



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

TECHNICKÁ ZPRÁVA SROVNÁNÍ VARIANT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

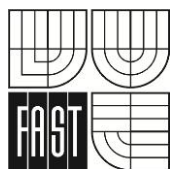
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. TOMÁŠ PETRÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MILAN ŠMAK, Ph.D.

BRNO 2013



Obsah

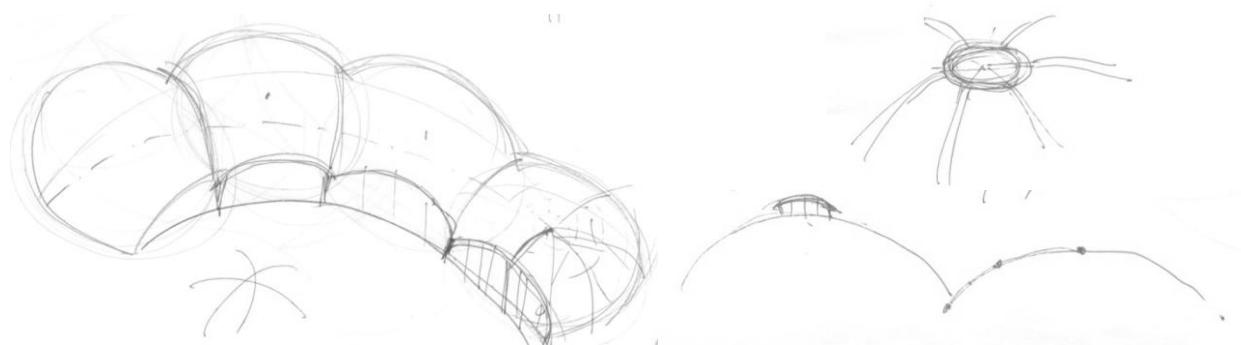
1	Zadání	2
2	Architektonický návrh	2
3	Varianty řešení	3
3.1	Variantní řešení č. 1.....	4
3.1.1	Statický výpočet:.....	6
3.1.2	Výsledky dimenzování:	10
3.2	Variantní řešení č. 2.....	10
3.2.1	Statický výpočet:.....	12
3.2.2	Výsledky dimenzování:	16
3.3	Variantní řešení č. 3.....	16
3.3.1	Statický výpočet:.....	17
3.3.2	Výsledky dimenzování:	20
3.4	Větrací vrchlík	20
3.4.1	Statický výpočet:.....	22
3.4.2	Výsledky dimenzování:	24
4	Zhodnocení a výběr varianty	24
5	Použité zdroje	25

1 Zadání

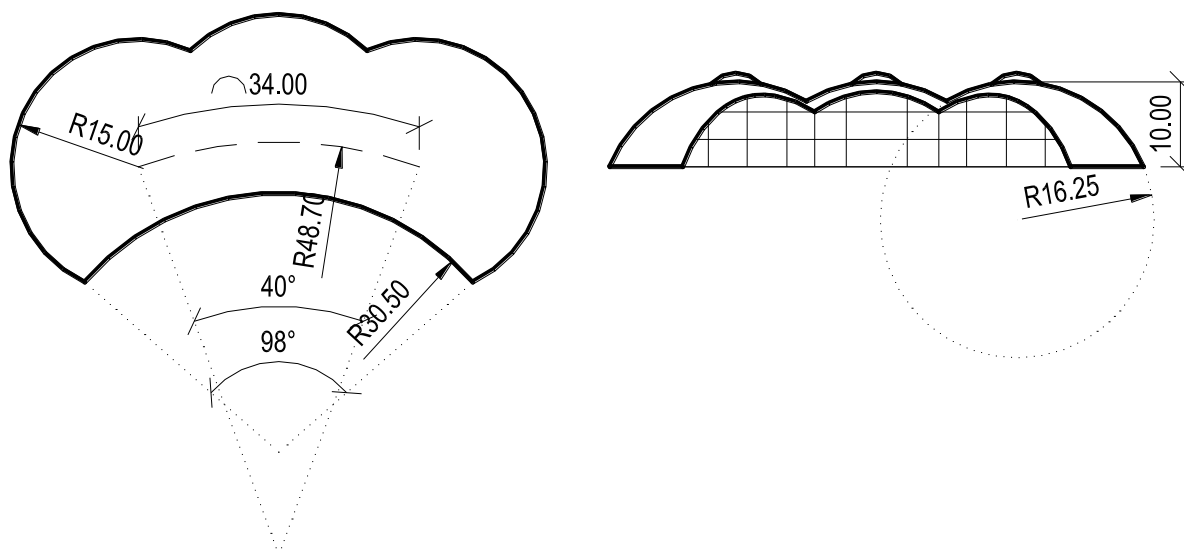
Vypracujte návrh nosné konstrukce pavilonu šelem v zoologické zahradě Lešná. Při návrhu konstrukce respektujte požadavky na tvarové a dispoziční uspořádání objektu. Pavilon navrhnete ve tvaru kulových segmentů, půdorysné rozměry zvolte v závislosti na potřebném prostorovém uspořádání pro daný typ objektu.

2 Architektonický návrh

Cílem architektonického návrhu bylo najít takový tvar a dispoziční rozložení pavilonu, které bude odpovídat stanoveným požadavkům, v našem případě zadání diplomové práce. Základními rysy pavilonu měly být: prostornost, dispozičně modifikovatelný tvar, hladký kopulovitý plášť a prosvětlenost interiéru.



Prvotný architektonický návrh tvaru



Geometrie tvaru pavilonu

Základním tvarem pavilonu již od ohledu je kupole. Jedná se o kulový vrchlík (výchozí těleso koule, kde $R = 16,25$ m) s kruhovou podstavou o poloměru $R = 15$ m a výšce 10 m. Tři takto vzniklé kopule a

vzájemně propojené do sebe jsou rovnoměrně rozmístěny na obloukové přímce délky 34 m s poloměrem $r = 48,7$ m. Patrné „vykrojení“, které protíná všechny kopule, vzniklo vytvořením oblouku s poloměrem $r = 30,5$ m. Jeho střed je odsazen o vzdálenost $l = 12,15$ m od středu oblouku, na němž jsou kupole umístěny.

Světlo uvnitř pavilonu je během dne dodáváno tou nejpřirozenější formou, tzn. Sluncem. Podle tohoto požadavku je na plášti pavilonu navrženo několik prosklených ploch. Takto navržené prosklené plochy dodávají všem, zvířat nevylučuje, uvnitř pavilonu větší pocit z přirozeného prostředí než nějaké uzavřené místnosti. Prosklené plochy je možné v případě potřeby zahalovat instalovanými clonidly. Větrání pavilonu je taky řešeno převážně přirozenou cestou a to pomocí větracích vrchlíků. Jedná se o nadstavenou „minikopuli“ v samotných vrších třech hlavních kupolí, kde princip větrání je jednoduchý – otočné otevírání části minikopule. Kombinací různých poloh otvíravých částí lze dosáhnout různých intenzit větrání podle potřeby.

Na základě výstupního architektonického návrhu byly porovnány 3 konstrukční varianty.

3 Varianty řešení

Při návrhu kupolí lze vybírat z několika možností konstrukčních řešení. Pro představu je na následujících obrázcích zobrazeno několik typů konstrukcí pro kopule. I když tento přehled neznamena konečný počet konstrukčních řešení, svou službu při volbě konstrukčního systému pavilonu splnil.



Rahmenkuppel

Rámová kopule



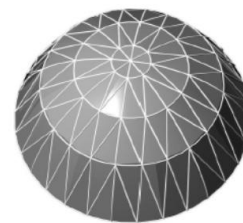
Rippenkuppel

Žebrová kopule



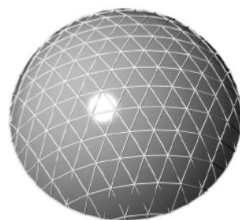
Schwedlerkuppel

Schwedlerova kopule



Kievitt-Kuppel

Kievittova kopule



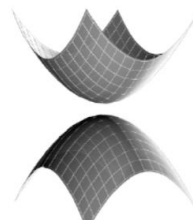
Dreiläufige Rostschale

Trojúhelníkové pole



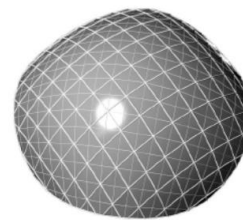
Geodätische Kuppel

Geodetická kopule



Gitterschale

Čtvercové pole



Netzwerkschale

Translační plocha



Každé konstrukční řešení nese v konkrétním případě svoje výhody a nevýhody, avšak v našem případě nebylo možné použít všechny typy kvůli navrženému tvaru pavilonu. Proto byly ve dvou variantách zkombinovány principy rámové a Schwedlerovy kopule a třetí varianta byla postavena na konstrukčních principech Föpplovy kopule.

Zatížení:

Na všechny varianty byla aplikována stejná zatížení se stejnými výchozími hodnotami. Jedná se o tato zatížení:

Stálá zatížení:

- Vlastní tíha nosné konstrukce
- Izolační sklo + příchytné prvky
- Skladba střešního pláště
- Technická zařízení
- Okenní rolety

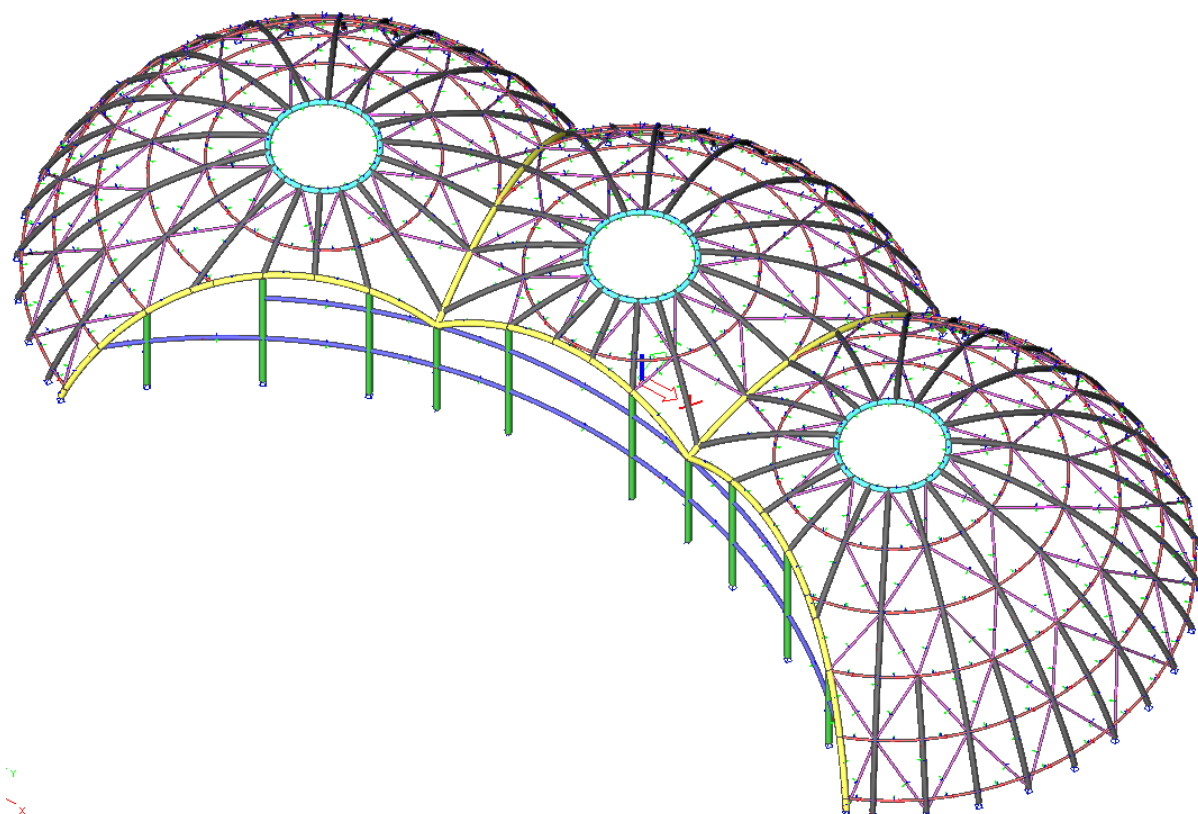
Nahodilá zatížení:

- Zatížení větrem
- Zatížení sněhem

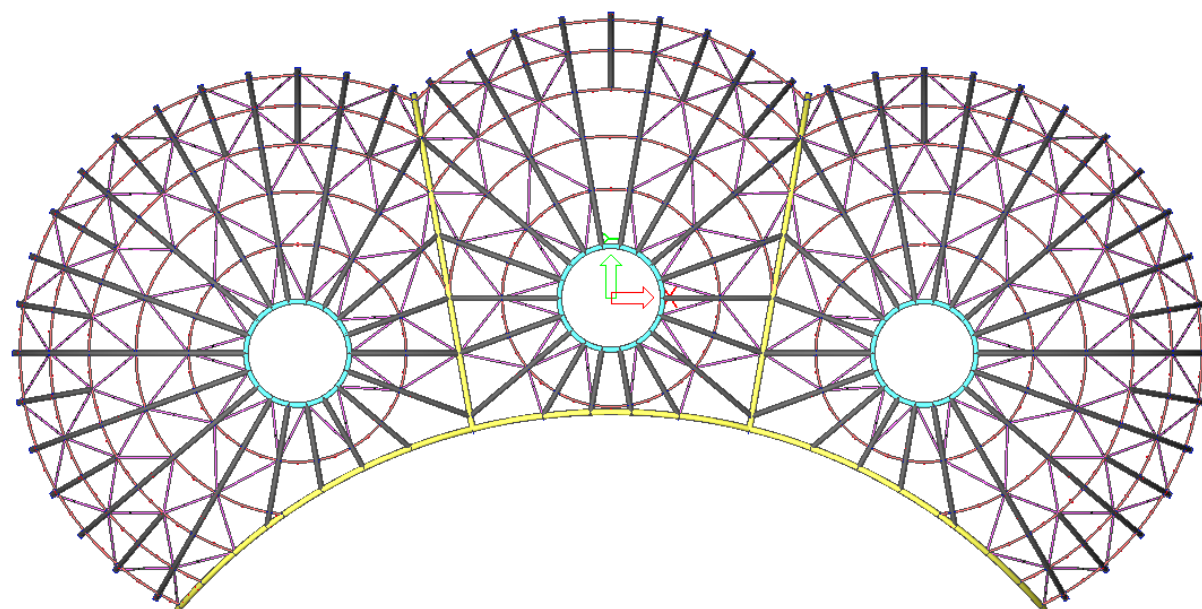
Postup určení výchozích hodnot jednotlivých zatížení je přehledně rozepsán ve 3. kapitole statického výpočtu řešené varianty.

3.1 Variantní řešení č. 1

Konstrukce pavilonu je postavena převážně na principu Schwedlerovy kopule avšak pro dodržení architektonického požadavku – hladkost zaoblení kupolových částí, je většina prutů tvořících tvar pavilonu zakřivených. Tvar kopulím dodává 18 žeber sjednocených v tuhém prstenci. Kopule jsou rozděleny do 5 vodorovných pruhů pomocí rovnoběžek zakřivených do oblouku. Dalším z hlavních prutů podílejících se na přenosu sil do základů pavilonu jsou „průsečné“ pruty: 2 pruty mezi kopulemi a 1 prut protínající všechny kopule – horní hrana fasády. Aby byl dodržen mezní stav použitelnosti a zároveň navrženy „rozumné“ průřezy prutů (bez použití příhradových konstrukcí), byla optimální konstrukce dosažena i vytvořením rámových spojení mezi některými pruty a vetknutím 4 čelních sloupů v jednom směru. Rám tvoří 2 průsečné pruty mezi kopulemi s prostředním prutem horní hrany fasády propojených do svislých vetknutých sloupů v této části. Tento, řekněme, prostorový rám výrazně ztužuje konstrukci a omezuje přísné vodorovné deformace díky prosklené fasádě. Svou roli plní i ztužidla, která ztužují celou konstrukci pavilonu. Odebráním čelních ztužidel v oblasti horní hrany fasády došlo k výraznému snížení vodorovných deformací sloupů, přičemž svislé deformace se výrazně nezvětšily.



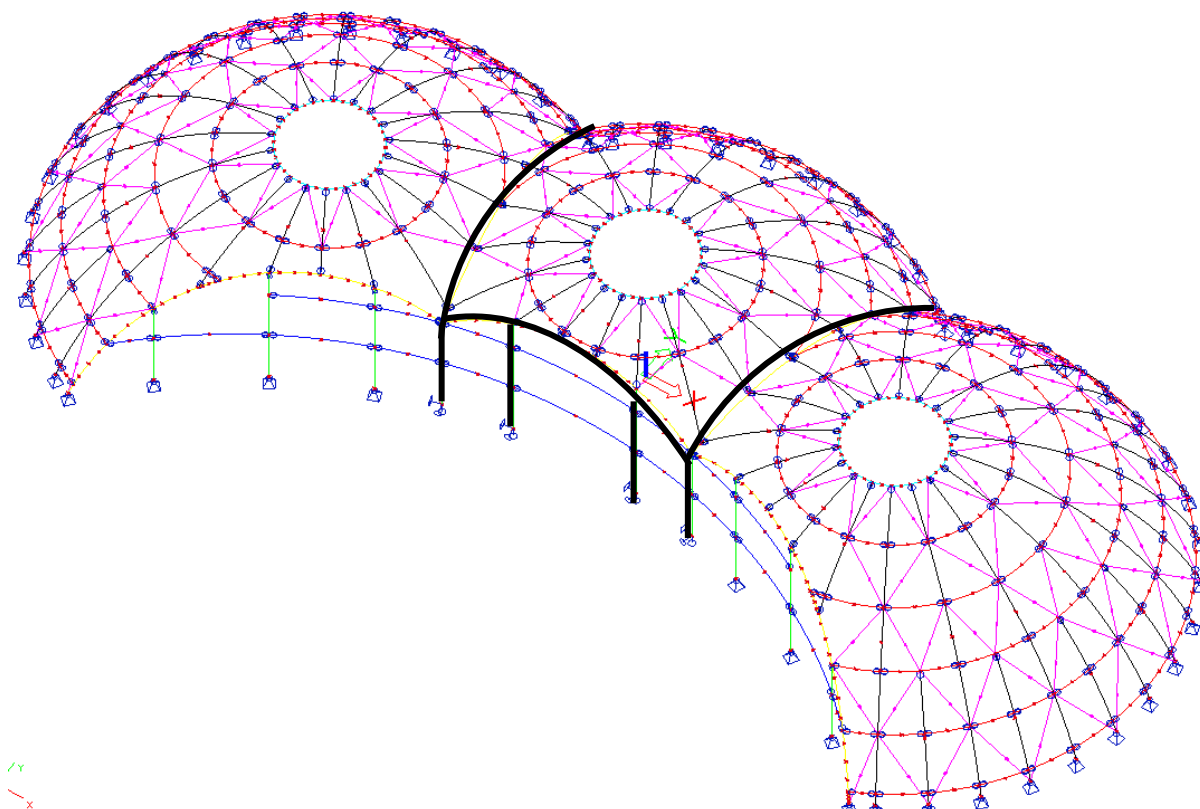
Axonometrický pohled



Půdorysný pohled

3.1.1 Statický výpočet:

Statická analýza ocelové nosné konstrukce byla provedena metodou konečných prvků ve výpočetním softwaru SCIA Engineer od společnosti Nemetschek. Výpočtem byl analyzován prostorový model konstrukce na účinky všech zatížení a jejich příznivých a nepříznivých kombinací podle ČSN EN 1990. Schéma níže znázorňuje statický model, to znamená, definování podpor, vazeb mezi pruty, vzpěrných délek a průřezů.

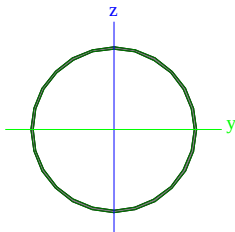
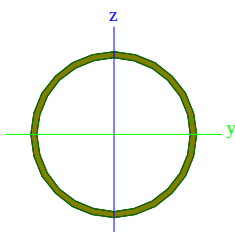


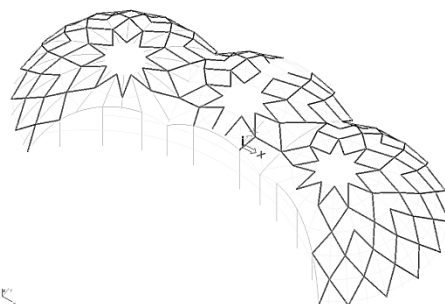
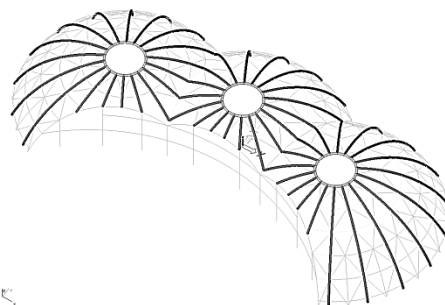
Statický model konstrukce

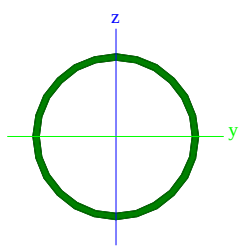
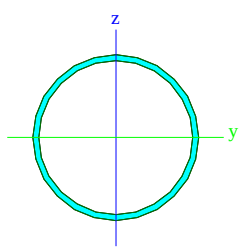
Pozn.: Zvýrazněné čáry představují prvky konstrukce typické pro konkrétní variantu (viz popis).

