



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

OCELOVÁ KONSTRUKCE ZASTŘEŠENÍ VÍCEÚČELOVÉ SPORTOVNÍ HALY

STEEL STRUCTURE OF MULTIPURPOSE SPORTS HALL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

DAVID OMANÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MARTIN HORÁČEK

BRNO 2016

Podklady a literatura

Platné normy pro určení účinků zatížení a pro navrhování ocelových konstrukcí:

ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí. Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb.

ČSN EN 1991-1-3 Zatížení konstrukcí. Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem.

ČSN EN 1991-1-4 Zatížení konstrukcí. Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem.

ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

ČSN EN 1993-1-8 Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků.

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Předmětem bakalářské práce je vypracování návrhu a posouzení nosné ocelové konstrukce zastřešení víceúčelové sportovní haly o orientačních půdorysných rozměrech 60 x 35 m.

Pro určení klimatického zatížení bude uvažována lokalita Nový Jičín.

Při návrhu nosné konstrukce budou splněny architektonické a dispoziční požadavky.

Požadované výstupy:

Technická zpráva

Statický výpočet hlavních nosných částí konstrukce

Výkresová dokumentace v rozsahu stanoveném vedoucím práce

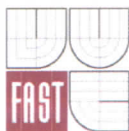
Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



.....
Ing. Martin Horáček
Vedoucí bakalářské práce



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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 David Omaník

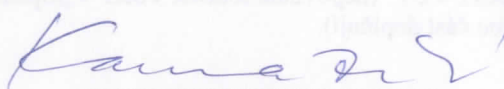
Název Ocelová konstrukce zastřešení víceúčelové sportovní haly

Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Horáček

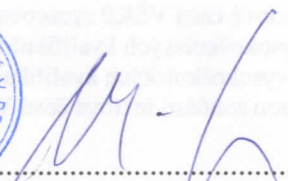
Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2015

Datum odevzdání bakalářské práce 27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015


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




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

Abstrakt

Cílem této práce je navrhnout a posoudit zastřešení ocelové konstrukce víceúčelové sportovní haly. Zastřešení haly má maximální rozměry 34,5 x 60 m a maximální výšku 7,225 m. Příhradové válcové vazníky o rozpětí 34,5 m tvoří hlavní nosné prvky konstrukce. Vazníky jsou podepřeny kloubově čepem. Plnostěnné válcované vaznice jsou kloubově podepřeny vaznicemi a přenášejí zatížení od střešního pláště. Stabilitě konstrukce je napomáháno vzpěrkami, příčnými a podélnými ztužidly. Střešní plášť je ze sendvičových panelů.

Klíčová slova

Zatížení, stabilitní síly, kombinace, teorie II. řádu, posouzení, nosná konstrukce, sportovní hala, čepový spoj.

Abstract

The aim of this work is to design and check roofing of the steel construction multi-purpose sports hall. Roof of the hall has a maximum dimension of 34.5 x 60 m and a maximum height of 7,225 m. Trussed cylindrical girder span of 34.5 meters form the main load-bearing structures. Girders are pin-supported by a pin joint. Solid-web purlins are pin-supported on girder and transmit loads from the roofing. Stability is assisted braces, sway bracing and longitudinal bracing. Roofing is made of sandwich panels.

Keywords

Load, stability forces, combinations, theory II. order, check, steel(load.bearing) structure, sports hall, pin joint.

Bibliografická citace VŠKP

David Omaník *Ocelová konstrukce zastřešení víceúčelové sportovní haly*. Brno, 2016. 77 s., 8 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Martin Horáček

Prohlášení:

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

V Brně dne 27.5.2016



.....
podpis autora

Poděkování:

Rad bych poděkoval Ing. Martinu Horáčkovi za odborné vedení bakalářské práce, za užitečné rady a nápady. A za veškerý čas věnovaný při konzultacích.

Seznam dokumentů

- I. Technická zpráva
- II. Statický výpočet
- III. Výkresy
 - 01 Řez M 1:100
 - 02 Půdorys M 1:100
 - 03 Výrobní výkres 1 M1:20
 - 04 Výrobní výkres 2 M 1:20
 - 05 Výrobní výkres 3 M 1:20
 - 06 Montážní výkres M 1:100
 - 07 Detail 1 1:10
 - 08 Detail 2 M 1:10

Literatura

ČSN EN 1991-1-1 *Zatížení konstrukcí. Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2003, 43 s.

ČSN EN 1991-1-3 *Zatížení konstrukcí. Část 1-3: Obecná zatížení – zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, 2004, 37 s.

ČSN EN 1991-1-4 *Zatížení konstrukcí. Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2007, 124 s.

ČSN EN 1993-1-1 *Navrhování ocelových konstrukcí. – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2005, 213 s.

ČSN EN 1993-1-8 *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků*. Praha: Český normalizační institut, 2005, 126 s.

STUDNIČKA, Jiří. *Ocelové konstrukce 1*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2011, 146 s. ISBN 978-80-01-04800-9.

STUDNIČKA, Jiří. *Ocelové konstrukce 2*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2007, 138 s. ISBN 978-80-01-03768-3.

PILG, Milan. *BO02 Prvky kovových konstrukcí: Svarové spoje*. [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z:
http://www.fce.vutbr.cz/KDK/pilgr.m/BO02/BO02_cvi_05.pdf

PILG, Milan. *BO02 Prvky kovových konstrukcí: Šroubové spoje*. [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z:
http://www.fce.vutbr.cz/KDK/pilgr.m/BO02/BO02_cvi_02.pdf

www.kingspan.cz – střešní izolační panely



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

OCELOVÁ KONSTRUKCE ZASTŘEŠENÍ VÍCEÚČELOVÉ SPORTOVNÍ HALY

I. TECHNICKÁ ZPRÁVA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

DAVID OMANÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MARTIN HORÁČEK

Technická zpráva

1. Obecné údaje

Konstrukce sportovní haly o obdélníkovém půdorysu s přesnými rozměry 34,5 x 60,0 m. Zastřešení bude válcového tvaru o poloměru 50 m, složeného z příhradových vazníků s osovou vzdáleností po 6 m. jednotlivé vazníky jsou uloženy kloubově, čepem do železobetonových patních bloků. Maximální výška konstrukce nad terénem je 7,225 m. Maximální světlá výška uvnitř haly bude 9,925 m. V hale bude dodržen minimální prostor pro různá sportovní využití. Sociální zařízení a další místnosti potřebné pro provoz haly budou umístěny v přilehlém objektu. Štítová stěna bude zděná. Srovnávací rovina bude v úrovni podlahy 0,000 m = 280,000 m n. m. Bpv, 3 m pod upraveným terénem +3,000 m. Maximální výška železobetonových podpor bude v úrovni +7,450 tedy 3 m nad úrovní terénu. Součástí vnitřního prostoru budou i přilehlé tribuny s výškou a šířkou stupně 500 x 900 mm. Nejvyšší sklon zastřešení bude 20° v místě podpor.

2. Využití sportovní haly

Hala splňuje minimální prostor (22 x 44 x 7m), který je požadován pro sporty, jako jsou badminton, basketbal, halový fotbal, halový hokej, tenis a volejbal. Minimální výška 7 m je dodržena nad celou hrací plochou. Mezi tribunou a herní plochou je 2,5 m bezpečnostní odstup. Hala je dělitelná na 2 části, proto je nazývána dvojnásobná hala. V podélném směru bude hala opatřena tribunami se sedačkami pro pohodlnost diváků.

3. Zatížení

Střešní plášť tvoří panel KS 1000 TP-DEK tl. 110 mm. Stavba se nachází v městě Nový Jičín, jehož charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi je ($s_k=1,06$ kPa) a větrná oblast II ($V_{b,o} = 25$ m/s). Čelní (štítové) stěny jsou zděné a ve výpočtech se tedy neuvažují. Dále se do zatížení uvažují stabilitní síly a osamělé břemeno 1 kN. Všechny účinky od zatížení jsou spočítány ve statickém výpočtu.

4. Konstrukční řešení

Hlavním nosným prvkem konstrukce bude příhradový vazník, který bude kloubově uložen čepem do železobetonových podpor. Osová vzdálenost vazníků bude 6 m. Horní a dolní pás vazníků se vyztuží diagonálami a svislicemi, které budou k pásům přivařeny. Veškeré zatížení bude do vazníků přenášeno vaznicemi, které se uloží kloubově mezi vaznice. Na začátku a na konci jsou diagonálně přivařena příčná ztužidla. Podélná ztužidla budou rovnoměrně rozmístěna pod vaznicemi ve třech pásech. Z důvodu snížení vzpěrné délky spodního krajního pásu vaznice, budou vloženy vzpěrky, které se připojí kloubově čepem jak k spodnímu pásu vazníku, tak k vaznici. Střešní plášť bude ze sendvičových panelů určených pro válcové střechy.

- **Horní pás vazníku**

Horní pás vazníku je navržen ze dvou rozměrů trubek s rozdílem v tloušťce stěny trubky. Změny rozměrů jsou v montážních spojích dílců vazníku. Střední část horního pásu má rozměry RO 139,7 x 5,0 s délkou 12,234 m. Krajiní části mají rozměry RO 139,7 x 5,0 s délkou 11,618 m. Na oba konce horního pásu bude přivařen čelní plech tl. 20 mm kruhového tvaru o průměru 220 mm 8 mm tlustým svarem po celém obvodu. Na čelní plech budou přivařeny dva styčnickové plechy o rozměrech 300x180 mm s otvorem na čep průměru 72 mm. K železobetonové opěře bude uložena čepem.

- **Dolní pás vazníku**

Je navržen se stejným průřezem RO 168,3x12,5 po celé délce pásu. Dolní pás je rozdělen v montážních spojích z důvodů přepravy. Střední část dolního pásu má délku 11,994 m. A krajiní části délku 11,388 m. Zakončení je opatřeno stejnými plechy jako horní pás. K železobetonové podpěře bude přikotvena čepem.

- **Svislice**

Všechny svislice budou stejného průřezu RO 88,9x4. Mají rozdílnou délku v rozmezí 863 - 923 mm. Budou přivařeny k hornímu a dolnímu pásu ½ V svary.

- **Diagonála**

Stejně jako svislice mají stejný průřez RO 88,9x4 s délkami 2231-2258 mm. A budou opět přivařeny ½ V svary.

- **Vaznice**

Všechny vaznice jsou stejného profilu IPE 240 a stejné délky 6m s úklonem tak, aby stojina byla vždy kolmá na horní pás vazníku. Bude připevněna šroubovými spoji 2 x 24 4.6. k styčnickovým plechům tl. 10 mm a ploše 290 x 180 mm. Styčnickový plech bude přivařen po celém obvodě z části k hornímu pásu vazník a z části ke svislici vazníku.

- **Příčné ztužidlo**

Budou pouze v prvním a posledním poli mezi vazníky. Jejich průřez bude RO 88,9 x 6,3 mm. Budou přivařeny k horním pásům vazníku i k vaznicím ½ V svary. Délka příčných ztužidel od 7328 mm do 7438 mm.

- **Podélná ztužidla**

Budou ve třech místech v podélném směru. Budou kruhového průřezu RO 60,3 x 4,0. Podélné ztužidlo je navrženo jako příhrada, která se přivaří ze spodního líce vaznice. V místě spodního a horního pásu vazníku je připojena čepovým spojem M20 5.6. Styčnickový plech je přivařen 4 mm tlustým svarem po celém obvodu. Styčnickové plechy mají otvor o průměru 21 mm.

- **Vzpěrky**

Vzpírají nám dolní pás vazníku a vaznici, k nimž se ukotví čepovými spoji. M20 5.6. Styčnickové plechy s plochou 160 x 150 a 190 x 125 mají pro vložení čepu otvor s průřezem 21 mm.

- **Střešní plášť**

Panely TOP-DEK od firmy KINGSPAN budou uloženy na vaznice samovrtnými prvky ze zušlechtělé oceli pozinkované. Prvky od firmy EJOT a zn. JT2-12-5,5x35 V16 budou spojovat panel k vaznici za spodní plech panelu.

- **Podporový čep**

Do každé železobetonové podpory budou předem zabetonovány 4 šrouby M20 6.8 s hloubkou šroubu 400 mm. Dále se nechá v ose uložení kapsa o rozměrech 150 x 150 mm a hloubce 150 mm, do které se později vloží a zabetonuje kotevní zarážka z profil HEB 100 a 100 mm délky, který bude přivařen koutovým svarem po celém obvodu k patní desce. Patní deska tloušťky 20 mm a rozměry 600 x 500 mm má 4 otvory průměru 30 mm pro prostrčení kotevních šroubů a dva otvory v místě kapsy pro kontrolu podlití betonu. Na patní desku se předem přivaří koutovým svarem 3 styčnickové plechy tl. 30 mm a o ploše 482 x 302 a s otvorem průměru 72 mm na vložení čepu. Deska i s přivařenou kotevní zarážkou a se styčnickovými plechy se podlije podkladním betonem tl. 20 mm a osadí se na šrouby, které se přitáhnou.

5. Statické řešení

Prostorový model konstrukce víceúčelové sportovní haly je proveden v programu RFEM5. Dále byl použit program Microsoft Excel, za pomoci kterého bylo spočítáno posouzení na účinky zatížení, určeného podle normy ČSN EN 1991-1-1. U obloukové části konstrukce jsou ručně dopočítány účinky II. řádu (tento výpočet je konzervativní). Ruční výpočty obsahují i posouzení vybraných spojů na konstrukce. Posouzení vybraných spojů podle ČSN EN 1993-1-8.

6. MATERIÁL

Všechny ocelové konstrukční prvky jsou z pevnostní třídy S355. Čepy v podporách jsou pevnosti 6.8. Čepy u vzpěr a podélných ztužidel mají pevnost 5.6. Šrouby spojující vaznice a styčnickové plechy horního pásu vazníku mají pevnost 4.6. Kotevní šrouby v podporách mají pevnost 6.8.

Třída betonu podporových, základových konstrukcí je C 30/37.

7. Výroba a montážní postup

V mostárnách budou zvlášť svařeny všechny tři dílce vazníků z dolních a horních pásů, z diagonál a ze svislic. Dále se zde sestaví příhradové ztužidlo s vaznicí. Vše bude spolu s příčnými ztužidly vzpěrkami a vaznicemi dovezeno na místo stavby. Tam se spojí všechny tři montážní dílce ve vazník. Dvěma jeřáby budou první dva krajní vazníky vztyčeny a čepy ukotveny do předem připravených železobetonových základů. Před uložení vazníků musí být nainstalovaná spodní část čepu, která bude připevněna patním plechem kotevní zarážkou a šrouby k železobetonovému bloku. Dále se na vazníky a vaznice přivaří veškeré styčnickové plechy. Za stálého zavěšení se na vazníky přišroubují čepy podélná ztužidla spojená s vaznicí. Dále se přišroubují jednotlivé vaznice a vzpěrky. Teprve až se přivaří příčná ztužidla, se může uvolnit zavěšení jeřáby. Další, třetí vazník zavěšený jeřábem se ukotví čepy do podpor a stejným způsobem se přišroubují podélná ztužidla a vazníky. Tento postup se opakuje.

8. Ochrana proti korozi

Povrchová ochrana ocelové konstrukce bude provedena nátěrovým systémem dle stupně provozní agresivity prostředí. Nátěrový systém bude aplikován na tryskaný povrch granulátem. Pro dobu 5 let bude celková tloušťka nátěru 120 μm . Barevné provedení ocelové konstrukce je navrženo ve stříbrné barvě.

9. Hmotnost

Softwarem RFEM 5 je celková hmotnost střešní konstrukce 64,147 tun. Tato hmotnost pouze od přesných profilů. Nejsou zde zahrnuty svary ani spoje.

10. Cena

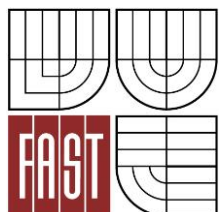
Podle hmotnosti je cena konstrukce odhadována v poměru 100 Kč/kg. Dále je nutno uvažovat montáží spojů střešní pláště a další nezbytné práce. Celková cena je odhadnuta na 7 000 000 Kč.

11. Závěr

Při realizaci stavby je nutno dodržet veškeré příslušné zákonné vyhlášky a předpisy zvláště předpisy k BOZP. Ocelová konstrukce je navržena na stálá zatížení, nahodilá zatížení a na zatížení klimatickými vlivy. Posouzení stavby bylo provedeno dle národního aplikačního dokumentu ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí - Eurokód 3 (2006).



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

OCELOVÁ KONSTRUKCE ZASTŘEŠENÍ VÍCEÚČELOVÉ SPORTOVNÍ HALY

II. STATICKÝ VÝPOČET

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

DAVID OMANÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MARTIN HORÁČEK

BRNO 2016

Obsah

1. ÚVOD	4
2. GEOMETRIE KONSTRUKCE	5
2.1. řez.....	5
2.2. půdorys.....	5
3. ZATÍŽENÍ.....	6
3.1. Stálá zatížení.....	6
3.1.1. ZS1 Vlastní tíha.....	6
3.1.2. ZS2 Tíha střešního pláště	6
3.2. Proměnná zatížení.....	6
3.2.1. ZS3 Sníh plný.....	6
3.2.2. ZS4 Sníh navátý I.....	8
3.2.3. ZS5 Sníh navátý II.....	9
3.2.4. ZS6 Vítr příčný.....	9
3.2.5. ZS7 Vítr podélný a tření větru.....	11
3.2.6. ZS8 Osamělá síla (osoba).....	12
3.2.7. ZS9 Stabilitní síly.....	12
3.3. Kombinace zatížení	13
3.3.1. Kombinační rovnice pro MSÚ	13
3.3.2. Kombinační rovnice MSP	13
4. DIMENZOVÁNÍ	14
4.1. Vaznice	14
4.1.1. max N, max M_y , odpovídající M_z (prut č. 437).....	14
4.1.2. Max M_z , odpovídající M_y+N (prut č. 447)	20
4.1.3. Max V_{ed}	23
4.1.4. Posouzení průhybu δ (prut č. 1008)	23
4.2. Příčné ztužidlo	24
4.2.1. Max N, max M_y , odpovídající M_z (prut č. 1648)	24
4.2.2. Posouzení průhybu δ (prut č. 1638)	27
4.3. Horní pás prostřední	28
4.3.1. max N, max M_y , max M_z (prut č. 312).....	29
4.4. Horní pás krajní	32
4.5. Zahrnutí vlivu vybočení oblouku jako celku dle teorie II. řádu	35
4.6. Dolní pás prostřední.....	38
4.7. Dolní pás krajní	42
4.8. Diagonála a svislice	46
4.9. Vzpěrky a diagonály příhrady	50

4.10.	Dolní pás podélného příhradového ztužidla	53
4.11.	Mezní stav použitelnosti celého vazníku	55
5.	Styčníky.....	56
5.1.	Spoj vaznice na vazník	56
5.1.1.	Posouzení svaru.....	56
5.1.2.	Posouzení šroubů.....	57
5.2.	Spoj vzpěrky na vaznici.....	58
5.2.1.	Posouzení svaru.....	58
5.2.2.	Posouzení čepu.....	59
5.3.	Spoj vzpěrky na dolního pásu vazníku	60
5.3.1.	Posouzení svaru.....	60
5.3.2.	Posouzení čepu	61
5.4.	Čepový spoj v podpoře	63
5.4.1.	Styčnickový plech	66
5.4.2.	Posouzení svarů styčnickových plechů k patní desce.....	67
5.4.3.	Posouzení čelního plechu	68
5.4.4.	Kotevní zarážka.....	69
5.4.5.	Posouzení patní desky	70
5.4.6.	Posouzení kotevních šroubů.....	72

1. ÚVOD

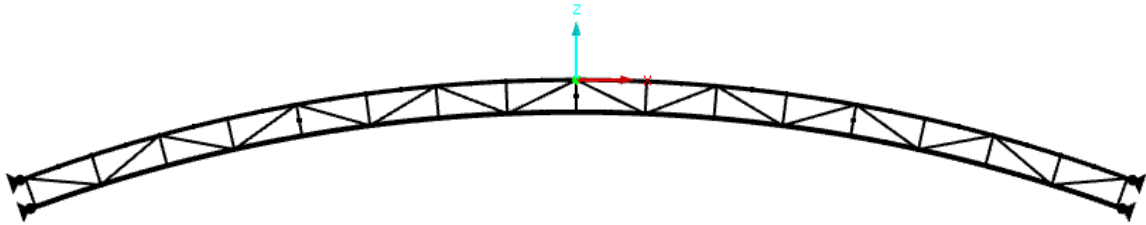
Prostorový model konstrukce víceúčelové sportovní haly je proveden v programu RFEM5. Dále byl použit program Microsoft Excel, za pomoci kterého bylo spočítáno posouzení na účinky zatížení, určeného podle normy ČSN EN 1991-1-1. U obloukové části konstrukce jsou ručně dopočítány účinky II. řádu (tento výpočet je konzervativní). Ruční výpočty obsahují i posouzení vybraných spojů na konstrukce. Posouzení vybraných spojů podle ČSN EN 1993-1-8.

Předmětem bakalářské práce je vypracování návrhu a posouzení nosné ocelové konstrukce. Zastřešení víceúčelové sportovní haly o orientačních půdorysných rozměrech 60 x 35 m. Pro určení klimatických zatížení bude uvažována lokalita Nový Jičín ($s_k=1,06$ kPa, $v_{b,0}=25$ m/s). Při návrhu nosné konstrukce budou splněny architektonické a dispoziční požadavky.

