



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVABNÍ MECHANIKY

INSTITUTE OF STRUCTURAL MECHANICS

NÁVRH A ANALÝZA NOSNÉ KONSTRUKCE DOMU VE TVARU KOULE

DESIGN AND ANALYSIS OF STRUCTURE OF SPHERICAL HOUSE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ján Kolodzej

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc.Ing.Petr Frantík ,Ph.D.

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav stavební mechaniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Ján Kolodzej
Název	Návrh a analýza nosné konstrukce domu ve tvaru koule
Vedoucí práce	doc. Ing. Petr Frantík, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2018
Datum odevzdání	24. 5. 2019

V Brně dne 30. 11. 2018

prof. Ing. Drahomír Novák, DrSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

Literatura dle pokynů vedoucího práce.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Nastudování potřebných znalostí dle pokynů vedoucího práce. Zorientování se v problematice. Navržení a posudek nosné konstrukce domu.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

doc. Ing. Petr Frantík, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se věnuje navržení dvou různých variant konstrukce domu ve tvaru koule. Návrhy konstrukcí vznikaly v zájmu investora, s kterým byly obě varianty konzultovány a mají sloužit jako ideový návrh pro budoucí projekční činnost. Varianty se liší druhem použitého materiálu a geometrií nosné konstrukce.

KLÍČOVÁ SLOVA

kulový dům, kupole, železobeton, lepené lamelové dřevo, rodinný dům, koule

ABSTRACT

This bachelor thesis is dedicated to designing of two different versions of the construction for a spherical house. The design was developed upon an interest of the investor, with whom were both versions also consulted and is supposed to lead to an actual project and realization. The two versions will differ in usage of building materials and the construction geometry.

KEY WORDS

spherical house, dome, reinforced concrete, glue laminated timber, family detached house, sphere

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Ján Kolodzej *Návrh a analýza nosné konstrukce domu ve tvaru koule*. Brno, 2019. 43 s.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební
mechaniky. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Frantík, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ:

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

V Brně dne 25.4.2019

.....
podpis autora
Ján Kolodzej

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu práce panu doc.Ing. Petr Frantikovi, Ph.D., za odborné vedení, ochotu a pomoc při zpracování mé bakalářské práce, investorovi za jeho čas a zájem, rodině a známým za podporu.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVABNÍ MECHANIKY

INSTITUTE OF STRUCTURAL MECHANICS

NÁVRH A ANALÝZA NOSNÉ KONSTRUKCE DOMU VE TVARU KOULE

DESIGN AND ANALYSIS OF STRUCTURE OF SPHERICAL HOUSE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ján Kolodzej

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc.Ing. Petr Frantík, Ph.D.

BRNO 2019

OBSAH

ÚVOD	1
1 ZÁMĚR INVESTORA A DANÉ PARAMETRY	2
2 ZREALIZOVANÉ OBJEKTY	4
3 VLASTNÍ NÁVRHY	6
3.1 Varianta dřevo	6
3.1.1 Konstrukční řešení	7
3.1.2 Horizontální konstrukce	8
3.1.3 Svislé konstrukce	9
3.2 Varianta železobeton	9
3.2.1 Horizontální konstrukce	9
3.2.2 Svislé konstrukce	9
3.3 Založení objektu	10
4 PODROBNÝ POPIS VÝPOČTU VARIANT	11
4.1 Zatížení	11
4.1.1 Zatížení – verze dřevo	11
4.1.2 Zatížení – verze železobeton	12
4.1.3 Kombinace zatížení	13
4.2 Varianta dřevo	13
4.2.1 Reakce	13
4.2.2 Průhyby	14
4.2.3 Napětí	16
4.2.4 Vnitřní síly	16
4.3 Varianta železobeton	18
4.3.1 Reakce	19
4.3.2 Průhyby	20
4.3.3 Napětí	21
4.3.4 Vnitřní síly	22
4.4 Materiálové charakteristiky	24
4.4.1 Varianta železobeton	24
4.4.2 Varianta dřevo	24
5 POROVNÁNÍ VERZÍ A CENA KONSTRUKCE	25
5.1 Nedostatky výpočtu	26
5.2 Cena konstrukce	26
5.2.1 Varianta dřevo	26
5.2.2 Varianta železobeton	27
ZÁVĚR	29
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	30
Zákony a normy	30
Bibliografie	30
Internetové zdroje	30

Použitý software.....	31
Seznam zkratk	31
Seznam obrázků	32

ÚVOD

Předmětem této bakalářské práce je navrhnout a analyzovat nosnou konstrukci domu, která bude mít kulový tvar. Návrh bude spočívat ve dvou variantách a budou se lišit druhem použitého materiálu a geometrií nosné konstrukce. Tato práce vznikala ve spolupráci s investorem, který má zájem podobnou konstrukci zrealizovat a má sloužit jako ideová předloha k projekční činnosti.

V úvodu je vysvětlený záměr investora, výběr materiálů a geometrie a návrh konstrukce. V analytické části jsou rozepsány jednotlivé segmenty po statické stránce. Závěr obsahuje celkové zhodnocení variant, jejich porovnání a přibližná cena.

Podkladem pro návrh a výpočet byly informace od investora, působící zatížení a geologické poměry v dané navrhované oblasti, zrealizované objekty podobného a stejného tvaru, architektonické návrhy.

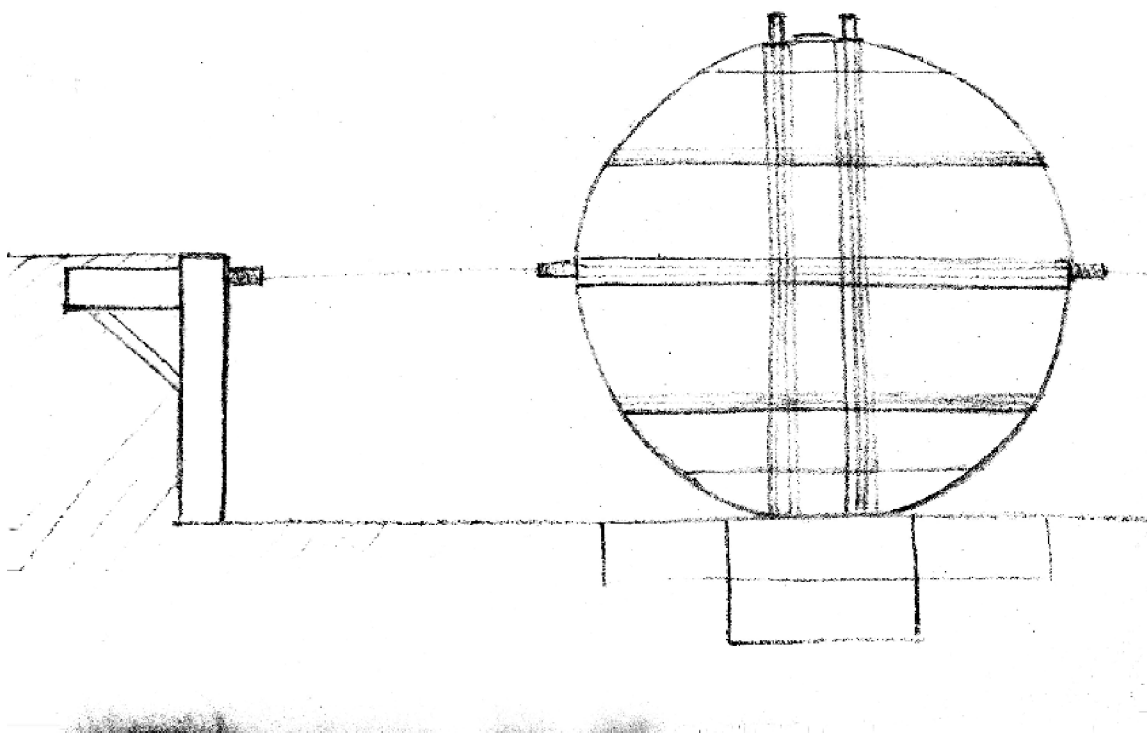
1 ZÁMĚR INVESTORA A DANÉ PARAMETRY

Záměr investora je postavit dvoupodlažní, nepodsklepený dům ve tvaru koule, který bude využíván pro účely rodinného domu. Objekt bude navrhován v Boskovické oblasti – katastrální území Boskovice [608327].

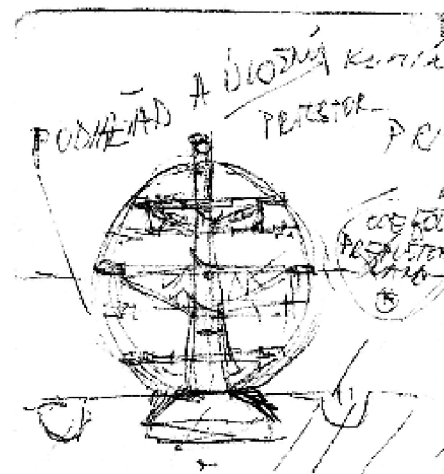
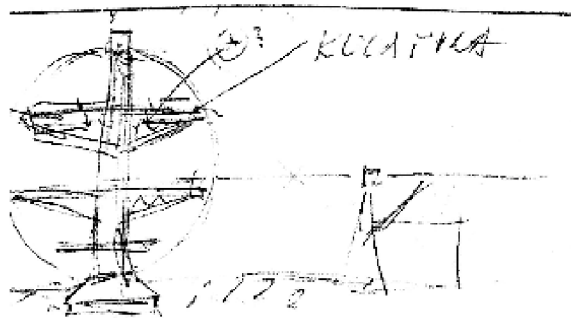
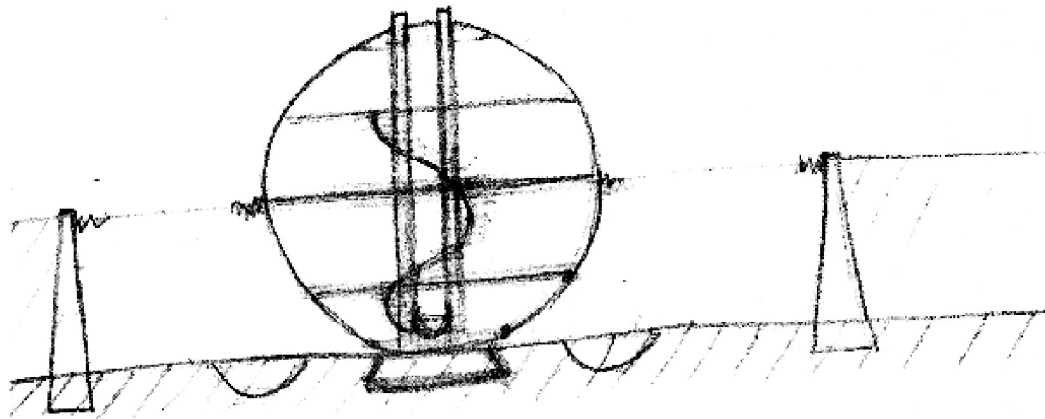
Podmínkou investora je postavit dům, jehož podlahová plocha bude mít přibližně 150 m² a výškou objektu odpovídající dané ploše a jedno nadzemní podlaží. Půdorysní průměr objektu se má pohybovat kolem 10 m.

Investor měl koncept od architekta, jak by měl daný objekt vypadat. Na základě tohoto návrhu a požadavků byli určeny základní geometrické rozměry domu.

Materiál konstrukce domu byl investorem vybírán mezi dvěma stavebními materiály a to mezi dřevem a železobetonem. Tyto dvě varianty jsou v práci blíže analyzovány se zřetelem na kvalitu a cenu finálního řešení. V obou variantách jsou vypracovány cenové ohodnocení hrubé stavby a jejich porovnání. Na obr. 1 a na obr. 2 jsou zobrazeny architektonické návrhy podle představy investora.



