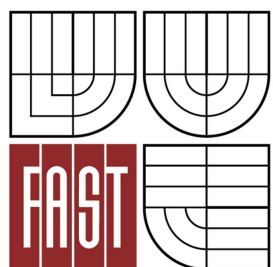




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

VÝSTAVNÍ PAVILON

EXHIBITION PAVILION

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. JAKUB ŘEHÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAREL SÝKORA

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant Bc. Jakub Řeháček

Název Výstavní pavilon

Vedoucí diplomové práce Ing. Karel Sýkora

**Datum zadání
diplomové práce** 31. 3. 2014

**Datum odevzdání
diplomové práce** 16. 1. 2015

V Brně dne 31. 3. 2014

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

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

Podklady a literatura

1. Prostorové uspořádání výstavního pavilonu.
2. ČSN EN 1991 (731401), Navrhování ocelových konstrukcí.
3. ČSN EN 1995 (731701), Navrhování dřevěných konstrukcí.
4. Literatura podle doporučení vedoucího diplomové práce.
5. Odborné publikace v časopisech a sbornících, které se vztahují k řešené problematice, podle doporučení vedoucího diplomové práce.

Zásady pro vypracování

Vypracujte návrh nosné konstrukce výstavního pavilonu.

Půdorysné rozměry pavilonu jsou max. 36 x 36 m, výška není omezena.

Konstrukci navrhnete pro oblast Brno.

Konstrukci navrhnete v několika variantách, vybranou variantu podrobně rozpracujete.

Požadované výstupy:

1. Technická zpráva obsahující základní charakteristiky navržené konstrukce, požadavky na materiál, spojovací prostředky, montáž a ochranu.
2. Statický výpočet hlavních nosných prvků a částí konstrukce.
3. Výkresová dokumentace obsahující zejména dispoziční výkres, výkres vybraných konstrukčních dílců, charakteristické detaily podle pokynů vedoucího diplomové práce.
4. Orientační výkaz spotřeby materiálu.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....

Ing. Karel Sýkora
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Práce se zabývá návrhem a posouzením nosné konstrukce výstavního pavilonu na předměstí Brna. Konstrukce má tvar kopule vystavěné nad osmiúhelníkovým půdorysem s osmi příčnými výklenky. Rozpětí pavilonu je 30m, vzepětí 8m.

Klíčová slova

dřevěná nosná konstrukce, kopule, pavilon, lepený vazník, rostlé dřevo, spoje, zatížení sněhem, zatížení větrem,

Abstract

The thesis deals with the design and review of the supporting structure of the exhibition pavilion in the suburb of Brno. The design is shaped dome built over the octagonal floor plan with eight lateral niches. The pavilion is 30m wide and 8 meters tall.

Keywords

timber load-bearing structural, dome, pavilion, laminated wood, solid wood, joints, snow load, wind load

...

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Jakub Řeháček *Výstavní pavilon*. Brno, 2015. 93 s., 50 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Karel Sýkora

.

Prohlášení:

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

V Brně dne 12.1.2015

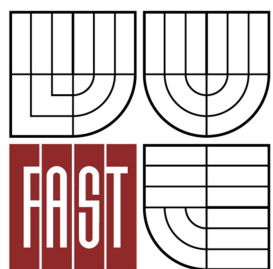
.....
podpis autora
Bc. Jakub Řeháček

Poděkování:

Chtěl bych tímto poděkovat Ing. Karlu Sýkorovi za odborné rady, ochotu a trpělivost při zpracování mé diplomové práce.



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

VÝSTAVNÍ PAVILON

EXHIBITION PAVILION

TECHNICKÁ ZPRÁVA

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. JAKUB ŘEHÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAREL SÝKORA

BRNO 2015

OBSAH TECHNICKÉ ZPRÁVY

1	OBECNÉ ÚDAJE.....	4
2	NORMATIVNÍ DOKUMENTY	4
3	VARIANTY ŘEŠENÍ NOSNÉ KONSTRUKCE	5
	3.1Blob	5
	3.2Elipsoid	6
	3.3Kopule	8
	3.4Porovnání	9
	3.5Zhodnocení	9
4	PŘEDPOKLADY NÁVRHU NOSNÉ KONSTRUKCE.....	10
5	GEOMETRIE A KONSTRUKCE OBJEKTU.....	11
	5.1Geometrie	11
	5.2Konstrukce	11
6	ZATÍŽENÍ	13
	6.1Vlastní tíha	13
	6.2Ostatní stálé zatížení	13
	6.3Zatížení sněhem	14
	6.4Zatížení větrem	17
7	MATERIÁLY A SPOJOVACÍ PROSTŘEDKY	18
8	OCHRANA KONSTRUKCE	18
	8.1Ocel	18
	8.2Dřevo	18
9	POSTUP MONTÁŽE	19
10	POZNÁMKY	19

11	SEZNAM ZDROJŮ	19
12	POUŽITÉ ZKRATKY	20

1. OBECNÉ ÚDAJE

Tato práce se zabývá návrhem a posouzením nosné konstrukce výstavního pavilonu v Brně. Stavba je situována v předměstí Brna. Konstrukce byly navrženy v různých tvarech a různých konstrukčních uspořádáních, přičemž omezujícím faktorem byly rozměry parcely 36 x 36 m. Výška stavby není omezená.

2. NORMATIVNÍ DOKUMENTY

Nosná konstrukce výstavního pavilonu byla navržena v souladu s těmito platnými normativními dokumenty:

- ČSN EN 1990: Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1991: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- ČSN EN 1991: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- ČSN EN 1993: Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 1993: Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčnicků
- ČSN EN 1995: Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

Podkladem pro návrh bylo:

- zadání diplomové práce

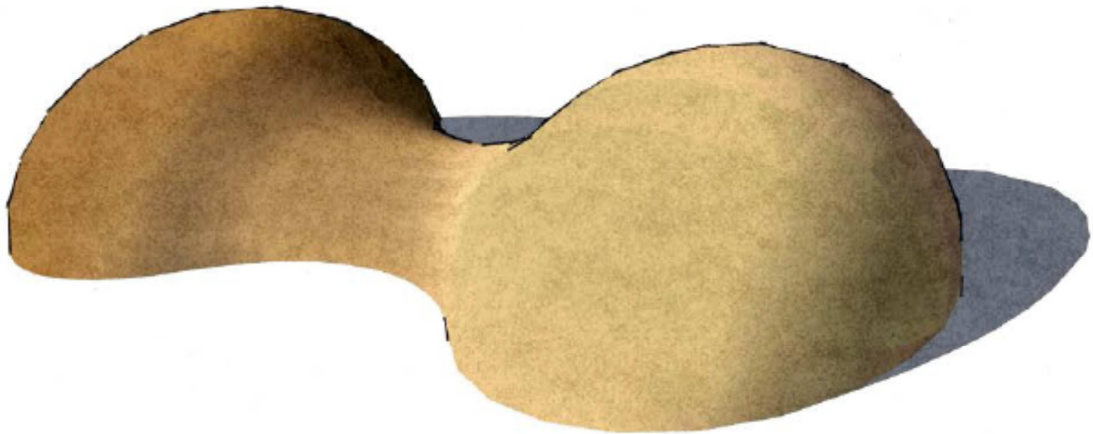
3. VARIANTY ŘEŠENÍ NOSNÉ KONSTRUKCE

Pro konstrukci výstavního pavilonu byly navrženy následující tři varianty.

1.1 Blob

Jedná se o skořepinovou konstrukci s tvarem připomínající hrušku. Půdorysné rozměry jsou 18,6 m x 8,5 m. Výška ve vrchole dosahuje 5,2 m.

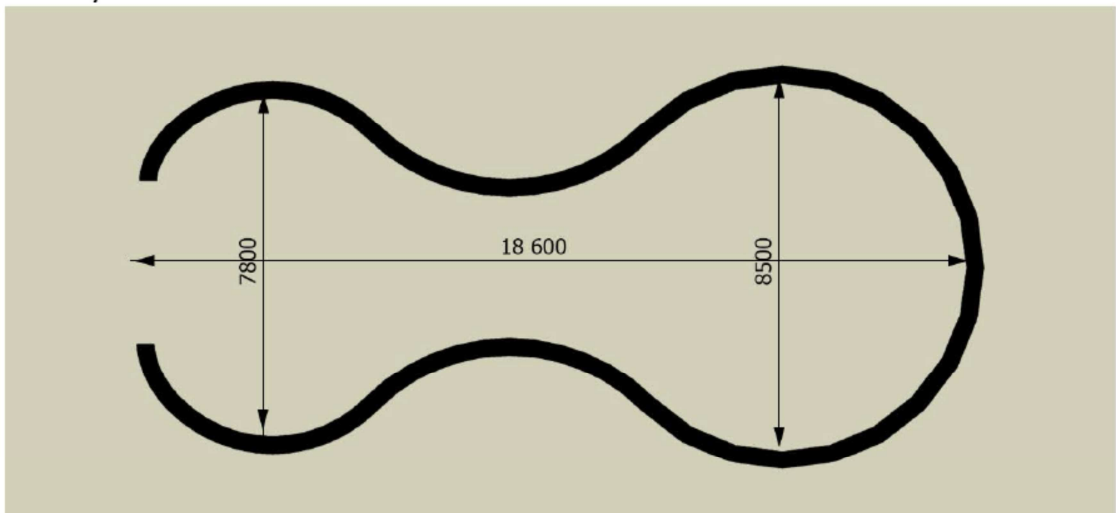
Perspektiva



Obr. 1 - Blob – perspektiva

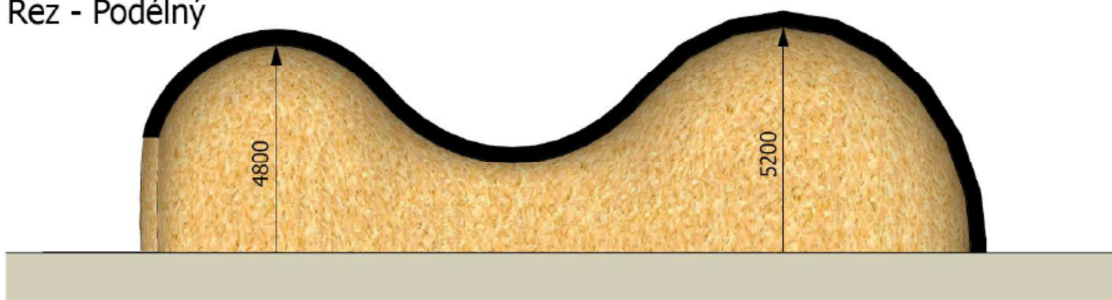
Vchod do objektu je situován na jižní straně. Konstrukce je řešena jako třívrstvá lamelová skořepina s plnou horní vrstvou. Na ní bude uložena tepelná izolace a souvrství střešního pláště. Jako krytina bude použit titanzinkový plech.

Půdorys



Obr.2 – Blob – půdorys

Řez - Podélný

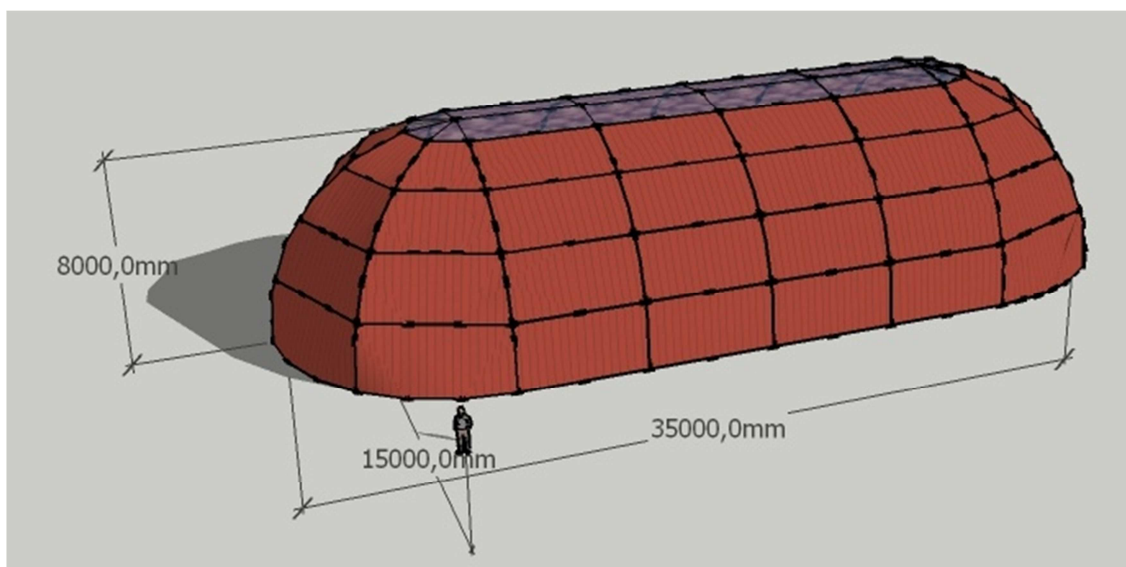


Obr. 3 – Blob – podélný řez

Vnitřní prostor bude osvětlen umělým osvětlením. Zbývající volný prostor parcely může být zatravněn a osazen stromy.

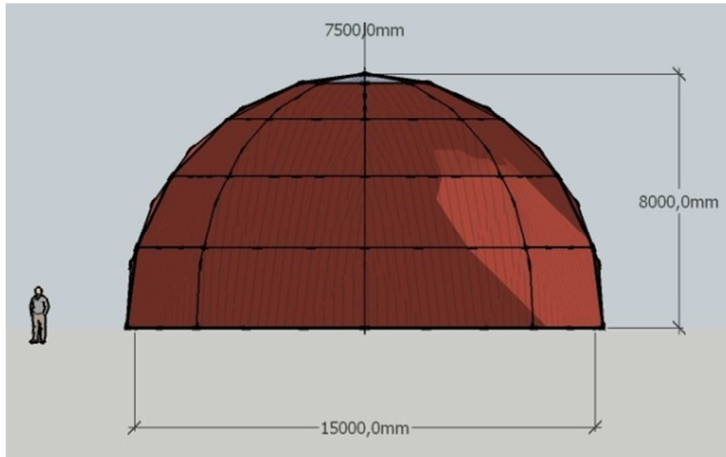
1.2 Elipsoid

Tato varianta má tvar elipsoidu. Půdorysné rozměry jsou 35 x 15 m. Výška dosahuje 8mi metry. Konstrukce je tvořena příčnými oblouky z lepeného lamelového dřeva a soustavou podélných vaznic. Boční stěny jsou zaklenuty půloblouky připojenými ke krajnímu příčnému oblouku. Záklop bude proveden pomocí desek, na nichž bude spočívat střešní skladba včetně tepelné a hydro izolace.



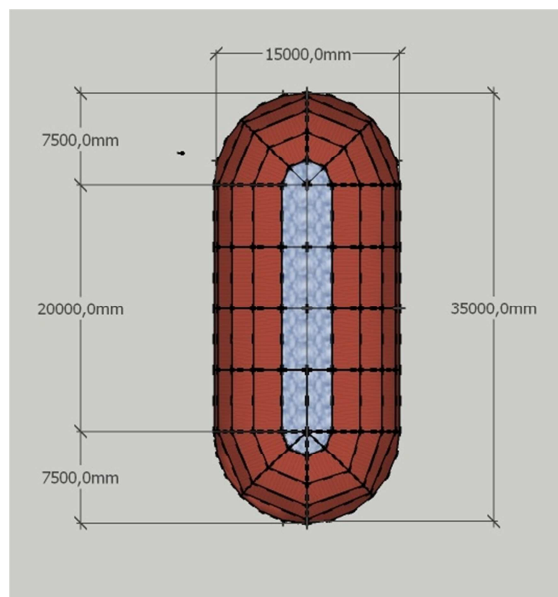
Obr. 4 – Elipsoid perspektiva

Prosvětlení vnitřního prostoru bude zajištěno horním světlíkem, případně doplněno umělým osvětlením. Vchod do objektu, není ve vizualizaci zakreslen, ale bude umístěn ve střední části delší strany stavby.

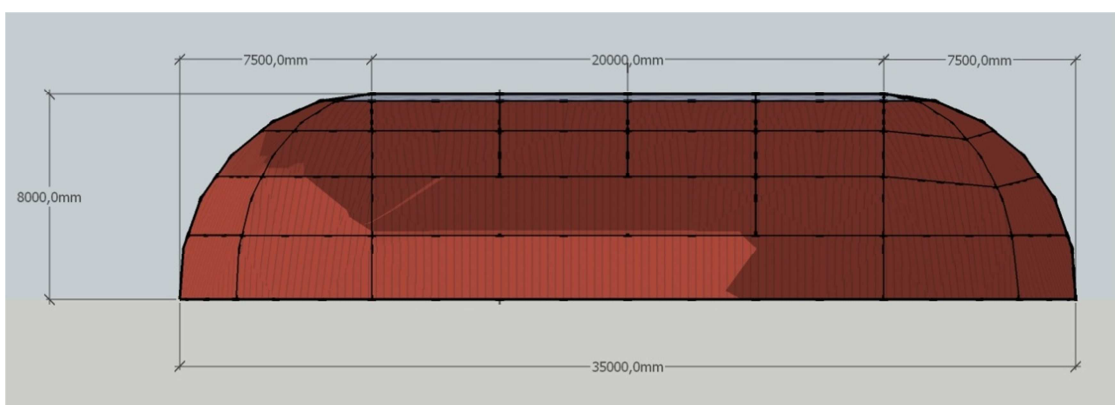


Obr. 5 – Elipsoid příčný řez

Obr. 6 – Elipsoid půdorys

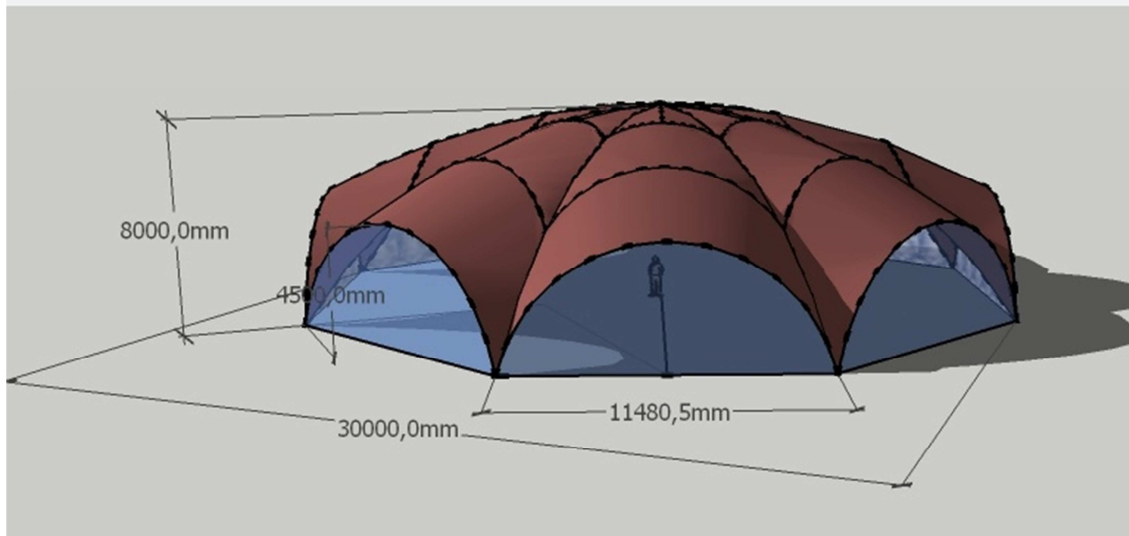


Obr. 7 – Elipsoid podélný řez



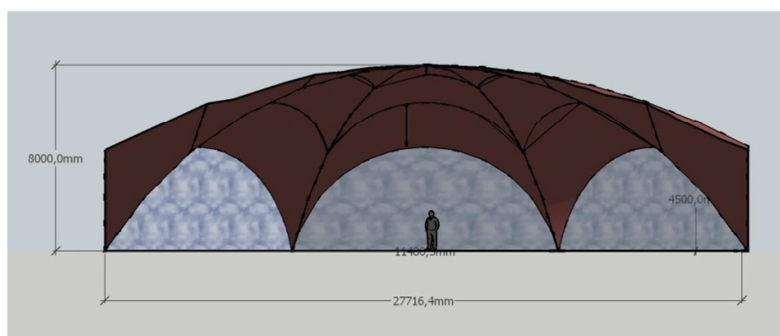
1.3 Kopule

Poslední varianta má tvar kopule vystavěné nad osmiúhelníkovým půdorysem s osmi úžlabími oddělujícími osm obloukových výklenků. Půdorys konstrukce je dán osmiúhelníkem vepsaným do kružnice o průměru 30m. Výška konstrukce ve vrchole činí 8m. Každý výklenek je zakončen proskleným oknem a výška výklenku činí 4,5m.

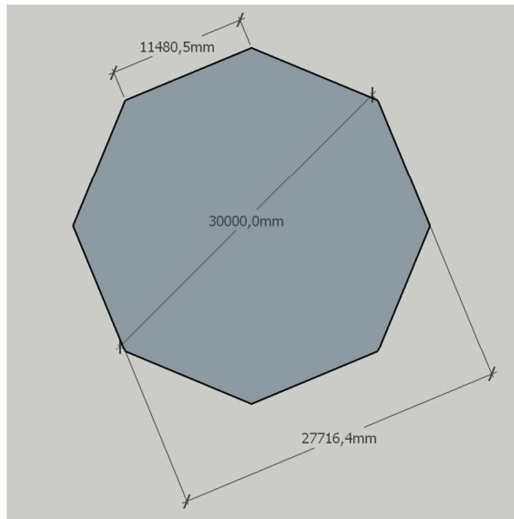


Obr. 8 – Kopule perspektiva

Hlavní nosné prvky budou lepené lamelové oblouky umístěné v úžlabích. K těm budou poté připevněny trojúhelníkové plošné dílce, které budou tvořit výklenky (příčné oblouky). Jednotlivé dílce jsou plánované jako prefabrikované sendvičové prvky, jejichž vnitřní část bude vyplněna izolačním materiálem. Spojení hlavních nosníků bude provedeno pomocí prstencového styčnicku, přičemž bude tento styčník prosklený a zajistí tedy částečné prosvětlení vnitřního prostoru. Prosvětlení bude taktéž zajištěno bočními okny. Umístění vchodu je variabilní.



Obr. 9 – Kopule příčný řez



Obr. 10 – Kopule půdorys

1.4 Porovnání

Konstrukce blobu nabízí designově krásnou stavbu, která s sebou ale přináší řadu problémů. Např. náročnou simulaci klimatických zatížení, konstrukční náročnost a nebo nutnost uvažovat se skořepinovým působením... Nadále není autor práce přesvědčen o účelnosti využití vnitřního prostoru.

Konstrukce elipsoidu je zajímavá. Konstrukčně i výpočetně oproti blobu jednodušší. Nicméně zaplnění zadané plochy 36 x 36 m není zcela ideální. Za největší výhodu tohoto řešení autor považuje jednoduchost řešení při současném dostačujícím architektonickém působení.

