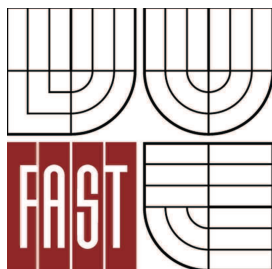




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

A - PRŮVODNÍ DOKUMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

RADEK VLČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. MARCELA KARMAZÍNOVÁ, CSc.

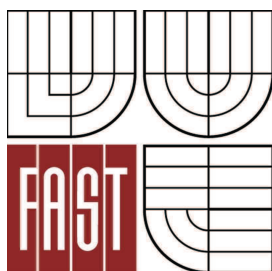
BRNO 2013

Obsah

- 001 Titulní list
- 002 Zadání VŠKP
- 003 Popisný soubor
- 004 Abstrakt, klíčová slova
- 005 Bibliografická citace
- 006 Prohlášení o původnosti VŠKP
- 007 Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP
- 008 Poděkování
- 009 Obsah práce
- 010 Seznam použité literatury
- 011 Seznam použitých zkratk a symbolů



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 TRÉNINKOVÉ TENISOVÉ HALY

STEEL STRUCTURE OF TRAINING TENNIS HALL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

RADEK VLČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. MARCELA KARMAZÍNOVÁ, CSc.

BRNO 2013



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 Radek Vlček

Název Ocelová konstrukce tréninkové tenisové haly

Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.

Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2012

Datum odevzdání bakalářské práce 24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

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

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

Podklady a literatura

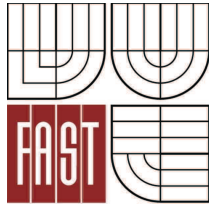
1. Dispoziční uspořádání objektu
2. Literatura podle doporučení vedoucí bakalářské práce

Zásady pro vypracování

Vypracujte statický a konstrukční návrh nosné ocelové konstrukce tréninkové tenisové haly obdélníkového půdorysu pro tři tenisové kurty. Půdorysné rozměry vychází z dispozičního řešení s ohledem na rozměry tenisových kurtů. Výšku haly navrhnete s ohledem na provozní a technické požadavky vyplývající z povahy provozovaného sportu. Při návrhu se zaměřte na řešení s použitím obloukové konstrukce. Objekt je situován mimo zástavbu v blízkosti obce Moravičany.

Předepsané přílohy

.....
doc. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí bakalářské práce



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Vedoucí práce	doc. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Autor práce	Radek Vlček
Škola	Vysoké učení technické v Brně
Fakulta	Stavební
Ústav	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Název práce	Ocelová konstrukce tréninkové tenisové haly
Název práce v anglickém jazyce	Steel structure of training tennis hall
Typ práce	Bakalářská práce
Přidělovaný titul	Bc.
Jazyk práce	Čeština
Datový formát elektronické verze	
Anotace práce	Náplní bakalářské práce je návrh a posouzení nosné ocelové konstrukce tréninkové tenisové haly obdélníkového půdorysu o rozměrech 40x63 m. Objekt je situován mimo zástavbu v blízkosti obce Moravičany. Halu tvoří 11 příčných vazeb v osové vzdálenosti 6,3 m. Hlavní nosný systém je tvořen pomocí obloukových prostorových příhradových vazníků, vaznicemi a příčnými ztužidly, které zajišťují prostorovou tuhost konstrukce. Výpočty jsou zpracovány podle platných normativů ČSN EN.
Anotace práce v anglickém jazyce	The content of the bachelor thesis is a proposal and evaluation of a steel load-bearing structure of a rectangular tennis hall with a floor space of 40x63 m. The building is situated outside the urban area near the Moravičany municipality. The hall consists of 11 cross-links spaced by 6.3 m. The main load-bearing system consists of spatial arched trusses, purlins and lateral bracing that support the spatial rigidity of the construction. The calculations were made in compliance with the Czech technical norms ČSN EN.

Klíčová slova nosná konstrukce, prostorový příhradový vazník, ocelová konstrukce, oblouková konstrukce, zatížení, namáhání, sportovní hala, posouzení

Klíčová slova v anglickém jazyce load-bearing structure, spatial truss, steel structure, arched structure, load, stress, sports hall, examination

Abstrakt

Náplní bakalářské práce je návrh a posouzení nosné ocelové konstrukce tréninkové tenisové haly obdélníkového půdorysu o rozměrech 40x63 m. Objekt je situován mimo zástavbu v blízkosti obce Moravičany. Halu tvoří 11 příčných vazeb v osově vzdálenosti 6,3 m. Hlavní nosný systém je tvořen pomocí obloukových prostorových příhradových vazníků, vaznicemi a příčnými ztužidly, které zajišťují prostorovou tuhost konstrukce. Výpočty jsou zpracovány podle platných normativů ČSN EN.

Klíčová slova

nosná konstrukce, prostorový příhradový vazník, ocelová konstrukce, oblouková konstrukce, zatížení, namáhání, sportovní hala, posouzení

Abstract

The content of the bachelor thesis is a proposal and evaluation of a steel load-bearing structure of a rectangular tennis hall with a floor space of 40x63 m. The building is situated outside the urban area near the Moravičany municipality. The hall consists of 11 cross-links spaced by 6.3 m. The main load-bearing system consists of spatial arched trusses, purlins and lateral bracing that support the spatial rigidity of the construction. The calculations were made in compliance with the Czech technical norms ČSN EN.

Keywords

load-bearing structure, spatial truss, steel structure, arched structure, load, stress, sports hall, examination

...

Bibliografická citace VŠKP

VLČEK, Radek. *Ocelová konstrukce tréninkové tenisové haly*. Brno, 2013. 104 s., 40 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce doc. Ing. Marcela Karmazínová, CSc..

Prohlášení:

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

V Brně dne 23.5.2013

.....
podpis autora
Radek Vlček

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 23.5.2013

.....
podpis autora
Radek Vlček

Poděkování:

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Marcele Ka rmazínové, CSc. za odborné vedení, poskytnuté rady, za vstřícné, ochotné a trpělivé je dnání při konzultacích.

Dále děkuji své rodině za podporu a zázemí, kterou mi po celou dobu studia poskytovala.

Radek Vlček

Obsah práce

A – Průvodní dokument

- 001 Titulní list
- 002 Zadání VŠKP
- 003 Popisný soubor
- 004 Abstrakt, klíčová slova
- 005 Bibliografická citace
- 006 Prohlášení o původnosti VŠKP
- 007 Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP
- 008 Poděkování
- 009 Obsah práce
- 010 Seznam použité literatury
- 011 Seznam použitých zkratk a symbolů

B – Technická zpráva

C – Posouzení variant

D – Statický výpočet

E – Programové řešení

F – Výkresová dokumentace

- 001 Dispozice
- 002 Kotevní plán
- 003 Příčný řez, podélný řez, detaily

Seznam použité literatury

1. MACHÁČEK, Josef. *Navrhování ocelových konstrukcí: příručka k ČSN EN 1993-1-1 a ČSN EN 1993-1-8 ; Navrhování hliníkových konstrukcí : příručka k ČSN EN 1999-1. 1.* vyd. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2009, 180 s. Technická knihovna. ISBN 978-80-87093-86-3.
2. SOKOL, Zdeněk a František WALD. *Ocelové konstrukce: tabulky. 2., přeprac. vyd.* V Praze: České vysoké učení technické, 2010, 81 s. ISBN 978-80-01-04655-5.
3. ČSN ISO 12 944. *Nátěrové hmoty.* Praha: Český normalizační institut, 1999.
4. ČSN EN 1993-1-2. *Navrhování ocelových konstrukcí: Obecná pravidla-Navrhování konstrukcí na účinky požáru.* Praha: Český normalizační institut, 2006.
5. ČSN EN 1993-1-1. *Navrhování ocelových konstrukcí: Obecná pravidla pro navrhování konstrukcí pozemních staveb.* Praha: Český normalizační institut, 2006.
6. ČSN EN 1993-1-8. *Navrhování ocelových konstrukcí: Navrhování styčníků.* Praha: Český normalizační institut, 2006.
7. ČSN EN 1090-2. *Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí: Technické požadavky na ocelové konstrukce.* Praha: Český normalizační institut, 2009.
8. ČSN EN 10027-1. *Systémy označování ocelí: Stavba značek ocelí.* Praha: Český normalizační institut, 2006.
9. ČSN EN 1990. *Zásady navrhování konstrukcí.* Praha: Český normalizační institut, 2004.
10. ČSN EN 1991-1-4. *Zatížení konstrukcí: Obecná zatížení-Zatížení větrem.* Praha: Český normalizační institut, 2007.
11. ČSN EN 1991-1-3. *Zatížení konstrukcí: Obecná zatížení-Zatížení sněhem.* Praha: Český normalizační institut, 2005.
12. ČSN EN 1991-1-1. *Zatížení konstrukcí: Obecná zatížení-Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb.* Praha: Český normalizační institut, 2004.
13. *Satjam* [online]. 2013 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.satjam.ke-stazeni-49.html>
14. *Hilti* [online]. 2013 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.hilti.cz/holcz/>
15. *Kalzip* [online]. 2013 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.kalzip.cz/>

Seznam použitých zkratek a symbolů

Velká písmena

A	plná průřezová plocha šroubu
A	průřezová plocha
A_{ch}	průřezová plocha pásu členěného prutu
A_s	plocha šroubu účinná v tahu
A_w	průřezová plocha stojiny
$B_{p,Rd}$	návrhová smyková únosnost při protlačení hlavy nebo matice šroubu
C_{dir}	součinitel směru
C_e	součinitel expozice
C_{mLT}	součinitel ekvivalentního konstantního momentu
C_{my}	součinitel ekvivalentního konstantního momentu
$C_0(z)$	součinitel orografie
$C_{pe,10}$	součinitel tlaku
$C_r(z)$	součinitel drsnosti
C_{season}	součinitel ročního období
C_t	tepelný součinitel
$F_{b,Rd}$	návrhová únosnost šroubu v otláčení
F_{Ed}	návrhová působící síla
$F_{t,Rd}$	návrhová únosnost šroub v tahu
$F_{V,Ed}$	návrhová smyková síla ve šroubu v mezním stavu únosnosti
$F_{V,Rd}$	návrhová únosnost šroubu ve stříhu
E	modul pružnosti v tahu, tlaku
G	modul pružnosti ve smyku
I_t	moment setrvačnosti v kroucení
$I_v(z)$	intenzita turbulence
I_w	výsečový moment setrvačnosti
I_y	moment setrvačnosti průřezu k ose y
I_z	moment setrvačnosti průřezu k ose z
L	délka svaru
$L_{cr,T}$	vzpěrná délka při vybočení zkroucením
$L_{cr,y}$	kritická vzpěrná délka kolmo k ose y
$L_{cr,z}$	kritická vzpěrná délka kolmo k ose z
L_{min}	minimální délka svaru
$M_{c,Rd}$	vrhová únosnost v ohybu
M_{Ed}	návrhový ohybový moment
$M_{el,Rd}$	návrhová elastická momentová únosnost
M_{Rk}	charakteristická únosnost rozhodujícího průřezu v ohybu
$N_{b,Rd}$	vzpěrná únosnost
N_{cr}	kritická síla
$N_{cr,y}$	pružná kritická síla při rovinném vzpěru k ose y
$N_{cr,z}$	pružná kritická síla při rovinném vzpěru k ose z
N_{Ed}	návrhová hodnota osově síly
$N_{pl,Rd}$	návrhová únosnost neoslabeného průřezu
N_R	počet cyklů do porušení
N_{Rk}	charakteristická únosnost rozhodujícího průřezu při působení osově síly

$N_{t,Rd}$	návrhová únosnost v tahu
$N_{u,Rd}$	návrhová únosnost oslabeného průřezu
R	výslednice sil
$V_{E,d}$	návrhová smyková síla
$V_{pl,Rd}$	plastická smyková únosnost
$W_{el,y}$	elastický modul průřezu k ose z
$W_{el,z}$	elastický průřezový modul k ose z
$W_{pl,y}$	plastický modul průřezu k ose y
$W_{pl,z}$	plastický průřezový modul k ose z

Malá písmena

a	účinná výška svaru
b	šířka průřezu
d	hloubka konstrukce (délka povrchu rovnoběžného se směrem větru)
d	výška rovné části stojiny
d	jmenovitý průměr šroubu
d_0	průměr otvoru pro šroub
e	excentricita normálové síly
e	vzdálenost šroubu od okraje
f_{cd}	výpočtová hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku
f_{ck}	charakteristická hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku
f_y	mez kluzu
f_u	mez pevnosti
f_{ub}	mez pevnosti materiálu šroubu
h	výška průřezu
h	výška konstrukce
i_0	polární poloměr setrvačnosti
i_y	poloměr setrvačnosti k ose y
i_z	poloměr setrvačnosti k ose z
k_r	součinitel terénu
k_w	součinitel vzpěrné délky
k_{yy}	součinitel interakce
k_{yz}	součinitel interakce
k_z	součinitel vzpěrné délky
k_{zy}	součinitel interakce
k_{zz}	součinitel interakce
k_τ	součinitel napětí
l_{eff}	efektivní délka
n	počet stříhovových rovin
$q_p(z)$	maximální hodnota dynamického tlaku větru
s	charakteristická hodnota zatížení sněhem (rovnoměrné spojité zatížení)
s_k	základní tíha sněhu
t	tloušťka
u	průhyb
u_{max}	maximální hodnota průhybu
$v_{b,0}$	výchozí hodnota základní rychlosti větru
v_m	střední rychlost větru

w	tlak větru (rovnoměrné spojité zatížení)
z_0	parametr drsnosti terénu
$z_{0,II}$	parametr drsnosti terénu
z	výška nad zemí
z_{min}	minimální výška

Velká řecká písmena

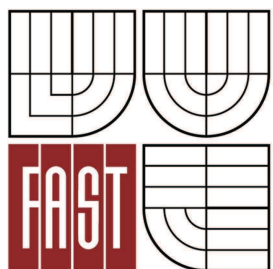
Φ	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti
Φ_{LT}	hodnota pro výpočet součinitele klopení

Malá řecká písmena

α	součinitel
α_1	součinitel imperfekce
α_{LT}	součinitel imperfekce pro klopení
β	součinitel vzpěrné délky
β_w	korelační součinitel pro svary závislý na druhu oceli
γ_{M1}	dílčí součinitel spolehlivosti materiálu
γ_{M2}	dílčí součinitel spolehlivosti pro spoje
ε	součinitel závislý na f_y
κ_{wt}	bezrozměrný parametr kroucení
λ	štíhlost
λ_y	štíhlost k ose y
λ_z	štíhlost k ose z
LT	
λ_T	poměrná štíhlost při klopení
λ	poměrná štíhlost při vybočení zkroucením
λ_w	poměrná štíhlost stěny
λ_y	poměrná štíhlost k ose y
λ_z	poměrná štíhlost k ose z
μ_{cr}	bezrozměrný kritický moment
μ_i	tvárový součinitel zatížení sněhem
π	Ludolfovo číslo
ρ	měrná hmotnost vzduchu
τ	smykové napětí
χ_{LT}	součinitel klopení
χ_T	součinitel vzpěrnosti při prostorovém vzpěru
χ_y	součinitel vzpěrnosti při rovinném vzpěru k ose y
χ_z	součinitel vzpěrnosti při rovinném vzpěru k ose z



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

B – TECHNICKÁ ZPRÁVA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

RADEK VLČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. MARCELA KARMAZÍNOVÁ, CSc.

BRNO 2013

Obsah

1. Všeobecné údaje.....	3
1.1. Úvod.....	3
1.2. Dispozice.....	3
2. Použité normativní dokumenty	3
3. Zatěžovací údaje	4
3.1. Zatížení stálé – vlastní tíha	4
3.2. Zatížení stálé – tíha střešního pláště	4
3.3. Zatížení nahodilá.....	4
4. Popis jednotlivých částí objektu	4
5. Povrchová úprava konstrukce.....	5
5.1. Nátěrový systém	5
5.2. Povrchy ve styku s betonem	6
5.3. Povrchy svarů.....	6
5.4. Protipožární ochrana OK.....	6
6. Výroba a montáž.....	6
7. Údržba ocelových konstrukcí.....	6
8. Výpočet	7
9. Výkaz materiálů	7
10. Ekonomické hledisko	7

1. Všeobecné údaje

1.1. Úvod

Bakalářská práce se zabývá návrhem a posouzením nosné ocelové konstrukce tréninkové tenisové haly pro 3 tenisové kurty. Objekt je situován v blízkosti obce Moravičany. Halu tvoří 11 příčných vazeb v osové vzdálenosti 6,3 m. Hlavní nosný systém je tvořen pomocí obloukových prostorových příhradových vazníků, vaznicemi a příčnými ztužidly, která zajišťují prostorovou tuhost konstrukce. Výpočty jsou zpracovány podle platných normativů ČSN EN.

1.2. Dispozice

Prvky konstrukce	Rozměr [m]
Délka	63,0
Šířka	40,0
Modulace	6,3
Výška ve hřebeni	10,803
Světlá výška pod vazníkem	9,151

2. Použité normativní dokumenty

ČSN EN 10027-1	Systémy označení ocelí – Část 1: Stavba značek ocelí
ČSN ISO 12 944	Nátěrové hmoty
ČSN EN 1090-2	Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce
ČSN EN 1990	Zásady navrhování 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 pro navrhování konstrukcí pozemních staveb
ČSN EN 1993-1-2	Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru
ČSN EN 1993-1-8	Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčnic

3. Zatěžovací údaje

Ocelová konstrukce objektu je navržena na základě statického výpočtu, který uvažuje hodnoty klimatických zatížení v souladu s ČSN EN 1991-1-3:2005/Z1:2006 a ČSN EN 1991-1-4. Výpočet a dimenzování je provedeno v souladu s ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí.

3.1. Zatížení stálé – vlastní tíha

Vlastní tíha konstrukce byla generována pomocí programu Scia Engineer 2012.0.

3.2. Zatížení stálé – tíha střešního pláště

	$g_k [kN/m^2]$
Hliníkový plech KALZIP	0,05
Tepelná izolace 200mm	0,10
Parozábrana	0,01
Trapézový plech	0,048
Rezerva při instalaci	0,04
	0,248

3.3. Zatížení nahodilá

Typ zatížení	Klimatická oblast	základní normové zatížení [kPa]	q_k v max místě [kPa]
Sníh	III.	1,5	i 1,2
			ii _a , ii _b 3,0
			iii _a , iii _b 3,0
Vítr	II.	0,692	Tlak 0,485
			Sání -0,928

Podrobněji viz statický výpočet

4. Popis jednotlivých částí objektu

Střešní plášť

Střešní plášť je tvořen nenosným trapézovým plechem Satjam SAT 50/260 tl. 0,5 mm. Trapézové plechy jsou uloženy kolmo na vaznice. Na trapézový plech bude položena parozábrana, dále pak tepelná izolace z minerální plsti v tl. 200 mm a na ni je navržen hliníkový fasádní systém se stojatou drážkou KALZIP.

Vaznice

Vaznice jsou navrženy z profilu HRTR 150/150/5 (S235) a jsou uloženy v každém styčnicku, které jsou od sebe vzdáleny od 910 do 1400 mm. Vaznice roznáší zatížení do příčné vazby a jsou modelovány jako kloubově připojené. Jejich délka mezi příčnými vazbami je proměnlivá od 5300 do 6000 mm.

Vazník

Vazník je navržen jako obloukový prostorový příhradový o rozpětí 40,0 m v osové vzdálenosti 6,3 m. Vazník je tvořen složením 3 kružnic, kde vrcholová kružnice má poloměr 39,25 m a krajní o poloměru 5,755 m. Horní a dolní pás vazníku ve vrcholu je od sebe vzdálen 1,25 m a horní pásy jsou vzdáleny 1,0 m. Na konci obou stran vazníku se horní a dolní pás sbíhá do jednoho prutu. Prostorová příhradovina je tvořena soustavou trubkových profilů. Horní pásy jsou tvořeny z profilu TR 114.3x5.6 (S355). Spodní pás je tvořen z profilu TR 177.8x10 (S355) a TR 177.8x5 (S355). Diagonály jsou tvořeny z profilu TR 70x2.9 (S355) a rozpěra horního pásu je tvořena z profilu TR 63.5x2.9 (S355).

Příčné ztužidlo

Příčná ztužidla jsou navržena v druhém poli haly z obou stran a jsou tvořena pruty z profilu TR 60.3x2.9 (S235), které přenáší pouze tah. Zajišťují prostorovou tuhost celé konstrukce a přenáší zatížení, které na celou nosnou soustavu působí v podélném směru, do podpor. Převážně jde o zatížení od větru.

Kotvení a patka

Příčné vazby jsou podepřeny kloubově jako neposuvný kloub. Kotvení je provedeno pomocí patního plechu, na který jsou přivařeny styčnickové plechy s otvorem pro čepový spoj. Patní plech je ukotven v základové patce pomocí závitových tyčí 2xM30 8.8 kotvení technologie firmy HILTI. Ty jsou dodatečně zabetonované pomocí lepené dvoukomponentní chemické malty HIT-HY 150 max.

5. Povrchová úprava konstrukce

5.1. Nátěrový systém

Dle ISO/DIS 12944-7

nátěry aplikovat v souladu s podmínkami určenými výrobcem nátěrové hmoty

Vrstva	Počet vrstev	Tloušťka [μm]	vrstvy
Základní	1	40	
Krycí	1	40	
Krycí opravný	1	40	

Po dokončení montáže je nutné zkontrolovat a případně opravit poškození nátěru. Trvanlivost nátěrového systému cca 10 let. Nátěr obnovit při viditelné korozi >5% povrchu chráněné plochy.

5.2. Povrchy ve styku s betonem

Povrchy ocelové konstrukce ve styku s betonem se nesmí povrchově chránit. Kotevní šrouby nesmí být povrchově chráněny.

5.3. Povrchy svarů

Následně svařované dílce musí mít povrch do vzdálenosti 150 mm od svaru chráněny materiálem, který nezhorší kvalitu svaru.

5.4. Protipožární ochrana OK

Požární odolnost ocelové konstrukce bez nutnosti ochrany před požárem je dle ČSN EN 1993-1-2 R15 D1. Úseky s požadavkem zvýšené požární odolnosti budou řešeny aplikací protipožárních nátěrů nebo protipožárním obkladem dle podkladů požární zprávy.

6. Výroba a montáž

Příčná vazba bude svařena ve výrobě, kde bude rozdělena na 5 částí pro možný převoz z výroby na staveniště. Na staveništi se všechny části svaří montážními svary a pomocí jeřábové techniky se připojí vazba číslo 1 a 2 na předem připravený betonový základ pomocí čepového přípoje. Čepový přípoj je uložen na betonovou patku a přišroubovaný dodatečně zabetonovanými šrouby. Dále se přivaří vaznice. Další montáž bude pokračovat následující příčnou vazbou. Ve druhém a devátém poli se navíc přivaří příčné ztužidlo. Nakonec se provede opláštění ocelové konstrukce. Prvky musí být z výroby dodány tvarově neporušené a bez poškození základního nátěru.

7. Údržba ocelových konstrukcí

Konstrukce musí být za provozu a používání řádně udržována. Celkový stav konstrukce bude zjišťován pravidelně se opakujícími prohlídkami prováděnými odborně způsobilou osobou nejméně dvakrát za 5let.

V zimním období je nutná kontrola zatížení střešní konstrukce výškou sněhové pokrývky v porovnání s návrhovou hodnotou zatížení střechy a případné odklizení sněhu při nadnormativních hodnotách přetížení objektu sněhem.

8. Výpočet

Numerický model konstrukce byl vytvořen v softwaru SCIA Engineer 2012.0. Tento software byl použit pro výpočet vnitřních sil a pro posouzení navržených průřezů. Taktéž byl použit pro výpočet deformací (svislých a vodorovných průhybů). Spoje byly navrženy ručně.

