



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

ROZHLEDNA V BRNĚ KOHOUTOVICÍCH

WATCHTOWER IN BRNO KOHOUTOVICE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ondřej Komárek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN BARNAT, Ph.D.

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Ondřej Komárek
Název	Rozhledna v Brně Kohoutovicích
Vedoucí práce	Ing. Jan Barnat, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2018
Datum odevzdání	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- [1] ČSN EN 1990- Zásady navrhování konstrukcí
- [2] ČSN EN 1991- Zatížení konstrukcí
- [3] ČSN EN 1993- Navrhování ocelových konstrukcí
- [4] ČSN EN 1995- Navrhování dřevěných konstrukcí
- [5] Koželouh B.: Dřevěné konstrukce podle eurokódu 5 - Step 1 Navrhování a konstrukční materiály, Bohumil Koželouh 1998

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Vypracujte návrh nosné konstrukce objektu rozhledny umístěné v Brně Kohoutovicích. Minimální výška nosné konstrukce je požadována minimálně 33 m. Nosnou konstrukci vypracujte v předběžném návrhu ve dvou variantách. Pro detailní zpracování zvolte vhodně jednu z variant. Pro nosnou konstrukci zvolte ocel běžné pevnosti. Vypracujte statický výpočet hlavních nosných prvků a spojů konstrukce. Vypracujte technickou zprávu a výkresovou dokumentaci v rozsahu specifikovaném vedoucím práce.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

Ing. Jan Barnat, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je návrh nosné ocelové konstrukce rozhledny v Brně Kohoutovicích. Výška nosné konstrukce je 35,5 m. Nosná konstrukce je vypracována předběžně ve dvou variantách. Varianta A je navržena jako prostorová příhradová konstrukce. Varianta B je navržena z průběžných sloupů po výšce doplněná ztužidly. Pro detailní zpracování je vybrána varianta A. Konstrukční materiál je ocel S355. Součástí práce je technická zpráva, statický výpočet a výkresová dokumentace.

KLÍČOVÁ SLOVA

rozhledna, vyhlídková věž, nosná ocelová konstrukce, svařovaný spoj, kotvení, zatížení větrem, ocel

ABSTRACT

The main aim of my master's thesis was to design a load-bearing steel structure of the lookout tower situated in Brno-Kohoutovice. The height of the load-bearing structure is 35.5 m. My design comprises two different engineering solutions. Solution A is a lattice space frame whereas Solution B works with continuous columns with vertical bracing. For further development, Solution A has been chosen. The proposed structural material is the S355 steel. My thesis includes an engineering report, a statics analysis and drawing documentation.

KEYWORDS

lookout tower, load-bearing steel structure, welded joint, anchorage, wind load, steel

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Ondřej Komárek *Rozhledna v Brně Kohoutovicích*. Brno, 2018. 154 s., 285 s. příl.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových
a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Jan Barnat, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Rozhledna v Brně Kohoutovicích* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 10. 1. 2019

Bc. Ondřej Komárek
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Rozhledna v Brně Kohoutovicích* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10. 1. 2019

Bc. Ondřej Komárek
autor práce

Poděkování:

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Janu Barnatovi Ph.D. za odborné vedení konzultací, neutuchající ochotu a zájem při řešení technických problémů. Také za cenné rady při tvorbě diplomové práce a za čas, který mi věnoval. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině za podporu při studiu.

Bc. Ondřej Komárek



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

A - PRŮVODNÍ DOKUMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ondřej Komárek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN BARNAT, Ph.D.

BRNO 2019

Obsah

1. Základní údaje	3
2. Popis objektu	3
2.1. Umístění stavby	3
2.2. Architektonický návrh	5
2.3. Dispoziční řešení	5
3. Zatížení	6
3.1. Stálé zatížení	6
3.2. Proměnné zatížení	6
3.2.1. Užité zatížení	6
3.2.2. Zatížení sněhem	6
3.2.3. Zatížení větrem	7

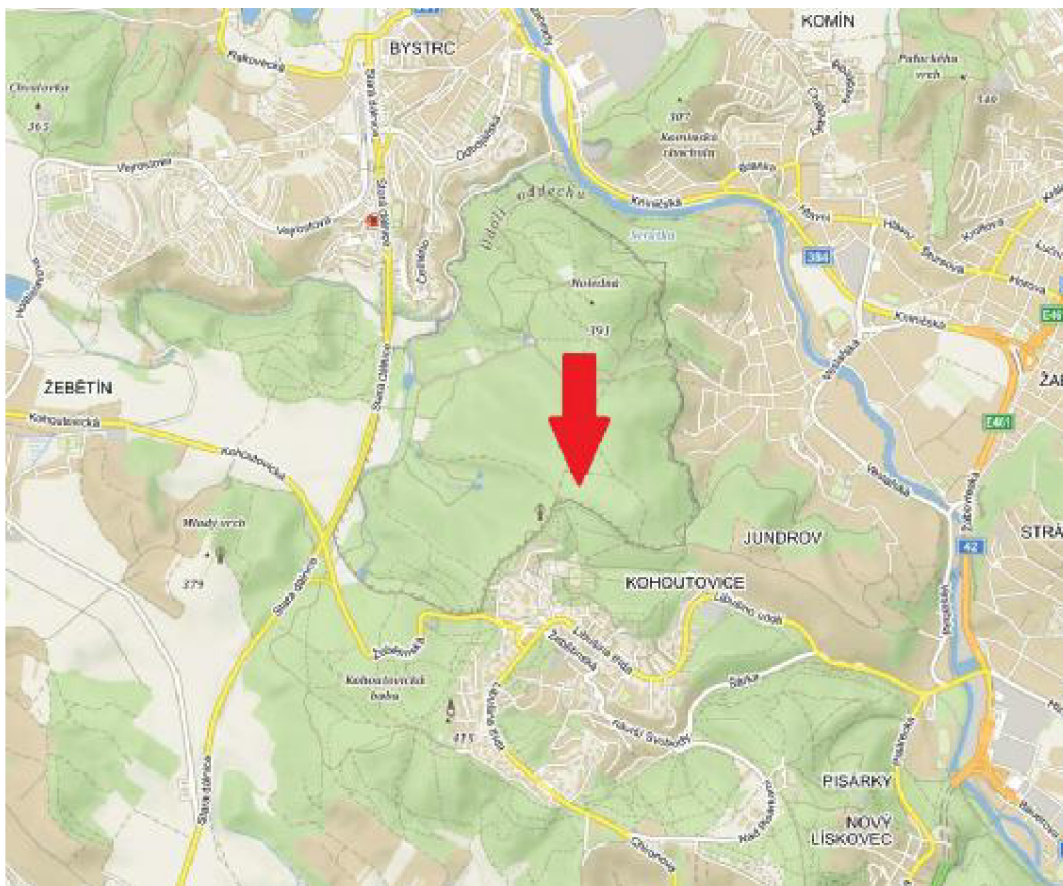
1. Základní údaje

Předmětem diplomové práce je návrh a statické posouzení konstrukce rozhledny v Brně - Kohoutovicích. Její tvar je inspirován tvarem karafy na víno. V půdorysu je nosná konstrukce ve tvaru pravidelného osmiúhelníku, který je po výšce proměnný. Výška konstrukce je po hřeben střechy 35,5 m a výška vyhlídkové plošiny je 32 m. Jako konstrukční materiál byla použita ocel S355. Nosná konstrukce byla vypracována ve dvou předběžných variantách. Varianta A je řešena jako prostorová příhradovina a varianta B je konstruována z průběžných sloupů po výšce s doplněním o ztužidla. Pro obě varianty byl vytvořen výpočtový model v programu RFEM. Zatížení je z 90% shodné pro obě varianty a podrobnější rozpracování zatížení je uvedeno ve statickém výpočtu varianty A. Jednotlivé konstrukce jsou také posouzeny na mezní stav únosnosti a použitelnosti v programu RF – STEEL EC3 (viz. příloha P1 a P2).

2. Popis objektu

2.1. Umístění stavby

Rozhledna je umístěna v Brně na hranici městských částí Brno - Jundrov, Brno - Žebětín a Brno - Kohoutovice a to na kopci Hobrtenky s nadmořskou výškou 405 m.n.m. Jedná se o lokalitu s výhledem na několik částí města Brna a jeho okolí. Za dobré viditelnosti je možno vidět směrem na jih Pálavské vrchy a směrem na jihovýchod Ždánický les a Bílé Karpaty. Rozhledna je umístěna nedaleko lesní cesty, což je vhodné pro příjezd jeřábu a dovoz materiálu na stavbu. Zároveň se zde kříží několik turistických cest napojených na příjezdové komunikace do prostoru obory. Přesná lokalita je uvedena GPS souřadnicemi 49.203487N, 16.536197E.



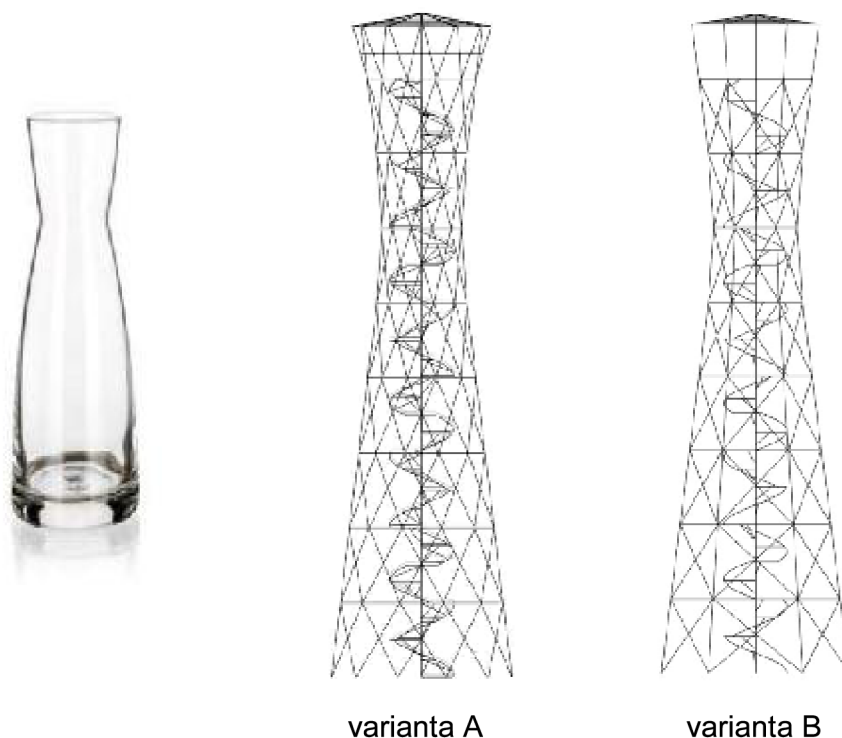
Obr. 2.1 Mapa s umístěním rozhledny



Obr. 2.2 Okolní terén v uvažované lokalitě

2.2. Architektonický návrh

Při návrhu rozhledny jsem se inspiroval tvarem karafy na víno. Tento tvar je nejen zajímavý ale i praktický z toho důvodu, že do jisté míry kopíruje průběh momentů na konzole zatížené spojitým břemenem, což je vhodné ze statického hlediska. Zároveň tvar umožňuje dostatečnou užitou plochu vyhlídkové plošiny.



Obr. 2.3 Tvar rozhledny inspirovaný karafou

2.3. Dispoziční řešení

V půdorysném průmětu má rozhledna tvar pravidelného šestiúhelníku, který je vepsán do kružnice s proměnným průměrem po výšce. U varianty A se tyto osmiúhelníky v každé výškové úrovni po 4 m vzájemně pootočí o 30° . Největší rozměr osmiúhelníku je vepsán do kružnice o průměru 10 m a to v přízemní části. Nejmenší rozměr se nachází ve výšce 24 m s průměrem kružnice 4,4 m a v místě vyhlídkové plošiny je průměr 7,4 m. Výška rozhledny ve vrcholu rozhledny čítá v obou případech 35,5 m a vyhlídková plošina je ve výšce 32 m. Rozhledna má po výšce 8 výškových úrovní jejichž výška je násobkem 4 m. Na vyhlídkovou plošinu je vedeno levotočivé schodiště o šířce 1250 mm. Výška jednoho stupně

je 167 mm a délka 288 mm. Schodiště je rozděleno do několika ramen a mezipodest.

Délka mezipodesty je 1100 mm a v jednom rameni se nachází 12 schodů. Pro výstup na vyhlídkovou plošinu je za potřebí překonat celkem 191 schodů. Rozhledna je vybavena na schodišti a vyhlídkové plošině zábradlím s minimální výškou 1200 mm.

3. Zatížení

Zatížení konstrukce rozhledny bylo provedeno dle aktuálních platných norem ČSN EN a jeho podrobný výpočet je obsažen ve statickém výpočtu varianty A.

3.1. Stálé zatížení

Vlastní tíha	generováno programem RFEM
Střešní plášť	$g_k = 0,347 \text{ kN/m}^2$
Tíha podlahy vyhlídkové plošiny	$g_k = 0,420 \text{ kN/m}^2$
Tíha schodišťových stupňů	$g_k = 0,420 \text{ kN/m}^2$
Zábradlí + příslušenství	$g_k = 0,087 \text{ kN/m}$

3.2. Proměnné zatížení

3.2.1. Užité zatížení

Schodiště	$q_k = 3 \text{ kN/m}^2$
Schodiště - zábradlí	$q_k = 1 \text{ kN/m}$
Vyhlídková plošina	$q_k = 5 \text{ kN/m}^2$
Vyhlídková plošina - zábradlí	$q_k = 5 \text{ kN/m}$

3.2.2. Zatížení sněhem

Sněhová oblast (Brno):	II	$s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$
------------------------	----	----------------------------

3.2.3. Zatížení větrem

Větrná oblast (Brno):	II	$v_{b,o} = 25 \text{ m/s}$
Kategorie terénu:	III	



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

B - POROVNÁNÍ VARIANT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ondřej Komárek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN BARNAT, Ph.D.

BRNO 2019

Obsah

1. Základní údaje	3
2. Popis variant	3
2.1. Varianta A	4
2.2. Varianta B	4
3. Geometrie	5
3.1. Varianta A	5
3.2. Varianta B	6
4. Ztížení	7
5. Posouzení konstrukce.....	8
5.1. Mezní stav únosnosti (MSÚ).....	8
5.1.1. Varianta A.....	8
5.1.2. Varianta B.....	8
5.2. Mezní stav použitelnosti (MSP) – lokální	9
5.2.1. Varianta A.....	9
5.2.2. Varianta B.....	9
5.3. Mezní stav použitelnosti (MSP) – globální	10
6. Výkaz materiálu	11
6.1. Varianta A	11
6.2. Varianta B	12
6.3. Porovnání výkazu materiálu	12
7. Vyhodnocení	13

1. Základní údaje

Předmětem diplomové práce je návrh a statické posouzení konstrukce rozhledny v oboře Holedná v Brně. Její tvar je inspirován tvarem karafy na víno. V půdorysu je nosná konstrukce ve tvaru pravidelného osmiúhelníku, který je po výšce proměnný. Výška konstrukce je po hřeben střechy 35,5 m a výška vyhlídkové plošiny je 32 m. Jako konstrukční materiál byla použita ocel běžných pevností. Konstrukce byla řešena ve dvou variantách. Nosná konstrukce varianty A je řešena jako prostorová příhradovina. Varianta B je konstruována z průběžných sloupů po výšce s doplněním o ztužidla. Pro obě varianty byl vytvořen výpočtový model v programu RFEM. Zatížení je z 90% shodné pro obě varianty a podrobnější rozpracování zatížení je uvedeno ve statickém výpočtu varianty A. Obě varianty jsou také posouzeny na mezní stav únosnosti a použitelnosti v programu RF – STEEL EC3 (viz. příloha P1 a P2).

2. Popis variant

Konstrukce rozhledny byla řešena ve dvou variantách a to:

Varianta A – prostorová příhradová konstrukce

Varianta B – konstrukce s průběžnými sloupy po výšce doplněná ztužidly

V půdorysném průmětu má rozhledna v obou případech tvar pravidelného osmiúhelníku. Rozdíl spočívá v tom, že varianta A má oproti variantě B v každé výškové úrovni tyto osmiúhelníky vzájemně pootočené o 30° ve vodorovné úrovni. U obou variant je navrženo točité schodiště se středovým sloupem, který je po určitých vzdálenostech připojen k nosnému plášti konstrukce. Nosné prvky schodiště jsou v obou případech totožné, liší se akorát prvky konstrukce pláště a jejich způsob namáhání vzhledem ke statickému schématu konstrukcí. Použitý materiál je u obou variant shodný.

2.1. Varianta A

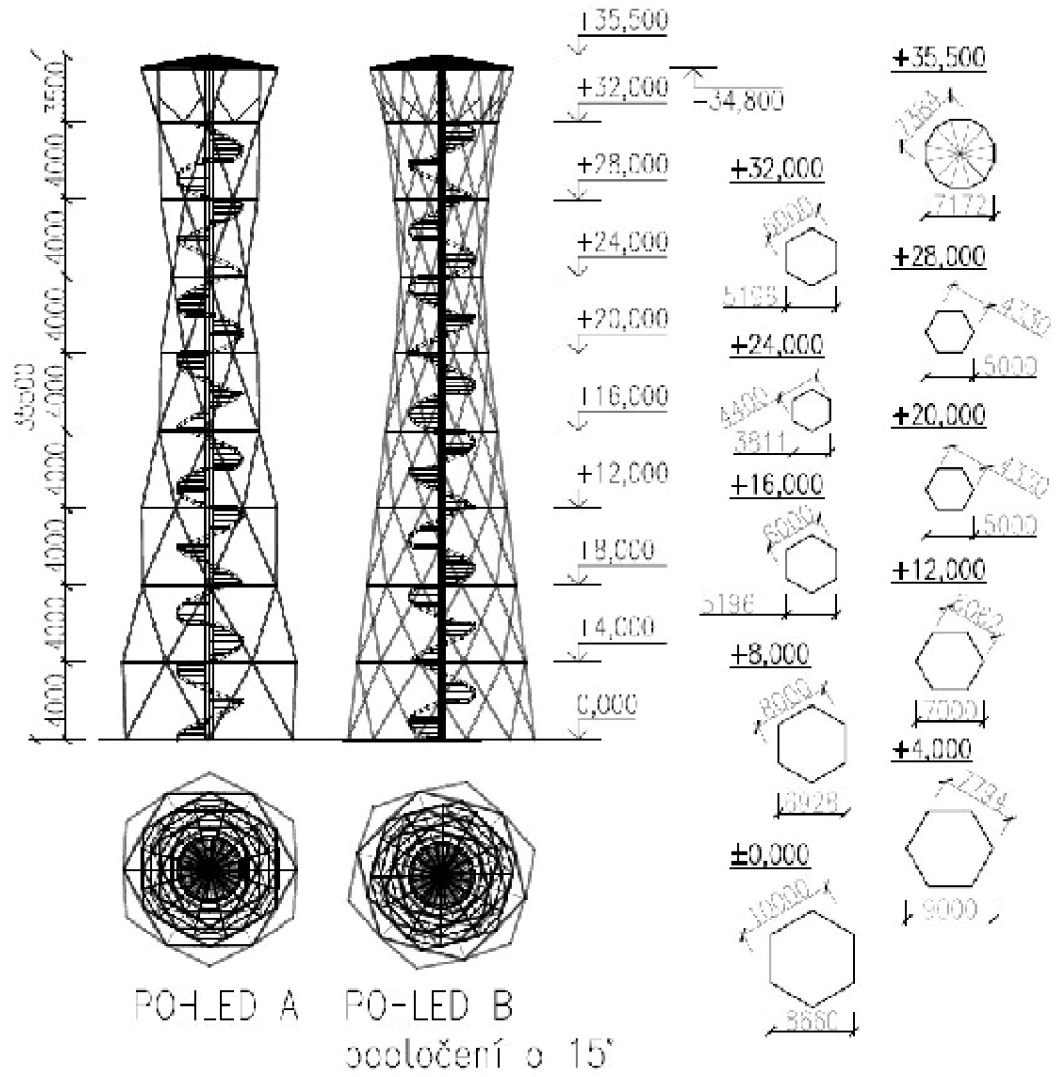
Prvky nosné konstrukce tvoří profily RO 114,3 x 5 a vodorovné profily RO 76,1 x 4. V úrovni vyhlídkové plošiny je provedeno ztužení příhradovinou z profilu 42,4 x 4 za účelem stabilizace přístřešku. Prvky vynášející vyhlídkovou plošinu a střešní plášť jsou tvořeny z profilů IPE různých dimenzí. Nosnými prvky schodiště jsou středový sloup RO 355,6 x 10, schodnice z dutého profilu TO 180/60/6/6/6/6, která je vynášena profilem IPE 140. Nosník vynášející schodnici je podepřen profilem U60. Spojení konstrukce pláště a konstrukce schodiště je navrženo z profilu RO 48,3 x 4. Podrobnější výčet prvků je ve výkazu materiálu (kap. 6.1).

2.2. Varianta B

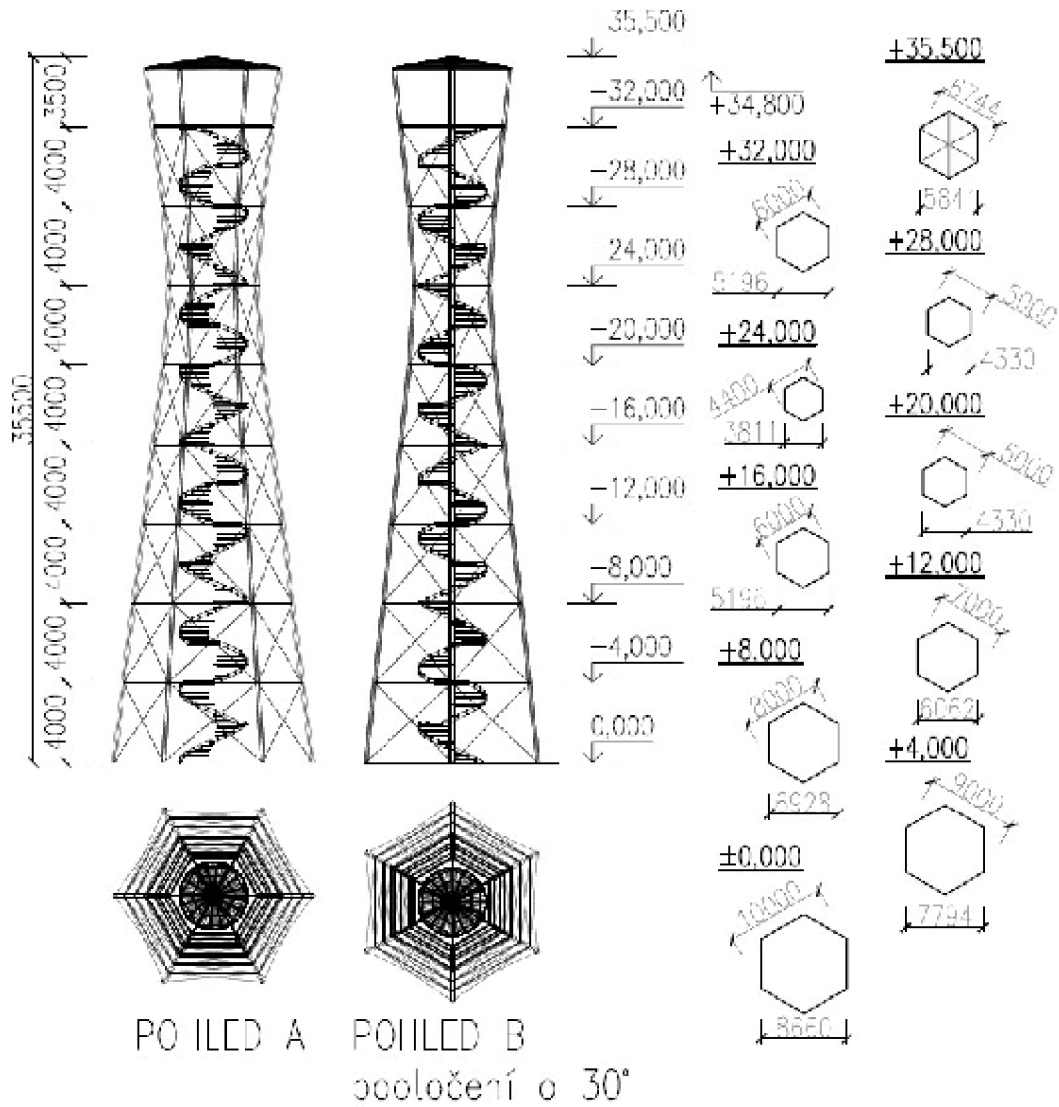
Prvky nosné konstrukce jsou tvořeny z profilu RO 219,1 x 8, z vodorovných prutů profilu RO 60,3 x 5 a z tahových ztužidel o průměru 12 mm. Ostatní profily a jejich dimenze jsou totožné s variantou A. Podrobnější výčet prvků je ve výkazu materiálu (kap. 6.2).

3. Geometrie

3.1. Varianta A



3.2. Varianta B



4. Ztížení

Zatížení konstrukce rozhledny bylo provedeno dle aktuálních platných norem ČSN EN a jeho podrobný výpočet je obsažená ve statickém výpočtu varianty A.

Stálé zatížení

Vlastní tíha	generováno programem RFEM
Střešní plášť	$g_k = 0,347 \text{ kN/m}^2$
Tíha podlahy vyhlídkové plošiny	$g_k = 0,420 \text{ kN/m}^2$
Tíha schodišťových stupňů	$g_k = 0,420 \text{ kN/m}^2$
Zábradlí + příslušenství	$g_k = 0,087 \text{ kN/m}$

Proměnné zatížení

Schodiště – kategorie C3	$q_k = 3 \text{ kN/m}^2$
Schodiště – zábradlí	$q_k = 1 \text{ kN/m}$
Vyhlídková plošina – kategorie C5	$q_k = 5 \text{ kN/m}^2$
Vyhlídková plošina – zábradlí	$q_k = 5 \text{ kN/m}$
Sněhová oblast (Brno): II	$s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$
Větrná oblast (Brno): II	$v_{b,o} = 25 \text{ m/s}$
Kategorie terénu: III	

Pro posouzení konstrukce bylo uvažováno 12 zatěžovacích stavů:

Stálé	Vlastní tíha	ZS1	Vlastní tíha	
	Ostatní stálé	ZS2	Ostatní stálé	
Proměnné	Užitné	ZS3	Užitné plné	
		ZS4	Užitné poloviční A	
		ZS5	Užitné poloviční B	
		Sníh	ZS6	Sníh plný
			ZS7	Sníh poloviční X ⁺
	ZS8		Sníh poloviční XY ⁺	
	Vítr	ZS9	Vítr směr X ⁺ - tlak na přístřešek	
		ZS10	Vítr směr X ⁺ - sání na přístřešek	
		ZS11	Vítr směr XY ⁺ - tlak na přístřešek	
		ZS12	Vítr směr XY ⁺ - sání na přístřešek	

5. Posouzení konstrukce

5.1. Mezní stav únosnosti (MSÚ)

5.1.1. Varianta A

	Název	Profil	Materiál	Jednotkový posudek [-]
1	Hlavní nosná konstrukce	RO 114,3x5	S355	0,68
2	Vodorovné ztužení konstrukce	RO 76,1x5	S355	0,81
3	Nosník střešního pláště	IPE 100	S355	0,71
4	Rošt střešního pláště	IPE 80	S355	0,22
5	Středový sloup	RO 355,6x10	S355	0,15
6	Schodnice	Dutý obdelník TO180/60/6/6/6/6	S355	0,16
7	Nosník schodnice	RO 101,6x5	S355	0,66
8	Vzpěra nosníku schodnice	RO 76,1x4	S355	0,15
9	Nosník vyhlídkové plošiny	IPE 140	S355	0,41
10	Rošt vyhlídkové plošiny	IPE 80	S355	0,33
11	Pрут spojující nosnou konstrukci a schodiště	RO 48,3x4	S355	0,55
12	Ztužující prstenec přístřešku	RO 42,4x4	S355	0,27

5.1.2. Varianta B

	Název	Profil	Materiál	Jednotkový posudek [-]
1	Sloup	RO 219,1x8	S355	0,88
2	Vodorovné ztužení konstrukce	RO 60,3x5	S355	0,74
3	Nosník střešního pláště	IPE 100	S355	0,41
4	Rošt střešního pláště	IPE 80	S355	0,70
5	Středový sloup	RO 355,6x10	S355	0,16
6	Schodnice	Dutý obdelník TO180/60/6/6/6/6	S355	0,15
7	Nosník schodnice	RO 101,6x5	S355	0,73
8	Vzpěra nosníku schodnice	RO 76,1x4	S355	0,15
9	Nosník vyhlídkové plošiny	IPE 140	S355	0,27
10	Rošt vyhlídkové plošiny	IPE 80	S355	0,82
11	Pрут spojující nosnou konstrukci a schodiště	RO 48,3x4	S355	0,75
12	Ztužidlo	Tyč 12	S355	0,81

5.2. Mezní stav použitelnosti (MSP) – lokální

5.2.1. Varianta A

	Název	Profil	Materiál	Jednotkový posudek [-]
1	Hlavní nosná konstrukce	RO 114,3x5	S355	0,13
2	Vodorovné ztužení konstrukce	RO 76,1x5	S355	0,29
3	Nosník střešního pláště	IPE 100	S355	0,30
4	Rošt střešního pláště	IPE 80	S355	0,15
5	Středový sloup	RO 355,6x10	S355	0,26
6	Schodnice	Dutý obdelník TO180/60/6/6/6/6	S355	0,81
7	Nosník schodnice	RO 101,6x5	S355	0,09
8	Vzpěra nosníku schodnice	RO 76,1x4	S355	0,00
9	Nosník vyhlídkové plošiny	IPE 140	S355	0,69
10	Rošt vyhlídkové plošiny	IPE 80	S355	0,97
11	Pрут spojující nosnou konstrukci a schodiště	RO 48,3x4	S355	0,72
12	Ztužující prstenec přístřešku	RO 42,4x4	S355	0,23

5.2.2. Varianta B

	Název	Profil	Materiál	Jednotkový posudek [-]
1	Sloup	RO 219,1x8	S355	0,18
2	Vodorovné ztužení konstrukce	RO 60,3x5	S355	0,44
3	Nosník střešního pláště	IPE 100	S355	0,31
4	Rošt střešního pláště	IPE 80	S355	0,60
5	Středový sloup	RO 355,6x10	S355	0,17
6	Schodnice	Dutý obdelník TO180/60/6/6/6/6	S355	0,71
7	Nosník schodnice	RO 101,6x5	S355	0,00
8	Vzpěra nosníku schodnice	RO 76,1x4	S355	0,00
9	Nosník vyhlídkové plošiny	IPE 140	S355	0,69
10	Rošt vyhlídkové plošiny	IPE 80	S355	0,78
11	Pрут spojující nosnou konstrukci a schodiště	RO 48,3x4	S355	0,76
12	Ztužidlo	Tyč 12	S355	-

5.3. Mezní stav použitelnosti (MSP) – globální

Obě varianty byly posouzeny globálně na MSP od vodorovného zatížení větrem. Při posouzení na limitní posun 71 mm obě varianty vyhověly.

$$\delta_{max} = \frac{h_0}{500} = \frac{35500}{500} = 71 \text{ mm}$$

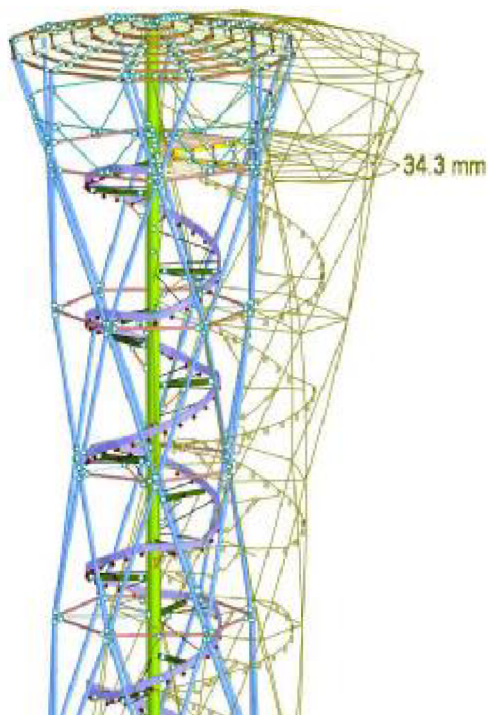
$$\frac{\delta_A}{\delta_{max}} = \frac{34,4}{71} = 0,48 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

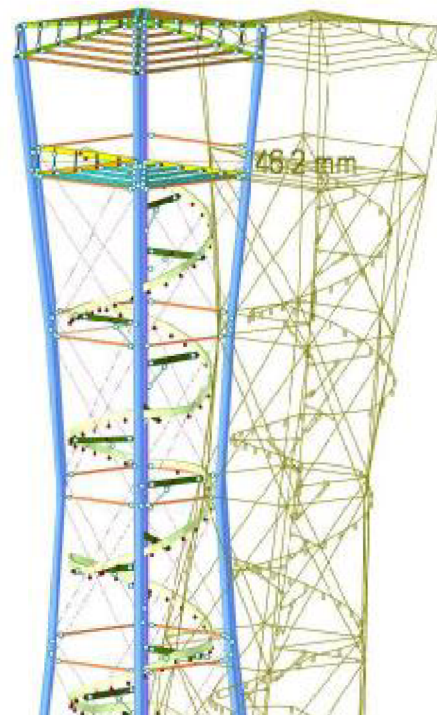
$$\frac{\delta_B}{\delta_{max}} = \frac{46,2}{71} = 0,65 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

Varianta A



Varianta B



6. Výkaz materiálu

6.1. Varianta A

	Název	Profil	Materiál	Jednotková hmotnost [kg/m]	Délka [m]	Hmotnost [kg]	Povrch [m ²]
1	Hlavní nosná konstrukce	RO 114.3x5	S355	13,5	456,9	6 169,4	164,4
2	Vodorovné ztužení konstrukce	RO 76.1x4	S355	7,1	145,29	1 075,3	36,2
3	Nosník střešního pláště	IPE 100	S355	8,1	45,1	364,5	18,1
4	Vaznice	IPE 80	S355	6,0	91,7	550,0	30,2
5	Schodišťová trubka	RO 355,6x10	S355	85,6	35,5	3 037,6	41,2
6	Schodnice	Dutý obdelník TO180/60/6/6/6/6	S355	18,1	109,9	1 984,3	53,7
7	Nosník schodnice	RO 101,6x5	S355	11,9	48,7	648,9	17,5
8	Vzpěra nosníku schodnice	RO 76,1x4	S355	7,1	31,7	296,2	10,0
9	Nosník vyhlídkové plošiny	IPE 120	S355	10,4	12,0	124,3	5,7
10	Rošt vyhlídkové plošiny	IPE 80	S355	6,0	26,6	159,2	8,8
11	Pрут spojující nosnou konstrukci a schodiště	RO 48,3x4	S355	4,4	54,7	239,2	8,3
12	Ztužující prstenec přístřešku	RO 42,4x4	S355	3,8	41,1	161,2	5,7
CELKEM:						15 095,0	399,9

6.2. Varianta B

	Název	Profil	Materiál	Jednotková hmotnost [kg/m]	Délka [m]	Hmotnost [kg]	Povrch [m ²]
1	Sloup	RO 219,1x8	S355	41,7	211,3	8 805,9	145,9
2	Vodorovné ztužení konstrukce	RO 60,3x5	S355	6,8	140,7	1 031,4	28,7
3	Nosník střešního pláště	IPE 100	S355	8,1	20,5	165,5	8,2
4	Vaznice	IPE 80	S355	6,0	70,8	424,7	23,4
5	Schodišťová trubka	RO 355,6x10	S355	85,6	35,5	3 037,6	41,2
6	Schodnice	Dutý obdelník TO180/60/6/6/6/6	S355	18,1	109,9	1 984,3	53,7
7	Nosník schodnice	RO 101,6x5	S355	11,9	48,7	648,9	17,5
8	Vzpěra nosníku schodnice	RO 76,1x4	S355	7,1	31,7	296,2	10,0
9	Nosník vyhlídkové plošiny	IPE 140	S355	12,9	12,0	154,5	6,6
10	Rošt vyhlídkové plošiny	IPE 80	S355	6,0	26,6	159,2	8,7
11	Pрут spojující nosnou konstrukci a schodiště	RO 48,3x4	S355	4,4	27,4	119,8	4,2
12	Ztužidlo	Tyč 12	S355	0,9	501,5	445,2	18,9
CELKEM:						17 273,8	367,1

6.3. Porovnání výkazu materiálu

Výkaz materiálu		
Varianta	Hmotnost [kg]	Povrch [m ²]
A	15 095,0	399,9
B	17 273,2	367,1

7. Vyhodnocení

Nosná konstrukce rozhledny byla řešena ve dvou variantách. Varianta A je řešena jako prostorová příhradová konstrukce. Varianta B je konstrukce s průběžnými sloupy po výšce s doplněním o ztužidla. Použitý materiál je u obou variant ocel S355 a dimenze jednotlivých profilů jsou do určité míry podobné.

Varianta A umožňuje vzhledem ke vzpěrným délkám použití menších dimenzí prvků nosné konstrukce což působí esteticky a subtilněji. Nevýhody této varianty vidím v návrhu spojů u styčniců. Varianta B je konstruována ze sloupů profilů RO 219,1x8 což působí méně vzhledně a konstrukce tím ztrácí příjemný architektonický vzhled, který by konstrukce tohoto typu měla částečně splňovat. Varianta B má své výhody v jednoduchosti konstrukce a v návrhu spojů jednotlivých prvků. Z výkazu materiálu vyplývá, že varianta A vychází o něco lépe v množství použité oceli.

Podle mého subjektivního názoru má subtilnější varianta A lepší architektonický vzhled než varianta B a to považuji za jeden z důvodů proč tuto variantu rozpracuji podrobněji.

Pro podrobné rozpracování byla vybrána varianta A.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

C - TECHNICKÁ ZPRÁVA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ondřej Komárek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN BARNAT, Ph.D.

