



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍ MECHANIKY

INSTITUTE OF STRUCTURAL MECHANICS

STATICKÁ ANALÝZA OCELOVÉ KONSTRUKCE

STATIC ANALYSIS OF STEEL STRUCTURE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Klára Šintálová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ZBYNĚK VLK, Ph.D.

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608R001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav stavební mechaniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Klára Šintálová
Název	Statická analýza ocelové konstrukce
Vedoucí práce	Ing. Zbyněk Vlk, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2019
Datum odevzdání	22. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

prof. Ing. Drahomír Novák, DrSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

Norma : ČSN EN 1991-1 - Eurokód 1

ČSN EN 1993-1-1 - Eurokód 3

Bittnar Z., Šejnoha J. - Numerické metody mechaniky 1,2

Kadlčák J., Kytýr J. : Statika stavebních konstrukcí I a II

Manuály k systému RFEM

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem práce je statická analýza vybrané ocelové rozhledny. Bude proveden prostorový výpočtový model konstrukce, použité zatížení bude odpovídat platným normám. Modelování konstrukce, statická analýza i kontrolní posudek vybraných prvků konstrukce bude proveden v programovém systému RFEM. Získané výsledky budou porovnávány s ručním výpočtem na vhodných zjednodušených modelech jednotlivých částí konstrukce.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

Ing. Zbyněk Vlček, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá statickou analýzou ocelové konstrukce rozhledny ve tvaru dvou sedmiček, které vzájemně spolupůsobí. Trojrozměrný model konstrukce je vytvořen v programu RFEM od společnosti Dlubal, která využívá k výpočtu metodu konečných prvků. K výpočtu byl také využit program RWIND Simulation pracující s analýzou konstrukce pomocí větrného tunelu. Konstrukce je posuzována dle platných norem. Vybrané prvky konstrukce jsou ručně posouzeny a porovnány s částmi výpočtového modelu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Konstrukce

Rozhledna

Zatížení

RFEM

Výpočtový model

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the static analysis of the steel construction of the lookout tower in the shape of a digit seven consisting of two parts which mutually affect each other. The 3D model of the construction was created in the program RFEM by company Dlubal which uses a finite element method for the calculations. Moreover, the program RWIND Simulation was used to arrive at the calculations in the cooperation with analysis of the construction via wind tunnel method. The construction is assessed according to the valid standards. The selected elements of the construction are manually assessed and compared with the parts of the calculation model.

KEYWORDS

Construction

Lookout Tower

Structural Load

RFEM

Calculation Model

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Klára Šintálová *Statická analýza ocelové konstrukce*. Brno, 2020. 97 s., 0 s. příl.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební
mechaniky. Vedoucí práce Ing. Zbyněk Vlček, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Statická analýza ocelové konstrukce* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 22. 5. 2020

Klára Šintálová
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Statická analýza ocelové konstrukce* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22. 5. 2020

Klára Šintálová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování směřuje především mému vedoucímu práce panu Ing. Zbyňku Vlkovi, Ph.D., který i přes nečekanou situaci vedl mou práci a předával mi cenné rady. Dále bych chtěla touto formou poděkovat firmě CAD Projekt plus s.r.o. Tato firma mi s ochotou poskytla potřebné podklady, které mi usnadnily zpracování určitých aspektů práce. Mé osobní poděkování patří mé rodině a partnerovi, kteří mne v mém studiu podporovali.

OBSAH

1. ÚVOD	10
2. POPIS KONSTRUKCE	11
3. VÝPOČTOVÝ MODEL	12
4. ZATÍŽENÍ STÁLÉ	16
4.1. VLASTNÍ TÍHA	16
4.2. OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ	21
4.2.1 OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ NA PLOŠINU	21
4.2.2 OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ OD OPLÁŠTĚNÍ	25
5. ZATÍŽENÍ UŽITNÉ	28
6. ZATÍŽENÍ SNĚHEM	29
7. ZATÍŽENÍ VĚTREM	32
7.1. VSTUPNÍ ÚDAJE VÝPOČTU VĚTRU	32
7.1.1. ZÁKLADNÍ RYCHLOST VĚTRU	32
7.1.2. KATEGORIE TERÉNU	33
7.2. VÝPOČET POMOCÍ RWIND	33
7.3. RUČNÍ VÝPOČET	36
7.3.1. ŘEŠENÍ VĚTRU BEZ SCHODIŠTĚ – VELKÁ SEDMIČKA	36
7.3.1.1. VÍTR ZPRAVA A ZLEVA	38
7.3.1.2. VÍTR HORNÍ	39
7.3.1.3. VÍTR DOLNÍ	39
7.3.2. ŘEŠENÍ VĚTRU BEZ SCHODIŠTĚ – MALÁ SEDMIČKA	40
7.3.2.1. VÍTR ZPRAVA A ZLEVA	43
7.3.2.2. VÍTR HORNÍ	43
7.3.2.3. VÍTR DOLNÍ	44
7.3.3. ŘEŠENÍ VĚTRU NA KONSTRUKCI SCHODIŠTĚ	46
8. PŘEHLED ZATĚŽOVACÍCH STAVŮ A JEJICH KOMBINACE	48
8.1. ZATĚŽOVACÍ STAVY	48
8.2. KOMBINACE ZS	49
9. STATICKÁ ANALÝZA	52

9.1. RUČNÍ VÝPOČET VYBRANÉ ČÁSTI KONSTRUKCE A POROVNÁNÍ VÝPOČTOVÝCH MODELŮ PŘÍHRADOVINY	52
9.1.1. RUČNÍ VÝPOČET PŘÍHRADOVÉ KONSTRUKCE	52
9.1.2. POROVNÁNÍ VÝPOČTOVÝCH MODELŮ PŘÍHRADOVINY	61
9.2. POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ Z MODELŮ M1, M2 A M3	62
9.3. POROVNÁNÍ CELKOVÉHO PŮSOBENÍ VĚTRU VYPOČTENÉHO RUČNĚ A GENEROVÁNO POMOCNÝM PROGRAMEM RWIND SIMULATION	67
10. POSOUZENÍ MEZNÍHO STAVU ÚNOSNOSTI	70
10.1. VE VELKÉ SEDMIČCE	70
10.2. V MALÉ SEDMIČCE	80
11. ZÁVĚR	90
12. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	92
13. SEZNAM OBRÁZKŮ	94
14. SEZNAM TABULEK	97

1. ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je zpracování statické analýzy ocelové konstrukce. Vybraným objektem pro statickou analýzu se stala reálně stojící konstrukce rozhledny v blízkosti obce Salaš. Rozhlednu tvoří dvě části ve tvaru číslice sedm. Každá s opačnou orientací ovšem vzájemným spolupůsobením. Objekt slouží jako vyhlídková věž pro širokou veřejnost [1].

Důvodem výběru právě této konstrukce byla její ojedinělost ve tvaru i provedení. Dále také prohloubení znalostí ve směru modelování při zatížení větrem a řešením tohoto zatížení pro atypické konstrukce, které nelze v plné míře řešit s využitím Eurokódu. K tomuto řešení byl také využit výpočtový program, který simuluje větrný tunel, do kterého je konstrukci možno vložit a pomocí zadání vstupních údajů analyzovat zatížení větrem [3]. Dále zde bylo ve větší míře řešeno porovnání výpočtu příhradové konstrukce programem a ručním výpočtem.

Po prostudování podkladů a případných metod řešení bylo přikročeno k výpočtům zatížení konstrukce a vytvoření výpočtového modelu. Pro výpočet bylo využito softwaru Rfem 5.21.02 k statickému výpočtu a nastavbového programu RWIND Simulation pro stanovení sil větru, jejímž zprostředkovatelem je firma Dlubal.

Z modelů byly převzaty výsledky o vnitřních silách, deformacích, přetvořeních a jiných výsledcích potřebných pro stanovení výsledků. Veškeré zatížení od jednotlivých zatěžovacích stavů bylo zkontrolováno ručním výpočtem. Výpočtový program vycházel z aktuálně platných norem i národních dodatků platících pro Českou republiku.

2. POPIS KONSTRUKCE

Konstrukce rozhledny, která byla pro analýzu vybrána, je sestavena ze dvou částí ve tvaru čísla 7. Větší sedmička parciálně přenáší zatížení do nižší sedmičky. Při samostatném řešení větší sedmičky je tento částečný roznos nahrazen podporami, které nahrazují konstrukci spodní části. Samostatně je také řešena konstrukce malé sedmičky i s přeneseným zatížením z větší sedmičky, toto působení je porovnáno s modelem obou sedmiček v jednom modelu. Konstrukční systém je tvořen soustavou prutů, které tvoří příhradový 3D objekt. Hlavním nosným prvkem jsou pasy tvořené trubkami kruhového průřezu. Diagonály, svislice a horizontální pruty jsou taktéž navrženy z trubek kruhového průřezu. V úrovni + 20,000 m a 15,000 m nad terénem jsou navrženy pochozí plošiny ze svařovaného pozinkovaného plechu. Po obvodu plošiny je realizované ocelové zábradlí. Celá konstrukce je téměř ze všech vnějších stran opláštěna dřevěným obkladem. Přístup na horní i spodní plošinu je zajištěn vřetenovým schodištěm, které je pro případ práce uvažováno zjednodušeným modelem. Jednotlivé profily byly navrženy dle poskytnutých podkladů a stavu objektu, a tak s maximální snahou přiblížit se reálné konstrukci [1; 2].

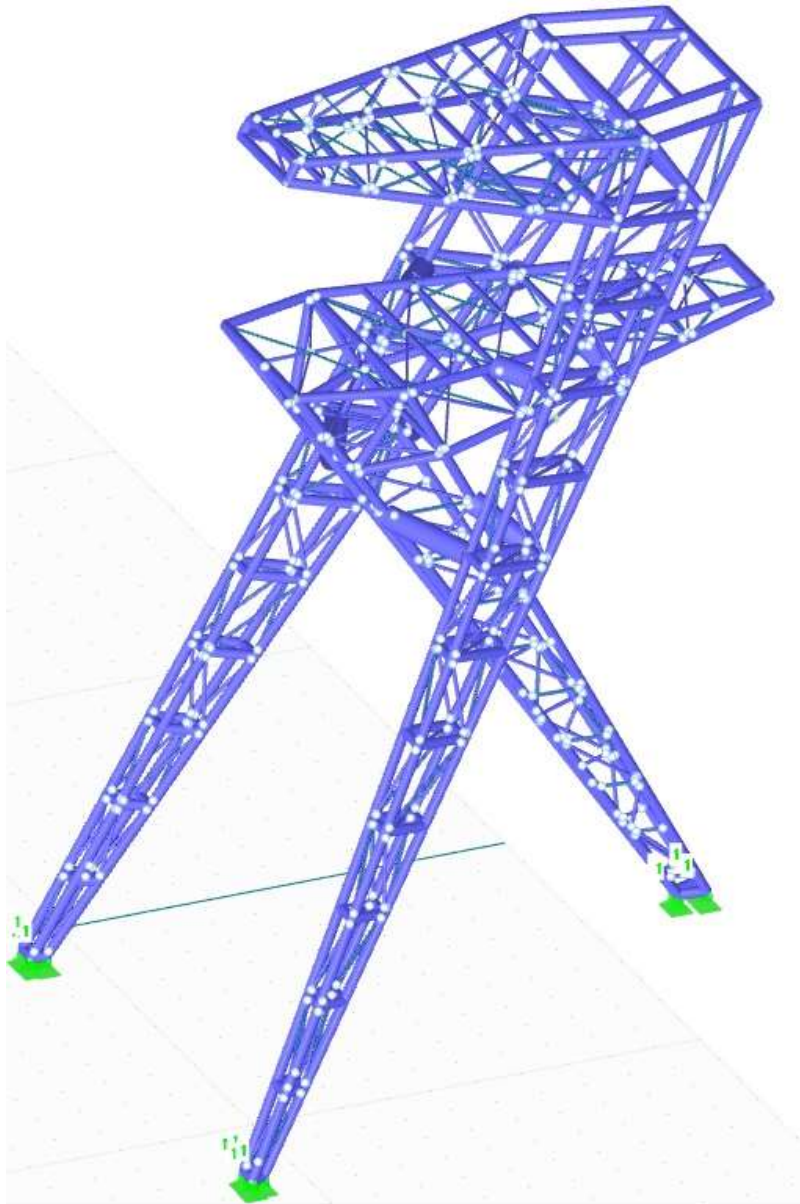


Obrázek 1: Reálné zobrazení posuzované konstrukce [12]

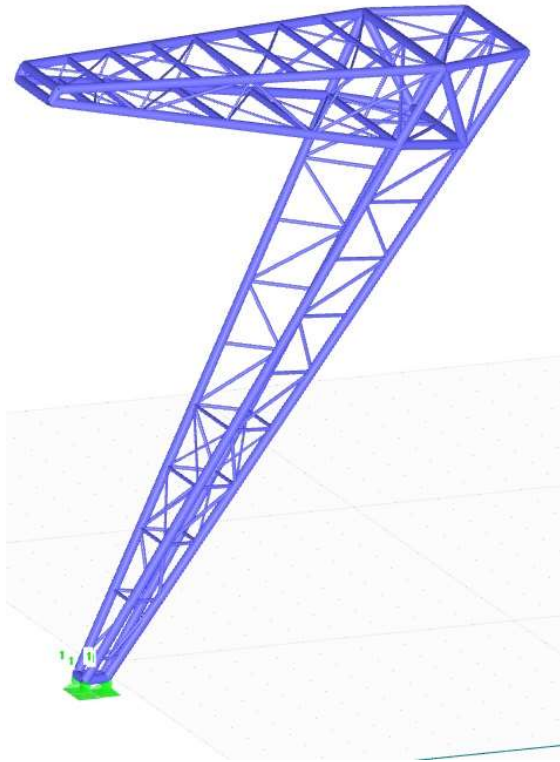
3. VÝPOČTOVÝ MODEL

Model tvoří především pruty spojené převážně kloubově. Výskyt kloubových spojů je námětem na odbornou diskuzi a podrobněji není v práci tato problematika řešena. Tento aspekt neovlivní správnost výpočtů jednotlivých modelů

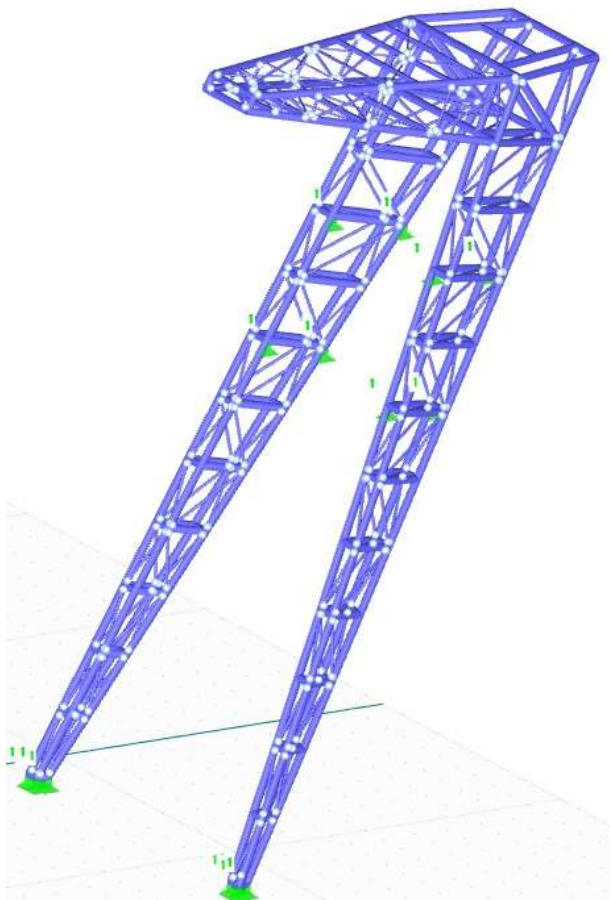
V modelu se vyskytuje celkem 15 druhů průřezů jednotlivých prutů, které byly vnášeny do modelu spojováním jednotlivých uzlů vyskytujících se v konstrukci. Jako materiál prvků byla určena ocel S235 s uvažovanou objemovou tíhou oceli 7850 kg/m^3 [2, 13].



Obrázek 2: Model konstrukce sedmiček dohromady



Obrázek 3: Model konstrukce malé sedmičky



Obrázek 4: Model konstrukce velké sedmičky

Tabulka 1: Použité průřezy ve velké sedmičce

1.13 PRŮŘEZY

Průřez č.	Mater. č.	I_T [mm ⁴]	I_y [mm ⁴]	I_z [mm ⁴]	Hlavní osy α [°]	Natočení α' [°]	Celkové rozměry [mm]	
		A [mm ²]	A_y [mm ²]	A_z [mm ²]			Šířka b	Výška h
1	RO 219.1x8 Feron - EN 10219 2	59192656.0 5305.5	29596328.0 2632.7	29596328.0 2632.7	0.00	0.00	219.1	219.1
2	RO 219x10 Feron - CSN 42 5715.01 2	71865728.0 6565.9	35932864.0 3260.0	35932864.0 3260.0	0.00	0.00	219.0	219.0
3	RO 82.5x6.3 Feron - CSN 42 5715.01 2	2204214.5 1508.2	1102107.3 751.1	1102107.3 751.1	0.00	0.00	82.5	82.5
4	RO 219x16 Feron - CSN 42 5715.01 2	105776104.0 10203.9	52888052.0 5079.7	52888052.0 5079.7	0.00	0.00	219.0	219.0
5	RRO 54x30x5 (za tepla) 2	190000.0 237.0	739000.0 142.2	39200.0 142.2	0.00	0.00	20.0	54.0
6	RRO 50x30x5 (warmgefertigt) 2	190000.0	187000.0	78900.0	0.00	0.00	30.0	50.0
7	RO 82.5x5 Feron - CSN 42 5715.01 2	1835561.4 1217.4	917780.7 605.2	917780.7 605.2	0.00	0.00	82.5	82.5
8	RRO 150x100x10 (kaltgefertigt) 2	14260000.0 4260.0	11620000.0 1366.7	6140000.0 2526.7	0.00	0.00	100.0	150.0
9	RO 508x10 DIN 2448, DIN 2458 2	970404928.0 15645.1	485202464.0 7758.0	485202464.0 7758.0	0.00	0.00	508.0	508.0
10	RO 54x5 DIN 2448, DIN 2458 2	466817.1 769.7	233408.5 384.2	233408.5 384.2	0.00	0.00	54.0	54.0
11	RRO 150x100x5 (warmgefertigt) 2	8070000.0 2370.0	7390000.0 713.0	3920000.0 1304.0	0.00	0.00	100.0	150.0
12	RO 21.3x2.3 (warmgefertigt) 2	12600.0 137.0	6290.0 68.7	6290.0 68.7	0.00	0.00	21.3	2000.0
13	RO 21.3x2.6 (warmgefertigt) 2	13600.0 153.0	6810.0 76.7	6810.0 76.7	0.00	0.00	2000.0	2000.0
14	RO 21.3x2.3 (warmgefertigt) 2	12600.0 137.0	6290.0 68.7	6290.0 68.7	0.00	0.00	2000.0	2000.0

RO 219.1x8



RO 219x10



RO 82.5x6.3



RO 219x16



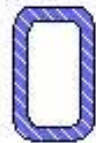
RO 508x10



RO 54x5



RRO 50x30x5 (za ...)



RRO 150x100x5 (... RO 21.3x2.3 (za te...)



RO 82.5x5



RRO 150x100x10 ..



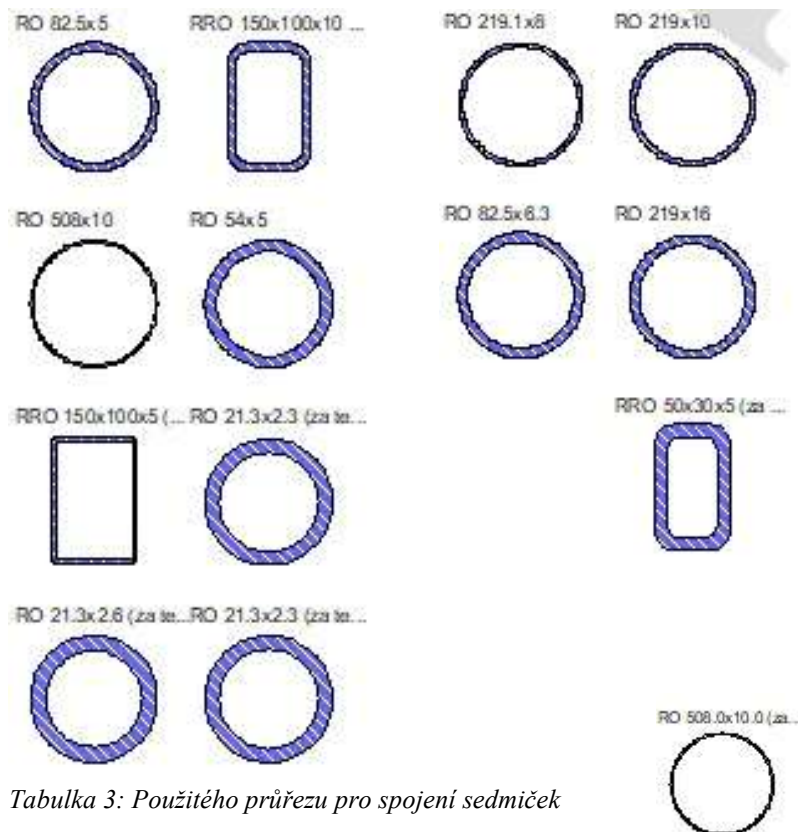
RO 21.3x2.6 (za te... RO 21.3x2.3 (za te...)



Tabulka 2: Použité průřezy v malé sedmičce

1.13 PRŮŘEZY

Průřez č.	Mater. č.	I_T [mm ⁴]		I_y [mm ⁴]		I_z [mm ⁴]		Hlavní osy α [°]	Natočení α' [°]	Celkové rozměry [mm]	
		A [mm ²]		A_y [mm ²]		A_z [mm ²]				Šířka b	Výška h
1	RO 219.1x8 Feron - EN 10219 2	59192656.0 5305.5		29596328.0 2632.7		29596328.0 2632.7		0.00	0.00	219.1	219.1
2	RO 219x10 Feron - CSN 42 5715.01 2	71865728.0 6565.9		35932864.0 3260.0		35932864.0 3260.0		0.00	0.00	219.0	219.0
3	RO 82.5x6.3 Feron - CSN 42 5715.01 2	2204214.5 1508.2		1102107.3 751.1		1102107.3 751.1		0.00	0.00	82.5	82.5
4	RO 219x16 Feron - CSN 42 5715.01 2	105776104.0 10203.9		52888052.0 5079.7		52888052.0 5079.7		0.00	0.00	219.0	219.0
5	RRO 54x30x5 (za tepla) 2	190000.0 237.0		739000.0 142.2		392000.0 142.2		0.00	0.00	20.0	54.0
6	RRO 50x30x5 (wamgefertigt) 2	190000.0 673.0		187000.0 182.8		78900.0 411.5		0.00	0.00	30.0	50.0
7	RO 82.5x5 Feron - CSN 42 5715.01 2	183561.4 1217.4		917780.7 605.2		917780.7 605.2		0.00	0.00	82.5	82.5
8	RRO 150x100x10 (kaltgefertigt) 2	1426000.0 4260.0		1162000.0 1366.7		614000.0 2526.7		0.00	0.00	100.0	150.0
9	RO 508x10 DIN 2448, DIN 2458 2	970404928.0 15645.1		485202464.0 7758.0		485202464.0 7758.0		0.00	0.00	508.0	508.0
10	RO 54x5 DIN 2448, DIN 2458 2	466817.1 769.7		233408.5 384.2		233408.5 384.2		0.00	0.00	54.0	54.0
11	RRO 150x100x5 (wamgefertigt) 2	807000.0 2370.0		739000.0 713.0		392000.0 1304.0		0.00	0.00	100.0	150.0
12	RO 21.3x2.3 (wamgefertigt) 2	12600.0 137.0		6290.0 68.7		6290.0 68.7		0.00	0.00	21.3	2000.0
13	RO 21.3x2.6 (wamgefertigt) 2	13600.0 153.0		6810.0 76.7		6810.0 76.7		0.00	0.00	2000.0	2000.0
14	RO 21.3x2.3 (wamgefertigt) 2	12600.0 137.0		6290.0 68.7		6290.0 68.7		0.00	0.00	2000.0	2000.0



Tabulka 3: Použitého průřezu pro spojení sedmiček

24	RO 508.0x10.0 (wamgefertigt) 2	970400000.0 15600.0	485200000.0 7758.0	485200000.0 7758.0	0.00	0.00	508.0	508.0
----	-----------------------------------	------------------------	-----------------------	-----------------------	------	------	-------	-------

4. ZATÍŽENÍ STÁLÉ

Jedná se o nosné a nenosné prvky včetně pevných vybavení [13].

4.1. VLASTNÍ TÍHA

Byla zvolena z programu RFEM v závislosti na druhu materiálu, geometrii jednotlivých průřezů, které byly použity v konstrukci. Jednotlivé průřezy byly zvoleny dle poskytnutých podkladů [2]. Výpočet programem byl zjednodušeně ověřen následným ručním výpočtem.

Ruční hrubé ověření vlastní tíhy konstrukce velké sedmičky

1) Hlavní stojiny

průměrná délka * hmotnost průřezu * počet prvků =

$$(23,066 + 24,335 + 23,149 + 24,490) / 4 * 41,6 \text{ kg/m} * 8 = 7902,336 \text{ kg} = 77,496 \text{ kN}$$

a) Výplet hlavní stojiny

nejníže

délka veškerých částí * hmotnost průřezu =

$$(2,151 + 1,919 + 2,16 + 1,96 + 0,605) * 9,6 \text{ kg/m} = 84,432 \text{ kg}$$

nejvýše

$$(2,072 + 3,456 + 2,049 + 3,461 + 2,608) * 9,6 \text{ kg/m} = 131,002 \text{ kg}$$

Průměrná hmotnost:

$$(84,492 + 131,002) / 2 = 107,717 \text{ kg}$$

Celkem: (prům. hmotnost * počet v noze * počet noh)

$$107,717 * 11 * 2 = 2369,773 \text{ kg} = 23,239 \text{ kN}$$

b) Vodorovné pruty v hlavní stojině

nejníže

délka veškerých částí * počet * hmotnost průřezu =

$$(0,475 + 0,514) * 2 * 80,1 \text{ kg/m} = 158,44 \text{ kg}$$

nejvýše

$$(2,187 + 0,95) * 2 * 80,1 \text{ kg/m} = 502,55 \text{ kg}$$

Průměrná hmotnost:

$$(158,44 + 502,44) / 2 = 330,495 \text{ kg}$$

Celkem: (průměrná hmotnost * počet v noze * počet noh)

$$330,495 * 10 * 2 = 6610 \text{ kg} = 64,822 \text{ kN}$$

2) Plošina:

a) Boky plošiny

nejníže

délka veškerých částí * hmotnost průřezu =

$$(0,919 + 0,867) * 51,5 \text{ kg/m} + (0,606 + 0,918) * 11,8 \text{ kg/m} = 109,96 \text{ kg}$$

nejvýše

$$(1,736 + 1,838) * 51,5 \text{ kg/m} + (2,801 + 1,497) * 11,8 \text{ kg/m} = 234,777 \text{ kg}$$

Průměrná hmotnost:

$$(109,96 + 234,777) / 2 = 172,369 \text{ kg}$$

Celkem: (průměrná hmotnost * počet v noze * počet noh)

$$172,369 * 4 * 2 = 1378,948 \text{ kg} = 13,523 \text{ kN}$$

b) Uvnitř plošiny

nejníže

délka veškerých částí * hmotnost průřezu =

$$(2,351 + 2,300) * 41,6 \text{ kg/m} = 199,68 \text{ kg}$$

nejvýše

$$(6,201 + 6,561) * 41,6 \text{ kg/m} = 530,899 \text{ kg}$$

Průměrná hmotnost:

$$(199,68 + 530,899) / 2 = 365,289 \text{ kg}$$

Celkem: (průměrná hmotnost * počet)

$$365,289 * 6 = 2191,734 \text{ kg} = 21,492 \text{ kN}$$

c) Ztužidla

zespod

$$(3,314 * 2 + 4,293 * 2 + 5,268 * 2) * 6 \text{ kg/m} = 154,5 \text{ kg} = 1,511 \text{ kN}$$

shora

$$(2,112 * 2 + 2,767 * 4 + 3,571 * 2) * 6 + (2,787 + 5,713) / 2 * 4 + (2 * 33,4 + 5,3 * 2) / 4 = 463,566 \text{ kg} = 4,546 \text{ kN}$$

zezadu zbytek + výplet

$$(2,597 * 4 + 2,835 * 4 + 1,752 * 4 + 4,723) * 41,6 + (3,221 * 2 + 2,303 + 2,559 + 1,659 * 2) = 1564,434 \text{ kg} = 15,34 \text{ kN}$$

Porovnání výsledků generovaných programem a ručním výpočtem ve velké sedmičce.

CELKEM RUČNĚ: 221,969 kN

CELKEM VE RFEMU: 227,548 kN

Ruční výpočet s výpočtem programu je téměř totožný, vzhledem ke zjednodušenému ručnímu výpočtu je rozdíl výsledků zanedbatelný. Výsledkem porovnání je skutečnost, že výpočtový program správně počítá zatížení vlastní tíhou. Vlastní tíha se tedy bude v modelu generovat pomocí programu RFEM.

