

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV STAVEBNÍ MECHANIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STRUCTURAL MECHANICS

ANALÝZA KONSTRUKCE S VYUŽITÍM FÁZOVANÉHO VÝPOČTU

ANALYSIS STRUCTURE USING THE PHASE CALCULATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

EVA ČEJKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ZBYNĚK VLK, Ph.D.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKE V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program

B3607 Stavební inženýrství

Typ studijního programu

Bakalářský studijní program s prezenční formou studia

Studijní obor

3608R001 Pozemní stavby

Pracoviště

Ústav stavební mechaniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student

Eva Čejková

Název

Analýza konstrukce s využitím fázovaného výpočtu

Vedoucí bakalářské práce

Ing. Zbyněk Vlk, Ph.D.

**Datum zadání
bakalářské práce**

30. 11. 2015

**Datum odevzdání
bakalářské práce**

27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015

prof. Ing. Drahomír Novák, DrSc.
Vedoucí ústavu



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

Podklady a literatura

Norma : ČSN EN 1991-1 - Eurokód 1

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

Manuály k systému RFEM



Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Cílem práce je statická analýza vybrané konstrukce vč. analýzy významných montážních stavů.

Modelování vybrané konstrukce vč. jejich montážních stavů i samotná analýza bude provedena v programovém systému RFEM, který umožňuje provádět výpočet modelů konstrukcí v tzv. fázích.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

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



Abstrakt

Bakalářské práce se zabývá návrhem konstrukce zastřešení, jejím statickým posouzením a analýzou fází výstavby. Jedná se o zastřešení tenisové haly pomocí parabolických příhradových vazníků, které jsou tvořeny z oceli. V hale se nachází tři tenisové kurty a prostor na hlediště pro diváky. Celá konstrukce a výpočty jsou zpracovány ve statickém softwaru RFEM od firmy Dlubal. Pouze zatěžovací stavy jsou vypočítány ručně.

Klíčová slova

Příhradový vazník, táhlo, ztužidla, sloupy, zatížení, vnitřní síly, fáze.

Abstract

Bachelor thesis deals with the roof structure, its static assessment and analysis phases of construction. It is a roofing tennis hall parabolic trusses, which are formed from steel. In the hall there are three tennis courts and space for an auditorium for spectators. The entire structure and calculations are processed in a static software RFEM by the Dlubal. Only the load cases are calculated manually.

Keywords

Trussed rafter, rod, bracing, columns, loads, internal forces, phase.

Bibliografická citace VŠKP

Eva Čejková *Analýza konstrukce s využitím fázovaného výpočtu*. Brno, 2016. 70 s., 5 s. příloh.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební
mechaniky. Vedoucí práce Ing. Zbyněk Vlk, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27.5.2016

.....

Podpis autora
Eva Čejková

Poděkování:

Ráda bych tímto poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Zbyňku Vlkovi, Ph.D. za spoustu užitečných a cenných rad, jeho ochotu, vstřícnost a podporu při tvorbě této práce.

Obsah:

1 Úvod	10
2 Hala.....	11
2.1 Návrh rozměrů	11
2.2 Návrh zastřešení.....	11
2.3 Model.....	11
3 Zatížení	17
3.1 Zatížení stálé	17
3.1.1. Střešní plášť	17
3.1.2 Osvětlení	18
3.2 Zatížené proměnné.....	18
3.2.1 Vítr – obecně	18
3.2.2 Příčný vítr působící na střechu.....	19
3.2.3 Podélný vítr působící na střechu	21
3.2.4 Příčný vítr působící na stěny	24
3.2.5 Podélný vítr působící na stěny	26
3.2.6 Sníh – obecně	27
3.2.7 Nenavátý sníh.....	28
3.2.8 Navátý sníh	28
4 Dimenzování.....	29
5 Fáze výstavby	36
5.1 Fáze 1	40
5.2 Fáze 2.....	44
5.3 Úprava první a druhé fáze.....	45
5.4 Fáze 3.....	49
5.5 Fáze 4.....	50
5.6 Fáze 5 a 6.....	53
5.7 Fáze 7.....	56
5.8 Fáze 8 – 18.....	56
6 Závěr.....	63
7 Seznam literatury.....	65
8 Seznam obrázků.....	66
9 Seznam tabulek.....	69

10 Seznam symbolů.....	70
11 Přílohy	71
Příloha 1 Schéma půdorysu	71
Příloha 2 Skladba střechy DEKROOF 15	72
Příloha 3 Posouzení průřezů	73

1 ÚVOD

Prvotním úkolem bylo vybrat sportoviště, které bude posléze třeba zastřešit. Zvolena byla tenisová hala se třemi kurty a prostorem pro hlediště pro diváky. Zastřešena bude pomocí příhradových vazníků parabolického tvaru. Jako materiál pro výstavbu haly bude zvolena ocel.

Součástí práce je návrh rozměrů haly, tvaru a geometrie vazníku, dimenzování konstrukce a analýza jednotlivých fází výstavby. Z důvodu problému s dimenzováním sloupů haly kvůli velkým vnitřním silám bude zvolen také další způsob řešení pomocí táhel, který však v případě tenisové haly nebude vhodný, neboť musí být brán zřetel na využití haly.

Požadavkem při zastřešování kurtů bylo postavit konstrukci bez zásahu do vnitřního prostoru. Pro realizování haly tedy budou použity i pomocné konstrukce, neboť hala je velká a vazníky musí být sestavovány po částech a dočasně upevňovány pomocí lan. Řešení způsobů výstavby haly zde bude poměrně důležité, neboť konstrukce je velká a je třeba zajistit její stabilitu při sestavování jednotlivých částí a snížit co nejvíce případné deformace při montáži.

Výpočet zatížení a jednotlivých zatěžovacích stavů bude proveden ručně. Pro další výpočty a posouzení bude použit software RFEM od Dlubalu, verze 5.06, ve kterém bude celá konstrukce modelována. Jedná se o statický software, který využívá výpočet na základě metody konečných prvků (MKP). Kromě základní verze budou použity ještě dva přídatné moduly a to *RF-STEEL EC3 – Posouzení ocelových prutů podle Eurokódu 3* a *RF-STAGES – Analýza stavebních fází*. Model bude vytvořen jako 3D prostorový.

2 HALA

2.1 NÁVRH ROZMĚRŮ

Pro tuto práci bylo zvoleno fiktivní sportoviště, které bude třeba zastřešit. Jedná se o tři tenisové kurty a hlediště pro diváky. Návrh rozměrů haly vychází z rozměrů kurtů. Jeden tenisový kurt má mít rozměry 10,97 x 23,77 m. S ohledem na potřebný prostor mezi jednotlivými kurty a kolem nich byl tedy zvolen rozměr hrací plochy 54,81 x 36,57 m (viz schéma půdorysu haly v příloze 1). S připočtením dalšího prostoru pro diváky je uvažováno s celkovou velikostí haly 56,00 x 46,57 m. Taktéž výška nad kurty musí dosahovat určitých hodnot. V nejnižším místě, tedy u okrajů haly, je postačující výška 5 m, nejvyšší bod se nachází nad středovou čarou kurtů a činí 11 m. Další výšky jsou dány pro určité pozice na kurtu, z čehož následně vyplynul parabolický tvar vazníků.

2.2 NÁVRH ZASTŘEŠENÍ

Konstrukce zastřešení je tvořena ocelovými parabolickými příhradovými vazníky. V příčném i podélném směru jsou vazníky na krajích zavětrovány a v podélném směru uprostřed rozpětí se nachází ještě ztužidla. Celá konstrukce je postavena na ocelových sloupech. Jako materiál je použita ocel S 235.

Skladba střešní krytiny byla vybrána ze systému DEKPROOF a jedná se konkrétně o skladbu DEKPROOF 15, tvořenou trapézovým plechem, parozábranou s hliníkovou vložkou, dvou vrstev tepelné izolace a modifikovaného asfaltu (podrobněji viz příloha 2).

Návrh rozměrů sportovní haly a střešní krytiny nejsou předmětem řešení bakalářské práce, byly tedy navrženy jen pro potřeby výpočtu a návrhu konstrukce zastřešení.

2.3 MODEL

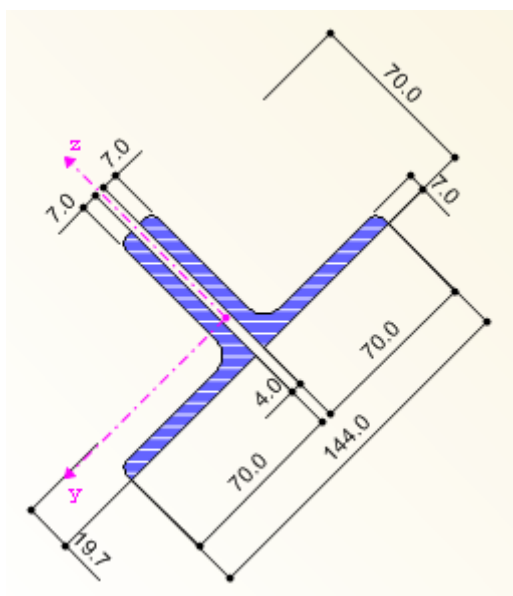
Příhradové vazníky, které tvoří konstrukci zastřešení, jsou složeny z horních a dolních pásů, vzdálených od sebe výškově 1,2 m. Spojené jsou pomocí diagonál a svislic, které jsou k částem vazníků připojeny kloubově. Vazníky jsou rozmístěny po 4 metrech v podélném směru budovy, jejich celkový počet je tedy 15. Uloženy jsou kloubově na 5 metrů vysokých

sloupech s vetknutím. Jednotlivé příhrady jsou spolu propojeny vaznicemi, příčným a podélným zavětrováním na okrajích budovy a podélným ztužidlem ve vrcholu vazníků.

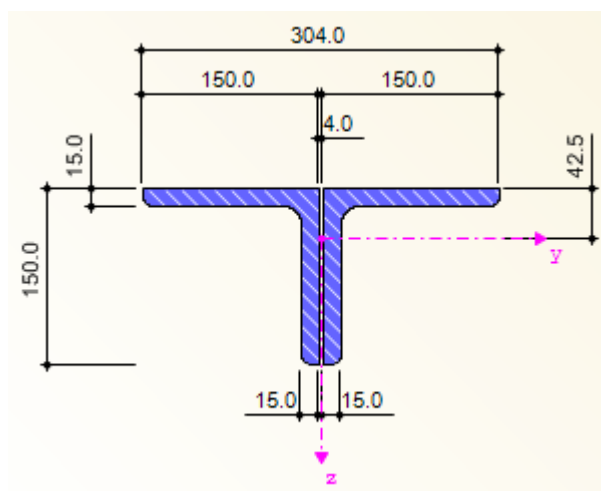
Pro každý prvek byl nejdříve zvolen předběžný návrh profilu, který byl dále dimenzován v softwaru na základě vypočteného zatížení a posouzení na požadované způsoby možného namáhání. V tabulce 2.1 jsou uvedeny výsledné použité profily. Celý model je ukázán na obrázcích 2.8 – 2.11.

Tabulka 2.1 Použité profily

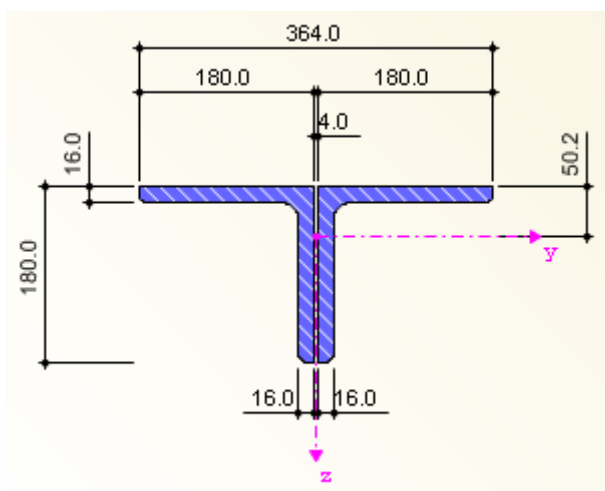
Číslo průřezu	Prvek	Průřez a označení [mm]	Obrázek
1	Diagonály	2LA L 70x70x7-4/1	2.1
2	Horní pás	2LA L 150x150x15-4/1	2.2
3	Dolní pás	2LA L 180x180x16-4/1	2.3
4	Sloup	IS 1000/650/50/50/0	2.4
5	Vaznice	U 280	2.5
6	Zavětrování	tyč 20	2.6
6	Ztužidlo	tyč 20	2.6
7	Svislice	2LA L 50x50x5-4/1	2.7



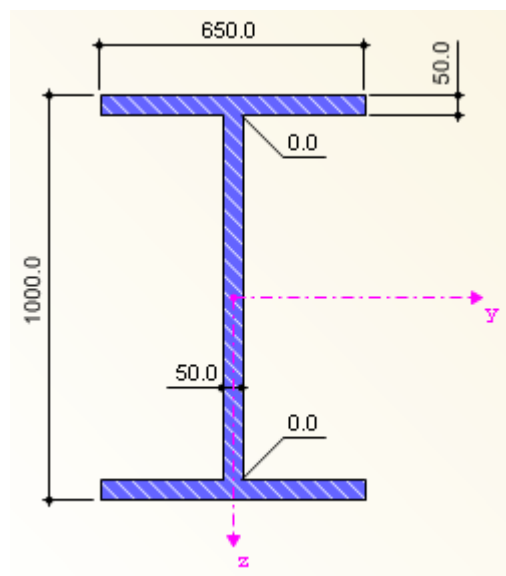
Obr. 2.1 Diagonály



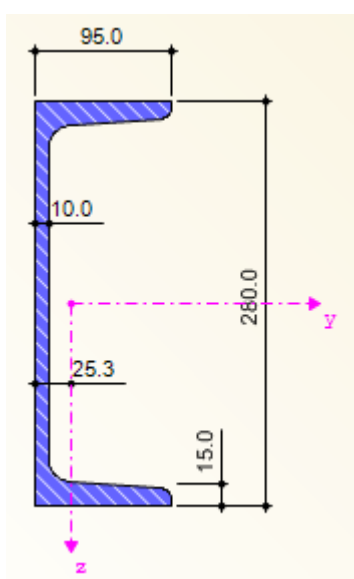
Obr. 2.2 Horní pás



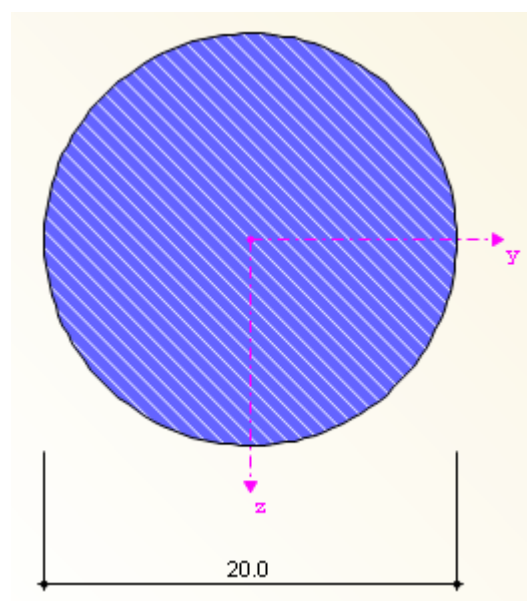
Obr. 2.3 Dolní pás



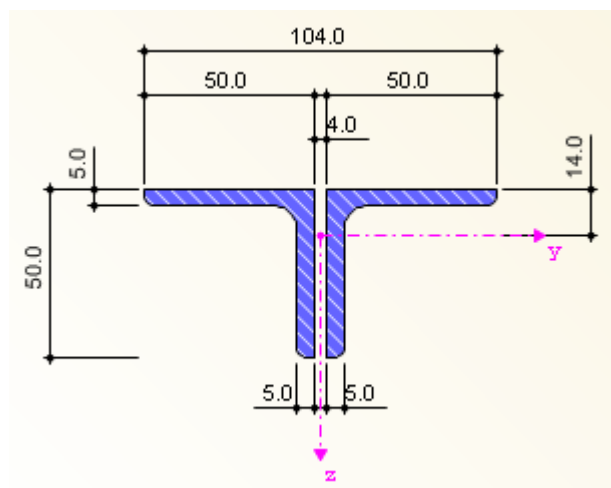
Obr. 2.4 Sloup



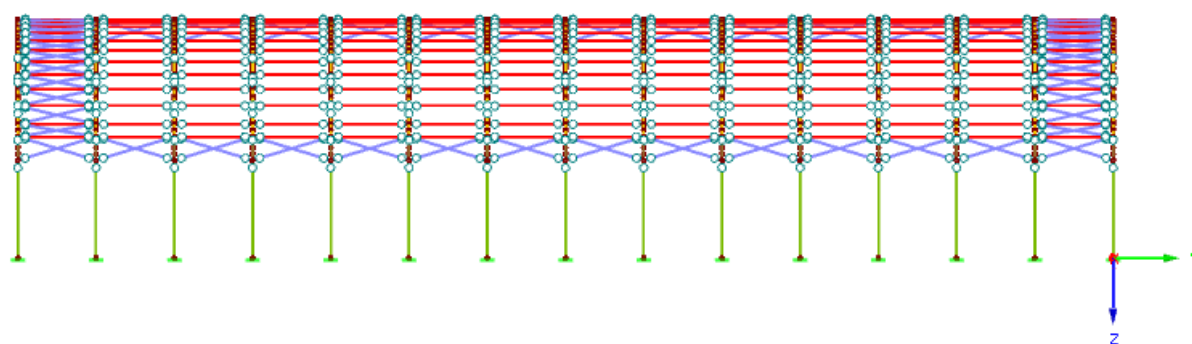
Obr. 2.5 Vaznice



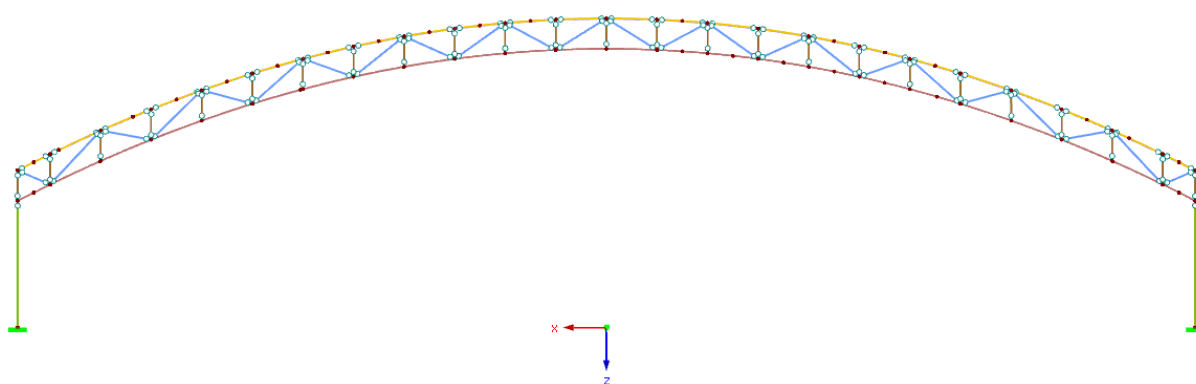
Obr. 2.6 Zavětrování a ztužidla



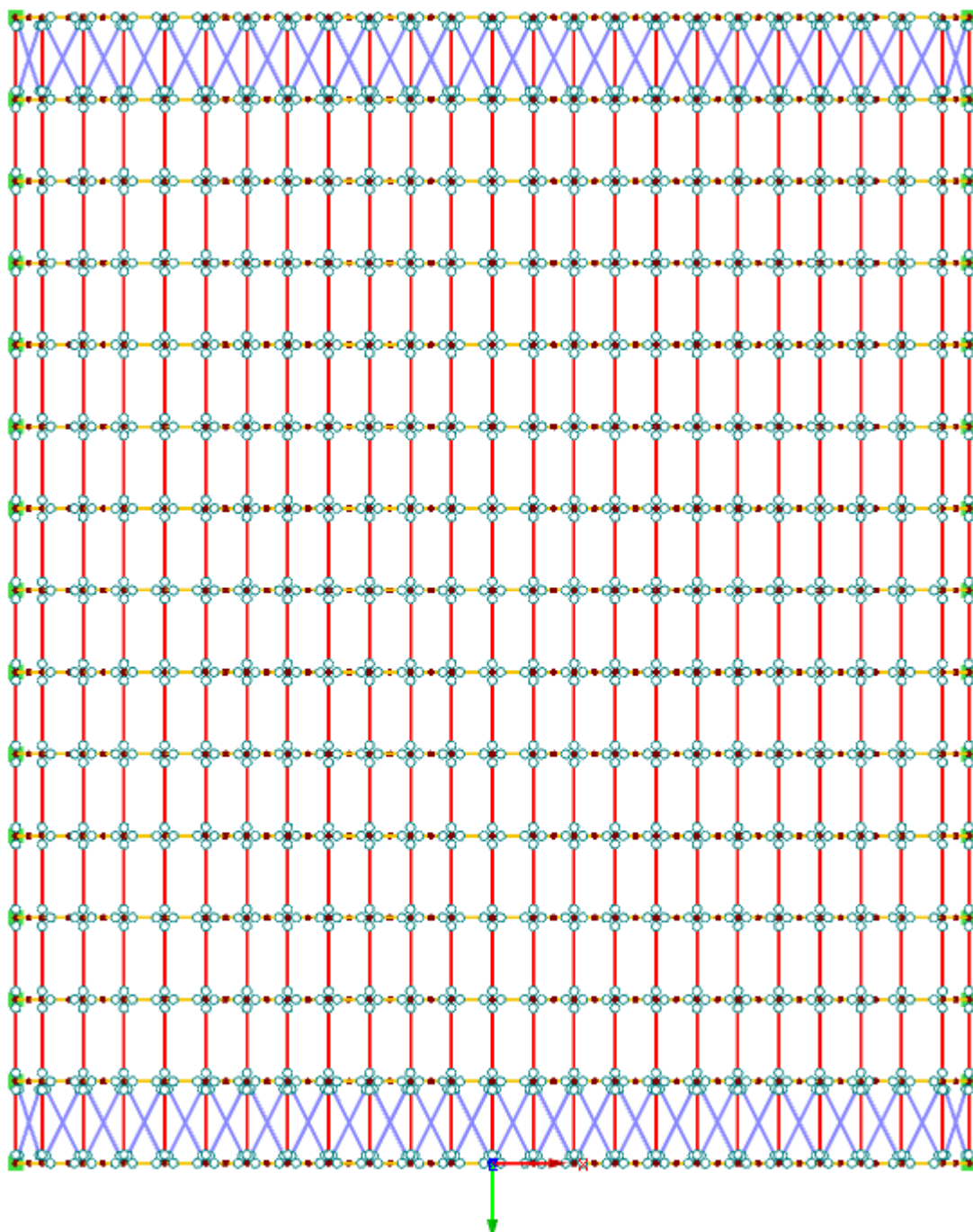
Obr. 2.7 Svislice



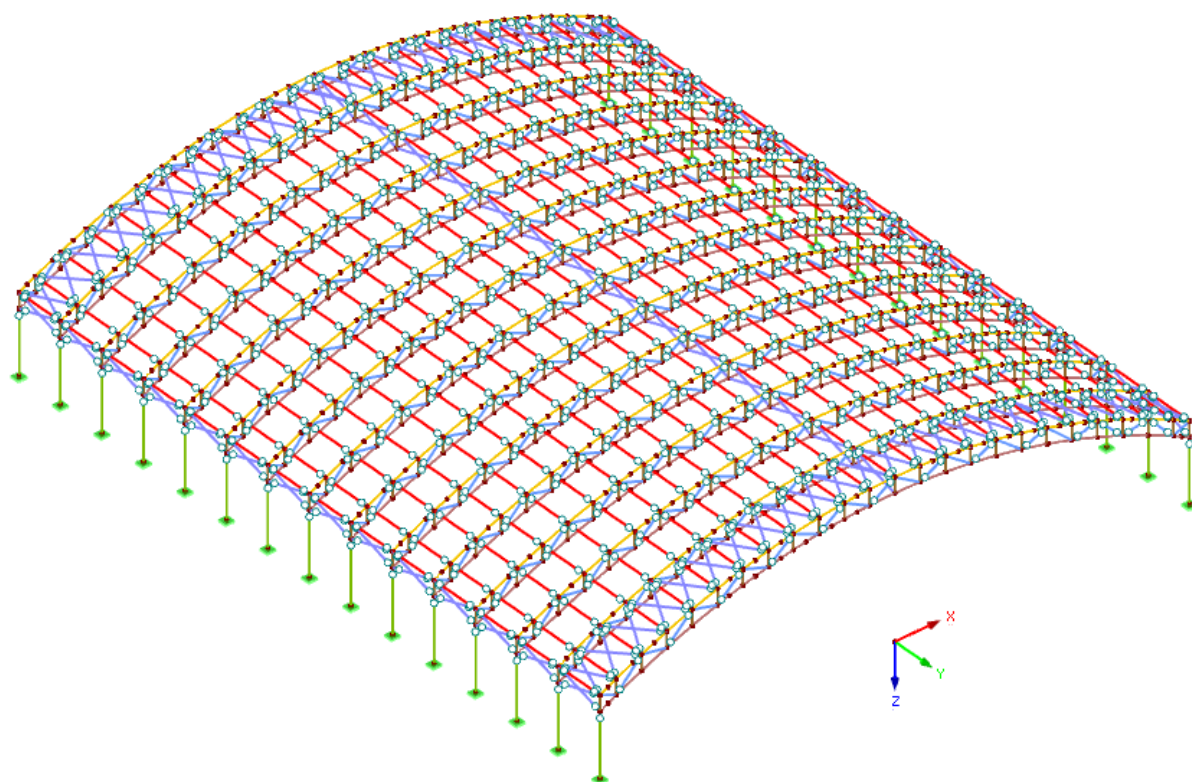
Obr. 2.8 Model v rovině YZ



Obr. 2.9 Model v rovině XZ



Obr. 2.10 Model v rovině XY



- 1: 2LA L 70x70x7-4/1 | EN 10056-1:1998; Ocel S 235; 135.0 °
- 2: 2LA L 150x150x15-4/1 | EN 10056-1:1998; Ocel S 235
- 3: 2LA L 180x180x16-4/1 | EN 10056-1:1998; Ocel S 235
- 4: IS 1000/650/50/50/0; Ocel S 235
- 5: U 280 | Feronia - DIN 1026-1; Ocel S 235
- 6: Tyč 20; Ocel S 235
- 7: 2LA L 50x50x5-4/1 | EN 10056-1:1998; Ocel S 235

Obr. 2.11 Prostorový model

3 ZATÍŽENÍ

Pro návrh konkrétního druhu profilu prvku je třeba nejdříve spočítat zatížení a vytvořit jednotlivé zatěžovací stavy. Výpočet zatížení bude proveden ručně a vypočtené hodnoty budou následně zadány do softwaru RFEM. Ten provede výpočet nutný pro zjištění vnitřních sil, které je třeba znát pro správné nadimenzování prvků.

Poznámka: Všechny níže vypočítané hodnoty zatížení budou posléze přepočítány na danou zatěžovací šířku a zadány do softwaru.

3.1 ZATÍŽENÍ STÁLÉ

Do stálého zatížení patří jak vlastní tíha konstrukce, tak zatížení od střešní krytiny a umělého osvětlení, které bude upevněno na konstrukci střechy na vaznicích. Vlastní tíha konstrukce zde počítána ručně nebude, protože ji nelze zatím přesně určit, neboť nejsou pevně stanovené profily. Pro co nejpresnější výpočet tedy bude vlastní tíha počítána softwarem až na základě výběru profilů a výsledné hodnoty zatížení tak budou vždy přepočítány při každé změně profilu.

3.1.1 STŘEŠNÍ PLÁŠŤ

Pro výpočet zatížení od střešního pláště nám poslouží informace od výrobce, kde jsou uvedeny tloušťky jednotlivých vrstev a jejich objemové hmotnosti (viz příloha 2).

Trapézový plech	$0,107 \text{ kN/m}^2$
Parozábrana	(zanedbatelná hodnota)
Tepelná izolace 1. vrstva	$1,36 \times 0,12 = 0,1632 \text{ kN/m}^2$
Tepelná izolace 2. vrstva	$1,54 \times 0,08 = 0,1232 \text{ kN/m}^2$
Hydroizolační fólie	$0,0632 \times 0,0052 = 0,0003 \text{ kN/m}^2$
	$\Sigma g_k = 0,394 \text{ kN/m}^2$

3.1.2 OSVĚTLENÍ

Vybrána byla LED průmyslová lampa, jejíž hmotnost je asi 2,7 kg, čemuž odpovídá síla o velikosti 27 N. Tyto lampy budou zavěšeny na dolních pásech a budou působit jako osamělé síly.

3.2 ZATÍŽENÍ PROMĚNNÉ

Do skupiny proměnného zatížení počítáme zatížení od větru a sněhu.

