 635,650 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{1,070 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{635,650}} = 0,598$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,598 - 0,2) + 0,598^2] = 0,720$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,720 + \sqrt{0,720^2 - 0,598^2}} = 0,892$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,892 \cdot 1,070 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 338,826 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{233,120}{338,826} = \mathbf{0,688 \leq 1,0}$$

5.2.1.3 Ohybový moment:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,880 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 10,224 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{1,120}{10,224} = \mathbf{0,110 \leq 1,0}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,160}{10,224} = \mathbf{0,016 \leq 1,0}$$

5.2.1.4 Kombinace ohybu a osového tlaku:

$$N_{Rk} = f_y \cdot A = 355 \cdot 10^3 \cdot 1,070 \cdot 10^{-3} = 379,850 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = f_y \cdot W_{pl} = 355 \cdot 10^3 \cdot 2,880 \cdot 10^{-5} = 10,224 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_y = 0,193$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,598$$

$$\chi_y = 1,000$$

$$\chi_z = 0,892$$

Pro pruty necitlivé na distorzní deformace se uvažuje $\chi_{LT} = 1,0$.

Interakční součinitele podle přílohy B

$$\psi_y = 1$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi_y = 0,6 + 0,4 \cdot 1 = 1,00$$

$$\alpha_{h,z} = 1$$

$$\psi_z = 1$$

$$C_{mz} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 1 = 1,00$$

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

$$k_{yy} = 1,00 \cdot \left(1 + (0,193 - 0,2) \cdot \frac{233,120}{\frac{1,000 \cdot 379,850}{1,00}} \right) \leq 1,00 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{233,120}{\frac{1,000 \cdot 379,850}{1,00}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,996 \leq 1,491 \Rightarrow k_{yy} = 0,996$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,00 \cdot \left(1 + (0,598 - 0,2) \cdot \frac{233,120}{\frac{0,892 \cdot 379,850}{1,00}} \right) \leq 1,00 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{233,120}{\frac{0,892 \cdot 379,850}{1,00}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,273 \leq 1,550 \Rightarrow k_{zz} = 1,273$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,273 = 0,764$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,996 = 0,598$$

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

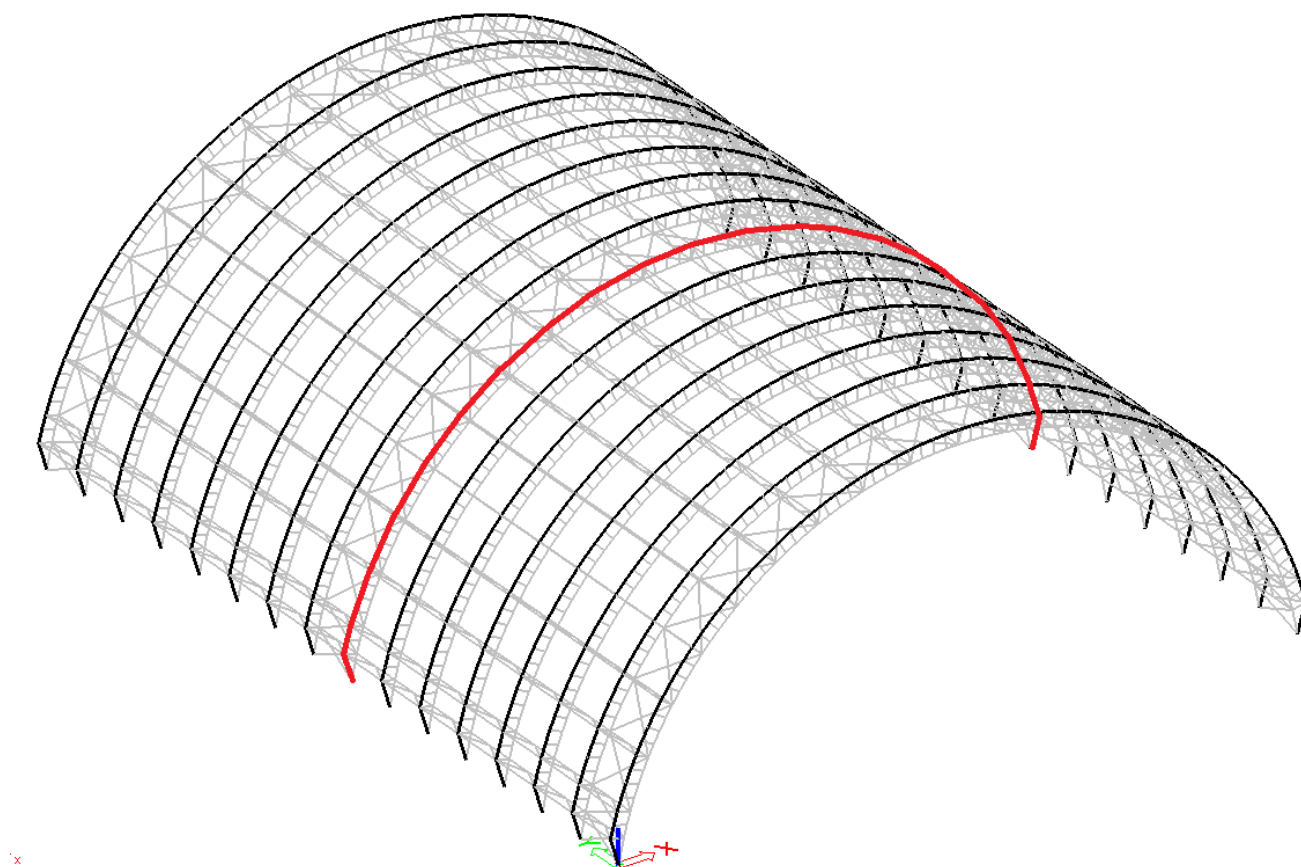
$$\frac{233,120}{\frac{1,000 \cdot 379,850}{1,00}} + 0,996 \cdot \frac{1,120}{\frac{1,0 \cdot 10,224}{1,00}} + 0,764 \cdot \frac{0,160}{\frac{1,0 \cdot 10,224}{1,00}} = \mathbf{0,747 \leq 1,0}$$

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

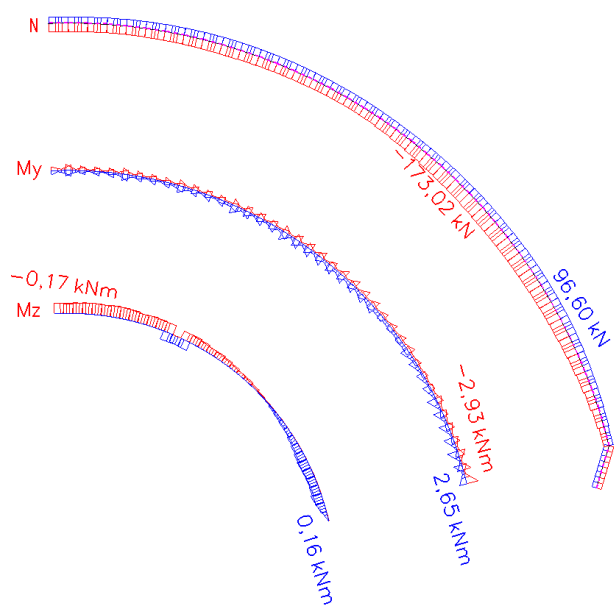
$$\frac{233,120}{\frac{0,892 \cdot 379,850}{1,00}} + 0,598 \cdot \frac{1,120}{\frac{1,0 \cdot 10,224}{1,00}} + 1,273 \cdot \frac{0,160}{\frac{1,0 \cdot 10,224}{1,00}} = \mathbf{0,773 \leq 1,0}$$

5.3 Horní pás

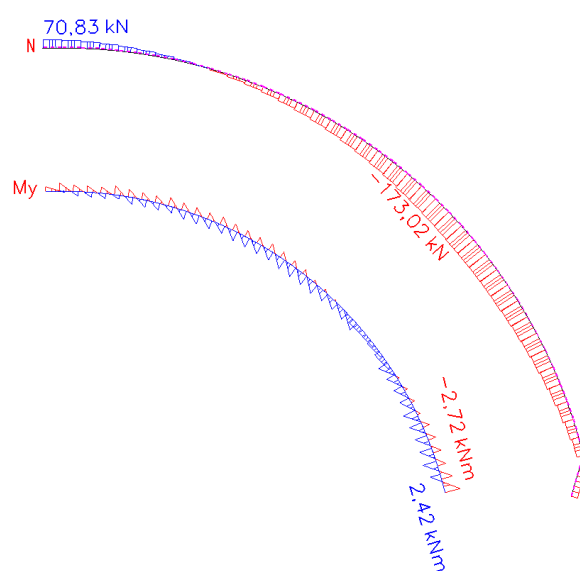
Poloha nejvíce namáhaného horního pásu vazníku na konstrukci:



Obálka vnitřních sil:



Vnitřní síly z kritické kombinace (K61):



Vnitřní síly v kritickém průřezu: kombinace 61

$$N_{Ed} = -173,024 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 0,910 \text{ kNm}$$

Materiálové charakteristiky:

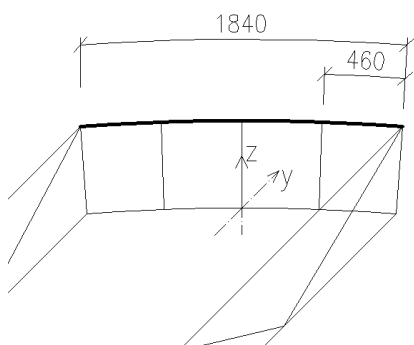
Ocel S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Geometrie:



$$L = 0,460 \text{ m}$$

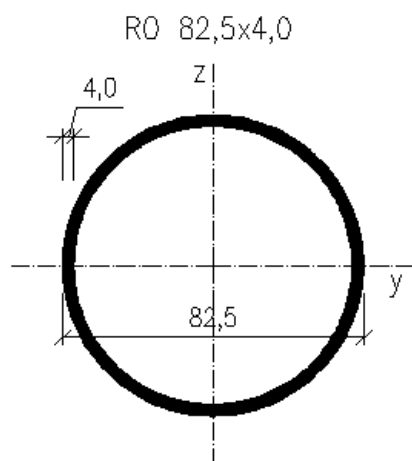
$$L_{cr,y} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 0,460 = 0,460 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = \beta \cdot L \cdot 4 = 1,0 \cdot 0,460 \cdot 4 = 1,840 \text{ m}$$

$$\lambda_y = L_{cr,y} \cdot \sqrt{\frac{A}{I}} = 0,460 \cdot \sqrt{\frac{9,860 \cdot 10^{-4}}{7,620 \cdot 10^{-7}}} = 16,547$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \cdot \sqrt{\frac{A}{I}} = 1,840 \cdot \sqrt{\frac{9,860 \cdot 10^{-4}}{7,620 \cdot 10^{-7}}} = 66,188$$

Průřezové charakteristiky:



$$d = 8,250 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$t = 4,000 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$A = 9,860 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = I = 7,620 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = W_{pl} = 2,460 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{d}{t} = \frac{82,5}{4,0} = 20,625 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,130 \Rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

5.3.1 Posouzení:

5.3.1.1 Tlak:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{9,860 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 350,030 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{173,024}{350,030} = \mathbf{0,494 \leq 1,0}$$

5.3.1.2 Vzpěrná únosnost:

Křivka vzpěrné pevnosti $a \Rightarrow \alpha = 0,21$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 7,620 \cdot 10^{-7}}{0,460^2} = 7463,772 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{9,860 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{7463,772}} = 0,217$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,217 - 0,2) + 0,217^2] = 0,525$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,525 + \sqrt{0,525^2 - 0,217^2}} = 0,997$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,997 \cdot 9,860 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 348,875 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{173,024}{348,875} = \mathbf{0,496 \leq 1,0}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 7,620 \cdot 10^{-7}}{1,840^2} = 466,486 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{9,860 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{466,486}} = 0,750$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,750 - 0,2) + 0,750^2] = 0,839$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,839 + \sqrt{0,839^2 - 0,750^2}} = 0,823$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,823 \cdot 9,860 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 287,936 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{173,024}{287,936} = \mathbf{0,601 \leq 1,0}$$

5.3.1.3 Ohybový moment:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,460 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 8,733 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,910}{8,733} = \mathbf{0,104 \leq 1,0}$$

5.3.1.4 Kombinace ohybu a osového tlaku:

$$N_{Rk} = f_y \cdot A = 355 \cdot 10^3 \cdot 9,860 \cdot 10^{-4} = 350,030 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot W_{pl} = 355 \cdot 10^3 \cdot 2,460 \cdot 10^{-5} = 8,733 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_y = 0,217$$

$$\chi_y = 0,997$$

Pro pruty necitlivé na distorzní deformace se uvažuje $\chi_{LT} = 1,0$.