BRNO 2019

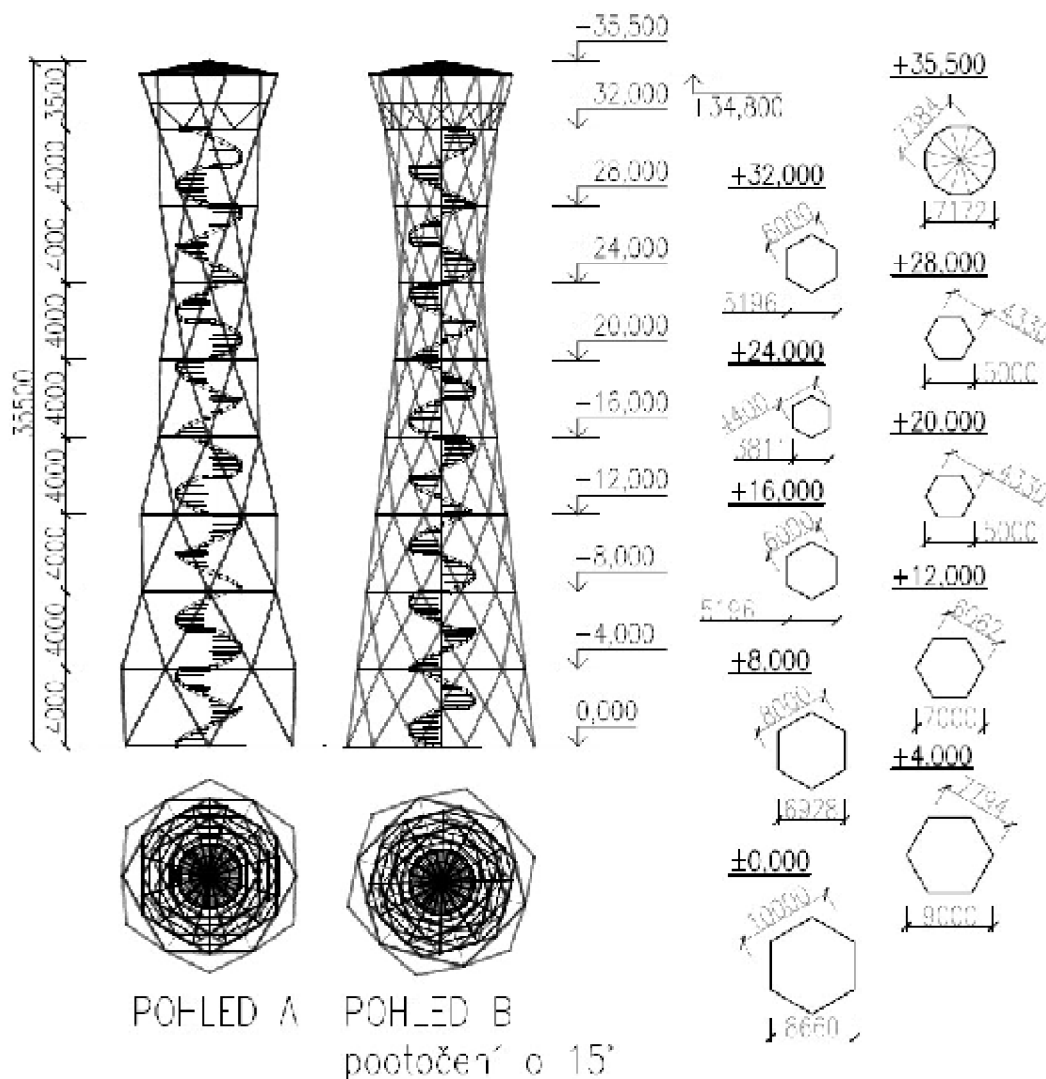
Obsah

1. Základní údaje návrhu	3
2. Geometrie	3
3. Materiál	4
4. Popis konstrukčních prvků	4
4.1. Nosná konstrukce rozhledny	4
4.2. Vodorovné ztužení	5
4.3. Střešní nosník	5
4.4. Vaznice	5
4.5. Nosník vyhlídkové plošiny	6
4.6. Rošt vyhlídkové plošiny	6
4.7. Ztužující prstenec	7
4.8. Středový sloup	7
4.9. Schodnice	7
4.10. Nosník schodnice	8
4.11. Vzpěra nosníku schodnice	8
4.12. Spojení středového sloupu a pláště konstrukce	9
5. Výpočtový model	9
6. Povrchová úprava	10
7. Založení stavby	10
8. Kotvení	11
9. Postup montáže	12

1. Základní údaje návrhu

Předmětem diplomové práce je návrh a statické posouzení konstrukce rozhledny v oboře Holedná v Brně. Její tvar je inspirován tvarem karafy na víno. V půdorysu je nosná konstrukce ve tvaru pravidelného osmiúhelníku, který je po výšce proměnný. Výška konstrukce je po hřeben střechy 35,5 m a výška vyhlídkové plošiny je 32 m. Jako konstrukční materiál byla použita ocel S355. Byl vytvořen výpočtový model v programu RFEM.

2. Geometrie



Obr. 2.1 Schéma konstrukce

3. Materiál

Základním materiálem je konstrukční nelegovaná ocel S355 s minimální mezí kluzu 355 MPa s inspekčním certifikátem 3.1 dle ČSN EN 10204.

Jako spojovací materiál je použito konstrukčních šroubů podle DIN 7990 o pevnosti 5.6 v kombinaci s hrubou maticí dle ČSN EN ISO 4032 a konstrukční podložkou dle DIN 7989.

Pro zamezení zcizení ocelových prvků šroubovaných příhradových konstrukcí se použije speciální zajištění šroubových spojů. Ty jsou konstruovány tak, že využívají speciální bezpečnostní matice, která zabraňuje zpětné demontáži šroubového spoje běžným nářadím. Veškeré stojiny, příčky, či jiné spojovací prvky na příhradových konstrukcích budou zajištěny do výšky 6 m nad terénem pomocí speciálních matic.

4. Popis konstrukčních prvků

4.1. Nosná konstrukce rozhledny

Prvky hlavní nosné konstrukce rozhledny tvoří duté profily RO 114,3x5 tvářené za studena z oceli S355. Tento průřez se nachází po obvodu celé konstrukce a přenáší zatížení od klimatických účinků do základového pasu. Jednotlivé pruty jsou mezi sebou spojeny kloubově a utváří prostorovou příhradovinu výsledného tvaru. V každé výškové úrovni (po 4 m) je plášť po obvodu ztužen vodorovným ztužením a spojen s konstrukcí schodiště. Dohromady tvoří tuhý tubus schopný přenášet vodorovné a svislé účinky zatížení. Délky jednotlivých prutu jsou od 3 m do 5 m. (Obr. 4.1 – modrá barva)

4.2. Vodorovné ztužení

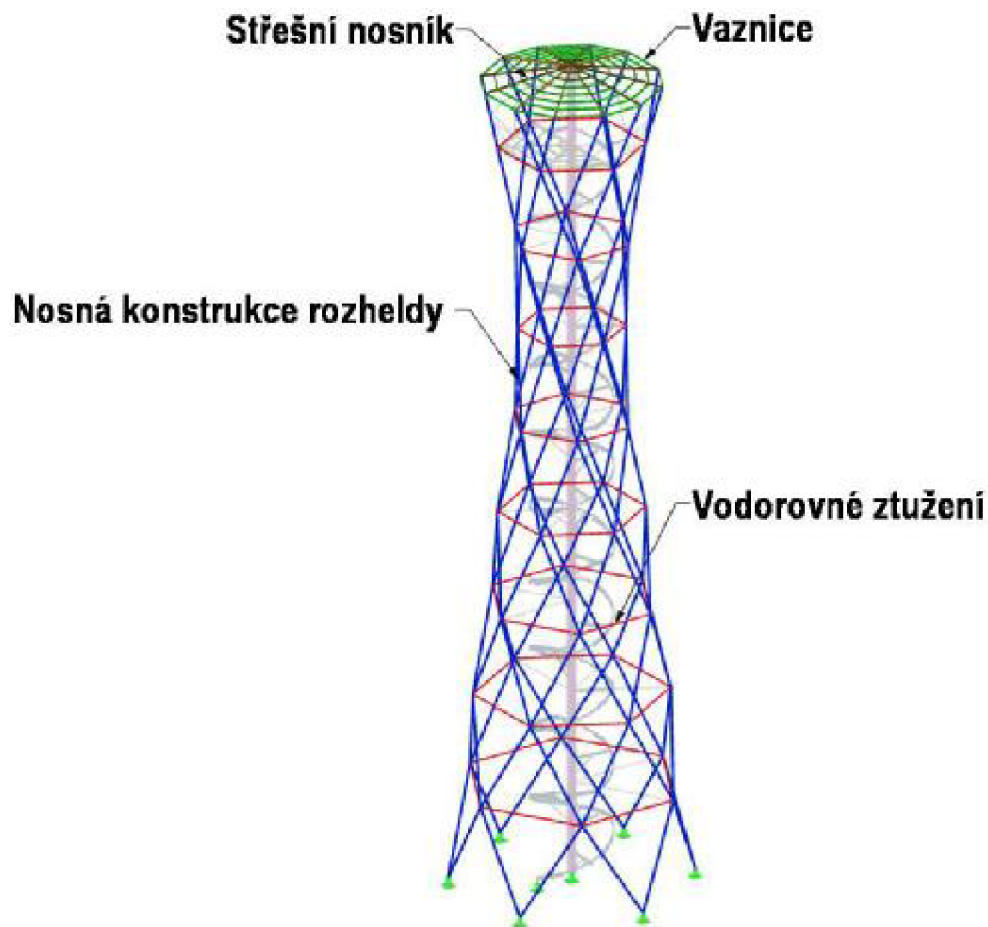
Vodorovné ztužení tvoří duté profily RO 76,1x5 tvářené za studena z oceli S355. Tyto prvky vytváří pravidelné osmiúhelníky, které ztužují nosnou konstrukci po obvodě. (Obr. 4.1 – červená barva)

4.3. Střešní nosník

Nosníky jsou navrženy z válcovaného profilu IPE 100 z oceli S355. Ve sklonu 10° jsou uloženy ve středu na schodišťovou trubku a na krajích na nosnou konstrukci rozhledny. Na nosníky jsou kloubově připojeny vaznice, které přenáší zatížení od střešního pláště. (Obr. 4.1 – hnědá barva)

4.4. Vaznice

Vaznice jsou tvořeny z válcovaného profilu IPE 80 z oceli S355. S osovou vzdáleností 540 mm tvoří rastr, který přenáší zatížení od střešního pláště do střešních nosníků. (Obr. 4.1 – zelená barva)



Obr. 4.1 Vnější konstrukční prvky

4.5. Nosník vyhlídkové plošiny

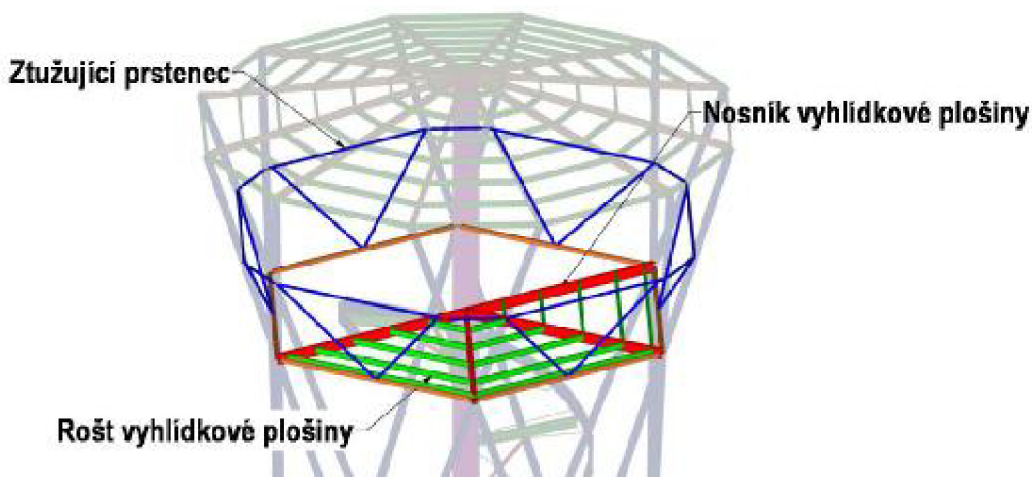
Nosníky vyhlídkové plošiny jsou navrženy z válcovaného profilu IPE 140 z oceli S355. Nosník je kloubově připojen k schodišťové trubce a nosné konstrukci. Přenáší užité a stálé zatížení od roštu vyhlídkové plošiny do konstrukce rozhledny. (Obr. 4.2 – žlutá barva)

4.6. Rošt vyhlídkové plošiny

Rošt vyhlídkové plošiny je tvořen z válcovaného profilu IPE 80 z oceli S355. Pruty jsou připojeny kloubově v osové vzdálenosti 600 mm a přenášejí zatížení od vyhlídkové plošiny přes nosníky až do nosné konstrukce. (Obr. 4.2 – zelená barva)

4.7. Ztužující prstenec

Ztužující prstenec tvoří duté profily RO 42,4x4 tvářené za studena z oceli S355. Jeho funkcí je ztuhit a stabilizovat horní část konstrukce a slouží také jako zábradlí. Pruty jsou připojeny kloubově k nosné konstrukci rozhledny. (Obr. 4.2 – modrá barva)



Obr. 4.2 Konstrukční prvky vyhlídkové plošiny

4.8. Středový sloup

Středový sloup je navržen z dutého profilu RO 355,6x10 z oceli S355. Prvek je umístěn do osy rozhledny a přenáší zatížení od schodiště do základové patky s kterou je kloubově připojen. Na sloup jsou připojeny nosníky vynášející rameno schodnice. Celý sloup je rozdělen na segmenty o délce 8 m a tyto segmenty jsou spojeny montážním spojem, který je zhotoven pomocí příruby. (Obr. 4.3 – hnědá barva)

4.9. Schodnice

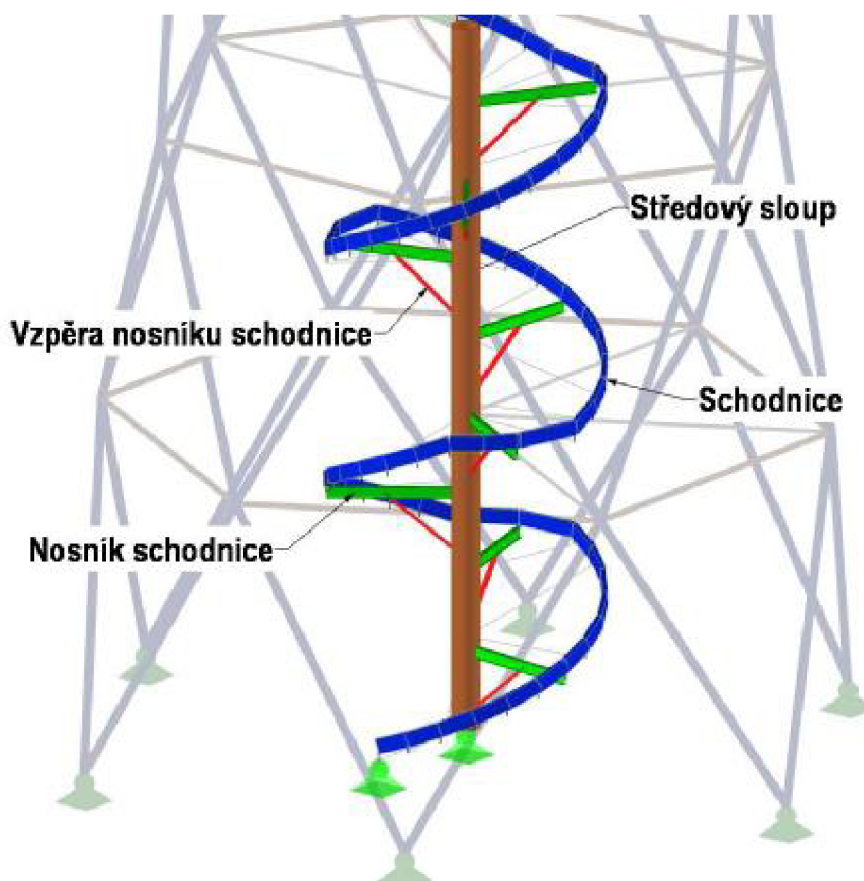
Schodnice je tvořena z dutého svařovaného obdelníku TO 180/60/6/6/6/6 z oceli S355. Je podepřena nosníkem s kterým je spojena kloubově a přenáší zatížení ze schodišťových stupňů přes nosníky do středového sloupu. (Obr. 4.3 – modrá barva)

4.10. Nosník schodnice

Nosník schodnice je tvořen z dutého profilu RO 101,6x5 z oceli S355. Prut je kloubově připojen ke středovému sloupu a podpírán vzpěrou. Přenáší zatížení od schodnice do středového sloupu. (Obr. 4.3 – zelená barva)

4.11. Vzpěra nosníku schodnice

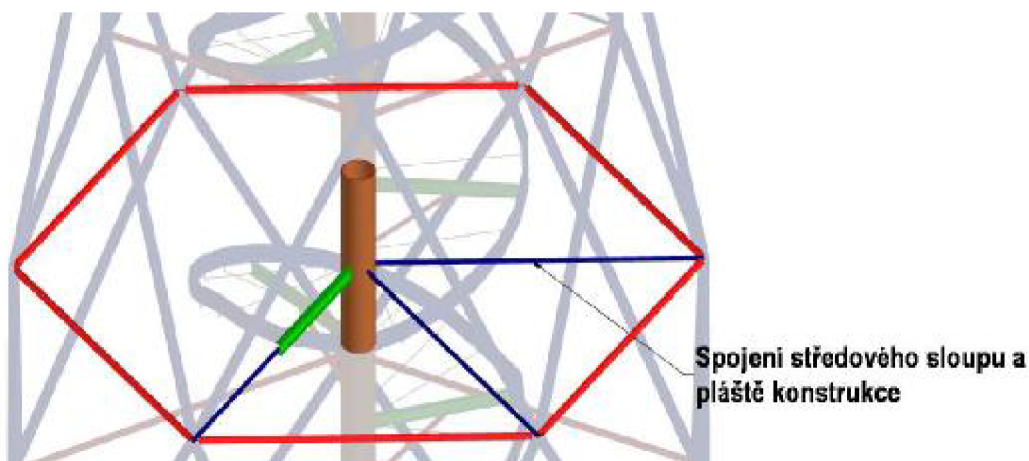
Vzpěra nosníku schodnice je navržena z dutého profilu RO 71,1x4 z oceli S355. S nosníkem a středovým sloupem je spojena kloubově. Má za úkol eliminovat namáhání stěny středového sloupu od působení nosníku vynášející schodnici. (Obr. 4.3 – červená barva)



Obr. 4.3 Konstrukční prvky schodiště

4.12. Spojení středového sloupu a pláště konstrukce

Propojení je navrženo z dutého profilu RO 48,3x4 z oceli S355. V každém místě vodorovného ztužení je s ohledem na schodišťový prostor provedeno kloubové připojení středového sloupu a pláště konstrukce. Propojení zajistí, aby se konstrukce chovala jako celek a bezpečně přenášela účinky od zatížení. (Obr. 4.4 – modrá barva)



Obr. 4.4 Spojení středového sloupu a pláště konstrukce

5. Výpočtový model

Nosná ocelová konstrukce rozhledny byla vymodelována a posouzena jako prostorová prutová konstrukce skládající se z uzlů a prutů podepřená v 7 kloubových podporách. Zatížení i posouzení bylo provedeno dle platných norem ČSN EN. Jednotlivé průřezy byly posouzeny v programu RF – STEEL EC3 v němž bylo ověřeno, že všechny prvky konstrukce vyhovují. Programem RF – DYNAM byla provedena modální analýza pro zjištění vlastní frekvence konstrukce.

6. Povrchová úprava

Ochrana proti korozi bude provedena třívrstevným nátěrem. Při provádění nátěru je důležité řídit se zejména technologickým postupem dodavatele nátěrového systému a také v souladu s platnými normami. Před nanesením první vrstvy nátěru bude provedena příprava povrchu tryskáním. Hodnota tryskání bude provedena na stupeň přípravy povrchu Sa 2,5 – velmi důkladné pískování, dle ČSN EN ISO 8501-1 včetně oprášení. Celkové množství nátěrové plochy je uvedeno v části 02_Porovnání variant (kapitola 6.3). Veškeré nanášení musí být provedeno vysokotlakým stříkáním.

Výrobce: Henelit

Počet nátěrových vrstev: 3

Podkladová (penetrační) vrstva: KONTAKTGRUND KT 008, odstín světle šedá, tloušťka vrstvy 20 µm

Základní vrstva: SUPRALVITE GRUNBESCHICHTUNG SAD 182-HS, odstín oxidově žlutá, tloušťka vrstvy 60 – 80 µm.

Vrchní vrstva: SUPRALVITE DECKBESCHICHTUNG SAD 00-HS P, odstín bílá RAL 9003, tloušťka vrstvy 80 µm.

7. Založení stavby

Nosná konstrukce rozhledny je založena na základovém pasu z betonu třídy C25/30. Tento základ je namáhán svislou tlakovou silou, vodorovnou příčnou silou a momentem působícím ve svislé rovině. V rámci diplomové práce je návrh založení pouze orientační. Pro podrobnější řešení je třeba provést geologický průzkum a vypracovat návrh založení této rozhledny v daných základových poměrech tak, aby nebyla překročena únosnost základové spáry a současně nebyla ohrožena stabilita základu.

8. Kotvení

Kotvení bylo navrženo v programu Profis Anchor od společnosti Hilti, který je založen na řídicím pokynu pro evropská technická schválení ETAG 001.

Kotvení nosné konstrukce rozhledny je navrženo přes patní plech tl. 20 mm o rozměrech 250x250 mm, na kterém jsou přivařeny plechy pro čepový spoj konstrukce. Do spodní stavby je ukotvení realizováno čtyřmi kotevními šrouby HIT-V M24x380 (8.8) a chemickou lepicí hmotou HIT-HY 200. Efektivní hloubka zakotvení $h_{ef,act} = 300$ mm. Kotvení střešového sloupu je navrženo přes patní plech tl. 20 mm, na kterém jsou osazeny šrouby pro připojení příruby středového sloupu. Ukotvení do spodní stavby je navrženo osmi kotevními šrouby HIT-V M20x180 (5.6) a chemickou lepicí hmotou HIT-HY 200. Efektivní hloubka zakotvení $h_{ef,act} = 100$ mm. Kotvení schodnice je navrženo přes patní plech tl. 10 mm, na kterém jsou osazeny šrouby pro připojení příruby schodnice. Ukotvení do spodní stavby je navrženo dvěma kotevními šrouby HIT-V M16x200 (5.6) a chemickou lepicí hmotou HIT-HY 200. Efektivní hloubka zakotvení $h_{ef,act} = 127$ mm. Podrobnější specifikace návrhu viz příloha P3, P4 a P5.

9. Postup montáže

Následující postup výstavby nosné ocelové konstrukce by měl být ověřen statickým výpočtem. Dále je potřeba doplnění montážního plánu pro výstavbu rozhledny.

Bod 1

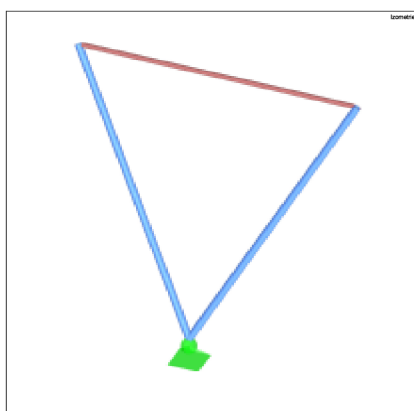
Realizace základů – sejmutí ornice, výkopové práce, podkladní beton, vyvázání výztuže základů, vybetonování základového pasu a patek – osazení kotev do čerstvého betonu, úprava okolí staveniště pro příjezd a manipulaci jeřábu.

Bod 2

Po vyvrání betonu se na zabetonované kotvy osadí styčnicková deska s přivařenými plechy a otvory pro čepový spoj. Deska se vyrovná jak v horizontálním tak vertikálním směru a podlijí betonem. Mezery mezi zabetonovanými kotvami a styčnickovou deskou se vyplní materiálem pro zajištění přenosu smykové síly.

Bod 3

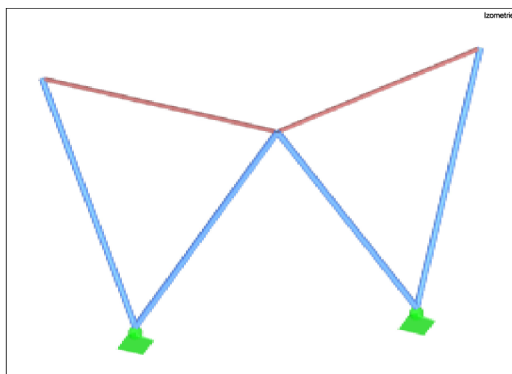
Základní stavebnicový prvek tvoří tři trubky, které jsou mezi sebou spojeny přivařením přes styčnickovou deskou a šroubovým spojem. Vznikne segment ve tvaru trojúhelníku, který se pomocí čepu připevní k zhotoveným podpěrám.



Obr. 9.1 Bod 3

Bod 4

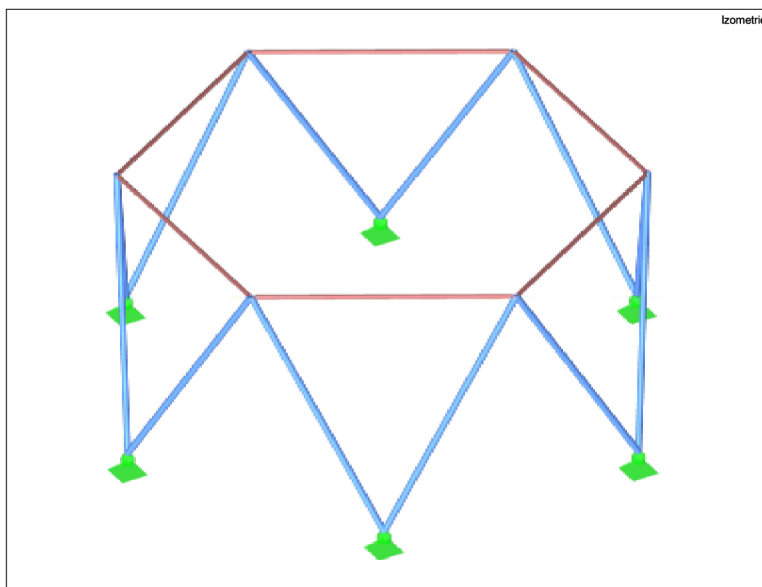
Postupně se osazují sousední segmenty, které jsou mezi sebou spojeny montážním spojem. Konstrukci je nutno jistit montážním lešením do bodu 5.



Obr. 9.2 Bod 4

Bod 5

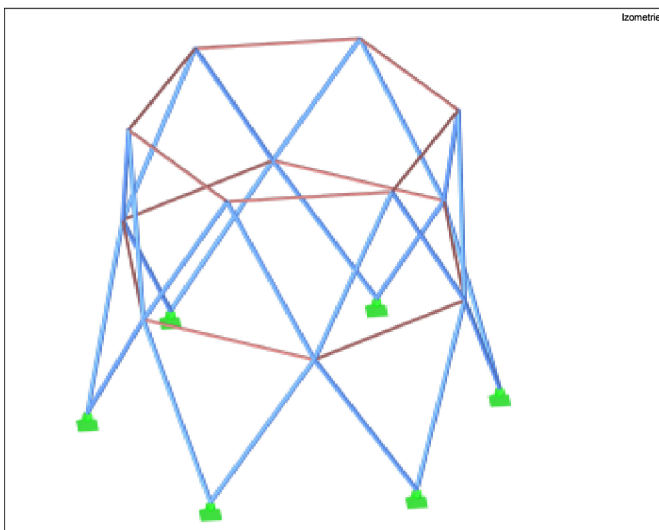
Opakují se body 3 a 4 dokud nevznikne uzavřená konstrukce, která je stabilní a nepotřebuje jistit montážním lešením.



Obr. 9.3 Bod 5

Bod 6

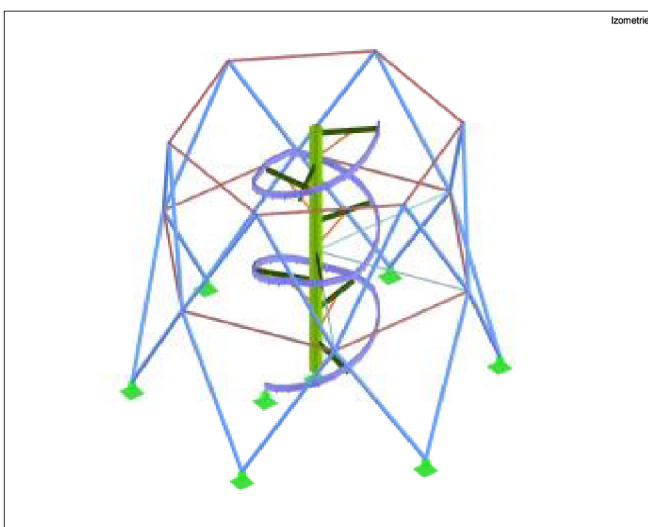
Na konstrukci z bodu 5 se provede další patro, čímž vznikne prostor pro vložení konstrukce schodiště.



Obr. 9.4 Bod 6

Bod 7

Do prostoru uprostřed se vloží celistvá konstrukce schodiště o délce 8 m a spojí se s konstrukcí z bodu 6. Následuje opakování bodu 3 až 6 na dalších výškových úrovních.



Obr. 9.5 Bod 7

Bod 8

U montáže vyhlídkové plošiny a konstrukce střechy se postupuje po jednotlivých prvcích, které se postupně smontují šroubovými spoji.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

D - STATICKÝ VÝPOČET

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ondřej Komárek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN BARNAT, Ph.D.

BRNO 2019

Obsah

1. Zatížení	8
1.1. Stálá zatížení	8
1.1.1. Vlastní tíha	8
1.1.2. Ostatní stálé zatížení	8
1.2. Proměnné zatížení – užité.....	11
1.2.1. Užité zatížení na vyhlídkové plošině.....	11
1.2.2. Užité zatížení na schodiště	12
1.3. Proměnné zatížení – klimatické.....	13
1.3.1. Zatížení sněhem	13
1.3.2. Zatížení větrem	16
1.3.2.1. Zatížení větrem na přístřešek.....	18
1.3.2.2. Zatížení větrem na konstrukční prvky.....	21
1.3.2.3. Součinitel síly větru c_f pro kruhové válce kapitola 7.9 [4].....	23
1.3.2.4. Součinitel síly větru c_f pro nosné prvky s otevřenými průřezy kapitola 7.7 [4] 27	
2. Kombinace zatěžovacích stavů	30
2.1. Mezní stav únosnosti	31
2.2. Mezní stav použitelnosti.....	31
3. Dynamické vlastnosti konstrukce.....	31
4. Stabilitní analýza I.....	33
5. Dimenzování vybraných detailů	35
5.1. SPOJ HLAVNÍ NOSNÉ KONSTRUKCE – tah.....	35
5.1.1. Geometrie a materiálové charakteristiky	35
5.1.2. Rozteče.....	36
Směr X ↔ Směr Y ↓	36
5.1.3. Návrhové vnitřní síly.....	36
5.1.1. Posouzení svaru trubky.....	37

5.1.2.	Posouzení šroubu na tahovou sílu	38
5.1.3.	Posouzení na vliv páčení	38
5.1.4.	Posouzení šroubu na smyk – KZ248.....	39
5.1.5.	Kombinace stříhu a tahu.....	39
5.1.6.	Posouzení na otláčení – KZ248	39
5.1.7.	Posouzení na protlačení.....	40
5.1.8.	Posouzení šroubu na smyk – KZ91.....	40
5.1.9.	Posouzení šroubu na otláčení – KZ91.....	40
5.2.	PŘÍPOJ VODOROVNÉHO ZTUŽENÍ.....	41
5.2.1.	Geometrie	41
5.2.2.	Návrhové vnitřní síly.....	41
5.2.3.	Posouzení svaru	42
5.3.	PŘÍPOJ PRUTU SPOJUJÍCÍ NOSNOU KONSTRUKCI A STŘEDOVÝ SLOUP 42	
5.3.1.	Geometrie a materiálové charakteristiky	42
5.3.2.	Rozteče.....	43
5.3.3.	Návrhové vnitřní síly.....	43
5.3.4.	Posouzení svaru	43
5.3.1.	Posouzení šroubu na smyk	43
5.3.2.	Posouzení šroubu na otláčení	44
5.3.3.	Posouzení oslabeného průřezu.....	44
5.4.	KOTVENÍ NOSNÉ KONSTRUKCE ČEPEM.....	45
5.4.1.	Návrhové vnitřní síly.....	45
5.4.2.	Geometrie a materiálové charakteristiky	47
5.4.3.	Únosnost čepu ve stříhu.....	48
5.4.4.	Únosnost plechu a čepu v otláčení.....	48
5.4.5.	Únosnost čepu v ohybu.....	48
5.4.6.	Únosnost čepu při kombinaci stříhu a ohybu	48
5.4.7.	Posouzení svaru – styčnickového plechu čepu.....	48

5.4.8.	Posouzení oslabeného průřezu.....	49
5.5.	PŘIPOJENÍ STŘEŠNÍHO NOSNÍKU NA STŘEDOVÝ SLOUP	49
5.5.1.	Návrhové vnitřní síly.....	49
5.5.2.	Geometrie a materiálové charakteristiky	50
5.5.3.	Rozteče.....	51
5.5.4.	Posouzení šroubů na smyk	51
5.5.5.	Posouzení na otláčení.....	51
5.5.6.	Posouzení povrchu pásu středového sloupu	52
5.6.	PŘIPOJENÍ STŘEŠNÍHO NOSNÍKU NA OBVODOVOU KONSTRUKCI.....	52
5.6.1.	Návrhové vnitřní síly.....	52
5.6.2.	Geometrie	53
5.6.3.	Rozteče.....	54
5.7.	PŘÍPOJ VAZNICE NA STŘEŠNÍ NOSNÍK.....	54
5.7.1.	Návrhové vnitřní síly.....	54
5.7.2.	Geometrie a materiálové charakteristiky	55
5.7.3.	Rozteče.....	55
5.7.4.	Posouzení šroubů na smyk	55
5.7.5.	Posouzení na otláčení.....	56
5.8.	PŘIPOJENÍ NOSNÍKU VYHLÍDKOVÉ PLOŠINY NA STŘEDOVÝ SLOUP ..	56
5.8.1.	Návrhové vnitřní síly.....	56
5.8.2.	Geometrie a materiálové charakteristiky	57
5.8.3.	Rozteče.....	57
5.8.4.	Posouzení svaru „konzolky“	57
5.9.	PŘIPOJENÍ NOSNÍKU VYHLÍDKOVÉ PLOŠINY NA NOSNOU KONSTRUKCI	
	58	
5.9.1.	Návrhové vnitřní síly.....	58
5.9.2.	Geometrie a materiálové charakteristiky	59
5.9.3.	Rozteče.....	59
5.9.4.	Posouzení šroubů na smyk	59

5.9.5.	Posouzení na otláčení.....	60
5.9.6.	Posouzení svaru	60
5.10.	PŘÍPOJENÍ ROŠTU VYHLÍDKOVÉ PLOŠINY NA NOSNÍK VYHLÍDKOVÉ PLOŠINY.....	61
5.10.1.	Návrhové vnitřní síly	61
5.10.2.	Geometrie a materiálové charakteristiky	62
5.10.3.	Rozteče	62
5.10.4.	Posouzení šroubů na smyk	62
5.10.5.	Posouzení na otláčení	63
5.10.6.	Posouzení svaru.....	63
5.11.	PŘÍPOJENÍ NOSNÍKU SCHODIŠTĚ NA STŘEDOVÝ SLOUP.....	63
5.11.1.	Návrhové vnitřní síly	63
5.11.2.	Geometrie.....	64
5.11.3.	Posouzení styčnicku vzpěry a středového sloupu – typ Y	64
5.12.	MONTÁŽNÍ SPOJ SCHODNICE	67
5.12.1.	Návrhové vnitřní síly	67
5.12.2.	Geometrie a materiálové charakteristiky	68
5.12.3.	Rozteče	68
5.12.4.	Posouzení šroubů na smyk	68
5.12.5.	Posouzení na tahovou sílu	69
5.12.6.	Posouzení na vliv páčení.....	69
5.13.	MONTÁŽNÍ SPOJ STŘEDOVÉHO SLOUPU	70
5.13.1.	Geometrie a materiálové charakteristiky.....	70
5.13.2.	Návrhové vnitřní síly	71
5.13.3.	Posouzení šroubu na tah.....	72
5.13.1.	Posouzení šroubů na smyk	73
5.13.2.	Posouzení na otláčení	73
6.	Dimenzování hlavních prvků nosné konstrukce	74
6.1.	Trubka obvodového pláště.....	74

6.1.1.	Vzpěr	74
6.1.2.	Ohyb a tlak.....	75
6.2.	Nosník střešního pláště.....	77
6.2.1.	Tlak a ohyb	78
6.2.2.	Ohyb	80
6.2.3.	Mezní stav použitelnosti - prut č.609, KZ509.....	81
6.3.	Rošt střešního pláště	81
6.3.1.	Tlak a ohyb	82
6.3.2.	Ohyb	85
6.3.3.	Mezní stav použitelnosti - prut č.675, KZ484.....	85
6.4.	Nosník vyhlídkové plošiny	86
6.4.1.	Ohyb	86
6.4.2.	Mezní stav použitelnosti - prut č.704, KZ389.....	87
6.5.	Rošt vyhlídkové plošiny.....	87
6.5.1.	Ohyb	88
6.5.2.	Mezní stav použitelnosti - prut č.710, KZ400.....	89
6.6.	Vodorovný ztužující nosník	89
6.6.1.	Ohyb a tlak.....	89
6.7.	Nosník schodnice.....	92
6.7.1.	Ohybový moment a smyková síla.....	92
6.8.	Vzpěra nosníku schodnice	93
6.8.1.	Posouzení na vzpěr	93
6.9.	Prut spojující schodišťovou trubku a plášť	94
6.9.1.	Ohyb a tlak.....	95
6.9.2.	Mezní stav použitelnosti - prut č.156, KZ436.....	97
6.10.	Schodišťová trubka.....	97
6.10.1.	Ohyb a tlak	98
6.11.	Ztužující prstenec	100
6.11.1.	Ohyb a tlak	101

6.12.	Schodnice.....	103
6.12.1.	Kroucení.....	104
6.12.2.	Ohybový moment a smyková síla	104
6.12.3.	Mezní stav použitelnosti - prut č.395, KZ464	105

1. Zatížení

1.1. Stálá zatížení

1.1.1. Vlastní tíha

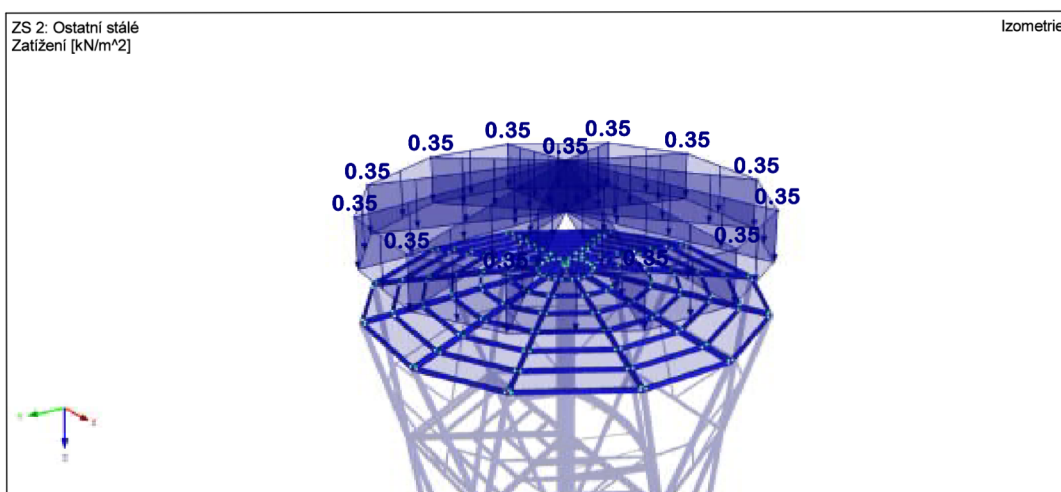
Zatížení od vlastní tíhy konstrukce bylo automaticky spočítáno v programu Dlubal RFEM 5. Tíha nosné ocelové konstrukce je 15 095 kg.