Konstrukce kopule nabízí velký vnitřní prostor s variabilním umístěním vstupu, příp. možností zhotovení více vstupů. Výhodné je také prosvětlení okny. Celá konstrukce působí vzdušně a prostorně. Pro zadaný rozměr pozemku se zdá být ideálním řešením. Při výpočtu zatížení však tato konstrukce skýtá řadu úskalí.

1.5 Zhodnocení

Po uvážení všech aspektů dochází autor této práce k závěru, že pro zadaná kritéria bude nejvhodnějším výběrem konstrukce kopule. Hlavně pro výše zmíněné výhody tohoto konstrukčního řešení.

4. PŘEDPOKLADY NÁVRHU NOSNÉ KONSTRUKCE

Statické posouzení nosné konstrukce je provedeno na :

- mezní stav únosnosti (MSÚ) za nejnepříznivější kombinace zatěžovacích stavů, přičemž mezní hodnoty nosných prvků byly brány z návrhových hodnot pro danou pevnostní třídu zvoleného materiálu
- mezní stav použitelnosti (MSP) na nejnepříznivější hodnoty deformací od zatěžovacích stavů, kde mezní hodnoty byly brány z charakteristických hodnot pro danou pevnostní třídu zvoleného materiálu

Nosná konstrukce je dimenzována na návrhové zatížení od charakteristických hodnot:

- vlastní tíha – vygenerována v programu Scia Engineer 2013.1
- tíha střešního pláště - uvažována jako $g_{1k} = 0,492 \text{ kN.m}^{-2}$

Pro proměnná zatížení působící na konstrukci jsou uvažovány hodnoty:

- klimatické zatížení sněhem se základní tíhou sněhu na zemi $s_k = 0,75 \text{ kN.m}^{-2}$ odpovídající souřadnicím umístění stavby dle sněhové mapy
- klimatické zatížení větrem se základní hodnotou rychlostí větru $v_{b,0} = 25 \text{ m.s}^{-1}$

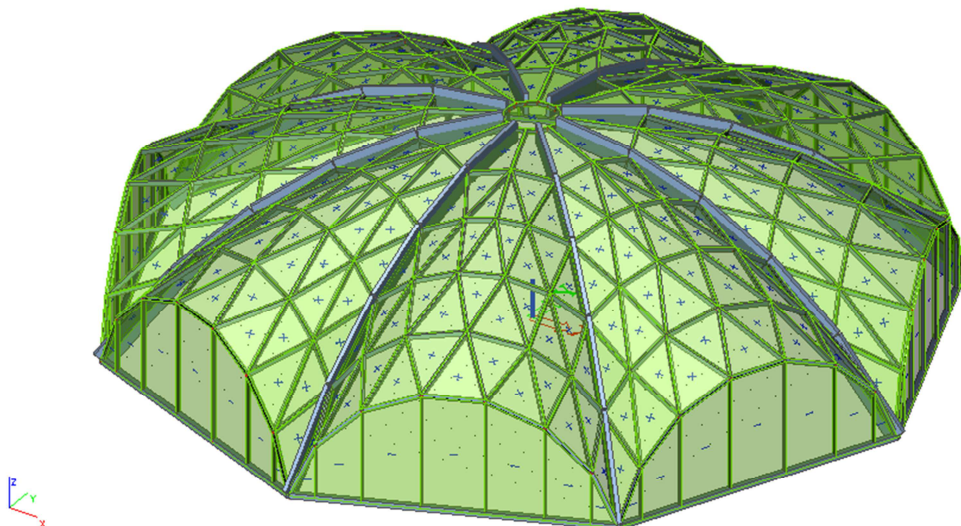
5. GEOMETRIE A KONSTRUKCE OBJEKTU

1.6 Geometrie

Konstrukce má tvar kopule vystavěné nad osmiúhelníkovým půdorysem s osmi úžlabími oddělujícími osm obloukových výklenků. Půdorys konstrukce je dán osmiúhelníkem vepsaným do kružnice o průměru 30m. Výška konstrukce ve vrchole činí 8m, ve vrchole příčného oblouku 4,5m.

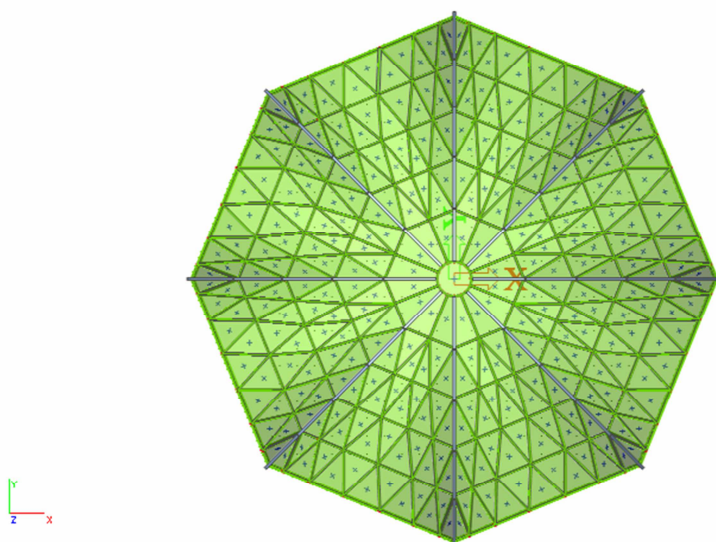
1.7 Konstrukce

Hlavní nosné prvky tvoří lepené lamelové oblouky o rozměrech 800x160mm, umístěné v úžlabích. K těm budou poté připevněny trojúhelníkové plošné dílce, které budou tvořit výklenky (příčné oblouky). Při návrhu se nepodařilo dosáhnout jednotné velikosti dílců, ale každý dílec se 16x opakuje. Jednotlivé dílce jsou sestaveny z okrajových vaznic 160x60mm, horní i dolní záklop je zhotoven z OSB desky tloušťky 20mm a vnitřní část dílce bude vyplněn izolačním materiálem (polystyren), viz střešní skladba. Čela příčných oblouků budou prosklená. Vstupy do objektu budou zbudovány ve dvou navzájem protilehlých čelech.



Obr. 11 – Konstruktivní řešení pavilonu

Vrcholové spojení hlavních nosníků bude provedeno pomocí prstencového styčnicku o průměru 2m. Horní i dolní uložení hlavních oblouků bude zajištěno čepovým spojením. Styčnick vaznic (panelů) je řešen pomocí svisle postaveného úseku trubky, k němuž jsou navařeny styčnickové plechy. Viz statický výpočet. Pro potřeby statického řešení je uvažováno s kloubovým uložením. Stejně je to i u přípoje panelu k hlavnímu nosníku. Tento detail je řešen L-profilem s navařenými styčnickovými plechy. Střešní plášť bude zhotoven z měděného plechu. Pod ním bude hydroizolace v podobě asfaltových pásů. (viz skladba střešního pláště)



Obr. 12 - půdorys

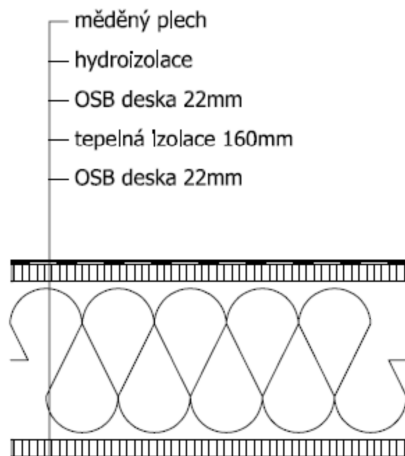
6. ZATÍŽENÍ

1.8 Vlastní tíha

Vlastní tíha byla vygenerována pomocí výpočetního programu Scia Engineer 2013.1.

1.9 Ostatní stálé zatížení

Ostatní stálé zatížení je definováno tíhou střešního souvrství.



Obr. 13 – střešní skladba

vrstva	obj. tíha [kNm ⁻³]	tloušťka [mm]	tíha [kNm ⁻²]
krytina (plech+hizo)			0,2
izolace	0,3	0,16	0,048
2xOSB	6,1	0,02	0,244

g_{1k}

0,492

1.10 Zatížení sněhem

Při výpočtu zatížení sněhem je postupováno podle normy ČSN EN 1991–1-3. Daný objekt se vyskytuje v I. sněhové oblasti. Základní charakteristická hodnota je $0,75 \text{ kNm}^{-2}$.

Zatížení sněhem na střechu: $s = s_k * C_e * C_t * \mu_i$ [1]

s_k - základní charakteristická hodnota zatížení sněhem

$C_e = 1,0$ normální typ krajiny: Plochy, kde nedochází na stavbách k výraznému přemístění sněhu větrem kvůli okolnímu terénu, jiným stavbám nebo stromům.

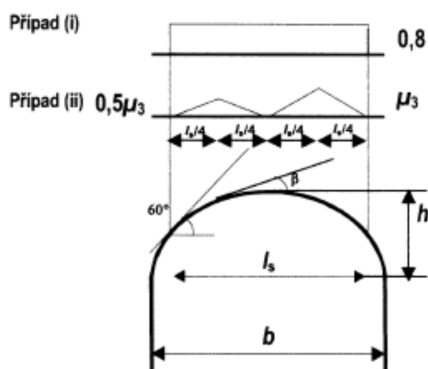
$C_t = 1,0$ tepelný součinitel se má použít tam, kde je možné vzít v úvahu snížení zatížení sněhem na střeše vlivem prostupu tepla. V ostatních případech je roven 1.

μ_i - tvarový součinitel

Při výpočtu zatížení bylo uvažováno s nenavátým sněhem a navátým sněhem. Jednotlivé situace byly popsány v různých zatěžovacích stavech.

- Nenavátý sníh

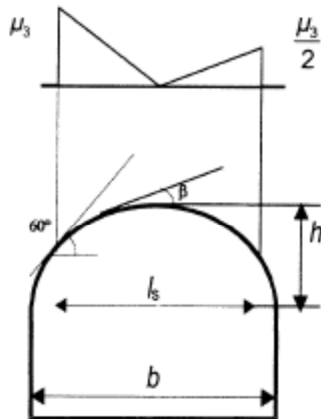
Pro nenavátý sníh je uvažováno s tvarovým součinitelem pro válcové střechy μ_i v hodnotě 0,8. Viz následující obrázek. Zatížena je polovina a celý povrch střechy.



Obr. 13 – hodnoty tvarových součinitelů pro válcové střechy [1]

- Navátý sníh

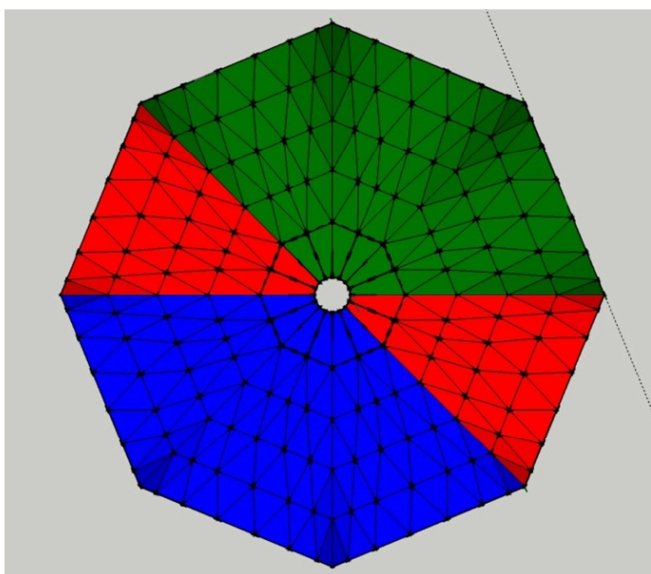
Pro simulaci zatížení navátým sněhem bylo postupováno dle národní přílohy NA 2,18 a NA 2,19 výše zmíněné normy. Viz následující obrázek.



Obr. 14 – hodnoty tvarových součinitelů pro válcové střechy NA 2,19 [1]

h/b	1/8	1/6	$\geq 1/5$
μ_3	1,45	1,8	2,0

Při řešení navátého sněhu byla kopule rozdělena na 3 oblasti při uvažovaném působení větru kolmo ke stěně. Pozn. – při uvažování větru ve směru úžlabí se přidá jedno červené pole do modré a druhé do zelené oblasti – viz Obr. 14. Tyto oblasti slouží k podélnému určení roznosu zatížení sněhem. Přičemž v modré oblasti je uvažováno s μ_3 a v zelené s $0,5\mu_3$. Roznos po hřebeni příčného oblouku je lineární viz Obr. 13. V červené oblasti se na hřebenu uvažuje se základní hodnotou zatížení.



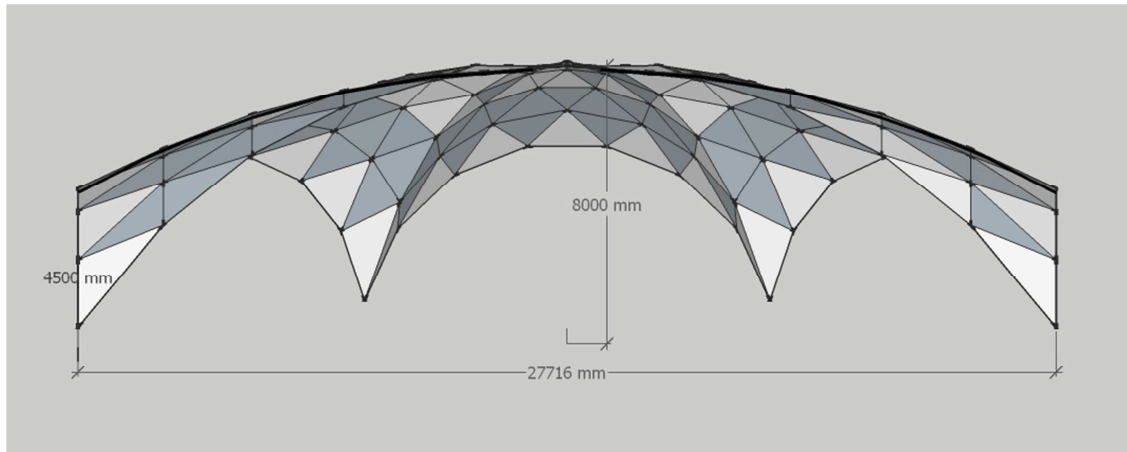
Obr. 15 - rozdělení na oblasti

$$\text{Podíl } h/b = \frac{(8,0-4,5)}{27,7} = 0,126$$

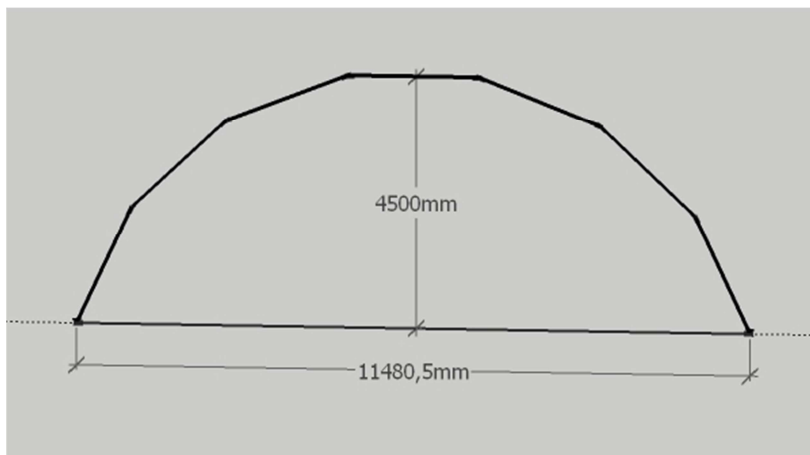
$$\mu_3 = 1,47$$

(získáno interpolací viz Obr. 13)

Obr. 16 – rozměry h/b

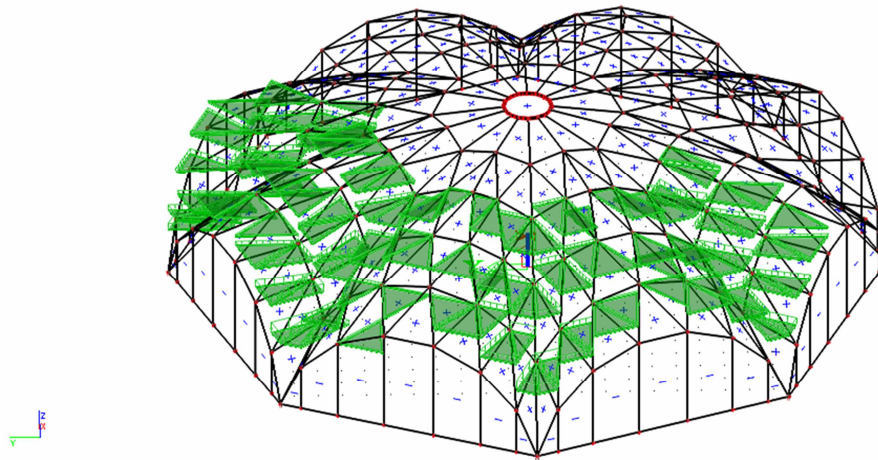


Po získání hodnot μ_3 na hlavních obloucích je nutno uvážit roznos na příčných obloucích. Zde je podíl $h/b = \frac{4,5}{11,5} = 0,391$ čemuž odpovídá $\mu_3^* = 2,0$.



Obr. 17 - rozměry h/b -
příčný oblouk

Výsledná hodnotu zatížení od navátého sněhu na konkrétním místě konstrukce byla určena lineárním roznosem hodnoty, která byla určena v hlavním směru, při současném přenásobení hodnotou μ_3^* . Pro rozhodnutí o μ_3^* a $0,5\mu_3^*$ bylo postupováno dle stejné analogie jako u modré a zelené oblasti. Vrchol kopule a hřebeny příčných oblouků jsou tedy nezatíženy. Naproti tomu největší zatížení připadá na dolní část úžlabí. Toto zatížení je uvažováno ve dvou stavech stejně jako nenavátý sníh a to po celé ploše a na polovině, přičemž se počítá s více zatíženou polovinou a ta se poté kombinuje s nejvíce nepříznivými účinky větru.



Obr. 18 – příklad zatížení navátým sněhem

1.11 Zatížení větrem

Při výpočtu zatížení větrem je postupováno podle normy ČSN EN 1991–1-4. Zamýšlená stavba se nalézá v lokalitě Brno, která dle větrné mapy ČR spadá do II. větrné oblasti se základní rychlostí větru v_0 je 25 m/s. Je uvažováno, že se budova nalézá ve III. kategorii terénu. Vzhledem k složitosti povrchu konstrukce bylo pro přesnější simulaci působení větru použito programu Autodesk Flow Design. Tento program simuluje chování modelu konstrukce v aerodynamickém tunelu. Výstupem jsou jednotlivé rychlosti větru v daných místech nebo tlak na povrchu konstrukce vyvolaný účinky větru. V programu lze nastavit rychlost větru a přesnost výpočtu. Výstupy z tohoto programu jsou přiloženy v příloze I. Přesnost výpočtu programem byla v několika místech ověřena ručním výpočtem. Hodnoty se lišily velmi málo, proto bylo možno dané výstupy považovat za aplikovatelné. Bohužel není možné přenést datové informace z programu Autodesk Flow Design do programu Scia Engineer 2013.1 a toto se musí provádět ručně. Při zadávání zatížení větrem na jednotlivé panely bylo vždy uvažováno s průměrnou hodnotou tlaku působícího na panel. Vzhledem k tomu, že je konstrukce symetrická bylo zatížení větrem uvažováno pouze ve dvou směrech.

- Kolmo na čelo příčného oblouku
- Ve směru úžlabí

Tlak větru byl umístěn do míst s největším namáháním od zatížení sněhem.

9. POSTUP MONTÁŽE

Do betonového základu budou osazeny ocelové kotevní prvky. Poté bude pomocí jeřábu osazeno osm hlavních nosníků, které budou spojeny vrcholovým prstencem. Následně budou montovány panelové dílce. Montáž bude probíhat zhora a postupně tak budou vytvářeny příčné oblouky. Horní deska panelu bude montována až po přichycení panelu ke styčníku a vzájemném spojení panelů podél hran. Jelikož panely tvoří lomenou plochu, nebudou na sebe stěny dvou sousedících panelů přesně doléhat. Toto se musí předem ošetřit zhotovením úkosu. (nejlépe při výrobě) Aby nebyla snížena únosnost prvku, budou použity vaznice větší šířky (80mm). V jednotlivých stádiích montáže bude zapotřebí konstrukci prostorově vyztužit (např. sbíjenými kříži), jelikož prostorová tuhost je zajištěna právě montovanými dílci.

10. POZNÁMKY

- V návrhu konstrukce není uvažováno s technickým a sociálním zázemím výstavního pavilonu.
- V návrhu není zpracováno provedení čelního okna a vstupů.
- Zpracovaná dokumentace nezahrnuje výrobní ani montážní dokumentaci.

11. SEZNAM ZDROJŮ

- [1] - ČSN EN 1991: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem

12. POUŽITÉ ZKRATKY

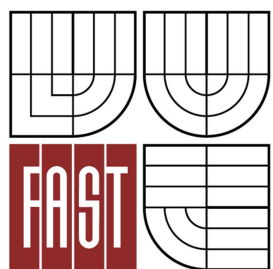
NA 2,19 – národní příloha 2,19

MSÚ – mezní stav únosnosti

MSP – mezní stav použitelnosti



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

VÝSTAVNÍ PAVILON EXHIBITION PAVILION

STATICKÝ VÝPOČET

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. JAKUB ŘEHÁČEK

VEDOUČÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAREL SÝKORA

BRNO 2015

OBSAH STATICKÉHO VÝPOČTU

OBSAH STATICKÉHO VÝPOČTU	2
1. ÚVOD.....	5
2. GEOMETRIE	6
3. MATERIÁL	8
1.1Lepené lamelové dřevo GL 24h	8
1.2Rostlé dřevo C16	9
1.1Rostlé dřevo C18	9
1.3Ocel S235	10
1.4Ocel 5.8	10
4. ZATÍŽENÍ	11
1.5Vlastní tíha	11
1.6Ostatní stálé zatížení	11
1.7Zatížení sněhem	12
1.7.1 Nenavátý sníh	13
1.7.2 Navátý sníh	14
1.8Zatížení větrem	16
1.8.1 Kontrolní výpočet	17
1.8.2 Vítr působící kolmo na čelní stěnu	20
1.8.3 Vítr působící ve směru úžlabí	21
5. ZATĚŽOVACÍ STAVY	22
6. KOMBINACE	22
1.9Klíč kombinací	23
1.9.1 Únosnost	23
1.9.2 Použitelnost	24
7. VNITŘNÍ SÍLY	25

1.10	Kontrolní výpočet	25
1.10.1	Hlavní oblouk	25
1.10.2	Vedlejší oblouk	29
8.	POSOUZENÍ PRVKŮ	32
1.11	Mezní stav únosnosti	32
1.11.1	Hlavní nosník	32
1.11.2	Vaznice	34
1.11.3	Okrajová vaznice	36
1.12	Mezní stav použitelnosti	38
1.12.1	Hlavní nosník	38
1.12.2	Vaznice	39
1.12.3	Okrajová vaznice	40
9.	POSOUZENÍ SPOJŮ.....	42
1.13	Vrcholový prstenec	42
1.14	Čepové připojení hlavního oblouku k vrcholovému prstenci	44
1.14.1	Návrh čepu	44
1.14.2	Kolíkový spoj	46
1.14.3	Návrh svarů	49
1.15	Čepové připojení hlavního oblouku k základové konstrukci	50
1.15.1	Návrh čepu	50
1.15.2	Kolíkový spoj	51
1.15.3	Návrh patního plechu	53
1.15.4	Návrh svarů	54
1.16	Řešení přípoje vaznic k hlavnímu oblouku	54
1.16.1	Posouzení styčnicku	55
1.16.2	Řešení svarů	55
1.16.3	Řešení vrutového připojení k obloukům	56
1.17	Řešení styčnicku vaznic	60
1.17.1	Posouzení styčnicku	60
1.17.2	Řešení svarů	61

1.18	Posouzení kolíkového přípoje vaznic ke styčníku	61
10.	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	64
11.	SEZNAM ZDROJŮ	66
12.	POUŽITÝ SOFTWARE.....	66

1 ÚVOD

Tato práce se zabývá návrhem a posouzením nosné konstrukce výstavního pavilonu v Brně. Stavba je situována v předměstí Brna. Konstrukce byly navrženy v různých tvarech a různých konstrukčních uspořádáních, přičemž omezujícím faktorem byly rozměry parcely 36 x 36 m. Výška stavby není omezená.