Interakční součinitele podle přílohy B

$$\psi_y = 1$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi_y = 0,6 + 0,4 \cdot 1 = 1,00$$

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

$$k_{yy} = 1,00 \cdot \left(1 + (0,217 - 0,2) \cdot \frac{173,024}{0,997 \cdot 350,030} \right) \leq 1,00 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{173,024}{0,997 \cdot 350,030} \right)$$

$$k_{yy} = 1,008 \leq 1,397 \Rightarrow k_{yy} = 1,009$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,008 = 0,605$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} = \frac{173,024}{0,997 \cdot 350,030} + 1,008 \cdot \frac{0,910}{1,0 \cdot 8,733} = \mathbf{0,601 \leq 1,0}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} = \frac{173,024}{0,823 \cdot 350,030} + 0,605 \cdot \frac{0,910}{1,0 \cdot 8,733} = \mathbf{0,716 \leq 1,0}$$

5.4 Horní a dolní pás – globální stabilita oblouku

Vnitřní síly v kritickém průřezu:

$$N_{Ed} = -234,690 \text{ kN}$$

Materiálové charakteristiky:

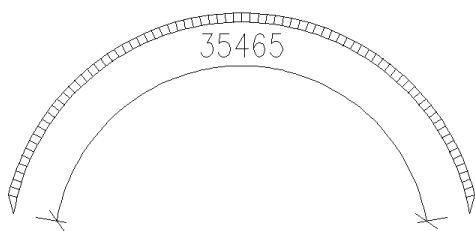
Ocel S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Geometrie:

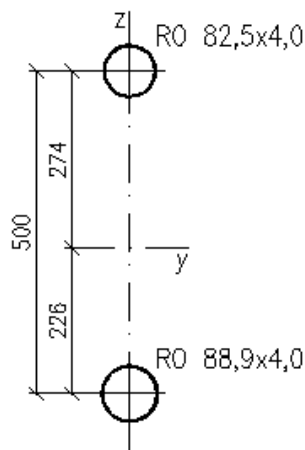


$$L = 35,465 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = \beta \cdot L = 0,625 \cdot 36,361 = 22,166 \text{ m}$$

$$\lambda_y = L_{cr,y} \cdot \sqrt{\frac{A}{I}} = 22,166 \cdot \sqrt{\frac{2,056 \cdot 10^{-3}}{1,304 \cdot 10^{-4}}} = 88,016$$

Průřezové charakteristiky:



$$A_{hp} = 9,860 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_{y,hp} = 7,620 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$A_{dp} = 1,070 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_{y,dp} = 9,630 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$A = A_{dp} + A_{hp} = 1,070 \cdot 10^{-3} + 9,860 \cdot 10^{-4} = 2,056 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_{y,dp} + A_{dp} \cdot 0,226^2 + I_{y,hp} + A_{hp} \cdot 0,274^2 = 1,304 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

5.4.1 Posouzení:

5.4.1.1 Vzpěrná únosnost:

Křivka vzpěrné pevnosti $a \Rightarrow \alpha = 0,21$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 1,304 \cdot 10^{-4}}{22,166^2} = 550,094 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,056 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{550,094}} = 1,152$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,152 - 0,2) + 1,152^2] = 1,263$$

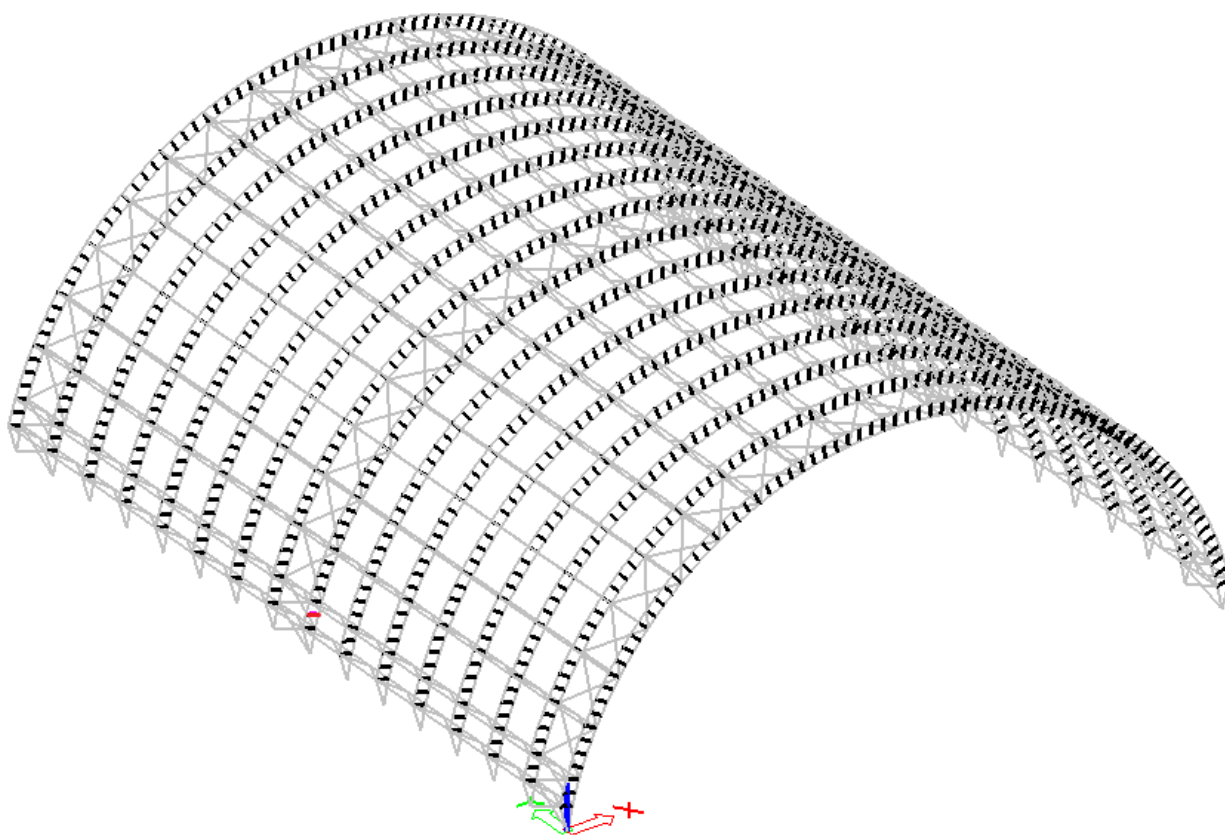
$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,263 + \sqrt{1,263^2 - 1,152^2}} = 0,561$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,561 \cdot 2,056 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 409,663 \text{ kN}$$

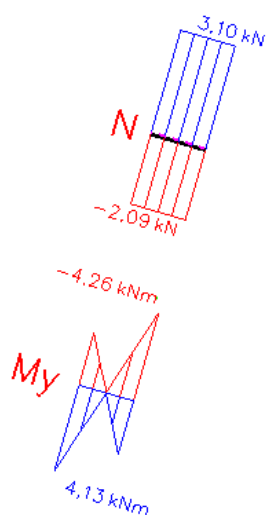
$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{234,690}{409,663} = 0,573 \leq 1,0$$

5.5 Mezipásové svislice

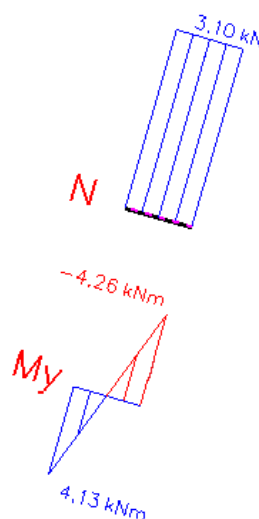
Poloha nejvíce namáhané mezipásové svislice na konstrukci:



Obálka vnitřních sil:



Vnitřní síly z kritické kombinace (K8):



Vnitřní síly v kritickém průřezu: kombinace 8

$$N_{Ed} = 3,10 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -4,263 \text{ kNm}$$

Materiálové charakteristiky:

Ocel S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

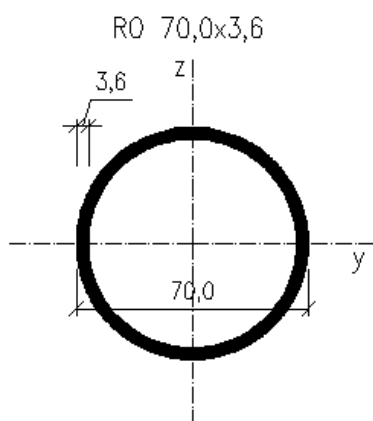
Geometrie:

$$L = 0,500 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{cr} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 0,500 = 0,500 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = \lambda = L_{cr} \cdot \sqrt{\frac{A}{I}} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{7,510 \cdot 10^{-4}}{4,150 \cdot 10^{-7}}} = 21,270$$

Průřezové charakteristiky:



$$d = 7,000 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$t = 3,600 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$A = 7,510 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = I = 4,150 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = W_{pl} = 1,580 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{d}{t} = \frac{70}{3,6} = 19,444 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,130 \Rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

5.5.1 Posouzení:

5.5.1.1 Tah:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7,510 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 266,605 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{3,10}{266,605} = 0,012 \leq 1,0$$

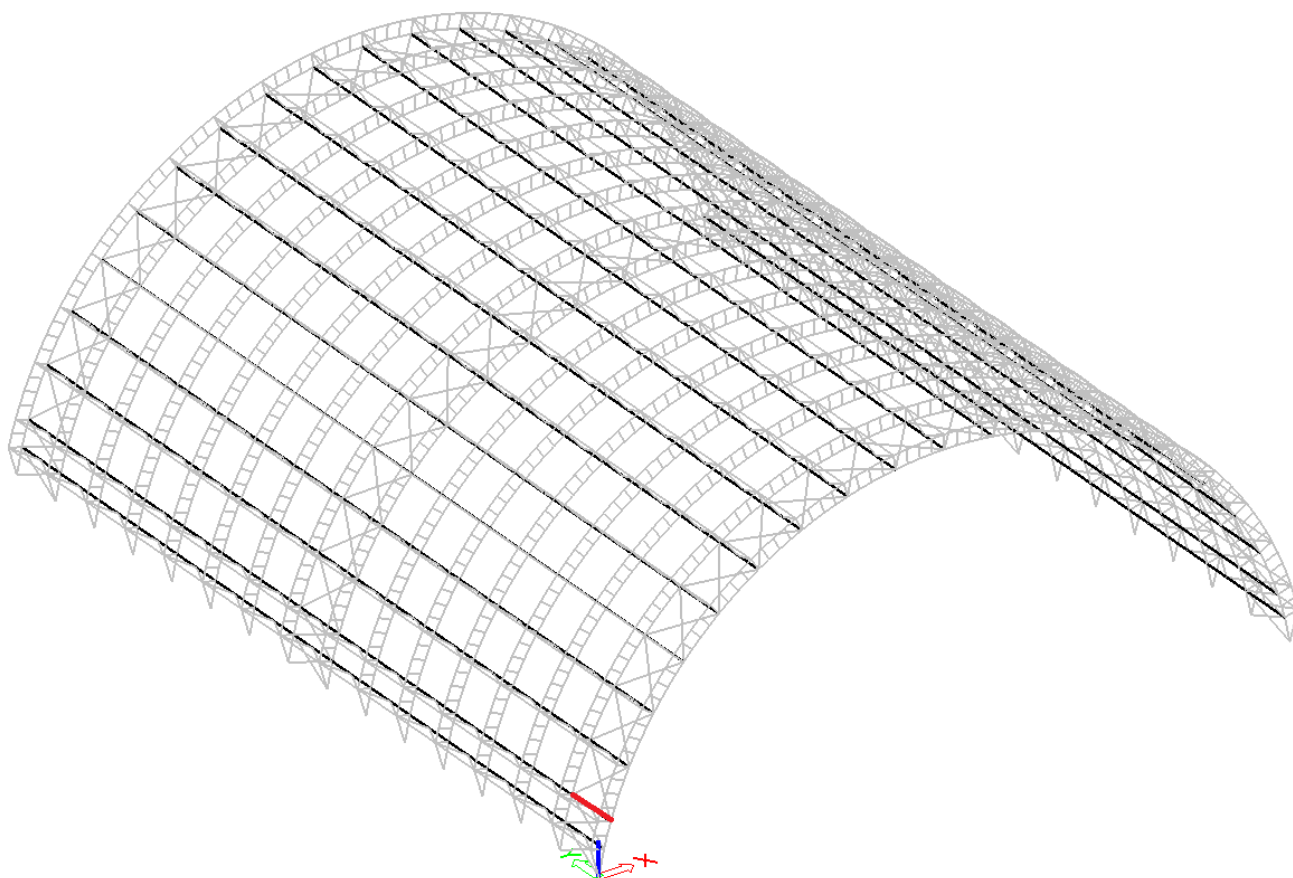
5.5.1.2 Ohybový moment:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,580 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 5,609 \text{ kNm}$$

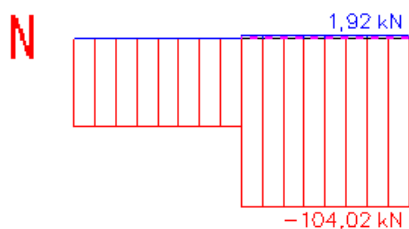
$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{4,263}{5,609} = 0,760 \leq 1,0$$

5.6 Dolní pás podélného ztužidla

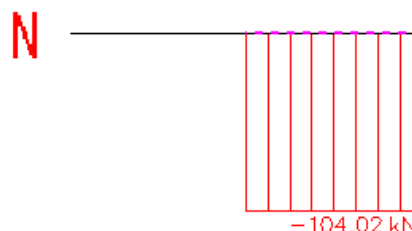
Poloha nejvíce namáhaného dolního pásu podélného ztužidla na konstrukci:



Obálka vnitřních sil:



Vnitřní síly z kritické kombinace (K72):



Vnitřní síly v kritickém průřezu: kombinace 72

$$N_{Ed} = -104,029 \text{ kN}$$

Materiálové charakteristiky:

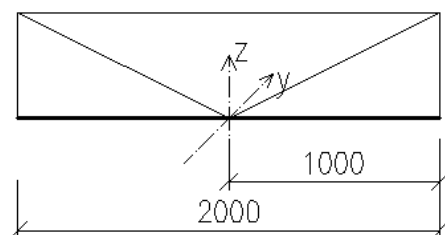
Ocel S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Geometrie:



$$L = 1,000 \text{ m}$$

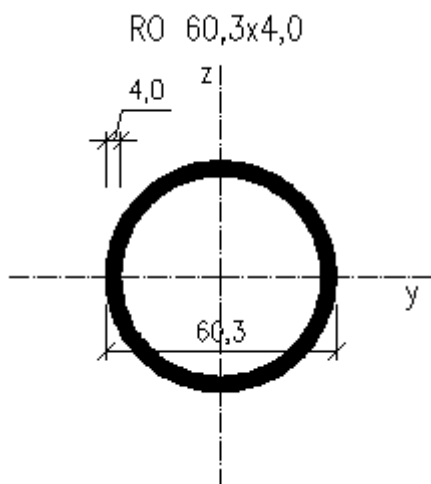
$$L_{cr,y} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 1,000 = 1,000 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 2,000 = 2,000 \text{ m}$$

$$\lambda_y = L_{cr,y} \cdot \sqrt{\frac{A}{I}} = 1,000 \cdot \sqrt{\frac{7,070 \cdot 10^{-4}}{2,820 \cdot 10^{-7}}} = 50,071$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \cdot \sqrt{\frac{A}{I}} = 2,000 \cdot \sqrt{\frac{7,070 \cdot 10^{-4}}{2,820 \cdot 10^{-7}}} = 100,142$$

Průřezové charakteristiky:



$$d = 6,030 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$t = 4,000 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$A = 7,070 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = I = 2,820 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = W_{pl} = 1,264 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{d}{t} = \frac{60,3}{4,0} = 15,075 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,130 \Rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

5.6.1 Posouzení:

5.6.1.1 Tlak:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7,070 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 250,985 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{104,029}{250,985} = 0,414 \leq 1,0$$

5.6.1.2 Vzpěrná únosnost:

Křivka vzpěrné pevnosti $a \Rightarrow \alpha = 0,21$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 2,820 \cdot 10^{-7}}{1,000^2} = 584,478 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{7,070 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{584,478}} = 0,655$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,655 - 0,2) + 0,655^2] = 0,762$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,762 + \sqrt{0,762^2 - 0,655^2}} = 0,868$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,868 \cdot 7,070 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 217,855 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{104,029}{217,855} = \mathbf{0,478 \leq 1,0}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 2,820 \cdot 10^{-7}}{2,000^2} = 146,119 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{7,070 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{146,119}} = 1,311$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,311 - 0,2) + 1,311^2] = 1,476$$

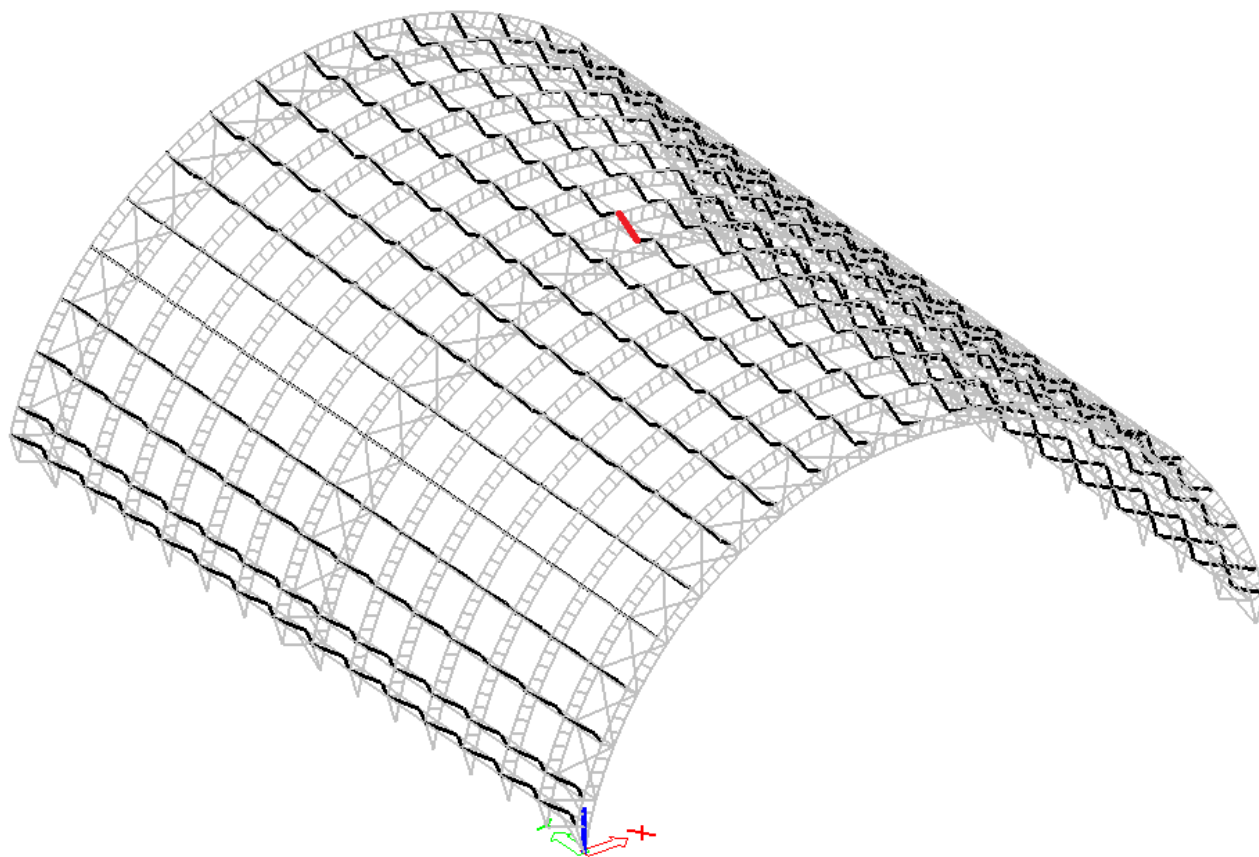
$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,476 + \sqrt{1,476^2 - 1,311^2}} = 0,464$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,464 \cdot 7,070 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 116,512 \text{ kN}$$

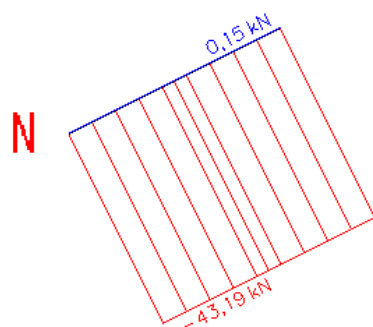
$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{104,029}{116,512} = \mathbf{0,893 \leq 1,0}$$

5.7 Vzpěry podélného ztužidla

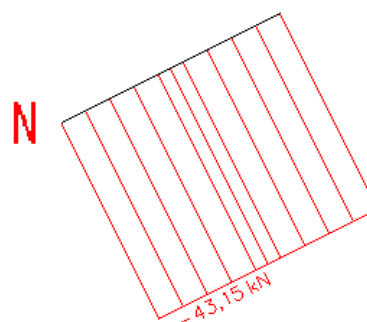
Poloha nejvíce namáhané vzpěry podélného ztužidla na konstrukci:



Obálka vnitřních sil:



Vnitřní síly z kritické kombinace (K18):



Vnitřní síly v kritickém průřezu: kombinace 18

$$N_{Ed} = -43,190 \text{ kN}$$

Materiálové charakteristiky:

Ocel S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

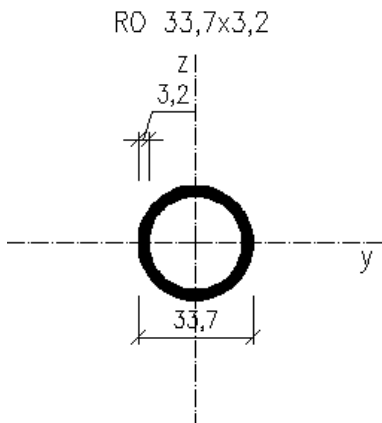
Geometrie:

$$L = 1,118 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{cr} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 1,118 = 1,118 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = \lambda = L_{cr} \cdot \sqrt{\frac{A}{I}} = 1,118 \cdot \sqrt{\frac{3,070 \cdot 10^{-4}}{3,600 \cdot 10^{-8}}} = 1,032$$

Průřezové charakteristiky:



$$d = 3,370 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$t = 3,200 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$A = 3,070 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = I = 3,600 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = W_{pl} = 2,980 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{d}{t} = \frac{33,7}{3,2} = 10,531 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,130 \Rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

5.7.1 Posouzení:

5.7.1.1 Tlak:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,070 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 108,985 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{43,190}{108,985} = 0,396 \leq 1,0$$

5.7.1.2 Vzpěrná únosnost:

Křivka vzpěrné pevnosti $a \Rightarrow \alpha = 0,21$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 3,600 \cdot 10^{-8}}{1,118^2} = 59,695 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{3,070 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{59,695}} = 1,351$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,351 - 0,2) + 1,351^2] = 1,534$$

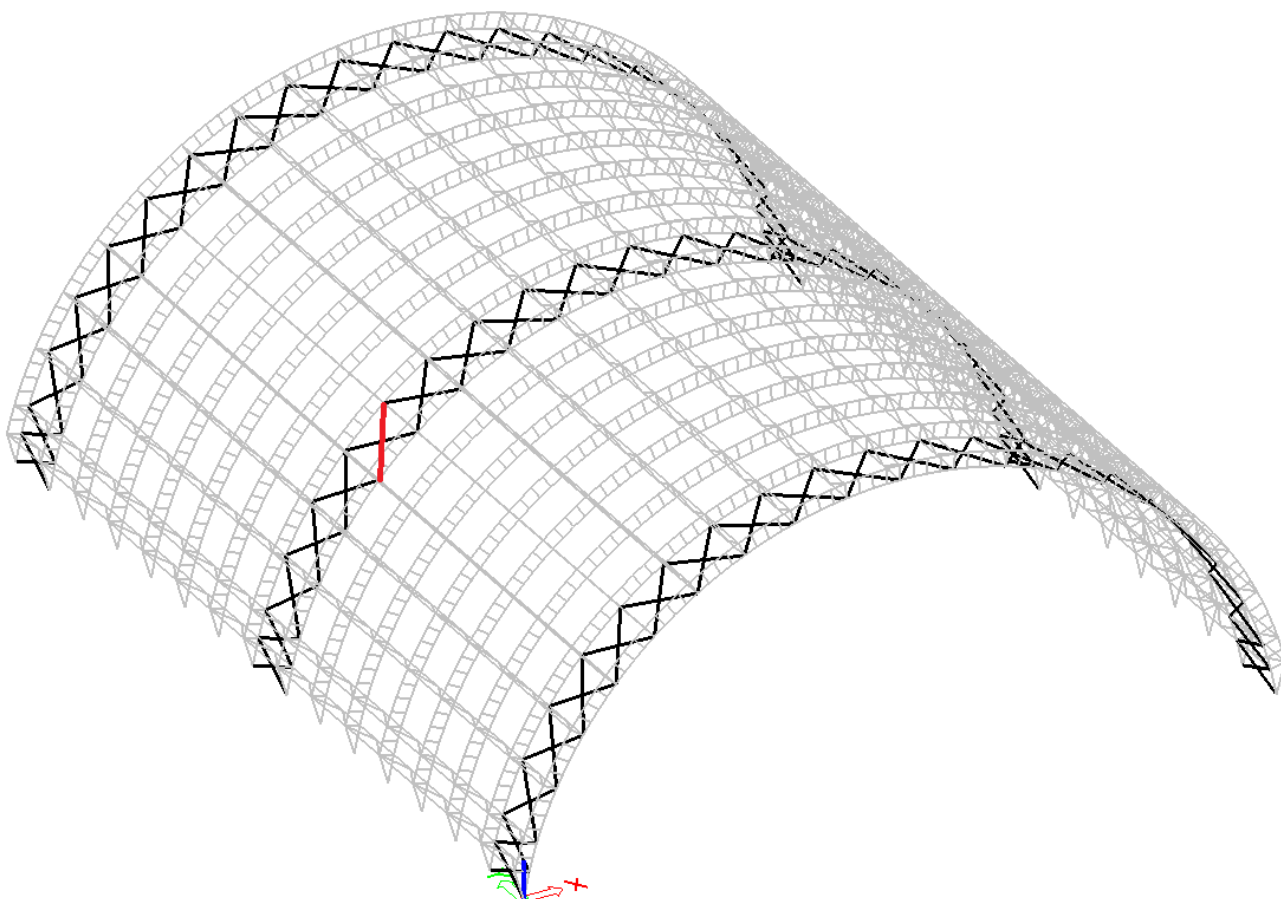
$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,534 + \sqrt{1,534^2 - 1,351^2}} = 0,442$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,442 \cdot 3,070 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 48,224 \text{ kN}$$

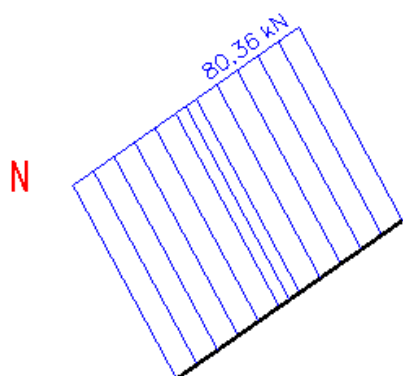
$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{43,190}{48,224} = \mathbf{0,896 \leq 1,0}$$