1.1.2. Ostatní stálé zatížení

a) Zatížení od střechy

Střešní plášť je tvořený ze střešní krytiny SATJAM Rombo Premium 245, který je připevněn k bednění z OSB desek. Mezi střešní plášť a OSB desky je vložena pojistná hydroizolační vrstva. Na spodní straně je konstrukce střechy zaklopena pohledovými palubkami.

<u>Střešní plášť</u>	<u>g_k[kN/m²]</u>
Střešní krytina SATJAM 245	0,057
Pojistná hydroizolace	0,015
Deska OSB 25 mm	0,175
<u>Palubky tl.18 mm</u>	<u>0,100</u>
Celkem:	0,347 kN/m ²

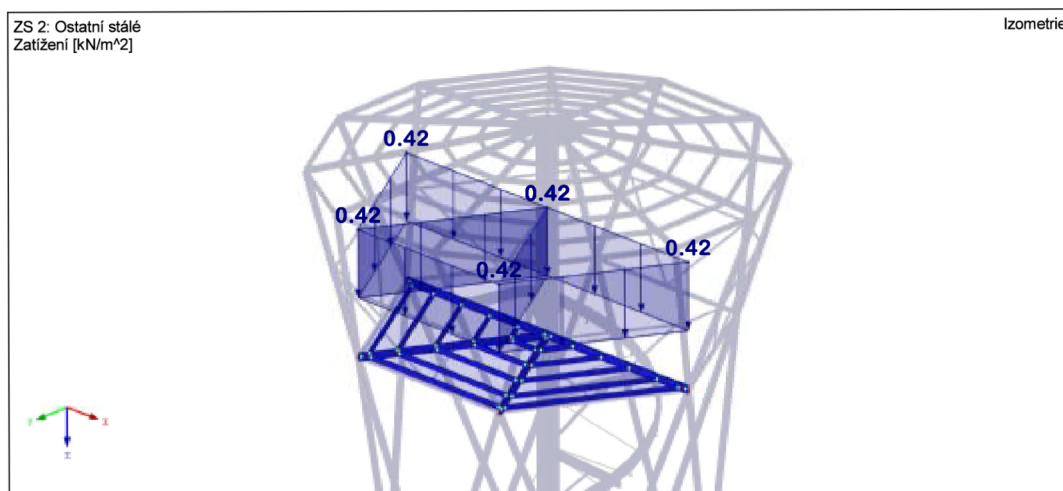


Obr. 1.1 Ostatní stálé – střešní plášť

b) Zatížení od podlahy vyhlídkové plošiny

Podlaha vyhlídkové plošiny je tvořená ze svařovaných roštů s oky 34x38 mm a výškou roštu 35 mm. Tloušťka lamel je 4 mm.

Podlaha vyhlídkové plošiny	g_k [kN/m ²]
Hmotnost roštu	0,420
Celkem:	0,420 kN/m ²

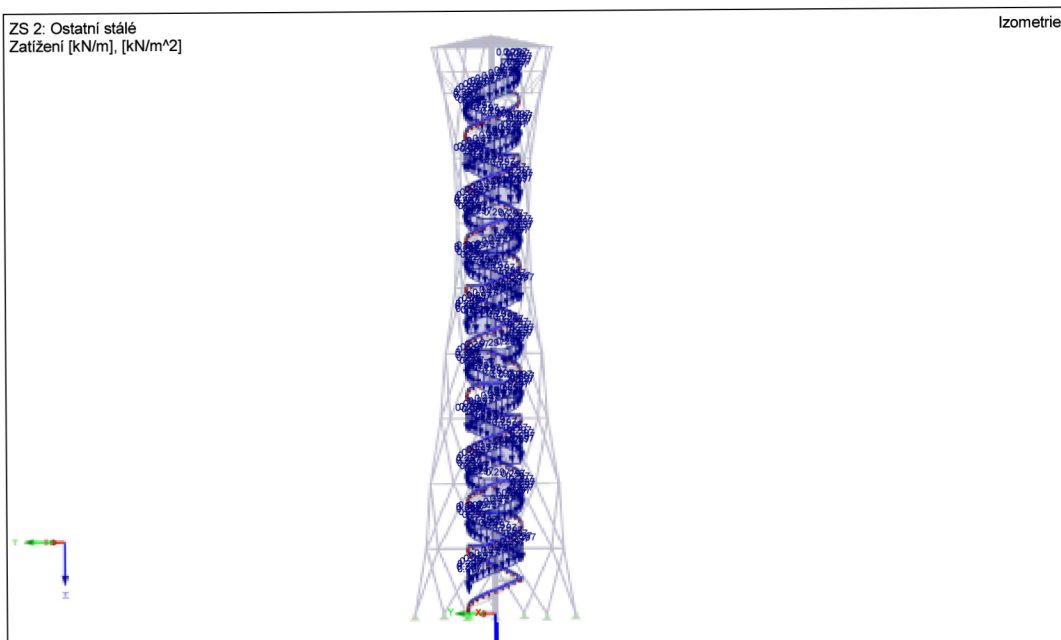


Obr. 1.2 Ostatní stálé – podlaha vyhlídkové plošiny

c) Zatížení schodnic

Schodišťové stupně a mezipodesty jsou tvořeny ze svařovaného roštu. Šířka schodiště je 1250 mm. Zábradlí schodiště je tvořeno z pozinkovaných trubek a výplň mezi sloupky z nerezové sítě od firmy X-TEND.

Zatížení schodnice	g_k [kN/m]
Svařovaný rošt 1/2	0,210
Madlo – trubka 42,4x3,2 mm	0,031
Sloupek – trubka 48,3x4 mm	0,022
Nerezová síť CX2 40x69 mm	0,019
Příslušenství	0,015
Celkem:	0,297 kN/m

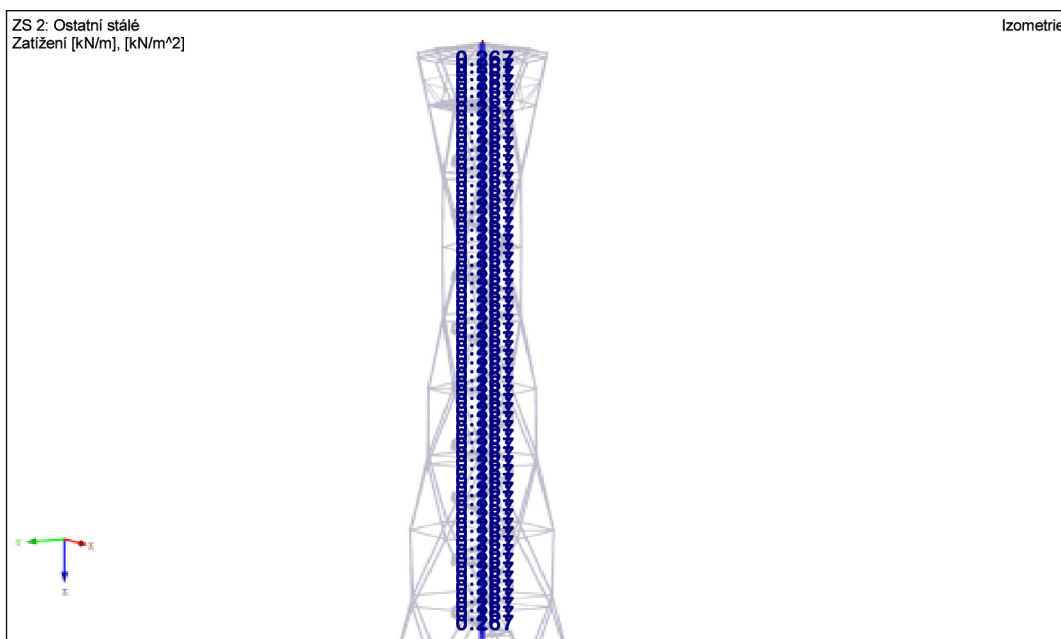


Obr. 1.3 Ostatní stálé – schodnice

d) Ztížení schodišťové trubky

Přepočteno na metr délky

Zatížení na potrubí	g_k [kN/m]
Svařovaný rošt 1/2	0,252
<u>Příslušenství</u>	<u>0,015</u>
Celkem:	0,267 kN/m



Obr. 1.4 Ostatní stálé – schodišťová trubka

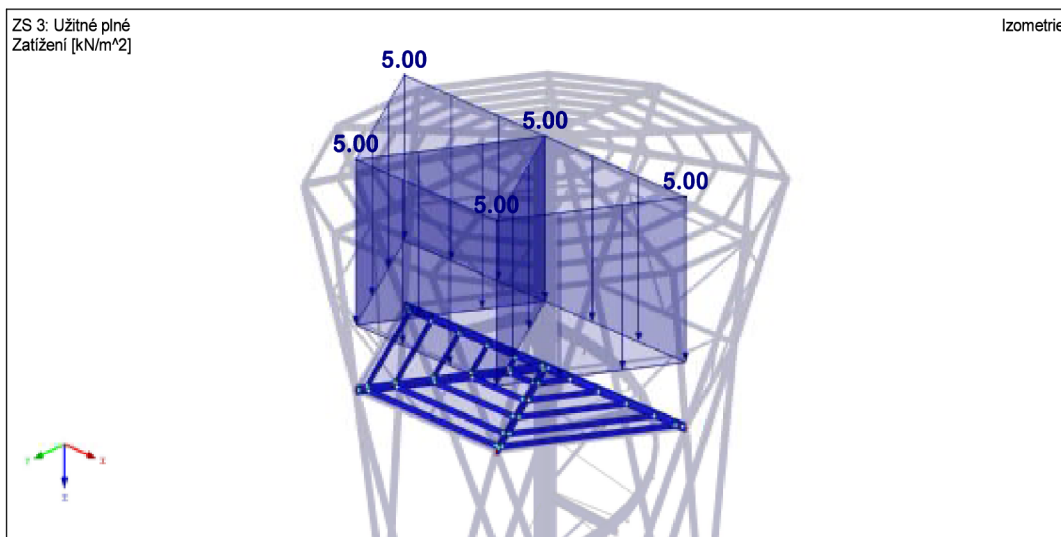
1.2. Proměnné zatížení – užité

1.2.1. Užité zatížení na vyhlídkové plošině

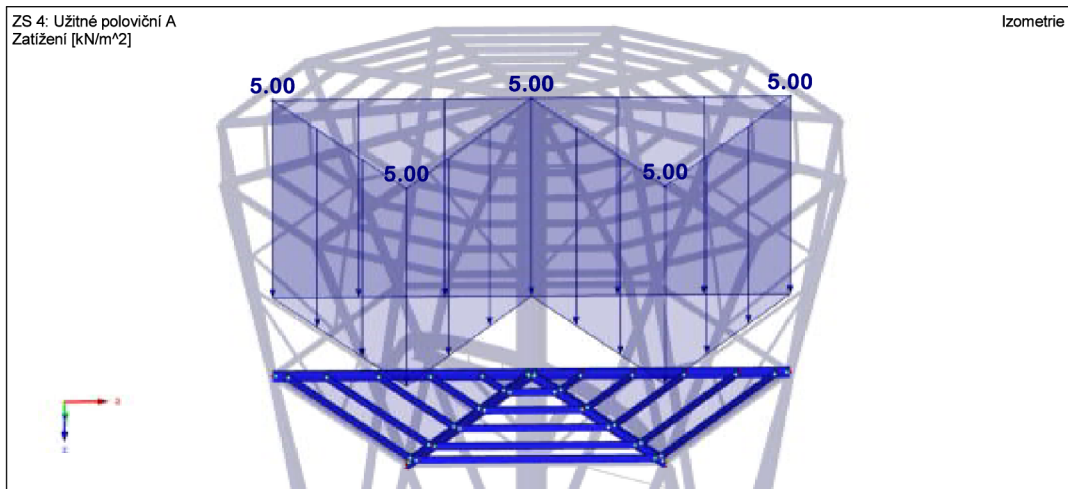
Dle ČSN EN 1991-1-1, tab.6.1 - kategorie C5.

Zatížení na podlahu: $q_k = 5 \text{ kN/m}^2$

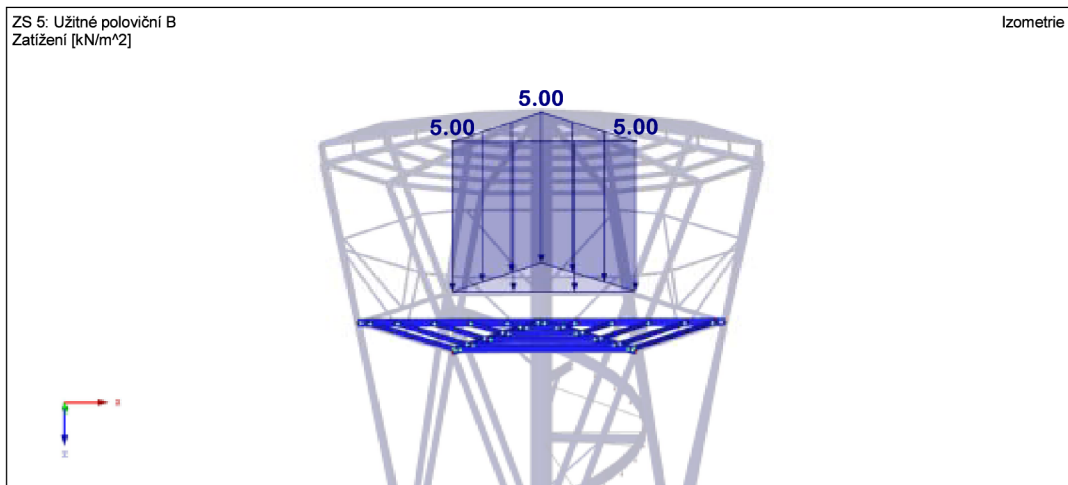
Vodorovné zatížení na zábradlí: $q_k = 5 \text{ kN/m}$



Obr. 1.5 Užité zatížení na vyhlídkovou plošinu – plné



Obr. 1.6 Užité zatížení na vyhlídkovou plošinu – poloviční A



Obr. 1.7 Užité zatížení na vyhlídkovou plošinu – poloviční B

1.2.2. Užité zatížení na schodiště

Dle ČSN EN 1991-1-1, tab.6.2(CZ), tab.6.12 (CZ) - kategorie A.

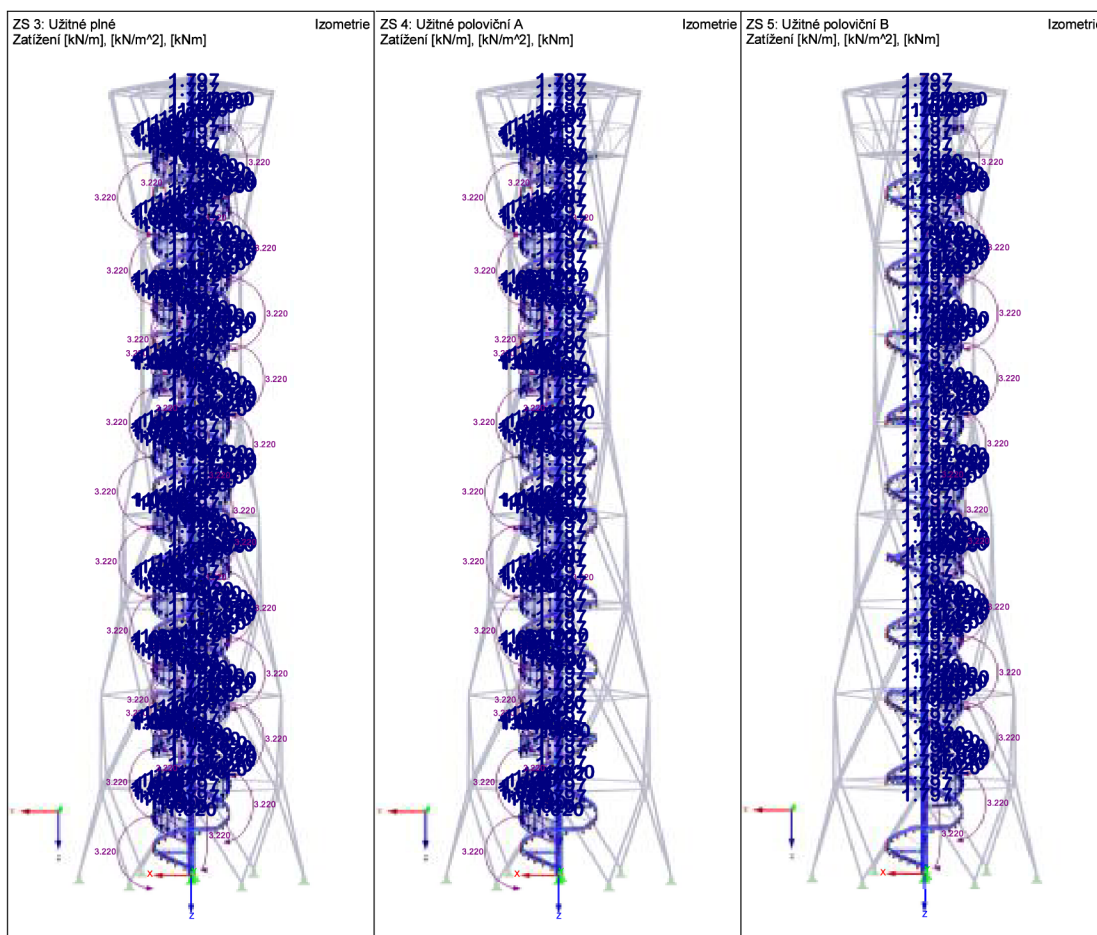
Plošné: $q_k = 3 \text{ kN/m}^2$

Vodorovné zatížení na zábradlí: $q_k = 1 \text{ kN/m}$

Vodorovné zatížení od zábradlí na schodnici $M_{qk} = 1,2 * 1 = 1,2 \text{ kNm/m}$

Plošné zatížení přepočteno na schodnici $q_k = 1,497 \text{ kN/m}$

Plošné zatížení přepočteno na schodišťovou trubku $q_k = 1,797 \text{ kN/m}$

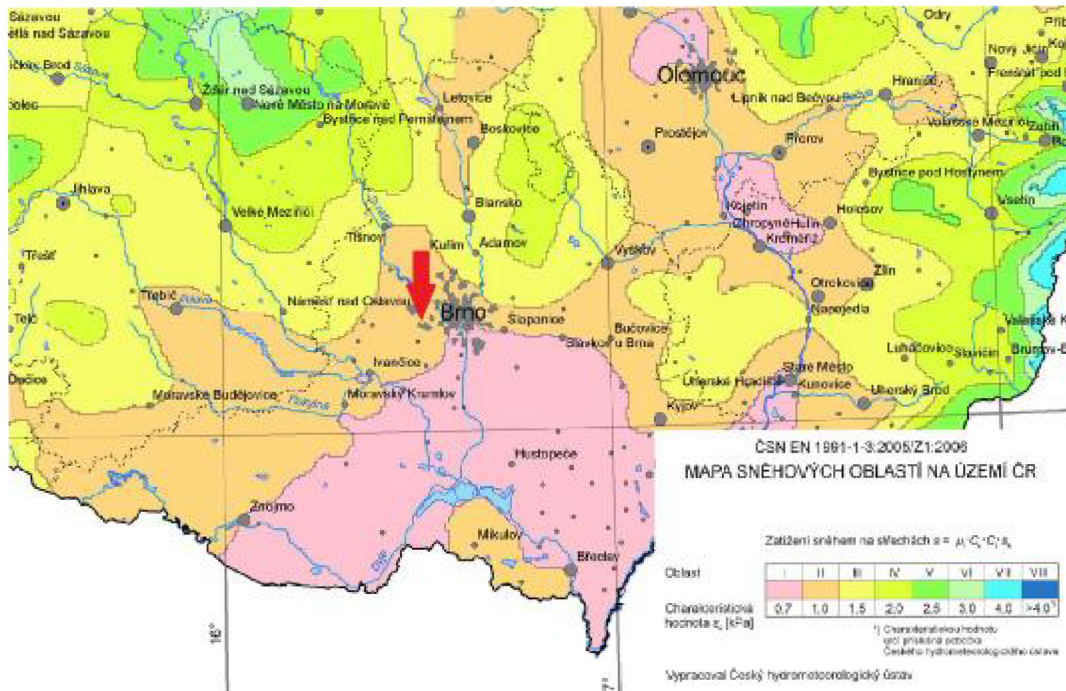


Obr. 1.8 Užité zatížení na schodiště – plné, poloviční A, poloviční B

1.3. Proměnné zatížení – klimatické

1.3.1. Zatížení sněhem

Na mapě je červenou šipkou označené umístění rozhledny. Zatížení sněhem je provedeno do třech zatěžovacích stavů. Tvar střech jsem si pro potřebu užití normy ČSN EN 1991-1-3 mírně zidealizoval na tvar sedlové střechy (obr. 5.3 [2]).



Obr. 1.9 Mapa sněhových oblastí [15]

Sněhová oblast (Brno): **II** $s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$

Součinitel tvaru: $\mu_1 = 0,8$ - pro sedlové střechy $0^\circ < \alpha < 30^\circ$

Součinitel expozice: $C_e = 1,0$ - typ krajiny - normální

Tepelný součinitel: $C_t = 1,0$ - nedochází k odtávání sněhu

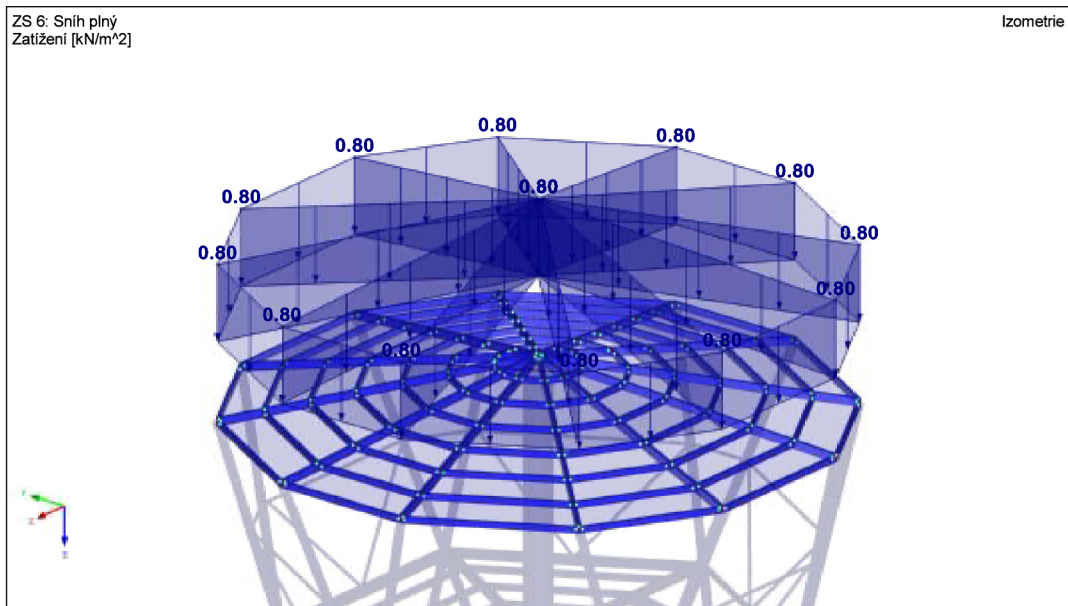
Zatížení sněhem na střechu

Nenavátý

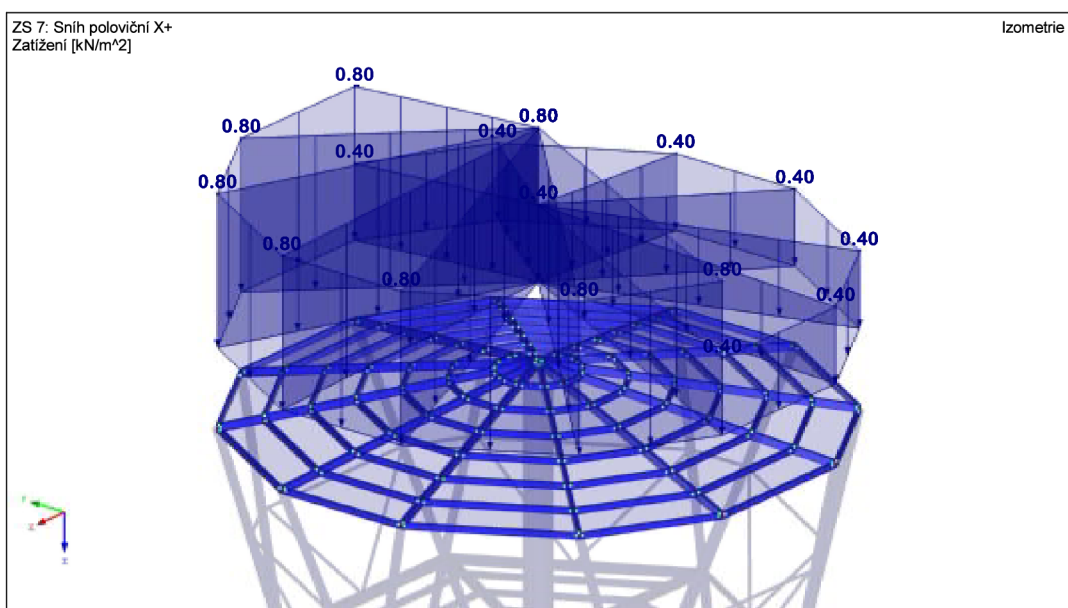
$$s_k = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

Navátý

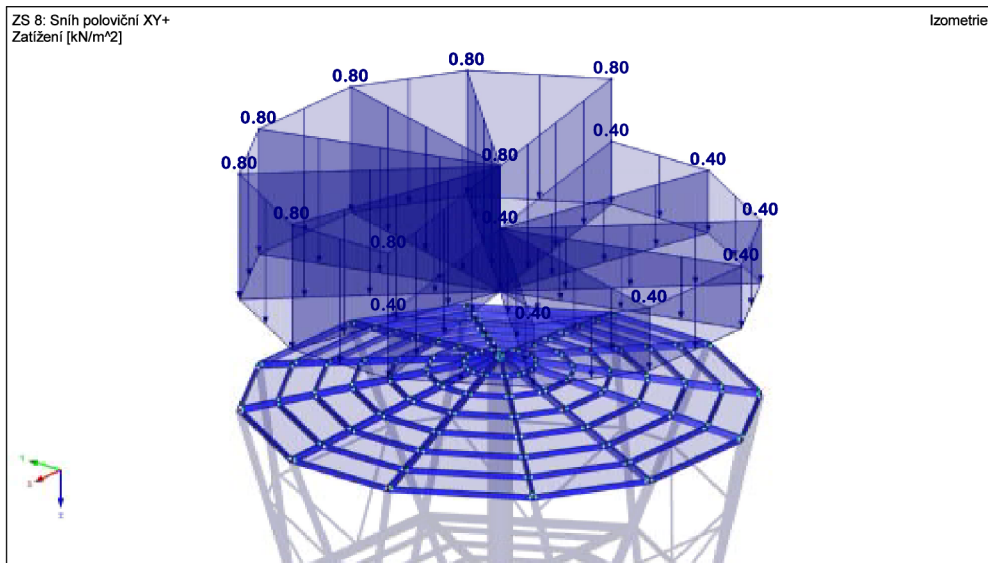
$$s_k = (0,5 \cdot \mu_1) \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = (0,5 \cdot 0,8) \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,4 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 1.10 Zatížení sněhem – plný

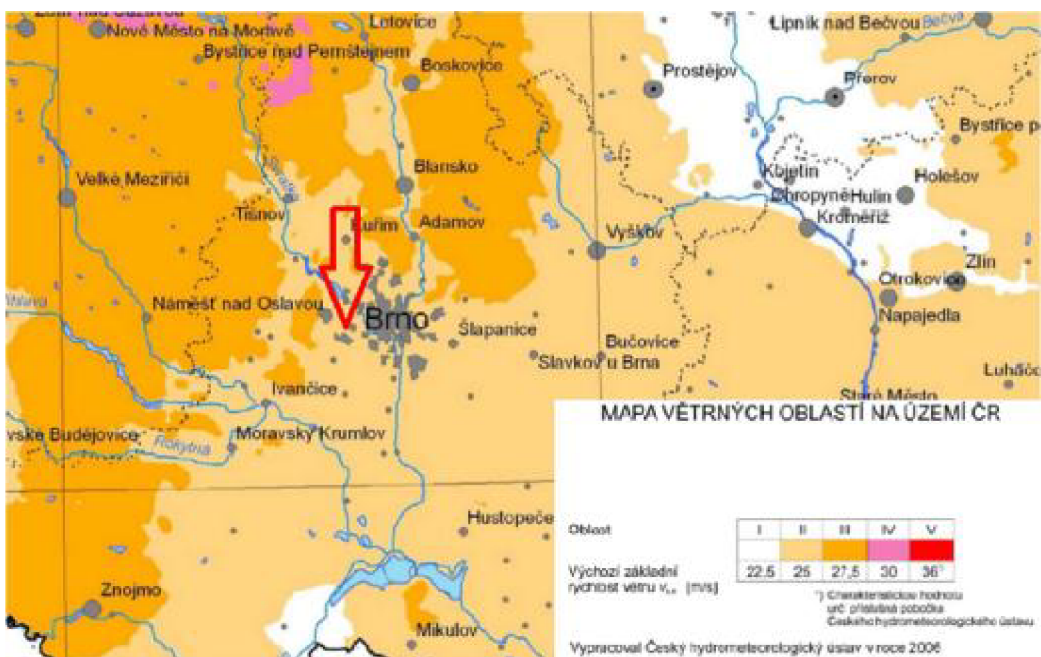


Obr. 1.11 Ztížení sněhem – poloviční X+



Obr. 1.12 Ztížení sněhem – poloviční XY+

1.3.2. Zatížení větrem



Obr. 1.13 Mapa větrných oblastí [16]

Větrná oblast (Brno): 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: $C_{season} = 1,0$

H[m]	D [m]
0	10
4	9
8	8
12	7
16	6
20	5
24	4,4
28	5
32	6
35	7,4
průměrná šířka:	b =6,78 m

Základní rychlost větru:

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

Střední rychlost větru:

$$v_m(z_s) = c_r(z_s) \cdot c_o(z_s) \cdot v_b = 0,918 \cdot 1,0 \cdot 25 = 22,95 \text{ m/s}$$

kde: $c_r(z)$ je součinitel terénu

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{pro} \quad z_{min} = 5 \leq z \leq z_{max} = 200$$

$$c_r(z_s) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{21,3}{0,3}\right) = 0,918$$

$c_o(z)$ - uvažován 1,0

kde: k_r je součinitel terénu

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

$$z_0 = 0,3 \text{ m}$$

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

Turbulence větru:

$$I_v(z_s) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z_s}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{21,3}{0,3}\right)} = 0,235 \quad \text{pro} \quad z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

kde: $k_I = 1,0$ - součinitel turbulence

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

Maximální dynamický tlak

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$$

$$q_p(z_s) = [1 + 7 \cdot 0,235] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 22,95^2 = 0,870 \text{ kN/m}^2$$

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

z_e [m]	v_b [m/s]	k_r	$c_r(z)$	$v_m(z)$ [m/s]	$I_v(z)$	$q_p(z)$ [kN/m ²]
8	25	0,215	0,707	17,68	0,305	0,612
16	25	0,215	0,857	21,41	0,251	0,791
21,3	25	0,215	0,918	22,95	0,235	0,870
24	25	0,215	0,944	23,60	0,228	0,904
35,5	25	0,215	1,028	25,70	0,209	1,018

Tab. 1.1 Maximální dynamický tlak pro různé výškové úrovně

1.3.2.1. Zatížení větrem na přístřešek

$$\alpha = 10^\circ$$

$$h = 35,5 \text{ m}$$

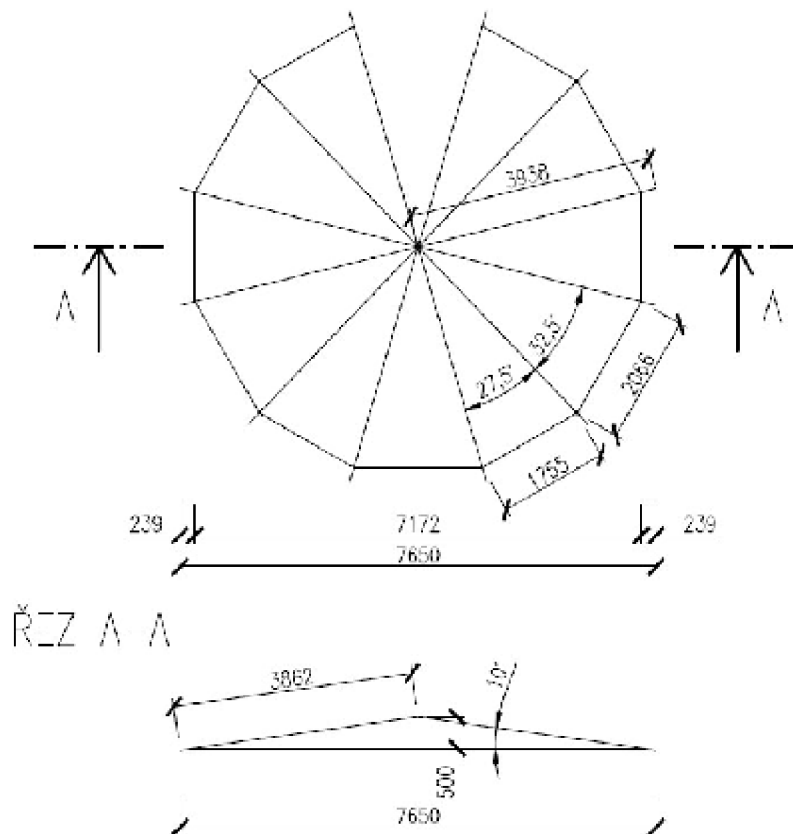
$$q_p(h) = 1,018 \text{ kN/m}^2$$

$$\varphi = 0$$

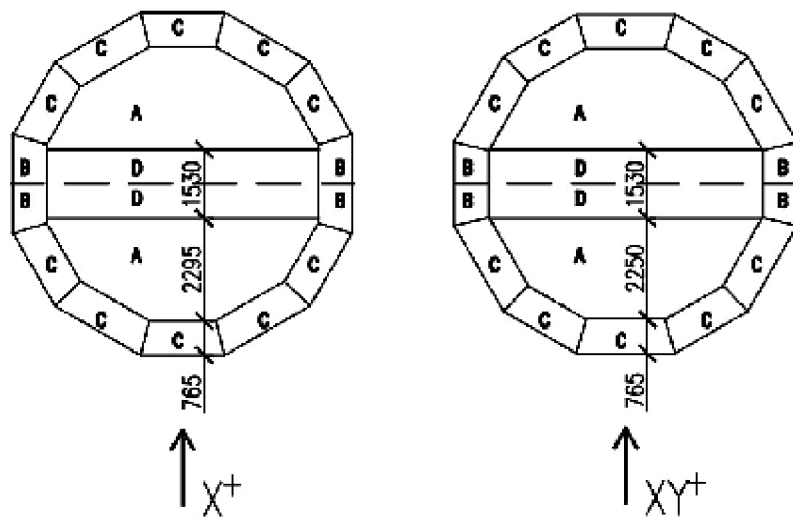
$$w_{net} = c_{p,net} \cdot q_p(h)$$

dle tab. 7.7 [4]					
Tlak					
σ^+		oblast A	oblast B	oblast C	oblast D
	$C_{p,net}$	0,7	1,8	1,4	0,4
	W_{net}	0,71	1,83	1,43	0,41
σ^-		oblast A	oblast B	oblast C	oblast D
	$C_{p,net}$	0,6	1,4	0,8	1,1
	W_{net}	0,61	1,43	0,81	1,12
Sání					
σ^+		oblast A	oblast B	oblast C	oblast D
	$C_{p,net}$	-0,7	-1,5	-1,4	-1,4
	W_{net}	-0,71	-1,53	-1,43	-1,43
σ^-		oblast A	oblast B	oblast C	oblast D
	$C_{p,net}$	-0,8	-1,3	-1,5	-0,6
	W_{net}	-0,81	-1,32	-1,53	-0,61

Tab. 1.2 Hodnoty součinitelů $c_{p,net}$ pro sedlové střechy



Obr. 1.14 Schéma půdorysu střechy



Obr. 1.15 Uvažované oblasti na přístřešku

1.3.2.2. Zatížení větrem na konstrukční prvky

Síla od větru F_w působící na konstrukci

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$

$$C_s C_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 \cdot R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s)} = \frac{1 + 2 \cdot 3,992 \cdot 0,235 \cdot \sqrt{0,618 \cdot 0,023}}{1 + 7 \cdot 0,235} = 0,95$$

$$z_s = 0,6 \cdot h = 0,6 \cdot 35,5 = 21,3 \text{ m}$$

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}}$$

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(2,607 \cdot 600)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(2,607 \cdot 600)}} = 3,992 \geq 3,00$$

$$T = 600 \text{ s}$$

$$v = n_1 \cdot \sqrt{\frac{R^2}{B^2 \cdot R^2}} = 2,049 \cdot \sqrt{\frac{0,023}{0,618 \cdot 0,023}} = 2,607 \geq 0,08 \text{ Hz}$$