9. Výkaz materiálů

Prvek	Průřez	Materiál	Jednotková hmotnost [kg/m]	Délka [m]	Hmotnost	Povrch
Vaznice	HRTR 150/150/5	S 235	22,6	2233,0	50361	1310,80
Horní pás	TR 114.3x5.6	S 355	15	1118,9	16776,0	400,70
Dolní pás	TR 177.8x10	S 355	41,4	208,7	8633,7	116,60
Dolní pás	TR 177.8x5	S 355	21,3	313,1	6660,7	174,90
Diagonály	TR 70x2.9	S355	4,8	2339,6	11222,8	514,5
Rozpěry HP	TR 63.5x2.9	S355	4,3	385,0	1668,3	76,8
Ztužidla	TR 60.3x2.9	S235	4,1	460,5	1972,8	91
Trapézový plech	SAT 50/260	S235	-	-	15380,0	-
Σ				7058,8	112675,3	2685,30

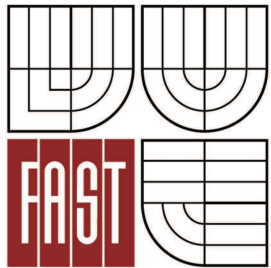
Přípoje	5%	5633,765
Σ		118309,1

10. Ekonomické hledisko

Celková hmotnost konstrukce je 118309,1 kg, zastavěná plocha 2520 m² s obestavěným prostorem 26 593,6 m³, nátěrová plocha 2685,3 m², průměrná hmotnost konstrukce je 46,95 kg/m² a 4,45 kg/m³.



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

C – POSOUZENÍ VARIANT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

RADEK VLČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. MARCELA KARMAZÍNOVÁ, CSc.

Obsah

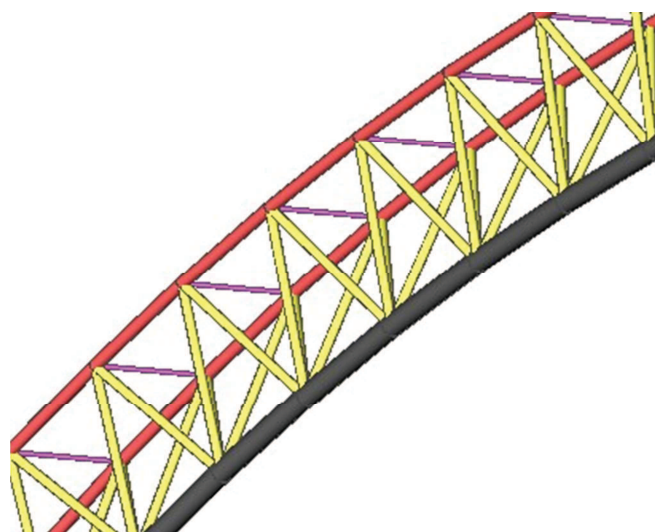
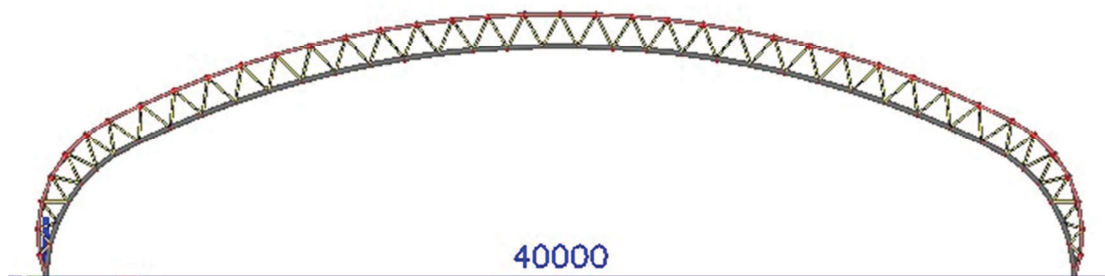
VARIANTA A.....	3
VARIANTA B.....	5
VARIANTA C.....	7

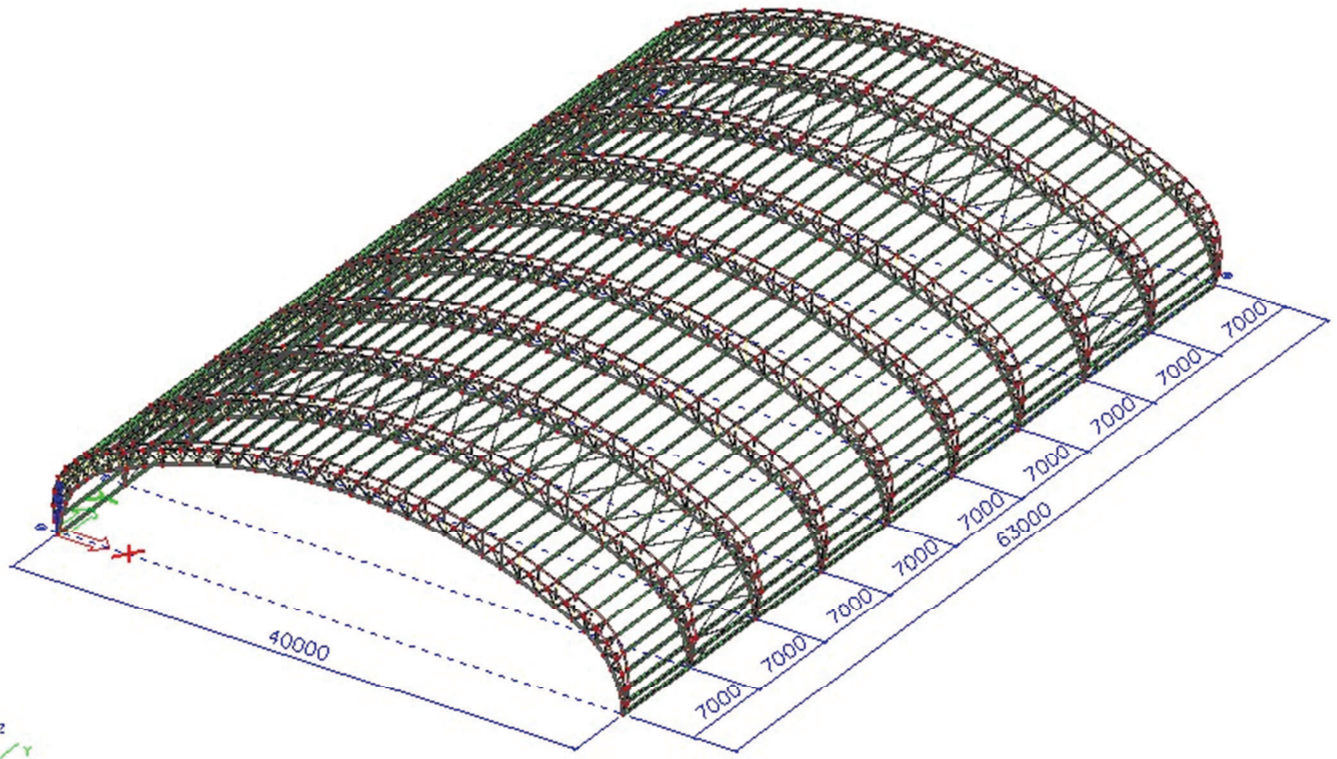
POSOUZENÍ VARIANT

Předmětem zadání bakalářské práce je navrhnout ocelovou tréninkovou halu pro tři tenisové kurty obdélníkového půdorysu s využitím obloukové konstrukce. Rozměry haly vychází z provozních a technických požadavků daného sportu. Pro toto zadání byly vytvořeny tři varianty.

VARIANTA A

Nosná ocelová konstrukce je řešena pomocí systému obloukových prostorových příhradových vazníků, které jsou od sebe osově vzdáleny 7 m. Vazník je tvořen složením 3 kružnic, kde vrcholová kružnice má poloměr 39,25 m a krajní o poloměru 5,755 m. Prostorová příhradovina je tvořena dvěma horními pásy, diagonály, spodním pásem a rozpěrou horního pásu. Na konci obou stran vazníku se horní a dolní pás sbíhá do jednoho prutu. Rozpěry horního pásu jsou v proměnné délce od 0,2 do 1 m a diagonály v proměnné délce od 0,588 do 1,512 m. Roznos zatížení je pomocí vaznic, které jsou připojeny v každém styčnicku k hornímu pásu a to v proměnné vzdálenosti od 0,91 do 1,40 m a proměnné délce od 6,3 do 7 m. Prostorovou tuhost konstrukce zajišťují příčná ztužidla. Rozměry celé konstrukce jsou 63 x 40 x 10,75 m.





Prvek	Průřez	Materiál	Hmotnost [kg]	MSU	MSP
Vaznice	HRTR 200/120/5	S 235	54657,8	0,70	21,5mm < U_{lim} =24mm
Horní pás	TR 101,6x5	S 355	12137,0	0,70	
Dolní pás	TR 177,8x10	S 355	19624,1	0,89	
Diagonály	TR 76,1x2,9	S235	11137,7	0,96	
Rozpěry	TR 33,7x2,9	S235	772,0	0,38	

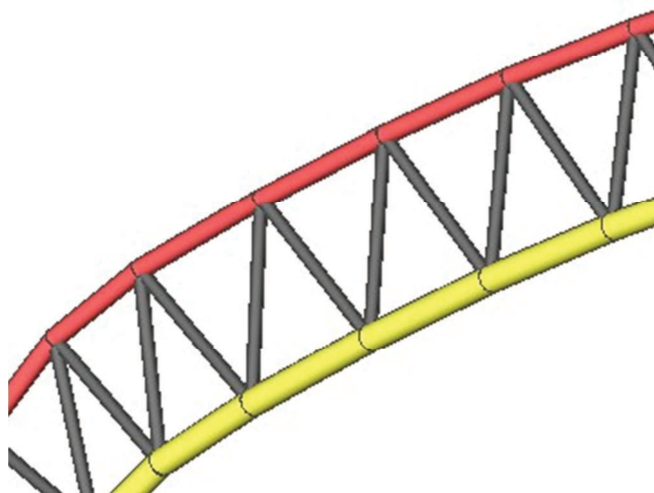
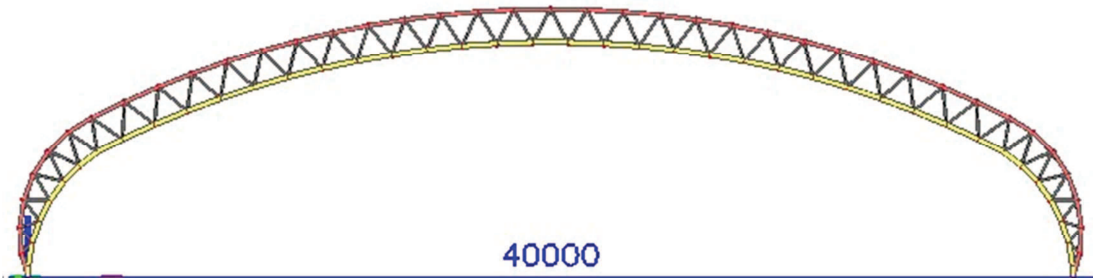
Celkem

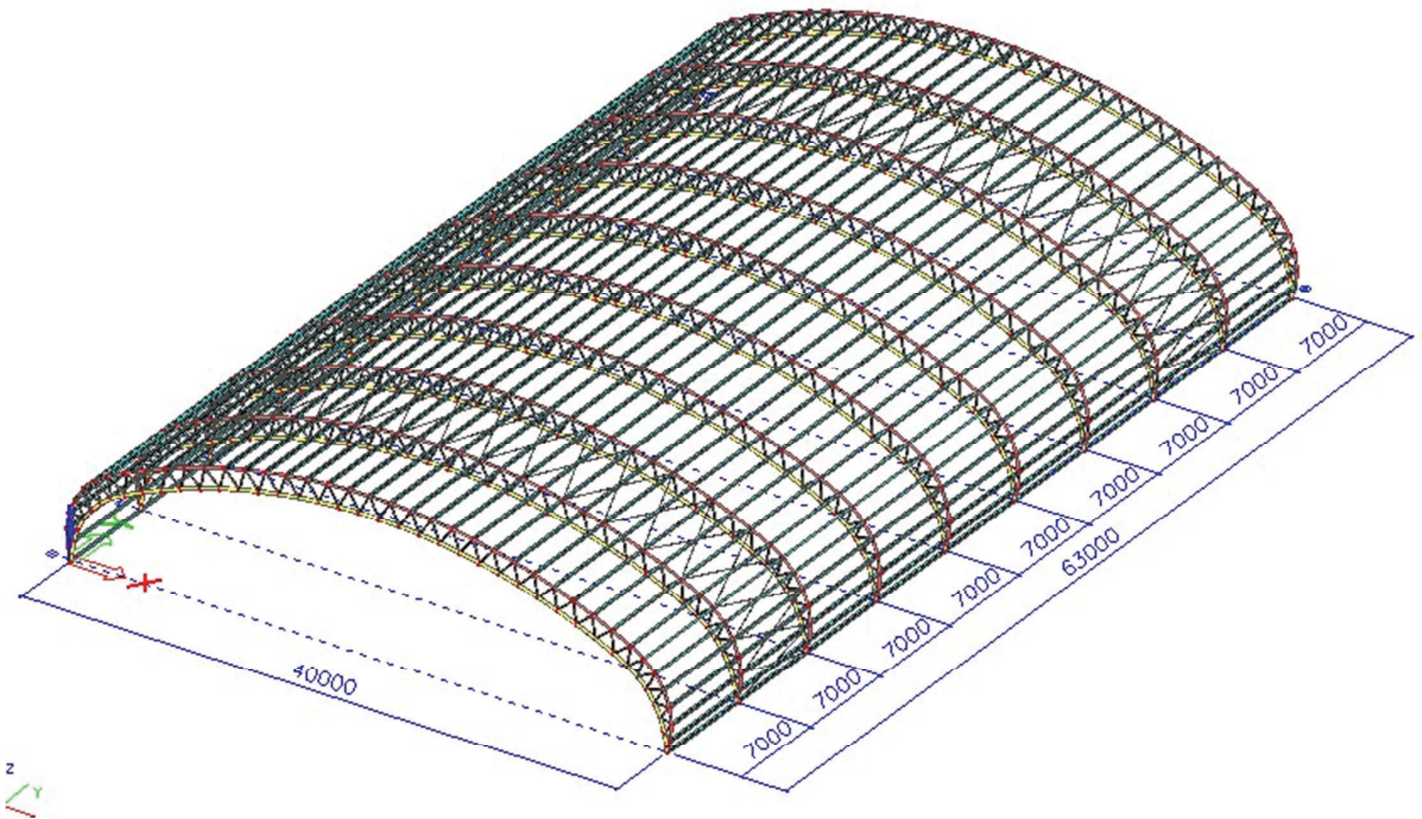
98328,6 kg
39,1 kg/m²

Celkový průhyb konstrukce $u_z = 71,0 \text{ mm} < u_{lim} = 133,33 \text{ mm}$

VARIANTA B

Nosná ocelová konstrukce je řešena pomocí systému rovinných příhradových vazníků, které jsou od sebe osově vzdáleny 7 m. Vazník je tvořen složením 3 kružnic, kde vrcholová kružnice má poloměr 39,25 m a krajní o poloměru 5,755 m. Příhradovina je tvořena horním pásem, spodním pásem a diagonály. Na konci obou stran vazníku se horní a dolní pás sbíhá do jednoho prutu. Diagonály jsou v proměnné délce od 0,588 do 1,512 m. Roznos zatížení je pomocí vaznic, které jsou připojeny v každém styčnicku k hornímu pásu a to v proměnné vzdálenosti od 0,91 do 1,40 m a délce 7 m. Vybočení z roviny vazníku je bráněno pomocí vzpěrek. Prostorovou tuhost konstrukce zajišťují příčná ztužidla. Rozměry celé konstrukce jsou 63 x 40 x 10,75 m.





Prvek	Průřez	Materiál	Hmotnost [kg]	MSU	MSP
Vaznice	HRTR 200/120/8	S 235	97327,4	0,58	25,7mm < $U_{lim}=28\text{mm}$
Horní pás	TR 139,7x6,3	S 355	10529,9	0,83	
Dolní pás	TR 193,7x10	S 355	21486,0	0,92	
Diagonály	TR 88,9x6,3	S235	12987,5	0,88	

Celkem

142330,8 kg

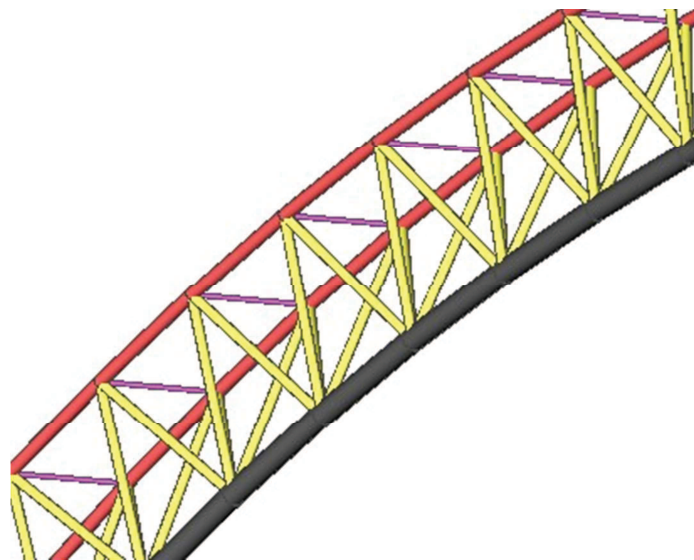
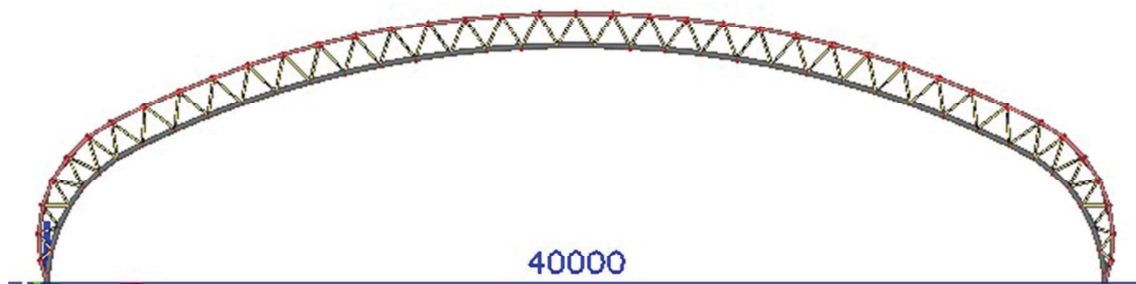
56,5 kg/m²

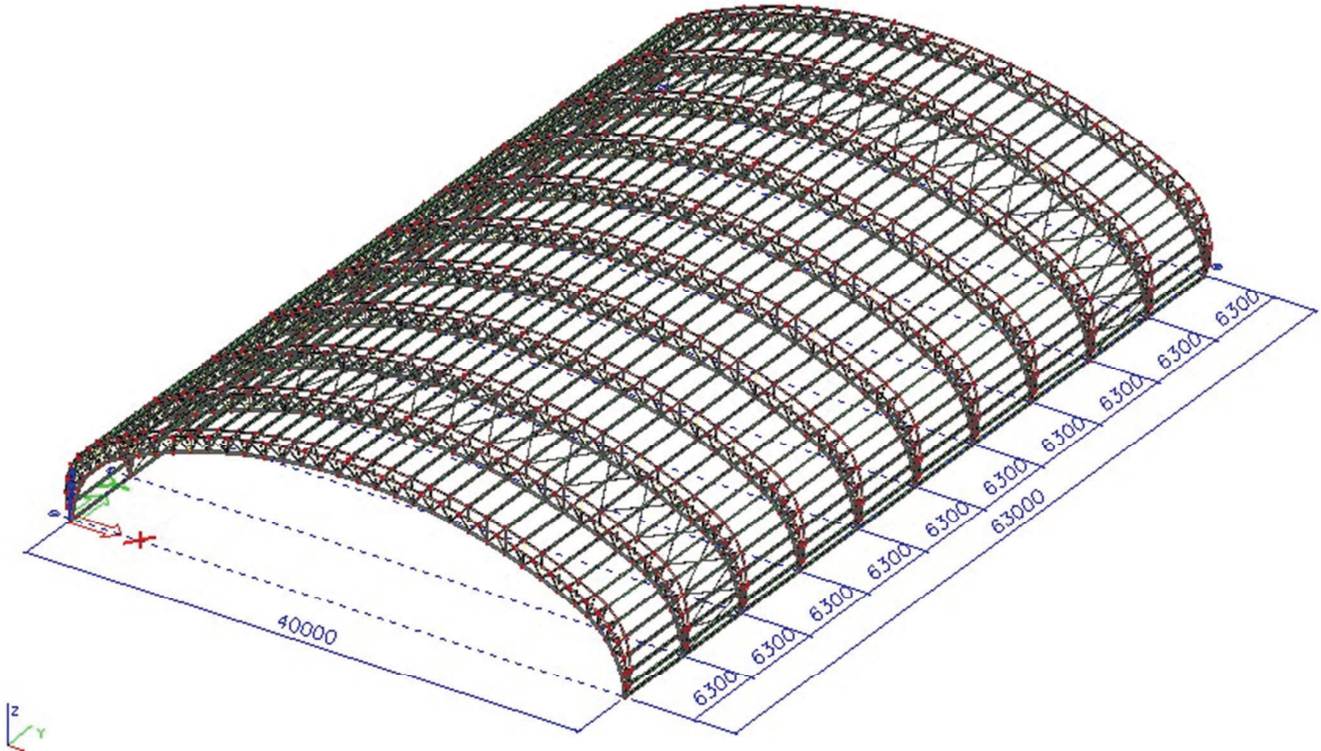
Celkový průhyb konstrukce $u_z = 74,9\text{mm} < u_{LIM} = 133,33\text{ mm}$

Podle typu konstrukce byla vybrána varianta A, tedy systém prostorových příhradových vazníků z hlediska úspory materiálu, která je nižší o 44 tun (17,4 kg/m²), tuhosti konstrukce a estetické stránky. Pro snížení hmotnosti a průhybu vaznic byla navržena varianta C.

VARIANTA C

Nosná ocelová konstrukce je řešena pomocí systému obloukových prostorových příhradových vazníků, které jsou od sebe osově vzdáleny 6,3 m. Vazník je tvořen složením 3 kružnic, kde vrcholová kružnice má poloměr 39,25 m a krajní o poloměru 5,755 m. Prostorová příhradovina je tvořena dvěma horními pásy, diagonály, spodním pásem a rozpěrou horního pásu. Na konci obou stran vazníku se horní a dolní pás sbíhá do jednoho prutu. Rozpěry horního pásu jsou v proměnné délce od 0,2 do 1 m a diagonály v proměnné délce od 0,588 do 1,512 m. Roznos zatížení je pomocí vaznic, které jsou připojeny v každém styčnicku k hornímu pásu a to v proměnné vzdálenosti od 0,91 do 1,40 m a v proměnné délce od 5,3 do 6m. Prostorovou tuhost konstrukce zajišťují příčná ztužidla. Rozměry celé konstrukce jsou 63 x 40 x 10,75 m.





Prvek	Průřez	Materiál	Hmotnost [kg]	MSU	MSP
Vaznice	HRTR 180/100/5	S 235	46276,6	0,72	19,9mm < $U_{lim}=24\text{mm}$
Horní pás	TR 101,6x4	S 355	10803,5	0,76	
Dolní pás	TR 177,8x10	S 355	21586,5	0,80	
Diagonály	TR 70x2,9	S235	11222,8	0,96	
Rozpěry	TR 33,7x2,9	S235	849,3	0,35	

Celkem

90738,7 kg

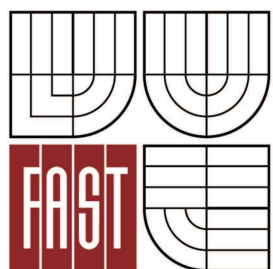
36,0 kg/m²

Celkový průhyb konstrukce $u_z = 71,4 \text{ mm} < u_{LIM} = 133,33 \text{ mm}$

Byla vybrána **varianta C**, tedy systém prostorových příhradových vazníků z hlediska úspory materiálu, která je nižší o 44 tun ($17,4 \text{ kg/m}^2$), tuhosti konstrukce, menšímu průhybu vaznic a estetické stránky. Tato varianta byla dále podrobněji zpracována.



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

D – STATICKÝ VÝPOČET

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

RADEK VLČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. MARCELA KARMAZÍNOVÁ, CSc.