Obr. 1 Koncept rodinného domu ve tvaru koule od architekta se znázorněním hlavních sloupů a nadzemního podlaží



Obr. 2 Koncept od architekta s přidáním schodiště

2 ZREALIZOVANÉ OBJEKTY

V dnešní době existuje mnoho rodinných domů, které mají kulový tvar. Důvodem proč se realizují, je několik, ale asi nejvýznamnějším je jeho atypický tvar s porovnáním u běžných rodinných domů obdélníkového tvaru a jeho architektonická nadřadnost v okolní zástavbě. Na obr. 3 a na obr. 4 jsou znázorněny možné realizace kulovitých rodinných domů.



Obr. 3 Zrealizovaný objekt rodinného domu kulového tvaru v Rusku [www.en.skydome.pro/]



Obr. 4 Interiér kulového rodinného domu [www.toptenrealestatedeals.com]



Obr. 5 Zrealizovaný rodinný dům tzv. Oko bouře v USA [www.pareto.gr]

Obr. 5 znázorňuje jeden z nejznámějších kulovitých rodinných domů. Objekt je pojmenován jako Oko bouře. Tato budova byla zrealizována dizajnérem Georgem Paulem v USA. Celková cena objektu byla 600 000 amerických dolarů, což je přibližně 14 milionů českých korun. Výrobce tvrdí, že tento objekt je odolný vůči účinkům hurikánu kategorie 4, což je rychlost větru od 209-251 km/h, podle Saffirovy-Simpsonovy stupnice pro klasifikaci tropických cyklónů.

Nosná konstrukce objektu je realizována jako rotační železobetonová skořepina. Realizace byla konstruována pomocí obřího balonu, který měl tvar domu a následně se na něj uložila výztuž, která byla pokryta vrstvou stříkaného betonu.

Další zajímavou stavbou je soubor rodinných domů v Nizozemí, která byla realizována jako experiment již v roce 1968. Tento projekt je znázorněn na obr. 6. Návrh vznikl se záměrem vytvořit objekt, který by vytvářel iluzi bydlení ve vesmíru. Nosná konstrukce pozůstává ze dvou částí. Spodní část tvoří válcový prvek, ve kterém je umístěno schodiště. Horní část koulovitého tvaru je určena k bydlení.



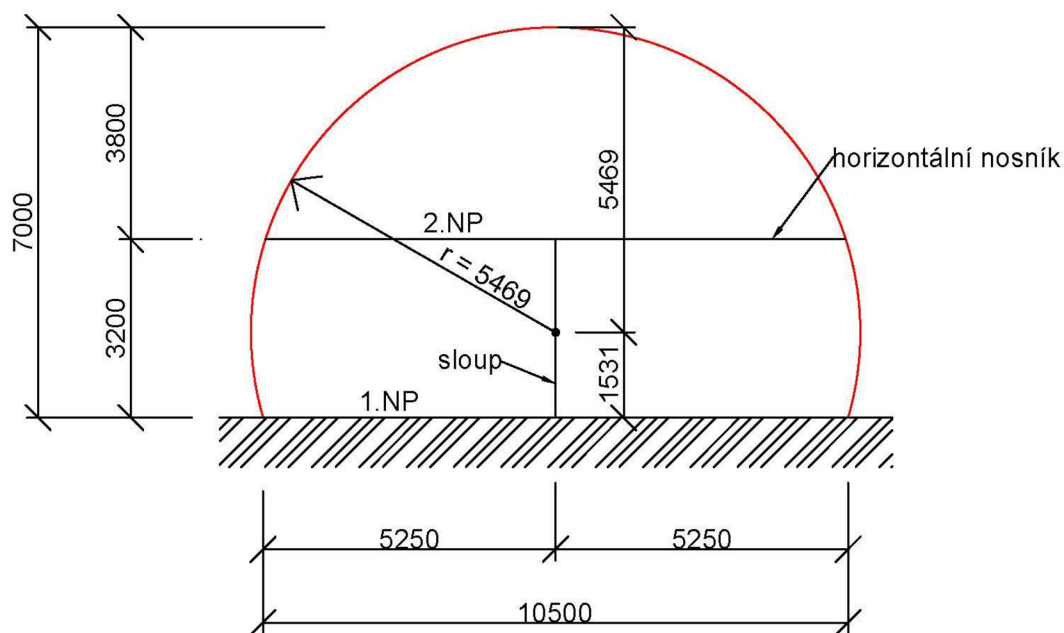
Obr. 6 Soubor rodinných kulatých domů v Nizozemí [www.inhabitat.com]

3 VLASTNÍ NÁVRHY

Návrh kulového rodinného domu spočívá ve dvou variantách, varianta dřevo a varianta železobeton. Obě se liší v nosním konstrukčním systému a materiálem ze kterého jsou navrženy.

Objekt má kulovitý tvar, kde výška objektu je 7 m, půdorysný průměr je 10,5 m a poloměr křivosti je 5,469 m. Objem objektu je cca 480 m³. V návrhu budou zmiňované dvě varianty: varianta dřevo a varianta železobeton. Základní návrh geometrie řešeného domu byl stanoven podle obr.7. Tato geometrická schéma je stejná pro obě varianty.

Celková výška objektu je 7 m, druhé nadzemní podlaží je vy výšce +3,200 m, kruhový půdorysný průmět má průměr 10,5 m. Podlahová plocha celého objektu je přibližně 170 m². Tato plocha je uvažována bez jakékoliv vnitřní dělicí příčky a schodiště. Když do téhle podlahové plochy započítáme plochu, která bude potřebná na realizaci schodiště a příček, tak se dostaneme přibližně na hodnotu 145m². Výslední podlahová plocha objektu bude však záviset na tom, jaký typ schodiště a kolik vnitřních příček si zvolí investor. Obě varianty se zabývají jen návrhem nosné konstrukce.



Obr. 7 Základní geometrie rodinného domu ve tvaru koule

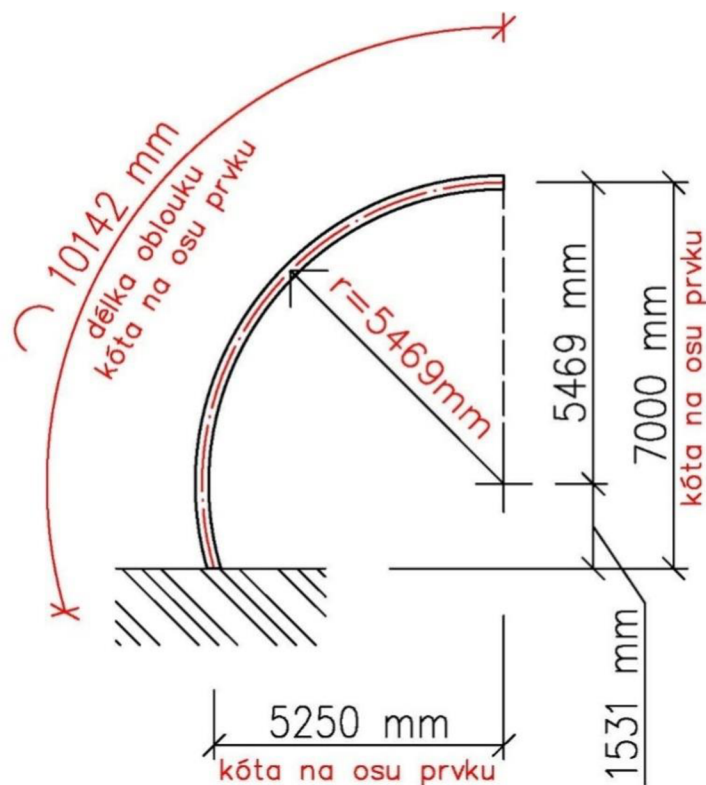
3.1 Varianta dřevo

Varianta dřevo je řešena jako dřevěná konstrukce, kde hlavní konstrukční prvek je zakřivený dřevěný lepený lamelový hranol tzv. BSH hranol. Hranoly jsou uloženy po ose kruhového půdorysného průmětu, takže budou vytvářet dřevěnou konstrukci

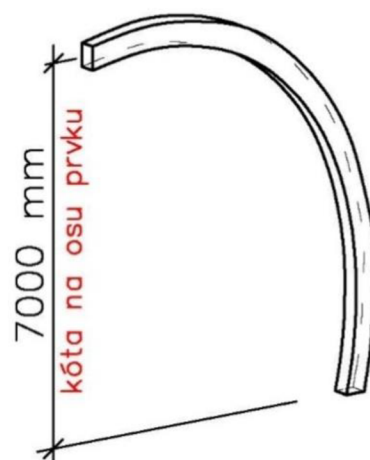
podobnou skořepině a budou horizontálně spojeny po obvodě konstrukce dalšími lepenými lamelovými hranoly. Tyto horizontální hranoly vytvářejí tzv. prstence, které celou konstrukci ztuží.

3.1.1 Konstrukční řešení

Jako hlavní nosní konstrukční prvek u varianty dřevo je zakřivený lepený lamelový hranol. Hranol má obdélníkový průřez o rozměru 220×360 mm [š × v]. Délka oblouku prvku na ose je 10142 mm, výška prvku je 7000 mm a půdorysní šířka 5250 mm.



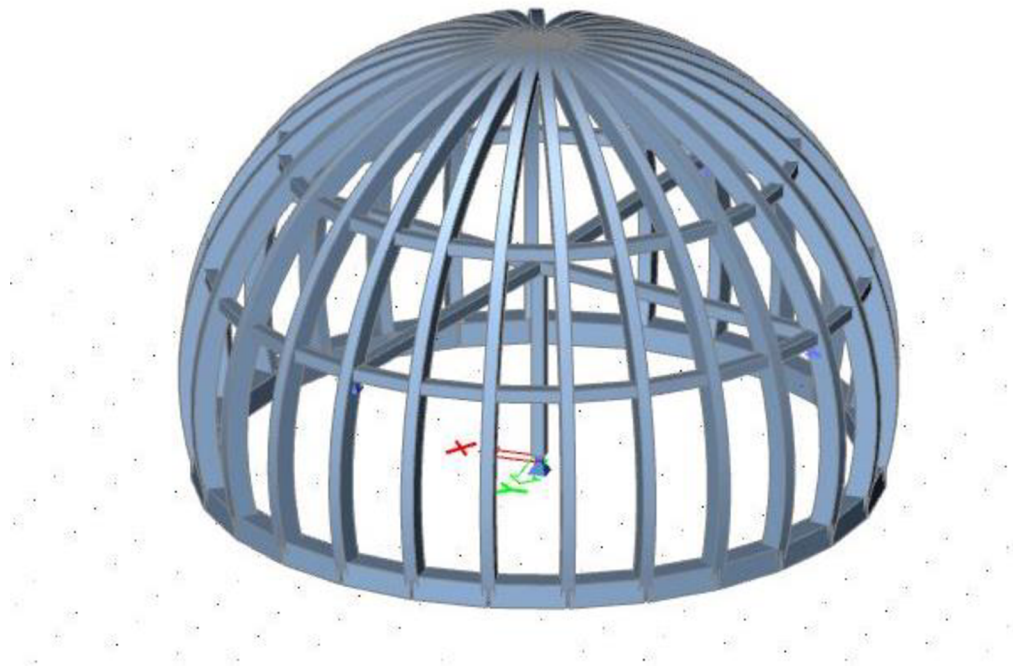
Obr. 8 Čelní pohled na nosný zakřivený hranol



Obr. 9 Axonometrie nosného zakřiveného hranolu

V tyhle variantě navrhuje jako materiál použité lepené lamelové dřevo. Navržený konstrukční prvek dřeva je uložen na půdorysný průmět konstrukce po jejím obvodě s odstupňováním po 1200 mm na spodní části. Následně se navržené obloukové prvky ztuží v horizontální rovině dalšími prvky z lepeného lamelového dřeva, ve třech výškových úrovních. Ztužení bude připomínat prstence, které budou uchyceny do hlavních obloukových hranolů čepovaným spojem.

Všechny nosné zakřivené hranoly mají stejné geometrické a materiálové vlastnosti. Počet nosných zakřivených prvků použitých pro nosnou konstrukci objektu je 27.