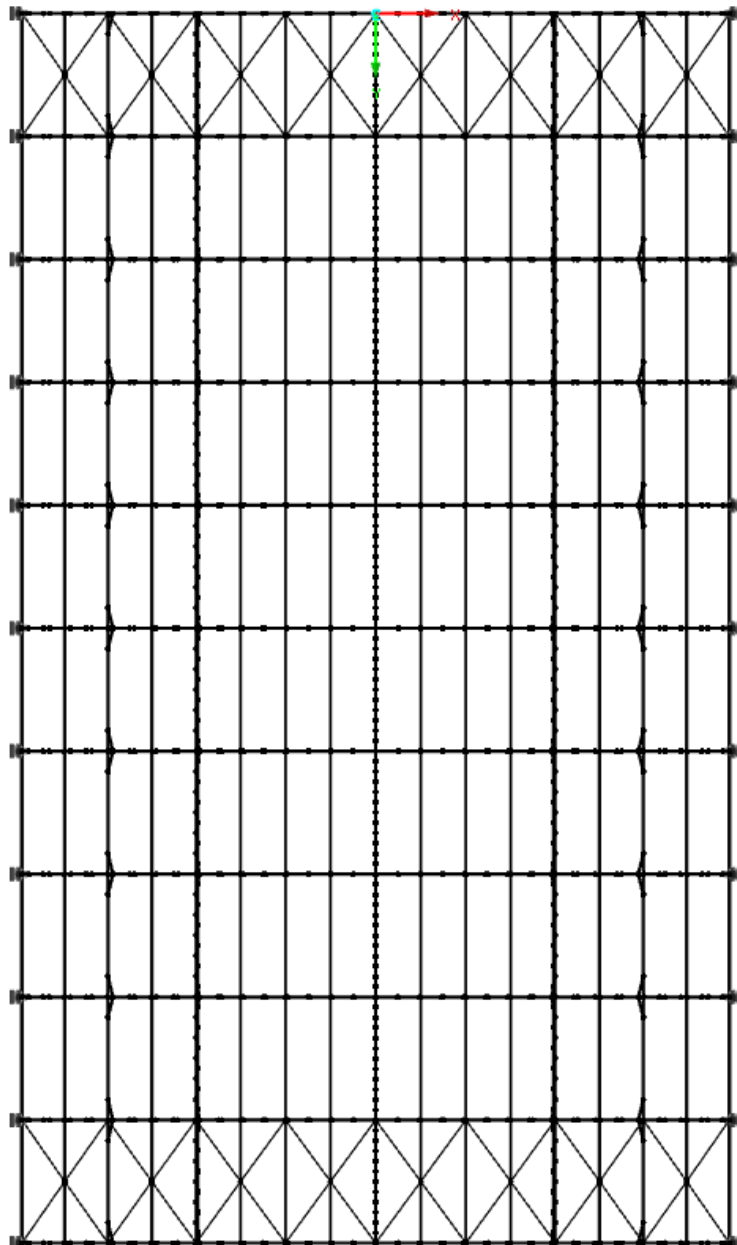
Hlavními nosnými prvky konstrukce jsou obloukové příhradové vazníky o rozpětích 34 m a vzdálených od sebe 6 m. Vazníky jsou uloženy kloubově do podpor. Celá hala má na délku 60 m. Veškeré střešní zatížení přenáší do vazníků vaznice s délkou 6m. Vzdálenost mezi vaznicemi je 2,2 m. Celá konstrukce je vyztužena příčnými ztužidly, příhradovými podélnými ztužidly a vzpěrkami. Střešní plášť ze sendvičového panelu má charakteristickou hmotnost $11,55$ kg/m².

2. GEOMETRIE KONSTRUKCE

2.1. řez



2.2. půdorys



3. ZATÍŽENÍ

3.1. Stálá zatížení

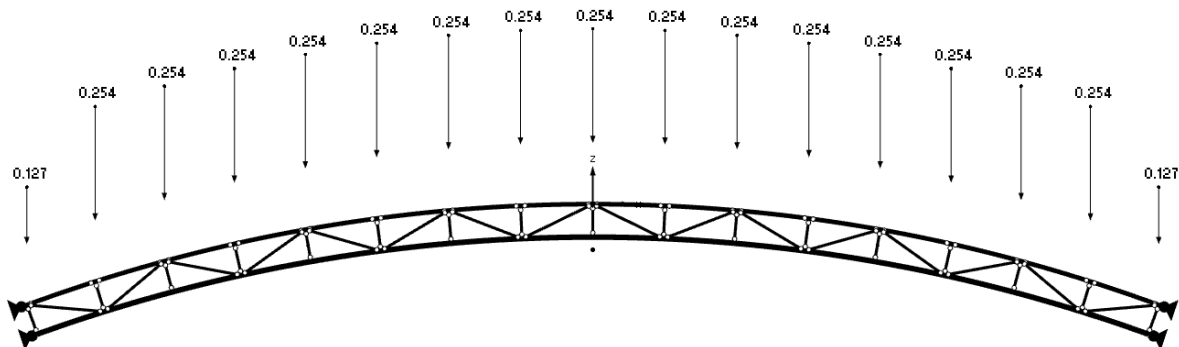
3.1.1. ZS1 Vlastní tíha

Vlastní tíha konstrukce byla automaticky spočítána programem RFEM

3.1.2. ZS2 Tíha střešního pláště

Celá konstrukce bude zastřešena střešním sendvičovým panelem s krytinou z hydroizolační PVC folie (součást panelu) na externí straně a trapézovým profilovaným plechem na interiérové straně, tl. plechu 0,6 mm. Vhodné i pro obloukové střechy s poloměrem v podélném směru větším než 50m. Celková tloušťka panelu je 110 mm, z toho tloušťka izolačního jádra je 80mm. Součinitel prostupu tepla $U=0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$. Charakteristická hmotnost panelu $11,55 \text{ kg/m}^2$. Zatěžovací šířka (vzdálenost mezi vaznicemi) $z_s=2,2\text{m}$.

$$g_{ZS2} = g_k \times z_s = 0,1155 \times 2,2 = 0,254 \text{ kN/m}$$



3.2. Proměnná zatížení

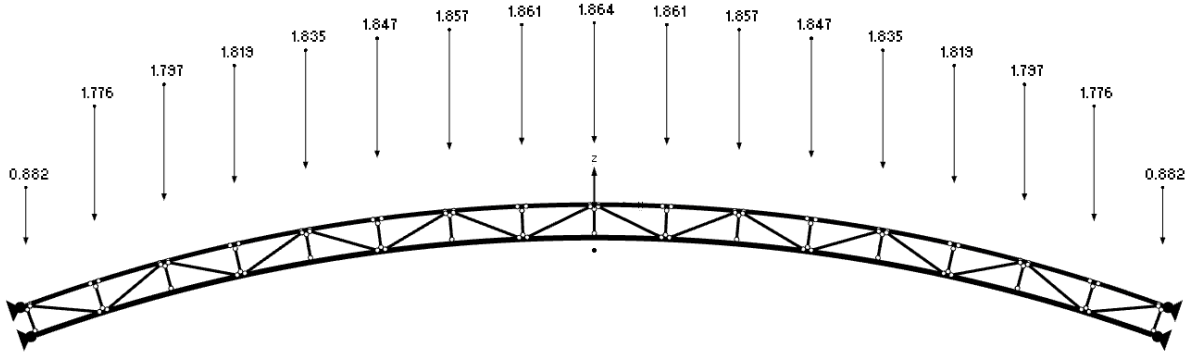
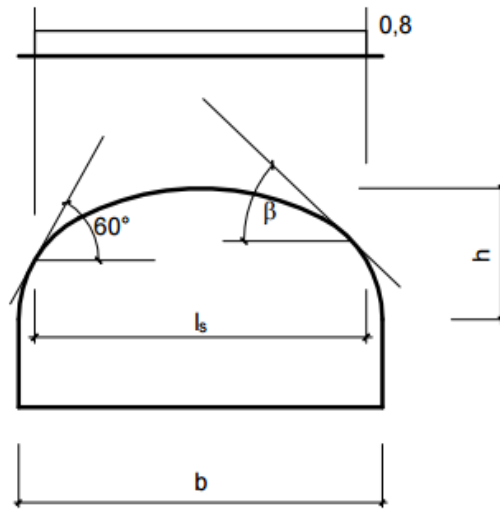
3.2.1. ZS3 Sníh plný

Konstrukce se nachází ve městě Nový Jičín, kterému dle sněhové mapy náleží oblast II. Přesná hodnota charakteristického zatížení sněhem na zemi, $s_k=1,06\text{kPa}$. Nadmořská výška 289 m n.m.

$$s_k = 1,06 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_{1,ZS3} = 0,8$$

$$s_{ZS3} = \mu_{1,ZS3} \times C_e \times C_t \times s_k$$
$$= 0,8 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,06 = 0,848 \text{ kN/m}$$

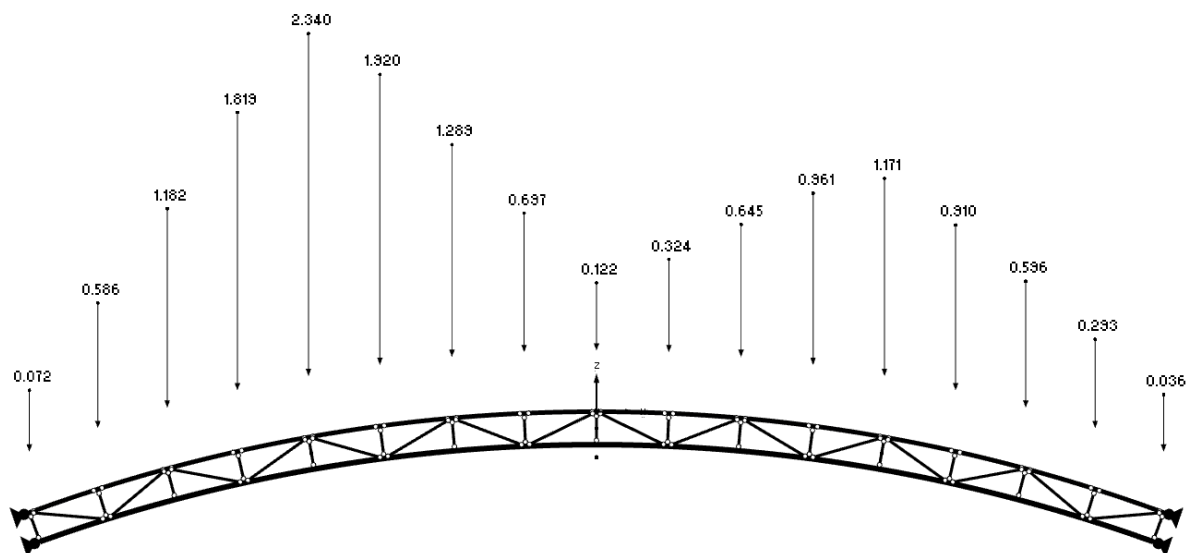
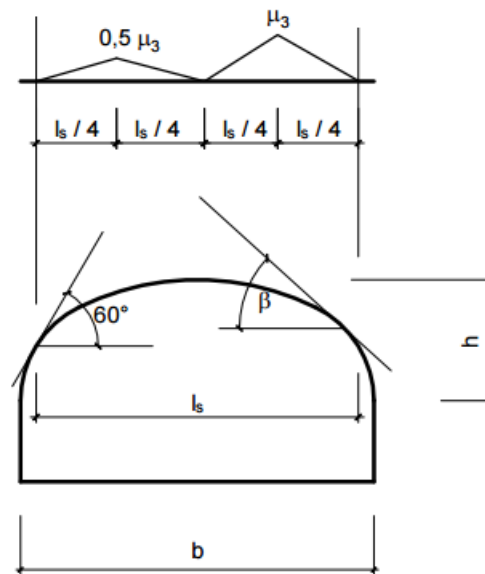


3.2.2. ZS4 Sníh navátý I

U válcové střechy se tvarový součinitel zatížením větrem určí z grafu nebo podle vztahů. Sklon střechy $\beta = 20^\circ \leq 60^\circ$.

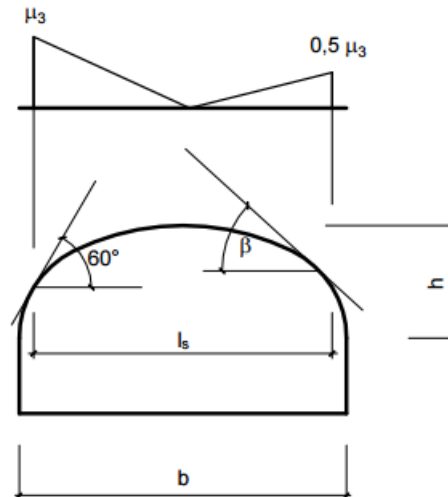
$$\mu_{3,ZS4} = 0,2 + 10 \times \frac{h}{b} = 0,2 + 10 \times \frac{3,06}{34,45} = 1,09$$

$$s_{ZS4} = \mu_{3,ZS4} \times C_e \times C_t \times s_k = 1,09 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,06 = 1,155 \text{ kN/m}$$



3.2.3. ZS5 Sníh navátý II

Podle Národní přílohy není nutné posuzovat tento zatěžovací stav, protože poměr výšky a šířky oblouku $h/b < 1/8$, na střeše nejsou použity sněžníky a konstrukce se nenachází v oblastech IV až VIII.



3.2.4. ZS6 Vítr příčný

Sportovní hala se bude nacházet ve větrné oblasti II. Výchozí základní rychlost větru $v_{b,0}=25\text{m/s}$. Kategorie terénu je zvolena II protože objekt se bude nacházet v oblasti s nízkou vegetací jako je tráva a s izolovanými překážkami (stromy, budovy), jejichž vzdálenost je větší než 20násobek výšky překážek $z_0=0,3\text{ m}$, $z_{\min}=5\text{ m}$, $z_{\max}=200\text{ m}$. Maximální výška nad terénem $z = 7,225\text{ m}$. Doporučená hodnota měrné hmotnosti vzduchu $\rho=1,25\text{ kg/m}^3$.

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

$$k_r = 0,19 \times \ln\left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \times \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$$

$$C_{r(z)} = k_r \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 \times \ln\frac{7,225}{0,3} = 0,685$$

$$v_m = C_{r(z)} \times C_{0(z)} \times v_b = 0,685 \times 1,0 \times 25 = 17,132\text{ m/s}$$

$$l_v = \frac{k_1}{C_{0(z)} \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \times \ln\left(\frac{7,225}{0,3}\right)} = 0,314$$

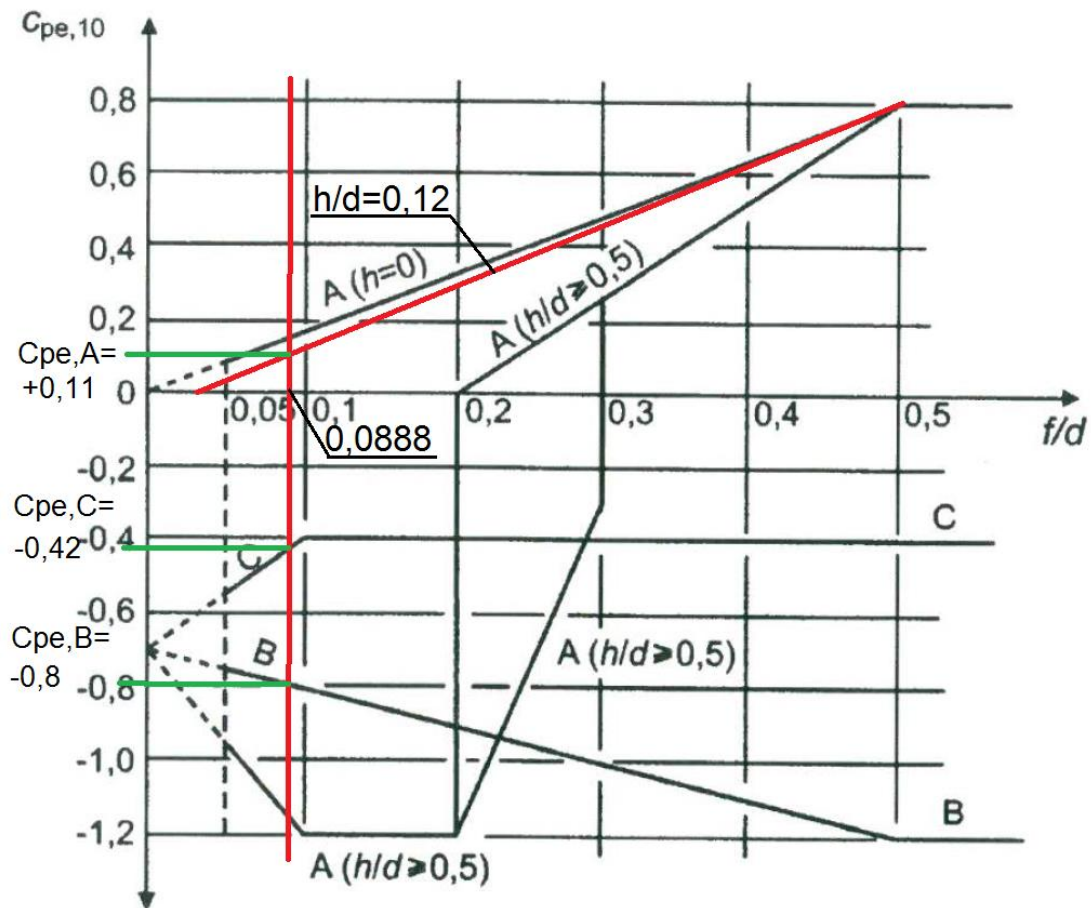
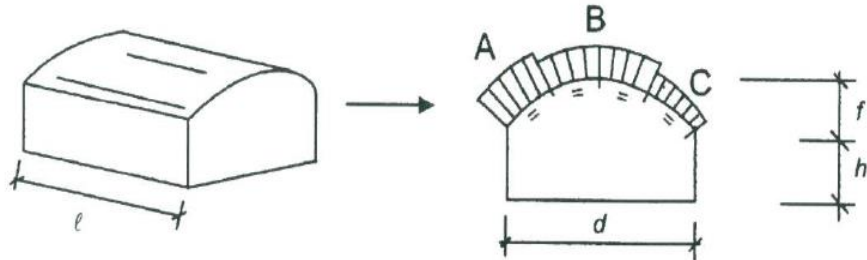
$$q_{p(z)} = [1 + 7 \times l_{v(z)}] \times \frac{1}{2} \times \rho \times v_m^2 =$$

$$= [1 + 7 \times 0,314] \times \frac{1}{2} \times 1,25 \times 17,132^2 = 0,587 \text{ kN/m}^2$$

Odvození doporučených hodnot součinitelů c_{pe} na válcové střeše.

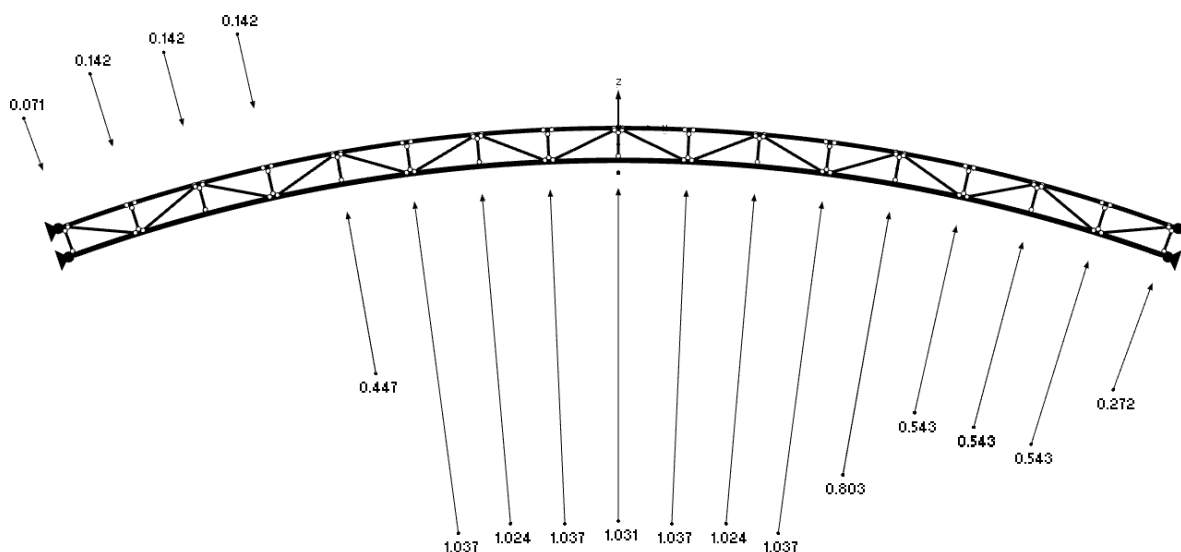
$f = 3,06 \text{ m}$
 $h = 4,165 \text{ m}$
 $d = 34,450 \text{ m}$
 $l = 60,0 \text{ m}$

$f/d = 0,0888$
 $h/d = 0,12$



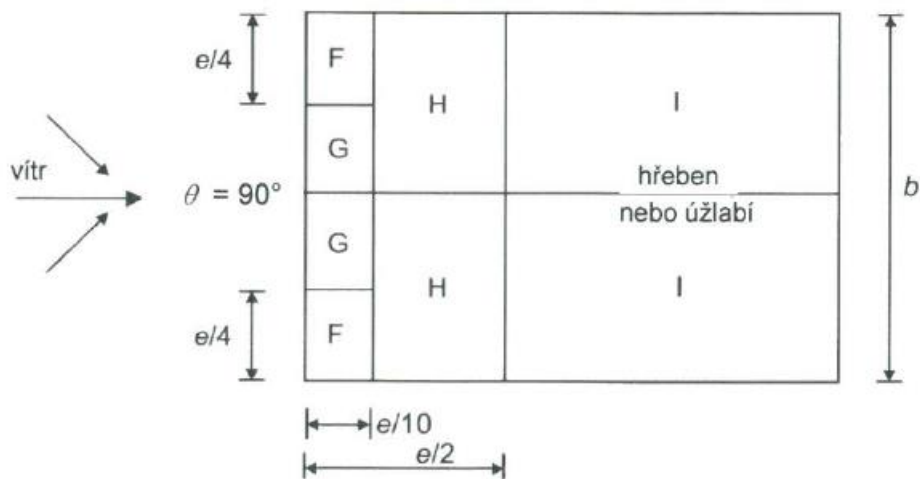
Výsledné hodnoty:

Oblast A: $c_{pe,10} = +0,11$
Oblast B: $c_{pe,10} = -0,8$
Oblast C: $c_{pe,10} = -0,42$



3.2.5. ZS7 Vítr podélný a tření větru

Válcová střecha je pro výpočet nahrazována sedlovou střechou s uvažovaným úhlem $\alpha = 15^\circ$.



c) Směr větru $\theta = 90^\circ$

Tabulkové součinitelé vnějšího tlaku pro sedlové střechy:

- Oblast F: $c_{pe,10} = -1,3$
- Oblast G: $c_{pe,10} = -1,3$
- Oblast H: $c_{pe,10} = -0,6$
- Oblast I: $c_{pe,10} = -0,5$

Třecí síly F_{tr} působí ve směru složek větru rovnoběžných s vnějšími povrchy. Celková plocha všech povrchů rovnoběžných se směrem větru je větší než čtyřnásobek celkové plochy všech vnějších povrchů, kolmých k větru. Součinitel tření se dle normy, pro hladký povrch (tj. ocel, beton) uvažuje $c_{fr}=0,01$. Referenční plocha A_{fr} se nachází vzdáleností rovné menší z hodnot $2b$ nebo $4h$.