5.8 Táhla příčného ztužidla

Poloha nejvíce namáhaného táhla na konstrukci:



Obálka vnitřních sil = Vnitřní síly z kritické kombinace (K72):



Vnitřní síly v kritickém průřezu: kombinace 72

$$N_{Ed} = 80,362 \text{ kN}$$

Materiálové charakteristiky:

Ocel S460

$$f_y = 460 \text{ MPa}$$

$$f_u = 610 \text{ MPa}$$

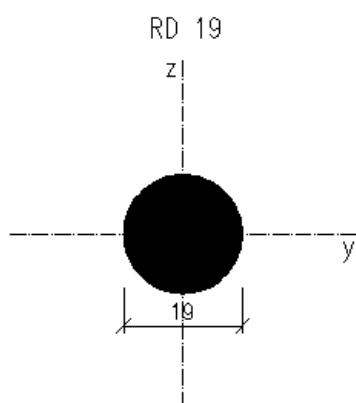
$$E = 210 \text{ GPa}$$

Geometrie:

$$L = 1,336 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{cr} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 1,336 = 1,336 \text{ m}$$

Průřezové charakteristiky:



$$d = 1,900 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$A = 2,834 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

5.8.1 Posouzení:

5.8.1.1 Tah:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,834 \cdot 10^{-4} \cdot 460 \cdot 10^3}{1,00} = 130,364 \text{ kN}$$

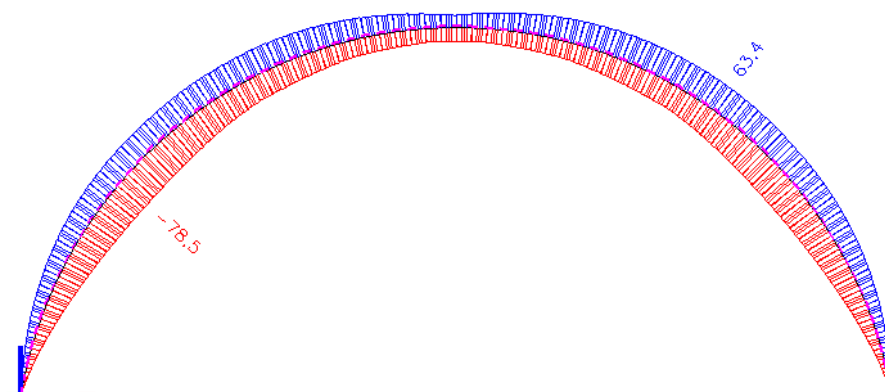
$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{80,362}{130,364} = 0,616 \leq 1,0$$

6. POSOUZENÍ MEZNÍHO STAVU POUŽITELNOSTI

6.1 Mezní průhyb

6.1.1 Vazník

Extrémní průhyb určen v programu SCIA Engineer, viz obálka:



$$u_{z,max}(+) = 63,4 \text{ mm} - \text{z kombinace } 26P [(G1 + G2) + V1L + 0,5 \cdot S2L]$$

$$\delta_2 = \frac{L}{250} = \frac{25000}{250} = 100 \text{ mm}$$

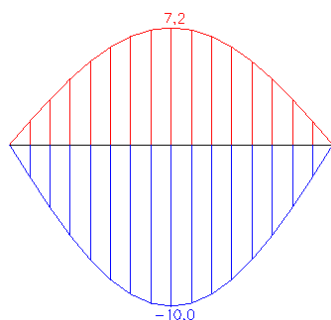
$$63,4 \text{ mm} \leq 100 \text{ mm}$$

$$u_{z,max}(-) = 78,5 \text{ mm} - \text{z kombinace } 28P [(G1 + G2) + V1L + 0,5 \cdot S3L]$$

$$78,5 \text{ mm} \leq 100 \text{ mm}$$

6.1.2 Vaznice

Extrémní průhyb určen v programu SCIA Engineer, viz obálka:



$$u_{z,max}(+) = 7,2 \text{ mm} - \text{z kombinace } 7P [(G1 + G2) + V1L]$$

$$\delta_2 = \frac{L}{200} = \frac{2000}{200} = 10,0 \text{ mm}$$

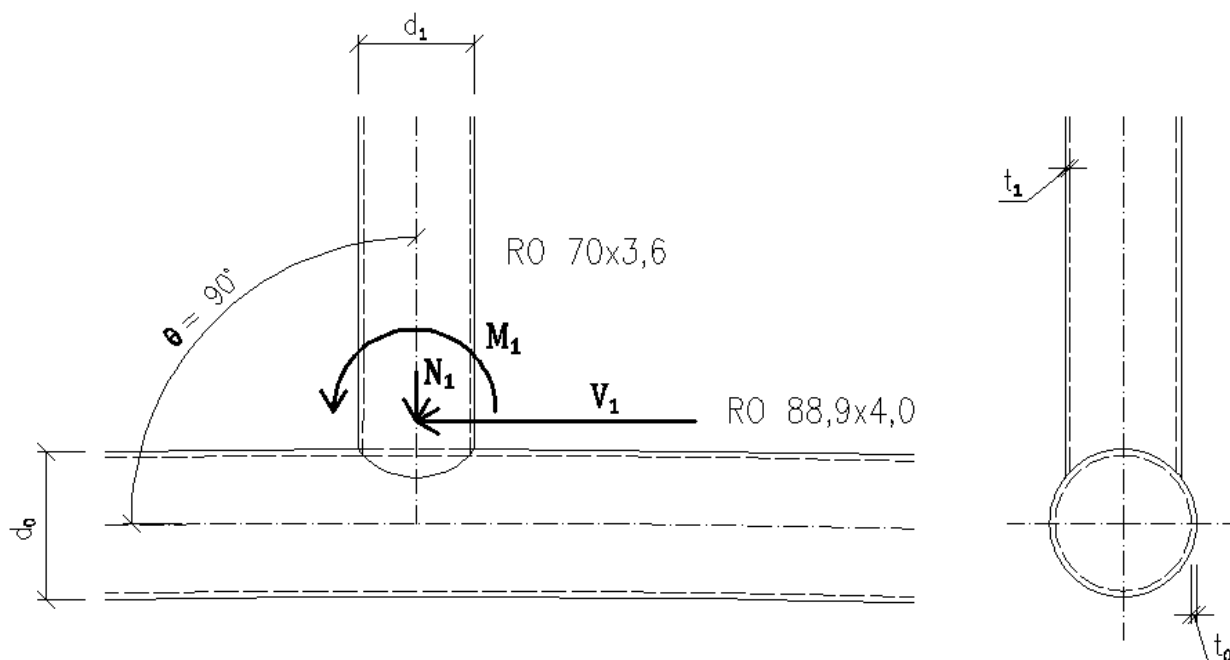
$$7,2 \text{ mm} \leq 10,0 \text{ mm}$$

$$u_{z,max}(-) = 10,0 \text{ mm} - \text{z kombinace } 3P [(G1 + G2) + S2L]$$

$$10,0 \text{ mm} \leq 10,0 \text{ mm}$$

7. STYČNÍKY

7.1 Styčník mezipásové svislice a dolního pásu – styčník typu T



7.1.1 Posouzení svaru:

Vnitřní síly v kritickém průřezu pro posouzení svaru: kombinace 8

$$N_{1,Ed} = 3,080 \text{ kN}$$

$$V_{1,Ed} = 16,810 \text{ kN}$$

$$M_{1,Ed} = 4,283 \text{ kNm}$$

Předpoklady:

Svar byl posouzen jako koutový, kdy efektivní délka svaru byla uvažována jako délka kružnice = obvod připojovaného prvku.

Toto zjednodušení je na stranu bezpečnou jak z hlediska skutečné délky svaru, tak z hlediska rozdělení napětí. Ve skutečnosti při uvážení geometrie spoje a při daném silovém působení dochází k nárůstu příznivějšího napětí $\sigma_{\perp}$ na úkor $\tau_{\perp}$, z důvodu zvětšení úhlu mezi působící silou a účinnou plochou svaru.

Svar byl posouzen ve dvou bodech viz obrázek.

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 3,6 = 3,96 \text{ mm} \Rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

Bod 1

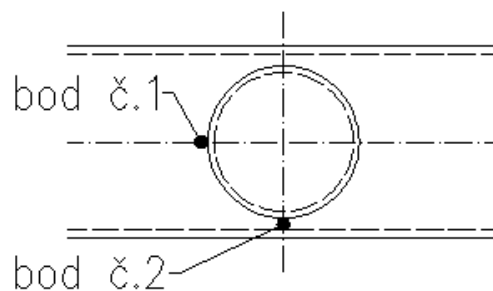
$$L_N = \pi \cdot d = \pi \cdot 70 = 220 \text{ mm}$$

$$A_N = L_N \cdot a = 220 \cdot 4 = 880 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp,N} = \tau_{\perp,N} = \frac{N_{1,Ed}}{A_N \cdot \sqrt{2}} = \frac{3080}{880 \cdot \sqrt{2}} = 2,475 \text{ MPa}$$

$$L_V = 2 \cdot d = 2 \cdot 70 = 140 \text{ mm}$$

$$A_V = L_V \cdot a = 140 \cdot 4 = 560 \text{ mm}^2$$



$$\sigma_{\perp,V} = \tau_{\perp,V} = \frac{V_{1,Ed}}{A_V \cdot \sqrt{2}} = \frac{16810}{560 \cdot \sqrt{2}} = 21,226 \text{ MPa}$$

$$I_M = \frac{\pi}{64} \cdot (d_1^4 - d_2^4) = \frac{\pi}{64} \cdot (78^4 - 70^4) = 6,384 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$W_M = \frac{I_M}{z} = \frac{6,384 \cdot 10^5}{35} = 1,824 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{\perp,M} = \tau_{\perp,M} = \frac{M_{1,Ed}}{W_M \cdot \sqrt{2}} = \frac{4,283 \cdot 10^6}{1,824 \cdot 10^4 \cdot \sqrt{2}} = 166,038 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma_{\perp,N} + \sigma_{\perp,V} + \sigma_{\perp,M} = \tau_{\perp} = 2,475 + 21,226 + 166,038 = 189,739 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{189,739^2 + 3 \cdot 189,739^2} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$379,478 \text{ MPa} \leq 453,330 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 510}{1,25} = 367,200 \text{ MPa}$$

$$189,739 \text{ MPa} \leq 367,200 \text{ MPa}$$

Bod 2

$$L_N = \pi \cdot d = \pi \cdot 70 = 220 \text{ mm}$$

$$A_N = L_N \cdot a = 220 \cdot 4 = 880 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp,N} = \tau_{\perp,N} = \frac{N_{1,Ed}}{A_N \cdot \sqrt{2}} = \frac{3080}{880 \cdot \sqrt{2}} = 2,475 \text{ MPa}$$

$$L_V = 2 \cdot d = 2 \cdot 70 = 140 \text{ mm}$$

$$A_V = L_V \cdot a = 140 \cdot 4 = 560 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \tau_{\parallel,V} = \frac{V_{1,Ed}}{A_V} = \frac{16810}{560} = 30,018 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,M} = \tau_{\perp,M} = 0,000 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma_{\perp,N} = \tau_{\perp} = 2,475 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp} + \tau_{\parallel})^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{2,475^2 + 3 \cdot (2,475 + 30,018)^2} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$52,228 \text{ MPa} \leq 453,330 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 510}{1,25} = 367,200 \text{ MPa}$$

$$37,096 \text{ MPa} \leq 367,200 \text{ MPa}$$

7.1.2 Posouzení stěn prutů:

Podmínky platnosti:

$$0,2 \leq \frac{d_1}{d_0} = \frac{70}{88,9} = 0,787 \leq 1,0$$

$$10 \leq \frac{d_0}{t_0} = \frac{88,9}{4} = 22,225 \leq 50$$

$$10 \leq \frac{d_1}{t_1} = \frac{70}{3,6} = 19,444 \leq 50$$

7.1.2.1 Porušení povrchu pásu – osová síla:

$$\gamma = \frac{d_0}{2 \cdot t_0} = \frac{88,9}{2 \cdot 4} = 11,113$$

$$\beta = \frac{d_1}{d_0} = \frac{70}{88,9} = 0,787$$

$$n_p = 0,724$$

$$k_p = 1,0 - 0,3 \cdot (n_p + n_p^2) = 1,0 - 0,3 \cdot (0,724 + 0,724^2) = 0,626 \leq 1,0$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{\gamma^{0,2} \cdot k_p \cdot f_y \cdot t_0^2}{\sin \theta_1} \cdot (2,8 + 14,2 \cdot \beta^2)}{\gamma_{M5}} = \frac{11,113^{0,2} \cdot 0,626 \cdot 355 \cdot 4,0^2}{1} \cdot (2,8 + 14,2 \cdot 0,787^2)}{1,0}$$

$$N_{1,Rd} = 66,630 \text{ kN} \geq N_{1,Ed} = 3,080 \text{ kN}$$

7.1.2.2 Porušení smykem – osová síla:

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \frac{1 + \sin \theta_1}{2 \cdot \sin^2 \theta_1}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 4,0 \cdot \pi \cdot 70 \cdot \frac{1 + 1}{2 \cdot 1}}{1,0}$$

$$N_{1,Rd} = 180,292 \text{ kN} \geq N_{1,Ed} = 3,080 \text{ kN}$$

7.1.2.3 Porušení povrchu pásu – ohybový moment:

$$M_{1,Rd} = \frac{4,85 \cdot \frac{f_y \cdot t_0^2 \cdot d_1}{\sin \theta_1} \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \beta \cdot k_p}{\gamma_{M5}} = \frac{4,85 \cdot \frac{355 \cdot 4,0^2 \cdot 70}{1} \cdot \sqrt{11,113} \cdot 0,787 \cdot 0,626}{1,0}$$