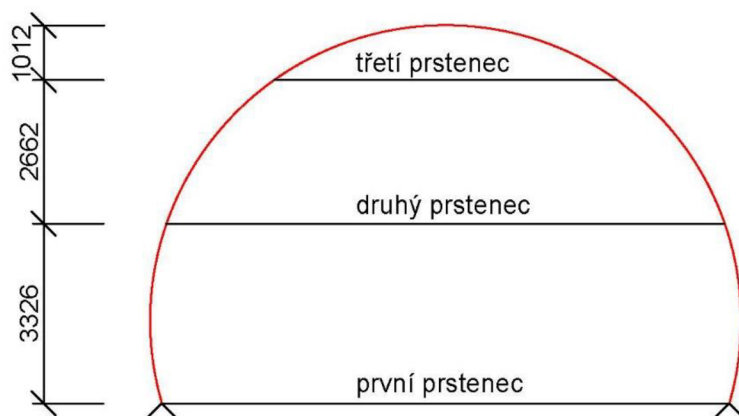


Obr. 10 Schéma nosné konstrukce pro variantu dřevo znázorněná aplikací Scia Engineer 18.1.

3.1.2 Horizontální konstrukce

U varianty dřevo jsou navrženy dva na sobě kolmé nosníky, které jsou ve středě podporovány sloupem. Konstrukce stropu je tvořena těmito horizontálami nosníky. Konstrukce je ve výškové úrovni +3,200 m. Jejich průřez je 220 × 220 mm. Materiál nosníku je lepené lamelové dřevo.

Do horizontálních konstrukcí se u varianty dřevo započítávají i tzv. prstence, které celou konstrukci ztužují. Tyto dřevěné prvky jsou z lepeného lamelového dřeva. Jsou připojené k nosnému zaoblenému hranolu čepovaným spojem. Dřevěné prvky jsou umístěny ve třech výškových úrovních nosného zakřiveného hranolu, a to v spodní části, v 1/3 a ve 2/3 nosného zakřiveného hranolu, viz. obr. 11. Průřez horizontálách prvků je 220 × 220 mm a všechny jsou zapuštěny do nosného zakřiveného hranolu čepovaným spojem.



Obr. 11 Výškové uspořádání horizontálních ztužujících prvků tzv. prstenců

3.1.3 Svislé konstrukce

Svislé konstrukce tvoří jeden sloup. Jeho hlavní funkce je podporovat horizontální nosníky. U varianty dřevo je navrhnutý jeden sloup délky 3200 mm s průřezem 220 × 220 mm. Lepené lamelové dřevo je použito jako materiál sloupu.

3.2 Varianta železobeton

Hlavní nosnou konstrukci tvoří železobetonová skořepina s konstantní tloušťkou 250 mm. Použitý materiál je beton třídy C25/30 s výztuží třídy B 500B. Skořepina má výšku 7000 mm a půdorysní šířku 10500 mm.

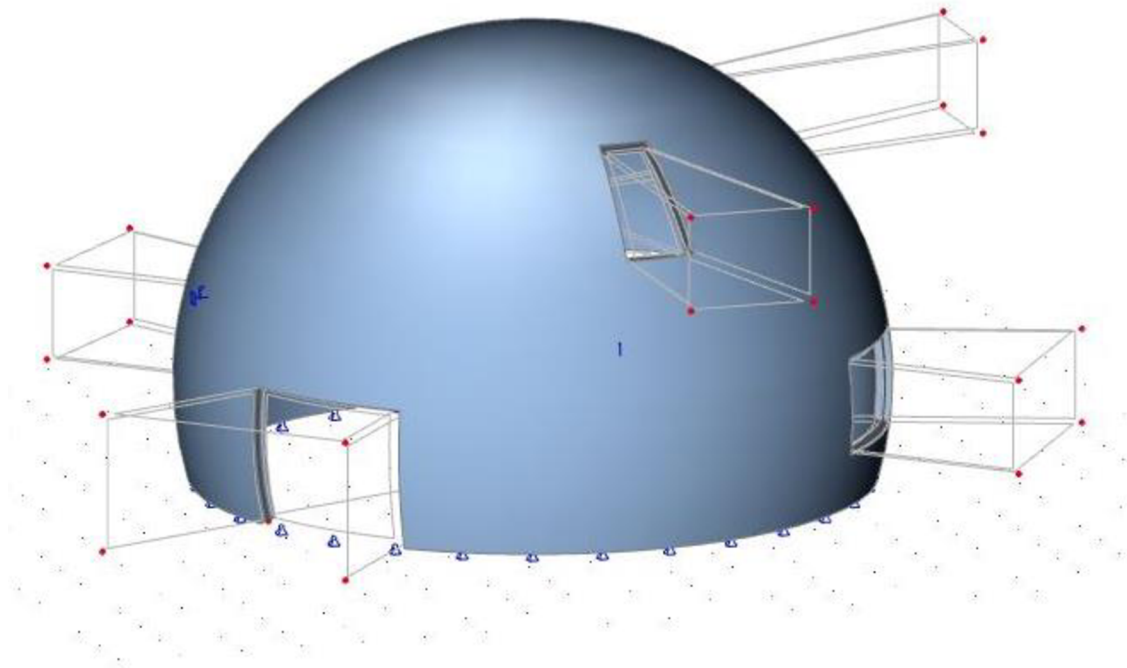
V tytohle práci se počítá i s otvory (např. pro okna a dveře), ale pouze pro účely zkoumání chování konstrukce při jednotlivých zatíženích. Navrhované řešení této varianty je znázorněno na obr. 12.

3.2.1 Horizontální konstrukce

U varianty železobeton jsou navrženy dva na sobě kolmé nosníky, které mají funkci stropu a jsou v její středě podporovány sloupem. Materiál nosníku je tvořen železobetonem. Horizontální nosníky jsou ve výškové úrovni +3,200 m, průřez jednotlivých nosníků je 200 × 200 mm.

3.2.2 Svislé konstrukce

Svislé konstrukce jsou tvořeny jedním sloupem, kterého hlavní funkce je podporovat horizontální nosníky. Je navrhnutý jeden sloup délky 3200 mm s průřezem 200 × 200 mm. Materiál sloupu je železobeton.



Obr. 12 Schéma nosné konstrukce pro variantu železobeton znázorněná aplikací Scia Engineer 18.1.

3.3 Založení objektu

Objekt bude založen na standardních základových pasech tloušťky 400 mm, které budou v nezamrzné hloubce 0,8 m pod terénem. Návrh neřeší posouzení základů objektu, ale řeší jeho cenový odhad.

4 PODROBNÝ POPIS VÝPOČTU VARIANT

Táto časť sa zaoberá celkovým statickým pôsobením konštrukcie. pôsobení vnútorných síl, napätí, pružností a ďalších veličín. Podkapitola 5.2 a podkapitola 5.3 sa venujú pôsobením vnútorných síl na konštrukciu, hlavnému napätí a celkovému pružnosti na konštrukciu, a to pre variantu drevo, resp. železobetón.

Objekt je posudzovaný na kombinácii zatížení pro mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti, která jsou zmíněná v části 5.1.3. Analýza byla provedená v rámci programového systému Scia Engineer 18.1. s využitím knihoven uživatelských bloků a použitím Mindlinovy ohybové teorie.

4.1 Zatížení

V návrhu této práce se počítalo s následujícími zatěžovacími stavy. Zatížení se dělí do pěti zatěžovacích stavů (LC).

4.1.1 Zatížení – verze dřevo

LC1 – vlastní tíha

Zatížení vyvolané vlastní tíhou konštrukce bylo automaticky vygenerováno v programu Scia Engineer 18. Třída pevnosti použitého lepeného dřeva je GL32c. Tento zatěžovací stav zahrnuje jenom vlastní tíhu jednotlivých prvků (nosné zakřivené hranoly, horizontální ztužující hranoly, horizontální nosné konštrukce a sloup).

Hustota lepeného lamelového dřeva s pevností GL32c je 410 kg/m^3 , tudíž zatížení je rovno $4,1 \text{ kN/m}$.

LC2 – proměnné zatížení

U proměnného zatížení se počítalo s konštrukcemi, které budou nebo mohou být zakomponovány do nosné konštrukce, což je ku příkladu tepelná izolace, okna, dřevěné latě na podbití izolace, krytina apod.

Bylo stanoveno rovnoměrné zatížení na každém prvku konštrukce (nosné zakřivené hranoly, horizontální ztužující hranoly) na hodnotu $3,5 \text{ kN/m}$.

U horizontálních konštrukcí, které budou sloužit jako nosný konštrukce stropu, se stanovilo po celé délce prutu rovnoměrné zatížení 5 kN/m . Typ působení pro obě hodnoty je uvažován jako stálý, kvůli charakteru zatížení.

LC3 – sníh

Zatížení sněhem bylo určeno dle lokality, pro kterou je objekt navrhován, tj. sněhová oblast III, $S_k = 1,6 \text{ kN/m}^2$.

LC4 – vítr pravý

Zatížení větrem bylo určeno a vypočteno dle lokality, pro kterou je objekt navrhován. Objekt spadá dovětrné oblasti III. Tenhle zatěžovací stav popisuje účinky

zatížení od větru z „pravé strany“. Ve statickém modelu tento směr odpovídá kladné straně osy y. Vypočtena působící síla větru se zaokrouhlila na stranu bezpečnou a určila se na hodnotu 40kN.

LC5 – vítr levý

To samé bylo provedeno pro opačnou stranu působení větru čili pro „levou stranu“. Ve statickém modelu tento směr odpovídá záporné straně osy y. Hodnota působení síly větru vyšla stejná jako pro LC4, tj. 40 kN.

4.1.2 Zatížení – verze železobeton

LC1 – vlastní tíha

Zatížení vyvolané vlastní tíhou konstrukce, bylo automaticky vygenerováno programem Scia Engineer 18.1. Použitý materiál je beton třídy C25/30 s výztuží třídy B 500B. Tento zatěžovací stav zahrnuje jen vlastní tíhu skořepiny, horizontálních nosných konstrukcí a sloupu. Hustota materiálu je daná tabulkovou hodnotou 2400 kg/m³. V takovém případě zatížení činí 24kN/m.

LC2 – proměnné zatížení

U proměnného zatížení se počítalo s konstrukcemi, které budou, nebo mohou být zakomponovány do nosné konstrukce, což je například tepelná izolace, okna, krytina a pod. Bylo stanoveno rovnoměrné zatížení na celé skořepině na hodnotu 1,5 kN/m. U vodorovných konstrukcí, které budou sloužit jako nosná konstrukce stropu, bylo stanoveno po celé délce prutu rovnoměrné zatížení rovno 5kN/m. Typ působení je uvažován jako stálý kvůli charakteru zatížení.

LC3 – sníh

Zatížení sněhem bylo určeno dle lokality, pro kterou byl objekt navrhován. Objekt spadá do sněhové oblasti III, a proto je hodnota S_k rovna 1,6 kN/m².

LC4 – vítr pravý

Zatížení větrem bylo určeno a vypočteno dle lokality, pro kterou je objekt navrhován. Objekt spadá do větrné oblasti III. Tenhle zatěžovací stav popisuje účinky zatížení od větru z „pravé strany“. Ve statickém modelu tento směr odpovídá kladné straně osy y. Vypočtena působící síla větru se zaokrouhlila na stranu bezpečnou a určila se na hodnotu 40kN.

LC5 – vítr levý

To samé bylo provedeno pro opačnou stranu působení větru čili pro „levou stranu“. Ve statickém modelu tento směr odpovídá záporné straně osy y. Hodnota působení síly větru vyšla stejná jako pro LC4, tj. 40 kN.

4.1.3 Kombinace zatížení

Program SciaEngineer 18.1. generuje kombinace zatížení dle ČSN EN 1990. Použité mezní stavy jsou:

- STR – vnitřní porucha, nebo nadměrná deformace konstrukce, nebo mostních prvků včetně základových patek, pilot, základových patek atd., kde rozhoduje pevnost konstrukčních materiálů.
- GEO – porucha, nebo nadměrná deformace základové půdy, kde pevnosti zeminy nebo skalního podloží jsou pro odolnost významné.