Po zhodnocení kritérií byla vybrána varianta kopule vystavěné nad osmiúhelníkovým půdorysem. Tato varianta bude dále podrobně řešena.

Nosná konstrukce výstavního pavilonu byla navržena v souladu s těmito platnými normativními dokumenty:

- ČSN EN 1990: Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1991: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- ČSN EN 1991: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- ČSN EN 1993: Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 1993: Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčnicků
- ČSN EN 1995: Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

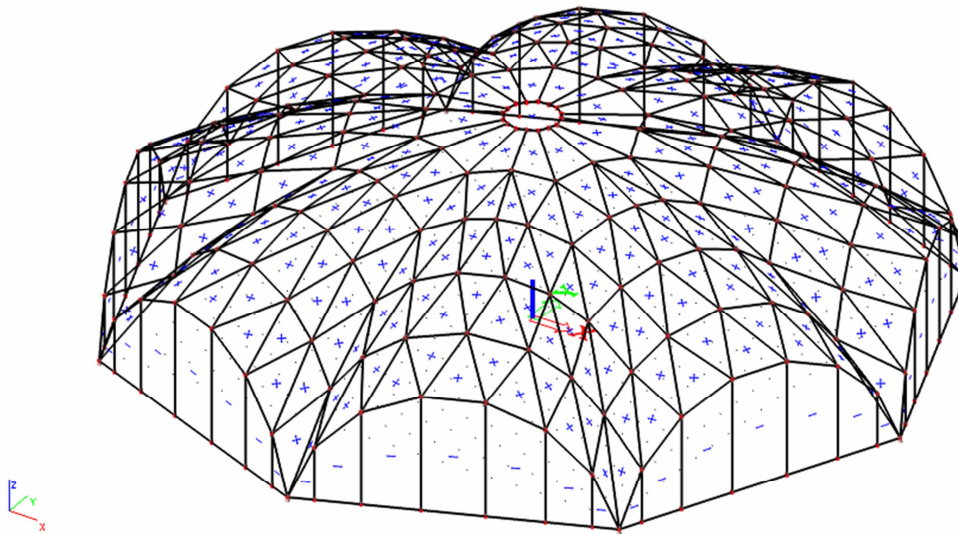
Podkladem pro návrh bylo:

- zadání diplomové práce

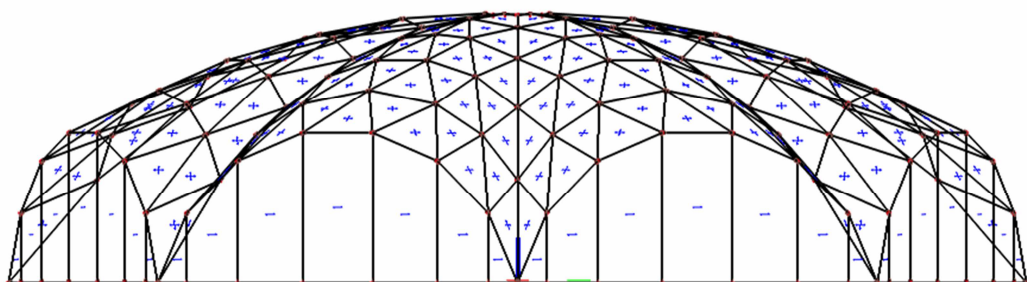
2 GEOMETRIE

Konstrukce má tvar kopule vystavěné nad osmiúhelníkovým půdorysem s osmi výklenky. Viz technická zpráva.

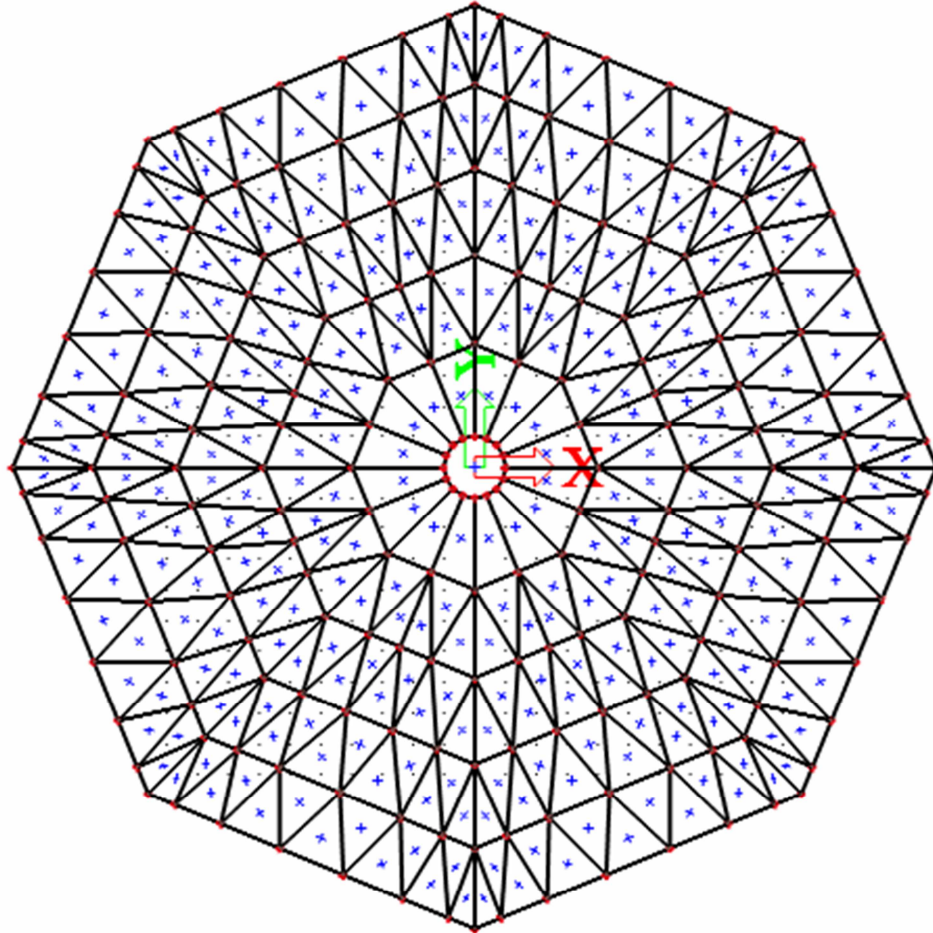
Zjednodušený popis: průměr 30m, výška ve vrchole 8m, výška ve vrchole příčného oblouku 4,5m, 8 hlavních nosníků, 8x60 prutů, které tvoří 8x41 panelů.



Obr. 1 – axonometrie modelu



Obr. 2 - bocorys



Obr. 3 - půdorys

3 MATERIÁL

Při dimenzování byly použity následující materiály. V níže uvedených tabulkách jsou k nalezení základní pevnostní a přetvárné charakteristiky.

3.1 Lepené lamelové dřevo GL 24h

pevnost v ohybu	$f_{m,k}$	24,00 MPa
pevnost v tahu	$f_{t,0,k}$	16,50 MPa
	$f_{t,90,k}$	0,50 MPa
pevnost v tlaku	$f_{c,0,k}$	24,00 MPa
	$f_{c,90,k}$	2,70 MPa
pevnost ve smyku	$f_{v,k}$	3,50 MPa
modul pružnosti v tahu, tlaku	$E_{0,mean}$	11,60 GPa
	$E_{0,05}$	8,80 GPa
	$E_{90, mean}$	0,39 GPa
modul pružnosti ve smyku	G_{mean}	0,72 GPa
hustota	ρ_k	380,00 kg/m ³

3.2 Rostlé dřevo C16

pevnost v ohybu	$f_{m,k}$	16,00 MPa
pevnost v tahu	$f_{t,0,k}$	10,00 MPa
	$f_{t,90,k}$	0,40 MPa
pevnost v tlaku	$f_{c,0,k}$	17,00 MPa
	$f_{c,90,k}$	2,20 MPa
pevnost ve smyku	$f_{v,k}$	3,20 MPa
modul pružnosti v tahu, tlaku	$E_{0,mean}$	8,00 GPa
	$E_{0,05}$	5,40 GPa
	$E_{90, mean}$	0,27 GPa
modul pružnosti ve smyku	G_{mean}	0,50 GPa
hustota	ρ_k	310,00 kg/m ³

1.1 Rostlé dřevo C18

pevnost v ohybu	$f_{m,k}$	18,00 MPa
pevnost v tahu	$f_{t,0,k}$	11,00 MPa
	$f_{t,90,k}$	0,40 MPa
pevnost v tlaku	$f_{c,0,k}$	18,00 MPa
	$f_{c,90,k}$	2,20 MPa
pevnost ve smyku	$f_{v,k}$	3,40 MPa
modul pružnosti v tahu, tlaku	$E_{0,mean}$	9,00 GPa
	$E_{0,05}$	6,00 GPa
	$E_{90, mean}$	0,30 GPa
modul pružnosti ve smyku	G_{mean}	0,56 GPa
hustota	ρ_k	320,00 kg/m ³

3.3 Ocel S235

Dle ČSN EN 1993-1-1:

parciální součinitel spolehlivosti	γ_{M0}	1,00
parciální součinitel spolehlivosti	γ_{M1}	1,00
charakteristická mez kluzu	f_y	235,00 MPa
charakteristická mez pevnosti	f_u	360,00 MPa
modul pružnosti	E	210,00 GPa

3.4 Ocel 5.8

Dle ČSN EN 1993-1-8:

parciální součinitel spolehlivosti	γ_{M0}	1,25
parciální součinitel spolehlivosti	γ_{M1}	1,25
charakteristická mez kluzu	f_y	400,00 MPa
charakteristická mez pevnosti	f_u	500,00 MPa

3.5 Ocel 4.6

Dle ČSN EN 1993-1-8:

parciální součinitel spolehlivosti	γ_{M0}	1,25
parciální součinitel spolehlivosti	γ_{M1}	1,25
charakteristická mez kluzu	f_y	240,00 MPa
charakteristická mez pevnosti	f_u	400,00 MPa

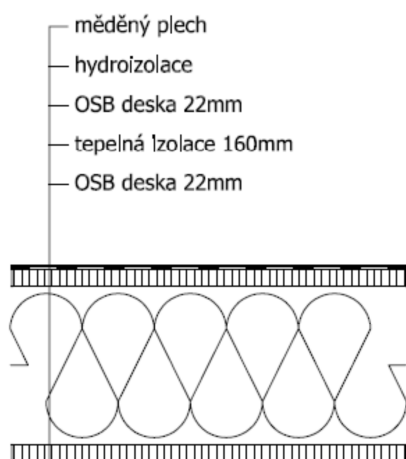
4 ZATÍŽENÍ

4.1 Vlastní tíha

Vlastní tíha byla vygenerována pomocí výpočetního programu Scia Engineer 2013.1.

4.2 Ostatní stálé zatížení

Ostatní stálé zatížení je definováno tíhou jednotlivých panelů a střešního souvrství.



Obr. 4 – střešní skladba

vrstva	obj. tíha [kNm ⁻³]	tloušťka [mm]	tíha [kNm ⁻²]
krytina (plech+hizo)			0,2
izolace	0,3	0,16	0,048
2xOSB	6,1	0,02	0,244

g_{1k}

0,492

4.3 Zatížení sněhem

Princip simulace zatížení sněhem je popsán v technické zprávě. Při výpočtu zatížení sněhem je postupováno podle normy ČSN EN 1991–1-3. Daný objekt se vyskytuje v I. sněhové oblasti. Základní charakteristická hodnota je $0,75 \text{ kNm}^{-2}$.

Zatížení sněhem na střechu: $s = s_k * C_e * C_t * \mu_i$

s_k - základní charakteristická hodnota zatížení sněhem

$C_e = 1,0$ normální typ krajiny: Plochy, kde nedochází na stavbách k výraznému přemístění sněhu větrem kvůli okolnímu terénu, jiným stavbám nebo stromům.

$C_t = 1,0$ tepelný součinitel se má použít tam, kde je možné vzít v úvahu snížení zatížení sněhem na střeše vlivem prostupu tepla. V ostatních případech je roven 1.

μ_i - tvarový součinitel

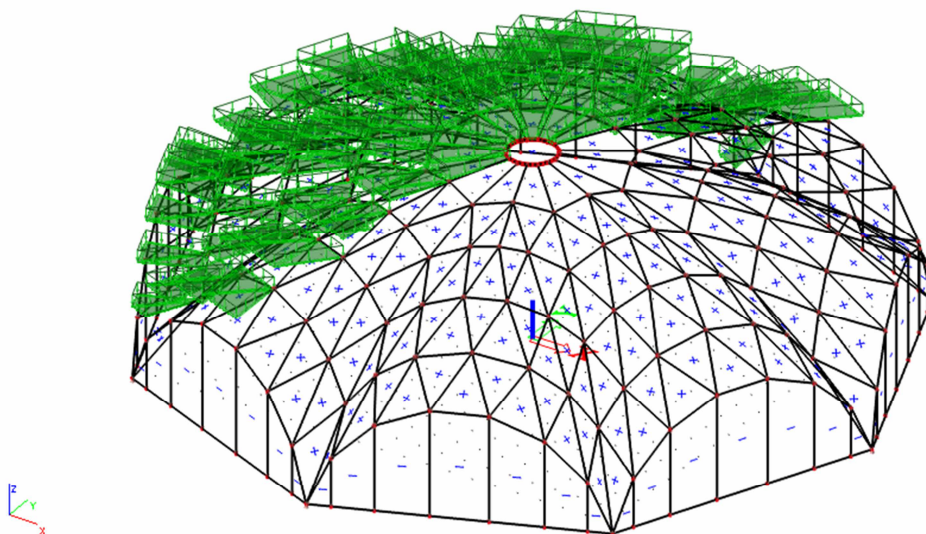
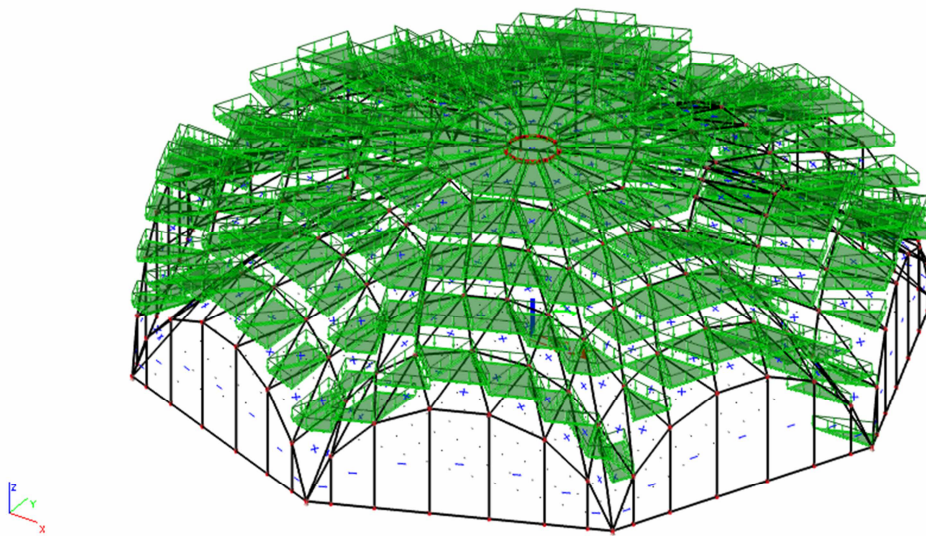
Při výpočtu zatížení bylo uvažováno s nenavátým sněhem a navátým sněhem. Jednotlivé situace byly popsány v různých zatěžovacích stavech.

4.3.1 Nenavátý sníh

Pro nenavátý sníh je uvažováno s tvarovým součinitelem pro válcové střechy μ_i v hodnotě 0,8. Charakteristická hodnota zatížení je tedy:

$$s = 0,75 * 1,0 * 1,0 * 0,8 = 0,6 \text{ kNm}^{-2}$$

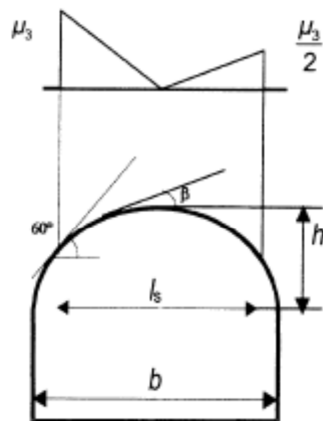
Zatížení bylo umístěno na celou plochu střešního pláště a poté v dalším zatěžovacím stavu pouze na polovinu. Viz následující obrázky.



Obr. 5 a 6 – zatížení nenavátým sněhem

4.3.2 Navátý sních

Pro určení tvarového součinitele μ_3 bylo postupováno dle národních příloh NA 2,18 a NA 2,19. Tvarový součinitel μ_3 pro globální rozdělení má hodnotu 1,47 pro lokální rozdělení po příčných obloucích pak μ_3^* rovná se 2,0. Podrobnější vysvětlení postupu pro výpočet zatížení sněhem je uveden v technické zprávě (TZ).



Obr. 7 – hodnoty tvarových součinitelů pro válcové střechy. Viz [2] NA 2,19

h/b	1/8	1/6	$\geq 1/5$
μ_3	1,45	1,8	2,0

Charakteristická hodnota zatížení je tedy:

$$s_1' = 0,75 * 1,0 * 1,0 * 1,47 = 1,125 \text{ kNm}^{-2}$$

$$s_2' = 0,75 * 1,0 * 1,0 * 1,47/2 = 0,551 \text{ kNm}^{-2}$$

Tyto hodnoty jsou lineárně rozděleny po povrchu konstrukce a v každém bodě ještě rozneseny příčně pomocí μ_3^* . Konečná maximální charakteristická hodnota zatížení sněhem se tedy rovná:

$$s_{11} = 1,125 * 1,0 * 1,0 * 2,0 = 2,25 \text{ kNm}^{-2}$$

$$s_{12} = 1,125 * 1,0 * 1,0 * 2,0/2 = 1,125 \text{ kNm}^{-2}$$

$$s_{21} = 0,551 * 1,0 * 1,0 * 2,0 = 1,125 \text{ kNm}^{-2}$$

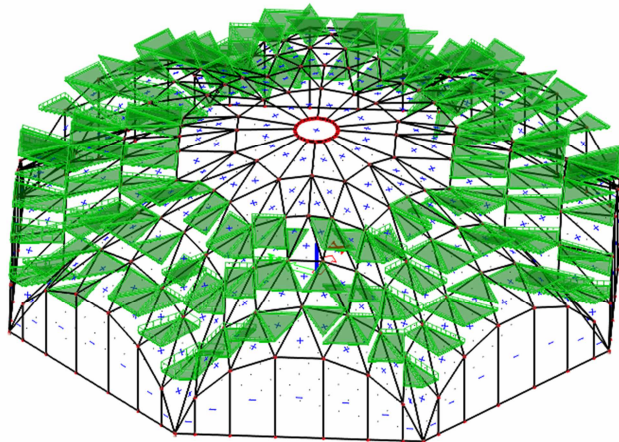
$$s_{22} = 0,551 * 1,0 * 1,0 * 2,0/2 = 0,551 \text{ kNm}^{-2}$$

$$s_{31} = 0,75 * 1,0 * 1,0 * 2,0 = 1,5 \text{ kNm}^{-2}$$

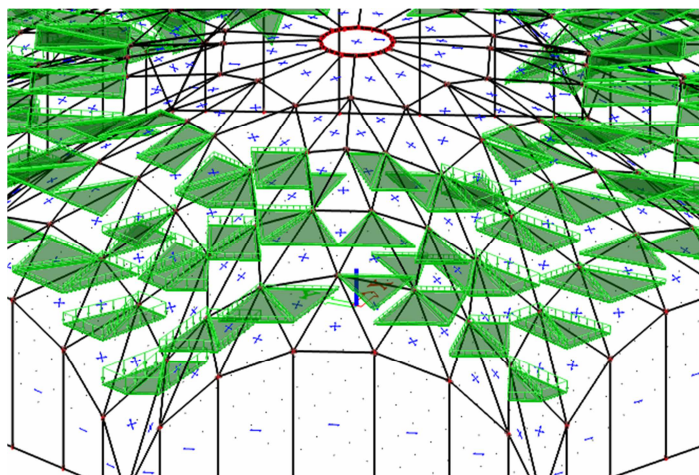
$$s_{32} = 0,75 * 1,0 * 1,0 * 2,0/2 = 0,75 \text{ kNm}^{-2}$$

poznámka: první index značí oblast (1-modrá; 2-zelená; 3-červená – viz TZ) druhý index určuje, zda se počítá s μ_3 (1) nebo $0,5 \mu_3$ (2)

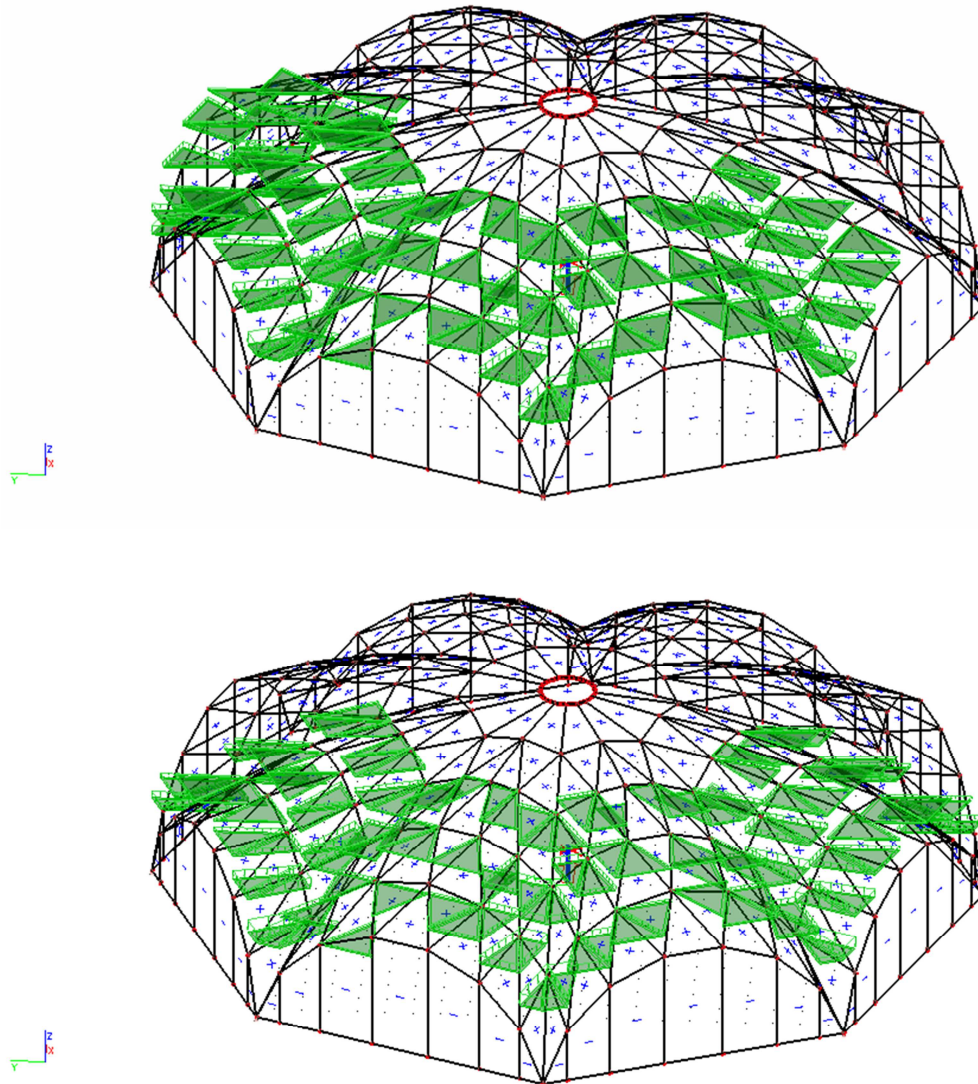
Stejně jako v podélném směru jsou i ve směru příčném hodnoty lineárně rozneseny. Výše spočtené hodnoty jsou tedy pouze maximální hodnoty zatížení, které se vyskytují v úžlabích. Více lze rozpoznat z následujících obrázků.