Ruční hrubé ověření vlastní tíhy konstrukce malé sedmičky

1) Hlavní stojiny

průměrná délka * hmotnost průřezu * počet prvků =

$$(15,948 + 16,868) / 2 * 80,1 * 4 = 5271,12 \text{ kg} = 51,55 \text{ kN}$$

a) Výplet hlavní stojiny

podélný

průměrná délka * hmotnost průřezu * počet prvků =

$$(1,759 + 0,652) / 2 * 9,6 * 9 * 2 = 208,31 \text{ kg} = 2,04 \text{ kN}$$

pod úhlem

$$(2,710 + 1,431) / 2 * 9,6 * 9 * 2 = 357,78 \text{ kg} = 3,51 \text{ kN}$$

2) Plošina

a) Boky plošiny

nosná část

průměrná délka * hmotnost průřezu * počet prvků =

$$(2,267 + 8,731 + 0,324 + 8,033 + 1,898 + 2,375) * 51,5 * 2 = 2433,684 \text{ kg} = 23,87 \text{ kN}$$

výplet

průměrná délka * hmotnost průřezu * počet prvků =

$$(0,535 + 1,614) / 2 * 6 * 4 * 2 = 51,576 \text{ kg} = 0,51 \text{ kN}$$

$$(3,273 + 0,971) / 2 * 11,8 * 4 * 2 = 200,32 \text{ kg} = 1,96 \text{ kN}$$

b) Vrchní část

průměrná délka * hmotnost průřezu * počet prvků =

$$(2,455 + 4,587) / 2 * 33,4 * 7 = 823,21 \text{ kg} = 8,07 \text{ kN}$$

$$(1,551 + 2,696) / 2 * 6 * 16 = 203,856 \text{ kg} = 2,0 \text{ kN}$$

c) Dolní část

průměrná délka * hmotnost průřezu * počet prvků =

$$(2,304 + 4,391) / 2 * 18,6 * 5 = 311,32 \text{ kg} = 3,053 \text{ kN}$$

$$(4,549 + 2,647) / 2 * 6 * 8 = 172,704 \text{ kg} = 1,69 \text{ kN}$$

uvnitř plošiny – výplet

průměrná délka * hmotnost průřezu * počet prvků =

$$(2 * 2,964 + 2 * 2,702 + 2 * 2,165 + 2 * 2,949 + 2 * 2,766 + 2,473 + 2,186 + 1,991 + 1,808) * 11,8 = 419,49 \text{ kg} = 4,11 \text{ kN}$$

3) Zbytek nosné části

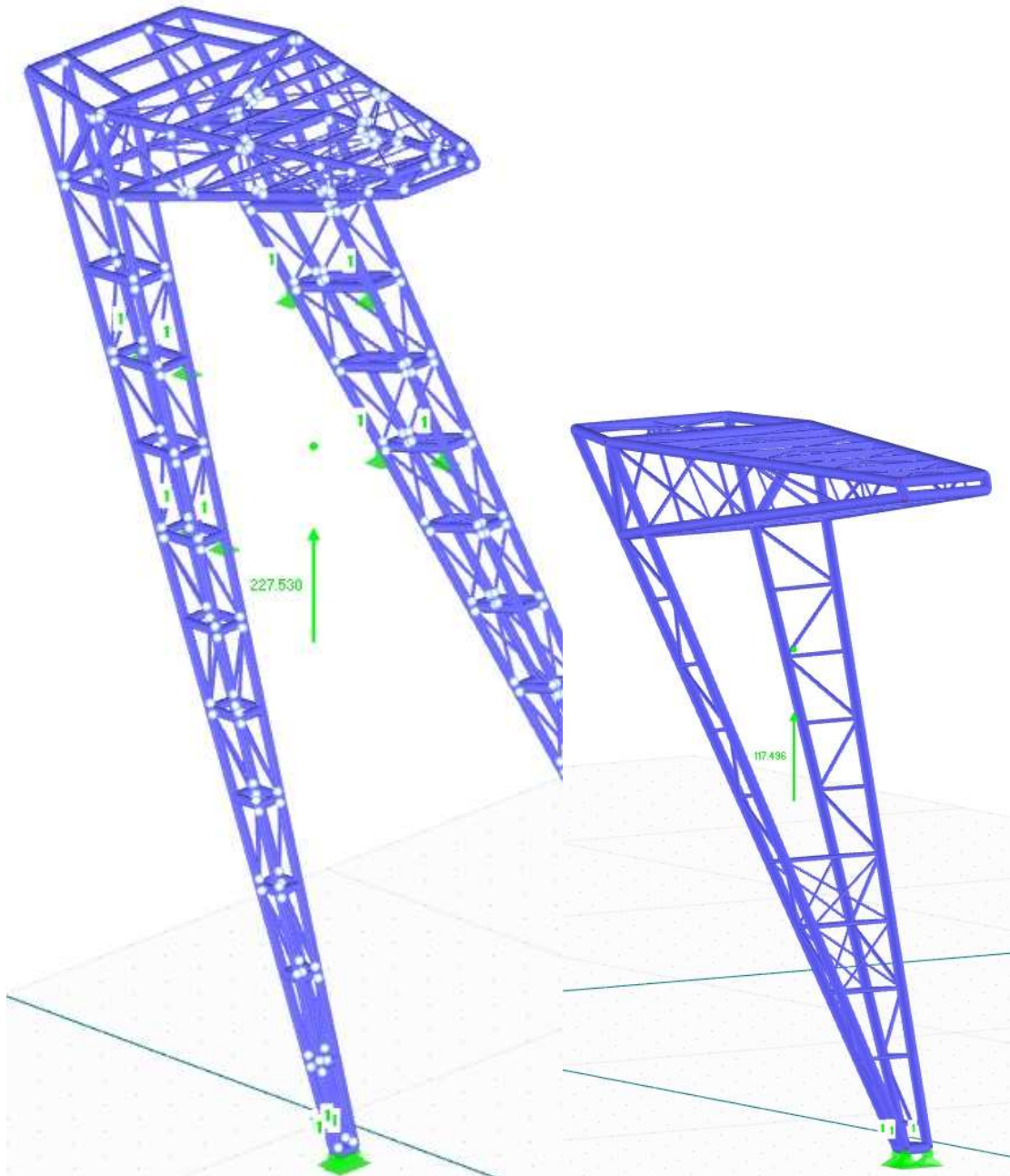
$$(2 * 2,1 + 4,943 + 3,739 + 3,219) * 51,5 = 829,20 \text{ kg} = 8,13 \text{ kN}$$

Porovnání výsledků generovaných programem a ručním výpočtem na malé sedmičce:

CELKEM RUČNĚ: 111,73 kN

CELKEM VE RFEMU: 117,496 kN

V porovnání vlastní tíhy malé sedmičky bylo zjištěno stejného závěru jako u sedmičky velké, tedy vlastní tíhu bude generovat program RFEM.



Obrázek 5: Model konstrukce zatížen vlastní tíhou velké i malé sedmičky

4.2.OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ

4.2.1. OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ NA PLOŠINU

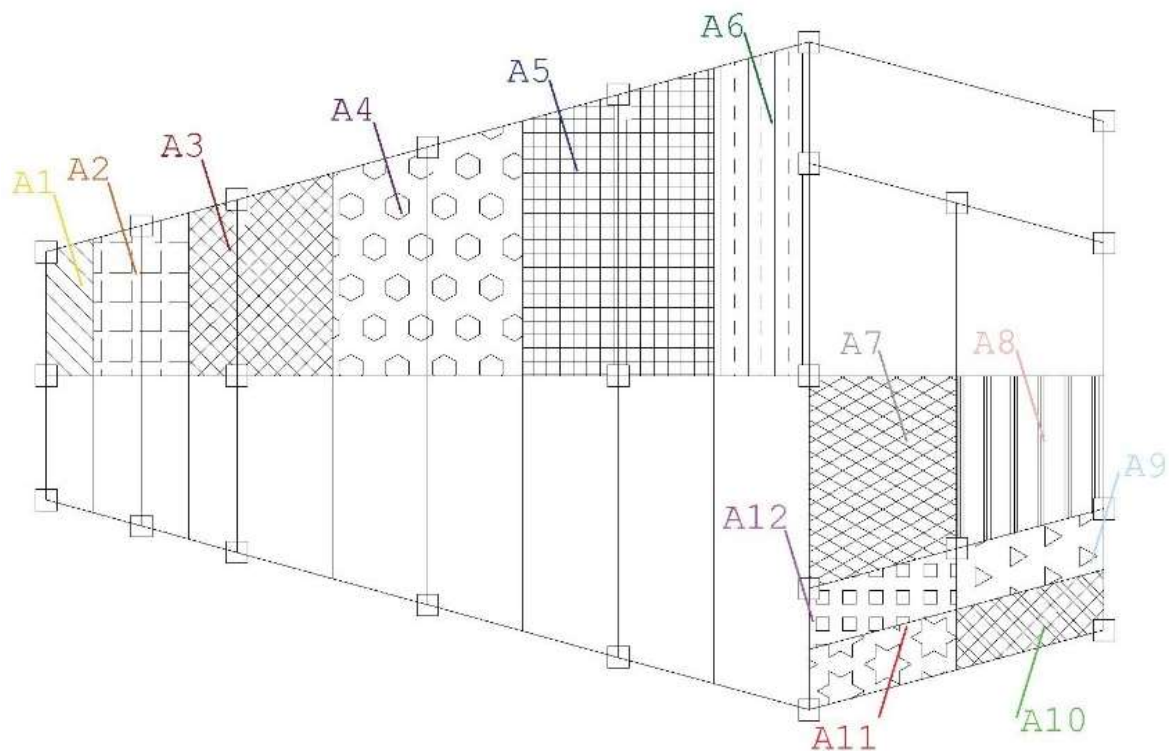
Za ostatní stálé zatížení konstrukce lze považovat zatížení na horní a dolní plošinu. Tedy zatížení od tíhy ocelového roštu a také tíhy ocelového zábradlí umístěného po celém obvodu plošin [1; 2]. Toto ostatní stálé zatížení je zadáváno jako silové zatížení na jednotlivé uzly vyskytující se na plošině..

	objemová tíha	plocha	celkové zatížení
Ocelový rošt	0,215 kN/m ²	45 m ²	9,675 kN
Ocelové zábradlí	0,04 kN/m	27,4 m	1,2 kN

Rozložení zatížení do jednotlivých uzlů

Tento výpočet bude sloužit k zadání zatížení na jednotlivé uzly a také u větší sedmičky pro určení zatížení sloužícímu k ověření příhradové konstrukce ručním výpočtem (viz kapitola 9.1.).

Posouzení velké sedmičky



Obrázek 6: Půdorysný pohled na horní plošinu velké sedmičky

od roštu od zábradlí

$$F1 = 0,5 * 0,215 + 0,46 * 0,04 = 0,126 \text{ kN}$$

$$F2 = 1,23 * 0,215 + 0,92 * 0,04 = 0,301 \text{ kN}$$

$$F3 = 2,26 * 0,215 + 1,38 * 0,04 = 0,541 \text{ kN}$$

$$F4 = 3,8 * 0,215 + 1,84 * 0,04 = 0,891 \text{ kN}$$

$$F5 = 4,63 * 0,215 + 1,84 * 0,04 = 1,074 \text{ kN}$$

$$F6 = 2,64 * 0,215 + 0,92 * 0,04 = 0,607 \text{ kN}$$

$$F7 = 2,446 * 0,215 = 0,526 \text{ kN}$$

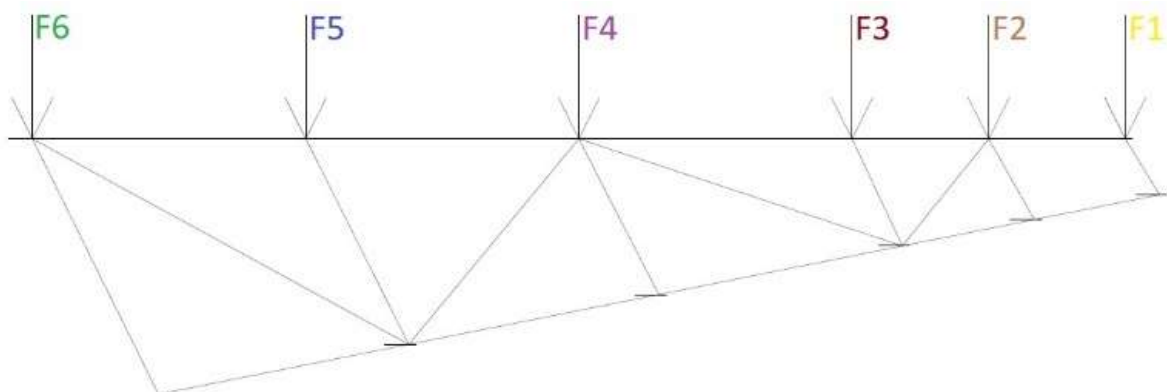
$$F8 = 1,941 * 0,215 + 1,23 * 0,04 = 0,467 \text{ kN}$$

$$F12 = 0,772 * 0,215 = 0,166 \text{ kN}$$

$$F11 = 0,166 + 1,418 * 0,04 = 0,223 \text{ kN}$$

$$F10 = 0,166 + (1,418 + 1,128 / 2) * 0,04 = 0,245 \text{ kN}$$

$$F9 = 0,166 + 1,128 / 2 * 0,04 = 0,189 \text{ kN}$$



Obrázek 7: Boční pohled na horní plošinu velké sedmičky

Posouzení malé sedmičky

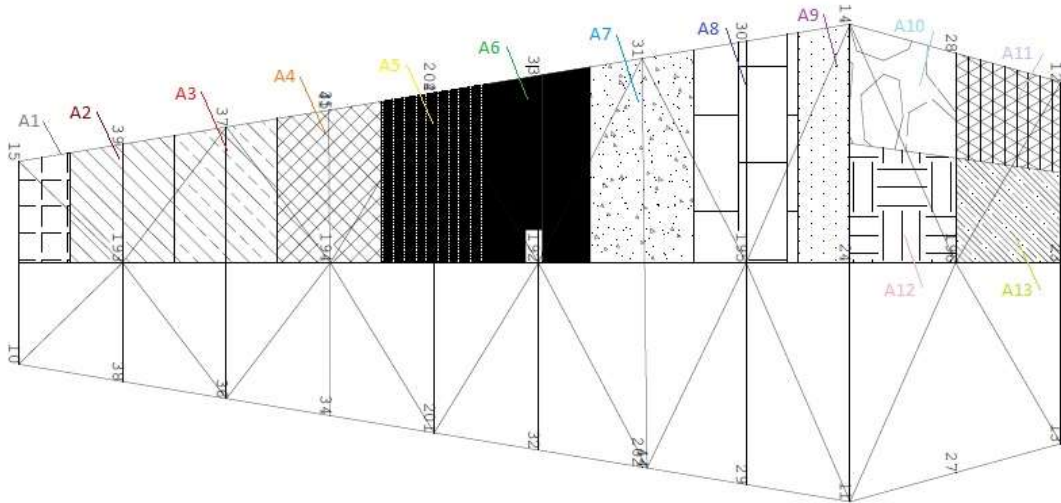
od roštu od zábradlí

$$F1 = 0,589 * 0,215 + 1,596 * 0,04 = 0,19 \text{ kN}$$

$$F2 = 1,321 * 0,215 + 1,0908 * 0,04 = 0,328 \text{ kN}$$

$$F3 = 1,513 * 0,215 + 1,091 * 0,04 = 0,369 \text{ kN}$$

$$F4 = 1,705 * 0,215 + 1,092 * 0,04 = 0,410 \text{ kN}$$



Obrázek 8: Půdorysný pohled na horní plošinu malé sedmičky

$$F5 = 1,897 * 0,215 + 1,092 * 0,04 = 0,452 \text{ kN}$$

$$F6 = 2,139 * 0,215 + 1,117 * 0,04 = 0,505 \text{ kN}$$

$$F7 = 2,283 * 0,215 + 1,091 * 0,04 = 0,534 \text{ kN}$$

$$F8 = 2,415 * 0,215 + 1,066 * 0,04 = 0,562 \text{ kN}$$

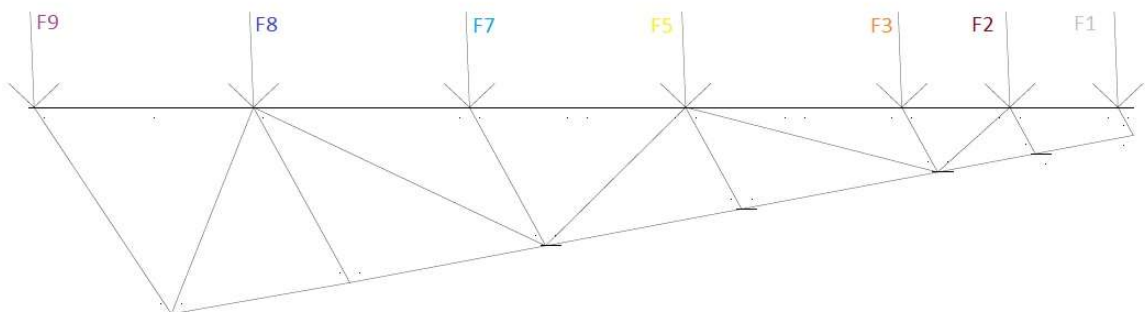
$$F9 = 1,307 * 0,215 + 0,546 * 0,04 = 0,303 \text{ kN}$$

$$F10 = 1,269 * 0,215 + 1,134 * 0,04 = 0,318 \text{ kN}$$

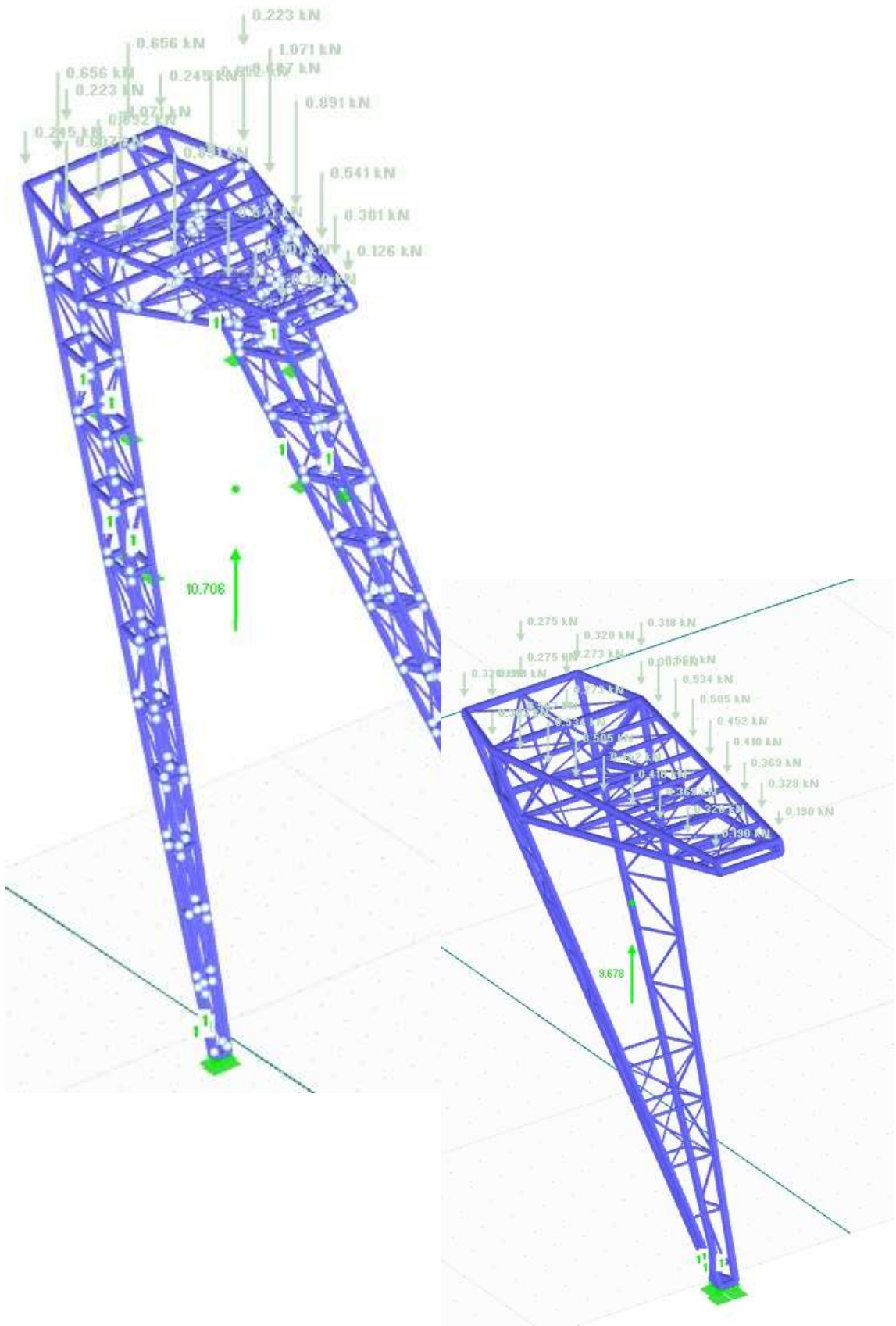
$$F11 = 1,104 * 0,215 + 2,069 * 0,04 = 0,320 \text{ kN}$$

$$F12 = 1,269 * 0,215 + 0 * 0,04 = 0,273 \text{ kN}$$

$$F13 = 1,104 * 0,215 + 0,935 * 0,04 = 0,275 \text{ kN}$$



Obrázek 9: Boční pohled na horní plošinu malé sedmičky



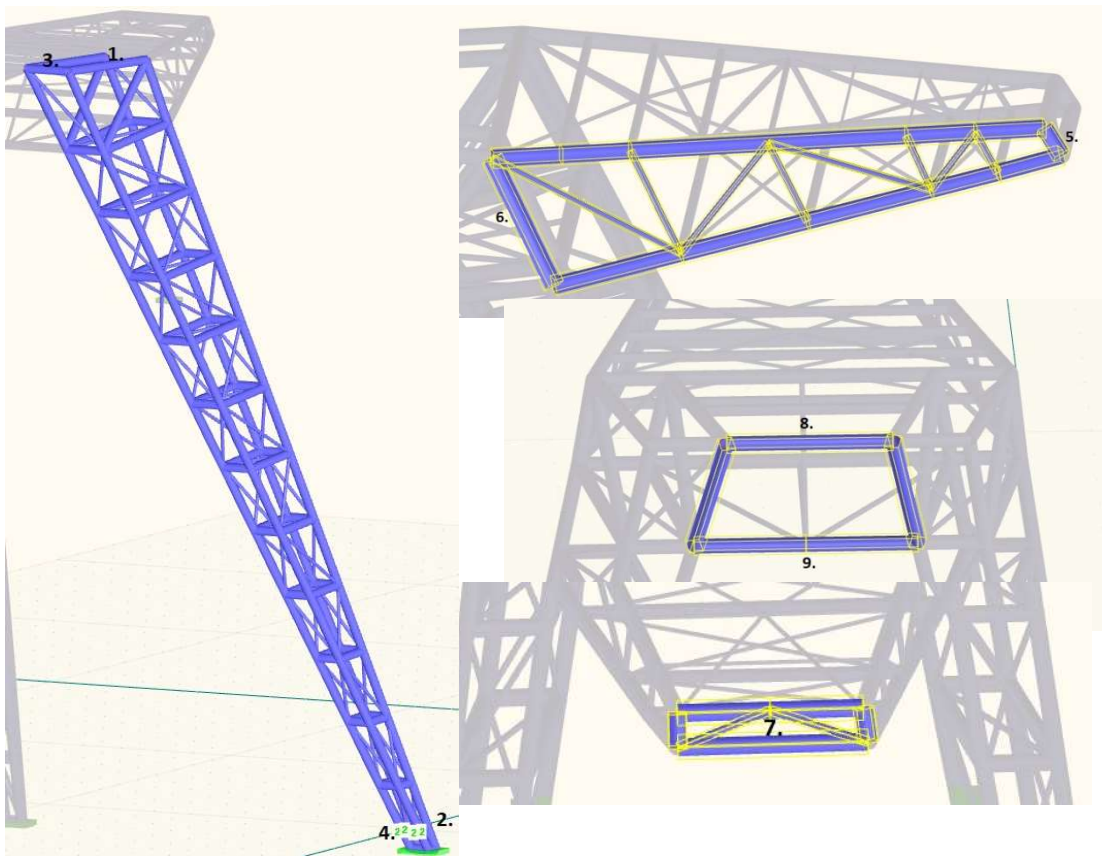
Obrázek 10: Konstrukce zatížená ostatním stálým zatížením na plošině u malé i velké sedmičky

4.2.2. OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ OD OPLÁŠTĚNÍ

Tímto zatížením je míněno zatížení od opláštění, které tvoří dřevěné desky tloušťky 20 mm severské borovice [1; 2]. Zatížení na konstrukci je zadáváno jako spojitě zatížení lichoběžníkového tvaru na jednotlivé hlavní pruty modelu. Proto jsou zjištěny velikosti maximálních a minimálních délek, které jsou následně propojeny spojitým zatížením.

	objemová tíha	tloušťka	celkové zatížení
Dřevěné desky	0,67 kN/m ³	0,02 m	0,134 kN/m ²

Posouzení velké sedmičky



Obrázek 11: Konstrukce rozdělená pro výpočet tíhy od opláštění velké sedmičky

Noha A

	zatížení * polovina šířky + cca 20% navýšení	zatížení
Horní část ozn. 1.	$= 0,134 \text{ kN/m}^2 * 2,635 / 2 = 0,1899$	$= 0,3 \text{ kN/m}$
Spodní část ozn. 2.	$= 0,134 \text{ kN/m}^2 * 0,287 / 2 = 0,0192$	$= 0,06 \text{ kN/m}$

Noha B

	zatížení * polovina šířky + cca 20% navýšení	zatížení
Horní část ozn. 3.	$= 0,134 \text{ kN/m}^2 * 1,128 / 2 = 0,0756$	$= 0,1 \text{ kN/m}$
Spodní část ozn. 4.	$= 0,134 \text{ kN/m}^2 * 0,462 / 2 = 0,0310$	$= 0,04 \text{ kN/m}$

Součet působení pro místa, kde působí zatížení ze dvou ploch:

Horní část 1 + 3 =	$0,3 + 0,1 = 0,4 \text{ kN/m}$
Spodní část 2 + 4 =	$0,06 + 0,04 = 0,1 \text{ kN/m}$

Vrchní bok

Užší část ozn. 5.	$= 0,134 \text{ kN/m}^2 * 0,4282/2 = 0,317$	$= 0,04 \text{ kN/m}$
Širší část ozn. 6.	$= 0,134 \text{ kN/m}^2 * 1,855/2 = 0,124$	$= 0,2 \text{ kN/m}$

Horní líc

ozn. 7.	$= 0,134 \text{ kN/m}^2 * 2,369 = 0,317$	$= 0,4 \text{ kN/m}$
---------	--	----------------------

Horní rub

Horní část ozn. 8.	$= 0,134 \text{ kN/m}^2 * 1,234 = 0,165$	$= 0,2 \text{ kN/m}$
Spodní část ozn. 9.	$= 0,134 \text{ kN/m}^2 * 1,660 = 0,222$	$= 0,3 \text{ kN/m}$

Posouzení malé sedmičky

Noha

Spodní část	$= 0,134 \text{ kN/m}^2 * 0,592 / 2 = 0,039$	$= 0,05 \text{ kN/m}$
Horní část	$= 0,134 \text{ kN/m}^2 * 2,267 / 2 = 0,15$	$= 0,18 \text{ kN/m}$

Vrchní bok

Nejmenší	$= 0,134 \text{ kN/m}^2 * 0,324 / 2 = 0,022$	$= 0,025 \text{ kN/m}$
Největší	$= 0,134 \text{ kN/m}^2 * 2,010 / 2 = 0,135$	$= 0,16 \text{ kN/m}$

Horní líc

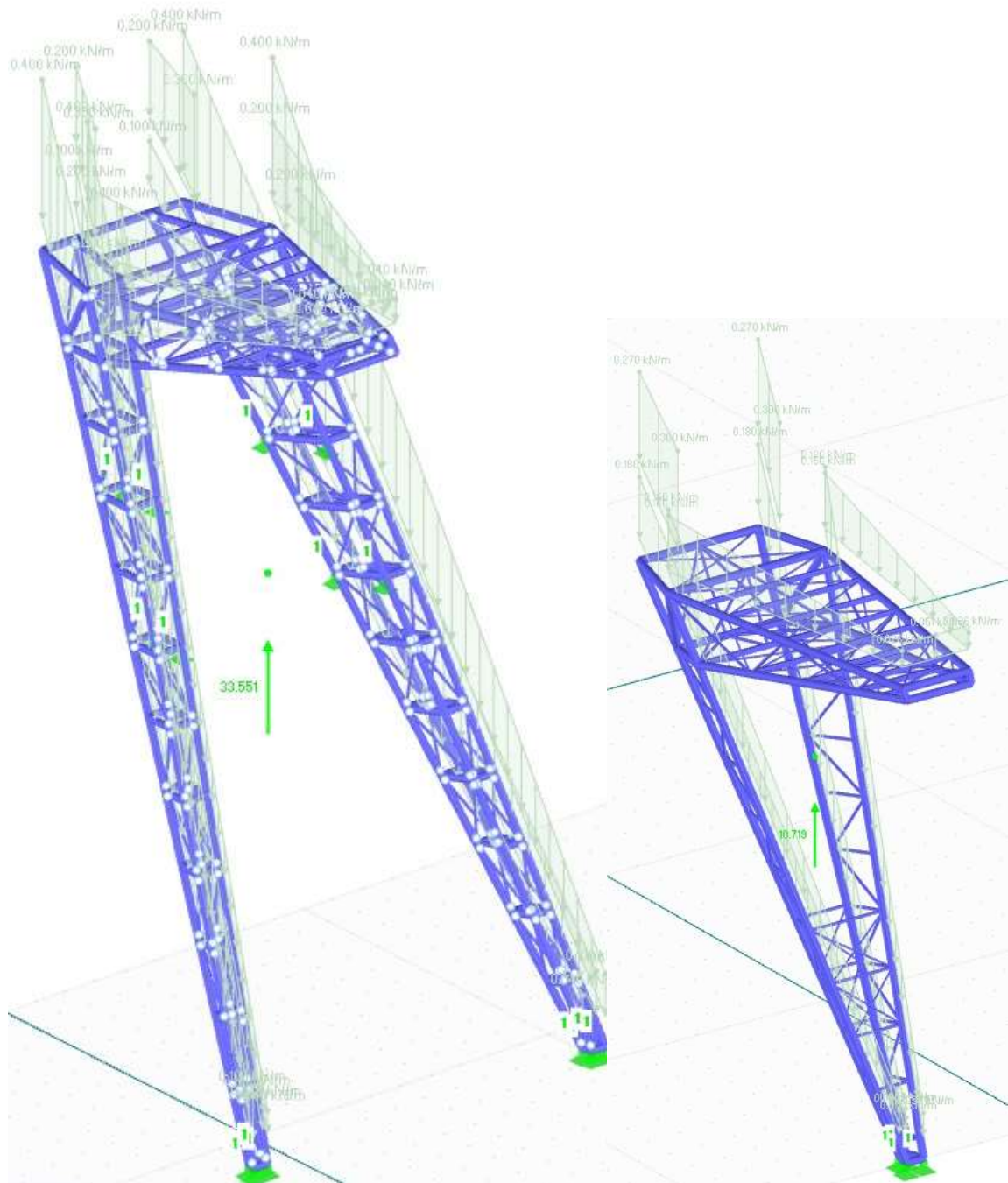
	$= 0,134 \text{ kN/m}^2 * 0,319 = 0,043$	$= 0,051 \text{ kN/m}$
--	--	------------------------

Horní rub

$$\text{Nejmenší} = 0,134 \text{ kN/m}^2 * 1,709 = 0,23 \qquad = 0,27 \text{ kN/m}$$

$$\text{Největší} = 0,134 \text{ kN/m}^2 * 1,870 = 0,25 \qquad = 0,30 \text{ kN/m}$$

Procentuální navýšení bylo zvoleno z důvodu neznámosti ukotvení konstrukce opláštění. A to jako přibližně 20procentní rezerva počítáno z tíhy způsobené opláštěním.