3.2.1 VÍTR – OBECNĚ

Výpočet bude proveden dle normy ČSN EN 1991-1-4 Zatížení větrem [3]. Význam použitých hodnot a výpočtové vztahy:

z_0 – parametr drsnosti terénu, určíme na základě kategorie terénu

$z_{\min}$ – minimální výška, určíme na základě kategorie terénu

v_b – základní rychlost větru

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

c_{dir} – součinitel směru větru, doporučená hodnota 1,0

c_{season} – součinitel ročního období, doporučená hodnota 1,0

$v_{b,0}$ – výchozí základní rychlost větru

$v_m(z)$ – střední rychlost větru

$$v_m(z) = c_r(z) * c_o(z) * v_b$$

$c_r(z)$ – součinitel drsnosti terénu

$c_o(z)$ – součinitel orografie, jeho hodnota je uvažována 1,0, pokud není uvedeno jinak

k_r – součinitel terénu, závisí na uvažovaném parametru drsnosti terénu z_0

$$k_r = 0,19 * (z_0 / z_{0,II})^{0,07}$$

$z_{0,II}$ – parametr drsnosti terénu pro kategorii terénu II

$I_v(z)$ – intenzita turbulence

$$I_v(z) = k_1 / [c_o(z) * \ln(z/z_0)] \text{ pro } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

k_1 – součinitel turbulence, doporučená hodnota je 1,0

$q_p(z)$ – maximální dynamický tlak

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

ρ - měrná hmotnost vzduchu, doporučená hodnota je $1,25 \text{ kg/m}^3$

$c_e(z)$ – součinitel expozice

$$c_e(z) = q_p(z) / q_b$$

q_b – základní dynamický tlak větru

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2(z)$$

w_e – vnější tlak větru

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

Nejdříve je třeba stanovit kategorii terénu. Lokalita byla zařazena do kategorie terénu III – stromy, vesnice, předměstí, lesy.

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

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

$$v_{b,0} = 27,5 \text{ m/s}$$

$$v_b = 1,0 \times 1,0 \times 27,5 = 27,5 \text{ m/s}$$

$$k_r = 0,19 \times (0,3/0,05)^{0,07} = 0,215$$

$$c_r(z) = 0,215 \times \ln(12,2/0,3) = 0,798$$

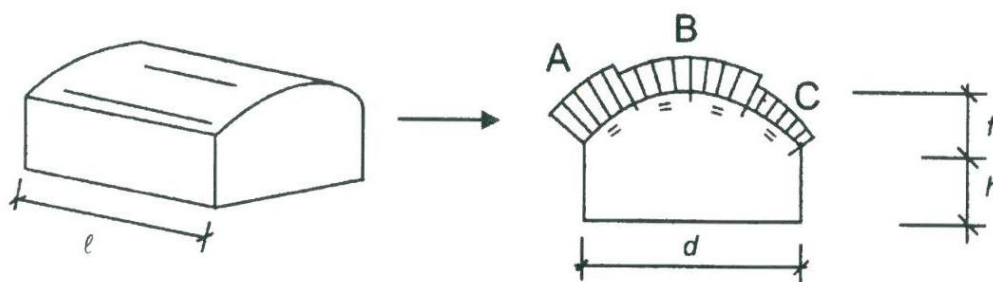
$$v_m(z) = 0,798 \times 1,0 \times 27,5 = 21,948 \text{ m/s}$$

$$I_v(z) = 1,0 / [1,0 \times \ln(12,2/0,3)] = 0,27$$

$$q_p(z) = (1 + 7 \times 0,27) \times \frac{1}{2} \times 1,25 \times 21,948^2 = 869,835 \text{ N/m}^2$$

3.2.2 PŘÍČNÝ VÍTR PŮSOBÍCÍ NA STŘECHU

Nyní je potřeba získat součinitele vnějšího tlaku c_{pe} pro příčný směr větru. Bereme případ klenbové střechy a kopule a ta nám rozdělí zatížení do oblastí A, B a C. Referenční výšku pro vnější tlak z_e určíme jako součet hodnot h a f (hodnoty jsou patrné z obrázku 3.1, který je převzat z normy, stejně jako následující obrázky k dalším výpočtům zatížení).



Obr. 3.1 Oblasti působení větru v příčném směru [3]

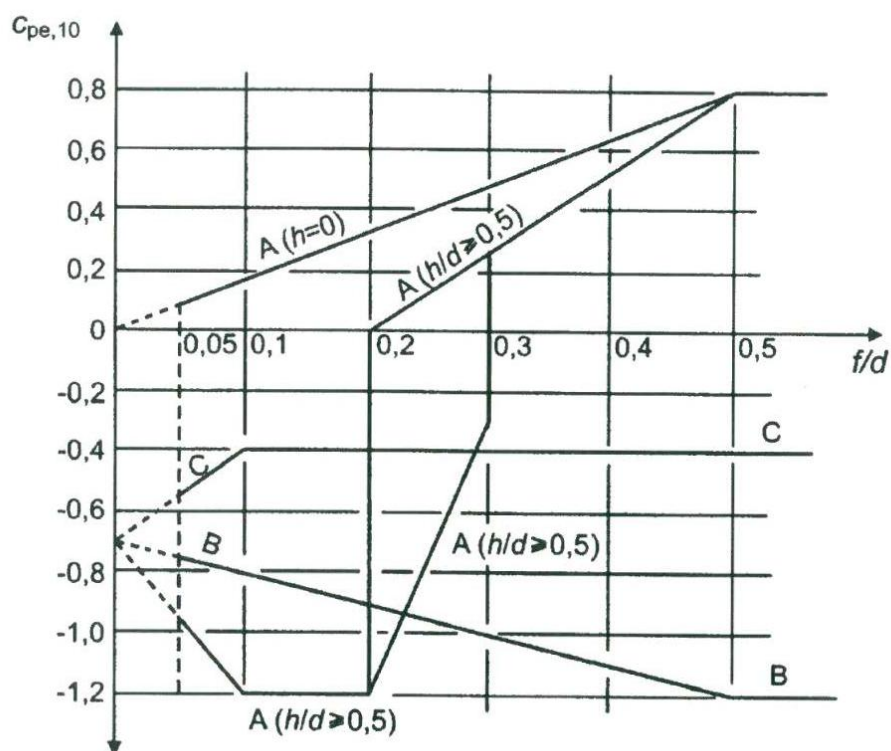
$$d = 46,57 \text{ m}$$

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

$$f = 7,2 \text{ m}$$

$$z_e = h + f = 5 + 7,2 = 12,2 \text{ m}$$

Hodnoty součinitele vnějšího tlaku c_{pe} pro jednotlivé oblasti se nyní určí z grafu, který je na obrázku 3.2, v závislosti na poměru hodnot f/d . Pro oblast A je to -1,2, oblast B -0,855 a oblast C -0,4.



Obr. 3.2 Graf pro určení součinitele $c_{pe,10}$ [3]

Výpočet vnějšího tlaku větru:

$$w_e(A) = 869,835 \times (-1,2) = -1,044 \text{ kN/m}^2$$

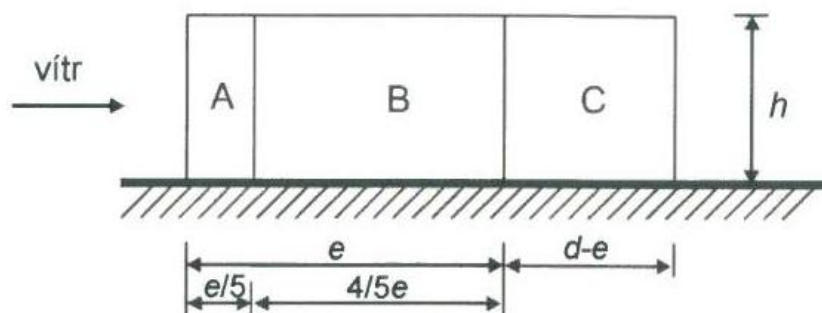
$$w_e(B) = 869,835 \times (-0,855) = -0,744 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(C) = 869,835 \times (-0,4) = -0,348 \text{ kN/m}^2$$

Určení rozměrů oblastí působení ukazuje obrázek 3.3.

$$e = \min(b, 2h) = \min(56; 2 \times 5 = 10) = 10 \text{ m} < d = 46,57 \text{ m}$$

Poznámka: Velikost hodnoty b je v tomto případě delší rozměr z půdorysných rozměrů haly.

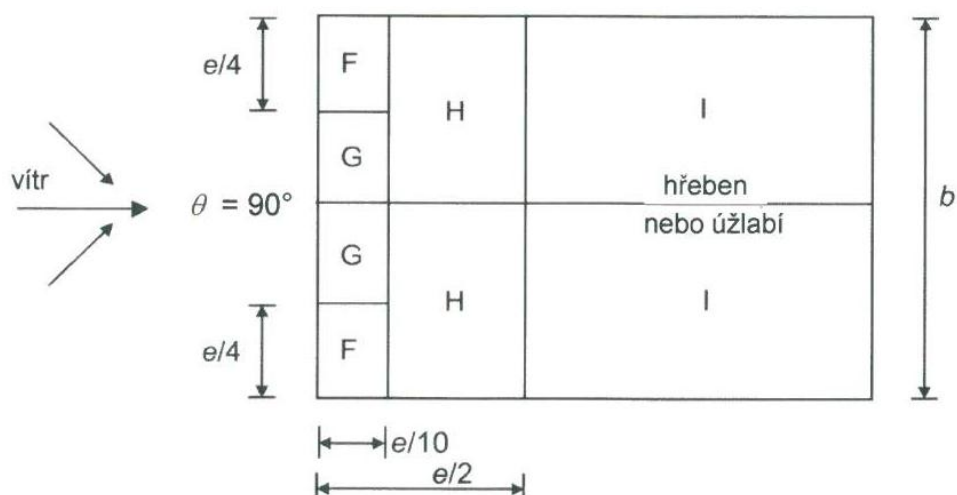


Obr. 3.3 Rozměry oblastí působení větru [3]

Oblasti A odpovídají 2 m, oblasti B 8 m a oblasti C 36,57 m.

3.2.3 PODÉLNÝ VÍTR PŮSOBÍCÍ NA STŘECHU

V normě se nevyskytuje případ působení podélného větru na parabolickou střechu. Nejblíže má však tento tvar střechy k sedlové střeše a řešení tedy bude podle tohoto případu. Samotný výpočet je obdobný jako u příčného větru. Máme 4 oblasti – F, G, H a I (viz obrázek 3.4). Referenční výška z_e je zde rovna výšce h a činí tedy 12,2 m.



Obr. 3.4 Oblasti působení podélného větru [3]

Hodnoty součinitele vnějšího tlaku c_{pe} pro jednotlivé oblasti se určí z tabulky 3.1. Jelikož sklon parabolické střechy není jednoznačně dán jako u sedlové střechy, ale mění se, řešení bude přibližné a to pro 3 případy sklonu – 5° , 15° a 30° .

Pro 5° :

$$c_{pe,10}(F) = -1,6$$

$$c_{pe,10}(G) = -1,3$$

$$c_{pe,10}(H) = -0,7$$

$$c_{pe,10}(I) = -0,6$$

Pro 15° :

$$c_{pe,10}(F) = -1,3$$

$$c_{pe,10}(G) = -1,3$$

$$c_{pe,10}(H) = -0,6$$

$$c_{pe,10}(I) = -0,5$$

Pro 30° :

$$c_{pe,10}(F) = -1,1$$

$$c_{pe,10}(G) = -1,4$$

$$c_{pe,10}(H) = -0,8$$

$$c_{pe,10}(I) = -0,5$$

Tabulka 3.1 Hodnoty součinitelů c_{pe} pro sedlové střechy [3]

Úhel sklonu α	Oblast pro směr větru $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

Vazník se rozdělí na tři oblasti. V jedné budeme počítat se sklonem střechy 5°, v druhé 15° a ve třetí 30°. Skutečné sklony tedy budou zaokrouhleny na tyto tři hodnoty. Výsledné hodnoty vnějšího tlaku větru jsou:

Pro sklon 5°: $w_e(F) = 869,835 \times (-1,6) = -1,392 \text{ kN/m}^2$

$$w_e(G) = 869,835 \times (-1,3) = -1,131 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(H) = 869,835 \times (-0,7) = -0,609 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(I) = 869,835 \times (-0,6) = -0,522 \text{ kN/m}^2$$

Pro sklon 15°: $w_e(F) = 869,835 \times (-1,3) = -1,131 \text{ kN/m}^2$

$$w_e(G) = 869,835 \times (-1,3) = -1,131 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(H) = 869,835 \times (-0,6) = -0,522 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(I) = 869,835 \times (-0,5) = -0,435 \text{ kN/m}^2$$

Pro sklon 30°: $w_e(F) = 869,835 \times (-1,1) = -0,957 \text{ kN/m}^2$

$$w_e(G) = 869,835 \times (-1,4) = -1,218 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(H) = 869,835 \times (-0,8) = -0,696 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(I) = 869,835 \times (-0,5) = -0,435 \text{ kN/m}^2$$

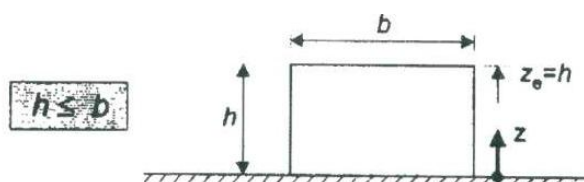
$$e = \min(b, 2h) = \min(46,57; 2 \times 12,2 = 24,4) = 24,4 \text{ m}$$

Poznámka: Velikost hodnoty b je půdorysný rozměr kolmo na směr větru.

Rozměry oblastí určíme podle obrázku 3.4. Oblasti F je vymezena plocha 6,1 x 2,44 m, oblasti G 17,185 x 2,44 m, oblasti H 23,285 x 9,76 m a oblasti I 23,285 x 43,8 m.

3.2.4 PŘÍČNÝ VÍTR PŮSOBÍCÍ NA STĚNY

Velikost referenční výšky z_e je závislá na poměru stran h/b a na výšce, která odpovídá hornímu okraji příslušné části stěny (viz obrázek 3.5).



Obr. 3.5 Referenční výška [3]

$$h = 12,2 \text{ m}$$

$$b = 46,57 \text{ m}$$

$$z_e = 12,2 \text{ m}$$

Parametr c_{pe} pro oblasti A, B, C, D a E se určí podle poměru h/d z tabulky 3.2, kde d je půdorysný rozměr strany, která je rovnoběžná se směrem větru.

Tabulka. 3.2 Hodnoty součinitelů c_{pe} pro stěny [3]

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	

$$d = 46,57 \text{ m}$$

$$h/d = 12,2/46,57 = 0,262$$

$$c_{pe,10}(A) = -1,2$$

$$c_{pe,10}(B) = -0,8$$

$$c_{pe,10}(C) = -0,5$$

$$c_{pe,10}(D) = 0,7$$

$$c_{pe,10}(E) = -0,3$$

Vnější tlak větru pro danou oblast se vypočítá ze vztahu $w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe,10}$.

$$w_e(A) = 869,835 \times (-1,2) = -1,044 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(B) = 869,835 \times (-0,8) = -0,696 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(C) = 869,835 \times (-0,5) = -0,435 \text{ kN/m}^2$$

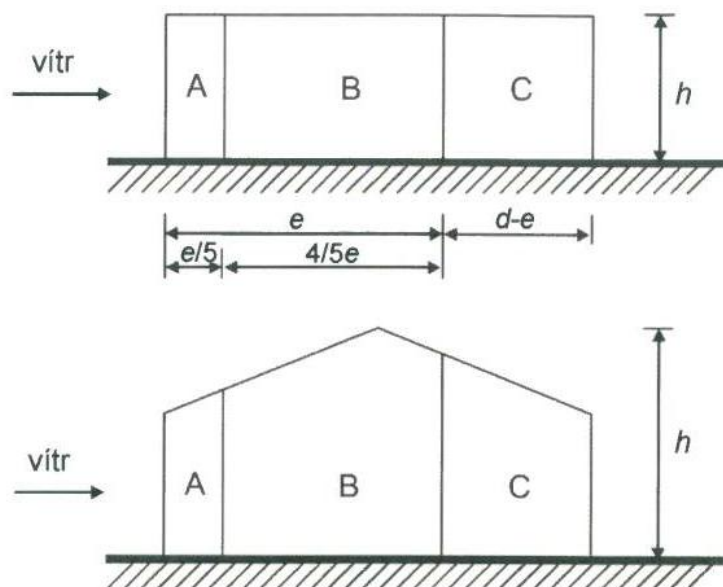
$$w_e(D) = 869,835 \times 0,7 = 0,609 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(E) = 869,835 \times (-0,3) = -0,261 \text{ kN/m}^2$$

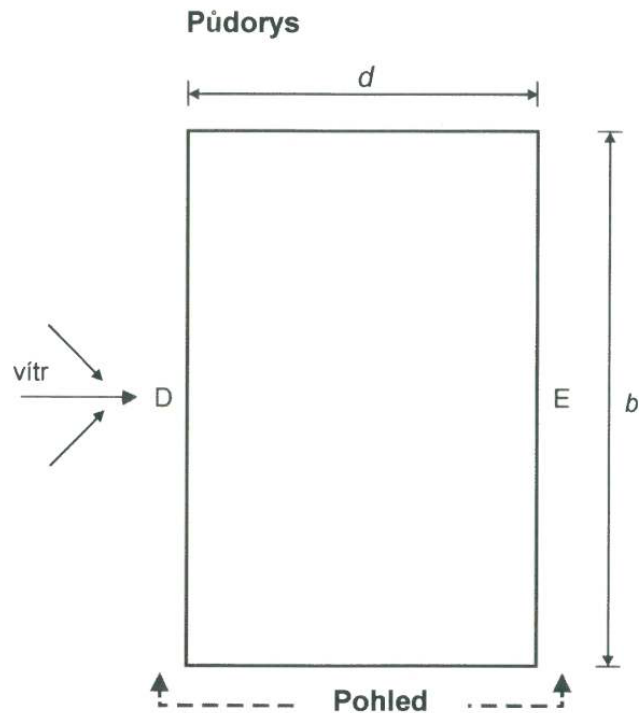
$$e = \min(b, 2h) = \min(56; 2 \times 12,2 = 24,4) = 24,4 \text{ m} < d = 46,57 \text{ m}$$

Na obrázcích 3.6 a 3.7 jsou vyznačeny oblasti zatížení a jejich rozměry.

Pohled pro $e < d$



Obr. 3.6 Působení větru na stěny – pohled [3]



Obr. 3.7 Působení větru na stěny – půdorys [3]

3.2.5 PODÉLNÝ VÍTR PŮSOBÍCÍ NA STĚNY

Oproti příčnému větru je zde menší referenční výška z_e ($z_e = 5$ m), jinak je postup výpočtu stejný.

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

$$d = 56 \text{ m}$$

$$h/d = 5/56 = 0,089 \leq 0,25$$

$$c_{pe,10}(A) = -1,2$$

$$c_{pe,10}(B) = -0,8$$

$$c_{pe,10}(C) = -0,5$$

$$c_{pe,10}(D) = 0,7$$

$$c_{pe,10}(E) = -0,3$$

$$w_e(A) = 869,835 \times (-1,2) = -1,044 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(B) = 869,835 \times (-0,8) = -0,696 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(C) = 869,835 \times (-0,5) = -0,435 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(D) = 869,835 \times 0,7 = 0,609 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(E) = 869,835 \times (-0,3) = -0,261 \text{ kN/m}^2$$

3.2.6 SNÍH - OBECNĚ

Výpočet bude proveden dle normy ČSN EN 1991-1-3 Zatížení sněhem [2].

Zatížení sněhem na střechách se určí podle vztahu $s = \mu_i \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k$. Význam použitých veličin:

μ_i – tvarový součinitel zatížení sněhem

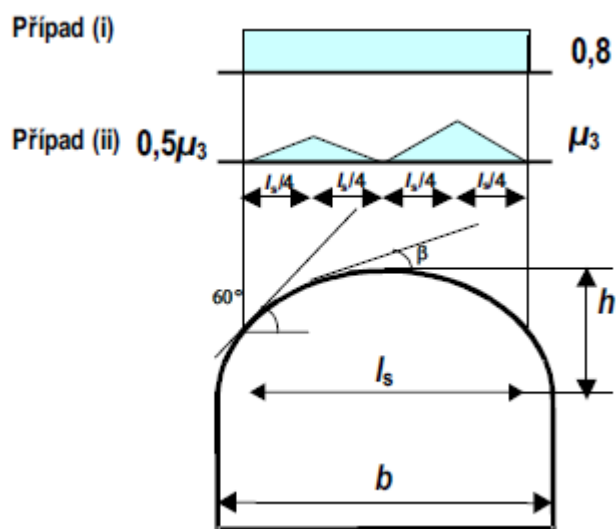
c_e – součinitel okolního prostředí, uvažujeme normální topografii (hodnota 1,0)

c_t – tepelný součinitel, který umožňuje snížit zatížení střech majících vysokou tepelnou propustnost, jinak se uvažuje hodnota 1,0

s_k – charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi

Z mapy sněhových oblastí se určí oblast a její charakteristická hodnota zatížení sněhem s_k . Hala bude umístěna do města Prostějov, spadá tedy do II. sněhové oblasti s charakteristickou hodnotou zatížení $1,0 \text{ kN/m}^2$.

Musí se vzít v úvahu dva případy uspořádání zatížení - zatížení nenavátým sněhem a zatížení navátým sněhem. Oba případy ukazuje obrázek 3.8, pro nenavátý sníh případ (i), pro navátý sníh případ (ii).



Obr. 3.8 Uspořádání zatížení od sněhu [2]

Určíme tvarový součinitel μ_i . Pro válcové střechy je uveden součinitel μ_3 , který se pro sklon střechy menší než 60° určí ze vztahu $\mu_3 = 0,2 + 10h/b$

$$\mu_3 = 0,2 + 10 \times 6/46,57 = 1,49$$

3.2.7 NENAVÁTÝ SNÍH

Hodnotu zatížení určíme podle obrázku 3.8. Jedná se o případ (i).

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

3.2.8 NAVÁTÝ SNÍH

Podle obrázku 3.8 případ (ii) určíme 2 hodnoty zatížení – s_1 a s_2 .

$$s_1 = 0,5 \times 1,75 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 0,875 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = 1,75 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 1,75 \text{ kN/m}^2$$

4 VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL A DIMENZOVÁNÍ MODELU

V softwaru RFEM bylo vytvořeno následujících 14 zatěžovacích stavů:

- ZS1: Vlastní tíha
- ZS2: Stálé zatížení – střešní plášť
- ZS3: Stálé zatížení - osvětlení
- ZS4: Vítr ve směru osy +X
- ZS5: Vítr ve směru osy –X
- ZS6: Vítr ve směru osy +Y
- ZS7: Vítr ve směru osy –Y
- ZS8: Vítr ve směru osy +X na střechu
- ZS9: Vítr ve směru osy –X na střechu
- ZS10: Vítr ve směru osy +Y na střechu
- ZS11: Vítr ve směru osy –Y na střechu
- ZS12: Sníh nenavátý
- ZS13: Sníh navátý – vítr ve směru +X
- ZS14: Sníh navátý – vítr ve směru –X

Do všech zatěžovacích stavů byly přidány vypočítané hodnoty zatížení uvedené v předchozí kapitole, které se nejdříve přepočítaly na potřebné zatěžovací šířky. Dále se vytvořily kombinace zatížení, aby se zjistily nejhorší možné účinky na konstrukci. Provedlo se posouzení a spočítaly se reakce v podporách a vnitřní síly na prutech. Níže jsou v tabulce 4.1 uvedeny maximální a minimální hodnoty vnitřních sil na prutech pro každý průřez.

Tabulka 4.1 Vnitřní síly na prutech

	Prvek	Profil	N	V _y	V _z	M _x	M _y	M _z
max	sloup	IS 1000/650/50/50/0	-26,09 kN	85,50 kN	1206,08 kN	1,71 kNm	6018,66 kNm	160,61 kNm
min			-839,33 kN	-85,50 kN	-1206,04 kN	-1,74 kNm	-6018,45 kNm	-160,61 kNm
max	horní pás	2LA L 150x150x15-4/1	67,38 kN	0,57 kN	36,19 kN	0,30 kNm	20,13 kNm	1,98 kNm
min			-1511,39 kN	-0,49 kN	-59,40 kN	-0,31 kNm	-9,18 kNm	-1,98 kNm
max	dolní pás	2LA L 180x180x16-4/1	329,31 kN	1,24 kN	28,57 kN	0,14 kNm	14,99 kNm	5,11 kNm
min			-1344,55 kN	-1,27 kN	-28,66 kN	-0,13 kNm	-11,12 kNm	-5,12 kNm
max	svislice	2LA L 50x50x5-4/1	30,96 kN	0,98 kN	0,72 kN	0,00 kNm	0,45 kNm	0,63 kNm
min			-181,72 kN	-0,98 kN	0,00 kN	0,00 kNm	-0,42 kNm	-0,63 kNm
max	diagonály	2LA L 70x70x7-4/1	342,04 kN	0,55 kN	0,14 kN	0,00 kNm	0,00 kNm	0,73 kNm
min			-415,71 kN	-0,66 kN	-0,14 kN	0,00 kNm	-0,10 kNm	-0,64 kNm
max	vaznice	U 280	27,76 kN	16,65 kN	61,53 kN	0,02 kNm	47,16 kNm	16,65 kNm
min			-28,94 kN	-16,65 kN	-61,53 kN	-0,02 kNm	-38,44 kNm	-16,65 kNm
max	ztužidla	tyč 20	20,68 kN	0,0 kN	0,07 kN	0,00 kNm	0,09 kNm	0,00 kNm
min			-25,64 kN	0,0 kN	-0,07 kN	0,00 kNm	-0,05 kNm	0,00 kNm

V přídatném modulu RFEMu *RF-STEEL EC3 – Posouzení ocelových prutů podle Eurokódu 3* (viz obrázek 4.1) se provedou posudky prutů na různé způsoby namáhání. Nejdříve je nadefinují všechny vstupní údaje. V *Základních údajích* se vyberou pruty k posouzení, v *Národní příloze (NP)* se zvolí možnost ČSN a v tabulce zatížení se vyberou zatěžovací stavy a kombinace k posouzení. Zvoleny byly všechny zatěžovací stavy a kombinace KV17 – MSÚ a spustil se výpočet.

1.1 Základní údaje

Posoudit

Pruty: 1-1820 ☒ Vše

Sady: ☐ Vše

Národní příloha (NP)

ČSN

Existující zatěžovací stavy a kombinace

Stav	Popis
Qw ZS4	Vitr ve směru osy +X
KV1	1.0*ZS1/s + 1.0*ZS2/s + 1.0*ZS3/s
KV2	1.0*ZS5 nebo 1.0*ZS6 nebo 1.0*ZS7
KV3	1.0*ZS13 nebo 1.0*ZS14 nebo 1.0*Z
STR KV4	1.35*KV1/s + 1.5*KV2/s + 0.75*KV3/s
STR KV5	1.35*KV1/s + 0.9*KV2 + 1.5*KV3/s
KV6	1.0*ZS5 nebo 1.0*ZS6 nebo 1.0*ZS7
KV7	1.0*ZS13 nebo 1.0*ZS14 nebo 1.0*Z
S Ch KV8	KV1/s + KV6/s + 0.5*KV7
S Ch KV9	KV1/s + 0.6*KV6 + KV7/s
KV10	1.0*ZS5 nebo 1.0*ZS6 nebo 1.0*ZS7
KV11	1.0*ZS13 nebo 1.0*ZS14 nebo 1.0*Z
S Fr KV12	KV1/s + 0.2*KV10/s + 0*KV11
S Fr KV13	KV1/s + 0*KV10 + 0.2*KV11/s
KV14	1.0*ZS5 nebo 1.0*ZS6 nebo 1.0*ZS7
KV15	1.0*ZS13 nebo 1.0*ZS14 nebo 1.0*Z
S Qp KV16	KV1/s + 0*KV14 + 0*KV15
S Ch KV18	MSP - charakteristická
S Fr KV19	MSP - častá
S Qp KV20	MSP - kvazistálá

Posoudit

Stav	Popis	Výsledek
G ZS1	Vlastní tíha	Irvalá a dočasná
G ZS2	Stálé zatížení - střešní plášť	Irvalá a dočasná
G ZS3	Stálé zatížení - osvětlení	Irvalá a dočasná
Qw ZS5	Vitr ve směru osy -X	Irvalá a dočasná
Qw ZS6	Vitr ve směru osy +Y	Irvalá a dočasná
Qw ZS7	Vitr ve směru osy -Y	Irvalá a dočasná
Qw ZS8	Vitr ve směru osy +X na střech	Irvalá a dočasná
Qw ZS9	Vitr ve směru osy -X na střech	Irvalá a dočasná
Qw ZS10	Vitr ve směru osy +Y na střech	Irvalá a dočasná
Qw ZS11	Vitr ve směru osy -Y na střech	Irvalá a dočasná
Qs ZS12	Sníh nenavátý	Irvalá a dočasná
Qs ZS13	Sníh navátý - vitr ve směru +	Irvalá a dočasná
Qs ZS14	Sníh navátý vitr ve směru -X	Irvalá a dočasná
STR KV17	MSÚ (STR/GEO) - stálá / pře	Irvalá a dočasná

Komentář

Výpočet Detaily... Nár. příloha... Grafika

Obr. 4.1 Vstupní údaje přídatného modulu RF-STEEL EC3 – Posouzení ocelových prutů podle Eurokódu 3

Výsledné posudky jednotlivých průřezů jsou v příloze 3. Všechny průřezy byly nejdříve zvoleny odhadem a podle výsledků tohoto přídatného modulu se dále upravovaly tak, aby byly co nejlépe využity. Výsledné zvolené dimenze mají využití od 67% po 95%, což je patrné také z přílohy 3 a z obrázku 4.2.