BRNO 2013

Obsah

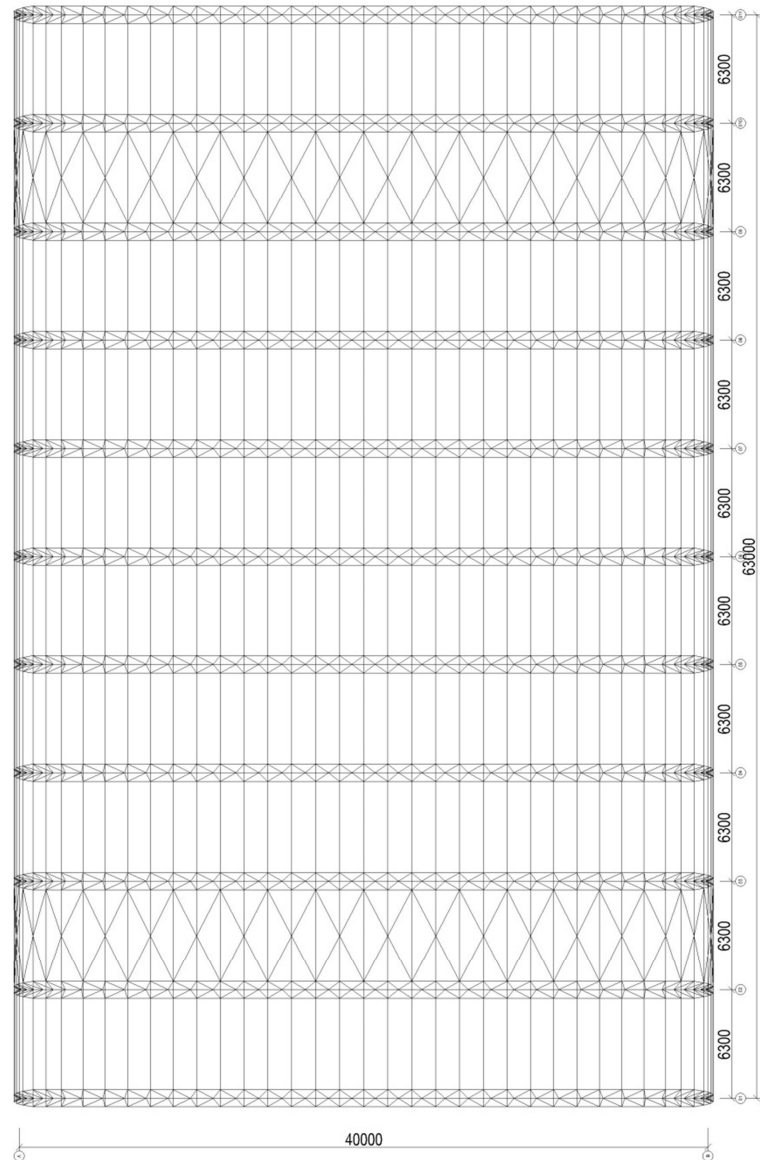
1. Geometrie konstrukce	5
1.1. Schématický půdorys	5
1.2. Schématický příčný řez.....	6
1.3. Axonometrie.....	6
1.4. Popis jednotlivých částí konstrukce	6
2. Výpočtový model	7
3. Zatížení konstrukce	8
3.1. Zatížení stálá.....	8
3.2. Zatížení nahodilá	9
3.2.1. Zatížení sněhem	9
3.2.2. Zatížení větrem.....	12
4. Kombinace zatížení a vnitřní síly	16
4.1. Kombinace pro mezní stav únosnosti	16
4.1.1. Klíč kombinací	16
4.2. Kombinace pro mezní stav použitelnosti	16
4.2.1. Klíč kombinací	16
4.3. Vnitřní síly.....	16
5. Posouzení msú	16
5.1. Posouzení trapézového plechu	16
5.2. Posouzení vaznice	17
5.2.1. Tlak:	18
5.2.2. Vzpěrná únosnost:	18
5.2.3. Ohybový moment:.....	19
5.2.4. Ohyb a osová síla:.....	19
5.3. Posouzení horního pásu.....	21
5.3.1. Tlak:	22
5.3.2. Vzpěrná únosnost:	23
5.3.3. Ohybový moment:.....	24
5.3.4. Ohyb a osová síla:.....	24
5.4. Posouzení dolního pásu	26
5.4.1. Tlak:	28
5.4.2. Vzpěrná únosnost:	28
5.4.3. Ohybový moment:.....	29
5.4.4. Smyk:	30
5.4.5. Ohyb a osová síla:.....	30
5.5. Posouzení dolního pásu	32
5.5.1. Tlak:	33
5.5.2. Vzpěrná únosnost:	33
5.5.3. Ohybový moment:.....	35
5.5.4. Ohyb a osová síla:.....	35
5.6. Posouzení diagonály.....	37

5.6.1.	Tlak:	38
5.6.2.	Vzpěrná únosnost:	38
5.6.3.	Ohybový moment:.....	39
5.6.4.	Ohyb a osová síla:.....	39
5.7.	Posouzení rozpěry horního pásu.....	41
5.7.1.	Tlak:	42
5.7.2.	Vzpěrná únosnost:	42
5.7.3.	Ohybový moment:.....	43
5.7.4.	Ohyb a osová síla:.....	44
5.8.	Posouzení příčného ztužidla.....	45
5.8.1.	Tah:.....	46
6.	Posouzení MSP	47
6.1.	Posouzení vaznice	47
6.1.1.	Posouzení:	47
6.2.	Posouzení globálního průhybu.....	48
6.2.1.	Extrémní průhyb u_z :.....	48
6.2.1.1.	Posouzení:	48
6.2.2.	Extrémní průhyb u_y :	48
6.2.2.1.	Posouzení:	48
7.	Posouzení kotvení	49
7.1.	Posouzení čepového spoje.....	49
7.1.1.	Návrh a posouzení čepu	50
7.1.2.	Návrh a posouzení svarů	51
7.1.3.	Posouzení styčnickového plechu na tah:	54
7.1.4.	Posouzení styčnickového plechu na prostý tlak	54
7.2.	Posouzení kotevních šroubů	55
7.2.1.	Únosnost ve stříhu pro jednu stříhovou plochu.....	55
7.2.2.	Únosnost v otláčení.....	55
7.2.3.	Únosnost v tahu	56
7.2.4.	Únosnost v protlačení	56
7.2.5.	Kombinace stříhu a tahu	56
7.2.6.	Posouzení únosnosti betonu v tlaku	57
8.	Posouzení přípojů.....	57
8.1.	Detail 1- připojení rozpěry k hornímu pásu	57
8.1.1.	Návrh a posouzení svaru	58
8.1.2.	Návrhová únosnost svařovaných styčnicků	59
8.2.	Detail 2 – připojení diagonál k hornímu pásu	60
8.2.1.	Návrh a posouzení svaru	61
8.2.2.	Návrhová únosnost svařovaných styčnicků	62
8.3.	Detail 3 – připojení diagonál k dolnímu pásu.....	63
8.3.1.	Návrh a posouzení svaru	64
8.3.2.	Návrhová únosnost svařovaných styčnicků	65
8.4.	Detail 4 – připojení příčného ztužidla a vaznice k hornímu pásu.....	66

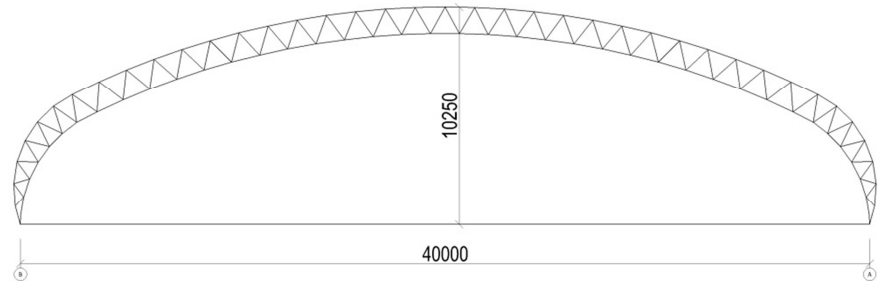
8.4.1.	Návrhová únosnost svařovaných styčnicků	67
8.4.2.	Posouzení styčnickového plechu	68
8.4.3.	Návrh a posouzení svaru	68
9.	Přílohy ke statickému výpočtu	69
9.1.	Posouzení štítové stěny msú	69
9.1.1.	Posouzení sloupu	69
9.1.1.1.	Tlak:	70
9.1.1.2.	Vzpěrná únosnost:	70
9.1.1.3.	Ohybový moment:	72
9.1.1.4.	Smyk:	72
9.1.2.	Posouzení paždíku	72
9.1.2.1.	Tlak:	73
9.1.2.2.	Vzpěrná únosnost:	74
9.1.2.3.	Ohybový moment:	75
9.2.	Posouzení štítové stěny msp	75
9.2.1.	Posouzení sloupu	75
9.2.1.1.	Posouzení:	76
9.2.2.	Posouzení paždíku	76
9.2.2.1.	Posouzení:	76
9.3.	Trapézový plech	76

1. GEOMETRIE KONSTRUKCE

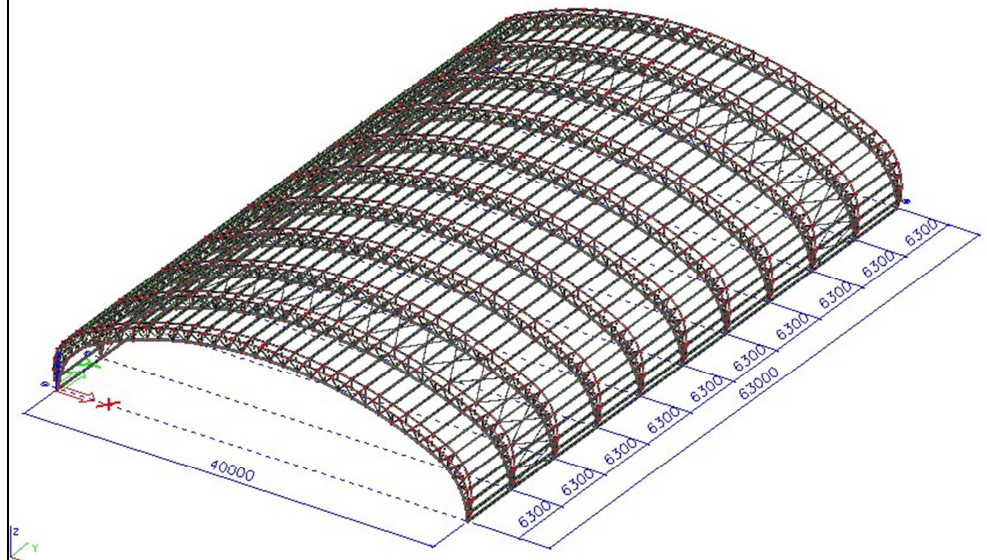
1.1. Schématický půdorys



1.2. Schématický příčný řez



1.3. Axonometrie



1.4. Popis jednotlivých částí konstrukce

Střešní plášť je tvořen nenosným trapézovým plechem tl. 0,5 mm. Trapézové plechy jsou uloženy kolmo na vaznice. Na trapézový plech bude položena parozábrana, dále pak tepelná izolace z minerální plsti v tl. 200 mm a na ni je navržen hliníkový fasádní systém se stojatou drážkou KALZIP.

Vaznice zajišťuje prostorovou tuhost konstrukce. Je uložena v každém styčnicku, které jsou od sebe vzdáleny od 910 do 1400 mm. Jejich délka mezi příčnými vazbami je proměnlivá od 5300 do 6000 mm.

Vazník je navržen jako prostorový příhradový o rozpětí 40,0 m v osové vzdálenosti 6,3 m. Vazník je tvořen složením 3 kružnic, kde vrcholová kružnice má poloměr 39,25 m a krajní o poloměru 5,755 m. Na konci obou stran vazníku se horní a dolní pás sbíhá do jednoho prutu. Prostorová příhradovina je tvořena dvěma horními pásy, dolním pásem, diagonály a rozpěrou mezi horními pásy.

Příčné ztužidlo je navrženo v druhém poli haly z obou stran. Zajišťuje prostorovou tuhost celé konstrukce a přenáší zatížení, které na celou nosnou soustavu působí v podélném směru, do podpor. Převážně je to zatížení od větru.

Kotvení a patka - kotvení je provedeno pomocí patního plechu, na který jsou přivařeny styčnickové plechy s otvorem pro čepový spoj. Patní plech je ukotven v základové patce pomocí závitových tyčí kotvení technologie firmy HILTY. Ty jsou do betonu lepené dvoukomponentní chemickou maltou HIT-HY 150 max.

2. VÝPOČTOVÝ MODEL

Ocelová oblouková konstrukce tréninkové tenisové haly je řešena jako prostorová konstrukce pomocí programu Scia Engineer 2012.0.

- Podpory:** Podpory jsou řešeny jako kloubové neposuvné uložení.
Klouby: Kloubově připojeny jsou vaznice a příčná ztužidla.
Vzpěr: Veškeré součinitele vzpěrných délek byly zadány ručně.

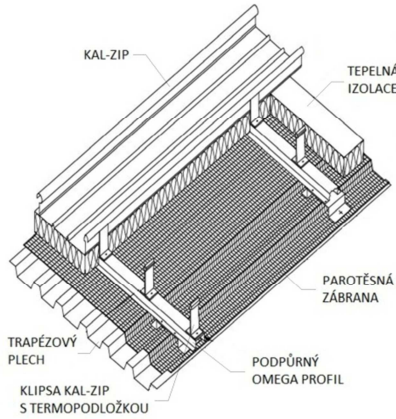
3. ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE

3.1. Zatížení stálá

Vlastní tíha

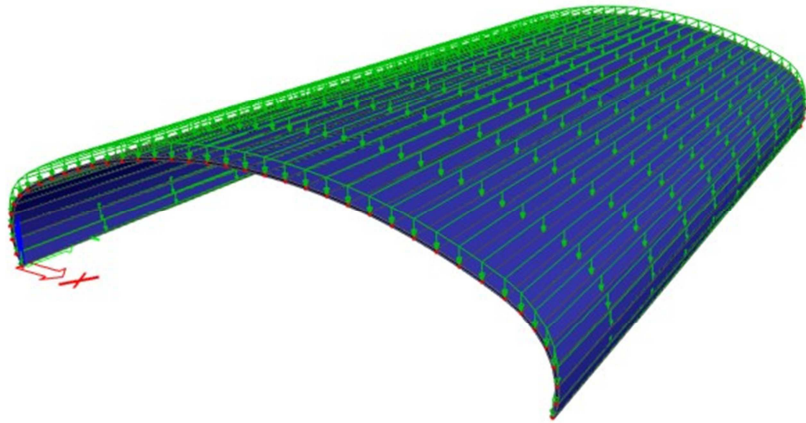
- zatížení konstrukce od vlastní tíhy bylo vypočítáno automaticky programem Scia Engineering 2012.0.

Střešní plášť



	$g_k [kN/m^2]$
Hliníkový plech KALZIP	0,05
Tepelná izolace 200mm	0,10
Parozábrana	0,01
Trapézový plech	0,048
Rezerva při instalaci	0,04
	0,248

$$g_d = g_k \cdot \gamma_F = 0,248 \cdot 1,35 = 0,335 \text{ kN/m}^2$$



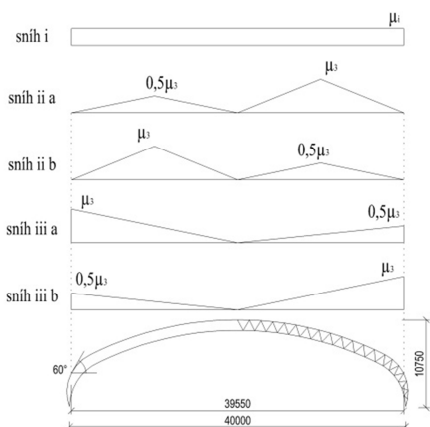
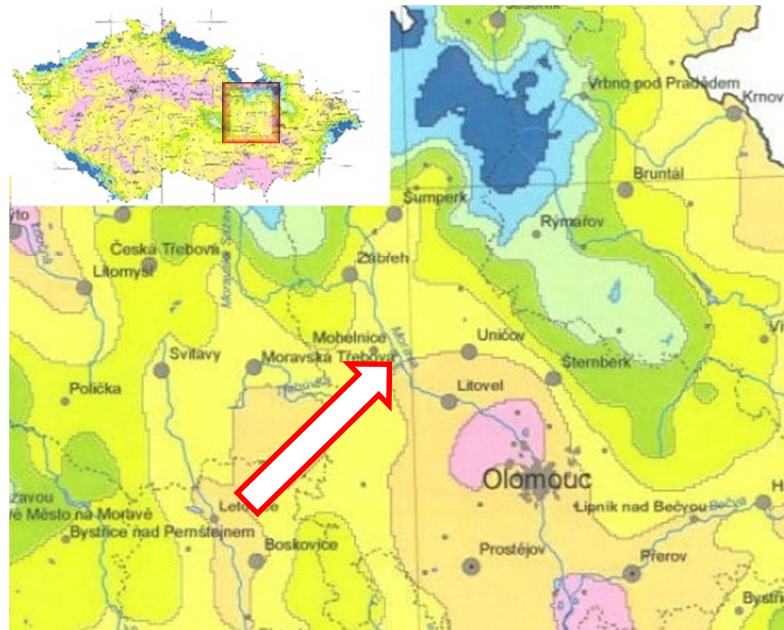
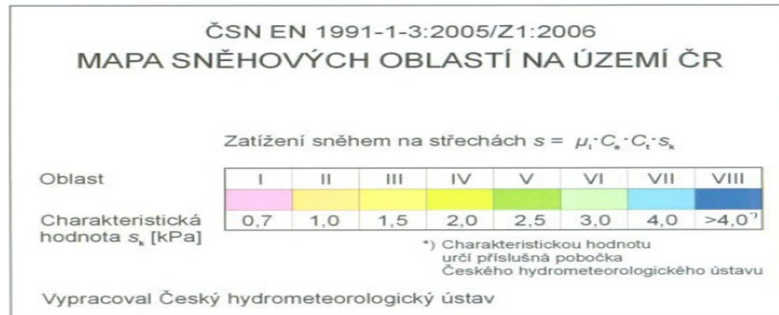
3.2. Zatížení nahodilá

3.2.1. Zatížení sněhem

Sněhová oblast (Moravičany) => III. $s_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$

Součinitel expozice: $C_e = 1,0$

Teplný součinitel: $C_t = 1,0$



Tvarový součinitel:

$$\mu_1 = 0,8$$

$$\text{pro } \beta > 60^\circ$$

$$\text{pro } \beta \leq 60^\circ$$

$$\mu_3 = 0$$

$$\mu_3 = 0,2 + 10h/b$$

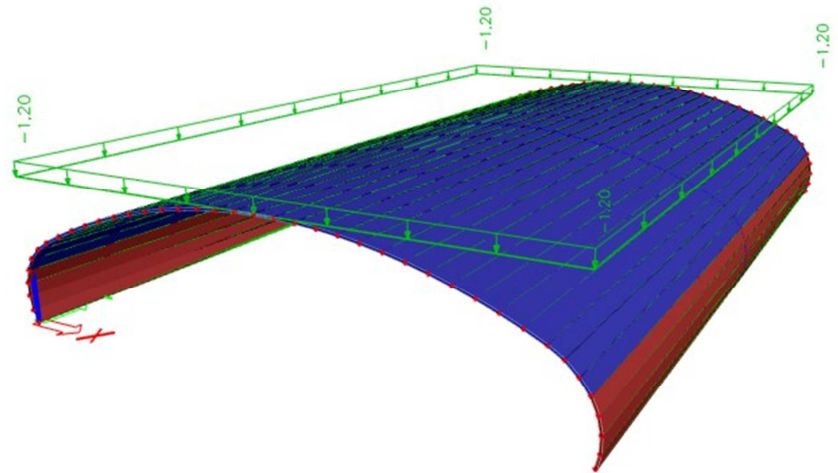
$$\mu_3 = 0,2 + 10 \cdot 10,75/40$$

$$\mu_3 = 2,9$$

$$0,2 \leq \mu_3 \leq 2,0 \Rightarrow \mu_3 = 2,0$$

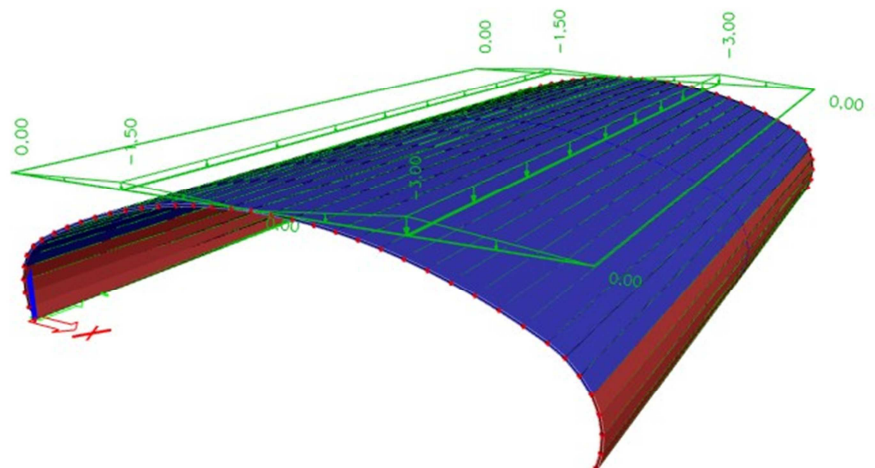
Sníh i:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$



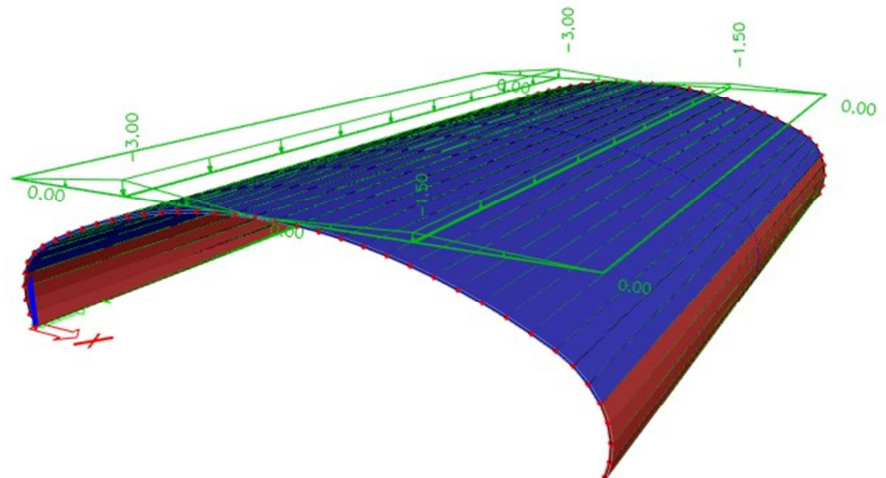
Sníh ii_a:

$$s = \mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 3,0 \text{ kN/m}^2$$



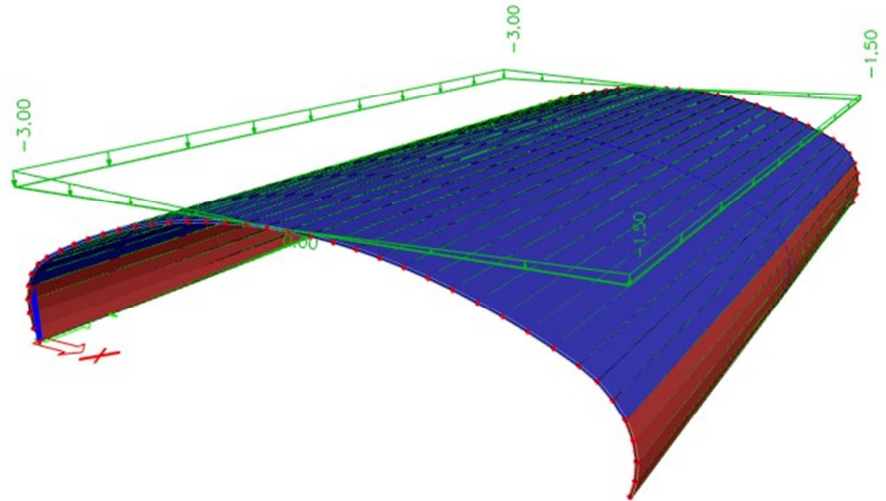
Sníh ii_b:

$$s = \mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 3,0 \text{ kN/m}^2$$