Obr. 8 – plné zatížení navátým sněhem



Obr. 9 – detail zatížení navátým sněhem



Obr. 10 a 11 – zatížení navátým sněhem na polovinách

4.4 Zatížení větrem

Při výpočtu zatížení větrem je postupováno podle normy ČSN EN 1991–1-4. Zamýšlená stavba se nalézá v lokalitě Brno, která dle větrné mapy ČR spadá do II. větrné oblasti se základní rychlostí větru v_0 25 m/s. Je uvažováno, že se budova nalézá ve III. kategorii terénu. Vzhledem k složitosti povrchu konstrukce bylo pro přesnější simulaci působení větru použito programu Autodesk Flow Design. Výpočet byl ověřen ručním kontrolním výpočtem dle normy.

4.4.1 Kontrolní výpočet

Větrná oblast: II $v_0 = 25 \text{ m/s}$

Kategorie terénu: III předměstský terén

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

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

Základní rychlost větru: $v_b = c_{dir} \times c_{season} \times v_0$

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

Střední rychlost větru: $v_m = c_r(z) \times c_o(z) \times v_b$

$$v_m = 0,606 \times 1,0 \times 25 = 15,15 \text{ m/s}$$

Součinitel drsnosti $c_r(z) = k_r \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$

$$c_r(5) = 0,215 \dots \times \ln\left(\frac{5}{0,3}\right) = 0,606$$

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

$$k_r = 0,19 \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,2153893$$

Intenzita turbulence $I_v = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$

$$I_v = \frac{5,384}{15,15} = 0,355$$

Směrodat. odch. turbulence $\sigma_v = k_r \times v_b \times k_i$

$$\sigma_v = 0,215 \times 25 \times 1,0 = 5,384$$

Maximální dynamický tlak $q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] \times \frac{1}{2} \rho \times v_m^2(z)$

$$q_p(5) = [1 + 7 \times 0,355] \times \frac{1}{2} \times 1,25 \times 15,15^2 = 500,3 \text{ Pa}$$

Nebo zjednodušeně: $q_p(z) = C_e(z) \times q_b$

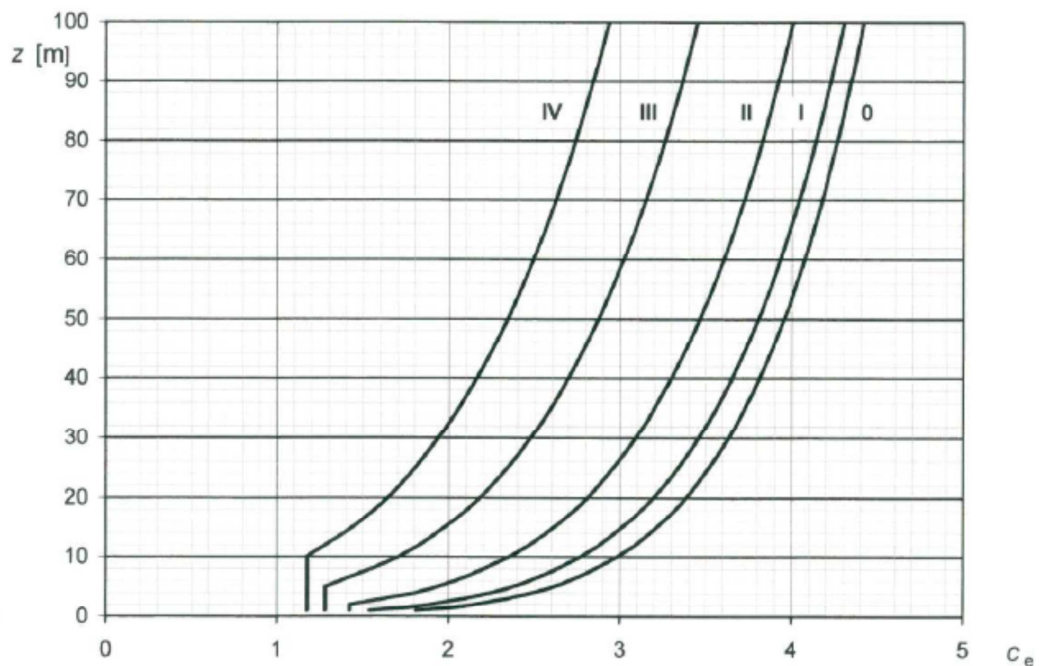
$$q_p(5) = 1,3 \times 390,63 = 507,81 \text{ Pa}$$

$$q_p(8) = 1,55 \times 390,63 = 605,47 \text{ Pa}$$

Zákl. dynam. tlak: $q_b = \frac{1}{2} \rho \times v_b^2$

$$q_b = \frac{1}{2} 1,25 \times 25^2 = 390,63 \text{ Pa}$$

poznámka: c_{dir} – souč. směru větru uvažován 1,0; c_{season} – souč. ročního období uvažován 1,0; k_i – souč. turbulence uvažován 1,0; ρ – měrná hmotnost vzduchu uvažována $1,25 \text{ kg/m}^3$, hodnota součinitele expozice $C_e(z)$ je vzata z grafu na Obr. 12 Viz [3] – str. 24



Obr. 12 – Součinitel expozice $C_e(z)$

Tlak větru na povrchy: $w_e = q_p(z) \times c_{pe}$

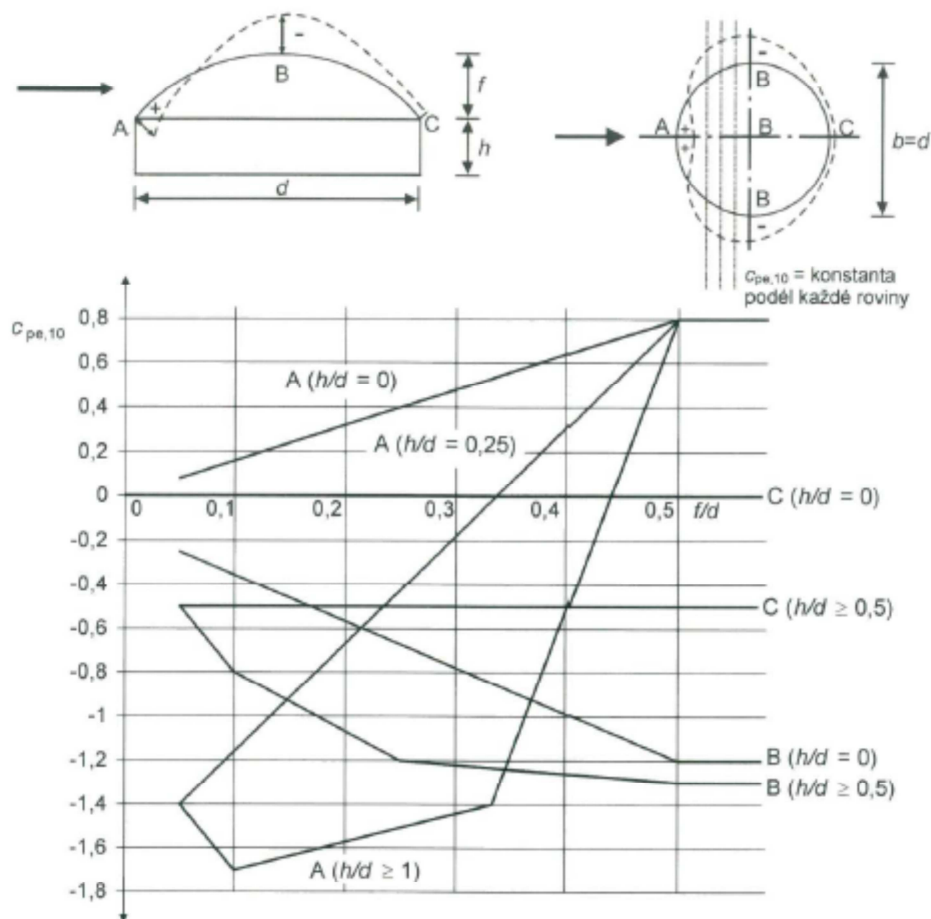
Tlak na čelní stěnu: $w_e = 507,81 \times 0,7 = 355,47 \text{ Pa}$

Tlak na zadní stěnu: $w_e = 507,81 \times -0,3 = -152,34 \text{ Pa}$

Hodnoty $C_{pe,10}$ jsou vzaty z tabulky na Obr. 13. Viz [3] – str. 33

Oblast	A		B		C		D		E	
h/d	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-1,4	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Obr. 13 – součinitele vnějšího tlaku pro svislé stěny



POZNÁMKA $C_{pe,10}$ je konstantní podél oblouků kružnic, které jsou průřezy kulové plochy a rovin kolmých ke směru větru; jako první přiblížení může být určen lineární interpolací mezi hodnotami A, B a C podél oblouků kružnic rovnoběžných se směrem větru. Stejným způsobem mohou být lineární interpolací v obrázku nahoře získány hodnoty $C_{pe,10}$ v A, jestliže $0 < h/d < 1$, a v B nebo C, jestliže $0 < h/d < 0,5$ podle obrázku nahoře.

Obr. 14 – součinitele vnějšího tlaku $C_{pe,10}$ pro kopule [3] – str. 45

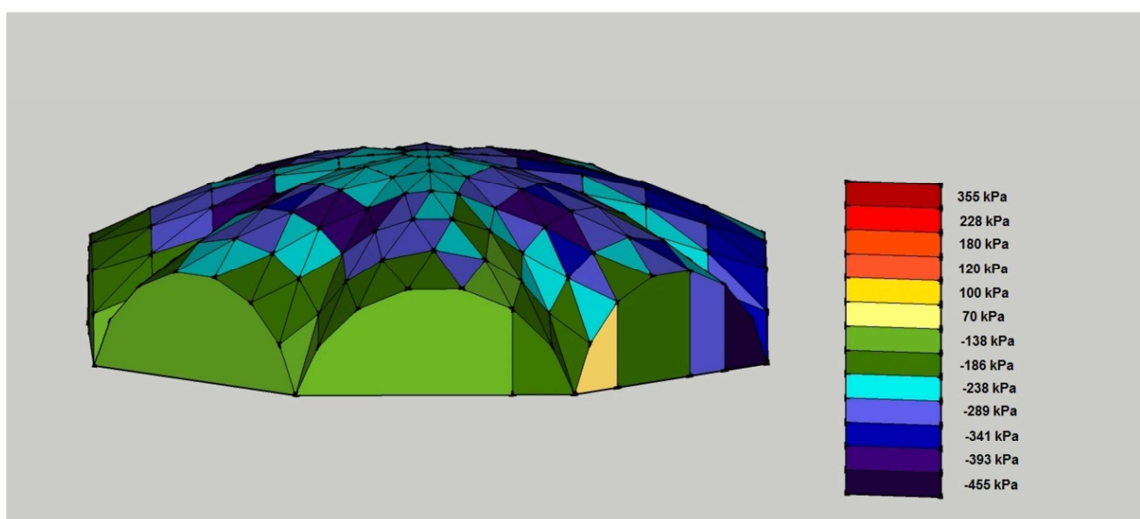
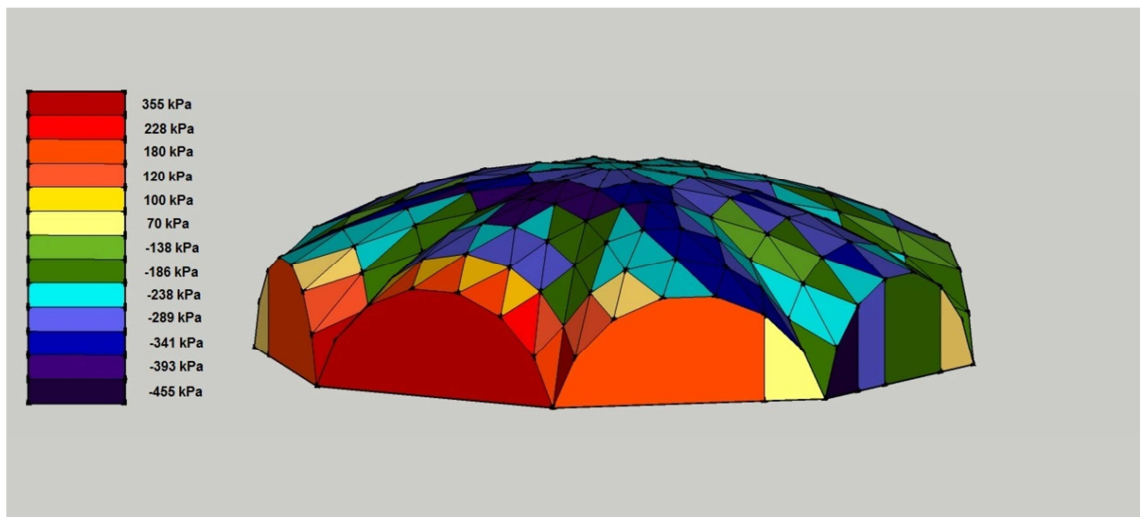
Tlak ve vrchole kopule: $w_e = 605,47 \times -0,4 = -242,19 \text{ Pa}$

Součinitel $C_{pe10} = -0,4$

$$h/d = 4,5/30 = 0,15 \qquad f/d = 3,5/30 = 0,116$$

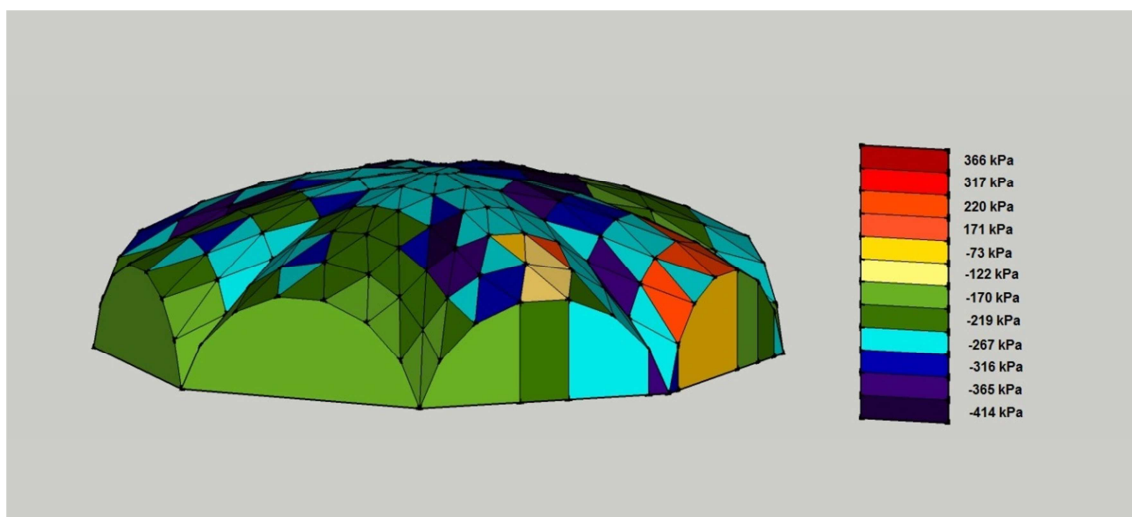
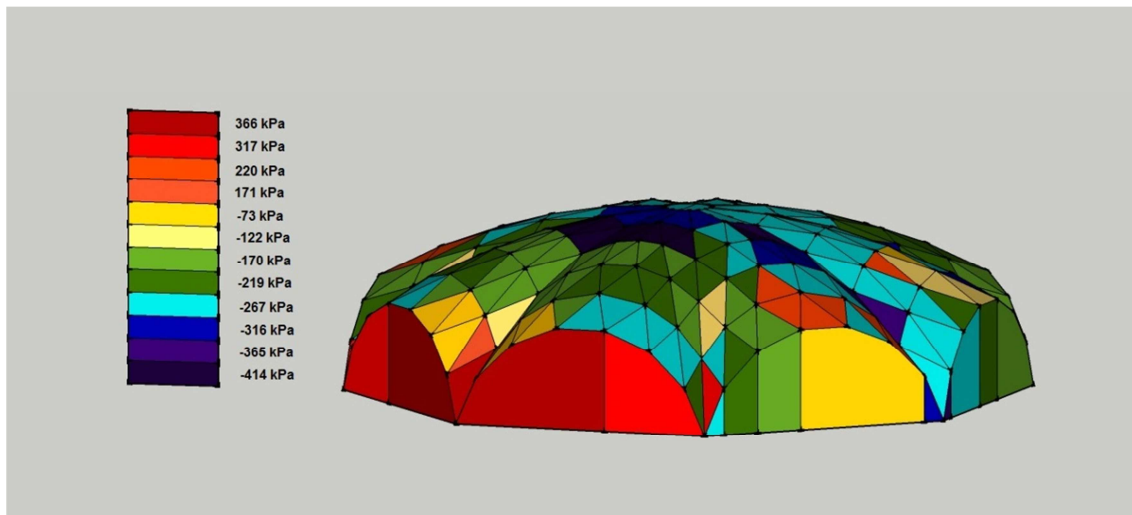
Hodnoty tlaku z ručního výpočtu se relativně shodují s výstupy z programu AFD. Proto byly tyto výstupy aplikovány pro zatížení konstrukce větrem.

4.4.2 Vítr působící kolmo na čelní stěnu



Obr. 15 a 16 – vítr působící na čelní stěnu (čelní a zadní pohled)

4.4.3 Vítr působící ve směru úžlabí



Obr. 17 a 18 – vítr působící ve směru úžlabí (čelní a zadní pohled)

6.1 Klíč kombinací

6.1.1 Únosnost

Jméno	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
<small>*Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze*</small>			
CO1	Lineární - únosnost	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS3 - sníh plný	1,35 1,35 1,50
CO2	Lineární - únosnost	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS4 - sníh nevátý polovina	1,35 1,35 1,50
CO3	Lineární - únosnost	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS5 - sníh nevátý polovina úžlabí	1,35 1,35 1,50
CO4	Lineární - únosnost	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS9 - vítr stěna	1,35 1,35 1,50
CO5	Lineární - únosnost	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS10 - vítr úžlabí	1,35 1,35 1,50
CO6	Lineární - únosnost	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS9 - vítr stěna	1,00 1,00 1,50
CO7	Lineární - únosnost	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS10 - vítr úžlabí	1,00 1,00 1,50
CO8	Lineární - únosnost	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS6 - sníh vátý plný ZS9 - vítr stěna	1,00 1,00 1,50 0,90
CO9	Lineární - únosnost	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS6 - sníh vátý plný ZS9 - vítr stěna	1,00 1,00 0,75 1,50
CO10	Lineární - únosnost	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS6 - sníh vátý plný ZS10 - vítr úžlabí	1,00 1,00 0,75 1,50
CO11	Lineární - únosnost	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS6 - sníh vátý plný ZS10 - vítr úžlabí	1,00 1,00 1,50 0,90
CO12	Lineární - únosnost	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS7 - sníh vátý polovina ZS9 - vítr stěna	1,00 1,00 1,50 0,90
CO13	Lineární - únosnost	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS7 - sníh vátý polovina ZS9 - vítr stěna	1,00 1,00 0,75 1,50
CO14	Lineární - únosnost	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS10 - vítr úžlabí ZS8 - sníh vátý polovina úžlabí	1,00 1,00 0,90 1,50
CO15	Lineární - únosnost	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS10 - vítr úžlabí ZS8 - sníh vátý polovina úžlabí	1,00 1,00 1,50 0,75

6.1.2 Použitelnost

Jméno	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
		<i>*Studentská verze*</i> <i>*Studentská verze*</i> <i>*Studentská verze*</i> <i>*Studentská verze*</i> <i>*Studentská verze*</i> <i>*Studentská</i>	
CO16 MSP	Lineární - použitelnost	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS3 - sníh plný	1,00 1,00 1,00
CO17	Lineární - použitelnost	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS9 - vítr stěna	1,00 1,00 1,00
CO18	Lineární - použitelnost	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS10 - vítr úžlabí	1,00 1,00 1,00
CO19	Lineární - použitelnost	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS6 - sníh vátý plný ZS9 - vítr stěna	1,00 1,00 1,00 0,60
CO20	Lineární - použitelnost	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS6 - sníh vátý plný ZS9 - vítr stěna	1,00 1,00 0,50 1,00
CO21	Lineární - použitelnost	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS6 - sníh vátý plný ZS10 - vítr úžlabí	1,00 1,00 1,00 0,60
CO22	Lineární - použitelnost	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS6 - sníh vátý plný ZS10 - vítr úžlabí	1,00 1,00 0,50 1,00
CO23	Lineární - použitelnost	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS7 - sníh vátý polovina ZS9 - vítr stěna	1,00 1,00 1,00 0,60
CO24	Lineární - použitelnost	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS7 - sníh vátý polovina ZS9 - vítr stěna	1,00 1,00 0,50 1,00
CO25	Lineární - použitelnost	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS10 - vítr úžlabí ZS8 - sníh vátý polovina úžlabí	1,00 1,00 0,60 1,00
CO26	Lineární - použitelnost	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS10 - vítr úžlabí ZS8 - sníh vátý polovina úžlabí	1,00 1,00 1,00 0,50

7 VNITŘNÍ SÍLY

Výpočet vnitřních sil byl proveden pomocí programu Scia Engineer 2013.1. Pro jistotu byl proveden kontrolní zjednodušený ruční výpočet. Výstupy z programu Scia Engineer 2013.1 jsou uvedeny v příloze II.