Pro tyto stavy byly použité kombinace pomocí vztahů 6.10a a 6.10b.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10a)$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10b)$$

Obr. 13 Kombinace zatížení [www.web.cvut.cz]

Uvažovala se první kombinace CO1 pro mezní stav únosnosti na vnitřní poruchu nosných prvků MSÚ STR a druhá kombinace CO2 pro mezní stav použitelnosti jako charakteristické zatížení MSP charakteristická.

4.2 Varianta dřevo

Nosná konstrukce u varianty dřevo spočívá v tom, že nosné zakřivené hranoly jsou uloženy na spodním „prstenci“, který je tvořen vodorovnými hranoly o průřezu 220 × 220 mm. Tyto hranoly jsou po celé délce podporovány tak, že celková hlavní nosná konstrukce, která spočívá v nosných zaoblených hranolech, je po svém celém půdorysném obvodu podporována.

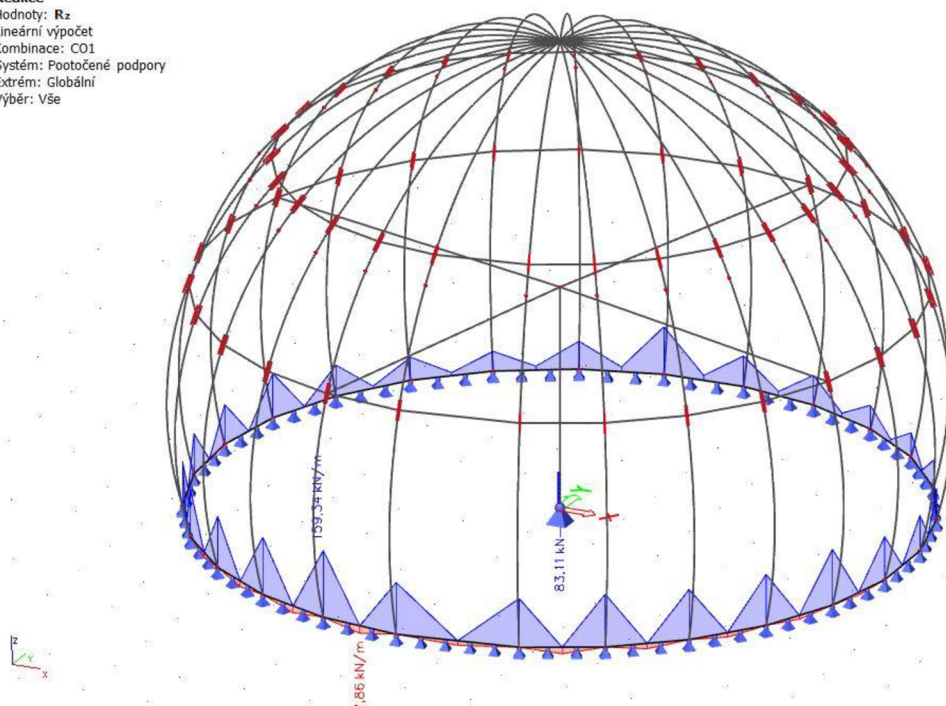
Konstrukce sloupu a horizontálních nosných konstrukcí stropu jsou řešeny tak, že jsou zde podporovány sloupem v ose z. Vodorovné konstrukce stropu jsou ukotveny v druhém „prstenci“. Za hlavní nosnou konstrukci jsou považovány nosné zakřivené hranoly z lepeného lamelového dřeva.

4.2.1 Reakce

Reakce byly počítány pro kombinace zatížení C01 a C02, které jsou graficky znázorněny na obr. 5 a obr. 6. Na základě výsledků, vyšli hodnoty reakce pro mezní stav únosnosti téměř totožné pro každý nosný zakřivený prvek. Nerovnoměrnosti ve výsledcích jsou způsobené charakterem konstrukce, příp. jejím zatížením.

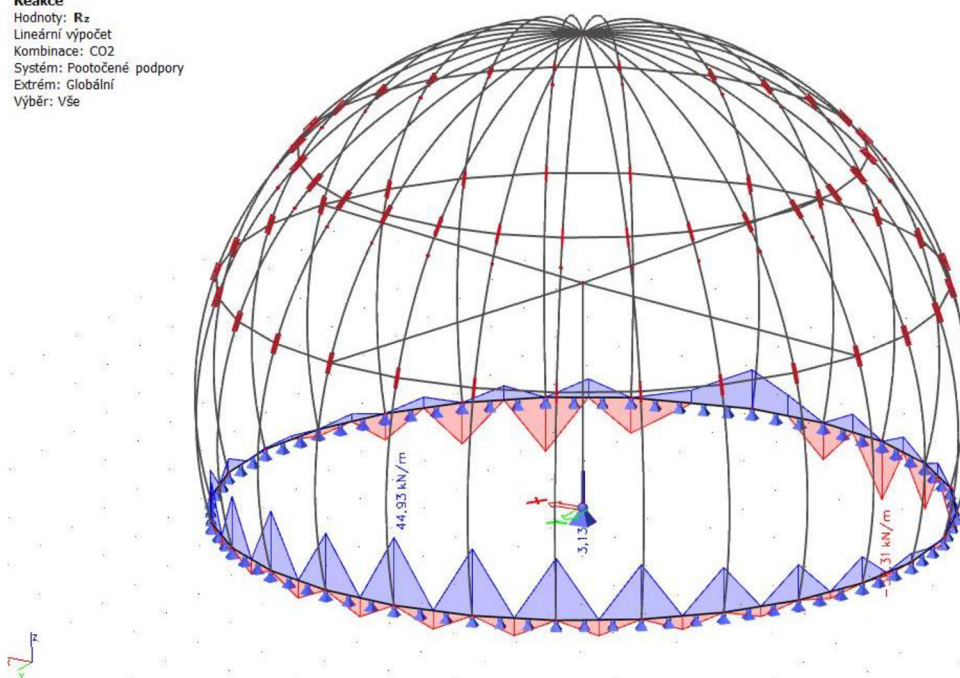
Výslednice reakcí pro mezní stav únosnosti vyšla 1641,95 kN a působí v místě podpory sloupu. Výslednice reakcí pro mezní stav použitelnosti vyšla 117,26 kN a také působí v místě podpory sloupu.

Reakce
 Hodnoty: R_z
 Lineární výpočet
 Kombinace: C01
 Systém: Pootočené podpory
 Extrém: Globální
 Výběr: Vše



Obr. 14 Reakce od kombinace C01 ve směru osy z

Reakce
 Hodnoty: R_z
 Lineární výpočet
 Kombinace: C02
 Systém: Pootočené podpory
 Extrém: Globální
 Výběr: Vše



Obr. 15 Reakce od kombinace C02 ve směru osy z

4.2.2 Průhyby

Na obr. 17 je počítán celkový průhyb U_{total} [mm] pro dané kombinace C01 a C02. Aby nedošlo k maximálnímu průhybu vedoucímu ke kolapsu konstrukce, byl průhyb počítán na nejnepříznivější stav, který by mohl nastat. Výsledky průhybu pro hlavní nosnou konstrukci vyšly tak, že je ještě zachována rezerva průhybu, která činí

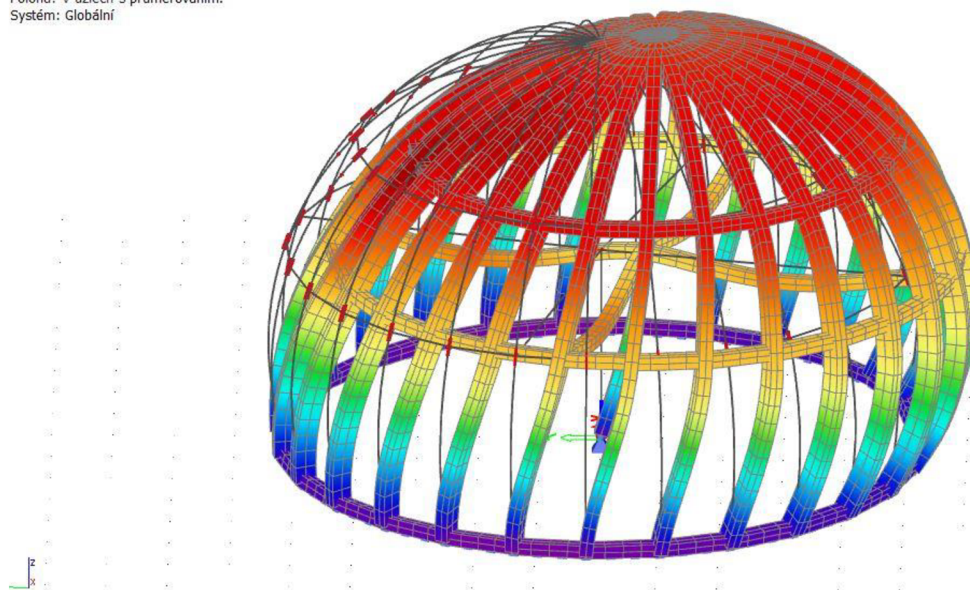
30%. Co se týče průhybu pro jednotlivé kombinace C01 a C02. Větší průhyb na konstrukci je způsobený od kombinace C01, který počítá s největším možným průhybem, který může vzniknout.

Konstrukce, dílce	Mezní hodnoty	
	δ_{max}	δ_z
Střešní konstrukce - vaznice - vazníky - s častým výskytem osob	- - L/250	L/200 L/250 L/300
Stropní konstrukce - stropnice - průvlaky - nosoucí sloupy, pokud nebyl průhyb zahrnut v posouzení mezního stavu únosnosti	- - L/400	L/250 L/400 L/500
Stropní a střešní konstrukce - nosoucí dlažby, omítky nebo jiné křehké obklady a nepoddajné příčky	L/250	L/350
Stěny - překlady	-	L/600
Průmyslové plošiny - podlahové nosníky - průvlaky - nosníky pod kolejí úzkého rozchodu - nosníky pod železniční kolejí	- - - -	L/250 L/400 L/300 L/400
Případy, kdy průhyb δ_{max} může narušit vzhled objektu.	L/250	-

Obr. 16 Doporučené největší hodnoty svislých průhybů [www.people.fsv.cvut.cz]

Na obr. 16 jsou znázorněny mezní hodnoty průhybu pro konkrétní konstrukce. Pro výpočet celkového průhybu U_{total} byla použita hodnota L/250.

3D přemístění
Hodnoty: U_{total}
Lineární výpočet
Kombinace: C01
Výběr: Vše
Poloha: V uzlech s průměrováním.
Systém: Globální

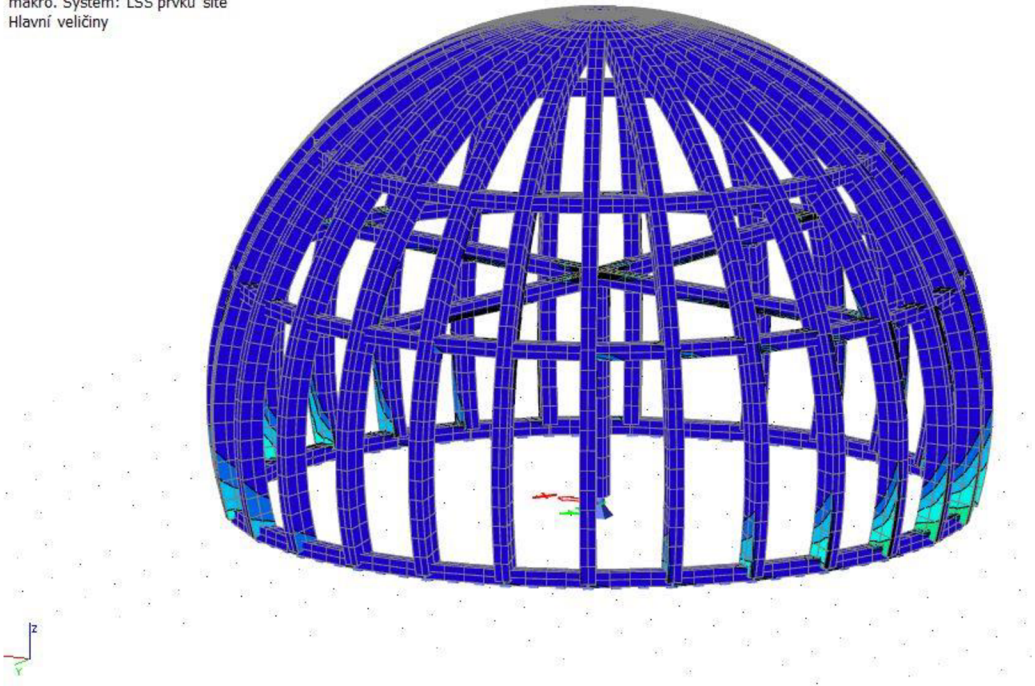


Obr. 17 3D znázornění celkového průhybu pro kombinace se zatížením větrem

4.2.3 Napětí

Hlavní napětí je na nosné konstrukci konstantní. V některých místech však můžeme pozorovat koncentrace napětí. Jsou to místa u spodní části nosného zakřiveného prvku, jako je znázorněno na obr. 18.