Základní frekvence konstrukce

$$\frac{46}{h} = \frac{46}{35,5} = 1,268 \text{ Hz} - \text{NORMA [4]}$$

$$n_1 = n_{1x} = 2,049 \text{ Hz} - \text{RF-DYNAM}$$

Rezonanční část odezvy:

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s, n_1) \cdot R_h(\eta_h) \cdot R_b(\eta_b) = \frac{\pi^2}{2 \cdot 0,191} \cdot 0,038 \cdot 0,066 \cdot 0,295 = 0,023$$

Celkový logaritmičtý dekrement útlumu:

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d = 0,05 + 0,112 + 0,0 = 0,162$$

Logaritmičtý dekrement konstrukčního útlumu tab. F.2 [4]

$$\delta_s = 0,05$$

Logaritmičtý dekrement aerodynamického útlumu při základním tvaru kmitání:

$$\delta_a = \frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot v_m(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot m_e} = \frac{1,0 \cdot 1,25 \cdot 6,78 \cdot 22,95}{2 \cdot 2,049 \cdot 424,3} = 0,112$$

$$m_e = \frac{m}{H} = \frac{15\,095}{35,5} = 424,3 \text{ kg/m}$$

$m = 15\,095 \text{ kg}$ (hmotnost převzatá z modelu RFEM: vl. tíha+ ostatní stálé)

Logaritmický dekrement útlumu od zvláštních zařízení:

$$\delta_d = 0,0$$

Výkonová spektrální hustota:

$$S_L(z_s, n) = \frac{6,8 \cdot f_L(z_s, n)}{(1 + 10,2 \cdot f_L(z_s, n))^{5/3}} = \frac{6,8 \cdot 6,835}{(1 + 10,2 \cdot 6,835)^{5/3}} = 0,038$$

Bezrozměrná frekvence:

$$f_L(z_s, n) = n \cdot \frac{L(z)}{v_m(z_s)} = 2,049 \cdot \frac{76,6}{22,95} = 6,835$$

Měřítko délky turbulence:

$$L_{(z_s)} = L_t \cdot \left(\frac{z_s}{z_t}\right)^\alpha = 300 \cdot \left(\frac{21,3}{200}\right)^{0,61} = 76,6$$

Referenční výška:

$$z_t = 200 \text{ m}$$

Referenční měřítko výšky:

$$L_t = 300 \text{ m}$$

$$\alpha = 0,67 + 0,05 \cdot \ln(z_0) = 0,67 + 0,05 \cdot \ln(0,3) = 0,61$$

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot \eta_h}) = \frac{1}{14,58} - \frac{1}{2 \cdot 14,58^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot 11,78}) = 0,066$$

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot \eta_b}) = \frac{1}{2,78} - \frac{1}{2 \cdot 2,78^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot 2,25}) = 0,295$$

$$\eta_h = \frac{4,6 \cdot h}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, n_1) = \frac{4,6 \cdot 35,5}{76,6} \cdot 6,835 = 14,58$$

$$\eta_b = \frac{4,6 \cdot b}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, n_1) = \frac{4,6 \cdot 6,78}{76,6} \cdot 6,835 = 2,78$$

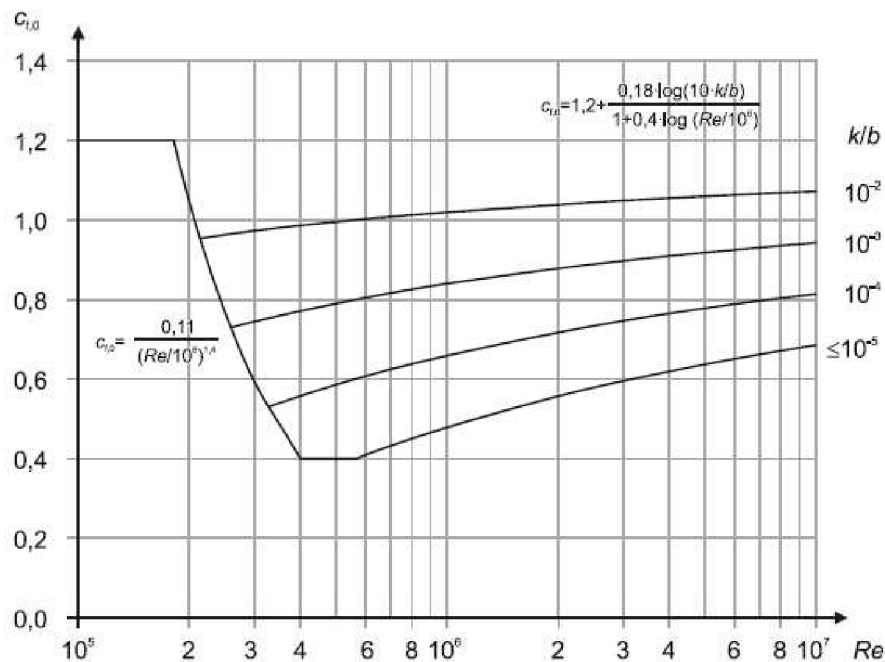
Součinitel odezvy pozadí:

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \left(\frac{b+h}{L(z_s)}\right)^{0,63}} = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \left(\frac{6,78 + 35,5}{76,6}\right)^{0,63}} = 0,618$$

1.3.2.3. Součinitel síly větru c_f pro kruhové válce kapitola 7.9 [4]

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda$$

$c_{f,0}$ – součinitel síly pro válce



Obrázek 7.28 – Součinitel síly $c_{f,0}$ pro kruhové válce bez vlivu proudění kolem volných konců a pro různé ekvivalentní drsnosti k/b

$$Re = \frac{b \cdot v(z)}{\nu}$$

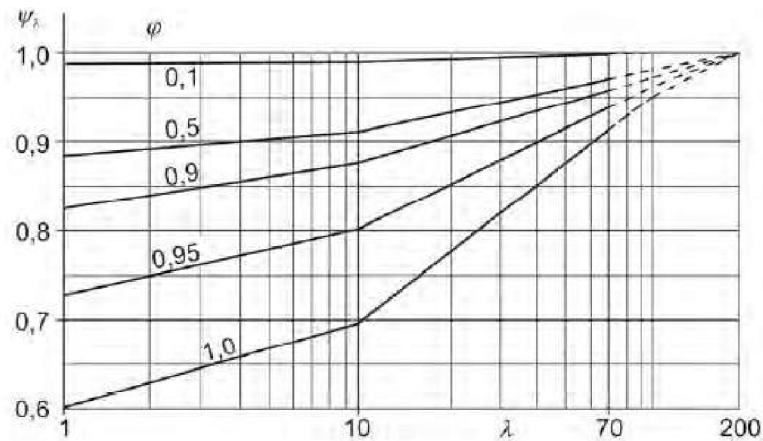
$$v(z) = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}}$$

ν – kinematická viskozita vzduchu ($\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)

k – ekvivalentní drsnost povrch ($k = 0,006 \text{ mm}$ – jemný nátěr)

b – šířka nosného prvku

ψ_λ - součinitel koncového efektu



Obrázek 7.36 – Směrné hodnoty součinitele koncového efektu ψ_λ jako funkce součinitele plnosti φ v závislosti na štíhlosti λ

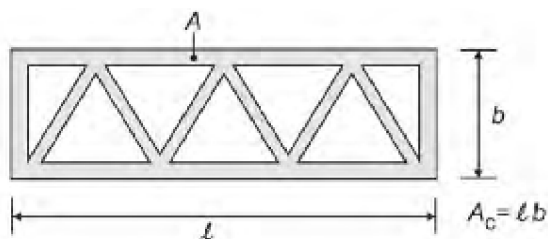
Ekvivalentní štíhlost λ

$$\lambda = \frac{l}{b}$$

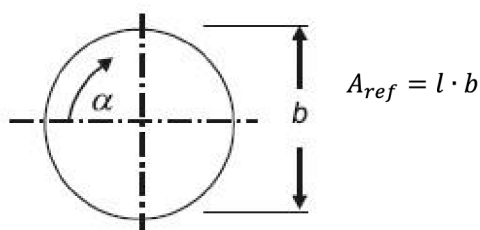
Tabulka 7.16 – Doporučené hodnoty λ pro válce, mnohoúhelníkové průřezy, obdélníkové průřezy, otevřené konstrukční průřezy a příhradové konstrukce

Č.	Poloha konstrukce, vlnr kolmý k rovinné strany	Elektrní štíhlost
1		Pro mnohoúhelníkové, obdélníkové a ostrohranné průřezy a příhradové konstrukce: pro $l \geq 50$ m, menší z hodnot $\lambda = 1,4/b$ nebo $\lambda = 70$; pro $l < 15$ m, menší z hodnot $\lambda = 2,0/b$ nebo $\lambda = 70$.
2		Pro válce s kruhovým průřezem: pro $l \geq 50$ m, menší z hodnot $\lambda = 0,7/b$ nebo $\lambda = 70$; pro $l < 15$ m, menší z hodnot $\lambda = 0/b$ nebo $\lambda = 70$.
3		Pro mezilehlé hodnoty l se doporučuje použít lineární interpolaci.
4		Pro $l \geq 50$ m, větší z hodnot $\lambda = 0,7/b$ nebo $\lambda = 70$. Pro $l < 15$ m, větší z hodnot $\lambda = 0/b$ nebo $\lambda = 70$. Pro mezilehlé hodnoty l se doporučuje použít lineární interpolaci.

$$\varphi = \frac{A}{A_c} \Rightarrow \text{odhad } 5 \%$$



Referenční plocha nosného prvku A_{ref} pro kruhové válce:



Podrobný výpočet síly větru F_w byl proveden v programu Excel

Hlavní nosná konstrukce			Součinitel síly větru c_f pro kruhové trubky							
RO 114.3x5	Z_e [m]	$C_s C_d$	Re	$q_p(Z_e)$ [kN/m ²]	$v(Z_e)$ [m/s]	$C_{f,0}$	ψ_λ	C_f	q_w [kN/m]	
b = 114,3 mm	8	0,95	2,38E+05	0,612	31,29	0,41	1,0	0,41	0,027	
k/b = 5,2E-05	16	0,95	2,71E+05	0,791	35,58	0,44	1,0	0,44	0,037	
l = 4,5 m	21,3	0,95	2,84E+05	0,870	37,31	0,44	1,0	0,44	0,042	
v = 1,50E-05 m ² /s	24	0,95	2,90E+05	0,904	38,03	0,45	1,0	0,45	0,044	
$\lambda = 39,37$	35,5	0,95	3,08E+05	1,018	40,37	0,46	1,0	0,46	0,051	
Vodorovné ztužení konstrukce			Součinitel síly větru c_f pro kruhové trubky							
RO 76.1x4	Z_e [m]	$C_s C_d$	Re	$q_p(Z_e)$ [kN/m ²]	$v(Z_e)$ [m/s]	$C_{f,0}$	ψ_λ	C_f	q_w [kN/m]	
b = 76,1 mm	8	0,95	1,59E+05	0,612	31,29	0,38	1,0	0,38	0,017	
k/b = 7,9E-05	16	0,95	1,80E+05	0,791	35,58	0,40	1,0	0,40	0,023	
l = 4,5 m	21,3	0,95	1,89E+05	0,870	37,31	0,41	1,0	0,41	0,026	
v = 1,50E-05 m ² /s	24	0,95	1,93E+05	0,904	38,03	0,42	1,0	0,42	0,027	
$\lambda = 59,13$	35,5	0,95	2,05E+05	1,018	40,37	0,43	1,0	0,43	0,032	

Tab.1.3 Výpočet zatížení od větru pro kruhové trubky

Schodišťová trubka				Součinitel síly větru c_f pro kruhové trubky						
RO 355.6x10	z_e [m]	c_{sCd}	Re	$q_p(z_e)$ [kN/m ²]	$v(z_e)$ [m/s]	$c_{f,0}$	ψ_λ	c_f	q_w [kN/m]	
b = 355,6 mm	8	0,95	7,42E+05	0,612	31,29	0,48	1,0	0,48	0,100	
k/b = 1,7E-05	16	0,95	8,43E+05	0,791	35,58	0,50	1,0	0,50	0,134	
l = 4,0 m	21,3	0,95	8,84E+05	0,870	37,31	0,51	1,0	0,51	0,149	
v = 1,50E-05 m ² /s	24	0,95	9,02E+05	0,904	38,03	0,51	1,0	0,51	0,155	
$\lambda = 11,25$	35,5	0,95	9,57E+05	1,018	40,37	0,52	1,0	0,52	0,177	
Prut spojující nosnou konstrukci a schodiště				Součinitel síly větru c_f pro kruhové trubky						
RO 48.3x4	z_e [m]	c_{sCd}	Re	$q_p(z_e)$ [kN/m ²]	$v(z_e)$ [m/s]	$c_{f,0}$	ψ_λ	c_f	q_w [kN/m]	
b = 48,3 mm	8	0,95	1,01E+05	0,612	31,29	0,33	1,0	0,33	0,009	
k/b = 0,00012	16	0,95	1,15E+05	0,791	35,58	0,36	1,0	0,36	0,013	
l = 4,0 m	21,3	0,95	1,20E+05	0,870	37,31	0,37	1,0	0,37	0,015	
v = 1,50E-05 m ² /s	24	0,95	1,22E+05	0,904	38,03	0,38	1,0	0,38	0,016	
$\lambda = 82,82$	35,5	0,95	1,30E+05	1,018	40,37	0,39	1,0	0,39	0,018	
Ztužující prstavec přístřešku				Součinitel síly větru c_f pro kruhové trubky						
RO 42,4x4	z_e [m]	c_{sCd}	Re	$q_p(z_e)$ [kN/m ²]	$v(z_e)$ [m/s]	$c_{f,0}$	ψ_λ	c_f	q_w [kN/m]	
b = 42,4 mm	8	0,95	1,01E+05	0,612	31,29	0,33	1,0	0,33	0,008	
k/b = 0,00014	16	0,95	1,15E+05	0,791	35,58	0,36	1,0	0,36	0,012	
l = 3,0 m	21,3	0,95	1,20E+05	0,870	37,31	0,37	1,0	0,37	0,013	
v = 1,50E-05 m ² /s	24	0,95	1,22E+05	0,904	38,03	0,38	1,0	0,38	0,014	
$\lambda = 82,82$	35,5	0,95	1,30E+05	1,018	40,37	0,39	1,0	0,39	0,016	

Tab.1.4 Výpočet zatížení od větru pro kruhové trubky

Nosník schodnice			Součinitel síly větru c_f pro kruhové trubky							
RO 101,6x5	z_e [m]	c_{sCd}	Re	$q_p(z_e)$ [kN/m ²]	$v(z_e)$ [m/s]	$c_{f,0}$	ψ_λ	c_f	q_w [kN/m]	
b = 101,6 mm	8	0,95	1,01E+05	0,612	31,29	0,33	1,0	0,33	0,019	
k/b = 5,9E-05	16	0,95	1,15E+05	0,791	35,58	0,36	1,0	0,36	0,028	
l = 1,7 m	21,3	0,95	1,20E+05	0,870	37,31	0,37	1,0	0,37	0,031	
v = 1,50E-05 m ² /s	24	0,95	1,22E+05	0,904	38,03	0,38	1,0	0,38	0,033	
$\lambda = 35,20$	35,5	0,95	1,30E+05	1,018	40,37	0,39	1,0	0,39	0,038	
Vzpěra nosníku schodnice			Součinitel síly větru c_f pro kruhové trubky							
RO 76,1x4	z_e [m]	c_{sCd}	Re	$q_p(z_e)$ [kN/m ²]	$v(z_e)$ [m/s]	$c_{f,0}$	ψ_λ	c_f	q_w [kN/m]	
b = 76,1 mm	8	0,95	1,01E+05	0,612	31,29	0,33	1,0	0,33	0,015	
k/b = 7,9E-05	16	0,95	1,15E+05	0,791	35,58	0,36	1,0	0,36	0,021	
l = 0,8 m	21,3	0,95	1,20E+05	0,870	37,31	0,37	1,0	0,37	0,023	
v = 1,50E-05 m ² /s	24	0,95	1,22E+05	0,904	38,03	0,38	1,0	0,38	0,025	
$\lambda = 16,56$	35,5	0,95	1,30E+05	1,018	40,37	0,39	1,0	0,39	0,029	

Tab.1.5 Výpočet zatížení od větru pro kruhové trubky

1.3.2.4. Součinitel síly větru c_f pro nosné prvky s otevřenými průřezy

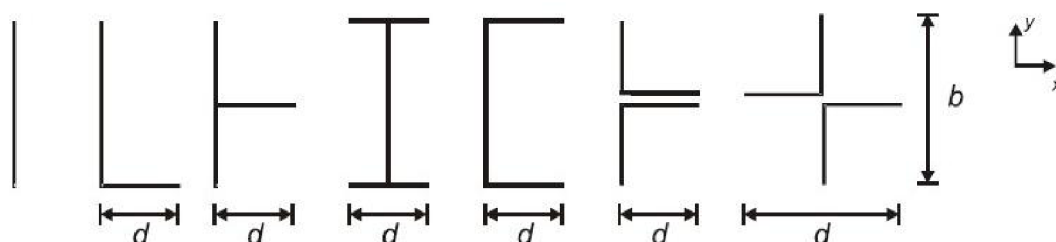
kapitola 7.7 [4]

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda$$

$c_{f,0} = 2,0$ – doporučená hodnota dle národní přílohy

ψ_λ – viz. předchozí výpočet pro kruhové válce

Referenční plocha nosného prvku A_{ref} otevřených průřezů:



ve směru x: $A_{ref} = l \cdot b$

ve směru y: $A_{ref} = l \cdot b$

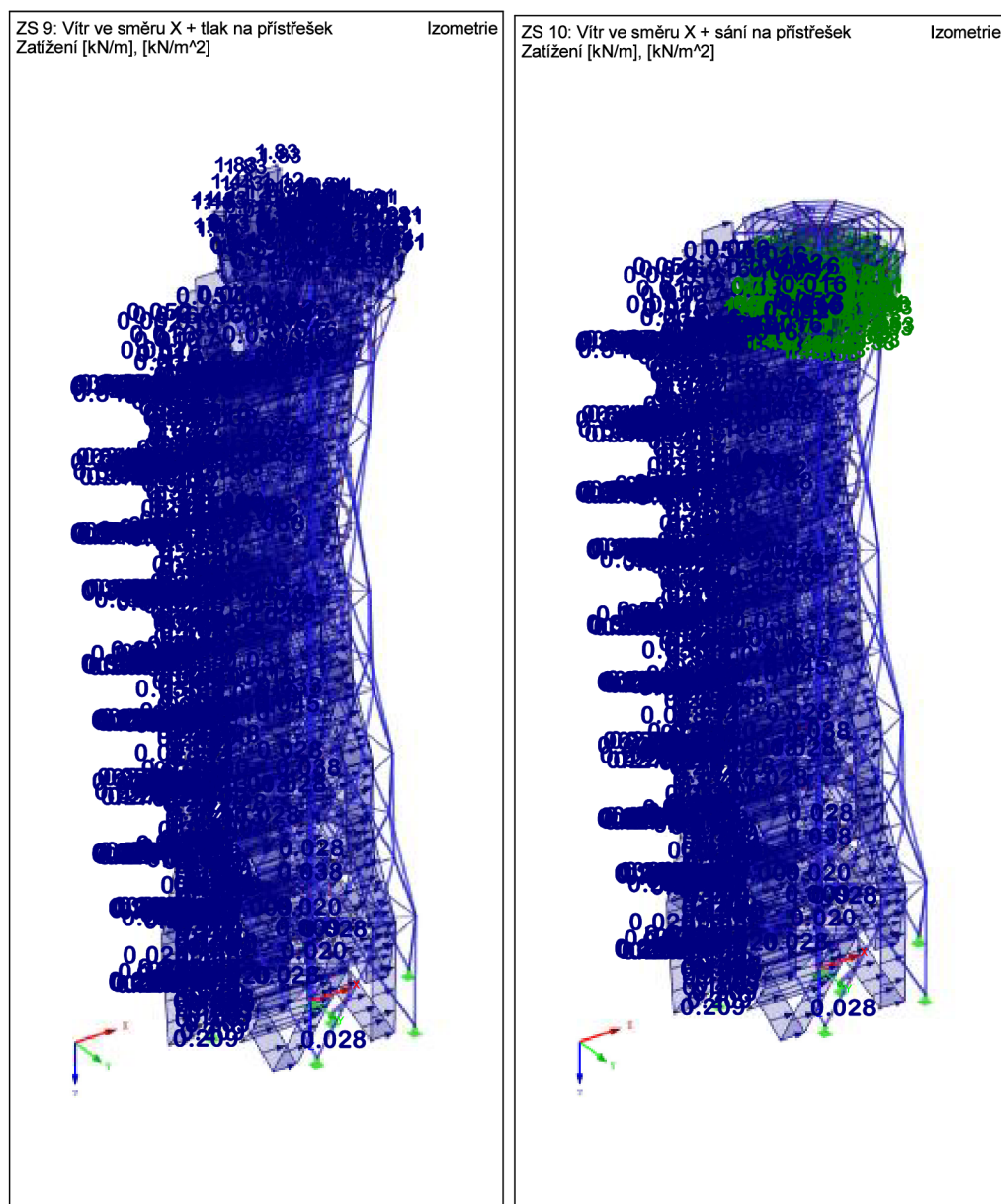
Podrobný výpočet síly větru F_w byl proveden v programu Excel

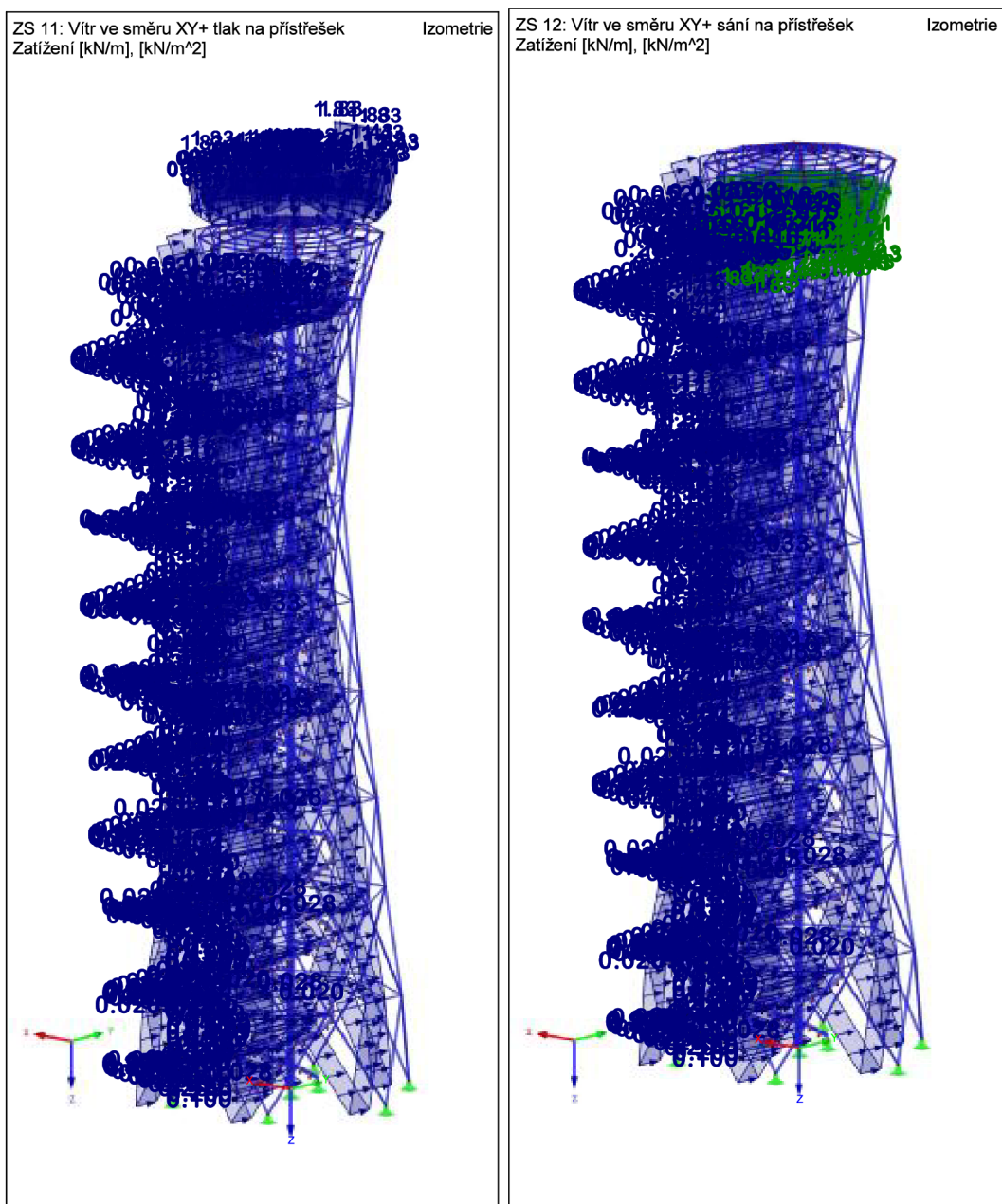
Nosník střešního pláště		Součinitel síly větru c_f pro otevřené průřezy						
IPE120	z_e [m]	c_{sCd}	$c_{f,0}$	$q_p(z_e)$ [kN/m ²]	ψ_λ	c_f	q_w [kN/m]	
b = 64 mm	8	0,95	2,0	0,612	1,0	2,0	0,140	
h = 120 mm	16	0,95	2,0	0,791	1,0	2,0	0,180	
l = 4,0 m	21,3	0,95	2,0	0,870	1,0	2,0	0,198	
$\lambda_b = 62,50$	24	0,95	2,0	0,904	1,0	2,0	0,206	
$\lambda_h = 33,33$	35,5	0,95	2,0	1,018	1,0	2,0	0,232	
Rošt střešního pláště		Součinitel síly větru c_f pro otevřené průřezy						
IPE80	z_e [m]	c_{sCd}	$c_{f,0}$	$q_p(z_e)$ [kN/m ²]	ψ_λ	c_f	q_w [kN/m]	
b = 46 mm	8	0,95	2,0	0,612	1,0	2,0	0,093	
h = 80 mm	16	0,95	2,0	0,791	1,0	2,0	0,120	
l = 1,5 m	21,3	0,95	2,0	0,870	1,0	2,0	0,132	
$\lambda_b = 32,61$	24	0,95	2,0	0,904	1,0	2,0	0,137	
$\lambda_h = 18,75$	35,5	0,95	2,0	1,018	1,0	2,0	0,155	
Schodnice		Součinitel síly větru c_f pro otevřené průřezy						
Dutý obdelník TO 180/60/5/5/5/5	z_e [m]	c_{sCd}	$c_{f,0}$	$q_p(z_e)$ [kN/m ²]	ψ_λ	c_f	q_w [kN/m]	
b = 60 mm	8	0,95	2,0	0,612	1,0	2,0	0,209	
h = 180 mm	16	0,95	2,0	0,791	1,0	2,0	0,271	
l = 4,0 m	21,3	0,95	2,0	0,870	1,0	2,0	0,298	
$\lambda_b = 66,67$	24	0,95	2,0	0,904	1,0	2,0	0,309	
$\lambda_h = 22,22$	35,5	0,95	2,0	1,018	1,0	2,0	0,348	
Nosník vyhlídkové plošiny		Součinitel síly větru c_f pro otevřené průřezy						
IPE120	z_e [m]	c_{sCd}	$c_{f,0}$	$q_p(z_e)$ [kN/m ²]	ψ_λ	c_f	q_w [kN/m]	
b = 64 mm	8	0,95	2,0	0,612	1,0	2,0	0,140	
h = 120 mm	16	0,95	2,0	0,791	1,0	2,0	0,180	
l = 3,0 m	21,3	0,95	2,0	0,870	1,0	2,0	0,198	
$\lambda_b = 46,88$	24	0,95	2,0	0,904	1,0	2,0	0,206	
$\lambda_h = 25,00$	35,5	0,95	2,0	1,018	1,0	2,0	0,232	

Tab.1.6 Výpočet zatížení od větru pro otevřené průřezy

Rošt vyhlídkové plošiny		Součinitel síly větru c_f pro otevřené průřezy						
IPE100	z_e [m]	c_{s,c_d}	$c_{f,0}$	$q_p(z_e)$ [kN/m ²]	ψ_λ	c_f	q_w [kN/m]	
b = 55 mm	8	0,95	2,0	0,612	1,0	2,0	0,116	
h = 100 mm	16	0,95	2,0	0,791	1,0	2,0	0,150	
l = 1,8 m	21,3	0,95	2,0	0,870	1,0	2,0	0,165	
$\lambda_b = 32,73$	24	0,95	2,0	0,904	1,0	2,0	0,172	
$\lambda_h = 18,00$	35,5	0,95	2,0	1,018	1,0	2,0	0,194	

Tab.1.7 Výpočet zatížení od větru pro otevřené průřezy

Obr. 1.16 Zatížení větrem X⁺ - tlak/sání na přístřešek



Obr. 1.17 Zatížení větrem XY⁺ - tlak/sání na přístřešek

2. Kombinace zatěžovacích stavů

Kombinace zatěžovacích stavů byly automaticky vygenerovány softwarem RFEM 5. Do výpočtu nosných prvků a spojů jsou uvažovány vždy nejvíce nepříznivé účinky těchto kombinací. Podrobný výpis kombinací viz příloha P1.

2.1. Mezní stav únosnosti

Pro mezní stav únosnosti byly zatěžovací stavy kombinovány podle rovnice 6.10 [1]

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

$\gamma_{G,sup} = 1,35$ – nepříznivé účinky

$\gamma_{G,inf} = 1,00$ – příznivé účinky

$\gamma_Q = 1,50$ – nepříznivé účinky

$\gamma_Q = 0,0$ – příznivé účinky

$\psi_0 = 0,7$ – užité zatížení kategorie C

$\psi_0 = 0,5$ – sníh

$\psi_0 = 0,6$ – vítr

2.2. Mezní stav použitelnosti

Pro mezní stav použitelnosti byly zatěžovací stavy kombinovány podle rovnice 6.14b [1]

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

$\psi_0 = 0,7$ – užité zatížení kategorie C

$\psi_0 = 0,5$ – sníh

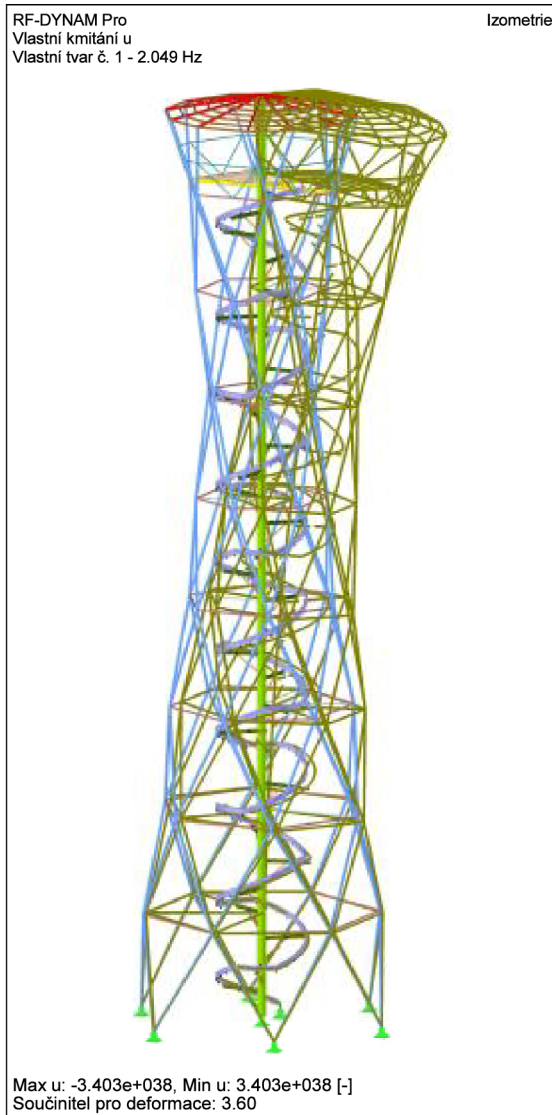
$\psi_0 = 0,6$ – vítr

3. Dynamické vlastnosti konstrukce

Vliv dynamických vlastností konstrukce byl do výpočtu zatížení zaveden dle [4] logaritickým dekrementem útlumu δ_a . Pro vyjádření logaritického dekrementu útlumu bylo zapotřebí zjistit vlastní frekvenci konstrukce.

Programem RF-DYNAM byla provedena modální analýza konstrukce Lanczosovou metodou a zjištěna vlastní frekvence n_1 . Hodnot z programu byla porovnána s hodnotou z výrazu F.2 dle [4] a zvolena do výpočtu.

$$n_1 = 2,049 \text{ Hz}$$



Obr. 3.1 Vlastní kmitání – tvar č.1

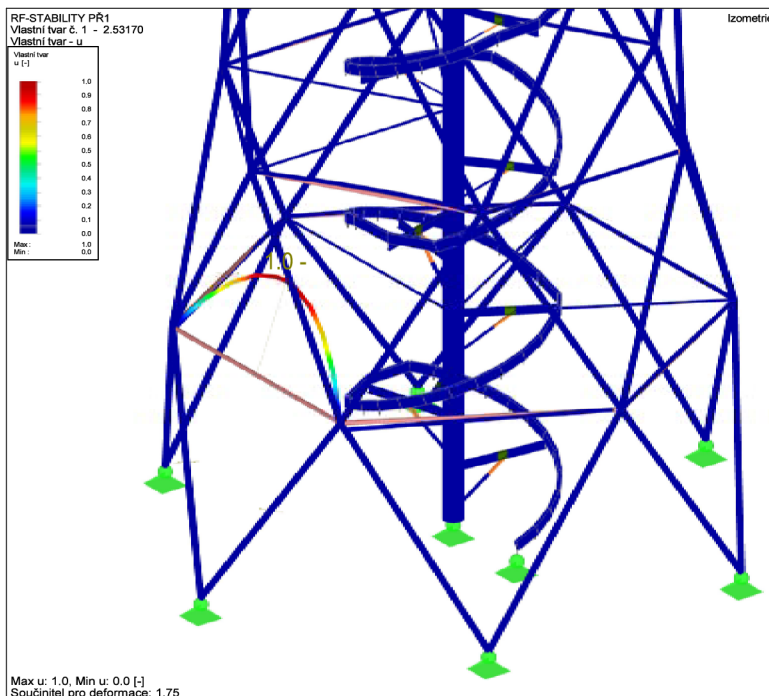
4. Stabilitní analýza I

Pomocí programu RF – STABILITY byla provedena stabilitní analýza Lanczosovou metodou. Byli spočteny 4 nejmenší tvary vlastních čísel. Zatížení bylo do výpočtu vzato z nejnepříznivější kombinace pro nosnou konstrukci, tj. kombinace 91 Ze stabilitní analýzy byly získány součinitele vyjadřující zvýšení návrhového zatížení pro dosažení ztráty stability α_{cr} (v programu označen jako f) a faktor zvětšení α udávající rozdíl v deformaci konstrukce mezi lineárním a nelineárním výpočtem.

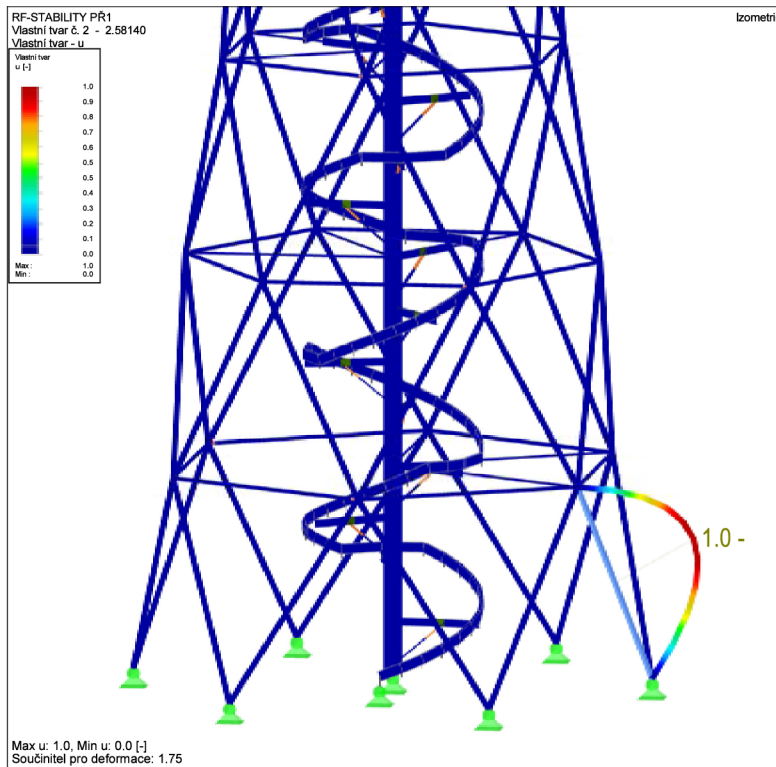
Vl. číslo č.	A	B
	Součinitel kritického zatížení f [-]	Faktor zvětšení α [-]
1	2.532	1.653
2	2.581	1.632
3	2.581	1.632
4	2.674	1.597

Tab. 4.1 Součinitele kritického zatížení

$\alpha_{cr} = 2,532 \Rightarrow$ konstrukce vykazuje odolnost proti ztrátě stability do 2,532 násobku návrhového zatížení.