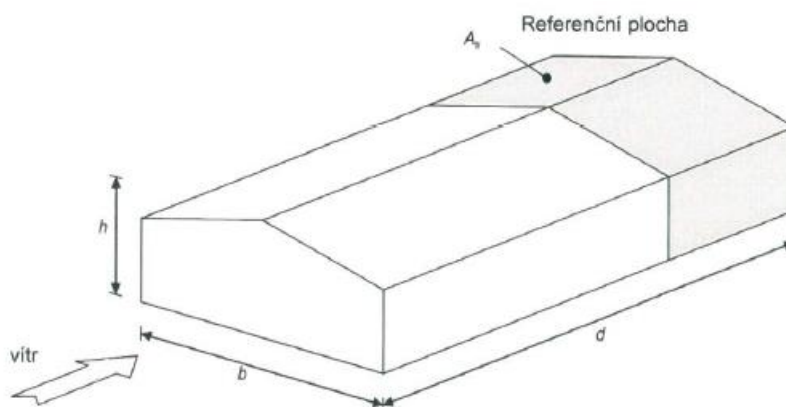
$$\min \left\{ \begin{array}{l} 2 \times b = 2 \times 34,45 = 68,9 \text{ m} \\ 4 \times h = 4 \times 7,225 = \mathbf{28,9 \text{ m}} \end{array} \right\}$$

$$b_{oblouk} = 35,168 \text{ m}$$

$$A_{fr} = b_{oblouk} \times (L - 28,9) = 35,168 \times (60,0 - 28,9) = 1093,72 \text{ m}^2$$

$$F_{tr} = c_{fr} \times q_{p(z_e)} \times A_{fr} = 0,01 \times 0,587 \times 1093,72 = 6,42 \text{ kN}$$

$$f_{fr} = \frac{F_{tr}}{n \times (60 - 28,9)} = \frac{6,42}{15 \times 31,1} = 0,013 \text{ kN/m}$$



3.2.6. ZS8 Osamělá síla (osoba)

Zatížení osobou se uvažuje osamělá síla F na prostředku vaznice o délce 6 m.

$$F_{ZS8} = 1,0 \text{ kN}$$

3.2.7. ZS9 Stabilitní síly

Stabilitní síly, které jsou vyvozené vzpěrnými účinky na vaznicích jsou přepočítány na jednotlivé uzly. Stabilitní síla se v každém uzlu ve styku vazníku a vaznice uvažuje jako setina ze dvou zprůměrovaných normálových sil.

$$F_{stab} = \frac{1}{100} \times \frac{N_i + N_{i+1}}{2}$$

3.3. Kombinace zatížení

3.3.1. Kombinační rovnice pro MSÚ

a) rovnice 6.10a

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

b) rovnice 6.10b

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

3.3.2. Kombinační rovnice MSP

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Seznam kombinací

KZ1: ZS1 × 1,35 + ZS2 × 1,35

KZ2: ZS1 × 1,35 + ZS2 × 1,35 + ZS3 × 1,50 + ZS9 × 1,00

KZ3: ZS1 × 1,35 + ZS2 × 1,35 + ZS4 × 1,50 + ZS9 × 1,00

KZ4: ZS1 × 1,35 + ZS2 × 1,35 + ZS5 × 1,50 + ZS9 × 1,00

KZ5: ZS1 × 1,35 + ZS2 × 1,35 + ZS6 × 1,50

KZ6: ZS1 × 1,35 + ZS2 × 1,35 + ZS7 × 1,50 + ZS9 × 1,00

KZ7: ZS1 × 1,35 + ZS2 × 1,35 + ZS8 × 1,50 + ZS9 × 1,00

KZ8: ZS1 × 1,35 + ZS2 × 1,35 + ZS3 × 1,50 + ZS8 × 1,50 + ZS9 × 1,00

KZ9: ZS1 × 1,35 + ZS2 × 1,35 + ZS3 × 1,50 + ZS6 × 0,90 + ZS8 × 1,50 + ZS9 × 1,00

KZ10: ZS1 × 1,35 + ZS2 × 1,35 + ZS3 × 1,50 + ZS7 × 0,90 + ZS8 × 1,50 + ZS9 × 1,00

KZ11: ZS1 × 1,35 + ZS2 × 1,35 + ZS4 × 1,50 + ZS6 × 0,90 + ZS8 × 1,50 + ZS9 × 1,00

KZ12: ZS1 × 1,35 + ZS2 × 1,35 + ZS4 × 1,50 + ZS7 × 0,90 + ZS8 × 1,50 + ZS9 × 1,00

KZ13: ZS1 × 1,35 + ZS2 × 1,35 + ZS5 × 1,50 + ZS6 × 0,90 + ZS8 × 1,50 + ZS9 × 1,00

KZ14: ZS1 × 1,35 + ZS2 × 1,35 + ZS5 × 1,50 + ZS7 × 0,90 + ZS8 × 1,50 + ZS9 × 1,00

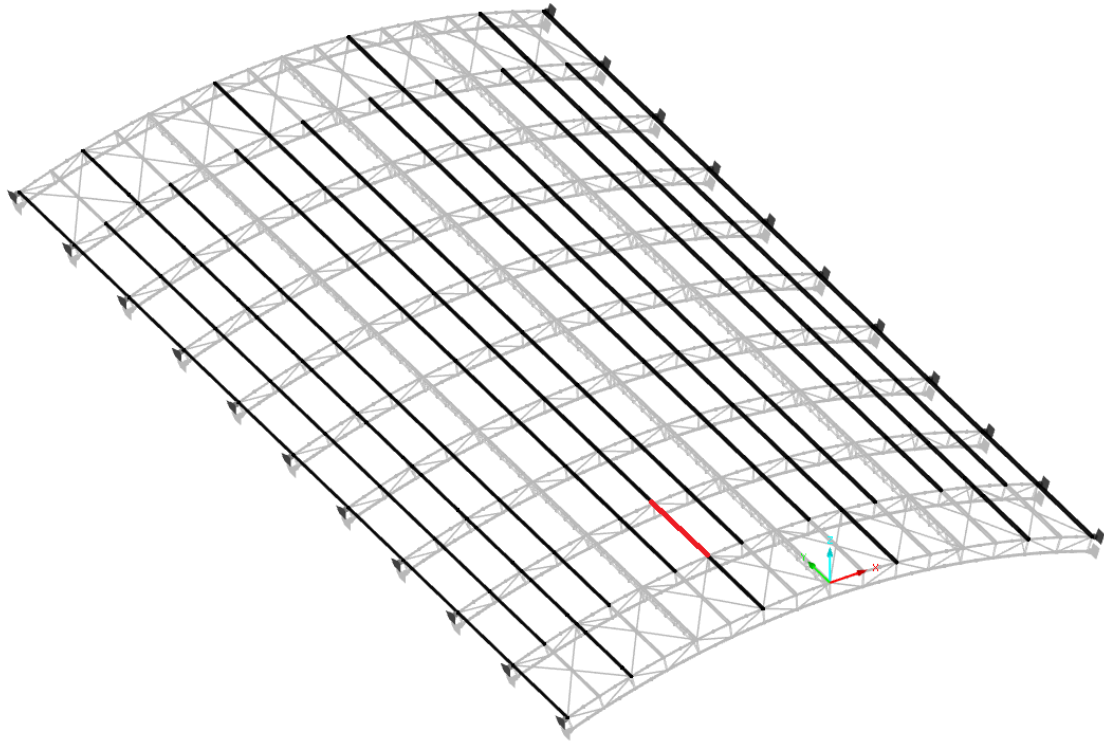
KZ15: ZS1 × 1,00 + ZS2 × 1,00 + ZS6 × 1,50

KZ16: ZS1 × 1,00 + ZS2 × 1,00 + ZS7 × 1,50 + ZS9 × 1,00

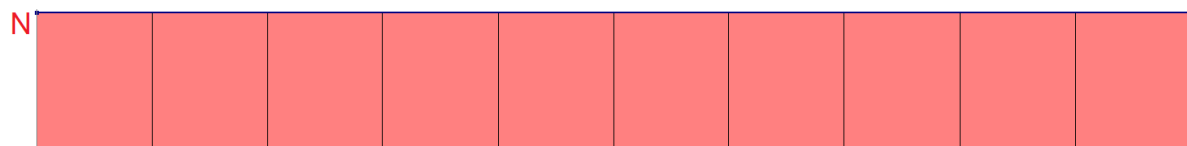
4. DIMENZOVÁNÍ

4.1. Vaznice

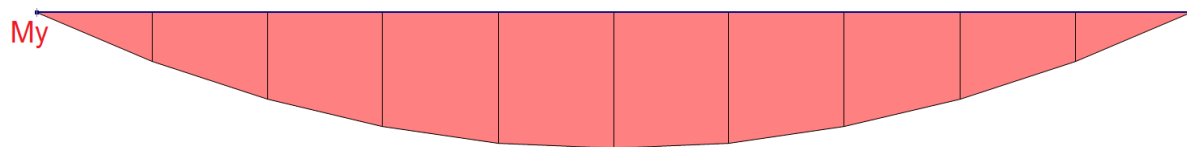
4.1.1. max N, max M_y , odpovídající M_z (prut č. 437)



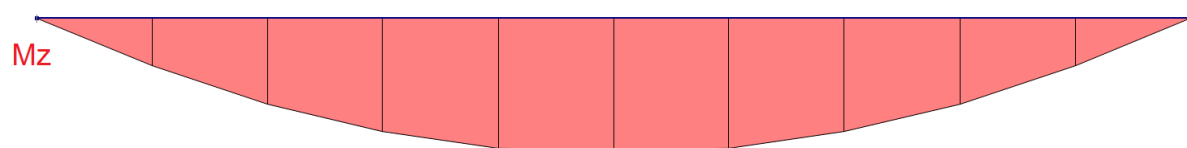
Průběhy vnitřní sil od kritické kombinace KZ2



-29,051



17,987



1,874

- Materiálové charakteristiky:

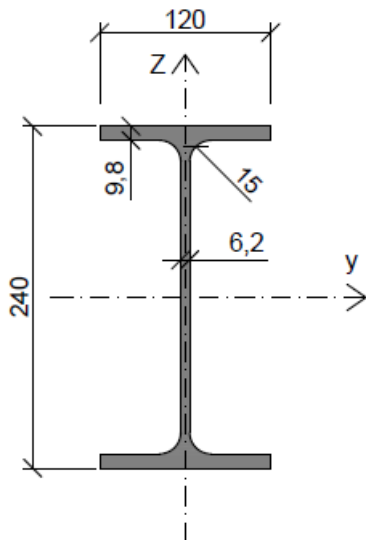
Ocel S355: $f_y = 355 \text{ MPa}$

$E = 210 \text{ GPa}$

Vzporné délky: $L_{crx} = L_{crz} = 6000 \text{ mm}$

- Průřezové charakteristiky:

IPE 240



Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška profilu	h	240,000	mm
Šířka profilu	b	120,000	mm
Tloušťka stojiny	t_w	6,200	mm
Tloušťka pásnice	t_f	9,800	mm
Vnitřní poloměr zaoblení	r	15,000	mm
Vnitřní výška mezi pásnicemi	h_i	220,400	mm
Výška rovné části stojiny	d	190,400	mm
Plocha průřezu	A	3912,000	mm ²
Smyková plocha	A_x	1965,100	mm ²
Smyková plocha	A_z	1382,200	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I_y	38920000,000	mm ⁴
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I_z	2836000,000	mm ⁴
Moment tuhosti v kroucení	I_t	128800,000	mm ⁴
Výsečový moment setrvačnosti	I_{wx}	37390000000,000	mm ⁶
Plastický průřezový modul	$W_{pl,x}$	366600,000	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z}$	73920,000	mm ³
Hmotnost průřezu	G	30,700	kg/m

- Zatřídění průřezu:

Stojina:

$$c = d = 190,4\text{mm}$$

$$t = t_w = 6,2\text{mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/355} = 0,81$$

$$c/t = 30,71 \leq 72 \times \varepsilon = 58,32 \rightarrow \text{třída 1.}$$

Pásnice:

$$c = 45\text{mm}$$

$$t = 9,8\text{mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/355} = 0,81$$

$$c/t = 4,59 \leq 9 \times \varepsilon = 7,29 \rightarrow \text{třída 1.}$$

- Posouzení na ohyb a osový tlak

Podmínky:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{m1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{m1}}} \leq 1,0$$

- Vliv osového tlaku

$$N_{Rk} = f_y \times A = 355 \times 3912 = 1388,760\text{kN}$$

- Vliv ohybu

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \times f_y = 366600 \times 355 = 130,143\text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \times f_y = 73920 \times 355 = 2,017\text{ kNm}$$

- Vliv vzpěru

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 6000\text{ mm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^3 \times 38,60 \times 10^6}{6000^2} = 2240,729\text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^3 \times 2,836 \times 10^6}{6000^2} = 163,276\text{ kN}$$

$$\lambda_y^- = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{3912 \times 355}{2240,729 \times 10^3}} = 0,787$$

$$\lambda_z^- = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{3912 \times 355}{163,276 \times 10^3}} = 2,916$$

- Křivky vzpěrné pevnosti: *křivka* „a,, → $\alpha_y = 0,21$
křivka „b,, → $\alpha_z = 0,34$

$$\Phi_y = 0,5 \times [1 + \alpha_y(\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2] = 0,5 \times [1 + 0,21(0,787 - 0,2) + 0,787^2] = 0,872$$

$$\Phi_z = 0,5 \times [1 + \alpha_z(\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2] = 0,5 \times [1 + 0,34(2,916 - 0,2) + 2,916^2] = 5,215$$

$$\kappa_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0,872 + \sqrt{0,872^2 - 0,787^2}} = 0,803$$

$$\kappa_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{5,215 + \sqrt{5,215^2 - 2,916^2}} = 0,105$$

- Vliv klopení

$$C_{1,0} = 1,13$$

$$C_{1,1} = 1,13$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) = 1,13 + (1,13 - 1,13) = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$C_3 = 0,53$$

$$z_a = \frac{h}{2} = \frac{240}{2} = 120 \text{ mm}$$

$$z_s = z_j = 0$$

$$z_g = z_a - z_s = 120 - 0 = 120$$

$$k_z = k_w = 1, z_j = 0$$

$$\xi_j = \frac{\pi \times z_j}{k_z \times L} \times \sqrt{\frac{E \times I_z}{G \times I_t}} = \frac{\pi \times 0}{1 \times 6000} \times \sqrt{\frac{210 \times 10^3 \times 28,36 \times 10^5}{81 \times 10^3 \times 12,88 \times 10^4}} = 0$$

$$\xi_g = \frac{\pi \times z_g}{k_z \times L} \times \sqrt{\frac{E \times I_z}{G \times I_t}} = \frac{\pi \times 120}{1 \times 6000} \times \sqrt{\frac{210 \times 10^3 \times 28,36 \times 10^5}{81 \times 10^3 \times 12,88 \times 10^4}} = 0,475$$

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \times L} \times \sqrt{\frac{E \times I_w}{G \times I_t}} = \frac{\pi}{1 \times 6000} \times \sqrt{\frac{210 \times 10^3 \times 37,39 \times 10^9}{81 \times 10^3 \times 12,88 \times 10^4}} = 0,454$$

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \times \left[\sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 \times \xi_g - C_3 \times \xi_j)^2} - (C_2 \times \xi_g - C_3 \times \xi_j) \right] = \\ &= \frac{1,13}{1} \times \left[\sqrt{1 + 0,454^2 + (0,46 \times 0,475 - 0,53 \times 0)^2} - (0,46 \times 0,475 - 0,53 \times 0) \right] = \\ &= 1,019 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \mu_{cr} \times \frac{\pi \times \sqrt{E \times I_z \times G \times I_t}}{L} = \\ &= 1,019 \times \frac{\pi \times \sqrt{210 \times 10^3 \times 28,36 \times 10^5 \times 81 \times 10^3 \times 12,88 \times 10^4}}{6000} = 42,042 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl} \times f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{366600 \times 355}{42,042 \times 10^6}} = 1,759$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \times [1 + \alpha(\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2] = 0,5 \times [1 + 0,21(1,759 - 0,2) + 1,759^2] = 2,212$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{2,212 + \sqrt{2,212^2 - 1,759^2}} = 0,282$$

$$\alpha_n = 0, \quad \psi = 1$$

$$k_y = k_z = k_w = 1$$

$$c_{my} = c_{mz} = 0,95 + 0,05 \times \alpha_n = 0,95$$

$$k_{yy} = c_{my} \times \left[1 + (\lambda_y - 0,2) \times \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{m1}}} \right] \leq c_{my} \times \left(1 + 0,8 \times \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{m1}}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,95 \times \left[1 + (0,787 - 0,2) \times \frac{29051}{\frac{0,803 \times 1388,76 \times 10^3}{1,1}} \right]$$

$$\leq 0,95 \times \left(1 + 0,8 \times \frac{29051}{\frac{0,803 \times 1388,76 \times 10^3}{1,1}} \right)$$

$$k_{yy} = \mathbf{0,966} \leq 0,972$$

$$k_{zz} = c_{mz} \times \left[1 + (2 \times \lambda_z - 0,6) \times \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{m1}}} \right] \leq c_{mz} \times \left(1 + 1,4 \times \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{m1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,95 \times \left[1 + (2 \times 2,916 - 0,6) \times \frac{29051}{\frac{0,105 \times 1388,76 \times 10^3}{1,1}} \right]$$

$$\leq 0,95 \times \left(1 + 1,4 \times \frac{29051}{\frac{0,105 \times 1388,76 \times 10^3}{1,1}} \right)$$

$$k_{zz} = 2,041 \leq \mathbf{1,242}$$

k_{zy} pro $\lambda_z \geq 0,4$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \times \lambda_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \times \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{m1}}} \right] \geq \left[1 - \frac{0,1}{(c_{mLT} - 0,25)} \times \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{m1}}} \right]$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \times 2,916}{(0,95 - 0,25)} \times \frac{29051}{\frac{0,105 \times 1388,76 \times 10^3}{1,1}} \right]$$

$$\geq \left[1 - \frac{0,1}{(0,95 - 0,25)} \times \frac{29051}{\frac{0,105 \times 1388,76 \times 10^3}{1,1}} \right]$$

$$k_{zy} = 0,924 \geq \mathbf{0,974}$$

$$k_{yz} = 0,6 \times k_{zz} = 0,6 \times 1,242 = \mathbf{0,584}$$

Dosazení do podmínek:

$$\frac{29051}{0,803 \times 1388,76 \times 10^3} + 0,966 \frac{17,987 \times 10^6 + 0}{0,282 \times 130,143 \times 10^6} + 0,584 \frac{1,874 \times 10^6 + 0}{26,242 \times 10^6} \leq 1,0$$

0,596 < 1

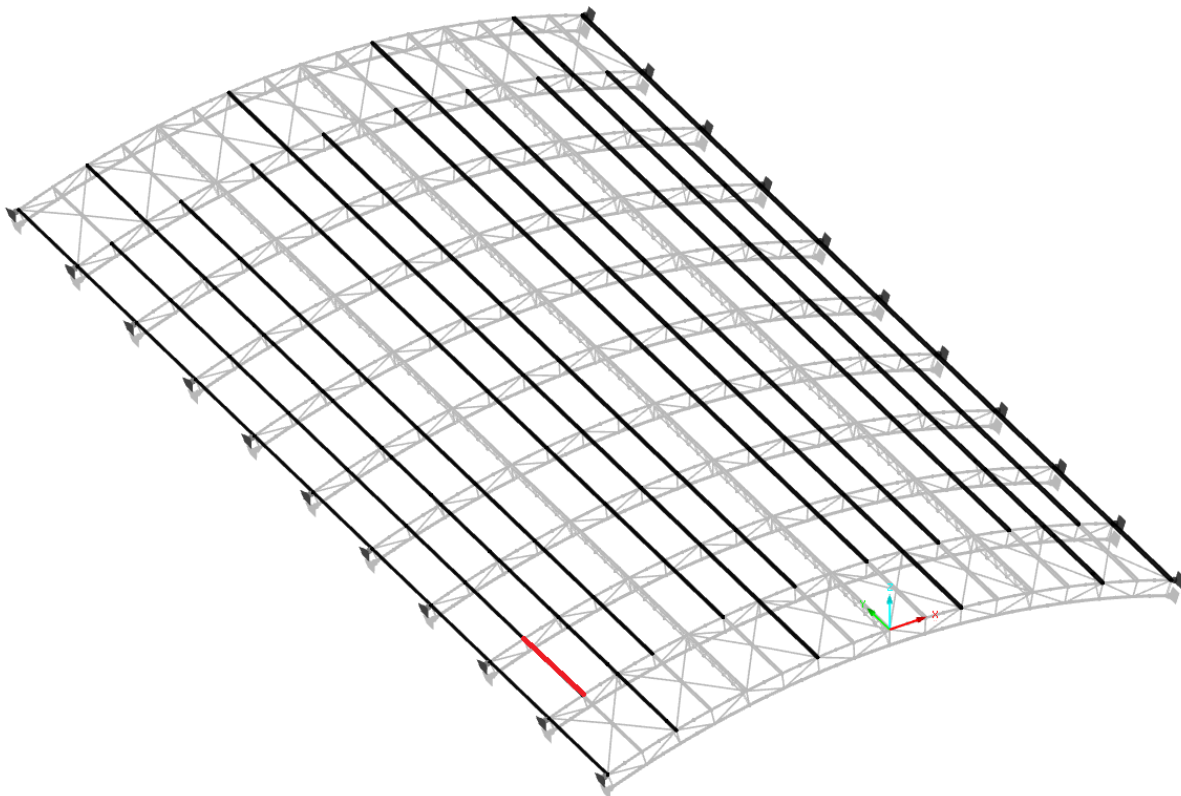
Vyhovuje

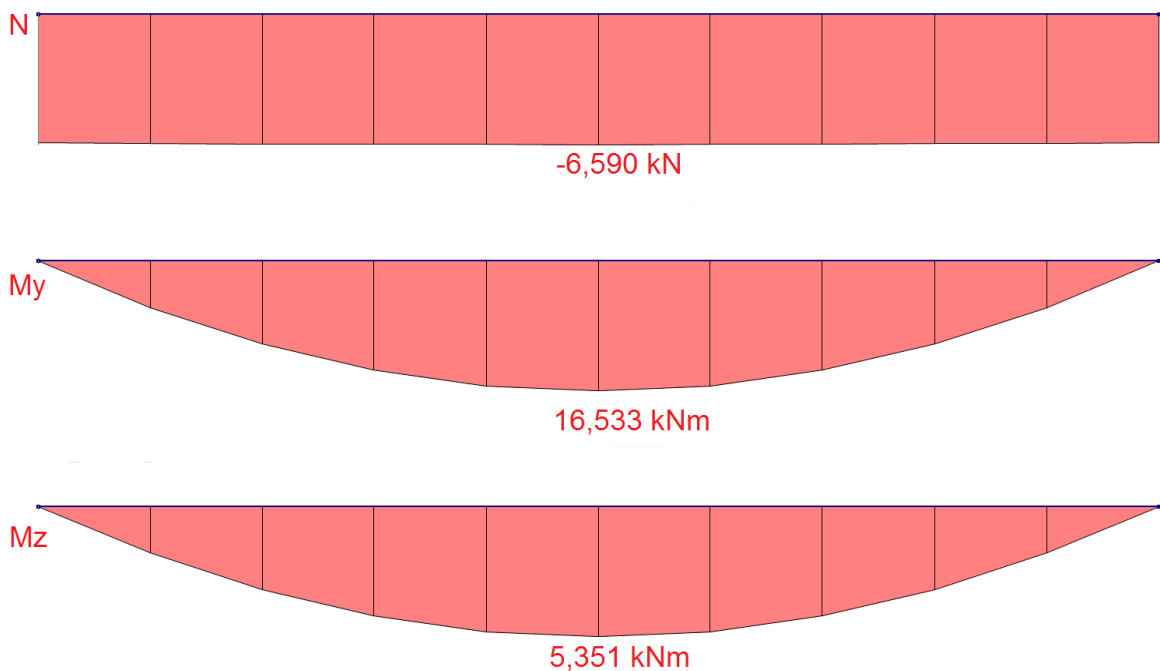
$$\frac{29051}{0,105 \times 1388,76 \times 10^3} + 0,974 \frac{17,987 \times 10^6 + 0}{0,282 \times 130,143 \times 10^6} + 1,242 \frac{1,874 \times 10^6 + 0}{26,242 \times 10^6} \leq 1,0$$