1.3 Průřezy								
Průřez č.	A Materiál č.	B Označení průřezu	C Typ průřezu pro klasifikaci	D Klasifikace průřezu	E Max. využití	F Optimalizovat	G Poznámka	H Komentář
1	1	2LA L 70x70x	Obecné	Automaticky	0.95	Ne	3)	
2	1	2LA L 150x15	Obecné	Automaticky	0.93	Ne	3)	
3	1	2LA L 180x18	Obecné	Automaticky	0.67	Ne	3)	
4	1	IS 1000/650/	I-profil svařov. IS	Automaticky	0.68	Ne		
5	1	U 280 Feron	U-profil válcov.	Automaticky	0.94	Ne		
6	1	• Tyč 20	Obecné	Automaticky	0.79	Ne	3)	
7	1	2LA L 50x50x	Obecné	Automaticky	0.82	Ne	3)	

Obr. 4.2 Využití použitých profilů

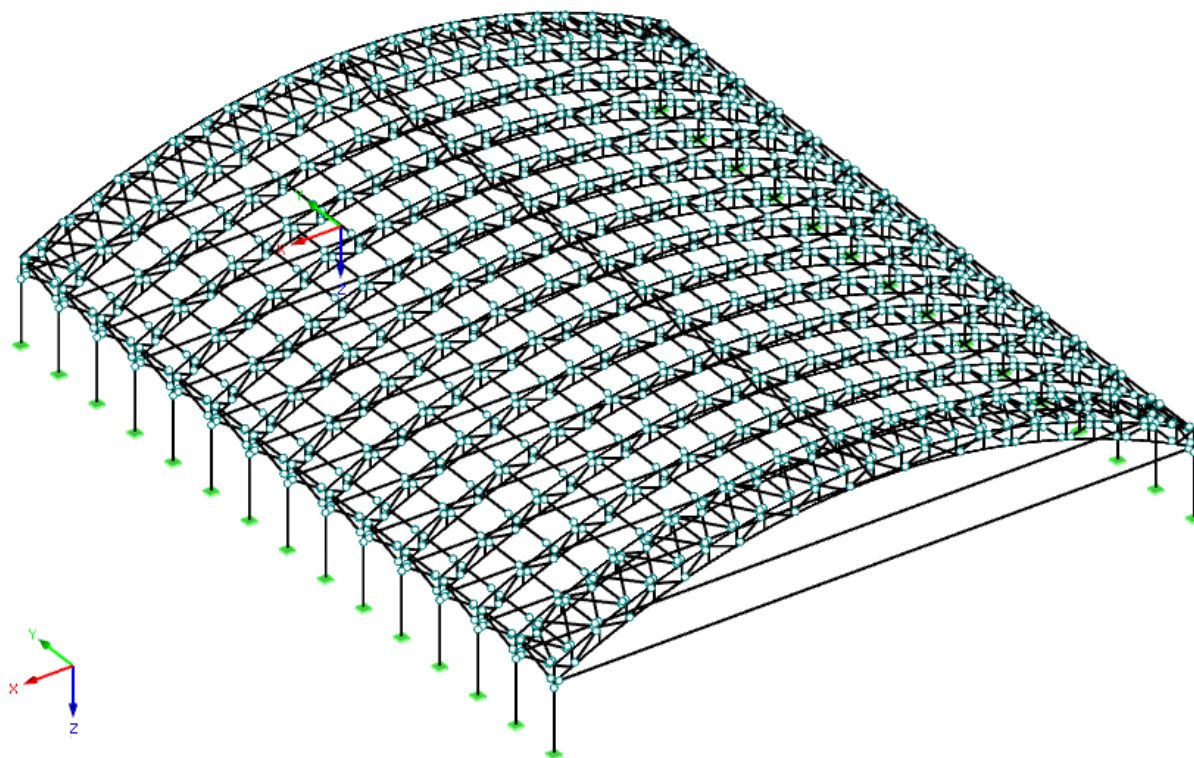
Ve výsledcích je možnost vybrat *Posouzení po zatěžovacích stavech*, *Posouzení po průřezích*, *Posouzení po prutech*, *Posouzení po místech x*, *Rozhodující vnitřní síly po prutech* a *Výkaz materiálu po prutech*. Na obrázku 4.3 je ukázka výsledků zvolené možnosti *Posouzení po průřezích*, které jsou dále uvedené v příloze 3.

PR1 - Posouzení ocelových prutů poc		2.2 Posouzení po průřezích					
Vstupní údaje		A	B	C	D	E	F
Základní údaje		Průřez č.	Prut č.	Místo x [m]	Zatěžování	Návrhové využití	Posouzení podle vzorce
Materiály							
Průřezy							
Parametry - pruty							
Výsledky							
Posouzení po zatěžovacích stavech							
Posouzení po průřezích							
Posouzení po prutech							
Posouzení po místech x							
Rozhodující vnitřní síly po prutech							
Výkaz materiálu po prutech							
		1	2LA L 70x70x7-4/1 EN 10056-1:1998				
		236	2.267	KV17	0.00	≤ 1	100) Zanedbatelné vnitřní síly
		1217	2.032	KV17	0.76	≤ 1	101) Posouzení průřezu - tah podle 6.2.3
		233	2.921	KV17	0.92	≤ 1	102) Posouzení průřezu - tlak podle 6.2.4
		1417	1.178	KV17	0.02	≤ 1	112) Posouzení průřezu - ohyb okolo y podle 6.2.5 - třída 3
		1416	0.000	ZS7	0.05	≤ 1	117) Posouzení průřezu - ohyb okolo z podle 6.2.5 - třída 3
		1219	1.400	KV17	0.01	≤ 1	124) Posouzení průřezu - posouvající síla ve směru y podle 6.2.6(4) - třída 3 nebo 4
		1417	1.178	KV17	0.02	≤ 1	143) Posouzení průřezu - ohyb a smyk podle 6.2.9.2 a 6.2.10 - třída 3 - obecný průřez
		1416	0.000	ZS7	0.05	≤ 1	153) Posouzení průřezu - ohyb okolo z a smyk podle 6.2.9.2 a 6.2.10 - třída 3 - obecný průřez
		1093	1.062	KV17	0.04	≤ 1	163) Posouzení průřezu - dvouosý ohyb a smyk podle 6.2.9.2 a 6.2.10 - třída 3 - obecný průřez
		Max: 0.95 ≤ 1					

Obr. 4.3 Posouzení po průřezích

Největším problémem, jak se ukázalo, bylo nadimenzování sloupů. Profily I ani IPE z databáze RFEMu nevyhovovaly a bylo potřeba zvolit profil IS, kde se dají navolit libovolně rozměry. Proto byl zvolen poměrně velký profil sloupu. Jedním z řešení by bylo přidat do modelu táhla mezi každé dva sloupy, které vždy podpírají jeden příhradový vazník (viz obrázek 4.4). Eliminovaly by se velké vnitřní síly, které vznikají v hlavách sloupů a bylo by již možné navrhnout menší profil. Zvětšit by bylo třeba i některé další profily, jako vaznice,

svislice, diagonály a horní pás, ale nešlo by o žádné velké změny. V tabulce 4.2 můžeme vidět rozdíly v profilech použitých v obou případech (s táhlem a bez táhla). Na obrázku 4.5 je pak ukázka výsledného využití profilů při přidání táhla a na obrázcích 4.6 až 4.13 jsou použité profily pro jednotlivé prvky. Z důvodu využití haly je však tento způsob zavržen, neboť táhla by překážela a nebyla by splněna výšková kritéria pro kurty.



Obr. 4.4 Varianta haly s táhlem

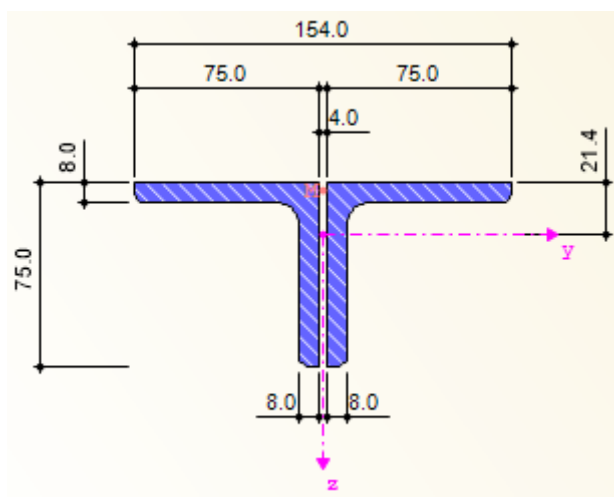
Tabulka 4.2 Použité profily v modelu bez táhla a s táhlem

Číslo průřezu	Prvek	Průřez a označení [mm] Model bez táhla	Průřez a označení [mm] Model s táhlem	Obrázek
1	Diagonály	2LA L 70x70x7-4/1	2LA L 75x75x8-4/1	4.5
2	Horní pás	2LA L 150x150x12-4/1	2LA L 160x160x15-4/1	4.6
3	Dolní pás	2LA L 180x180x16-4/1	2LA L 180x180x16-4/1	4.7
4	Sloup	IS 1000/650/50/50/0	I 600	4.8
5	Vaznice	U 280	U 300	4.9
6	Zavětrování	tyč 20	tyč 20	4.10
6	Ztužidlo	tyč 20	tyč 20	4.10
7	Svislice	2LA L 50x50x5-4/1	2LA L 60x60x6-4/1	4.11
8	Táhlo	-	Lano PV 720	4.12

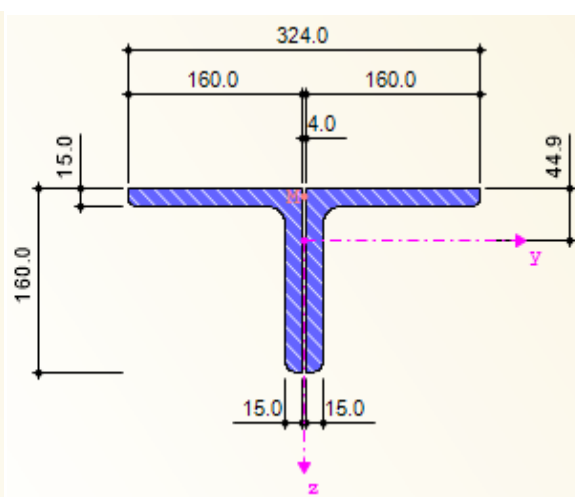
1.3 Průřezy

Průřez č.	A Materiál č.	B Označení průřezu	C Typ průřezu pro klasifikaci	D Klasifikace průřezu	E Max. využití	F Optimalizovat	G Poznámka
1	1	2LA L 75x75x8-4/1 EN 10056-1:1998	Obecné	Automaticky	0.86	Ne	3)
2	1	2LA L 160x160x15-4/1 EN 10056-1:1998	Obecné	Automaticky	0.93	Ne	3)
3	1	2LA L 180x180x16-4/1 EN 10056-1:1998	Obecné	Automaticky	0.64	Ne	3)
4	1	I I 600	I-profil válcov.	Automaticky	0.61	Ne	
5	1	U 300	U-profil válcov.	Automaticky	0.90	Ne	
6	1	• Tyč 20	Obecné	Automaticky	0.92	Ne	3)
7	1	2LA L 60x60x6-4/1 EN 10056-1:1998	Obecné	Automaticky	0.96	Ne	3)
8	1	* Lano PV 720 Pfeifer	Obecné	Automaticky	0.96	Ne	3)

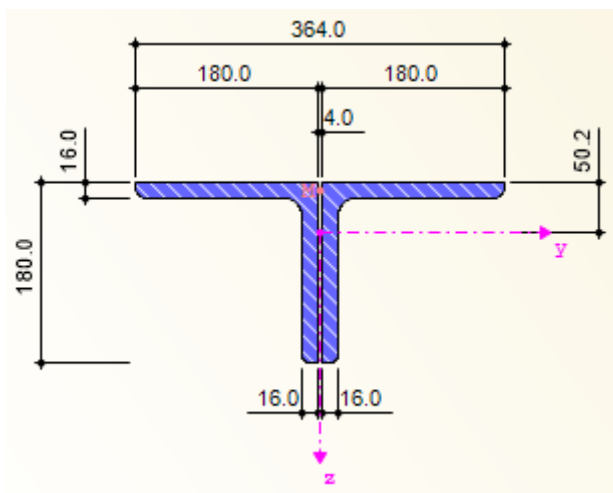
Obr. 4.5 Výsledné využití profilů při přidání táhla



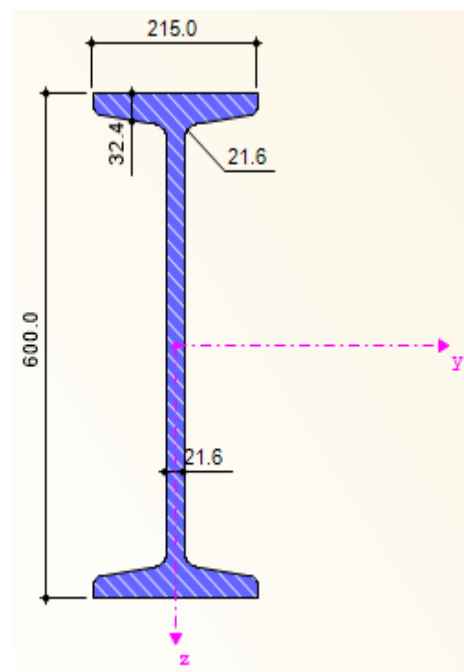
Obr. 4.6 Diagonály



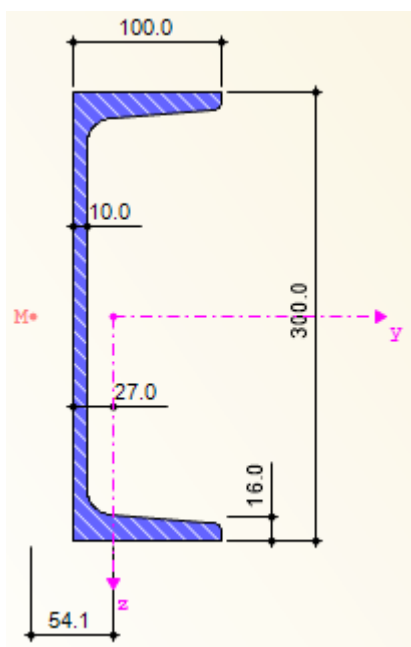
Obr. 4.7 Horní pás



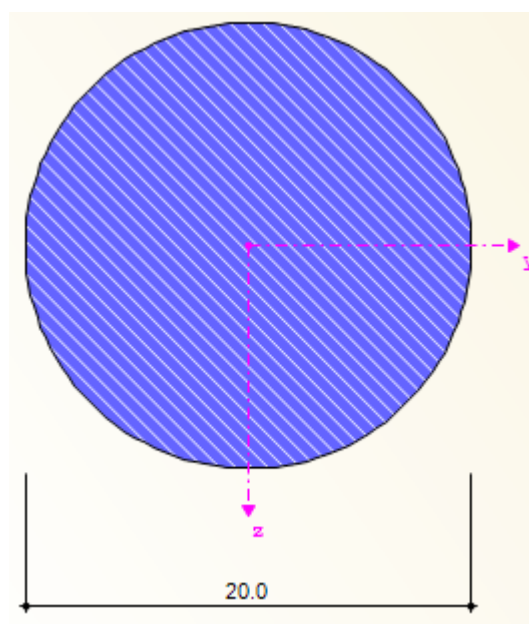
Obr. 4.8 Dolní pás



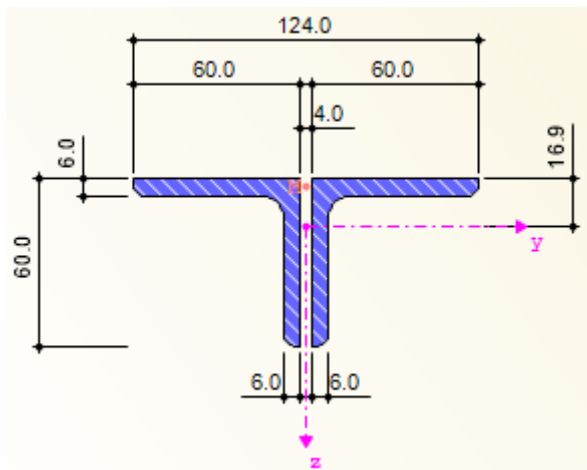
Obr. 4.9 Sloup



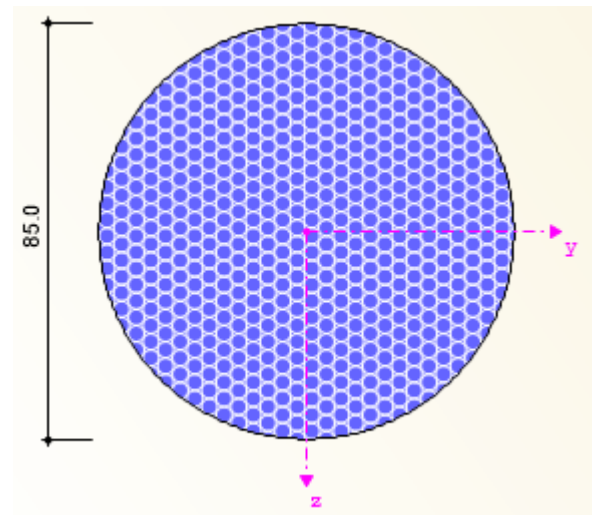
Obr. 4.10 Vaznice



Obr. 4.11 Zavětrování a ztužidla



Obr. 4.12 Svislice

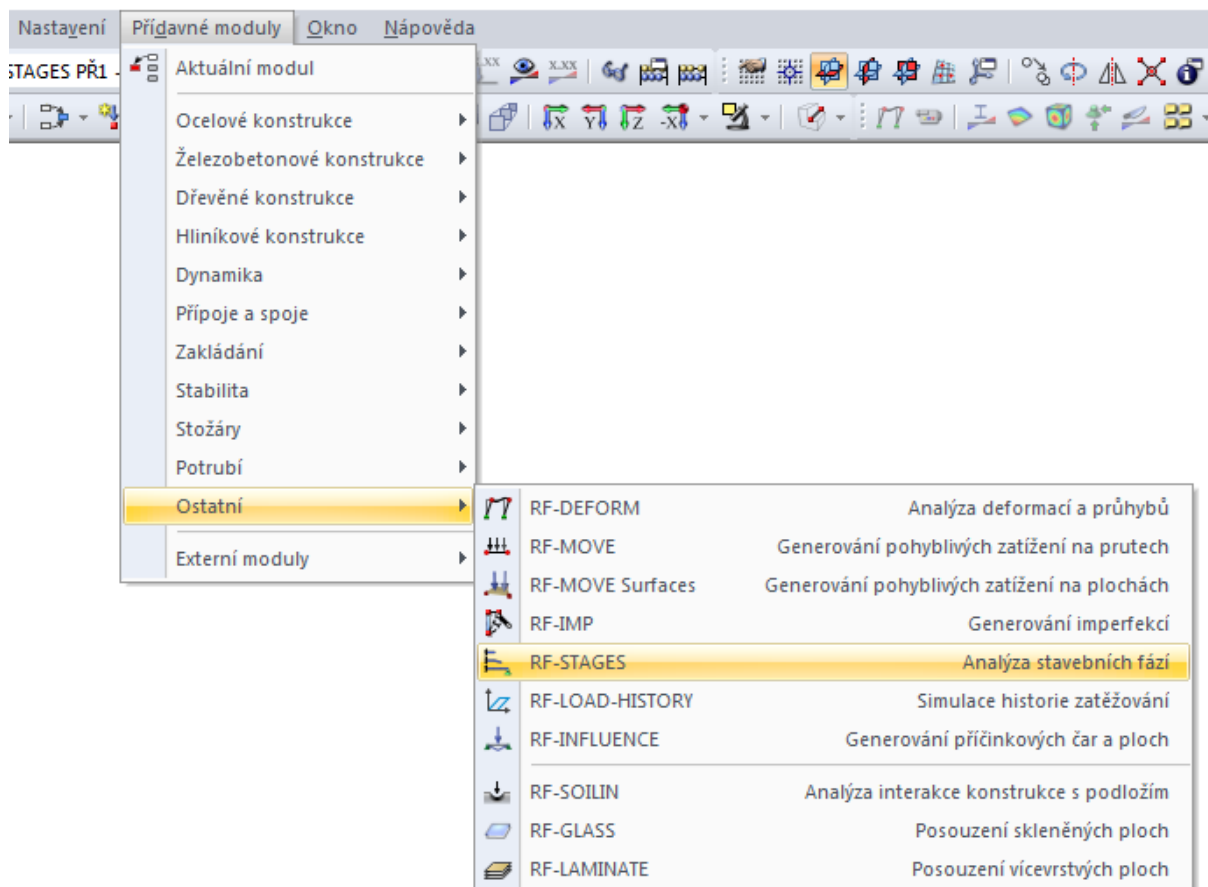


Obr. 4.13 Táhlo

Další možností by bylo podepřít sloupy šikmými vzpěrami z vnější strany haly, které by tedy nezasahovaly do prostoru sportoviště. Tato varianta však nebyla modelována v softwaru, neboť tato práce je zaměřená více na analýzu fází.

5 FÁZE VÝSTAVBY

Důležitou součástí řešení této haly je i zvolení postupu výstavby. Pro posouzení jednotlivých fází výstavby bude použit přídatný modul RFEMu *RF-STAGES – Analýza stavebních konstrukcí* (viz obrázek 5.1).

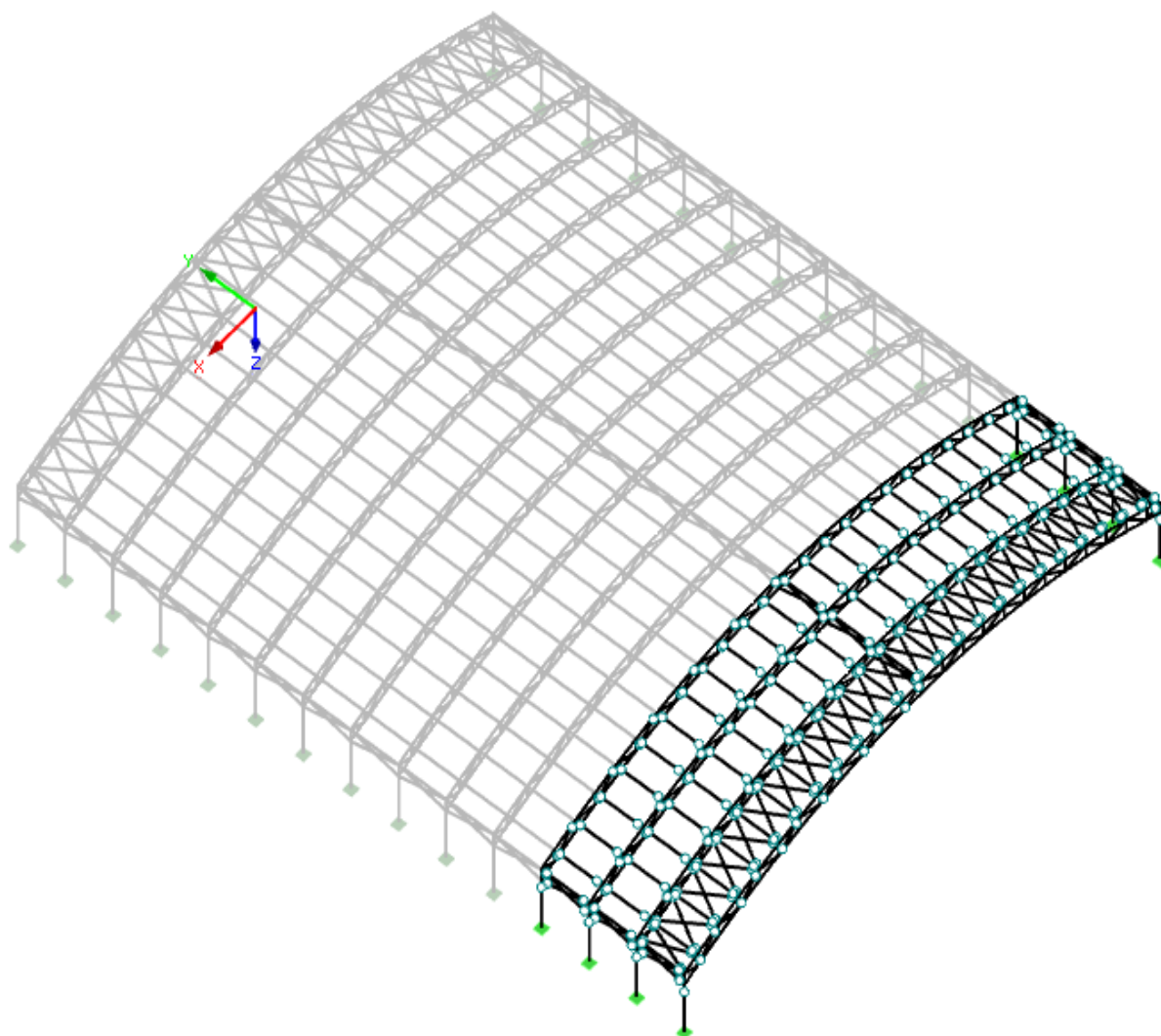


Obr. 5.1 Přídavný modul pro fáze výstavby

Příhradový vazník bude kvůli svým rozměrům složen po částech, neboť měří půdorysně 46,57 m. Rozdělen bude na čtyři přibližně stejně velké části. Zapotřebí bude pomocná konstrukce, na kterou se připevní lana a na ně budou zavěšeny jednotlivé části vazníků.

Pro analýzu fází bude v softwaru použita pouze část konstrukce, a to první čtyři vazníky uložené na sloupech (viz obrázek 5.2). Důvodem je značná velikost celého modelu

konstrukce, u kterého by výpočet trval delší dobu. Další fáze se budou realizovat obdobně jako předchozí, proto bude pro ukázkou tento model postačující.



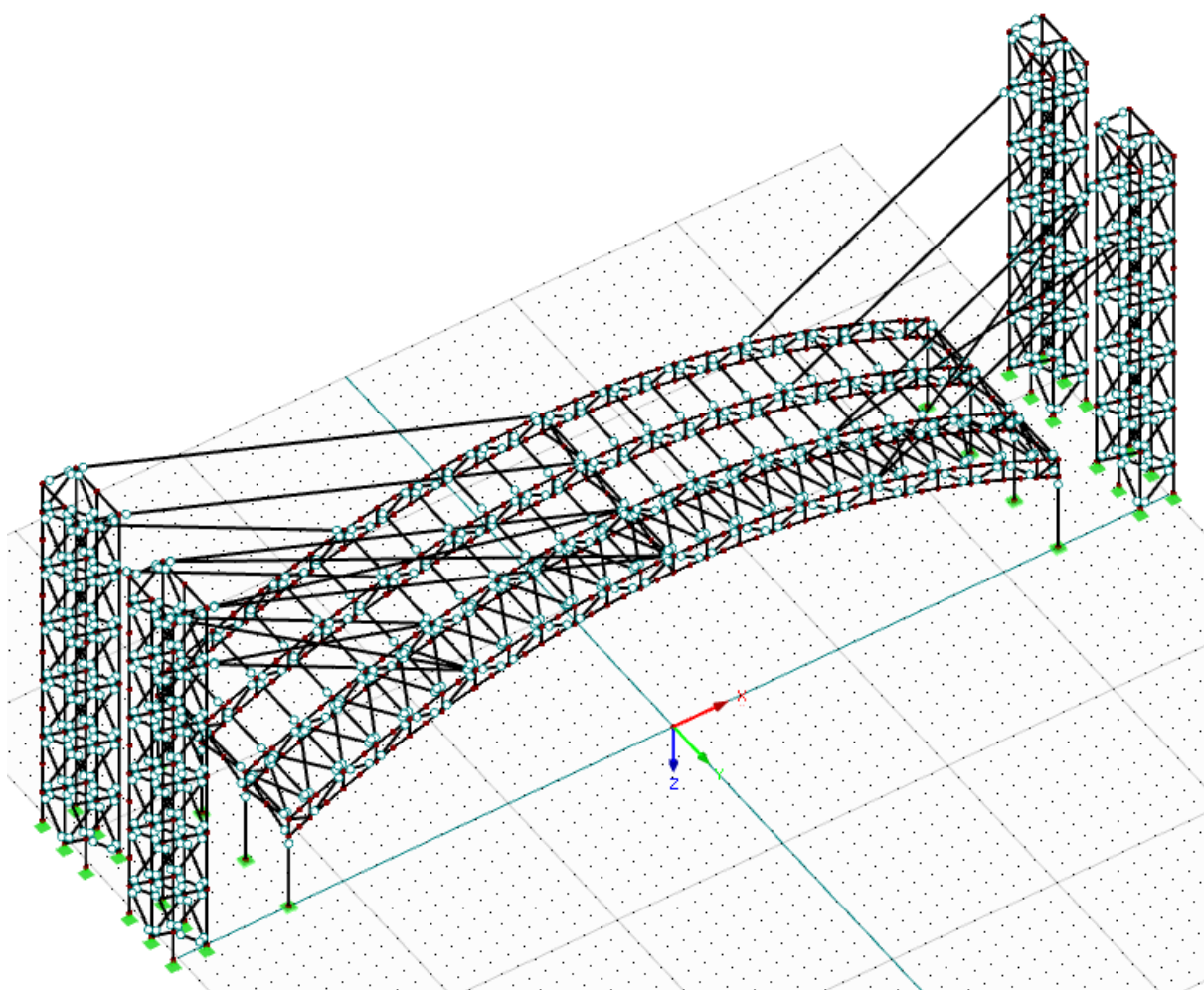
Obr. 5.2 Část konstrukce použitá pro analýzu fází

Pro posuzování fází výstavby se bude uvažovat pouze se zatížením od vlastní tíhy, ostatní zatěžovací stavy se v tomto případě ze softwaru odstraní.