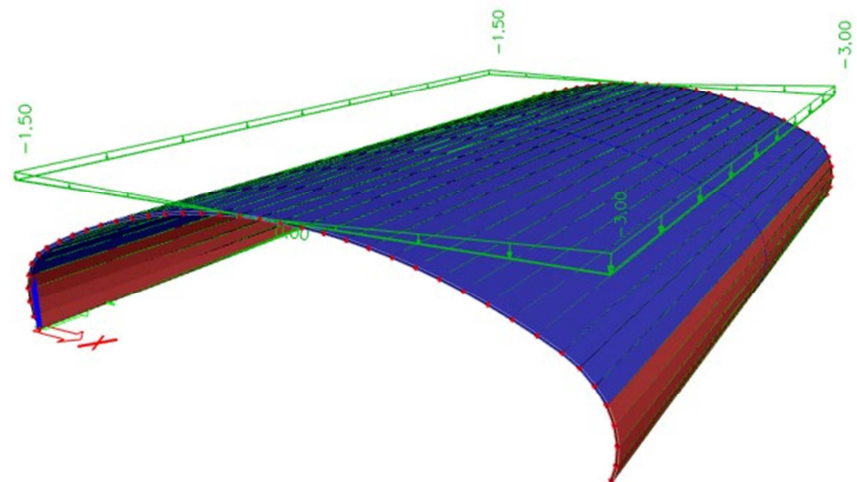
Sníh iii_a:

$$s = \mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 3,0 \text{ kN/m}^2$$



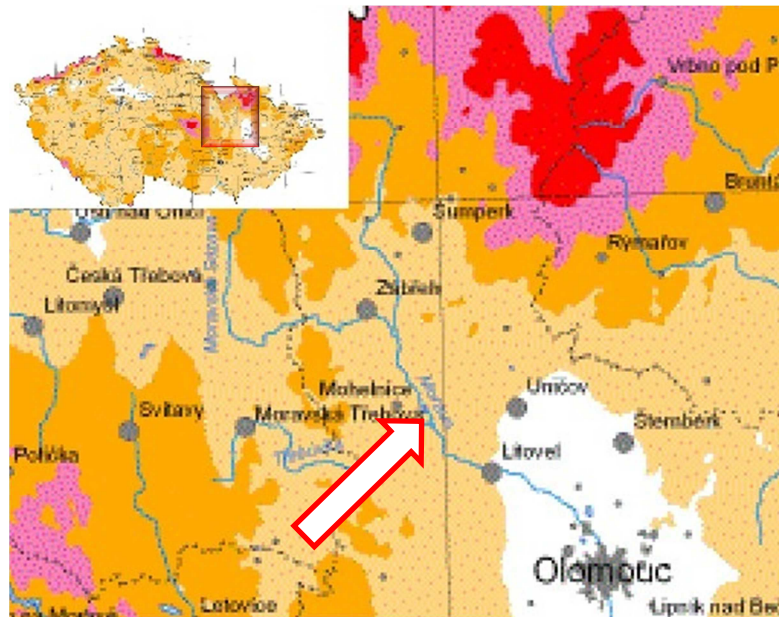
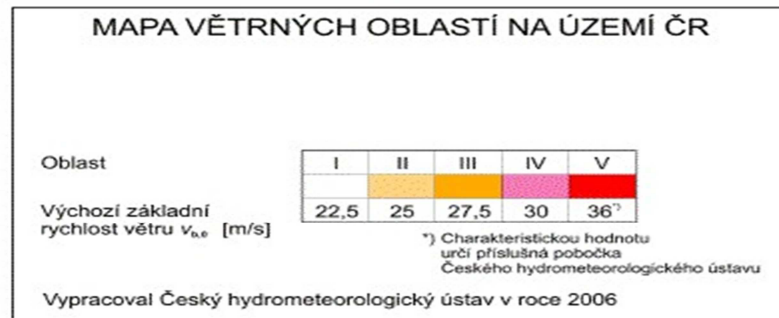
Sníh iii_b:

$$s = \mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 3,0 \text{ kN/m}^2$$



3.2.2. Zatížení větrem

Větrná oblast II. $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$



Kategorie terénu III. $z_0 = 0,3 \text{ m}$

$$z_{min} = 5 \text{ m}$$

Součinitel směru větru: $C_{dir} = 1,0$

Součinitel ročního období: $C_{season} = 1,0$

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

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

Základní dynamický tlak větru:

$$q_b = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 391 \text{ N/m}^2$$

Drsnost terénu:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \left[\frac{\max(z_e; z_{min})}{z_0} \right] = 0,216 \cdot \ln \left[\frac{10,75}{0,3} \right] = 0,773$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,216$$

$$z_e = h + f = 10,75 \text{ m}$$

Střední rychlost větru:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,773 \cdot 1,0 \cdot 25 = 19,325 \text{ m/s}$$

Součinitel ortografie:

$$c_0(z) = 1,0$$

Turbulence větru:

$$I_v(z) = \frac{\sigma}{v_m(z)} = \frac{5,85}{19,325} = 0,28$$

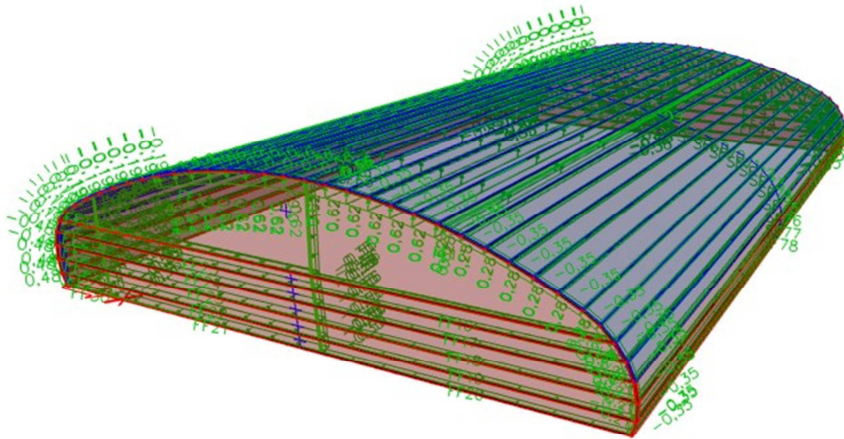
$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_I = 0,216 \cdot 25 \cdot 1,0 = 5,4 \text{ m/s}$$

Maximální dynamický tlak:

$$q_p(z) = c_e \cdot q_b = 391 \cdot 1,77 = 692 \text{ N/m}^2 = \mathbf{0,692 \text{ kPa}}$$

$$c_e = (1 + 7I_v) \cdot (c_r \cdot c_0)^2 = (1 + 7 \cdot 0,28) \cdot (0,773 \cdot 1,0)^2 = 1,77$$

PŘÍČNÝ TLAK VĚTRU



STŘEŠNÍ PLÁŠŤ

$$f = 7,79 \text{ m}$$

$$h = 2,96 \text{ m}$$

$$d = 40 \text{ m}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{2,96}{40} = 0,074$$

$$\frac{f}{d} = \frac{7,79}{40} = 0,195$$

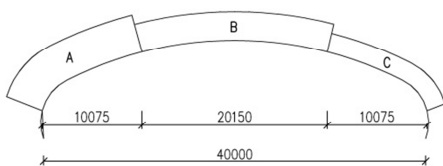
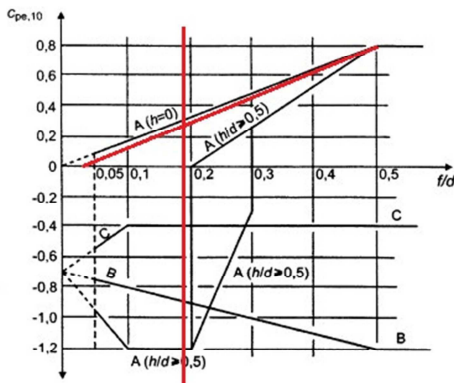
Vnější tlak větru [kPa]:

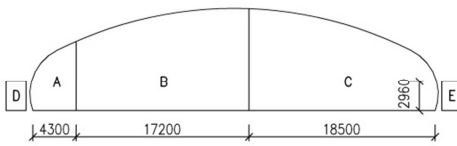
$$w_e = q_p(z) \cdot c_{pe}$$

$$w_{eA} = 0,692 \cdot 0,28 = 0,194$$

$$w_{eB} = 0,692 \cdot (-0,89) = -0,616$$

$$w_{eC} = 0,692 \cdot (-0,4) = -0,277$$





STĚNY

$$h = 10,75 \text{ m}$$

$$d = 40 \text{ m}$$

$$b = 63 \text{ m}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{10,70}{40} = 0,269$$

$$e = \min(b; 2h) = \min(63; 21,5) = 21,5 \text{ m}$$

Vnější tlak větru [kPa]:

$$w_e = q_p(z) \cdot c_{pe}$$

$$w_{eAs} = 0,692 \cdot (-1,2) = -0,831$$

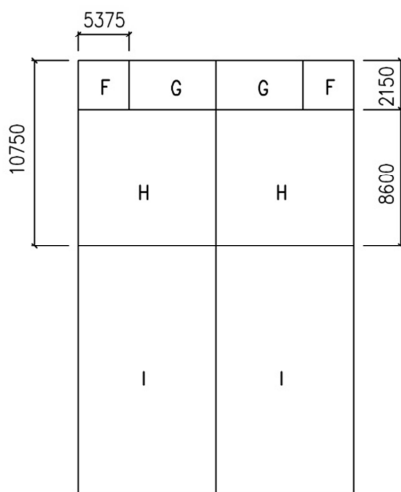
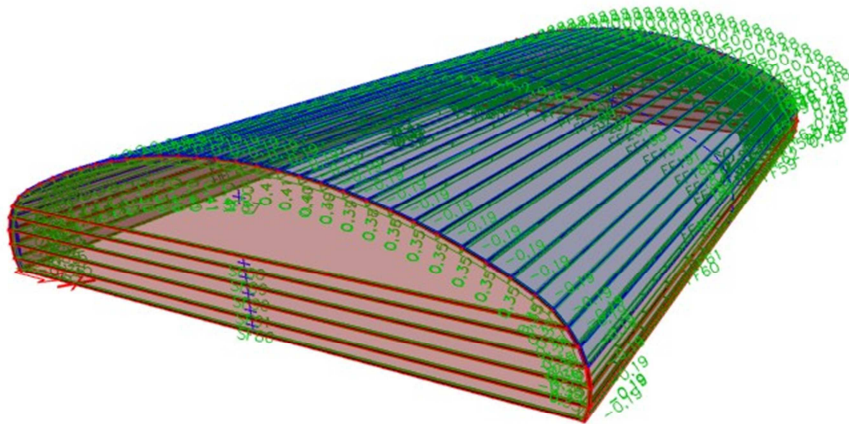
$$w_{eBs} = 0,692 \cdot (-0,815) = -0,564$$

$$w_{eCs} = 0,692 \cdot (-0,5) = -0,346$$

$$w_{eD} = 0,692 \cdot 0,7 = 0,485$$

$$w_{eE} = 0,692 \cdot (-0,3) = -0,201$$

PODÉLNÝ TLAK VĚTRU



STŘEŠNÍ PLÁŠŤ

$$b = 40 \text{ m}$$

$$e = \min(b; 2h) = \min(40; 21,5) = 21,5 \text{ m}$$

Vnější tlak větru [kPa]:

$$w_e = q_p(z) \cdot c_{pe}$$

$$w_{el;69^\circ-15^\circ} = 0,692 \cdot (-0,5) = -0,346$$

$$w_{el;13^\circ} = 0,692 \cdot (-0,52) = -0,360$$

$$w_{el;11^\circ} = 0,692 \cdot (-0,54) = -0,374$$

$$w_{el;9^\circ} = 0,692 \cdot (-0,56) = -0,388$$

$$w_{el;7^\circ} = 0,692 \cdot (-0,58) = -0,402$$

$$w_{el;5^\circ-1^\circ} = 0,692 \cdot (-0,6) = -0,415$$

$$\begin{aligned}
 w_{eH;69^\circ} &= 0,692 \cdot (-0,8) = -0,554 \\
 w_{eH;57^\circ} &= 0,692 \cdot (-0,82) = -0,567 \\
 w_{eH;44^\circ} &= 0,692 \cdot (-0,9) = -0,623 \\
 w_{eH;32^\circ} &= 0,692 \cdot (-0,82) = -0,567 \\
 w_{eH;26^\circ} &= 0,692 \cdot (-0,75) = -0,519 \\
 w_{eH;24^\circ} &= 0,692 \cdot (-0,72) = -0,498 \\
 w_{eH;21^\circ} &= 0,692 \cdot (-0,68) = -0,471 \\
 w_{eH;19^\circ} &= 0,692 \cdot (-0,66) = -0,457 \\
 w_{eH;17^\circ} &= 0,692 \cdot (-0,63) = -0,436 \\
 w_{eH;15^\circ} &= 0,692 \cdot (-0,6) = -0,415 \\
 w_{eH;13^\circ} &= 0,692 \cdot (-0,62) = -0,429 \\
 w_{eH;11^\circ} &= 0,692 \cdot (-0,64) = -0,443 \\
 w_{eH;9^\circ} &= 0,692 \cdot (-0,66) = -0,457 \\
 w_{eH;7^\circ} &= 0,692 \cdot (-0,68) = -0,471 \\
 w_{eH;5^\circ-1^\circ} &= 0,692 \cdot (-0,7) = -0,485 \\
 w_{eG;1^\circ} &= 0,692 \cdot (-1,26) = -0,872 \\
 w_{eG;3^\circ} &= 0,692 \cdot (-1,28) = -0,886 \\
 w_{eG;5^\circ-15^\circ} &= 0,692 \cdot (-1,3) = -0,890 \\
 w_{eG;17^\circ} &= 0,692 \cdot (-1,32) = -0,914 \\
 w_{eG;19^\circ} &= 0,692 \cdot (-1,33) = -0,921 \\
 w_{eG;21^\circ} &= 0,692 \cdot (-1,34) = -0,928 \\
 w_{eF;21^\circ} &= 0,692 \cdot (-1,22) = -0,845 \\
 w_{eF;24^\circ} &= 0,692 \cdot (-1,18) = -0,817 \\
 w_{eF;26^\circ} &= 0,692 \cdot (-1,16) = -0,803 \\
 w_{eF;32^\circ-69^\circ} &= 0,692 \cdot (-1,1) = -0,761
 \end{aligned}$$

STĚNY

$$h = 10,75 \text{ m}$$

$$d = 63 \text{ m}$$

$$b = 40 \text{ m}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{10,70}{63} = 0,170$$

$$e = \min(b; 2h) = \min(40; 21,5) = 21,5 \text{ m}$$

Vnější tlak větru [kPa]:

$$w_e = q_p(z) \cdot c_{pe}$$

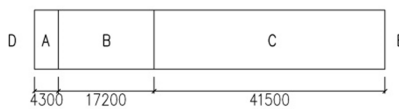
$$w_{eAs} = 0,692 \cdot (-1,2) = -0,831$$

$$w_{eBs} = 0,692 \cdot (-0,74) = -0,512$$

$$w_{eCs} = 0,692 \cdot (-0,5) = -0,346$$

$$w_{eD} = 0,692 \cdot 0,69 = 0,478$$

$$w_{eE} = 0,692 \cdot (-0,28) = -0,194$$



4. KOMBINACE ZATÍŽENÍ A VNITŘNÍ SÍLY

4.1. Kombinace pro mezní stav únosnosti

MSÚ – kombinace provedena dle 6.10.

4.1.1. Klíč kombinací

Viz. programový výstup.

4.2. Kombinace pro mezní stav použitelnosti

MSP – provedena charakteristická kombinace 6.14b.

4.2.1. Klíč kombinací

Viz. programový výstup.

4.3. Vnitřní síly

Přehled vnitřních sil viz. programový výstup.

5. POSOUZENÍ MSÚ

5.1. Posouzení trapézového plechu

Trapézový plech Satjam SAT50/260, plech je navržen jako spojitý o dvou polích.

Zatížení:

Stálé

$$ZS1: g_d = g_k \cdot \gamma_F = 0,248 \cdot 1,35 = 0,335 \text{ kNm}^{-2}$$

Nahodilé

ZS2:

$$\text{Sníh} \quad s_k = 3,0 \text{ kNm}^{-2} \quad s_d = 4,5 \text{ kNm}^{-2}$$

ZS3:

$$\text{Vítr} \quad w_k = -0,890 \text{ kNm}^{-2} \quad w_d = -1,335 \text{ kNm}^{-2}$$

Kombinace:

$$K1: ZS1 + ZS2 = 0,335 + 4,5 = 4,835 \text{ kNm}^{-2}$$

$$K2: ZS1 + ZS3 = 0,335 - 1,335 = -1,00 \text{ kNm}^{-2}$$

Posouzení:

Kritické místo se nachází ve sklonu 15°

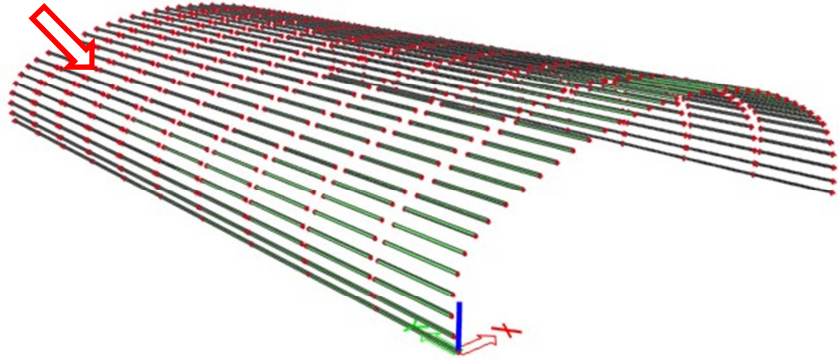
$$Q_d = K1 \cdot \cos^2 15^\circ = 4,835 \cdot \cos^2 15^\circ = 4,511 \text{ kNm}^{-2}$$

Dle tabulky bezpečnosti zatížení (katalog SATJAM) je pro přípustné rovnoměrné zatížení $6,9 \text{ kNm}^{-2}$.

$$4,511 \text{ kNm}^{-2} \leq 6,9 \text{ kNm}^{-2} \quad \text{Vyhovuje}$$

5.2. Posouzení vaznice

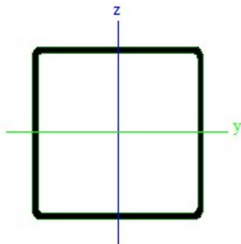
Poloha nejvíce namáhané vaznice:



Průřezové charakteristiky:

Typ: HRTR 150/150/5
Výroba: válcovaný

$A [m^2]$	$2,873 \cdot 10^{-3}$
$I_y [m^4]$	$1,000 \cdot 10^{-5}$
$I_z [m^4]$	$1,000 \cdot 10^{-5}$
$Wpl_y [m^3]$	$1,560 \cdot 10^{-4}$
$Wpl_z [m^3]$	$1,560 \cdot 10^{-4}$
$i_y [mm]$	58,9
$i_z [mm]$	58,9



Materiálové charakteristiky:

Ocel: S 235 => $f_y = 235 \text{ MPa}$
 $f_u = 360 \text{ MPa}$
 $E = 210 \text{ GPa}$

Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém průřezu:

$N_{ed} [kN]$	$V_{y,Ed} [kN]$	$V_{z,Ed} [kN]$	$M_{y,Ed} [kNm]$	$M_{z,Ed} [kNm]$
-0,88	-0,01	0,20	24,83	-10,24

Klasifikace průřezu:

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

$$\frac{c}{t} = \frac{140}{5} = 28 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33$$

Průřez třídy 1.

5.2.1. Tlak:

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

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,873 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 675,16 \text{ kN}$$

$$\frac{0,88}{675,16} = 0,002 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

5.2.2. Vzpěrná únosnost:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = 1,0$$

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

Kritické délky:

Vaznice jsou modelovány jako oboustranně kloubově připojené k hornímu pásu. Vzpěrná délky jsou shodné s délkou systémovou.

$$L_{cr,y} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 5,300 = 5,300 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 5,300 = 5,300 \text{ m}$$

Kritická normálová síla:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot 10^{-5}}{5,3^2} = 737,85 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot 10^{-5}}{5,3^2} = 737,85 \text{ kN}$$

Štíhlost prutu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_z} = \frac{5300}{58,9} = 89,99$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{5300}{58,9} = 89,99$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,873 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{737,85}} = 0,957$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,873 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{737,85}} = 0,957$$

Součinitel imperfekce:

$$\phi_y = \phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha_1 \cdot (\bar{\lambda}_{y(z)} - 0,2) + \bar{\lambda}_{y(z)}^2]$$

$$\phi_{y(z)} = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,957 - 0,2) + 0,957^2] = 1,037$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,037 + \sqrt{1,037^2 - 0,957^2}} = 0,696$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,696 \cdot 2,873 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 469,91 \text{ kN}$$

$$\frac{0,88}{469,91} = 0,002 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

5.2.3. Ohybový moment:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,56 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 36,66 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{24,83}{36,66} = 0,68 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{10,24}{36,66} = 0,28 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

5.2.4. Ohyb a osová síla:

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

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

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = 0,957$$

$$\chi_y = \chi_z = 0,696$$

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

Únosnost normálové síly:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 2,873 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3 = 675,16 \text{ kN}$$

Únosnost za ohybu:

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = W_{pl} \cdot f_y = 1,56 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3 = 36,66 \text{ kNm}$$

Interakční součinitel podle přílohy B

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{0,00}{24,83} = 0,0$$

$$\psi = \frac{\Psi M_h}{M_h} = \frac{0,00}{0,00} = 0,0$$

$$c_{my} = 0,90 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,90 + 0,05 \cdot 0,0 = 0,900$$

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

$$k_{yy} = 0,900 \cdot \left(1 + (0,957 - 0,2) \cdot \frac{0,88}{\frac{0,696 \cdot 675,16}{1,0}} \right) = 0,900$$

$$k_{yy} \leq 0,900 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{0,88}{\frac{0,696 \cdot 675,16}{1,0}} \right) = 0,900$$

$$k_{yy} = 0,900 \leq 0,900$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,900 = 0,54$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{0,00}{10,24} = 0,0$$

$$\psi = \frac{\Psi M_h}{M_h} = \frac{0,00}{0,00} = 0,0$$

$$c_{my} = 0,90 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,90 + 0,05 \cdot 0,0 = 0,900$$

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

$$k_{zz} = 0,900 \cdot \left(1 + (0,957 - 0,2) \cdot \frac{0,88}{\frac{0,696 \cdot 675,16}{1,0}} \right) = 0,900$$

$$k_{zz} \leq 0,900 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{0,88}{\frac{0,696 \cdot 675,16}{1,0}} \right) = 0,900$$

$$k_{zz} = 0,900 \leq 0,900$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,900 = 0,54$$

$$\frac{0,88}{\frac{0,696 \cdot 675,16}{1,0}} + 0,900 \cdot \frac{24,83}{1,0 \cdot 36,66} + 0,54 \cdot \frac{10,24}{1,0 \cdot 36,66} = \mathbf{0,77} \leq \mathbf{1,0}$$

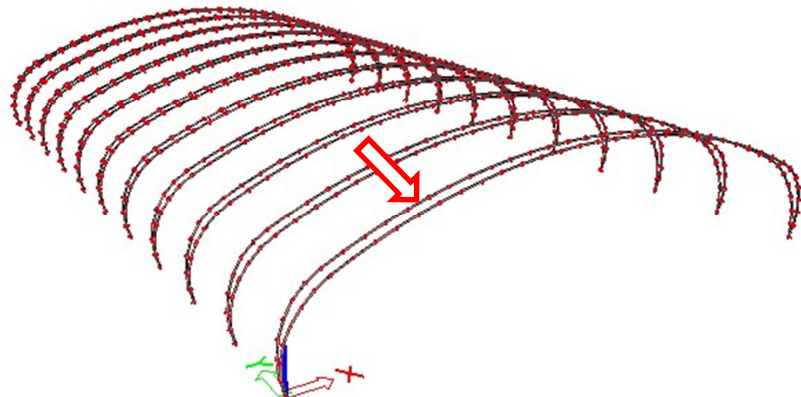
VYHOVUJE

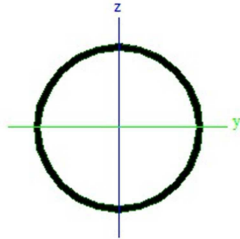
$$\frac{0,88}{\frac{0,696 \cdot 675,16}{1,0}} + 0,54 \cdot \frac{24,83}{1,0 \cdot 36,66} + 0,90 \cdot \frac{10,24}{1,0 \cdot 36,66} = \mathbf{0,64} \leq \mathbf{1,0}$$

VYHOVUJE

5.3. Posouzení horního pásu

Poloha nejvíce namáhaného místa horního pásu:





Průřezové charakteristiky:

Typ: TR 114,3x5.6
Výroba: válcovaný

$A [m^2]$	$1,910 \cdot 10^{-3}$
$I_y [m^4]$	$2,830 \cdot 10^{-6}$
$I_z [m^4]$	$2,830 \cdot 10^{-6}$
$W_{pl_y} [m^3]$	$6,580 \cdot 10^{-5}$
$W_{pl_z} [m^3]$	$6,580 \cdot 10^{-5}$
$i_y [mm]$	38,5
$i_z [mm]$	38,5

Materiálové charakteristiky:

Ocel: S 355 => $f_y = 355 \text{ MPa}$
 $f_u = 490 \text{ MPa}$
 $E = 210 \text{ GPa}$

Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém průřezu:

$N_{ed} [kN]$	$V_{y,Ed} [kN]$	$V_{z,Ed} [kN]$	$M_{y,Ed} [kNm]$	$M_{z,Ed} [kNm]$
-314,76	-0,14	0,07	0,51	-0,44

Klasifikace průřezu:

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

$$\frac{d}{t} = \frac{114,3}{5,6} = 20,41 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,13$$

Průřez třídy 1.