0,735 < 1

Vyhovuje

4.1.2. Max M_z , odpovídající M_y+N (prut č. 447)





- Posouzení na ohyb a osový tlak
- Vliv osového tlaku

$$N_{Rk} = f_y \times A = 355 \times 3912 = 1388,760 \text{ kN}$$

- Vliv ohybu

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \times f_y = 366600 \times 355 = 130,143 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \times f_y = 73920 \times 355 = 2,017 \text{ kNm}$$

Vliv vzpěru (excel)

	osy	
	Y	Z
N _{cr} =	2240729,19	163276
λ=	0,787	2,916
φ=	0,872	5,215
κ=	0,803	0,105

Vliv klopení (excel)

ξ _j =	0
ξ _g =	0,475
k _{wt} =	0,454
μ _{cr} =	1,019
M _{cr} =	42042200,3

$\lambda_{LT} =$	1,759
$\phi_{LT} =$	2,212
$\kappa_{LT} =$	0,282

$$k_{yy} = \mathbf{0,951} < 0,952$$

$$k_{zy} = 0,993 > \mathbf{0,998}$$

$$k_{yz} = \mathbf{0,599}$$

$$k_{zz} = 1,046 < \mathbf{0,976}$$

Doplnění do podmínek

$$\mathbf{0,700} < \mathbf{1} \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

$$\mathbf{0,694} < \mathbf{1} \quad \underline{\text{Vyhovuje}}$$

4.1.3. Max V_{ed}

- Posouzení na smyk

$$V_{Ed} = 11,957 \text{ kN}$$

- Smyková ploch A_v :

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f =$$

$$= 3912 - 2 \times 120 \times 9,8 + (6,2 + 2 \times 15) \times 9,8 = \mathbf{1813 \text{ mm}}$$

$$\geq \eta \times h_w \times t_w = 1,0 \times 220,4 \times 6,2 = 1367 \text{ mm}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v(f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{m0}} = \frac{1813(355/\sqrt{3})}{1,0} = 371,559 \text{ kN}$$

Podmínka:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{11,957}{371,559} = 0,032 \leq 1,0 \quad \mathbf{Vyhovuje}$$

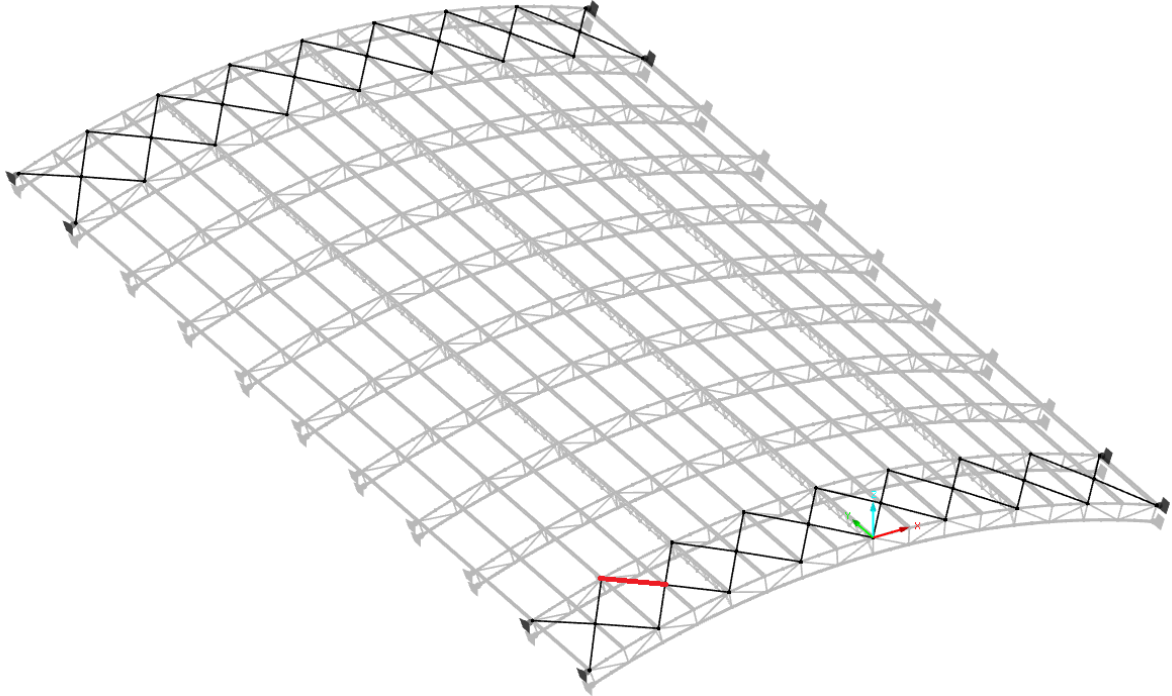
4.1.4. Posouzení průhybu δ (prut č. 1008)

- Maximální průhyb vaznice vypočtený RFEM 5

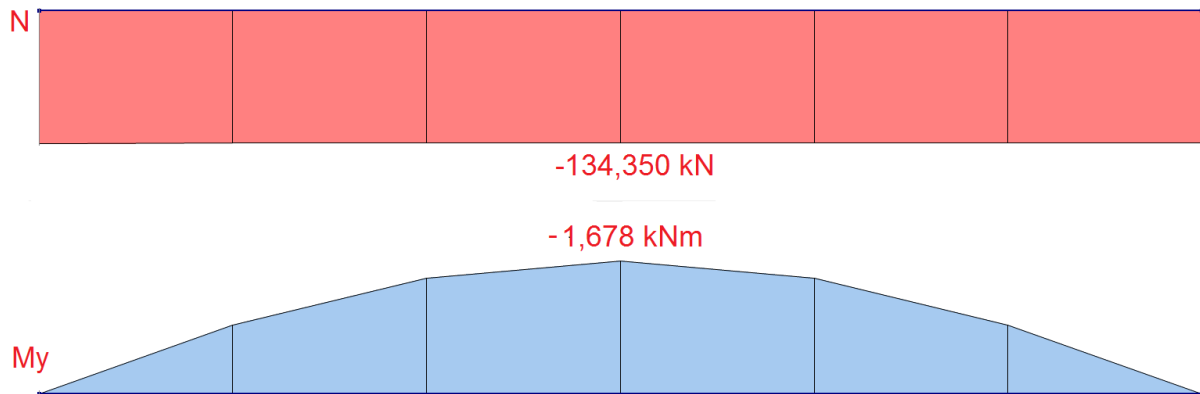
$$\delta_{max} = 9,4 \text{ mm} \leq \frac{L}{200} = \frac{6000}{200} = 30 \text{ mm} \quad \mathbf{Vyhovuje}$$

4.2. Příčné ztužidlo

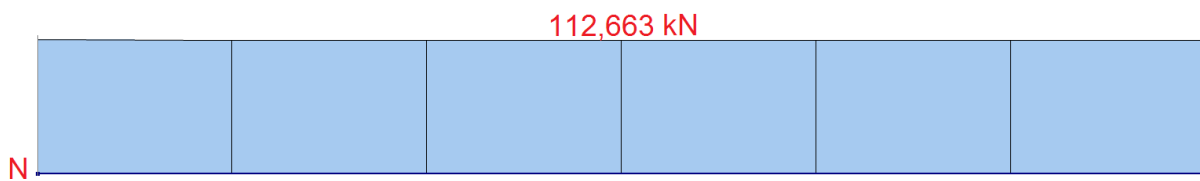
4.2.1. Max N, max M_y , odpovídající M_z (prut č. 1648)



Průběhy vnitřní sil od kritické kombinace KZ2



Průběhy tahových vnitřních sil od kritické kombinace KZ12 (prut č. 1655)

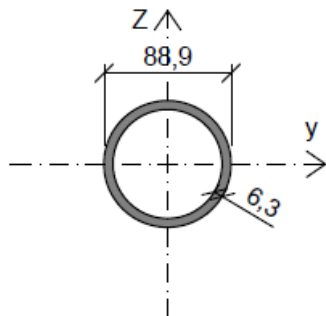


- Materiálové charakteristiky

Ocel S355: $f_y = 355 \text{ MPa}$
 $E = 210 \text{ GPa}$
 $L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3717 \text{ mm}$

- Průřezové charakteristiky

RO 88,9 x 6,3



Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Vnější průměr	D	88,900	mm
Tloušťka stěny	s	6,300	mm
Plocha průřezu	A	1630,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	813,600	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I _y	1400000,000	mm ⁴
Moment tuhosti v kroucení	I _t	2800000,000	mm ⁴
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	43100,000	mm ³
Hmotnost průřezu	G	12,800	kg/m

- Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/355} = 0,81$$

$$D/t = 88,9/6,3 = 14,11 \leq 50 \times \varepsilon^2 = 32,81 \rightarrow \text{třída 1.}$$

- Posouzení na ohyb a osový tlak

Podmínky:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{m1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{m1}}} \leq 1,0$$

- Kombinace ohybu a osového tlaku

$$N_{Rk} = f_y \times A = 355 \times 1630 = 578,650 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \times f_y = 43100 \times 355 = 15,300 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \times f_y = 43100 \times 355 = 15,300 \text{ kNm}$$

- Vliv vzpěru (excel)

	osy	
	Y	Z
Ncr=	210020,628	210020,6
λ =	1,660	1,660
ϕ =	2,031	2,031
χ =	0,312	0,312

- Součinitel klopení pro pruty necitlivé na distorzní deformace se uvažuje:

$$\chi_{LT} = 1,0$$

$$\alpha_{sy} = 0, \quad \psi_y = 1$$

$$c_{my} = 0,95 + 0,05 \times \alpha_{sy} = 0,95$$

$$k_{yy} = c_{my} \times \left[1 + (\lambda_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{m0}} \right] \leq c_{my} \times \left[1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{m0}} \right]$$

$$= 0,95 \times \left[1 + (1,660 - 0,2) \frac{134,350}{0,312 \times 578,65 / 1,1} \right] \leq 0,95 \times \left[1 + 0,8 \frac{134,350}{0,312 \times 578,65 / 1,1} \right]$$

$$k_{yy} = 2,085 \leq \mathbf{1,572}$$

$$k_{zy} = k_{yy} \times 0,6 = 1,572 \times 0,6 = \mathbf{0,943}$$

Dosažení do podmínek

$$\frac{134350}{0,312 \times 578,65 \times 10^3} + 1,572 \frac{1,599 \times 10^6 + 0}{1,0 \times 15,300 \times 10^6} + 0 \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,999 \leq 1}}$$

Vyhovuje

$$\frac{134350}{0,312 \times 578,65 \times 10^3} + 0,943 \frac{1,599 \times 10^6 + 0}{1,0 \times 15,300 \times 10^6} + 0 \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,926 \leq 1}}$$

Vyhovuje

- Posouzení na tah

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1630 \times 355}{1,0} = 578,650 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{112,663}{578,650} = 0,195 \leq 1,0 \text{ Vyhovuje}$$

- Posouzení na ohyb

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{43100 \times 355}{1,0} = 15,301 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{1,678}{15,301} = 0,110 \leq 1,0 \text{ Vyhovuje}$$

- Posouzení tah + ohyb

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{112,663}{578,650} + \frac{1,678}{15,301} = 0,304 \leq 1,0 \text{ Vyhovuje}$$

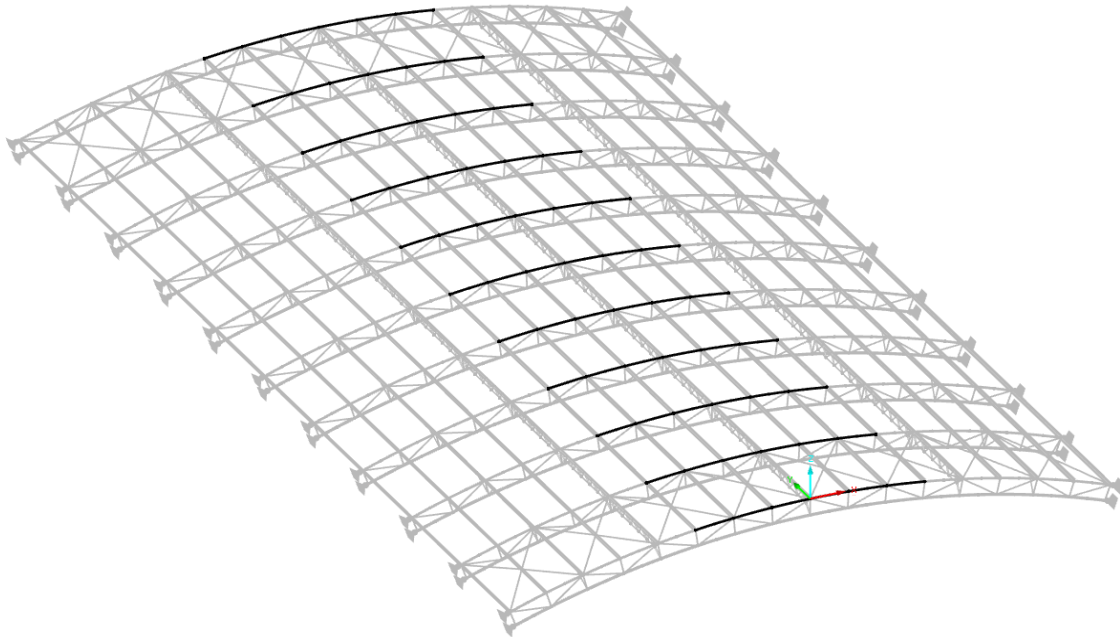
4.2.2. Posouzení průhybu δ (prut č. 1638)

- Štíhlost:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{1400000}{1630}} = 29,31 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr,y}}{i} = \frac{3717}{29,31} = 126,83 \leq 300 \text{ Vyhovuje}$$

4.3. Horní pás prostřední



- Materiálové charakteristik

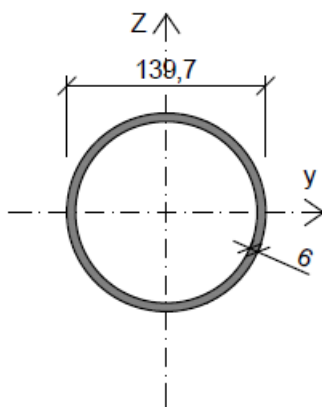
Ocel S355: $f_y = 355 \text{ MPa}$

$E = 210 \text{ GPa}$

Vzpěrné délky. $L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2200 \text{ mm}$

- Průřezové charakteristiky

RO 139,7 x 6,0



Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Vnější průměr	D	139,700	mm
Tloušťka stěny	s	6,000	mm
Plocha průřezu	A	2520,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	1251,100	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment)	I _y	5640000,000	mm ⁴
Moment tuhosti v kroucení	I _t	11290000,000	mm ⁴
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	107000,000	mm ³
Hmotnost průřezu	G	19,800	kg/m

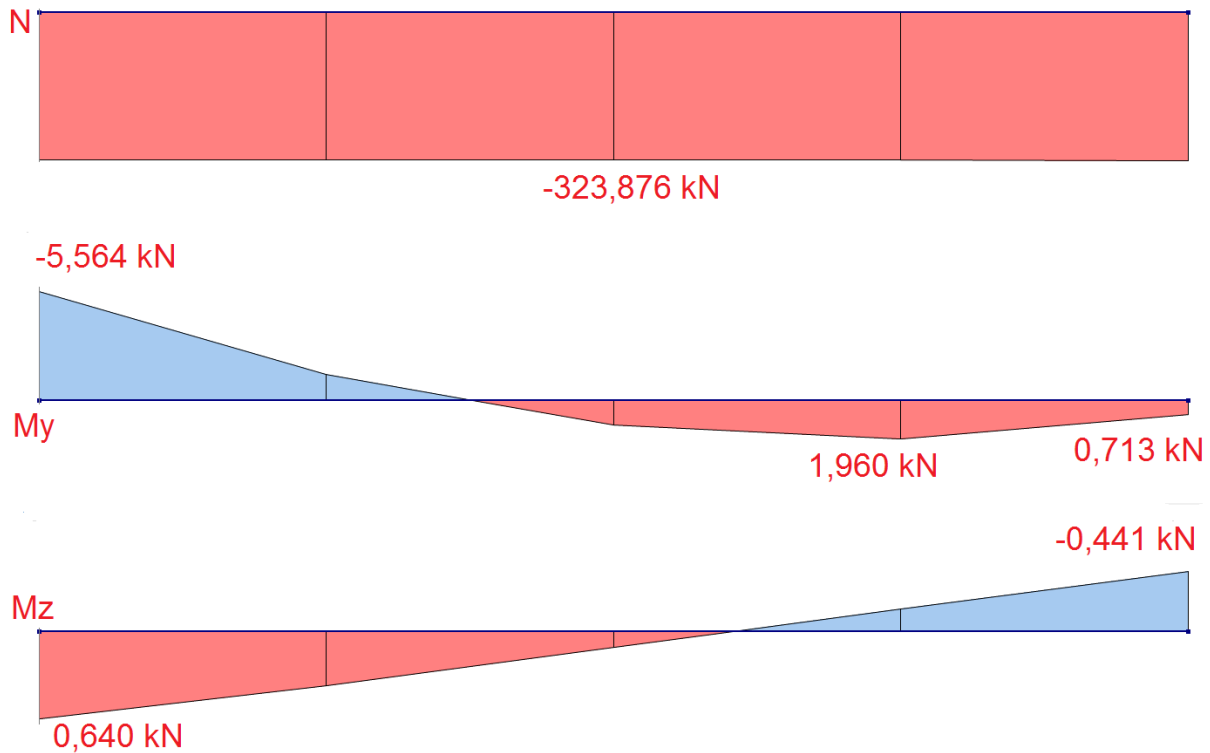
- Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/355} = 0,81$$

$$D/t = 139,7/6,0 = 23,28 \leq 50 \times \varepsilon^2 = 32,81 \rightarrow \text{třída 1.}$$

4.3.1. max N, max M_y, max M_z (prut č. 312)

Maximální vnitřní síly od kritické kombinace KZ2



- Posouzení na ohyb a osový tlak

Podmínky:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\kappa_y N_{Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\kappa_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{m1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\kappa_z N_{Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\kappa_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{m1}}} \leq 1,0$$

- Kombinace ohybu a osového tlaku

$$N_{Rk} = f_y \times A = 355 \times 2520 = 894,600 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \times f_y = 107000 \times 355 = 37,985 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \times f_y = 107000 \times 355 = 37,985 \text{ kNm}$$

- Vliv vzpěru (excel)

	osy	
	Y	Z
Ncr=	2415198	2415198
λ =	0,609	0,609
ϕ =	0,728	0,728
χ =	0,887	0,887

- Součinitel klopení pro pruty necitlivé na distorzní deformace se uvažuje:

$$\kappa_{LT} = 1,0$$

$$\alpha_{sy} = -0,35, \quad \psi_y = -0,13$$

$$c_{my} = 0,1 \times (1 - \psi) - 0,8 \times \alpha_s = 0,4$$

$$\psi_z = -0,69$$

$$c_{mz} = 0,6 + 0,4 \times \psi = 0,4$$

$$k_{yy} = c_{my} \times \left[1 + (\lambda_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{m0}} \right] \leq c_{my} \times \left[1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{m0}} \right]$$

$$= 0,4 \times \left[1 + (0,609 - 0,2) \frac{323,876}{0,887 \times 894,600 / 1,1} \right] \leq 0,4 \times \left[1 + 0,8 \frac{323,876}{0,887 \times 894,600 / 1,1} \right]$$

$$k_{yy} = \mathbf{0,473} \leq 0,544$$

$$k_{yy} = k_{zz}$$

$$k_{yz} = k_{zy} = 0,6 \times k_{zz} = 0,6 \times 0,473 = \mathbf{0,284}$$

Dosazení do podmínek

$$\frac{323876}{\frac{0,887 \times 894,6 \times 10^3}{1,1}} + 0,473 \frac{5,564 \times 10^6 + 0}{\frac{1,0 \times 37,985 \times 10^6}{1,1}} + 0,284 \frac{0,640 \times 10^6 + 0}{\frac{37,985 \times 10^6}{1,1}} \leq 1,0$$

$$\mathbf{0,530 \leq 1}$$

Vyhovuje

$$\frac{323876}{0,887 \times 894,6 \times 10^3} + 0,284 \frac{5,564 \times 10^6 + 0}{1,0 \times 37,985 \times 10^6} + 0,473 \frac{0,640 \times 10^6 + 0}{37,985 \times 10^6} \leq 1,0$$

$$\mathbf{0,494 \leq 1}$$

Vyhovuje

- Posouzení na smyk

$$V_{Ed} = 8,971 \text{ kN}$$

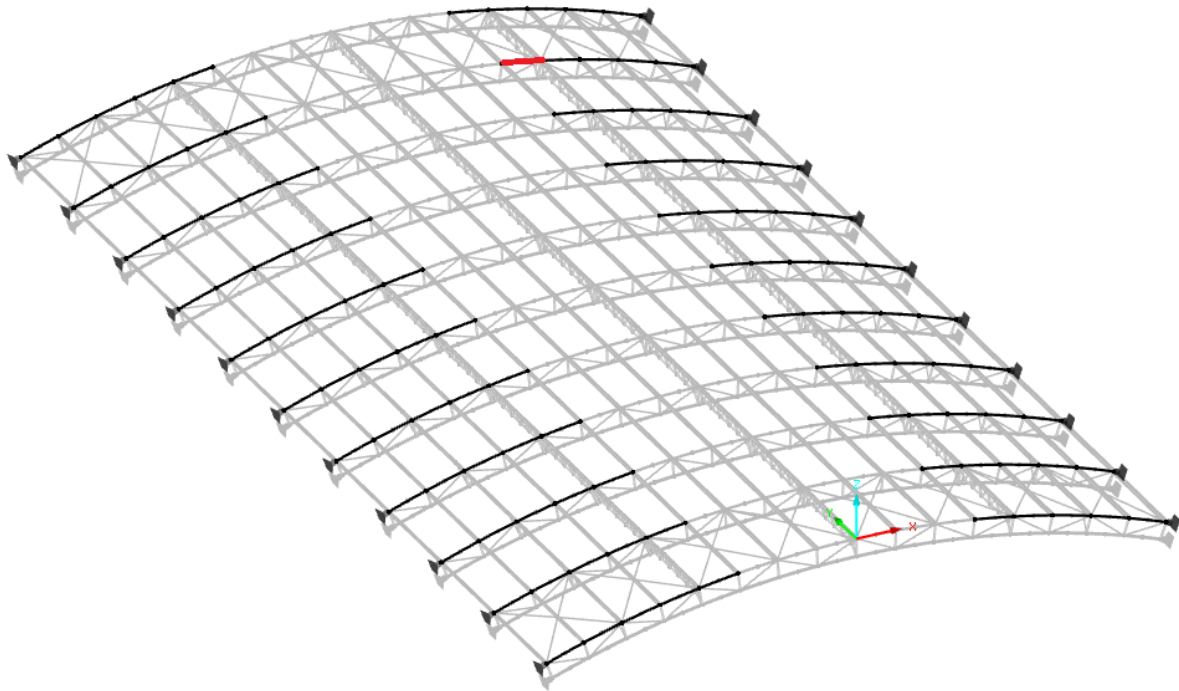
$$A_v = 1251,1 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{m0}} = \frac{1251,1 (355 / \sqrt{3})}{1,0} = 256,425 \text{ kN}$$