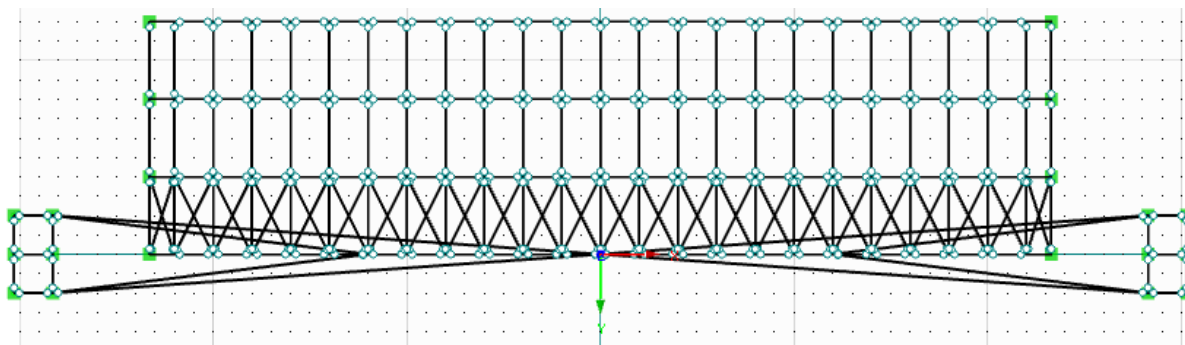
Nejdříve je potřeba postavit pomocnou konstrukci. Ta bude složena z ocelových L profilů. Původní návrh této pomocné konstrukce byl se čtvercovým půdorysem a rozměry stran po 2 m. Základem tedy byly čtyři L profily spojené po obvodu diagonálami taktéž z L profilů. Jak se však posléze ukázalo, konstrukci bylo potřeba značně ztuzit. Nový návrh tedy odpovídá obrázku 5.3 se šesti L profily vzdálenými od sebe 2 m. Dvě tyto pomocné

konstrukce byly umístěny ve vzdálenosti 5 m od sloupů z obou stran příhrady na posuvných podporách. Umístění pomocné konstrukce vůči vazníkům ukazuje obrázek 5.4. Krajní části vazníků jsou přichyceny dvěma lany upevněnými na pomocné konstrukci a levá vnitřní část vazníku je uchycena dvěma lany upevněnými k vrcholové části pomocné konstrukce, jak ukazují obrázky 5.3 a 5.4. Konečné dimenze profilů pomocné konstrukce byly zvoleny následovně: pro čtyři profily v rozích konstrukce L 300x300x35, dva profily mezi nimi 2L 150x150x10 a diagonály L 300x300x35 (obrázky 5.5 a 5.6). Původně zvolené dimenze byly menší, ale jelikož se pomocná konstrukce poměrně hodně nakláněla ke konstrukci haly, byla ztužena použitím větších dimenzí prvků. Průřez lan držících okrajové části vazníků je na obrázku 5.7, průřez lan držících vnitřní část na obrázku 5.8.

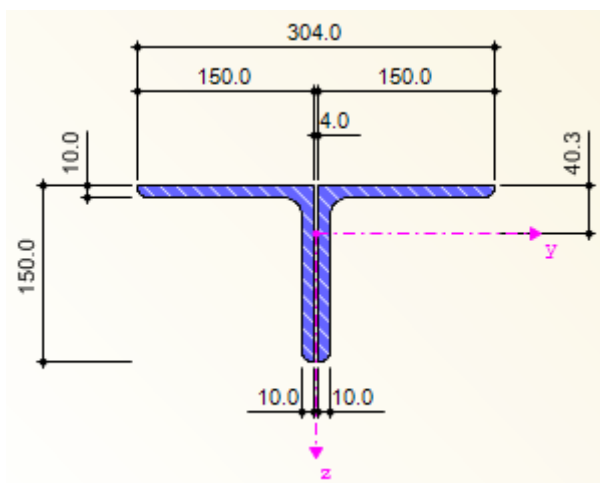
Návrh pomocné konstrukce a lan není předmětem řešení bakalářské práce, proto na jejich návrh nebyl kladen příliš velký důraz.



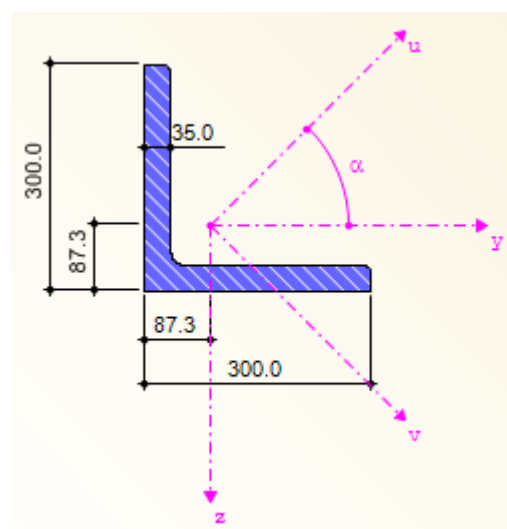
Obr. 5.3 Použitý model pro analýzu fází



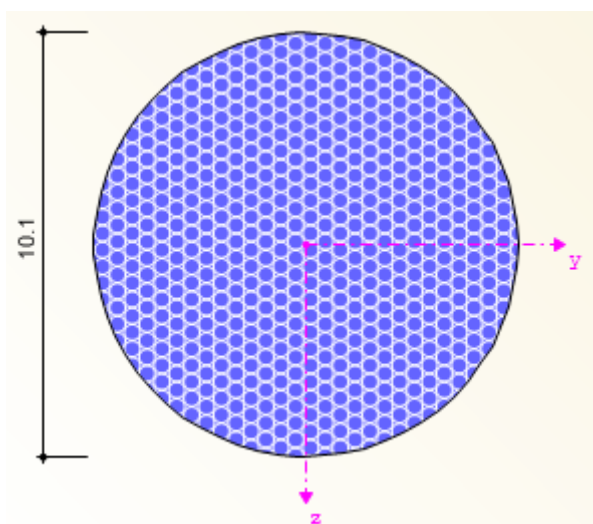
Obr. 5.4 Původní návrh umístění pomocné konstrukce



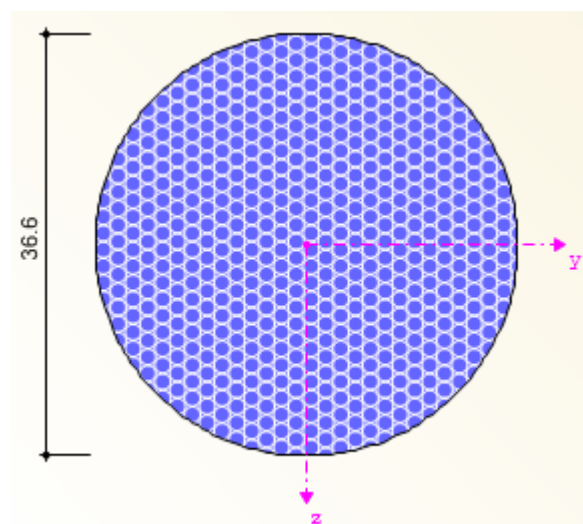
Obr. 5.5 Profil 2LAL 150x150x10-4/1



Obr. 5.6 Profil L 300x300x35



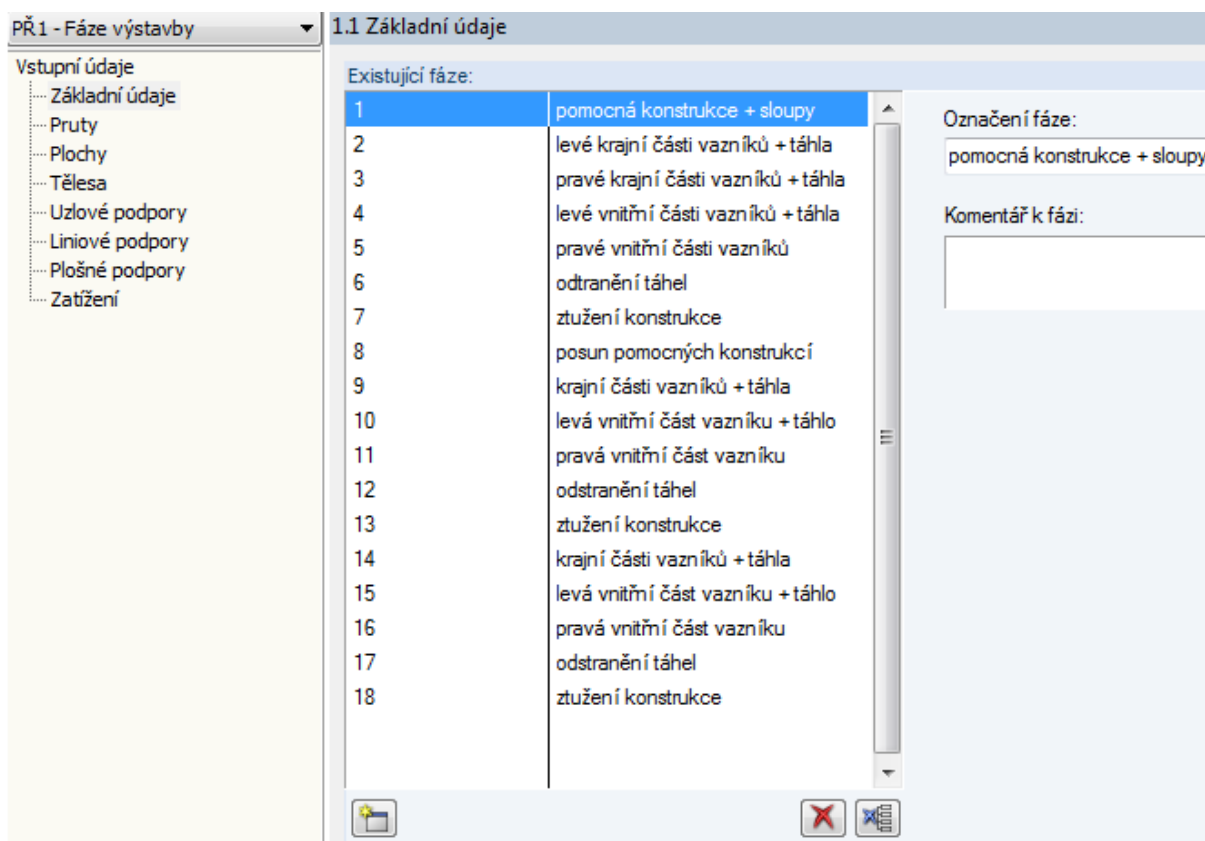
Obr. 5.7 Průřez lana PE 7



Obr. 5.8 Průřez lana PE 100

5.1 FÁZE 1

V první fázi se postaví obě pomocné konstrukce a všechny sloupy. Spustí se přídatný modul RF-STAGES a navolí se všechny potřebné vstupní údaje. V kolonce *Základní údaje* se vytvoří potřebný počet fází se zvoleným označením (viz obrázek 5.9).



Obr. 5.9 Vstupní údaje - Základní údaje

Další v pořadí jsou *Pruty*, kde se vybere aktuální fáze a navolí se seznam prutů, které je potřeba do fáze přidat (sloupy a pomocné konstrukce) buď pomocí číselného označení nebo se zvolí graficky (ukázka na obrázku 5.10). V tabulce u prutů, které tvoří sloupy, ještě upravíme kloub na začátku, případně na konci, a to tak, že místo 1 zvolíme 0, neboť software jinak nespustí výpočet, protože kloub je v této fázi nadbytečný.

PŘ1 - Fáze výstavby

Vstupní údaje

- Základní údaje
- Pruty
- Plochy
- Tělesa
- Uzlové podpory
- Liniové podpory
- Plošné podpory
- Zatížení

1.2 Pruty

Aktuální fáze

1 | pomocná konstrukce + sloupy

Seznam prutů

Fáze 1

63,77,83,140,154,159,260,274,280,337,351,356,395-441,454,469,482,567-580,1;

Upravit prut

Prut č.	A	B	Kloub č.		E
	Materiál	Průřez	Začátek	Konec	Excentr. č.
63	1 - Ocel S 235	10 - L 300x300x35	0	0	0
77	1 - Ocel S 235	5 - IS 1000/650/50/50/0	0	0	0
83	1 - Ocel S 235	5 - IS 1000/650/50/50/0	0	0	0
140	1 - Ocel S 235	10 - L 300x300x35	0	0	0
154	1 - Ocel S 235	5 - IS 1000/650/50/50/0	0	0	0
159	1 - Ocel S 235	5 - IS 1000/650/50/50/0	0	0	0
260	1 - Ocel S 235	10 - L 300x300x35	0	0	0
274	1 - Ocel S 235	5 - IS 1000/650/50/50/0	0	0	0
280	1 - Ocel S 235	5 - IS 1000/650/50/50/0	0	0	0
337	1 - Ocel S 235	10 - L 300x300x35	0	0	0
351	1 - Ocel S 235	5 - IS 1000/650/50/50/0	0	0	0
356	1 - Ocel S 235	5 - IS 1000/650/50/50/0	0	0	0
395	1 - Ocel S 235	10 - L 300x300x35	0	0	0
396	1 - Ocel S 235	10 - L 300x300x35	0	0	0
397	1 - Ocel S 235	10 - L 300x300x35	0	0	0
398	1 - Ocel S 235	10 - L 300x300x35	0	0	0
399	1 - Ocel S 235	10 - L 300x300x35	0	0	0
400	1 - Ocel S 235	10 - L 300x300x35	0	0	0
401	1 - Ocel S 235	10 - L 300x300x35	0	0	0
402	1 - Ocel S 235	10 - L 300x300x35	0	0	0
403	1 - Ocel S 235	10 - L 300x300x35	0	0	0
404	1 - Ocel S 235	10 - L 300x300x35	0	0	0
405	1 - Ocel S 235	10 - L 300x300x35	0	0	0
406	1 - Ocel S 235	11 - 2LA L 150x150x10-4/1	0	0	0
407	1 - Ocel S 235	11 - 2LA L 150x150x10-4/1	0	0	0

Obr. 5.10 Vstupní údaje – Pruty

V *Uzlových podporách* se na modelu graficky vybere vetknutí sloupů a posuvné podpory pomocné konstrukce (viz obrázek 5.11).

Posledním krokem je kolonka *Zatížení*, kde se do skupiny stálého zatížení přidá zatěžovací stav s vlastní tíhou a zatrhne se možnost použití vlastní tíhy na všechny fáze (viz obrázek 5.12).

V *Detailech* (znázorněno na obrázku 5.13) se vybere tangenciální uspořádání nových prvků.

PŘ1 - Fáze výstavby

Vstupní údaje

- ... Základní údaje
- ... Pruty
- ... Plochy
- ... Tělesa
- ... Uzlové podpory
- ... Liniové podpory
- ... Plošné podpory
- ... Zatížení

1.5 Uzlové podpory

Aktuální fáze

1 | pomocná konstrukce + sloupky

Seznam uzlových podpor

1,2,4-21

Fáze 1

Upravit uzlovou podporu

Podpory č.	Podepření resp. pružina			Vetknutí resp. pružina		
	u _x	u _y	u _z	φ _x	φ _y	φ _z
1	☒	☒	☒	☐	☐	☒
2	☒	☒	☒	☐	☐	☒
4	☒	☒	☒	☒	☒	☒
5	☒	☒	☒	☐	☐	☒
6	☒	☒	☒	☐	☐	☒
7	☒	☒	☒	☒	☒	☒
8	☒	☒	☒	☒	☒	☒
9	☒	☒	☒	☐	☐	☒
10	☒	☒	☒	☐	☐	☒
11	☒	☒	☒	☒	☒	☒
12	☒	☒	☒	☒	☒	☒
13	☒	☒	☒	☐	☐	☒
14	☒	☒	☒	☐	☐	☒
15	☒	☒	☒	☒	☒	☒
16	☒	☒	☒	☒	☒	☒
17	☒	☒	☒	☐	☐	☒
18	☒	☒	☒	☐	☐	☒
19	☒	☒	☒	☐	☐	☒
20	☒	☒	☒	☐	☐	☒
21	☒	☒	☒	☒	☒	☒

Obr. 5.11 Vstupní údaje – Uzlové podpory

PŘ1 - Fáze výstavby

Vstupní údaje

- ... Základní údaje
- ... Pruty
- ... Plochy
- ... Tělesa
- ... Uzlové podpory
- ... Liniové podpory
- ... Plošné podpory
- ... Zatížení

1.8 Zatížení

Aktuální fáze

1 | pomocná konstrukce + sloupky

Existující zatížení

Stálé zatížení

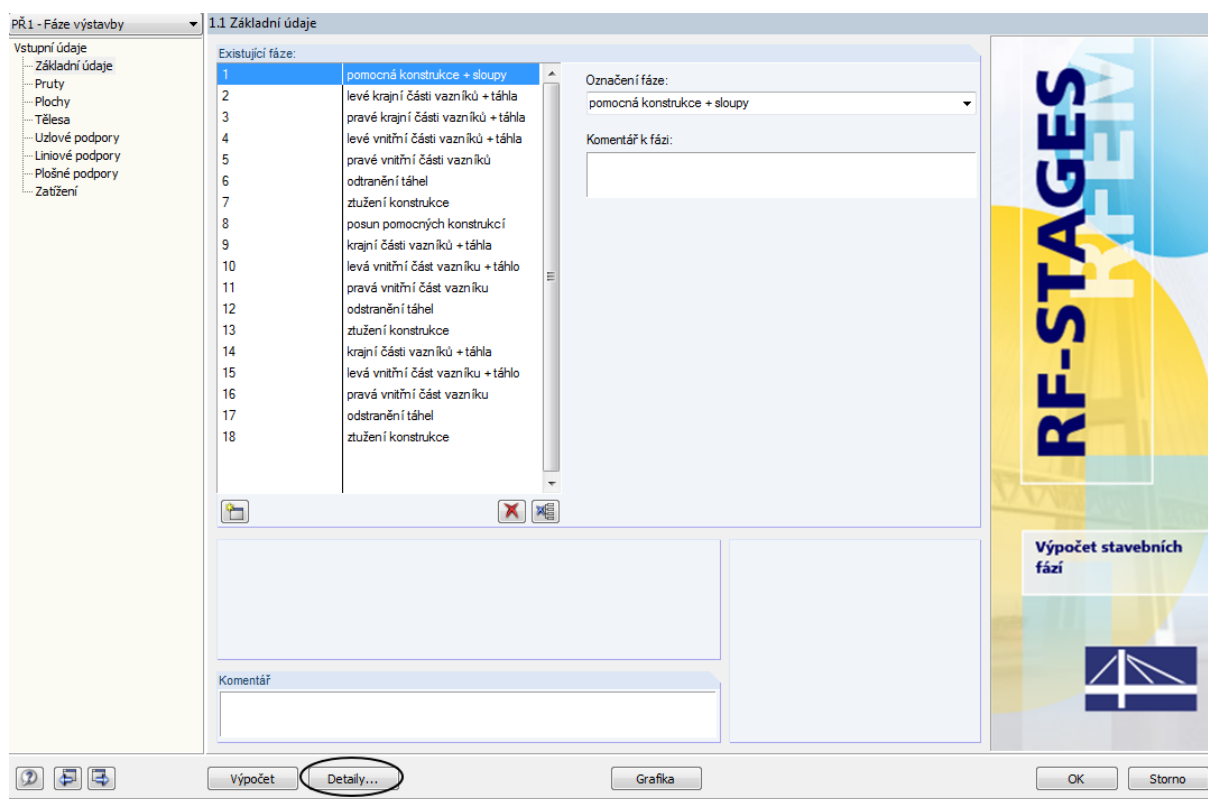
ZS1 Vlastní tíha

Fáze 1

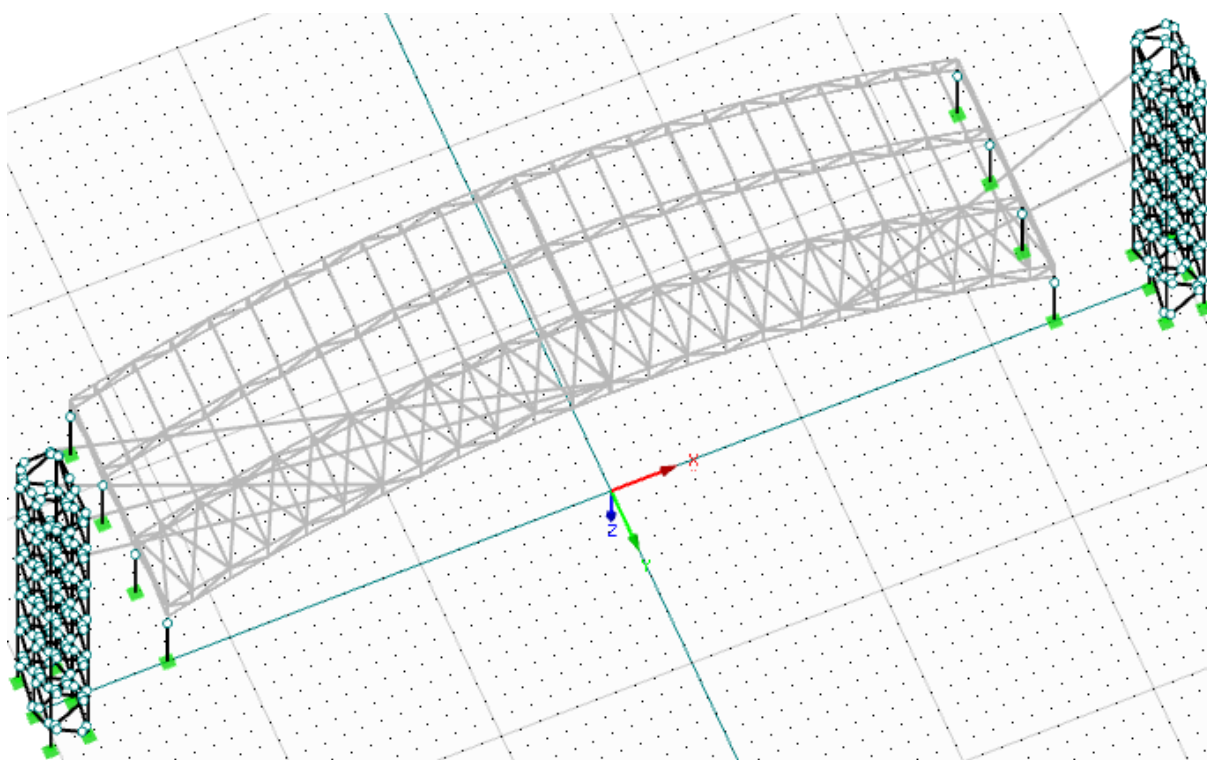
Možnosti

☒ Použít vlastní tíhu na všechny fáze...

Obr. 5.12 Vstupní údaje – Zatížení



Obr. 5.13 Nastavení detailů

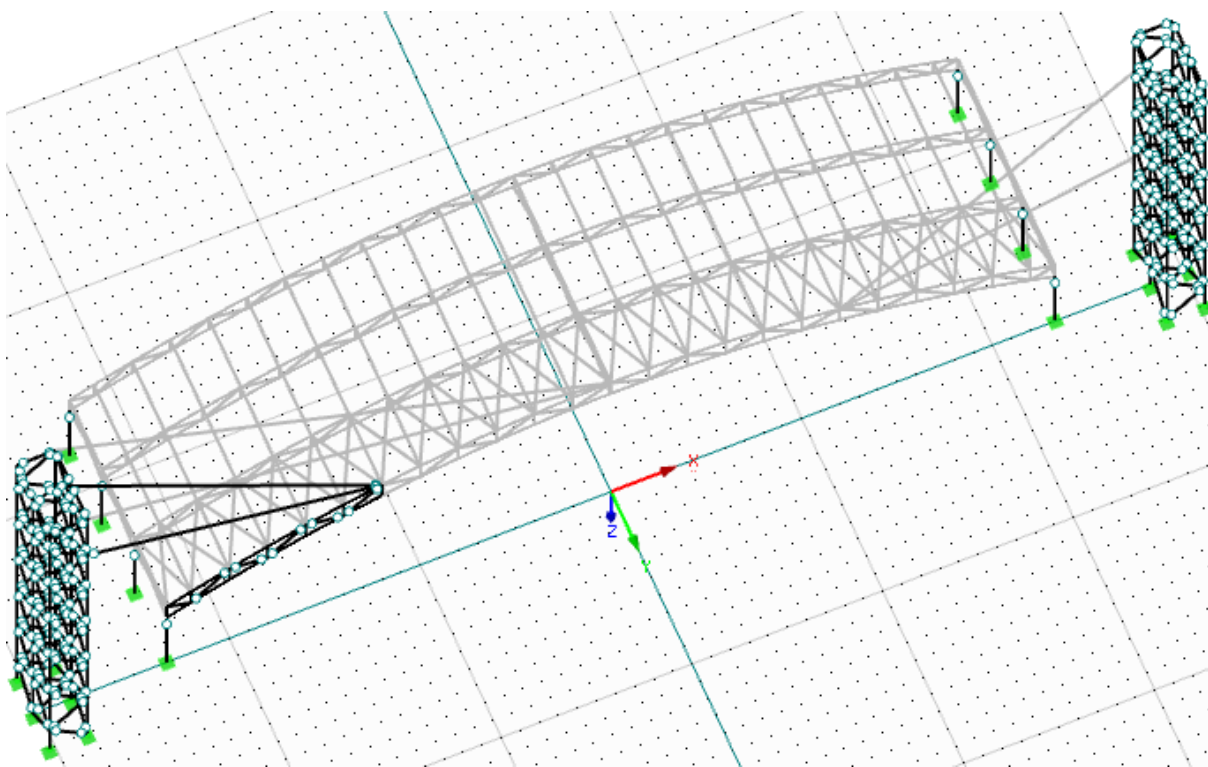


Obr 5.14 První fáze výstavby – sloupy a pomocné konstrukce

V této chvíli je pro první fázi všechno potřebné nadefinované a může se spustit výpočet. Na obrázku 5.14 je zobrazena hala v první fázi (černě jsou zvýrazněny ty části, které jsou již postavené).

5.2 FÁZE 2

Ve druhém kroku se postaví levá krajní část prvního příhradového vazníku a přichytí se táhly k pomocné konstrukci. Opět jako v předcházející fázi se stejným způsobem navolí pruty a zatížení. Druhá fáze je vidět na obrázku 5.15.