Obrázek 12: Výsledné zatížení opláštění na konstrukci velké i malé sedmičky

5. ZATÍŽENÍ UŽITNÉ

Odhadované užité zatížení

1 osoba – uvažovaná plocha na osobu: cca 0,5 * 0,5 metru při tíže 100 kg

Plocha pro osobu = 0,5 * 0,5 = 0,25 m²

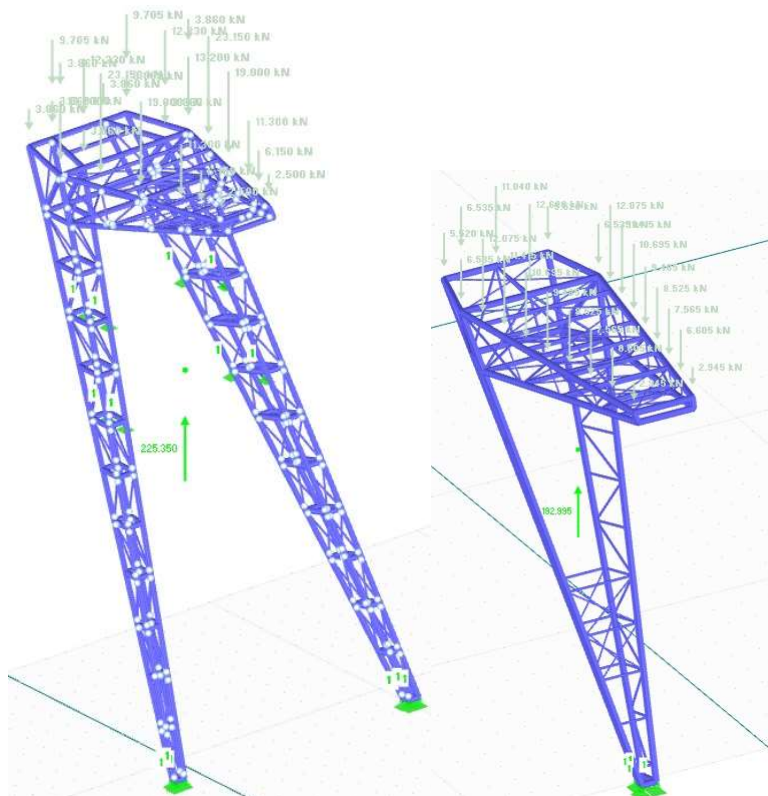
Počet osob na plochu horní plošiny = 45 / 0,25 = 180 osob

S uvažovanou váhou na plochu = (180 * 100) / 45 = 400 kg/m² = 4 kN/m²

Při výpočtu v programu RFEM bylo uvažováno s užitným zatížením stanoveným normou ČSN EN 1991-1-1 [7] se zvolenou kategorií na plošinu C5 a na schodiště C3. Veškeré užité zatížení se roznáší do nosné konstrukce pod plošinou.

	Kategorie	q _k (kN/m ²)
Plošiny	C5	5,00

Do programu je zavedeno jako zatížení na plochu, které je rozneseno nosnými částmi konstrukce. Obě plošiny jsou pochozí, tedy zatížení působí jak na horní, tak i dolní plošinu. Výpočet užitého zatížení schodiště je zanedbán z důvodu zjednodušení modelu.



Obrázek 13: Konstrukce zatížená užitným zatížením malé i velké sedmičky

6. ZATÍŽENÍ SNĚHEM

Toto zatížení bylo uvažováno na horní i dolní plošině, a to rovnoměrně. Tedy nebylo uvažováno s rozdílem navátého a nenavátého sněhu, protože na tomto typu konstrukce nevzniká místo, kde by tento případ nastával. Zatížení je uvažováno na obou plošinách z důvodu možnosti propadání sněhu z horní části na dolní, tedy z bezpečného důvodu uvažují stejné zatížení na obou plošinách.

Zatížení sněhem je stanoveno dle normy ČSN EN 1991-1-3 [8].

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

μ_i – tvarový součinitel zatížení sněhem

C_e – součinitel okolního prostředí (expoze)

C_t – tepelný součinitel

s_k – charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi

$C_e = 1,0$. . . topografie normální

Normální typ krajiny ($C_e = 1,0$): plochy, kde nedochází na stavbách k výraznému přemístění sněhu větrem kvůli okolnímu terénu, jiným stavbám nebo stromům [8].

$C_t = 1,0$. . . doporučená hodnota

Tepelný součinitel se má použít tam, kde lze vzít v úvahu snížení zatížení sněhem na střeše, která má vysokou tepelnou propustnost ($>1 \text{ W/m}^2\text{K}$), zejména u některých skleněných střeš, kde dochází k tání sněhu vlivem prostupu tepla střechou. Pro ostatní případy je $C_t = 1,0$ [8].

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

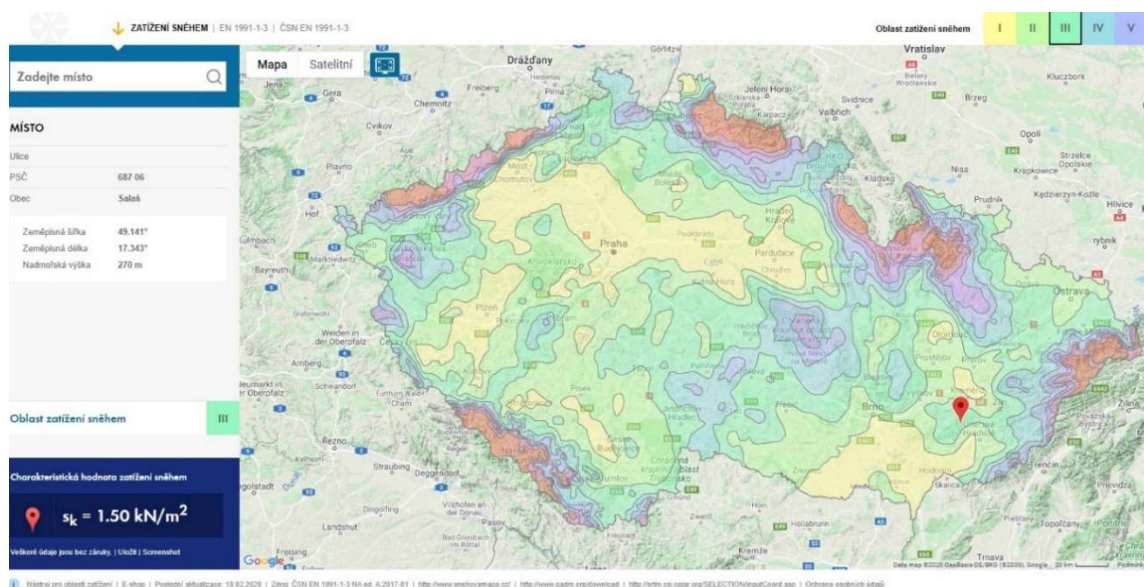
Pro uvažovanou sněhovou oblast číslo III. Uvažovanou na Zlínsku v obci Salaš [8].

$\mu_i = 0,8$. . . uvažován pro pultovou střechu pro $0 \leq \alpha \leq 30$

$$s = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 1,5 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

Tabulka 4: Shrnutí parametrů zatížení větrem

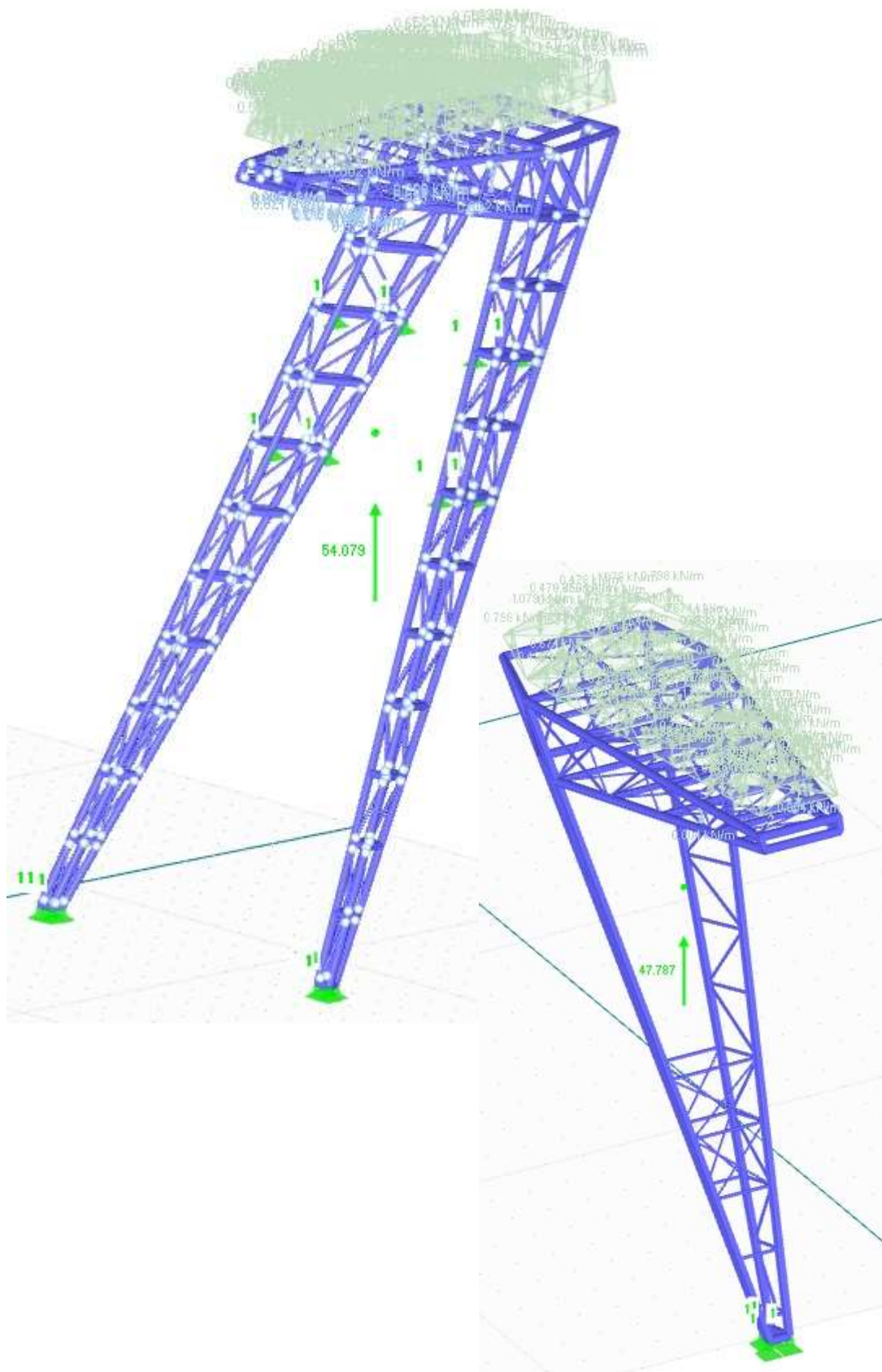
Lokalita stavby	Salaš (Zlínský kraj)
Sklon plošiny	$\alpha = 0^\circ$
Zk tíha sněhu	$s_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$
Součinitel expozice	$C_e = 1,0$
Tepelný součinitel	$C_t = 1,0$
Tvarový součinitel	$\mu_i = 0,8$
Zatížení	$s = 1,2 \text{ kN/m}^2$



Obrázek 14: Mapa oblasti zatížení sněhem [11]

Tabulka 5: Tvarové součinitelé [8]

úhel sklonu střechy α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8\alpha/30$	1,6	-



Obrázek 15: Konstrukce zatížená sněhem velké i malé sedmičky

7. ZATÍŽENÍ VĚTREM

Stanovení zatížení větru se v souvislosti s řešenou konstrukcí jeví jako nejobtížnější a také nejzásadnější. Dle normy můžeme zatížení a určení dynamických účinků řešit pomocí vyčíslených koeficientů. Tyto koeficienty označené jako c_s , c_d navyšují či upravují statické zatížení větru.

Zatížení větru je stanoveno s ohledem na normu: ČSN EN 1991-1-4 [9].

7.1. VSTUPNÍ ÚDAJE VÝPOČTU VĚTRU

7.1.1. ZÁKLADNÍ RYCHLOST VĚTRU

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

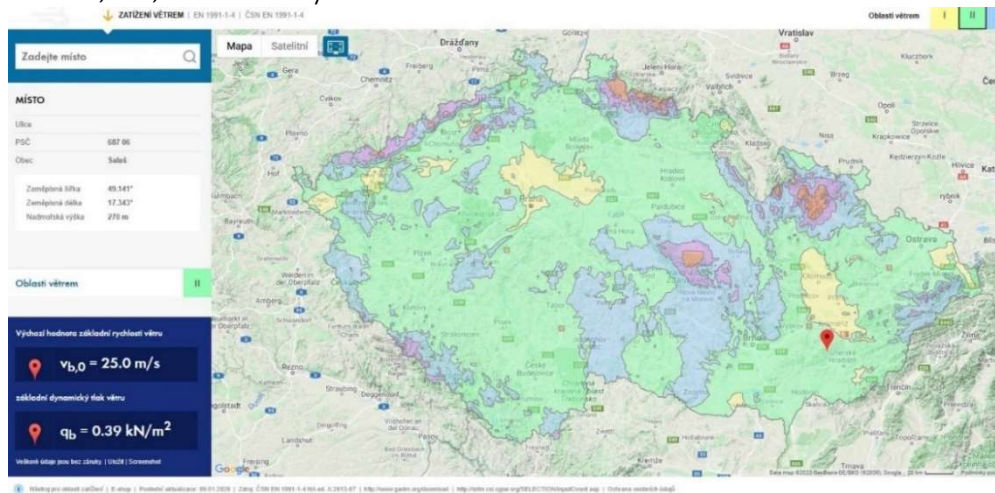
c_{dir} – součinitel směru větru; $c_{dir} = 1,0$ (doporučená hodnota)

c_{season} – součinitel ročního období; $c_{season} = 1,0$ (doporučená hodnota)

$v_{b,0}$ – výchozí základní rychlost větru dle mapy větrných oblastí;

$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$ (Zlín-Salaš \Rightarrow Oblast II)

$$v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$$



Obrázek 16: Mapa oblasti zatížení větrem [11]

Kategorie terénu	z_0 [m]	z_{m0} [m]
0 Moře nebo pobřežní oblasti vystavené otevřenému moři	0,003	1
I Jezera nebo vodorovné oblasti se zanedbatelnou vegetací a bez překážek	0,01	1
II Oblasti s nízkou vegetací jako je tráva a s izolovanými překážkami (stromy, budovy), jejichž vzdálenosti jsou větší než 20násobek výšky překážek	0,05	2
III Oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami, nebo s izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je maximálně 20násobek výšky překážek (jako jsou vesnice, předměstský terén, souvislý les)	0,3	5
IV Oblasti, ve kterých je nejméně 15 % povrchu pokryto pozemními stavbami, jejichž průměrná výška je větší než 15 m	1,0	10

POZNÁMKA Kategorie terénu jsou zobrazeny v A.1.

Tabulka 6: Kategorie terénu a jejich parametry [9]

7.1.2. KATEGORIE TERÉNU

Kategorie terénu II: Oblasti s nízkou vegetací jako je tráva s izolovanými překážkami (stromy, budovy) vzdálenými od sebe nejméně 20násobek výšky překážek [9]. Tato kategorie odpovídá krajině vyskytující se poblíž rozhledny, pro další výpočty tedy počítáme s odpovídajícími součiniteli pro kategorii II.

7.2. VÝPOČET POMOCÍ SOFTWARE

Vzhledem ke členitosti konstrukce bylo zatížení od větru zadáváno pomocí programu RWIND Simulation. Tento program pracuje na principu numerické simulace proudění větru. Které generuje silové zatížení větru na konstrukci rozhledny [3].

Popis fungování daného programu

Pro modelování těles v programu RWIND Simulation je v programech RFEM a RSTAB k dispozici speciální rozhraní. V něm se zadají posuzované směry větru nastavením příslušných úhlů vzhledem ke svislé ose modelu a dále také profil větru v závislosti na výšce s přihlédnutím k příslušné normě. Na základě těchto údajů a globálně uložených parametrů vzdušných proudů, vlastností modelů turbulence a iteračních parametrů se stanoví vlastní zatěžovací stavy pro nastavené úhly. Tyto zatěžovací stavy lze částečně upravovat a rozšiřovat v uživatelském prostředí programu RWIND Simulation o modely terénu nebo okolní krajiny z vektorových grafických souborů STL.

Výpočet:

RWIND Simulation používá numerický model CFD (Computational Fluid Dynamics) pro stanovení proudění vzduchu okolo objektů pomocí digitálního aerodynamického tunelu. Na základě simulace se vygenerují specifická zatížení větrem pro RFEM nebo RSTAB.

Pro simulaci se používá 3D síť konečných objemů. RWIND Simulation vytvoří síť automaticky. Přitom lze velmi snadno nastavením několika parametrů ovlivnit celkovou hustotu sítě i lokální zahuštění na modelu. Pro výpočet vzdušných proudů a plošných tlaků na modelu se používá numerický řešič pro nestlačitelné turbulentní proudění. Výsledky se následně extrapolují na modelu konstrukce. Program RWIND Simulation je navržen tak, aby bylo možné použít různé numerické řešiče.

Výstup:

Výstupem aerodynamické analýzy v programu RWIND Simulation jsou kromě daných zatěžovacích stavů v programu RFEM nebo RSTAB další výsledky, které plynou z řešení úlohy proudění jako celku:

- *Tlak na povrchu tělesa*
- *Tlakové pole kolem geometrie tělesa*
- *Rychlostní pole kolem geometrie tělesa*
- *Vektory rychlosti kolem geometrie tělesa*
- *Linie proudění kolem geometrie tělesa*
- *Síly na tělesech vygenerovaných původně z prutových prvků*
- *Průběh konvergence*
- *Směr a velikost odolnosti tělesa proti proudění*

Tyto výsledky se zobrazí a graficky vyhodnotí v uživatelském prostředí programu RWIND Simulation. Vzhledem k tomu, že výsledky proudění okolo geometrie tělesa nejsou v celkovém znázornění přehledné, pracuje se při analýze s volně posuvnými rovinami řezu, které umožňují znázornit výsledky tělesa samostatně v určité rovině. Podobně nabízejí 3D výsledky rozvětvené do linií proudění kromě statického znázornění také animované zobrazení v podobě pohyblivých linií nebo částic. Tato volba umožňuje znázornit proudění vzduchu jako dynamický účinek.

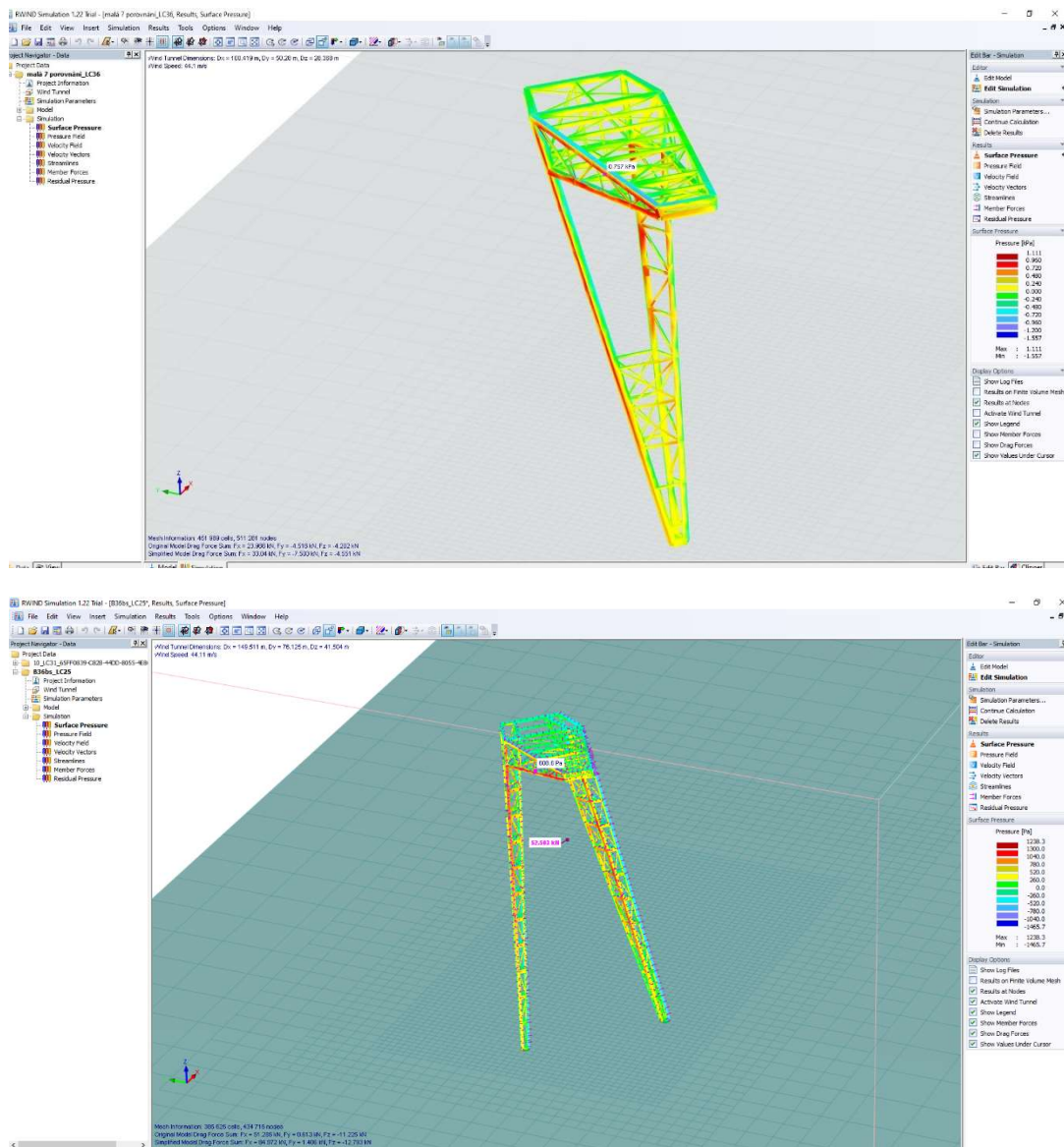
Převod do programu RFEM:

Při spuštění analýzy v rozhraní programu se zahájí dávkový proces, při němž se veškeré definované pruty, plochy a tělesa v modelu RFEM nebo RSTAB zohlední se všemi příslušnými součiniteli v zadané poloze v numerickém modelu větrného tunelu v programu RWIND Simulation. Model se analyzuje a výsledné tlaky působící na povrch se převedou jako zatížení v uzlech sítě KP, respektive jako prutová zatížení do příslušných zatěžovacích stavů v programu RFEM nebo RSTAB.

Tyto zatěžovací stavy, které obsahují zatížení z programu RWIND-Simulation, lze počítat a skládat s jinými zatíženími do kombinací zatížení nebo do kombinací výsledků [3].

Pro případ rozhledny bylo ve výpočtu uvažováno s osmi směry možného působení větru, přičemž největší zatížení vykazoval směr označen jako 315°.

Toto zatížení bylo následně ověřeno ručním zjednodušeným výpočtem dle výše uvedené normy [9].



Obrázek 17: Ukázka výpočtu pomocí programu RWIND Simulation

7.3.RUČNÍ VÝPOČET

Pro ruční výpočet byly pro zjednodušení konstrukce rozděleny po výšce do třech oblastí, k nejvyššímu bodu oblasti byl stanoven maximální dynamický tlak větru. Byly jím násobeny jednotlivé plochy, na které působí daný tlak větru, ve výpočtu byly zohledněny součinitelé aerodynamických sil. Pro ruční výpočet bylo vypočteno namáhání větrem pouze ve čtyřech základních směrech označených jako oblast 1 -- 4. Dílčí plochy byly pro usnadnění výpočtu odměřeny z programu AutoCAD.

7.3.1. ŘEŠENÍ VĚTRU BEZ SCHODIŠTĚ – VELKÁ SEDMIČKA

Oblast 1:

Součinitel drsnosti terénu $cr(z)$

$$cr(z) = kr \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{pro } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

$$cr(20) = 0,2232 \cdot \ln\left(\frac{20}{0,05}\right) = 1,3373$$

z_0 je parametr drsnosti terénu (viz tabulka 5)

z_{min} je minimální výška (viz tabulka 5)

Součinitel terénu

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

Kde $z_0, II = 0,05$ dle kategorie terénu II

$$kr = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,005}\right)^{0,07} = 0,2232$$

Střední rychlost větru $vm(z)$

$$vm(z) = cr(z) \cdot c_0(z) \cdot vb$$

$$vm(20,53) = 1,3373 \cdot 1 \cdot 25 = 33,433 \text{ m/s}$$

z – výška působiště větru

$cr(z)$ je součinitel drsnosti terénu

$c_0(z)$ je součinitel orografie (doporučená hodnota pro ČR 1,0)

Turbulence větru $lv(z)$

$$lv(z) = \frac{kl}{co(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \text{ pro } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$lv(20,53) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{20,53}{0,05}\right)} = 0,1662$$

kl je součinitel turbulence (doporučená hodnota pro ČR 1,0)

$co(z)$ je součinitel orografie (doporučená hodnota pro ČR 1,0)

z_0 je parametr drsnosti terénu (viz tabulka dle kategorie terénu)

Maximální dynamický tlak $qp(z)$

$$qp(z) = [1 + 7 \cdot lv(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot vm^2(z)$$

$$qp(20,53) = [1 + 7 \cdot 0,1662] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 33,433^2 = 1511,3155 \text{ Pa} = 1,511 \text{ kN/m}^2$$

ρ měrná hmotnost vzduchu; $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ (doporučená hodnota)

$lv(z)$ je intenzita turbulence ve výšce z nad zemí (viz výše)

Oblast 2.

Součinitel drsnosti terénu $cr(z)$

$$cr(13,73) = 0,2232 \cdot \ln\left(\frac{13,73}{0,05}\right) = 1,2533$$

Součinitel terénu:

$$kr = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,005}\right)^{0,07} = 0,2232$$

Střední rychlost větru $vm(z)$

$$vm(13,73) = 1,2533 \cdot 1 \cdot 25 = 31,333 \text{ m/s}$$

Turbulence větru $lv(z)$

$$lv(13,73) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{13,73}{0,05}\right)} = 0,1781$$

Maximální dynamický tlak $qp(z)$

$$qp(13,73) = [1 + 7 \cdot 0,1781] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 31,333^2 = 1378,571 \text{ Pa} = 1,379 \text{ kN/m}^2$$

Oblast 3.

Součinitel drsnosti terénu $cr(z)$

$$cr(6,86) = 0,2232 \cdot \ln\left(\frac{6,86}{0,05}\right) = 1,099$$

Součinitel terénu:

$$kr = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,005}\right)^{0,07} = 0,2232$$

Střední rychlost větru $vm(z)$

$$vm(6,86) = 1,0985 \cdot 1 \cdot 25 = 27,463 \text{ m/s}$$

Turbulence větru $lv(z)$

$$lv(6,86) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{6,86}{0,05}\right)} = 0,203$$

Maximální dynamický tlak $qp(z)$

$$qp(6,86) = [1 + 7 \cdot 0,203] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 27,463^2 = 1141,2236 \text{ Pa} = 1,141 \text{ kN/m}^2$$

Obecně:

$$Fp^* = A \cdot qp(z) \cdot Cpe$$

A plocha oblasti

$qp(z)$ maximální dynamický tlak

Cpe součinitel vnějšího tlaku

7.3.1.1. VÍTR Z PRAVA A LEVA

Oblast 1.

$$A1 = 16,756 \text{ m}^2$$

$$A7 = 7,671 \text{ m}^2$$

$$F_{pv1} = 7,61 * 1,511 * 0,8 = 9,199 \text{ kN} \quad \alpha = 82^\circ$$

$$F_{pv2} = 16,756 * 1,511 * 0,75 = 18,989 \text{ kN} \quad \alpha = 69^\circ$$

Oblast 2.

$$A3 = 10,503 \text{ m}^2$$

$$F_{pv3} = 10,503 * 1,379 * 0,75 = 10,863 \text{ kN}$$

Oblast 3.

$$A4 = 4,8074 \text{ m}^2$$

$$F_{pv4} = 4,8074 * 1,141 * 0,75 = 4,1139 \text{ kN}$$

7.3.1.2. VÍTR HORNÍ

Oblast 1.

$$A9 = 7,1816 \text{ m}^2$$

$$A2 = 7,593 \text{ m}^2$$

$$F_{pv9} = 7,1816 * 1,511 * 0,7 = 8,267 \text{ kN} \quad \alpha = 58^\circ$$

$$F_{pv2} = 7,593 * 1,511 * 0,7 * 2 = 16,062 \text{ kN} \quad \alpha = 63^\circ$$

Oblast 2.

$$A4 = 5,898 \text{ m}^2$$

$$F_{pv4} = 5,898 * 1,379 * 0,7 * 2 = 11,386 \text{ kN} \quad \alpha = 58^\circ$$

Oblast 3.

$$A6 = 4,318 \text{ m}^2$$

$$F_{pv6} = 4,318 * 1,141 * 0,7 * 2 = 6,898 \text{ kN} \quad \alpha = 58^\circ$$

7.3.1.3. VÍTR DOLNÍ

Oblast 1.

$$A8 = 0,9887 \text{ m}^2$$

$$A2 = 7,593 \text{ m}^2$$

$$A7 = 7,671 \text{ m}^2$$

$$F_{pv8} = 7,671 * 1,511 * 0,7 = 8,114 \text{ kN} \quad \alpha = 60^\circ$$

$$F_{pv8} = 0,9887 * 1,511 * 0,7 = 1,046 \text{ kN} \quad \alpha = 58^\circ$$

$$F_{pv2} = 7,593 * 1,511 * 0,7 * 2 = 16,062 \text{ kN} \quad \alpha = 63^\circ$$

Oblast 2.

$$A_4 = 5,898 \text{ m}^2$$

$$F_{pv4} = 5,898 * 1,379 * 0,7 * 2 = 11,387 \text{ kN} \quad \alpha = 58^\circ$$

Oblast 3.

$$A_6 = 4,318 \text{ m}^2$$

$$F_{pv6} = 4,318 * 1,141 * 0,7 * 2 = 6,898 \text{ kN} \quad \alpha = 58^\circ$$

Porovnání ručního výpočtu s výpočtem pomocí programu RWIND Simulation.

Tabulka 7: Porovnání výsledků zatížení velké sedmičky větru bez schodiště

	Ruční výpočet:	RWIND Simulation
Vítr zprava a zleva	$\Sigma = 43,165 \text{ kN}$	$0^\circ = 35,509 \text{ kN}$
Vítr z horní	$\Sigma = 43,101 \text{ kN}$	$90^\circ = 43,771 \text{ kN}$
Vítr z dolní	$\Sigma = 43,507 \text{ kN}$	$270^\circ = 43,100 \text{ kN}$

7.3.2. ŘEŠENÍ VĚTRU BEZ SCHODIŠTĚ – MALÁ SEDMIČKA

Oblast 1:

Součinitel drsnosti terénu $c_r(z)$

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

$$c_r(13,83) = 0,2232 \cdot \ln\left(\frac{13,83}{0,05}\right) = 1,255$$

z_0 je parametr drsnosti terénu (viz ta0,2232 * ln(tabulka dle kategorie terénu))

z_{min} je minimální výška (viz tabulka dle kategorie terénu)

Součinitel terénu

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

Kde $z_{0,II}=0,05$ dle kategorie terénu II

$$kr = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,005} \right)^{0,07} = 0,2232$$

Střední rychlost větru $vm(z)$

$$vm(z) = cr(z) \cdot c_0(z) \cdot vb$$

$$vm(13,83) = 1,255 \cdot 1 \cdot 25 = 31,375 \text{ m/s}$$

z – výška působiště větru

$cr(z)$ je součinitel drsnosti terénu

$c_0(z)$ je součinitel orografie (doporučená hodnota pro ČR 1,0)

Turbulence větru $lv(z)$

$$lv(z) = \frac{kl}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \text{ pro } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$lv(13,83) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{13,83}{0,05}\right)} = 0,178$$

kl je součinitel turbulence (doporučená hodnota pro ČR 1,0)

$c_0(z)$ je součinitel orografie (doporučená hodnota pro ČR 1,0)

z_0 je parametr drsnosti terénu (viz tabulka dle kategorie terénu)

Maximální dynamický tlak $qp(z)$

$$qp(z) = [1 + 7 \cdot lv(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot vm^2(z)$$

$$qp(13,83) = [1 + 7 \cdot 0,178] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 31,375^2 = 1381,838 \text{ Pa} = 1,381 \text{ kN/m}^2$$

ρ měrná hmotnost vzduchu; $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ (doporučená hodnota)

$lv(z)$ je intenzita turbulence ve výšce z nad zemí (viz výše)

Oblast 2.