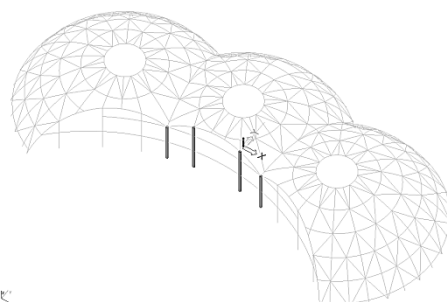
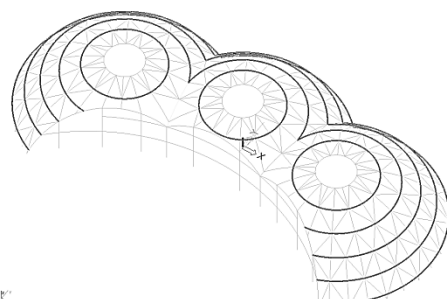
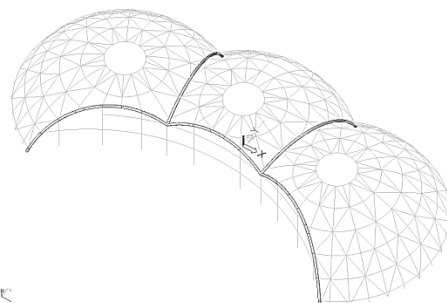
Použité průřezy:

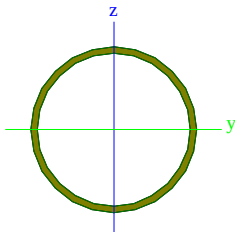
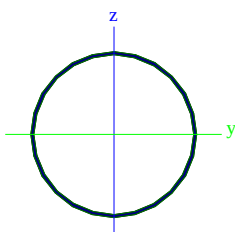
>	Jméno	CS1	
	Typ	RO273X4	
	Zdroj hodnot	Stahl im Hochbau / 14.Auflage Band I / Teil 1	
	Materiál	S 355	
	Výroba	tvářený za studena	
	Vzpěr y-y, z-z		c

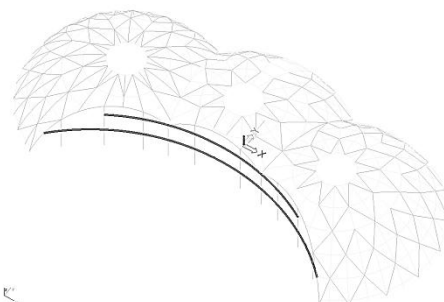
>	Obrázek		
>	A [m ²]	3,3800e-003	
	A _{y, z} [m ²]	2,1518e-003	2,1518e-003
	I _{y, z} [m ⁴]	3,0580e-005	3,0580e-005
	I _w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+000	6,1151e-005
	W _{el y, z} [m ³]	2,2400e-004	2,2400e-004
	W _{pl y, z} [m ³]	2,8527e-004	2,8527e-004
	d _{y, z} [mm]	0	0
	c _{YLSS, ZLSS} [mm]	0	0
	alfa [deg]	0,00	
	AL [m ² /m]	8,6161e-001	
>	Jméno	CS2	
	Typ	RO108X4	
	Zdroj hodnot	Stahl im Hochbau / 14.Auflage Band I / Teil 1	
	Materiál	S 355	
	Výroba	válcovaný	
	Vzpěr y-y, z-z	a	a
>	Obrázek		
>	A [m ²]	1,3100e-003	
	A _{y, z} [m ²]	8,3397e-004	8,3397e-004
	I _{y, z} [m ⁴]	1,7700e-006	1,7700e-006
	I _w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+000	3,5339e-006
	W _{el y, z} [m ³]	3,2800e-005	3,2800e-005
	W _{pl y, z} [m ³]	4,3000e-005	4,3000e-005
	d _{y, z} [mm]	0	0
	c _{YLSS, ZLSS} [mm]	0	0
	alfa [deg]	0,00	
	AL [m ² /m]	3,4327e-001	
>	Jméno	CS5	
	Typ	RO323.9X12.5	
	Zdroj hodnot	Stahl im Hochbau / 14.Auflage Band I / Teil 1	
	Materiál	S 355	
	Výroba	válcovaný	
	Vzpěr y-y, z-z	a	a

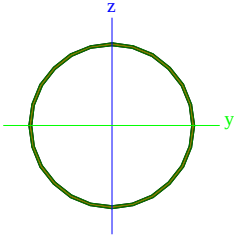


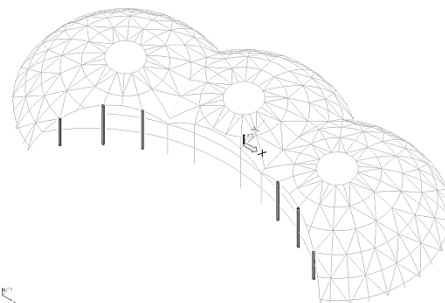
>	Obrázek		
>	A [m ²]	1,2200e-002	
	A _{y, z} [m ²]	7,7668e-003	7,7668e-003
	I _{y, z} [m ⁴]	1,4850e-004	1,4850e-004
	I _w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+000	2,9645e-004
	W _{el y, z} [m ³]	9,1700e-004	9,1700e-004
	W _{pl y, z} [m ³]	1,2060e-003	1,2060e-003
	d _{y, z} [mm]	0	0
	c _{YLSS, ZLSS} [mm]	0	0
	alfa [deg]	0,00	
	AL [m ² /m]	1,0300e+000	
>	Jméno	CS6	
	Typ	RO114.3X4	
	Zdroj hodnot	Stahl im Hochbau / 14.Auflage Band I / Teil 1	
	Materiál	S 355	
	Výroba	válcovaný	
	Vzpěr y-y, z-z	a	a
>	Obrázek		
>	A [m ²]	1,3900e-003	
	A _{y, z} [m ²]	8,8490e-004	8,8490e-004
	I _{y, z} [m ⁴]	2,1100e-006	2,1100e-006
	I _w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+000	4,1815e-006
	W _{el y, z} [m ³]	3,6900e-005	3,6900e-005
	W _{pl y, z} [m ³]	4,8400e-005	4,8400e-005
	d _{y, z} [mm]	0	0
	c _{YLSS, ZLSS} [mm]	0	0
	alfa [deg]	0,00	
	AL [m ² /m]	3,6212e-001	
>	Jméno	CS7	
	Typ	RO323.9X12.5	
	Zdroj hodnot	Stahl im Hochbau / 14.Auflage Band I / Teil 1	
	Materiál	S 355	
	Výroba	válcovaný	
	Vzpěr y-y, z-z	a	a



>	Obrázek		
>	A [m ²]	1,2200e-002	
	A _{y, z} [m ²]	7,7668e-003	7,7668e-003
	I _{y, z} [m ⁴]	1,4850e-004	1,4850e-004
	I _w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+000	2,9645e-004
	W _{el y, z} [m ³]	9,1700e-004	9,1700e-004
	W _{pl y, z} [m ³]	1,2060e-003	1,2060e-003
	d _{y, z} [mm]	0	0
	c _{YLSS, ZLSS} [mm]	0	0
	alfa [deg]	0,00	
	AL [m ² /m]	1,0300e+000	
>	Jméno	CS8	
	Typ	RO219.1X4	
	Zdroj hodnot	Stahl im Hochbau / 14.Auflage Band I / Teil 1	
	Materiál	S 355	
	Výroba	válcovaný	
	Vzpěr y-y, z-z	a	a
>	Obrázek		
>	A [m ²]	2,7000e-003	
	A _{y, z} [m ²]	1,7189e-003	1,7189e-003
	I _{y, z} [m ⁴]	1,5640e-005	1,5640e-005
	I _w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+000	3,1266e-005
	W _{el y, z} [m ³]	1,4300e-004	1,4300e-004
	W _{pl y, z} [m ³]	1,8241e-004	1,8241e-004
	d _{y, z} [mm]	0	0
	c _{YLSS, ZLSS} [mm]	0	0
	alfa [deg]	0,00	
	AL [m ² /m]	6,9229e-001	
>	Jméno	CS10	
	Typ	RO323.9X5.6	
	Zdroj hodnot	Stahl im Hochbau / 14.Auflage Band I / Teil 1	
	Materiál	S 355	
	Výroba	válcovaný	
	Vzpěr y-y, z-z	a	a



>	Obrázek		
>	A [m ²]	5,6000e-003	
	A _{y, z} [m ²]	3,5651e-003	3,5651e-003
	I _{y, z} [m ⁴]	7,0940e-005	7,0940e-005
	I _w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+000	1,4184e-004
	W _{el y, z} [m ³]	4,3800e-004	4,3800e-004
	W _{pl y, z} [m ³]	5,6400e-004	5,6400e-004
	d _{y, z} [mm]	0	0
	c _{YLSS, ZLSS} [mm]	0	0
	alfa [deg]	0,00	
	AL [m ² /m]	1,0231e+000	