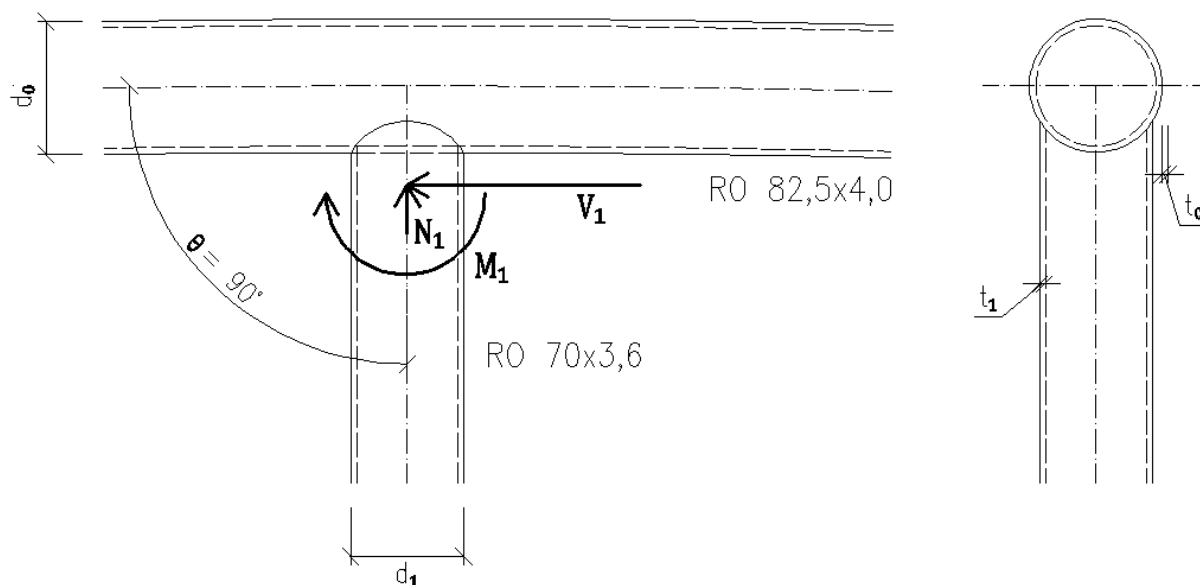
$$M_{1,Rd} = 5,167 \text{ kNm} \geq M_{1,Ed} = 4,283 \text{ kNm}$$

7.1.2.4 Porušení smykem – ohybový moment:

$$M_{1,Rd} = \frac{\frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot t_0^2 \cdot d_1^2 \cdot \frac{1 + 3 \cdot \sin \theta_1}{4 \cdot \sin^2 \theta_1}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 4,0^2 \cdot 70^2 \cdot \frac{1 + 3}{4 \cdot 1}}{1,0}$$

$$M_{1,Rd} = 16,069 \text{ kNm} \geq M_{1,Ed} = 4,283 \text{ kNm}$$

7.2 Styčník mezipásové svislice a horního pásu – styčník typu T



7.2.1 Posouzení svaru:

Vnitřní síly v kritickém průřezu pro posouzení svaru: kombinace 8

$$N_{1,Ed} = 3,111 \text{ kN}$$

$$V_{1,Ed} = 16,795 \text{ kN}$$

$$M_{1,Ed} = 4,135 \text{ kNm}$$

Předpoklady viz styčník mezipásové svislice a dolního pásu:

Svar byl posouzen ve dvou bodech viz obrázek.

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 3,6 = 3,96 \text{ mm} \Rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

Bod 1

$$L_N = \pi \cdot d = \pi \cdot 70 = 220 \text{ mm}$$

$$A_N = L_N \cdot a = 220 \cdot 4 = 880 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp,N} = \tau_{\perp,N} = \frac{N_{1,Ed}}{A_N \cdot \sqrt{2}} = \frac{3110}{880 \cdot \sqrt{2}} = 2,499 \text{ MPa}$$

$$L_V = 2 \cdot d = 2 \cdot 70 = 140 \text{ mm}$$

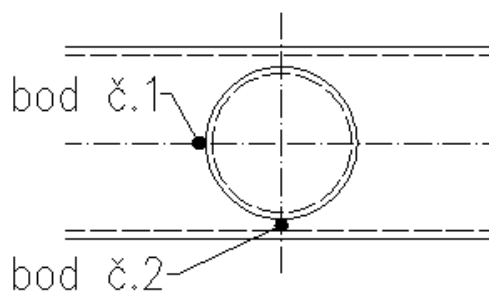
$$A_V = L_V \cdot a = 140 \cdot 4 = 560 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp,V} = \tau_{\perp,V} = \frac{V_{1,Ed}}{A_V \cdot \sqrt{2}} = \frac{16795}{560 \cdot \sqrt{2}} = 21,207 \text{ MPa}$$

$$I_M = \frac{\pi}{64} \cdot (d_1^4 - d_2^4) = \frac{\pi}{64} \cdot (78^4 - 70^4) = 6,384 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$W_M = \frac{I_M}{z} = \frac{6,384 \cdot 10^5}{35} = 1,824 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{\perp,M} = \tau_{\perp,M} = \frac{M_{1,Ed}}{W_M \cdot \sqrt{2}} = \frac{4,135 \cdot 10^6}{1,824 \cdot 10^4 \cdot \sqrt{2}} = 160,301 \text{ MPa}$$



$$\sigma_{\perp} = \sigma_{\perp,N} + \sigma_{\perp,V} + \sigma_{\perp,M} = \tau_{\perp} = 2,499 + 21,207 + 160,301 = 184,001 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{184,001^2 + 3 \cdot 184,001^2} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$368,005 \text{ MPa} \leq 453,330 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 510}{1,25} = 367,200 \text{ MPa}$$

$$184,001 \text{ MPa} \leq 367,200 \text{ MPa}$$

Bod 2

$$L_N = \pi \cdot d = \pi \cdot 70 = 220 \text{ mm}$$

$$A_N = L_N \cdot a = 220 \cdot 4 = 880 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp,N} = \tau_{\perp,N} = \frac{N_{1,Ed}}{A_N \cdot \sqrt{2}} = \frac{3110}{880 \cdot \sqrt{2}} = 2,499 \text{ MPa}$$

$$L_V = 2 \cdot d = 2 \cdot 70 = 140 \text{ mm}$$

$$A_V = L_V \cdot a = 140 \cdot 4 = 560 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \tau_{\parallel,V} = \frac{V_{1,Ed}}{A_V} = \frac{16795}{560} = 29,991 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,M} = \tau_{\perp,M} = 0,000 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma_{\perp,N} = \tau_{\perp} = 2,499 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp} + \tau_{\parallel})^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{2,499^2 + 3 \cdot (2,499^2 + 29,991^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$52,186 \text{ MPa} \leq 453,330 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 510}{1,25} = 367,200 \text{ MPa}$$

$$52,186 \text{ MPa} \leq 367,200 \text{ MPa}$$

7.2.2 Posouzení prutů:

Podmínky platnosti:

$$0,2 \leq \frac{d_1}{d_0} = \frac{70}{82,5} = 0,848 \leq 1,0$$

$$10 \leq \frac{d_0}{t_0} = \frac{82,5}{4} = 20,625 \leq 50$$

$$10 \leq \frac{d_1}{t_1} = \frac{70}{3,6} = 19,444 \leq 50$$

7.2.2.1 Porušení povrchu pásu – osová síla:

$$\gamma = \frac{d_0}{2 \cdot t_0} = \frac{82,5}{2 \cdot 4} = 10,313$$

$$\beta = \frac{d_1}{d_0} = \frac{70}{82,5} = 0,848$$

$$n_p = 0,598$$

$$k_p = 1,0 - 0,3 \cdot (n_p + n_p^2) = 1,0 - 0,3 \cdot (0,598 + 0,598^2) = 0,713 \leq 1,0$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{\gamma^{0,2} \cdot k_p \cdot f_y \cdot t_0^2}{\sin \theta_1} \cdot (2,8 + 14,2 \cdot \beta^2)}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{10,313^{0,2} \cdot 0,713 \cdot 355 \cdot 4,0^2}{1} \cdot (2,8 + 14,2 \cdot 0,848^2)}{1,0}$$

$$N_{1,Rd} = 84,030 \text{ kN} \geq N_{1,Ed} = 3,111 \text{ kN}$$

7.2.2.2 Porušení smykem – osová síla:

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \frac{1 + \sin \theta_1}{2 \cdot \sin^2 \theta_1}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 4,0 \cdot \pi \cdot 70 \cdot \frac{1 + 1}{2 \cdot 1}}{1,0}$$

$$N_{1,Rd} = 180,292 \text{ kN} \geq N_{1,Ed} = 3,111 \text{ kN}$$

7.2.2.3 Porušení povrchu pásu – ohybový moment:

$$M_{1,Rd} = \frac{4,85 \cdot \frac{f_y \cdot t_0^2 \cdot d_1}{\sin \theta_1} \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \beta \cdot k_p}{\gamma_{M5}} = \frac{4,85 \cdot \frac{355 \cdot 4,0^2 \cdot 70}{1} \cdot \sqrt{10,313} \cdot 0,848 \cdot 0,713}{1,0}$$

$$M_{1,Rd} = 5,744 \text{ kNm} \geq M_{1,Ed} = 4,135 \text{ kNm}$$

7.2.2.4 Porušení smykem – ohybový moment:

$$M_{1,Rd} = \frac{\frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot t_0^2 \cdot d_1^2 \cdot \frac{1 + 3 \cdot \sin \theta_1}{4 \cdot \sin^2 \theta_1}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 4,0^2 \cdot 70^2 \cdot \frac{1 + 3}{4 \cdot 1}}{1,0}$$

$$M_{1,Rd} = 16,068 \text{ kNm} \geq M_{1,Ed} = 4,135 \text{ kNm}$$

7.3 Přípoj vaznic, dolního pásu podélného ztužidla a vzpěr podélného ztužidla:

Vnitřní síly pro posouzení svaru a šroubu:

$$F_{Ed,(vaznice)} = -56,382 \text{ kN} (+55,171 \text{ kN}) \text{ z kombinace 66}$$

$$F_{Ed,(vzpěra\ podélného\ ztužidla)} = -43,192 \text{ kN} (+43,342 \text{ kN}) \text{ z kombinace 10}$$

$$F_{Ed,(dp\ podélného\ ztužidla)} = -104,021 \text{ kN} (+55,734 \text{ kN}) \text{ z kombinace 72 (10)}$$

Materiálové charakteristiky:

Připojovaný materiál S355

Šrouby M16 8.8

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$f_{yb} = 640 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Geometrie:

Šrouby:

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$d_0 = 18 \text{ mm}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

Styčnickový plech:

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

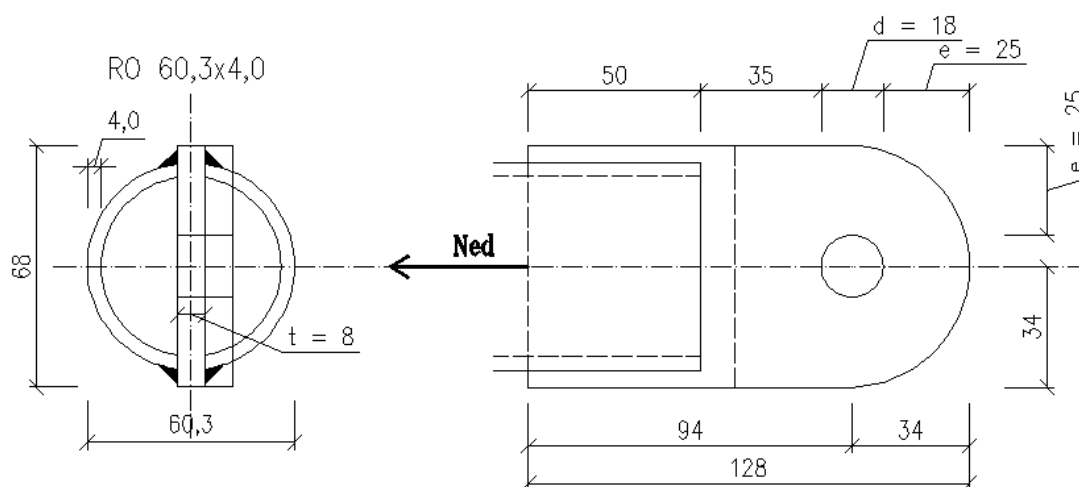
$$A = 0,068 \cdot 0,008 = 5,44 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{net} = A - t \cdot d_0 = 5,44 \cdot 10^{-3} - 0,008 \cdot 0,018 = 4,000 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