Podmínka:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{8,971}{256,425} = 0,035 \leq 1,0 \quad \mathbf{Vyhovuje}$$

4.4. Horní pás krajní



- Materiálové charakteristiky

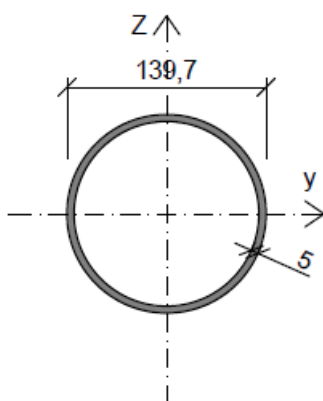
Ocel S355: $f_y = 355 \text{ MPa}$

$E = 210 \text{ GPa}$

Vzporná délka: $L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2200 \text{ mm}$

- Průřezové charakteristiky

RO 139,7 x 6,0



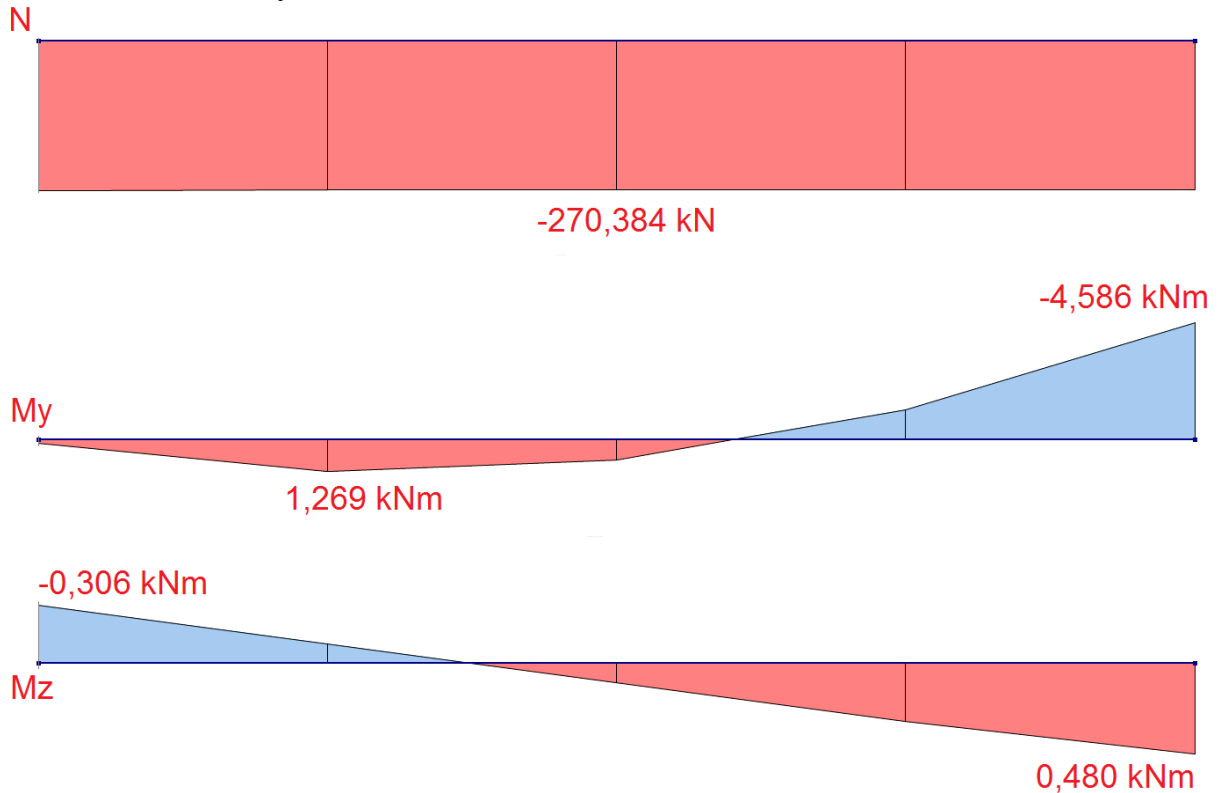
Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Vnější průměr	D	139,700	mm
Tloušťka stěny	s	5,000	mm
Plocha průřezu	A	2120,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	1049,900	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment)	I _y	4810000,000	mm ⁴
Moment tuhosti v kroucení	I _t	9610000,000	mm ⁴
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	90800,000	mm ³
Hmotnost průřezu	G	16,600	kg/m

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/355} = 0,81$$

$$D/t = 139,7/5,0 = 27,94 \leq 50 \times \varepsilon^2 = 32,81 \rightarrow \text{třída 1.}$$

Maximální vnitřní síly od kritické kombinace KZ2



- Posouzení na ohyb a osový tlak

Podmínky:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{m1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{m1}}} \leq 1,0$$

- Kombinace ohybu a osového tlaku

$$N_{Rk} = f_y \times A = 355 \times 2120 = 752,600 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \times f_y = 90800 \times 355 = 32,234 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \times f_y = 90800 \times 355 = 32,234 \text{ kNm}$$

- Vliv vzpěru (excel)

	osy	
	Y	Z
Ncr=	2059770	2059770
λ =	0,604	0,604
ϕ =	0,725	0,725
κ =	0,888	0,888

- Součinitel klopení pro pruty necitlivé na distorzní deformace se uvažuje:

$$\kappa_{LT} = 1,0$$

$$\alpha_{sy} = 0, \quad \psi_y = -0,28$$

$$c_{my} = 0,2 + 0,8 \times \alpha_s = 0,4$$

$$\psi_z = -0,64$$

$$c_{mz} = 0,6 + 0,4 \times \psi = 0,4$$

$$k_{yy} = c_{my} \times \left[1 + (\lambda_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\kappa_y N_{Rk} / \gamma_{m0}} \right] \leq c_{my} \times \left[1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\kappa_y N_{Rk} / \gamma_{m0}} \right]$$

$$= 0,4 \times \left[1 + (0,604 - 0,2) \frac{270,384}{0,888 \times 752,600 / 1,1} \right] \leq 0,4 \times \left[1 + 0,8 \frac{270,384}{0,888 \times 752,600 / 1,1} \right]$$

$$k_{yy} = \mathbf{0,711} \leq 0,817$$

$$k_{yy} = k_{zz}$$

$$k_{yz} = k_{zy} = 0,6 \times k_{zz} = 0,6 \times 0,711 = \mathbf{0,427}$$

Dosazení do podmínek

$$\frac{270384}{\frac{0,888 \times 752,6 \times 10^3}{1,1}} + 0,711 \frac{4,586 \times 10^6 + 0}{\frac{1,0 \times 32,234 \times 10^6}{1,1}} + 0,424 \frac{0,480 \times 10^6 + 0}{\frac{32,234 \times 10^6}{1,1}} \leq 1,0$$

$$\mathbf{0,563 \leq 1}$$

Vyhovuje

$$\frac{270384}{\frac{0,888 \times 752,6 \times 10^3}{1,1}} + 0,424 \frac{4,586 \times 10^6 + 0}{\frac{1,0 \times 32,234 \times 10^6}{1,1}} + 0,711 \frac{0,480 \times 10^6 + 0}{\frac{32,234 \times 10^6}{1,1}} \leq 1,0$$

$$\mathbf{0,510 \leq 1}$$

Vyhovuje

- Posouzení na smyk

$$V_{Ed} = 7,217 \text{ kN}$$

$$A_v = 1049,9 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v(f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{m0}} = \frac{1049,9(355/\sqrt{3})}{1,0} = 215,187 \text{ kN}$$

Podmínka:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{7,217}{215,187} = 0,034 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

4.5. Zahrnutí vlivu vybočení oblouku jako celku dle teorie II. řádu

$$N_h = 238,622 \text{ kN}$$

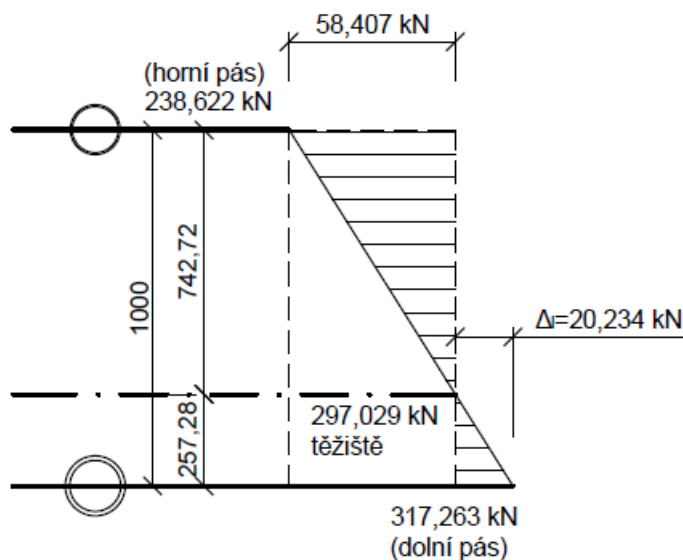
$$N_d = 317,263 \text{ kN}$$

$$h = 1000 \text{ mm}$$

$$z_d = 257,28 \text{ mm}$$

$$z_h = 742,72 \text{ mm}$$

Z podobnosti trojúhelníků:



$$\frac{N_d - N_h}{\Delta_I} = \frac{h}{z_d}$$

$$\rightarrow \Delta_I = \frac{(N_d - N_h) \times z_d}{h} = \frac{(317,263 - 238,622) \times 0,25728}{1} = 20,234 \text{ kN}$$

$$N_{L/4,I} = N_d - \Delta_I = 317,263 - 20,234 = 297,029 \text{ kN}$$

$$M_{L/4,I} = \Delta_I \times z_d + (N_d - \Delta_I - N_h) \times z_h =$$

$$= 20,234 \times 0,257 + (317,263 - 20,234 - 238,622) \times 0,743 = 48,597 \text{ kNm}$$

$$f_{L/4,I} = 29 \text{ mm}$$

$$M_{L/4,II} = M_{L/4,I} \times \frac{1}{1 - \frac{f_{L/4,I} \times N_{L/4,I}}{M_{L/4,I}}} = 48,597 \times \frac{1}{1 - \frac{0,029 \times 297,029}{48,597}} = 59,067 \text{ kNm}$$

- 1.Rovnice

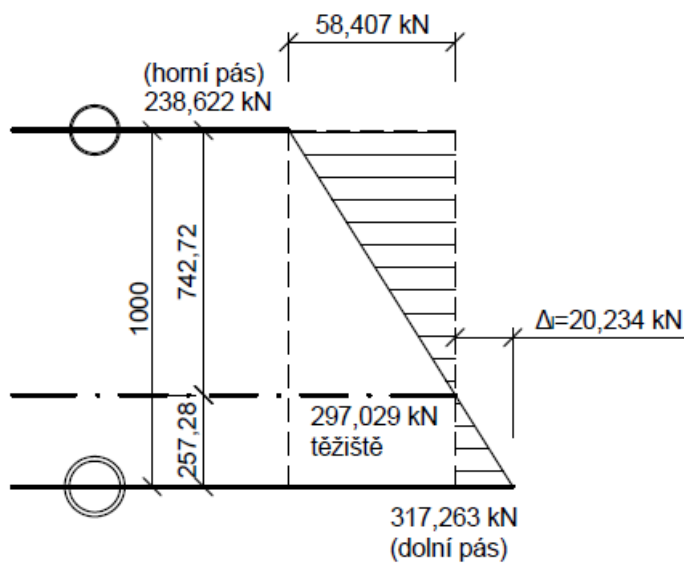
$$N_d - \Delta_I = \frac{(N_d - N_h) \times z_d}{h} = N_{L/4,I}$$

$$N_h = \frac{N_{L/4,I} \times h - N_d \times h + N_d \times z}{z_d}$$

- 2.Rovnice

$$M_{L/4,II} = \frac{(N_d - N_h) \times z_d}{h} \times z_d + \left[N_d - \frac{(N_d - N_h) \times z_d}{h} - N_h \right] \times z_h$$

Hodnoty jsou spočítány s podobností trojúhelníků a programu „excel„



$$N_{d,x} = 24,597 \text{ kN}$$

$$N_{h,y} = 71,008 \text{ kN}$$

$$N_{h,II} = N_{L/4,I} - N_{h,y} = 297,029 - 71,008 = 227,021 \text{ kN}$$

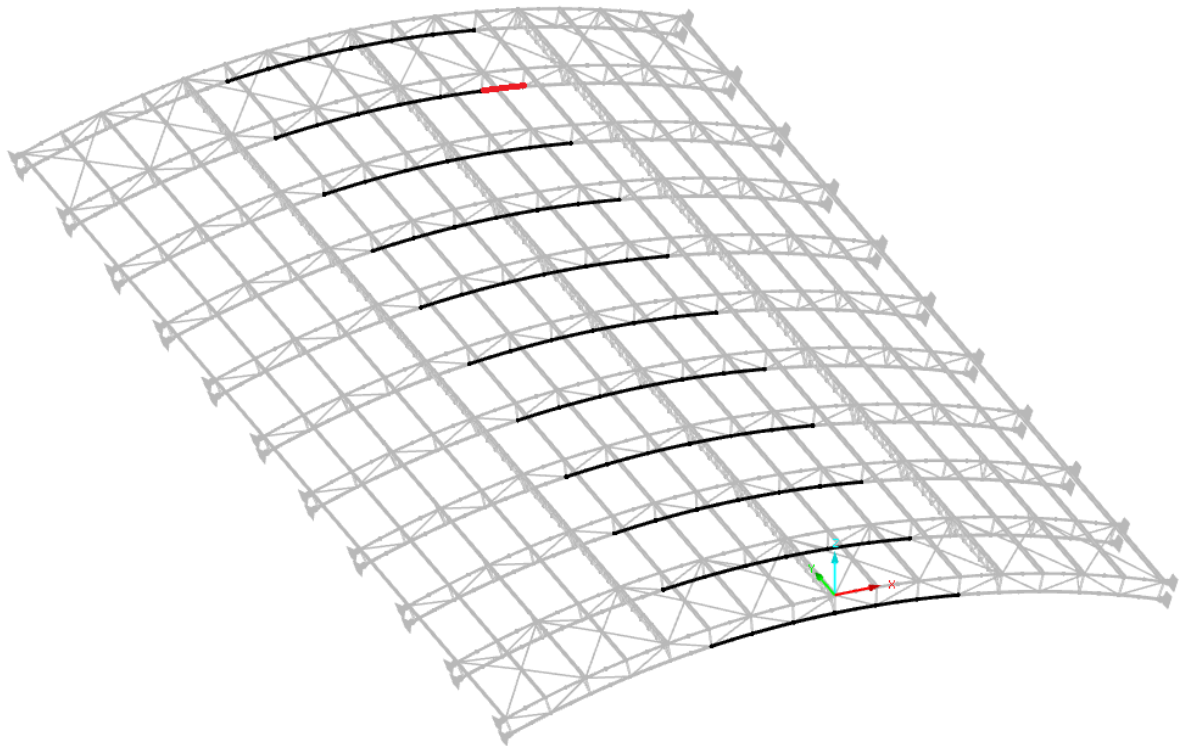
$$N_{d,II} = N_{L/4,I} + N_{d,x} = 297,029 + 24,597 = 321,626 \text{ kN}$$

Pro další výpočet se uvažuje odchylka zvětšení dolního pásu.

$$\underline{\Delta N_d = N_{d,II} - N_{d,I} = 321,626 - 317,263 = \mathbf{4,363 \text{ kN}}}$$

Síla ΔN_d je připočítána ke každé normálové síle ve spodním pásu. Tento výpočet je konzervativní.

4.6. Dolní pás prostřední



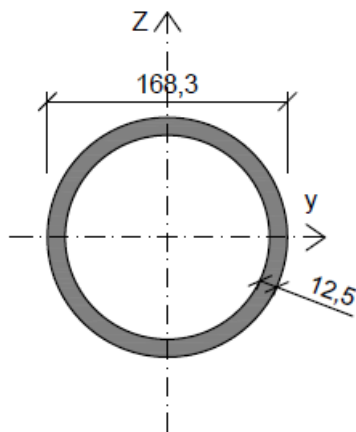
- Materiálové charakteristiky

Ocel S355: $f_y = 355 \text{ MPa}$
 $E = 210 \text{ GPa}$

Vzpěrné délky: $L_{cr,y} = 8800 \text{ mm}$
 $L_{cr,z} = 2200 \text{ mm}$

- Průřezové charakteristiky

RO 139,7 x 6,0



Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Vnější průměr	D	168,300	mm
Tloušťka stěny	s	12,500	mm
Plocha průřezu	A	6120,000	mm ²
Smyková plocha	A _v	3046,200	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný mome	I _y	18680000,000	mm ⁴
Moment tuhosti v kroucení	I _t	37370000,000	mm ⁴
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	304000,000	mm ³
Hmotnost průřezu	G	48,000	kg/m

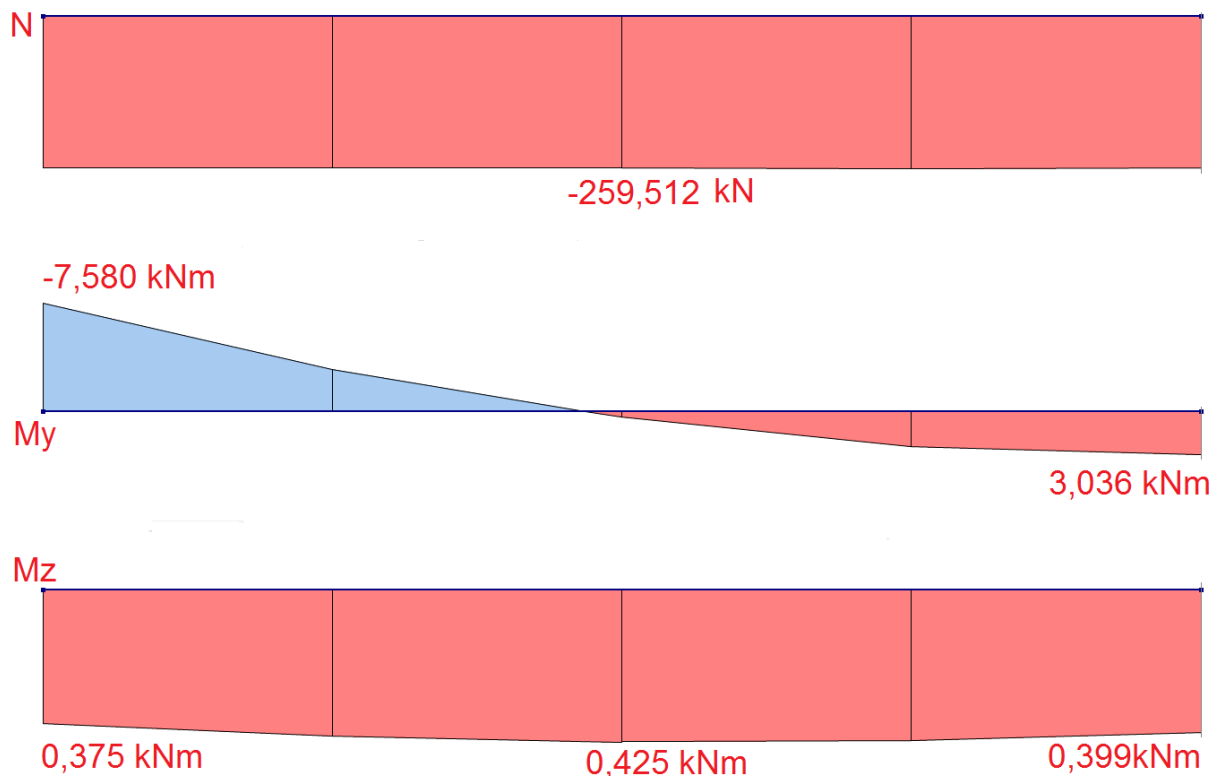
- Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/355} = 0,81$$

$$D/t = 168,3/12,5 = 13,46 \leq 50 \times \varepsilon^2 = 32,81 \rightarrow \text{třída 1.}$$

Maximální vnitřní síly od kritické kombinace KZ2

$$N_{Ed} = N_{max} + \Delta N_d = 259,512 + 4,363 = 263,875 \text{ kN}$$



- Posouzení na ohyb a osový tlak

Podmínky:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{m1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{m1}}} \leq 1,0$$

- Kombinace ohybu a osového tlaku

$$N_{Rk} = f_y \times A = 355 \times 6120 = 2172,600 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \times f_y = 304000 \times 355 = 107,920 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \times f_y = 304000 \times 355 = 107,920 \text{ kNm}$$