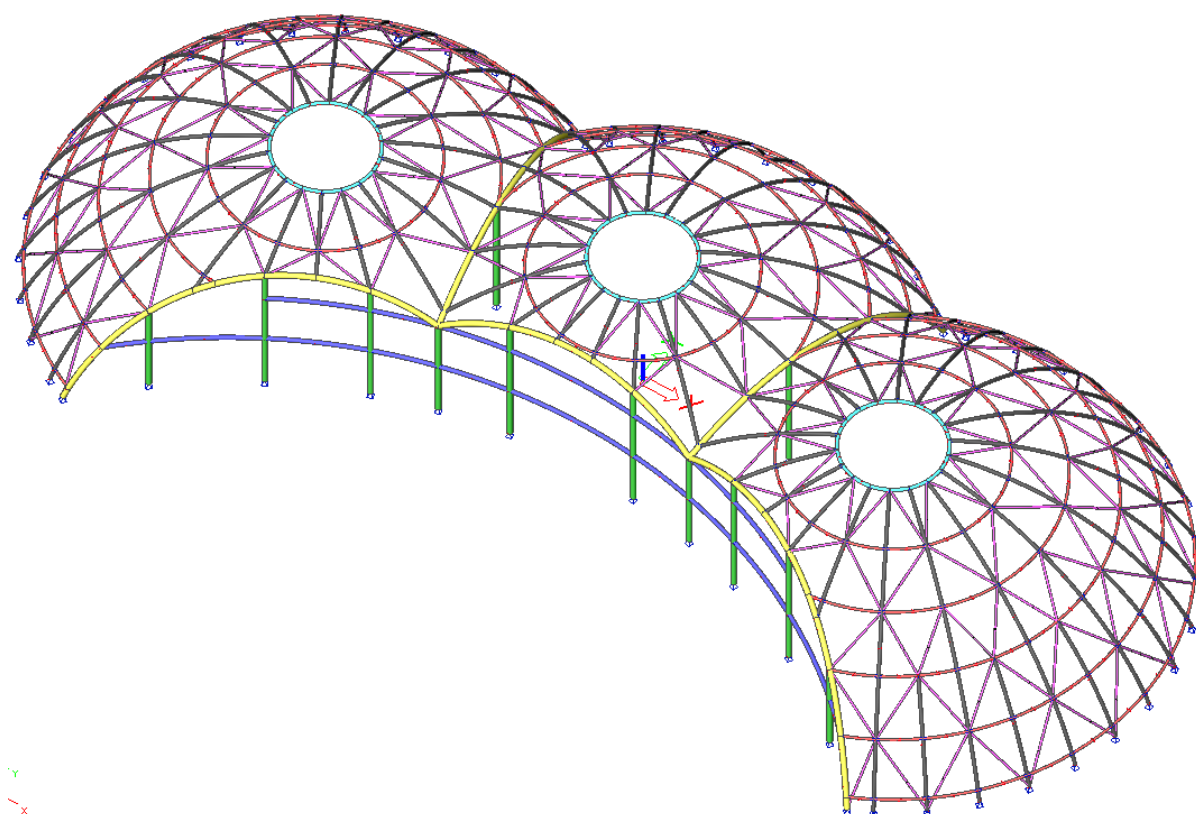
3.1.2 Výsledky dimenzování:

Stav	Prut	css	mat	dx [mm]	jed.posudek [-]	pevnost [-]	stab. posudek [-]
CO2/156	B7	CS7 - RO323.9X12.5	S 355	3288,130	0,38	0,10	0,38
CO2/2	B564	CS5 - RO323.9X12.5	S 355	660,263	0,96	0,14	0,96
CO2/157	B566	CS10 - RO323.9X5.6	S 355	3288,130	0,40	0,40	0,31
CO2/158	B41	CS6 - RO114.3X4	S 355	1528,817	0,70	0,43	0,70
CO2/159	B187	CS1 - RO273X4	S 355	724,673	0,48	0,25	0,48
CO2/160	B73	CS9 - RO273X4	S 355	636,065	0,18	0,11	0,18
CO1/161	B9	CS8 - RO219.1X4	S 355	7251,441	0,46	0,05	0,46
CO2/162	B824	CS2 - RO108X4	S 355	0,000	0,92	0,31	0,92

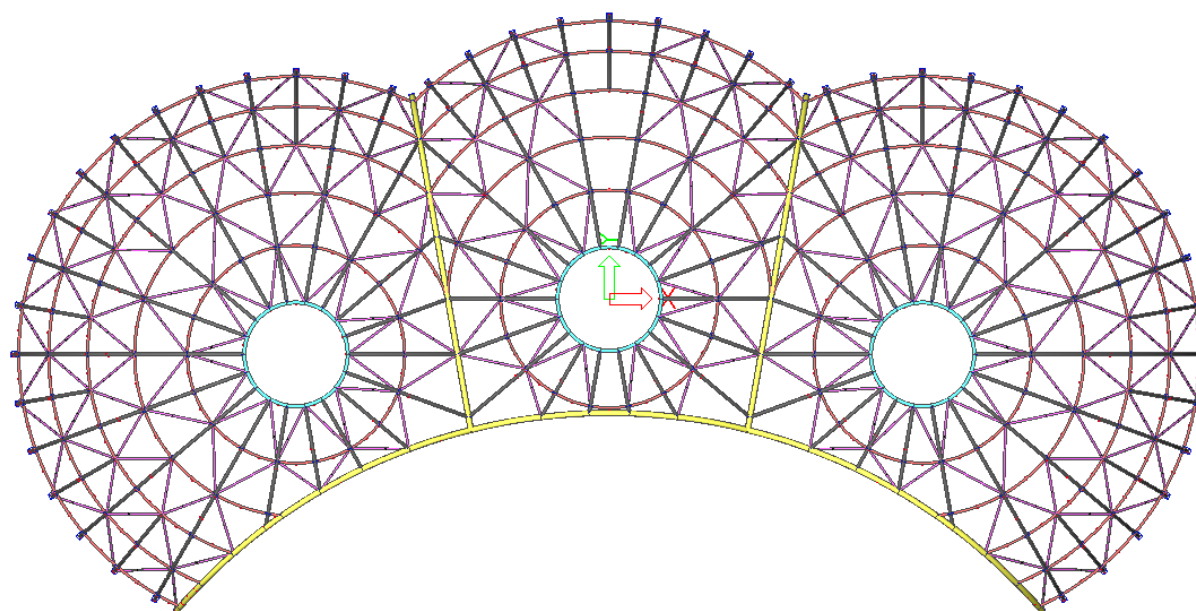
Celková hmotnost konstrukce: 52 635 kg

3.2 Variantní řešení č. 2

Druhá varianta je principiálně řešena naprosto stejně jako první jen s tím rozdílem, že byly do užitkové plochy pavilonu přidány 2 sloupky navíc. Plocha ohraničená pavilonem je dostatečně velká, tudíž sloupky nijakým způsobem dispozici neomezují. Při optimalizaci této konstrukce bylo možné uvolnit některé předchozí vazby a také snížit dimenze prutů. Prostorový rám v tomto případě tvoří všechny 3 vlny horní hrany fasády, do kterého jsou kloubově připojeny jak meridiány a rovnoběžky, tak sloupky i ztužidla. Vodorovné deformace, které byly v prvním případě velkým problémem, jsou v této variantě zhruba o polovinu menší. Tím pádem bylo možné dimenze prutů zmenšit, takže najít takové průřezy, které vyhoví na MSÚ. Podpory jsou ve všech směrech otočné.



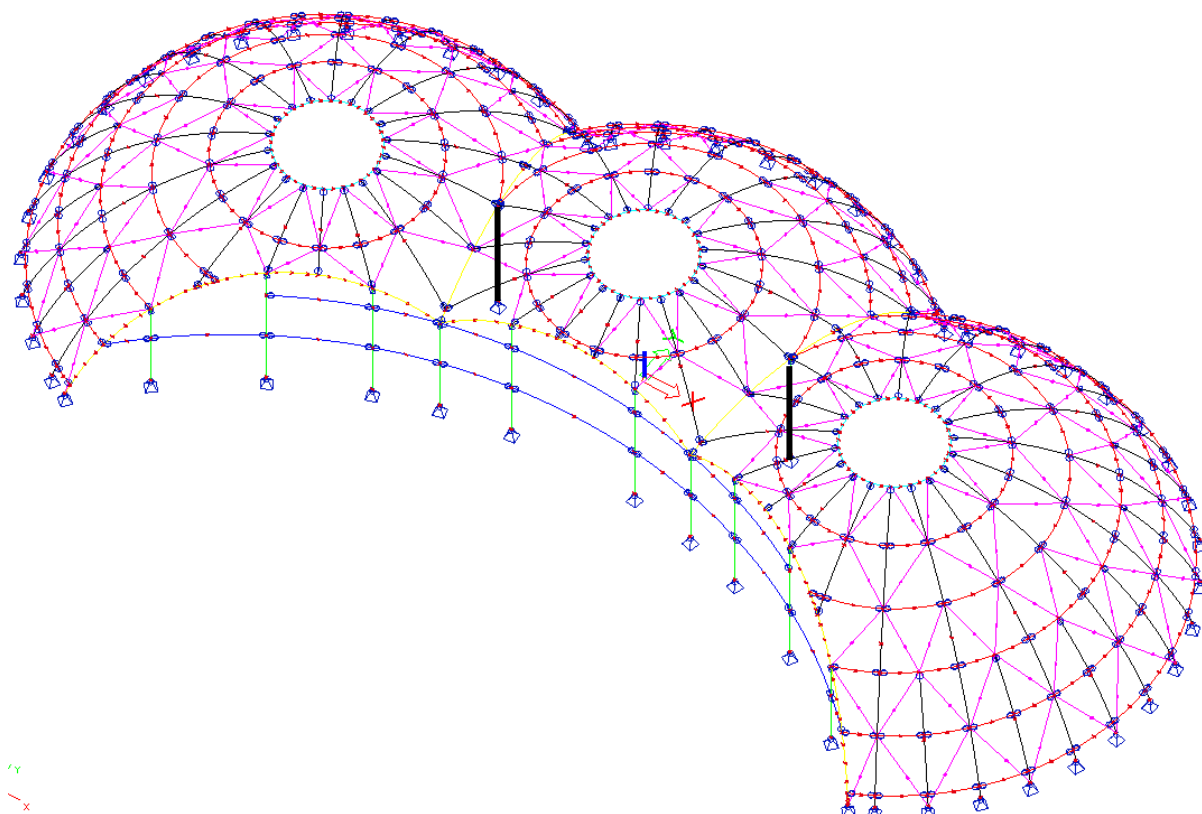
Axonometrický pohled



Půdorysný pohled

3.2.1 Statický výpočet:

Statická analýza ocelové nosné konstrukce byla provedena metodou konečných prvků ve výpočetním softwaru SCIA Engineer od společnosti Nemetschek. Výpočtem byl analyzován prostorový model konstrukce na účinky všech zatížení a jejich příznivých a nepříznivých kombinací podle ČSN EN 1990. Schéma níže znázorňuje statický model, to znamená, definování podpor, vazeb mezi pruty, vzpěrných délek a průřezů.

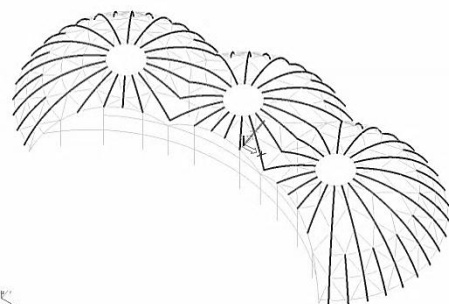


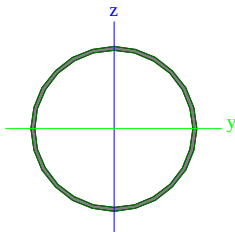
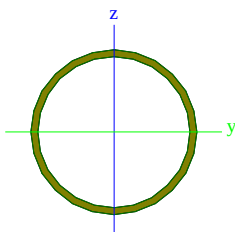
Statický model konstrukce

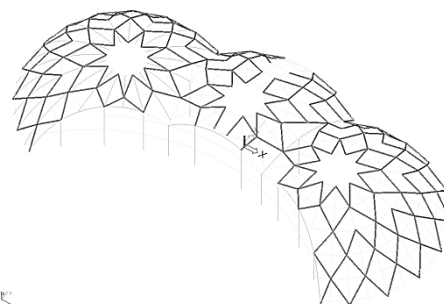
Pozn.: Zvýrazněné čáry představují prvky konstrukce typické pro konkrétní variantu (viz popis).