3D napětí
Hodnoty: σ_1
Lineární výpočet
Kombinace: C01
Výběr: Vše
Poloha: V uzlech s průměrováním na makro. Systém: LSS prvku sítě
Hlavní veličiny



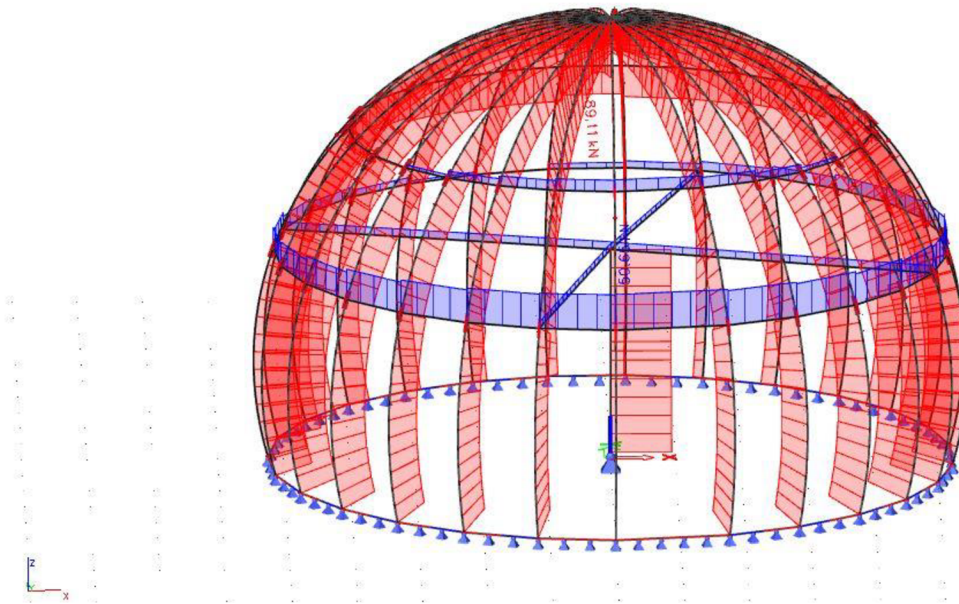
Obr. 18 3D znázornění celkového hlavního napětí pro kombinaci C01

4.2.4 Vnitřní síly

Vnitřní síly vyvolány na konstrukci působením zatížení můžeme nejlépe pozorovat na nosných zakřivených hranolech, které přenášejí největší zatížení. Pozorování normálových sil můžeme vydedukovat, že největší normálové zatížení je vyvoláno na spodní části zakřiveného hranolu.

Hodnoty normálových sil se zmenšují směrem od spodní části zakřiveného hranolu k jejímu vrcholu, přičemž hodnoty jsou konstantní v rámci jednotlivých částí hranolu oddělených napojením horizontálního ztužujícího prvku. Tyto síly jsou znázorněny na obr. 19 červenou barvou. Je to způsobeno tvarem nosního zakřiveného prvku a jeho schopností roznášet zatížení po celé svojí délce.

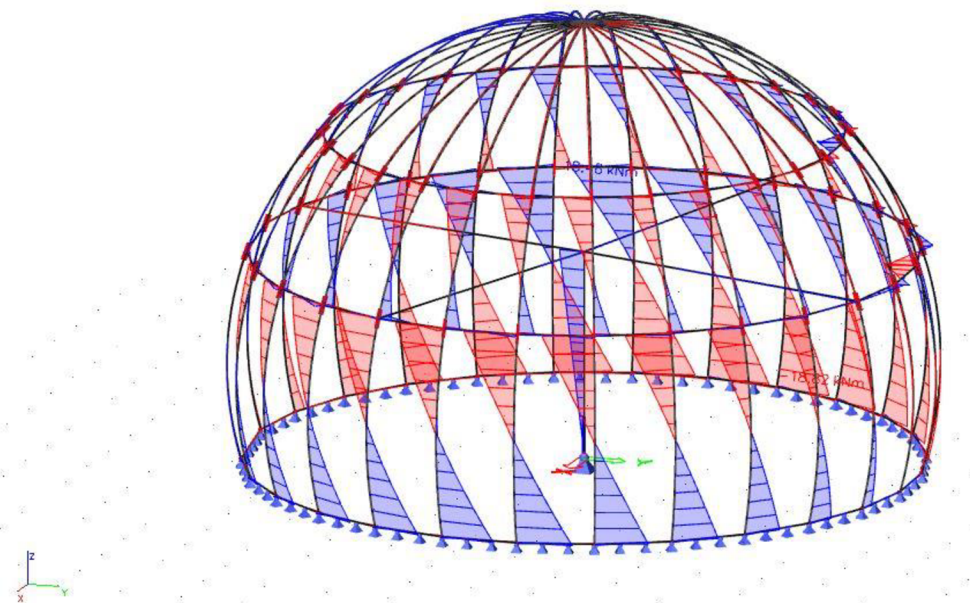
1D vnitřní síly
Hodnoty: **N**
Lineární výpočet
Kombinace: C01
Souřadný systém: Hlavní
Extrém 1D: Globální
Výběr: Vše



Obr. 19 Normálové síly pro kombinaci C01

Obdobně jako u normálových sil, tak u výsledků momentů můžeme říci, že jsou nejvíce namáhány spodní části nosných zakřivených prvků. V horní části nosného zakřiveného prvku můžeme pozorovat velmi malé, avšak nenulové výsledky momentů. Důvodem je tvar konstrukce, resp. tvar nosného zakřiveného prvku, který má dostatečně velkou křivost. Výsledné hodnoty momentů jsou znázorněny na obr. 20.

1D vnitřní síly
Hodnoty: **Mz**
Lineární výpočet
Kombinace: C01
Souřadný systém: Hlavní
Extrém 1D: Globální
Výběr: Vše



Obr. 20 Momenty pro kombinaci C01

4.3 Varianta železobeton

Varianta železobeton spočívá v návrhu železobetonové skořepiny, která má konstantní tloušťku 250 mm. V návrhu jsou také navrženy otvory, které však slouží jen jako příklad pro chování skořepiny a nemají konkrétní rozměry. Za hlavní nosnou konstrukci je považována železobetonová skořepina.

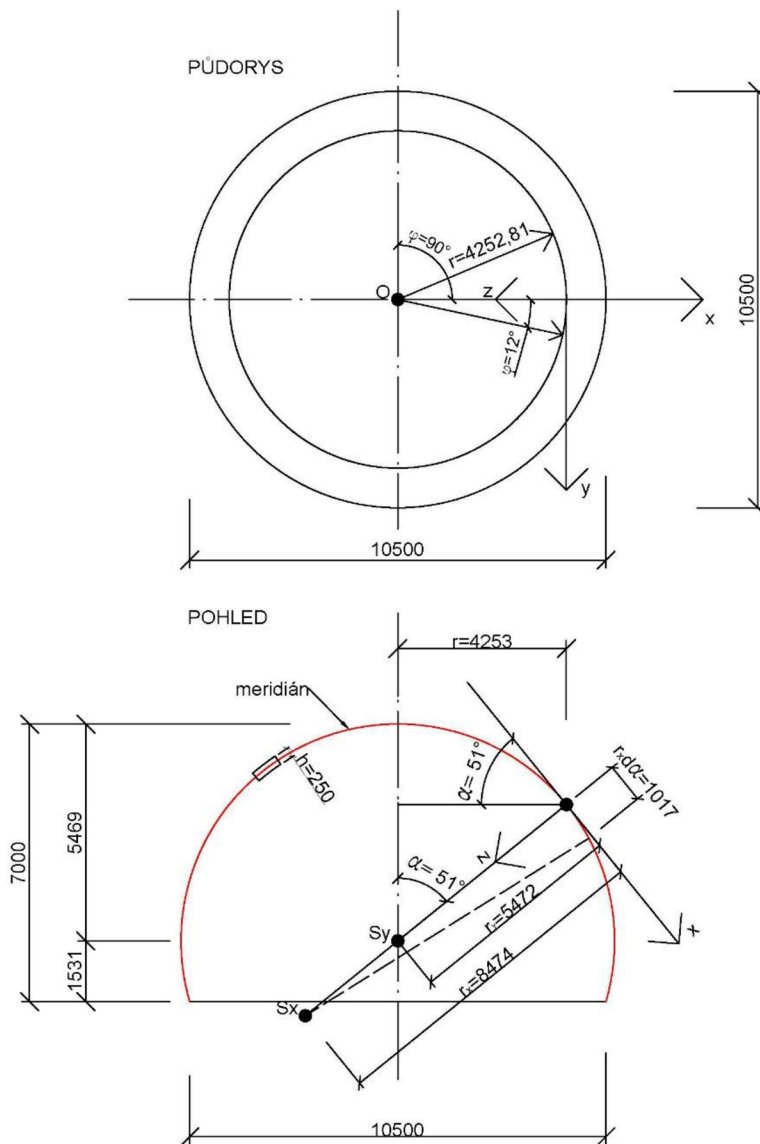
Skořepina představuje obecnější typ tenkostěnné konstrukce, než jsou stěny a desky, jež můžeme chápat jako její zvláštní případy. Vzájemná souvislost platí, přijmeme-li předpoklady tzv. technické teorie skořepin, což zahrnuje předpoklad, že tloušťka skořepiny je malá ve srovnání s obrysovými rozměry, což jsou v našem případě výška, půdorysný průměr a poloměr křivosti, viz [6].

V teorii pružnosti a plasticity se můžeme setkat s pojmem membránový stav skořepiny. Tento stav je případ řešení skořepin, kdy se na přenesení zatížení podílejí především vnitřní síly, které působí v tečných rovinách (normálové síly n_x , n_y), kde jsou ohybové účinky (m_x , m_y) zanedbatelné. Význam membránového stavu skořepiny je velmi účinný z hlediska tuhosti i únosnosti.

Návrh dané skořepiny můžeme považovat za membránový stav na základě výsledků vnitřních sil, které budou ukázány později. Dosažení membránového stavu však vyžaduje splnění určitých podmínek, které se týkají tvaru střednicové plochy, podepření skořepiny, způsobu zatížení a j. Pokud nejsou tyto podmínky splněny, vzniká také ohybový stav a to lokálně, nebo v podstatné části.

V této variantě návrhu skořepiny je membránový stav porušen lokálně v místech, kde jsou navrženy otvory. Největší ohybový stav můžeme očekávat v místě, kde je otvor. Tento otvor má charakter dveří, čili není přímo podporován v spodní části, viz obr. 26.

Na obr. 21 je vykreslený úhel zakřivení pro danou šířku a výšku navrhované skořepiny. Vykreslení bylo provedeno pomocí meridiánu, který vznikne rotací plochy dané křivky kolem rotační osy symetrie. Dané hodnoty jsou kótovány v mm.