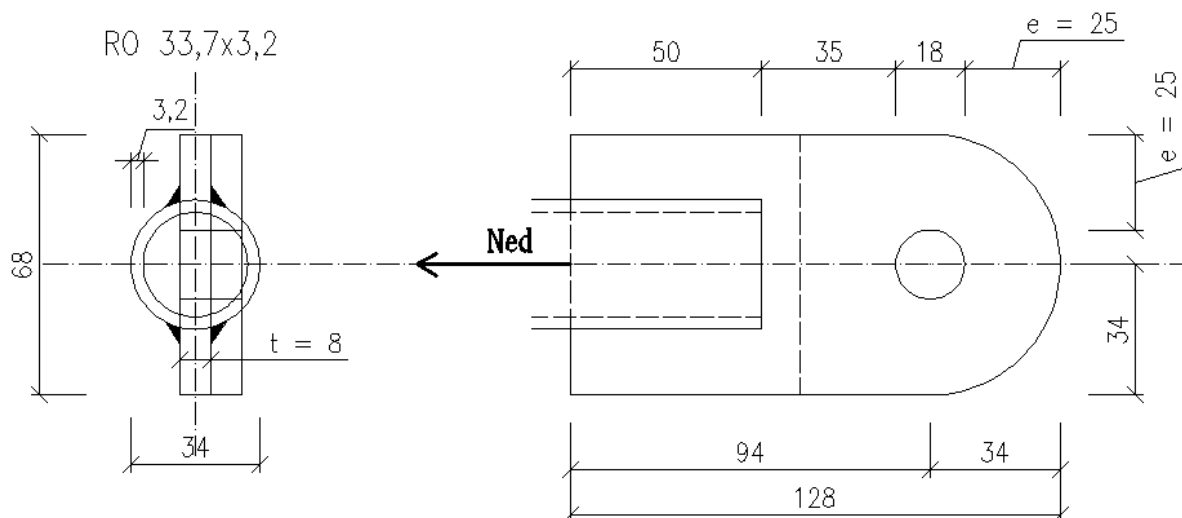
$$1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \leq e \leq 4 \cdot t + 40 = 4 \cdot 8 + 40 = 72 \text{ mm} \Rightarrow e = 25 \text{ mm}$$

$$2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm} \leq p \leq 14 \cdot t = 14 \cdot 8 = 112 \text{ mm} \Rightarrow p = 40 \text{ mm}$$

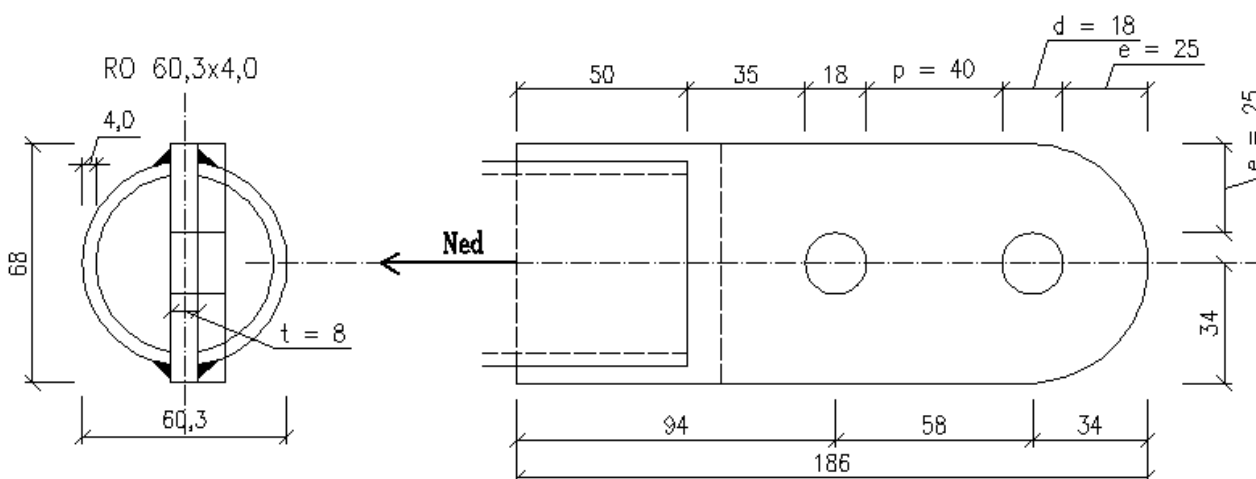
Vaznice:



Vzpěra podélného ztužidla:



Dolní pás podélného ztužidla:



7.3.1 Posouzení:

7.3.1.1 Únosnost šroubu ve střihu:

$$F_{V,Rd} = \frac{\alpha_V \cdot A_S \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 157 \cdot 800}{1,25} = 60,288 \text{ kN}$$

Vaznice:

$$F_{V,Rd} = 60,288 \text{ kN} \geq F_{V,Ed} = 56,380 \text{ kN}$$

Vzpěra:

$$F_{V,Rd} = 60,288 \text{ kN} \geq F_{V,Ed} = 43,342 \text{ kN}$$

Dolní pás:

$$F_{V,Rd} = 2 \cdot 60,288 = 120,576 \text{ kN} \geq F_{V,Ed} = 104,021 \text{ kN}$$

7.3.1.2 Únosnost šroubu a styčnickového plechu v otlacení:

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e}{3 \cdot d_0}; \frac{p}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \left\{ 0,463; 0,491; \frac{800}{510}; 1,0 \right\} = 0,463$$

$$k_1 = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot 25}{18} - 1,7; 2,5 \right\} = 2,189$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot t \cdot d}{\gamma_{M2}} = \frac{2,189 \cdot 0,463 \cdot 510 \cdot 8 \cdot 16}{1,25} = 56,929 \text{ kN}$$

Vaznice:

$$F_{b,Rd} = 56,929 \text{ kN} \geq F_{b,Ed} = 56,380 \text{ kN}$$

Vzpěra:

$$F_{b,Rd} = 56,929 \text{ kN} \geq F_{b,Ed} = 43,342 \text{ kN}$$

Dolní pás:

$$F_{b,Rd} = 2 \cdot 56,929 \text{ kN} = 113,858 \text{ kN} \geq F_{b,Ed} = 104,021 \text{ kN}$$

7.3.1.3 Únosnost styčnickového plechu v tahu:

$$N_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_y}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 4,000 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,25} = 105,244 \text{ kN}$$

Vaznice:

$$N_{t,Rd} = 105,244 \text{ kN} \geq N_{t,Ed} = 55,171 \text{ kN}$$

Vzpěra:

$$N_{t,Rd} = 105,244 \text{ kN} \geq N_{t,Ed} = 43,342 \text{ kN}$$

Dolní pás:

$$N_{t,Rd} = 105,244 \text{ kN} \geq N_{t,Ed} = 55,734 \text{ kN}$$

7.3.1.4 Posouzení svarů:

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 4,0 = 4,4 \text{ mm} \Rightarrow a = 3 \text{ mm}$$

$$L = 50 - 2 \cdot a = 50 - 2 \cdot 3 = 44 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 44 \cdot 3 = 132 \text{ mm}^2$$

Vaznice:

$$F_{1,Ed} = \frac{F_{Ed}}{4} = \frac{56,382}{4} = 14,095 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{1,Ed}}{A} = \frac{14,095}{132} = 106,780 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3 \cdot \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{3 \cdot 106,780^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$184,949 \text{ MPa} \leq 453,333 \text{ MPa}$$

Vzpěra:

$$F_{1,Ed} = \frac{F_{Ed}}{4} = \frac{43,342}{4} = 10,836 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{1,Ed}}{A} = \frac{10836}{132} = 82,091 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3 \cdot \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{3 \cdot 82,091^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$142,186 \text{ MPa} \leq 453,333 \text{ MPa}$$

Dolní pás:

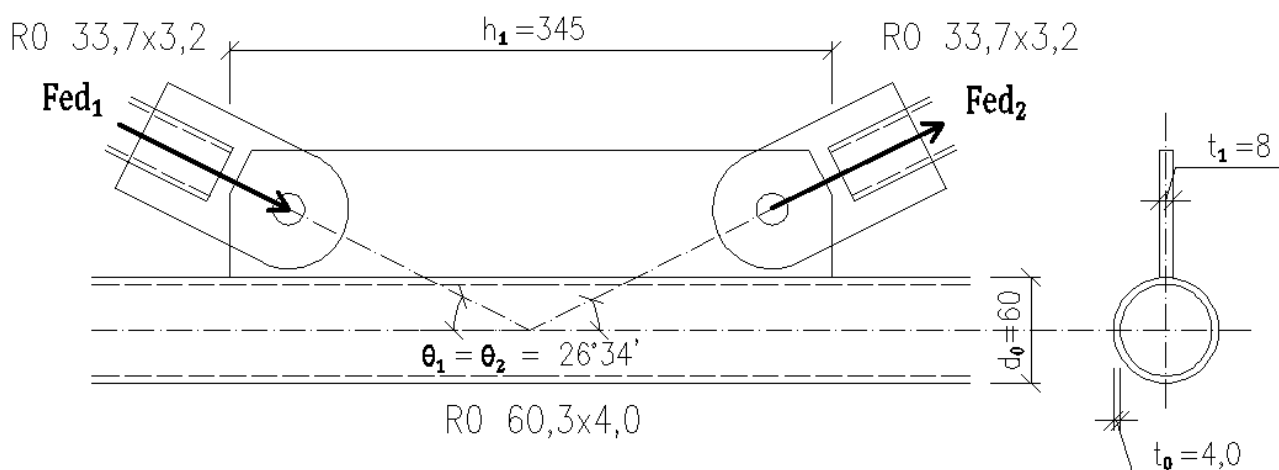
$$F_{1,Ed} = \frac{104,021}{4} = 26,005 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{1,Ed}}{A} = \frac{26005}{132} = 197,008 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3 \cdot \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{3 \cdot 197,008^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$341,227 \text{ MPa} \leq 453,333 \text{ MPa}$$

7.4 Připoj vzpěr podélného ztužidla k dolnímu pásu:



Vnitřní síly pro posouzení připojení styčnickového plechu na dolní pás:

$$F_{Ed,1} = 43,382 \text{ kN z kombinace 10}$$

$$F_{Ed,2} = 43,192 \text{ kN z kombinace 10}$$

$$F_{Ed,1V} = F_{Ed,1} \cdot \sin \theta_1 = 43,382 \cdot \sin 26^\circ 34' = 19,402 \text{ kN}$$

$$F_{Ed,1H} = F_{Ed,1} \cdot \cos \theta_1 = 43,382 \cdot \cos 26^\circ 34' = 38,801 \text{ kN}$$

$$F_{Ed,2V} = F_{Ed,2} \cdot \sin \theta_2 = 43,192 \cdot \sin 26^\circ 34' = 19,317 \text{ kN}$$

$$F_{Ed,2H} = F_{Ed,2} \cdot \cos \theta_2 = 43,192 \cdot \cos 26^\circ 34' = 38,632 \text{ kN}$$

7.4.1 Posouzení:

7.4.1.1 Posouzení svaru

$$a_{\min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 3,2 = 3,5 \text{ mm} \Rightarrow a = 3 \text{ mm}$$

$$L = 345 - 2 \cdot a = 345 - 2 \cdot 3 = 339 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 339 \cdot 3 = 1017 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{Ed,V}}{A \cdot \sqrt{2}} = \frac{19,402 \cdot 10^3}{1017 \cdot \sqrt{2}} = 13,490 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Ed,H}}{A} = \frac{F_{Ed,1H} + F_{Ed,2H}}{A} = \frac{(38,801 + 38,632) \cdot 10^3}{1017} = 76,139 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{13,490^2 + 3 \cdot (13,490^2 + 76,139^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$134,608 \text{ MPa} \leq 453,333 \text{ MPa}$$

7.4.1.2 Posouzení povrchu pásu:

$$n_p = \frac{N_{0,Rd}}{A_0 \cdot f_y} = \frac{40,67}{7,07 \cdot 10^{-4} \cdot 355} = 0,162$$

$$k_p = 1 - 0,3 \cdot n_p \cdot (1 + n_p) = 1 - 0,3 \cdot 0,162 \cdot (1 + 0,162) = 0,944$$

$$\eta = \frac{h_i}{d_0} = \frac{345}{60,3} = 5,72 \Rightarrow \eta = 4,0$$

$$N_{1,Rd} = \frac{5 \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot (1 + 0,25 \cdot \eta)}{\gamma_{M5}} = \frac{5 \cdot 0,944 \cdot 355 \cdot 0,004^2 \cdot (1 + 0,25 \cdot 4,0)}{1,00} = 53,619 \text{ kN}$$

$$N_{1,Rd} = 53,619 \text{ kNm} \geq N_{1,Ed} = 19,402 \text{ kNm}$$

7.5 Montážní spoje horního a dolního pásu

Spoje jsou navrženy na plnou únosnost pásů vazníku:

$$F_{t,Ed,HP} = A_{HP} \cdot f_y = 9,860 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3 = 350,030 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed,DP} = A_{DP} \cdot f_y = 1,070 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3 = 379,850 \text{ kN}$$

Geometrie:

$$d_1 = 20 \text{ mm}$$

$$d_m = 32,3 \text{ mm}$$

$$A_s = 245 \text{ mm}^2$$

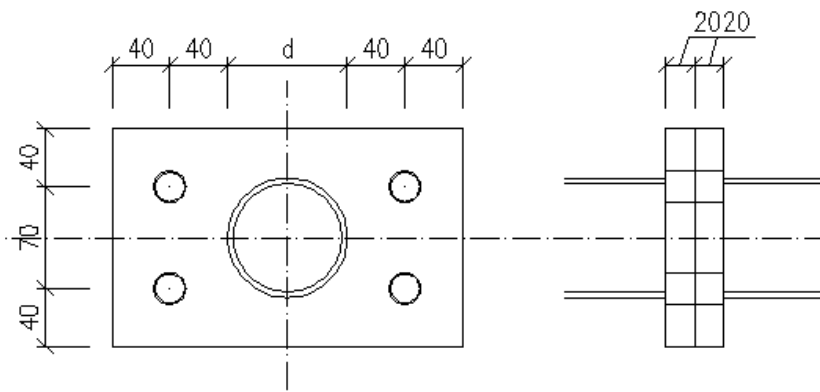
$$t = 20 \text{ mm}$$

Materiálové charakteristiky:

Šrouby M20 8.8

$$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$$

$$f_{yb} = 640 \text{ MPa}$$



7.5.1 Posouzení:

7.5.1.1 Páčení desky

$$t_l = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{b \cdot d_1^2}{a}} = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{40 \cdot 20^2}{40}} = 31,68 \text{ mm}$$

$$t_l = 31,68 \text{ mm} \not\leq t = 20 \text{ mm} \Rightarrow \text{nastane páčení}$$

$$\gamma_p = 1 + 0,005 \cdot \frac{t_l^3 - t^3}{d_1^2} = 1 + 0,005 \cdot \frac{31,68^3 - 20^3}{20^2} = 1,297$$

Horní pás

7.5.1.2 Únosnost šroubů v tahu s vlivem páčení:

$$F_{t,Ed,1} = \frac{F_{t,Ed}}{4} \cdot \gamma_p = \frac{370,85}{4} \cdot 1,297 = 120,248 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot A_S \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 245 \cdot 800}{1,25} = 141,120 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 141,120 \text{ kN} \geq F_{t,Ed,1} = 120,248 \text{ kN}$$

7.5.1.3 Únosnost při protlačení hlavy nebo matice šroubu:

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 32,3 \cdot 20 \cdot 510}{\gamma_{M2}} = 496,814 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = 496,814 \text{ kN} \geq F_{t,Ed,1} = 120,248 \text{ kN}$$

Dolní pás

7.5.1.4 Únosnost šroubů v tahu s vlivem páčení :

$$F_{t,Ed,1} = \frac{F_{t,Ed}}{4} \cdot \gamma_p = \frac{350,03}{4} \cdot 1,297 = 113,497 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot A_S \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 245 \cdot 800}{1,25} = 141,120 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 141,120 \text{ kN} \geq F_{t,Ed,1} = 113,497 \text{ kN}$$

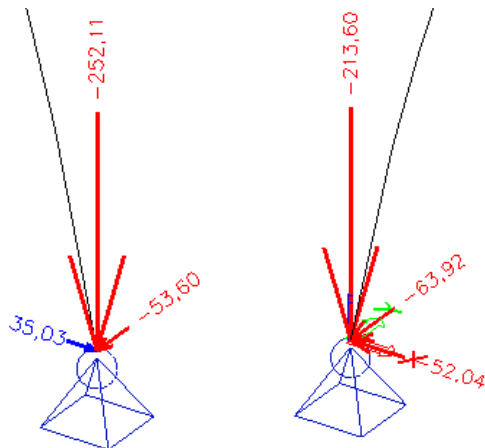
7.5.1.5 Únosnost při protlačení hlavy nebo matice šroubu:

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 32,3 \cdot 20 \cdot 510}{\gamma_{M2}} = 496,814 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = 496,814 \text{ kN} \geq F_{t,Ed,1} = 113,497 \text{ kN}$$

8. POSOUZENÍ PATKY

Návrhové síly z kritické kombinace 10:



$$N_{Ed,x} = 35,032 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,y} = 53,603 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,z} = 252,110 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,x} = 52,040 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,y} = 63,921 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,z} = 213,602 \text{ kN}$$

Materiálové charakteristiky:

Čep M30 6.8

$$f_{up} = 600 \text{ MPa}$$

$$f_{yp} = 480 \text{ MPa}$$

Geometrie:

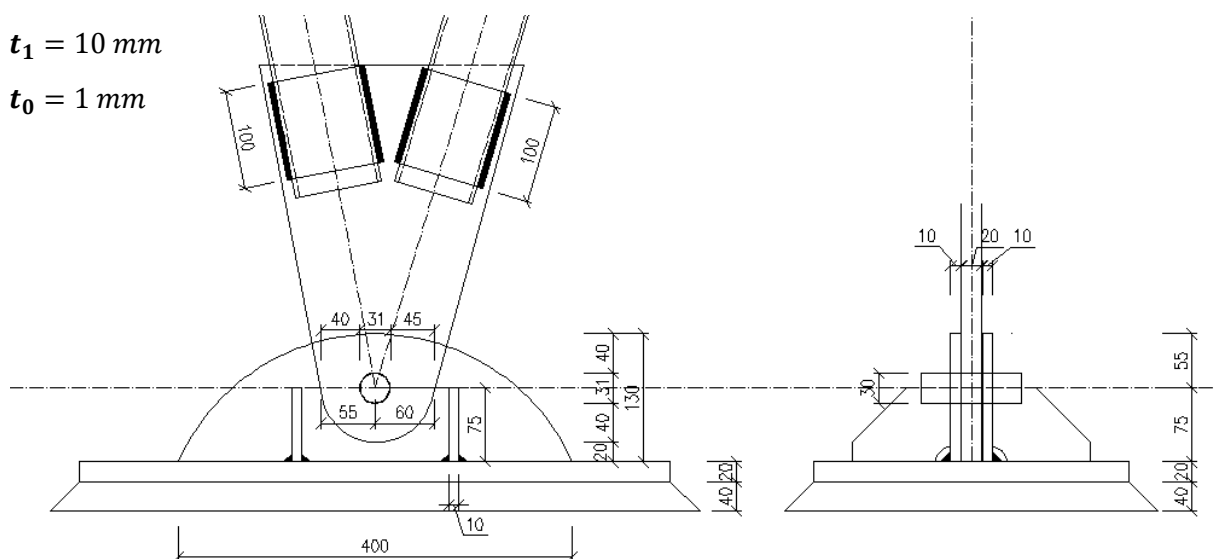
$$d = 30 \text{ mm}$$

$$d_0 = 31 \text{ mm}$$

$$t = 20 \text{ mm}$$

$$t_1 = 10 \text{ mm}$$

$$t_0 = 1 \text{ mm}$$



8.1 Posouzení čepu ve stříhu a v otláčení

$$F_{V,Ed} = \sqrt{N_{Ed,z}^2 + N_{Ed,x}^2} = \sqrt{252,110^2 + 35,032^2} = 254,532 \text{ kN}$$

$$t \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_{V,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{254,532 \cdot 10^3 \cdot 1,00}{355}} = 18,74 \text{ mm} \Rightarrow t = 20 \text{ mm}$$

$$a \geq \frac{F_{V,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{254,532 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 20 \cdot 355} + \frac{2 \cdot 31}{3} = 38,59 \text{ mm} \Rightarrow a = 40 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{V,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{254,532 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 20 \cdot 355} + \frac{31}{3} = 28,26 \text{ mm} \Rightarrow c = 30 \text{ mm}$$

$$F_{V,Rd} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot f_{up}}{4 \cdot \gamma_{M2}} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot \pi \cdot 30^2 \cdot 600}{4 \cdot 1,25} = 407,138 \text{ kN}$$

$$F_{V,Rd} = 407,138 \text{ kN} \geq F_{V,Ed} = 254,532 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 20 \cdot 30 \cdot 355}{1,00} = 319,500 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 319,500 \text{ kN} \geq F_{b,Ed} = 254,532 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{V,Ed}}{8} \cdot (t + 4 \cdot t_0 + 2 \cdot t_1) = \frac{254,532 \cdot 10^3}{8} \cdot (20 + 4 \cdot 1 + 2 \cdot 10) = 1399,926 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot \pi \cdot d^3 \cdot f_{yp}}{32 \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot \pi \cdot 30^3 \cdot 480}{32 \cdot 1,00} = 1908,461 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 1908,461 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 1399,926 \text{ kNm}$$

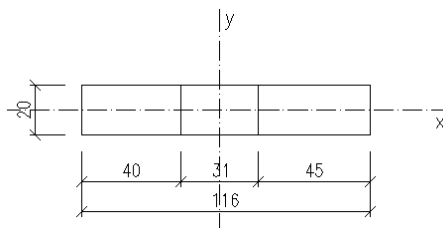
$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$$

$$\left[\frac{1399,926}{1908,461} \right]^2 + \left[\frac{254,532}{407,138} \right]^2 \leq 1,0$$

$$0,93 \leq 1,0$$

8.2 Styčnickový plech

Průřezové charakteristiky:



$$A = 2,320 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$A_{net} = 1,700 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$I_x = 7,773 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_y = 2,601 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$L_{cr,x} = L_{cr,y} = L_{cr} = 0,200 \text{ m}$$

8.2.1 Únosnost v tahu

$$N_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_y}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1,700 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,25} = 434,520 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = 434,520 \text{ kN} \geq N_{t,Ed} = 252,110 \text{ kN}$$

8.2.2 Tlak:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,320 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 823,600 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{252,110}{823,600} = 0,306 \leq 1,0$$

8.2.3 Vzpěrná únosnost:

Křivka vzpěrné pevnosti $c \Rightarrow \alpha = 0,49$

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 7,773 \cdot 10^{-8}}{0,200^2} = 4027,613 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,x}}} = \sqrt{\frac{2,320 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{4027,613}} = 0,452$$

$$\phi_x = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_x - 0,2) + \bar{\lambda}_x^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (0,452 - 0,2) + 0,452^2 \right] = 0,664$$

$$\chi_x = \frac{1}{\phi_x + \sqrt{\phi_x^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,664 + \sqrt{0,664^2 - 0,452^2}} = 0,869$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_x \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,869 \cdot 2,320 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 715,708 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{252,110}{715,708} = 0,352 \leq 1,0$$

8.2.4 Posouzení svarů:

Předpokládá se, že síly v rovině styčnickových plechů ($N_{Ed,x}$, $N_{Ed,z}$) přenesou svary těchto plechů k patní desce. Sílu kolmou k této rovině ($N_{Ed,y}$) přenesou výztuhy a jejich svary k patní desce.

8.2.4.1 Posouzení svaru styčnickových plechů k patní desce

$$F_{Ed} = 252,110 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,F} = \frac{F_{Ed}}{2} \cdot e = \frac{252,110}{2} \cdot 0,0069 = 0,870 \text{ kNm}$$

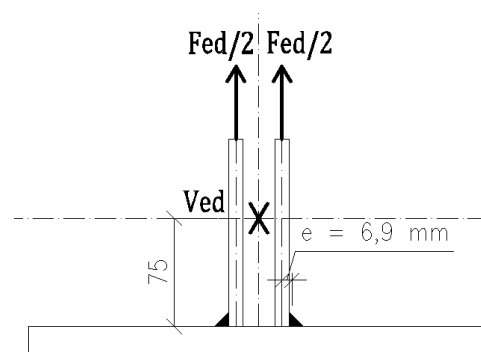
$$V_{Ed} = 52,041 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,V} = \frac{V_{Ed}}{2} \cdot e = \frac{52,041}{2} \cdot 0,075 = 1,952 \text{ kNm}$$

$$a_{min} = 4 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 10 = 11 \text{ mm} \Rightarrow a = 8 \text{ mm}$$

$$L = 400 - 2 \cdot a = 400 - 2 \cdot 8 = 384 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 384 \cdot 8 = 3072 \text{ mm}^2$$



$$W_F = \frac{1}{6} \cdot L \cdot a^2 = \frac{1}{6} \cdot 384 \cdot 8^2 = 4,096 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_V = \frac{1}{6} \cdot a \cdot L^2 = \frac{1}{6} \cdot 8 \cdot 384^2 = 196,608 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = \frac{F_{Ed}}{2 \cdot A} + \frac{M_{Ed,F}}{W_F} + \frac{M_{Ed,V}}{W_V} = \frac{252,110 \cdot 10^3}{2 \cdot 3072} + \frac{8,700 \cdot 10^5}{4,096 \cdot 10^3} + \frac{1,952 \cdot 10^6}{4,096 \cdot 10^3} = 263,364 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{263,364}{\sqrt{2}} = 186,227 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot A} = \frac{52,041 \cdot 10^3}{2 \cdot 3072} = 8,470 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{186,227^2 + 3 \cdot (186,227^2 + 8,470^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$372,743 \text{ MPa} \leq 453,333 \text{ MPa}$$

8.2.4.2 Posouzení svarů výztuhy k patní desce

$$V_{Ed} = 63,921 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot e = 63,921 \cdot 0,075 = 4,794 \text{ kNm}$$

$$a_{min} = 4 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 10 = 11 \text{ mm}$$

$$a = 6 \text{ mm}$$

$$L = 85 - 2 \cdot a = 85 - 2 \cdot 6 = 73 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 73 \cdot 6 = 438 \text{ mm}^2$$

$$W = \frac{1}{6} \cdot a \cdot L^2 = \frac{1}{6} \cdot 6 \cdot 73^2 = 5,329 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