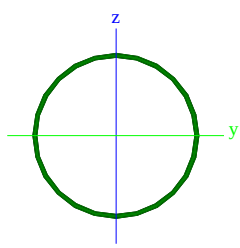
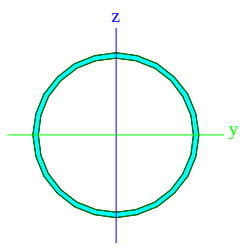
Použité průřezy:

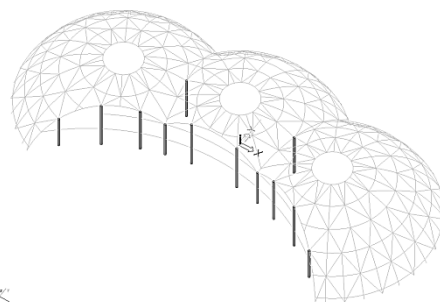
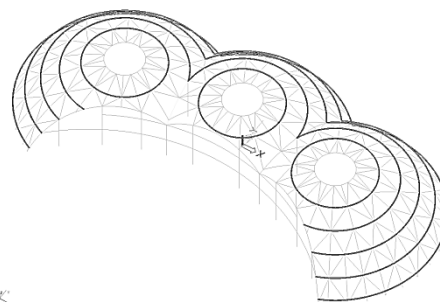
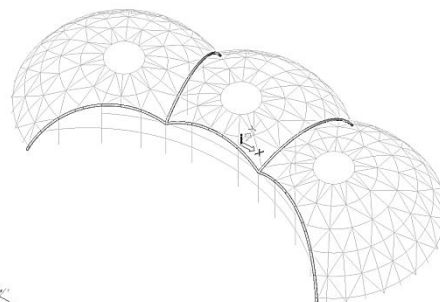
>	Jméno	CS1	
	Typ	RO168.3X4	
	Zdroj hodnot	Stahl im Hochbau / 14.Auflage Band I / Teil 1	
	Materiál	S 355	
	Výroba	tvářený za studena	
	Vzpěr y-y, z-z	c	c

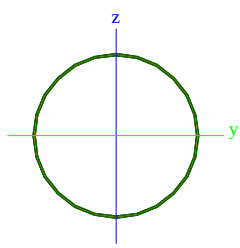
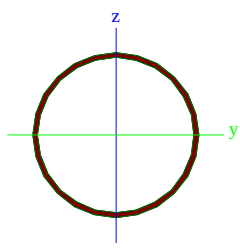


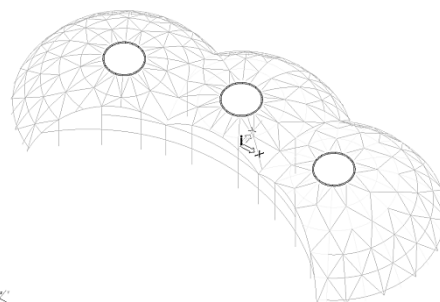
>	Obrázek		
>	A [m ²]	2,0600e-003	
	A _{y, z} [m ²]	1,3114e-003	1,3114e-003
	I _{y, z} [m ⁴]	6,9700e-006	6,9700e-006
	I _w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+000	1,3934e-005
	W _{el y, z} [m ³]	8,2800e-005	8,2800e-005
	W _{pl y, z} [m ³]	1,0740e-004	1,0740e-004
	d _{y, z} [mm]	0	0
	c _{YLSS, ZLSS} [mm]	0	0
	alfa [deg]	0,00	
	AL [m ² /m]	5,3270e-001	
>	Jméno	CS2	
	Typ	RO108X4.5	
	Zdroj hodnot	Stahl im Hochbau / 14.Auflage Band I / Teil 1	
	Materiál	S 355	
	Výroba	válcovaný	
	Vzpěr y-y, z-z	a	a
>	Obrázek		
>	A [m ²]	1,4600e-003	
	A _{y, z} [m ²]	9,2946e-004	9,2946e-004
	I _{y, z} [m ⁴]	1,9600e-006	1,9600e-006
	I _w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+000	3,9185e-006
	W _{el y, z} [m ³]	3,6400e-005	3,6400e-005
	W _{pl y, z} [m ³]	4,8000e-005	4,8000e-005
	d _{y, z} [mm]	0	0
	c _{YLSS, ZLSS} [mm]	0	0
	alfa [deg]	0,00	
	AL [m ² /m]	3,4377e-001	
>	Jméno	CS5	
	Typ	RO298.5X7.1	
	Zdroj hodnot	Stahl im Hochbau / 14.Auflage Band I / Teil 1	
	Materiál	S 355	
	Výroba	válcovaný	
	Vzpěr y-y, z-z	a	a

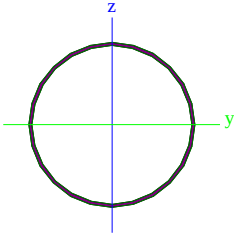


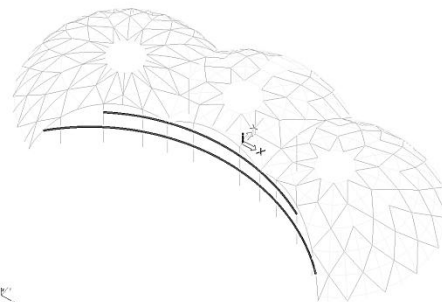
>	Obrázek		
>	A [m ²]	6,5000e-003	
	A _{y, z} [m ²]	4,1380e-003	4,1380e-003
	I _{y, z} [m ⁴]	6,9030e-005	6,9030e-005
	I _w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+000	1,3798e-004
	W _{el y, z} [m ³]	4,6300e-004	4,6300e-004
	W _{pl y, z} [m ³]	6,0000e-004	6,0000e-004
	d _{y, z} [mm]	0	0
	c _{YLSS, ZLSS} [mm]	0	0
	alfa [deg]	0,00	
	AL [m ² /m]	9,4482e-001	
>	Jméno	CS6	
	Typ	RO127X4	
	Zdroj hodnot	Stahl im Hochbau / 14.Auflage Band I / Teil 1	
	Materiál	S 355	
	Výroba	válcovaný	
	Vzpěr y-y, z-z	a	a
>	Obrázek		
>	A [m ²]	1,5500e-003	
	A _{y, z} [m ²]	9,8676e-004	9,8676e-004
	I _{y, z} [m ⁴]	2,9300e-006	2,9300e-006
	I _w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+000	5,8461e-006
	W _{el y, z} [m ³]	4,6100e-005	4,6100e-005
	W _{pl y, z} [m ³]	6,0200e-005	6,0200e-005
	d _{y, z} [mm]	0	0
	c _{YLSS, ZLSS} [mm]	0	0
	alfa [deg]	0,00	
	AL [m ² /m]	4,0296e-001	
>	Jméno	CS7	
	Typ	RO298.5X4	
	Zdroj hodnot	Stahl im Hochbau / 14.Auflage Band I / Teil 1	
	Materiál	S 355	
	Výroba	válcovaný	
	Vzpěr y-y, z-z	a	a



>	Obrázek		
>	A [m ²]	3,7000e-003	
	A _{y, z} [m ²]	2,3555e-003	2,3555e-003
	I _{y, z} [m ⁴]	4,0130e-005	4,0130e-005
	I _w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+000	8,0243e-005
	W _{el y, z} [m ³]	2,6900e-004	2,6900e-004
	W _{pl y, z} [m ³]	3,4191e-004	3,4191e-004
	d _{y, z} [mm]	0	0
	c _{YLSS, ZLSS} [mm]	0	0
	alfa [deg]	0,00	
	AL [m ² /m]	9,4172e-001	
>	Jméno	CS8	
	Typ	RO177.8X5	
	Zdroj hodnot	Stahl im Hochbau / 14.Auflage Band I / Teil 1	
	Materiál	S 355	
	Výroba	válcovaný	
	Vzpěr y-y, z-z	a	a
>	Obrázek		
>	A [m ²]	2,7100e-003	
	A _{y, z} [m ²]	1,7252e-003	1,7252e-003
	I _{y, z} [m ⁴]	1,0140e-005	1,0140e-005
	I _w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+000	2,0262e-005
	W _{el y, z} [m ³]	1,1400e-004	1,1400e-004
	W _{pl y, z} [m ³]	1,4860e-004	1,4860e-004
	d _{y, z} [mm]	0	0
	c _{YLSS, ZLSS} [mm]	0	0
	alfa [deg]	0,00	
	AL [m ² /m]	5,6355e-001	
>	Jméno	CS9	
	Typ	RO219.1X4	
	Zdroj hodnot	Stahl im Hochbau / 14.Auflage Band I / Teil 1	
	Materiál	S 355	
	Výroba	válcovaný	
	Vzpěr y-y, z-z	a	a



>	Obrázek		
>	A [m ²]	2,7000e-003	
	A y, z [m ²]	1,7189e-003	1,7189e-003
	I y, z [m ⁴]	1,5640e-005	1,5640e-005
	I w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+000	3,1266e-005
	Wel y, z [m ³]	1,4300e-004	1,4300e-004
	Wpl y, z [m ³]	1,8241e-004	1,8241e-004
	d y, z [mm]	0	0
	c YLSS, ZLSS [mm]	0	0
	alfa [deg]	0,00	
	AL [m ² /m]	6,9229e-001	