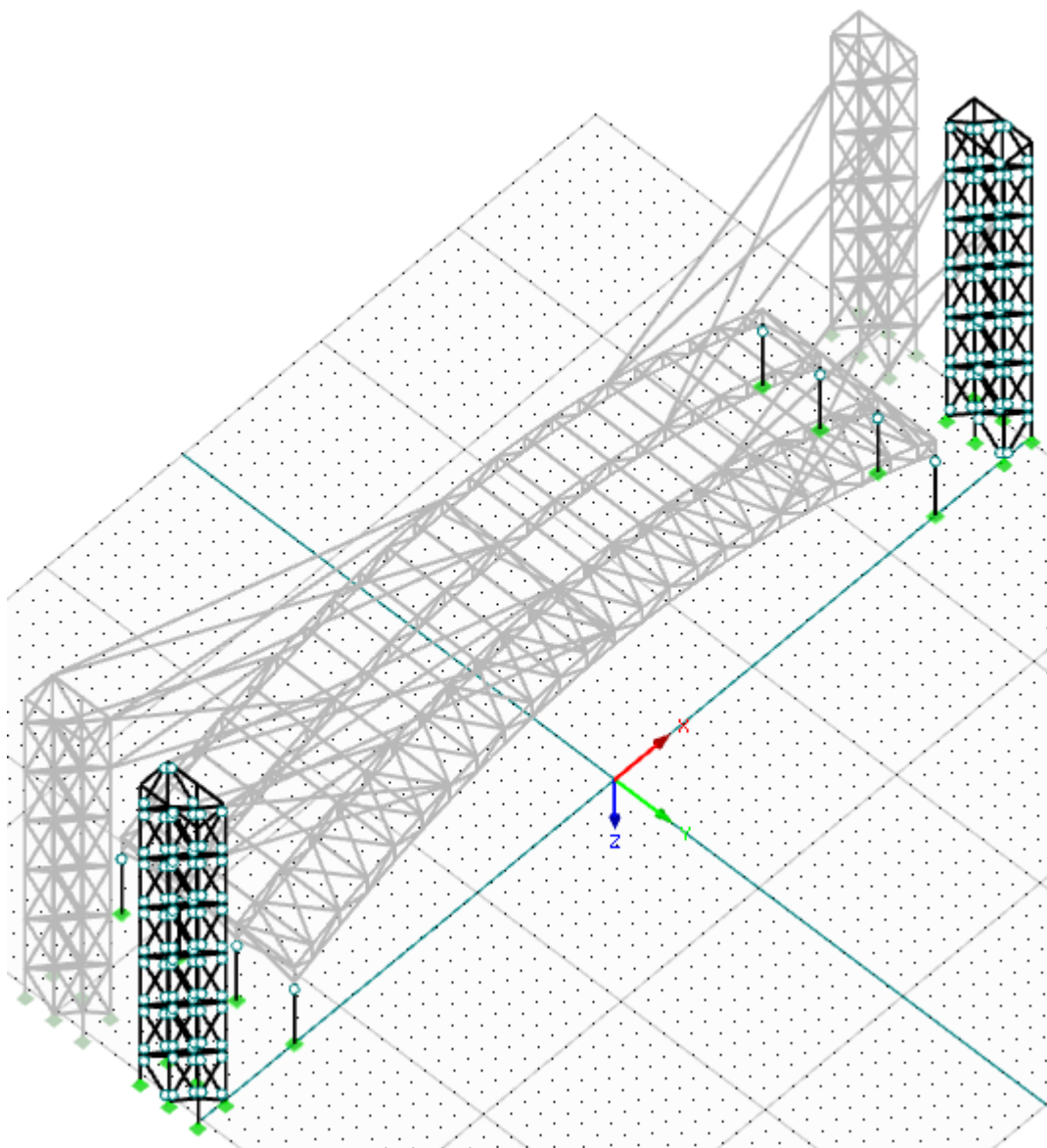


Obr. 5.15 Druhá fáze výstavby – první část vazníku přichycená táhly

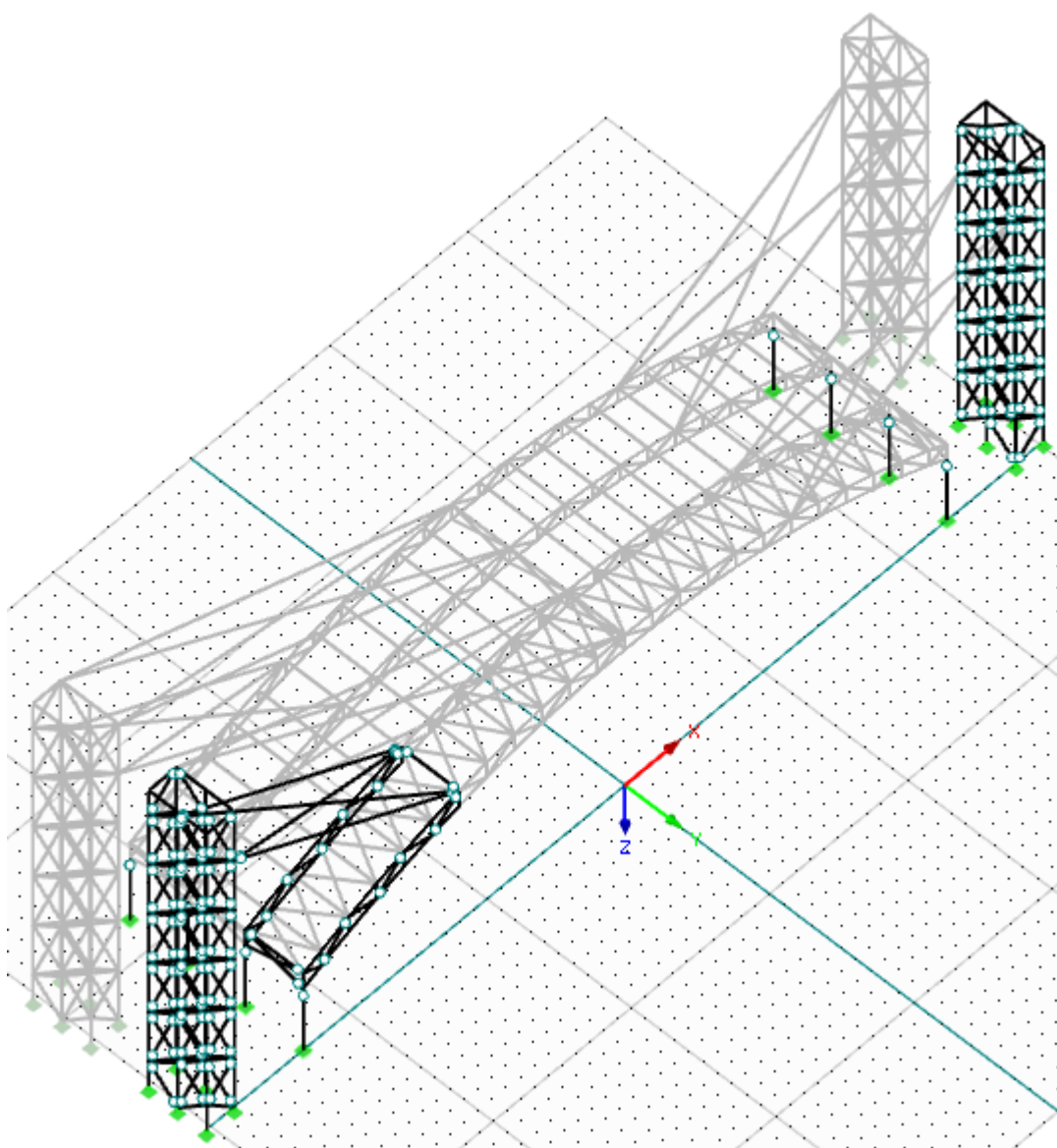
Po posouzení druhé fáze se zjistilo, že je konstrukce nestabilní a bylo tedy třeba vymyslet jiný postup.

5.3 ÚPRAVA PRVNÍ A DRUHÉ FÁZE

Aby se zajistila lepší stabilita, bylo potřeba ztuhlít konstrukci ve směru osy Y. Proto byla pomocná konstrukce posunuta vůči příhradovým vazníkům o 2 m v záporném směru osy Y, jak je vidět na obrázku 5.3 a 5.16 a místo části pouze jednoho příhradového vazníku se postavily části dvou prvních vazníků současně (obr. 5.17). Tím bylo zabráněno možnému naklonění vazníku.



Obr. 5.16 První fáze výstavby – posunutá pomocné konstrukce a sloupy



Obr. 5.17 Druhá fáze výstavby – krajní části dvou prvních vazníků přichycené táhly

Ve výsledcích se zobrazí deformace všech uzlů ve fázi – posuny a pootočení (viz obrázek 5.18) a kliknutím na možnost *Grafika* se zobrazí deformace na modelu (obrázek 5.19).

V první fázi jsou deformace uzlů nepatrné. Maximální hodnoty posunů jsou $u_x = 0,2$ mm, $u_y = 0,0$ mm, $u_z = 0,4$ mm a minimální posuny $u_x = -0,2$ mm, $u_y = -0,1$ mm, $u_z = 0,0$ mm.

PŘ1 - Fáze výstavby

Vstupní údaje

- ... Základní údaje
- ... Pruty
- ... Plochy
- ... Tělesa
- ... Uzlové podpory
- ... Liniové podpory
- ... Plošné podpory
- ... Zatížení

Výsledky

- ... Uzly - podporové síly
- ... Uzly - deformace
- ... Pruty - deformace
- ... Pruty - globální deformace
- ... Pruty - vnitřní síly
- ... Průřezy - vnitřní síly

2.2 Uzly - deformace

Výsledky fáze

1 | pomocná konstrukce + sloupy

Uzel č.	A	B	C	D	E	F	G
	Posuny [mm]	Posuny [mm]				Pootočení [mrad]	
	u _x	u _y	u _z	φ _x	φ _y	φ _z	
494	0.4	0.1	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0
495	0.4	0.1	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0
496	0.1	-0.1	-0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
497	0.2	-0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
498	0.3	-0.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
499	0.3	-0.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
500	0.4	-0.1	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0
501	0.4	-0.1	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0
502	0.1	0.0	-0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
503	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
504	0.3	-0.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
505	0.3	-0.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
506	0.4	-0.1	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0
507	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
508	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
509	0.4	0.2	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0
510	0.4	0.2	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0
517	0.1	0.1	-0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
518	0.2	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
519	0.3	0.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
520	0.3	0.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
521	0.4	0.1	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0
522	0.4	0.1	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0
523	0.1	0.0	-0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
524	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
525	0.3	0.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
526	0.3	0.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
527	0.4	0.1	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0
Max	0.4	0.2	0.0	0.4	0.1	0.0	0.0
Min	0.0	-0.2	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.0

Výpočet

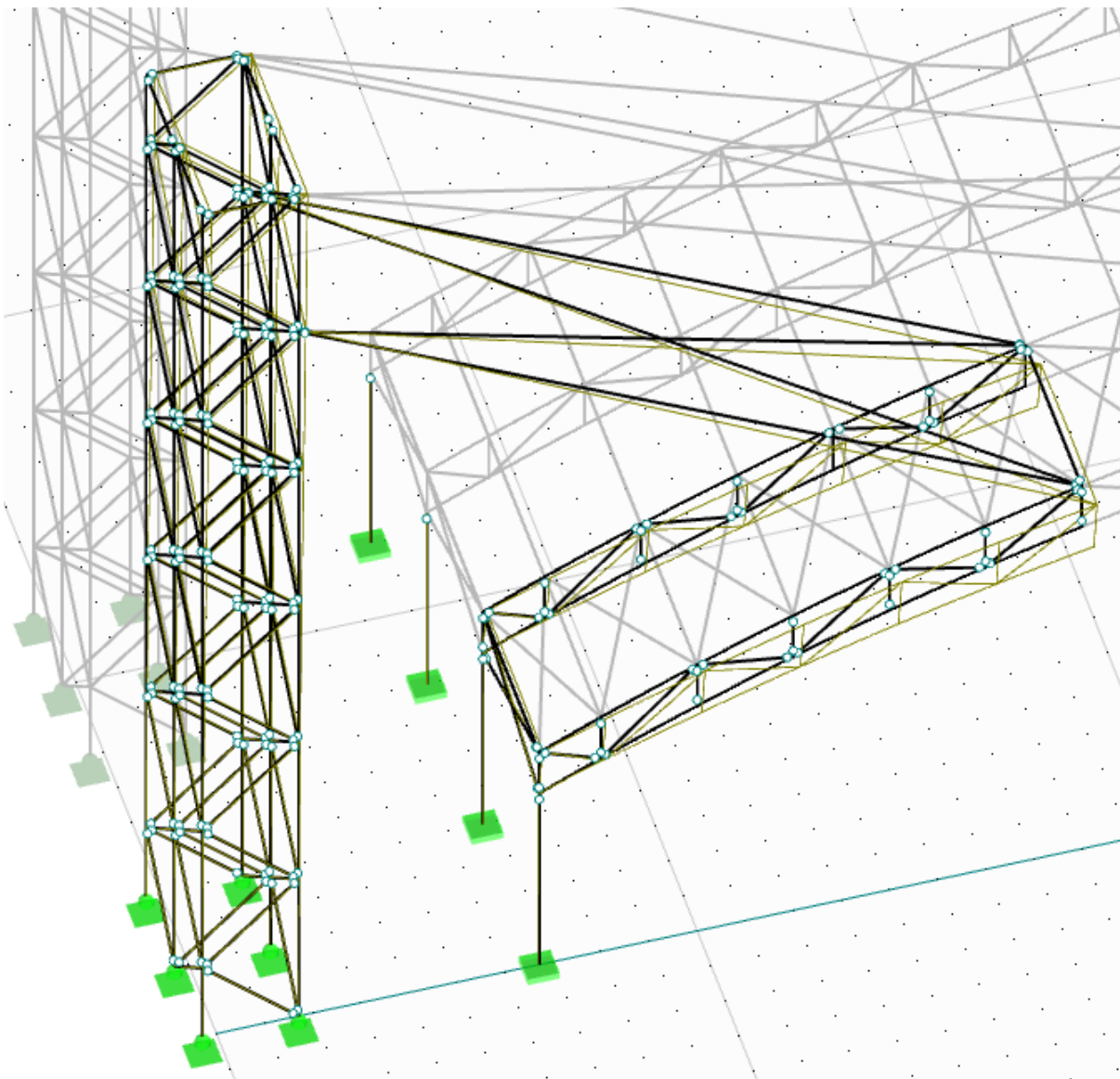
Detaily...

Export...

Grafika

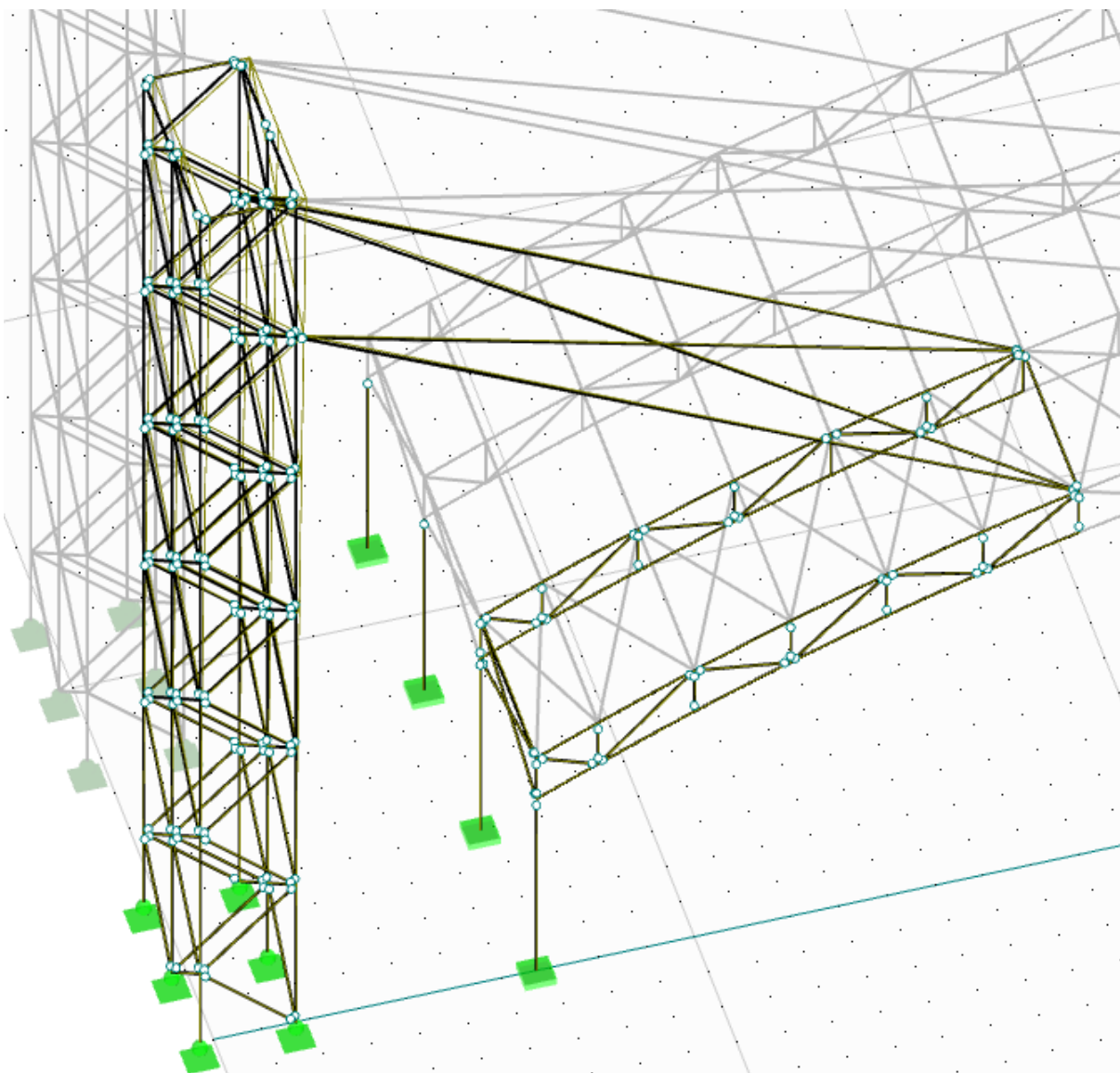
Obr. 5.18 Výsledky výpočtu fáze 1

Ve druhé fázi jsou již deformace větší. Maximální hodnoty posunů jsou $u_x = 6,3$ mm, $u_y = 0,0$ mm, $u_z = 13$ mm a minimální posuny $u_x = -0,1$ mm, $u_y = -0,1$ mm, $u_z = 0,0$ mm. Největší deformace jsou na konci krajní části vazníku v místě uchycení lany, jak je vidět na obrázku 5.19, neboť lano se vlivem zatížení protáhne a tím konstrukce poklesne. Pro lepší grafické znázornění je na obrázku nastaven faktor zobrazení u přetvoření na hodnotu 50. Pro snížení deformací se tedy lano zkrátí o hodnotu 13,5 mm. Vytvoří se nový zatěžovací stav, kde se zadá zatížení na prut jako podélný posun s hodnotou $\Delta l = -13,5$ mm, toto zatížení se přidá do druhé fáze a znovu se spustí výpočet.



Obr. 5.19 Deformace konstrukce ve druhé fázi

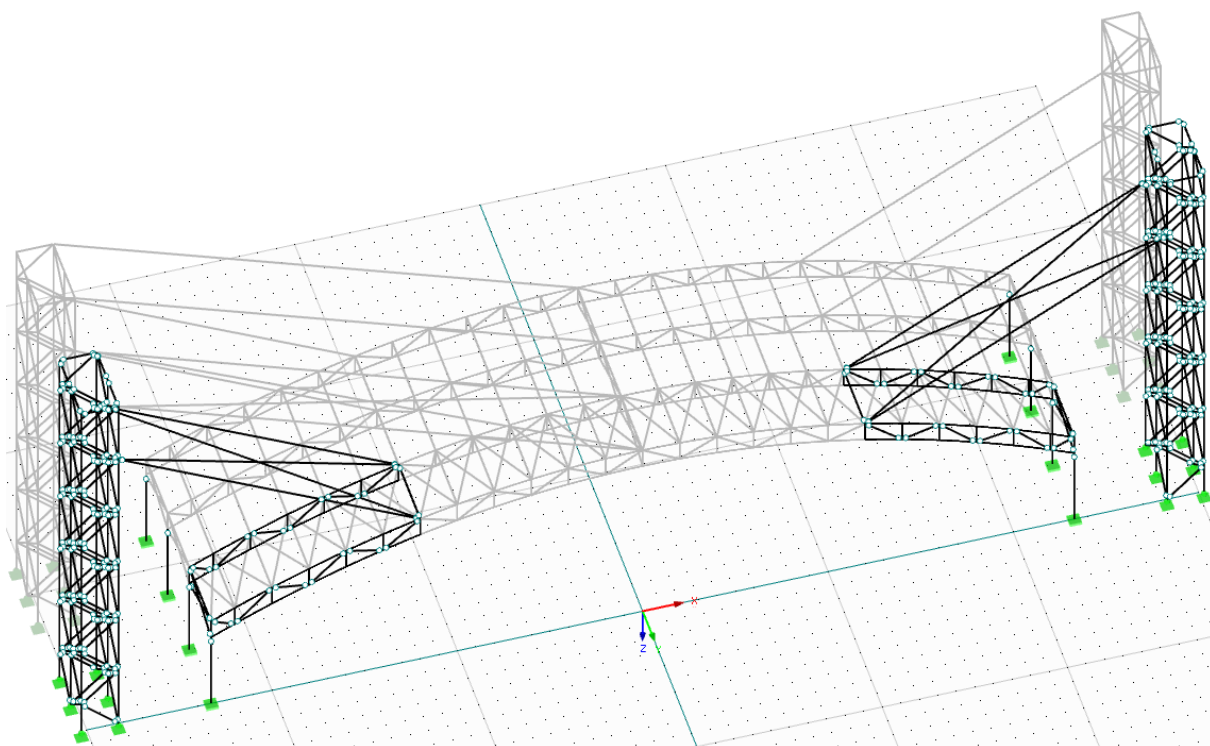
Hodnoty posunů se změny takto: maximální $u_x = 4,2 \text{ mm}$, $u_y = 0,0 \text{ mm}$, $u_z = 0,7 \text{ mm}$ a minimální $u_x = -0,2 \text{ mm}$, $u_y = -0,1 \text{ mm}$, $u_z = -0,2 \text{ mm}$. Nejedná se již však o uzly na vazníku, tam byla deformace téměř nulová po zkrácení lana. Největší hodnoty posunů jsou na pomocné konstrukci, což již pro stavbu haly není takový problém, neboť konstrukce je pouze dočasná. Grafické znázornění je vidět na obrázku 5.20 se stejným faktorem zobrazení u přetvoření, aby byl dobře patrný rozdíl mezi oběma případy.



Obr. 5.20 Deformace konstrukce ve druhé fázi při zkrácení lan

5.4 FÁZE 3

V této fázi se přidají další krajní části prvních dvou vazníků přichycené táhly a opět se nastaví zkrácení lana stejně jako ve druhé fázi. Maximální hodnoty posunů jsou stejné, neboť konstrukce je symetrická, proto není potřeba je zde uvádět. Konstrukce ve třetí fázi je vidět na obrázku 5.21.

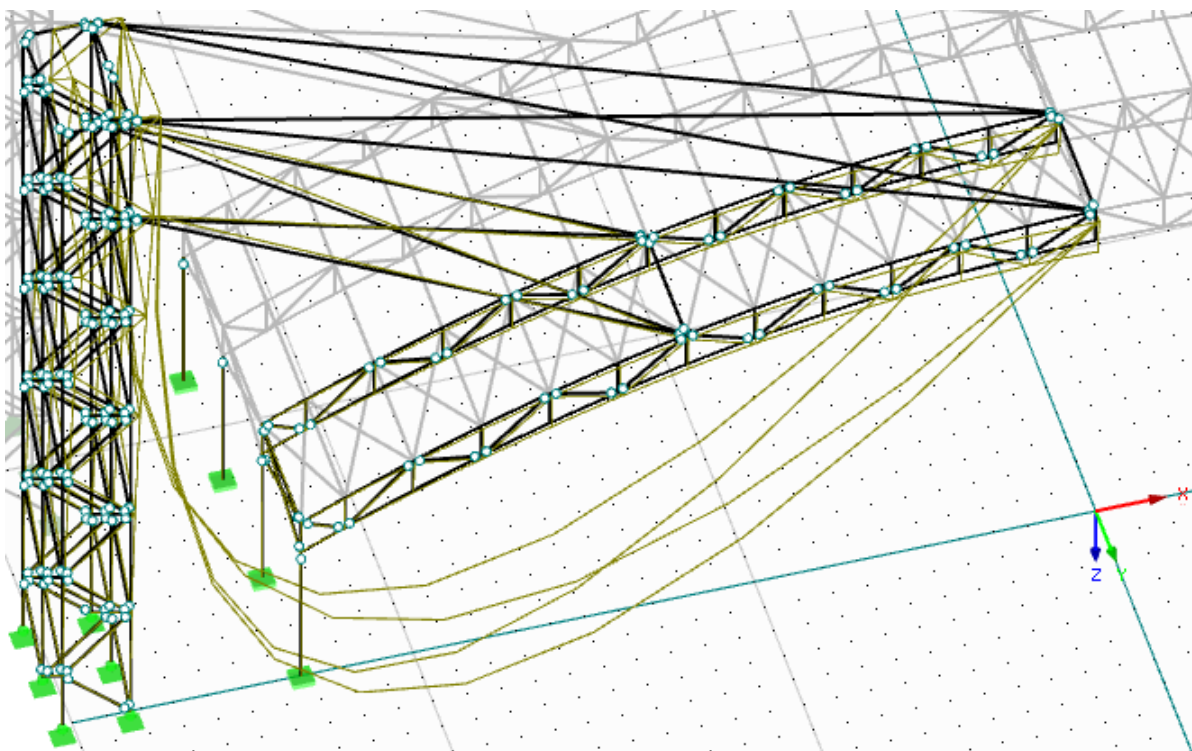


Obr. 5.21 Fáze 3

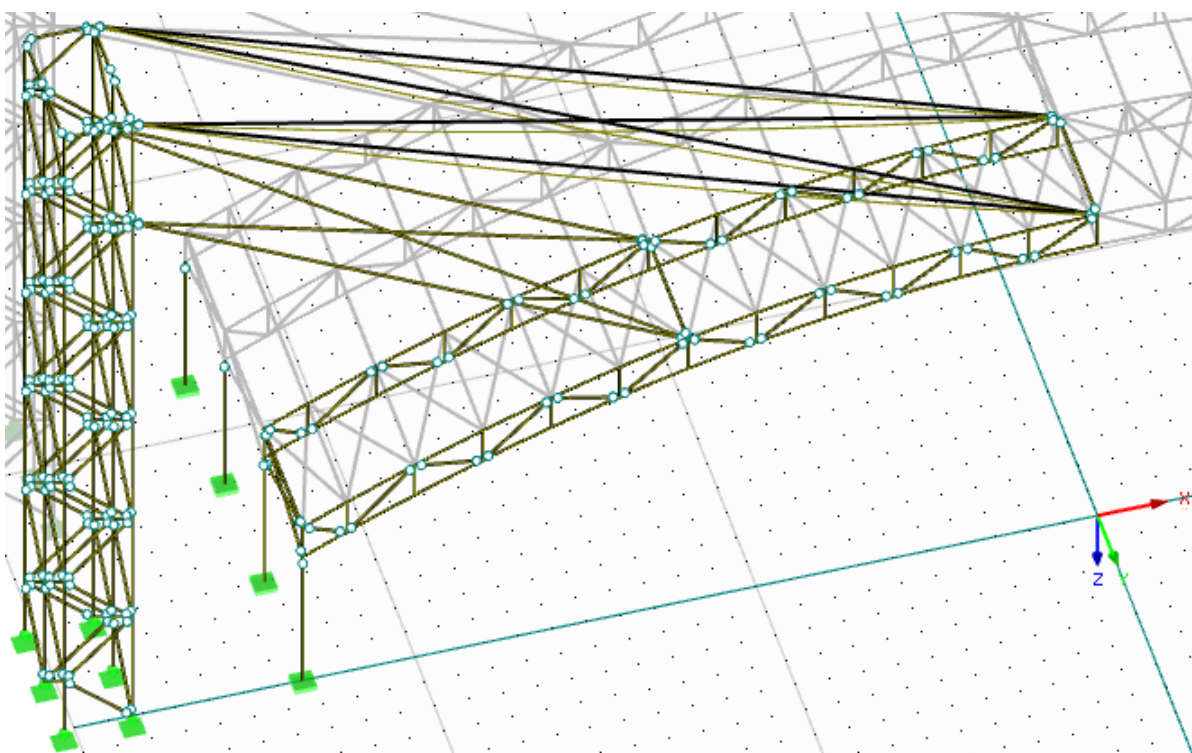
5.5 FÁZE 4

Přidá se levá vnitřní část vazníku opět přichycená dvěma táhly k vrcholové části pomocné konstrukce (viz obr. 5.26). Deformace jsou následující: maximální posun $u_x = 17,9$ mm, $u_y = 0,0$ mm, $u_z = 9,2$ mm a minimální $u_x = -4,2$ mm, $u_y = -0,3$ mm, $u_z = -0,7$ mm (graficky na obrázcích 5.22 a 5.23). Tyto posuny se však týkají opět pomocné konstrukce a ve vrcholové části vazníku nabývají hodnot $u_x = 2,1$ mm, $u_y = 0,0$ mm a $u_z = 9,2$ mm. K velké deformaci dochází i u lan.