Součinitel drsnosti terénu $cr(z)$

$$cr(9,581) = 0,2232 \cdot \ln\left(\frac{9,581}{0,05}\right) = 1,173$$

Součinitel terénu:

$$kr = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,005}\right)^{0,07} = 0,2232$$

Střední rychlost větru $vm(z)$

$$vm(9,581) = 1,173 \cdot 1 \cdot 25 = 29,325 \text{ m/s}$$

Turbulence větru $lv(z)$

$$lv(9,581) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{9,581}{0,05}\right)} = 0,190$$

Maximální dynamický tlak $qp(z)$

$$qp(9,581) = [1 + 7 \cdot 0,19] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 29,325^2 = 1252,31 \text{ Pa} = 1,252 \text{ kN/m}^2$$

Oblast 3.

Součinitel drsnosti terénu $cr(z)$

$$cr(4,378) = 0,2232 \cdot \ln\left(\frac{4,378}{0,05}\right) = 0,998$$

Součinitel terénu:

$$kr = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,005}\right)^{0,07} = 0,2232$$

Střední rychlost větru $vm(z)$

$$vm(4,378) = 0,998 \cdot 1 \cdot 25 = 24,950 \text{ m/s}$$

Turbulence větru $lv(z)$

$$lv(4,378) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{4,378}{0,05}\right)} = 0,224$$

Maximální dynamický tlak $qp(z)$

$$qp(4,378) = [1 + 7 \cdot 0,224] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 24,950^2 = 999,117 \text{ Pa} = 1,00 \text{ kN/m}^2$$

Obecně:

$$F_p^* = A \cdot qp(z) \cdot C_{pe}$$

A plocha oblasti

$qp(z)$ maximální dynamický tlak

C_{pe} součinitel vnějšího tlaku

7.3.2.1. VÍTR Z PRAVA A LEVA

Oblast 1.

$$A_1 = 9,342 \text{ m}^2 \quad \alpha = 82^\circ$$

$$A_2 = 8,848 \text{ m}^2$$

$$F_{pv1} = 18,19 \cdot 1,381 \cdot 0,8 = 16,782 \text{ kN}$$

Oblast 2.

$$A_3 = 7,677 \text{ m}^2$$

$$F_{pv2} = 7,677 \cdot 1,252 \cdot 0,8 = 7,689 \text{ kN}$$

Oblast 3.

$$A_4 = 3,928 \text{ m}^2$$

$$F_{pv3} = 3,928 \cdot 1,00 \cdot 0,8 = 3,142 \text{ kN}$$

7.3.2.2. VÍTR HORNÍ

Oblast 1.

$$A_5 = 8,5963 \text{ m}^2$$

$$F_{pv4} = 8,5963 \cdot 1,381 \cdot 0,8 = 9,4972 \text{ kN}$$

$$A_6 = 18,685 \text{ m}^2$$

$$F_{pv4} = 18,685 \cdot 1,381 \cdot 0,2 = 5,1608 \text{ kN} \quad \alpha = 15^\circ$$

Oblast 2.

$$A_6 = 15,3672 \text{ m}^2$$

$$F_{pv5} = 15,3672 * 1,252 * 0,2 = 3,848 \text{ kN} \quad \alpha = 15^\circ$$

Oblast 3.

$$A_7 = 7,8574 \text{ m}^2$$

$$F_{pv6} = 7,8574 * 1,00 * 0,2 = 1,5715 \text{ kN} \quad \alpha = 15^\circ$$

7.3.2.3. VÍTR DOLNÍ**Oblast 1.**

$$A_8 = 0,6557 \text{ m}^2$$

$$F_{pv7} = 0,6557 * 1,381 * 0,8 = 0,7244 \text{ kN}$$

$$A_9 = 8,8603 \text{ m}^2$$

$$F_{pv8} = (8,8603 + 5,0252) * 2 * 1,381 * 0,2 = 7,6703 \text{ kN} \quad \alpha = 15^\circ$$

Oblast 2.

$$A_{10} = 3,157 \text{ m}^2$$

$$F_{pv9} = 3,157 * 1,252 * 0,8 = 3,1621 \text{ kN}$$

$$A_{11} = 12,133 \text{ m}^2$$

$$F_{pv10} = 12,133 * 1,252 * 0,2 = 3,0381 \text{ kN} \quad \alpha = 15^\circ$$

Oblast 3.

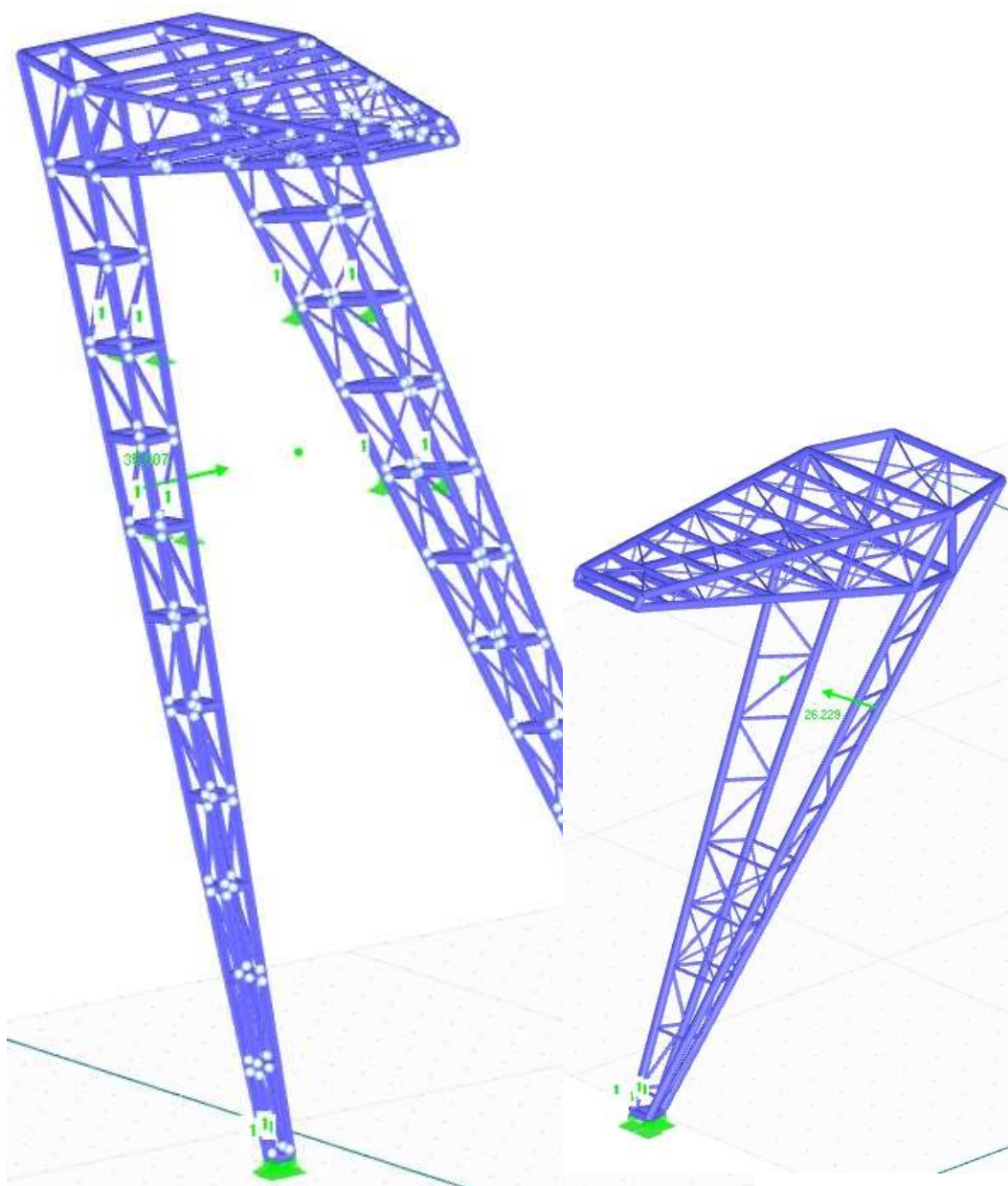
$$A_{12} = 6,1387 \text{ m}^2$$

$$F_{pv11} = 6,1387 * 1,00 * 0,8 = 4,9110 \text{ kN}$$

Při porovnání výpočtového modelu a ručního výpočtu jak ve velké, tak i malé konstrukci sedmičky, byly zjištěny pouze malé odchylky. Tyto odchylky jsou přisouzeny nepřesnému ručnímu výpočtu z hlediska různých úhlů především v boku plošiny a také zjednodušení výpočtu pomocí normových součinitelů. Pro výsledný model tedy může být počítáno zatížení větrem pomocí pomocného programu RWIND Simulation. Podrobnější porovnání zatížení větrem probíhá níže (viz kapitola 9.3.).

Tabulka 8: Porovnání výsledků zatížení malé sedmičky větru bez schodiště

	Ruční výpočet:	RWIND Simulation
Vítr zprava a zleva	$\Sigma = 27,613 \text{ kN}$	$0^\circ = 26,229 \text{ kN}$
Vítr z horní	$\Sigma = 20,078 \text{ kN}$	$90^\circ = 18,015 \text{ kN}$
Vítr z dolní	$\Sigma = 19,481 \text{ kN}$	$270^\circ = 16,845 \text{ kN}$



Obrázek 18: Zatížení konstrukce velké i malé sedmičky větrem v 0°

7.3.3. ŘEŠENÍ VĚTRU NA KONSTRUKCI SCHODIŠTĚ

Jedná se o točité ocelové schodiště, které je ve tvaru válce o průměru 2,1 metru. Pro schodiště je zbudován samostatný základ. Tedy zatížení užité, a zatížení vlastní tíhou působící na schodiště nenamáhá nosnou konstrukci rozhledny [2]. V této práci předpokládáme kloubové připojení k horní plošině, s tím souvisí přenos sil větru do konstrukce větší sedmičky. Pro kalkulaci je využito zjednodušeného výpočtu, kdy je konstrukce schodiště považována za svislé stěny pozemních staveb s pravoúhlým půdorysem. Z tohoto předpokladu také vychází součinitele vnějšího tlaku. Vítr je rozdělen na tři oblasti a uvažován ve třech výškách s rozdílnou silou větru. Reakce výsledného větru od schodiště je následně ve čtyřech směrech zavedena do modelu, a to jako vodorovné silové zatížení na uzel v místě uvažovaného kloubového připojení horní části schodiště.

Oblast v1:

$$S1 = a * v1 = 1,4849 * 6,27 = 9,31 \text{ m}^2$$

$$F1 = 9,31 * 1,511 * (-1,00) = - 14,068 \text{ kN}$$

Oblast v2:

$$S2 = a * v2 = 1,48492 * 6,125 = 9,095 \text{ m}^2$$

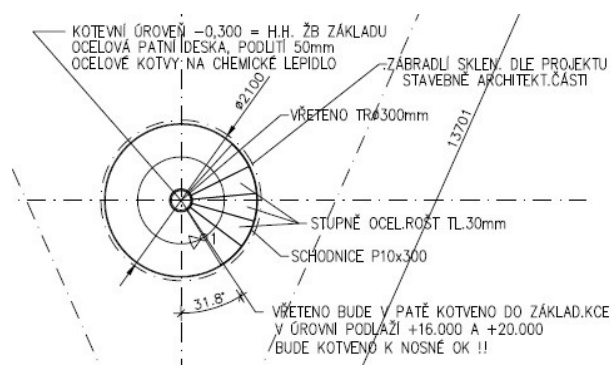
$$F2 = 9,095 * 1,379 * (-1,00) = - 12,542 \text{ kN}$$

Oblast v3:

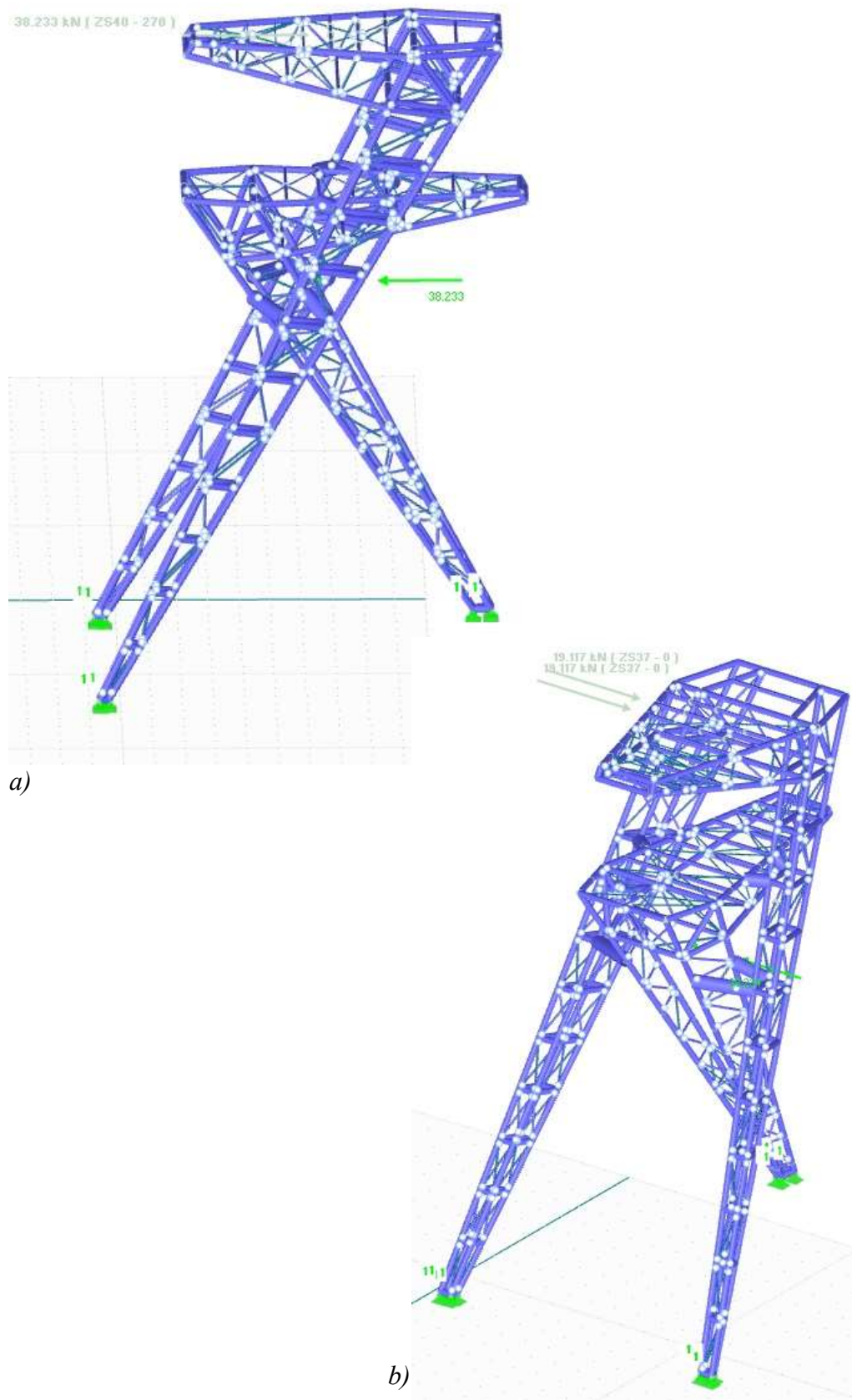
$$S3 = a * v3 = 1,4849 * 6,86 = 10,186 \text{ m}^2$$

$$F3 = 10,186 * 1,141 * (-1,00) = - 11,623 \text{ kN}$$

$$\text{Celkem} = F1 + F2 + F3 = - 14,068 - 12,542 - 11,623 = - 38,233 \text{ kN}$$



Obrázek 19: Půdorys a řešení schodiště v konstrukci



Obrázek 20: Konstrukce zatížená větrem na schodiště ve směru a) 270° b) 0°

8. PŘEHLED ZATĚŽOVACÍCH STAVŮ A JEJICH KOMBINACE

8.1. ZATĚŽOVACÍ STAVY

Do softwaru byly zavedeny následující zatěžovací stavy. Těmto stavům bylo zadáno adekvátní zatížení dle předchozích výpočtů. Pro větší přehlednost zatěžovacích stavů byly některé stavy seskupeny. Pro další výpočet je potřebný pouze přehled zatěžovacích stavů celé konstrukce, proto nejsou uvedeny pro jednotlivé sedmičky. Pro jednotlivé sedmičky by zatěžovací stavy byly velmi podobné zde uvedeným tabulkám.

Tabulka 9: Zatěžovací stavy pro model sedmiček dohromady

Skupina ZS	Typ zatížení	ZS	Obsah
1	Stálé	ZS1	Vlastní tíha konstrukce
2	Ostatní stálé	ZS13, ZS22	Opláštění konstrukce, Ostatní stálé plošina, Ostatní stálé stojiny
3	Užitné	ZS2	Užitné zatížení (kategorie C)
4	Sníh	ZS24	
5	Vítr bez schodiště	ZS29-ZS36	Vítr 0°, Vítr 45°, Vítr 90°, Vítr 135°, Vítr 180°, Vítr 225°, Vítr 270°, Vítr 315°,
6	Vítr na schodiště	ZS37-ZS40	Vítr 0°, Vítr 90°, Vítr 180°, Vítr 270°,

Tabulka 10: Zatěžovací stavy pro model malé sedmičky s přeneseným zatížením od velké sedmičky

Skupina ZS	Typ zatížení	ZS	Obsah
1	Stálé	ZS1	Vlastní tíha konstrukce
2	Ostatní stálé	ZS13, ZS22	Opláštění konstrukce, Ostatní stálé plošina
3	Užitné	ZS2	Užitné zatížení (kategorie C)
4	Sníh	ZS24	
5	Vítr	ZS25-ZS28	Vítr 0°, Vítr 90°, Vítr 180°, Vítr 270°,

8.2.KOMBINACE ZS

Pro model byly vybrány kombinace vycházející z normy ČSN EN 1990 [6], a to především vycházející z rovnice 6.10a a 6.10b. Kombinační účinky zatížení generoval program RFEM. Pro porovnání modelu sedmiček dohromady (označovaného M1), modelu malé sedmičky s přeneseným zatížením od velké (označovaného M2) a modelu velké sedmičky (označovaného M3) byly použity následné kombinace zatížení zobrazené na obrázcích, které vychází z níže uvedených základních normových rovnic.

$$6.10a: \sum_{j \geq 1} \gamma G, j G k, j + \sum_{i \geq 1} \gamma Q, i \psi 0, i Q k, i$$

$$6.10b: \sum_{j \geq 1} \xi \gamma G, j G k, j + \gamma Q, 1 Q k, 1 + \sum_{i > 1} \gamma Q, i \psi 0, i Q k, i$$

Upravit zatěžovací stavy a kombinace

Zatěžovací stavy Účinky Kombinační pravidla Kombinace účinků Kombinace zatížení Kombinace výsledků

Existující kombinace zatížení

KZ č. 67 Označení kombinace zatížení S Ch ZS1 + ZS2 + ZS13 + ZS22 + ZS23 + 0.5*ZS24 + 0.6*ZS29 Vypočítat

Obecné Parametry výpočtu

Zatěžovací stavy v kombinaci zatížení KZ67

č.	Součinitel	Zatěžovací stav	Účinek	Hlavní	γ	ψ
1	1.000	G ZS1 - Vlastní tíha konstrukce	G U1 - Stálé	<input type="checkbox"/>		
2	1.000	G ZS2 - Užité zatížení	G U2 - Užité zatížení	<input checked="" type="checkbox"/>		
3	1.000	G ZS13 - Opláštění konstrukce	G U5 - Stálé/užité	<input type="checkbox"/>		
4	1.000	G ZS22 - Ostatní stálé plošina	G U1 - Stálé	<input type="checkbox"/>		
5	1.000	G ZS23 - Ostatní stálé stojny	G U1 - Stálé	<input type="checkbox"/>		
6	0.500	G ZS24 - sníh	G U3 - Sníh	<input type="checkbox"/>		0.50
7	0.600	Qw ZS29 - Vitr 0 °	Qw U4 - Vitr	<input type="checkbox"/>		0.60
8	0.600	Qw ZS37 - 0	Qw U4 - Vitr	<input type="checkbox"/>		0.60

a) model sedmiček dohromady

Upravit zatěžovací stavy a kombinace

Zatěžovací stavy Účinky Kombinační pravidla Kombinace účinků Kombinace zatížení Kombinace výsledků

Existující kombinace zatížení

KZ č. 32 Označení kombinace zatížení S Ch ZS1 + ZS2 + ZS13 + ZS22 + ZS23 + 0.5*ZS24 + 0.6*ZS28 Vypočítat

Obecné Parametry výpočtu

Zatěžovací stavy v kombinaci zatížení KZ32

č.	Součinitel	Zatěžovací stav	Účinek	Hlavní	γ	ψ
1	1.000	G ZS1 - Vlastní tíha konstrukce	G U1 - Stálé	<input type="checkbox"/>		
2	1.000	G ZS2 - Užité zatížení	G U2 - Užité zatížení	<input checked="" type="checkbox"/>		
3	1.000	G ZS13 - Opláštění konstrukce	G U5 - Stálé/užité	<input type="checkbox"/>		
4	1.000	G ZS22 - Ostatní stálé plošina	G U1 - Stálé	<input type="checkbox"/>		
5	1.000	G ZS23 - Ostatní stálé stojny	G U1 - Stálé	<input type="checkbox"/>		
6	0.500	G ZS24 - sníh	G U3 - Sníh	<input type="checkbox"/>		0.50
7	0.600	Qw ZS28 - Vitr 0 °	Qw U4 - Vitr	<input type="checkbox"/>		0.60

b) malá sedmička s přeneseným zatížením od velké sedmičky

Upravit zatěžovací stavy a kombinace

Zatěžovací stavy Účinky Kombinační pravidla Kombinace účinků Kombinace zatížení Kombinace výsledků

Existující kombinace zatížení

KZ č. 67 Označení kombinace zatížení S Ch ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS3 + ZS13 + 0.6*ZS14 + ZS22 + ZS23 + Vypočítat

Obecné Parametry výpočtu

Zatěžovací stavy v kombinaci zatížení KZ67

č.	Součinitel	Zatěžovací stav	Účinek	Hlavní	γ	ψ
1	1.000	G ZS1 - Vlastní tíha konstrukce	G U1 - Stálé	<input type="checkbox"/>		
2	1.000	G ZS2 - Užité zatížení	G U2 - Užité zatížení	<input checked="" type="checkbox"/>		
3	0.500	G ZS3 - sníh	G U3 - Sníh	<input type="checkbox"/>		0.50
4	1.000	G ZS13 - Opláštění konstrukce	G U6 - Stálé/užité	<input type="checkbox"/>		
5	0.600	Qw ZS14 - Vitr 0 °	Qw U5 - Vitr	<input type="checkbox"/>		0.60
6	1.000	G ZS22 - Ostatní stálé plošina	G U1 - Stálé	<input type="checkbox"/>		
7	1.000	G ZS23 - Ostatní stálé stojny	G U1 - Stálé	<input type="checkbox"/>		
8	0.600	Qw ZS24 - Vitr 0 ° od schodiště	Qw U5 - Vitr	<input type="checkbox"/>		0.60

c) velká sedmička

Obrázek 21: Charakteristická kombinace 1 pro a) model sedmiček dohromady b) malou sedmičku s přeneseným zatížením od velké sedmičky

Upravit zatěžovací stavy a kombinace

Zatěžovací stavy Účinky Kombinační pravidla Kombinace účinků Kombinace zatížení Kombinace výsledků

Existující kombinace zatížení

S Ch KZ78	ZS1 + ZS22 + ZS23 + ZS24
S Ch KZ79	ZS1 + 0.7*ZS2 + ZS22 + ZS23 + Z
S Ch KZ80	ZS1 + 0.7*ZS2 + ZS22 + ZS23 + Z
S Ch KZ81	ZS1 + 0.7*ZS2 + ZS22 + ZS23 + Z
S Ch KZ82	ZS1 + 0.7*ZS2 + ZS22 + ZS23 + Z
S Ch KZ83	ZS1 + 0.7*ZS2 + ZS13 + ZS22 + Z
S Ch KZ84	ZS1 + 0.7*ZS2 + ZS13 + ZS22 + Z
S Ch KZ85	ZS1 + 0.7*ZS2 + ZS13 + ZS22 + Z
S Ch KZ86	ZS1 + 0.7*ZS2 + ZS13 + ZS22 + Z
S Ch KZ87	ZS1 + ZS22 + ZS23 + ZS24 + 0.6*
S Ch KZ88	ZS1 + ZS22 + ZS23 + ZS24 + 0.6*
S Ch KZ89	ZS1 + ZS22 + ZS23 + ZS24 + 0.6*

KZ č. 104 Označení kombinace zatížení S Ch ZS1 + 0.7*ZS2 + ZS13 + ZS22 + ZS23 + 0.5*ZS24 + ZS29 Vypočítat

Obecné Parametry výpočtu

Zatěžovací stavy v kombinaci zatížení KZ104

č.	Součinitel	Zatěžovací stav	Účinek	Hlavní	γ	ψ
1	1.000	G ZS1 - Vlastní tíha konstrukce	G U1 - Stálé	<input type="checkbox"/>		
2	0.700	G U ZS2 - Užité zatížení	G U2 - Užité zatížení	<input type="checkbox"/>		0.70
3	1.000	G U ZS13 - Opláštění konstrukce	G U5 - Stálé/užité	<input type="checkbox"/>		
4	1.000	G ZS22 - Ostatní stálé plošina	G U1 - Stálé	<input type="checkbox"/>		
5	1.000	G ZS23 - Ostatní stálé stojny	G U1 - Stálé	<input type="checkbox"/>		
6	0.500	G S ZS24 - snih	G S U3 - Snih	<input type="checkbox"/>		0.50
7	1.000	G W ZS29 - Vitr 0°	G W U4 - Vitr	<input checked="" type="checkbox"/>		
8	1.000	G W ZS37 - 0	G W U4 - Vitr	<input checked="" type="checkbox"/>		

a) model sedmiček dohromady

Upravit zatěžovací stavy a kombinace

Zatěžovací stavy Účinky Kombinační pravidla Kombinace účinků Kombinace zatížení Kombinace výsledků

Existující kombinace zatížení

S Ch KZ20	1.35*ZS1 + 1.05*ZS2 + 1.35*ZS22
S Ch KZ21	1.35*ZS1 + 1.05*ZS2 + 1.35*ZS22
S Ch KZ22	1.35*ZS1 + 1.05*ZS2 + 1.35*ZS11
S Ch KZ23	1.35*ZS1 + 1.05*ZS2 + 1.35*ZS11
S Ch KZ24	1.35*ZS1 + 1.35*ZS22 + 1.35*ZS1
S Ch KZ25	1.35*ZS1 + 1.35*ZS13 + 1.35*ZS1
S Ch KZ26	1.35*ZS1 + 1.35*ZS13 + 1.35*ZS1
S Ch KZ27	ZS1 + ZS22 + ZS23
S Ch KZ28	ZS1 + ZS13 + ZS22 + ZS23
S Ch KZ29	ZS1 + ZS2 + ZS22 + ZS23
S Ch KZ30	ZS1 + ZS2 + ZS22 + ZS23 + 0.5*Z
S Ch KZ31	ZS1 + ZS2 + ZS22 + ZS23 + 0.5*Z

KZ č. 48 Označení kombinace zatížení S Ch ZS1 + 0.7*ZS2 + ZS13 + ZS22 + ZS23 + 0.5*ZS24 + ZS28 Vypočítat

Obecné Parametry výpočtu

Zatěžovací stavy v kombinaci zatížení KZ48

č.	Součinitel	Zatěžovací stav	Účinek	Hlavní	γ	ψ
1	1.000	G ZS1 - Vlastní tíha konstrukce	G U1 - Stálé	<input type="checkbox"/>		
2	0.700	G U ZS2 - Užité zatížení	G U2 - Užité zatížení	<input type="checkbox"/>		0.70
3	1.000	G U ZS13 - Opláštění konstrukce	G U5 - Stálé/užité	<input type="checkbox"/>		
4	1.000	G ZS22 - Ostatní stálé plošina	G U1 - Stálé	<input type="checkbox"/>		
5	1.000	G ZS23 - Ostatní stálé stojny	G U1 - Stálé	<input type="checkbox"/>		
6	0.500	G S ZS24 - snih	G S U3 - Snih	<input type="checkbox"/>		0.50
7	1.000	G W ZS28 - Vitr 0°	G W U4 - Vitr	<input checked="" type="checkbox"/>		

b) malá sedmička s přeneseným zatížením od velké sedmičky

Upravit zatěžovací stavy a kombinace

Zatěžovací stavy Účinky Kombinační pravidla Kombinace účinků Kombinace zatížení Kombinace výsledků

Existující kombinace zatížení

S Ch KZ105	ZS1 + 0.7*ZS2 + 0.5*ZS3 + ZS13
S Ch KZ106	ZS1 + 0.7*ZS2 + 0.5*ZS3 + ZS13
S Ch KZ107	ZS1 + 0.7*ZS2 + ZS13 + ZS14 + Z
S Ch KZ108	ZS1 + 0.7*ZS2 + ZS13 + ZS14 + Z
S Ch KZ109	ZS1 + 0.7*ZS2 + ZS13 + ZS22 + Z
S Ch KZ110	ZS1 + 0.5*ZS3 + ZS14 + ZS22 + Z
S Ch KZ111	ZS1 + 0.5*ZS3 + ZS14 + ZS22 + Z
S Ch KZ112	ZS1 + 0.5*ZS3 + ZS22 + ZS23 + Z
S Ch KZ113	ZS1 + 0.5*ZS3 + ZS13 + ZS14 + Z
S Ch KZ114	ZS1 + 0.5*ZS3 + ZS13 + ZS14 + Z
S Ch KZ115	ZS1 + 0.5*ZS3 + ZS13 + ZS22 + Z
S Ch KZ116	ZS1 + ZS13 + ZS14 + ZS22 + ZS23
S Ch KZ117	ZS1 + ZS13 + ZS14 + ZS22 + ZS23
S Ch KZ118	ZS1 + ZS13 + ZS22 + ZS23 + ZS24
S Ch KZ119	ZS1 + ZS22 + ZS23

KZ č. 105 Označení kombinace zatížení S Ch ZS1 + 0.7*ZS2 + 0.5*ZS3 + ZS13 + ZS14 + ZS22 + ZS23 Vypočítat