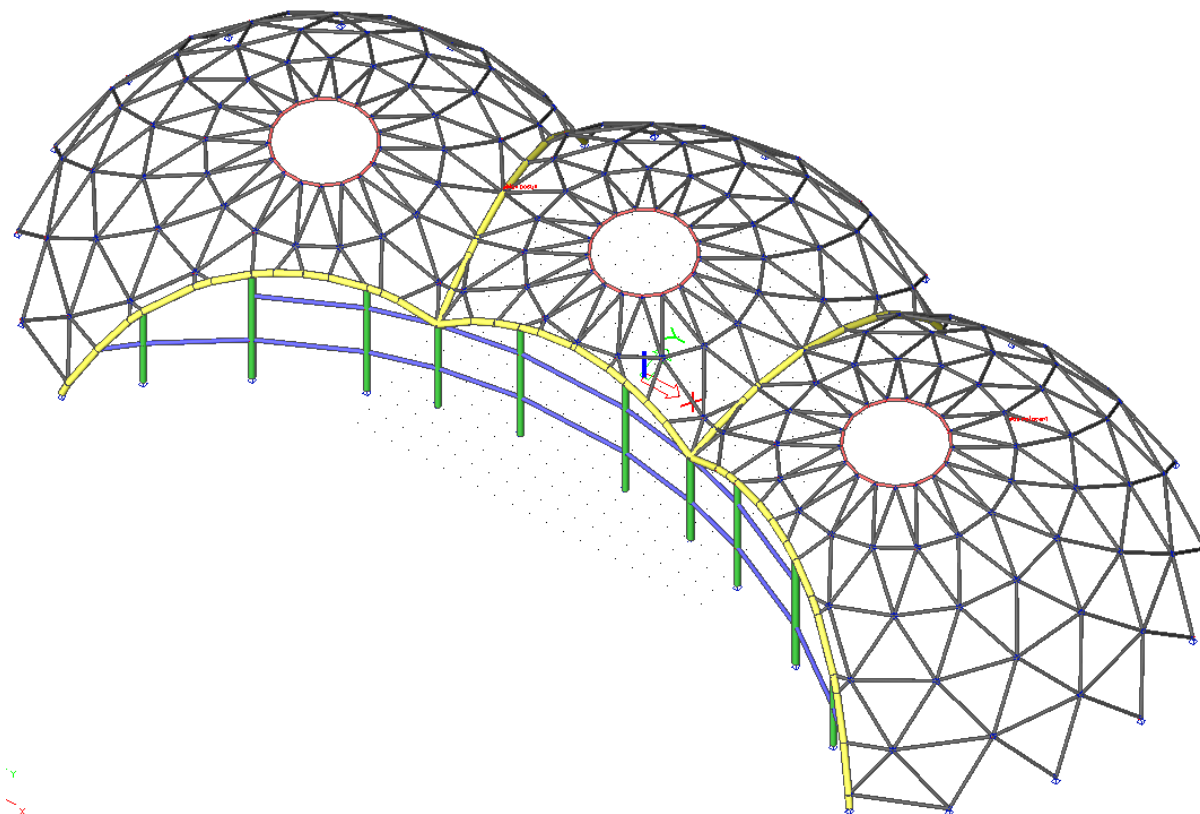
3.2.2 Výsledky dimenzování:

Stav	Prut	css	mat	dx [mm]	jed.posudek [-]	pevnost [-]	stab. posudek [-]
CO2/1	B7	CS7 - RO298.5X4	S 355	0,000	0,33	0,15	0,33
CO2/2	B564	CS5 - RO298.5X7.1	S 355	660,263	0,87	0,13	0,87
CO2/3	B112	CS6 - RO127X4	S 355	1528,817	0,82	0,51	0,82
CO2/4	B537	CS1 - RO168.3X4	S 355	10062,733	0,85	0,11	0,85
CO2/5	B280	CS8 - RO177.8X5	S 355	489,530	0,94	0,15	0,94
CO1/6	B5	CS9 - RO219.1X4	S 355	5671,623	0,44	0,05	0,44
CO2/7	B824	CS2 - RO108X4.5	S 355	0,000	0,92	0,30	0,92

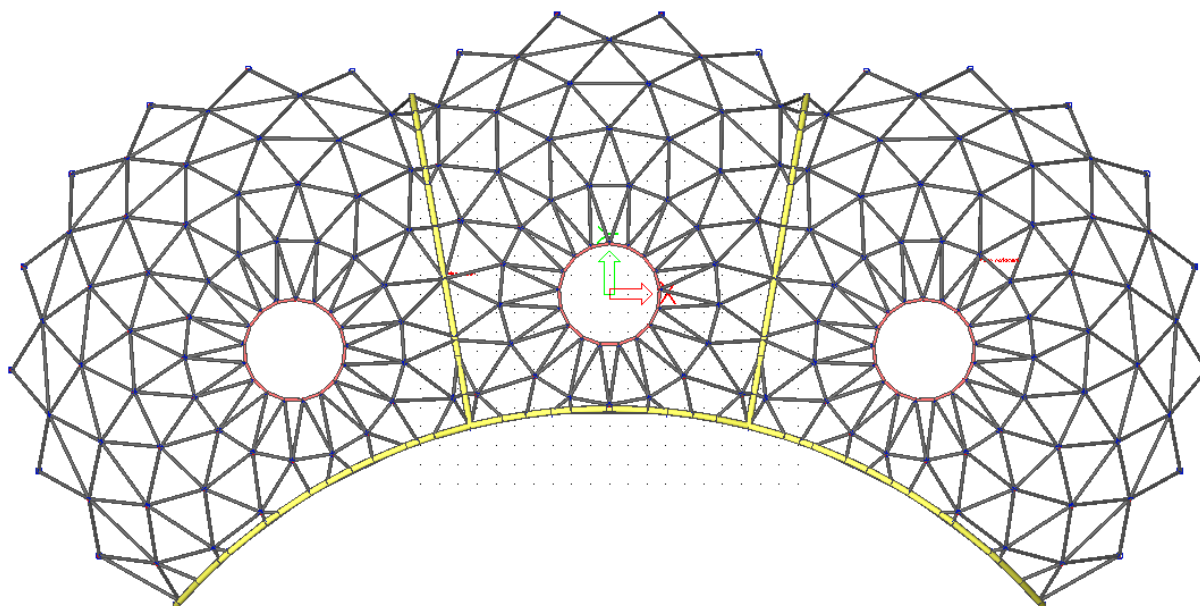
Celková hmotnost konstrukce: 39 920 kg

3.3 Variantní řešení č. 3

Varianta č. 3 vychází z principů Föpplovy kopule. Základem kopule je 17-ti úhelník, který se v každé výškové úrovni pootočí tak, že vrcholy n-úhelníku vždy směřují do poloviny délky strany n-úhelníku, takže pospojováním vrcholů dostaneme plošné trojúhelníky, na které se vynáší střešní plášť pavilonu. Obdobně jako v prvním případě, tak i zde je pavilon vodorovně rozdělen do 5 vodorovných úseků. Navíc jsou výškové úrovně n-úhelníků voleny tak, aby nevznikaly nadbytečné styčníky. To znamená, že ve 4. Výškové úrovni se vrcholy n-úhelníku protínají s průsečnou křivkou vzniklou průnikem kopulí. Tudíž se všechny styčníky dotýkají pomyslné kulové plochy. Průsečné pruty mezi kopulemi a horní hrana fasády jsou na rozdíl od předchozích dvou variant tvořeny lomenou křivkou, což je dáno zvolenou koncepcí Föpplovy kopule. Rámová spojení se nevyhnula ani této konstrukci, společný prostorový rám tvoří všechny průsečné pruty jak mezi kopulemi, tak horní hrana fasády. Navíc pro omezení vodorovných deformací jsou prostřední 4 sloupky vetknuty a k horní hraně fasády připojeny taky rámově.



Axonometrický pohled

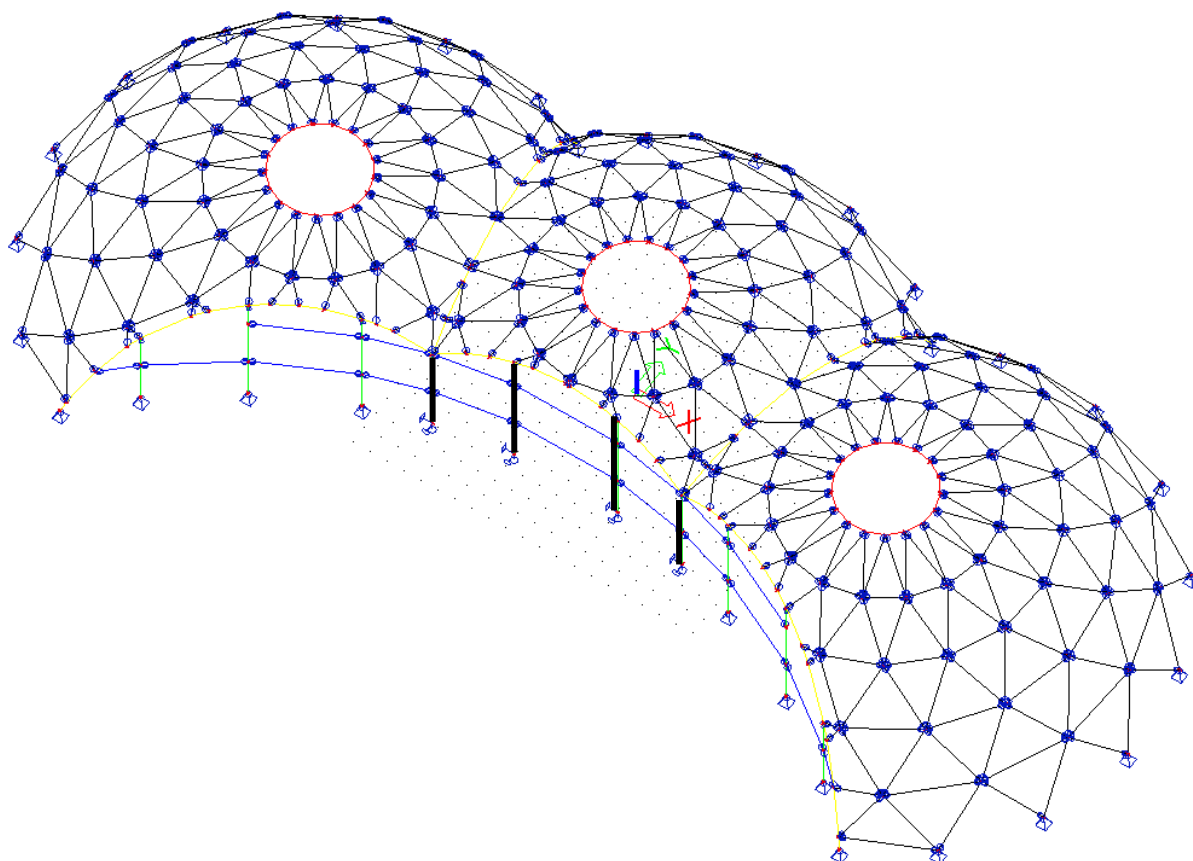


Půdorysný pohled

3.3.1 Statický výpočet:

Statická analýza ocelové nosné konstrukce byla provedena metodou konečných prvků ve výpočetním softwaru SCIA Engineer od společnosti Nemetschek. Výpočtem byl analyzován prostorový model

konstrukce na účinky všech zatížení a jejich příznivých a nepříznivých kombinací podle ČSN EN 1990. Schéma níže znázorňuje statický model, to znamená, definování podpor, vazeb mezi pruty, vzpěrných délek a průřezů.