5.3.1. Tlak:

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

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,91 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 678,05 \text{ kN}$$

$$\frac{314,76}{678,05} = 0,46 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

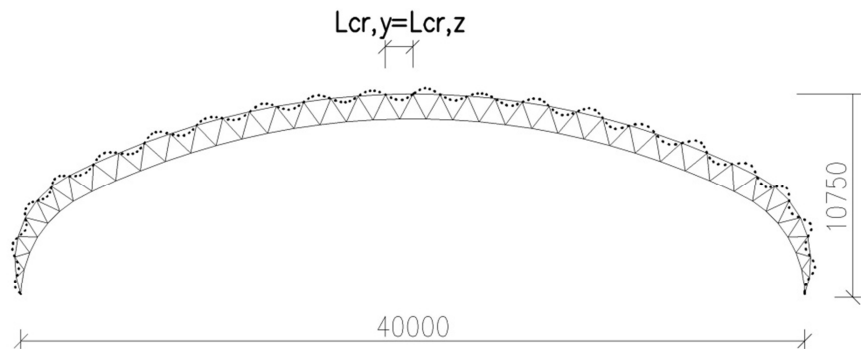
5.3.2. Vzpěrná únosnost:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = 1,0$$

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

Kritické délky:

Horní pás příčné vazby je vymodelován pruty mezi jednotlivými styčníky. Vybočení v rovině kolmé na osu y-y (v rovině vazníku) je bráněno diagonálami vazníku. Vybočení v rovině kolmé na osu z-z (z roviny vazníku) je bráněno vaznicemi.



$$L_{cr,y} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 1,400 = 1,400m$$

$$L_{cr,z} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 1,400 = 1,400m$$

Kritická normálová síla:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 2,83 \cdot 10^{-6}}{1,4^2} = 2992,61 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 2,83 \cdot 10^{-6}}{1,4^2} = 2992,61 \text{ kN}$$

Štíhlost prutu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_z} = \frac{1400}{38,5} = 36,36$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1400}{38,5} = 36,36$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,91 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{2992,61}} = 0,476$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,91 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{2992,61}} = 0,476$$

Součinitel imperfekce:

$$\phi_y = \phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha_1 \cdot (\bar{\lambda}_{y(z)} - 0,2) + \bar{\lambda}_{y(z)}^2]$$

$$\phi_{y(z)} = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,476 - 0,2) + 0,476^2] = 0,642$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,642 + \sqrt{0,642^2 - 0,476^2}} = 0,932$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,932 \cdot 1,91 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 631,65 \text{ kN}$$

$$\frac{314,76}{631,65} = 0,50 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

5.3.3. Ohybový moment:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6,58 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 23,36 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,51}{23,36} = 0,03 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,44}{23,36} = 0,02 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

5.3.4. Ohyb a osová síla:

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

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

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = 0,476$$

$$\chi_y = \chi_z = 0,932$$

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

Únosnost normálové síly:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 1,91 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3 = 678,05 kN$$

Únosnost za ohybu:

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = W_{pl} \cdot f_y = 3,8 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^3 = 23,36 kNm$$

Interakční součinitel podle přílohy B

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{0,51}{0,51} = 1,0$$

$$\psi = \frac{\psi M_h}{M_h} = \frac{0,41}{0,51} = 0,8$$

$$c_{my} = 0,90 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,90 + 0,05 \cdot 1,0 = 0,950$$

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

$$k_{yy} = 0,950 \cdot \left(1 + (0,476 - 0,2) \cdot \frac{314,76}{\frac{0,932 \cdot 678,05}{1,0}} \right) = 1,077$$

$$k_{yy} \leq 0,950 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{314,76}{\frac{0,932 \cdot 678,05}{1,0}} \right) = 1,328$$

$$k_{yy} = 1,077 \leq 1,328$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,077 = 0,646$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{0,34}{0,47} = 0,73$$

$$\psi = \frac{\psi M_h}{M_h} = \frac{0,25}{0,47} = 0,54$$

$$c_{my} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_s = 0,2 + 0,8 \cdot 0,73 = 0,784$$

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

$$k_{zz} = 0,784 \cdot \left(1 + (0,476 - 0,2) \cdot \frac{314,76}{\frac{0,932 \cdot 678,05}{1,0}} \right) = 0,892$$

$$k_{zz} \leq 0,784 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{314,76}{\frac{0,932 \cdot 678,05}{1,0}} \right) = 1,096$$

$$k_{zz} = 0,892 \leq 1,096$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,892 = 0,535$$

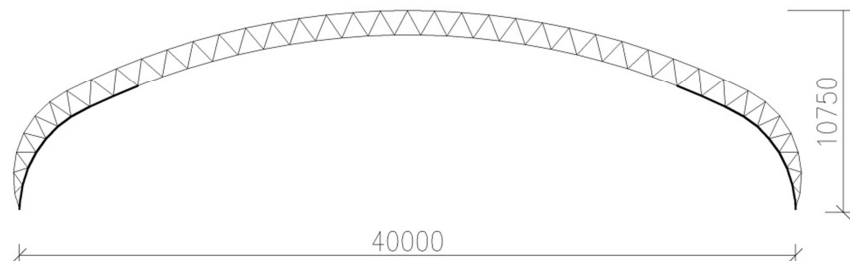
$$\frac{314,76}{\frac{0,932 \cdot 678,05}{1,0}} + 1,077 \cdot \frac{0,51}{\frac{1,0 \cdot 23,36}{1,0}} + 0,535 \cdot \frac{0,44}{\frac{1,0 \cdot 23,36}{1,0}} = \mathbf{0,60} \leq \mathbf{1,0}$$

VYHOVUJE

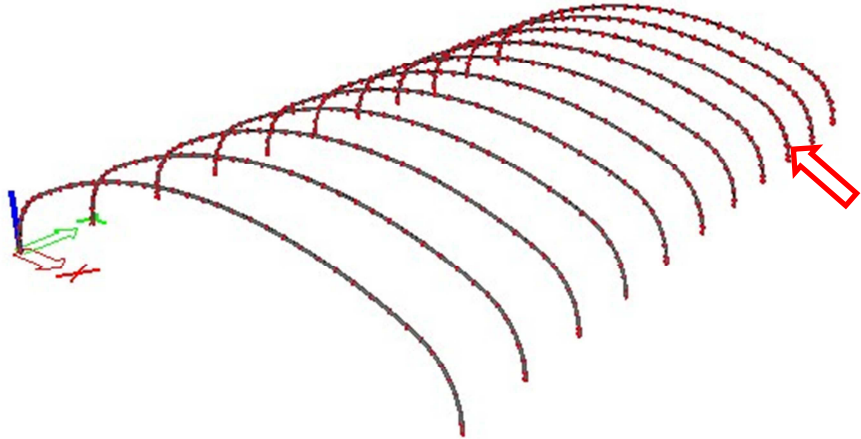
$$\frac{314,76}{\frac{0,932 \cdot 678,05}{1,0}} + 0,646 \cdot \frac{0,51}{\frac{1,0 \cdot 23,36}{1,0}} + 0,892 \cdot \frac{0,44}{\frac{1,0 \cdot 23,36}{1,0}} = \mathbf{0,56} \leq \mathbf{1,0}$$

VYHOVUJE

5.4. Posouzení dolního pásu



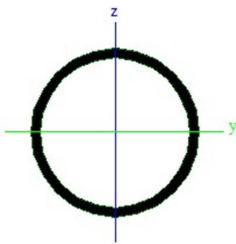
Poloha nejvíce namáhaného místa dolního pásu:



Průřezové charakteristiky:

Typ: TR 177.8x10
Výroba: válcovaný

$A [m^2]$	$5,270 \cdot 10^{-3}$
$I_y [m^4]$	$1,862 \cdot 10^{-5}$
$I_z [m^4]$	$1,862 \cdot 10^{-5}$
$W_{pl_y} [m^3]$	$2,778 \cdot 10^{-4}$
$W_{pl_z} [m^3]$	$2,778 \cdot 10^{-4}$
$i_y [mm]$	59,4
$i_z [mm]$	59,4



Materiálové charakteristiky:

Ocel: S 355 => $f_y = 355 \text{ MPa}$
 $f_u = 490 \text{ MPa}$
 $E = 210 \text{ GPa}$

Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém průřezu:

$N_{ed} [kN]$	$V_{y,Ed} [kN]$	$V_{z,Ed} [kN]$	$M_{y,Ed} [kNm]$	$M_{z,Ed} [kNm]$
-924,84	-0,02	-12,88	-34,45	-0,03

Klasifikace průřezu:

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

$$\frac{d}{t} = \frac{177,8}{10} = 17,78 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,13$$

Průřez třídy 1.

5.4.1. Tlak:

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

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,27 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 1870,85 \text{ kN}$$

$$\frac{924,84}{1870,85} = 0,50 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

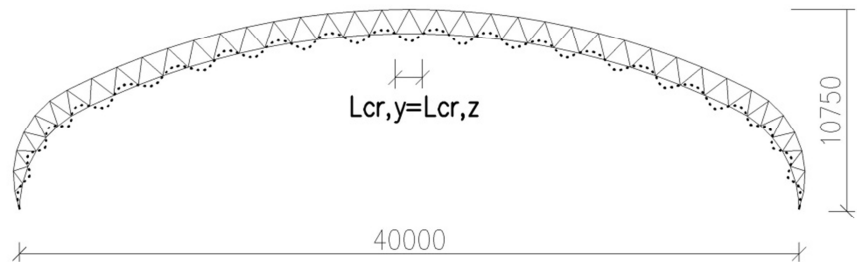
5.4.2. Vzpěrná únosnost:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = 1,0$$

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

Kritické délky:

Dolní pás příčné vazby je vymodelován pruty mezi jednotlivými stýčnicí. Vybočení v rovině kolmé na osu y-y (v rovině vazníku) a v rovině kolmé na osu z-z (z roviny vazníku) je bráněno diagonálami.



$$L_{cr,y} = 1,303 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 1,303 \text{ m}$$

Kritická normálová síla:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 1,862 \cdot 10^{-5}}{1,303^2} = 22730,55 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 1,862 \cdot 10^{-5}}{1,303^2} = 22730,55 \text{ kN}$$

Štíhlost prutu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_z} = \frac{1303}{59,4} = 21,94$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1303}{59,4} = 21,94$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{5,27 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{22730,55}} = 0,287$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{5,27 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{22730,55}} = 0,287$$

Součinitel imperfekce:

$$\phi_y = \phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha_1 \cdot (\bar{\lambda}_{y(z)} - 0,2) + \bar{\lambda}_{y(z)}^2]$$

$$\phi_{y(z)} = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,287 - 0,2) + 0,287^2] = 0,550$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,550 + \sqrt{0,550^2 - 0,287^2}} = 0,981$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,981 \cdot 5,27 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 1834,44 \text{ kN}$$

$$\frac{924,84}{1834,44} = 0,51 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

5.4.3. Ohybový moment:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,778 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 98,62 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{34,45}{98,62} = 0,35 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,03}{98,62} = 0,0001 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

5.4.4. Smyk:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \frac{3,35 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{355 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}\right)}{1,0} = 687,64 \text{ kN}$$

$$A_v = \frac{2 \cdot A}{\pi} = \frac{2 \cdot 5,27 \cdot 10^{-3}}{\pi} = 3,35 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\frac{12,88}{687,64} = 0,02 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Zanedbávám vliv smykové síly na momentovou únosnost.

5.4.5. Ohyb a osová síla:

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

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

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = 0,287$$

$$\chi_y = \chi_z = 0,981$$

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

Únosnost normálové síly:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 5,27 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3 = 1870,85 \text{ kN}$$

Únosnost za ohybu:

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = W_{pl} \cdot f_y = 2,778 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3 = 98,62 \text{ kNm}$$

Interakční součinitel podle přílohy B

$$\psi = \frac{M_s}{M_h} = \frac{28,81}{34,45} = 0,84$$

$$c_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,84 = 0,940$$

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

$$k_{yy} = 0,940 \cdot \left(1 + (0,287 - 0,2) \cdot \frac{924,84}{\frac{0,981 \cdot 1870,85}{1,0}} \right) = 0,982$$

$$k_{yy} \leq 0,940 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{924,84}{\frac{0,981 \cdot 1870,85}{1,0}} \right) = 1,319$$

$$k_{yy} = 0,982 \leq 1,319$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,982 = 0,589$$

$$\Psi = \frac{M_s}{M_h} = \frac{1,22}{1,4} = 0,87$$

$$c_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,87 = 0,950$$

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

$$k_{zz} = 0,950 \cdot \left(1 + (0,287 - 0,2) \cdot \frac{924,84}{\frac{0,981 \cdot 1870,85}{1,0}} \right) = 0,992$$

$$k_{zz} \leq 0,950 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{924,84}{\frac{0,981 \cdot 1870,85}{1,0}} \right) = 1,333$$

$$k_{zz} = 0,992 \leq 1,333$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,992 = 0,595$$

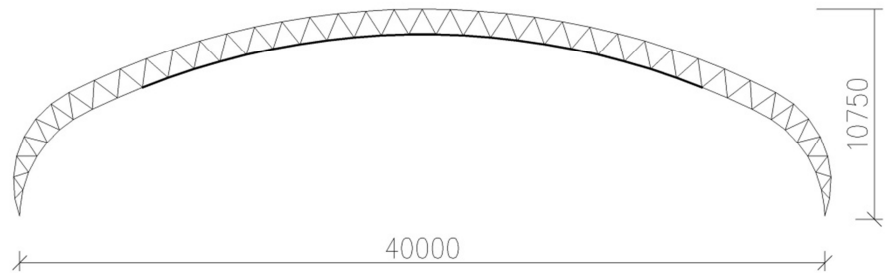
$$\frac{924,84}{\frac{0,981 \cdot 1870,85}{1,0}} + 0,982 \cdot \frac{34,45}{\frac{1,0 \cdot 98,62}{1,0}} + 0,595 \cdot \frac{0,03}{\frac{1,0 \cdot 98,62}{1,0}} = \mathbf{0,85 \leq 1,0}$$

VYHOVUJE

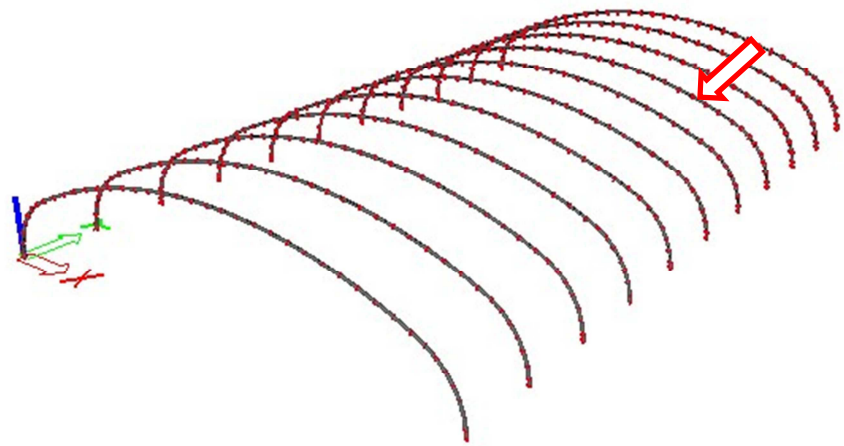
$$\frac{924,84}{\frac{0,981 \cdot 1870,85}{1,0}} + 0,589 \cdot \frac{34,45}{\frac{1,0 \cdot 98,62}{1,0}} + 0,992 \cdot \frac{0,03}{\frac{1,0 \cdot 98,62}{1,0}} = \mathbf{0,71 \leq 1,0}$$

VYHOVUJE

5.5. Posouzení dolního pásu



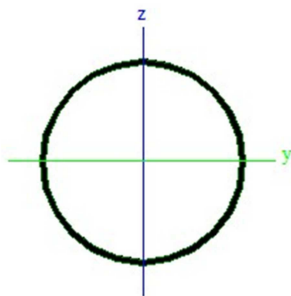
Poloha nejvíce namáhaného místa dolního pásu:



Průřezové charakteristiky:

Typ: TR 177.8x5
Výroba: válcovaný

$A [m^2]$	$2,710 \cdot 10^{-3}$
$I_y [m^4]$	$1,014 \cdot 10^{-5}$
$I_z [m^4]$	$1,014 \cdot 10^{-5}$
$W_{pl_y} [m^3]$	$1,486 \cdot 10^{-4}$
$W_{pl_z} [m^3]$	$1,486 \cdot 10^{-4}$
$i_y [mm]$	61,1
$i_z [mm]$	61,1



Materiálové charakteristiky:

Ocel: S 355 => $f_y = 355 \text{ MPa}$
 $f_u = 490 \text{ MPa}$
 $E = 210 \text{ GPa}$

Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém průřezu:

N_{ed} [kN]	$V_{y,Ed}$ [kN]	$V_{z,Ed}$ [kN]	$M_{y,Ed}$ [kNm]	$M_{z,Ed}$ [kNm]
-548,49	0,07	-1,23	-2,80	0,78

Klasifikace průřezu:

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

$$\frac{d}{t} = \frac{177,8}{5} = 35,56 \leq 70 \cdot \varepsilon^2 = 70 \cdot 0,814^2 = 46,38$$

Průřez třídy 2.

5.5.1. Tlak:

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

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,71 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 962,05 \text{ kN}$$

$$\frac{548,49}{962,05} = 0,58 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

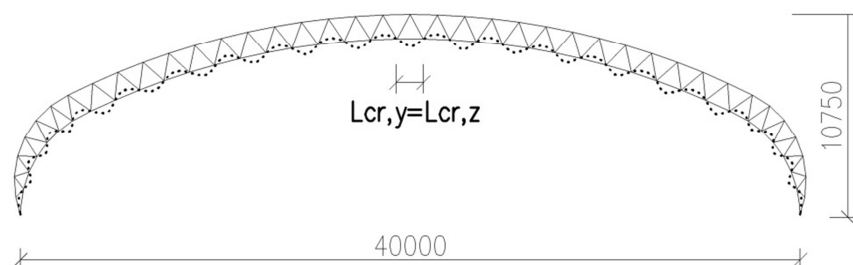
5.5.2. Vzpěrná únosnost:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = 1,0$$

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

Kritické délky:

Dolní pás příčné vazby je vymodelován pruty mezi jednotlivými stýčnicí. Vybočení v rovině kolmé na osu y-y (v rovině vazníku) a v rovině kolmé na osu z-z (z rovině vazníku) je bráněno diagonálami.



Kritické délky:

$$L_{cr,y} = 1,356 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 1,356 \text{ m}$$

Kritická normálová síla:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 1,014 \cdot 10^{-5}}{1,356^2} = 11429,78 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 1,014 \cdot 10^{-5}}{1,356^2} = 11429,78 \text{ kN}$$

Štíhlost prutu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_z} = \frac{1356}{61,1} = 22,19$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1356}{61,1} = 22,19$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,71 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{11429,78}} = 0,29$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,71 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{11429,78}} = 0,29$$

Součinitel imperfekce:

$$\phi_y = \phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha_1 \cdot (\bar{\lambda}_{y(z)} - 0,2) + \bar{\lambda}_{y(z)}^2]$$

$$\phi_{y(z)} = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,29 - 0,2) + 0,29^2] = 0,552$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,552 + \sqrt{0,552^2 - 0,29^2}} = 0,979$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,979 \cdot 2,71 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 941,85 \text{ kN}$$

$$\frac{548,49}{941,85} = 0,59 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

5.5.3. Ohybový moment:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,486 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 52,76 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{2,80}{52,76} = 0,06 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,07}{52,76} = 0,002 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

5.5.4. Ohyb a osová síla:

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

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

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = 0,29$$

$$\chi_y = \chi_z = 0,979$$

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

Únosnost normálové síly:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 2,71 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3 = 962,05 \text{ kN}$$

Únosnost za ohybu:

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = W_{pl} \cdot f_y = 1,486 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3 = 52,76 \text{ kNm}$$

Interakční součinitel podle přílohy B

$$\Psi = \frac{M_s}{M_h} = \frac{2,03}{2,8} = 0,73$$

$$c_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,73 = 0,900$$

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

$$k_{yy} = 0,900 \cdot \left(1 + (0,29 - 0,2) \cdot \frac{548,49}{0,979 \cdot 962,05} \right) = 0,948$$

$$k_{yy} \leq 0,900 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{548,49}{\frac{0,979 \cdot 962,05}{1,0}} \right) = 1,331$$

$$k_{yy} = 0,948 \leq 1,331$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,948 = 0,569$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{0,06}{0,09} = 0,67$$

$$\psi = \frac{\psi M_h}{M_h} = \frac{0,03}{0,09} = 0,34$$

$$c_{my} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_s = 0,2 + 0,8 \cdot 0,67 = 0,740$$

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

$$k_{zz} = 0,740 \cdot \left(1 + (0,29 - 0,2) \cdot \frac{548,49}{\frac{0,979 \cdot 962,05}{1,0}} \right) = 0,779$$

$$k_{zz} \leq 0,740 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{548,49}{\frac{0,979 \cdot 962,05}{1,0}} \right) = 1,084$$

$$k_{zz} = 0,779 \leq 1,084$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,779 = 0,467$$

$$\frac{548,49}{\frac{0,979 \cdot 962,05}{1,0}} + 0,948 \cdot \frac{2,80}{\frac{1,0 \cdot 52,76}{1,0}} + 0,467 \cdot \frac{0,78}{\frac{1,0 \cdot 52,76}{1,0}} = 0,63 \leq 1,0$$

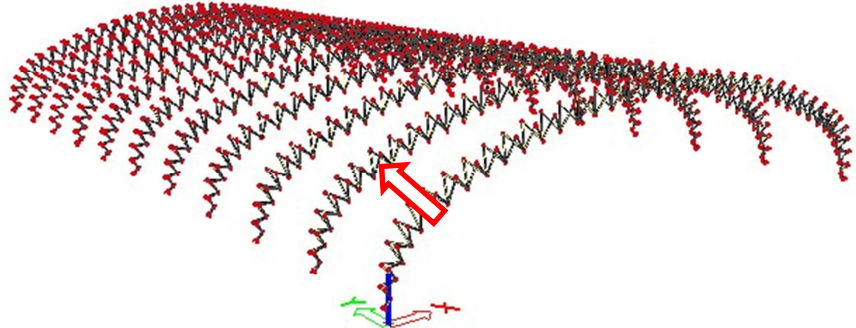
VYHOVUJE

$$\frac{548,49}{\frac{0,979 \cdot 962,05}{1,0}} + 0,569 \cdot \frac{2,80}{\frac{1,0 \cdot 52,76}{1,0}} + 0,779 \cdot \frac{0,78}{\frac{1,0 \cdot 52,76}{1,0}} = 0,61 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

5.6. Posouzení diagonály

Poloha nejvíce namáhané diagonály:

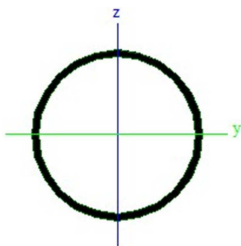


Průřezové charakteristiky:

Typ: TR 70x2,9

Výroba: válcovaný

A [m ²]	6,110·10 ⁻⁴
I _y [m ⁴]	3,450·10 ⁻⁷
I _z [m ⁴]	3,450·10 ⁻⁷
Wpl _y [m ³]	1,300·10 ⁻⁵
Wpl _z [m ³]	1,300·10 ⁻⁵
i _y [mm]	23,8
i _z [mm]	23,8



Materiálové charakteristiky:

Ocel: S 355 => f_y = 355 MPa
f_u = 490 MPa
E = 210 GPa

Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém průřezu:

N _{ed} [kN]	V _{y,Ed} [kN]	V _{z,Ed} [kN]	M _{y,Ed} [kNm]	M _{z,Ed} [kNm]
-110,04	-0,58	-0,03	-0,02	-0,46

Klasifikace průřezu:

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

$$\frac{d}{t} = \frac{70}{2,9} = 24,14 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,13$$

Průřez třídy 1.