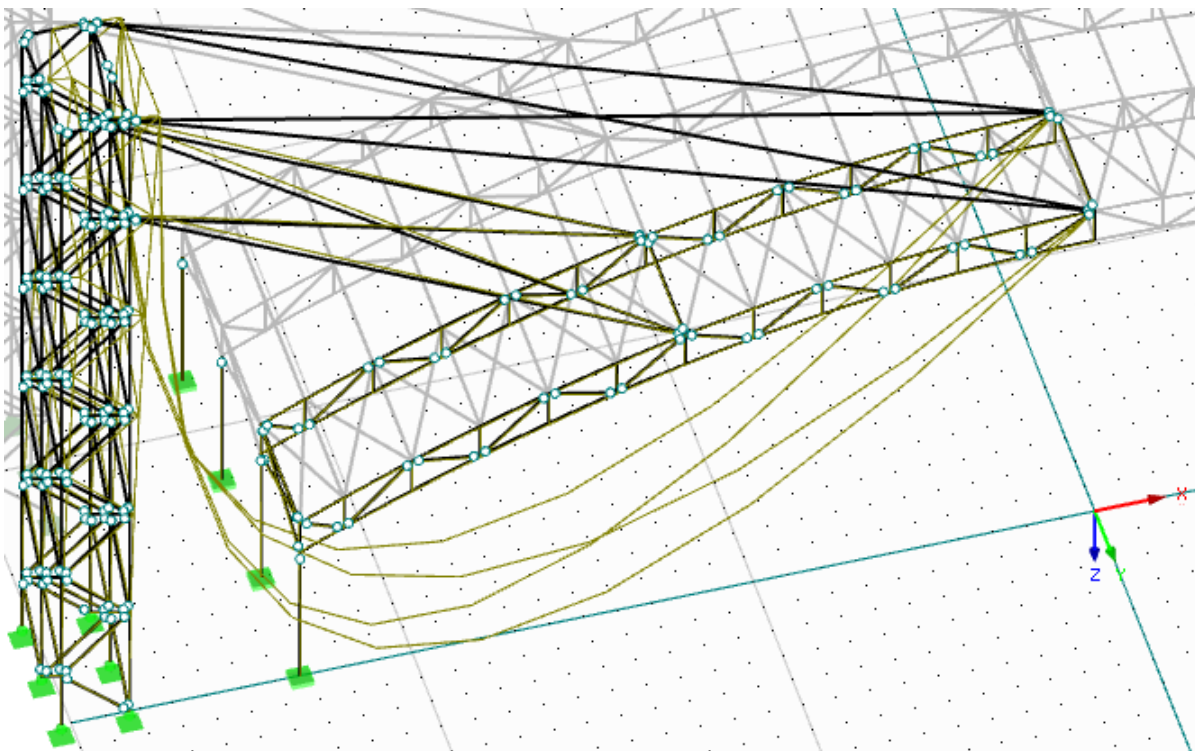
Pro zmenšení deformací ve vrcholu vazníku zadáme zkrácení lana obdobně jako v předchozích dvou fázích, tentokrát s hodnotou podélného posunu $\Delta l = -8$ mm. Ve vrcholové části vazníku se změní deformace takto: posun $u_x = -0,5$ mm, $u_y = 0,0$ mm, $u_z = 0,5$ mm (graficky na obrázcích 5.24 a 5.25).



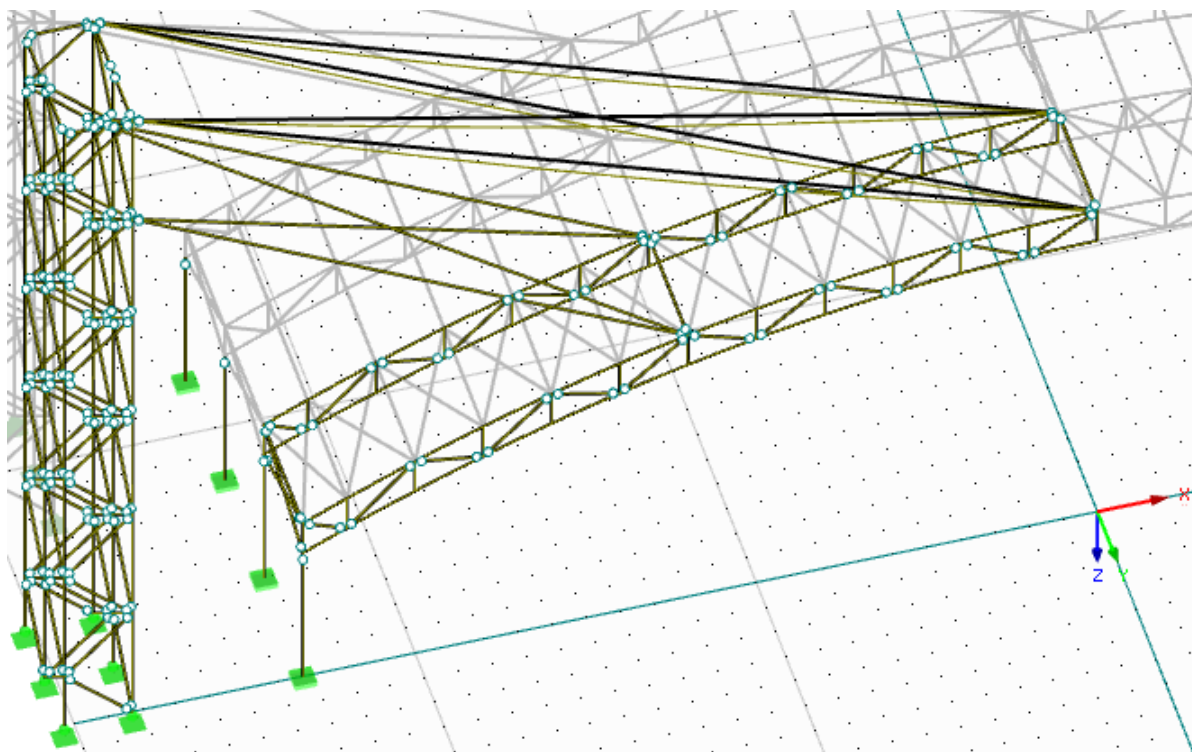
Obr. 5.22 Deformace konstrukce ve čtvrté fázi s faktorem přetvoření 50



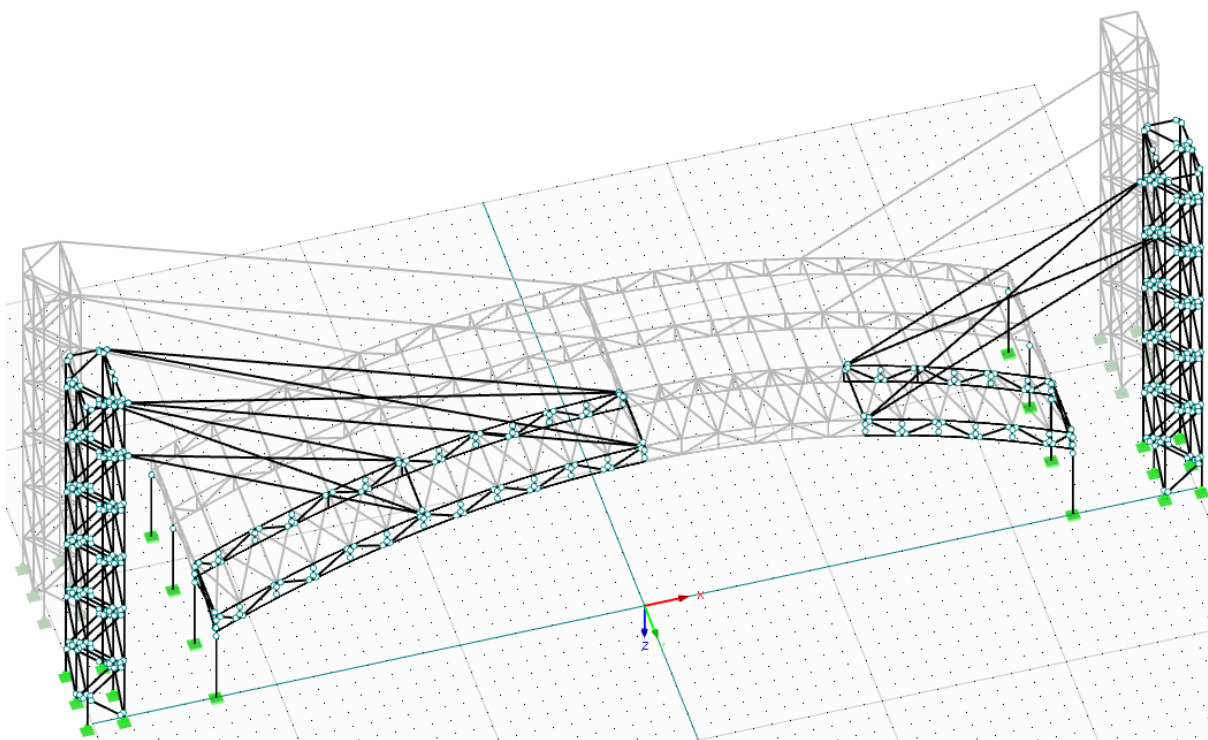
Obr. 5.23 Deformace konstrukce ve čtvrté fázi s faktorem přetvoření 1



Obr. 5.24 Deformace konstrukce ve čtvrté fázi při zkrácení lan s faktorem přetvoření 50



Obr. 5.25 Deformace konstrukce ve čtvrté fázi při zkrácení lan s faktorem přetvoření 1

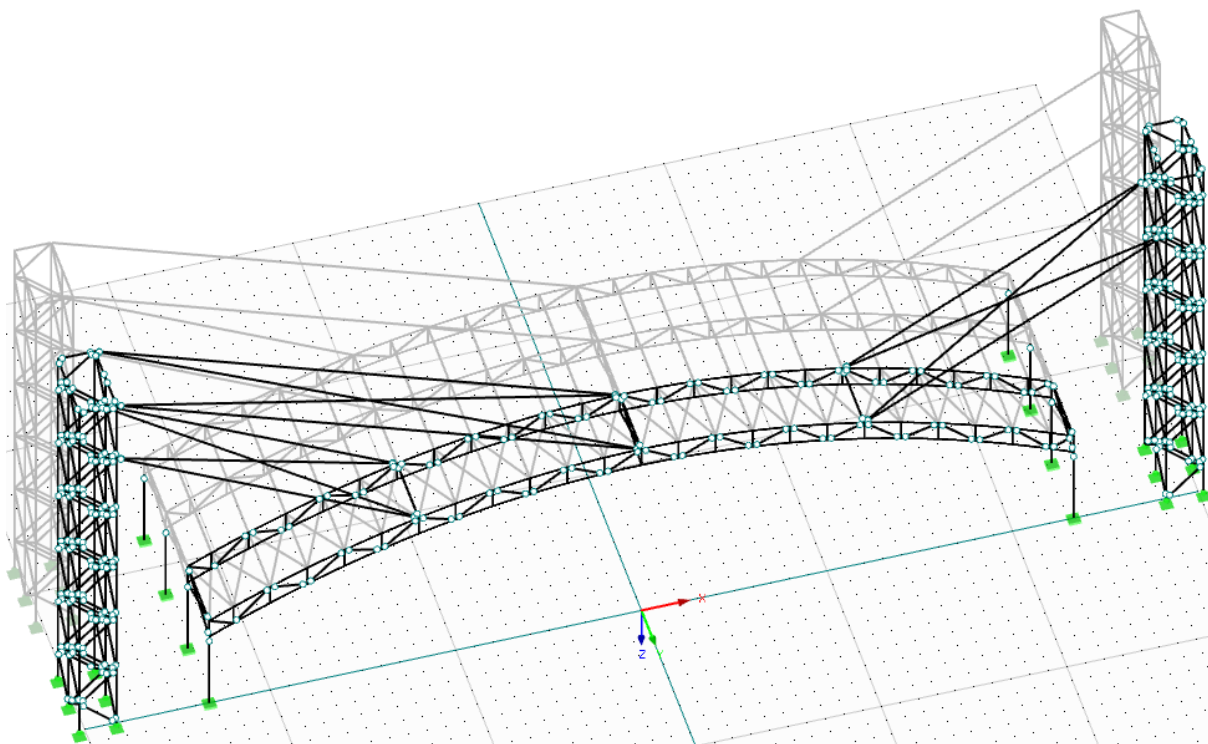


Obr. 5.26 Fáze 4

5.6 FÁZE 5 A 6

Zbývá přidat poslední část vazníku než se odstraní táhla, aby konstrukce pevně držela. Největší deformace jsou opět na pomocné konstrukci, nejvýznamnější je však ve vrcholu vazníku, kde dojde k posunům ve směru osy X o -1,1 mm, ve směru Y je nulový posun a ve směru Z 2,7 mm. Tímto je dokončena fáze 5 (obrázek 5.27) a konstrukce je již ztužena natolik, aby se mohlo přejít k další fázi, kde se lana odstraní (obrázek 5.30). V přidavném modulu se opět v *Prutech* vyberou lana, tentokrát však ne v *Seznamu prutů*, ten zůstane prázdný, ale v *Prutech předcházejících fází* v možnosti *Odstranit* (viz obrázek 5.28) vybereme opět graficky všechna lana, kterými jsou doposud příhradové vazníky uchyceny.

Pokud ovšem spustíme výpočet, software nebude schopen tuto fázi spočítat a bude hlásit chybu (viz obrázek 5.29).



Obr. 5.27 Fáze 5

PR1 - Fáze výstavby

Vstupní údaje

- Základní údaje
- Pruty
- Plochy
- Tělesa
- Uzlové podpory
- Liniové podpory
- Plošné podpory
- Zatížení

1.2 Pruty

Aktuální fáze: 6 | odstranění táhel

Seznam grutů: Fáze 6

Pruty předcházejících fází: Fáze 6

Upravit: []

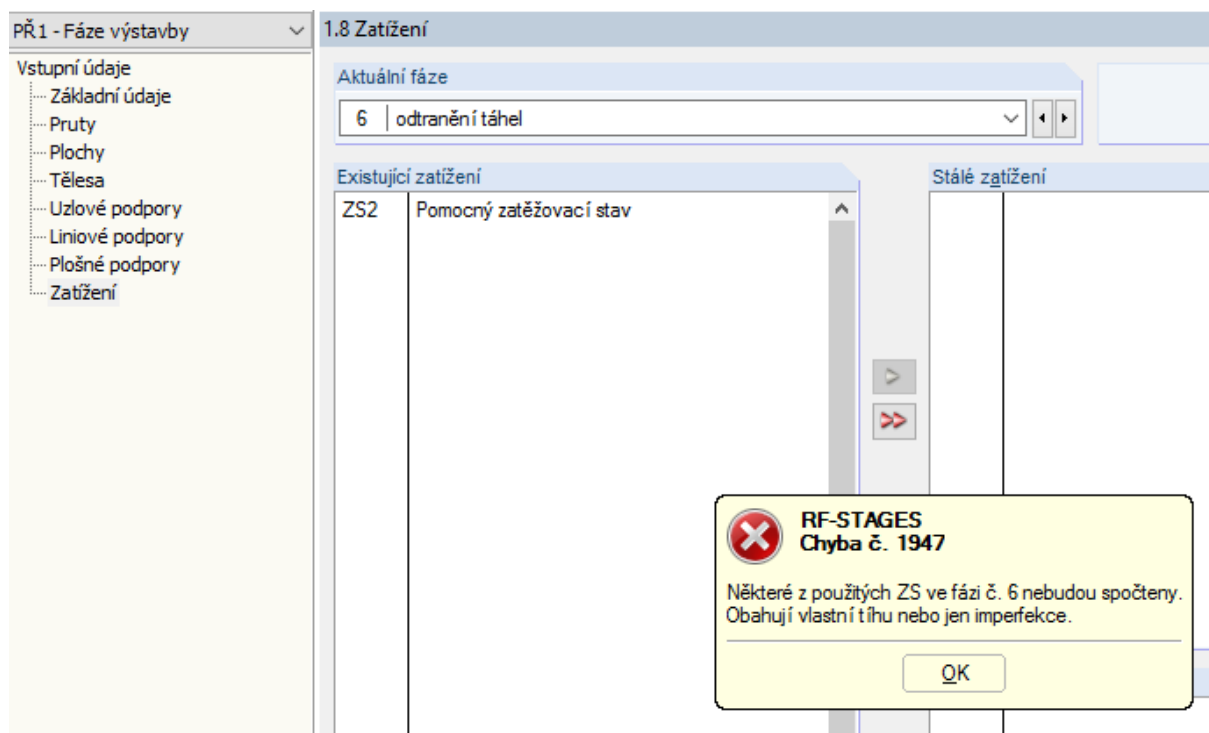
Odstranit: 1906,1984,1985,2046-2048,2050-2055

Upravit prut

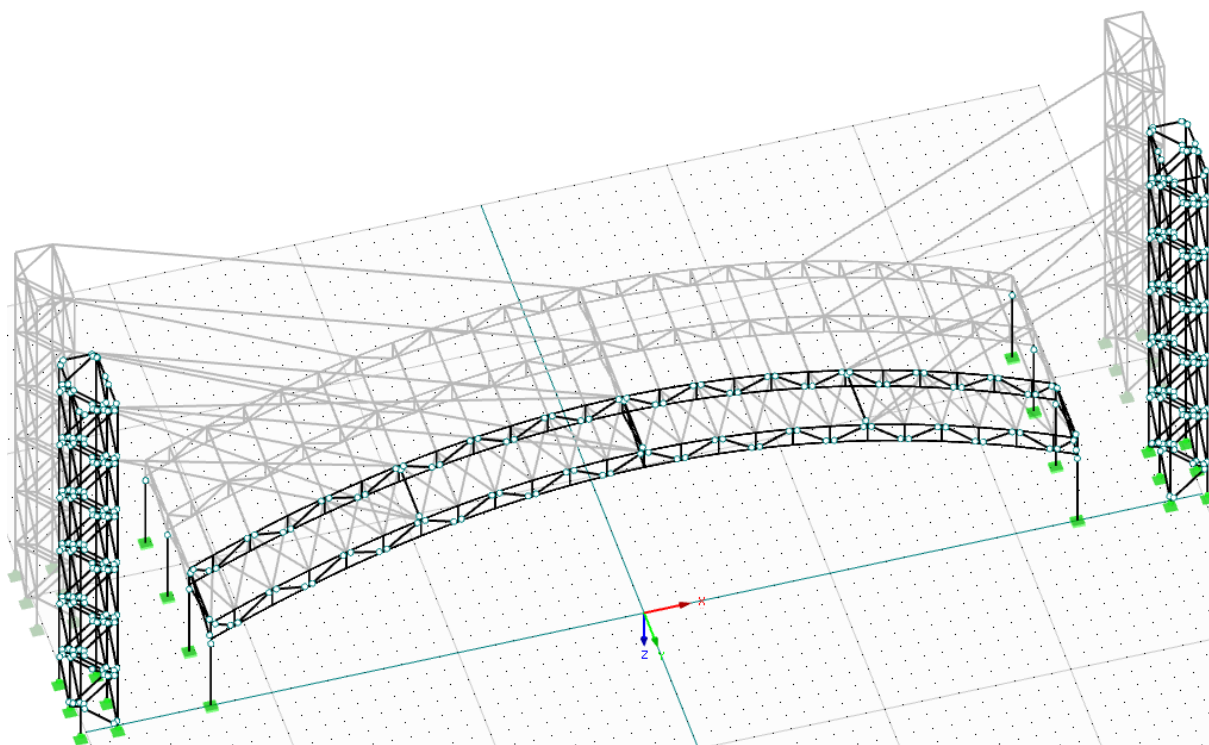
Prut č.	A	B	C	D	E	F
	Materiál	Průřez	Kloub č.	Začátek	Konec	Excentr. č.
						Komentář

Obr. 5.28 Vstupní údaje fáze 6

Je potřeba vytvořit pomocný zatěžovací stav, ve kterém přidáme malou sílu působící na pomocnou konstrukci, aby software dále počítal. V Zatížení tento zatěžovací stav přidáme do skupiny Stálé zatížení a spustíme znovu výpočet. Posuny ve vrcholech vazníků jsou $u_x = -1,0$ mm, $u_y = 0,0$ mm, $u_z = 4,8$ mm.



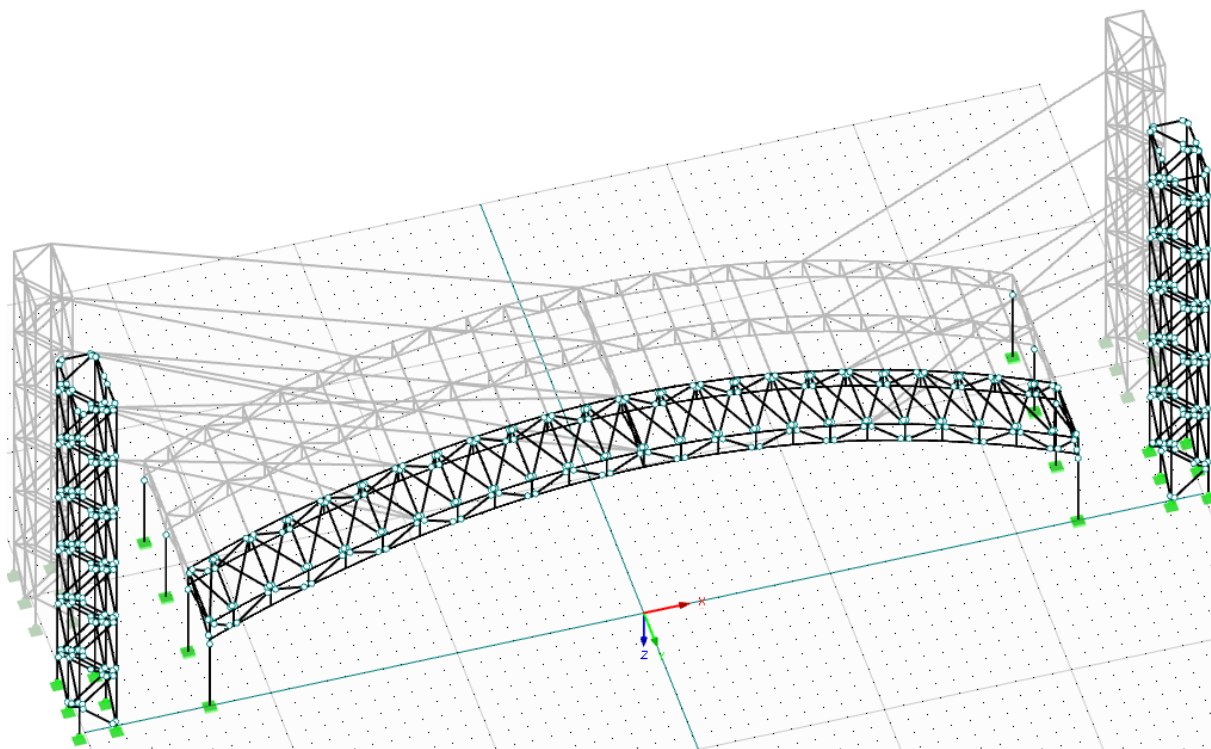
Obr. 5.29 Hlášení chyby ve fázi 6



Obr. 5.30 Fáze 6

5.7 FÁZE 7

Aby byla dosud postavená část konstrukce dokonale ztužena, spojí se příhradové vazníky vaznicemi a dodělá se zavětrování (obrázek 5.31). Maximální posuny činí $u_x = 1,1$ mm, $u_y = 0,0$ mm, $u_z = 5,9$ mm a minimální $u_x = -1,2$ mm, $u_y = -0,5$ mm, $u_z = 0,0$ mm.

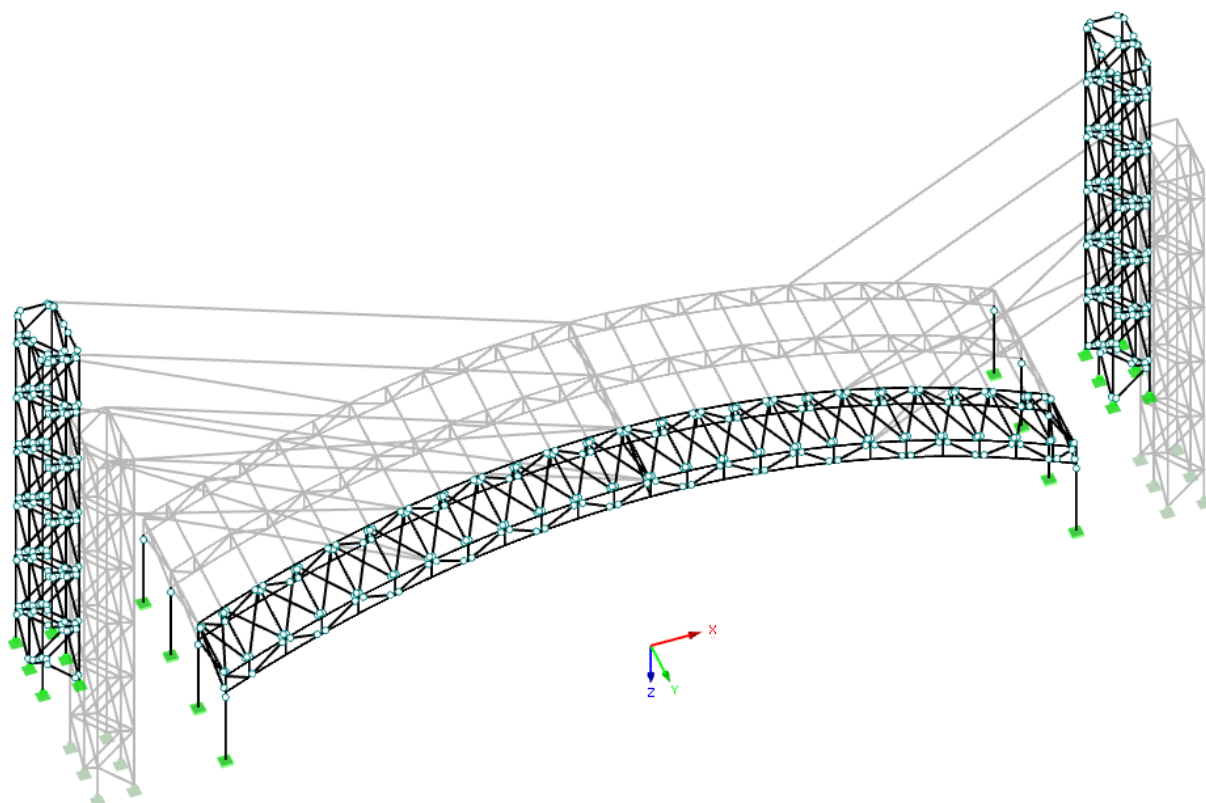


Obr. 5.31 Fáze 7

5.8 FÁZE 8 – 18

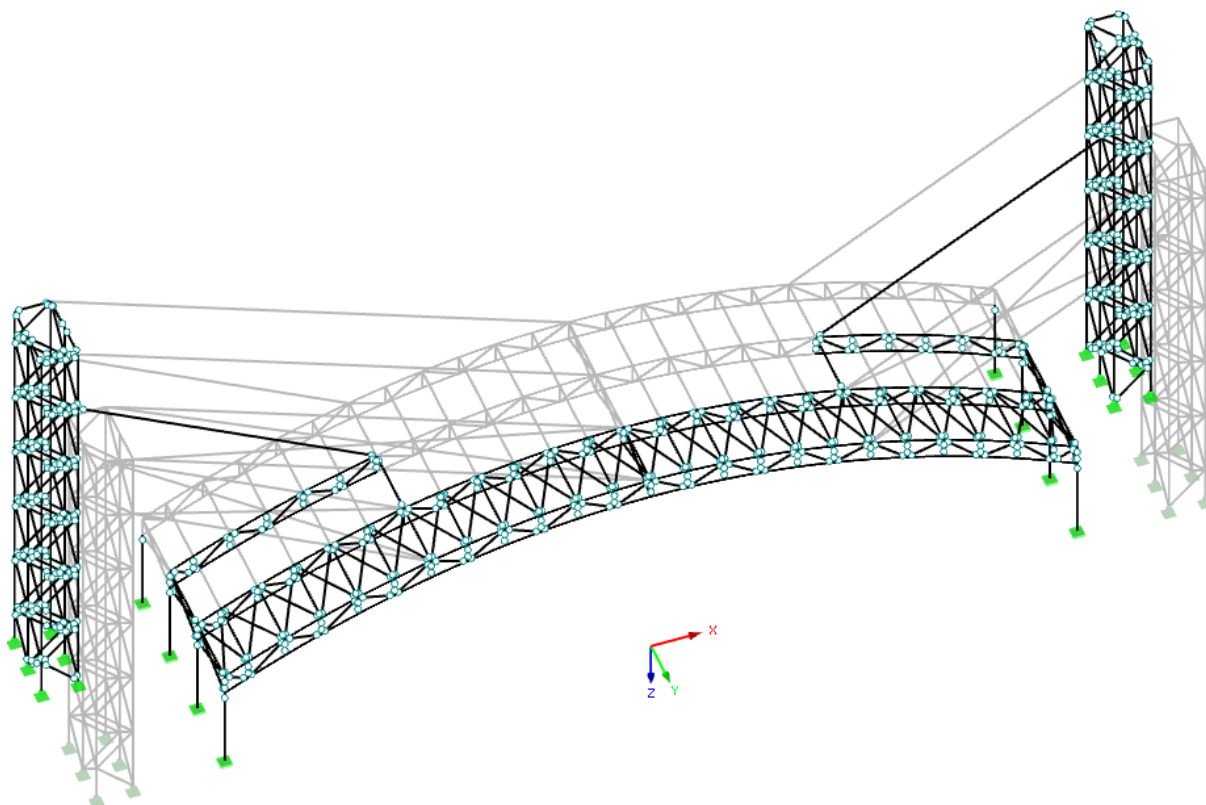
Ve fázi 8 se pomocná konstrukce posune o 8 m po ose Y v záporném směru (obrázek 5.32), aby se mohly začít stavět další vazníky.