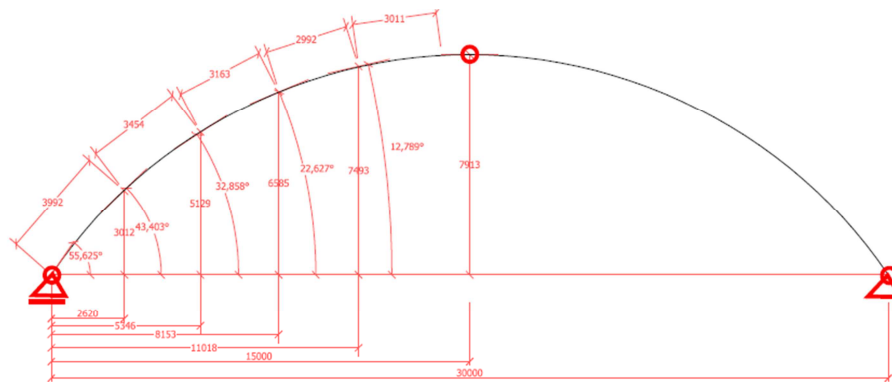
7.1 Kontrolní výpočet

Kontrolní výpočet byl proveden pro 1. a 2. ZS a to na dvou konstrukčních prvcích:

- Hlavní oblouk
- Vedlejší příčný oblouk (2. od kraje)

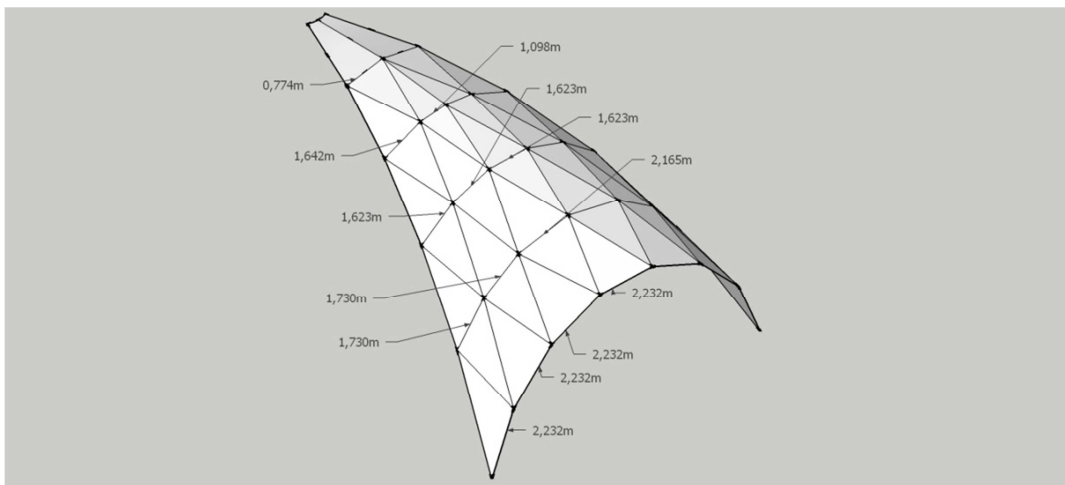
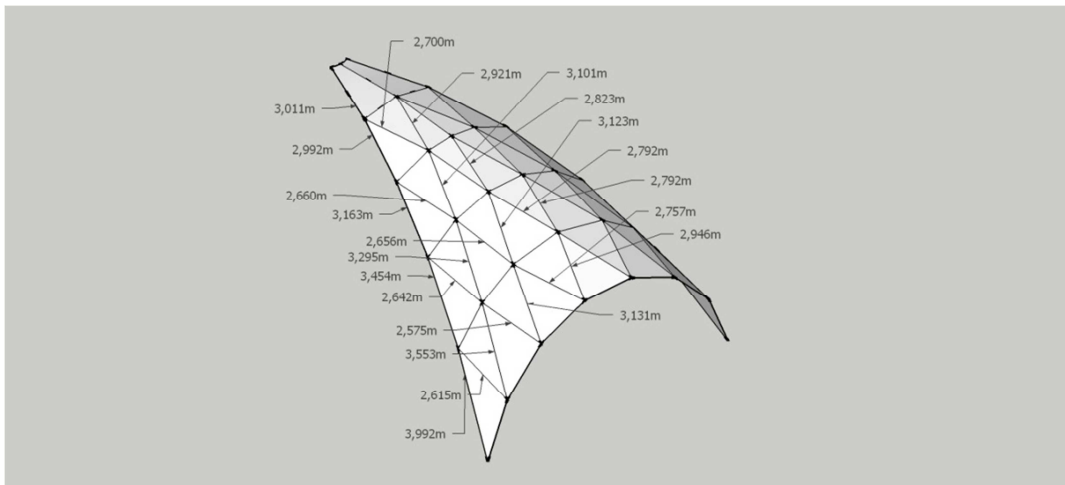
7.1.1 Hlavní oblouk

Nejprve byl proveden výpočet na hlavním oblouku. Statické schéma a rozměry jsou znázorněny na následujícím obrázku. Jedná se o trojkloubový nosník.

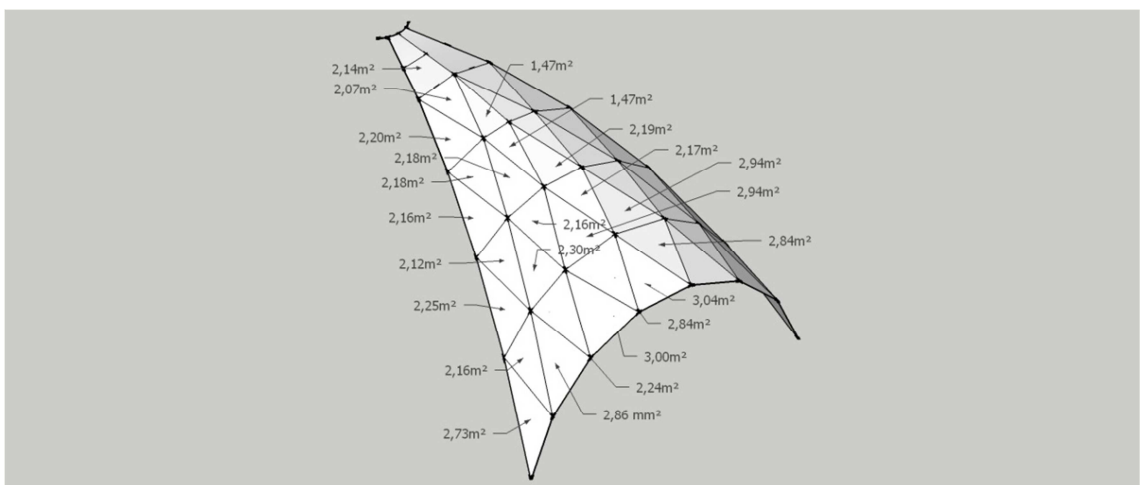


Obr. 19 – zjednodušené schéma hlavního oblouku

Výpočet byl proveden v programu Microsoft Office Excel 2010. Z podmínek rovnováhy byly vypočteny reakce R_{ax} a R_{az} . Oblouk i zatížení je symetrické, tudíž stačí vyřešit pouze jednu polovinu. Zatížení bylo určeno pro 1.ZS z délek jednotlivých prutů (Obr. 20 a 21) a známých průřezů. Pro 2.ZS pak z ploch dílců (Obr. 22). Na jeden nosník připadá zatížení od prvků mezi hřebeny příčných oblouků.



Obr. 20 a 21 – délky prutů



Obr. 22 – plochy dílců

Hlavní nosník

$L = 15,00 \text{ m}$

$f = 8,00 \text{ m}$

1. vlastní tíha

g	L_i	r_i
0,486 kN/m	3,99 m	13,69 m
0,486 kN/m	3,45 m	11,02 m
0,486 kN/m	3,16 m	8,25 m
0,486 kN/m	2,99 m	5,41 m
0,486 kN/m	3,01 m	1,99 m

síla F		r_i
F1	2,040 kN	15,00 m
F2	2,612 kN	12,38 m
F3	2,083 kN	9,65 m
F4	1,540 kN	6,85 m
F5	0,783 kN	3,98 m

$\rho_{obl} = 380 \text{ kg/m}^3$

$\rho_{obl} = 0,486 \text{ kN/m}$

$\rho_{vaz} = 320 \text{ kg/m}^3$

$\rho_{vaz} = 0,061 \text{ kN/m}$

Rbz	17,137 kN
-----	-----------

Rbx	11,472 kN
-----	-----------

x (m)	z (m)	φ	$\sin \varphi$	$\cos \varphi$	H(x)	S(x)	N(x)	V(x)	M(x)
0,000	0,000	55,625	0,825	0,565	-11,472	17,137	-20,622	0,207	0,000
2,620	3,012	43,815	0,692	0,722	-11,472	13,156	-17,386	1,550	2,461
5,346	5,129	32,858	0,543	0,840	-11,472	8,863	-14,446	1,221	4,621
8,153	6,586	22,627	0,385	0,923	-11,472	5,242	-12,606	0,425	4,787
11,018	7,493	12,789	0,221	0,975	-11,472	2,248	-11,685	-0,348	2,897
15,000	7,913	0,000	0,000	1,000	-11,472	0,000	-11,472	0,000	0,000

2. ostatní stálé zatížení

g	L_i	r_i
0	3,99 m	13,69 m
0	3,45 m	11,02 m
0	3,16 m	8,25 m
0	2,99 m	5,41 m
0	3,01 m	1,99 m

síla F		r_i
F1	10,613 kN	15,00 m
F2	14,861 kN	12,38 m
F3	10,794 kN	9,65 m
F4	7,309 kN	6,85 m
F5	3,892 kN	3,98 m

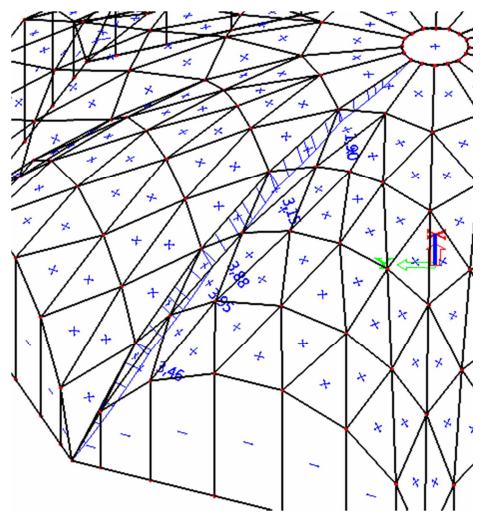
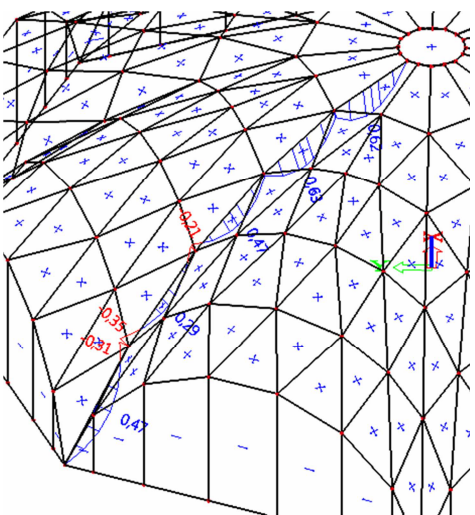
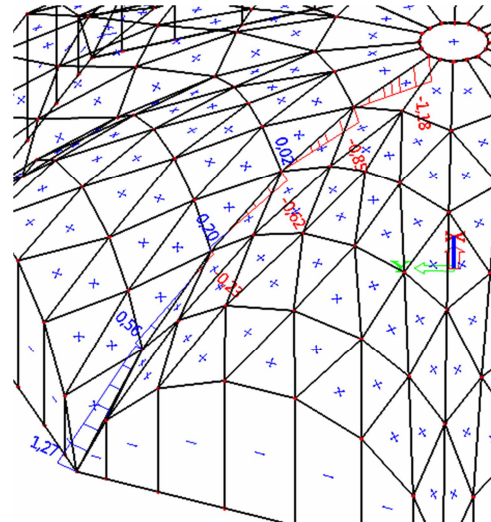
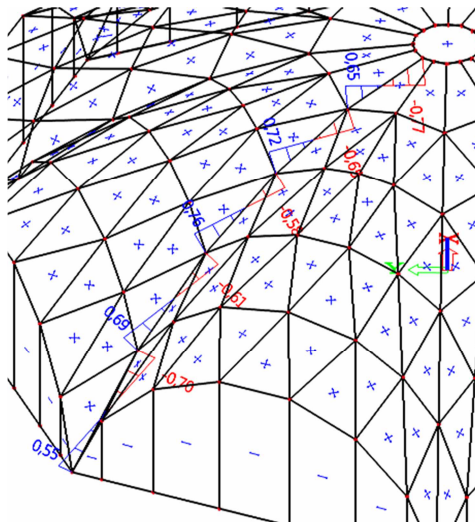
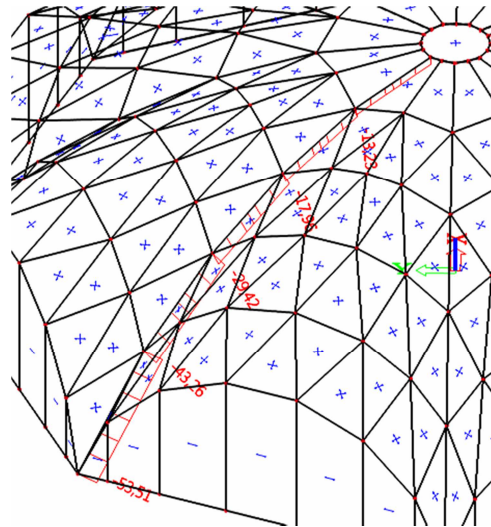
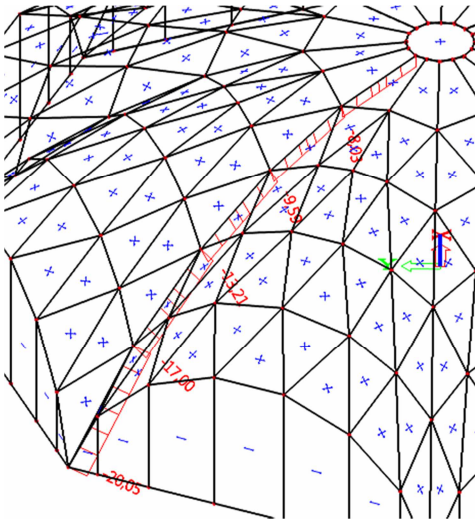
$g_0 = 0,492 \text{ kN/m}^2$

Rbz	47,469 kN
-----	-----------

Rbx	24,889 kN
-----	-----------

x (m)	z (m)	φ	$\sin \varphi$	$\cos \varphi$	H(x)	S(x)	N(x)	V(x)	M(x)
0,000	0,000	55,625	0,825	0,565	-24,889	47,469	-53,231	6,259	0,000
2,620	3,012	43,815	0,692	0,722	-24,889	36,856	-43,476	9,363	21,609
5,346	5,129	32,858	0,543	0,840	-24,889	21,995	-32,841	4,972	28,864
8,153	6,586	22,627	0,385	0,923	-24,889	11,200	-27,282	0,763	24,055
11,018	7,493	12,789	0,221	0,975	-24,889	3,892	-25,133	-1,714	12,611
15,000	7,913	0,000	0,000	1,000	-24,889	0,000	-24,889	0,000	0,000

Výsledky v předchozích tabulkách lze zkontrolovat s výsledky vypočtenými programem na následující stránce. Normálové síly vycházejí takřka identické. U momentů a posouvajících sil jsou hodnoty rozdílné, což je přisuzováno prostorovému působení konstrukce, o kterém je známo, že může výsledné momenty redukovat až na desetinu. Toto můžeme sledovat např. u momentů v 2.ZS.

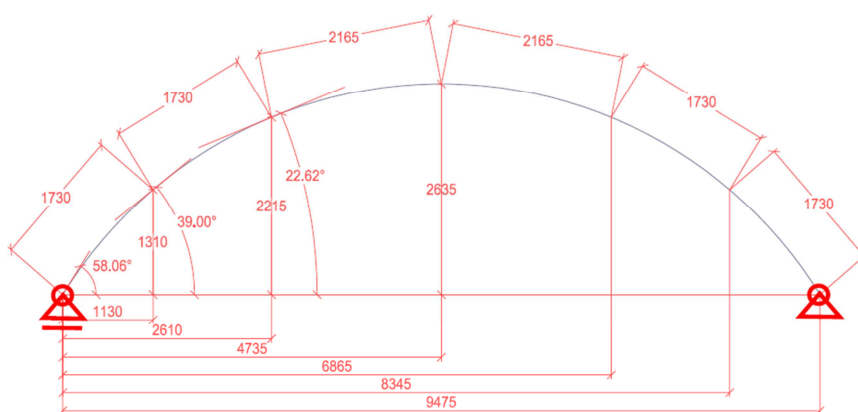


Obr. 23 – vnitřní síly (N,V,M)
v 1.ZS

Obr. 24 – vnitřní síly (N,V,M)
v 2.ZS

7.1.2 Vedlejší oblouk

Výpočet byl proveden na modelu nosníku znázorněném na Obr. 25. Je dná se o druhý příčný oblouk směrem od čelní stěny. Bylo uvažováno s posuvnou podporou, což není zcela přesné, ale umožňuje to řešit konstrukci jako staticky určitou. Výpočet byl proveden taktéž v programu Microsoft Office Excel 2010. Z podmínek rovnováhy byly vypočteny reakce R_{bx} a R_{bz} . Zatížení bylo určeno pro 1.ZS z délek jednotlivých prutů (Obr. 20 a 21) a známých průřezů. Pro 2.ZS pak z ploch dílců (Obr. 22). Zjednodušeně bylo ostatní stálé zatížení umístěno pouze do styčníků.



Obr. 25 – zjednodušené schéma příčného oblouku

Příčný oblouk

$L = 9,48 \text{ m}$

$f = 2,64 \text{ m}$

1. vlastní tíha

g	l_i
0,061 kN/m	1,73 m
0,061 kN/m	1,73 m
0,061 kN/m	2,17 m
0,061 kN/m	2,17 m
0,061 kN/m	1,73 m
0,061 kN/m	1,73 m

síla F	
F1	0,080 kN
F2	0,371 kN
F3	0,358 kN
F4	0,353 kN
F5	0,358 kN
F6	0,371 kN
F7	0,080 kN

$g_{vaz} = 0,061 \text{ kN/m}$

R_{bz}	1,331 kN
----------	----------

R_{bx}	0,830 kN
----------	----------

x (m)	z (m)	φ	$\sin \varphi$	$\cos \varphi$	H(x)	S(x)	N(x)	V(x)	M(x)
0,000	0,000	58,060	0,849	0,529	-0,830	1,251	-1,501	0,053	0,023
1,130	1,310	39,000	0,629	0,777	-0,830	0,774	-1,132	0,053	0,023
2,810	2,215	22,620	0,385	0,923	-0,830	0,309	-0,885	0,067	0,036
4,735	2,635	0,000	0,000	1,000	-0,830	0,000	-0,830	0,067	0,036
6,865	2,215	-22,620	0,385	0,923	-0,830	0,309	-0,885	0,053	0,023
8,345	1,310	-39,000	0,629	0,777	-0,830	0,774	-1,132	0,053	0,023
9,475	0,000	-58,060	0,849	0,529	-0,830	1,251	-1,501		

2. ostatní stálé zatížení

g	L_i
0	1,73 m
0	1,73 m
0	2,17 m
0	2,17 m
0	1,73 m
0	1,73 m

síla F	
F1	1,171 kN
F2	2,284 kN
F3	2,539 kN
F4	2,750 kN
F5	2,539 kN
F6	2,284 kN
F7	1,171 kN

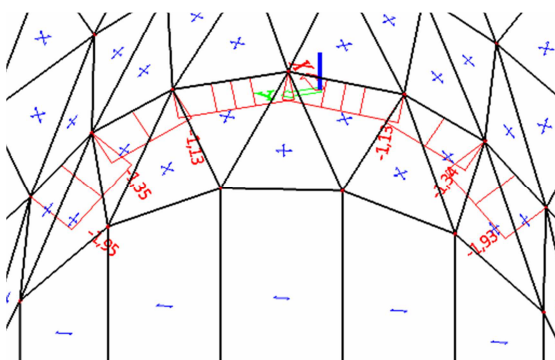
$$g_0 = 0,492 \text{ kN/m}^2$$

Rbz	7,369 kN
-----	----------

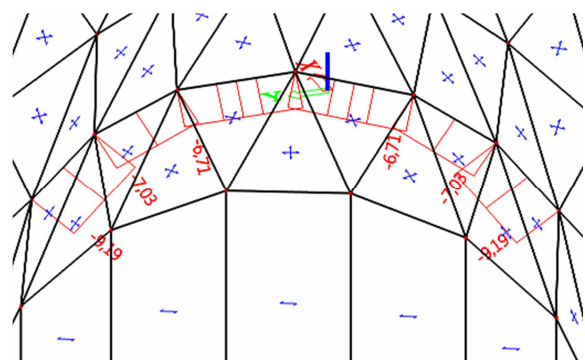
Rbx	4,594 kN
-----	----------

x (m)	z (m)	φ	$\sin \varphi$	$\cos \varphi$	H(x)	S(x)	N(x)	V(x)	M(x)
0,000	0,000	58,060	0,849	0,529	-4,594	6,198	-7,690	0,000	0,000
1,130	1,310	39,000	0,629	0,777	-4,594	3,914	-6,033	0,000	0,000
2,810	2,215	22,620	0,385	0,923	-4,594	1,375	-4,770	0,000	0,000
4,735	2,635	0,000	0,000	1,000	-4,594	0,000	-4,594	0,000	0,000
6,865	2,215	-22,620	0,385	0,923	-4,594	1,375	-4,770	0,000	0,000
8,345	1,310	-39,000	0,629	0,777	-4,594	3,914	-6,033	0,000	0,000
9,475	0,000	-58,060	0,849	0,529	-4,594	6,198	-7,690		

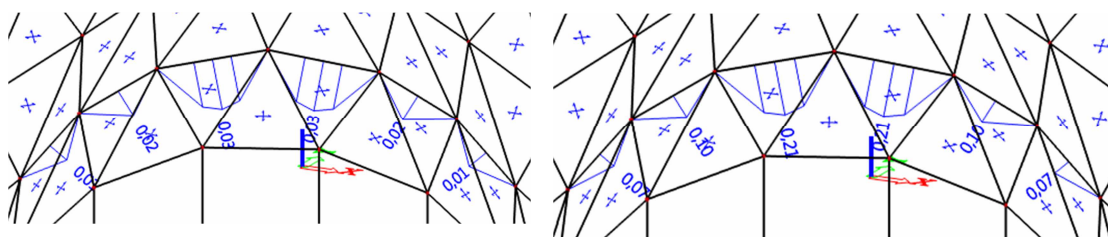
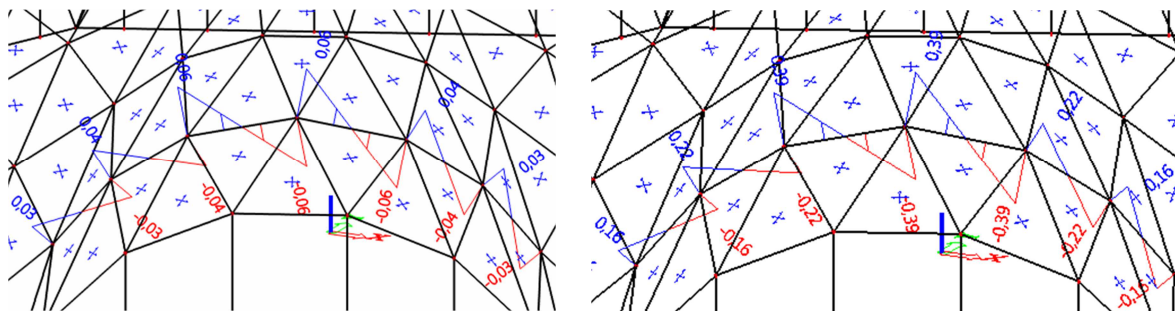
Výsledky v předchozích tabulkách lze zkontrolovat s výsledky vypočtenými programem na následujících obrázcích. Normálové síly vycházejí mírně odlišné, což je patrně způsobené rozdílem ve statickém působení. U momentů a posouvajících sil jsou hodnoty u 2.ZS rozdílné, což je dáno umístěním zatížení do styčnicků.