- Vliv vzpěru (excel)

	osy	
	Y	Z
Ncr=	499954,6	7999274
λ =	2,085	0,521
ϕ =	2,871	0,670
κ =	0,206	0,918

- Součinitel klopení pro pruty necitlivé na distorzní deformace se uvažuje:

$$\kappa_{LT} = 1,0$$

$$\alpha_{sy} = 0, \psi_y = -0,4$$

$$c_{my} = 0,6 + 0,4 \times \psi_y = 0,44$$

$$\alpha_{sy} = 0,94, \psi_z = 0,94$$

$$c_{mz} = 0,95 + 0,05 \times \alpha_{sy} = 1,0$$

$$k_{yy} = c_{my} \times \left[1 + (\lambda_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\kappa_y N_{Rk} / \gamma_{m0}} \right] \leq c_{my} \times \left[1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\kappa_y N_{Rk} / \gamma_{m0}} \right]$$

$$= 0,44 \times \left[1 + (2,085 - 0,2) \frac{263,875}{0,206 \times 2172,6/1,1} \right] \leq 0,44 \times \left[1 + 0,8 \frac{263,875}{0,206 \times 2172,6/1,1} \right]$$

$$k_{yy} = 0,977 \leq \mathbf{0,668}$$

$$k_{zy} = 0,6 \times k_{yy} = 0,6 \times 0,668 = \mathbf{0,401}$$

$$k_{zz} = c_{mz} \times \left[1 + (\lambda_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\kappa_z N_{Rk} / \gamma_{m0}} \right] \leq c_{mz} \times \left[1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\kappa_z N_{Rk} / \gamma_{m0}} \right]$$

$$= 1,0 \times \left[1 + (0,521 - 0,2) \frac{263,875}{0,918 \times 2172,6/1,1} \right] \leq 1,0 \times \left[1 + 0,8 \frac{263,875}{0,918 \times 2172,6/1,1} \right]$$

$$k_{zz} = \mathbf{1,047} \leq 1,116$$

$$k_{yz} = 0,6 \times k_{zz} = 0,6 \times 1,047 = \mathbf{0,670}$$

Dosazení do podmínek

$$\frac{263875}{\frac{0,206 \times 2172,6 \times 10^3}{1,1}} + 0,668 \frac{7,580 \times 10^6 + 0}{\frac{1,0 \times 107,920 \times 10^6}{1,1}} + 0,670 \frac{0,425 \times 10^6 + 0}{\frac{107,920 \times 10^6}{1,1}} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,702 \leq 1}}$$

Vyhovuje

$$\frac{263875}{\frac{0,918 \times 2172,6 \times 10^3}{1,1}} + 0,401 \frac{7,580 \times 10^6 + 0}{\frac{1,0 \times 107,920 \times 10^6}{1,1}} + 1,047 \frac{0,480 \times 10^6 + 0}{\frac{107,920 \times 10^6}{1,1}} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,175 \leq 1}}$$

Vyhovuje

- Posouzení na smyk

$$V_{Ed} = 9,508 \text{ kN}$$

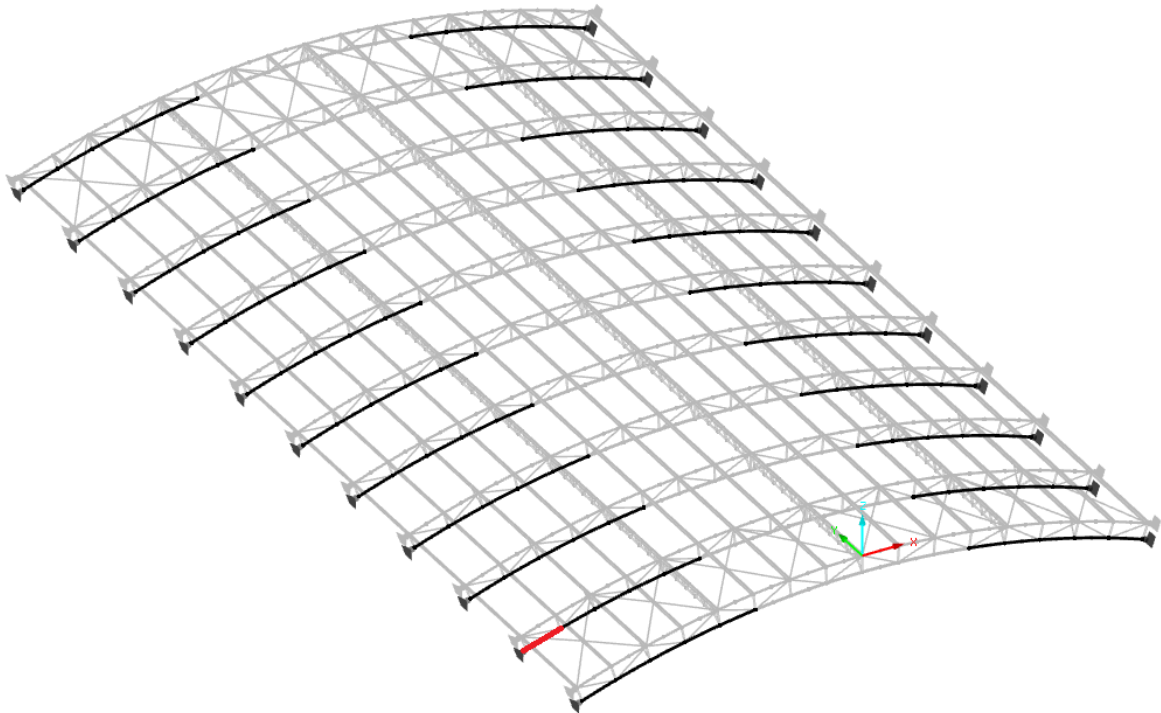
$$A_v = 3046,2 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{m0}} = \frac{3046,2 (355 / \sqrt{3})}{1,0} = 624,347 \text{ kN}$$

Podmínka:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{9,508}{624,347} = 0,015 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

4.7. Dolní pás krajní

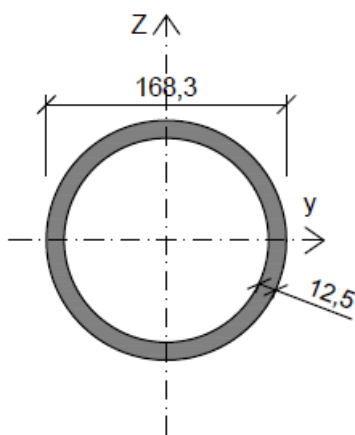


- Materiálové charakteristiky

Ocel S355: $f_y = 355 \text{ MPa}$
 $E = 210 \text{ GPa}$

- Vzpěrné délky: $L_{cr,y} = 4400 \text{ mm}$
 $L_{cr,z} = 2200 \text{ mm}$

RO 139,7 x 6,0



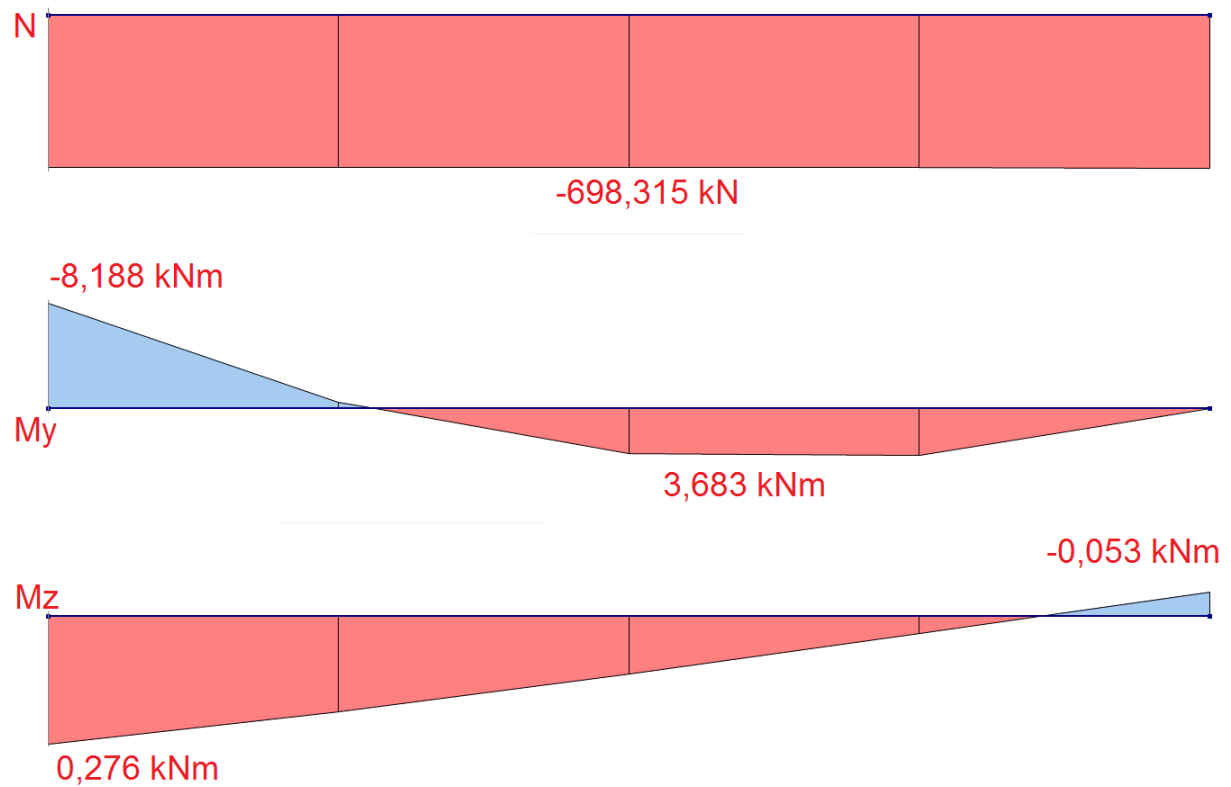
Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Vnější průměr	D	168,300	mm
Tloušťka stěny	s	12,500	mm
Plocha průřezu	A	6120,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	3046,200	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný mome	I _y	18680000,000	mm ⁴
Moment tuhosti v kroucení	I _t	37370000,000	mm ⁴
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	304000,000	mm ³
Hmotnost průřezu	G	48,000	kg/m

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/355} = 0,81$$

$$D/t = 168,3/12,5 = 13,46 \leq 50 \times \varepsilon^2 = 32,81 \rightarrow \text{třída 1.}$$

Maximální vnitřní síly od kritické kombinace KZ2

$$N_{Ed} = N_{max} + \Delta N_d = 698,315 + 4,363 = 702,678 \text{ kN}$$



- Posouzení na ohyb a osový tlak

Podmínky:

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{m1} \chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\gamma_{m1} \chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{m1} M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{m1} \chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\gamma_{m1} \chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{m1} M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

- Kombinace ohybu a osového tlaku

$$N_{Rk} = f_y \times A = 355 \times 6120 = 2172,600 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \times f_y = 304000 \times 355 = 107,920 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \times f_y = 304000 \times 355 = 107,920 \text{ kNm}$$

- Vliv vzpěru (excel)

	osy	
	Y	Z
Ncr=	1999818	7999274
λ =	1,042	0,521
ϕ =	1,132	0,670
κ =	0,636	0,918

- Součinitel klopení pro pruty necitlivé na distorzní deformace se uvažuje:

$$\kappa_{LT} = 1,0$$

$$\alpha_{sy} = -0,45, \psi_y = 1,0$$

$$c_{my} = 0,1 + 0,8 \times \alpha_{sy} = 0,4$$

$$\alpha_{sz} = 0, \psi_z = -0,19$$

$$c_{mz} = 0,6 + 0,4 \times \psi_z = 0,524$$

$$k_{yy} = c_{my} \times \left[1 + (\lambda_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\kappa_y N_{Rk} / \gamma_{m0}} \right] \leq c_{my} \times \left[1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\kappa_y N_{Rk} / \gamma_{m0}} \right]$$

$$= 0,4 \times \left[1 + (1,042 - 0,2) \frac{702,678}{0,639 \times 2172,6/1,1} \right] \leq 0,4 \times \left[1 + 0,8 \frac{702,678}{0,639 \times 2172,6/1,1} \right]$$

$$k_{yy} = 0,588 \leq \mathbf{0,579}$$

$$k_{zy} = 0,6 \times k_{yy} = 0,6 \times 0,579 = \mathbf{0,347}$$

$$k_{zz} = c_{mz} \times \left[1 + (\lambda_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\kappa_z N_{Rk} / \gamma_{m0}} \right] \leq c_{mz} \times \left[1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\kappa_z N_{Rk} / \gamma_{m0}} \right]$$

$$= 0,524 \times \left[1 + (0,521 - 0,2) \frac{263,875}{0,918 \times 2172,6/1,1} \right]$$

$$\leq 0,521 \times \left[1 + 0,8 \frac{263,875}{0,918 \times 2172,6/1,1} \right]$$

$$k_{zz} = \mathbf{0,450} \leq 0,524$$

$$k_{yz} = 0,6 \times k_{zz} = 0,6 \times 0,450 = \mathbf{0,270}$$

Dosazení do podmínek

$$\frac{702678}{\frac{0,636 \times 2172,6 \times 10^3}{1,1}} + 0,579 \frac{8,188 \times 10^6 + 0}{\frac{1,0 \times 107,920 \times 10^6}{1,1}} + 0,450 \frac{0,276 \times 10^6 + 0}{\frac{107,920 \times 10^6}{1,1}} \leq 1,0$$

$$\mathbf{0,608 \leq 1}$$

Vyhovuje

$$\frac{702678}{\frac{0,918 \times 2172,6 \times 10^3}{1,1}} + 0,347 \frac{8,188 \times 10^6 + 0}{\frac{1,0 \times 107,920 \times 10^6}{1,1}} + 0,270 \frac{0,276 \times 10^6 + 0}{\frac{107,920 \times 10^6}{1,1}} \leq 1,0$$

$$\mathbf{0,413 \leq 1}$$

Vyhovuje

- Posouzení na smyk

$$V_{Ed} = 17,313 \text{ kN}$$

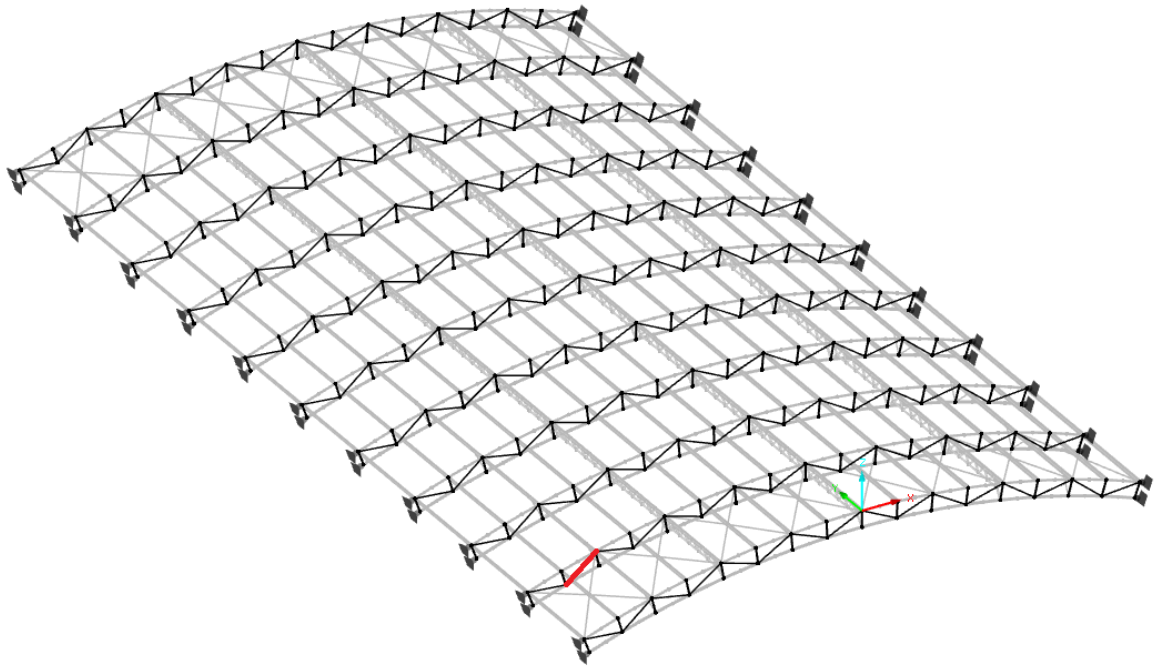
$$A_v = 3046,2 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{m0}} = \frac{3046,2 (355 / \sqrt{3})}{1,0} = 624,347 \text{ kN}$$

Podmínka:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{17,347}{624,347} = 0,028 \leq 1,0 \quad \mathbf{Vyhovuje}$$

4.8. Diagonála a svislice



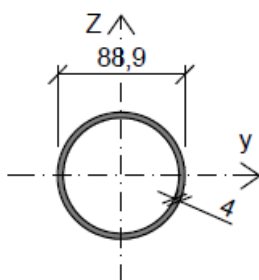
- Materiálové charakteristiky

Ocel S355: $f_y = 355 \text{ MPa}$
 $E = 210 \text{ GPa}$

- Vzpěrné délky: $L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2395 \text{ mm}$

Průřezové charakteristiky

RO 88,9 x 4,0



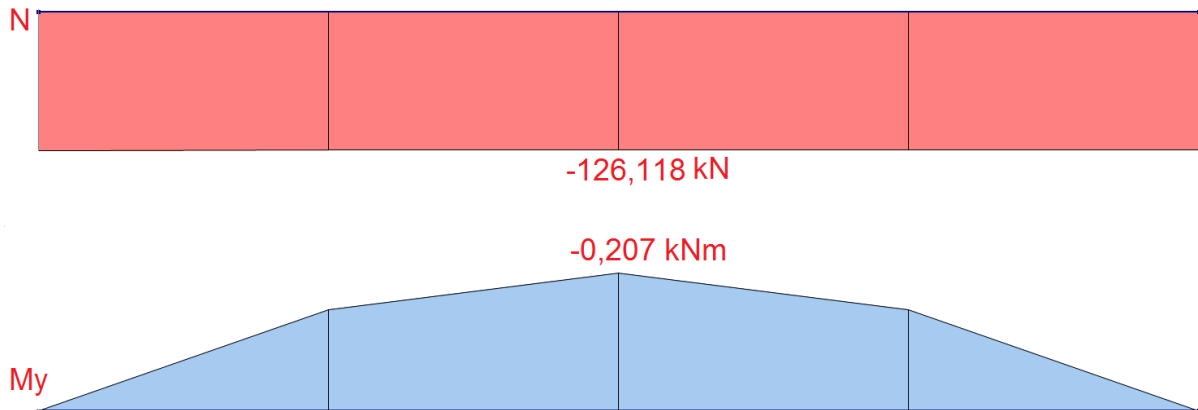
Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Vnější průměr	D	88,900	mm
Tloušťka stěny	s	4,000	mm
Plocha průřezu	A	1070,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	529,700	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment)	I _y	963000,000	mm ⁴
Moment tuhosti v kroucení	I _t	1930000,000	mm ⁴
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	28900,000	mm ³
Hmotnost průřezu	G	8,400	kg/m

- Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/355} = 0,81$$

$$D/t = 88,9/4,0 = 22,23 \leq 50 \times \varepsilon^2 = 32,81 \rightarrow \text{třída 1.}$$

Maximální vnitřní síly od kritické kombinace KZ2



- Posouzení na ohyb a osový tlak

Podmínky:

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{m1} N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{m1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{m1} \chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{m1}}} \leq 1,0$$

- Kombinace ohybu a osového tlaku

$$N_{Rk} = f_y \times A = 355 \times 1070 = 379,850 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \times f_y = 28900 \times 355 = 10,260 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \times f_y = 28900 \times 355 = 10,260 \text{ kNm}$$

- Vliv vzpěru (excel)

	osy	
	Y	Z
Ncr=	347964	347964
λ =	1,045	1,045
ϕ =	1,135	1,135
χ =	0,634	0,634

- Součinitel klopení pro pruty necitlivé na distorzní deformace se uvažuje:

$$\chi_{LT} = 1,0$$

$$\alpha_{sy} = 0, \quad \psi_y = 1$$

$$c_{my} = 0,95 + 0,05 \times \alpha_s = 0,95$$

$$\psi_z = 0$$

$$c_{mz} = 1$$

$$k_{yy} = c_{my} \times \left[1 + (\lambda_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{m0}} \right] \leq c_{my} \times \left[1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{m0}} \right]$$

$$= 0,95 \times \left[1 + (1,045 - 0,2) \frac{126,118}{0,634 \times 379,851 / 1,1} \right]$$

$$\leq 0,95 \times \left[1 + 0,8 \frac{126,118}{0,634 \times 379,851 / 1,1} \right]$$

$$k_{yy} = 1,412 \leq \mathbf{1,388}$$

$$k_{zy} = 0,6 \times k_{yy} = 0,6 \times 1,388 = \mathbf{0,833}$$

$$k_{zz} = c_{mz} \times \left[1 + (\lambda_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{m0}} \right] \leq c_{mz} \times \left[1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{m0}} \right]$$

$$= 1 \times \left[1 + (1,045 - 0,2) \frac{126,118}{0,634 \times 379,851 / 1,1} \right] \leq 1 \times \left[1 + 0,8 \frac{126,118}{0,634 \times 379,851 / 1,1} \right]$$

$$k_{zz} = 1,486 \leq \mathbf{1,461}$$

$$k_{yz} = 0,6 \times k_{zz} = 0,6 \times 1,461 = \mathbf{0,876}$$

Dosazení do podmínek

$$\frac{126,118}{\frac{0,634 \times 379,85 \times 10^3}{1,1}} + 1,388 \frac{0,207 \times 10^6 + 0}{\frac{1,0 \times 10,260 \times 10^6}{1,1}} + 0,876 \frac{0 \times 10^6 + 0}{\frac{10,260 \times 10^6}{1,1}} \leq 1,0$$

$$\mathbf{0,607 \leq 1}$$

Vyhovuje

$$\frac{126,118}{\frac{0,634 \times 379,85 \times 10^3}{1,1}} + 0,833 \frac{0,207 \times 10^6 + 0}{\frac{1,0 \times 10,260 \times 10^6}{1,1}} + 1,461 \frac{0 \times 10^6 + 0}{\frac{10,260 \times 10^6}{1,1}} \leq 1,0$$

$$\mathbf{0,591 \leq 1}$$

Vyhovuje

- Posouzení na smyk

$$V_{Ed} = 0,318 \text{ kN}$$

$$A_v = 529,7 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{m0}} = \frac{529,7 (355 / \sqrt{3})}{1,0} = 108,567 \text{ kN}$$

Podmínka:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{0,318}{108,567} = 0,003 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