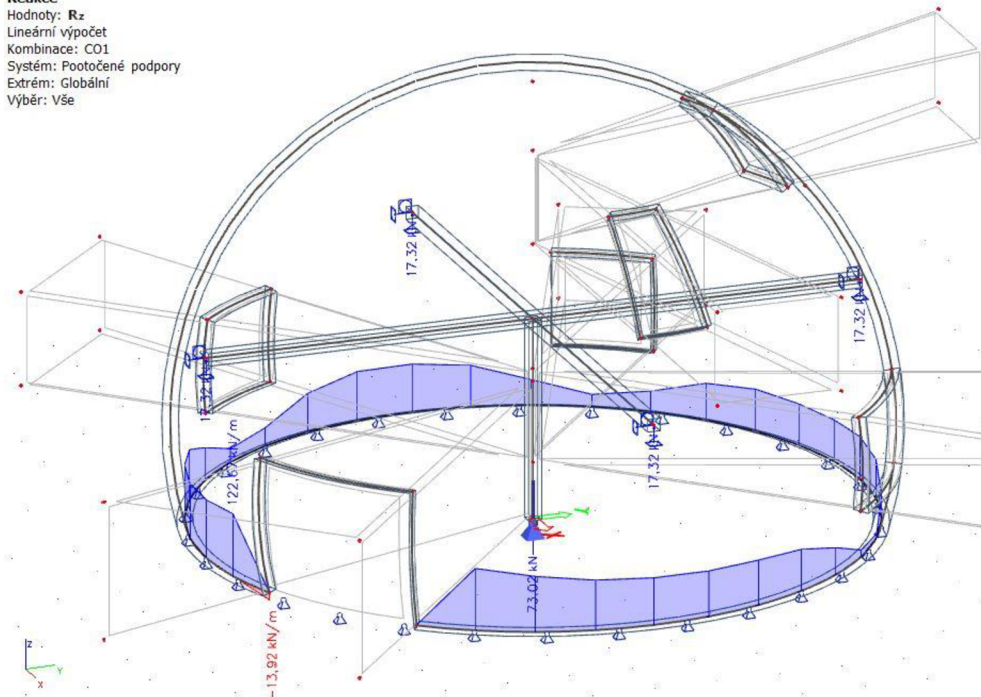
Obr. 21 Vykreslení meridiánu

4.3.1 Reakce

Reakce byly počítány pro dané kombinace C01 a C02. Výsledky pro mezní stav únosnosti jsou graficky znázorněny na obr. 22. Výsledky naznačují, že hodnoty podél podporované části skořepiny jsou celkem rovnoměrné. Jednotlivé hodnoty se však mění v oblastech, kde je navržen otvor. V těchto místech můžeme sledovat klesání hodnot reakci.

Výslednice reakcí pro mezní stav únosnosti činí 2347,41 kN a působí v místě podpory sloupu. Výslednice reakcí pro MSP je v tomto případě stejná jako výslednice pro mezní stav použitelnosti. Na stejném obrázku můžeme sledovat i celkové spolupůsobení reakcí. Můžeme vidět klesání a stoupání způsobeno navrženými otvory, které jsou blíže ke spodní části skořepiny.

Reakce
 Hodnoty: R_z
 Lineární výpočet
 Kombinace: C01
 Systém: Pootočené podpory
 Extrém: Globální
 Výběr: Vše

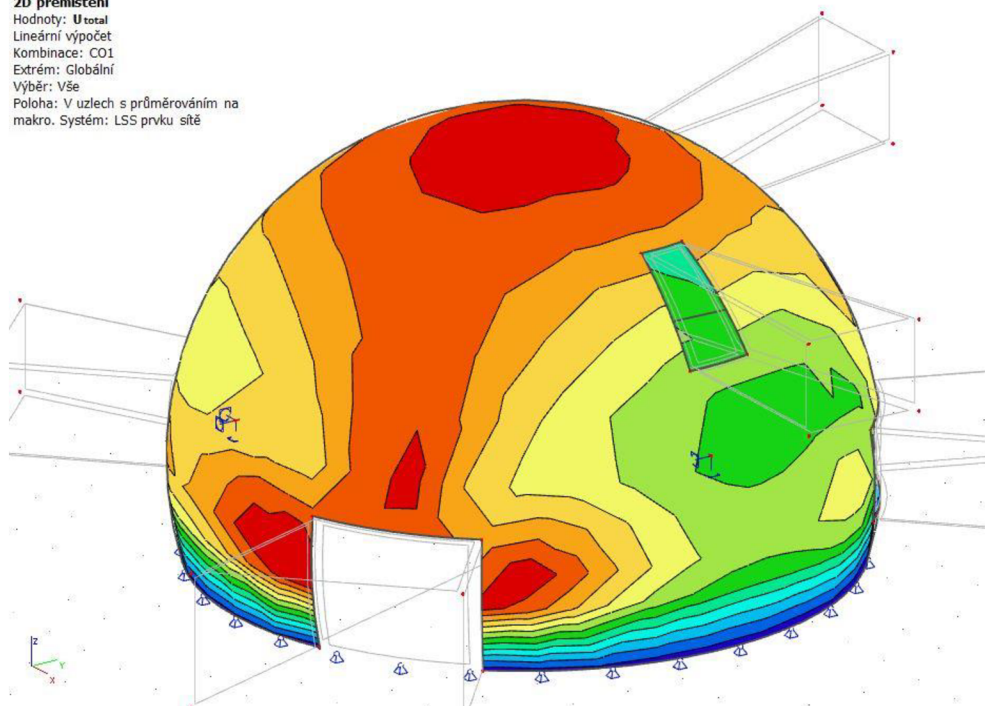


Obr. 22 Reakce pro kombinaci C01 pro mezní stav únosnosti

4.3.2 Průhyby

Výsledné průhyby na navržené skořepině jsou minimální. Největší průhyb můžeme očekávat ve vrchní části skořepiny a také v oblasti skořepiny, kde je navržen otvor, který není přímo podporován ve spodní části, viz obr. 23. Průhyb se posuzoval pro kombinace zatížení C01 a C02.

2D přemístění
 Hodnoty: U_{total}
 Lineární výpočet
 Kombinace: C01
 Extrém: Globální
 Výběr: Vše
 Poloha: V uzlech s průměrováním na makro. Systém: LSS prvku síť

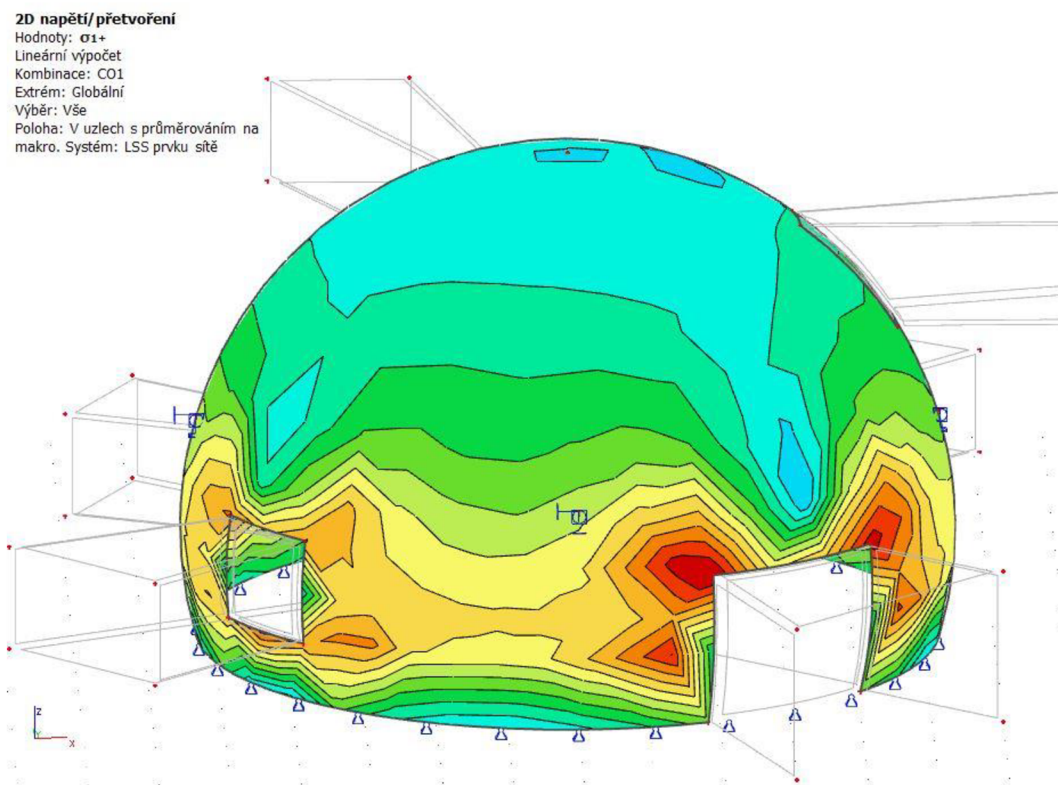


Obr. 23 Průhyby pro kombinaci C01

Výsledky průhybu pro dané kombinace zachovávají téměř 95% rezervu průhybu v porovnání s mezními hodnotami pro průhyb a výslednými hodnotami pro celkový průhyb. Je to v důsledku charakteru konstrukce, t.j. skořepiny, kde se uvažuje malý průhyb. Za zmínění stojí také průhyby na nosních horizontálních konstrukcích pro strop, kde je zachována rezerva na průhyb, která činí 80%.

4.3.3 Napětí

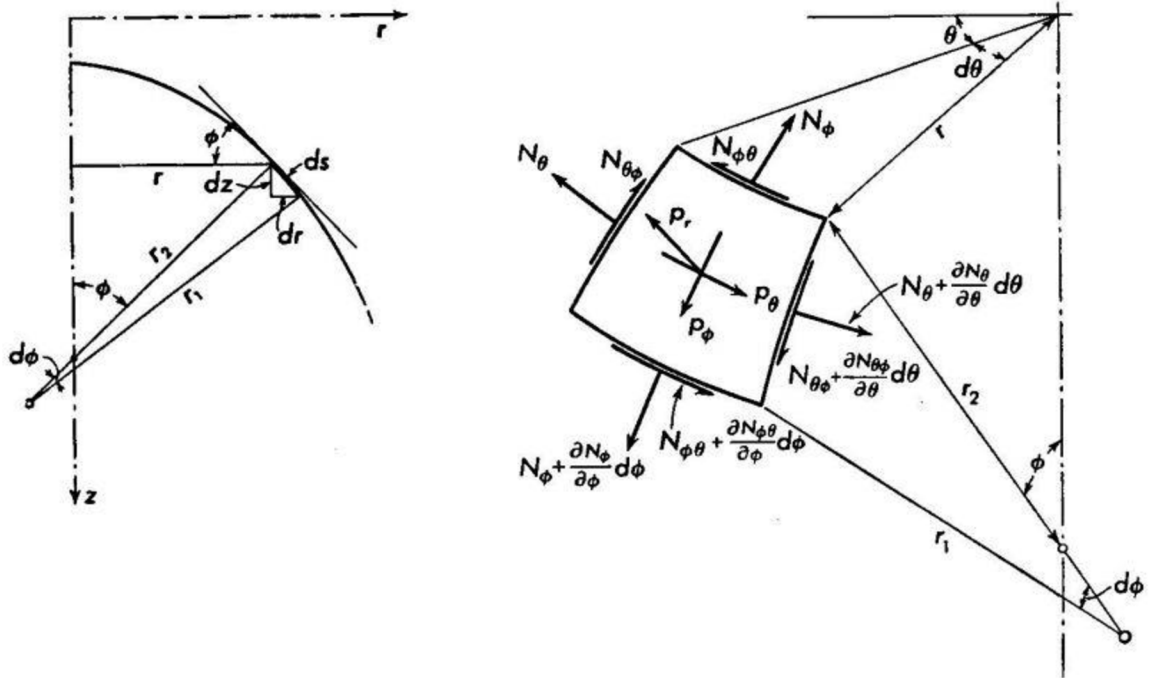
Výsledky celkového hlavního napětí na skořepině udávají, že největší napětí vzniká již ve zmiňované části skořepiny. Toto napětí působí zejména v místech, kde je navržen otvor, který není přímo podporován ze spodní části. Očekává se také zvětšené napětí v spodní části skořepiny, kde jsou navrženy ostatní otvory. Můžeme tedy zhodnotit, že největší napětí na navržené skořepině vzniká ve spodní části, a směrem k horní části skořepiny se napětí zmenšuje, jak můžeme vidět na obr. 24.