5.6.1. Tlak:

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

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6,11 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 216,90 \text{ kN}$$

$$\frac{110,04}{216,90} = 0,51 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

5.6.2. Vzpěrná únosnost:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = 1,0$$

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

Kritické délky:

Diagonály jsou modelovány jako oboustranně pevně připojené k hornímu a dolnímu pásu. Vzpěrná délky jsou shodné s délkou systémovou.

$$L_{cr,y} = 1,512 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 1,512 \text{ m}$$

Kritická normálová síla:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 3,45 \cdot 10^{-7}}{1,512^2} = 312,78 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 3,45 \cdot 10^{-7}}{1,512^2} = 312,78 \text{ kN}$$

Štíhlost prutu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_z} = \frac{1512}{23,8} = 63,53$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1512}{23,8} = 63,53$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{6,11 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{312,78}} = 0,833$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{6,11 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{312,78}} = 0,833$$

Součinitel imperfekce:

$$\phi_y = \phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha_1 \cdot (\bar{\lambda}_{y(z)} - 0,2) + \bar{\lambda}_{y(z)}^2]$$

$$\phi_{y(z)} = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,833 - 0,2) + 0,833^2] = 0,913$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,913 + \sqrt{0,913^2 - 0,833^2}} = 0,777$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,777 \cdot 6,11 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 168,54 \text{ kN}$$

$$\frac{110,04}{168,54} = 0,66 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

5.6.3. Ohybový moment:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,30 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 4,615 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,02}{4,615} = 0,0004 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,46}{4,615} = 0,10 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

5.6.4. Ohyb a osová síla:

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

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

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = 0,833$$

$$\chi_y = \chi_z = 0,777$$

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

Únosnost normálové síly:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 6,11 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3 = 216,90 \text{ kN}$$

Únosnost za ohybu:

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = W_{pl} \cdot f_y = 1,30 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^3 = 4,615 \text{ kNm}$$

Interakční součinitel podle přílohy B

$$\Psi = \frac{M_s}{M_h} = \frac{0,01}{0,03} = 0,34$$

$$c_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,34 = 0,740$$

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

$$k_{yy} = 0,740 \cdot \left(1 + (0,833 - 0,2) \cdot \frac{110,04}{\frac{0,777 \cdot 216,9}{1,0}} \right) = 1,046$$

$$k_{yy} \leq 0,740 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{110,04}{\frac{0,777 \cdot 216,9}{1,0}} \right) = 1,127$$

$$k_{yy} = 1,046 \leq 1,127$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,046 = 0,628$$

$$\Psi = \frac{M_s}{M_h} = \frac{0,03}{0,46} = 0,07$$

$$c_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,07 = 0,628$$

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

$$k_{zz} = 0,628 \cdot \left(1 + (0,833 - 0,2) \cdot \frac{110,04}{\frac{0,777 \cdot 216,9}{1,0}} \right) = 0,961$$

$$k_{zz} \leq 0,628 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{110,04}{\frac{0,777 \cdot 216,9}{1,0}} \right) = 1,035$$

$$k_{zz} = 0,961 \leq 1,035$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,961 = 0,577$$

$$\frac{110,04}{0,777 \cdot 216,9} + 1,046 \cdot \frac{0,02}{1,0 \cdot 4,615} + 0,577 \cdot \frac{0,46}{1,0 \cdot 4,615} = \mathbf{0,72} \leq \mathbf{1,0}$$

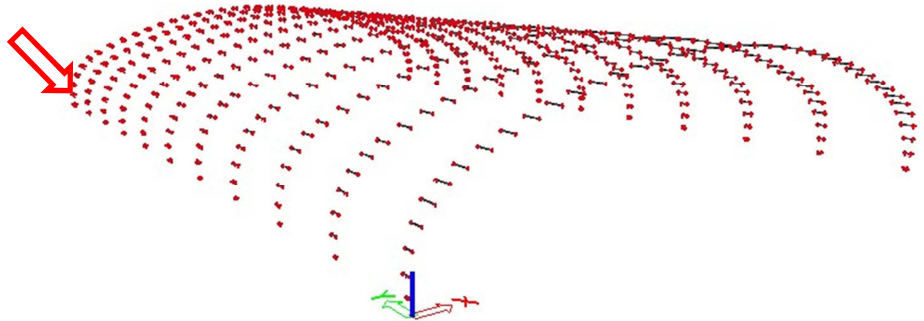
VYHOVUJE

$$\frac{110,04}{0,777 \cdot 216,9} + 0,628 \cdot \frac{0,02}{1,0 \cdot 4,615} + 0,961 \cdot \frac{0,46}{1,0 \cdot 4,615} = \mathbf{0,76} \leq \mathbf{1,0}$$

VYHOVUJE

5.7. Posouzení rozpěry horního pásu

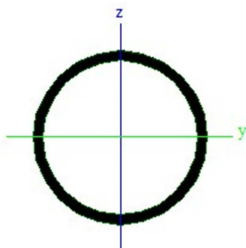
Poloha nejvíce namáhané rozpěry:



Průřezové charakteristiky:

Typ: TR 63,5x2,9
Výroba: válcovaný

A [m ²]	5,520·10 ⁻⁴
I _y [m ⁴]	2,540·10 ⁻⁷
I _z [m ⁴]	2,540·10 ⁻⁷
Wpl _y [m ³]	1,060·10 ⁻⁵
Wpl _z [m ³]	1,060·10 ⁻⁵
i _y [mm]	21,4
i _z [mm]	21,4



Materiálové charakteristiky:

Ocel: S 355 => f_y = 355 MPa
f_u = 490 MPa
E = 210 GPa

Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém průřezu:

N_{Ed} [kN]	$V_{y,Ed}$ [kN]	$V_{z,Ed}$ [kN]	$M_{y,Ed}$ [kNm]	$M_{z,Ed}$ [kNm]
-61,79	0,41	-1,72	0,36	-0,05

Klasifikace průřezu:

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

$$\frac{d}{t} = \frac{63,5}{2,9} = 21,9 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,13$$

Průřez třídy 1.

5.7.1. Tlak:

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

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,52 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 195,96 \text{ kN}$$

$$\frac{61,79}{195,96} = 0,32 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

5.7.2. Vzpěrná únosnost:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = 1,0$$

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

Kritické délky:

Rozpěry jsou modelovány jako oboustranně pevně připojené k hornímu pásu. Vzpěrná délky jsou shodné s délkou systémovou.

Kritické délky:

$$L_{cr,y} = 0,400 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 0,400 \text{ m}$$

Kritická normálová síla:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 2,54 \cdot 10^{-7}}{0,400^2} = 3290,28 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 2,54 \cdot 10^{-7}}{0,400^2} = 3290,28 \text{ kN}$$

Štíhlost prutu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_z} = \frac{400}{21,4} = 18,69$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{400}{21,4} = 18,69$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{5,52 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{3290,28}} = 0,244$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{5,52 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{3290,28}} = 0,244$$

Součinitel imperfekce:

$$\phi_y = \phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha_1 \cdot (\bar{\lambda}_{y(z)} - 0,2) + \bar{\lambda}_{y(z)}^2]$$

$$\phi_{y(z)} = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,244 - 0,2) + 0,244^2] = 0,534$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,534 + \sqrt{0,534^2 - 0,244^2}} = 0,990$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,990 \cdot 5,52 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 194,05 \text{ kN}$$

$$\frac{61,79}{194,05} = 0,32 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

5.7.3. Ohybový moment:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,06 \cdot 10^{-7} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 3,763 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,36}{3,763} = 0,10 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,05}{3,763} = 0,02 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

5.7.4. Ohyb a osová síla:

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

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

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = 0,244$$

$$\chi_y = \chi_z = 0,990$$

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

Únosnost normálové síly:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 5,52 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3 = 195,96 \text{ kN}$$

Únosnost za ohybu:

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = W_{pl} \cdot f_y = 1,06 \cdot 10^{-7} \cdot 355 \cdot 10^3 = 3,763 \text{ kNm}$$

Interakční součinitel podle přílohy B

$$\Psi = \frac{M_s}{M_h} = \frac{0,01}{0,43} = 0,02$$

$$c_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,02 = 0,610$$

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

$$k_{yy} = 0,610 \cdot \left(1 + (0,244 - 0,2) \cdot \frac{61,79}{0,990 \cdot 195,96} \right) = 0,619$$

$$k_{yy} \leq 0,610 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{61,79}{0,990 \cdot 195,96} \right) = 0,765$$

$$k_{yy} = 0,619 \leq 0,765$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,619 = 0,372$$

$$\Psi = \frac{M_s}{M_h} = \frac{0,04}{0,12} = 0,33$$

$$c_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,33 = 0,732$$

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

$$k_{zz} = 0,732 \cdot \left(1 + (0,244 - 0,2) \cdot \frac{61,79}{\frac{0,990 \cdot 195,96}{1,0}} \right) = 0,743$$

$$k_{zz} \leq 0,732 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{61,79}{\frac{0,990 \cdot 195,96}{1,0}} \right) = 0,918$$

$$k_{zz} = 0,743 \leq 0,918$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,743 = 0,446$$

$$\frac{61,79}{\frac{0,990 \cdot 155,49}{1,0}} + 0,619 \cdot \frac{0,36}{\frac{1,0 \cdot 3,763}{1,0}} + 0,446 \cdot \frac{0,05}{\frac{1,0 \cdot 3,763}{1,0}} = 0,47 \leq 1,0$$

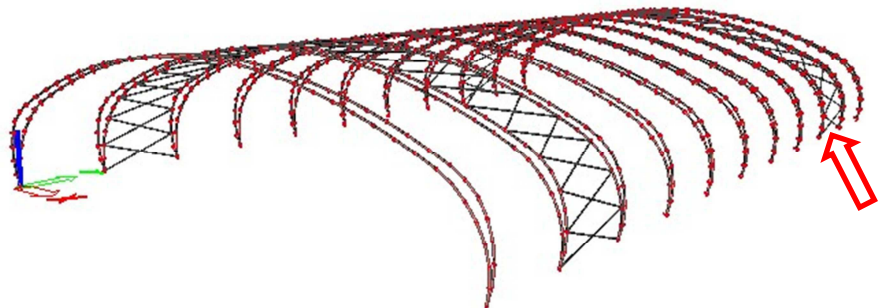
VYHOVUJE

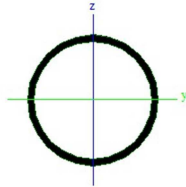
$$\frac{61,79}{\frac{0,990 \cdot 155,49}{1,0}} + 0,372 \cdot \frac{0,36}{\frac{1,0 \cdot 3,763}{1,0}} + 0,743 \cdot \frac{0,05}{\frac{1,0 \cdot 3,763}{1,0}} = 0,45 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

5.8. Posouzení příčného ztužidla

Poloha nejvíce namáhaného příčného ztužidla:





Průřezové charakteristiky:

Typ: TR 60,3x2,9
Výroba: válcovaný

$A [m^2]$	$5,230 \cdot 10^{-4}$
$I_y [m^4]$	$2,160 \cdot 10^{-7}$
$I_z [m^4]$	$2,160 \cdot 10^{-7}$
$W_{pl,y} [m^3]$	$9,520 \cdot 10^{-6}$
$W_{pl,z} [m^3]$	$9,520 \cdot 10^{-6}$
$i_y [mm]$	20,3
$i_z [mm]$	20,3

Materiálové charakteristiky:

Ocel: S 235 => $f_y = 235 \text{ MPa}$
 $f_u = 360 \text{ MPa}$
 $E = 210 \text{ GPa}$

Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém průřezu:

$$N_{Ed} = |N_{Ed,1}| + |N_{Ed,2}| = 49,87 + 45,37 = 95,24 \text{ kN}$$

$N_{Ed} [kN]$	$V_{y,Ed} [kN]$	$V_{z,Ed} [kN]$	$M_{y,Ed} [kNm]$	$M_{z,Ed} [kNm]$
95,24	0,00	0,00	0,00	0,00

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{d}{t} = \frac{60,3}{2,9} = 20,79 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 1,0^2 = 50,0$$

Průřez třídy 1.

5.8.1. Tah:

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

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,23 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 122,91 \text{ kN}$$

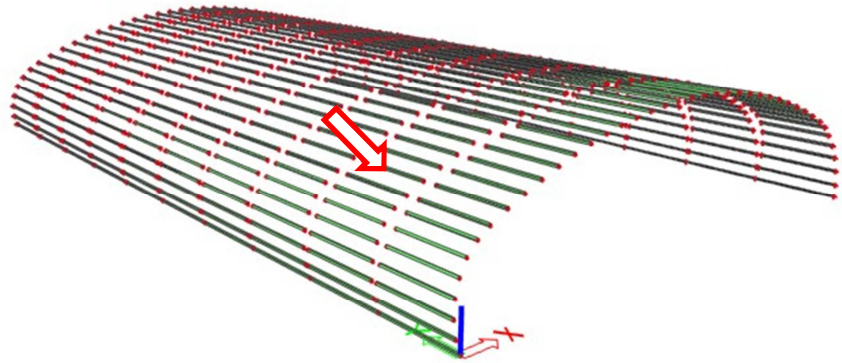
$$\frac{95,24}{122,91} = 0,78 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

6. POSOUZENÍ MSP

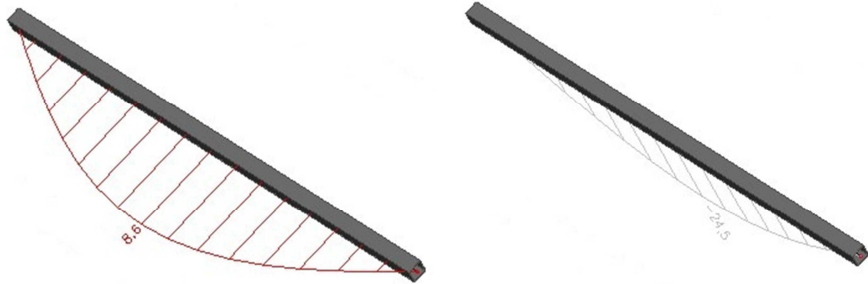
Extrémní průhyby jsou určeny v programu Scia Engineer 2012.0

6.1. Posouzení vaznice

Poloha nejmíce namáhané vaznice:



Extrémní průhyby vaznice:



$$u_{max} = \sqrt{u_y^2 + u_z^2} = \sqrt{8,6^2 + 24,5^2} = 25,97 \text{ mm}$$

Délka vaznice: $l = 5300 \text{ mm}$

Maximální přípustný průhyb vaznice:

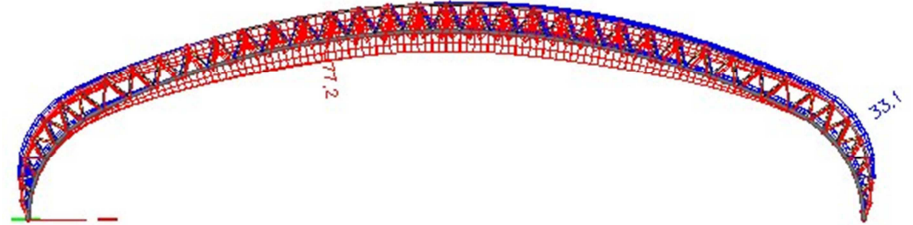
$$u_{lim} = \frac{l}{200} = \frac{5300}{200} = 26,5 \text{ mm}$$

6.1.1. Posouzení:

$$u_{lim} = 26,5 \text{ mm} \geq u_{max} = 25,97 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

6.2. Posouzení globálního průhybu

6.2.1. Extrémní průhyb u_z :



Rozpětí vazníku: $L = 40000 \text{ mm}$

Maximální přípustný průhyb:

$$u_{lim} = \frac{l}{300} = \frac{40000}{300} = 133,33 \text{ mm}$$

6.2.1.1. Posouzení:

$$u_{lim} = 133,33 \text{ mm} \geq u_{max} = 77,2 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

6.2.2. Extrémní průhyb u_y :



Výška konstrukce: $v = 10750 \text{ mm}$

Maximální přípustný průhyb:

$$u_{lim} = \frac{v}{300} = \frac{10750}{300} = 35,83 \text{ mm}$$

6.2.2.1. Posouzení:

$$u_{lim} = 35,83 \text{ mm} \geq u_{max} = 22,4 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

7. POSOUZENÍ KOTVENÍ

7.1. Posouzení čepového spoje

Lineární výpočet, Extrém : Globální

Výběr : Vše

Kombinace : MSÚ

Podpora	Stav	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
<i>*Studentská verze*</i>							
Sn36/N2140	MSÚ/1	-293,19	-3,80	355,50	0,00	0,00	0,00
Sn23/N1353	MSÚ/2	279,00	7,62	336,52	0,00	0,00	0,00
Sn20/N22	MSÚ/3	57,86	-14,04	179,72	0,00	0,00	0,00
Sn36/N2140	MSÚ/4	-28,73	77,14	109,27	0,00	0,00	0,00
Sn38/N2261	MSÚ/4	8,52	73,44	-84,98	0,00	0,00	0,00
Sn35/N2079	MSÚ/5	189,54	-0,56	422,31	0,00	0,00	0,00
Sn1/N1172	MSÚ/6	-49,93	1,73	72,41	0,00	0,00	0,00

Průřezové a materiálové charakteristiky

Typy prvků:

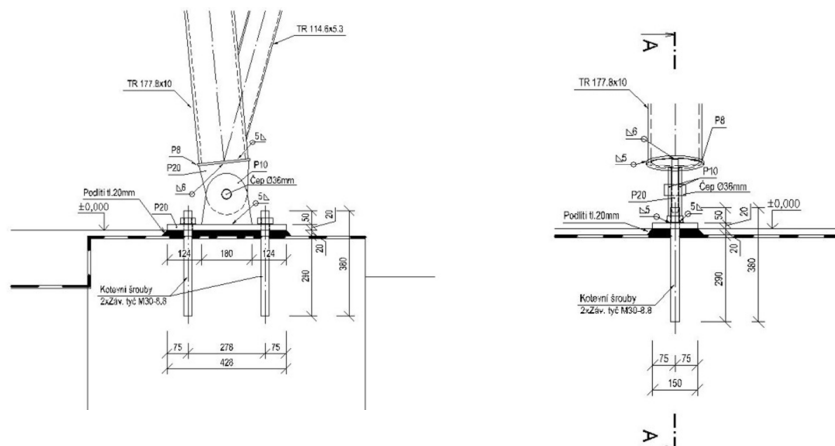
Spodní pás:	TR 177,8x10	S355
Plech:	P20	S460
	P10	S460

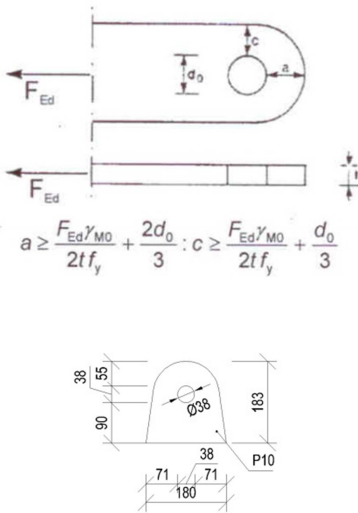
Čep M30 8.8 d=36 mm => $f_{yp} = 640 \text{ Mpa}$
 $f_{up} = 800 \text{ MPa}$

Svary: $a = 5 \text{ mm}$
 $a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a = 5 \text{ mm}$
 $a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 10 = 11 \text{ mm} \geq a = 5 \text{ mm}$

VYHOVUJE

Detail:





7.1.1. Návrh a posouzení čepu

Geometrie:

$$F_{Ed} = \sqrt{R_z^2 + R_x^2} = \sqrt{422,31^2 + 189,54^2} = 462,89 \text{ kN}$$

$$d_0 = d + 2 \text{ mm} = 36 + 2 = 38 \text{ mm}$$

$$a \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{462,89 \cdot 10^3}{2 \cdot 20 \cdot 460} + \frac{2 \cdot 38}{3} = 50,49 \rightarrow a = 55 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{462,89 \cdot 10^3}{2 \cdot 20 \cdot 460} + \frac{38}{3} = 37,83 \rightarrow c = 55 \text{ mm}$$

$$F_{V,Rd} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 1017,88 \cdot 800}{1,25} = 977,16 \text{ kN}$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 36^2}{4} = 1017,88 \text{ mm}^2$$

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{462,89}{977,16} \leq 1,00$$

0,48 ≤ 1,00 VYHOVUJE

Samostatný styčnickový plech:

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 20 \cdot 36 \cdot 460}{1,0} = 496,80 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{462,89}{496,80} \leq 1,00$$

0,93 ≤ 1,00 VYHOVUJE

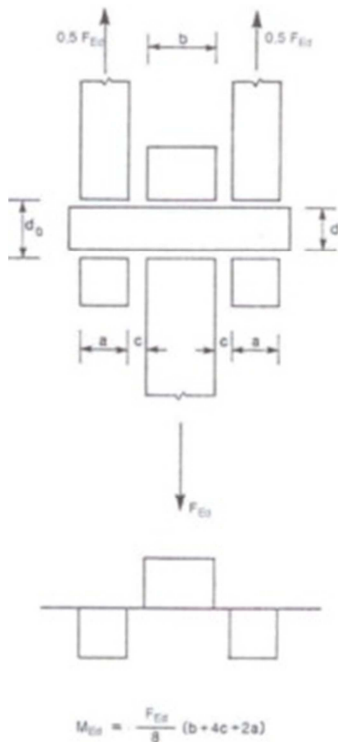
Dvojice styčnickových plechů:

$$0,5 \cdot F_{Ed} = 0,5 \cdot 462,89 = 231,45 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 10 \cdot 36 \cdot 460}{1,0} = 248,40 \text{ kN}$$

$$\frac{0,5 \cdot F_{Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{231,45}{248,40} \leq 1,00 \quad \mathbf{0,93 \leq 1,00 \quad VYHOVUJE}$$



Únosnost čepu v ohybu:

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} \cdot (b + 4c + 2a) = \frac{462,89}{8} \cdot (20 + 4 \cdot 1 + 2 \cdot 10) = 2,546 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 4580,44 \cdot 460}{1,0} = 3,161 \text{ kNm}$$

$$W_{el} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 36^3}{32} = 4580,44 \text{ m}^3$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{2,546}{3,161} \leq 1,00$$

0,81 ≤ 1,00 VYHOVUJE

Únosnost čepu při kombinaci stříhu a ohybu:

$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1,00$$

$$\left[\frac{2,546}{3,161} \right]^2 + \left[\frac{462,89}{977,16} \right]^2 \leq 1,00$$

0,88 ≤ 1,00 VYHOVUJE

7.1.2. Návrh a posouzení svarů

Posouzení svaru čelní deska – dolní pás

Účinná výška svaru: $a = 5 \text{ mm}$

Účinná délka svaru: $l = \pi \cdot d = \pi \cdot 177,8 = 558,6 \text{ mm}$

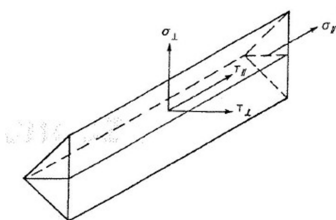
Úhel svírající výslednice sil s rovinou svaru: $\theta = 65,8^\circ$

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

$$\tau_{\parallel} = \frac{R_x}{l \cdot a} = \frac{189540}{558,6 \cdot 5} = 67,87 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{F_{ed,\tau}}{l \cdot a} = \frac{189750}{558,6 \cdot 5} = 67,94 \text{ MPa}$$

$$F_{ed,\tau} = F_{Ed} \cdot \cos \theta = 462,89 \cdot \cos 65,8^\circ = 189,54 \text{ kN}$$



$$\sigma_{\perp} = \frac{F_{ed,\sigma}}{l \cdot a} = \frac{422220}{558,6 \cdot 5} = 151,17 \text{ MPa}$$