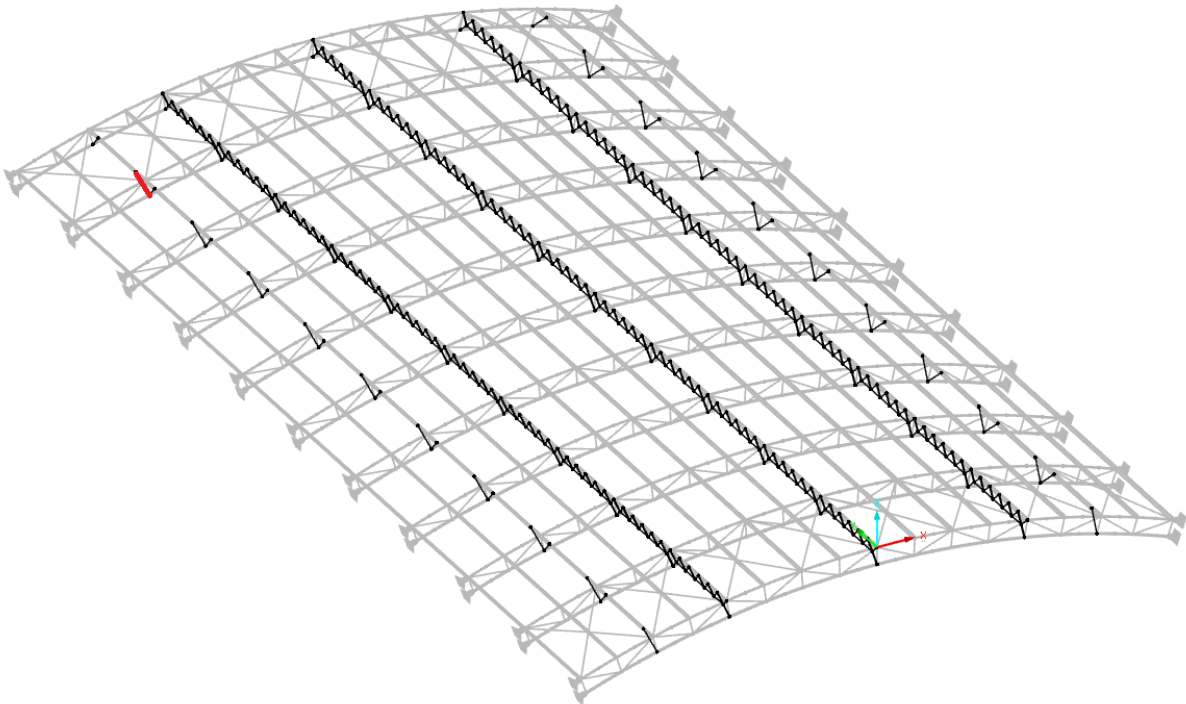
- Posouzení na tah (prut č. 1411)

$$N_{Ed} = 99,714 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1070 \times 355}{1,0} = 379,850 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{99,714}{379,850} = 0,26 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

4.9. Vzpěrky a diagonály příhrady



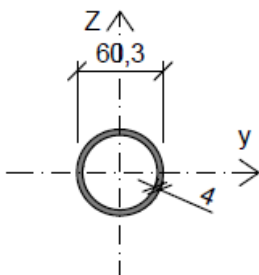
- Materiálové charakteristiky

Ocel S355: $f_y = 355 \text{ MPa}$
 $E = 210 \text{ GPa}$

Vzpěrné délky: $L_{cr,y} = L_{cr,z} = 1390 \text{ mm}$

- Průřezové charakteristiky

RO 60,3 x 4,0



Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Vnější průměr	D	60,300	mm
Tloušťka stěny	s	4,000	mm
Plocha průřezu	A	707,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	351,900	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment)	I _y	282000,000	mm ⁴
Moment tuhosti v kroucení	I _t	563000,000	mm ⁴
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	12700,000	mm ³
Hmotnost průřezu	G	5,500	kg/m

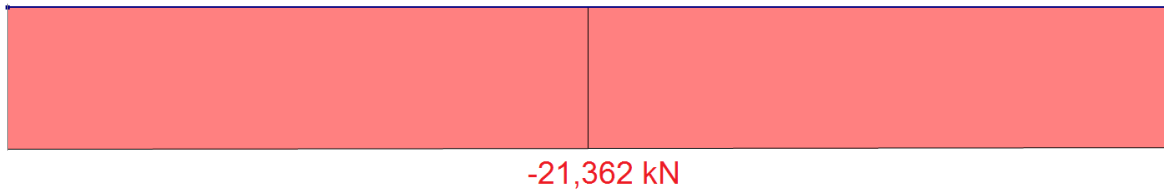
- Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/355} = 0,81$$

$$D/t = 60,4/4,0 = 15,10 \leq 50 \times \varepsilon^2 = 32,81 \rightarrow \text{třída 1.}$$

Maximální vnitřní tlakové síly od kritické kombinace KZ12

N



Posouzení na ohyb a osový tlak

Podmínky:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{m1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{m1}}} \leq 1,0$$

Kombinace ohybu a osového tlaku

$$N_{Rk} = f_y \times A = 355 \times 707 = 250,985 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \times f_y = 12700 \times 355 = 4,509 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \times f_y = 12700 \times 355 = 4,509 \text{ kNm}$$

Vliv vzpěru (excel)

	osy	
	Y	Z
Ncr=	302509,2	302509,2
λ=	0,911	0,911
φ=	0,989	0,989
χ=	0,727	0,727

Součinitel klopení pro pruty necitlivé na distorzní deformace se uvažuje:

$$\chi_{LT} = 1,0$$

$$c_{my} = 1,0$$

$$c_{mz} = 1,0$$

$$k_{yy} = c_{my} \times \left[1 + (\lambda_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{m0}} \right] \leq c_{my} \times \left[1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{m0}} \right]$$

$$= 1,0 \times \left[1 + (0,911 - 0,2) \frac{21,362}{0,727 \times 250,985 / 1,1} \right] \leq 1,0 \times \left[1 + 0,8 \frac{21,362}{0,727 \times 250,985 / 1,1} \right]$$

$$k_{yy} = k_{zz} = \mathbf{1,092} \leq 1,103$$

$$k_{zy} = k_{yz} = 0,6 \times k_{zy} = 0,6 \times 1,092 = \mathbf{0,655}$$

- Dosazení do podmínek

$$\frac{126,118}{0,634 \times 379,85 \times 10^3 \times 1,1} + 1,388 \frac{0,207 \times 10^6 + 0}{1,0 \times 10,260 \times 10^6 \times 1,1} + 0,876 \frac{0 \times 10^6 + 0}{10,260 \times 10^6 \times 1,1} \leq 1,0$$

$$\mathbf{0,129 \leq 1}$$

Vyhovuje

$$\frac{126,118}{0,634 \times 379,85 \times 10^3 \times 1,1} + 0,833 \frac{0,207 \times 10^6 + 0}{1,0 \times 10,260 \times 10^6 \times 1,1} + 1,461 \frac{0 \times 10^6 + 0}{10,260 \times 10^6 \times 1,1} \leq 1,0$$

$$\mathbf{0,129 \leq 1}$$

Vyhovuje

- Posouzení na smyk

$$V_{Ed} = 0,103 \text{ kN}$$

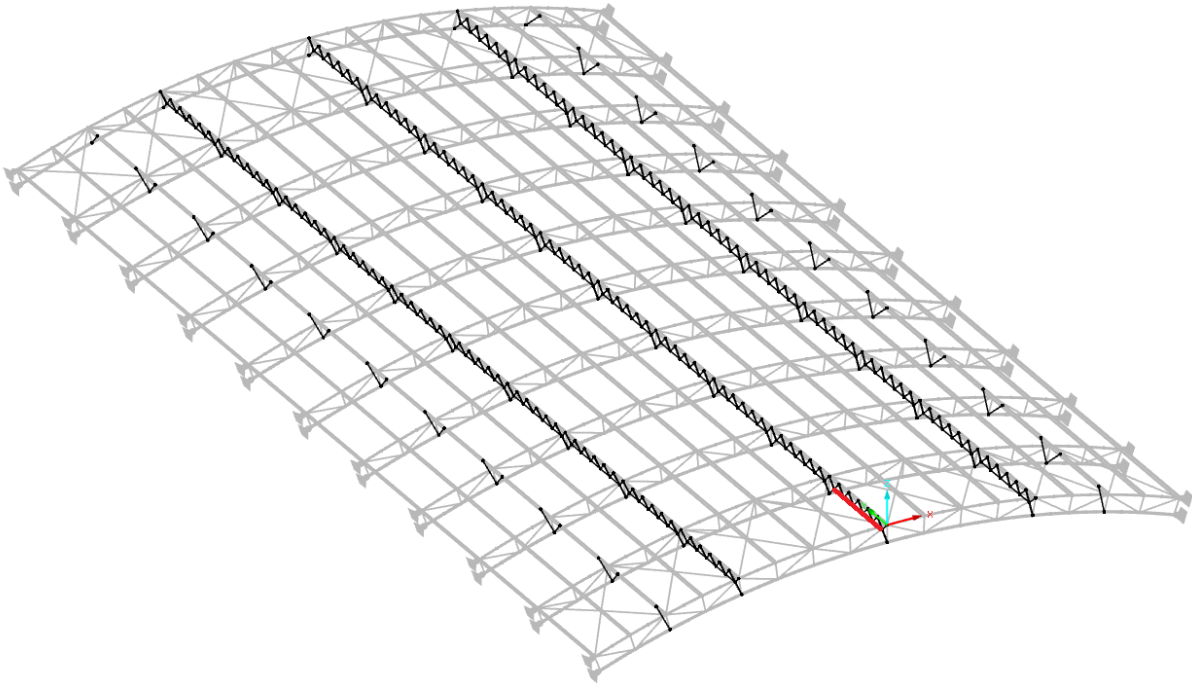
$$A_v = 351,9 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{m0}} = \frac{351,9 (355 / \sqrt{3})}{1,0} = 72,125 \text{ kN}$$

Podmínka:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{0,103}{72,125} = 0,002 \leq 1,0 \quad \mathbf{Vyhovuje}$$

4.10. Dolní pás podélného příhradového ztužidla



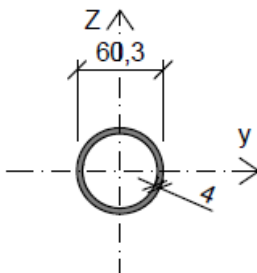
- Materiálové charakteristiky

Ocel S355: $f_y = 355 \text{ MPa}$
 $E = 210 \text{ GPa}$

Vzpěrné délky: $L_{cr,y} = 6950 \text{ mm}$
 $L_{cr,z} = 1390 \text{ mm}$

- Průřezové charakteristiky

RO 60,3 x 4,0



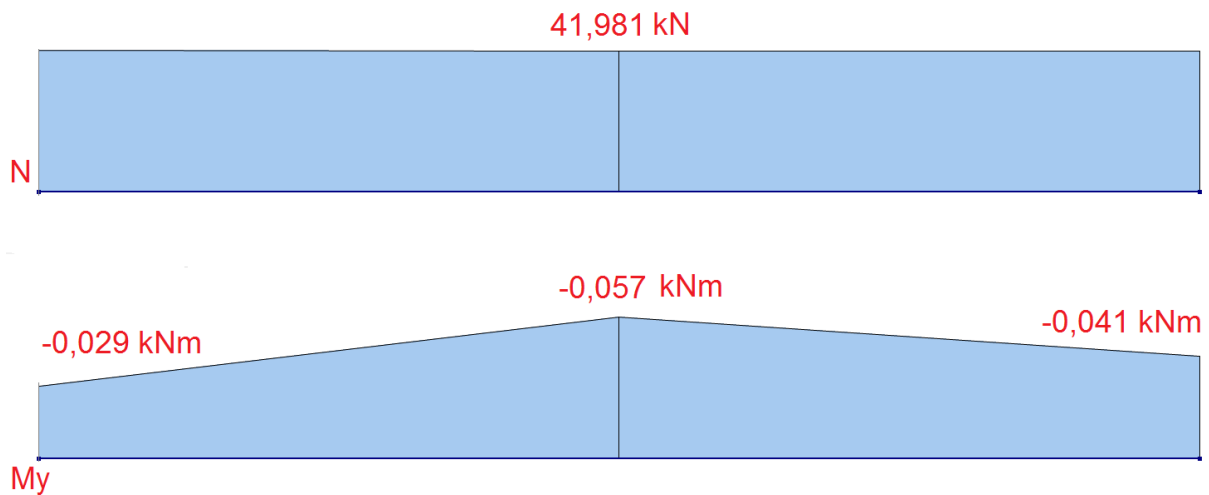
Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Vnější průměr	D	60,300	mm
Tloušťka stěny	s	4,000	mm
Plocha průřezu	A	707,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	351,900	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný mome	I _y	282000,000	mm ⁴
Moment tuhosti v kroucení	I _t	563000,000	mm ⁴
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	12700,000	mm ³
Hmotnost průřezu	G	5,500	kg/m

- Zatřídění průřezu

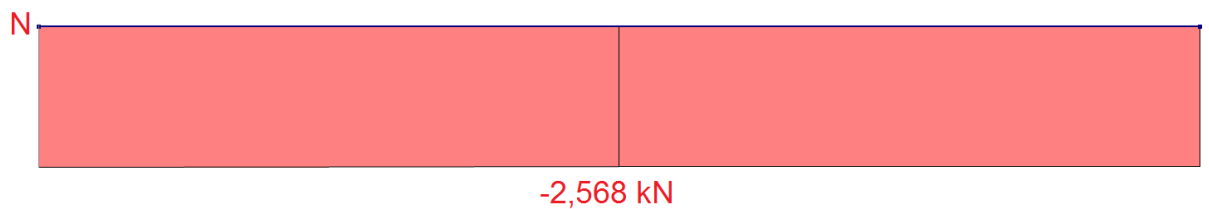
$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/355} = 0,81$$

$$D/t = 60,4/4,0 = 15,10 \leq 50 \times \varepsilon^2 = 32,81 \rightarrow \text{třída 1.}$$

Maximální vnitřní tlakové síly od kritické kombinace KZ16



Maximální vnitřní tlakové síly od kritické kombinace KZ14



- Posouzení na tlak

$$N_{Ed} = 2,568 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{707 \times 355}{1,0} = 250,985 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{2,568}{250,985} = 0,010 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

- Posouzení na tah

$$N_{Ed} = 41,981 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{707 \times 355}{1,0} = 250,985 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{41,981}{250,985} = 0,167 \leq 1,0 \quad \textbf{Vyhovuje}$$

- Posouzení na ohyb

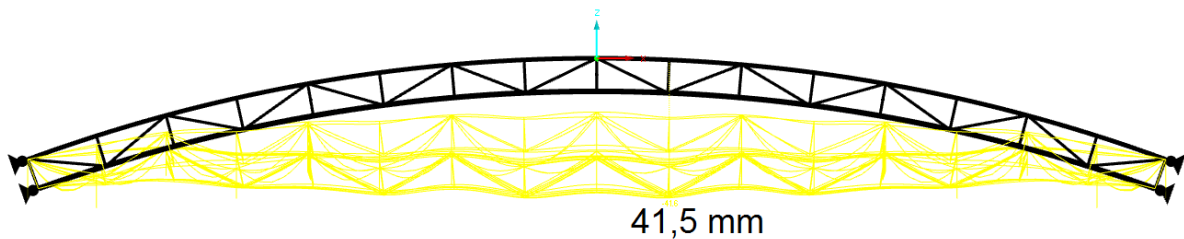
$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{12700 \times 355}{1,0} = 4,509 \text{ kNm}$$

Posouzení tah + ohyb

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{41,981}{250,985} + \frac{0,057}{4,509} = 0,180 \leq 1,0 \quad \textbf{Vyhovuje}$$

4.11. Mezní stav použitelnosti celého vazníku

- Maximální průhyb vaznice vypočtený RFEM 5 od KZ 16



$$\delta_{max} = 41,5 \text{ mm} \leq \frac{L}{200} = \frac{34\,500}{250} = 138 \text{ mm} \quad \textbf{Vyhovuje}$$

5. Styčníky

5.1. Spoj vaznice na vazník

5.1.1. Posouzení svaru

$$V_{Ed} = 14,174 \text{ kN}$$

S355

$$l = 0,150 \text{ m}$$

$$f_u = 490 \text{ MPa}$$

$$e = 0,086 \text{ m}$$

$$\gamma_{m2} = 1,25$$

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$\beta_w = 0,9$$

$$M = V_{Ed} \times e = 14,174 \times 0,086 = 1,219 \text{ kNm}$$

$$W = 2 \times \frac{1}{6} \times a \times l^2 = 2 \times \frac{1}{6} \times 0,004 \times 0,250^2 = 1,2 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\sigma_M = \frac{M}{W} = \frac{1,219}{1,2 \times 10^{-4}} = 10,158 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 \times a \times l} = \frac{14,174}{2 \times 0,004 \times 0,250} = 7,087 \text{ MPa}$$

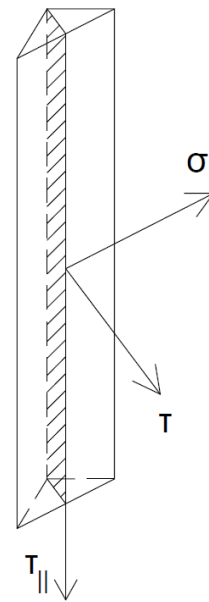
$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{10,158}{\sqrt{2}} = 7,182 \text{ MPa}$$

Podmínka:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \times \gamma_{m2}}$$

$$\sqrt{7,182^2 + 3 \times (7,087^2 + 7,182^2)} \leq \frac{490}{0,9 \times 1,25}$$

$$\frac{18,894}{2} = 9,447 \text{ MPa} \leq 435,56 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$



5.1.2. Posouzení šroubů

$$F_{v,Ed} = V_{Ed} = 14,174 \text{ kN}$$

Návrh: **2 x šroub M24 4.6**

Třída 4.6.

$$f_{yb} = 240 \text{ MPa}$$

$$f_{ub} = 400 \text{ MPa}$$

$$f_u = 490 \text{ MPa}$$

- Únosnost ve stříhu

$$n = 1, \quad d = 24 \text{ mm} \quad d_0 = 26 \text{ mm}$$

$$F_{v,Rd} = 0,6 \times f_{ub} \times A \times n / \gamma_{m2} = 0,6 \times 400 \times \frac{\pi \times 24^2}{4} \times 1 / 1,25 = 86,854 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{2} \leq F_{v,Rd}$$

$$\frac{14,175}{2} = 7,087 \leq 86,854 \text{ kN} \quad \textbf{Vyhovuje}$$

- Únosnost v otláčení

$$\alpha_d = e_1 / d_0 = 50 / 24 = 2,1$$

$$f_{ub} / f_u = 400 / 490 = 0,81$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub} / f_u; 1,0) = \min(1,8; 0,81; 1,0) = 0,81$$

$$k_1 = \min(2,8 e_2 / d_0 - 1,7; 2,5) = \min(2,8 \times 50 / 26 - 1,7; 2,5) = \min(3,68; 2,5) = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \times \alpha_b \times f_u \times d \times t}{\gamma_{m2}} = \frac{2,5 \times 0,81 \times 490 \times 24 \times 6,2}{1,25} = 118,117 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{2} \leq F_{b,Rd}$$

$$\frac{14,175}{2} = 7,087 \leq 118,117 \text{ kN} \quad \textbf{Vyhovuje}$$

5.2. Spoj vzpěrky na vaznici

5.2.1. Posouzení svaru

$$N_X = 15,208 \text{ kN}$$

$$N_Z = 15,032 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 21,383 \text{ kN}$$

S355

$$l = 0,150 \text{ m}$$

$$f_u = 490 \text{ MPa}$$

$$e = 0 \text{ m}$$

$$\gamma_{m2} = 1,25$$

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$\beta_w = 0,9$$

$$M = 0$$

- Účinná plocha

$$A_w = a \times l = 0,004 \times 0,150 = 0,0006 \text{ m}^2$$

- Napětí od rozložené síly N_{Ed}

$$\sigma_{Nx} = \frac{N_X}{A_w} = \frac{15,208}{0,0006} = 25,35 \text{ MPa}$$

$$\tau_{x,\parallel} = \sigma_{Nx} = 25,35 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Nz} = \frac{N_Z}{A_w} = \frac{15,032}{0,0006} = 25,05 \text{ MPa}$$

$$\tau_{z,\perp} = \sigma_{z,\perp} = \frac{\sigma_{Nz}}{\sqrt{2}} = \frac{25,05}{\sqrt{2}} = 17,71 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z,\perp} = 17,71 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \times f_u}{\gamma_{m2}} = \frac{0,9 \times 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa} \quad \textbf{Vyhovuje}$$

Podmínka:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \times \gamma_{m2}}$$

$$\sqrt{17,71^2 + 3 \times (17,71^2 + 25,35^2)} \leq \frac{490}{0,9 \times 1,25}$$

$$\frac{56,41}{2} = 28,21 \text{ MPa} \leq 435,56 \text{ MPa} \quad \textbf{Vyhovuje}$$

5.2.2. Posouzení čepu

Čep M20 5.6.

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

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

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

$$d_0 = 22 \text{ mm}$$

$$t = 15 \text{ mm}$$

$$F_{v,Ed} = N_{Ed} = 21,383 \text{ kN}$$

- Návrh geometrie čepového spoje

$$d_0 \leq 2,5 \times t \rightarrow 22 \leq 2,5 \times 15 \rightarrow 22 \leq 37,5 \text{ mm}$$

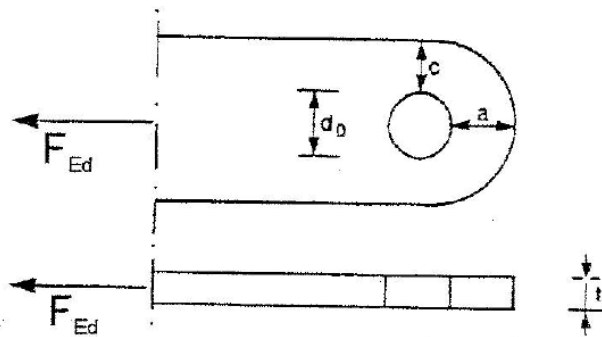
Dle typu A

$$a \geq \frac{F_{v,Ed} \times \gamma_{m0}}{2 \times t \times f_y} + \frac{2 \times d_0}{3} = \frac{21,383 \times 10^3 \times 1,0}{2 \times 15 \times 355} + \frac{2 \times 22}{3} = 16,67 \text{ mm}$$

Navrhují: $a = 25 \text{ mm}$

$$c \geq \frac{F_{v,Ed} \times \gamma_{m0}}{2 \times t \times f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{21,383 \times 10^3 \times 1,0}{2 \times 15 \times 355} + \frac{22}{3} = 9,34 \text{ mm}$$

Navrhují: $c = 20 \text{ mm}$



- Únosnost čepu ve střihu

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1$$

$$A = \frac{\pi \times d_0^2}{4} = \frac{\pi \times 22^2}{4} = 380 \text{ mm}^2$$

$$F_{v,Rd} = 2 \times 0,6 \times A \times \frac{f_{up}}{\gamma_{m2}} = 2 \times 0,6 \times 380 \times \frac{500}{1,25} = 182,400 \text{ kN}$$

$$\frac{21,383}{182,4} = 0,117 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

- Únosnost plechu a čepu v otláčení

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1$$

$$F_{b,Rd} = 1,5 \times t \times d \times \frac{f_y}{\gamma_{m0}} = 1,5 \times 15 \times 20 \times \frac{355}{1} = 127,8 \text{ kN}$$

$$\frac{21,383}{127,8} = 0,167 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

5.3. Spoj vzpěrky na dolního pásu vazníku

5.3.1. Posouzení svaru

$$N_X = 15,208 \text{ kN}$$

$$N_Z = 15,032 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 21,383 \text{ kN}$$

S355

$$l = 0,180 \text{ m}$$

$$f_u = 490 \text{ MPa}$$

$$e = 0 \text{ m}$$

$$\gamma_{m2} = 1,25$$

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$\beta_w = 0,9$$

$$M = 0$$

- Účinná plocha

$$A_w = a \times l = 0,004 \times 0,180 = 0,00072 \text{ m}^2$$

- Napětí od rozložené síly N_{Ed}

$$\sigma_{Nx} = \frac{N_X}{A_w} = \frac{15,208}{0,00072} = 21,12 \text{ MPa}$$

$$\tau_{x,\parallel} = \sigma_{Nx} = 21,12 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Nz} = \frac{N_Z}{A_w} = \frac{15,032}{0,00072} = 20,88 \text{ MPa}$$

$$\tau_{z,\perp} = \sigma_{z,\perp} = \frac{\sigma_{Nz}}{\sqrt{2}} = \frac{20,88}{\sqrt{2}} = 14,76 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z,\perp} = 14,76 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \times f_u}{\gamma_{m2}} = \frac{0,9 \times 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Podmínka:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \times \gamma_{m2}}$$

$$\sqrt{14,76^2 + 3 \times (14,76^2 + 21,12^2)} \leq \frac{490}{0,9 \times 1,25}$$

$$\frac{47,00}{2} = 23,5 \text{ MPa} \leq 435,56 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

5.3.2. Posouzení čepu

Čep M20 5.6.