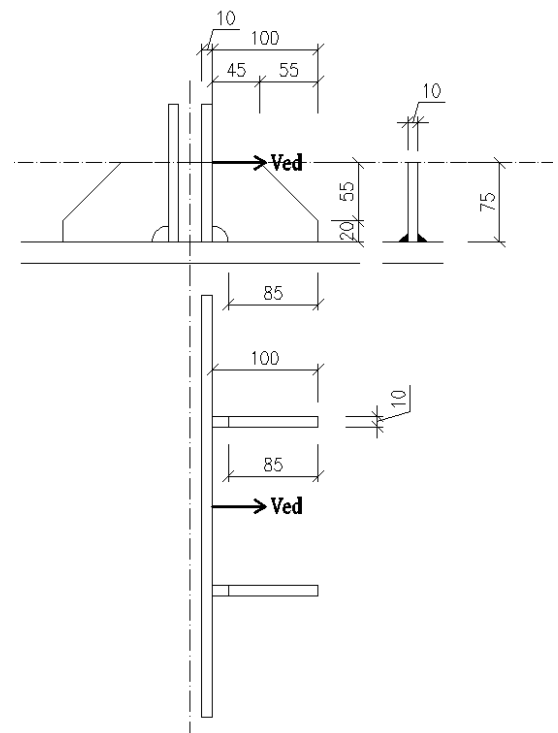
$$\sigma = \frac{M_{Ed}}{4 \cdot W} = \frac{4,794 \cdot 10^6}{4 \cdot 5,329 \cdot 10^3} = 224,901 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{224,901}{\sqrt{2}} = 159,029 \text{ MPa}$$

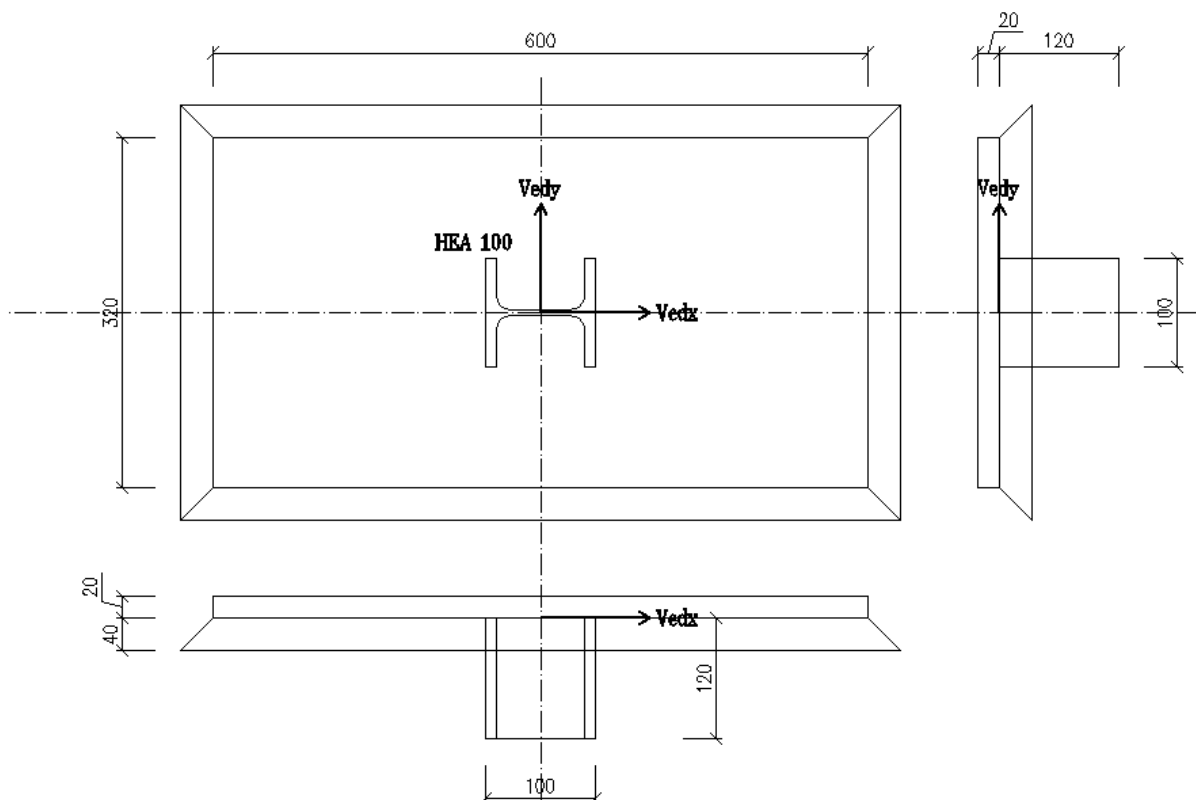
$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{4 \cdot A} = \frac{63,921 \cdot 10^3}{4 \cdot 438} = 36,485 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{159,029^2 + 3 \cdot (159,029^2 + 36,485^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$324,275 \text{ MPa} \leq 453,333 \text{ MPa}$$



8.3 Kotevní zarážka



Návrhové síly z kritické kombinace 10:

V této kombinaci působí ve svislém směru na patku tah, proto je nutné navrhnout kotevní zarážku na plné hodnoty smykových sil.

Navržen profil HEA 100

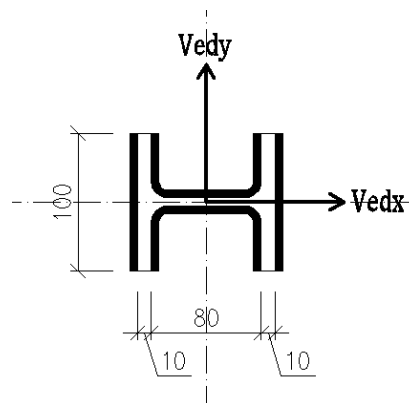
$$V_{Ed,x} = 52,041 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,y} = 63,921 \text{ kN}$$

$$h_{min,x} = \frac{V_{Ed,x}}{l \cdot f_{cd}} = \frac{52,041}{0,1 \cdot 10,677} = 48,7 \text{ mm}$$

$$h_{min,y} = \frac{V_{Ed,y}}{l \cdot f_{cd}} = \frac{63,921}{0,1 \cdot 10,677} = 59,9 \text{ mm}$$

$$h = \sqrt{h_{min,x}^2 + h_{min,y}^2} + h_{podl} = \sqrt{48,7^2 + 59,9^2} + 40 = 117,2 \text{ mm} \Rightarrow h = 120 \text{ mm}$$



8.3.1 Posouzení svarů

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 10 = 11 \text{ mm}$$

$$a = 3 \text{ mm}$$

$$L_x = 80 - 2 \cdot a = 80 - 2 \cdot 3 = 74 \text{ mm}$$

$$L_y = 100 - 2 \cdot a + 70 - 2 \cdot a = 100 - 2 \cdot 3 + 70 - 2 \cdot 3 = 158 \text{ mm}$$

$$A_x = L_x \cdot a = 74 \cdot 3 = 222 \text{ mm}^2$$

$$A_y = L_y \cdot a = 158 \cdot 3 = 474 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{\parallel, x} = \frac{V_{Ed, x}}{2 \cdot A_x} = \frac{52,041 \cdot 10^3}{2 \cdot 222} = 117,209 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel, y} = \frac{V_{Ed, y}}{2 \cdot A_y} = \frac{63,921 \cdot 10^3}{2 \cdot 474} = 67,427 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3 \cdot \tau_{\parallel, x}^2} = \sqrt{3 \cdot 117,209^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$203,012 \text{ MPa} \leq 453,333 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3 \cdot \tau_{\parallel, y}^2} = \sqrt{3 \cdot 67,427^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$116,787 \text{ MPa} \leq 453,333 \text{ MPa}$$

8.4 Posouzení únosnosti betonu patky

$$N_{Ed} = 252,110 \text{ kN}$$

Geometrie:

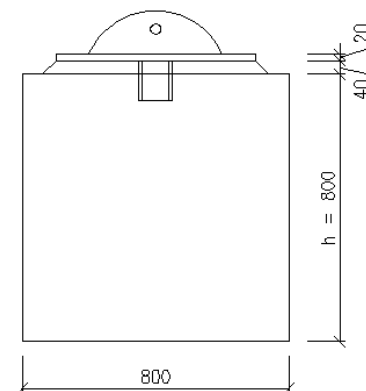
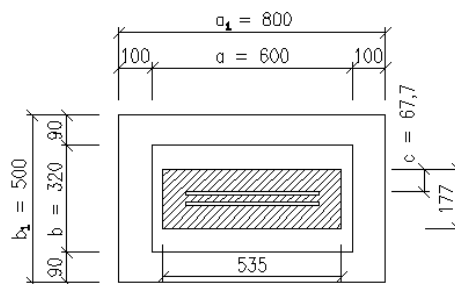
$$a = 600 \text{ mm}$$

$$a_r = 100 \text{ mm}$$

$$b = 320 \text{ mm}$$

$$b_r = 90 \text{ mm}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$



Materiálové charakteristiky:

Beton C16/20

$$f_{ck} = 16 \text{ MPa}$$

8.4.1 Únosnost betonu v tlaku

$$a_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} a + 2 \cdot a_r \\ 5 \cdot a \\ a + h \\ 5 \cdot b_1 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 600 + 2 \cdot 100 \\ 5 \cdot 600 \\ 600 + 800 \\ 5 \cdot 500 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 800 \\ 3000 \\ 1400 \\ 2500 \end{array} \right\} = 800 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} b + 2 \cdot b_r \\ 5 \cdot b \\ b + h \\ 5 \cdot a_1 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 320 + 2 \cdot 90 \\ 5 \cdot 320 \\ 320 + 800 \\ 5 \cdot 800 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 500 \\ 1600 \\ 1120 \\ 4000 \end{array} \right\} = 500 \text{ mm}$$

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{800 \cdot 500}{600 \cdot 320}} = 1,443$$

$$f_j = \frac{0,67 \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0,67 \cdot 1,443 \cdot 16}{1,5} = 10,313 \text{ MPa}$$

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_j \cdot \gamma_{M0}}} = 20 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 10,313 \cdot 1,0}} = 67,7 \text{ mm}$$

$$A_{eff} = 535 \cdot 177 = 94,695 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_j = 94,695 \cdot 10^3 \cdot 10,313 = 976,590 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 976,590 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 252,110 \text{ kN}$$

8.5 Posouzení kotevních šroubů

$$F_{t,Ed} = 63,023 \text{ kN}$$

Materiálové charakteristiky:

Šrouby M24 5.6 s kotevní hlavou

Beton C16/20

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{od} = 21,3 \text{ MPa}$$

$$f_{yb} = 300 \text{ MPa}$$

$$f_{td} = 0,75 \text{ MPa}$$

Geometrie:

$$d = 24 \text{ mm}$$

$$A_s = 353 \text{ mm}^2$$

8.5.1 Únosnost šroubu v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,8 \cdot A_s \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,8 \cdot 353 \cdot 300}{1,0} = 84,720 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 84,720 \text{ kN} \geq F_{t,Ed} = 63,023 \text{ kN}$$

8.5.2 Posouzení účinné délky šroubu

$$A_{kot,hlava} = 0,8 \cdot A_s \cdot \frac{0,8 \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0} \cdot f_{od}} + \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 0,8 \cdot 353 \cdot \frac{0,8 \cdot 300}{1,0 \cdot 21,3} + \frac{\pi \cdot 30^2}{4} = 3888,8 \text{ mm}^2$$

$$\Delta h = \left(\frac{4 \cdot A_{kot,hlava}}{\pi \cdot d^2} - 1 \right) \cdot \frac{f_{od}}{4 \cdot f_{td}} \cdot d = \left(\frac{4 \cdot 3888,8}{\pi \cdot 24^2} - 1 \right) \cdot \frac{21,3}{4 \cdot 0,75} \cdot 24 = 1294,4 \text{ mm}$$

$$h \geq \frac{0,2 \cdot N_{t,Sd,max}}{\pi \cdot d \cdot f_{td}} = \frac{0,2 \cdot 63,023}{\pi \cdot 24 \cdot 0,75} = 222,9 \text{ mm}$$

$$h = 300 \text{ mm}$$

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČSN EN 1991-1-3 Zatížení konstrukcí – Zatížení větrem, 6/2005
- [2] ČSN EN 1991-1-4 Zatížení konstrukcí – Zatížení větrem, 4/2007
- [3] ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, 12/2006
- [4] ČSN EN 1993-1-5 Navrhování ocelových konstrukcí – Boulení stěn, 2/2008
- [5] ČSN EN 1993-1-8 Navrhování ocelových konstrukcí – Navrhování styčníků, 12/2006
- [6] ČSN 01 3483 Výkresy kovových konstrukcí, 06/1986
- [7] WALD et al. *Prvky ocelových konstrukcí: Příklady podle Eurokódů*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 159 s. ISBN 80-01-01623-4.
- [8] KARMAZÍNOVÁ, M., *Prvky kovových konstrukcí, MODUL B001 – M02, Spoje kovových konstrukcí*, studijní opory, Brno, 2005
- [9] www.ferona.cz
- [10] CUPÁKOVÁ, Lenka. *Zastřešení sportovního objektu: bakalářská práce*. Brno, 2009. 44 s. 16 s. příl. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí bakalářské práce Ing. Stanislav Buchta.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ČSN	Česká státní norma
ISO	International Organization for Standardization
EN	Evropská norma
Bpv.	Balt po vyrovnání

SEZNAM PŘÍLOH

A. DOKLADOVÁ ČÁST

Zadání bakalářské práce
Licenční smlouva
Čestné prohlášení
Souhlas
Poděkování
Seznam použité literatury

B. TEXTOVÁ ČÁST

Technická zpráva
Statický výpočet
Data z programu Scia Engineer 2011

C. VÝKRESOVÁ ČÁST

Půdorys – schéma	M 1:100
Kotevní plán	M 1:100
Řez – schéma	M 1:100
Boční pohled – schéma	M 1:100
Výrobní výkres vazníku	M 1:20
Detaily	M 1:10