Obr. 26 – normálové síly v 1.ZS



Obr. 27 – normálové síly v 2.ZS



Obr. 28 – vnitřní síly (V,M)
v 1.ZS

Obr. 29 – vnitřní síly (V,M)
v 2.ZS

8 POSOUZENÍ PRVKŮ

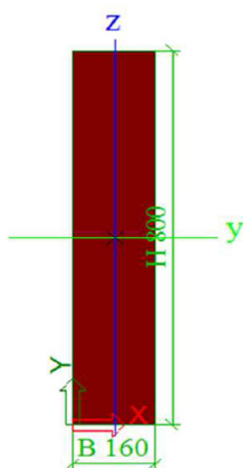
Konstrukce byla posuzována dle normy ČSN EN 1995: Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Jednotlivé pruty byly posouzeny na mezní stav únosnosti MSÚ, včetně vlivu ztráty stability a na mezní stav použitelnosti MSP. Kombinace vnitřních sil budou vypsány u každého prvku. Při posuzování všech dřevěných částí je uvažováno s třídou prostředí II.

Mezní stav únosnosti byl posuzován pomocí skriptu vytvořeném v MS Office Excel 2010. Byly posouzeny nejvíce namáhané pruty na konstrukci.

Mezní stav použitelnosti byl posuzován dle přípustných deformací s uvažováním vlivu dotvarování.

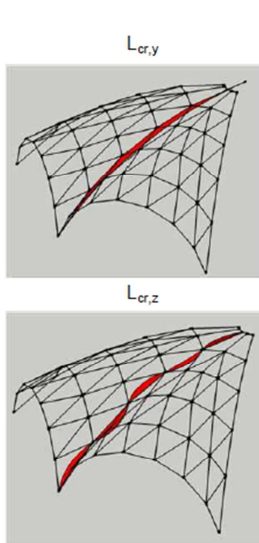
8.1 Mezní stav únosnosti

8.1.1 Hlavní nosník



max sl.	komb.	prvek	délka	N	M _y	M _z	V _y	V _z
N	CO1	B72	3,992	-181,55	0,00	0,00	0,00	0,00
M _y MAX	CO14	B468	3,163	-1,38	51,66	0,00	0,00	0,36
M _y MIN	CO12	B308	3,163	-51,08	-32,44	-1,45	-0,48	-4,89
V _z MAX	CO14	B442	2,992	-36,74	22,91	0,00	-1,15	-10,24

Materiál:	GL 24h		
	f _{m,g,k}	24,0 MPa	E _{0,g,mean} 11 600 MPa
	f _{t,0,g,k}	16,5 MPa	E _{0,g,05} 9 400 MPa
	f _{c,0,g,k}	24,0 MPa	E _{90,g,mean} 390 MPa
	f _{v,g,k}	2,7 MPa	
Průřez:	h	0,800 m	
	b	0,160 m	i _y 0,231 m
	A	0,128 m ²	i _z 0,046 m
	I _y	0,00683 m ⁴	W _y 0,01707 m ³
	I _z	0,00027 m ⁴	W _z 0,00341 m ³



Vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = 1,1 \cdot 16,612 = 18,273 \text{ m}$$

$L_{cr,z} =$ vzdálenost vaznic

Vzpěrný tlak

návrhová
pevnost

$$f_{c,0,g,d} = \frac{k_{mod} \times f_{c,0,g,k}}{\gamma_M}$$

$$f_{c,0,g,d} = 16,62 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,g,d} = 11,42 \text{ MPa}$$

$\gamma_M = 1,3$

$k_{mod} = 0,9$

štíhlosti

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y}$$

$\lambda_y = 79,13$

$\lambda_z = 86,43$

kritické napětí

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 \times E_{0,05}}{\lambda^2}$$

$\sigma_{c,cr,y} = 4,72 \text{ MPa}$

$\sigma_{c,cr,z} = 3,95 \text{ MPa}$

relativní štíhlosti

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}}$$

$\lambda_{rel,y} = 2,256$

$\lambda_{rel,z} = 2,464$

$$k_y = 0,5 \{ 1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2 \}$$

$k_y = 3,132$

$$k_z = 0,5 \{ 1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2 \}$$

$k_z = 3,634$

$\beta_c = 0,1$

lepené dřevo

součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$k_{c,y} = 0,189$

$k_{c,z} = 0,159$

posudek

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A}$$

$\sigma_{c,0,d} = 1,42 \text{ MPa}$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \times f_{c,0,d}} \leq 1$$

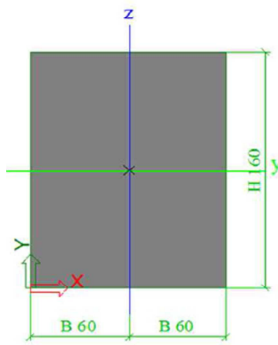
$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \times f_{c,0,d}} = 53,8\%$$

ostatní průřezy

prvek	B72	B468	B308	B412
$\lambda_z =$	86,43	68,48	68,48	64,78
$\sigma_{c,cr,z} =$	3953260	6297063,3	6297063	7037417
$\lambda_{rel,z} =$	2,464	1,952	1,952	1,847
$k_z =$	3,634	2,478	2,478	2,273
$k_{c,y} =$	0,189	0,189	0,189	0,189
$k_{c,z} =$	0,159	0,250	0,250	0,278
$\sigma_{c,0,d} =$	1,42 MPa	0,00 MPa	0,40 MPa	0,29 MPa
využití	53,8%	0,0%	12,7%	9,2%

8.1.2 Vaznice

max sl.	komb.	prvek	délka	N	M _y	M _z	V _y	V _z
N _{TAH}	CO12	B286	2,660	29,41	0,26	0,00	0,00	0,00
N _{TLAK}	CO2	B545	2,683	-35,97	0,28	0,00	0,00	0,00
M _y MAX	CO12	B237	3,553	-15,24	1,83	0,00	0,00	0,00



Materiál:	C16		
$f_{m,k}$	16,0 MPa	$E_{0,mean}$	8 000 MPa
$f_{t,0,k}$	10,0 MPa	$E_{0,05}$	5 400 MPa
$f_{c,0,k}$	17,0 MPa	$E_{90,mean}$	270 MPa
$f_{v,k}$	3,2 MPa		
Průřez:	h	0,160 m	
	b	0,120 m	i_y
	A	0,019 m ²	i_z
	i_y	0,00004 m ⁴	W_y
	i_z	0,00002 m ⁴	W_z
			0,00038 m ³

Vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = L \qquad L_{cr,z} = L/3$$

Vzpěrný tlak

návrhová pevnost	$f_{c,0,g,d} = \frac{k_{mod} \times f_{c,0,g,k}}{\gamma_M}$	γ_M	1,3
	$f_{c,0,g,d} = 11,77$ MPa	k_{mod}	0,9
	$f_{t,0,g,d} = 6,92$ MPa		

štíhlosti	$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y}$	$\lambda_y =$	58,09
		$\lambda_z =$	25,82

kritické napětí	$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 \times E_{0,05}}{\lambda^2}$	$\sigma_{c,cr,y} =$	5 027 603,34 Pa
		$\sigma_{c,cr,z} =$	25 452 241,93 Pa

relativní štíhlost	$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}}$	$\lambda_{rel,y} =$	1,839
		$\lambda_{rel,z} =$	0,817

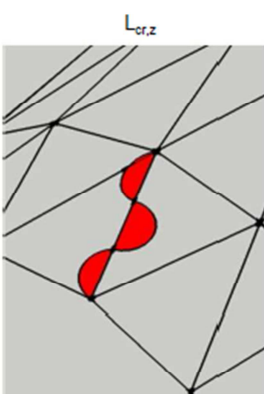
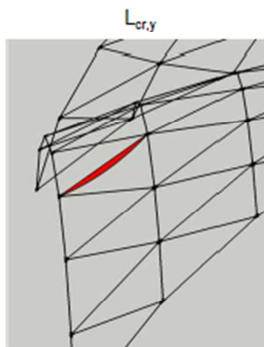
$$k_y = 0,5\{1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2\} \qquad k_y = 2,325$$

$$k_z = 0,5\{1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2\} \qquad k_z = 0,866$$

$\beta_c =$	0,2	rostlé dřevo	
součinitel vzpělosti	$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$	$k_{c,y} =$	0,267
		$k_{c,z} =$	0,869

posudek	$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A}$	$\sigma_{c,0,d} =$	1,87 MPa
---------	-------------------------------------	--------------------	----------

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \times f_{c,0,d}} \leq 1 \qquad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \times f_{c,0,d}} = 59,6\%$$



ostatní průřezy

prvek	B286	B545	B237
λ_y	57,59	58,09	76,92
λ_z	25,60	25,82	34,19
$\sigma_{c,cr,y}$	5114923	5027603,3	2866896
$\sigma_{c,cr,z}$	25894296	25452242	14513661
$\lambda_{rel,y}$	1,823	1,839	2,435
$\lambda_{rel,z}$	0,810	0,817	1,082
k_y	tah	2,325	3,658
k_z	tah	0,866	1,144
$k_{c,y}$	tah	0,267	0,157
$k_{c,z}$	tah	0,869	0,660
$\sigma_{c,0,d}$	1,53 MPa	1,87 MPa	0,79 MPa
využití	22,1%	59,6%	43,1%

Ohyb

návrhová
pevnost

$$f_{m,g,d} = \frac{k_{mod} \times f_{m,g,k}}{\gamma_M}$$

$f_{m,g,d} = 11,08 \text{ MPa}$

napětí od ohybu

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y}$$

$\sigma_{m,y,d} = 0,55 \text{ MPa}$

$\sigma_{m,z,d} = 0,00 \text{ MPa}$

neklopí ztuženo OSB deskou spojitě po obou stranách

Kombinace vzpěru se šikmým ohybem

$k_m = 0,7$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

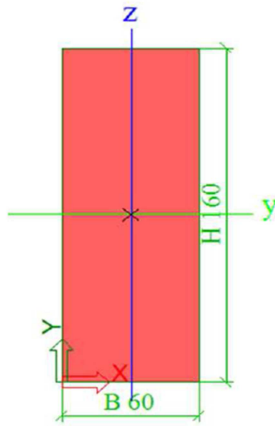
$$\frac{1,87}{0,267 \times 11,77} + \frac{0,55}{11,08} + 0,7 \frac{0,00}{11,08} = 0,6458 \leq 1$$

$$\frac{1,87}{0,869 \times 11,77} + 0,7 \frac{0,55}{11,08} + \frac{0,00}{11,08} = 0,2178 \leq 1$$

ostatní průřezy

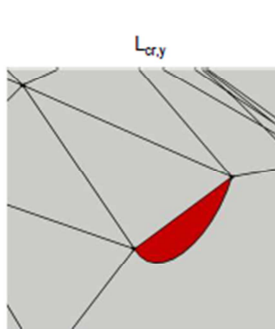
prvek	B286	B545	B237
$\sigma_{m,y,d}$	0,51 MPa	0,55 MPa	3,57 MPa
$\sigma_{m,z,d}$	0,00 MPa	0,00 MPa	0,00 MPa
kombinace I	26,71%	64,58%	75,35%
kombinace II	25,33%	21,78%	32,80%

8.1.3 Okrajová vaznice



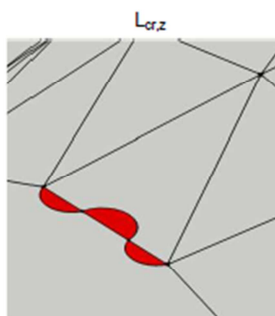
max sl.	komb.	prvek	délka	N	M _y	M _z	V _y	V _z
N _{TLAK}	CO12	B254	2,232	-37,10	0,19	0,00	0,00	0,00
M _y MAX	CO8	B251	2,232	-13,89	0,37	0,00	0,00	0,00

Materiál:	C 18							
	f _{m,k}	18,0 MPa			E _{0,mean}	9 000 MPa		
	f _{t,0,k}	11,0 MPa			E _{0,05}	6 000 MPa		
	f _{c,0,k}	18,0 MPa			E _{90,mean}	300 MPa		
	f _{v,k}	3,4 MPa						
Průřez:	h	0,160 m			i _y	0,046 m		
	b	0,060 m			i _z	0,017 m		
	A	0,010 m ²			W _y	0,00026 m ³		
	I _y	0,00002 m ⁴			W _z	0,00010 m ³		
	I _z	0,00000 m ⁴						



Vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = L \qquad L_{cr,z} = L/3$$



Vzpěrný tlak

návrhová
pevnost

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \times f_{c,0,k}}{\gamma_M}$$

$$f_{c,0,d} = 12,46 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = 7,62 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$k_{mod} = 0,9$$

štíhlosti

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y}$$

$$\lambda_y = 48,32$$

$$\lambda_z = 42,95$$

kritické napětí

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 \times E_{0,05}}{\lambda^2}$$

$$\sigma_{c,crit,y} = 8\,071\,819,87 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = 10\,215\,897,03 \text{ Pa}$$

relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}}$$

$$\lambda_{rel,y} = 1,493$$

$$\lambda_{rel,z} = 1,327$$

$$k_y = 0,5 \{ 1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2 \}$$

$$k_y = 1,714$$

$$k_z = 0,5 \{ 1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2 \}$$

$$k_z = 1,464$$

$$\beta_c = 0,2$$

rostlé dřevo

součinitel vzpělosti

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,391$$

$$k_{c,z} = 0,481$$

posudek

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A}$$

$$\sigma_{c,0,d} = 3,86 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \times f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \times f_{c,0,d}} = 79,3\%$$

ostatní průřezy

prvek	B254	B251
$\lambda_y =$	48,32	48,32
$\lambda_z =$	42,95	42,95
$\sigma_{c,cr,y} =$	8071820	8071819,9
$\sigma_{c,cr,z} =$	10215897	10215897
$\lambda_{rel,y} =$	1,493	1,493
$\lambda_{rel,z} =$	1,327	1,327
$k_y =$	1,714	1,714
$k_z =$	1,464	1,464
$k_{c,y} =$	0,391	0,391
$k_{c,z} =$	0,481	0,481
$\sigma_{c,0,d} =$	3,86 MPa	1,45 MPa
využití	79,3%	29,7%

Ohyb

návrhová
pevnost

$$f_{m,g,d} = \frac{k_{mod} \times f_{m,g,k}}{\gamma_M}$$

$$f_{m,g,d} = 12,46 \text{ MPa}$$

napětí od ohybu

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 0,74 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = 0,00 \text{ MPa}$$

neklopí ztuženo OSB deskou spojitě po obou stranách

Kombinace vzpěru se šikmým ohybem

$$k_m = 0,7$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{3,86}{0,391 \times 12,46} + \frac{0,74}{12,46} + 0,7 \frac{0,00}{12,46} = 0,8523 \leq 1$$

$$\frac{3,86}{0,481 \times 12,46} + 0,7 \frac{0,74}{12,46} + \frac{0,00}{12,46} = 0,6869 \leq 1$$

ostatní průřezy

prvek	B254	B251
$\sigma_{m,y,d} =$	0,74 MPa	1,45 MPa
$\sigma_{m,z,d} =$	0,00 MPa	0,00 MPa
kombinace I	85,23%	41,28%
kombinace II	68,69%	32,28%

vztahy pro výpočty z [5]

Pozn. Při výpočtu vzpěru vaznic ve střešní rovině je předpokládáno ztužení OSB deskami. Z tohoto důvodu byla vzpěrná délka 3x redukována.

8.2 Mezní stav použitelnosti

8.2.1 Hlavní nosník

Rozpětí hlavního nosníku je rovno 30 000 mm. Maximální povolený průhyb je pro u_{inst} $L/300$, pro u_{fin} pak $L/250$. Maximální povolené průhyby jsou tedy 100 mm resp. 120 mm. Největší průhyb vychází v kombinaci CO23, která obsahuje stálá zatížení, sníh navátý na polovině (ZS7) a vítr kolmo na stěnu (ZS9) v kombinační hodnotě (0,6). Polovina konstrukce klesá pod tíhou sněhu a tlaku větru naopak druhá polovina je nadzvedávána vlivem sání.

- Okamžitý průhyb u_{inst}

Okamžitý průhyb je posuzován v charakteristické kombinaci.

1.ZS	-0,3 mm	-0,3 mm
2.ZS	0,9 mm	0,9 mm
7.ZS	-28,8 mm	34,1 mm
9.ZS	-11,8 mm	10,4 mm
<hr/>		
celkem	-35,2 mm	41,0 mm

- Finální průhyb u_{fin}

Finální průhyb je posuzován v kvazistálé kombinaci.

$$u_{fin,g} = u_{inst,g}(1 + k_{def})$$

$$u_{fin,Q1} = u_{inst,Q1}(1 + \psi_{2,1} \times k_{def})$$

$$u_{fin,Q2} = u_{inst,Q2}(\psi_{0,i} + \psi_{2,2} \times k_{def}) \quad \text{vztahy a součinitele [5]}$$

$$k_{def,g} = 0,8 \quad \psi_{0,i} = 0,5 / 0,6 \text{ (sníh / vítr)}$$

$$k_{def,Q} = 0 \quad \psi_{2,i} = 0 \text{ (sníh / vítr)}$$

1.ZS	-0,54 mm	-0,54 mm
2.ZS	1,62 mm	1,62 mm
7.ZS	-28,8 mm	34,1 mm
9.ZS	-7,08 mm	6,24 mm
<hr/>		
celkem	-34,8 mm	41,42 mm

Průhyby jsou menší než 100 mm. Hlavní oblouk vyhoví na MSP. Vlivem nerovnoměrného zatížení sněhem, ale dochází k naklápění prstence. Toto není zcela žádoucí. Bylo by vhodné vrcholový styčník řešit např. vysokým tuhým prstencem, zajišťujícím vetknutí. Toto řešení by však vedlo na jiné statické chování, nový výpočet a nejspíš i nové dimenze prvků.

8.2.2 Vaznice

Zjištěné deformace jednotlivých vaznic jsou nepatrné. Celá konstrukce působí prostorově a pruty mají po délce víceméně konstantní průhyb. Konstrukce tedy musí být posouzena na globální deformace. Maximální účinky byly vyvozeny při kombinaci CO23. Rozpětí kce je 27 716 mm (mezi čely příč. oblouků). Maximální povolené průhyby jsou tedy 92 mm resp. 110 mm.

- Okamžitý průhyb u_{inst}

Okamžitý průhyb je posuzován v charakteristické kombinaci.

1.ZS	-0,3 mm	-0,3 mm
2.ZS	0,9 mm	0,9 mm
7.ZS	-29,2 mm	34,5 mm
9.ZS	-12,2 mm	10,9 mm
<hr/>		
celkem	-35,8 mm	41,7 mm

- Finální průhyb u_{fin}

Finální průhyb je posuzován v kvazistálé kombinaci.

$$u_{fin,g} = u_{inst,g}(1 + k_{def})$$

$$u_{fin,Q1} = u_{inst,Q1}(1 + \psi_{2,1} \times k_{def})$$

$$u_{fin,Q2} = u_{inst,Q2}(\psi_{0,i} + \psi_{2,2} \times k_{def})$$

$$k_{def,g} = 0,8$$

$$\psi_{0,i} = 0,5 / 0,6 \text{ (sníh / vítr)}$$

$$k_{def,Q} = 0$$

$$\psi_{2,i} = 0 \text{ (sníh / vítr)}$$

[5]

1.ZS	-0,54 mm	-0,54 mm
2.ZS	1,62 mm	1,62 mm
8.ZS	-29,2 mm	34,5 mm
10.ZS	-7,32 mm	6,54 mm
celkem	-35,44 mm	42,12 mm

Průhyby u vaznic jsou menší než maximální povolené. Vaznice tedy na MSP vyhoví.

8.2.3 Okrajová vaznice

Okrajové vaznice jsou posouzeny na průhyb v příčném směru oblouku. Rozpětí příčného oblouku je 11 480mm. Maximální povolené průhyby jsou tedy 38mm resp. 46mm. Oblouk je zatížen nesymetricky, přičemž je jedna strana stlačována a druhá nadzdvížena.

- Okamžitý průhyb u_{inst}

Okamžitý průhyb je posuzován v charakteristické kombinaci.