Obecné Parametry výpočtu

Zatěžovací stavy v kombinaci zatížení KZ105

č.	Součinitel	Zatěžovací stav	Účinek	Hlavní	γ	ψ
1	1.000	G ZS1 - Vlastní tíha konstrukce	G U1 - Stálé	<input type="checkbox"/>		
2	0.700	G U ZS2 - Užité zatížení	G U2 - Užité zatížení	<input type="checkbox"/>		0.70
3	0.500	G S ZS3 - snih	G S U3 - Snih	<input type="checkbox"/>		0.50
4	1.000	G U ZS13 - Opláštění konstrukce	G U6 - Stálé/užité	<input type="checkbox"/>		
5	1.000	G W ZS14 - Vitr 0°	G W U5 - Vitr	<input checked="" type="checkbox"/>		
6	1.000	G ZS22 - Ostatní stálé plošina	G U1 - Stálé	<input type="checkbox"/>		
7	1.000	G ZS23 - Ostatní stálé stojny	G U1 - Stálé	<input type="checkbox"/>		
8	1.000	G W ZS24 - Vitr 0° od schodiště	G W U5 - Vitr	<input checked="" type="checkbox"/>		

c) velká sedmička

Obrázek 22: Charakteristická kombinace 2 pro a) model sedmiček dohromady b) malou sedmičku s přeneseným zatížením od velké sedmičky

Upravit zatěžovací stavy a kombinace

Zatěžovací stavy Účinky Kombinační pravidla Kombinace účinků Kombinace zatížení Kombinace výsledků

Existující kombinace zatížení

KZ č. 150 Označení kombinace zatížení STR 1.35*ZS1 + 1.05*ZS2 + 1.35*ZS13 + 1.35*ZS22 + 1.35*ZS29

Obecné Parametry výpočtu

Zatěžovací stavy v kombinaci zatížení KZ150

č.	Součinitel	Zatěžovací stav	Účinek	Hlavní	ξ	γ	ψ
1	1.350	G ZS1 - Vlastní tíha konstrukce	G Ú1 - Stálé	<input type="checkbox"/>		1.35	
2	1.050	Q1 Q ZS2 - Užité zatížení	Q1 Q Ú2 - Užité zatížení	<input type="checkbox"/>		1.50	0.70
3	1.350	G ZS13 - Opláštění konstrukce	G Ú5 - Stálé/užité	<input type="checkbox"/>		1.35	
4	1.350	G ZS22 - Ostatní stálé plošina	G Ú1 - Stálé	<input type="checkbox"/>		1.35	
5	1.350	G ZS23 - Ostatní stálé stojny	G Ú1 - Stálé	<input type="checkbox"/>		1.35	
6	0.750	Qs ZS24 - snih	Qs Ú3 - Snih	<input type="checkbox"/>		1.50	0.50
7	0.900	Qw ZS29 - Vitr 0°	Qw Ú4 - Vitr	<input type="checkbox"/>		1.50	0.60
8	0.900	Qw ZS37 - 0	Qw Ú4 - Vitr	<input type="checkbox"/>		1.50	0.60

a) model sedmiček dohromady

Upravit zatěžovací stavy a kombinace

Zatěžovací stavy Účinky Kombinační pravidla Kombinace účinků Kombinace zatížení Kombinace výsledků

Existující kombinace zatížení

KZ č. 74 Označení kombinace zatížení STR 1.35*ZS1 + 1.05*ZS2 + 1.35*ZS13 + 1.35*ZS22 + 0.75*ZS24

Obecné Parametry výpočtu

Zatěžovací stavy v kombinaci zatížení KZ74

č.	Součinitel	Zatěžovací stav	Účinek	Hlavní	ξ	γ	ψ
1	1.350	G ZS1 - Vlastní tíha konstrukce	G Ú1 - Stálé	<input type="checkbox"/>		1.35	
2	1.050	Q1 Q ZS2 - Užité zatížení	Q1 Q Ú2 - Užité zatížení	<input type="checkbox"/>		1.50	0.70
3	1.350	G ZS13 - Opláštění konstrukce	G Ú5 - Stálé/užité	<input type="checkbox"/>		1.35	
4	1.350	G ZS22 - Ostatní stálé plošina	G Ú1 - Stálé	<input type="checkbox"/>		1.35	
5	0.750	Qs ZS24 - snih	Qs Ú3 - Snih	<input type="checkbox"/>		1.50	0.50
6	0.900	Qw ZS28 - Vitr 0°	Qw Ú4 - Vitr	<input type="checkbox"/>		1.50	0.60

b) malá sedmička s přeneseným zatížením od velké sedmičky

Upravit zatěžovací stavy a kombinace

Zatěžovací stavy Účinky Kombinační pravidla Kombinace účinků Kombinace zatížení Kombinace výsledků

Existující kombinace zatížení

KZ č. 151 Označení kombinace zatížení STR 1.35*ZS1 + 1.05*ZS2 + 0.75*ZS3 + 1.35*ZS13 + 0.9*ZS14

Obecné Parametry výpočtu

Zatěžovací stavy v kombinaci zatížení KZ151

č.	Součinitel	Zatěžovací stav	Účinek	Hlavní	ξ	γ	ψ
1	1.350	G ZS1 - Vlastní tíha konstrukce	G Ú1 - Stálé	<input type="checkbox"/>		1.35	
2	1.050	Q1 Q ZS2 - Užité zatížení	Q1 Q Ú2 - Užité zatížení	<input type="checkbox"/>		1.50	0.70
3	0.750	Qs ZS3 - snih	Qs Ú3 - Snih	<input type="checkbox"/>		1.50	0.50
4	1.350	G ZS13 - Opláštění konstrukce	G Ú6 - Stálé/užité	<input type="checkbox"/>		1.35	
5	0.900	Qw ZS14 - Vitr 0°	Qw Ú5 - Vitr	<input type="checkbox"/>		1.50	0.60
6	1.350	G ZS22 - Ostatní stálé plošina	G Ú1 - Stálé	<input type="checkbox"/>		1.35	
7	1.350	G ZS23 - Ostatní stálé stojny	G Ú1 - Stálé	<input type="checkbox"/>		1.35	
8	0.900	Qw ZS24 - Vitr 0° od schodiště	Qw Ú5 - Vitr	<input type="checkbox"/>		1.50	0.60

c) velká sedmička

Obrázek 23: Kombinace mezního stavu únosnosti pro a) model sedmiček dohromady b) malou sedmičku s přeneseným zatížením od velké sedmičky

Pro další výpočty a porovnání je používána především kombinace mezního stavu únosnosti (STR/GEO). Tato kombinace se nejvíce podobá normové kombinaci a zároveň odpovídá jednomu z nejnáročnějšímu namáhání konstrukce. Tedy by měla vykazovat dostatečnou rezervu při posouzení mezního stavu únosnosti. Okrajově je níže počítáno a posuzováno dle charakteristické kombinace jedna, která by měla sloužit pro posuzování mezního stavu použitelnosti. Ovšem posouzení tohoto stavu není předmětem bakalářské práce.

9. STATICKÁ ANALÝZA

9.1. RUČNÍ VÝPOČET VYBRANÉ ČÁSTI KONSTRUKCE A POROVNÁNÍ VÝPOČTOVÝCH MODELŮ PŘÍHRADOVINY

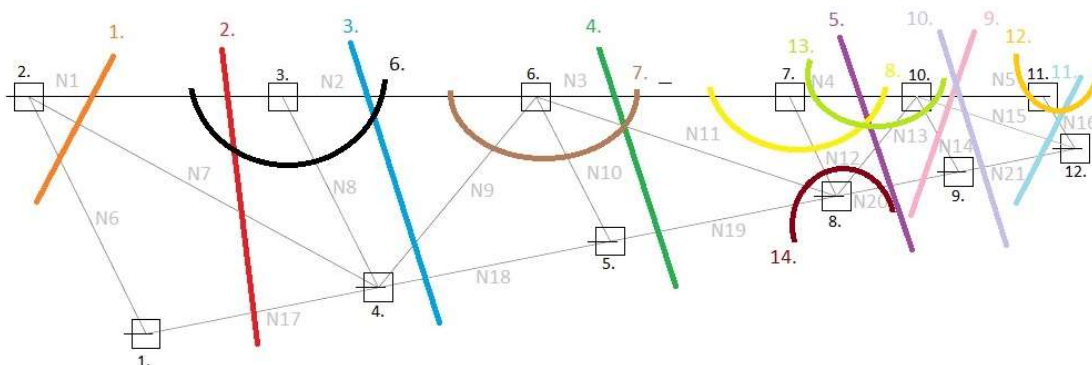
Jako hlavní část pro ruční výpočet byla vybrána vrchní příhradová část konstrukce. Pro tuto část jsou ručně zjišťovány vnitřní normálové síly na jednotlivých prutech. Ty jsou porovnány s vytvořeným dvojrozměrným modelem. Tento model je následně srovnán s příhradovou částí vyskytující se přímo v celkovém výpočtovém modelu. Toto porovnání je podrobněji zpracováno v kapitole 9.1.

9.1.1. RUČNÍ VÝPOČET PŘÍHRADOVÉ KONSTRUKCE

Pro ruční výpočet je konstrukce zatížena ostatním stálým zatížením od ocelového roštu a zábradlí umístěném na plošině (viz kapitola 4.2.1.). V průběhu výpočtu bylo zjištěno, že vybraná konstrukce ve dvojrozměrném pohledu způsobuje takzvaný mechanismus. Aby se dala konstrukce ručně vyřešit alespoň částečně, byl přidán prut s číslem N15, po tomto kroku je možné konstrukci vypočítat.

Výpočet byl proveden pomocí průsečné metody s oporou styčnickové metody, která nevykazuje pro tento případ dostatečnou přesnost z důvodu zvětšování se chyb v důsledku návaznosti jednotlivých výpočtů. Nepřesnosti v průsečné metodě vznikly zaokrouhlováním a menší přesností zadávání úhlů mezi jednotlivými pruty. Všechny porovnání normálových sil jsou však v přijatelných odchylkách. Pro ověření byl vytvořen zjednodušený model v souřadnicích XZ, který má téměř totožné výsledky normálových sil s ručním výpočtem. Ruční výpočty byly provedeny pomocí literatury [14].

Průsečná metoda:



Obrázek 24: Schéma příhradové konstrukce

1.

$$\alpha = 23,03^\circ$$

$$\sum M_4 = 0$$

$$- N_1 * 1,37 + F_6 * 2,443 + 1,37 * V_b + 2,443 * N_{6y} - 1,37 * N_{6x} = 0$$

$$- 2,866 * 1,37 + 0,607 * 2,443 + 4,984 * 1,37 = - 2,443 * 0,92 * N_6 + 1,37 * 0,39 * N_6$$

$$N_6 = - 2,559 \text{ kN}$$

2.

$$\sum M_4 = 0$$

$$V_b * 1,37 - N_1 * 1,37 + F_6 * 2,443 - V_{ay} * 1,703 + V_{ax} * 0,330 = 0$$

$$4,984 * 1,37 + 0,607 * 2,443 - 3,54 * 1,703 + 4,984 * 0,33 = 1,37 N_1$$

$$N_1 = 2,866 \text{ kN}$$

$$\sum M_1 = 0$$

$$A = 29,28^\circ$$

$$F_6 * 0,741 + V_b * 1,7 - N_1 * 1,7 - N_{7x} * 1,7 + N_{7y} * 0,741 = 0$$

$$0,607 * 0,741 + 4,984 * 1,7 - 2,866 * 1,7 - 0,872 * N_7 * 1,7 + 0,489 * 0,741 * N_7 = 0$$

$$N_7 = 3,616 \text{ kN}$$

$$\sum M_2 = 0$$

$$1,7 * V_{ax} + 0,741 * V_{ay} + 1,7 * N_{17x} + 0,741 * N_{17y} = 0$$

$$1,7 * 4,984 + 0,741 * 3,54 + 1,7 * 0,98 * N_{17} + 0,741 * 0,19 * N_{17} = 0$$

$$N_{17} = - 6,141 \text{ kN}$$

3.

$$\sum M_4 = 0$$

$$- 1,37 * N_2 + F_5 * 0,6048 + F_6 * 2,443 + V_b * 1,37 + V_{ax} * 0,33 - V_{ay} * 1,703 = 0$$

$$1,074 * 0,6048 + 0,607 * 2,443 + 4,984 * 1,37 + 4,984 * 0,33 - 3,54 * 1,703 = 1,37 * N_2$$

$$N_2$$

$$N2 = 3,34 \text{ kN}$$

$$\sum M5. = 0$$

$$\alpha = 10,99^\circ$$

$$F5 * 1,869 + F6 * 3,675 - Vay * 2,935 + Vax * 1,699 - N18 * 0,19 * 1,232 + N18 * 0,98 * 1,37 = 0$$

$$1,074 * 1,837 + 0,607 * 3,675 - 3,54 * 2,935 + 4,984 * 1,7 - N18 * 0,19 * 1,232 + N18 * 0,98 * 1,37 = 0$$

$$N18 = - 2,062 \text{ kN}$$

$$\sum M5. = 0$$

$$F5 * 2,306 + F6 * 4,144 + Vb * 1,0392 - N2 * 1,039 + Vax * 0,6608 - Vay * 3,404 - N9 * 0,7437 * 1,701 + N9 * 0,6685 * 0,3304 = 0$$

$$1,074 * 2,306 + 0,607 * 4,1436 + 4,984 * 1,039 - 3,34 * 1,039 + 4,984 * 0,6608 - 3,54 * 3,404 = 1,0442 * N9$$

$$N9 = - 1,97 \text{ kN}$$

4.

$$\sum M6. = 0$$

$$1,837 * F5 + 3,675 * F6 + 1,7 * Vax - 2,935 * Vay + N19y * 0,469 + N19x * 1,038 = 0$$

$$1,074 * 1,837 + 0,607 * 3,675 + 4,984 * 1,7 - 3,54 * 2,935 + N19 * 0,4688 * 0,19 + N19 * 1,0383 * 0,98 = 0$$

$$N19 = - 2,066 \text{ kN}$$

$$\sum M8. = 0$$

$$- N3 * 0,718 + F4 * 2,126 + F5 * 3,963 + F6 * 5,801 + Vb * 0,718 + Vax * 0,982 - Vay * 5,061 = 0$$

$$2,126 * 0,891 + 3,963 * 1,074 + 0,607 * 5,801 + 4,984 * 0,718 + 4,984 * 0,982 - 3,54 * 5,061 = 0,718 * N3$$

$$N3 = 0,318 \text{ kN}$$

5.

$$\alpha = 10,99^\circ$$

$$\curvearrowright M_{10} = 0$$

$$+ F_3 * 0,919 + F_4 * 2,756 + F_5 * 4,593 + F_6 * 6,431 - V_{ay} * 5,691 + V_{ax} * 1,6998 + N_{20x} * 0,19 * 0,7174 - N_{20y} * 0,98 * 0,630 = 0$$

$$0,541 * 0,919 + 0,891 * 2,756 + 1,074 * 4,593 + 0,607 * 6,431 - 3,54 * 5,691 + 4,984 * 1,7 = N_{20x} * 0,98 * 0,717 + N_{20y} * 0,19 * 0,630 = 0$$

$$N_{20} = - 0,199 \text{ kN}$$

$$\curvearrowright M_8 = 0$$

$$F_4 * 2,128 + F_5 * 3,963 + F_6 * 5,801 - V_{ay} * 5,061 + V_{ax} * 0,9824 + 0,718V_b + F_3 * 0,288 - N_4 * 0,718 = 0$$

$$0,891 * 2,128 + 1,074 * 3,963 + 0,607 * 5,801 - 3,54 * 5,061 + 4,984 * 0,9824 + 0,718 * 4,984 + 0,541 * 0,288 - N_4 * 0,718 = 0$$

$$N_4 = 0,541 \text{ kN}$$

$$\curvearrowright M_9 = 0$$

$$\alpha = 50,55^\circ$$

$$1,187 * F_3 + 3,023 * F_4 + 4,860 * F_5 + 6,699 * F_6 + 1,1567 * V_{ax} - 5,959 * V_{ay} - 0,543 * N_4 + 0,174 * N_{13x} * 0,635 - N_{13y} * 0,772 * 0,898 = 0$$

$$1,187 * 0,541 + 3,023 * 0,891 + 4,860 * 1,074 + 6,699 * 0,607 + 1,1567 * 4,984 - 5,959 * 3,54 - 0,543 * 0,541 + 0,543 * 4,984 + 0,174 * N_{13x} * 0,635 - N_{13y} * 0,772 * 0,898 = 0$$

$$N_{13} = - 0,507 \text{ kN}$$

6.

$$\curvearrowright M_9 = 0$$

$$\alpha = 66^\circ$$

$$N_{8y} * 1,837 + F_5 * 1,837 = 0$$

$$N_8 * 0,914 * 1,837 + 1,074 * 1,837 = 0$$

$$N_8 = - 1,176 \text{ kN}$$

7.

$$\alpha = 18,07^\circ$$

$$\alpha = 48,06^\circ$$

$$\alpha = 65,63^\circ$$

$$\curvearrowleft M7. = 0$$

$$F4 + N10y + N11y + N9y = 0$$

$$0,891 + N10 * 0,91 + 2,187 * 0,31 - 2,089 * 0,744 = 0$$

$$N10 = 0,016 \text{ kN}$$

8.

$$\curvearrowleft M10. = 0$$

$$\alpha = 64,66^\circ$$

$$F3 + N12y = 0$$

$$N12 * 0,9038 = - 0,541$$

$$N12 = - 0,599 \text{ kN}$$

9.

$$\alpha = 65,29^\circ$$

$$\curvearrowleft M8. = 0$$

$$+ 0,7174 * N5 + N15 * 0,6301 * 0,3198 + N15 * 0,9475 * 0,7174 - F1 + N14 * 0,4182 * 0,174 + N14 * 0,908 * 0,898 = 0$$

$$+ 0,7174 * (- 0,07) + 0,29 * 0,6301 * 0,3198 + 0,29 * 0,9475 * 0,7174 - 0,126 * 1,5482 + N14 * 0,4182 * 0,174 + N14 * 0,908 * 0,898 = 0$$

$$N14 = - 0,002$$

10.

$$\curvearrowleft M10. = 0$$

$$F3 * 0,919 + F4 * 2,756 + F5 * 4,593 + F6 * 6,431 + Vax * 1,7 - Vay * 5,691 + N21x * 0,5432 + N21y * 0,2675 = 0$$

$$0,541 * 0,919 + 0,891 * 2,756 + 1,074 * 4,593 + 0,607 * 6,431 + 4,984 * 1,7 - 3,54 * 5,691 + N21 * 0,98 * 0,5432 + N21 * 0,19 * 0,2675 = 0$$

$$N_{21} = -0,199 \text{ kN}$$

11.

$$\curvearrowleft M_{10} = 0$$

$$1,133 * N_{16} * 0,8824 - 0,3668 * N_{16} * 0,4705 - 1,133 * N_{21} * 0,19 - 0,3668 * N_{21} * 0,98 = 0$$

$$1,133 * N_{16} * 0,8824 - 0,3658 * N_{16} * 0,4705 - 1,133 * (-0,2) * 0,19 - 0,3668 * (-0,2) * 0,98 = 0$$

$$N_{16} = 0,139 \text{ kN}$$

13.

$$\curvearrowleft M_{12} = 0$$

$$N_5 * 0,367 + F_1 * 0,215 = 0$$

$$N_5 * 0,367 = -0,126 * 0,215$$

$$N_5 = -0,074 \text{ kN}$$

13.

$$\curvearrowleft M_7 = 0$$

$$-0,32 * N_{15} - 0,911 * N_{14} - 0,772 * N_{13} - F_2 = 0$$

$$0,32 * N_{15} = -0,911 * 0 - 0,772 * (-0,51) - 0,301 = 0$$

$$N_{15} = 0,29$$

$$\curvearrowleft M_9 = 0$$

$$-N_{11} * 0,4945 - N_{12} * 0,9818 - N_{13} * 0,6118 = 0$$

$$-(-0,6) * 0,9818 - (-0,51) * 0,6118 = N_{11} * 0,4945$$

$$N_{11} = 1,822$$

Pro styčnickovou metodu bylo využito programu excel. Pro ukázkou byly vybrány dvě místa pro zobrazení výpočtu touto metodou.

Styčnicková metoda:

Posudek v uzlu číslo 4.

$$q = 48,05^\circ \quad \beta_2 = 29,28^\circ \quad \beta = 10,99^\circ$$

$$\gamma = 10,99^\circ \quad r = 23,85^\circ$$

$$\sum F_x = 0$$

$$+ N_9 * \cos q + N_{18} * \cos \gamma - N_{17} * \cos \beta - N_7 * \cos \beta_2 - N_8 * \sin r = 0$$

$$+ N_9 * 0,668 + N_{18} * 0,982 - N_{17} * 0,982 - N_7 * 0,872 - N_8 * 0,404 = 0$$

$$+ N_9 * 0,668 + N_{18} * 0,982 - (-6,11) * 0,982 - 3,62 * 0,872 - (-1,17) * 0,404 = 0$$

$$+ N_9 * 0,668 + N_{18} * 0,982 = -3,316$$

$$\sum F_y = 0$$

$$- N_9 * \sin q - N_{18} * \sin \gamma + N_{17} * \sin \beta - N_7 * \sin \beta_2 - N_8 * \cos r = 0$$

$$- N_9 * 0,744 - N_{18} * 0,191 + N_{17} * 0,191 - N_7 * 0,489 - N_8 * 0,915 = 0$$

$$- N_9 * 0,744 - N_{18} * 0,191 + (-6,11) * 0,191 - 3,62 * 0,489 - (-1,17) * 0,915 = 0$$

$$- N_9 * 0,744 - N_{18} * 0,191 = 1,867$$

Soustava dvou rovnic o dvou neznámých:

$$+ N_9 * 0,668 + N_{18} * 0,982 = -3,316 \quad /* 0,744$$

$$- N_9 * 0,744 - N_{18} * 0,191 = 1,867 \quad /* 0,668$$

$$+ N_9 * 0,497 + N_{18} * 0,731 = -2,467 \quad /* 0,744$$

$$- N_9 * 0,497 - N_{18} * 0,128 = 1,247 \quad /* 0,668$$

$$0,603 * N_{18} = -1,22$$

$$N_{18} = -2,023 \text{ kN} \quad \longrightarrow \quad \text{dosazení } N_{18}$$

$$- N_9 * 0,744 - N_{18} * 0,191 = 1,86$$

$$- N_9 * 0,744 - (-2,023) * 0,191 = 1,86$$

$$- N_9 * 0,744 = 1,474$$

$$N_9 = -1,981 \text{ kN}$$

Posudek v uzlu číslo 7.

$$\gamma_7 = 64,66$$

$$\sum F_x = 0$$

$$- N_3 + N_4 + N_{12} \cdot \cos(\beta_5 + \gamma_6) = 0$$

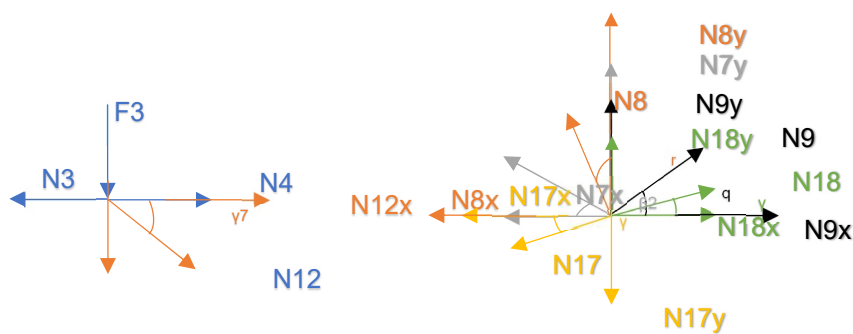
$$- 0,21 + N_4 + (- 0,60) \cdot \cos(65, 63) = 0 \Rightarrow N_4 = 0,458 \text{ kN}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$+ F_3 + N_{12} \cdot \sin(64,66) = 0$$

$$N_{12} \cdot \sin(64,66) = - 0,541$$

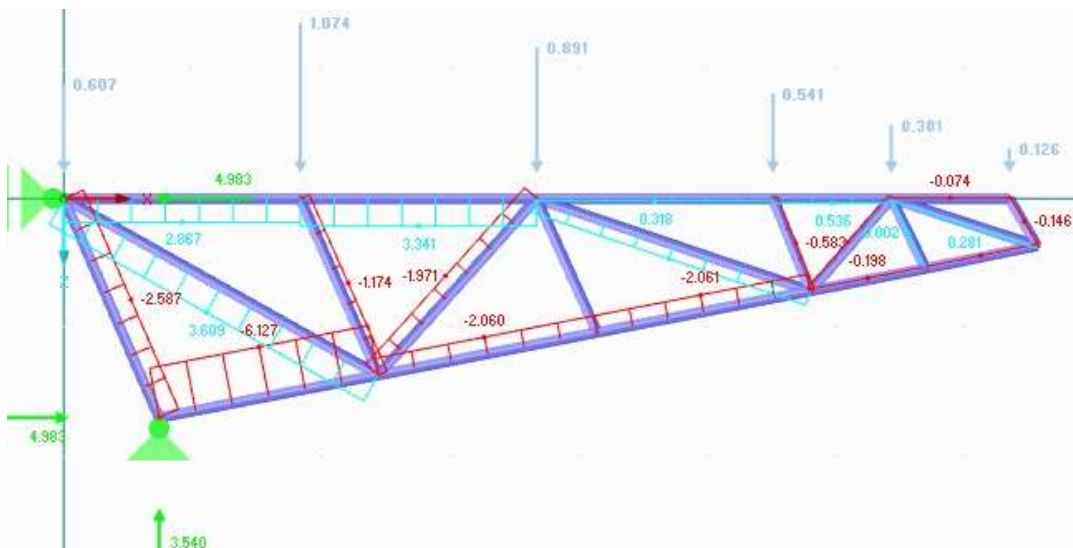
$$N_{12} = - 0,599$$



Uzel 7.

Uzel 4.

Obrázek 25: Pomocné schéma pro výpočet styčnickovou metodou



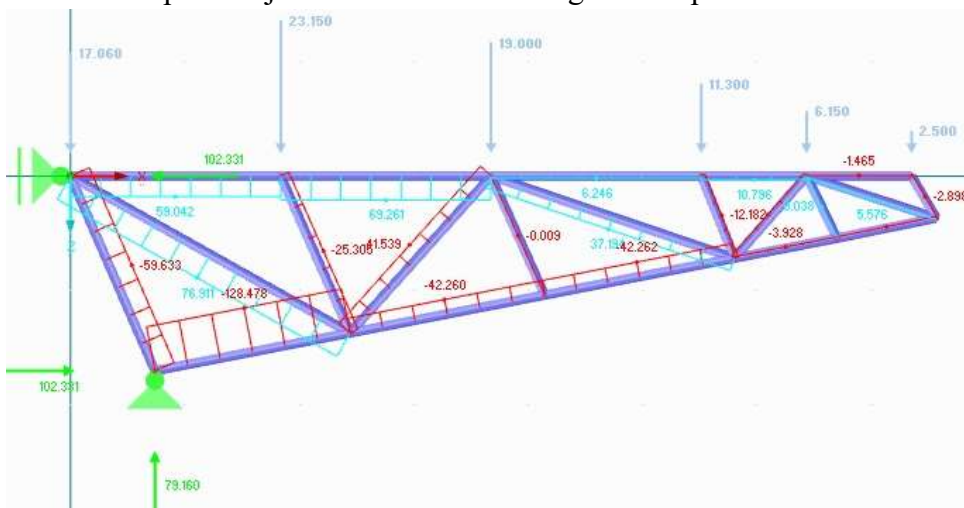
Obrázek 26: Model příhradové konstrukce se zobrazením vnitřních sil

Tabulka 11: Porovnání metod výpočtu příhradové konstrukce

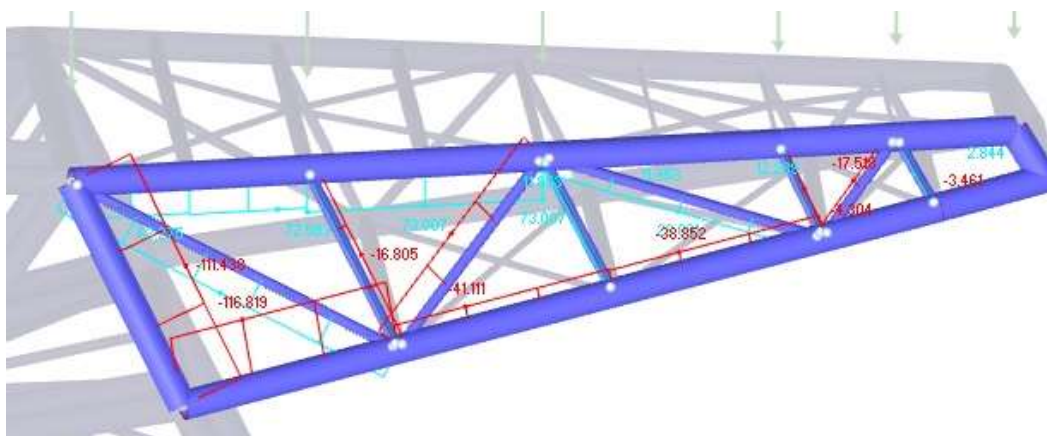
Označení prutu	Metoda styčnicková	Metoda průsečná	Pomocí RREMu-2D	Odchylka prús. metody a RFEMu
N1	2,84	2,87	2,87	0
N2	3,31	3,34	3,34	0
N3	0,21	0,32	0,32	0
N4	0,46	0,54	0,54	0
N5	- 0,16	- 0,07	- 0,07	0
N6	- 2,58	- 2,58	- 2,59	0,01
N7	3,62	3,62	3,61	0,01
N8	- 1,17	- 1,18	- 1,17	0,01
N9	- 1,98	- 1,97	- 1,97	0
N10	0	0,02	0	0,02
N11	1,87	1,82	1,80	0,02
N12	- 0,60	- 0,60	- 0,58	0,02
N13	- 0,52	- 0,51	- 0,52	0,01
N14	0	0	0	0
N15	0,31	0,29	0,28	0,01
N16	- 0,14	- 0,14	- 0,15	0,01
N17	- 6,11	- 6,14	- 6,13	0,01
N18	- 2,03	- 2,06	- 2,06	0
N19	- 2,03	- 2,07	- 2,06	0,01
N20	- 0,14	- 0,2	- 0,2	0
N21	- 0,23	- 0,2	- 0,2	0

9.1. POROVNÁNÍ VÝPOČTOVÝCH MODELŮ PŘÍHRADOVINY

Pro porovnání vnitřních sil v příhradové konstrukci byl vybrán zatěžovací stav číslo 2, což je užité zatížení. V tomto stavu se srovnávají vnitřní normálové síly na zjednodušené konstrukci, která je dvojrozměrná, a je zde přidán prut z důvodu uskutečnění výpočtu. Druhou konstrukcí k porovnání je příhradovina z výpočtového modelu. Následuje porovnání jednotlivých prutů. Horní pás vykazuje dostatečnou podobnost výsledků. Dolní pás příhradoviny lze také považovat za srovnatelný. Porovnávat se bohužel nedají pruty na volném konci, kde došlo k přidání prutu. Nejvíce odlišné se jeví vnitřní síly na diagonálách. Lze se domnívat, že k těmto odlišnostem dochází z důvodu zanedbání sklonu u dvojrozměrné konstrukce. Také zde dochází k největšímu projevu účinku svislých sil, které se částečně v trojrozměrném modelu přenáší do prutu spojujících konstrukci v prostoru. Výsledné porovnání se tedy jeví v hlavních prutech jako srovnatelné a v diagonálách porovnatelné z hlediska tahů a tlaků.