Obr. 4.1 Vlastní tvar č.1



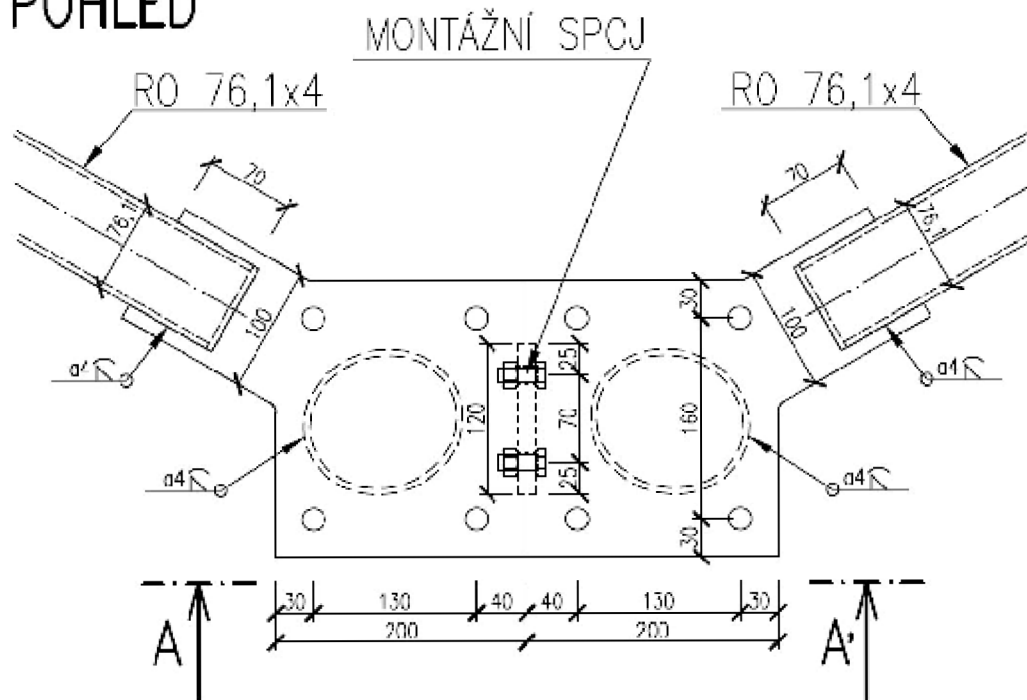
Obr. 4.2 Vlastní tvar č.2

5. Dimenzování vybraných detailů

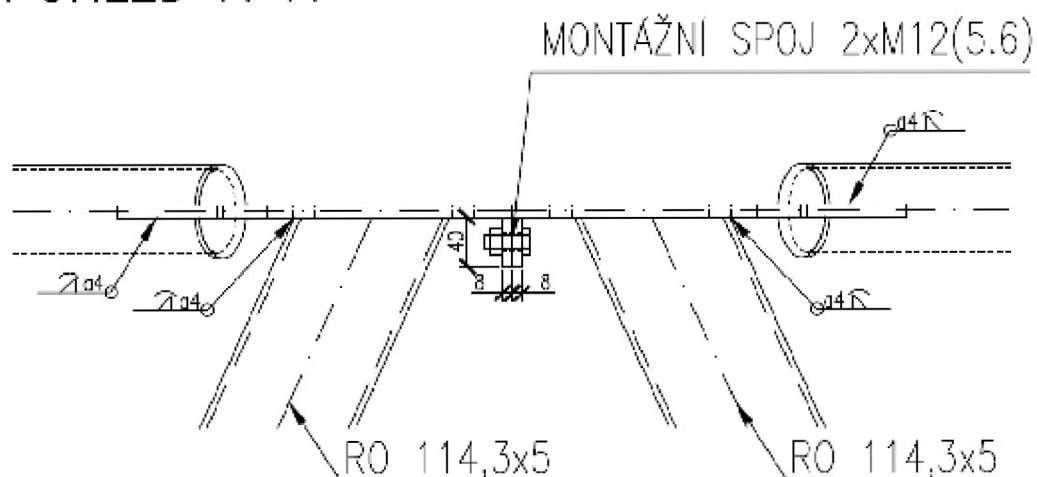
5.1. SPOJ HLAVNÍ NOSNÉ KONSTRUKCE – tah

5.1.1. Geometrie a materiálové charakteristiky

POHLED



POHLED A-A'



Obr. 5.1 Schéma spoje nosné konstrukce

4x šrouby M16, 5.6

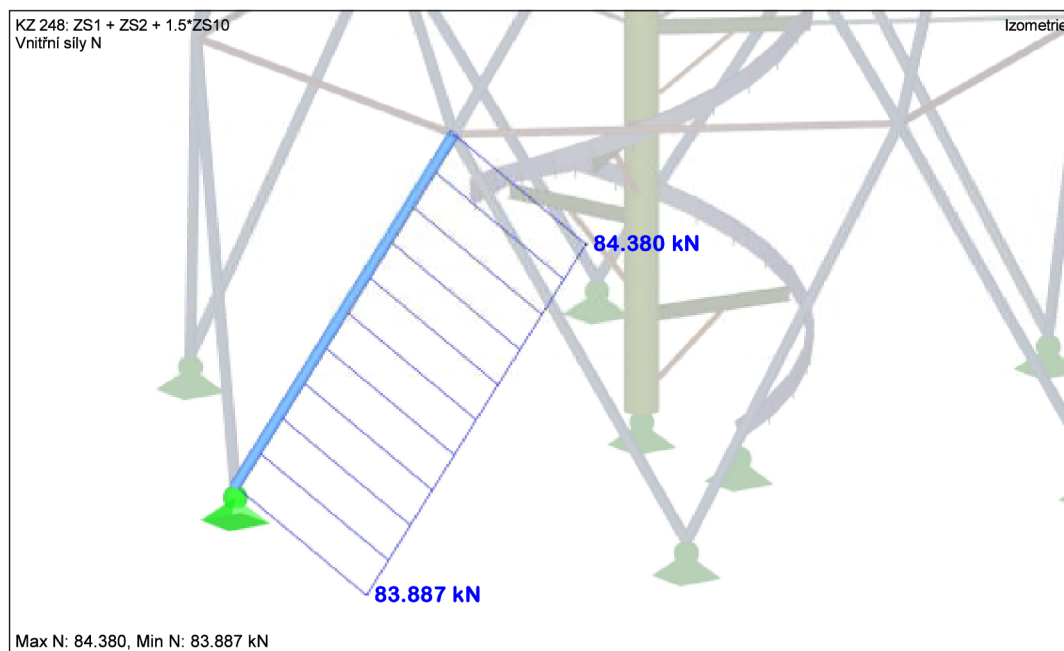
$$d = 16 \text{ mm}; d_0 = 18 \text{ mm}; d_m = 25,9 \text{ mm}; t = 12 \text{ mm}$$

$$A = 201 \text{ mm}^2; A_s = 157 \text{ mm}^2; f_{ub} = 500 \text{ MPa}; f_{yb} = 300 \text{ MPa}; f_u = 490 \text{ MPa}$$

5.1.2. Rozteče

	Směr X ↔	Směr Y ↓
$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm}$	→ $e_1 = 30 \text{ mm}$	→ $e_1 = 30 \text{ mm}$
$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm}$	→ $p_1 = 130 \text{ mm}$	→ $p_1 = 160 \text{ mm}$
$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm}$	→ $e_2 = 30 \text{ mm}$	→ $e_2 = 30 \text{ mm}$
$\min p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 18 = 43,2 \text{ mm}$	→ $p_2 = 160 \text{ mm}$	→ $p_2 = 130 \text{ mm}$

5.1.3. Návrhové vnitřní síly



Obr. 5.2 Maximální tahová síla – KZ248

Prut č. 57, KZ248:

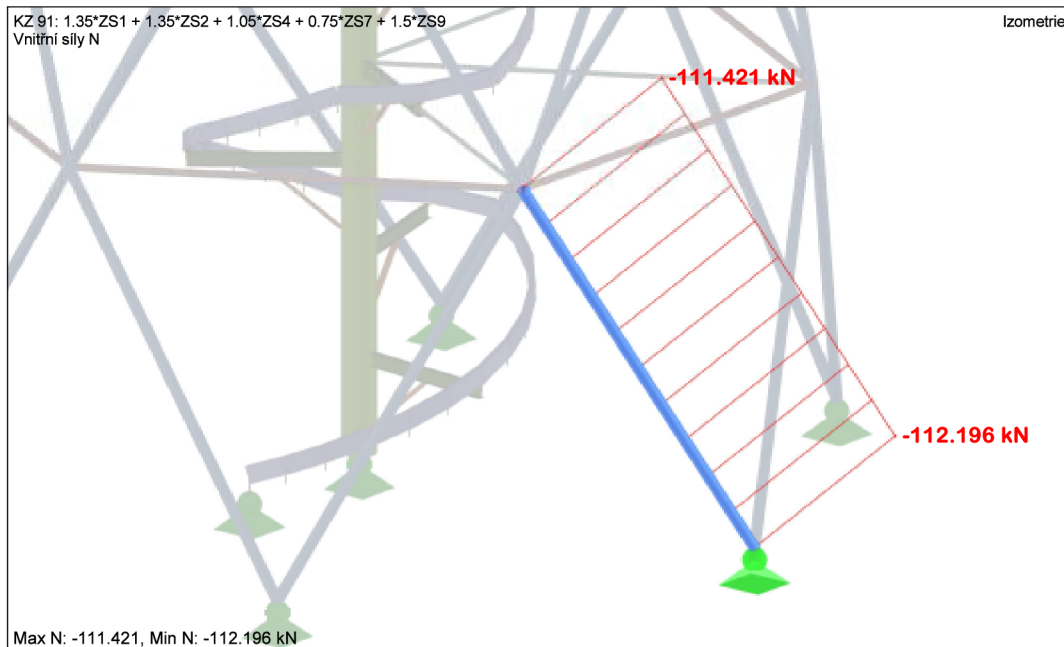
$N_{Ed,max} = 84,38 \text{ kN} \Rightarrow$ síla rozložena do složek podle osy dřívku šroubu

$F_{Ed,x} = 36,76 \text{ kN}$ – smyk

$F_{Ed,y} = 19,04 \text{ kN}$ – smyk

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_{Ed,x}^2 + F_{Ed,y}^2} = \sqrt{36,76^2 + 19,04^2} = 41,40 \text{ kN} - \text{smyk}$$

$$F_{Ed,z} = 73,51 \text{ kN} - \text{tah}$$



Obr. 5.3 Maximální tlaková síla – KZ91

Prut č. 50, KZ 91:

$$N_{Ed,max} = -112,20 \text{ kN} \Rightarrow \text{síla rozložena do složek podle orientace šroubů}$$

$$F_{Ed,x} = 48,89 \text{ kN} - \text{smyk}$$

$$F_{Ed,y} = 25,32 \text{ kN} - \text{smyk}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_{Ed,x}^2 + F_{Ed,y}^2} = \sqrt{48,89^2 + 25,32^2} = 55,06 \text{ kN} - \text{smyk}$$

$$F_{Ed,z} = -94,75 \text{ kN} - \text{tlak}$$

5.1.1. Posouzení svaru trubky

$$l = 381 \text{ mm}; a = 4 \text{ mm}; \beta_w = 0,9$$

$$F_{w,Ed} = 84,38 \text{ kN}$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490 / \sqrt{3}}{0,9 \cdot 1,25} = 251,47 \text{ MPa}$$

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a \cdot l = 251,47 \cdot 4 \cdot 381 = 383,24 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{w,Ed}}{F_{w,Rd}} = \frac{84,38}{383,24} = 0,22 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.1.2. Posouzení šroubu na tahovou sílu

Tahová síla na jeden šroub

$$F_{t,Ed,1} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{73,51}{4} = 18,38 \text{ kN}$$

Únosnost jednoho šroubu na přetržení

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 500 \cdot 157}{1,25} = 56,52 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed,1}}{F_{t,Rd,1}} = \frac{18,38}{56,52} = 0,33 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.1.3. Posouzení na vliv páčení

Výpočet účinné délky pro čelní desku

$$t_f = 12 \text{ mm}; e = e_x = 30 \text{ mm}; w = 160 \text{ mm}; b_p = 220 \text{ mm}$$

$$m_x = 65 - 0,8 \cdot a \cdot \sqrt{2} = 50 - 0,8 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} = 60,5 \text{ mm}$$

Kruhové porušení:

$$l_{eff,cp} = \min. \left(\frac{2\pi m_x}{\pi \cdot m_x + 2w} \right) = \min. \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot 60,5 = 380,13}{\pi \cdot 60,5 + 2 \cdot 160 = 510,07} \right) = 250,07 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení:

$$l_{eff,nc} = \min. \left(\begin{array}{l} 4m_x + 1,25e_x \\ e + 2m_x + 0,625e_x \\ 0,5b_p \\ 0,5w + 2m_x + 0,625e_x \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} 4 \cdot 60,5 + 1,25 \cdot 30 = 279,50 \\ 30 + 2 \cdot 60,5 + 0,625 \cdot 30 = 165,75 \\ 0,5 \cdot 220 = 110 \\ 0,5 \cdot 160 + 2 \cdot 60,5 + 0,625 \cdot 30 = 219,75 \end{array} \right)$$

$$l_{eff,nc} = 110,0 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1} = l_{eff,nc} = 110,0 \text{ mm} \leq l_{eff,cp} = 250,07 \text{ mm} \dots \text{SPLNĚNO}$$

1. způsob – úplná plastifikace pásnice

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 110,0 \cdot 12^2 \cdot 355}{1,0} = 1,406 \text{ kNm}$$

2. způsob – porušení šroubu s plastifikací pásnice

Způsob 1 a 2 – páčení nenastává pokud bude splněna podmínka:

$$F_{T,1,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{2 \cdot 1,406}{0,0605} = \mathbf{46,48 \text{ kN}}$$

$$F_{T,1,2,Rd} = \mathbf{46,48 \text{ kN}} \geq F_{T,Ed} = \mathbf{36,76 \text{ kN}} \dots \text{PÁČENÍ NENASTÁVÁ}$$

3. způsob: porušení šroubu

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 4 \cdot F_{t,Rd} = 4 \cdot 56,52 = \mathbf{226,08 \text{ kN}}$$

$$\frac{F_{t,Ed,1}}{F_{t,Rd}} = \frac{73,52}{226,08} = \mathbf{0,33} \leq \mathbf{1,0} \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.1.4. Posouzení šroubu na smyk – KZ248

Smyková síla na jeden šroub

$$F_{v,Ed,1} = \frac{F_{v,Ed}}{n} = \frac{41,40}{4} = \mathbf{10,35 \text{ kN}}$$

$$F_{v,Rd,1} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 201}{1,25} = \mathbf{48,24 \text{ kN}}$$

$$\frac{F_{v,Ed,1}}{F_{v,Rd,1}} = \frac{10,35}{48,24} = \mathbf{0,22} \leq \mathbf{1,0} \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.1.5. Kombinace stříhu a tahu

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{10,35}{48,24} + \frac{18,38}{1,4 \cdot 23,24} = \mathbf{0,72} \leq \mathbf{1,0} \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.1.6. Posouzení na otláčení – KZ248

Směr X

$$k_1 = \min. \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{30}{18} - 1,7 = 2,97 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{160}{18} - 1,7 = 10,74 \\ \phantom{1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 =} 2,5 \end{array} \right\} = \mathbf{2,50}$$

$$\alpha_b = \min. \left\{ \begin{array}{l} \alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{30}{3 \cdot 18} = 0,56 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500}{490} = 1,02 \\ \phantom{\frac{f_{ub}}{f_u} =} 1,0 \end{array} \right\} = \mathbf{0,56}$$

$$F_{b,Rd,1,x} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,56 \cdot 490 \cdot 16 \cdot 12}{1,25} = \mathbf{105,37 \text{ kN}}$$

Směr Y

$$k_1 = \min. \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{30}{18} - 1,7 = 2,97 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{130}{18} - 1,7 = 8,41 \\ 2,5 \end{array} \right\} = 2,50$$

$$\alpha_b = \min. \left\{ \begin{array}{l} \alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{30}{3 \cdot 18} = 0,56 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500}{490} = 1,02 \\ 1,0 \end{array} \right\} = 0,56$$

$$F_{b,Rd,1,y} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,56 \cdot 490 \cdot 16 \cdot 12}{1,25} = 105,37 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed,1}}{F_{b,Rd,1}} = \frac{10,35}{105,37} = 0,10 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.1.7. Posouzení na protlačení

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 25,9 \cdot 12 \cdot 490}{1,25} = 229,65 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed,1}}{B_{p,Rd}} = \frac{18,38}{229,65} = 0,08 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.1.8. Posouzení šroubu na smyk – KZ91

Smyková síla na jeden šroub

$$F_{v,Ed,1} = \frac{F_{v,Ed}}{n} = \frac{55,06}{4} = 13,77 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd,1} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 201}{1,25} = 48,24 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed,1}}{F_{v,Rd,1}} = \frac{13,77}{48,24} = 0,29 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

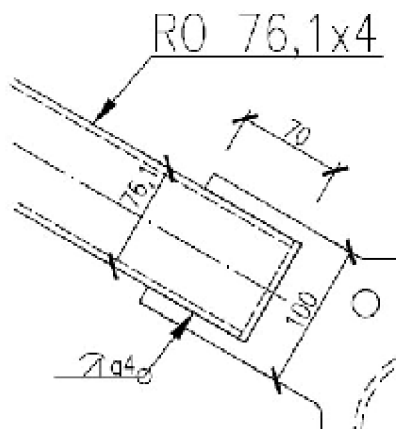
5.1.9. Posouzení šroubu na otláčení – KZ91

$F_{b,Rd,1} = 70,00 \text{ kN}$ – z kapitoly 5.1.5

$$\frac{F_{v,Ed,1}}{F_{b,Rd,1}} = \frac{13,77}{105,37} = 0,13 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

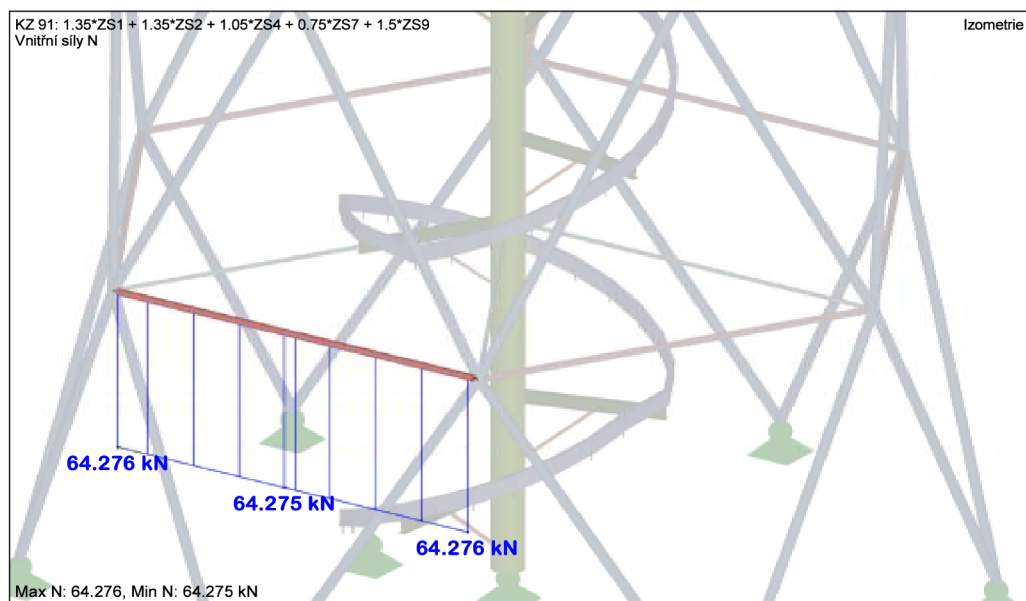
5.2. PŘÍPOJ VODOROVNÉHO ZTUŽENÍ

5.2.1. Geometrie



Obr. 5.4 Detail svarového spoje

5.2.2. Návrhové vnitřní síly



Obr. 5.5 Maximální normálová síla v prutu – KZ 91

Prut č. 6, KZ 91:

$$N_{Ed,max} = 64,28 \text{ kN}$$

5.2.3. Posouzení svaru

$$a = 3 \text{ mm}; l = 4 \cdot (70 - 2a) = 256 \text{ mm}; A = 768 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{46,58}{768} = 60,65 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = 0; \sigma_{\perp} = 0$$

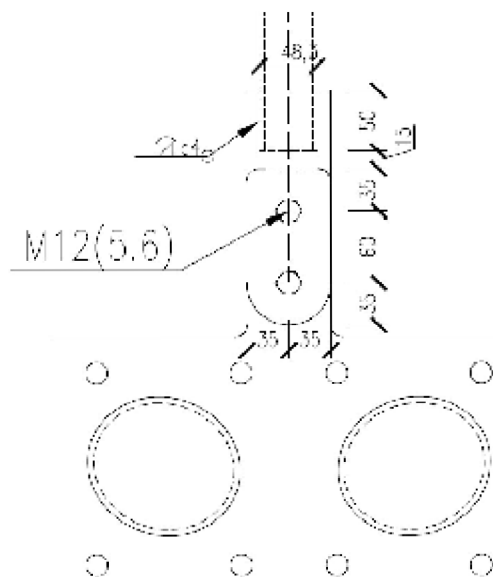
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{3 \cdot 60,65^2} = 105,05 \text{ MPa} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,56 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} = 0 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,80 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.3. PŘÍPOJ PRUTU SPOJUJÍCÍ NOSNOU KONSTRUKCI A STŘEDOVÝ SLOUP

5.3.1. Geometrie a materiálové charakteristiky



Obr. 5.6 Schéma spoje prutu spojující středový sloup a nosnou konstrukci

2x šrouby M12, 5.6

$$d = 12 \text{ mm}; d_0 = 13 \text{ mm}; t = 10 \text{ mm}$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa}; f_{yb} = 300 \text{ MPa}; A = 113 \text{ mm}^2; f_u = 490 \text{ MPa}$$

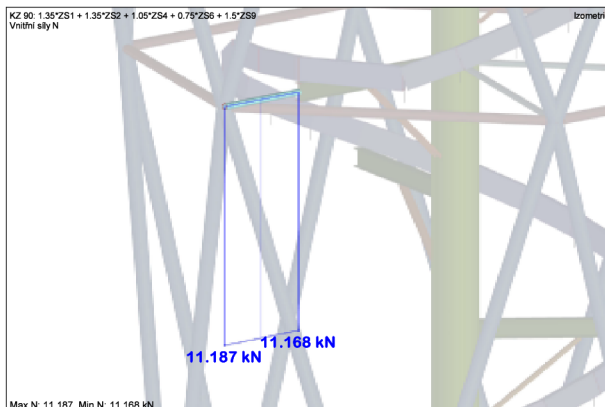
5.3.2. Rozteče

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 13 = 15,6 \text{ mm} \quad \rightarrow e_1 = 35 \text{ mm}$$

$$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 13 = 28,6 \text{ mm} \quad \rightarrow p_1 = 60 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 13 = 15,6 \text{ mm} \quad \rightarrow e_2 = 35 \text{ mm}$$

5.3.3. Návrhové vnitřní síly



Obr. 5.7 Maximální normálová síla v prutu – KZ90

Prut č. 157, KZ90:

$$N_{Ed,max} = 11,19 \text{ kN}$$

5.3.4. Posouzení svaru

$$a = 4 \text{ mm}; l = 4 \cdot (50 - 2a) = 168 \text{ mm}; A = 672 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{11,19}{672} = 16,65 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = 0; \sigma_{\perp} = 0$$

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

$$\sqrt{3 \cdot 16,65^2} = 28,84 \text{ MPa} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,56 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} = 0 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,80 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.3.1. Posouzení šroubu na smyk

$$F_{v,Ed,1} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{11,19}{2} = 5,60 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd,1} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 113}{1,25} = 27,12 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed,1}}{F_{v,Rd,1}} = \frac{5,60}{27,12} = 0,21 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.3.2. Posouzení šroubu na otláčení

$$k_1 = \min. \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{35}{13} - 1,7 = 5,84 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{60}{13} - 1,7 = 4,76 \\ 2,5 \end{array} \right\} = 2,50$$

$$\alpha_b = \min. \left\{ \begin{array}{l} \alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{35}{3 \cdot 13} = 0,65 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500}{490} = 1,02 \\ 1,0 \end{array} \right\} = 0,90$$

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,90 \cdot 490 \cdot 12 \cdot 10}{1,25} = 105,84 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{b,Ed,1}}{F_{b,Rd,1}} = \frac{5,60}{105,84} = 0,05 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.3.3. Posouzení oslabeného průřezu

$$A = b \cdot t = 70 \cdot 10 = 700 \text{ mm}^2$$

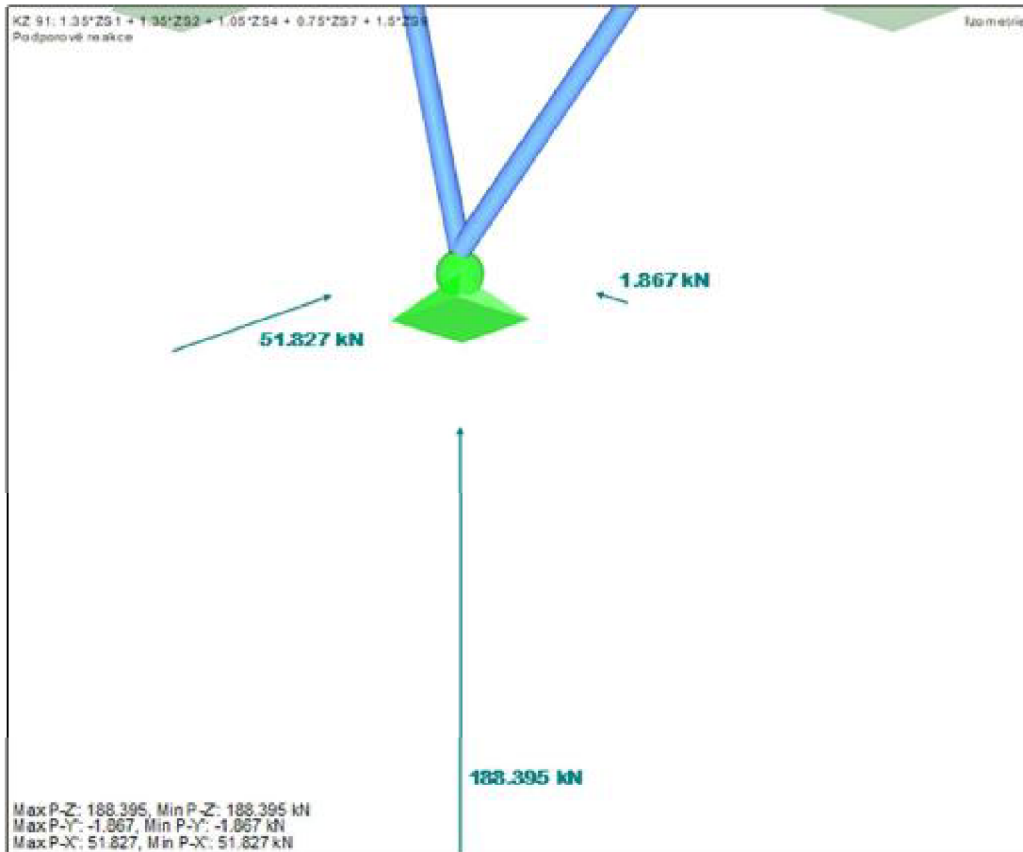
$$A_{net} = A - (d_0 \cdot t) = 700 - (13 \cdot 10) = 570 \text{ mm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \min. \left\{ \begin{array}{l} N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{700 \cdot 355}{1,0} = 248,50 \text{ kN} \\ N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 570 \cdot 490}{1,25} = 201,10 \text{ kN} \end{array} \right\} = 183,46 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{11,19}{183,46} = 0,06 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.4. KOTVENÍ NOSNÉ KONSTRUKCE ČEPEM

5.4.1. Návrhové vnitřní síly



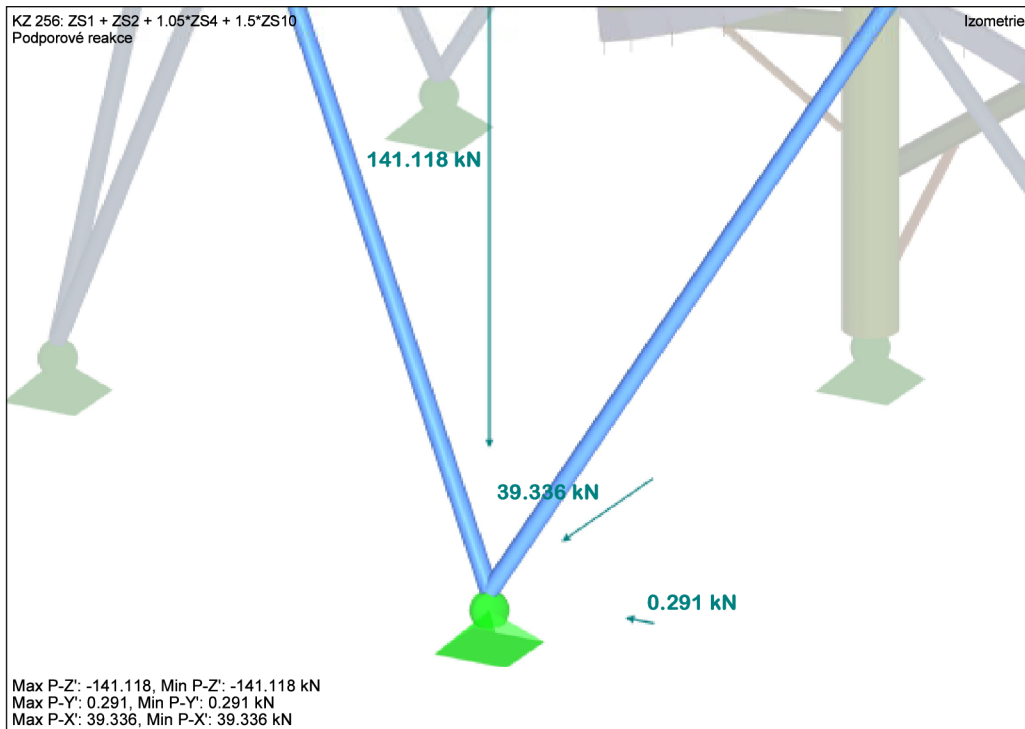
Obr. 5.8 Maximální tlaková reakce – KZ91

Uzel č. 50, KZ91

$R_{Ed,z,max} = 188,4 \text{ kN}$ – tlak

$R_{Ed,x,odp} = 51,8 \text{ kN}$

$$F_{Ed} = \sqrt{R_{Ed,z}^2 + R_{Ed,x}^2} = \sqrt{188,4^2 + 51,8^2} = 195,40 \text{ kN}$$



Obr. 5.9 Maximální tahová reakce v podpoře – KZ256

Uzel č. 53, KZ256:

$$R_{Ed,z,max} = 141,1 \text{ kN}$$

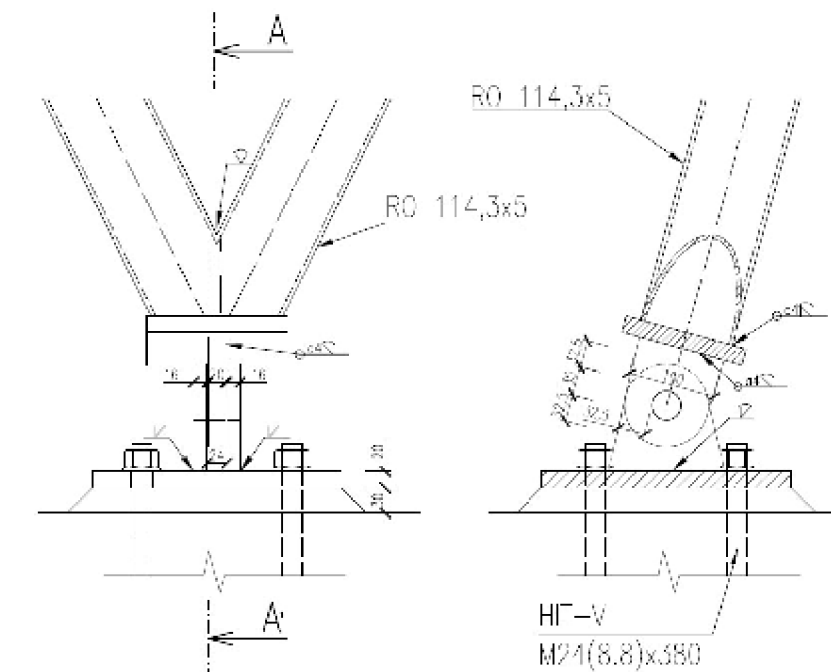
$$R_{Ed,x,dop} = 39,34 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = \sqrt{R_{Ed,z}^2 + R_{Ed,x}^2} = \sqrt{141,1^2 + 39,3^2} = 146,47 \text{ kN}$$

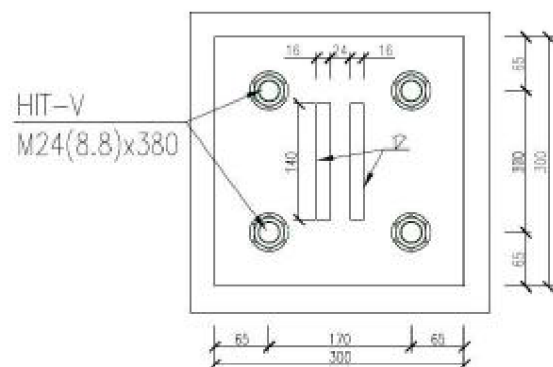
5.4.2. Geometrie a materiálové charakteristiky

POHLED

ŘZ A-A



PŮDORYS



Obr. 5.10 Schéma čepového spoje

$$d = 32 \text{ mm}; d_0 = 35 \text{ mm}; b = 20 \text{ mm}; t = 20 \text{ mm}; n = 2; W_{el} = 3217,0 \text{ mm}^3$$

$$f_{up} = 490 \text{ MPa}; f_{yp} = 355 \text{ MPa}; A = 804,2 \text{ mm}^2; f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$a \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{Mo}}{2t \cdot f_y} + \frac{2d_0}{3} = \frac{195,4 \cdot 1,0}{2 \cdot 20 \cdot 355} + \frac{2 \cdot 35}{3} = 23,3 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{195,4 \cdot 1,0}{2 \cdot 20 \cdot 355} + \frac{35}{3} = 11,7 \text{ mm}$$

5.4.3. Únosnost čepu ve stříhu

$$F_{v,Rd} = \frac{n \cdot 0,6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 804,2 \cdot 490}{1,25} = 378,30 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{195,4}{378,30} = 0,52 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.4.4. Únosnost plechu a čepu v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 20 \cdot 32 \cdot 355}{1,0} = 340,8 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{195,4}{340,8} = 0,57 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.4.5. Únosnost čepu v ohybu

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 3217,0 \cdot 355}{1,0} = 1,71 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} \cdot (b + 4c + 2a) = \frac{195,4}{8} \cdot (0,020 + 4 \cdot 0,002 + 1 \cdot 0,016) = 1,37 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{1,37}{1,71} = 0,80 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.4.6. Únosnost čepu při kombinaci stříhu a ohybu

$$\left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 = 0,52^2 + 0,80^2 = 0,91 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.4.7. Posouzení svaru – styčnickového plechu čepu

$$a = 4 \text{ mm}, l = 2 \cdot (100 - 2a) = 184 \text{ mm}, A = 736 \text{ mm}^2$$

$$R_{\parallel} = \sin 15^\circ \cdot 141,1 + \cos 15^\circ \cdot 39,3 = 74,48 \text{ kN}$$

$$R_{\perp} = \cos 15^\circ \cdot 141,1 + \sin 15^\circ \cdot 39,3 = 146,46 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{R_{\parallel}}{A} = \frac{74,48 \cdot 10^3}{736} = 101,20 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{R_{\perp}}{\sqrt{2} \cdot A} = \frac{146,46 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 736} = 140,71 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{140,71^2 + 3 \cdot (140,71^2 + 101,20^2)} = 331,54 \text{ MPa}$$

$$331,54 \text{ MPa} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,56 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} = 140,71 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,80 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.4.8. Posouzení oslabeného průřezu

$$A = b \cdot t = 100 \cdot 20 = 2000 \text{ mm}^2$$

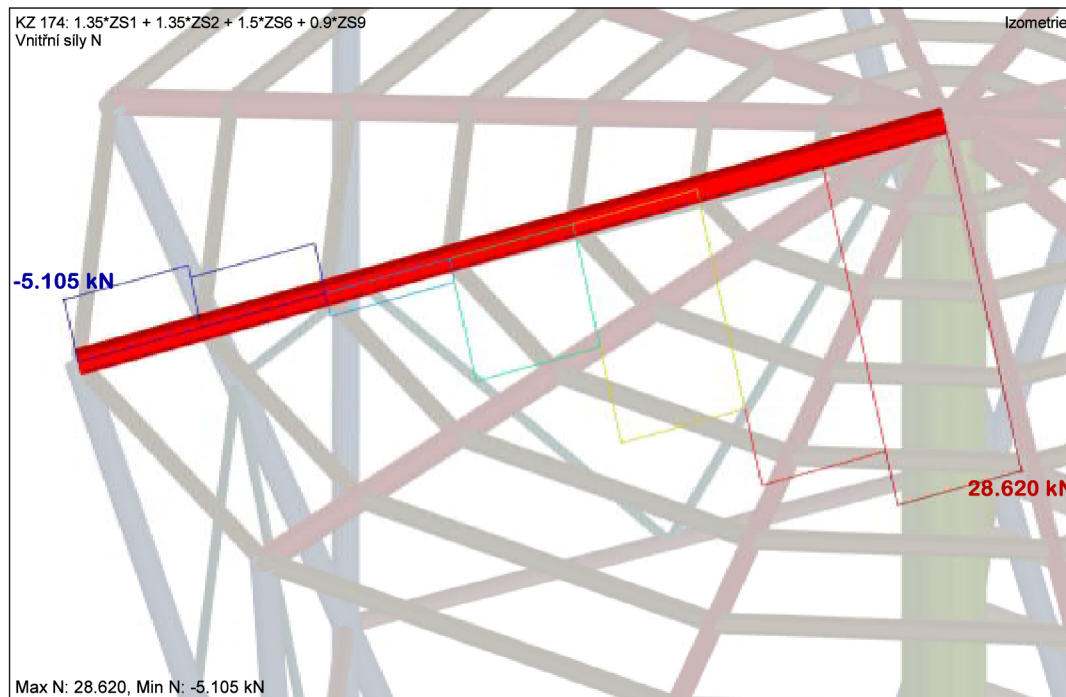
$$A_{net} = A - (d_0 \cdot t) = 2000 - (35 \cdot 20) = 1300 \text{ mm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \min. \left\{ \begin{array}{l} N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2000 \cdot 355}{1,0} = 710,0 \text{ kN} \\ N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1300 \cdot 490}{1,25} = 458,64 \text{ kN} \end{array} \right\} = 458,64 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{195,40}{458,64} = 0,43 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.5. PŘIPOJENÍ STŘEŠNÍHO NOSNÍKU NA STŘEDOVÝ SLOUP