Při 8. fázi již software hlásil chybu a nedokázal dokončit výpočet. Jelikož chyba v softwaru nebyla opravena do data kompletece bakalářské práce, nejsou již další fáze spočteny. Bude zde tedy jen ve stručnosti uvedeno, jak se má postupovat při realizaci haly dále a na obrázcích 5.33 – 5.42 graficky fáze předvedeny.

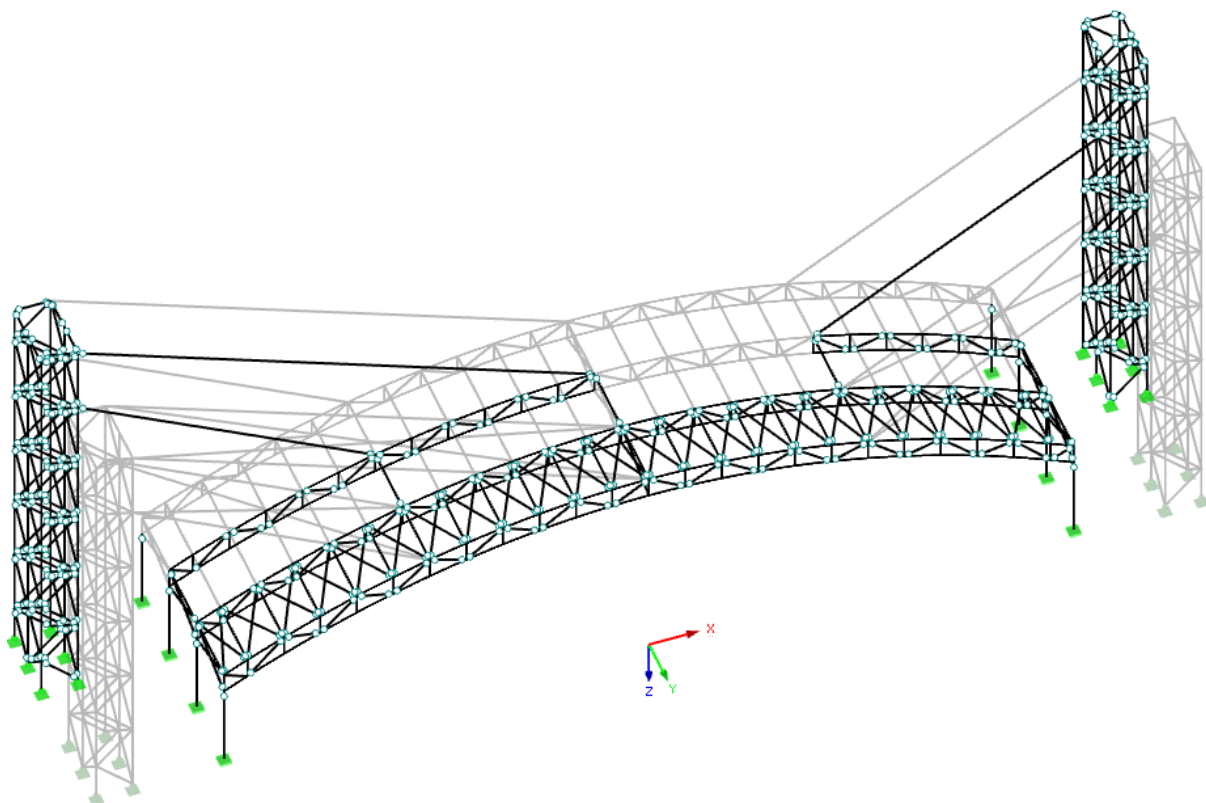


Obr. 5.32 Fáze 8

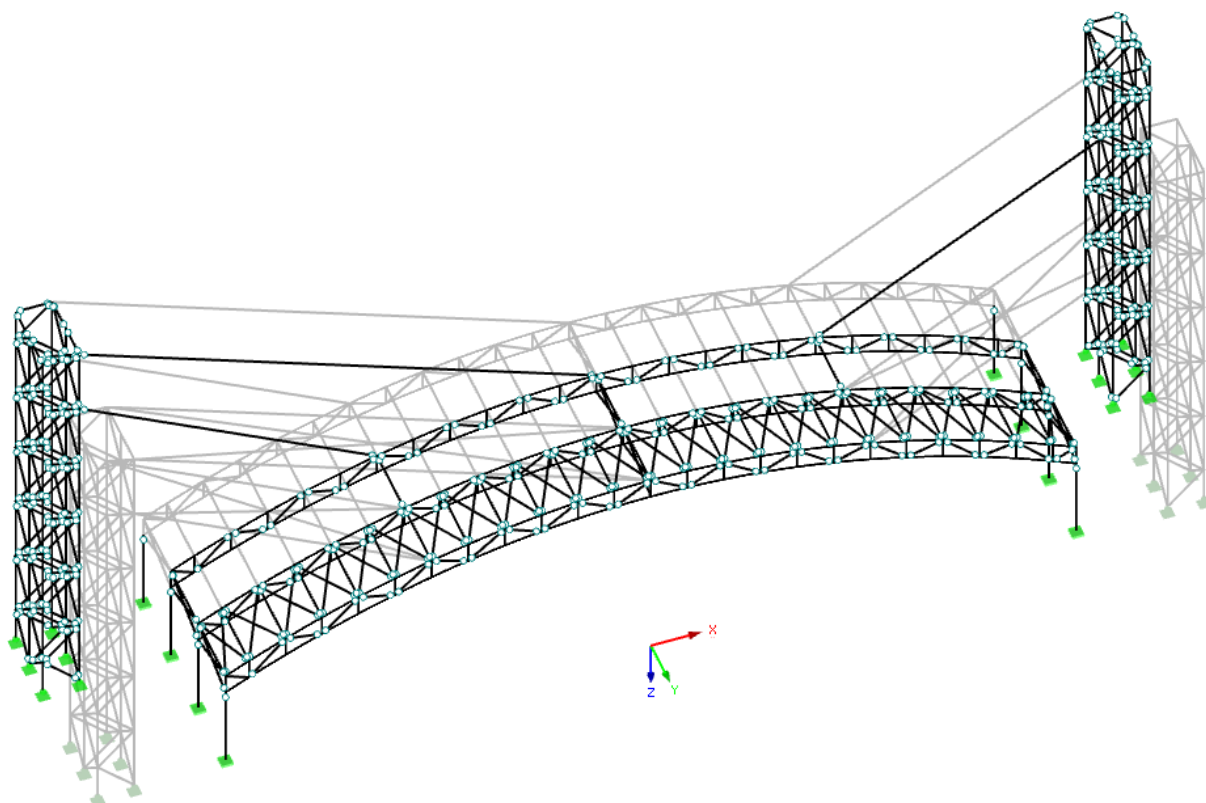
Ve fázi 9 se postaví krajní části třetího příhradového vazníku se zavětrováním a zavěsí se každá již jen na jedno lano, neboť stabilita je zajištěna také spojením s již postavenou částí haly ztužidlem a jednou vaznicí, jak je patrné na obrázku 5.33. V desáté fázi se připevní levá vnitřní část zavěšená na jednom laně a v jedenácté se celá konstrukce spojí poslední částí vazníku. V dalším kroku (fáze 12) se odstraní lana a následně se konstrukce ztuhí ještě doplněním vaznic, čímž se ukončí fáze 13. Pět nadcházejících fází je na sejném principu. Fáze 14 – krajní části vazníků se zavětrováním přichycené táhly, fáze 15 – vnitřní část vazníku s táhlem, fáze 16 – poslední část vazníku, fáze 17 – odstranění táhel a fáze 18 – ztužení konstrukce vaznicemi. Takto se pokračuje u výstavby celé haly.



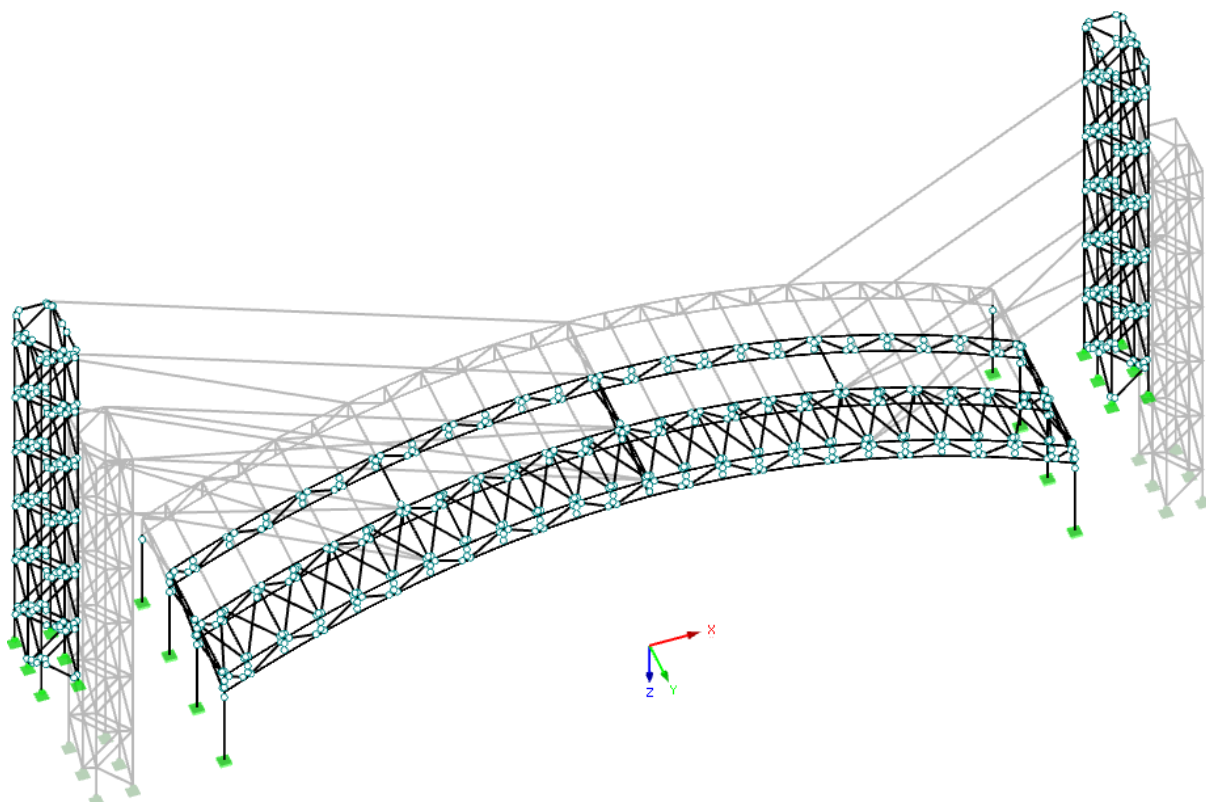
Obr. 5.33 Fáze 9



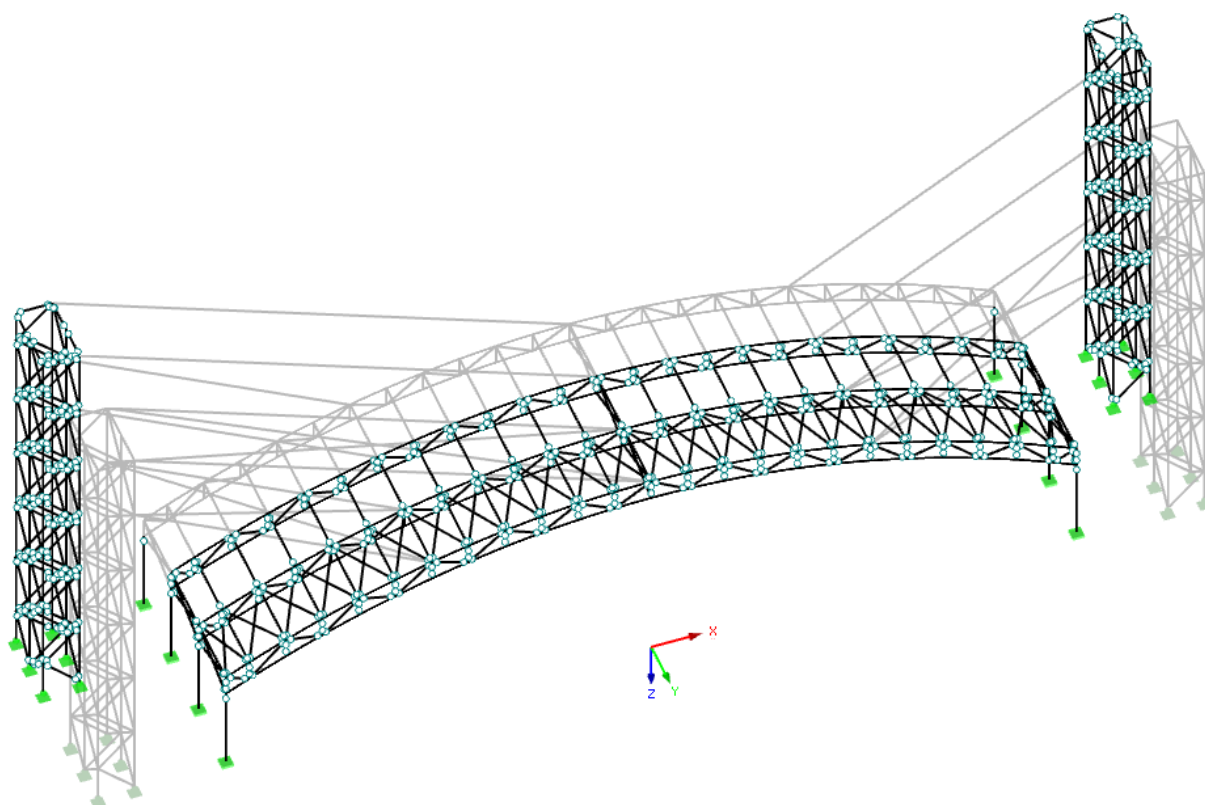
Obr. 5.34 Fáze 10



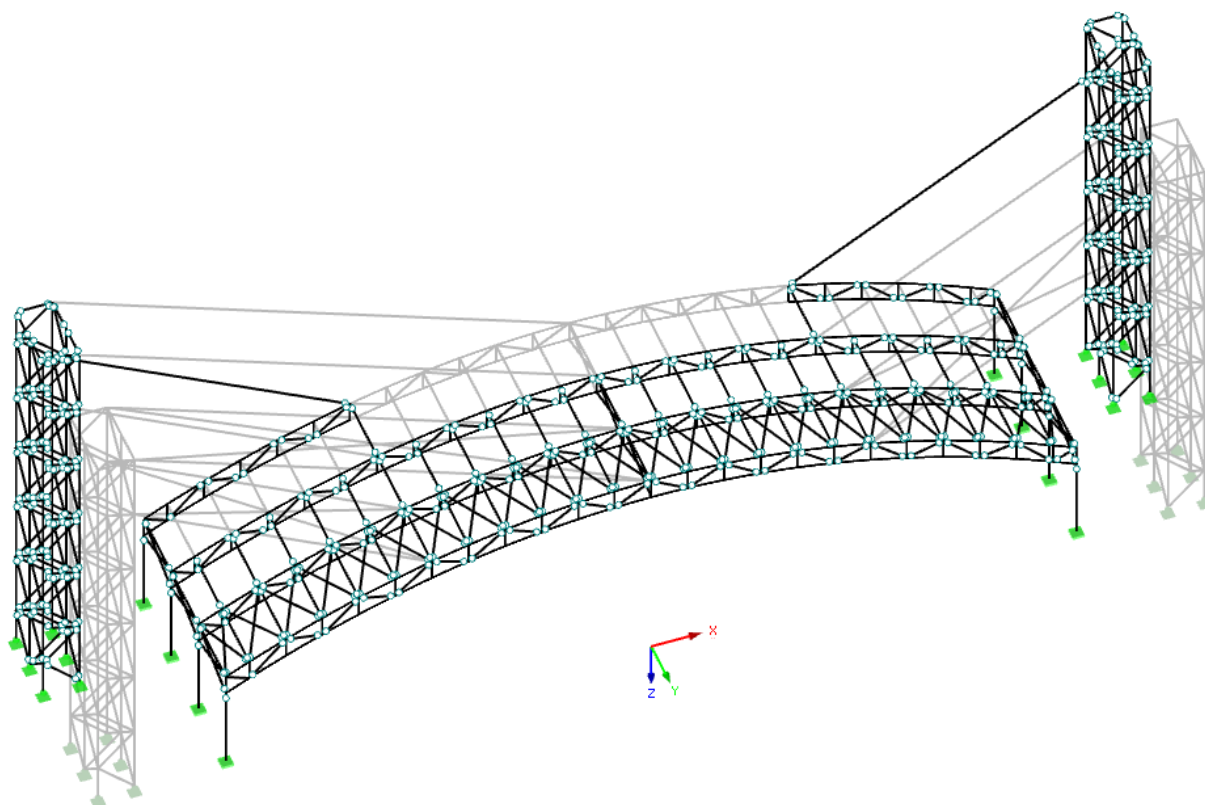
Obr. 5.35 Fáze 11



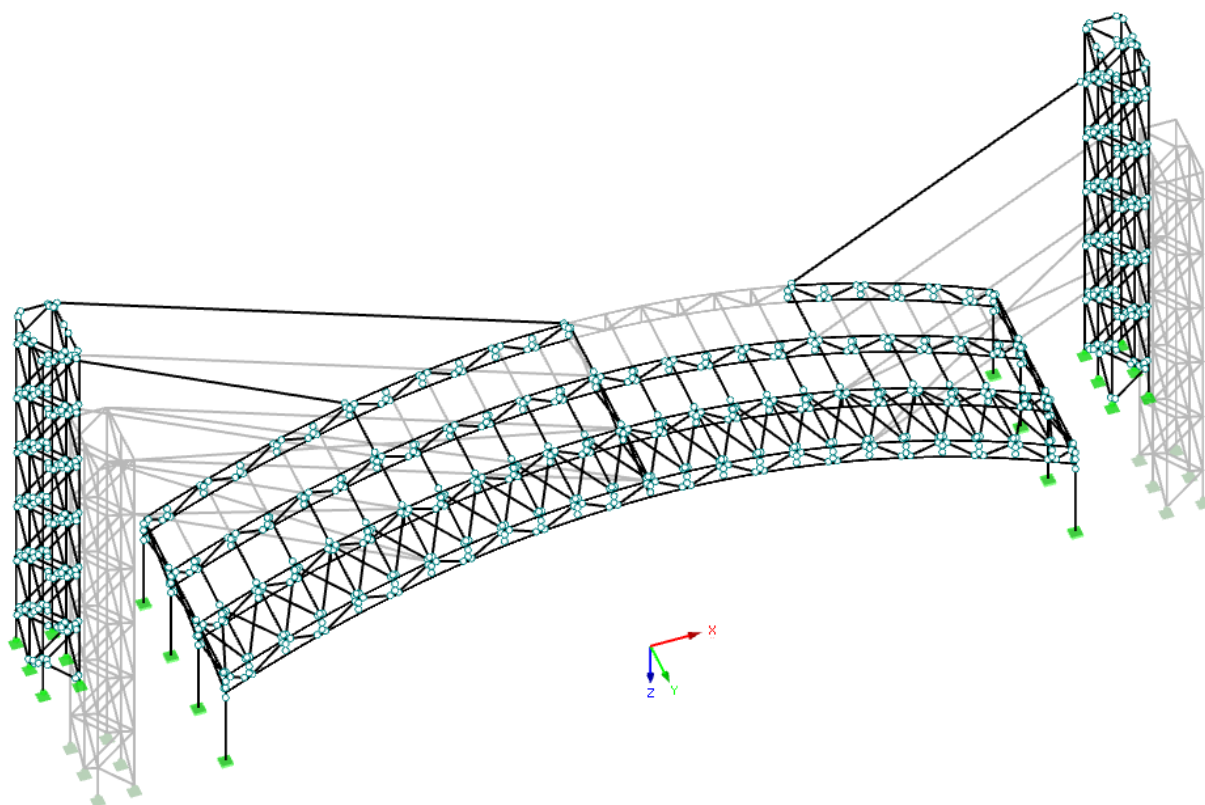
Obr. 5.36 Fáze 12



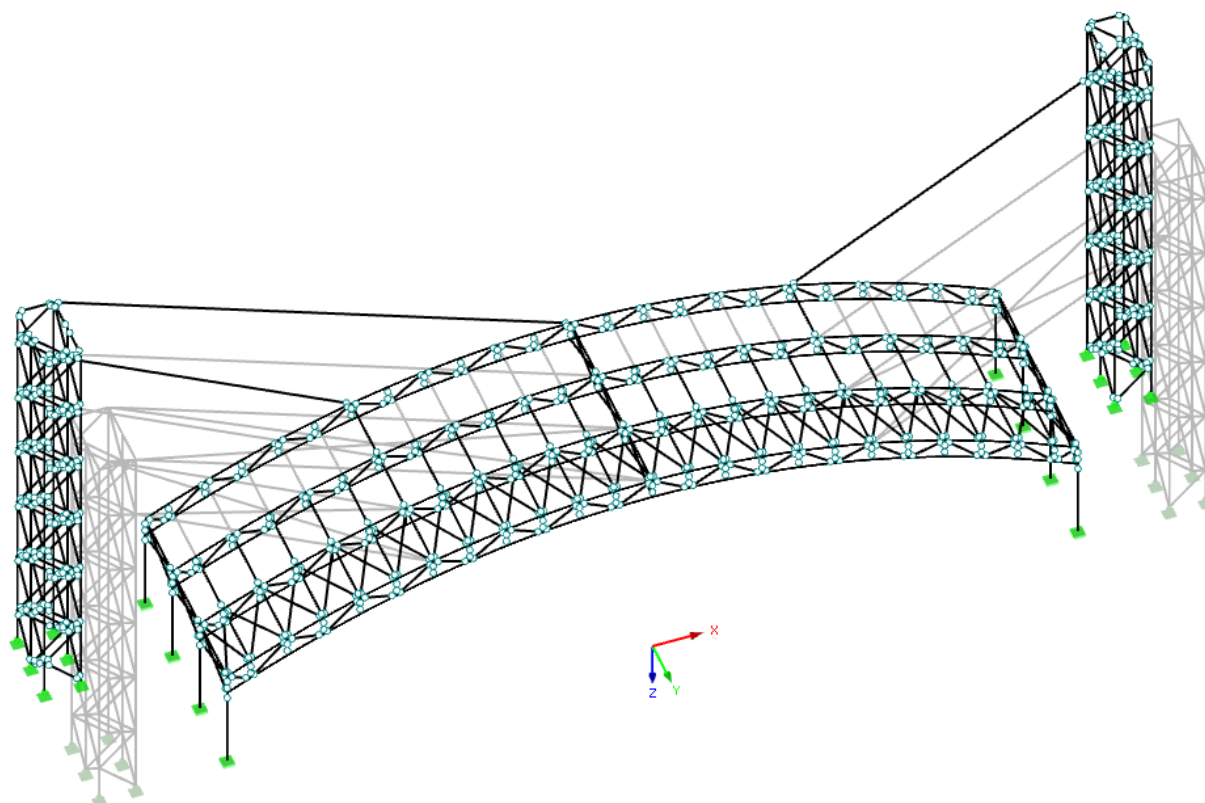
Obr. 5.37 Fáze 13



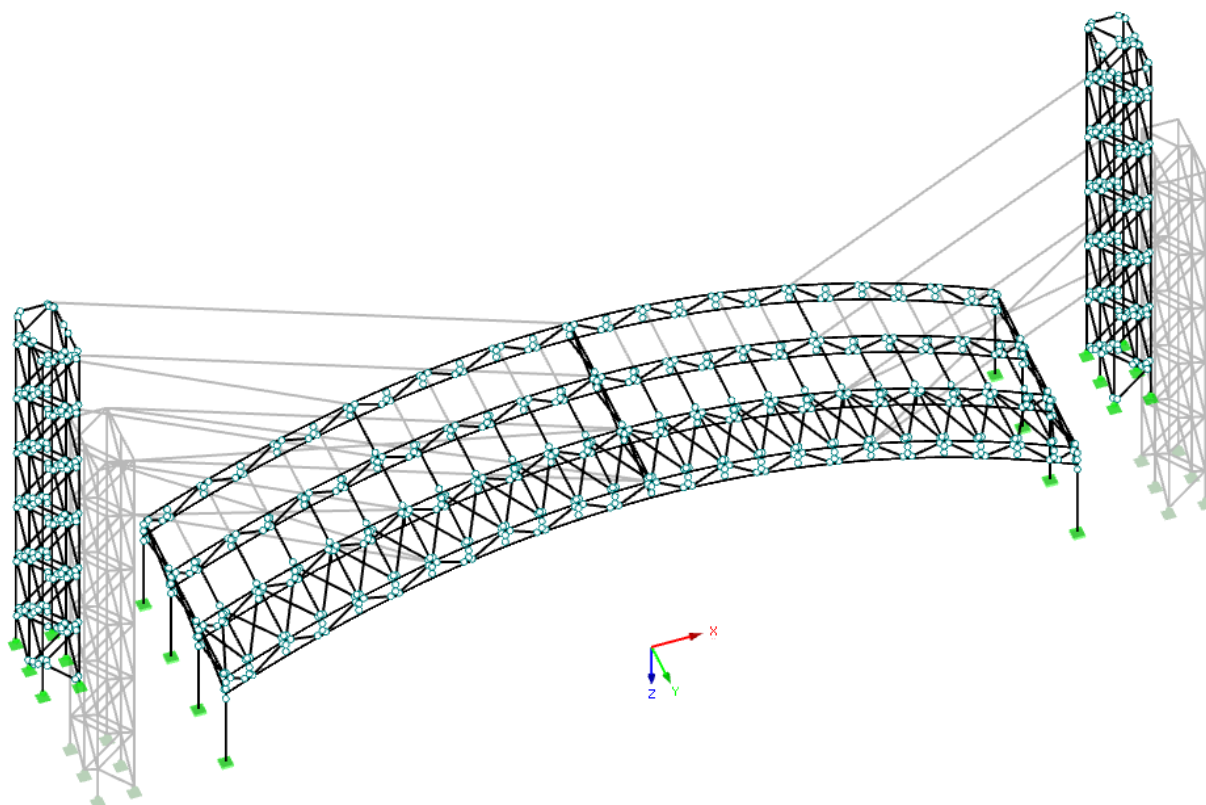
Obr. 5.38 Fáze 14



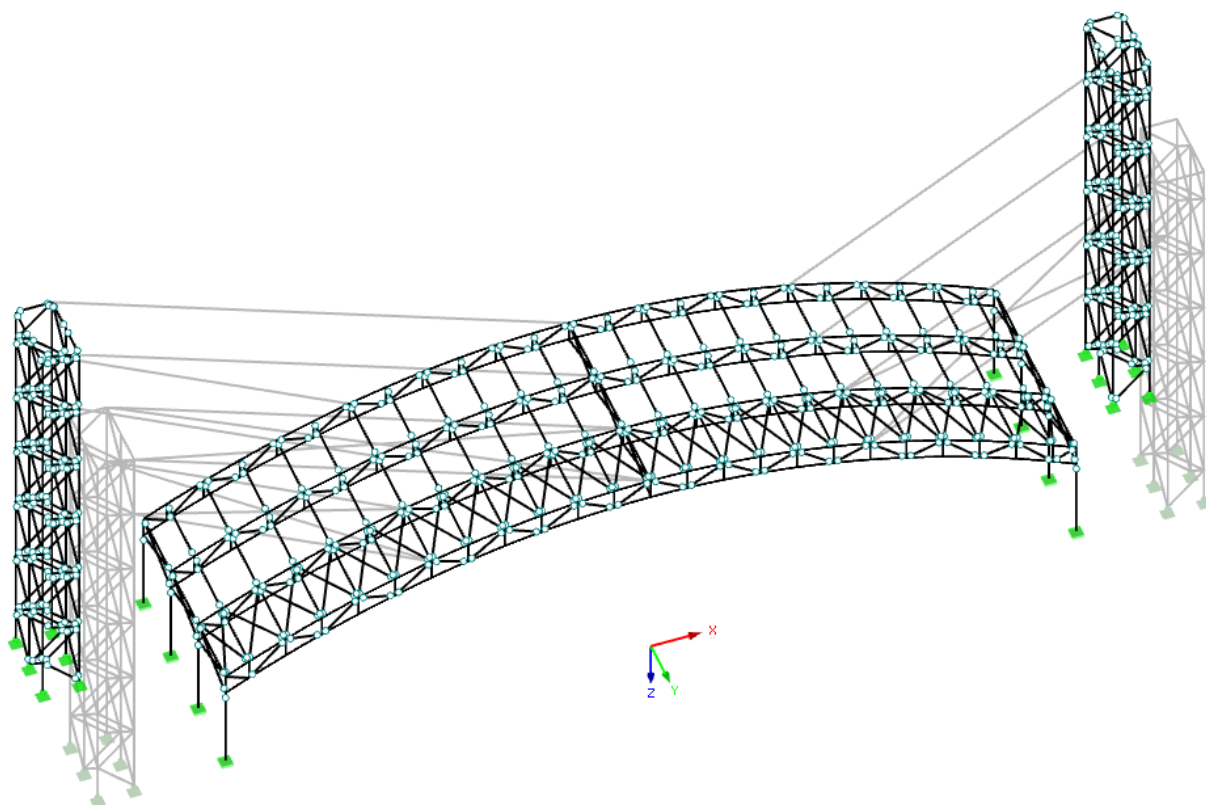
Obr. 5.39 Fáze 15



Obr. 5.40 Fáze 16



Obr. 5.41 Fáze 17



Obr. 5.42 Fáze 18

6 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout způsob zastřešení sportoviště, zvolit rozměry a tvar konstrukce, nadimenzovat průřezy a provést analýzu fází výstavby.