Obrázek 27: Zjednodušený dvojrozměrný model příhradoviny – vnitřní síly



Obrázek 28: Příhradová konstrukce v celkovém modelu – vnitřní síly

9.2. POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ Z MODELŮ M1, M2 A M3

K porovnání byly vytvořeny tři modely v programu RFEM. Jedním z nich je konstrukce obou sedmiček (ozn. M1) připojených vzájemně osmi ocelovými profily, které mohou simulovat pevné spojení. Spojení je realizováno ve čtyřech místech konstrukce. Tímto spojením se horní zatížení z velké sedmičky přenáší na sedmičku menší. Zatížení vychází z předchozích výpočtů a je zadáno na každou dílčí sedmičku. Druhou konstrukci k porovnání tvoří konstrukce malé sedmičky (ozn. M2), na kterou je zadáno zatížení ze samostatné velké sedmičky. Toto zatížení je zadáno bodovými silami v místě přenosu zatížení. Posledním modelem pro porovnání je model samostatné velké sedmičky (ozn. M3). Pro modely byly vybrány kombinace vhodné k porovnání účinků v konstrukci.

Porovnání výsledných podporových sil

4.1 Uzly - podporové síly

KZ150 - 1.35*ZS1 + 1.05*ZS2 + 1.35

Uzel č.	Podporové síly [kN]			Podporové momenty [kNm]		
	P _x	P _y	P _z	M _x	M _y	M _z
47	3.247	11.038	-19.933	0.000	0.000	-1.002
48	12.134	44.667	-87.149	0.000	0.000	-1.200
49	11.578	53.893	-84.277	0.000	0.000	-1.721
50	4.080	17.375	-22.896	0.000	0.000	-1.506
51	-2.850	17.706	-35.158	0.000	0.000	2.697
52	1.075	-0.815	14.551	0.000	0.000	1.907
53	-12.818	69.495	-127.906	0.000	0.000	2.952
54	-10.703	46.465	-85.785	0.000	0.000	2.128
222	-1.271	16.616	-55.827	0.000	0.000	0.684
223	11.844	-53.138	-153.947	0.000	0.000	-2.387
224	38.949	-87.108	-143.525	0.000	0.000	-4.682
225	-39.639	-137.013	-232.799	0.000	0.000	0.570
Σ síly	15.626	-0.818	-1034.650			
Σ zatíž.	15.626	-0.818	-1034.650			

a) model sedmiček dohromady

4.1 Uzly - podporové síly

KZ74 - 1.35*ZS1 + 1.05*ZS2 + 1.35*

Uzel č.	Podporové síly [kN]			Podporové momenty [kNm]		
	P _x	P _y	P _z	M _x	M _y	M _z
31	-42.774	12.554	-201.057	0.000	0.000	9.237
201	-17.471	-48.409	-268.502	0.000	0.000	-0.612
202	-16.162	131.804	-186.714	0.000	0.000	10.822
204	6.997	-26.485	-247.332	0.000	0.000	0.016
222	-9.055	-28.363	-23.117	0.000	0.000	5.011
223	1.626	-17.818	-107.071	0.000	0.000	3.677
224	0.674	-10.979	-43.706	0.000	0.000	3.192
225	-13.803	-12.304	10.588	0.000	0.000	5.316
Σ síly	-89.968	0.000	-1066.910			
Σ zatíž.	-89.968	0.000	-1066.910			

b) malá sedmička s přeneseným zatížením od velké sedmičky

Obrázek 29: Podporové síly porovnatelné kombinace (mezního stavu únosnosti) pro a) model sedmiček dohromady b) malou sedmičku s přeneseným zatížením od velké sedmičky

4.1 Uzly - podporové síly

KZ67 - ZS1 + ZS2 + ZS13 + ZS22 + ;

Uzel č.	Podporové síly [kN]			Podporové momenty [kNm]		
	P _x	P _y	P _z	M _x	M _y	M _z
47	2.583	8.992	-16.797	0.000	0.000	-0.892
48	10.154	37.725	-74.674	0.000	0.000	-1.068
49	9.548	45.213	-68.965	0.000	0.000	-1.521
50	3.184	14.066	-16.230	0.000	0.000	-1.333
51	-2.554	14.834	-26.394	0.000	0.000	2.114
52	0.212	1.274	6.134	0.000	0.000	1.483
53	-10.340	55.338	-98.201	0.000	0.000	2.328
54	-9.034	38.168	-71.698	0.000	0.000	1.674
222	-1.390	13.483	-42.977	0.000	0.000	0.728
223	9.990	-43.267	-127.673	0.000	0.000	-1.806
224	31.586	-71.937	-120.887	0.000	0.000	-3.482
225	-33.520	-114.435	-192.596	0.000	0.000	0.785
Σ síly	10.418	-0.545	-850.960			
Σ zatíž.	10.418	-0.545	-850.960			

a) model sedmiček dohromady

4.1 Uzly - podporové síly

KZ32 - ZS1 + ZS2 + ZS13 + ZS22 + ;

Uzel č.	Podporové síly [kN]			Podporové momenty [kNm]		
	P _x	P _y	P _z	M _x	M _y	M _z
31	-30.494	20.147	-166.639	0.000	0.000	6.132
201	-14.174	-40.626	-222.140	0.000	0.000	-0.439
202	-8.442	101.432	-153.231	0.000	0.000	7.230
204	6.726	-24.200	-205.216	0.000	0.000	0.011
222	-6.683	-22.021	-22.748	0.000	0.000	3.403
223	1.879	-15.505	-79.571	0.000	0.000	2.397
224	1.298	-8.951	-31.818	0.000	0.000	2.034
225	-10.090	-10.276	3.752	0.000	0.000	3.635
Σ síly	-59.979	0.000	-877.611			
Σ zatíž.	-59.979	0.000	-877.611			

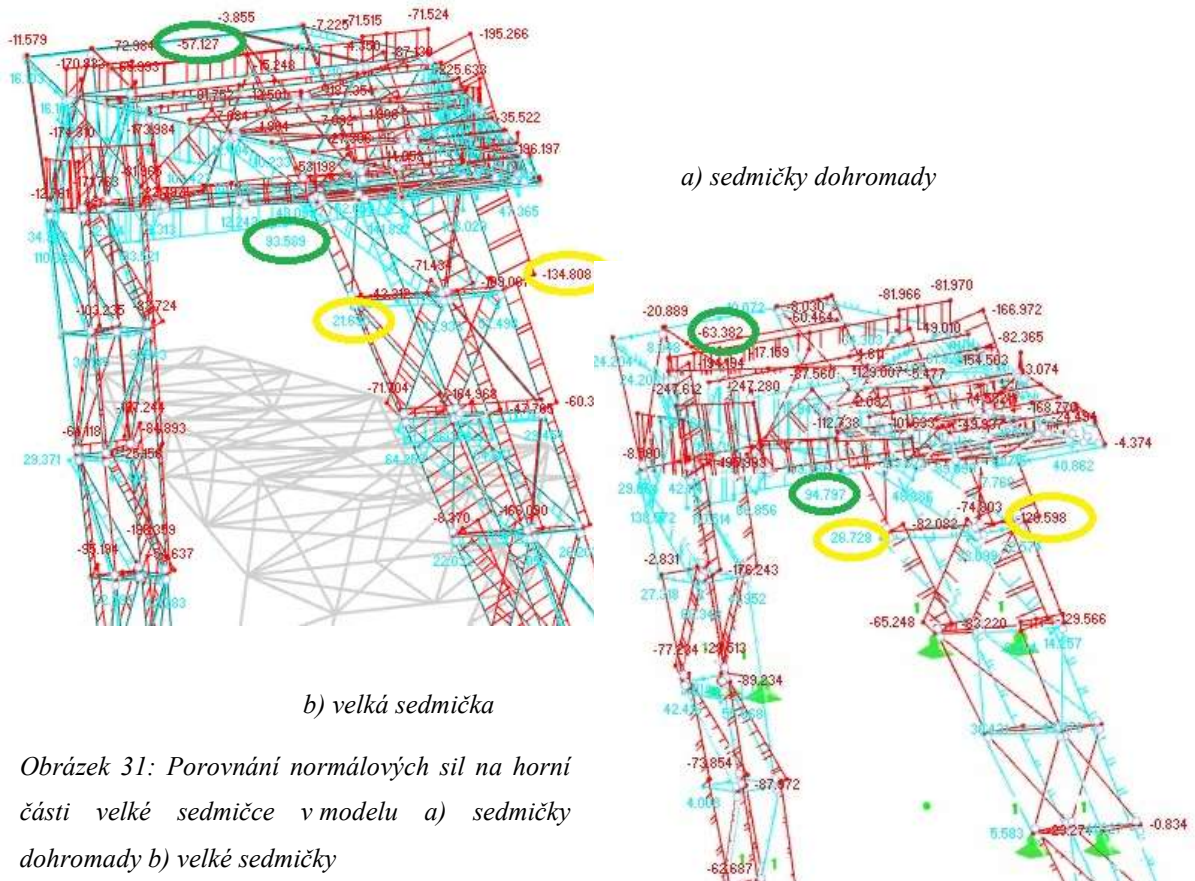
b) malá sedmička s přeneseným zatížením od velké sedmičky

Obrázek 30: Podporové síly porovnatelné kombinace (charakteristické) pro a) model sedmiček dohromady b) malou sedmičku s přeneseným zatížením od velké sedmičky

Toto porovnání lze provést mezi modelem sedmiček dohromady (M1) a modelem malé sedmičky s přeneseným zatížením (M2). Vyskytují se zde téměř adekvátní zatížení. Porovnání je provedeno, jak v mezním stavu použitelnosti jako charakteristické kombinaci, tak i v mezním stavu únosnosti jako trvalé kombinaci. Nejlépe lze porovnat svislou sílu, označenou jako P_z, v této reakci se srovná konstrukce M1 a M2. V charakteristické se vyskytuje rozdíl 26,651 kN a v trvalé je rozdíl 32,26 kN, což jsou přípustné rozdíly vzhledem k tomu, že je výsledek ve stovkách a tisících. Srovnávat lze taky podporovou sílu P_y, která vykazuje rozdíl 0,545 kN v charakteristické a 0,818 v trvalé kombinaci. Vodorovné síly jsou odlišné především z důvodu větší stability při spolupůsobení sedmiček navzájem, tedy toto působení nelze dostatečně porovnat. K velkému rozdílu ve směru X také přispívá zjednodušené zadávání větru z velké sedmičky na malou v modelu M2.

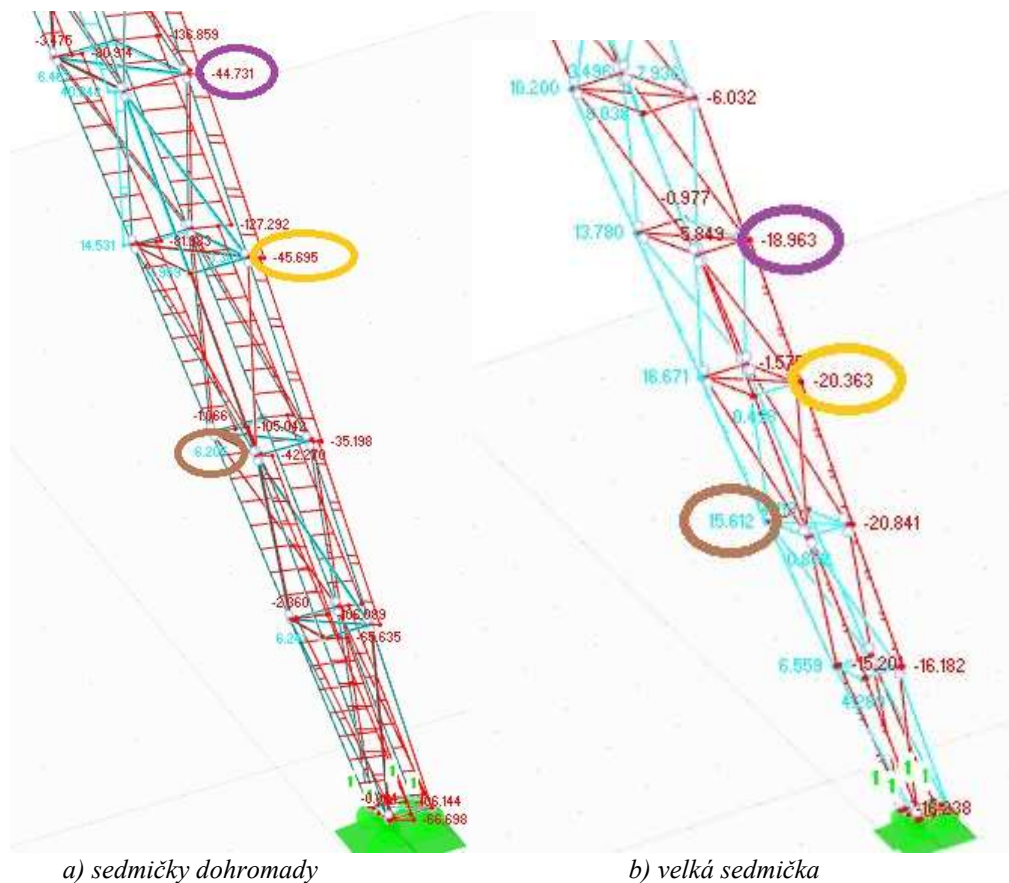
Porovnání výsledných normálových sil

Toto srovnání může proběhnout mezi konstrukcí samostatné velké sedmičky (M3) a vybrané části sedmiček dohromady (M1) a taktéž u malé sedmičky (ozn. M4) a vybrané části sedmiček dohromady (M1). Normálové síly se v některých místech značně liší a v některých místech lze naopak nalézt dobrou shodu. Ukázka a zdůvodnění tohoto jevu bude probírána na příkladech v následujících obrázcích. K tomuto porovnání byly modely zatíženy kombinací mezního stavu únosnosti.



Obrázek 31: Porovnání normálových sil na horní části velké sedmičky v modelu a) sedmičky dohromady b) velké sedmičky

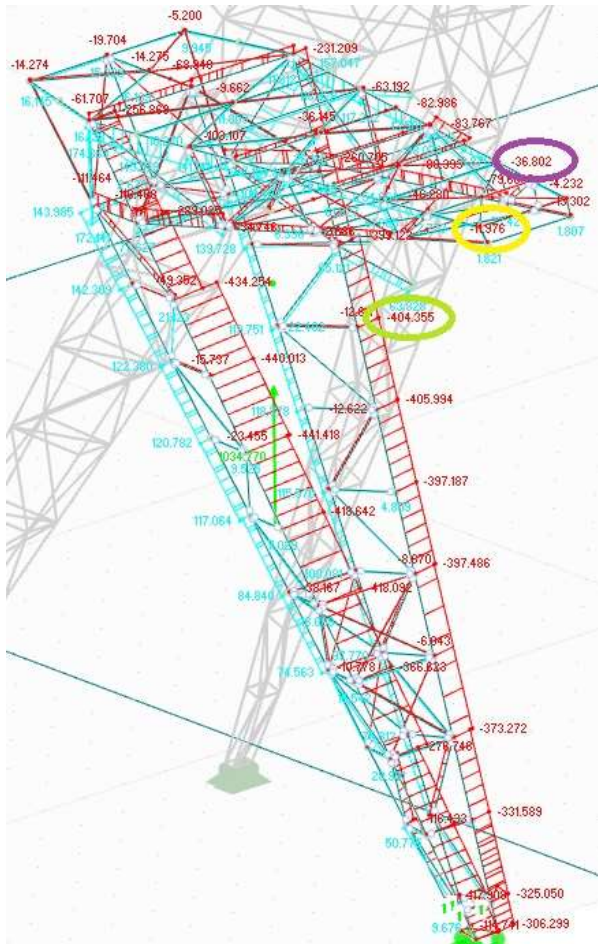
Horní část velké sedmičky lze ve většině případů dobře porovnat a odlišnosti jsou v přípustné mezí. Horní částí je zde myšlena jako část od vzájemného propojení sedmiček směrem nahoru. Na nohách sedmičky jsou normálové síly k porovnání vyznačeny žlutě. Rozdíly činní v jednom případě 5,098 a ve druhém 6,210 což jsou zanedbatelné hodnoty. Pro další srovnání sloužily normálové síly na plošině označeny zeleně. V jednom případě se vyskytuje rozdíl pouze 1,208 a ve druhém o něco větší 6,255 avšak stále považován za srovnatelný. Výsledkem posouzení je, že tuto horní část se dá považovat v rámci velikosti výsledných hodnot za porovnatelnou.



Obrázek 32: Porovnání normálových sil na dolní části velké sedmičky v modelu a) sedmičky dohromady b) velké sedmičky

Na rozdíl od předchozího vyobrazení srovnávání modelů je toto porovnání ukázkou toho, že normálové síly v modelech se v dolní části ve většině prutů liší. Fialově označené srovnání vykazuje rozdíl 25,768, žluté 25,432 a hnědé 9,407. Síly se tedy liší až dvojnásobně tedy jsou považovány za nesrovnatelné.

Tato odlišnost se zde vyskytuje z důvodu jiného přenesení sil při vzájemném spojení sedmiček prutem a při nahrazení spoje sedmiček podporou. K přiblížení se podobných výsledků by jistě bylo více možností. Jedním z řešení by mohlo být využití pružných podpor, což ovšem není součástí této bakalářské práce.



a) sedmičky dohromady



b) malá sedmička

Obrázek 33: Porovnání normálových sil na malé sedmičce v modelu a) sedmičky dohromady b) malé sedmičky

V porovnání malé sedmičky lze porovnat taktéž pouze část před spojením sedmiček dohromady. V těchto místech se nachází zanedbatelné rozdíly. Pro porovnání slouží fialové zvýraznění, kde je rozdíl 0,964 a také žluté s rozdílem 0,268. Část pod připojením sedmiček nelze srovnávat, protože jsou zde velké rozdíly. Například na zeleném zvýraznění je rozdíl 305,727, což je trojnásobek hodnoty. K těmto odlišnost dochází ze stejného důvodu jako u velké sedmičky, tedy jde o jiný druh podepření malé sedmičky velkou sedmičkou.

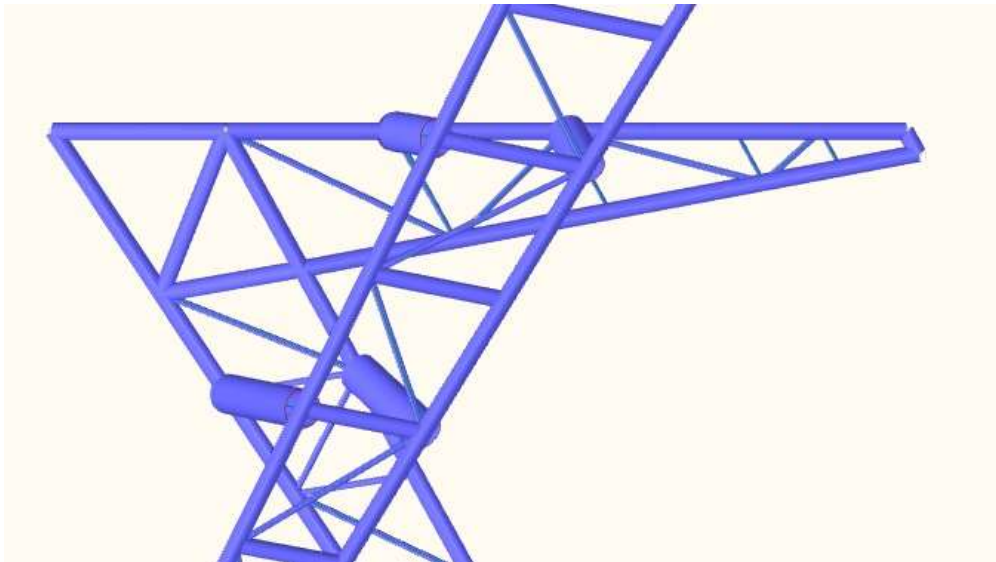
9.3.POROVNÁNÍ CELKOVÉHO PŮSOBNÍ VĚTRU VYPOČTENÉHO RUČNĚ A GENEROVANÉHO POMOCNÝM PROGRAMEM RWIND SIMULATION

Jedním z nejdůležitějších porovnání této práce je analýza působení větru na konstrukci. Tato kapitola se věnuje porovnání celkového působení větru na celou konstrukci, ovšem bez zavedení vlivu větru na schodiště. Ten je pro všechny druhy výpočtů stejný a pouze by zvyšoval všechny účinky o stejnou hodnotu. K vzájemnému srovnání slouží tři druhy výpočtu. Jako první součet ručního výpočtu malé a velké sedmičky (viz kapitola 7.3.), který vychází z platné normy [9]. Druhý je generován z programu RWIND, a to zvlášť na konstrukci malé sedmičky a velké sedmičky. Posledním je celkové působení na spojenou konstrukci, která navzájem spolupůsobí (obě sedmičky tvoří jeden výpočtový model).

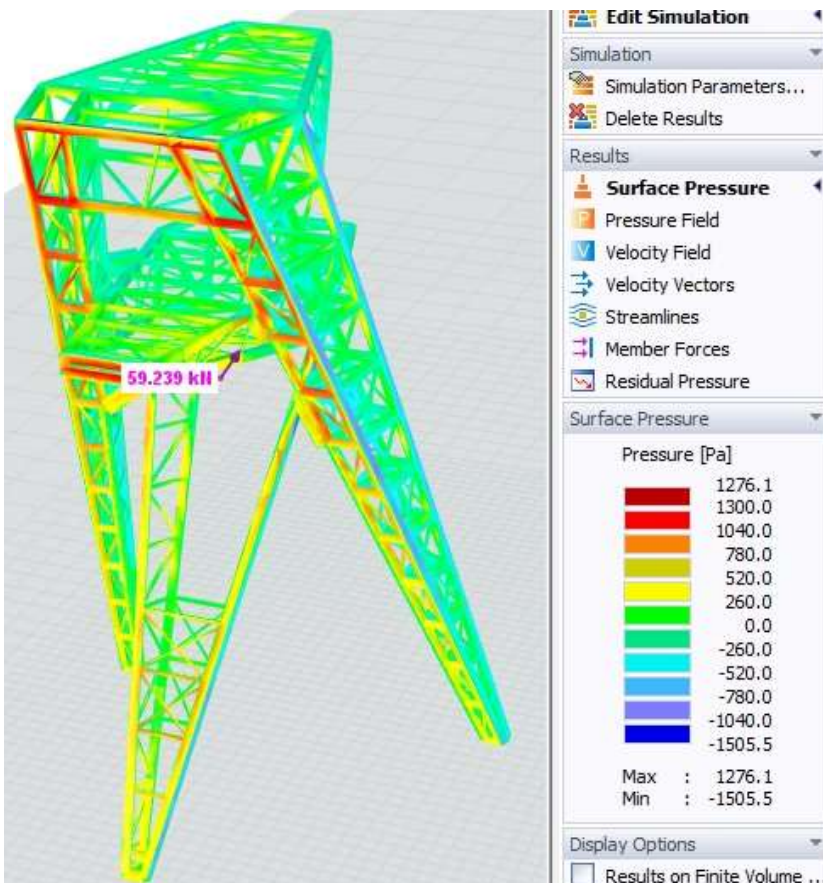
Tabulka 12: Součet výpočtů větru malé a velké sedmičky ve čtyřech směrech

	Ruční výpočet:	RWIND Simulation zvlášť sedmičky	RWIND Simulation na konstrukci dohromady
Vítr zprava a zleva	$\Sigma = 70,778 \text{ Kn}$	$0^\circ = 61,738 \text{ kN}$	$0^\circ = 55,171 \text{ kN}$
Vítr z horní	$\Sigma = 63,179 \text{ kN}$	$90^\circ = 61,786 \text{ kN}$	$90^\circ = 62,343 \text{ kN}$
Vítr z dolní	$\Sigma = 62,988 \text{ kN}$	$270^\circ = 59,945 \text{ kN}$	$270^\circ = 59,239 \text{ kN}$

Odchytky mezi ručním výpočtem a výpočtem sedmiček zvlášť jsou způsobeny větší přesností výpočtu programu se zavedením veškerých úhlů a koeficientů. Největší rozdíl mezi druhým a třetím výpočtem v tabulce nalezneme u směru zprava a zleva, tedy v RFEMu označeno jako 0° . Tento rozdíl je možné vysvětlit tím, že se část sedmiček vzájemně překrývá, tedy vítr působí ve výsledku na menší plochu. K překrytí dochází ve dvou místech u velké sedmičky, obě místa se nachází v noze sedmičky. U malé sedmičky je první překrytí v noze, druhé v boku horní plošiny.

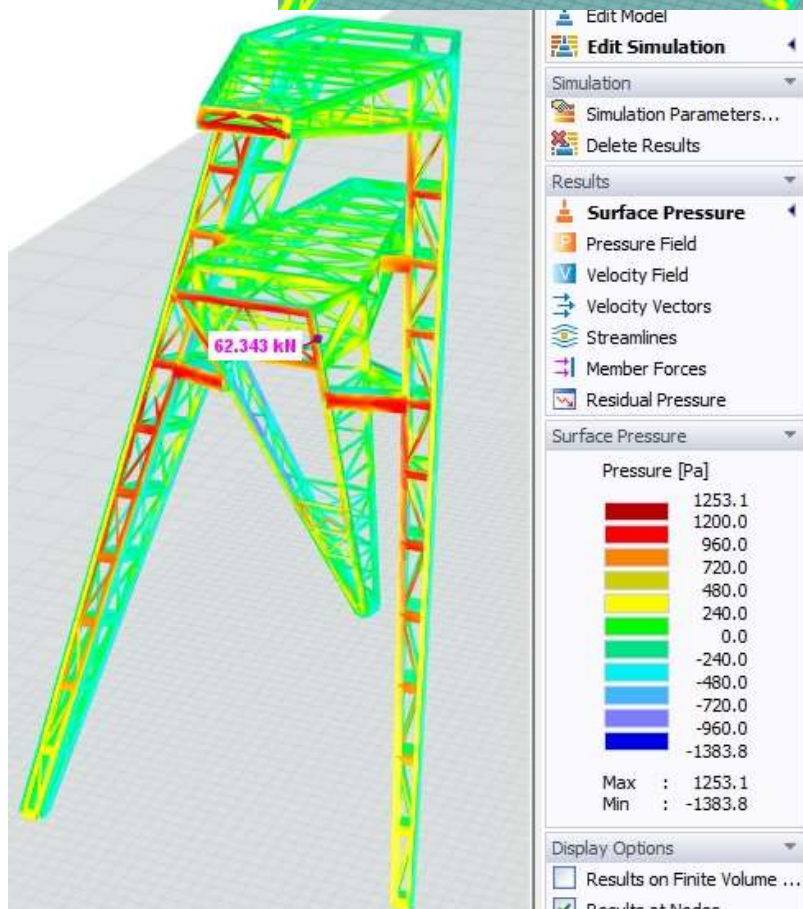
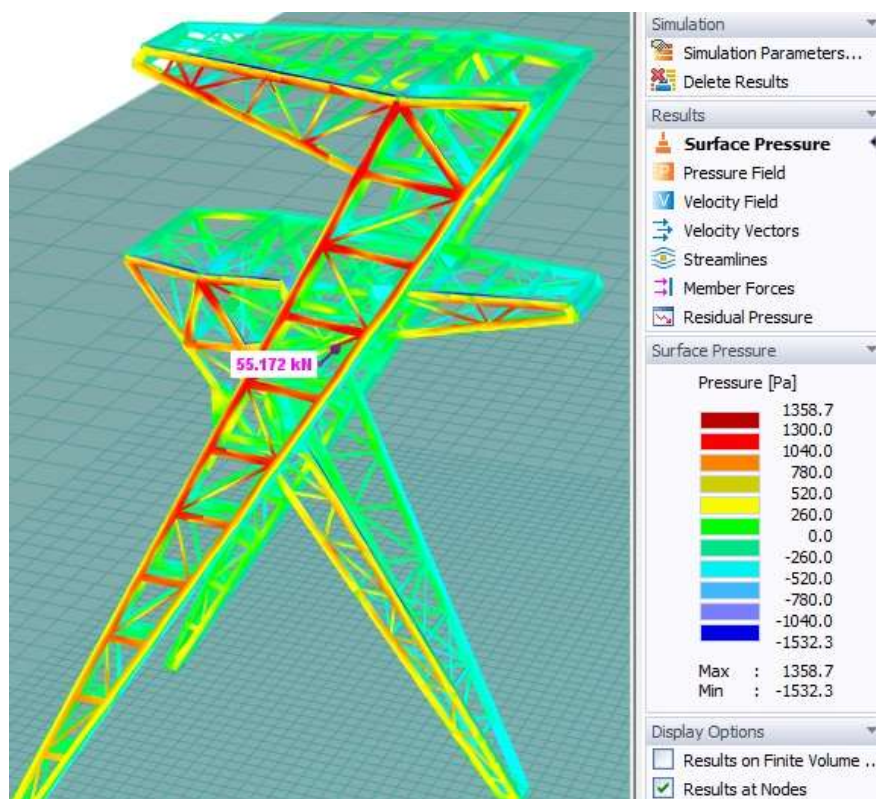


Obrázek 34: Model sedmiček dohromady zobrazující vzájemné překrytí



Obrázek 35: Model sedmiček dohromady v programu RWIND se směrem větru 270° se zobrazením tlaků na konstrukci

Obrázek 36: Model sedmiček dohromady v programu RWIND se směrem větru 0° se zobrazením tlaků na konstrukci



Obrázek 37: Model sedmiček dohromady v programu RWIND se směrem větru 90° se zobrazením tlaků na konstrukci

10. POSOUZENÍ MEZNÍHO STAVU ÚNOSNOSTI

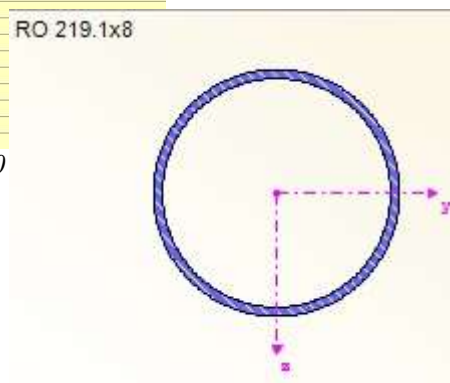
V této práci byly vybrány pouze některé z průřezů pro posouzení mezního stavu únosnosti, a to především z důvodu zjednodušení práce. Jelikož se jedná o příhradovou konstrukci, hlavní nosné prvky jsou namáhány převážně tahem a tlakem. Pro počítané průřezy je zvolena kombinace označená jako KZ150 na modelu konstrukce dohromady (M1). Zbytek průřezu je posouzeno v programu Rfem a v práci se podrobněji neřeší. Veškeré výpočty byly provedeny dle platných norem ČSN EN 1993-1-8, Eurokód 1 [10].