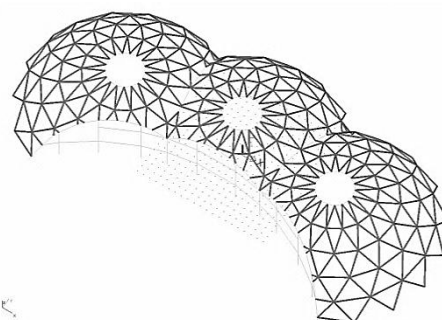


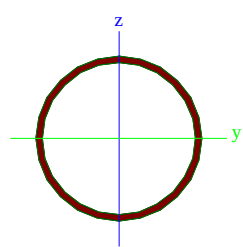
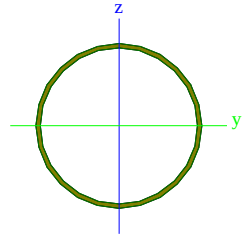
Statický model konstrukce

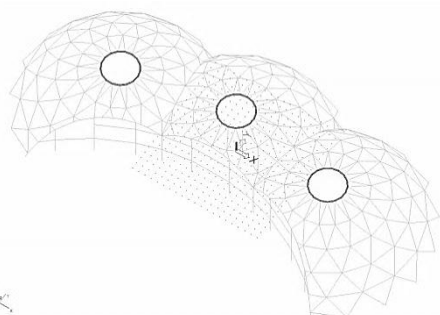
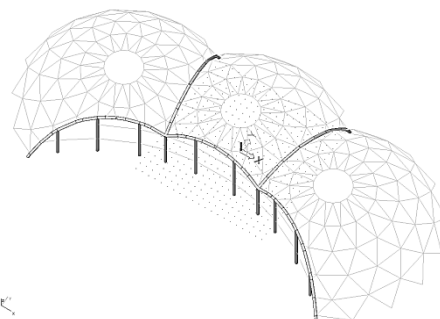
Pozn.: Zvýrazněné čáry představují prvky konstrukce typické pro konkrétní variantu (viz popis).

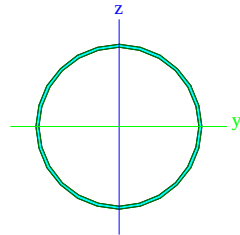
Použité průřezy:

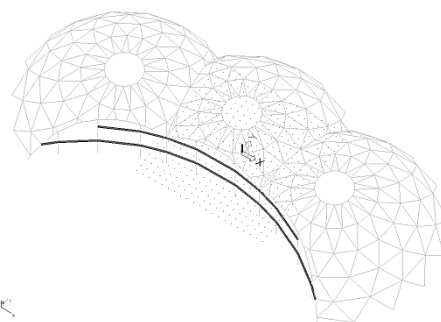
>	Jméno	CS1	
>	Typ	RO152.4X4	
	Zdroj hodnot	Stahl im Hochbau / 14.Auflage Band I / Teil 1	
	Materiál	S 355	
	Výroba	tvářený za studena	
	Vzpěr y-y, z-z	c	c
>	Obrázek		



>	A [m ²]	1,8600e-003	
>	A y, z [m ²]	1,1841e-003	1,1841e-003
	I y, z [m ⁴]	5,1400e-006	5,1400e-006
	I w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+000	1,0184e-005
	Wel y, z [m ³]	6,7400e-005	6,7400e-005
	Wpl y, z [m ³]	8,7600e-005	8,7600e-005
	d y, z [mm]	0	0
	c YLSS, ZLSS [mm]	0	0
	alfa [deg]	0,00	
	AL [m ² /m]	4,8150e-001	
>	Jméno	CS2	
	Typ	RO323.9X12.5	
	Zdroj hodnot	Stahl im Hochbau / 14.Auflage Band I / Teil 1	
	Materiál	S 355	
	Výroba	válcovaný	
	Vzpěr y-y, z-z	a	a
>	Obrázek		
>	A [m ²]	1,2200e-002	
	A y, z [m ²]	7,7668e-003	7,7668e-003
	I y, z [m ⁴]	1,4850e-004	1,4850e-004
	I w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+000	2,9645e-004
	Wel y, z [m ³]	9,1700e-004	9,1700e-004
	Wpl y, z [m ³]	1,2060e-003	1,2060e-003
	d y, z [mm]	0	0
	c YLSS, ZLSS [mm]	0	0
	alfa [deg]	0,00	
	AL [m ² /m]	1,0300e+000	
>	Jméno	CS3	
	Typ	RO152.4X4	
	Zdroj hodnot	Stahl im Hochbau / 14.Auflage Band I / Teil 1	
	Materiál	S 355	
	Výroba	válcovaný	
	Vzpěr y-y, z-z	a	a
>	Obrázek		
>	A [m ²]	1,8600e-003	
	A y, z [m ²]	1,1841e-003	1,1841e-003
	I y, z [m ⁴]	5,1400e-006	5,1400e-006
	I w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+000	1,0184e-005
	Wel y, z [m ³]	6,7400e-005	6,7400e-005
	Wpl y, z [m ³]	8,7600e-005	8,7600e-005
	d y, z [mm]	0	0
	c YLSS, ZLSS [mm]	0	0



	alfa [deg]	0,00	
	AL [m ² /m]	4,8150e-001	
>	Jméno	CS4	
	Typ	RO219.1X4	
	Zdroj hodnot	Stahl im Hochbau / 14.Auflage Band I / Teil 1	
	Material	S 355	
	Výroba	válcovaný	
	Vzpěr y-y, z-z	a	a
>	Obrázek		
>	A [m ²]	2,7000e-003	
	A y, z [m ²]	1,7189e-003	1,7189e-003
	I y, z [m ⁴]	1,5640e-005	1,5640e-005
	I w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+000	3,1266e-005
	Wel y, z [m ³]	1,4300e-004	1,4300e-004
	Wpl y, z [m ³]	1,8241e-004	1,8241e-004
	d y, z [mm]	0	0
	c YLSS, ZLSS [mm]	0	0
	alfa [deg]	0,00	
	AL [m ² /m]	6,9229e-001	



3.3.2 Výsledky dimenzování:

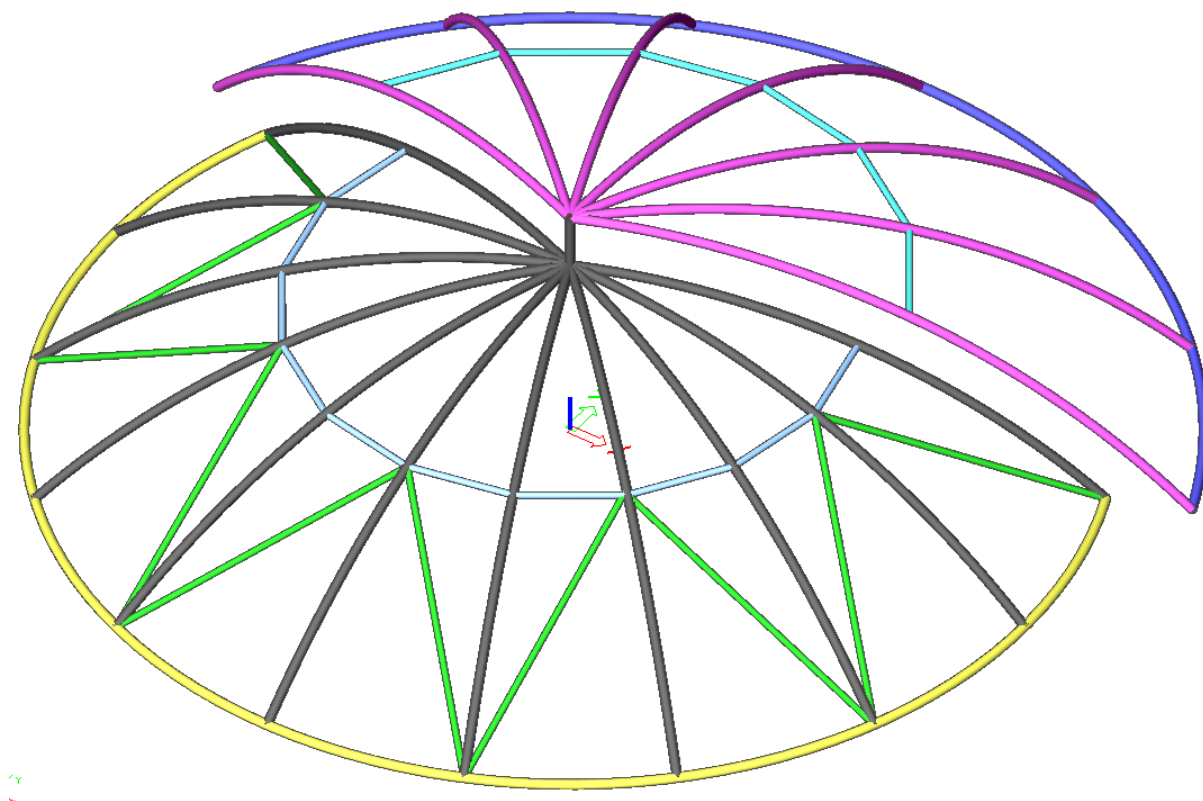
Stav	Prut	css	mat	dx [mm]	jed.posudek [-]	pevnost [-]	stab. posudek [-]
CO1/4	B410	CS2 - RO323.9X12.5	S 355	0,000	0,93	0,21	0,93
CO1/5	B124	CS1 - RO152.4X4	S 355	3758,613	0,74	0,29	0,74
CO1/4	B67	CS3 - RO152.4X4	S 355	0,000	0,45	0,15	0,45
CO1/4	B699	CS4 - RO219.1X4	S 355	0,000	0,26	0,07	0,26