Obr. 24 Hlavní napětí pro kombinaci C01

4.3.4 Vnitřní síly

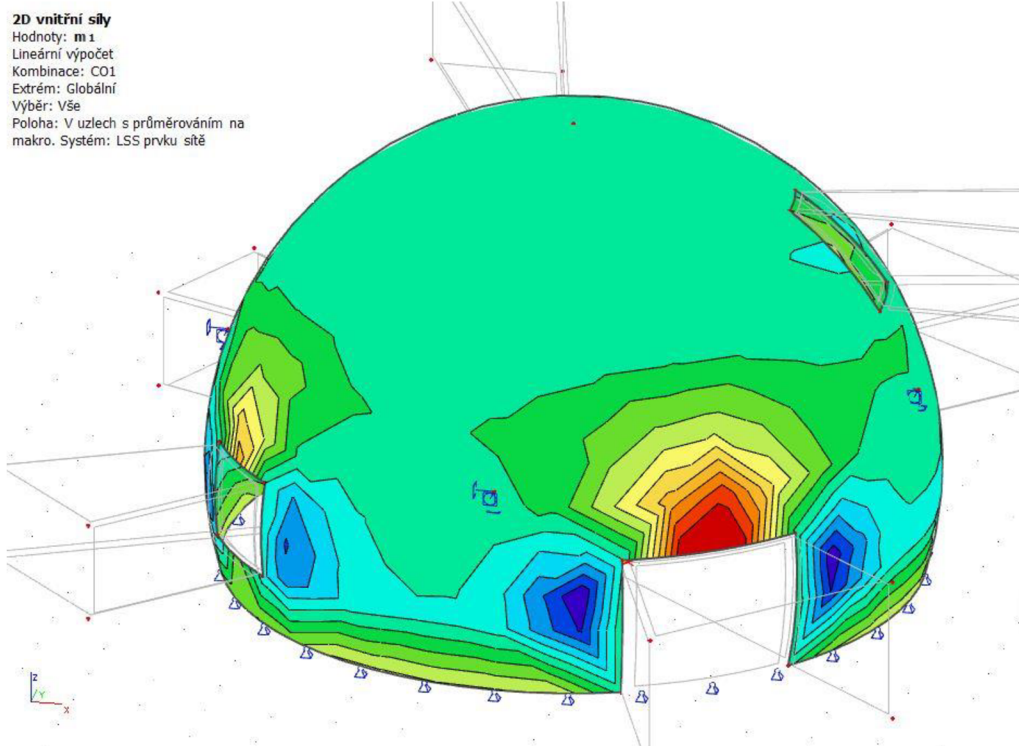
Vznikuté vnitřní síly na skořepině v membránovém stavu jsou jenom vnitřní síly v rovině tečné, v kterých nejsou zahrnuty smykové síly. Je to v důsledku skořepinového charakteru konstrukce, viz obr. 25. Tudíž nám tedy zbývají jen normálové síly n_x a n_y .



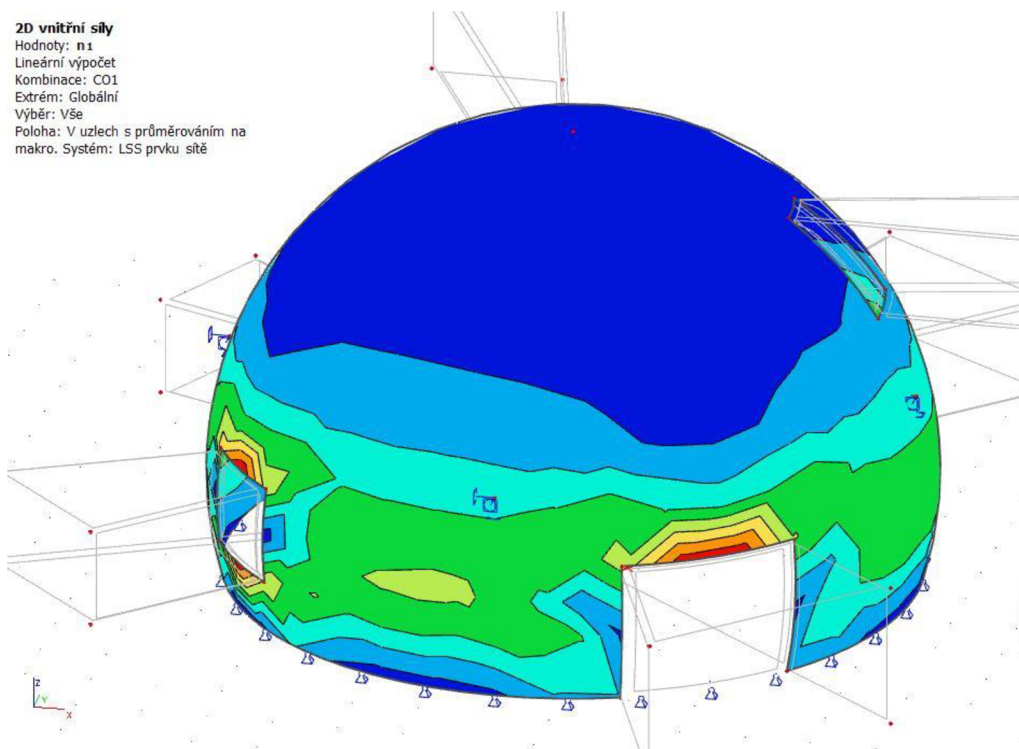
Obr. 25 Působení vnitřních sil u rotačních skořepin membránové teorie [www.mech.fd.cvut.cz]

Na základě výsledků pro navrhovanou skořepinu můžeme říci, že normálové síly n_x a n_y jsou v porovnání s ohybovými účinky m_x a m_y významně větší, takže můžeme u tohoto návrhu skořepiny posuzovat membránový stav. Ohybový stav skořepiny nastává pouze lokálně, a to zejména v oblasti navržených otvorů.

Vznikuté normálové síly n_x a n_y vypočítáme integrací normálového napětí po dané ose a když dané normálové síly přemístíme do zvoleného bodu, tak získáme ohybové momenty m_x a m_y , viz obr. 26.



Obr. 26 Ohybové momenty pro kombinaci C01



Obr. 27 Normálové síly pro kombinaci C01

4.4 Materiálové charakteristiky

4.4.1 Varianta železobeton

Beton C25/30 – XC1

$$f_{ck} = 25,00 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = \frac{25,00}{1,5} = 16,67 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,60 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk0,05} = 1,80 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \alpha \cdot \frac{f_{ctk0,05}}{\gamma_c} = 1,00 \cdot \frac{1,80}{1,50} = 1,20 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 31,00 \text{ GPa}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3,50 \text{ ‰}$$

Výztuž B 500B

$$f_{yk} = 500,00 \text{ MPa}$$

$$f_{tk} = 550,00 \text{ MPa}$$

třída tažnosti = B

4.4.2 Varianta dřevo

Lepené lamelové dřevo označené GL32c

$$f_{t,0,k} = 19,5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,90,k} = 0,45 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 26,5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,k} = 3,00 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 3,20 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{o,mean} = 13,7 \text{ kN/mm}^2$$

$$E_{90,mean} = 0,42 \text{ kN/mm}^2$$

reakce na oheň – třída D

5 POROVNÁNÍ VERZÍ A CENA KONSTRUKCE

Dvě navržené varianty jsou porovnávány ze dvou hledisek. Z hlediska statického a z hlediska finančního.

U statického porovnání je posuzována konstrukce z hlediska průhybů, napětí a celkového statického působení.

Průhyby – U varianty dřevo vznikly výrazně větší průhyby než u varianty železobeton. Velké průhyby u varianty dřevo má za následek tvar nosné konstrukce, t.j. tvar nosného zakřiveného oblouku. Malé průhyby u varianty železobeton jsou následkem větší tuhosti konstrukce a její geometrií.

Napětí – Na základě jednotlivých návrhů můžeme konstatovat, že u varianty dřevo na vybraných nosných zakřivených prvcích se nachází menší napětí než v porovnání s variantou železobeton. Zvýšené napětí u varianty dřevo můžeme očekávat ve spojích na nosné zakřivené hranoly. Kdežto u varianty železobeton je zvýšené napětí očekáváno právě v oblasti otvorů.

Celkové statické působení – Navrzení obou variant záleží hlavně na geometrii objektu. U varianty dřevo je to právě podmíněno průřezem nosného zakřiveného hranolu a celkovým uspořádáním jednotlivých hranolů na půdorysném průmětu. U varianty železobeton je to závislé na umístění otvorů ve skořepině a jejich geometrie.

Finanční porovnání se odvíjí z odhadu ceny materiálu a výroby. Z finančního hlediska se navržené varianty poměrně liší. Varianta dřevo je oproti variantě železobeton o 20% levnější. Tudíž můžeme říct, že varianta dřevo je levnější po realizační stránce. Cena za jednotlivé varianty je rozebrána v podkapitole 6.1.

Výhody a nevýhody jednotlivých variant:

Varianta dřevo

Výhody: - realizace
- možnost využití lokálních dodavatelů
- zpracovatelnost dřeva

Nevýhody: - požární ochrana
- zaoblení nosných zakřivených hranolů

Varianta železobeton

Výhody: - tuhost konstrukce
- únosnost

Nevýhody: - realizace
- nutnost dbát při realizaci na tvar skořepiny a její konstantní tloušťku

5.1 Nedostatky výpočtu

Návrhu a analýza objektu rodinného domu ve tvaru koule byla počítána na konkrétní oblast, která má své větrné a sněhové podmínky. Když se změní navrhovaná oblast, tak se změní i velikost zatížení od sněhu a větru.

U obou variant se počítalo se zatížením, které bude uloženo na hlavní nosné konstrukci jako například izolace, krytina, okna a j., viz podkapitola 5.1. Při výpočtech byla použita stejná průměrná hodnota zatížení, která se uvádí v podkapitole 5.1. Při konkrétním návrhu je teda nutno také použít zatížení, jaké tam bude reálně působit.

U varianty dřevo je třeba navrhnout a posoudit čepovaný spoj mezi hlavním nosným zakřiveným prvkem a vodorovným prvkem (prstencem). Umístění otvorů u varianty železobeton je pouze orientační a nemají žádné specifické rozměry.

5.2 Cena konstrukce

Výsledná celková cena je pouze za nosnou část konstrukce, t.j. bez střešní krytiny, oken, izolace a dalších součástí rodinného domu potřebných pro realizaci. V případě varianty dřevo se částka skládá z ceny za BSH hranoly. V případě varianty železobeton se cena skládá z materiálu potřebného na realizaci skořepiny, horizontálních nosníků a svislého sloupu. U obou variant je také započtena cena za vyhotovení základové konstrukce. Je také nutno zmínit, že celková cena je pouze orientační.

5.2.1 Varianta dřevo

Finanční náklady za variantu dřevo budou hlavně záviset na ceně za m³ za BHS hranol, která se aktuálně pohybuje kolem 14 900 CZK/m³ bez DPH. Značnou část ceny mají zakřivené nosné hranoly, kde je cena za atypický tvar přibližně 66 000 CZK/m³ bez DPH. Celkový objem spotřeby lepeného lamelového dřeva za konstrukci činí přibližně 27 m³.