1.ZS	0 mm	0 mm
2.ZS	0,4 mm	0,4 mm
7.ZS	-20,2 mm	19,9 mm
9.ZS	-6,9 mm	6,4 mm
<hr/>		
celkem	-23,9 mm	24,2 mm

- Finální průhyb u_{fin}

Finální průhyb je posuzován v kvazistálé kombinaci.

$$u_{fin,g} = u_{inst,g}(1 + k_{def})$$

$$u_{fin,Q1} = u_{inst,Q1}(1 + \psi_{2,1} \times k_{def})$$

$$u_{fin,Q2} = u_{inst,Q2}(\psi_{0,i} + \psi_{2,2} \times k_{def})$$

$$k_{def,g} = 0,8$$

$$\psi_{0,i} = 0,5 / 0,6 \text{ (sníh / vítr)}$$

$$k_{def,Q} = 0$$

$$\psi_{2,i} = 0 \text{ (sníh / vítr)}$$

[5]

1.ZS	0 mm	0 mm
2.ZS	0,72 mm	0,72 mm
7.ZS	-20,2 mm	19,9 mm
9.ZS	-4,14 mm	3,84 mm
<hr/>		
	-23,62 mm	24,46 mm

Okrajová vaznice vykazuje menší než maximální povolené průhyby, čili vyhoví.

9 POSOUZENÍ SPOJŮ

9.1 Vrcholový prstenec

Vnitřní síly

max sl.	komb.	prvek	délka	N	M _y	M _z	V _y	V _z	L _y	L _z
N	CO1	prst.	6,283	-73,62	-1,64	0	9,6	-0,67	4,320	3,142
M _y MAX	CO2	prst.	6,283	-59,63	-4,73	0,92	-3,36	9,43	3,142	3,142
M _z MAX	CO2	prst.	6,283	-57,73	-3,24	-5,29	-23,16	1,53	3,142	3,142
V _y MAX	CO2	prst.	6,283	-57,73	-3,24	-5,29	-23,16	1,53	3,142	3,142
V _z MAX	CO2	prst.	6,283	-58,78	-2,9	-0,56	-3,36	9,43	3,142	3,142

Materiál: S 235

f_y 235,0 MPa

E 210 000 MPa

f_u 400,0 MPa

Průřez:

h 200,00 mm

b 150,00 mm

A 0,006 m²

I_y 0,00003893 m⁴

I_z 0,00002124 m⁴

i_y 0,078 m

i_z 0,058 m

W_y 0,000460 m³

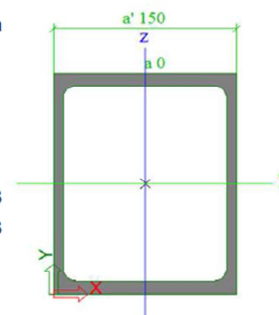
W_z 0,000338 m³

Vzpěrné délky

uvažovány podle deformaci

L_{cr,y} = 4,320 m

L_{cr,z} = 3,142 m



Vzpěrný tlak

návrhová
pevnost

$$f_{y,d} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M}$$

f_{y,d} = 235,00 MPa

γ_M 1,0

štíhlosti

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y}$$

λ_y = 55,37

λ_z = 54,52

kritická síla

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{L_{cr,y}^2}$$

N_{cr,y} = 18 679,84 kN

N_{cr,z} = 14 012,76 kN

relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,y}}}$$

λ_{rel,y} = 0,284

λ_{rel,z} = 0,328

λ_{rel,max} = 0,328

$$\theta = 0,5 \{ 1 + \alpha (\lambda_{rel,y} - 0,2) + \lambda_{rel,y}^2 \}$$

Ø = 0,585

α = 0,49

křivka c

součinitel vzpěrnosti

$$\chi = \frac{1}{\theta + \sqrt{\theta^2 - \lambda_{rel}^2}}$$

χ = 0,912

posudek

$$N_{R,d} = \chi \times \frac{f_y \times A}{\gamma_{M1}}$$

N_{R,d} = 1 371,27 kN

$$\frac{N_{E,d}}{N_{R,d}} \leq 1$$

$$\frac{N_{E,d}}{N_{R,d}} = 5,4\%$$

ostatní průřezy

prvek	prst.	prst.	prst.	prst.	prst.
$N_{cr,y}$	18679,84	25684,78	25684,78	25684,78	25684,78
$N_{cr,z}$	14012,76	14012,76	14012,76	14012,76	14012,76
$\lambda_{rel,y}$	0,284	0,242	0,242	0,242	0,242
$\lambda_{rel,z}$	0,328	0,328	0,328	0,328	0,328
\emptyset	0,585	0,585	0,585	0,585	0,585
χ	0,935	0,935	0,935	0,935	0,935
$N_{R,d}$	1 405,78 kN	1 405,78 kN	1 405,78 kN	1 405,78 kN	1 405,78 kN
využití	5,2%	4,2%	4,1%	4,1%	4,2%

Smyk

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = 552,59 \text{ kN}$$

$$A_v = 2A / \pi = 0,004073 \text{ m}^2$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \frac{23,16}{552,59 \text{ kN}} = \boxed{4,19\%}$$

nemusi se uvažovat vliv smyku

Ohyb

napětí od ohybu

$$M_{R,d} = \frac{W_{el} \times f_y}{\gamma_M}$$

$$M_{Rd,y} = 510,41 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,z} = 695,49 \text{ kNm}$$

Kombinace vzpěru se šikmým ohybem

$$k_m = 0,7$$

$$\frac{N_{E,d}}{N_{R,d}} + \frac{M_{y,E,d}}{M_{y,R,d}} + k_m \frac{M_{z,E,d}}{M_{z,R,d}} \leq 1$$

$$\frac{N_{E,d}}{N_{R,d}} + k_m \frac{M_{y,E,d}}{M_{y,R,d}} + \frac{M_{z,E,d}}{M_{z,R,d}} \leq 1$$

$$\frac{-73,62}{1 405,78} + \frac{-1,64}{510,41} + 0,7 \frac{0}{695,49} = 5,56\%$$

$$\frac{-73,62}{1 405,78} + 0,7 \frac{-1,64}{510,41} + \frac{0}{695,49} = 5,46\%$$

ostatní průřezy

prvek	prst.	prst.	prst.	prst.	prst.
$\sigma_{m,y,d}$	3,56 MPa	10,27 MPa	7,04 MPa	7,04 MPa	-6,30 MPa
$\sigma_{m,z,d}$	0,00 MPa	2,72 MPa	15,66 MPa	15,66 MPa	1,66 MPa
kombinace I	5,56%	5,26%	4,21%	4,21%	4,69%
kombinace II	5,46%	5,02%	3,79%	3,79%	4,50%

Vztahy pro posouzení prstence z [6]

9.2 Čepové připojení hlavního oblouku k vrcholovému prstenci

9.2.1 Návrh čepu

Vztahy pro posouzení čepu [7]

reakce v ložisku

max sl.	komb.	podpora	N_{ed}	V_{edz}
N	CO11	N259	-65,04	-9,55

výslednice

$$F_{Ed} = \sqrt{N^2 + V_z^2} = 65,74 \text{ kN}$$

Materiál:	ocel	S 235	$f_y =$	235,00 MPa
			$f_u =$	360,00 MPa
	čep			
	jakost	5,8	$f_{yb} =$	400,00 MPa
			$f_{ub} =$	500,00 MPa
	$\gamma_M =$	1,25		

a) Návrh geometrie čepu

$$t \geq 0,7 \sqrt{\frac{F_{Ed} \times \gamma_M}{f_y}} = t \geq 0,7 \sqrt{\frac{191,29 \times 1,25}{235}} = 13,09 \text{ mm}$$

navrhne se $t_2 = 16 \text{ mm}$ $t_1 = 8 \text{ mm}$

$d_0 \leq 2,5 \times t = 40,0 \text{ mm}$ návrh $d = 24,00 \text{ mm}$
 $d_0 = 25,00 \text{ mm}$

$a \geq \frac{F_{Ed} \times \gamma_M}{2t \times f_y} + \frac{2d_0}{3} = 16,68 \text{ mm}$ návrh $a = 20,0 \text{ mm}$

$c \geq \frac{F_{Ed} \times \gamma_M}{2t \times f_y} + \frac{d_0}{3} = 8,33 \text{ mm}$ návrh $c = 20,0 \text{ mm}$

b) Posouzení čepu na stříh

$$F_{v,Rd} = 2 \times 0,6 \frac{A \times f_{ub}}{\gamma_M} = 217,15 \text{ kN} \qquad A = \frac{\pi d^2}{4} = 452,39 \text{ mm}^2$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1,0 \qquad \frac{65,74 \text{ kN}}{217,15 \text{ kN}} = \boxed{0,303 < 1,0}$$

VYHOVUJE

c) Posouzení čepu na otláčení

$$F_{b,Rd} = 1,5t \times d \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 135,36 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,0 \qquad \frac{65,74 \text{ kN}}{135,36 \text{ kN}} = \boxed{0,486 < 1,0}$$

VYHOVUJE

d) Posouzení čepu na ohybový moment

$$t_0 = 2,50 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = \frac{0,8W_{el} \times f_{ub}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{\pi d^3 f_{ub}}{32 \gamma_M} = 434,29 \text{ kNmm}$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} (t_2 + 4t_0 + 2t_1) = 345,12 \text{ kNmm}$$

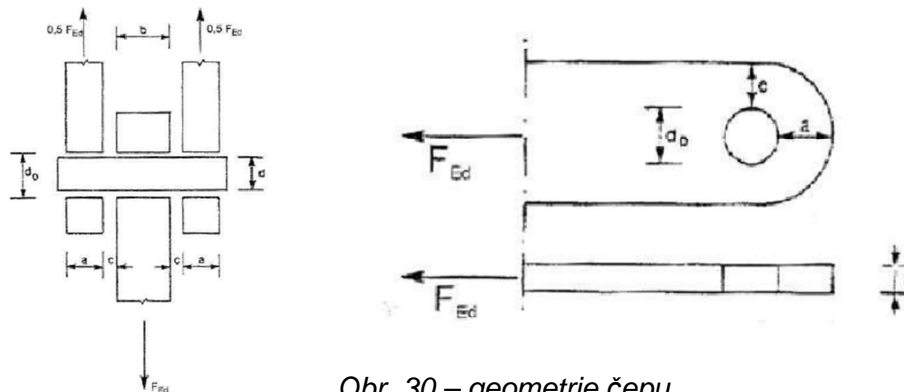
$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1,0 \qquad \frac{345,12}{434,29} = \boxed{0,795 < 1,0}$$

VYHOVUJE

e) Posouzení čepu na kombinaci stříhu a ohybu

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{Ed}}{F_{vRd}} \right)^2 = \left(\frac{1362,94}{1465,74} \right)^2 + \left(\frac{191,29}{488,58} \right)^2 = \boxed{0,723 < 1,0}$$

VYHOVUJE



Obr. 30 – geometrie čepu

9.2.2 Kolíkový spoj

$$N_{ed} = 65,04 \text{ kN.}$$

$$V_{ed} = 9,55 \text{ kN}$$

Charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prvku.

Dvojstřížný spoj s ocelovou deskou uprostřed.

$$t_1 = 67,5 \text{ mm}$$

$$d = 10 \text{ mm} \quad \text{jakost 5.8}$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

charakteristická pevnost v otláčení:

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k = 0,082(1 - 0,01 \times 10)320 = 28,04 \text{ MPa} \quad [5]$$

$$f_{h,90,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{28,04}{1,45} = 19,34 \text{ MPa} \quad [5]$$

$$k_{90} = 1,3 + 0,015d = 1,3 + 0,015 \times 10 = 1,45$$

Charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku:

$$M_{y,R,k} = 0,3f_{ub} \times d^{2,6} = 0,3 \times 500 \times 10^{2,6} = 59\,716,08 \text{ Nmm}$$

Únosnost jednoho kolíku na jeden stříh pro N_{ed} :

$$F_{V,R,k} = \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \times t_1 \times d \\ f_{h,1,k} \times t_1 \times d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,R,k}}{f_{h,1,k} \times d \times t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,R,k}}{4} \\ 2,3\sqrt{M_{y,R,k} \times f_{h,1,k} \times d} + \frac{F_{ax,R,k}}{4} \end{array} \right\} \quad [5]$$

$$F_{ax} = 0 \text{ pro kolíky}$$

$$F_{V,R,k} = \left\{ \begin{array}{l} 28,04 \times 67,5 \times 10 \left[\sqrt{2 + \frac{4 \times 59\,716,08}{28,04 \times 10 \times 67,5^2}} - 1 \right] + 0 \\ 2,3 \sqrt{59\,716,08 \times 28,04 \times 10} + 0 \end{array} \right\}$$

$$F_{V,R,k} = \left\{ \begin{array}{l} 18,93 \\ 9,06 \\ 9,41 \end{array} \right\} = 9,06 \text{ kN}$$

$$F_{V,R,d} = k_{mod} \times \frac{F_{V,R,k}}{\gamma_M} = 0,9 \times \frac{9,06}{1,3} = 6,27 \text{ kN} \quad [5]$$

Návrhová únosnost dvojstřížného kolíku rovnoběžně s vlákny:

$$R_{0,d} = 2 \times F_{V,R,d} = 2 \times 6,27 = 12,55 \text{ kN}$$

Únosnost jednoho kolíku na jeden stříž pro V_{ed} : [5]

$$F_{V,90,R,k} = \left\{ \begin{array}{l} f_{h,90,k} \times t_1 \times d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,R,k}}{f_{h,90,k} \times d \times t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,R,k}}{4} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,R,k} \times f_{h,90,k} \times d} + \frac{F_{ax,R,k}}{4} \end{array} \right\}$$

$F_{ax} = 0$ pro kolíky

$$F_{V,R,k} = \left\{ \begin{array}{l} 19,34 \times 67,5 \times 10 \left[\sqrt{2 + \frac{4 \times 15\,822,84}{19,34 \times 10 \times 67,5^2}} - 1 \right] + 0 \\ 2,3 \sqrt{15\,822,84 \times 19,34 \times 10} + 0 \end{array} \right\}$$

$$F_{V,R,k} = \left\{ \begin{array}{l} 13,05 \\ 6,62 \\ 7,82 \end{array} \right\} = 6,62 \text{ kN}$$

$$F_{V,R,d} = k_{mod} \times \frac{F_{V,R,k}}{\gamma_M} = 0,9 \times \frac{6,62}{1,3} = 4,58 \text{ kN} \quad [5]$$

Návrhová únosnost dvojstřížného kolíku kolmo k vláknům:

$$R_{90,d} = 2 \times F_{V,R,d} = 2 \times 4,58 = 9,16 \text{ kN}$$

návrh 6 kolíků $\varnothing 10 \text{ mm}$

Zatížení na jeden kolík:

$$F_{1,E,0,d} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{65,04}{6} = 10,84 \text{ kN}$$

$$F_{1,E,90,d} = \frac{V_{Ed}}{n} = \frac{9,55}{6} = 1,59 \text{ kN}$$

Posouzení:

[5]

$$\left(\frac{F_{1,E,0,d}}{R_{0,d}}\right)^2 + \left(\frac{F_{1,E,90,d}}{R_{90,d}}\right)^2 = \left(\frac{10,84}{12,55}\right)^2 + \left(\frac{1,59}{9,16}\right)^2 = 0,78 < 1$$

vyhoví

Minimální rozteče a vzdálenosti od okrajů pro kolíky

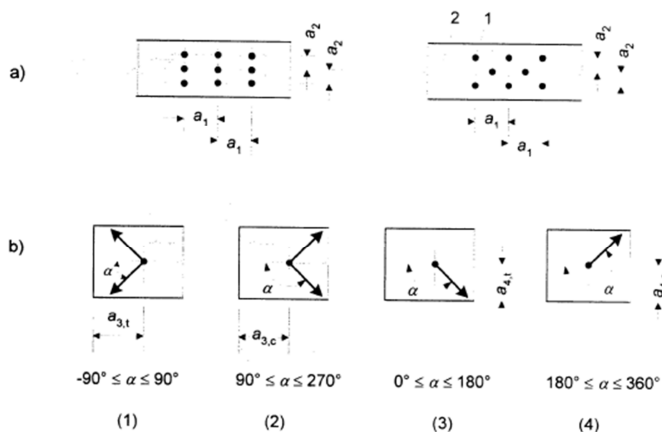
$$a_1 = (3 + 2|\cos \alpha|)d = 50 \text{ mm}$$

$$a_2 = 3d = 30 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} = \max(7d; 80 \text{ mm}) = 80 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = \max[(2 + 2\sin \alpha)d; 3d] = 30 \text{ mm}$$

[5]



Legenda

- (1) Zatížený konec
- (2) Nezatížený konec
- (3) Zatížený okraj
- (4) Nezatížený okraj
- 1 Spojovací prostředek
- 2 Směr vláken

Obr. 31 – rozteče a vzdálenosti od okrajů

9.2.3 Návrh svarů

Navržen koutový svar o účinné výšce $a = 3 \text{ mm}$.

Síly působící na 1 svar: $N_{ed}/2 = 32,52 \text{ kN}$

$$V_{ed}/2 = 4,78 \text{ kN}$$

Účinná délka svaru: $l = 150 - 2a = 144 \text{ mm}$

Ocel S 235 $\beta_w = 0,8$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{ed}}{2a\sqrt{2}} = \frac{32,52}{2 \times 3 \times 144 \sqrt{2}} = 26,61 \text{ MPa} \quad [7]$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{a \times l} = \frac{4,78}{3 \times 144} = 11,06 \text{ MPa} \quad [7]$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \times \gamma_{M2}} \quad [7]$$

$$\sqrt{26,61^2 + 3 \times 26,61^2 + 3 \times 11,06^2} \leq \frac{360}{0,8 \times 1,25}$$

$$56,56 \text{ MPa} \leq 288 \text{ MPa}$$

vyhoví

9.3 Čepové připojení hlavního oblouku k základové konstrukci

Čep bude uložen na betonovém základu s úhlem odklonu od vodorovné roviny 34,4°.

Vztahy pro posouzení čepu [7]

9.3.1 Návrh čepu

reakce v podpoře

komb.	podpora	R_z	R_y	R_x
CO1	Sn2	166,14	124,00	0,00

úhel uložení $\alpha = 55,625^\circ$

výslednice

$$F_{Ed} = R_z \times \sin \alpha + R_y \times \cos \alpha = 207,14 \text{ kN}$$

Materiál:	ocel	S 235	$f_y =$	235,00 MPa
			$f_u =$	360,00 MPa
	čep		$f_{yb} =$	400,00 MPa
	jakost	5,8	$f_{ub} =$	500,00 MPa
	$\gamma_M =$	1,25		

a) Návrh geometrie čepu

$$t \geq 0,7 \sqrt{\frac{F_{Ed} \times \gamma_M}{f_y}} = t \geq 0,7 \sqrt{\frac{191,29 \times 1,25}{235}} = 23,24 \text{ mm}$$

$$\text{navrhne se } t_2 = 25 \text{ mm} \quad t_1 = 14 \text{ mm}$$

$$d_0 \leq 2,5 \times t = 62,5 \text{ mm} \quad \text{návrh } d = 40,00 \text{ mm}$$

$$d_0 = 41,00 \text{ mm}$$

$$a \geq \frac{F_{Ed} \times \gamma_M}{2t \times f_y} + \frac{2d_0}{3} = 27,36 \text{ mm} \quad \text{návrh } a = 30,0 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed} \times \gamma_M}{2t \times f_y} + \frac{d_0}{3} = 13,67 \text{ mm} \quad \text{návrh } c = 24,5 \text{ mm}$$

b) Posouzení čepu na stříh

$$F_{v,Rd} = 2 \times 0,6 \frac{A \times f_{ub}}{\gamma_M} = 603,19 \text{ kN}$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = 1\,256,64 \text{ mm}^2$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{207,14 \text{ kN}}{603,19 \text{ kN}} =$$

$$0,343 < 1,0$$

VYHOVUJE

c) Posouzení čepu na otláčení

$$F_{b,Rd} = 1,5t \times d \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 352,50 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{207,14 \text{ kN}}{352,50 \text{ kN}} =$$

$$0,588 < 1,0$$

VYHOVUJE

c) Posouzení čepu na ohybový moment

$$t_0 = 2,50 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = \frac{0,8W_{el} \times f_{ub}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{\pi d^3 f_{ub}}{32 \gamma_M} = 2\,010,62 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} (t_2 + 4t_0 + 2t_1) = 1\,631,20 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{1\,631,20}{2\,010,62} =$$

$$0,811 < 1,0$$

VYHOVUJE

d) Posouzení čepu na kombinaci stříhu a ohybu

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 = \left(\frac{1362,94}{1465,74}\right)^2 + \left(\frac{191,29}{488,58}\right)^2 =$$

$$0,776 < 1,0$$

VYHOVUJE

9.3.2 Kolíkový spoj

$$N_{ed} = 207,14 \text{ kN.}$$

Charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prvku.

Dvojstřížný spoj s ocelovou deskou uprostřed.

$$t_1 = 67,5 \text{ mm}$$

$$d = 16 \text{ mm} \quad \text{jakost 5.8}$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

charakteristická pevnost v otláčení:

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k = 0,082(1 - 0,01 \times 16)380 = 26,17 \text{ MPa} \quad [5]$$

Charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku:

$$M_{y,R,k} = 0,3f_{ub} \times d^{2,6} = 0,3 \times 500 \times 16^{2,6} = 202\,676,42 \text{ Nmm} \quad [5]$$

Únosnost jednoho kolíku na jeden stříh: [5]

$$F_{V,R,k} = \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \times t_1 \times d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,R,k}}{f_{h,1,k} \times d \times t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,R,k}}{4} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,R,k} \times f_{h,1,k} \times d} + \frac{F_{ax,R,k}}{4} \end{array} \right\}$$

$F_{ax} = 0$ pro kolíky

$$F_{V,R,k} = \left\{ \begin{array}{l} 26,17 \times 67,5 \times 16 \left[\sqrt{2 + \frac{4 \times 202\,676,42}{26,17 \times 16 \times 67,5^2}} - 1 \right] + 0 \\ 2,3 \sqrt{202\,676,42 \times 26,17 \times 16} + 0 \end{array} \right\}$$

$$F_{V,R,k} = \left\{ \begin{array}{l} 28,27 \\ 15,78 \\ 21,19 \end{array} \right\} = 15,78 \text{ kN}$$

$$F_{V,R,d} = k_{mod} \times \frac{F_{V,R,k}}{\gamma_M} = 0,9 \times \frac{15,78}{1,3} = 10,92 \text{ kN} \quad [5]$$

Návrhová únosnost dvojstřížného kolíku:

$$R_d = 2 \times F_{V,R,d} = 2 \times 10,92 = 21,81 \text{ kN}$$

návrh 12 kolíků $\varnothing 16 \text{ mm}$

zatížení na jeden kolík:

$$F_{1,E,d} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{207,14}{12} = 17,26 \text{ kN}$$

Posouzení

[5]

$$\frac{F_{1,E,d}}{R_d} = \frac{17,26}{21,81} = 0,79 < 1$$

vyhoví

Minimální rozteče a vzdálenosti od okrajů pro kolíky

$$a_1 = (3 + 2|\cos \alpha|)d = 80 \text{ mm}$$

$$a_2 = 3d = 48 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} = \max(7d; 80 \text{ mm}) = 112 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = \max[(2 + 2\sin \alpha)d; 3d] = 48 \text{ mm}$$

[5]

9.3.3 Návrh patního plechu

Návrh plechu: S 235; 250 x 200 mm; t=18mm

Návrh betonové patky: C12/15; 400 x 350 mm

$$k_j = \sqrt{\frac{A \times B}{a \times b}} = \sqrt{\frac{400 \times 350}{250 \times 200}} = 1,67$$

$$f_{j,R,d} = 0,67 \times k_j \frac{f_{ck}}{\gamma_M} = 0,67 \times 1,67 \frac{12}{1,5} = 8,95 \text{ MPa}$$

$$c = t \sqrt{\frac{f_{yd}}{3f_{jd}}} = 18 \sqrt{\frac{235}{3 \times 8,95}} = 53,25 \text{ mm} \quad A_{eff} = 41\,125 \text{ mm}^2$$

$$N_{Rd} = A_{eff} \times f_{j,R,d} = 41\,125 \times 8,95 = 368,07 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{207,14}{368,07} = 0,56 < 1$$

vyhoví

9.3.4 Návrh svarů

Navržen koutový svar o účinné výšce $a = 4 \text{ mm}$.