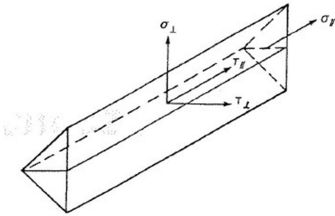
$$F_{Ed,\sigma} = F_{Ed} \cdot \sin \theta = 462,89 \cdot \sin 65,8^{\circ} = 422,22 \text{ kN}$$

$$\sqrt{151,17^2 + 3 \cdot (67,94^2 + 67,94^2)} = 224,83 \text{ MPa} \leq \frac{490}{0,8 \cdot 1,25} = 490 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$151,17 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení svaru styčnickový plech – čelní deska



Účinná výška svaru: $a = 6 \text{ mm}$

Účinná délka svaru: $l = 2 \cdot (195 - 2 \cdot 6) = 366 \text{ mm}$

Úhel svírající výslednice sil s rovinou svaru: $\theta = 69,2^{\circ}$

Napětí od síly R_x :

$$\sigma_y = \tau_{\perp} = \frac{R_x}{l \cdot a \cdot \sqrt{2}} = \frac{189540}{366 \cdot 6 \cdot \sqrt{2}} = 61,03 \text{ MPa}$$

Napětí od výslednice F_{Ed} :

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Ed,\tau}}{l \cdot a} = \frac{164380}{366 \cdot 6} = 74,85 \text{ MPa}$$

$$F_{Ed,\tau} = F_{Ed} \cdot \cos \theta = 462,89 \cdot \cos 69,2^{\circ} = 164,38 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{Ed,\tau,\sigma}}{l \cdot a \cdot \sqrt{2}} = \frac{432730}{366 \cdot 6 \cdot \sqrt{2}} = 139,34 \text{ MPa}$$

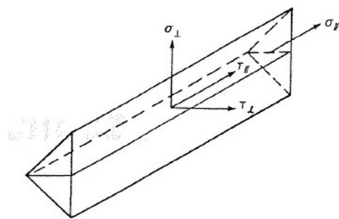
$$F_{Ed,\tau,\sigma} = F_{Ed} \cdot \sin \theta = 462,89 \cdot \sin 69,2^{\circ} = 432,73 \text{ kN}$$

Posouzení svaru:

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

$$\tau_{\parallel} = 74,85 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 61,03 + 139,34 = 200,37 \text{ MPa}$$



$$\sqrt{200,37^2 + 3 \cdot (200,37^2 + 74,85^2)} = 421,19 \text{ MPa} \leq \frac{490}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$= 490 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$200,37 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení svaru styčnickový plech – podkladní pásovina

Účinná výška svaru: $a = 5 \text{ mm}$

Účinná délka svaru: $l = 2 \cdot (180 - 2 \cdot 6) = 336 \text{ mm}$

Síly působící na svar:

$$\frac{R_x}{2} = \frac{189,54}{2} = 94,77 \text{ kN}$$

$$\frac{R_y}{2} = \frac{0,560}{2} = 0,28 \text{ kN}$$

$$\frac{R_z}{2} = \frac{422,31}{2} = 211,16 \text{ kN}$$

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

$$\tau_{\parallel} = \frac{R_x}{l \cdot a} = \frac{94770}{336 \cdot 5} = 56,42 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp}:$$

$$\sigma_{\perp,z} = \tau_{\perp,z} = \frac{R_z}{l \cdot a \cdot \sqrt{2}} = \frac{211160}{336 \cdot 5 \cdot \sqrt{2}} = 88,88 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,y} = \tau_{\perp,y} = \frac{R_y}{l \cdot a \cdot \sqrt{2}} = \frac{280}{336 \cdot 5 \cdot \sqrt{2}} = 0,20 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 88,88 + 0,2 = 89,08 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{89,08^2 + 3 \cdot (89,08 + 56,42^2)} = 204,15 \text{ MPa} \leq \frac{490}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$= 490 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$89,08 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

7.1.3. Posouzení styčnickového plechu na tah:

$$N_{Ed} = \sqrt{R_z^2 + R_y^2} = \sqrt{84,98^2 + 73,44^2} = 112,32 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1600 \cdot 460}{1,25} = 529,92 \text{ kN}$$

$$A_{net} = 2 \cdot c \cdot t = 2 \cdot 40 \cdot 20 = 1600 \text{ mm}^2$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{112,32}{529,92} \leq 1,00$$

$$0,22 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}$$

7.1.4. Posouzení styčnickového plechu na prostý tlak

$$N_{Ed} = \sqrt{R_z^2 + R_x^2} = \sqrt{422,31^2 + 189,54^2} = 462,89 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2320 \cdot 460}{1,00} = 1067,2 \text{ kN}$$

$$A = 2 \cdot c \cdot t + d \cdot t = 2 \cdot 40 \cdot 20 + 36 \cdot 20 = 2320 \text{ mm}^2$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{462,89}{1067,2} \leq 1,00$$

$$0,44 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}$$

7.2. Posouzení kotevních šroubů

Lineární výpočet, Extrém : Globální
Výběr : Vše
Kombinace : MSÚ

Podpora	Stav	R _x [kN]	R _y [kN]	R _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
		<i>*Studentská verze*</i>	<i>*Studentská verze*</i>	<i>*Studentská verze*</i>	<i>*Studentská verze*</i>	<i>*Studentská verze*</i>	<i>*Studentská verze*</i>
Sn36/N2140	MSÚ/1	-293,19	-3,80	355,50	0,00	0,00	0,00
Sn23/N1353	MSÚ/2	279,00	7,62	336,52	0,00	0,00	0,00
Sn20/N22	MSÚ/3	57,86	-14,04	179,72	0,00	0,00	0,00
Sn36/N2140	MSÚ/4	-28,73	77,14	109,27	0,00	0,00	0,00
Sn38/N2261	MSÚ/4	8,52	73,44	-84,98	0,00	0,00	0,00
Sn35/N2079	MSÚ/5	189,54	-0,56	422,31	0,00	0,00	0,00
Sn1/N1172	MSÚ/6	-49,93	1,73	72,41	0,00	0,00	0,00

Maximální smyková síla:

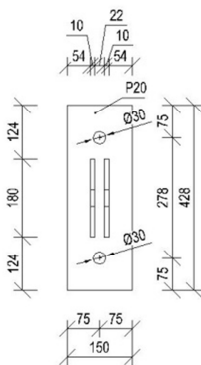
$$F_{v,Ed} = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{293,19^2 + 3,80^2} = 293,22 \text{ kN}$$

Typy prvků: Kotevní šroub: 2xM30 $A_s = 561 \text{ mm}^2$
Plech: P20

Materiály: Ocel: S355 $\rightarrow f_y = 355 \text{ MPa}$
 $f_u = 490 \text{ MPa}$
 $E = 210 \text{ GPa}$

Šroub: 8.8 $\rightarrow f_{yb} = 640 \text{ MPa}$
 $f_{ub} = 800 \text{ MPa}$

Beton: C25/30 $\rightarrow f_{ck} = 25 \text{ MPa}$



7.2.1. Únosnost ve stříhu pro jednu stříhovou plochu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 561}{1,25} = 215,43 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{2 \cdot F_{v,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{293,22}{2 \cdot 215,43} \leq 1,00$$

0,68 ≤ 1,00 VYHOVUJE

7.2.2. Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,544 \cdot 490 \cdot 30 \cdot 20}{1,25} = 319,872 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right)$$

$$= \min\left(2,8 \cdot \frac{75}{46} - 1,7; -; 2,5\right) = \min(2,865; -; 2,5)$$

$$= 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0; \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min\left(\frac{800}{490}; 1,0; \frac{75}{3 \cdot 46}; -\right)$$

$$= \min(1,64; 1,0; 0,544; -) = 0,544$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{2 \cdot F_{b,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{293,22}{2 \cdot 319,872} \leq 1,00$$

$$0,46 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}$$

7.2.3. Únosnost v tahu

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 561}{1,25} = 323,14 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed}}{2 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{84,98}{2 \cdot 323,14} \leq 1,00$$

$$0,14 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}$$

7.2.4. Únosnost v protlačení

$$\beta_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 49,55 \cdot 20 \cdot 490}{1,25} = 732,25 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed}}{2 \cdot \beta_{p,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{84,98}{2 \cdot 732,25} \leq 1,00$$

$$0,10 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}$$

7.2.5. Kombinace stříhu a tahu

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{\sqrt{8,52^2 + 73,44^2}}{2 \cdot 215,43} + \frac{84,98}{1,4 \cdot 2 \cdot 323,14} \leq 1,0$$

$$0,30 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}$$

7.2.6. Posouzení únosnosti betonu v tlaku

Rozměr plechu: $a = 428 \text{ mm}$

$b = 150 \text{ mm}$

Roznášecí plocha

$$A = a \cdot b = 428 \cdot 150 = 64200 \text{ mm}^2$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,67 \text{ MPa}$$

$$F_{c,Rd} = f_{cd} \cdot A = 16,67 \cdot 64200 = 1070,02 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{c,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{422,31}{1070,02} \leq 1,00$$

$0,40 \leq 1,00$ **VYHOVUJE**

8. POSOUZENÍ PŘÍPOJŮ

8.1. Detail 1- připojení rozpěry k hornímu pásu

Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém spoji

Horní pás: $N_{Ed} = 331,5 \text{ kN}$ Rozpěra: $N_{Ed} = -70,51 \text{ kN}$
 $M_{Ed} = 3,49 \text{ kNm}$

Průřezové a materiálové charakteristiky

Typy prvků: Horní pás: TR 114,3x5,6 S355

Rozpěra: TR 63,5x2,9 S355

Materiál: S355 $\rightarrow f_y = 355 \text{ MPa}, f_u = 490 \text{ MPa}, E = 210 \text{ GPa}$

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

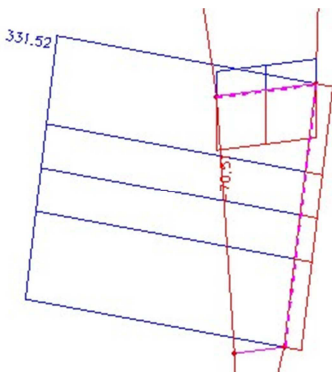
$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a = 3 \text{ mm}$$

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 2,9 = 3,19 \text{ mm} \geq a = 3 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

Rozsah platnosti pro svařované styčníky:

$$0,2 \leq \frac{d_i}{d_0} = \frac{63,5}{114,3} = 0,56 \leq 1,0$$



$$10 \leq \frac{d_0}{t_0} = \frac{114,3}{5,6} = 20,50 \leq 50$$

$$10 \leq \frac{d_i}{t_i} = \frac{63,5}{2,9} = 21,90 \leq 50$$

Značení a hodnoty dle normy:

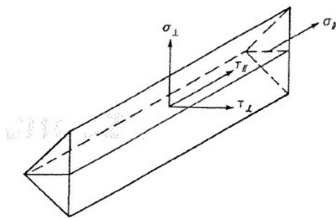
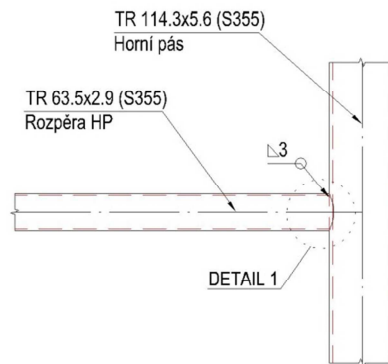
$$\theta_1 = 85^\circ$$

$$N_1 = -70,51 \text{ kN}$$

$$N_0 = 331,50 \text{ kN}$$

$$M_0 = 3,49 \text{ kNm}$$

Detail:



8.1.1. Návrh a posouzení svaru

Svar posouzen jako koutový, efektivní délka svaru uvažují jako délku kružnice (obvod připojovaného prvku). Toto zjednodušení je na stranu bezpečnou z hlediska skutečné délky svaru a z hlediska rozdělení napětí.

Účinná výška svaru: $a = 3 \text{ mm}$

Účinná délka svaru: $l = \pi \cdot d = \pi \cdot 63,5 = 199,5 \text{ mm}$

Úhel svírající výslednice sil s rovinou svaru: $\theta = 85^\circ$

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

$$N_{\parallel} = N_{Ed} \cdot \cos \theta = 70,51 \cdot \cos 85^\circ = 6,15 \text{ kN}$$

$$N_{\perp} = N_{Ed} \cdot \sin \theta = 70,51 \cdot \sin 85^\circ = 70,25 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{\parallel}}{l \cdot a} = \frac{6150}{199,5 \cdot 3} = 10,28 \text{ MPa}$$

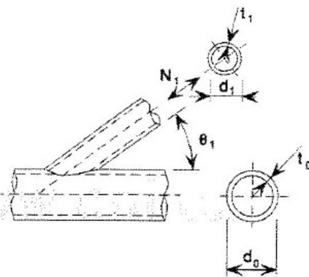
$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{N_{\perp}}{l \cdot a \cdot \sqrt{2}} = \frac{70250}{199,5 \cdot 3 \cdot \sqrt{2}} = 83,00 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{83,0^2 + 3 \cdot (83,0^2 + 10,28^2)} = 166,96 \text{ MPa} \leq \frac{490}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$= 490 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$83,0 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$



8.1.2. Návrhová únosnost svařovaných styčníků

Porušení povrchu pásu

$$N_{1,Rd} = \frac{\gamma^{0,2} \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \theta} \cdot (2,8 + 14,2 \cdot \beta^2)$$

$$= \frac{10,21^{0,2} \cdot 0,65 \cdot 355 \cdot 5,6^2}{\sin 85^\circ} \cdot (2,8 + 14,2 \cdot 0,56^2)$$

$$= 83,85 \text{ kN}$$

$$\gamma = \frac{d_0}{2 \cdot t_0} = \frac{114,3}{2 \cdot 5,6} = 10,21$$

$$N_{p,Ed} = N_{0,Ed} - \sum N_{i,Ed} \cdot \cos \theta = 331,52 + 70,51 \cdot \cos 85^\circ = 337,7 \text{ kN}$$

$$\sigma_{p,Ed} = \frac{N_{p,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} = \frac{337700}{1,91 \cdot 10^{-3}} + \frac{3490}{4,96 \cdot 10^{-5}} = 247,1 \text{ MPa}$$

$$n_p = \frac{\sigma_{p,Ed}/f_{y0}}{\gamma_{M5}} = \frac{247,1/355}{1,0} = 0,69$$

$$k_p = 1 - 0,3 \cdot n_p \cdot (1 + n_p) = 1 - 0,3 \cdot 0,69 \cdot (1 + 0,69) = 0,65$$

$$\beta = \frac{d_1}{d_0} = \frac{63,5}{114,3} = 0,56$$

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{70,51}{83,85} \leq 1,00$$

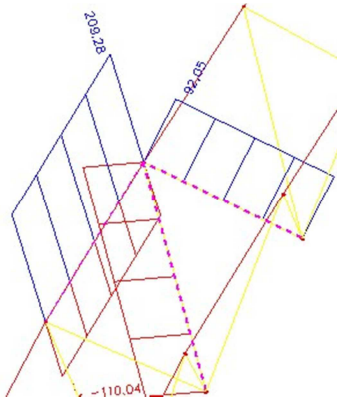
$$0,84 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Porušení prolomením smykem

když $d_i \leq d_0 - 2 \cdot t_0 \rightarrow 63,5 \text{ mm} \leq 114,3 - 2 \cdot 5,6 = 103,1 \text{ mm}$ tak:

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_i \cdot \frac{1 + \sin \theta_1}{2 \cdot (\sin \theta_1)^2}$$

$$= \frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 5,6 \cdot \pi \cdot 63,5 \cdot \frac{1 + \sin 85^\circ}{2 \cdot (\sin 85^\circ)^2} = 230,29 \text{ kN}$$



$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{70,51}{230,29} \leq 1,00$$

$$0,31 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}$$

8.2. Detail 2 – připojení diagonál k hornímu pásu

Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém spoji

Horní pás: $N_{Ed} = 209,28 \text{ kN}$ Diagonály: $N_{Ed,1} = -110,04 \text{ kN}$
 $M_{Ed} = -1,08 \text{ kNm}$ $N_{Ed,2} = 92,05 \text{ kN}$

Průřezové a materiálové charakteristiky

Typy prvků: Horní pás: TR 114,3x5,6 S355

Diagonály: TR 70x2,9 S355

Materiál: S355 $\rightarrow f_y = 355 \text{ MPa}, f_u = 490 \text{ MPa}, E = 210 \text{ GPa}$

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

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a = 3 \text{ mm}$$

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 2,9 = 3,19 \text{ mm} \geq a = 3 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

Rozsah platnosti pro svařované styčníky:

$$0,2 \leq \frac{d_i}{d_0} = \frac{70}{114,3} = 0,62 \leq 1,0$$

$$10 \leq \frac{d_0}{t_0} = \frac{114,3}{5,6} = 20,50 \leq 50$$

$$10 \leq \frac{d_i}{t_i} = \frac{70}{2,9} = 24,14 \leq 50$$

Značení a hodnoty dle normy:

$$\theta_1 = 62^\circ$$

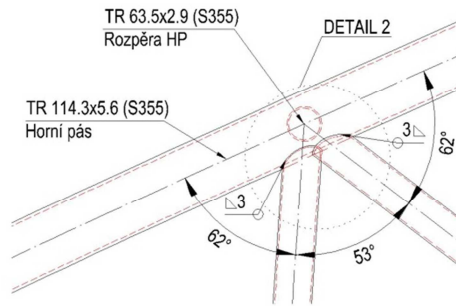
$$N_1 = -110,04 \text{ kN}$$

$$N_2 = 92,05 \text{ kN}$$

$$N_0 = 209,28 \text{ kN}$$

$$M_0 = -1,08 \text{ kNm}$$

Detail:



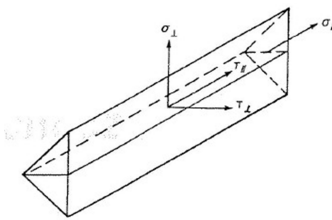
8.2.1. Návrh a posouzení svaru

U styčnicku s částečným překrytím nemusí být překrytá část přípoje svařena za předpokladu, že se složky osově síly v mezipásových prutech kolmé k ose pásu neliší o více jak 20%.

$$F_{ed,1\perp} = 110,04 \cdot \cos 28 = 97,16 \text{ kN}$$

$$F_{ed,2\perp} = 92,05 \cdot \cos 28 = 81,28 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{ed,2\perp}}{F_{ed,1\perp}} = \frac{81,28}{97,28} = 0,835 \rightarrow (1 - 0,835) \cdot 100 = 16,5\% \quad \text{VYHOVUJE}$$



Svar posouzen jako koutový, jelikož jsou pásy překryty, efektivní délku svaru uvažují jako 2/3 délky kružnice (obvod připojovaného prvku). Toto zjednodušení je na stranu bezpečnou z hlediska skutečné délky svaru a z hlediska rozdělení napětí.

Účinná výška svaru: $a = 3 \text{ mm}$

Účinná délka svaru:

$$l = \pi \cdot \left(\frac{2}{3d}\right) = \pi \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 70\right) = 146,6 \text{ mm}$$

Úhel svírající výslednice sil s rovinou svaru: $\theta = 85^\circ$

Poměr překrytí:

$$\lambda_{ov} = (q/p) \cdot 100 = (54,82 - 94,46) \cdot 100 = 58\%$$

$$p = 94,46 \text{ mm}$$

$$q = 54,82 \text{ mm}$$

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

$$N_{\parallel} = N_{Ed} \cdot \cos \theta = 110,04 \cdot \cos 62^\circ = 51,66 \text{ kN}$$

$$N_{\perp} = N_{Ed} \cdot \sin \theta = 110,04 \cdot \sin 62^\circ = 97,16 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{\parallel}}{l \cdot a} = \frac{51660}{146,6 \cdot 3} = 117,47 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{N_{\perp}}{l \cdot a \cdot \sqrt{2}} = \frac{97160}{146,6 \cdot 3 \cdot \sqrt{2}} = 156,22 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{156,22^2 + 3 \cdot (156,22^2 + 117,47^2)} = 371,6 \text{ MPa} \leq \frac{490}{0,8 \cdot 1,25}$$

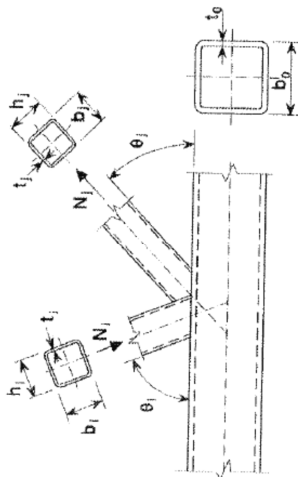
$$= 490 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$156,22 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

8.2.2. Návrhová únosnost svařovaných styčnicků

Porušení povrchu pásu $50\% \leq \lambda_{ov} \leq 80\%$



$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y1} \cdot t_1 \cdot (b_{eff} + b_{e,ov} + 2 \cdot d_1 - 4 \cdot t_1) \cdot \pi}{\gamma_{M5} \cdot 4}$$

$$= \frac{355 \cdot 2,9 \cdot (66,22 + 29 + 2 \cdot 70 - 4 \cdot 2,9) \cdot \pi}{1,0 \cdot 4}$$

$$= 180,81 \text{ kN}$$

$$b_{eff} = \frac{10}{d_0/t_0} \cdot \frac{f_{y0} \cdot t_0}{f_{y,1} \cdot t_1} \cdot d_1 = \frac{10}{114,3/5,6} \cdot \frac{355 \cdot 5,6}{355 \cdot 2,9} \cdot 70 = 66,22$$

$$\leq 70$$

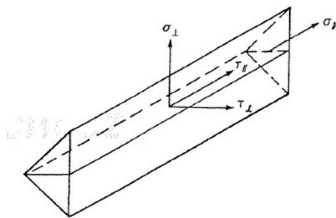
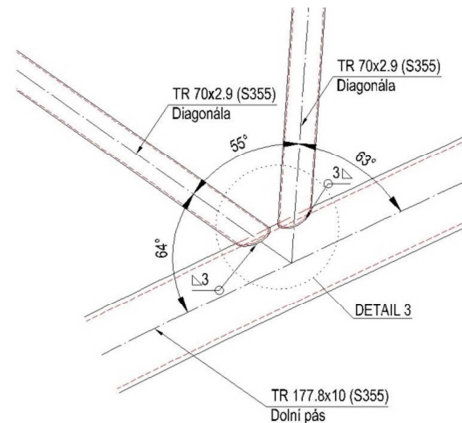
$$b_{e,ov} = \frac{10}{d_1/t_1} \cdot \frac{f_{y1} \cdot t_1}{f_{y,1} \cdot t_1} \cdot d_1 = \frac{10}{70/2,9} \cdot \frac{355 \cdot 2,9}{355 \cdot 2,9} \cdot 70 = 29,00 \leq 70$$

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{110,04}{180,81} \leq 1,00$$

$$0,61 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Detail:



8.3.1. Návrh a posouzení svaru

Svar posouzen jako koutový, efektivní délku svaru uvažují jako délku kružnice (obvod připojovaného prvku). Toto zjednodušení je na stranu bezpečnou z hlediska skutečné délky svaru a z hlediska rozdělení napětí.