Kubatura jednotlivých prvků:

- nosný zakřivený prvek	$0,36\text{m} \times 0,22 \times 10,142\text{m} = 0,8032\text{m}^3$	27kusů
- vodorovné prvky		
- spodní prstenec	$0,22\text{m} \times 0,22\text{m} \times 1,2\text{m} = 0,058\text{m}^3$	27kusů
- střední prstenec	$0,22\text{m} \times 0,22\text{m} \times 1,177\text{m} = 0,057\text{m}^3$	27kusů
- horní prstenec	$0,22\text{m} \times 0,22\text{m} \times 0,92\text{m} = 0,045\text{m}^3$	27kusů
- nosník	$0,22\text{m} \times 0,22\text{m} \times 10,5\text{m} = 0,51 \text{ m}^3$	2kusy
- sloup	$0,22\text{m} \times 0,22\text{m} \times 3,2\text{m} = 0,155 \text{ m}^3$	1kus
- základový pás	$33\text{m} \times 0,4\text{m} \times 0,8\text{m} = 10,56 \text{ m}^3$	

Cena za materiál:

- nosné zakřivené prvky	66 000 CZK/m ³
- lepené lamelové dřevo	14 900 CZK/m ³
- základový pas	2437 CZK/m ³

Konkrétní cena za dané prvky:

- nosné zakřivené prvky	21,7m ³	1 432 000 CZK
- vodorovní prvky	4,32m ³	64 368 CZK
- sloup	0,155m ³	2 310 CZK
- základový pas	10,56m ³	25 735 CZK
- realizace		250 000 CZK
		<hr/>
		Σ 1 774 413 CZK bez DPH

Daná celková cena za konstrukci u varianty dřevo se může lišit na základě vybraného dodavatele. Největší položkou jsou nosné zakřivené hranoly, které mají atypický tvar a od toho se odvíjí i cena. Mnou poptaný dodavatel mi udal cenu za atypický tvar prvku z lepeného lamelového dřeva daných rozměrů uváděných v podkapitole 4.1.1, na 66 000 CZK/m³ bez DPH.

Pro porovnání u dřevostaveb kulového tvaru -Ruský dodavatel firmy Sky dome udává cenu za celý rodinný dům ve tvaru koule podobných rozměrů za přibližně 2 200 000 CZK. V této ceně jsou zahrnuty všechny prvky ku realizaci objektu včetně nosných konstrukcí, oken, krytiny apod. Tato cena je však udávaná na území Ruské federace a může se lišit na území České republiky.

5.2.2 Varianta železobeton

Cena za variantu železobeton závisí převážně na realizaci dané skořepiny. Za m³ zvoleného betonu s výztuží je cena přibližně 2500 CZK s DPH. Celkový objem železobetonu potřebný na realizaci celé nosní konstrukci činí přibližně 58 m³.

Kubatura jednotlivých prvků:

- skořepina	přibližně 57m ³	
- nosník	0,2m × 0,2m × 10,5m = 0,84m ³	2kusy
- sloup	0,2m × 0,2m × 3,2m = 0,13m ³	1kus
- základový pás	33m × 0,4m × 0,8m = 10,56 m ³	-

Cena za materiál:

- železobeton s výztuží 2500 CZK/m³
- základový pas 2437 CZK/m³

Jednotlivá cena za dané prvky:

- - skořepina	57m ³	142 500 CZK
- - nosníky	4,32m ³	4 200 CZK
- - sloup	0,155m ³	325 CZK
- - základový pas	10,56m ³	25 735 CZK
- - realizace		2 000 000 CZK
		Σ 2 172 760 CZK bez DPH

Vypočtena celková cena za konstrukci u varianty železobeton je velmi variabilní. Průzkumem na internetu jsem stanovil orientační cenu za realizaci skořepiny na základě geometrických rozměrů.

Pro porovnání cen u skořepinových konstrukcí - Rodinný dům tzv. Oko bouře, viz obr. 5, s výškou objektu 10 m a průměrem 18 m byl zrealizován za 14 miliónu českých korun.

ZÁVĚR

V rámci tyhle bakalářské práce se mi podařilo vytvořit návrh rodinného domu ve tvaru koule. Věnoval jsem se hlavně návrhu a analýze nosné konstrukce rodinného domu. Celkový návrh spočíval ve dvou variantách, které se lišily druhem použitého materiálu a geometrií nosné konstrukce.

Navrhoval jsem konstrukci pro obě varianty, která obsahovala vodorovný prvek pro stropní konstrukci a sloup. Důvodem použité geometrie na objekt byl požadavek investora, abych splnil podlahovou plochu, která měla činit přibližně 150 m². Navrhované varianty řešení navrženého objektu byly modelovány a posuzovány ve statickém programu Scia Engineer 18.1., který zvládá komplikovanou geometrii jako je skořepina a zakřivené prvky.

Výsledky pro dané konstrukce u obou variant vyšly příznivě s ohledem na minimální a maximální hodnoty pro posouzení konstrukce. Celkové zpracování téhle bakalářské práce bylo pro mě velikým přínosem hlavně v řešení atypických tvarů konstrukcí jako je skořepina, komunikace mezi investorem a poptávaní jednotlivých dodavatelů. Překvapilo mě, že realizace železobetonových skořepinových konstrukcí se cena pohybuje ve velmi vysokých částkách. Výsledek tyhle práce bude sloužit jako ideový podklad pro projekční činnost soukromým investorem. Zpracováním projektu jsem získal mnoho zkušeností s prací v programech Scia Engineer a AutoCad.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Zákony a normy

- [1] HOLICKÝ, Milan, MARKOVÁ, Jana: *Zásady navrhování stavebních konstrukcí: příručka k ČSN EN 1990*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2007. Technická knihovna autorizovaného inženýra a technika. ISBN 978-80-87093-27-6.
- [2] KRÁL, Jaromír: *Navrhování konstrukcí na zatížení větrem: příručka k ČSN EN 1991-1-4*. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. Technická knihovna (ČKAIT). ISBN 978-80-87438-05-3.

Bibliografie

- [3] ŠMIŘÁK, Svatopluk. *Pružnost a plasticita I: pro distanční studium*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN isbn80-7204-468-0.
- [4] TEPLÝ, Břetislav a Svatopluk ŠMIŘÁK. *Pružnost a plasticita II*. 2. vyd. Brno: CERM, 2000. Učební texty vysokých škol. ISBN isbn80-214-1622-x.

Internetové zdroje

- [5] BERGER, Sarah. *Photos: Famous 'EyeoftheStorm' Charleston dome house for sale*. CNB [Online; navštívené 15.4.2019].
URL <https://www.cnbc.com/2018/06/22/photos-famous-eye-of-the-storm-charleston-dome-house-for-sale.html>
- [6] *Turnkeydomed house withaninvidual layout Sky 9*. Skydome.pro. [Online; navštívené 15.4.2019].
URL <https://en.skydome.pro/house/9/>
- [7] *Dome house thatrotate!*. 2019 TopTenRealEstateDeals.com [Online; navštívené 15.4.2019].
URL <https://www.toptenrealestatedeals.com/homes/weekly-ten-best-home-deals/2015/6-2-2015/2/>
- [8] *AboutEyeoftheStorm – pareto Group*. © 2018 Pareto Group LLC. All RightsReserved. [Online; navštívené 15.4.2019].
URL <http://www.pareto.gr/about-eye-of-the-storm.html>
- [9] DISTASIO, Cat. *Bolwoningcommunity in the in theNetherlands companies50 futuristic sphericalhouses*. [Online; navštívené 15.4.2019].

URL <https://inhabitat.com/futuristic-dutch-community-comprises-50-spherical-homes/>

- [10] *I Kombinace zatížení – EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí*. ČVUT[Online; navštívené 15.4.2019].

URL <http://web.cvut.cz/ki/710/pdf/cvicenibk2.pdf>

- [11] MACHÁČEK, Jozef: *Přůhyby a kmitání v ČR*. [Online; navštívené 15.4.2019].

URL <http://people.fsv.cvut.cz/~machacek/pomucky/Pruhyby-a-kmitani-v-CR.pdf>

- [12] MALINOVSKÝ, Vít. *Skořepiny*. [Online; navštívené 15.4.2019].

URL <http://mech.fd.cvut.cz/members/malinovsky/teorie-konstrukci/5%20-%20Skorepiny.pdf>

Použitý software

- Microsoft Excel
- Microsoft Word
- AutoCadAutoDesk 2018
- SCIA Engineer 18.1.

Seznam zkratek

Seznam použitých symbolů a zkratek není úplný, některé zkratky a symboly jsou vysvětlené v textu.

f_{ck}	krychelná pevnost betonu v tlaku
f_{cd}	návrhová pevnost betonu v tlaku
f_{ctm}	průměrná hodnota válcové pevnosti v tlaku
E_{cm}	sečný modul pružnosti betonu
ε_{cu3}	mezní poměrné přetvoření betonu
f_{yk}	mez kluzu oceli
f_{ywd}	návrhová mez kluzu betonářské smykové výztuže
f_{yd}	návrhová mez kluzu betonářské výztuže
E_s	návrhová hodnota modulu pružnosti betonářské výztuže
h	výška
b	šířka
l	délka

t	tloušťka
x,y,z	souřadnice
n_y	normálové síly v směre osy y
n_x	normálové síly v směre osy x
m_x	ohybové účinky v směre osy x
m_y	ohybové účinky v směre osy y
M_{ED}	návrhová hodnota působícího ohybového momentu
V_{ED}	návrhová hodnota posouvající síly
$V_{ED,RED}$	redukovaná posouvající síla
F_s	síla
σ	napětí
w	průhyb
LC	zatěžovací stav (loading case)
r	poloměr
$^\circ$	stupeň
α	úhel
EI	ohybová tuhost
F	zatížení
MSÚ	mezní stav únosnosti
MSP	mezní stav použitelnosti
Ψ	součinitele, kterými se definují reprezentativní hodnoty proměnného zatížení
STR	vnitřní porucha nebo nadměrná deformace konstrukce
GEO	porucha nebo nadměrná deformace základové půdy

Seznam obrázků

Obr. 1	Koncept rodinného domu ve tvaru koule od architekta se znázorněním hlavních sloupů a nadzemního podlaží	2
Obr. 2	Koncept od architekta s přidáním schodiště	3
Obr. 3	Zrealizovaný objekt rodinného domu kulového tvaru v Rusku	4
Obr. 4	Interiér kulového rodinného domu	4
Obr. 5	Zrealizovaný rodinný dům tzv. Oko bouře v USA	5
Obr. 6	Soubor rodinných kulatých domů v Nizozemí	5
Obr. 7	Základní geometrie rodinného domu ve tvaru koule	6

Obr. 8	Čelní pohled na nosný zakřivený hranol	7
Obr. 9	Axonometrie nosného zakřiveného hranolu	7
Obr. 10	Schéma nosné konstrukce pro variantu dřevo znázorněná aplikací Scia Engineer 18.1.	8
Obr. 11	Výškové uspořádání horizontálních ztužujících prvků tzv. prstenců	9
Obr. 12	Schéma nosné konstrukce pro variantu železobeton znázorněná aplikací Scia Engineer 18.1.	10
Obr. 13	Kombinace zatížení	13
Obr. 14	Reakce od kombinace C01 ve směru osy z	14
Obr. 15	Reakce od kombinace C02 ve směru osy z	14
Obr. 16	Doporučené největší hodnoty svislých průhybů.....	15
Obr. 17	3D znázornění celkového průhybu pro kombinace se zatížením větrem	15
Obr. 18	3D znázornění celkového hlavního napětí pro kombinaci C01.....	16
Obr. 19	Normálové síly pro kombinaci C01	17
Obr. 20	Momenty pro kombinaci C01.....	17
Obr. 21	Vykreslení meridiánu	19
Obr. 22	Reakce pro kombinaci C01 pro mezní stav únosnosti.....	20
Obr. 23	Průhyby pro kombinaci C01.....	20
Obr. 24	Hlavní napětí pro kombinaci C01.....	21
Obr. 25	Působení vnitřních sil u rotačních skořepin membránové teorie	22
Obr. 26	Ohybové momenty pro kombinaci C01	23
Obr. 27	Normálové síly pro kombinaci C01	23