5.5.1. Návrhové vnitřní síly



Obr. 5.11 Maximální tlaková síla – KZ 174

Prut č. 615, KZ174:

$$N_{Ed,max} = 28,62 \text{ kN}$$

$$V_{z,odp} = -0,143 \text{ kN} - \text{zanedbávám}$$

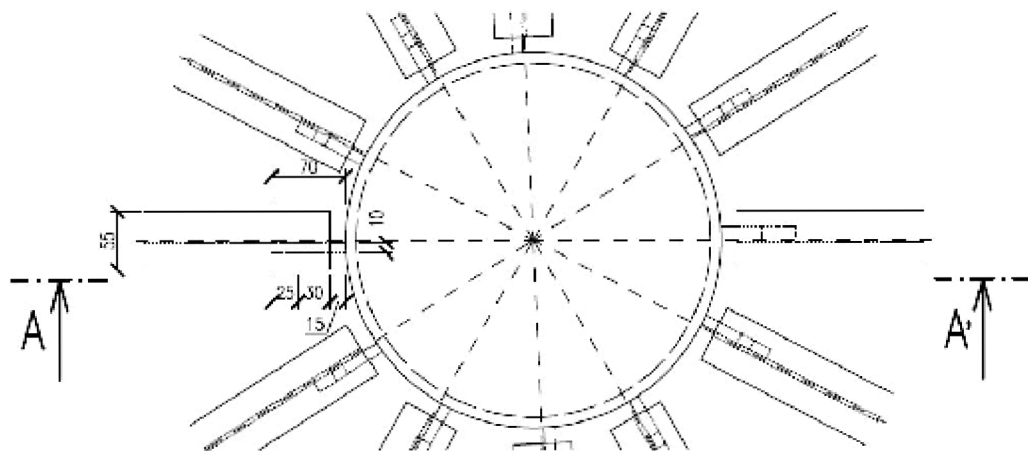
Prut č. 617, KZ104:

$$V_{z,max} = 0,747 \text{ kN} - \text{zanedbávám}$$

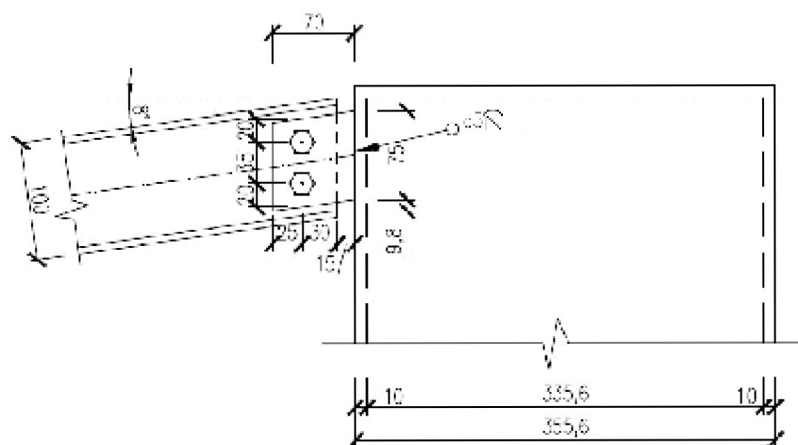
$$N_{Ed,odp} = 22,68 \text{ kN}$$

5.5.2. Geometrie a materiálové charakteristiky

POHLED



ŘEZ A-A'



Obr. 5.12 Schéma spoje střešního nosníku na středový sloup

2 x šrouby M12, 5.6

$d = 12 \text{ mm}$; $d_0 = 13 \text{ mm}$; $d_m = 20,5 \text{ mm}$; $t = 4,1 \text{ mm}$

$A = 113 \text{ mm}^2$; $A_s = 84,3 \text{ mm}^2$; $f_{ub} = 500 \text{ MPa}$; $f_{yb} = 300 \text{ MPa}$; $f_u = 490 \text{ MPa}$

5.5.3. Rozteče

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 13 = 15,6 \text{ mm} \quad \rightarrow e_1 = 25 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 13 = 15,6 \text{ mm} \quad \rightarrow e_2 = 20 \text{ mm}$$

$$\min p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 13 = 31,2 \text{ mm} \quad \rightarrow p_2 = 35 \text{ mm}$$

5.5.4. Posouzení šroubů na smyk

Smyková síla na jeden šroub

$$F_{v,Ed,1} = \frac{N_{Ed,max}}{n} = \frac{28,62}{2} = \mathbf{14,31 \text{ kN}}$$

$$F_{v,Rd,1} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 113}{1,25} = \mathbf{27,12 \text{ kN}}$$

$$\frac{F_{v,Ed,1}}{F_{v,Rd,1}} = \frac{14,31}{27,12} = \mathbf{0,53} \leq \mathbf{1,0} \dots \mathbf{VYHOVUJE}$$

5.5.5. Posouzení na otláčení

$$k_1 = \min. \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{20}{13} - 1,7 = 2,61 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{35}{13} - 1,7 = 2,07 \\ 2,5 \end{array} \right\} = \mathbf{2,07}$$

$$\alpha_b = \min. \left\{ \begin{array}{l} \alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{25}{3 \cdot 13} = 0,64 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500}{490} = 1,02 \\ 1,0 \end{array} \right\} = \mathbf{0,64}$$

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,07 \cdot 0,64 \cdot 490 \cdot 12 \cdot 4,1}{1,25} = \mathbf{25,55 \text{ kN}}$$

$$\frac{F_{v,Ed,1}}{F_{b,Rd,1}} = \frac{14,31}{25,55} = \mathbf{0,56} \leq \mathbf{1,0} \dots \mathbf{VYHOVUJE}$$

5.5.6. Posouzení povrchu pásu středového sloupu

$d_0 = 355,6 \text{ mm}; t_0 = 10 \text{ mm}; t_1 = 10 \text{ mm}; h_1 = 70 \text{ mm}; k_p = 1,0;$

$$\eta = \frac{h_1}{d_0} = \frac{70}{355,6} = 0,20$$

$$N_{1,Ed} = N_{Ed} \cdot \cos \alpha = 28,62 \cdot \cos 8^\circ = \mathbf{28,34 \text{ kN}}$$

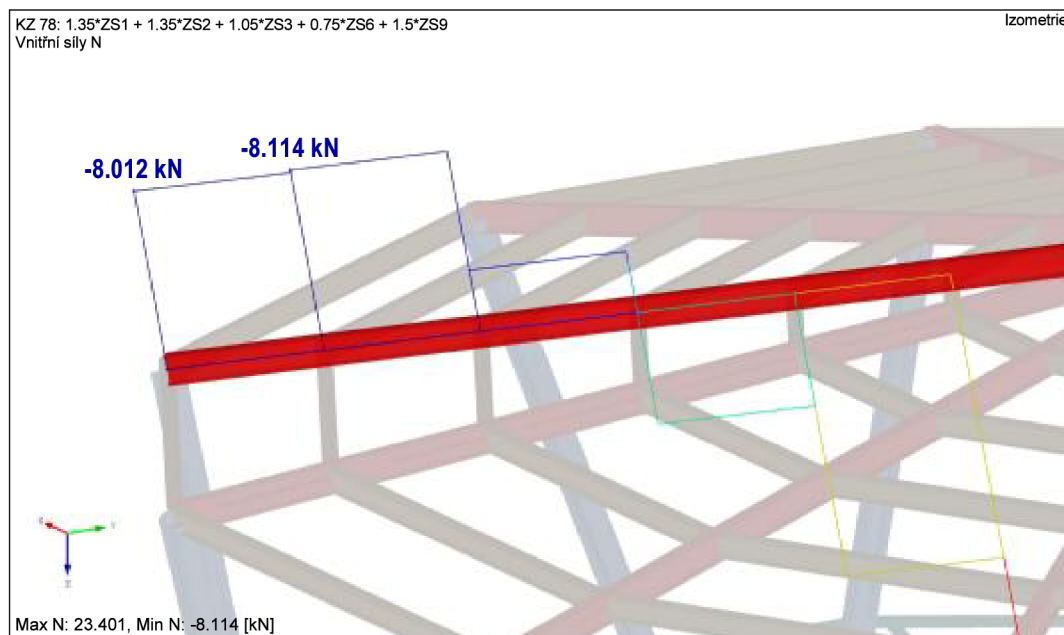
$$N_{1,Rd} = \frac{5 \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot (1 + 0,25 \cdot \eta)}{\gamma_{M5}} = \frac{5 \cdot 1,0 \cdot 355 \cdot 10^2 \cdot (1 + 0,25 \cdot 0,20)}{1,0}$$

$$N_{1,Rd} = \mathbf{186,38 \text{ kN}}$$

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{28,34}{186,38} = \mathbf{0,15} \leq \mathbf{1,0} \dots \mathbf{VYHOVUJE}$$

5.6. PŘIPOJENÍ STŘEŠNÍHO NOSNÍKU NA OBVODOVOU KONSTRUKCI

5.6.1. Návrhové vnitřní síly



Obr. 5.13 Maximální tlaková síla – KZ 78

Prut č. 617 – KZ 78:

$$N_{Ed,max} = 8,01 \text{ kN}$$

$$V_{z,odp} = 1,67 \text{ kN}$$

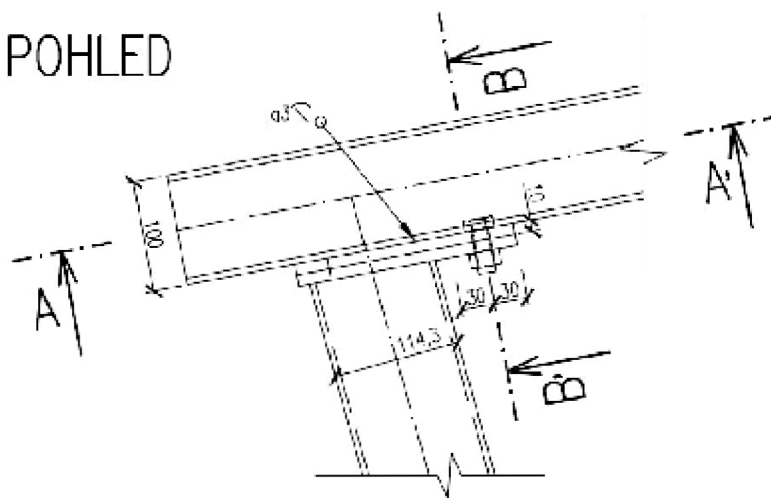
Prut č. 610 – KZ 80:

$V_{z,max} = 3,191 \text{ kN}$

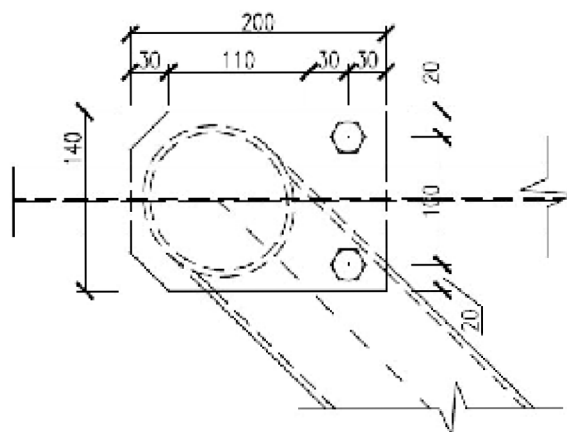
$N_{Ed,odp} = 6,76 \text{ kN}$

5.6.2. Geometrie

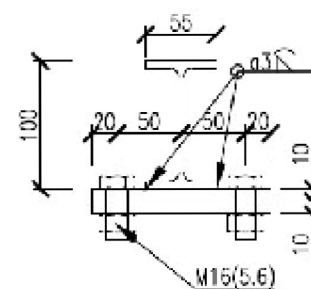
POHLED



ŘEZ A-A'



ŘEZ B-B'



Obr. 5.14 Schéma spoje střešního nosníku na nosnou konstrukci

2 x šrouby M16, 5.6 – vzhledem k malým vnitřním silám neposuzují

5.6.3. Rozteče

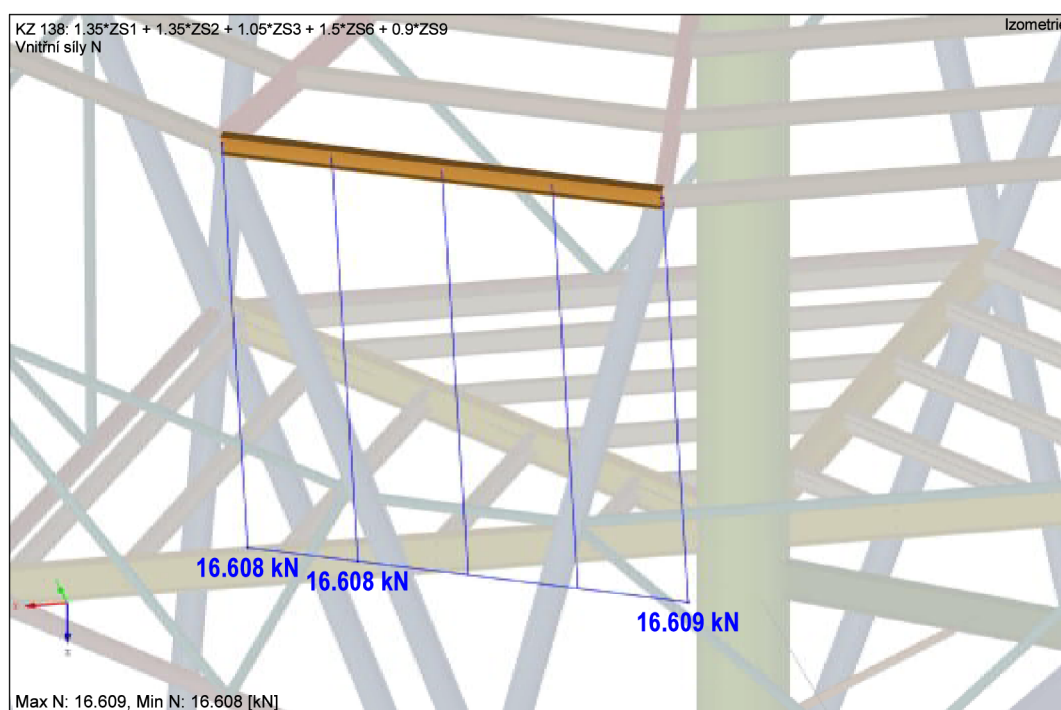
$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \quad \rightarrow e_1 = 30 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \quad \rightarrow e_2 = 25 \text{ mm}$$

$$\min p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 18 = 43,2 \text{ mm} \quad \rightarrow p_2 = 100 \text{ mm}$$

5.7. PŘÍPOJ VAZNICE NA STŘEŠNÍ NOSNÍK

5.7.1. Návrhové vnitřní síly



Obr. 5.15 Maximální tahová síla – KZ 138

Prut č. 695 – KZ 138:

$$N_{Ed,max} = 16,61 \text{ kN}$$

$$V_{z,odp} = 0,50 \text{ kN}$$

Prut č. 633 – KZ 248:

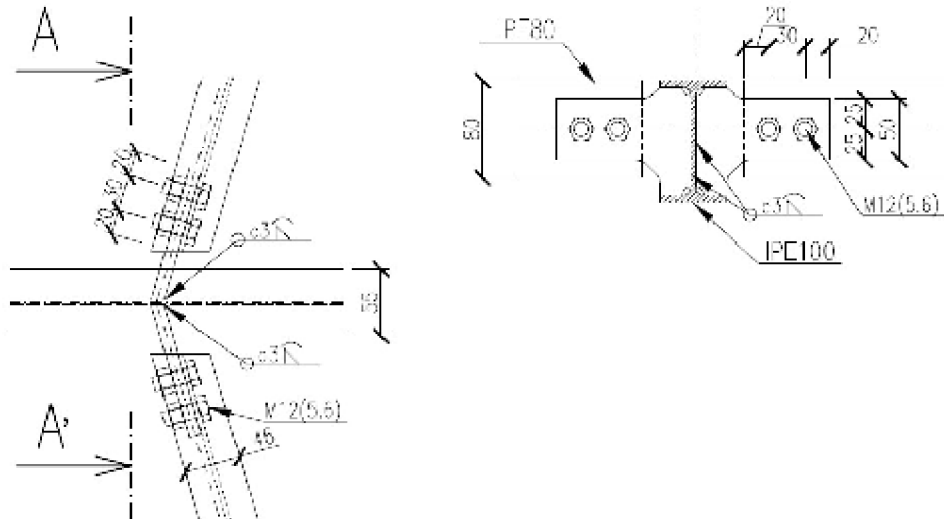
$$V_{z,max} = 0,84 \text{ kN} \text{ – ve smyslu tažených šroubů}$$

$$N_{Ed,odp} = 1,60 \text{ kN}$$

5.7.2. Geometrie a materiálové charakteristiky

POHLED

ŘEZ A-A'



Obr. 5.16 Schéma přípoje vaznice na střešní nosník

2 x šrouby M12, 5.6

$d = 12 \text{ mm}$; $d_0 = 13 \text{ mm}$; $t = 3,8 \text{ mm}$

$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$; $f_{yb} = 300 \text{ MPa}$; $A = 113 \text{ mm}^2$; $f_y = 355 \text{ MPa}$

5.7.3. Rozteče

$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 13 = 15,6 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 20 \text{ mm}$

$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 13 = 15,6 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 25 \text{ mm}$

$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 13 = 28,6 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 30 \text{ mm}$

5.7.4. Posouzení šroubů na smyk

Smyková síla na jeden šroub

$$F_{v,Ed,1} = \frac{N_{Ed,max}}{n} = \frac{16,61}{2} = 8,31 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd,1} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 113}{1,25} = 27,12 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed,1}}{F_{v,Rd,1}} = \frac{8,31}{27,12} = 0,31 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.7.5. Posouzení na otláčení

$$k_1 = \min. \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{25}{13} - 1,7 = 3,68 \\ 2,5 \end{array} \right\} = 2,50$$

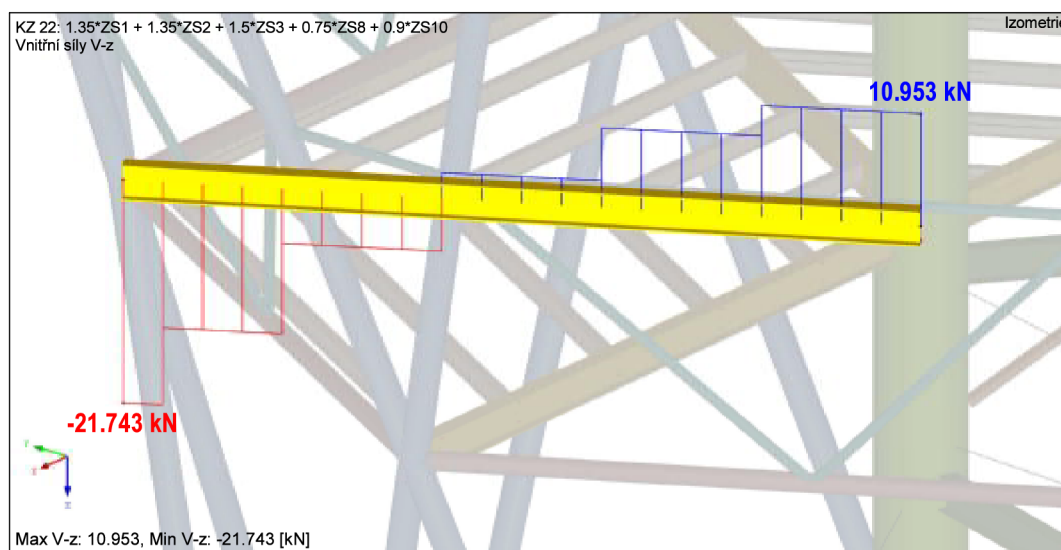
$$\alpha_b = \min. \left\{ \begin{array}{l} \alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{20}{3 \cdot 13} = 0,51 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500}{490} = 1,02 \\ 1,0 \end{array} \right\} = 0,51$$

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,51 \cdot 490 \cdot 12 \cdot 3,8}{1,25} = 22,79 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed,1}}{F_{b,Rd,1}} = \frac{8,31}{22,79} = 0,36 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.8. PŘIPOJENÍ NOSNÍKU VYHLÍDKOVÉ PLOŠINY NA STŘEDOVÝ SLOUP

5.8.1. Návrhové vnitřní síly



Obr. 5.17 Maximální smyková síla – KZ 22

Prut č. 704 – KZ 22:

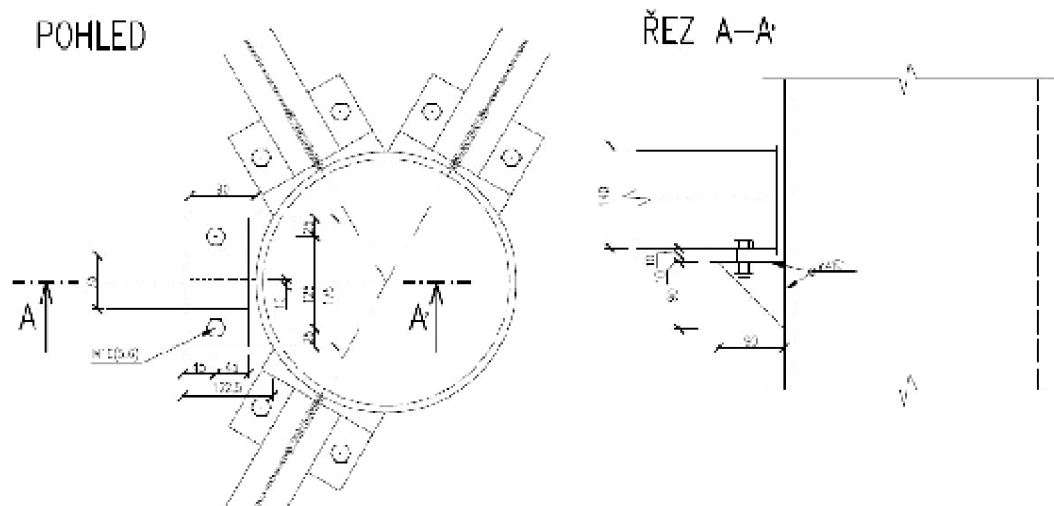
$$V_{Ed,z,max} = 10,96 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,odp} = -1,10 \text{ kN}$$

Prut č. 705 – KZ 94:

$N_{Ed,max} = -4,39 \text{ kN}$

5.8.2. Geometrie a materiálové charakteristiky



Obr. 5.18 Schéma připojení nosníku vyhlídkové plošiny na středový sloup

2 x šrouby M16, 5.6 – vzhledem k malým vnitřním silám neposuzují

5.8.3. Rozteče

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \quad \rightarrow e_1 = 45 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \quad \rightarrow e_2 = 25 \text{ mm}$$

$$\min p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 18 = 43,2 \text{ mm} \quad \rightarrow p_2 = 125 \text{ mm}$$

5.8.4. Posouzení svaru „konzolky“

$$a = 4 \text{ mm}, l = 2 \cdot (90 - 2a) = 164 \text{ mm}, A = 656 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed,z,max}}{A} = \frac{10,96 \cdot 10^3}{656} = 16,71 \text{ MPa}$$

$$M_{V,Ed} = r \cdot V_{Ed,max} = 0,045 \cdot 10,96 = 0,493 \text{ kNm}$$

$$I_y = 1,926 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_y = \frac{I_y}{z_d} = \frac{1,926 \cdot 10^{-6}}{0,0798} = 24,13 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\sigma_M = \frac{M_{V,Ed}}{W_y} = \frac{0,493 \cdot 10^3}{24,13 \cdot 10^{-6}} = 20,43 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{20,43}{\sqrt{2}} = 14,45 \text{ MPa}$$

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

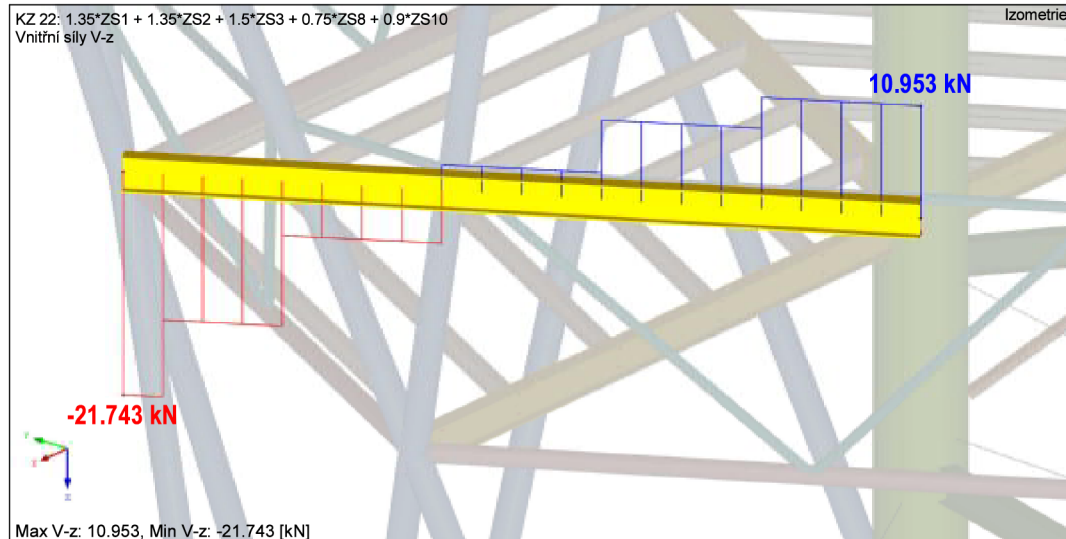
$$\sqrt{14,45^2 + 3 \cdot (14,45^2 + 16,71^2)} = 40,90 \text{ MPa}$$

$$40,90 \text{ MPa} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,56 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} = 14,45 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,80 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.9. PŘIPOJENÍ NOSNÍKU VYHLÍDKOVÉ PLOŠINY NA NOSNOU KONSTRUKCI

5.9.1. Návrhové vnitřní síly



Obr. 5.19 Maximální smyková síla – KZ 22

Prut č. 704 – KZ 22:

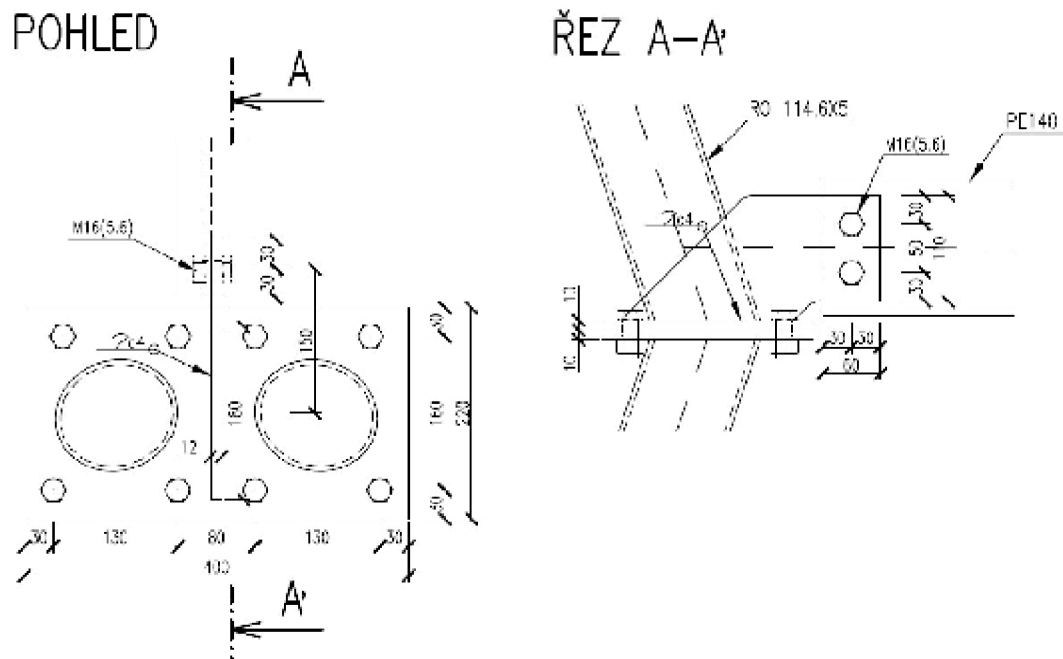
$$V_{Ed,z,max} = 21,74 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,odp} = -0,52 \text{ kN}$$

Prut č. 703 – KZ 21:

$$N_{Ed,max} = 2,95 \text{ kN}$$

5.9.2. Geometrie a materiálové charakteristiky



Obr. 5.20 Schéma připojení nosníku vyhlídkové plošiny na nosnou konstrukci

2 x šrouby M16, 5.6

$$d = 16 \text{ mm}; d_0 = 18 \text{ mm}; t = 4,7 \text{ mm}$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa}; f_{yb} = 300 \text{ MPa}; A = 201 \text{ mm}^2; f_y = 355 \text{ MPa}$$

5.9.3. Rozteče

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \quad \rightarrow e_1 = 30 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \quad \rightarrow e_2 = 30 \text{ mm}$$

$$\min p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 18 = 43,2 \text{ mm} \quad \rightarrow p_2 = 50 \text{ mm}$$

5.9.4. Posouzení šroubů na smyk

Smyková síla na jeden šroub

$$F_{v,Ed,1} = \frac{V_{Ed,z,max}}{n} = \frac{21,74}{2} = 10,87 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd,1} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 201}{1,25} = \mathbf{48,24 \text{ kN}}$$

$$\frac{F_{v,Ed,1}}{F_{v,Rd,1}} = \frac{10,87}{48,24} = \mathbf{0,23} \leq \mathbf{1,0} \dots \mathbf{VYHOVUJE}$$

5.9.5. Posouzení na otláčení

$$k_1 = \min. \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{30}{18} - 1,7 = 2,97 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{50}{18} - 1,7 = 2,19 \\ \phantom{1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 =} 2,5 \end{array} \right\} = \mathbf{2,19}$$

$$\alpha_b = \min. \left\{ \begin{array}{l} \alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{30}{3 \cdot 18} = 0,56 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500}{490} = 1,02 \\ \phantom{\frac{f_{ub}}{f_u} =} 1,0 \end{array} \right\} = \mathbf{0,56}$$

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,19 \cdot 0,56 \cdot 490 \cdot 16 \cdot 4,7}{1,25} = \mathbf{36,15 \text{ kN}}$$

$$\frac{F_{v,Ed,1}}{F_{b,Rd,1}} = \frac{10,87}{36,15} = \mathbf{0,30} \leq \mathbf{1,0} \dots \mathbf{VYHOVUJE}$$

5.9.6. Posouzení svaru

$$a = 4 \text{ mm}, l = 2 \cdot (180 - 2a) = 344 \text{ mm}, A = 1376 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed,max}}{A} = \frac{2,95 \cdot 10^3}{1376} = 2,14 \text{ MPa}$$

$$M_{V,Ed} = r \cdot V_{Ed,max} = 0,150 \cdot 21,74 = 3,261 \text{ kNm}$$

$$I_y = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 4 \cdot 172^3 = 3,392 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{3,392 \cdot 10^{-6}}{0,075} = 45,23 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{M,0} = \frac{M_{V,Ed}}{W_y} = \frac{3,261 \cdot 10^3}{45,23 \cdot 10^{-6}} = 72,10 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{M,0}}{\sqrt{2}} = \frac{72,10}{\sqrt{2}} = 50,98 \text{ MPa}$$

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

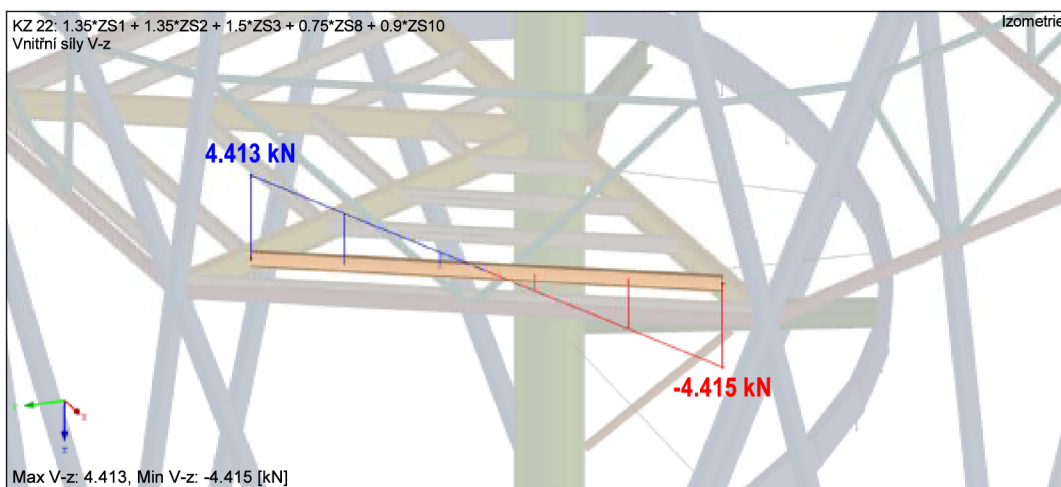
$$\sqrt{50,98^2 + 3 \cdot (50,98^2 + 2,14^2)} = 101,97 \text{ MPa}$$

$$101,97 \text{ MPa} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,56 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} = 50,98 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,80 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.10. PŘÍPOJENÍ ROŠTU VYHLÍDKOVÉ PLOŠINY NA NOSNÍK VYHLÍDKOVÉ PLOŠINY

5.10.1. Návrhové vnitřní síly



Obr. 5.21 Maximální posouvající síla – KZ 22

Prut č. 719 – KZ 22:

$$V_{Ed,z,max} = 4,42 \text{ kN}$$

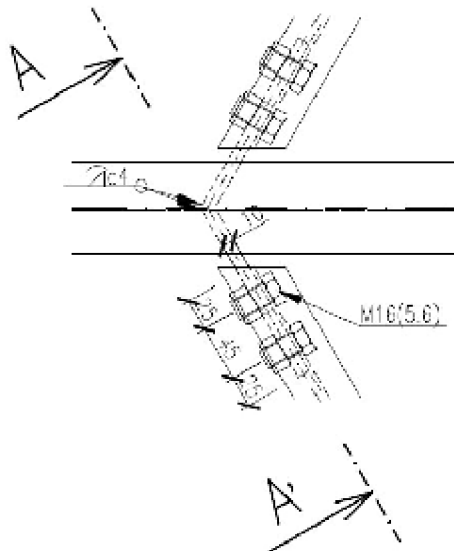
$$N_{Ed,odp} = -0,57 \text{ kN}$$

Prut č. 720 – KZ 83:

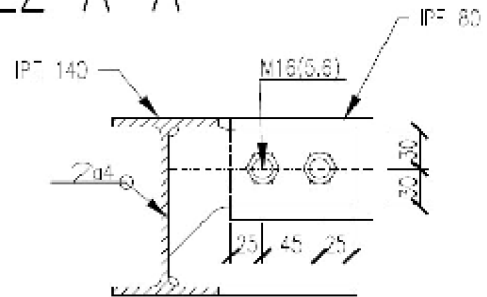
$$N_{Ed,max} = 1,82 \text{ kN}$$

5.10.2. Geometrie a materiálové charakteristiky

POHLED



ŘEZ A-A'



Obr. 5.22 Schéma připojení roštu vyhlídkové plošiny na její nosník

2 x šrouby M16, 5.6

$d = 16 \text{ mm}$; $d_0 = 18 \text{ mm}$; $t = 3,8 \text{ mm}$

$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$; $f_{yb} = 300 \text{ MPa}$; $A = 201 \text{ mm}^2$; $f_y = 355 \text{ MPa}$

5.10.3. Rozteče

$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \quad \rightarrow e_1 = 30 \text{ mm}$

$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \quad \rightarrow e_2 = 25 \text{ mm}$

$\min p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 18 = 43,2 \text{ mm} \quad \rightarrow p_2 = 45 \text{ mm}$

5.10.4. Posouzení šroubů na smyk

Smyková síla na jeden šroub

$$F_{v,Ed,1} = \frac{V_{Ed,max}}{n} = \frac{4,42}{2} = 2,21 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd,1} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 201}{1,25} = 48,24 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed,1}}{F_{v,Rd,1}} = \frac{2,21}{48,24} = 0,05 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.10.5. Posouzení na otláčení

$$k_1 = \min. \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{25}{18} - 1,7 = 2,19 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{45}{18} - 1,7 = 1,8 \\ 2,5 \end{array} \right\} = 1,8$$

$$\alpha_b = \min. \left\{ \begin{array}{l} \alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{30}{3 \cdot 18} = 0,55 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500}{490} = 1,02 \\ 1,0 \end{array} \right\} = 0,55$$

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{1,8 \cdot 0,55 \cdot 490 \cdot 16 \cdot 3,8}{1,25} = 23,60 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed,1}}{F_{b,Rd,1}} = \frac{2,21}{23,60} = 0,09 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.10.6. Posouzení svaru

$$a = 4 \text{ mm}, l_{eff} = 94 - 2a = 86 \text{ mm}, A = 688 \text{ mm}^2$$

$$M_{Ed,V} = V_{Ed,max} \cdot r = 4,42 \cdot 0,096 = 0,42 \text{ kNm}$$

$$F_{w,Ed} = \frac{3M_{Ed,V}}{l_{eff}^2} = \frac{3 \cdot 0,42 \cdot 10^3}{0,086^2} = 170,36 \text{ kN/m}$$

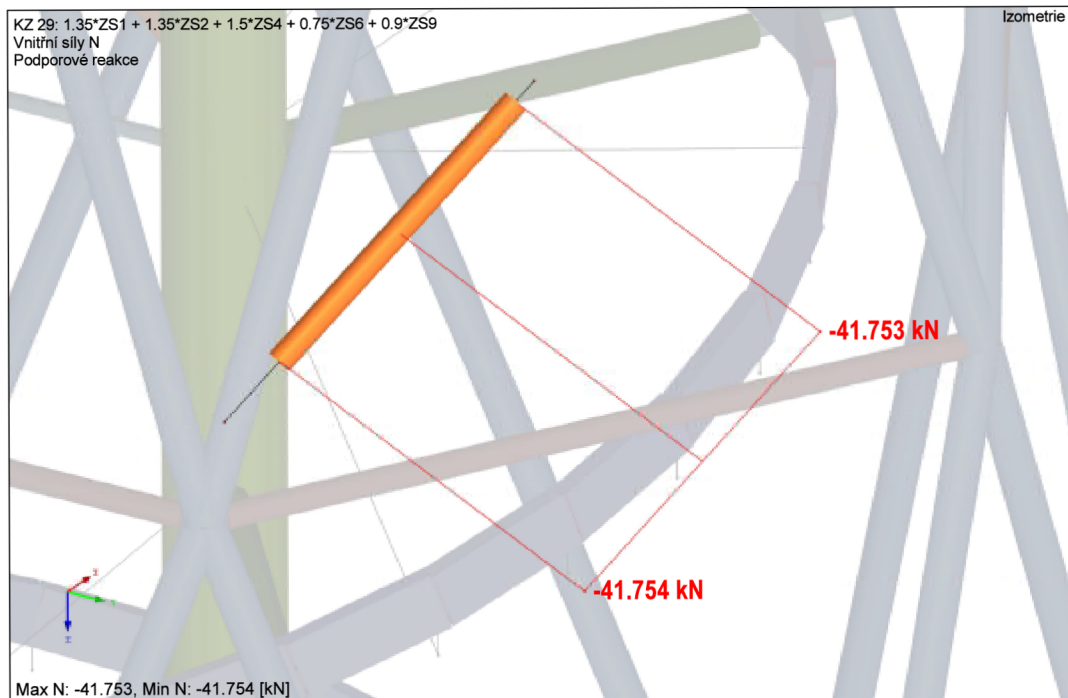
$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490 / \sqrt{3}}{0,9 \cdot 1,25} = 251,47 \text{ MPa}$$