Síly působící na 1 svar: $N_{ed}/2 = 103,57 \text{ kN}$

Účinná délka svaru: $l = 150 - 2a = 142 \text{ mm}$

Ocel S 235 $\beta_w = 0,8$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{ed}}{2al\sqrt{2}} = \frac{103,57}{2 \times 4 \times 142\sqrt{2}} = 64,46 \text{ MPa} \quad [7]$$

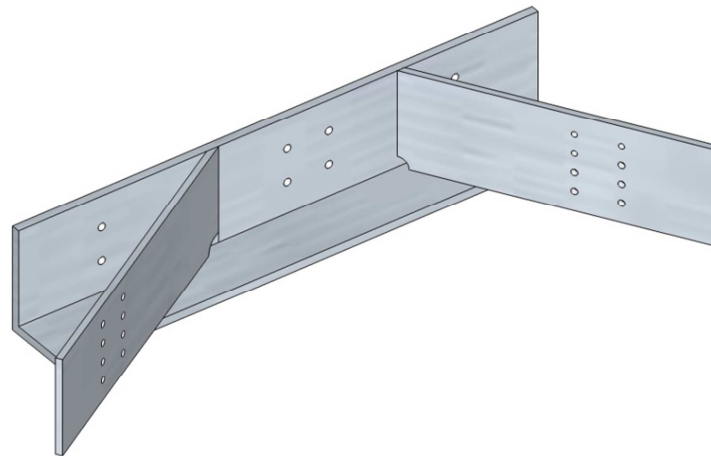
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \times \gamma_{M2}} \quad [7]$$

$$\sqrt{64,46^2 + 3 \times 64,46^2} \leq \frac{360}{0,8 \times 1,25}$$

$128,93 \text{ MPa} \leq 288 \text{ MPa}$ vyhoví

9.4 Řešení přípoje vaznic k hlavnímu oblouku

Připojení vaznic k hlavnímu oblouku je řešeno pomocí L profilu 100x65x8 s navařenými styčnickovými deskami o tloušťce 6 mm. Stojina L profilu bude zapuštěna do hlavního nosníku a bude připojena pomocí 8-mi vrutů DIN 571 6x70. Ve styčnicku jsou připojeny 4 vaznice. K jedné styčnickové desce jsou připojeny vždy dvě vaznice, přičemž styčnicková deska je ukryta v zádlabech mezi vaznicemi. Spojení je provedeno ocelovými kolíky. Další dvě vaznice jdou souběžně s hlavním nosníkem a budou připojeny pomocí vrutů DIN 7997 5x150. Detail styčnicku je vykreslen na Obr. 32.



Obr. 32 - styčník

9.4.1 Posouzení styčníku

Ve styčníku působí převážně normálové síly. Ostatní vnitřní síly lze zanedbat.

Maximální normálové síly jsou v prutu jedna 25,11 kN a prutu dvě 35,19 kN.

Maximální napětí od normálové síly

$$\sigma_N = \frac{N}{t \times h} = \frac{35,19}{6 \times 90} = 66,4 \text{ MPa} \quad [6]$$

$$\frac{66,4}{210} = 31,6\% \quad \text{vyhoví}$$

9.4.2 Řešení svarů

Navrženy koutové svary o účinné výšce $a = 3 \text{ mm}$. Z důvodu koncentrace napětí nebude dolní roh provařen. Naopak bude opatřen kruhovým otvorem o poloměru 10 mm. Viz Obr. 31.

Prut 1

Síly působící na svar: $N_{ed} = 35,19 \text{ kN}$

Ocel S 235

$\beta_w = 0,8$

Čelní svar

Účinná délka $l = 90 - 10 - 2a = 74 \text{ mm}$

$$N_{R,d1} = \frac{2a_2 \times l \times f_u \times \sqrt{2}}{\beta_w \times \gamma_{M2}} = \frac{2 \times 3 \times 74 \times 360 \times \sqrt{2}}{0,8 \times 1,25} = 226,05 \text{ kN} \quad [7]$$

Svar na dolním okraji

Účinná délka $l = 65 - 10 - 2a = 49 \text{ mm}$

$$N_{R,d2} = \frac{2a_1 \times l \times f_u}{\beta_w \times \gamma_{M2} \times \sqrt{3}} = \frac{2 \times 3 \times 49 \times 360}{0,8 \times 1,25 \times \sqrt{3}} = 61,11 \text{ kN} \quad [7]$$

$$N_{R,d} = N_{R,d1} + N_{R,d2} = 226,05 + 61,11 = 287,16 \text{ kN} > 35,19 \text{ kN} \quad \text{vyhoví}$$

Prut 2 připojen pod ostrým úhlem přenos sil zajištěn dolním svarem.

Síly působící na svar: $N_{ed} = 25,11 \text{ kN}$

Ocel S 235 $\beta_w = 0,8$

Svar na dolním okraji

Účinná délka $l = 110 - 10 - 2a = 94 \text{ mm}$

$$N_{R,d} = \frac{2a_1 \times l \times f_u}{\beta_w \times \gamma_{M2} \times \sqrt{3}} = \frac{2 \times 3 \times 94 \times 360}{0,8 \times 1,25 \times \sqrt{3}} = 117,23 \text{ kN} \quad [7]$$

$$N_{R,d} > N_{E,d} = 117,23 \text{ kN} > 25,11 \text{ kN} \quad \text{vyhoví}$$

9.4.3 Řešení vrutového připojení k obloukům

Jedná se o připojení stojiny L profilu k hlavnímu oblouku. L profil bude umístěn v zádlabu a bude připojen pomocí vrutů. Jedná se tedy o jednostřížný spoj. V prutu 2 působí tahová síla o hodnotě 8,5 kN. Po rozkladu působí na spoj tahová síla 4,38 kN v ose vrutů. Také působí příčná síla o hodnotě 19,38 kN vyvozená normálovými silami (prut 1 $N = -24,18 \text{ kN}$; prut 2 $N = 8,5 \text{ kN}$). Posouvající síla V_z v místě připoje je po součtu 1,95 kN.

Navrženo 8 šroubů DIN 571 6x70, jakost 4,6

$t = 8 \text{ mm}$

$t > d$ tlustá deska

$t_1 = 70 - 8 = 62 \text{ mm}$

$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$

9.4.3.1 Osově zatížení

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} (\pi d l_{ef})^{0,8} f_{ax,\alpha,k} \quad [5]$$

$$F_{ax,\alpha,Rk} = 6,5 (\pi \times 6 \times 36)^{0,8} \times 26,67 = 31,93 \text{ kN}$$

$$F_{ax,\alpha,1,Rk} = (\pi \times 6 \times 36)^{0,8} \times 26,67 = 4,91 \text{ kN}$$

$$l_{ef} = l_{zav} - d = 0,6 \times 70 - 6 = 36 \text{ mm} \quad [5]$$

$$f_{ax,k} = 3,6 \times 10^{-3} \times \rho_k^{1,5} = 3,6 \times 10^{-3} \times 380^{1,5} = 26,67 \text{ Pa} \quad [5]$$

$$f_{ax,\alpha,k} = \frac{f_{ax,k}}{\sin^2 \alpha + 1,5 \cos^2 \alpha} = \frac{26,67}{\sin^2 90 + 1,5 \cos^2 90} = 26,67 \text{ Pa} \quad [5]$$

$$n_{ef} = n^{0,9} = 8^{0,9} = 6,5 \text{ ks} \quad [5]$$

$$F_{ax,\alpha,Rd} = k_{mod} \frac{F_{ax,\alpha,Rk}}{\gamma_M} = 0,9 \frac{31,93}{1,3} = 22,11 \text{ kN} \quad [5]$$

9.4.3.2 Příčné zatížení ve směru vláken

charakteristická pevnost v otláčení:

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k = 0,082(1 - 0,01 \times 6)380 = 29,29 \text{ MPa} \quad [5]$$

Charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku:

$$M_{y,R,k} = 0,3 f_{ub} \times d^{2,6} = 0,3 \times 400 \times 6^{2,6} = 12\,658,27 \text{ Nmm} \quad [5]$$

Únosnost jednoho vrutu na jeden střih: [5]

$$F_{V,R,k} = \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} \times t_1 \times d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,R,k}}{f_{h,k} \times d \times t_1^2} - 1} \right] + \frac{F_{ax,R,k}}{4} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,R,k} \times f_{h,k} \times d + \frac{F_{ax,R,k}}{4}} \\ f_{h,k} \times t_1 \times d \end{array} \right\}$$

$$F_{V,R,k} = \left\{ \begin{array}{l} 29,29 \times 62 \times 6 \left[\sqrt{2 + \frac{4 \times 12\,658,27}{29,29 \times 6 \times 62^2} - 1} \right] + \frac{4,91}{4} \\ 2,3 \sqrt{12\,658,27 \times 29,29 \times 6 + \frac{4,91}{4}} \\ 29,29 \times 62 \times 6 \end{array} \right\}$$

$$F_{V,R,k} = \left\{ \begin{array}{l} 6,03 \\ 4,66 \\ 10,90 \end{array} \right\} = 4,66 \text{ kN}$$

$$F_{V,R,d} = k_{mod} \frac{F_{V,R,k}}{\gamma_M} = 0,9 \frac{4,66}{1,3} = 3,22 \text{ kN}$$

$$V_{R,d,y} = F_{V,R,d} \times n = 3,22 \times 8 = 25,8 \text{ kN}$$

9.4.3.3 Příčné zatížení kolmo k vláknům

charakteristická pevnost v otláčení:

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k = 0,082(1 - 0,01 \times 6)380 = 29,29 \text{ MPa} \quad [5]$$

$$f_{h,90,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{29,29}{1,39 \times \sin^2 90 + \cos^2 90} = 21,07 \text{ Pa} \quad [5]$$

$$k_{90} = 1,30 + 0,015d = 1,3 + 0,015 \times 6 = 1,39$$

Charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku:

$$M_{y,R,k} = 0,3f_{ub} \times d^{2,6} = 0,3 \times 400 \times 6^{2,6} = 12\,658,27 \text{ Nmm} \quad [5]$$

Únosnost jednoho vrtu na jeden střih: [5]

$$F_{V,R,k} = \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} \times t_1 \times d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,R,k}}{f_{h,k} \times d \times t_1^2} - 1} \right] + \frac{F_{ax,R,k}}{4} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,R,k} \times f_{h,k} \times d + \frac{F_{ax,R,k}}{4}} \\ f_{h,k} \times t_1 \times d \end{array} \right\}$$

$$F_{V,R,k} = \left\{ \begin{array}{l} 21,07 \times 62 \times 6 \left[\sqrt{2 + \frac{4 \times 12\,658,27}{21,07 \times 6 \times 62^2} - 1} \right] + \frac{4,91}{4} \\ 2,3 \sqrt{12\,658,27 \times 21,07 \times 6 + \frac{4,91}{4}} \\ 21,07 \times 62 \times 6 \end{array} \right\}$$

$$F_{V,R,k} = \left\{ \begin{array}{l} 4,62 \\ 3,99 \\ 7,84 \end{array} \right\} = 3,99 \text{ kN}$$

$$F_{V,R,d} = k_{mod} \frac{F_{V,R,k}}{\gamma_M} = 0,9 \frac{3,99}{1,3} = 2,77 \text{ kN} \quad [5]$$

$$V_{R,d,z} = F_{V,R,d} \times n = 2,77 \times 8 = 22,12 \text{ kN}$$

9.4.3.4 Posudek na kombinaci osového a příčného působení

$$\left(\frac{N_{Ed}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{E,d,y}}{V_{R,d,y}} \right)^2 + \left(\frac{V_{E,d,z}}{V_{R,d,z}} \right)^2 \leq 1 \quad [5]$$

$$\left(\frac{4,38}{31,93} \right)^2 + \left(\frac{19,38}{25,8} \right)^2 + \left(\frac{1,95}{22,12} \right)^2 \leq 0,5909 \leq 1 \quad \text{vyhoví}$$

9.4.3.5 Rozteče a vzdálenosti od okrajů

$$a_1 = (4 + |\cos \alpha|)d = 30 \text{ mm}$$

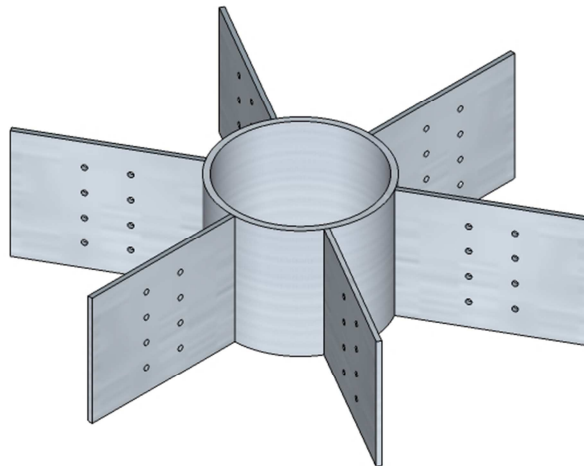
$$a_2 = (3 + |\sin \alpha|)d = 18 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} = \max(7d; (7 + 5|\cos \alpha|)d) = 72 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = \max[(3 + 4\sin \alpha)d; 3d] = 18 \text{ mm} \quad [5]$$

9.5 Řešení styčnicku vaznic

Styčnick je navržen z ocelové trubky o průměru 204 mm a tloušťce stěny 8 mm z oceli S235. K ní jsou pomocí koutových svarů připojeny styčnickové plechy tloušťky 6mm. Styčnickový plech je vždy uložen v zádlabu mezi dvojicí vaznic a připojen pomocí kolíků. Charakteristický styčnick je znázorněn na Obr. 32.



Obr. 32 – styčnick vaznic

9.5.1 Posouzení styčnicku

Ve styčnicku působí převážně normálové síly. Ostatní vnitřní síly lze zanedbat.

Prut	1	2	3	4	5	6
N (kN)	-29,05	-8,83	-6,84	-35,19	-9,03	-4,71

Maximální napětí od normálové síly

$$\sigma_N = \frac{N}{t \times h} = \frac{35,19}{6 \times 160} = 36,6 \text{ MPa} \quad [6]$$

$$\frac{36,6}{210} = 17,4\% \quad \text{vyhoví}$$

9.5.2 Řešení svarů

Navržen koutový svar o účinné výšce $a = 3$ mm.

Síly působící na svar: $N_{ed} = 35,19$ kN

Účinná délka svaru: $l = 160 - 2a = 154$ mm

Ocel S 235 $\beta_w = 0,8$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{ed}}{2al\sqrt{2}} = \frac{35,19}{2 \times 3 \times 154 \sqrt{2}} = 26,93 \text{ MPa} \quad [7]$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \times \gamma_{M2}} \quad [7]$$

$$\sqrt{26,93^2 + 3 \times 26,93^2} \leq \frac{360}{0,8 \times 1,25}$$

$$53,86 \text{ MPa} \leq 288 \text{ MPa}$$

vyhoví

9.6 Posouzení kolíkového přípoje vaznic ke styčníku

Maximální normálová síla 35,19 kN.

Charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prvku.

Dvojstřížný spoj s ocelovou deskou uprostřed.

$$t_1 = 57 \text{ mm}$$

$$d = 6 \text{ mm} \quad \text{jakost 5.8}$$

$$\rho_k = 320 \text{ kg/m}^3$$

charakteristická pevnost v otláčení:

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k = 0,082(1 - 0,01 \times 6)320 = 24,67 \text{ MPa} \quad [5]$$

Charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku:

$$M_{y,R,k} = 0,3f_{ub} \times d^{2,6} = 0,3 \times 500 \times 6^{2,6} = 15\,822,84 \text{ Nmm} \quad [5]$$

Únosnost jednoho kolíku na jeden stříh: [5]

$$F_{V,R,k} = \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \times t_1 \times d \\ f_{h,1,k} \times t_1 \times d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,R,k}}{f_{h,1,k} \times d \times t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,R,k}}{4} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,R,k} \times f_{h,1,k} \times d + \frac{F_{ax,R,k}}{4}} \end{array} \right\}$$

$F_{ax} = 0$ pro kolíky

$$F_{V,R,k} = \left\{ \begin{array}{l} 24,67 \times 57 \times 6 \\ 24,67 \times 57 \times 6 \left[\sqrt{2 + \frac{4 \times 15\,822,84}{24,67 \times 6 \times 57^2}} - 1 \right] + 0 \\ 2,3 \sqrt{15\,822,84 \times 24,67 \times 6 + 0} \end{array} \right\}$$

$$F_{V,R,k} = \left\{ \begin{array}{l} 8,44 \\ 3,88 \\ 3,52 \end{array} \right\} = 3,52 \text{ kN}$$

$$F_{V,R,d} = k_{mod} \times \frac{F_{V,R,k}}{\gamma_M} = 0,9 \times \frac{3,52}{1,3} = 2,43 \text{ kN} \quad [5]$$

Návrhová únosnost dvojstřížného kolíku

$$R_d = 2 \times F_{V,R,d} = 2 \times 2,43 = 4,87 \text{ kN}$$

návrh 8 kolíků $\varnothing 6$ mm

zatížení na jeden kolík:

$$F_{1,E,d} = \frac{F_{Ed}}{n} = \frac{35,19}{8} = 4,40 \text{ kN}$$

Posouzení

$$\frac{F_{1,E,d}}{R_d} = \frac{4,40}{4,87} = 0,90 < 1$$

vyhoví

Minimální rozteče a vzdálenosti od okrajů pro kolíky

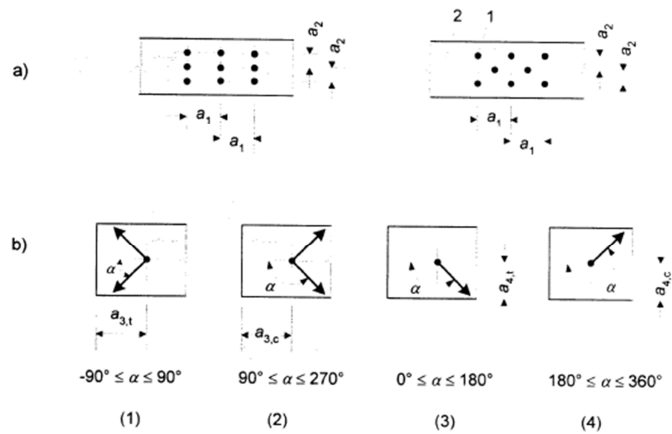
$$a_1 = (3 + 2|\cos \alpha|)d = 30 \text{ mm}$$

$$a_2 = 3d = 18 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} = \max(7d; 80 \text{ mm}) = 80 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = \max[(2 + 2\sin \alpha)d; 3d] = 18 \text{ mm}$$

[5]



Legenda

- (1) Zatížený konec
- (2) Nezatížený konec
- (3) Zatížený okraj
- (4) Nezatížený okraj
- 1 Spojovací prostředek
- 2 Směr vláken

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AFD	Autodesk Flow Design
A_{eff}	efektivní plocha
A_w	účinná plocha svaru
A, B	rozměry patky
$f_{h,0,k}$	charakteristická pevnost v otláčení
$f_{m,k}$	charakteristická pevnost v ohybu
$f_{c,0,k}$	charakteristická pevnost v tlaku
$f_{t,0,k}$	charakteristická pevnost v tahu
f_u	mez pevnosti
f_{ub}	mez pevnosti spojovacího prvku
f_{yd}	návrhová mez kluzu
f_{yk}	charakteristická mez kluzu
F_{Ed}	návrhová hodnota působící síly od vnějšího zatížení
$F_{V,R,k}$	charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prvku
GPa	Giga Pascal
h	výška
i	poloměr setrvačnosti
k_{mod}	modifikační součinitel
k_{90}	součinitel pro zatížení kolmo na vlákna
kN	kilo Newton
kNm	kilo Newton metr
kNm^{-1}	kilo Newton na metr běžný
kNm^{-2}	kilo Newton na metr čtverečný
kNm^{-3}	kilo Newton na metr krychlový
l	délka prvku
l_0	účinná délka kolmo k ose
m	metr
mm	milimetr
$M_{y/z}$	ohybový moment kolem osy y, respektive z
$M_{y,R,k}$	charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku
MPa	Mega Pascal
n	počet spojovacích prvků

N_{Ed}	návrhová hodnota působící normálové síly
N_{Rd}	návrhová hodnota únosnosti
t	tloušťka stěny
V_{Ed}	návrhová hodnota působící posouvající síly
V_{Rd}	výsledná návrhová únosnost ve smyku
ZS	zatěžovací stav
α	úhel mezi působící silou a směrem vláken
β_w	redukční součinitel pro svarové spoje
γ_G	dílčí součinitel stálého zatížení G
γ_M	dílčí součinitel vlastností materiálu
γ_Q	dílčí součinitel proměnného zatížení Q
λ	štíhlostní poměr k ose y, respektive z
ρ	hustota materiálu
σ	normálové napětí
τ	smykové napětí
ψ_0	součinitel pro kombinační hodnotu zatížení

11 SEZNAM ZDROJŮ

- [1] - ČSN EN 1991: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [2] - ČSN EN 1991: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- [3] - ČSN EN 1991: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- [4] – Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, STEP 1 Navrhování a konstrukční materiály, 1. vyd. Zlín: KODR, 1998. 400 s. ISBN 80-238-260-4
- [5] – ČSN EN 1995: Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [6] – ČSN EN 1993: Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [7] - ČSN EN 1993: Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků

12 POUŽITÝ SOFTWARE

- MS Office Word 2010; Microsoft Corporation
- MS Office Excel 2010; Microsoft Corporation
- Scia Engineer 2013.1; Nemetchek Scia, s.r.o.
- AutoCad 2013; Autodesk, Inc.
- Autodesk Flow Design; Autodesk, Inc.