10.1. VE VELKÉ SEDMIČCE

Prut číslo 720, průřez 219. 1x 8 - v 0,000m

Uzel č.	Místo x [m]	N	Síly [kN]		M _r	Momenty [kNm]		M _z	
			V _y	V _z		M _y	M _x		
18	0,000	-196,197	-3,575	1,046	-0,963	0,364	-4,250	15 - RO 219.1x8 ; Ferona - EN 10219	
	0,232	-196,080	-3,603	0,983	-0,962	0,599	-3,417		
	0,232	-196,080	-3,468	0,991	-0,962	0,599	-3,417		
	0,696	-195,847	-3,507	0,861	-0,961	1,029	-1,797		
	0,696	-195,847	-3,382	0,827	-0,961	1,029	-1,797		
	1,160	-195,614	-3,397	0,691	-0,959	1,382	-0,222		
	1,160	-195,614	-3,218	0,524	-0,959	1,382	-0,222		
	1,623	-195,382	-3,211	0,384	-0,958	1,593	1,271		
	1,623	-195,382	-3,046	0,342	-0,958	1,593	1,271		
21	1,855	-195,266	-3,035	0,271	-0,957	1,664	1,977		
Max N	1,855	-195,266	-3,035	0,271	-0,957	1,664	1,977		
Min N	0,000	-196,197	-3,575	1,046	-0,963	0,364	-4,250		
Max V _y	1,855	-195,266	-3,035	0,271	-0,957	1,664	1,977		
Min V _y	0,232	-196,080	-3,603	0,983	-0,962	0,599	-3,417		
Max V _z	0,000	-196,197	-3,575	1,046	-0,963	0,364	-4,250		
Min V _z	1,855	-195,266	-3,035	0,271	-0,957	1,664	1,977		
Max M _r	1,855	-195,266	-3,035	0,271	-0,957	1,664	1,977		
Min M _r	0,000	-196,197	-3,575	1,046	-0,963	0,364	-4,250		
Max M _y	1,855	-195,266	-3,035	0,271	-0,957	1,664	1,977		
Min M _y	0,000	-196,197	-3,575	1,046	-0,963	0,364	-4,250		
Max M _z	1,855	-195,266	-3,035	0,271	-0,957	1,664	1,977		
Min M _z	0,000	-196,197	-3,575	1,046	-0,963	0,364	-4,250		

Obrázek 38: Průřez a vnitřní síly pro posouzení prutu číslo 720



Materiálové a průřezové charakteristiky

Ocel: S235

$$f_y = 235 \text{ MPa} \quad E = 210 \text{ GPa}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa} \quad G = 81 \text{ GPa}$$

$$A = \pi * t * (d - t) = \pi * 8 * (219,1 - 8) = 5305,5 \text{ mm}^2 = 0,53 * 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = \frac{\pi}{64} * (d^4 - (d - 2t)^4) = \frac{\pi}{64} * (219,1^4 - (219,1 - 2 * 8)^4) \\ = 29596328 \text{ mm}^4 = 0,29596328 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = \frac{1}{6} * (d^3 - (d - 2t)^3) = \frac{1}{6} * (219,1^3 - (219,1 - 2 * 8)^3) = 356676 \text{ mm}^3 \\ = 0,356676 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

Klasifikace průřezu

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

$$\frac{c}{t} = \frac{219,1}{8} = 27,388 \leq 50 * \varepsilon^2 = 50 * 1^2 = 50 \gg \text{průřez třídy 1}$$

Vnitřní síly

Kombinace

$$N_{ed} = -196,197 \text{ kN} \quad V_{z, Ed} = 1,046 \text{ kN} \quad M_{y, Ed} = 0,364 \text{ kNm}$$

$$V_{y, Ed} = -3,575 \text{ kN} \quad M_{z, Ed} = -4,250 \text{ kNm} \quad T_{ed} = -0,963 \text{ kN}$$

Posudek na tlak

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

$$N_{C, Rd} = \frac{A_x * f_y}{\gamma M_0} = \frac{5,3055 * 10^{-3} * 235 * 10^3}{1} = 1246,793 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{C, Rd}} = \frac{-196,197}{1246,793} = 0,157 \text{ kN} \leq 1,00 \gg \text{VYHOVUJE}$$

Posudek ohybového momentu

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

$$M_{C, Rd} = M_{pl, Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\lambda M_0} = \frac{0,356676 * 10 * 235 * 10^3}{1,0} = 83,819 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{yEd}}{M_{C, Rd}} = \frac{0,364}{83,819} = 0,004 \leq 1,00 \gg \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{zEd}}{M_{C, Rd}} = \frac{-4,250}{83,819} = -0,051 \leq 1,00 \gg \text{VYHOVUJE}$$

Posudek rovinného vzpěru

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

Vzpěrná délka:

$$L_{cr, y} = L_{cr, z} = 1.855 \text{ m}$$

Kritická síla:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 0,29596328 * 10^{-4}}{1,855^2} = 17826,6215 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{5,305 * 10^{-3} * 235 * 10^3}{17826,6215}} = 0,264$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{0,5505 + \sqrt{0,5505^2 - 0,264^2}} = 0,9675 \leq 1,0$$

$$\Phi_z = 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2]$$

$$= 0,5 * [1 + 0,49 * (0,264 - 0,2) + 0,264^2] = 0,5505$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z * A_x * f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{0,9675 * 5,305 * 10^{-3} * 235 * 10^3}{1,0} = 1206,158 \text{ kN}$$

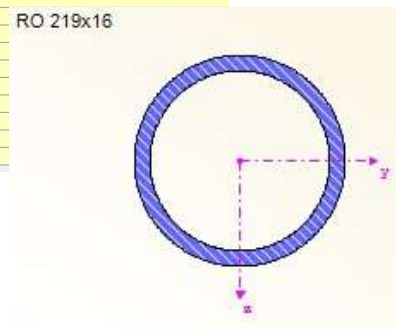
$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{-196,197}{1206,158} = -0,1627 \leq 1,00$$

Prut číslo 225, průřez 219x16 - v 0,000m

Uzel č.	Místo x [m]	N	Síly [kN] V _y	V _z	M _T	Momenty [kNm] M _y	M _z	Pn
126	0.000	-2.147	0.006	0.130	-0.038	0.000	0.000	20 - RO 82.5x5 : Ferona - ČSN 42 5715.01
	0.239	-2.124	0.006	0.109	-0.038	0.028	-0.001	
	0.239	-2.124	0.012	0.103	-0.038	0.028	-0.001	
	0.716	-2.079	0.012	0.062	-0.038	0.068	-0.007	
	0.716	-2.079	0.007	0.069	-0.038	0.068	-0.007	
	1.193	-2.034	0.007	0.027	-0.038	0.091	-0.010	
	1.193	-2.034	0.004	0.026	-0.038	0.091	-0.010	
	1.670	-1.988	0.004	-0.016	-0.038	0.093	-0.012	
	1.670	-1.988	-0.003	-0.019	-0.038	0.093	-0.012	
	2.147	-1.943	-0.003	-0.061	-0.038	0.074	-0.010	
	2.147	-1.943	-0.012	-0.071	-0.038	0.074	-0.010	
	2.624	-1.897	-0.012	-0.113	-0.038	0.030	-0.005	
	2.624	-1.897	-0.020	-0.115	-0.038	0.030	-0.005	
43	2.863	-1.874	-0.020	-0.136	-0.038	0.000	0.000	
Max N	2.863	-1.874	-0.020	-0.136	-0.038	0.000	0.000	
Min N	0.000	-2.147	0.006	0.130	-0.038	0.000	0.000	
Max V _y	0.239	-2.124	0.012	0.103	-0.038	0.028	-0.001	
Min V _y	2.863	-1.874	-0.020	-0.136	-0.038	0.000	0.000	
Max V _z	0.000	-2.147	0.006	0.130	-0.038	0.000	0.000	
Min V _z	2.863	-1.874	-0.020	-0.136	-0.038	0.000	0.000	
Max M _T	0.000	-2.147	0.006	0.130	-0.038	0.000	0.000	
Min M _T	2.863	-1.874	-0.020	-0.136	-0.038	0.000	0.000	
Max M _y	1.431	-2.011	0.004	0.005	-0.038	0.094	-0.011	
Min M _y	2.863	-1.874	-0.020	-0.136	-0.038	0.000	0.000	
Max M _z	0.000	-2.147	0.006	0.130	-0.038	0.000	0.000	

Obrázek 39: Průřez a vnitřní síly pro posouzení prutu číslo 225

Materiálové a průřezové charakteristiky



Ocel: S235

$$f_y = 235 \text{ MPa} \quad E = 210 \text{ GPa}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa} \quad G = 81 \text{ GPa}$$

$$A = \pi * t * (d - t) = \pi * 16 * (219 - 16) = 10203,893 \text{ mm}^2 = 0,0102 \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = \frac{\pi}{64} * (d^4 - (d - 2t)^4) = \frac{\pi}{64} * (219^4 - (219 - 2 * 16)^4) \\ = 52888052,59 \text{ mm}^4 = 0,52888052 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = \frac{1}{6} * (d^3 - (d - 2t)^3) = \frac{1}{6} * (219^3 - (219 - 2 * 16)^3) = 660709,33 \text{ mm}^3 \\ = 0,660709 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

Klasifikace průřezu

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

$$\frac{c}{t} = \frac{219}{16} = 13,6875 \leq 50 * \varepsilon^2 = 50 * 1^2 = 50 \gg \quad \text{průřez třídy 1}$$

Vnitřní síly

Kombinace

$$N_{ed} = -186,853 \text{ kN} \quad V_z, E_d = 1,486 \text{ kN} \quad M_y, E_d = -3,170 \text{ kNm}$$

$$V_y, E_d = -0,831 \text{ kN} \quad M_z, E_d = -0,811 \text{ kNm} \quad T_{ed} = 0,610 \text{ kN}$$

Posudek na tlak

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

$$N_{C,Rd} = \frac{A_x * f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{0,0102 * 235 * 10^3}{1} = 2397 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{C,Rd}} = \frac{-186,853}{2397} = 0,0779 \text{ kN} \leq 1,00 \gg \text{VYHOVUJE}$$

Posudek ohybového momentu

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

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\lambda M_o} = \frac{0,660709 * 10^{-3} * 235 * 10^3}{1,0} = 155,266 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_y E_d}{M_{c,Rd}} = \frac{-3,170}{155,266} = 0,020 \leq 1,00 \text{ » VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_z E_d}{M_{c,Rd}} = \frac{-0,811}{155,266} = -0,0052 \leq 1,00 \text{ » VYHOVUJE}$$

Posudek rovinného vzpěru

$$\frac{N E_d}{N_{b,Rd}} \leq 1,00$$

Vzpěrná délka:

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2,385 \text{ m}$$

Kritická síla:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 0,52888052 * 10^{-4}}{2,385^2} = 19270,804 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{0,0102 * 235 * 10^3}{19270,804}} = 0,35268$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{0,5996 + \sqrt{0,5996^2 - 0,35268^2}} = 0,9221 \leq 1,0$$

$$\Phi_z = 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2]$$

$$= 0,5 * [1 + 0,49 * (0,35268 - 0,2) + 0,35268^2] = 0,5996$$

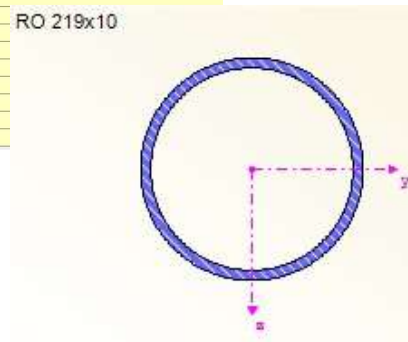
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z * A_x * f_y}{\gamma M_o} = \frac{0,9221 * 0,0102 * 235 * 10^3}{1,0} = 2210,2737 \text{ kN}$$

$$\frac{N E_d}{N_{b,Rd}} = \frac{-186,853}{2210,2737} = -0,08454 \leq 1,00$$

Prut číslo 234, průřez 219x 10 - v 0,000m

Uzel č.	Místo x [m]	N	Sily [kN] V _y	V _z	M _T	Momenty [kNm] M _y	M _z	Pi
122	0.000	-225,299	1,224	-16,546	1,107	7,939	0,376	16 - RO 219x10 ; Feron - ČSN 42 5715.01
	0.000	-225,299	1,224	-16,546	1,107	7,939	0,376	
	0.217	-225,333	1,225	-16,781	1,109	4,320	0,111	
	0.217	-225,333	1,370	-16,953	1,109	4,320	0,111	
	0.651	-225,407	1,366	-17,356	1,113	-3,133	-0,483	
	0.651	-225,408	1,536	-17,492	1,113	-3,134	-0,483	
	1.085	-225,490	1,524	-17,802	1,117	-10,801	-1,148	
	1.085	-225,491	1,655	-17,853	1,117	-10,801	-1,148	
	1.519	-225,583	1,634	-18,069	1,121	-18,605	-1,863	
	1.519	-225,583	1,754	-18,005	1,121	-18,605	-1,863	
	1.736	-225,633	1,740	-18,077	1,123	-22,523	-2,243	
18	1.736	-225,633	1,740	-18,077	1,123	-22,523	-2,243	
Max N	0.000	-225,299	1,224	-16,546	1,107	7,939	0,376	
Min N	1.736	-225,633	1,740	-18,077	1,123	-22,523	-2,243	
Max V _y	1.519	-225,583	1,754	-18,005	1,121	-18,605	-1,863	
Min V _y	0.000	-225,299	1,224	-16,546	1,107	7,939	0,376	
Max V _z	0.000	-225,299	1,224	-16,546	1,107	7,939	0,376	
Min V _z	1.736	-225,633	1,740	-18,077	1,123	-22,523	-2,243	
Max M _T	1.736	-225,633	1,740	-18,077	1,123	-22,523	-2,243	
Min M _T	0.000	-225,299	1,224	-16,546	1,107	7,939	0,376	
Max M _y	0.000	-225,299	1,224	-16,546	1,107	7,939	0,376	
Min M _y	1.736	-225,633	1,740	-18,077	1,123	-22,523	-2,243	
Max M _z	0.000	-225,299	1,224	-16,546	1,107	7,939	0,376	

Obrázek 40: Průřez a vnitřní síly pro posouzení prutu číslo 234



Materiálové a průřezové charakteristiky

Ocel: S235

$$f_y = 235 \text{ MPa} \quad E = 210 \text{ GPa}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa} \quad G = 81 \text{ GPa}$$

$$A = \pi * t * (d - t) = \pi * 10 * (219 - 10) = 6565,92865 \text{ mm}^2 = 0,00657 \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = \frac{\pi}{64} * (d^4 - (d - 2t)^4) = \frac{\pi}{64} * (219^4 - (219 - 2 * 10)^4) \\ = 35932865,26 \text{ mm}^4 = 0,35932865 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = \frac{1}{6} * (d^3 - (d - 2t)^3) = \frac{1}{6} * (219^3 - (219 - 2 * 10)^3) = 437143,33 \text{ mm}^3 \\ = 0,437143 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

Klasifikace průřezu

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

$$\frac{c}{t} = \frac{219}{10} = 21,9 \leq 50 * \varepsilon^2 = 50 * 1^2 = 50 \gg \text{ průřez třídy 1}$$

Vnitřní síly

Kombinace

$$N_{ed} = -225,299 \text{ kN} \quad V_{z, Ed} = -16,546 \text{ kN} \quad M_{y, Ed} = 7,939 \text{ kNm}$$

$$V_{y, Ed} = 1,224 \text{ kN} \quad M_{z, Ed} = 0,376 \text{ kNm} \quad T_{ed} = 1,107 \text{ kN}$$

Posudek na tlak

$$\frac{NEd}{N_{C,Rd}} \leq 1,00$$

$$N_{C,Rd} = \frac{A_x * f_y}{\gamma M_0} = \frac{0,00657 * 235 * 10^3}{1} = 1543,95 \text{ kN}$$

$$\frac{NEd}{N_{C,Rd}} = \frac{-225,299}{1543,95} = 0,14592 \text{ kN} \leq 1,00 \text{ »VYHOVUJE}$$

Posudek ohybového momentu

$$\frac{MEd}{M_{C,Rd}} \leq 1,00$$

$$M_{C,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\lambda M_0} = \frac{0,437143 * 10^{-3} * 235 * 10^3}{1,0} = 102,7286 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{yEd}}{M_{C,Rd}} = \frac{7,939}{102,7286} = 0,0773 \leq 1,00 \text{ »VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{zEd}}{M_{C,Rd}} = \frac{0,376}{102,7286} = 0,0037 \leq 1,00 \text{ »VYHOVUJE}$$

Posudek rovinného vzpěru

$$\frac{NEd}{N_{b,Rd}} \leq 1,00$$

Vzpěrná délka:

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 1,736 \text{ m}$$

Kritická síla:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 0,35932865 * 10^{-4}}{1,736^2} = 24712,2019 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{0,00657 * 235 * 10^3}{24712,2019}} = 0,24995$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda z^2}} = \frac{1}{0,54348 + \sqrt{0,54348^2 - 0,24995^2}} = 0,9746 \leq 1,0$$

$$\Phi_z = 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda z - 0,2) + \lambda z^2]$$

$$= 0,5 * [1 + 0,49 * (0,24995 - 0,2) + 0,24995^2] = 0,54348$$

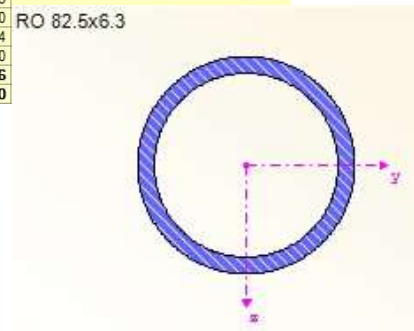
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z * A_x * f_y}{\gamma M_0} = \frac{0,9746 * 0,00657 * 235 * 10^3}{1,0} = 1504,7337 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{-225,299}{1504,7337} = -0,14973 \leq 1,00$$

Prut číslo 247, průřez 82,5 x 6,3 - v 0,000m

Uzel č.	Místo x [m]	N	Síly [kN] V _y	V _z	M _T	Momenty [kNm] M _y	M _z	Průřez
122	0.000	86.449	-0.118	0.179	0.017	0.000	0.000	17 - RO 82.5x6.3 ; Ferona - ČSN 42 5715.01
	0.233	86.467	-0.119	0.148	0.017	0.038	0.028	
	0.233	86.467	-0.091	0.141	0.017	0.038	0.028	
	0.700	86.502	-0.100	0.087	0.017	0.091	0.072	
	0.700	86.502	-0.023	0.072	0.017	0.091	0.072	
	1.167	86.538	-0.037	0.025	0.017	0.113	0.086	
	1.167	86.538	0.012	0.023	0.017	0.113	0.086	
	1.634	86.573	-0.002	-0.023	0.017	0.113	0.083	
	1.634	86.573	0.044	-0.025	0.017	0.113	0.083	
	2.101	86.609	0.031	-0.073	0.017	0.091	0.066	
	2.101	86.609	0.092	-0.089	0.017	0.091	0.066	
	2.568	86.644	0.085	-0.143	0.017	0.037	0.025	
	2.568	86.644	0.108	-0.143	0.017	0.037	0.025	
21	2.801	86.662	0.107	-0.174	0.017	0.000	0.000	
Max N	2.801	86.662	0.107	-0.174	0.017	0.000	0.000	
Min N	0.000	86.449	-0.118	0.179	0.017	0.000	0.000	
Max V _y	2.568	86.644	0.108	-0.143	0.017	0.037	0.025	
Min V _y	0.233	86.467	-0.119	0.148	0.017	0.038	0.028	
Max V _z	0.000	86.449	-0.118	0.179	0.017	0.000	0.000	
Min V _z	2.801	86.662	0.107	-0.174	0.017	0.000	0.000	
Max M _T	2.241	86.619	0.089	-0.104	0.017	0.077	0.053	
Min M _T	0.000	86.449	-0.118	0.179	0.017	0.000	0.000	
Max M _y	1.401	86.555	0.005	0.000	0.017	0.116	0.084	
Min M _y	2.801	86.662	0.107	-0.174	0.017	0.000	0.000	
Max M _z	1.167	86.538	0.012	0.023	0.017	0.113	0.086	
Min M _z	0.000	86.449	-0.118	0.179	0.017	0.000	0.000	

Obrázek 41: Průřez a vnitřní síly pro posouzení prutu číslo 247



Materiálové a průřezové charakteristiky

Ocel: S235

$$f_y = 235 \text{ MPa} \quad E = 210 \text{ GPa}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa} \quad G = 81 \text{ GPa}$$

$$A = \pi * t * (d - t) = \pi * 6,3 * (82,5 - 6,3) = 1508,15297 \text{ mm}^2 = 0,001508 \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = \frac{\pi}{64} * (d^4 - (d - 2t)^4) = \frac{\pi}{64} * (82,5^4 - (82,5 - 2 * 6,3)^4)$$

$$= 1102107,29 \text{ mm}^4 = 0,01102107 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = \frac{1}{6} * (d^3 - (d - 2t)^3) = \frac{1}{6} * (82,5^3 - (82,5 - 2 * 6,3)^3)$$

$$= 36663,921 \text{ mm}^3 = 0,36663 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

Klasifikace průřezu

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

$$\frac{c}{t} = \frac{82,5}{6,3} = 13,0952 \leq 50 * \varepsilon^2 = 50 * 1^2 = 50 \gg \text{ průřez třídy 1}$$

Vnitřní síly

Kombinace

$$N_{ed} = 86,449 \text{ kN} \quad V_{z, Ed} = 0,179 \text{ kN} \quad M_{y, Ed} = 0,000 \text{ kNm}$$

$$V_{y, Ed} = -0,118 \text{ kN} \quad M_{z, Ed} = 0,000 \text{ kNm} \quad T_{ed} = 0,017 \text{ kN}$$

Posudek na tlak

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

$$N_{C, Rd} = \frac{A_x * f_y}{\gamma M_0} = \frac{0,001508 * 235 * 10^3}{1} = 354,38 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{C, Rd}} = \frac{86,449}{354,38} = 0,24394 \text{ kN} \leq 1,00 \gg \text{VYHOVUJE}$$

Posudek ohybového momentu

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

$$M_{C, Rd} = M_{pl, Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\lambda M_0} = \frac{0,36663 * 10^{-3} * 235 * 10^3}{1,0} = 86,1581 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{yEd}}{M_{C, Rd}} = \frac{0,000}{86,1581} = 0,000 \leq 1,00 \gg \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{zEd}}{M_{C, Rd}} = \frac{0,000}{86,1581} = 0,000 \leq 1,00 \gg \text{VYHOVUJE}$$

Posudek rovinného vzpěru

$$\frac{NEd}{Nb, Rd} \leq 1,00$$

Vzpěrná délka:

$$L_{cr, y} = L_{cr, z} = 2,801 \text{ m}$$

Kritická síla:

$$N_{cr, z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_{cr, z}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 0,01102107 * 10^{-4}}{2,801^2} = 291,1499 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr, z}}} = \sqrt{\frac{0,001508 * 235 * 10^3}{291,1499}} = 1,103256$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{1,329885 + \sqrt{1,329885^2 - 1,103256^2}} = 0,482518$$

$$\leq 1,0$$

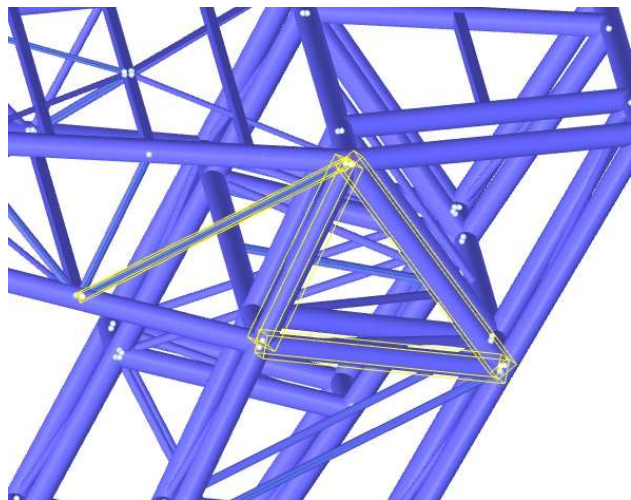
$$\Phi_z = 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2]$$

$$= 0,5 * [1 + 0,49 * (1,103256 - 0,2) + 1,103256^2] = 1,329885$$

$$Nb, Rd = \frac{\chi_z * A_x * f_y}{\gamma M_0} = \frac{0,482518 * 0,001508 * 235 * 10^3}{1,0} = 170,99473 \text{ kN}$$

$$\frac{NEd}{Nb, Rd} = \frac{86,449}{170,99473} = 0,50557 \leq 1,00$$

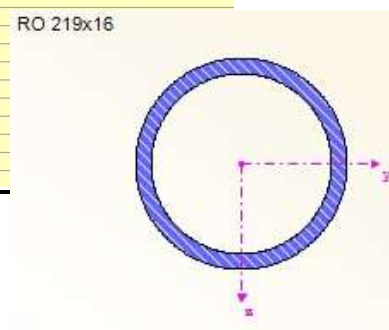
Obrázek 42: Zobrazení posuzovaných prutů ve velké sedmičce



10.2. V MALÉ SEDMIČCE

Prut číslo 97, průřez 219 x 16 - v 0,000m

Uzel č.	Místo x [m]	Síly [kN]			Momenty [kNm]			Průřez
		N	V _y	V _z	M _T	M _y	M _z	
1	0.000	-258,754	0.908	4.387	0.238	0.133	2.085	4 - RO 219x16; Feronia - ČSN 42 5715.01
	0.201	-258,565	0.917	4.277	0.238	1.005	1.902	
	0.201	-258,566	0.830	4.378	0.238	1.005	1.902	
	0.251	-258,518	0.832	4.349	0.238	1.224	1.860	
	0.251	-258,518	0.832	4.349	0.238	1.224	1.860	
	0.603	-258,188	0.847	4.145	0.238	2.720	1.564	
	0.603	-258,188	0.740	4.204	0.238	2.720	1.564	
	0.754	-258,047	0.745	4.112	0.238	3.347	1.452	
	0.754	-258,047	0.745	4.112	0.238	3.347	1.452	
	1.005	-257,811	0.753	3.955	0.238	4.362	1.263	
	1.005	-257,811	0.605	3.991	0.238	4.362	1.263	
	1.256	-257,576	0.612	3.828	0.238	5.345	1.110	
	1.256	-257,576	0.612	3.828	0.238	5.345	1.110	
	1.407	-257,434	0.616	3.727	0.238	5.914	1.018	
	1.407	-257,434	0.497	3.774	0.238	5.914	1.018	
	1.759	-257,104	0.505	3.532	0.237	7.200	0.841	
	1.759	-257,104	0.505	3.532	0.237	7.200	0.841	
	1.809	-257,057	0.506	3.497	0.237	7.377	0.816	
	1.809	-257,057	0.411	3.538	0.237	7.377	0.816	
14	2.010	-256,869	0.415	3.394	0.237	8.074	0.733	
Max N	2.010	-256,869	0.415	3.394	0.237	8.074	0.733	
Min N	0.000	-258,754	0.908	4.387	0.238	0.133	2.085	
Max V _y	0.201	-258,565	0.917	4.277	0.238	1.005	1.902	
Min V _y	1.809	-257,057	0.411	3.538	0.237	7.377	0.816	
Max V _z	0.000	-258,754	0.908	4.387	0.238	0.133	2.085	
Min V _z	2.010	-256,869	0.415	3.394	0.237	8.074	0.733	
Max M _T	0.000	-258,754	0.908	4.387	0.238	0.133	2.085	
Min M _T	2.010	-256,869	0.415	3.394	0.237	8.074	0.733	
Max M _y	2.010	-256,869	0.415	3.394	0.237	8.074	0.733	
Min M _y	0.000	-258,754	0.908	4.387	0.238	0.133	2.085	
Max M _z	0.000	-258,754	0.908	4.387	0.238	0.133	2.085	



Obrázek 43: Průřez a vnitřní síly pro posouzení prutu číslo 97

Materiálové a průřezové charakteristiky

Ocel: S235

$$f_y = 235 \text{ MPa} \quad E = 210 \text{ GPa}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa} \quad G = 81 \text{ GPa}$$

$$A = \pi * t * (d - t) = \pi * 16 * (219 - 16) = 10203,893 \text{ mm}^2 = 0,0102 \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = \frac{\pi}{64} * (d^4 - (d - 2t)^4) = \frac{\pi}{64} * (219^4 - (219 - 2 * 16)^4) \\ = 52888052,59 \text{ mm}^4 = 0,52888052 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$W_{pl, y} = \frac{1}{6} * (d^3 - (d - 2t)^3) = \frac{1}{6} * (219^3 - (219 - 2 * 16)^3) = 660709,33 \text{ mm}^3 \\ = 0,660709 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

Klasifikace průřezu

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

$$\frac{c}{t} = \frac{219}{16} = 13,6875 \leq 50 * \varepsilon^2 = 50 * 1^2 = 50 \gg \quad \text{průřez třídy 1}$$

Vnitřní síly

Kombinace

$$N_{ed} = -258,754 \text{ kN} \quad V_{z, Ed} = 4,387 \text{ kN} \quad M_{y, Ed} = 0,133 \text{ kNm}$$

$$V_{y, Ed} = 0,908 \text{ kN} \quad M_{z, Ed} = 2,085 \text{ kNm} \quad T_{ed} = 0,238 \text{ kN}$$

Posudek na tlak

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

$$N_{C, Rd} = \frac{A_x * f_y}{\gamma M_o} = \frac{0,0102 * 235 * 10^3}{1} = 2397 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{C, Rd}} = \frac{-258,754}{2397} = 0,10795 \text{ kN} \leq 1,00 \text{ »VYHOVUJE}$$

Posudek ohybového momentu

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

$$M_{C, Rd} = M_{pl, Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\lambda M_o} = \frac{0,660709 * 10^{-3} * 235 * 10^3}{1,0} = 155,2666 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{yEd}}{M_{C, Rd}} = \frac{0,133}{155,2666} = 0,0009 \leq 1,00 \text{ »VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{zEd}}{M_{C, Rd}} = \frac{2,085}{155,2666} = 0,01343 \leq 1,00 \text{ »VYHOVUJE}$$

Posudek rovinného vzpěru

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

Vzpěrná délka:

$$L_{cr, y} = L_{cr, z} = 2,010 \text{ m}$$

Kritická síla:

$$N_{cr, z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_{cr, z}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 0,52888052 * 10^{-4}}{2,010^2} = 27132,1679 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{0,0102 * 235 * 10^3}{27132,1679}} = 0,29723$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{0,56799 + \sqrt{0,56799^2 - 0,29723^2}} = 0,95057 \leq 1,0$$

$$\Phi_z = 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2]$$

$$= 0,5 * [1 + 0,49 * (0,29723 - 0,2) + 0,29723^2] = 0,56799$$

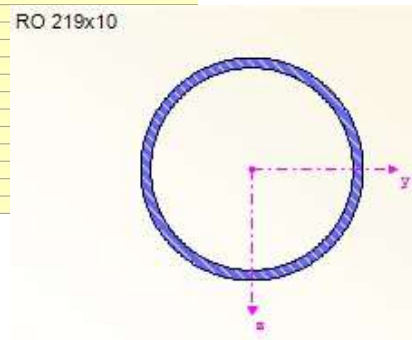
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z * A_x * f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{0,95057 * 0,0102 * 235 * 10^3}{1,0} = 2278,5163 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{-258,754}{2278,5163} = 0,11356 \leq 1,00$$