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 251,47 \cdot 4 = 1\,005,88 \text{ kN/m}$$

$$\frac{F_{w,Ed}}{F_{w,Rd}} = \frac{170,36}{1\,005,88} = 0,17 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.11. PŘIPOJENÍ NOSNÍKU SCHODIŠTĚ NA STŘEDOVÝ SLOUP

5.11.1. Návrhové vnitřní síly

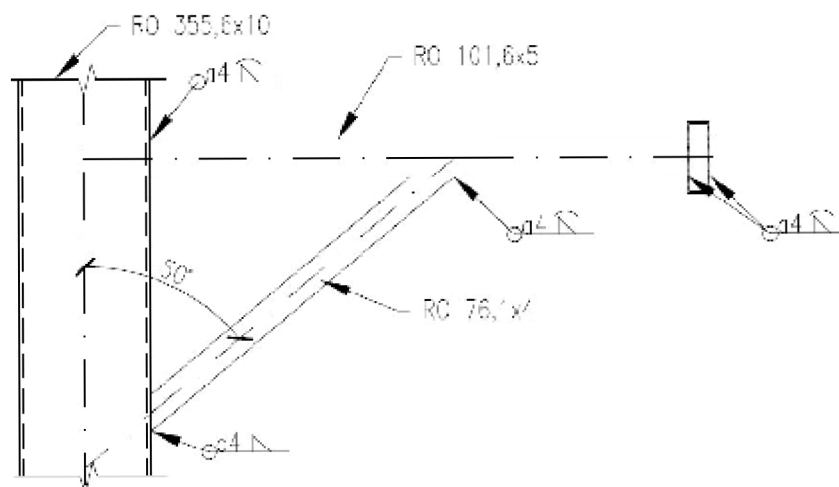


Obr. 5.23 Maximální normálová síla – KZ 29

Prut č. 598 – KZ 29:

$$N_{Ed,max} = -41,75 \text{ kN}$$

5.11.2. Geometrie



Obr. 5.24 Schéma připojení nosné konstrukce schodiště

5.11.3. Posouzení styčnicku vzpěry a středového sloupu – typ Y

Podmínky platnosti:

$$30^\circ \leq \theta_1 \leq 150^\circ \Rightarrow 30^\circ \leq 50^\circ \leq 150^\circ \dots \text{SPLNĚNO}$$

$$0,2 \leq \frac{d_i}{d_0} \leq 1,0 \Rightarrow 0,2 \leq \frac{76,1}{355,6} \leq 1,0 \Rightarrow 0,2 \leq 0,214 \leq 1,0 \dots \text{SPLNĚNO}$$

$$\frac{d_1}{t_1} \leq 50 \Rightarrow \frac{76,1}{4} = 17,9 \leq 50 \dots \text{SPLNĚNO}$$

$$10 \leq \frac{d_0}{t_0} \leq 50 \Rightarrow 10 \leq \frac{355,6}{10} \leq 50 \Rightarrow 10 \leq 35,56 \leq 50 \dots \text{SPLNĚNO}$$

$$\frac{c_0}{t_0} = \frac{355,6}{10} = 35,56 \Rightarrow \text{třída 2} \dots \text{SPLNĚNO}$$

$$\frac{c_1}{t_1} = \frac{71,6}{4} = 17,9 \Rightarrow \text{třída 1} \dots \text{SPLNĚNO}$$

$$d_1 \leq d_0 - 2t_0 \Rightarrow 76,1 \leq 355,6 - 2 \cdot 10 \Rightarrow 76,1 \leq 335,6 \dots \text{SPLNĚNO}$$

Porušení povrchu pásu:

$$N_{1,Rd} = \frac{\gamma^{0,2} \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \theta_1} \cdot (2,8 + 14,2 \cdot \beta^2)$$

$$\gamma = \frac{d_0}{2 \cdot t_0} = \frac{355,6}{2 \cdot 10} = 17,78$$

$$k_p = 1 - 0,3 \cdot n_p \cdot (1 + n_p) = 0,984 \dots \text{z programu RF - HSS}$$

$$\beta = \frac{d_i}{d_0} = \frac{76,1}{355,6} = 0,214$$

$$N_{1,Rd} = \frac{17,78^{0,2} \cdot 0,984 \cdot 355 \cdot 10^2}{\sin 50^\circ} \cdot (2,8 + 14,2 \cdot 0,214^2) = 279,78 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{41,75}{279,78} = 0,15 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

Porušení prolomením smykem:

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \frac{1 + \sin \theta_1}{2 \sin^2 \theta_1} = \frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 10 \cdot \pi \cdot 76,1 \cdot \frac{1 + \sin 50^\circ}{2 \sin^2 50^\circ} = 735,01 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{41,75}{735,01} = 0,06 \leq 1,0 \dots \mathbf{VYHOVUJE}$$

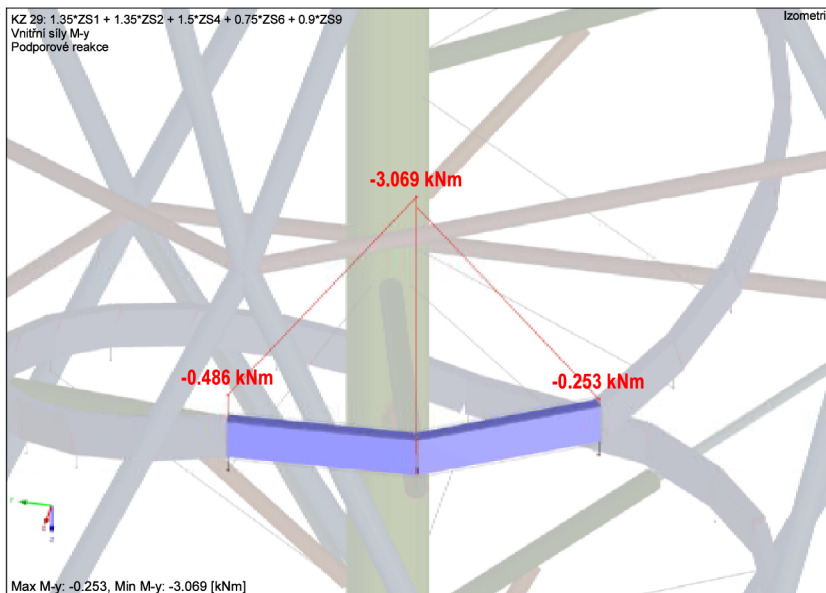
Interakční podmínka:

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} + \left[\frac{M_{ip,1,Ed}}{M_{ip,1,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{M_{op,1,Ed}}{M_{op,1,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$$

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{41,75}{279,78} = 0,15 \leq 1,0 \dots \mathbf{VYHOVUJE}$$

5.12. MONTÁŽNÍ SPOJ SCHODNICE

5.12.1. Návrhové vnitřní síly



Obr. 5.25 Maximální ohybový moment – KZ 30

Prut č. 330 – KZ 30:

$$M_{Ed,y,max} = -3,069 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,z,odp} = 0,865 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,z,odp} = 4,25 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,odp} = -0,42 \text{ kN}$$

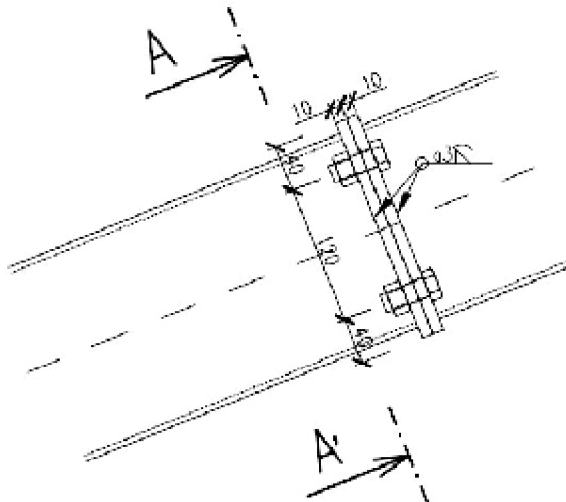
$$F_{t,M_y} = \frac{M_{Ed,y,max}}{r} = \frac{3,069}{0,12} = 25,35 \text{ kN} - \text{na 2 šrouby}$$

$$F_{t,M_z} = \frac{M_{Ed,z,max}}{r} = \frac{0,865}{0,12} = 7,21 \text{ kN} - \text{na 2 šrouby}$$

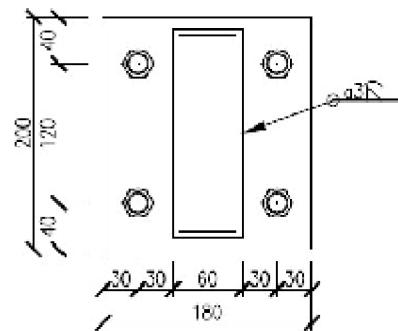
$$F_{t,Ed} = F_{t,M_y} + F_{t,M_z} = 25,35 + 7,21 = 32,56 \text{ kN}$$

5.12.2. Geometrie a materiálové charakteristiky

POHLED



ŘEZ A-A



Obr. 5.26 Schéma montážního spoje schodnice

4 x šrouby M16, 5.6

$d = 16 \text{ mm}$; $d_0 = 18 \text{ mm}$; $t = 10 \text{ mm}$

$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$; $f_{yb} = 300 \text{ MPa}$; $A = 201 \text{ mm}^2$; $A_s = 157 \text{ mm}^2$; $f_y = 355 \text{ MPa}$

5.12.3. Rozteče

$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 40 \text{ mm}$

$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 30 \text{ mm}$

$\min p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 18 = 43,2 \text{ mm} \rightarrow p_2 = 120 \text{ mm}$

5.12.4. Posouzení šroubů na smyk

Smyková síla na jeden šroub

$$F_{v,Ed,1} = \frac{V_{Ed,z}}{n} = \frac{4,25}{4} = \mathbf{1,06 \text{ kN}} - \text{vzhledem k malým hodnotám neposuzují}$$

5.12.5. Posouzení na tahovou sílu

Tahová síla na jeden šroub

$$F_{t,Ed,1} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{32,56}{2} = 16,28 \text{ kN}$$

Únosnost jednoho šroubu na přetržení

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 500 \cdot 157}{1,25} = 56,52 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed,1}}{F_{t,Rd,1}} = \frac{16,28}{56,52} = 0,19 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.12.6. Posouzení na vliv páčení

Výpočet účinné délky pro čelní desku

$$t_f = 10 \text{ mm}; e = e_x = 30 \text{ mm}; w = 120 \text{ mm}; b_p = 200 \text{ mm}$$

$$m_x = 30 - 0,8 \cdot a \cdot \sqrt{2} = 30 - 0,8 \cdot 3 \cdot \sqrt{2} = 26,61 \text{ mm}$$

Kruhové porušení:

$$l_{eff,cp} = \min. \left(\frac{2\pi m_x}{\pi \cdot m_x + 2w} \right) = \min. \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot 26,61 = 167,20}{\pi \cdot 26,61 + 2 \cdot 120 = 323,60} \right) = 143,60 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení:

$$l_{eff,nc} = \min. \left(\begin{array}{c} 4m_x + 1,25e_x \\ e + 2m_x + 0,625e_x \\ 0,5b_p \\ 0,5w + 2m_x + 0,625e_x \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} 4 \cdot 26,61 + 1,25 \cdot 30 = 143,94 \\ 30 + 2 \cdot 26,61 + 0,625 \cdot 30 = 101,97 \\ 0,5 \cdot 200 = 100 \\ 0,5 \cdot 120 + 2 \cdot 26,61 + 0,625 \cdot 30 = 131,97 \end{array} \right)$$

$$l_{eff,nc} = 100,0 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1} = l_{eff,nc} = 100,0 \text{ mm} \leq l_{eff,cp} = 143,60 \text{ mm} \dots \text{SPLNĚNO}$$

1. způsob – úplná plastifikace pásnice

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 100,0 \cdot 12^2 \cdot 355}{1,0} = 0,888 \text{ kNm}$$

2. způsob – porušení šroubu s plastifikací pásnice

Způsob 1 a 2 – páčení nenastává pokud bude splněna podmínka:

$$F_{T,1,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{2 \cdot 0,888}{0,02661} = 66,74 \text{ kN}$$

$$F_{T,1,2,Rd} = 66,74 \text{ kN} \geq F_{T,Ed} = 32,56 \text{ kN} \dots \text{PÁČENÍ NENASTÁVÁ}$$

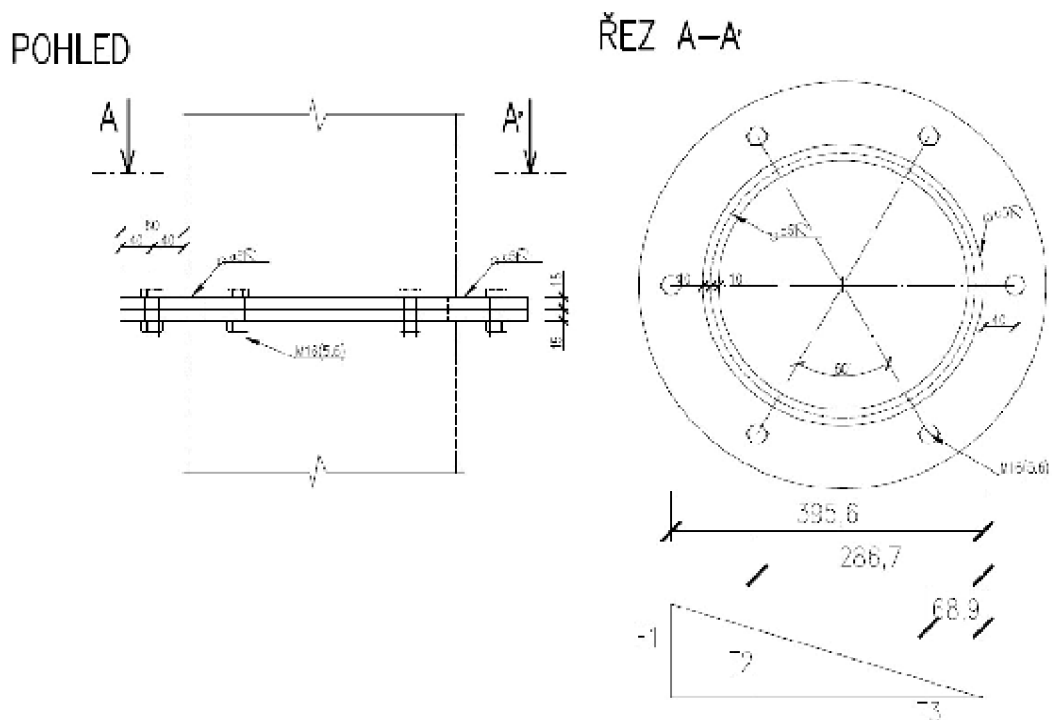
3. způsob: porušení šroubu

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 4 \cdot F_{t,Rd} = 4 \cdot 56,52 = 226,08 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed,1}}{F_{t,Rd}} = \frac{1,06}{226,08} = 0,01 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.13. MONTÁŽNÍ SPOJ STŘEDOVÉHO SLOUPU

5.13.1. Geometrie a materiálové charakteristiky



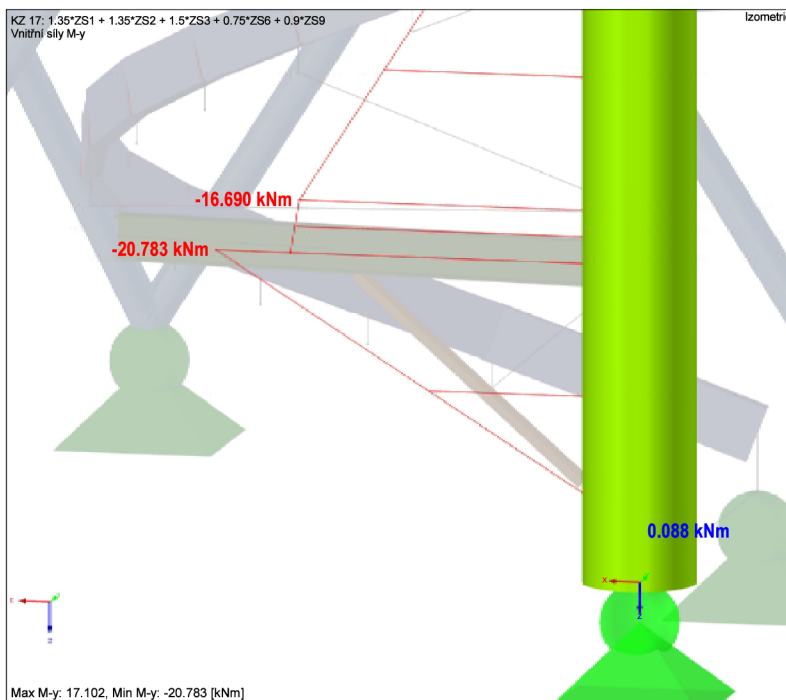
Obr. 5.27 Schéma montážního spoje středového sloupu

6 x šrouby M16, 5.6

$d = 16 \text{ mm}$; $d_0 = 18 \text{ mm}$; $t = 15 \text{ mm}$

$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$; $f_{yb} = 300 \text{ MPa}$; $A = 201 \text{ mm}^2$; $A_s = 157 \text{ mm}^2$; $f_y = 355 \text{ MPa}$

5.13.2. Návrhové vnitřní síly



Obr. 5.28 Maximální ohybový moment – KZ 17

Prut č. 180 – KZ 17:

$$M_{Ed,y,max} = 20,78 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,z,odp} = 3,31 \text{ kN}$$

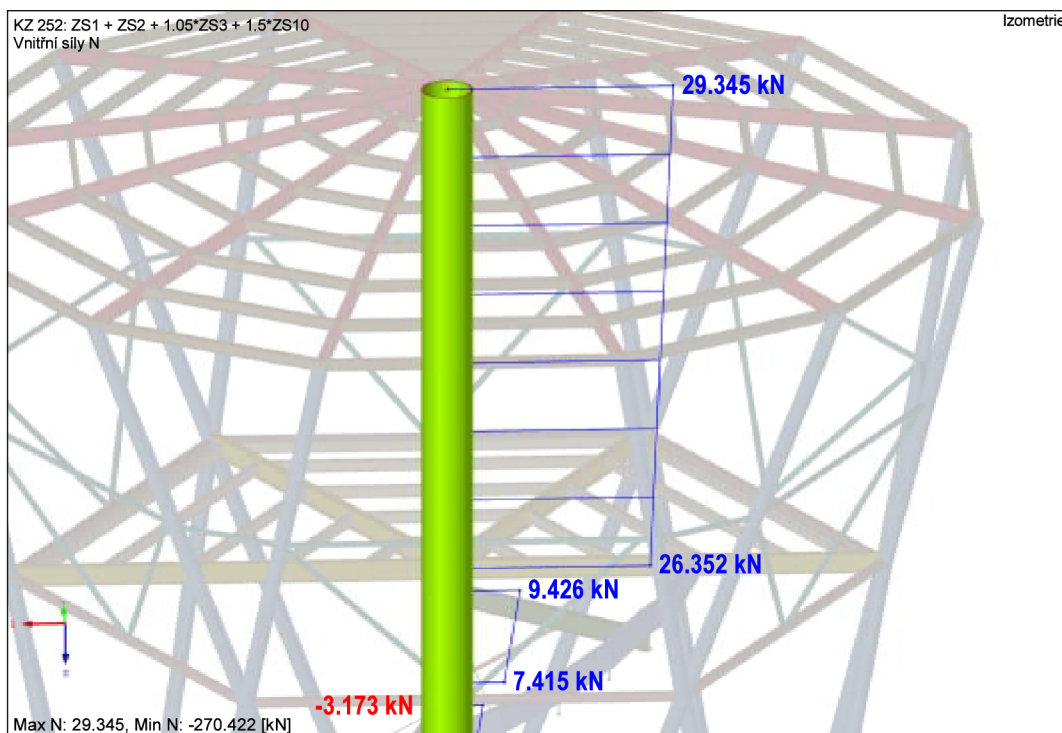
$$N_{Ed,odp} = - 457,89 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,y,odp} = - 27,54 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,z,odp} = - 24,78 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{V_{Ed,x}^2 + V_{Ed,y}^2} = \sqrt{27,54^2 + 24,78^2} = 37,05 \text{ kN} - \text{smyk}$$

$$M_{Ed} = \sqrt{M_{Ed,x}^2 + M_{Ed,y}^2} = \sqrt{20,78^2 + 3,31^2} = 21,04 \text{ kN} - \text{ohyb}$$



Obr. 5.29 Maximální tahová síla – KZ 17

Prut č. 585 – KZ 252

$$N_{Ed,max} = 26,35 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y,odp} = 1,62 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y,odp} = 3,66 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,y,odp} = 1,05 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,z,odp} = 0,0 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \sqrt{M_{Ed,x}^2 + M_{Ed,y}^2} = \sqrt{1,62^2 + 3,66^2} = 4,00 \text{ kN} - \text{ohyb}$$

5.13.3. Posouzení šroubu na tah

Síla od působení momentu

$$M_{Ed,max} = 0,3986F_1 + \frac{0,2867}{0,3956} \cdot 0,2867F_1 + \frac{0,0689}{0,3956} \cdot 0,0689F_1$$

$$M_{Ed,max} = 0,616F_1$$

$$F_1 = \frac{20,78}{0,616} = 33,73 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,1} = \frac{N_{Ed,odp}}{6} = \frac{-457,89}{6} = -76,32 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = F_1 + N_{Ed,1} = 33,73 - 76,32 = -42,59 \text{ kN}$$

V šroubech nevzniká tah – **převažuje vždy tlak**

$$F_{t,Ed,1} = \frac{N_{Ed,max}}{6} = \frac{26,35}{6} = 4,39 \text{ kN}$$

Únosnost jednoho šroubu na přetržení

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 500 \cdot 157}{1,25} = 56,52 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed,1}}{F_{t,Rd,1}} = \frac{4,39}{56,52} = 0,08 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.13.1. Posouzení šroubů na smyk

Smyková síla na jeden šroub

$$F_{v,Ed,1} = \frac{F_{v,Ed}}{n} = \frac{37,05}{6} = 6,18 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd,1} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 201}{1,25} = 48,24 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed,1}}{F_{v,Rd,1}} = \frac{6,18}{48,24} = 0,13 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.13.2. Posouzení na otláčení

$$k_1 = \min. \left\{ \begin{array}{l} \bar{} \\ 2,5 \end{array} \right\} = 2,50$$

$$\alpha_b = \min. \left\{ \begin{array}{l} \alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{40}{3 \cdot 18} = 0,74 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500}{490} = 1,02 \\ 1,0 \end{array} \right\} = 0,74$$

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,74 \cdot 490 \cdot 16 \cdot 15}{1,25} = 174,05 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed,1}}{F_{b,Rd,1}} = \frac{6,18}{174,05} = 0,04 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

6. Dimenzování hlavních prvků nosné konstrukce

6.1. Trubka obvodového pláště

Průřezové charakteristiky:

$$A = 1720 \text{ mm}^2$$

$$I = 2,57 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl} = 59,8 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\alpha = 0,49 - \text{křivka „c“}$$

Geometrie průřezu:

$$L_{cr} = 4,72 \text{ m}$$

Materiálové charakteristiky:

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

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

Zatřídění průřezu:

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

$$\frac{114,3}{5} = 22,86 \leq 50 \cdot 0,81^2 = 33 - \text{třída průřezu č. 1}$$

6.1.1. Vzpěr

Návrhové vnitřní síly prutu č.50; KZ91

$$N_{Ed,max} = -112,94 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed,odp} = -0,129 \text{ kN}$$

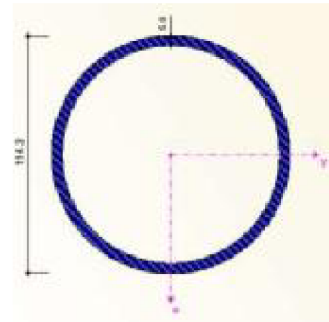
$$V_{z,Ed,odp} = 0,279 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed,odp} = 0,143 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed,odp} = 0,067 \text{ kNm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 2,57 \cdot 10^{-6}}{4,72^2} = 239,09 \text{ kN}$$

RO 114,3x5



$$\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,72 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{239,09 \cdot 10^3}} = 1,598$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,598 - 0,2) + 1,598^2] = 2,119$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{2,119 + \sqrt{2,119^2 - 1,598^2}} = 0,285$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,285 \cdot 1,72 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 174,021 \text{ kN}$$

Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{112,94}{174,02} = 0,65 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

6.1.2. Ohyb a tlak

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 1720 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 610,60 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 59,8 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^6 = 21,23 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 59,8 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^6 = 21,23 \text{ kNm}$$

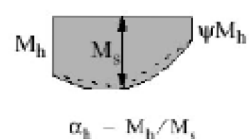
$$\Delta M_{y,Ed} = 0,0 \text{ kNm}; \Delta M_{z,Ed} = 0,0 \text{ kNm}$$

$$\chi_{LT} = 1,0 \Rightarrow \text{kruhový průřez neklopení}$$

$$\chi_y = \chi_z = 0,285$$

$$\lambda_y = \lambda_z = 1,598$$

k_{yy}



$$\alpha_{h,y} = \frac{M_{h,y}}{M_{s,y}} = \frac{0}{0,143} = 0,0$$

$\alpha_h - M_h/M_s$

$$\text{rovnomměrné zatížení} - C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0,0 = 0,95$$

$$C_{my} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right)$$

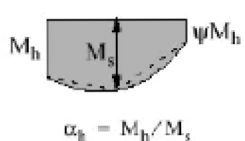
$$0,95 \cdot \left(1 + (1,598 - 0,2) \cdot \frac{112,94 \cdot 10^3}{\frac{0,285 \cdot 610,60 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{112,94 \cdot 10^3}{\frac{0,285 \cdot 610,60 \cdot 10^3}{1,0}} \right)$$

$$1,812 \leq 1,443 \Rightarrow k_{yy} = 1,443$$

k_{zy}

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,443 = \mathbf{0,866}$$

k_{zz}



$$\alpha_{h,z} = \frac{M_{h,z}}{M_{s,z}} = \frac{0}{0,067} = 0,0$$

$\alpha_h = M_h / M_s$

$$\text{rovnoměrné zatížení} - C_{mz} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0,0 = \mathbf{0,95}$$

$$C_{mz} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$0,95 \cdot \left(1 + (1,598 - 0,2) \cdot \frac{112,94 \cdot 10^3}{\frac{0,285 \cdot 610,60 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{112,94 \cdot 10^3}{\frac{0,285 \cdot 610,60 \cdot 10^3}{1,0}} \right)$$

$$1,812 \leq 1,443 \Rightarrow k_{zz} = 1,444$$

k_{yz}

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,443 = \mathbf{0,866}$$

Posouzení

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

$$\frac{112,944 \cdot 10^3}{\frac{0,285 \cdot 610,60 \cdot 10^3}{1,0}} + 1,444 \cdot \frac{0,143 \cdot 10^3}{\frac{1,0 \cdot 21,229 \cdot 10^3}{1,0}} + 0,866 \cdot \frac{0,067 \cdot 10^3}{\frac{21,226 \cdot 10^3}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,66 \leq 1,0 \Rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

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

$$\frac{112,944 \cdot 10^3}{0,285 \cdot 610,60 \cdot 10^3} + 0,866 \cdot \frac{0,143 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 21,229 \cdot 10^3} + 1,444 \cdot \frac{0,067 \cdot 10^3}{21,229 \cdot 10^3} \leq 1,0$$

$0,66 \leq 1,0 \Rightarrow$ **VYHOVUJE**

6.2. Nosník střešního pláště

Průřezové charakteristiky:

$$A = 1030 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 1,71 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 1,59 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} = 39,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 91,456 \cdot 10^2 \text{ mm}^3$$

$$\alpha_{y-y} = 0,21 - \text{křivka „a“}$$

$$\alpha_{z-z} = 0,34 - \text{křivka „b“}$$

Geometrie průřezu:

$$L_{cr,y,z} = 3,756 \text{ m}$$

Materiálové charakteristiky:

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

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

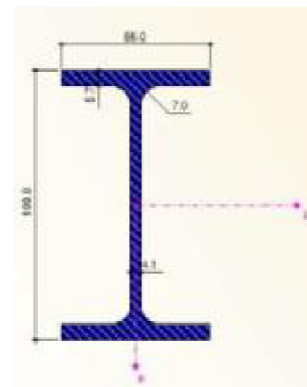
Zatřídění průřezu:

Pásnice

$$\frac{c}{t} \leq 9\epsilon$$

$$\frac{18,5}{5,7} = 3,24 \leq 9 \cdot 0,81 = 7,29 - \text{třída průřezu č. 1}$$

IPE 100



Stojna

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

$$\frac{74,6}{4,1} = 18,2 \leq 72 \cdot 0,81 = 58,32 - \text{třída průřezu č. 1}$$

6.2.1. Tlak a ohyb

Návrhové vnitřní síly prutu č.616; KZ252

$$N_{Ed,max} = -14,531 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed,odp} = -0,189 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed,odp} = -0,001 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed,odp} = -0,001 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed,odp} = 0,382 \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,71 \cdot 10^{-6}}{3,756^2} = 251,194 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,59 \cdot 10^{-7}}{3,756^2} = 23,357 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,03 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{251,23 \cdot 10^3}} = 1,207$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,207 - 0,2) + 1,207^2] = 1,334$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{1,334 + \sqrt{1,334^2 - 1,207^2}} = 0,526$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{1,03 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{23,36 \cdot 10^3}} = 3,957$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (3,957 - 0,2) + 3,957^2] = 8,966$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{8,966 + \sqrt{8,966^2 - 3,957^2}} = 0,059$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 1030 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 365,65 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 39,4 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^6 = 13,897 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 91,456 \cdot 10^{-7} \cdot 355 \cdot 10^6 = 3,247 \text{ kNm}$$

$$\Delta M_{y,Ed} = 0,0 \text{ kNm}; \Delta M_{z,Ed} = 0,0 \text{ kNm}$$

$\chi_{LT} = 1,0 \Rightarrow$ je zabráněno klopení střešním pláštěm

k_{yy}

$$\alpha_{h,y} = \frac{M_{h,y}}{M_{s,y}} = \frac{0}{0,189} = 0,0$$

soustředěné zatížení - $C_{my} = 0,90 + 0,10 \cdot \alpha_h = 0,90 + 0,10 \cdot 0,0 = \mathbf{0,90}$

$$C_{my} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$0,90 \cdot \left(1 + (1,207 - 0,2) \cdot \frac{14,531 \cdot 10^3}{\frac{0,526 \cdot 365,65 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \leq 0,90 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{14,531 \cdot 10^3}{\frac{0,526 \cdot 365,65 \cdot 10^3}{1,0}} \right)$$

$$\mathbf{0,968 \leq 0,954 \Rightarrow k_{yy} = 0,954}$$

k_{zz}

$$\alpha_{h,z} = \frac{M_{h,z}}{M_{s,z}} = \frac{0}{0,001} = 0,0$$

soustředěné zatížení - $C_{mz} = 0,90 + 0,10 \cdot \alpha_h = 0,90 + 0,10 \cdot 0,0 = \mathbf{0,90}$

$$C_{mz} \cdot \left(1 + (2 \cdot \lambda_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$0,90 \cdot \left(1 + (2 \cdot 3,957 - 0,6) \cdot \frac{14,531 \cdot 10^3}{\frac{0,059 \cdot 36,57 \cdot 10^4}{1,0}} \right) \leq 0,90 \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{14,531 \cdot 10^3}{\frac{0,059 \cdot 36,57 \cdot 10^4}{1,0}} \right)$$

$$\mathbf{5,040 \leq 1,752 \Rightarrow k_{zz} = 1,752}$$

k_{yz}

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,752 = \mathbf{1,051}$$

 k_{zy}

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,954 = \mathbf{0,573}$$

Posouzení

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

$$\frac{14,531 \cdot 10^3}{0,526 \cdot 365,65 \cdot 10^3} + 0,954 \cdot \frac{0,189 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 13,897 \cdot 10^3} + 1,051 \cdot \frac{0,001 \cdot 10^3}{3,247 \cdot 10^3} \leq 1,0$$

0,13 ≤ 1,0 => VYHOVUJE

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

$$\frac{14,531 \cdot 10^3}{0,059 \cdot 365,65 \cdot 10^3} + 0,573 \cdot \frac{0,189 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 13,897 \cdot 10^3} + 1,752 \cdot \frac{0,001 \cdot 10^3}{3,247 \cdot 10^3} \leq 1,0$$

0,71 ≤ 1,0 => VYHOVUJE**6.2.2. Ohyb****Návrhové vnitřní síly prutu č.615; KZ90**

$$M_{y,Ed,max} = 1,760 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed,odp} = 0,005 \text{ kNm} - \text{zanedbávám}$$

$$V_{y,Ed,odp} = 0,002 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed,odp} = -0,636 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,odp} = -0,312 \text{ kN}$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{39,4 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 13,987 \text{ kNm}$$

Posouzení

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,y,Rd}} = \frac{1,760}{13,987} = 0,13 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

6.2.3. Mezní stav použitelnosti - prut č.609, KZ509

$$w_{z,max} = 3,8 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{300} = \frac{3756}{300} = 12,5 \text{ mm}$$

Posouzení

$$\frac{w_{z,max}}{w_{lim,z}} = \frac{3,8}{12,5} = 0,30 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

6.3. Rošt střešního pláště**Průřezové charakteristiky:**

$$A = 764 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 801 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 84,9 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} = 23,2 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 58,176 \cdot 10^2 \text{ mm}^3$$

$$\alpha_{y-y} = 0,21 - \text{křivka „a“}$$

$$\alpha_{z-z} = 0,34 - \text{křivka „b“}$$

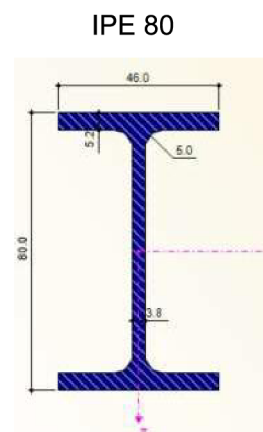
Geometrie průřezu:

$$L_{cr,y,z} = 1,476 \text{ m}$$

Materiálové charakteristiky:

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

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



Zatřídění průřezu:

Pásnice

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

$$\frac{16,1}{5,2} = 3,1 \leq 9 \cdot 0,81 = 7,29 - \text{třída průřezu č. 1}$$

Stojna

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

$$\frac{59,6}{3,8} = 15,68 \leq 72 \cdot 0,81 = 58,32 - \text{třída průřezu č. 1}$$

6.3.1. Tlak a ohyb**Návrhové vnitřní síly prutu č.676; KZ174**

$$N_{Ed,max} = -11,359 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed,odp} = 0,341 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed,odp} = -0,040 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed,odp} = 0,041 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed,odp} = 0,347 \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 801 \cdot 10^{-9}}{1,476^2} = 762,21 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 84,9 \cdot 10^{-7}}{1,476^2} = 80,79 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{764 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^6}{762,21 \cdot 10^3}} = 0,597$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,597 - 0,2) + 0,597^2] = 0,720$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0,720 + \sqrt{0,720^2 - 0,597^2}} = 0,891$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{764 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^6}{80,79 \cdot 10^3}} = 1,832$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,832 - 0,2) + 1,832^2] = 2,456$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{2,456 + \sqrt{2,456^2 - 1,832^2}} = 0,244$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 764 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^6 = 271,22 \text{ kN}$$

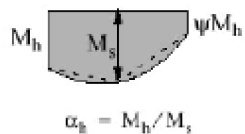
$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 23,2 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^6 = 8,236 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 58,176 \cdot 10^{-7} \cdot 355 \cdot 10^6 = 2,065 \text{ kNm}$$

$$\Delta M_{y,Ed} = 0,0 \text{ kNm}; \Delta M_{z,Ed} = 0,0 \text{ kNm}$$

$$\chi_{LT} = 1,0 \Rightarrow \text{je zabráněno klopení střešním pláštěm}$$

k_{yy}



$$\alpha_{h,y} = \frac{M_{h,y}}{M_{s,y}} = \frac{0}{0,341} = 0,0$$

$\alpha_h = M_h/M_s$

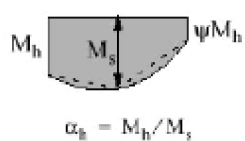
$$\text{rovnoměrné zatížení} - C_{my} = 0,95 + 0,1 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,1 \cdot 0,0 = \mathbf{0,95}$$

$$C_{my} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right)$$

$$0,95 \cdot \left(1 + (0,597 - 0,2) \cdot \frac{11,359 \cdot 10^3}{0,891 \cdot 271,22 \cdot 10^3} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{11,359 \cdot 10^3}{0,891 \cdot 271,22 \cdot 10^3} \right)$$

$$\mathbf{0,968 \leq 0,986 \Rightarrow k_{yy} = 0,968}$$

k_{zy}



$$\alpha_{h,z} = \frac{M_{h,LT}}{M_{s,LT}} = \frac{0}{0,341} = 0,0$$

$\alpha_h = M_h/M_s$


$$\text{rovnoměrné zatížení} - C_{mLT} = 0,95 + 0,1 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,1 \cdot 0,0 = \mathbf{0,95}$$

$$\left[1 - \frac{0,1 \cdot \lambda_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \geq \left[1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$$

$$\left[1 - \frac{0,1 \cdot 1,832}{(0,95 - 0,25)} \cdot \frac{11,359 \cdot 10^3}{\frac{0,244 \cdot 271,22 \cdot 10^3}{1,0}} \right] \geq \left[1 - \frac{0,1}{(0,95 - 0,25)} \cdot \frac{11,359 \cdot 10^3}{\frac{0,244 \cdot 271,22 \cdot 10^3}{1,0}} \right]$$

$$0,955 \geq 0,976 \Rightarrow k_{zy} = 0,976$$

k_{zz}



$$\alpha_{h,y} = \frac{M_{h,z}}{M_{s,z}} = \frac{0}{0,040} = 0,0$$

$\alpha_h = M_h / M_s$

$$\text{rovnorné zatížení} - C_{mz} = 0,95 + 0,1 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,1 \cdot 0,0 = 0,95$$

$$C_{mz} \cdot \left(1 + (2 \cdot \lambda_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$0,95 \cdot \left(1 + (2 \cdot 1,832 - 0,6) \cdot \frac{11,359 \cdot 10^3}{\frac{0,244 \cdot 271,2 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{11,359 \cdot 10^3}{\frac{0,244 \cdot 271,2 \cdot 10^3}{1,0}} \right)$$

$$1,460 \leq 1,178 \Rightarrow k_{zz} = 1,178$$

k_{yz}

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,178 = 0,707$$

Posouzení

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

$$\frac{11,359 \cdot 10^3}{0,891 \cdot 271,22 \cdot 10^3} + 0,968 \cdot \frac{0,341 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 8,236 \cdot 10^3} + 0,707 \cdot \frac{0,040 \cdot 10^3}{2,065 \cdot 10^3} \leq 1,0$$

$$0,10 \leq 1,0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

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

$$\frac{11,359 \cdot 10^3}{0,244 \cdot 271,22 \cdot 10^3} + 0,976 \cdot \frac{0,341 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 8,236 \cdot 10^3} + 1,178 \cdot \frac{0,040 \cdot 10^3}{2,065 \cdot 10^3} \leq 1,0$$