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

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

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

$$d_0 = 22 \text{ mm}$$

$$t = 15 \text{ mm}$$

$$F_{v,Ed} = N_{Ed} = 21,383 \text{ kN}$$

- Návrh geometrie čepového spoje

$$d_0 \leq 2,5 \times t \rightarrow 22 \leq 2,5 \times 15 \rightarrow 22 \leq 37,5 \text{ mm}$$

Dle typu A

$$a \geq \frac{F_{v,Ed} \times \gamma_{m0}}{2 \times t \times f_y} + \frac{2 \times d_0}{3} = \frac{21,383 \times 10^3 \times 1,0}{2 \times 15 \times 355} + \frac{2 \times 22}{3} = 16,67 \text{ mm}$$

Navrhují: **a = 25 mm**

$$c \geq \frac{F_{v,Ed} \times \gamma_{m0}}{2 \times t \times f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{21,383 \times 10^3 \times 1,0}{2 \times 15 \times 355} + \frac{22}{3} = 9,34 \text{ mm}$$

Navrhují: **c = 20 mm**

- Únosnost čepu ve stříhu

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1$$

$$A = \frac{\pi \times d_0^2}{4} = \frac{\pi \times 22^2}{4} = 380 \text{ mm}^2$$

$$F_{v,Rd} = 2 \times 0,6 \times A \times \frac{f_{up}}{\gamma_{m2}} = 2 \times 0,6 \times 380 \times \frac{500}{1,25} = 182,400 \text{ kN}$$

$$\frac{21,383}{182,4} = 0,117 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

- Únosnost plechu a čepu v otláčení

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1$$

$$F_{b,Rd} = 1,5 \times t \times d \times \frac{f_y}{\gamma_{m0}} = 1,5 \times 15 \times 20 \times \frac{355}{1} = 127,8 \text{ kN}$$

$$\frac{21,383}{127,8} = 0,167 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

5.4. Čepový spoj v podpoře

Podpora s maximálními účinky v tlaku od KZ 16

$$R_x = N_{c,Ed} = 698,400 \text{ kN}$$

$$V_{c,y} = 10,310 \text{ kN}$$

$$V_{c,z} = 0,110 \text{ kN}$$

$$V_{c,Ed} = \sqrt{V_{c,y}^2 + V_{c,z}^2} = \sqrt{10,310^2 + 0,110^2} = 10,31 \text{ kN}$$

Maximální tahový účinek KZ 13

$$R_x = N_{t,Ed} = -243,369 \text{ kN}$$

$$R_y = -9,687 \text{ kN}$$

$$R_z = 79,468 \text{ kN}$$

$$V_{t,Ed} = \sqrt{R_{y,Ed}^2 + R_{z,Ed}^2} = \sqrt{9,687^2 + 79,468^2} = 80,056 \text{ kN}$$

Čep M70 6.8

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

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

$$d = 70 \text{ mm}$$

$$d_0 = 72 \text{ mm}$$

$$t = 45 \text{ mm}$$

- Návrh geometrie čepového spoje

$$d_0 \leq 2,5 \times t \rightarrow 75 \leq 2,5 \times 30 \rightarrow 75 \leq 75 \text{ mm}$$

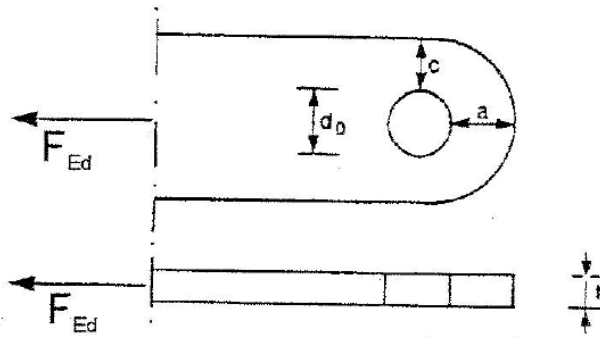
Dle typu A

$$a \geq \frac{F_{v,Ed} \times \gamma_{m0}}{2 \times t \times f_y} + \frac{2 \times d_0}{3} = \frac{698,400 \times 10^3 \times 1,0}{2 \times 30 \times 355} + \frac{2 \times 72}{3} = 80 \text{ mm}$$

Navrhují: **a = 80 mm**

$$c \geq \frac{F_{v,Ed} \times \gamma_{m0}}{2 \times t \times f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{698,400 \times 10^3 \times 1,0}{2 \times 30 \times 355} + \frac{72}{3} = 56,74 \text{ mm}$$

Navrhují: **c = 100 mm**



- Únosnost čepu ve střihu

$$\frac{F_{c,Ed}/2}{F_{v,Rd}} \leq 1$$

$$A = \frac{\pi \times d_0^2}{4} = \frac{\pi \times 72^2}{4} = 4071 \text{ mm}^2$$

$$F_{v,Rd} = 2 \times 0,6 \times A \times \frac{f_{up}}{\gamma_{m2}} = 2 \times 0,6 \times 4071 \times \frac{600}{1,25} = 2344,896 \text{ kN}$$

$$\frac{698,400/2}{2344,896} = 0,149 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

- Únosnost čepu v ohybu

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{c,Ed}/2}{8} \times (b + 4 \times c + 2 \times a) = \frac{698,400 \times 10^3 / 2}{8} \times (30 + 4 \times 1 + 2 \times 30)$$

$$= 4,103 \text{ kNm}$$

$$W_{el} = \frac{\pi \times d^3}{32} = \frac{\pi \times 70^3}{32} = 33674 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = 1,5 \times W_{el} \times \frac{f_{yp}}{\gamma_{m0}} = 1,5 \times 33674 \times \frac{480}{1,0} = 24,245 \text{ kNm}$$

$$\frac{4,103}{24,245} = 0,169 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

- Pro výměnný čep:

$$M_{Rd,ser} = 0,8 \times W_{el} \times \frac{f_{yp}}{\gamma_{m6,ser}} = 0,8 \times 33674 \times \frac{480}{1,0} = 12,931 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed,ser}}{M_{Rd,ser}} = \frac{4,103}{12,931} = 0,317 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

- Únosnost čepu při kombinaci střihu a ohybu

$$\left[\frac{F_{c,Ed}/2}{F_{v,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd,ser}} \right]^2 \leq 1$$

$$\left[\frac{698,400/2}{2344,896} \right]^2 + \left[\frac{4,103}{12,931} \right]^2 = 0,122 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

- Únosnost plechu a čepu v otláčení

$$\frac{F_{b,Ed}/2}{F_{b,Rd}} \leq 1$$

$$F_{b,Rd} = 1,5 \times t \times d \times \frac{f_y}{\gamma_{m0}} = 1,5 \times 30 \times 70 \times \frac{355}{1} = 1118,25 \text{ kN}$$

$$\frac{698,400/2}{1118,25} = 0,312 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

- Pro výměnný čep:

$$F_{b,Rd,ser} = 0,6 \times t \times d \times \frac{f_y}{\gamma_{m6,ser}} = 0,6 \times 30 \times 70 \times \frac{355}{1,0} = 447,3 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{b,Ed,ser}/2}{F_{b,Rd,ser}} = \frac{698,400/2}{447,3} = 0,780 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

5.4.1. Styčnickový plech

$$A_{net} = 3000 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 2,25 \times 10^5 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 1,179 \times 10^7 \text{ mm}^4$$

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

- Únosnost v tahu

$$N_{t,Rd} = \frac{0,9 \times A_{net} \times f_y}{\gamma_{m2}} = \frac{0,9 \times 3000 \times 355}{1,25} = 766,8 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = \frac{243,176}{2} = 121,588 \text{ kN} \leq N_{t,Rd} = 766,8 \text{ kN} \text{ Vyhovuje}$$

- Únosnost v tlaku

Podpora s maximálními účinky v tlaku od KZ 16

$$N_{c,Ed} = 698,400 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{5160 \times 355}{1,00} = 1831,8 \text{ kN}$$

$$N_{c,Ed} = \frac{698,400}{2} = 349,2 \text{ kN} \leq N_{c,Rd} = 1831,8 \text{ kN} \text{ Vyhovuje}$$

- Vzpěrná únosnost

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 EI_x}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^3 \times 2,25 \times 10^5}{200^2} = 11658,47 \text{ kN}$$

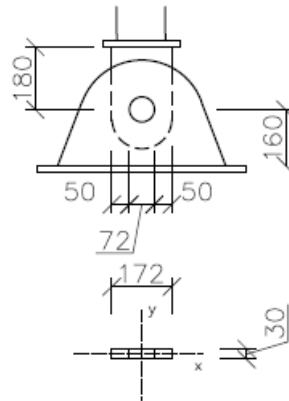
$$\lambda_x = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,x}}} = \sqrt{\frac{5160 \times 355}{11658,47 \times 10^3}} = 0,396$$

- Křivky vzpěrné pevnosti: křivka „c“, $\rightarrow \alpha = 0,49$

$$\Phi_x = 0,5 \times [1 + \alpha(\lambda_x - 0,2) + \lambda_x^2] = 0,5 \times [1 + 0,49(0,396 - 0,2) + 0,396^2] = 0,626$$

$$\kappa_x = \frac{1}{\Phi_x + \sqrt{\Phi_x^2 - \lambda_x^2}} = \frac{1}{0,626 + \sqrt{0,626^2 - 0,396^2}} = 0,900$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\kappa_x \times A \times f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,900 \times 5160 \times 355}{1,00} = 1648,62 \text{ kN}$$



$$\frac{N_{c,Ed}/2}{N_{b,Rd}} = \frac{698,400/2}{1648,62} = 0,212 \quad \text{Vyhovuje}$$

5.4.2. Posouzení svarů styčnickových plechů k patní desce

$$F_{Ed} = \frac{N_{t,Ed}}{3} = \frac{243,369}{3} = 81,123$$

$$M_{Ed,F} = F_{Ed} \times e = 81,123 \times \frac{0,030}{2} = 1,21 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 80,056 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,V} = V_{Ed} \times e = 80,056 \times 0,160 = 12,80 \text{ kNm}$$

$$L = 470 \text{ mm}, \quad a = 8 \text{ mm}$$

$$A = L \times a = 0,47 \times 0,008 = 0,00376 \text{ m}^2$$

$$W_F = \frac{1}{6} \times L \times a^2 = \frac{1}{6} \times 0,470 \times 0,008^2 = 5,01 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$W_V = \frac{1}{6} \times a \times L^2 = \frac{1}{6} \times 0,008 \times 0,470^2 = 2,95 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\sigma_M = \frac{F_{Ed}}{A} + \frac{M_{Ed,F}}{W_F} + \frac{M_{Ed,V}}{W_V} = \frac{81,123}{0,00376} + \frac{1,21}{5,01 \times 10^{-6}} + \frac{12,8}{2,95 \times 10^{-4}}$$

$$= 306,482 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{4 \times A} = \frac{80,056}{4 \times 0,00376} = 5,322 \text{ MPa}$$

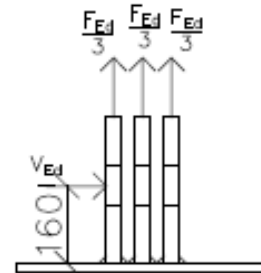
$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{306,482}{\sqrt{2}} = 216,716 \text{ MPa}$$

Podmínka:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \times \gamma_{m2}}$$

$$\sqrt{216,716^2 + 3 \times (5,322^2 + 216,716^2)} \leq \frac{490}{0,9 \times 1,25}$$

$$433,53 \text{ MPa} \leq 435,56 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$



5.4.3. Posouzení čelního plechu

- Čelní deska $t = 20\text{mm}$, tl. svaru 6 mm , $\varnothing 220\text{ mm}$

Tlak

$$N_{c,Ed} = 698,400\text{ kN}$$

$$V_{c,Ed} = 10,31\text{ kN}$$

Tah

$$N_{t,Ed} = -243,369\text{ kN}$$

$$V_{t,Ed} = 80,056\text{ kN}$$

S355

$$d = 200\text{ mm}$$

$$l = \pi \times d = \pi \times 200 = 439\text{ mm}$$

$$f_u = 490\text{ MPa}$$

$$e = 0\text{ m}$$

$$\gamma_{m2} = 1,25$$

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

$$\beta_w = 0,9$$

- Účinná plocha

$$A_w = a \times l = 0,006 \times 0,439 = 0,002634\text{ m}^2$$

- Napětí od rozložené síly N_{Ed} (tlak)

$$\sigma_{Ved} = \frac{V_{c,Ed}}{A_w} = \frac{10,31}{0,002634} = 3,914\text{ MPa}$$

$$\tau_{x,\parallel} = \sigma_{Ved} = 3,914\text{ MPa}$$

$$\sigma_{Ned} = \frac{N_{Ed}}{A_w} = \frac{698,400}{0,002634} = 265,15\text{ MPa}$$

$$\tau_{z,\perp} = \sigma_{z,\perp} = \frac{\sigma_{Ned}}{\sqrt{2}} = \frac{265,15}{\sqrt{2}} = 187,49\text{ MPa}$$

$$\sigma_{z,\perp} = 187,49\text{ MPa} \leq \frac{0,9 \times f_u}{\gamma_{m2}} = \frac{0,9 \times 490}{1,25} = 352,8\text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Podmínka:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \times \gamma_{m2}}$$

$$\sqrt{187,49^2 + 3 \times (187,49^2 + 3,914^2)} \leq \frac{490}{0,9 \times 1,25}$$

$$375,04 \text{ MPa} \leq 435,56 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

- Napětí od rozložené síly N_{Ed} (tah)

$$\sigma_{Ved} = \frac{V_{c,Ed}}{A_w} = \frac{80,056}{0,002634} = 30,393 \text{ MPa}$$

$$\tau_{x,\parallel} = \sigma_{Ved} = 30,393 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Ned} = \frac{N_{Ed}}{A_w} = \frac{243,369}{0,002634} = 92,395 \text{ MPa}$$

$$\tau_{z,\perp} = \sigma_{z,\perp} = \frac{\sigma_{Ned}}{\sqrt{2}} = \frac{92,395}{\sqrt{2}} = 65,33 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z,\perp} = 65,33 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \times f_u}{\gamma_{m2}} = \frac{0,9 \times 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Podmínka:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \times \gamma_{m2}}$$

$$\sqrt{65,33 + 3 \times (65,33^2 + 30,393^2)} \leq \frac{490}{0,9 \times 1,25}$$

$$140,87 \text{ MPa} \leq 435,56 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

5.4.4. Kotevní zarážka

Kritická kombinace KZ 13

- Z důvodu působení tahu v dané kombinaci je nutnou navrhnout kotevní zarážku.

$$R_x = N_{t,Ed} = -243,369 \text{ kN}$$

$$V_y = -9,687 \text{ kN}$$

$$V_z = 79,468 \text{ kN}$$

$$V_{t,Ed} = \sqrt{R_{y,Ed}^2 + R_{z,Ed}^2} = \sqrt{9,687^2 + 79,468^2} = 80,056 \text{ kN}$$

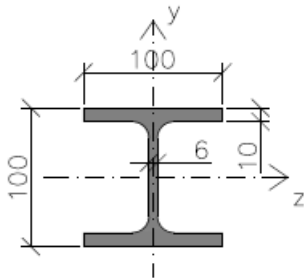
C30/37

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

$$h_y = \frac{V_y}{l \times f_{cd}} = \frac{9,687}{0,1 \times 20} = 4,84 \text{ mm}$$

$$h_z = \frac{V_z}{l \times f_{cd}} = \frac{79,468}{0,1 \times 20} = 39,7 \text{ mm}$$

Návrh: **profil HEB 100**



- Posouzení svaru zarážky zjednodušenou metodou

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$L_y = 70 \text{ mm}$$

$$A_y = L_y \times a = 70 \times 4 = 280 \text{ mm}^2$$

$$\tau_y = \frac{V_y}{2 \times A_y} = \frac{9,687}{2 \times 2,8 \times 10^{-4}} = 17,298 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3 \times \tau_y^2} = \sqrt{3 \times 17,298^2} \leq f_{vd} = \frac{f_u}{\beta_w \times \gamma_{m2}} = \frac{490}{0,9 \times 1,25}$$

$$29,96 \text{ MPa} \leq f_{vd} = 435,56 \text{ Vyhovuje}$$

$$L_z = 2 \times 90 + 4 \times 40 = 340 \text{ mm}$$

$$A_z = L_z \times a = 340 \times 4 = 1360 \text{ mm}^2$$

$$\tau_z = \frac{V_z}{2 \times A_z} = \frac{79,468}{2 \times 13,6 \times 10^{-4}} = 29,216 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3 \times \tau_z^2} = \sqrt{3 \times 29,216^2} \leq f_{vd} = \frac{f_u}{\beta_w \times \gamma_{m2}} = \frac{490}{0,9 \times 1,25}$$

$$50,603 \text{ MPa} \leq f_{vd} = 435,56 \text{ Vyhovuje}$$

5.4.5. Posouzení patní desky

- Účinná oblast betonu

$$a_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} a + 2 \times a_r \\ 5 \times a_r \\ 5 \times b_1 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 900 \\ 750 \\ 1675 \end{array} \right\} = 750 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} b + 2 \times a_r \\ 5 \times b_r \\ 5 \times a_1 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 800 \\ 750 \\ 2175 \end{array} \right\} = 750 \text{ mm}$$

- Součinitel koncentrace

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \times b_1}{a \times b}} = \sqrt{\frac{750 \times 750}{600 \times 500}} = 1,37$$

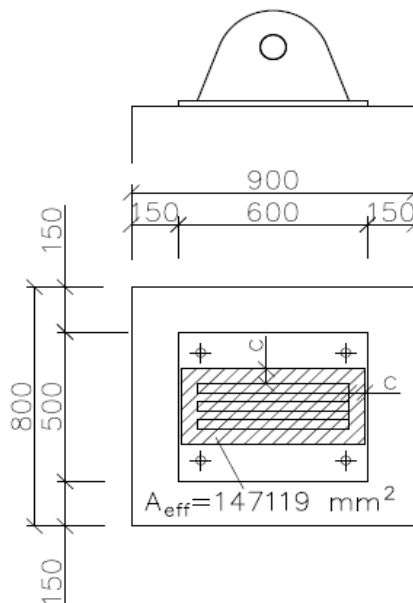
- Návrhová pevnost betonu C20/25 v tlaku

$$f_{jd} = \frac{0,67 \times k_j \times f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0,67 \times 1,37 \times 30}{1,5} = 18,36 \text{ MPa}$$

- Velikost účinné oblasti betonu v tlaku

$$c = t \times \sqrt{\frac{f_y}{3 \times f_{jd} \times \gamma_{m0}}} = 20 \times \sqrt{\frac{355}{3 \times 18,36 \times 1,0}} = 50,77 \gg 51 \text{ mm}$$

$$A_{eff} = (150 + 2 \times 51) \times (481 + 2 \times 51) = 147119 \text{ mm}^2$$



- Únosnost betonové patky

$$N_{Rd} = A_{eff} \times f_{jd} = 147119 \times 18,36 = 2701,1 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{698,400}{2701,1} = 0,259 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

5.4.6. Posouzení kotevních šroubů

Kotevní šroub 4 x M20 6.8

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

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

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

- Kotevní šrouby v tahu

Maximální tahový účinek KZ 13

$$R_x = -243,176 \text{ kN}$$

$$R_y = -9,687 \text{ kN}$$

$$R_z = 79,468 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = \sqrt{R_{x,Ed}^2 + R_{y,Ed}^2} = \sqrt{243,176^2 + 9,687^2} = 243,369 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{m2}} = \frac{0,9 \times 800 \times 245}{1,25} = 141,120 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}/4}{F_{t,Rd}} = \frac{243,369/4}{141,120} = 0,431 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

- Hloubka zabetonování kotvy

$$f_{od} = 21,3 \text{ MPa} \text{ (únosnost v otláčení betonu)}$$

$$f_{td} = 0,75 \text{ MPa} \text{ (únosnost betonu v tahu a soudržnosti)}$$

$$A_{kot,hlava} = 0,8 \times A_s \times \frac{0,8 \times f_y}{\gamma_{m0} \times f_{od}} + \frac{\pi \times d^2}{4} = 0,8 \times 245 \times \frac{0,8 \times 640}{1,0 \times 21,3} + \frac{\pi \times 20^2}{4} \\ = 5025 \text{ mm}^2$$

Účinná hloubka šroubu

$$\Delta h = \left(\frac{4 \times A_{kot,hlava}}{\pi \times d^2} - 1 \right) \times \frac{f_{od}}{4 \times f_{td}} \times d = \left(\frac{4 \times 5025}{\pi \times 20^2} - 1 \right) \times \frac{21,3}{4 \times 0,75} \times 20 = 2129,3 \text{ mm}$$

$$h \geq \frac{0,2 \times N_{t,d}}{\pi \times d \times f_{td}} = \frac{0,2 \times 243,369/4}{\pi \times 20 \times 0,75} = 260 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm} \leq \Delta h = 2129,3 \text{ mm}$$