Účinná výška svaru: $a = 3 \text{ mm}$

Účinná délka svaru:

$$l = \pi \cdot d = \pi \cdot 70 = 219,91 \text{ mm}$$

Úhel svírající výslednice sil s rovinou svaru: $\theta = 63^\circ$

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

$$N_{\parallel} = N_{Ed} \cdot \cos \theta = 110,04 \cdot \cos 63^\circ = 49,96 \text{ kN}$$

$$N_{\perp} = N_{Ed} \cdot \sin \theta = 110,04 \cdot \sin 63^\circ = 98,05 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{\parallel}}{l \cdot a} = \frac{49960}{219,91 \cdot 3} = 75,73 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{N_{\perp}}{l \cdot a \cdot \sqrt{2}} = \frac{98050}{219,91 \cdot 3 \cdot \sqrt{2}} = 105,58 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{105,58^2 + 3 \cdot (105,58^2 + 75,73^2)} = 248,59 \text{ MPa} \leq \frac{490}{0,8 \cdot 1,25} = 490 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$105,58 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

8.3.2. Návrhová únosnost svařovaných styčnicků

Předpoklad v řezu 1-1 pro styčník KK:

$$\left[\frac{N_{0,ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,00$$

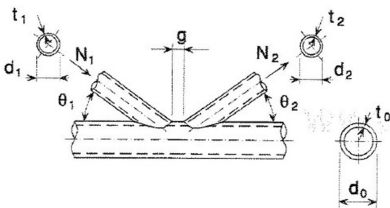
$$\left[\frac{820,10}{1870,85} \right]^2 + \left[\frac{6,85}{687,64} \right]^2 \leq 1,00$$

$$V_{pl,0,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{3354,99 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 687,64 \text{ kN}$$

$$A_v = \frac{2 \cdot A}{\pi} = \frac{2 \cdot 5270}{\pi} = 3354,99$$

$$0,2 \leq 1,00 \rightarrow \text{Redukční součinitel pro prostorové styčníky } \mu = 0,9$$

Porušení povrchu pásu



$$\begin{aligned} \mu \cdot N_{1,Rd} &= \frac{k_g \cdot k_p \cdot f_{y,0} \cdot t_0^2}{\sin \theta_1} \cdot \left(1,8 + 10,2 \cdot \frac{d_1}{d_2} \right) / \gamma_{M5} \\ &= \frac{1,934 \cdot 0,725 \cdot 355 \cdot 10^2}{\sin 63^\circ} \cdot \left(1,8 + 10,2 \cdot \frac{70}{70} \right) \\ &= 670,38 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_g &= \gamma^{0,2} \cdot \left(1 + \frac{0,024 \cdot \gamma^{1,2}}{1 + \exp(0,5 \cdot \frac{g}{t_0} - 1,33)} \right) \\ &= 8,89^{0,2} \cdot \left(1 + \frac{0,024 \cdot 8,89^{1,2}}{1 + \exp(0,5 \cdot \frac{10,5}{10} - 1,33)} \right) \\ &= 1,934 \end{aligned}$$

$$\gamma = \frac{d_0}{2 \cdot t_0} = \frac{177,8}{2 \cdot 10} = 8,89$$

$$k_p = 1 - 0,3 \cdot n_p \cdot (1 + n_p) = 1 - 0,3 \cdot 0,58 \cdot (1 + 0,58) = 0,725$$

$$n_p = \frac{\sigma_{p,Ed} / f_{y0}}{\gamma_{M5}} = \frac{205,1 / 355}{1,0} = 0,58$$

$$\sigma_{p,Ed} = \frac{N_{p,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} = \frac{870100}{5,27 \cdot 10^{-3}} + \frac{8350}{2,09 \cdot 10^{-4}} = 205,1 \text{ MPa}$$

$$N_{p,Ed} = N_{0,Ed} - \sum N_{i,Ed} \cdot \cos \theta = 820,1 + 110,04 \cdot \cos 63^\circ = 870,1 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{1,Ed}}{0,9 \cdot N_{1,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{110,04}{0,9 \cdot 670,38} \leq 1,00$$

$$0,20 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Porušení prolomením smykem

když $d_i \leq d_0 - 2 \cdot t_0 \rightarrow 70\text{mm} \leq 177,8 - 2 \cdot 10 = 157,8\text{mm}$ tak:

$$\begin{aligned} 0,9 \cdot N_{1,Rd} &= \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_i \cdot \frac{1 + \sin \theta_1}{2 \cdot (\sin \theta_1)^2} \\ &= \frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 10 \cdot \pi \cdot 70 \cdot \frac{1 + \sin 63^\circ}{2 \cdot (\sin 63^\circ)^2} = 536,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{110,04}{536,8} \leq 1,00$$

$$0,21 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}$$

8.4. Detail 4 – připojení příčného ztužidla a vaznice k hornímu pásu

Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém spoji

Horní pás: $N_{Ed} = 345,49 \text{ kN}$ Vaznice: $N_{Ed,3} = -37,00 \text{ kN}$

$M_{Ed} = -3,96 \text{ kNm}$

Ztužidlo: $N_{Ed,1} = 141,9 \text{ kN}$

$N_{Ed,2} = 0,00 \text{ kN}$

Průřezové a materiálové charakteristiky

Typy prvků: Horní pás: TR 114.3x5.6 S355

Vaznice: HRTR 150/150/5 S355

Příčné ztužidlo: TR 60.3x2.9 S235

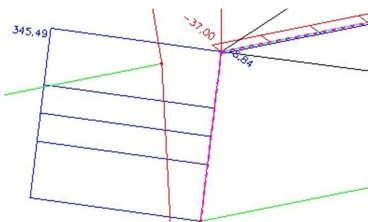
Materiál: S355 $\rightarrow f_y = 355 \text{ MPa}, f_u = 490 \text{ MPa}, E = 210 \text{ GPa}$

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

$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a = 3 \text{ mm}$

$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 2,9 = 3,19 \text{ mm} \geq a = 3 \text{ mm}$

VYHOVUJE



Značení a hodnoty dle normy:

$$\theta_1 = 75^\circ$$

$$\theta_3 = 95^\circ$$

$$N_1 = 95,24 \text{ kN}$$

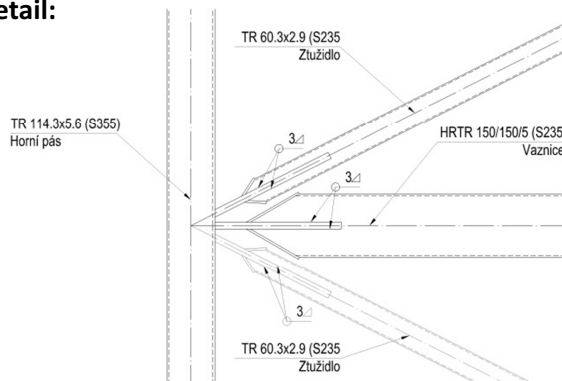
$$N_2 = 0,00 \text{ kN}$$

$$N_3 = -37,0 \text{ kN}$$

$$N_0 = 332,90 \text{ kN}$$

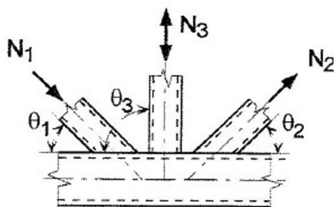
$$M_0 = 3,96 \text{ kNm}$$

Detail:



8.4.1. Návrhová únosnost svařovaných styčníků

Porušení povrchu pásu



$$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{3,Ed} \sin \theta_3 = 95,24 \cdot \sin 75^\circ - 37,0 \cdot \sin 95^\circ = 55,14 \text{ kN}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{5 \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\gamma_{M5}} = \frac{5 \cdot 1,0 \cdot 355 \cdot 5,6^2}{1 - 0,81 \cdot 0,528} = 97,26 \text{ kN}$$

$$\beta = \frac{d_1}{d_0} = \frac{60,3}{114,3} = 0,528$$

$$k_p = 1,0 \text{ (tah)}$$

$$\frac{N_{1,Ed} \cdot \sin \theta_1 + N_{3,Ed} \cdot \sin \theta_3}{N_{1,Rd} \cdot \sin \theta_1} \leq 1,0$$

$$\frac{55,14}{97,26 \cdot \sin 75^\circ}$$

$$0,59 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Porušení prolomení smykem

$$\sigma_{max} t_i = \left(\frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{Ed}}{W_{Ed}} \right) \cdot t_i$$

$$\left(\frac{95240 \cdot \sin 75^\circ}{60,3 \cdot 16} + 0 \right) \cdot 16 = 1525 \text{ N/mm}$$

$$\frac{2 \cdot t_0 \cdot f_{y0}}{\sqrt{3}} = \frac{2 \cdot 5,6 \cdot 355}{1,0} = 2295,54 \text{ N/mm}$$

$$\frac{1525}{2295,54} \leq 1,0$$

$$0,67 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}$$

8.4.2. Posouzení styčnickového plechu

Rozměry: $a = 57 \text{ mm}$

$b = 16 \text{ mm}$

Materiál: ocel S355

$$N_{Rd} = \frac{f_{yd} \cdot A}{\gamma_{M0}} = \frac{355 \cdot 57 \cdot 15}{1,0} = 323,76 \text{ kN}$$

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

$$\frac{95,24}{323,76} \leq 1,0$$

$$0,30 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVUJE}$$

8.4.3. Návrh a posouzení svaru

Účinná výška svaru: $a = 3 \text{ mm}$

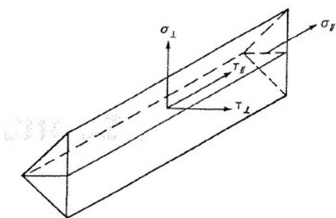
Účinná délka svaru:

$$l = 2 \cdot 60,3 + 2 \cdot 16 = 152,6 \text{ mm}$$

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

$$\tau_{\parallel} = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{N_{\perp}}{l \cdot a \cdot \sqrt{2}} = \frac{95240}{152,6 \cdot 3 \cdot \sqrt{2}} = 147,11 \text{ MPa}$$



$$\sqrt{147,11^2 + 3 \cdot (147,11^2 + 0^2)} = 294,22 \text{ MPa} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$= 360 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$1147,11 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Pro ostatní prvky svar vyhoví díky menší působící síle nebo menší ploše svaru.

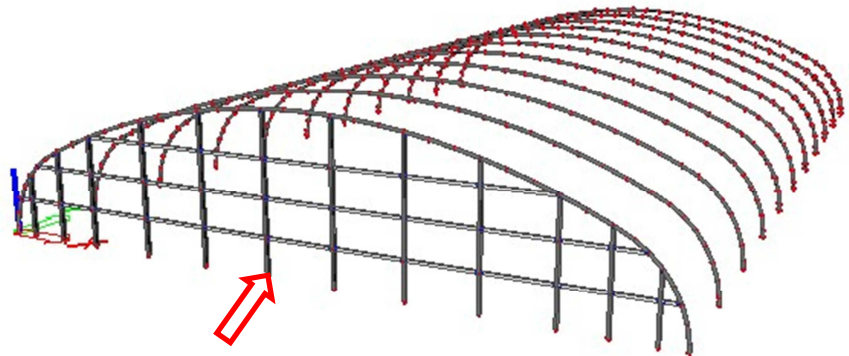
9. PŘÍLOHY KE STATICKÉMU VÝPOČTU

Výpočty jsou pouze orientační.

9.1. Posouzení štítové stěny MSÚ

9.1.1. Posouzení sloupu

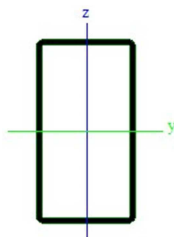
Poloha nejvíce namáhaného sloupu:



Průřezové charakteristiky:

Typ: HRTR 260/140/8
Výroba: válcovaný

A [m ²]	6,080 · 10 ⁻³
I _y [m ⁴]	5,373 · 10 ⁻⁵
I _z [m ⁴]	2,032 · 10 ⁻⁵
Wpl _y [m ³]	5,063 · 10 ⁻⁴
Wpl _z [m ³]	3,286 · 10 ⁻⁴
i _y [mm]	94,3
i _z [mm]	57,8



Materiálové charakteristiky:

Ocel: S 235 => $f_y = 235 \text{ MPa}$
 $f_u = 360 \text{ MPa}$
 $E = 210 \text{ GPa}$

Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém průřezu:

$N_{ed} \text{ [kN]}$	$V_{y,Ed} \text{ [kN]}$	$V_{z,Ed} \text{ [kN]}$	$M_{y,Ed} \text{ [kNm]}$	$M_{z,Ed} \text{ [kNm]}$
-9,35	0,03	-6,14	49,75	-0,64

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

$$\frac{c}{t} = \frac{244}{8} = 30,5 \leq 33 \cdot \varepsilon^2 = 33 \cdot 1,00^2 = 33,00$$

Průřez třídy 1.

9.1.1.1. Tlak:

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

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6,080 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 1428,8 \text{ kN}$$

$$\frac{9,35}{1428,8} = 0,007 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.1.1.2. Vzpěrná únosnost:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = 1,0$$

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

Kritické délky:

Sloupy jsou modelovány jako kloubově připojené k dolnímu pásu. Vybočení v rovině kolmé na osu y-y (v rovině sloupu) je bráněno paždíky a v rovině kolmé na osu z-z (z roviny sloupu) je vzpěrná délka totožná s délkou prutu.

$$L_{cr,y} = 8,946 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 2,580 \text{ m}$$

Kritická normálová síla:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 5,373 \cdot 10^{-5}}{8,946^2} = 1391,48 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 2,032 \cdot 10^{-5}}{2,580^2} = 6327,08 \text{ kN}$$

Štíhlost prutu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_z} = \frac{8946}{94,3} = 95,58$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2580}{57,8} = 44,63$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{6,08 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1391,48}} = 1,013$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{6,08 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{6327,08}} = 0,475$$

Součinitel imperfekce:

$$\phi_y = \phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha_1 \cdot (\bar{\lambda}_{y(z)} - 0,2) + \bar{\lambda}_{y(z)}^2]$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,013 - 0,2) + 1,013^2] = 1,099$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,475 - 0,2) + 0,475^2] = 0,642$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,099 + \sqrt{1,099^2 - 1,013^2}} = 0,656$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,642 + \sqrt{0,642^2 - 0,475^2}} = 0,694$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,656 \cdot 6,08 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 937,7 \text{ kN}$$

$$\frac{9,35}{937,7} = 0,01 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.1.1.3. Ohybový moment:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,063 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 118,98 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{49,75}{118,98} = 0,41 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.1.1.4. Smyk:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \frac{3950 \cdot \left(\frac{235}{\sqrt{3}}\right)}{1,0} = 535,92 \text{ kN}$$

$$A_v = \frac{h \cdot A}{b + h} = \frac{260 \cdot 6080}{260 + 140} = 3950 \text{ mm}^2$$

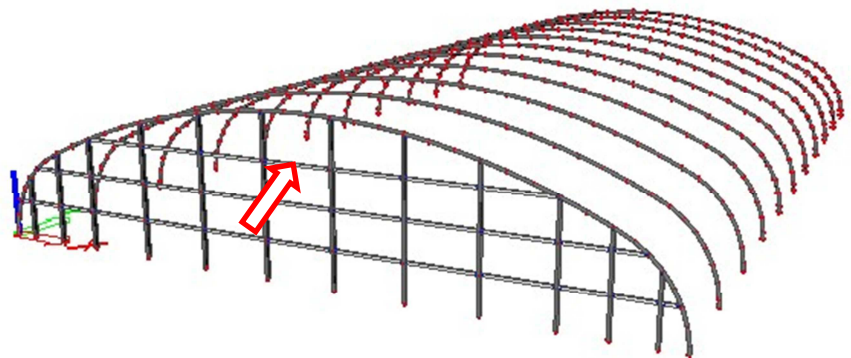
$$\frac{6,14}{535,92} = 0,02 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

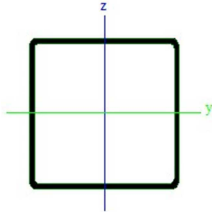
Zanedbávám vliv smykové síly na momentovou únosnost

Kombinace ohybu a osové síly také vyhovuje.

9.1.2. Posouzení paždíku

Poloha nejvíce namáhaného paždíku:





Průřezové charakteristiky:

Typ: HRTR 150/150/5

Výroba: válcovaný

A [m ²]	2,873·10 ⁻³
I _y [m ⁴]	1,000·10 ⁻⁵
I _z [m ⁴]	1,000·10 ⁻⁵
Wpl _y [m ³]	1,560·10 ⁻⁴
Wpl _z [m ³]	1,560·10 ⁻⁴
i _y [mm]	58,9
i _z [mm]	58,9

Materiálové charakteristiky:

Ocel: S 235 => f_y = 235 MPa
f_u = 360 MPa
E = 210 GPa

Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém průřezu:

N _{ed} [kN]	V _{y,Ed} [kN]	V _{z,Ed} [kN]	M _{y,Ed} [kNm]	M _{z,Ed} [kNm]
-9,01	0,00	-0,02	7,71	3,15

Klasifikace průřezu:

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

$$\frac{c}{t} = \frac{140}{5} = 28 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33$$

Průřez třídy 1.

9.1.2.1. Tlak:

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

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,873 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 675,16 \text{ kN}$$

$$\frac{9,01}{675,16} = 0,02 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.1.2.2. Vzpěrná únosnost:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = 1,0$$

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

Kritické délky:

Paždíky jsou modelovány jako oboustranně kloubově připojené ke sloupu nebo dolnímu pásu. Vzpěrná délky jsou shodné s délkou systémovou.

$$L_{cr,y} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 4,065 = 4,065 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 4,065 = 4,065 \text{ m}$$

Kritická normálová síla:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot 10^{-5}}{4,065^2} = 1254,29 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot 10^{-5}}{4,065^2} = 1254,29 \text{ kN}$$

Štíhlost prutu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_z} = \frac{4065}{58,9} = 69,02$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{4065}{58,9} = 69,02$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,873 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1254,29}} = 0,74$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,873 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1254,29}} = 0,74$$

Součinitel imperfekce:

$$\phi_y = \phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha_1 \cdot (\bar{\lambda}_{y(z)} - 0,2) + \bar{\lambda}_{y(z)}^2]$$

$$\phi_{y(z)} = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,74 - 0,2) + 0,74^2] = 0,83$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0,83 + \sqrt{0,83^2 - 0,74^2}} = 0,83$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,83 \cdot 2,873 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 560,38 \text{ kN}$$

$$\frac{9,01}{560,38} = 0,02 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.1.2.3. Ohybový moment:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,56 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 36,66 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{7,71}{36,66} = 0,23 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

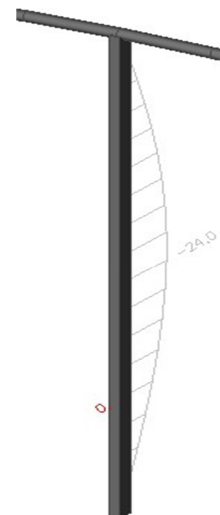
$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{3,15}{36,66} = 0,10 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Kombinace ohybu a osově síly také vyhovuje.

9.2. Posouzení štítové stěny MSP

9.2.1. Posouzení sloupu

Extrémní průhyby sloupu:



Výška sloupu: $l = 8946 \text{ mm}$

Maximální přípustný průhyb sloupu:

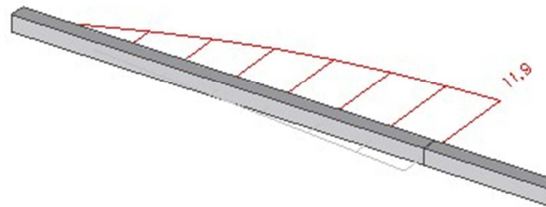
$$u_{lim} = \frac{l}{300} = \frac{8946}{300} = 29,82 \text{ mm}$$

9.2.1.1. Posouzení:

$$u_{lim} = 29,82 \text{ mm} \geq u_{max} = 24,00 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.2.2. Posouzení paždíku

Extrémní průhyby sloupu:



Délka paždíku: $l = 3857 \text{ mm}$

Maximální přípustný průhyb sloupu:

$$u_{lim} = \frac{l}{300} = \frac{3857}{300} = 12,85 \text{ mm}$$

9.2.2.1. Posouzení:

$$u_{lim} = 12,85 \text{ mm} \geq u_{max} = 11,9 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.3. Trapézový plech

SAT50/260

Spojitý nosník o dvou polích

P POZITIV



Tloušťka mm	Vlastní tíha kN/m ²	I _y [cm ⁴] (min/max)	Přípustné rovnoměrné zatížení v kN/m ² při vzdálenosti podpor L																						
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00		
0,50	0,048	17,14	1	qd	13,24	8,47	5,88	4,32	3,31	2,61	2,12	1,75	1,47	1,25	1,08	0,94	0,83	0,73	0,65	0,59	0,53	0,48	0,44	0,40	0,37
			2	l/150	13,24	8,47	5,88	4,32	3,31	2,61	2,12	1,75	1,47	1,25	1,08	0,88	0,72	0,60	0,51	0,43	0,37	0,32	0,28	0,24	0,21
			3	l/200	13,24	8,47	5,88	4,32	3,31	2,61	2,12	1,67	1,29	1,01	0,81	0,66	0,54	0,45	0,38	0,32	0,28	0,24	0,21	0,18	0,16
			4	l/300	13,24	8,47	5,88	4,32	2,90	2,04	1,48	1,11	0,86	0,68	0,54	0,44	0,36	0,30	0,25	0,22	0,19	0,16	0,14	0,12	0,11
0,60	0,058	21,47	1	qd	16,18	10,36	7,19	5,28	4,05	3,20	2,59	2,14	1,80	1,53	1,32	1,15	1,01	0,90	0,80	0,72	0,65	0,59	0,54	0,49	0,45
			2	l/150	16,18	10,36	7,19	5,28	4,05	3,20	2,59	2,14	1,80	1,53	1,32	1,15	0,95	0,79	0,66	0,56	0,48	0,42	0,36	0,32	0,28
			3	l/200	16,18	10,36	7,19	5,28	4,05	3,20	2,59	2,14	1,68	1,32	1,06	0,86	0,71	0,59	0,50	0,42	0,36	0,31	0,27	0,24	0,21
			4	l/300	16,18	10,36	7,19	5,28	3,78	2,66	1,94	1,45	1,12	0,88	0,71	0,57	0,47	0,39	0,33	0,28	0,24	0,21	0,18	0,16	0,14
0,63	0,061	22,81	1	qd	17,08	10,93	7,59	5,58	4,27	3,37	2,73	2,26	1,90	1,62	1,39	1,21	1,07	0,95	0,84	0,76	0,68	0,62	0,56	0,52	0,47
			2	l/150	17,08	10,93	7,59	5,58	4,27	3,37	2,73	2,26	1,90	1,62	1,39	1,21	1,04	0,86	0,73	0,62	0,53	0,46	0,40	0,35	0,31
			3	l/200	17,08	10,93	7,59	5,58	4,27	3,37	2,73	2,26	1,84	1,45	1,16	0,94	0,78	0,65	0,55	0,46	0,40	0,34	0,30	0,26	0,23
			4	l/300	17,08	10,93	7,59	5,58	4,15	2,91	2,12	1,60	1,23	0,97	0,77	0,63	0,52	0,43	0,36	0,31	0,27	0,23	0,20	0,17	0,15
0,70	0,068	26,00	1	qd	19,18	12,28	8,52	6,26	4,80	3,79	3,07	2,54	2,13	1,82	1,57	1,36	1,20	1,06	0,95	0,85	0,77	0,70	0,63	0,58	0,53
			2	l/150	19,18	12,28	8,52	6,26	4,80	3,79	3,07	2,54	2,13	1,82	1,57	1,36	1,18	0,99	0,83	0,71	0,61	0,52	0,45	0,40	0,35
			3	l/200	19,18	12,28	8,52	6,26	4,80	3,79	3,07	2,54	2,10	1,65	1,32	1,08	0,89	0,74	0,62	0,53	0,45	0,39	0,34	0,30	0,26
			4	l/300	19,18	12,28	8,52	6,26	4,73	3,32	2,42	1,82	1,40	1,10	0,88	0,72	0,59	0,49	0,42	0,35	0,30	0,26	0,23	0,20	0,18
0,75	0,072	28,32	1	qd	20,69	13,24	9,20	6,76	5,17	4,09	3,31	2,74	2,30	1,96	1,69	1,47	1,29	1,15	1,02	0,92	0,83	0,75	0,68	0,63	0,57
			2	l/150	20,69	13,24	9,20	6,76	5,17	4,09	3,31	2,74	2,30	1,96	1,69	1,47	1,29	1,07	0,90	0,77	0,66	0,57	0,50	0,43	0,38
			3	l/200	20,69	13,24	9,20	6,76	5,17	4,09	3,31	2,74	2,29	1,80	1,44	1,17	0,97	0,81	0,68	0,58	0,49	0,43	0,37	0,33	0,29
			4	l/300	20,69	13,24	9,20	6,76	5,15	3,62	2,64	1,98	1,53	1,20	0,96	0,78	0,64	0,54	0,45	0,38	0,33	0,28	0,25	0,22	0,19
0,80	0,077	30,67	1	qd	22,21	14,22	9,87	7,25	5,55	4,39	3,55	2,94	2,47	2,10	1,81	1,58	1,39	1,23	1,10	0,98	0,89	0,81	0,73	0,67	0,62
			2	l/150	22,21	14,22	9,87	7,25	5,55	4,39	3,55	2,94	2,47	2,10	1,81	1,58	1,39	1,16	0,98	0,83	0,71	0,62	0,54	0,47	0,41
			3	l/200	22,21	14,22	9,87	7,25	5,55	4,39	3,55	2,94	2,47	1,95	1,56	1,27	1,05	0,87	0,73	0,62	0,54	0,46	0,40	0,35	0,31
			4	l/300	22,21	14,22	9,87	7,25	5,55	3,92	2,86	2,15	1,65	1,30	1,04	0,85	0,70	0,58	0,49	0,42	0,36	0,31	0,27	0,23	0,21