Celková hmotnost konstrukce: 44 114 kg

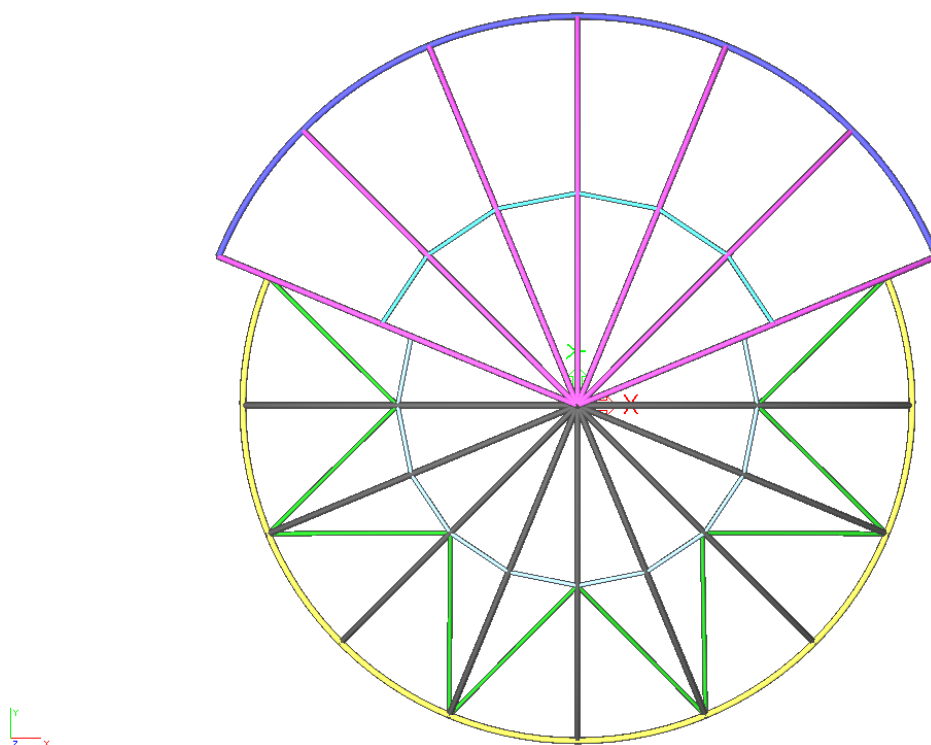
3.4 Větrací vrchlík

V nejvyšší úrovni, na poslední rovnoběžce kopulí jsou upevněny větrací vrchlíky. Jde o kopulovitou konstrukci výšky 1,46 m sestávající ze dvou hlavních částí – pevné a pohyblivé části. Pohyblivý segment tvoří 3/8 kruhu, výseč pod úhlem 135° a sestává ze 7 zakřivených žeber ztuženými rovnými pruty v jejich polovině délky. Styčníky u pohyblivého segmentu jsou rámové, v provedení s klouby by manipulace byla problematická. Segment obíhá po kolejnici po vnějším pasu horní příhradové konstrukci. Nepohyblivý segment je odsazen o šířku 0,27 m směrem dovnitř pavilonu. Odsazení jednak umožňuje uložení vlastního pohonu pohyblivého segmentu, ale zejména jeho volný pohyb. Takto nedochází ke kontaktu pevného a nepohyblivého segmentu, ale pohyblivý segment jenom projíždí nad pevným do úplného otevření vrchlíku. Otvírání pohyblivé části je uvažováno na samostatný elektromotor, avšak jeho řešení není součástí této práce. Nepohyblivý segment sestává

z 11 žebér ztuženými vodorovnými pruty v polovině jejich délky a je uchycen na vnitřním pásu příhradového kruhu.



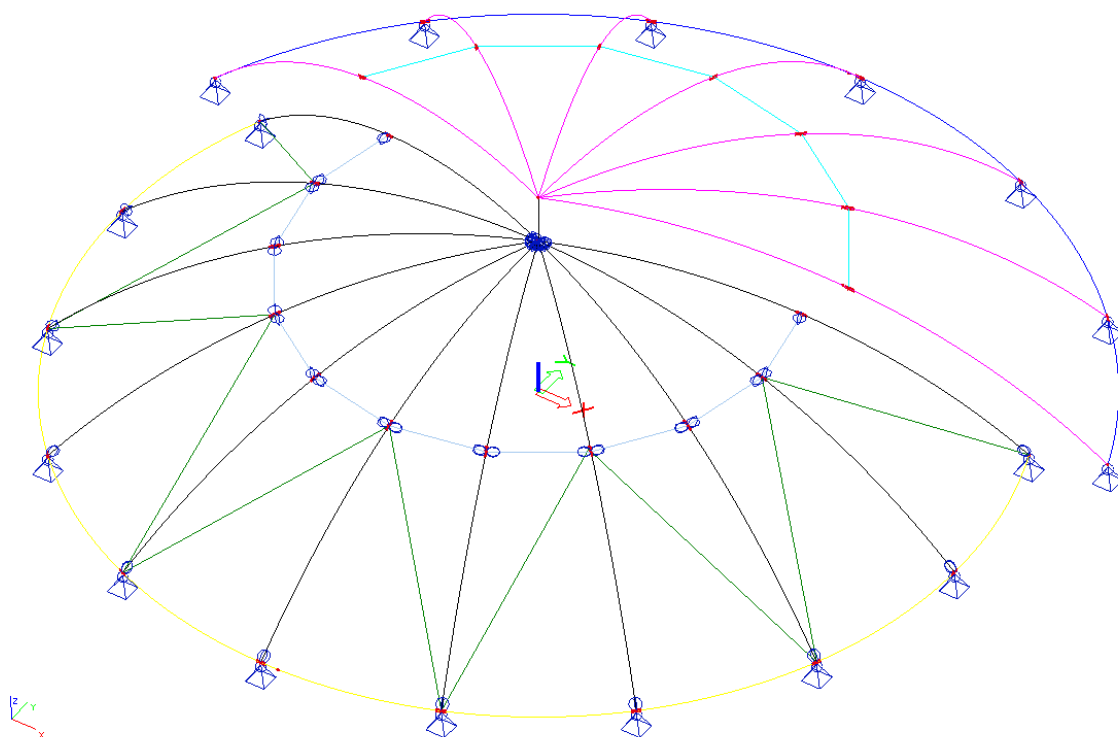
Axonometrický pohled



Půdorysný pohled

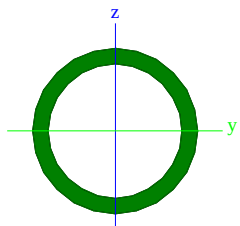
3.4.1 Statický výpočet:

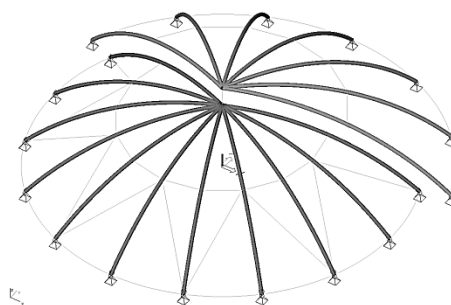
Statická analýza ocelové nosné konstrukce byla provedena metodou konečných prvků ve výpočetním softwaru SCIA Engineer od společnosti Nemetschek. Výpočtem byl analyzován prostorový model konstrukce na účinky všech zatížení a jejich příznivých a nepříznivých kombinací podle ČSN EN 1990. Schéma níže znázorňuje statický model, to znamená, definování podpor, vazeb mezi pruty, vzpěrných délek a průřezů.

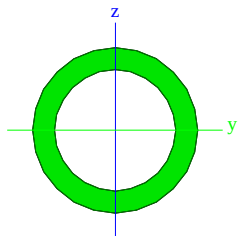


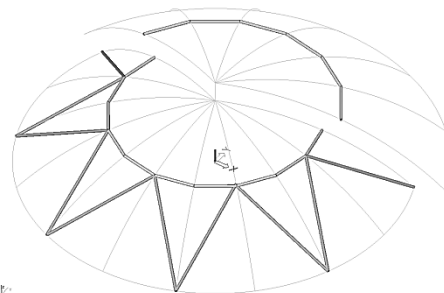
Statický model konstrukce

Použité průřezy:

>	Jméno	CS1	
	Typ	RO42.4X2.6	
	Zdroj hodnot	Stahl im Hochbau / 14.Auflage Band I / Teil 1	
	Materiál	S 235	
	Výroba	válcovaný	
	Vzpěr y-y, z-z	a	a
>	Obrázek		
>	A [m ²]	4,8300e-004	
	A y, z [m ²]	3,0749e-004	3,0749e-004
	I y, z [m ⁴]	8,9900e-008	8,9900e-008
	I w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+000	1,7789e-007
	W _{el} y, z [m ³]	4,2400e-006	4,2400e-006
	W _{pl} y, z [m ³]	5,9178e-006	5,9178e-006
	d y, z [mm]	0	0
	c YLSS, ZLSS [mm]	0	0
	alfa [deg]	0,00	
	AL [m ² /m]	1,3720e-001	
>	Jméno	CS2	



	Typ	RO30X4	
	Zdroj hodnot	Stahl im Hochbau / 14.Auflage Band I / Teil 1	
	Materiál	S 235	
	Výroba	válcovaný	
	Vzpěr y-y, z-z	a	
>	Obrázek		
>	A [m ²]	3,2700e-004	
	A _{y, z} [m ²]	2,0817e-004	2,0817e-004
	I _{y, z} [m ⁴]	2,8300e-008	2,8300e-008
	I _w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+000	5,5217e-008
	W _{el y, z} [m ³]	1,8800e-006	1,8800e-006
	W _{pl y, z} [m ³]	2,7200e-006	2,7200e-006
	d _{y, z} [mm]	0	0
	c _{YLSS, ZLSS} [mm]	0	0
	alfa [deg]	0,00	
	AL [m ² /m]	9,8243e-002	



3.4.2 Výsledky dimenzování:

Stav	Prut	css	mat	dx [mm]	jed.posudek [-]	pevnost [-]	stab. posudek [-]
CO1/1	B4	CS1 - RO42.4X4	S 235	0,000	0,49	0,13	0,49
CO1/1	B6	CS2 - RO30X4	S 235	0,000	0,39	0,33	0,39

Celková hmotnost konstrukce: 250 kg

4 Zhodnocení a výběr varianty

Použití Föpplovy kopule bylo při tomto tvaru konstrukce vyloučeno. Föpplovou kopuli je výhodné používat v případě samostatně stojících, celistvých kopulí. V našem případě vzniká v průsečných místech spousta nevzhledných styčníků, což odporuje architektonickému zadání – hladké zaoblení. Z výsledků celkové hmotnosti konstrukce jednotlivých variant je patrné, že přidání sloupů v místech největších průhybů na průsečném prutu mezi kopulemi dopomohou ke snížení hmotnosti, porovnáváme-li první dvě varianty. Navíc tyto sloupky významně snižují deformace na průsečném prutu mezi kopulemi a také vodorovné deformace sloupů, což je příznivé pro použití prosklené fasády, které jsou náchylné na velké výkyvy. Zejména z těchto důvodů byla zvolena varianta č. 2 k posouzení dalších konstrukčních detailů. V podrobném návrhu vybrané varianty lze očekávat mírnou změnu celkové hmotnosti při řešení konstrukčních detailů.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ v Brně
Fakulta Stavební
Veveří 331/95
602 00 Brno
Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

Bc. Tomáš Petřík
Brno, 2013

5 Použité zdroje

- [1] FALTUS, František. Ocelové konstrukce pozemního stavitelství. Praha: SNTL, 1957, 155 s.
- [2] HÖLZL, Tamara. Stabwerkschalen – Strukturen [online]. URL: <<http://www.wiener-gasometer.info/dokumente/Stabwerksschalen.pdf>>