0,24 ≤ 1,0 => VYHOVUJE

6.3.2. Ohyb

Návrhové vnitřní síly prutu č.675; KZ114

$$M_{y,Ed,max} = 0,678 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed,odp} = -0,032 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed,odp} = 0,000 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed,odp} = 0,000 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,odp} = -1,519 \text{ kN}$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23,2 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 8,236 \text{ kNm}$$

Posouzení

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,y,Rd}} = \frac{0,678}{8,236} = 0,08 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

6.3.3. Mezní stav použitelnosti - prut č.675, KZ484

$$w_{z,max} = 0,9 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{300} = \frac{1,71}{300} = 5,9 \text{ mm}$$

Posouzení

$$\frac{w_{z,max}}{w_{lim,z}} = \frac{0,9}{5,9} = 0,15 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

6.4. Nosník vyhlídkové plošiny

Průřezové charakteristiky:

$$A = 1643 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 5,412 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 4,492 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} = 88,34 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 19,25 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\alpha_{y-y} = 0,21 - \text{křivka „a“}$$

$$\alpha_{z-z} = 0,34 - \text{křivka „b“}$$

Geometrie průřezu:

$$L = 3,0 \text{ m}$$

Materiálové charakteristiky:

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

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

Zatřídění průřezu:

Pásnice

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

$$\frac{27,1}{6,9} = 3,93 \leq 9 \cdot 0,81 = 7,29 - \text{třída průřezu č. 1}$$

Stojna

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

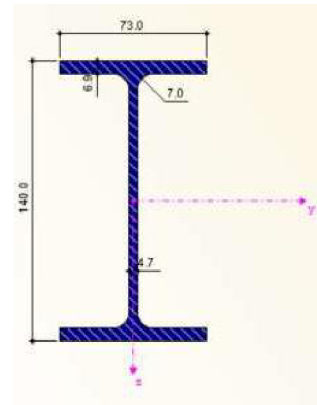
$$\frac{112,2}{4,7} = 23,87 \leq 72 \cdot 0,81 = 58,32 - \text{třída průřezu č. 1}$$

6.4.1. Ohyb

Návrhové vnitřní síly prutu č.704; KZ22

$$M_{y,Ed,max} = 12,766 \text{ kNm}$$

IPE 140



$$M_{z,Ed,odp} = 0,051 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed,odp} = -0,062 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed,odp} = -5,177 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,odp} = -1,370 \text{ kN}$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{88,34 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 31,36 \text{ kNm}$$

Posouzení

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{c,y,Rd}} = \frac{12,766}{31,36} = 0,41 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

6.4.2. Mezní stav použitelnosti - prut č.704, KZ389

$$w_{z,max} = 6,9 \text{ mm}$$

$$w_{lim,z} = \frac{L}{300} = \frac{3000}{300} = 10 \text{ mm}$$

Posouzení

$$\frac{w_{z,max}}{w_{lim,z}} = \frac{6,9}{10} = 0,69 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

6.5. Rošt vyhlídkové plošiny

Průřezové charakteristiky:

$$A = 764 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 801 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 84,9 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} = 23,2 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

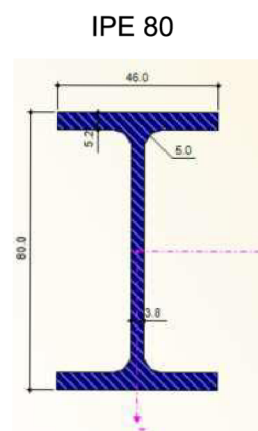
$$W_{pl,z} = 58,176 \cdot 10^2 \text{ mm}^3$$

$$\alpha_{y-y} = 0,21 - \text{křivka „a“}$$

$$\alpha_{z-z} = 0,34 - \text{křivka „b“}$$

Geometrie průřezu:

$$L_{cr,y,z} = 2,850 \text{ m}$$



Materiálové charakteristiky:

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

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

Zatřídění průřezu:

Pásnice

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

$$\frac{16,1}{5,2} = 3,1 \leq 9 \cdot 0,81 = 7,29 - \text{třída průřezu č. 1}$$

Stojna

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

$$\frac{59,6}{3,8} = 15,68 \leq 72 \cdot 0,81 = 58,32 - \text{třída průřezu č. 1}$$

6.5.1. Ohyb**Návrhové vnitřní síly prutu č.710; KZ30**

$$M_{y,Ed,max} = 2,685 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed,odp} = 0,122 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed,odp} = 0,001 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed,odp} = 0,000 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,odp} = 0,074 \text{ kN}$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23,2 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 8,236 \text{ kNm}$$

Posouzení

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{c,y,Rd}} = \frac{2,685}{8,236} = 0,33 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

6.5.2. Mezní stav použitelnosti - prut č.710, KZ400

$$w_{z,max} = 9,2 \text{ mm}$$

$$w_{lim,z} = \frac{L}{300} = \frac{2850}{300} = 9,5 \text{ mm}$$

Posouzení

$$\frac{w_{z,max}}{w_{lim,z}} = \frac{9,2}{9,5} = 0,97 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

6.6. Vodorovný ztužující nosník

Průřezové charakteristiky:

$$A = 1120 \text{ mm}^2$$

$$I = 70,9 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl} = 18,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\alpha = 0,49 - \text{křivka „c“}$$

Geometrie průřezu:

$$L_{cr} = 4,369 \text{ m}$$

Materiálové charakteristiky:

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

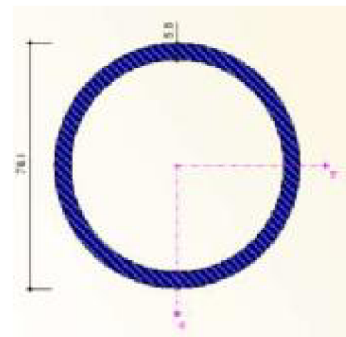
$$E = 210 \text{ GPa}$$

Zatřídění průřezu:

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

$$\frac{76,1}{5} = 15,22 \leq 50 \cdot 0,81^2 = 33 - \text{třída průřezu č. 1}$$

RO 76,1x5



6.6.1. Ohyb a tlak

Návrhové vnitřní síly prutu č.3; KZ256

$$N_{Ed,max} = -44,453 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed,odp} = -0,020 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed,odp} = 0,054 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed,odp} = 0,472 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed,odp} = 0,161 \text{ kNm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 70,9 \cdot 10^{-8}}{4,369^2} = 76,989 \text{ kN}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,12 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{76,989 \cdot 10^3}} = 2,273$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,049 \cdot (2,273 - 0,2) + 2,273^2] = 3,590$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{3,590 + \sqrt{3,590^2 - 2,273^2}} = 0,157$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 1120 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 397,600 \text{ kN}$$

$$M_{y,z,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 25,3 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^6 = 8,982 \text{ kNm}$$

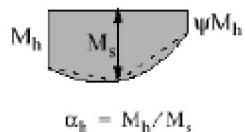
$$\Delta M_{y,Ed} = 0,0 \text{ kNm}; \Delta M_{z,Ed} = 0,0 \text{ kNm}$$

$$\chi_{LT} = 1,0 \Rightarrow \text{kruhový průřez neklopení}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = 2,273$$

$$\chi_y = \chi_z = 0,157$$

k_{yy}



$$\alpha_{h,y} = \frac{M_{h,y}}{M_{s,y}} = \frac{0}{0,472} = 0,0$$

$\alpha_h = M_h / M_s$

$$\text{rovnomměrné zatížení} - C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0,0 = \mathbf{0,95}$$

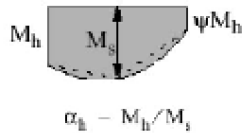
$$C_{my} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right)$$

$$0,95 \cdot \left(1 + (2,273 - 0,2) \cdot \frac{44,453 \cdot 10^3}{0,157 \cdot 397,60 \cdot 10^3} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{44,453 \cdot 10^3}{0,157 \cdot 397,60 \cdot 10^3} \right)$$

$$\mathbf{2,352 \leq 1,491 \Rightarrow k_{yy} = 1,491}$$

k_{zy}

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,491 = \mathbf{0,895}$$

 k_{zz} 

$$\alpha_{h,z} = \frac{M_{h,z}}{M_{s,z}} = \frac{0}{0,161} = 0,0$$

$$\text{rovnomměrné zatížení} - C_{mz} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0,0 = \mathbf{0,95}$$

$$C_{mz} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right) \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right)$$

$$0,95 \cdot \left(1 + (2,273 - 0,2) \cdot \frac{44,453 \cdot 10^3}{\frac{0,157 \cdot 397,60 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{44,453 \cdot 10^3}{\frac{0,157 \cdot 397,60 \cdot 10^3}{1,0}} \right)$$

$$\mathbf{2,352 \leq 1,491 \Rightarrow k_{zz} = 1,491}$$

 k_{yz}

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,491 = \mathbf{0,895}$$

Posouzení

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

$$\frac{44,453 \cdot 10^3}{\frac{0,157 \cdot 397,60 \cdot 10^3}{1,0}} + 1,491 \cdot \frac{0,472 \cdot 10^3}{\frac{1,0 \cdot 8,982 \cdot 10^3}{1,0}} + 0,895 \cdot \frac{0,161 \cdot 10^3}{\frac{8,982 \cdot 10^3}{1,0}} \leq 1,0$$

$$\mathbf{0,81 \leq 1,0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}}$$

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

$$\frac{44,453 \cdot 10^3}{\frac{0,157 \cdot 610,60 \cdot 10^3}{1,0}} + 0,895 \cdot \frac{0,472 \cdot 10^3}{\frac{1,0 \cdot 8,982 \cdot 10^3}{1,0}} + 1,491 \cdot \frac{0,161 \cdot 10^3}{\frac{8,982 \cdot 10^3}{1,0}} \leq 1,0$$

$0,79 \leq 1,0 \Rightarrow$ **VYHOVUJE**

6.7. Nosník schodnice

Průřezové charakteristiky:

$$A = 1520 \text{ mm}^2$$

$$I = 1,77 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl} = 46,7 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\alpha = 0,49 - \text{křivka „c“}$$

Materiálové charakteristiky:

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

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

Zatřídění průřezu:

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

$$\frac{101,6}{5} = 20,32 \leq 50 \cdot 0,81^2 = 33 - \text{třída průřezu č. 1}$$

6.7.1. Ohybový moment a smyková síla

Návrhové vnitřní síly prutu č.535; KZ36

$$M_{y,Ed,max} = -10,630 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed,odp} = -0,010 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed,odp} = -0,013 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed,odp} = 8,344 \text{ kN}$$

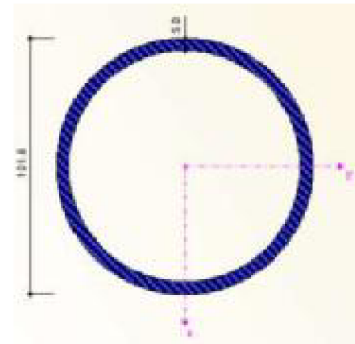
$$N_{Ed,odp} = 0,243 \text{ kN}$$

$$A_v = \frac{2A}{\pi} = \frac{2 \cdot 1520}{\pi} = 967,7 \text{ mm}^2 - \text{duté kruhové průřezy s konstantní tloušťkou}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{967,7 \cdot 10^{-6} \cdot (355 \cdot 10^6 / \sqrt{3})}{1,0} = 198,331 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{8,344}{198,331} = 0,042 \leq 0,5 \dots \text{LZE ZANEDBAT}$$

RO 101,6x5



$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{46,7 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 16,58 \text{ kNm}$$

Posouzení

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{10,63}{16,58} = 0,64 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

6.8. Vzpěra nosníku schodnice

Průřezové charakteristiky:

$$A = 906 \text{ mm}^2$$

$$I = 5,91 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl} = 20,8 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\alpha = 0,49 - \text{křivka „c“}$$

Materiálové charakteristiky:

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

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

Geometrie průřezu:

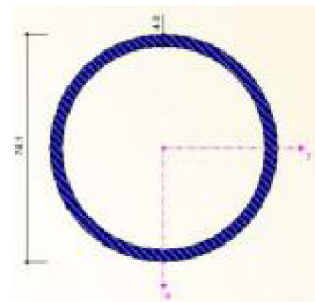
$$L_{cr} = 0,992 \text{ m}$$

Zatřídění průřezu:

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

$$\frac{76,1}{4} = 19,02 \leq 50 \cdot 0,81^2 = 33 - \text{třída průřezu č. 1}$$

RO 76,1x4



6.8.1. Posouzení na vzpěr

Návrhové vnitřní síly prutu č.598; KZ29

$$N_{Ed,max} = -41,764 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed,odp} = 0,063 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed,odp} = 0,023 \text{ kN}$$

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

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

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 5,91 \cdot 10^{-7}}{0,992^2} = 1\,245,04 \text{ kN}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{906 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^6}{1\,245,04 \cdot 10^3}} = 0,258$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,258 - 0,2) + 0,258^2] = 0,548$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0,548 + \sqrt{0,548^2 - 0,258^2}} = 0,805$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,805 \cdot 906 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 258,91 \text{ kN}$$

Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{41,764}{258,91} = 0,16 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

6.9. Prut spojující schodišťovou trubku a plášť

Průřezové charakteristiky:

$$A = 557 \text{ mm}^2$$

$$I = 1,38 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl} = 7,87 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\alpha = 0,49 - \text{křivka „c“}$$

Geometrie průřezu:

$$L_{cr} = 4,500 \text{ m}$$

Materiálové charakteristiky:

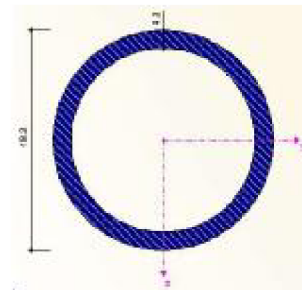
$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

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

Zatřídění průřezu:

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

RO 48,3x4



$$\frac{48,3}{5} = 12,07 \leq 50 \cdot 0,81^2 = 33 - \text{třída průřezu č. 1}$$

6.9.1. Ohyb a tlak

Návrhové vnitřní síly prutu č.156; KZ67

$$N_{Ed,max} = -5,459 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed,odp} = 0,0 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed,odp} = 0,0 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed,odp} = 0,243 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed,odp} = 0,028 \text{ kNm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,38 \cdot 10^{-7}}{4,50^2} = 14,125 \text{ kN}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{557 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^6}{14,125 \cdot 10^3}} = 3,742$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (3,742 - 0,2) + 3,742^2] = 8,367$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{8,367 + \sqrt{8,367^2 - 3,742^2}} = 0,063$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 557 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 197,735 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 7,87 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^6 = 2,794 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 7,87 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^6 = 2,794 \text{ kNm}$$

$$\Delta M_{y,Ed} = 0,0 \text{ kNm}; \Delta M_{z,Ed} = 0,0 \text{ kNm}$$

$$\chi_{LT} = 1,0 \Rightarrow \text{kruhový průřez neklopení}$$

$$\chi_y = \chi_z = 0,063$$

$$\lambda_y = \lambda_z = 3,742$$

k_{yy}

$$\alpha_{h,y} = \frac{M_{h,y}}{M_{s,y}} = \frac{0}{0,243} = 0,0$$

rovnoměrné zatížení - $C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0,0 = \mathbf{0,95}$

$$C_{my} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$0,95 \cdot \left(1 + (3,742 - 0,2) \cdot \frac{5,459 \cdot 10^3}{\frac{0,063 \cdot 197,74 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{5,459 \cdot 10^3}{\frac{0,063 \cdot 197,74 \cdot 10^3}{1,0}} \right)$$

$$\mathbf{2,425 \leq 1,283 \Rightarrow k_{yy} = 1,283}$$

k_{zy}

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,283 = \mathbf{0,770}$$

k_{zz}

$$\alpha_{h,z} = \frac{M_{h,z}}{M_{s,z}} = \frac{0}{0,028} = 0,0$$

rovnoměrné zatížení - $C_{mz} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0,0 = \mathbf{0,95}$

$$C_{mz} \cdot \left(1 + (\lambda_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$0,95 \cdot \left(1 + (3,742 - 0,2) \cdot \frac{5,459 \cdot 10^3}{\frac{0,063 \cdot 197,74 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{5,459 \cdot 10^3}{\frac{0,285 \cdot 197,74 \cdot 10^3}{1,0}} \right)$$

$$\mathbf{2,425 \leq 1,283 \Rightarrow k_{zz} = 1,283}$$

k_{yz}

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,283 = \mathbf{0,770}$$

Posouzení

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

$$\frac{5,459 \cdot 10^3}{0,063 \cdot 197,735 \cdot 10^3} + 1,283 \cdot \frac{0,243 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 2,794 \cdot 10^3} + 0,770 \cdot \frac{0,028 \cdot 10^3}{2,794 \cdot 10^3} \leq 1,0$$

0,55 ≤ 1,0 => VYHOVUJE

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

$$\frac{5,459 \cdot 10^3}{0,063 \cdot 197,735 \cdot 10^3} + 0,770 \cdot \frac{0,243 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 2,794 \cdot 10^3} + 1,283 \cdot \frac{0,028 \cdot 10^3}{2,794 \cdot 10^3} \leq 1,0$$

0,52 ≤ 1,0 => VYHOVUJE

6.9.2. Mezní stav použitelnosti - prut č.156, KZ436

$$w_{z,max} = 10,7 \text{ mm}$$

$$w_{lim,z} = \frac{L}{300} = \frac{4,500}{300} = 15,0 \text{ mm}$$

Posouzení

$$\frac{w_{z,max}}{w_{lim,z}} = \frac{10,7}{15,0} = 0,72 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

6.10. Schodišťová trubka

Průřezové charakteristiky:

$$A = 10900 \text{ mm}^2$$

$$I = 162,2 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl} = 1,195 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\alpha = 0,49 - \text{křivka „c“}$$

Geometrie průřezu:

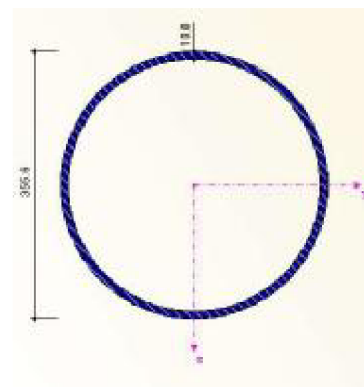
$$L_{cr} = 8,000 \text{ m}$$

Materiálové charakteristiky:

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

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

RO 355,6x10



Zatřídění průřezu:

$$\frac{d}{t} \leq 70\varepsilon^2$$

$$\frac{355,6}{10} = 35,56 \leq 70 \cdot 0,81^2 = 45,93 - \text{třída průřezu č. 2}$$

6.10.1. Ohyb a tlak**Návrhové vnitřní síly prutu č.181; KZ17**

$$N_{Ed,max} = -445,968 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed,odp} = -0,774 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed,odp} = -2,867 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed,odp} = -17,048 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed,odp} = -2,732 \text{ kNm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 162,2 \cdot 10^{-6}}{8,00^2} = 5\,252,79 \text{ kN}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{10,9 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{5\,252,79 \cdot 10^3}} = 0,858$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,858 - 0,2) + 0,858^2] = 1,030$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{1,030 + \sqrt{1,080^2 - 0,858^2}} = 0,626$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 557 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 3\,869,50 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 1,195 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 424,225 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 1,195 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 424,225 \text{ kNm}$$


$$\Delta M_{y,Ed} = 0,0 \text{ kNm}; \Delta M_{z,Ed} = 0,0 \text{ kNm}$$

$$\chi_{LT} = 1,0 \Rightarrow \text{kruhový průřez neklopení}$$

$$\chi_y = \chi_z = 0,626$$

$$\lambda_y = \lambda_z = 0,858$$

k_{yy}



$$\psi = \frac{M_{y,a}}{M_{y,b}} = \frac{-16,565}{-17,048} = 0,972$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,972 = \mathbf{0,989} \geq \mathbf{0,4} \dots \mathbf{SPLNĚNO}$$

$$C_{my} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$0,989 \cdot \left(1 + (0,858 - 0,2) \cdot \frac{445,968 \cdot 10^3}{\frac{0,626 \cdot 3\,869,50 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \leq$$


$$\leq 0,989 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{445,968 \cdot 10^3}{\frac{0,626 \cdot 3\,869,50 \cdot 10^3}{1,0}} \right)$$

$$\mathbf{1,109} \leq \mathbf{1,135} \Rightarrow \mathbf{k_{yy} = 1,109}$$

 k_{zy}

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,109 = \mathbf{0,665}$$

 k_{zz}



$$\psi = \frac{M_{y,a}}{M_{y,b}} = \frac{-2,732}{-2,861} = 0,955$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,955 = \mathbf{0,982} \geq \mathbf{0,4} \dots \mathbf{SPLNĚNO}$$

$$C_{mz} \cdot \left(1 + (\lambda_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$0,982 \cdot \left(1 + (0,858 - 0,2) \cdot \frac{445,968 \cdot 10^3}{\frac{0,626 \cdot 3\,869,50 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \leq$$

$$\leq 0,982 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{445,968 \cdot 10^3}{0,626 \cdot 3\,869,50 \cdot 10^3} \right)$$

$$1,101 \leq 1,127 \Rightarrow k_{zz} = 1,101$$

k_{yz}

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,101 = 0,661$$

Posouzení

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

$$\frac{445,968 \cdot 10^3}{0,626 \cdot 3\,869,50 \cdot 10^3} + 1,109 \cdot \frac{17,048 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 424,225 \cdot 10^3} + 0,665 \cdot \frac{2,732 \cdot 10^3}{424,225 \cdot 10^3} \leq 1,0$$

$$0,23 \leq 1,0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

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

$$\frac{445,968 \cdot 10^3}{0,626 \cdot 3\,869,50 \cdot 10^3} + 0,661 \cdot \frac{17,048 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 424,225 \cdot 10^3} + 1,101 \cdot \frac{2,732 \cdot 10^3}{424,225 \cdot 10^3} \leq 1,0$$

$$0,21 \leq 1,0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6.11. Ztužující prstenec

Průřezové charakteristiky:

$$A = 483 \text{ mm}^2$$

$$I = 89,9 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

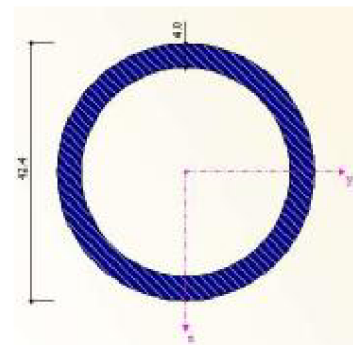
$$W_{pl} = 5,92 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\alpha = 0,49 - \text{křivka „c“}$$

Geometrie průřezu:

$$L_{cr} = 2,454 \text{ m}$$

RO 42,4x4



Materiálové charakteristiky:

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

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

Zatřídění průřezu:

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

$$\frac{42,4}{4} = 10,60 \leq 50 \cdot 0,81^2 = 33 - \text{třída průřezu č. 1}$$

6.11.1. Ohyb a tlak**Návrhové vnitřní síly prutu č.723; KZ279**

$$N_{Ed,max} = -2,827 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed,odp} = -1,137 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed,odp} = -3,233 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed,odp} = -0,318 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed,odp} = 0,112 \text{ kNm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 89,9 \cdot 10^{-9}}{2,454^2} = 30,940 \text{ kN}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{483 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^6}{30,940 \cdot 10^3}} = 2,354$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (2,354 - 0,2) + 2,354^2] = 3,799$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{3,799 + \sqrt{3,799^2 - 2,354^2}} = 0,147$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 483 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 171,465 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 5,92 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^6 = 2,102 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 5,92 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^6 = 2,102 \text{ kNm}$$

$$\Delta M_{y,Ed} = 0,0 \text{ kNm}; \Delta M_{z,Ed} = 0,0 \text{ kNm}$$

$$\chi_{LT} = 1,0 \Rightarrow \text{kruhový průřez neklopení}$$

$$\chi_y = \chi_z = 0,147$$

$$\lambda_y = \lambda_z = 2,354$$

 k_{yy}

$$\alpha_{h,y} = \frac{M_{h,y}}{M_{s,y}} = \frac{0}{0,318} = 0,0$$

$$\text{soustředěné zatížení - } C_{my} = 0,90 + 0,10 \cdot \alpha_h = 0,90 + 0,10 \cdot 0,0 = \mathbf{0,90}$$

$$C_{my} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$0,90 \cdot \left(1 + (2,354 - 0,2) \cdot \frac{2,827 \cdot 10^3}{\frac{0,147 \cdot 171,465 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \leq$$

$$\leq 0,90 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{2,827 \cdot 10^3}{\frac{0,147 \cdot 171,465 \cdot 10^3}{1,0}} \right)$$

$$\mathbf{1,117 \leq 0,981 \Rightarrow k_{yy} = 0,981}$$

 k_{zy}

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,981 = \mathbf{0,588}$$

 k_{zz}

$$\alpha_{h,z} = \frac{M_{h,z}}{M_{s,z}} = \frac{0}{0,112} = 0,0$$

$$\text{rovnorné zatížení - } C_{mz} = 0,90 + 0,10 \cdot \alpha_h = 0,90 + 0,10 \cdot 0,0 = \mathbf{0,90}$$

$$C_{mz} \cdot \left(1 + (\lambda_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$0,90 \cdot \left(1 + (2,354 - 0,2) \cdot \frac{2,827 \cdot 10^3}{\frac{0,147 \cdot 171,47 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \leq 0,90 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{2,827 \cdot 10^3}{\frac{0,147 \cdot 171,47 \cdot 10^3}{1,0}} \right)$$

$$1,117 \leq 0,981 \Rightarrow k_{zz} = 0,981$$

k_{yz}

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,981 = 0,589$$

Posouzení

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

$$\frac{2,827 \cdot 10^3}{0,147 \cdot 171,465 \cdot 10^3 \cdot 1,0} + 0,981 \cdot \frac{0,318 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 2,102 \cdot 10^3 \cdot 1,0} + 0,589 \cdot \frac{0,112 \cdot 10^3}{2,102 \cdot 10^3 \cdot 1,0} \leq 1,0$$

$$0,29 \leq 1,0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

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

$$\frac{2,827 \cdot 10^3}{0,147 \cdot 171,465 \cdot 10^3 \cdot 1,0} + 0,588 \cdot \frac{0,318 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 2,102 \cdot 10^3 \cdot 1,0} + 0,981 \cdot \frac{0,112 \cdot 10^3}{2,102 \cdot 10^3 \cdot 1,0} \leq 1,0$$

$$0,25 \leq 1,0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6.12.Schodnice

Průřezové charakteristiky:

Uzavřený obdelník 180/60/6/6/6

$$A = 2736 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 10,19 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 169,171 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

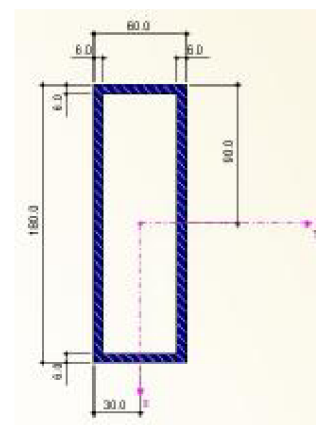
$$W_{pl,y} = 147,312 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 65,232 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$A_k = 9396 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,y} = 720 \text{ mm}^2$$

Materiálové charakteristiky:



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

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

Zatřídění průřezu:

Stojna

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

$$\frac{170}{6} = 28,33 \leq 72 \cdot 0,81 = 58,32 - \text{třída průřezu č. 1}$$

6.12.1. Kroucení

Návrhové vnitřní síly prutu č.479; KZ47

$$M_{x,Ed,max} = -1,207 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed,odp} = -0,058 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed,odp} = 0,106 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed,odp} = -0,298 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed,odp} = 1,682 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,odp} = -1,078 \text{ kN}$$

$$\tau_{t,Ed} = \frac{T_{t,Sd}}{2 \cdot A_k \cdot t} = \frac{1,207 \cdot 10^3}{2 \cdot 9396 \cdot 10^{-6} \cdot 0,006} = 10,705 \text{ MPa}$$

$$\tau_{t,Rd} \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 204,959 \text{ MPa}$$

Posouzení

$$\frac{\tau_{t,Ed}}{\tau_{t,Rd}} = \frac{10,705}{204,959} = 0,05 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

6.12.2. Ohybový moment a smyková síla

Návrhové vnitřní síly prutu č.264; KZ256

$$M_{z,Ed,max} = -1,388 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed,odp} = -0,068 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed,odp} = 2,001 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed,odp} = -0,936 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,odp} = 0,557 \text{ kN}$$

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{720 \cdot 10^{-6} \cdot (355 \cdot 10^6 / \sqrt{3})}{1,0} = 147,571 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{2,001}{147,570} = 0,014 \leq 0,5 \dots \text{LZE ZANEDBAT}$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{65,232 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 23,157 \text{ kNm}$$

Posouzení

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,z,Rd}} = \frac{1,388}{23,157} = 0,06 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

6.12.3. Mezní stav použitelnosti - prut č.395, KZ464

$$L_{cr} = 4,326 \text{ m}$$

$$w_{z,max} = 11,4 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{300} = \frac{4326}{300} = 14,4 \text{ mm}$$

Posouzení

$$\frac{w_{z,max}}{w_{lim,z}} = \frac{11,4}{14,4} = 0,79 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

Seznam použité literatury, norem a zdrojů

- [1] ČSN EN 1990 ed. 2 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [2] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2004.
- [3] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [4] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.
- [5] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006.
- [6] ČSN EN 1993-1-8 ed. 2 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčniců Objednat. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [7] NEUFERT, Ernst, NEUFERT, Peter, ed. *Navrhování staveb: zásady, normy, předpisy o zařízeních, stavbě, vybavení, nárocích na prostor, prostorových vztazích, rozměrech budov, prostorech, vybavení, přístrojích z hlediska člověka jako měřítko a cíle*. 2. české vyd., (35. německé vyd.). Praha: Consultinvest, 2000. ISBN 8090148662.
- [8] MELCHER, Jindřich a Bohumil STRAKA. *Kovové konstrukce: Konstrukce průmyslových budov*. 3. vyd. Brno: VUT, 1981.
- [9] KOZÁK, Jiří. *Ocelové stožáry a věže*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1990. ISBN 80-03-00374-1.
- [10] HANÁČIK, Jan. *Rozhledna Vršek nad Zlínem*. Brno, 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jan Barnat Ph.D.
- [11] SOTÁKOVÁ, Miroslava. *Rozhledna Blansko-Hořice*. Brno, 2016. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jan Barnat Ph.D.
- [12] TURKOVÁ, Martina. *Rozhledna na jižní Moravě*. Brno, 2016. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Milan Šmak Ph.D.

- [13] *CarlStahl: architektura* [online]. [cit. 2017-12-11]. Dostupné z: <http://www.carlstahl-architektura.cz/reference-nerozova-sit-x-tend-original.htm#>
- [14] *Staco Rošty CZ s.r.o: Evropský producent podlahových roštů* [online]. [cit. 2017-12-11]. Dostupné z: <http://www.staco-rosty.cz/>
- [15] *TZB-info: Stavebnictví, úspory energie* [online]. [cit. 2017-12-11]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/143-mapa-snehovych-oblasti-na-uzemi-ceske-republiky>
- [16] *Krytiny-střechy* [online]. [cit. 2017-12-11]. Dostupné z: https://www.krytiny-strechy.cz/technicke_info-k-navrhovani-strech/mapa-vetrnych-oblasti/#.Wi7uVUriZPY
- [17] *SATJAM: Lehká krytina s tradicí* [online]. [cit. 2017-12-11]. Dostupné z: <https://www.satjam.cz/>

Seznam použitých zkratk a symbolů

- A průřezová plocha
- A_s plocha šroubu účinná v tahu
- b_{ref} šířka prvku
- B_2 součinitel odezvy pozadí
- a_w účinná výška svaru
- A_w průřezová plocha stojny
- b šířka průřezu
- c vzdálenost kraje efektivní plochy od hrany průřezu sloupu
- C_f součinitel síly
- C_{sCd} součinitel konstrukce
- C_{dir} součinitel směru
- C_e součinitel expozice
- C_{mLT} součinitel ekvivalentního konstantního momentu
- C_{my} součinitel ekvivalentního konstantního momentu

C_{mz}	součinitel ekvivalentního konstantního momentu
$C_{0(z)}$	součinitel orografie
$C_{pe,10}$	součinitel tlaku větru
$C_{r(z)}$	součinitel drsnosti terénu
C_{season}	součinitel ročního období
d	jmenovitý průměr šroubu
d_0	průměr otvoru pro šroub
E	modul pružnosti v tahu, tlaku
e	rozměr pro výpočet oblastí pro zatížení podélným větrem
e	excentricita
e_1	vzdálenost šroubu od kraje
e_2	vzdálenost šroubu od kraje
$F_{b,rd}$	návrhová únosnost šroubu v otláčení
F_{Ed}	návrhová působící síla
$F_{t,rd}$	návrhová únosnost šroubu v tahu
f_u	mez pevnosti
f_{ub}	mez pevnosti materiálu šroubu
f_y	mez kluzu
$f_{(zs, n1)}$	bezrozměrná frekvence
$F_{v,rd}$	návrhová únosnost šroubu ve stříhu
h	výška průřezu
I_t	moment setrvačnosti v kroucení
I_v	intenzita turbulence větru
I_w	výsečový moment setrvačnosti
i_y	poloměr setrvačnosti k ose y

I_y	moment setrvačnosti průřezu k ose y
i_z	poloměr setrvačnosti k ose z
I_z	moment setrvačnosti průřezu k ose z
k_c	součinitel vzpěrnosti
k_j	součinitel koncentrace
k_p	součinitel maximální hodnoty
k_r	součinitel terénu
k_w	součinitel vzpěrné délky
k_{yy}	součinitel interakce
k_{yz}	součinitel interakce
k_{zy}	součinitel interakce
k_{zz}	součinitel interakce
$L_{cr,t}$	vzpěrná délka při vybočení zkroucením
$L_{cr,y}$	vzpěrná délka kolmo k ose
$L_{cr,z}$	vzpěrná délka kolmo k ose z
l_{eff}	efektivní délka
L_w	délka svaru
$L_{(zs)}$	měřítka délky turbulence v referenční výšce
m_e	ekvivalentní hmotnost
$M_{c,rd}$	návrhová únosnost v ohybu
M_{ed}	návrhový ohybový moment
$M_{el,rd}$	návrhová elastická únosnost v ohybu
$M_{pl,rd}$	návrhová plastická únosnost v ohybu
n_1	základní vlastní frekvence konstrukce
n	počet stříhových rovin, počet prvků

$N_{b,rd}$	vzpěrná únosnost
N_{cr}	kritická síla
$N_{t,rd}$	návrhová únosnost v tahu
p_1	rozteč ve směru síly pro ocel
p_2	rozteč kolmo ke směru síly pro ocel
$q_{p(z)}$	maximální hodnota dynamického tlaku větru
R	výslednice sil
R_2	rezonanční část odezvy
Re	Reynoldsovo číslo
s	charakteristická hodnota zatížení sněhem
s_k	základní tíha sněhu
$S_{L(zs, n1)}$	výkonová spektrální hustota
$v_{b,0}$	výchozí hodnota základní rychlosti větru
V_{Ed}	návrhová smyková síla
v_m	střední rychlost větru
$V_{pl,Rd}$	plastická smyková únosnost
w	tlak větru
$W_{el,y}$	elastický modul průřezu k ose y
$W_{el,z}$	elastický modul průřezu k ose z
$W_{pl,y}$	plastický modul průřezu k ose y
$W_{pl,z}$	plastický modul průřezu k ose z
z_0	parametr drsnosti terénu
$z_{0,II}$	parametr drsnosti terénu
z	výška nad zemí
z_{min}	minimální výška

z_s	referenční výška
α	součinitel
α_1	součinitel imperfekce
α_{LT}	součinitel imperfekce pro klopení
β_w	korelační součinitel pro svary závislý na druhu oceli
δ	logaritmický degrement útlumu
δ_a	aerodynamický útlum
γ_{M0}	dílčí součinitel spolehlivosti materiálu
γ_{M1}	dílčí součinitel spolehlivosti materiálu
γ_{M2}	dílčí součinitel spolehlivosti materiálu
φ	součinitel plnosti
λ_y	poměrná štíhlost k ose y
λ_z	poměrná štíhlost k ose z
λ_{LT}	poměrná štíhlost při klopení
μ	součinitel tření
μ_{cr}	bezrozměrný kritický moment
μ_i	tvarový součinitel zatížení sněhem
ρ	měrná hmotnost vzduchu
σ	normálové napětí
$\sigma_{m,d}$	návrhové napětí v ohybu
τ	smykové napětí
χ_{LT}	součinitel klopení
χ_y	součinitel klopení k ose y
χ_z	součinitel klopení k ose z
ψ_i	kombinační součinitel zatížení

Seznam příloh

E. Výkresová dokumentace

- 01 Výkres dispozce
- 02 Výkres konstrukčních detailů
- 03 Konstrukční výkres segmentu č.1
- 04 Kotevní plán

- P1 Statický výpočet varianta A (výstup RFEM)
- P2 Statický výpočet varianta B (výstup RFEM)
- P3 Návrh kotvení - K1, K2 a K3 (výstup PROFIS Anchor)