Prut číslo 92, průřez 219 x 10 - v 0,000m

1	0.000	-111.248	3.219	3.411	0.332	-2.643	3.539	2 - RO 219x10 ; Ferona - ČSN 42 5715.01
	0.237	-111.275	3.230	3.256	0.333	-1.851	2.773	
	0.237	-111.275	3.146	3.249	0.333	-1.851	2.773	
	0.712	-111.328	3.160	2.931	0.336	-0.384	1.276	
	0.712	-111.328	3.065	2.969	0.336	-0.384	1.276	
	1.186	-111.382	3.069	2.641	0.339	0.948	-0.180	
	1.186	-111.382	2.938	2.779	0.339	0.948	-0.180	
	1.661	-111.436	2.932	2.443	0.342	2.188	-1.574	
	1.661	-111.436	2.838	2.496	0.342	2.188	-1.574	
106	1.898	-111.464	2.831	2.325	0.343	2.760	-2.247	
Max N	0.000	-111.248	3.219	3.411	0.332	-2.643	3.539	
Min N	1.898	-111.464	2.831	2.325	0.343	2.760	-2.247	
Max V _y	0.237	-111.275	3.230	3.256	0.333	-1.851	2.773	
Min V _y	1.898	-111.464	2.831	2.325	0.343	2.760	-2.247	
Max V _z	0.000	-111.248	3.219	3.411	0.332	-2.643	3.539	
Min V _z	1.898	-111.464	2.831	2.325	0.343	2.760	-2.247	
Max M _T	1.898	-111.464	2.831	2.325	0.343	2.760	-2.247	
Min M _T	0.000	-111.248	3.219	3.411	0.332	-2.643	3.539	
Max M _y	1.898	-111.464	2.831	2.325	0.343	2.760	-2.247	
Min M _y	0.000	-111.248	3.219	3.411	0.332	-2.643	3.539	
Max M _z	0.000	-111.248	3.219	3.411	0.332	-2.643	3.539	
Min M _z	1.898	-111.464	2.831	2.325	0.343	2.760	-2.247	

Obrázek 44: Průřez a vnitřní síly pro posouzení prutu číslo 92



Materiálové a průřezové charakteristiky

Ocel: S235

$$f_y = 235 \text{ MPa} \quad E = 210 \text{ GPa}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa} \quad G = 81 \text{ GPa}$$

$$A = \pi * t * (d - t) = \pi * 10 * (219 - 10) = 6565,92865 \text{ mm}^2 = 0,00657 \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = \frac{\pi}{64} * (d^4 - (d - 2t)^4) = \frac{\pi}{64} * (219^4 - (219 - 2 * 10)^4) \\ = 35932865,26 \text{ mm}^4 = 0,35932865 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = \frac{1}{6} * (d^3 - (d - 2t)^3) = \frac{1}{6} * (219^3 - (219 - 2 * 10)^3) = 437143,33 \text{ mm}^3$$

$$= 0,437143 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

Klasifikace průřezu

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

$$\frac{c}{t} = \frac{219}{10} = 21,9 \leq 50 * \varepsilon^2 = 50 * 1^2 = 50 \gg \text{ průřez třídy 1}$$

Vnitřní síly

Kombinace

$$N_{ed} = -111,248 \text{ kN} \quad V_z, E_d = 3,411 \text{ kN} \quad M_y, E_d = -2,643 \text{ kNm}$$

$$V_y, E_d = 3,219 \text{ kN} \quad M_z, E_d = 3,539 \text{ kNm} \quad T_{ed} = 0,332 \text{ kN}$$

Posudek na tlak

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

$$N_{C,Rd} = \frac{A_x * f_y}{\gamma M_0} = \frac{0,00657 * 235 * 10^3}{1} = 1543,95 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{C,Rd}} = \frac{111,248}{1543,95} = 0,07205 \text{ kN} \leq 1,00 \gg \text{VYHOVUJE}$$

Posudek ohybového momentu

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

$$M_{C,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\lambda M_0} = \frac{0,437143 * 10^{-3} * 235 * 10^3}{1,0} = 102,7286 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_y E_d}{M_{C,Rd}} = \frac{-2,643}{102,7286} = 0,02573 \leq 1,00 \gg \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_z E_d}{M_{C,Rd}} = \frac{3,539}{102,7286} = 0,03445 \leq 1,00 \gg \text{VYHOVUJE}$$

Posudek rovinného vzpěru

$$\frac{NEd}{Nb, Rd} \leq 1,00$$

Vzpěrná délka:

$$L_{cr, y} = L_{cr, z} = 1,898 \text{ m}$$

Kritická síla:

$$N_{cr, z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_{cr, z}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 0,35932865 * 10^{-4}}{1,898^2} = 20673,7124 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr, z}}} = \sqrt{\frac{0,00657 * 235 * 10^3}{20673,7124}} = 0,27328$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{0,555295 + \sqrt{0,555295^2 - 0,27328^2}} = 0,9628 \leq 1,0$$

$$\Phi_z = 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2]$$

$$= 0,5 * [1 + 0,49 * (0,27328 - 0,2) + 0,27328^2] = 0,555295$$

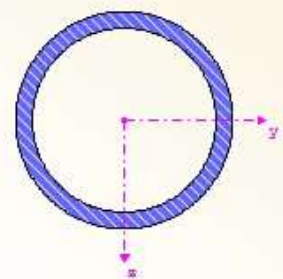
$$Nb, Rd = \frac{\chi_z * A_x * f_y}{\gamma M_o} = \frac{0,9628 * 0,00657 * 235 * 10^3}{1,0} = 1486,5151 \text{ kN}$$

$$\frac{NEd}{Nb, Rd} = \frac{-111,248}{1486,5151} = 0,07484 \leq 1,00$$

Prut číslo 19, průřez 82,5 x 6,3 - v 0,000m

Uzel č.	Místo x [m]	Síly [kN]			Momenty [kNm]			Průřez
		N	V _y	V _z	M _x	M _y	M _z	
112	0,000	66,280	0,084	0,182	0,018	0,000	0,000	3 - RO 82.5x6.3 : Ferona - ČSN 42 5715.01
	0,234	66,296	0,085	0,149	0,018	0,039	-0,020	
	0,234	66,296	0,075	0,152	0,018	0,039	-0,020	
	0,701	66,328	0,080	0,094	0,018	0,096	-0,056	
	0,701	66,328	0,053	0,104	0,018	0,096	-0,056	
	1,169	66,359	0,062	0,052	0,018	0,132	-0,082	
	1,169	66,359	0,015	0,055	0,018	0,132	-0,082	
	1,637	66,391	0,026	0,006	0,018	0,146	-0,092	
	1,637	66,391	-0,012	0,002	0,018	0,146	-0,092	
	2,104	66,423	0,000	-0,047	0,018	0,136	-0,089	
	2,104	66,423	-0,056	-0,049	0,018	0,136	-0,089	
	2,572	66,454	-0,046	-0,101	0,018	0,101	-0,065	
	2,572	66,454	-0,093	-0,101	0,018	0,101	-0,065	
	3,039	66,486	-0,087	-0,159	0,018	0,041	-0,023	
	3,039	66,486	-0,101	-0,159	0,018	0,041	-0,023	
14	3,273	66,502	-0,101	-0,191	0,018	0,000	0,000	
Max N	3,273	66,502	-0,101	-0,191	0,018	0,000	0,000	
Min N	0,000	66,280	0,084	0,182	0,018	0,000	0,000	
Max V _y	0,234	66,296	0,085	0,149	0,018	0,039	-0,020	
Min V _y	3,039	66,486	-0,101	-0,159	0,018	0,041	-0,023	
Max V _z	0,000	66,280	0,084	0,182	0,018	0,000	0,000	
Min V _z	3,273	66,502	-0,101	-0,191	0,018	0,000	0,000	
Max M _x	0,000	66,280	0,084	0,182	0,018	0,000	0,000	
Min M _x	3,039	66,486	-0,087	-0,159	0,018	0,041	-0,023	
Max M _y	1,637	66,391	-0,012	0,002	0,018	0,146	-0,092	
Min M _y	0,000	66,280	0,084	0,182	0,018	0,000	0,000	
Max M _z	3,273	66,502	-0,101	-0,191	0,018	0,000	0,000	
Min M _z	1,637	66,391	-0,012	0,002	0,018	0,146	-0,092	

RO 82.5x6.3



Obrázek 45: Průřez a vnitřní síly pro posouzení prutu číslo 19

Materiálové a průřezové charakteristiky

Ocel: S235

$$f_y = 235 \text{ MPa} \quad E = 210 \text{ GPa}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa} \quad G = 81 \text{ GPa}$$

$$A = \pi * t * (d - t) = \pi * 6,3 * (82,5 - 6,3) = 1508,15297 \text{ mm}^2 = 0,001508 \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = \frac{\pi}{64} * (d^4 - (d - 2t)^4) = \frac{\pi}{64} * (82,5^4 - (82,5 - 2 * 6,3)^4) \\ = 1102107,29 \text{ mm}^4 = 0,01102107 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = \frac{1}{6} * (d^3 - (d - 2t)^3) = \frac{1}{6} * (82,5^3 - (82,5 - 2 * 6,3)^3) \\ = 36663,921 \text{ mm}^3 = 0,36663 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

Klasifikace průřezu

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

$$\frac{c}{t} = \frac{82,5}{6,3} = 13,0952 \leq 50 * \varepsilon^2 = 50 * 1^2 = 50 \gg \quad \text{průřez třídy 1}$$

Klasifikace průřezu

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

$$\frac{c}{t} = \frac{82,5}{6,3} = 13,095 \leq 50 * \varepsilon^2 = 50 * 1^2 = 50 \gg \quad \text{průřez třídy 1}$$

Vnitřní síly

Kombinace

$$N_{ed} = 66,280 \text{ kN} \quad V_z, Ed = 0,182 \text{ kN} \quad M_y, Ed = 0,000 \text{ kNm}$$

$$V_y, Ed = 0,084 \text{ kN} \quad M_z, Ed = 0,000 \text{ kNm} \quad T_{ed} = 0,018 \text{ kN}$$

Posudek na tlak

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

$$N_{C,Rd} = \frac{A_x * f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{0,001508 * 235 * 10^3}{1} = 354,38 \text{ kN}$$

$$\frac{NEd}{Nc,Rd} = \frac{66,280}{354,38} = 0,18703 \text{ kN} \leq 1,00 \text{ »VYHOVUJE}$$

Posudek ohybového momentu

$$\frac{MEd}{Mc,Rd} \leq 1,00$$

$$Mc,Rd = Mpl,Rd = \frac{Wpl * fy}{\lambda Mo} = \frac{0,36663 * 10^{-3} * 235 * 10^3}{1,0} = 86,15805 \text{ kNm}$$

$$\frac{MyEd}{Mc,Rd} = \frac{0,000}{86,15805} = 0,000 \leq 1,00 \text{ »VYHOVUJE}$$

$$\frac{MzEd}{Mc,Rd} = \frac{0,000}{86,15805} = 0,000 \leq 1,00 \text{ »VYHOVUJE}$$

Posudek rovinného vzpěru

$$\frac{NEd}{Nb,Rd} \leq 1,00$$

Vzpěrná délka:

$$Lcr,y = Lcr,z = 3,273 \text{ m}$$

Kritická síla:

$$Ncr,z = \frac{\pi^2 * E * Iz}{Lcr,z^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 0,01102107 * 10^{-4}}{3,273^2} = 213,23122 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda z = \sqrt{\frac{A * fy}{Ncr,z}} = \sqrt{\frac{0,001508 * 235 * 10^3}{213,23122}} = 1,2892$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi z = \frac{1}{\Phi z + \sqrt{\Phi z^2 - \lambda z^2}} = \frac{1}{0,555295 + \sqrt{0,555295^2 - 1,2892^2}} = 0,9628 \leq 1,0$$

$$\Phi z = 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda z - 0,2) + \lambda z^2]$$

$$= 0,5 * [1 + 0,49 * (1,2892 - 0,2) + 1,2892^2] = 1,59787$$

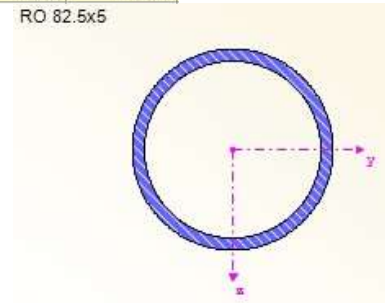
$$Nb,Rd = \frac{\chi z * Ax * fy}{\gamma Mo} = \frac{0,9628 * 0,001508 * 235 * 10^3}{1,0} = 341,19706 \text{ kN}$$

$$\frac{NEd}{Nb, Rd} = \frac{66,280}{341,19706} = 0,19426 \leq 1,00$$

Prut číslo 168, průřez 82,5 x 5 - v 0,000m

Uzel č.	Místo x [m]	Síly [kN]			Momenty [kNm]			
		N	V _y	V _z	M _T	M _y	M _z	
Průřez č. 7: RO 82.5x5 : Ferona - ČSN 42 5715.01								
91	0.000	-49,352	0.115	0.184	0.098	0.000	0.000	
	0.226	-49,341	0.114	0.156	0.098	0.038	-0.026	
	0.226	-49,341	0.098	0.155	0.098	0.038	-0.026	
	0.678	-49,320	0.092	0.093	0.098	0.095	-0.069	
	0.678	-49,320	0.055	0.102	0.098	0.095	-0.069	
	1.129	-49,298	0.046	0.035	0.098	0.126	-0.092	
	1.129	-49,298	0.011	0.034	0.098	0.126	-0.092	
	1.581	-49,277	0.000	-0.035	0.098	0.125	-0.095	
	1.581	-49,277	-0.042	-0.035	0.098	0.125	-0.095	
	2.033	-49,256	-0.052	-0.103	0.098	0.094	-0.073	
	2.033	-49,256	-0.103	-0.092	0.098	0.094	-0.073	
	2.484	-49,234	-0.108	-0.154	0.098	0.038	-0.025	
	2.484	-49,234	-0.113	-0.155	0.098	0.038	-0.025	
	106	2.710	-49,224	-0.114	-0.183	0.098	0.000	0.000

Obrázek 46: Průřez a vnitřní síly pro posouzení prutu číslo 168 RO 82.5x5



Materiálové a průřezové charakteristiky

Ocel: S235

$$f_y = 235 \text{ MPa} \quad E = 210 \text{ GPa}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa} \quad G = 81 \text{ GPa}$$

$$A = \pi * t * (d - t) = \pi * 5 * (82,5 - 5) = 1217,36715 \text{ mm}^2 = 0,0012174 \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = \frac{\pi}{64} * (d^4 - (d - 2t)^4) = \frac{\pi}{64} * (82,5^4 - (82,5 - 2 * 5)^4) \\ = 917780,7054 \text{ mm}^4 = 0,00917780 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$W_{pl, y} = \frac{1}{6} * (d^3 - (d - 2t)^3) = \frac{1}{6} * (82,5^3 - (82,5 - 2 * 5)^3) = 30072,9167 \text{ mm}^3 \\ = 0,030072 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

Klasifikace průřezu

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

$$\frac{c}{t} = \frac{82,5}{5} = 16,5 \leq 50 * \varepsilon^2 = 50 * 1^2 = 50 \gg \text{ průřez třídy 1}$$

Klasifikace průřezu

Vnitřní síly

Kombinace

$$N_{ed} = -49,352 \text{ kN}$$

$$V_z, Ed = 0,184 \text{ kN}$$

$$M_y, Ed = 0,000 \text{ kNm}$$

$$V_y, Ed = 0,115 \text{ kN}$$

$$M_z, Ed = 0,000 \text{ kNm}$$

$$T_{ed} = 0,098 \text{ kN}$$

Posudek na tlak

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

$$N_{C,Rd} = \frac{A_x * f_y}{\gamma M_o} = \frac{0,0012174 * 235 * 10^3}{1} = 286,089 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{C,Rd}} = \frac{49,352}{286,089} = 0,172506 \text{ kN} \leq 1,00 \text{ »VYHOVUJE}$$

Posudek ohybového momentu

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

$$M_{C,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\lambda M_o} = \frac{0,030072 * 10^{-3} * 235 * 10^3}{1,0} = 7,06692 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_y Ed}{M_{C,Rd}} = \frac{0,000}{7,06692} = 0,000 \leq 1,00 \text{ »VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_z Ed}{M_{C,Rd}} = \frac{0,000}{7,06692} = 0,000 \leq 1,00 \text{ »VYHOVUJE}$$

Posudek rovinného vzpěru

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

Vzpěrná délka:

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2,710 \text{ m}$$

Kritická síla:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 0,00917780 * 10^{-4}}{2,710^2} = 259,0115 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{0,0012174 * 235 * 10^3}{259,0115}} = 1,05097$$

Součinitel vzpěrnosti:

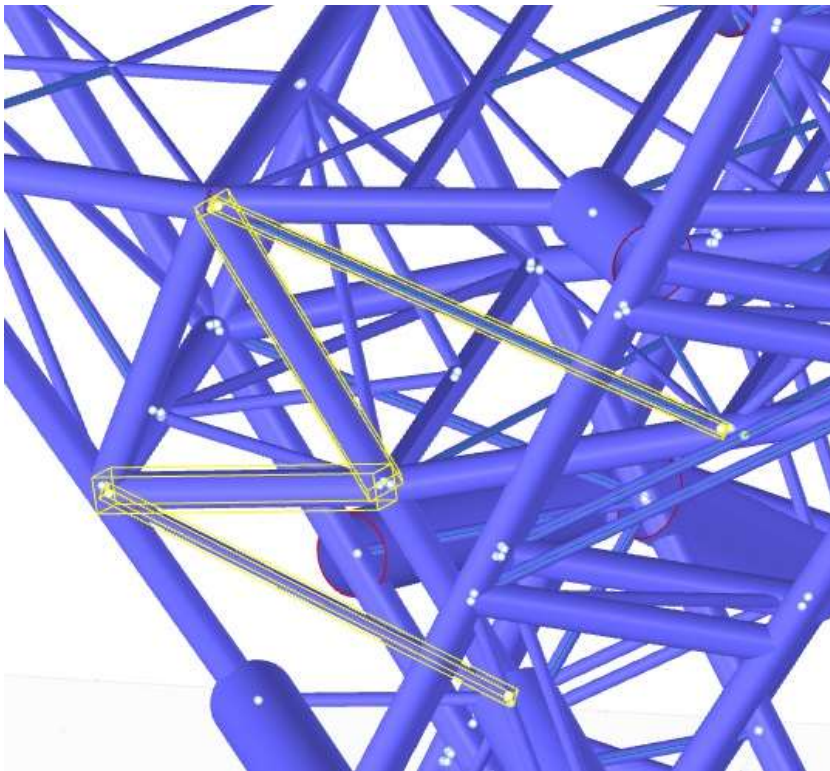
$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{1,26076 + \sqrt{1,26076^2 - 1,05097^2}} = 0,510944 \leq 1,0$$

$$\Phi_z = 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2]$$

$$= 0,5 * [1 + 0,49 * (1,05097 - 0,2) + 1,05097^2] = 1,26076$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z * A_x * f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{0,510944 * 0,0012174 * 235 * 10^3}{1,0} = 146,1755 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{-49,352}{146,1755} = 0,33762 \leq 1,00$$



Obrázek 47: Zobrazení posuzovaných prutů v malé sedmičce

11. ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo posouzení rozhledny ve tvaru dvou sedmiček statickou analýzou. Jako podklad především pro určení geometrie modelu, druhu a velikosti průřezu sloužila výkresová dokumentace této rozhledny nacházející se v obci Salaš.

Pro tvorbu výpočtového modelu byl použit program Dlubal RFEM 5.22, který pracuje pomocí metody konečných prvků. V tomto programu bylo vytvořeno v trojrozměrném prostoru několik modelů jako například model malé sedmičky, model velké sedmičky, model sedmiček dohromady. Také byl vytvořen model ve 2D pro ověření vnitřních sil příhradové konstrukce.

Výpočtové modely ve 3D byly zatíženy adekvátním zatížením vycházející především z normy ČSN EN 1991-1-1 [7]. Tato zatížení byla ověřena ručními výpočty, a to z důvodu dostatečné kontroly zadávaných zatížení a přesnosti počítání programu. Jako nejnáročnější stav zatížení se jevil vítr, který byl posuzován dle norem ČSN EN 1991-1-4 [9]. Byly vytvořeny dva způsoby namáhání větrem. Prvním z nich byl ruční výpočet, který počítal pomocí normových součinitelů. V druhém způsobu byl model vložen do programu simulujícího namáhání větru. Výsledkem bylo, že se výpočet programem jeví jako přesný, výpočtově nenáročný a časově jednoduchý.

Po zavedení jednotlivých zatěžovacích stavů do modelů byly nalezeny vhodné kombinace, které by mohly sloužit k porovnání malé sedmičky s přeneseným zatížením (M2) a sedmiček spolupůsobících (M1). V těchto modelech byly porovnány výsledné podporové síly. Srovnatelné jsou ve směru Z a Y ovšem směr X vykazuje značné odlišnosti. Pro statickou analýzu bylo také vybráno porovnání normálových sil mezi modely M1 a M2, M3. Podrobnější srovnání se vyskytuje v odpovídající kapitole.

Hlavním ručním výpočtem je příhradová konstrukce horní boční části velké sedmičky. Tato část je řešena více metodami a následně posuzována s výpočtovými modely jak ve 2D, tak i reálným modelem ve 3D. Z důvodu vzniku mechanismu ve 2D konstrukci lze porovnávat jednotlivé modely s uspokojujícími odchylkami jen v hlavních prutech. Ovšem i toho porovnání slouží k částečnému ověření návrhu příhradoviny.

Mezní stav únosnosti byl ověřen pouze na vybraných průřezech. Vyhotoveny byly jednoduché posudky na tlak, ohyb a vzpěr. Všechny ověřované průřezy vyhoví na veškeré uvedené posudky, a tedy mohou být použity pro konstrukci rozhledny. Zbytek neposuzovaných průřezů lze považovat za vyhovující, a to především z důvodu, že konstrukce již funguje.

Důležitým poznatkem na závěr je důraz na spolupůsobnost konstrukcí sedmiček navzájem. Z modelu je zřejmé, že při samostatném působení jednotlivých sedmiček, aniž by nebylo modelováno vzájemné podepření, budou jednotlivé konstrukce nestabilní. Malá sedmička například stojí pouze na jednom místě, takže se jedná téměř o mechanismus. Tedy nejvýhodnějším modelem se jeví model sedmiček dohromady (M1). Lze se domnívat, že právě tento model se nejvíce přibližuje skutečnému provedení a působení konstrukce.

12. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Rozhledna Salaš. [online]. Salaš: [cit. 2020-05-02] Dostupné z: <https://www.rozhlednasalas.cz/>
- [2] CAD Projekt plus s.r.o. Rozhledna v obci Salaš: Dokumentace pro společné ÚŘ a SP.
- [3] RWIND Simulation. Dlubal [online]. Brno: [cit. 2020-05-02] Dostupné z: <https://www.dlubal.com/cs/produkty/samostatne-programy/rwind-simulation>
- [4] RFEM podpora. Dlubal [online]. Brno: [cit. 2020-05-02] Dostupné na: <https://www.dlubal.com/cs/podpora-a-skoleni/podpora/faq>
- [5] RFEM manuály k programům. Dlubal [online]. Brno: [cit. 2020-05-02] Dostupné na: <https://www.dlubal.com/cs/stahovani-a-informace/dokumenty/manualy>
- [6] ČSN EN 1990 ED.2, Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: Český normalizační institut, 2015
- [7] ČSN EN 1991-1-1, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: Český normalizační institut, 2004
- [8] ČSN EN 1991-1-3, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem. Praha: Český normalizační institut, 2013
- [9] ČSN EN 1991-1-4 ED.2, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. Praha: Český normalizační institut, 2013
- [10] ČSN EN 1993-1-8, Eurokód 1: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčnicků. Praha: Český normalizační institut, 2013
- [11] Oblasti-zatizeni-snehem-vetrem-a-zemetresenim. Dlubal [online]. Brno: [cit. 2020-05-02] Dostupné na: <https://www.dlubal.com/cs/reseni/online-sluzby/oblasti-zatizeni-snehem-vetrem-a-zemetresenim>
- [12] Galerie. Rozhledna Salaš. [online]. Salaš: [cit. 2020-05-02] Dostupné z: <https://www.rozhlednasalas.cz/galerie>

[13] Bc. Jan Uherek Statická a dynamická analýza ocelové konstrukce. Brno, 2019. 122 s., 40 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky. Vedoucí práce Ing. Zbyněk Vlk, Ph.D.

[14] Ing. Jiří Kytýr, CSc. ,Ing. Zbyněk Kerner, CSc. ,Ing. Rostislav Zídek ,Ing. Zbyněk Vlk, Základy stavební mechaniky, modul BD01-MO4, Staticky určené prutové konstrukce- část 2 vyd. Brno 2004: VUT fakulta stavební

13. SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Reálné zobrazení posuzované konstrukce</i>	11
<i>Obrázek 2: Model konstrukce sedmiček dohromady</i>	12
<i>Obrázek 3: Model konstrukce malé sedmičky</i>	13
<i>Obrázek 4: Model konstrukce velké sedmičky</i>	13
<i>Obrázek 5: Model konstrukce zatížen vlastní tíhou velké i malé sedmičky</i>	20
<i>Obrázek 6: Půdorysný pohled na horní plošinu velké sedmičky</i>	21
<i>Obrázek 7: Boční pohled na horní plošinu velké sedmičky</i>	22
<i>Obrázek 8: Půdorysný pohled na horní plošinu malé sedmičky</i>	23
<i>Obrázek 9: Boční pohled na horní plošinu malé sedmičky</i>	23
<i>Obrázek 10: Konstrukce zatížená ostatním stálým zatížením na plošině u malé i velké sedmičky</i>	24
<i>Obrázek 11: Konstrukce rozdělená pro výpočet tíhy od opláštění velké sedmičky</i>	25
<i>Obrázek 12: Výsledné zatížení opláštění na konstrukci velké i malé sedmičky</i>	27
<i>Obrázek 13: Konstrukce zatížená užitným zatížením malé i velké sedmičky</i>	28
<i>Obrázek 14: Mapa oblasti zatížení sněhem</i>	30
<i>Obrázek 15: Konstrukce zatížená sněhem velké i malé sedmičky</i>	31
<i>Obrázek 16: Mapa oblasti zatížení větrem</i>	32
<i>Obrázek 17: Ukázka výpočtu pomocí programu RWIND Simulation</i>	35
<i>Obrázek 18: Zatížení konstrukce velké i malé sedmičky větrem v 0°</i>	45
<i>Obrázek 19: Půdorys a řešení schodiště v konstrukci</i>	46
<i>Obrázek 20: Konstrukce zatížená větrem na schodiště ve směru 0° a 270°</i>	47
<i>Obrázek 21: Charakteristická kombinace 1 pro a) model sedmiček dohromady b) malou sedmičku s přeneseným zatížením od velké sedmičky</i>	49
<i>Obrázek 22: Charakteristická kombinace 2 pro a) model sedmiček dohromady b) malou sedmičku s přeneseným zatížením od velké sedmičky</i>	50
<i>Obrázek 23: Kombinace mezního stavu únosnosti 1 pro a) model sedmiček dohromady b) malou sedmičku s přeneseným zatížením od velké sedmičky</i>	51
<i>Obrázek 24: Schéma příhradové konstrukce</i>	52

<i>Obrázek 25: Pomocné schéma pro výpočet styčnickovou metodou</i>	59
<i>Obrázek 26: Model příhradové konstrukce se zobrazením vnitřních sil</i>	59
<i>Obrázek 27: Zjednodušený dvojrozměrný model příhradoviny-vnitřní síly</i>	61
<i>Obrázek 28: Příhradová konstrukce v celkovém modelu-vnitřní síly</i>	61
<i>Obrázek 29: Podporové síly porovnatelné kombinace (mezního stavu únosnosti) pro</i>	62
<i>a) model sedmiček dohromady b) malou sedmičku s přeneseným zatížením od velké sedmičky</i>	
<i>Obrázek 30: Podporové síly porovnatelné kombinace (charakteristické) pro</i>	63
<i>a) model sedmiček dohromady b) malou sedmičku s přeneseným zatížením od velké sedmičky</i>	
<i>Obrázek 31: Porovnání normálových sil na horní části velké sedmičky v modelu</i>	64
<i>a) sedmičky dohromady b) velké sedmičky</i>	
<i>Obrázek 32: Porovnání normálových sil na dolní části velké sedmičky v modelu</i>	65
<i>a) sedmičky dohromady b) velké sedmičky</i>	
<i>Obrázek 33: Porovnání normálových sil na malé sedmičky v modelu</i>	66
<i>a) sedmičky dohromady b) malé sedmičky</i>	
<i>Obrázek 34: Model sedmiček dohromady zobrazující vzájemné překrytí</i>	68
<i>Obrázek 35: Model sedmiček dohromady v programu RWIND se</i>	68
<i>směrem větru 270° se zobrazením tlaků na konstrukci</i>	
<i>Obrázek 36: Model sedmiček dohromady v programu RWIND se</i>	69
<i>směrem větru 0° se zobrazením tlaků na konstrukci</i>	
<i>Obrázek 37: Model sedmiček dohromady v programu RWIND se</i>	69
<i>směrem větru 90° se zobrazením tlaků na konstrukci</i>	
<i>Obrázek 38: Průřez a vnitřní síly pro posouzení prutu číslo 720</i>	70
<i>Obrázek 39: Průřez a vnitřní síly pro posouzení prutu číslo 225</i>	72
<i>Obrázek 40: Průřez a vnitřní síly pro posouzení prutu číslo 234</i>	75
<i>Obrázek 41: Průřez a vnitřní síly pro posouzení prutu číslo 247</i>	77
<i>Obrázek 42: Zobrazení posuzovaných prutů ve velké sedmičky</i>	79
<i>Obrázek 43: Průřez a vnitřní síly pro posouzení prutu číslo 97</i>	80
<i>Obrázek 44: Průřez a vnitřní síly pro posouzení prutu číslo 92</i>	82
<i>Obrázek 45: Průřez a vnitřní síly pro posouzení prutu číslo 19</i>	84

<i>Obrázek 46: Průřez a vnitřní síly pro posouzení prutu číslo 168</i>	87
<i>Obrázek 47: Zobrazení posuzovaných prutů v malé sedmičce</i>	89

14. SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1: Použité průřezy ve velké sedmičce</i>	14
<i>Tabulka 2: Použité průřezy v malé sedmičce</i>	15
<i>Tabulka 3: Použitého průřezu pro spojení sedmiček</i>	15
<i>Tabulka 4: Shrnutí parametrů zatížení větrem</i>	30
<i>Tabulka 5: Tvarové součinitelé</i>	30
<i>Tabulka 6: Kategorie terénu a jejich parametry</i>	32
<i>Tabulka 7: Porovnání výsledků zatížení velké sedmičky větru bez schodiště</i>	40
<i>Tabulka 8: Porovnání výsledků zatížení malé sedmičky větru bez schodiště</i>	45
<i>Tabulka 9: Zatěžovací stavy pro model sedmiček dohromady</i>	48
<i>Tabulka 10: Zatěžovací stavy pro model malé sedmičky s přeneseným zatížením od velké sedmičky</i>	48
<i>Tabulka 11: Porovnání metod výpočtu příhradové konstrukce</i>	60
<i>Tabulka 12: Součet výpočtů větru malé a velké sedmičky ve čtyřech směrech</i>	66