Pro účely práce byla navržena hala se třemi tenisovými kurty. Půdorysné rozměry této haly vycházejí z potřebných rozměrů pro kurty a uvažovaného prostoru pro diváky. Konstrukci zastřešení tvoří parabolické příhradové vazníky, složené z horního a dolního pásu s výpletem z diagonál a svislic. Vazníky jsou propojeny vaznicemi, příčným a podélným zavětrováním a podélným ztužidlem. Uloženy jsou na sloupech. Jako materiál byla zvolena ocel S235. Výška haly a tvar vazníku vychází z výšek daných pro tenisové kurty.

V softwaru RFEM byl vytvořen prutový 3D model pro statickou analýzu a analýzu fází výstavby. Ručně byl proveden výpočet stálého a proměnného zatížení. V softwaru se vytvořily všechny potřebné zatěžovací stavy a k nim se přiřadily vypočítané hodnoty zatížení přepočítané na zatěžovací šířky. Software provedl výpočet reakcí a vnitřních sil na prutech a na základě toho byly přiřazeny prutům předběžné průřezy.

Dalším krokem bylo dimenzování průřezů v přídatném modulu *RF-STEEL EC3 – Posouzení ocelových prutů podle Eurokódu 3*. Nadefinovaly se potřebné vstupní údaje a software provedl posouzení. Podle výsledných posudků se následně dále upravovaly dimenze všech prvků tak, aby vyhověly potřebným podmínkám únosnosti a vzdorování proti různým způsobům namáhání. Po každé úpravě průřezu byl proveden přepočet a tak bylo docíleno co nejefektivnějšího nadimenzování konstrukce.

Nejhůře dimenzovatelnými prvky byly sloupy tvořené I profily, na které nestačily běžné dimenze profilů z databáze RFEMu a musely se vytvořit větší profily. Z tohoto důvodu byla odzkoušena také varianta, kdy se přidaly ke konstrukci táhla, díky nimž se zmenšily vnitřní síly ve sloupech. Tím se výrazně zmenšily potřebné dimenze sloupů. Zvětšit se však musely dimenze vaznic, diagonál, svislic a horního pásu, avšak tyto změny nebyly nijak velké. Tento způsob byl odzkoušen jen pro srovnání obou variant. Ve skutečnosti však by nemohl být v tomto případě použit, protože nad kurty musí být do určité výšky volný prostor, do kterého tyto táhla zasahují a byly by tedy nežádoucí. Další možností by byly šikmé vzpěry podpírající sloupy, ale touto variantou se bakalářská práce nezabývala, neboť se více zaměřovala na analýzu fází výstavby.

Posledním krokem po dimenzování bylo určit postup, jakým se hala bude stavět a v dalším přídatném modulu RFEMu *RF-STAGES – Analýza stavebních fází* tento způsob odzkoušet a zjistit, jak se bude konstrukce v jednotlivých fázích výstavby chovat. K tomuto účelu byl model zredukován na pouhé čtyři příhradové vazníky, neboť konstrukce je dost velká a výpočet by trval delší dobu. Jelikož se fáze opakují, bylo postačující ukázat postup na této malé části z celého modelu.

K účelu realizování stavby byly navrženy také pomocné konstrukce a lana na dočasné přichycení částí vazníků. Vazníky musely být rozděleny na čtyři části kvůli své velikosti. Původně zvolený postup výstavby, založený na stavbě pouze prvního vazníku, se ukázal jako nevhodný, protože konstrukce nebyla dostatečně ztužena a hrozilo naklánění do stran. Druhý způsob, tedy postavit nejdříve dva vazníky naráz, se osvědčil lépe, neboť byla zajištěna větší prostorová tuhost. Deformace vazníků, konkrétně hlavně posuny konstrukce ve směru osy Z, byly zmenšeny následným ztužením pomocné konstrukce a také počátečním zkrácením lana. Toto zkrácení se určilo na základě výpočtu přídatného modulu a bylo následně upravováno pro co nejlepší výsledky (tedy nejmenší deformace). V konečné fázi činil tedy největší posun přibližně 5 mm ve směru osy Z. Na tyto deformace má vliv i volba pomocné konstrukce a dimenze lana. Jejich návrh však nebyl předmětem této bakalářské práce.

Během tvoření dalších fází v přídatném modulu se ukázalo, že tato verze softwaru (RFEM 5.06) není schopa již spočítat další fáze a tak se v softwaru posoudilo jen prvních sedm fází výstavby. Ostatní fáze byly tedy jen ve stručnosti popsány bez provedení analýzy. Prvních sedm fází však bylo pro tuto konstrukci klíčových a předpokládá se, že i ostatní fáze tedy byly vhodně zvoleny.

7 SEZNAM LITERATURY

- [1] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, Vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [2] ČSN EN 1991-1-1-3. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [3] ČSN EN 1991-1-1-4. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, duben 2007.
- [4] ČSN EN 1993-1-1. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [5] *Program RFEM 5 Prostorové konstrukce metodou konečných prvků: Popis programu*. Praha: Dlubal software s.r.o., 2012.

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 Diagonály	12
Obr. 2.2 Horní pás	12
Obr. 2.3 Dolní pás	13
Obr. 2.4 Sloup.....	13
Obr. 2.5 Vaznice	13
Obr. 2.6 Zavětrování a ztužidla	13
Obr. 2.7 Svislice	14
Obr. 2.8 Model v rovině YZ	14
Obr. 2.9 Model v rovině XZ	14
Obr. 2.10 Model v rovině XY.....	15
Obr. 2.11 Prostorový model	16
Obr. 3.1 Oblasti působení větru v příčném směru [3]	20
Obr. 3.2 Graf pro určení součinitele $c_{pe,10}$ [3]	20
Obr. 3.3 Rozměry oblastí působení větru [3]	21
Obr. 3.4 Oblasti působení podélného větru [3]	22
Obr. 3.5 Referenční výška [3]	24
Obr. 3.6 Působení větru na stěny – pohled [3]	25
Obr. 3.7 Působení větru na stěny – půdorys [3]	26
Obr. 3.8 Uspořádání zatížení od sněhu [2]	27
Obr. 4.1 Vstupní údaje přídatného modulu RF-STEEL EC3 – Posouzení ocelových prutů podle Eurokódu 3	30
Obr. 4.2 Využití použitých profilů	31
Obr. 4.3 Posouzení po průřezech.....	31
Obr. 4.4 Varianta haly s táhlem.....	32
Obr. 4.5 Výsledné využití profilů při přidání táhla	33
Obr. 4.6 Diagonály	33
Obr. 4.7 Horní pás	33
Obr. 4.8 Dolní pás	34
Obr. 4.9 Sloup.....	34
Obr. 4.10 Vaznice	34
Obr. 4.11 Zavětrování a ztužidla	34
Obr. 4.12 Svislice	35

Obr. 4.13 Táhlo.....	35
Obr. 5.1 Přídavný modul pro fáze výstavby.....	36
Obr. 5.2 Část konstrukce použitá pro analýzu fází.....	37
Obr. 5.3 Použitý model pro analýzu fází.....	38
Obr. 5.4 Původní návrh umístění pomocné konstrukce	39
Obr. 5.5 Profil 2LA L 150x150x10-4/1.....	39
Obr. 5.6 Profil L 300x300x35	39
Obr. 5.7 Průřez lana PE 7	39
Obr. 5.8 Průřez lana PE 100	39
Obr. 5.9 Vstupní údaje - Základní údaje	40
Obr. 5.10 Vstupní údaje – Pruty.....	41
Obr. 5.11 Vstupní údaje – Uzlové podpory.....	42
Obr. 5.12 Vstupní údaje – Zatížení	42
Obr. 5.13 Nastavení detailů.....	43
Obr. 5.14 První fáze výstavby – sloupy a pomocné konstrukce.....	43
Obr. 5.15 Druhá fáze výstavby – první část vazníku přichycená táhly	44
Obr. 5.16 První fáze výstavby – posunutá pomocné konstrukce a sloupy	45
Obr. 5.17 Druhá fáze výstavby – krajní části dvou prvních vazníků přichycené táhly.....	46
Obr. 5.18 Výsledky výpočtu fáze 1	47
Obr. 5.19 Deformace konstrukce ve druhé fázi.....	48
Obr. 5.20 Deformace konstrukce ve druhé fázi při zkrácení lan	49
Obr. 5.21 Fáze 3	50
Obr. 5.22 Deformace konstrukce ve čtvrté fázi s faktorem přetvoření 50	51
Obr. 5.23 Deformace konstrukce ve čtvrté fázi s faktorem přetvoření 1	51
Obr. 5.24 Deformace konstrukce ve čtvrté fázi při zkrácení lan s faktorem přetvoření 50	52
Obr. 5.25 Deformace konstrukce ve čtvrté fázi při zkrácení lan s faktorem přetvoření 1	52
Obr. 5.26 Fáze 4	53
Obr. 5.27 Fáze 5	54
Obr. 5.28 Vstupní údaje fáze 6.....	54
Obr. 5.29 Hlášení chyby ve fázi 6	55
Obr. 5.30 Fáze 6	55
Obr. 5.31 Fáze 7	56
Obr. 5.32 Fáze 8	57
Obr. 5.33 Fáze 9	58

Obr. 5.34 Fázis 10	58
Obr. 5.35 Fázis 11	59
Obr. 5.36 Fázis 12	59
Obr. 5.37 Fázis 13	60
Obr. 5.38 Fázis 14	60
Obr. 5.39 Fázis 15	61
Obr. 5.40 Fázis 16	61
Obr. 5.41 Fázis 17	62
Obr. 5.42 Fázis 18	62

9 SEZNAM TABULEK

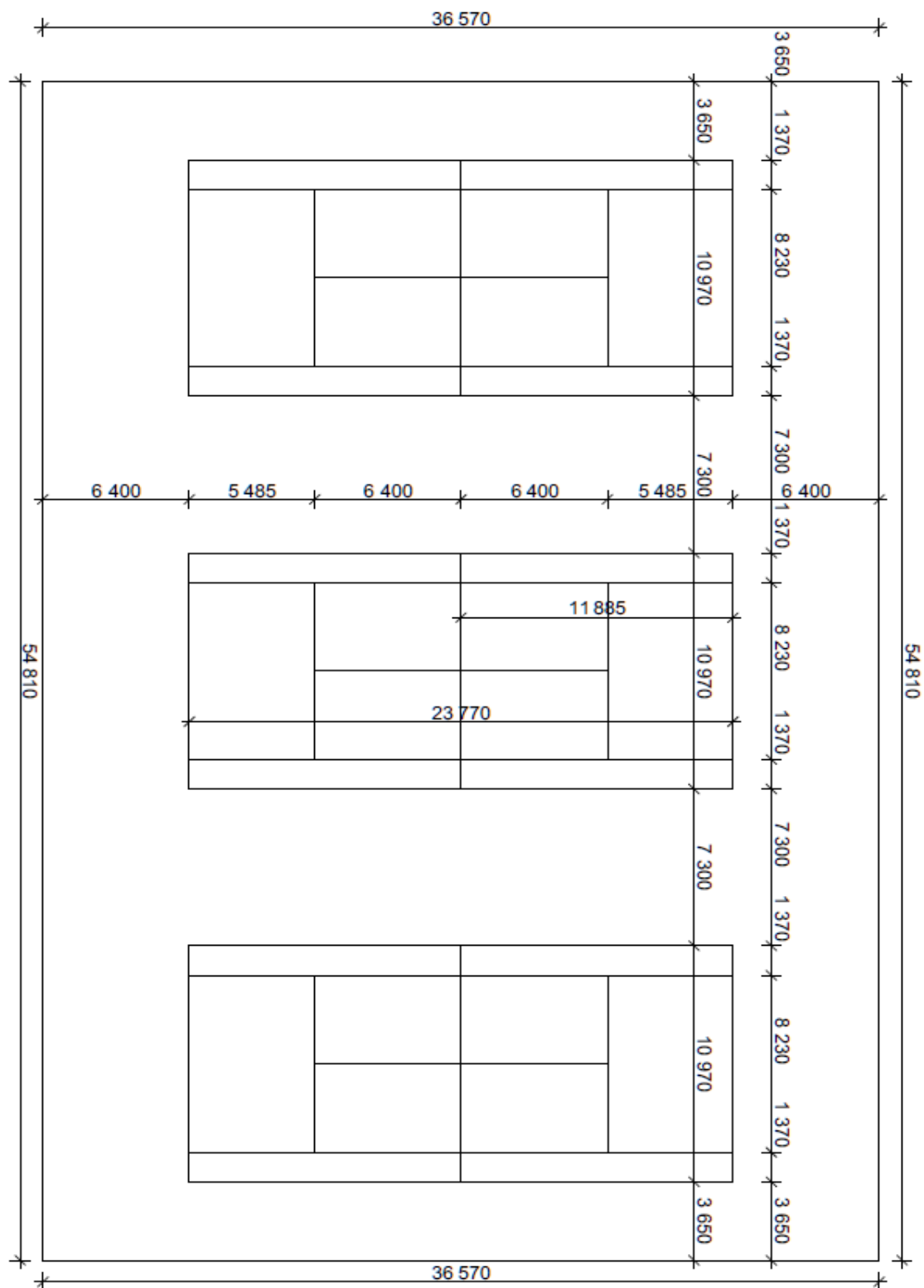
Tabulka 2.1 Použité profily	12
Tabulka 3.1 Hodnoty součinitelů c_{pe} pro sedlové střechy [3]	23
Tabulka 3.2 Hodnoty součinitelů c_{pe} pro stěny [3].....	24
Tabulka 4.1 Vnitřní síly na prutech	29
Tabulka 4.2 Použité profily v modelu bez táhla a s táhlem.....	32

10 SEZNAM SYMBOLŮ

g_k	stálé rovnoměrné zatížení
z_0	parametr drsnosti terénu
$z_{\min}$	minimální výška
v_b	základní rychlost větru
c_{dir}	součinitel směru větru
c_{season}	součinitel ročního období
$v_{b,0}$	výchozí základní rychlost větru
$v_m(z)$	střední rychlost větru
$c_r(z)$	součinitel drsnosti terénu
$c_o(z)$	součinitel orografie
k_r	součinitel terénu
$z_{0,II}$	parametr drsnosti terénu pro kategorii terénu II
$I_v(z)$	intenzita turbulence
k_1	součinitel turbulence
$q_p(z)$	maximální dynamický tlak
ρ	měrná hmotnost vzduchu
$c_e(z)$	součinitel expozice
q_b	základní dynamický tlak větru
w_e	vnější tlak větru
z_e	referenční výška
μ_i	tvarový součinitel zatížení sněhem
c_e	součinitel okolního prostředí, uvažujeme normální topografii (hodnota 1,0)
c_t	tepelný součinitel, který umožňuje snížit zatížení střech majících vysokou tepelnou propustnost, jinak se uvažuje hodnota 1,0
s_k	charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi
N	normálová síla
V_y	posouvající síla v ose Y
V_z	posouvající síla v ose Z
M_t	kroutící moment
M_y	ohybový moment kolem osy Y
M_z	ohybový moment kolem osy Z

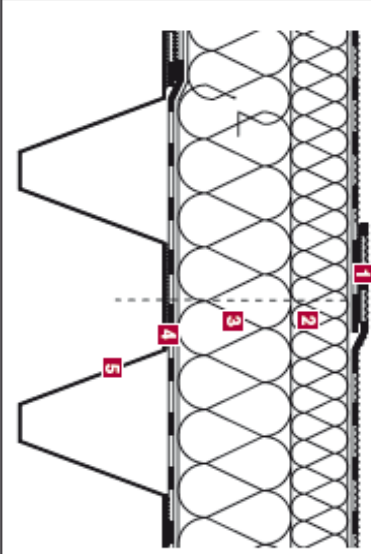
11 PŘÍLOHY

Příloha 1 Schéma půdorysu



Příloha 2 Skladba střechy DEKROOF 15

PARAMETRY SKLADBY PRO OBVYKLÉ POUŽITÍ

PŘEDNOSTI SKLADBY					
Řeši: POŽÁRNÍ ODOLNOST REI 60 DP3					
SPECIFIKACE SKLADBY					
		POZ.	VRSTVA	TLOUŠŤKA (mm)	POPIS
1	ELASTEK 50 SOLO	5,2	jednovrstvý mechanicky kotvený pás z modifikovaného asfaltu		
2	ISOVER S	min. 80	desky z minerální vlny, vrchní vrstva, min. 154 kg/m³		
3	ISOVER T	min. 120	desky z minerální vlny, spodní vrstva, min. 136 kg/m³		
4	DACO KSD R	-	samolepicí parozábrana s Al vložkou a nízkou požární zátěží, parotěsnicí a vzduchotěsnicí vrstva		
5	DEKPROFILE TR 150/280/0,75	150	trapezový plech ve spádu min. 3°		
TEPELNĚTECHNICKÉ PARAMETRY SKLADBY					
Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2		Minimální tloušťka tepelné izolace		Vhodnost použití (podrobnosti viz POZNÁMKY 1)	
Doporučená hodnota		0,16 (W/m²·K)	220 (ISOVER T) + 80 (ISOVER S) mm	Při návrhu budovy dle zákona 406/2000 Sb. a prováděcí vyhlášky 78/2013 Sb.	
Požadovaná hodnota		0,24 (W/m²·K)	120 (ISOVER T) + 80 (ISOVER S) mm	Při návrhu konstrukce dle ČSN 73 0540-2	
OKRAJOVÉ PODMÍNKY PRO POUŽITÍ SKLADBY Z HLEDISKA TEPELNÉ TECHNIKY					
Návrhová vnitřní teplota v zimním období		20 °C			
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu		50 %			
Návrhová průměrná měsíční relativní vlhkost vnitřního vzduchu		do 4. vlhkostní třídy dle ČSN EN ISO 13788			
Maximální nadmořská výška		200 m.n.n			
POŽÁRNÍ VLASTNOSTI SKLADBY					
Požární odolnost		REI 60 DP3			
ROZŠÍŘENÉ POUŽITÍ SKLADBY					
Použití skladby pro jiné objekty ovlivňují tepelnětechnické, požární, akustické respektive další požadavky. Podklady pro rozšířené použití skladby naleznete na druhé straně. Rozšířené použití vždy doporučujeme konzultovat s technikem Atelieru DEK.					

Příloha 3 Posouzení průřezů

Průřez č.	Zatěžování	Návrhové využití	Posouzení podle vzorce
1	2LA L 70x70x7-4/1 EN 10056-1:1998		
	KV17	0,00 ≤1	100) Zanedbatelné vnitřní síly
	KV17	0,76 ≤1	101) Posouzení průřezu - tah podle 6.2.3
	KV17	0,92 ≤1	102) Posouzení průřezu - tlak podle 6.2.4
	KV17	0,02 ≤1	112) Posouzení průřezu - ohyb okolo y podle 6.2.5 - třída 3
	ZS6	0,05 ≤1	117) Posouzení průřezu - ohyb okolo z podle 6.2.5 - třída 3
	KV17	0,01 ≤1	124) Posouzení průřezu - posouvající síla ve směru y podle 6.2.6(4) - třída 3 nebo 4
	KV17	0,02 ≤1	143) Posouzení průřezu - ohyb a smyk podle 6.2.9.2 a 6.2.10 - třída 3 - obecný průřez
	ZS6	0,05 ≤1	153) Posouzení průřezu - ohyb okolo z a smyk podle 6.2.9.2 a 6.2.10 - třída 3 - obecný průřez
	KV17	0,04 ≤1	163) Posouzení průřezu - dvouosý ohyb a smyk podle 6.2.9.2 a 6.2.10 - třída 3 - obecný průřez
	KV17	0,87 ≤1	183) Posouzení průřezu - ohyb, smyk a osová síla podle 6.2.9.2 - třída 3 - obecný průřez
	KV17	0,95 ≤1	203) Posouzení průřezu - ohyb okolo z, smyk a osová síla podle 6.2.9.2 - třída 3 - obecný průřez
	KV17	0,95 ≤1	223) Posouzení průřezu - dvouosý ohyb, smyk a osová síla podle 6.2.10 a 6.2.9 - třída 3 - obecný průřez
2	2LA L 150x150x15-4/1 EN 10056-1:1998		
	ZS9	0,00 ≤1	100) Zanedbatelné vnitřní síly
	ZS10	0,04 ≤1	101) Posouzení průřezu - tah podle 6.2.3
	KV17	0,73 ≤1	102) Posouzení průřezu - tlak podle 6.2.4
	KV17	0,12 ≤1	112) Posouzení průřezu - ohyb okolo y podle 6.2.5 - třída 3
	ZS14	0,00 ≤1	117) Posouzení průřezu - ohyb okolo z podle 6.2.5 - třída 3
	KV17	0,14 ≤1	122) Posouzení průřezu - smyk ve směru z podle 6.2.6(4) - třída 3 nebo 4
	KV17	0,00 ≤1	124) Posouzení průřezu - posouvající síla ve směru y podle 6.2.6(4) - třída 3 nebo 4
	KV17	0,05 ≤1	131) Posouzení průřezu - kroucení podle 6.2.7
	KV17	0,11 ≤1	133) Posouzení průřezu - kroucení a smyk podle 6.2.7(5)
	KV17	0,12 ≤1	143) Posouzení průřezu - ohyb a smyk podle 6.2.9.2 a 6.2.10 - třída 3 - obecný průřez
	ZS14	0,00 ≤1	153) Posouzení průřezu - ohyb okolo z a smyk podle 6.2.9.2 a 6.2.10 - třída 3 - obecný průřez
	ZS13	0,04 ≤1	163) Posouzení průřezu - dvouosý ohyb a smyk podle 6.2.9.2 a 6.2.10 - třída 3 - obecný průřez
	KV17	0,93 ≤1	183) Posouzení průřezu - ohyb, smyk a osová síla podle 6.2.9.2 - třída 3 - obecný průřez
	KV17	0,68 ≤1	203) Posouzení průřezu - ohyb okolo z, smyk a osová síla podle 6.2.9.2 - třída 3 - obecný průřez
	KV17	0,93 ≤1	223) Posouzení průřezu - dvouosý ohyb, smyk a osová síla podle 6.2.10 a 6.2.9 - třída 3 - obecný průřez
	KV17	0,26 ≤1	228) Posouzení průřezu - dvouosý ohyb, smyk, kroucení a osová síla podle 6.2.10 a 6.2.9 - třída 3 - obecný průřez
	KV17	0,27 ≤1	271) Posouzení průřezu - normálové napětí a kroucení - elastické posouzení

3	2LA L 180x180x16-4/1 EN 10056-1:1998		
	ZS9	0,00 ≤1	100) Zanedbatelné vnitřní síly
	KV17	0,12 ≤1	101) Posouzení průřezu - tah podle 6.2.3
	KV17	0,51 ≤1	102) Posouzení průřezu - tlak podle 6.2.4
	ZS9	0,01 ≤1	112) Posouzení průřezu - ohyb okolo y podle 6.2.5 - třída 3
	KV17	0,02 ≤1	117) Posouzení průřezu - ohyb okolo z podle 6.2.5 - třída 3
	KV17	0,05 ≤1	122) Posouzení průřezu - smyk ve směru z podle 6.2.6(4) - třída 3 nebo 4
	KV17	0,00 ≤1	124) Posouzení průřezu - posouvající síla ve směru y podle 6.2.6(4) - třída 3 nebo 4
	ZS9	0,01 ≤1	143) Posouzení průřezu - ohyb a smyk podle 6.2.9.2 a 6.2.10 - třída 3 - obecný průřez
	KV17	0,02 ≤1	153) Posouzení průřezu - ohyb okolo z a smyk podle 6.2.9.2 a 6.2.10 - třída 3 - obecný průřez
	ZS14	0,08 ≤1	163) Posouzení průřezu - dvouosý ohyb a smyk podle 6.2.9.2 a 6.2.10 - třída 3 - obecný průřez
	KV17	0,67 ≤1	183) Posouzení průřezu - ohyb, smyk a osová síla podle 6.2.9.2 - třída 3 - obecný průřez
4	IS 1000/650/50/50/0		
	ZS4	0,00 ≤1	100) Zanedbatelné vnitřní síly
	ZS11	0,00 ≤1	101) Posouzení průřezu - tah podle 6.2.3
	KV17	0,04 ≤1	102) Posouzení průřezu - tlak podle 6.2.4
	ZS10	0,04 ≤1	111) Posouzení průřezu - ohyb okolo y podle 6.2.5 - třída 1 nebo 2
	ZS7	0,05 ≤1	116) Posouzení průřezu - ohyb okolo z podle 6.2.5 - třída 1 nebo 2
	KV17	0,18 ≤1	121) Posouzení průřezu - smyk ve směru z podle 6.2.6
	KV17	0,01 ≤1	123) Posouzení průřezu - smyk ve směru y podle 6.2.6
	ZS1	0,00 ≤1	126) Posouzení průřezu - smykové boulení podle 6.2.6(6)
	ZS10	0,04 ≤1	141) Posouzení průřezu - ohyb a smyk podle 6.2.5 a 6.2.8
	ZS7	0,05 ≤1	151) Posouzení průřezu - ohyb okolo z a smyk podle 6.2.5 a 6.2.8
	KV17	0,68 ≤1	181) Posouzení průřezu - ohyb, smyk a osová síla podle 6.2.9.1
5	U 280 Feron - DIN 1026-1		
	KV17	0,00 ≤1	100) Zanedbatelné vnitřní síly
	KV17	0,02 ≤1	101) Posouzení průřezu - tah podle 6.2.3
	KV17	0,02 ≤1	102) Posouzení průřezu - tlak podle 6.2.4
	KV17	0,18 ≤1	111) Posouzení průřezu - ohyb okolo y podle 6.2.5 - třída 1 nebo 2
	KV17	0,20 ≤1	116) Posouzení průřezu - ohyb okolo z podle 6.2.5 - třída 1 nebo 2
	KV17	0,15 ≤1	121) Posouzení průřezu - smyk ve směru z podle 6.2.6
	KV17	0,04 ≤1	123) Posouzení průřezu - smyk ve směru y podle 6.2.6
	ZS8	0,00 ≤1	126) Posouzení průřezu - smykové boulení podle 6.2.6(6)
	KV17	0,18 ≤1	141) Posouzení průřezu - ohyb a smyk podle 6.2.5 a 6.2.8
	KV17	0,20 ≤1	151) Posouzení průřezu - ohyb okolo z a smyk podle 6.2.5 a 6.2.8
	KV17	0,51 ≤1	161) Posouzení průřezu - dvouosý ohyb a smyk podle 6.2.6, 6.2.7 a 6.2.9
	KV17	0,34 ≤1	181) Posouzení průřezu - ohyb, smyk a osová síla podle 6.2.9.1
	KV17	0,14 ≤1	201) Posouzení průřezu - ohyb okolo z, smyk a osová síla podle 6.2.9.1
	KV17	0,94 ≤1	221) Posouzení průřezu - dvouosý ohyb, smyk a osová síla podle 6.2.10 a 6.2.9

6	Tyč 20		
	ZS8	0,00 ≤1	100) Zanedbatelné vnitřní síly
	KV17	0,27 ≤1	101) Posouzení průřezu - tah podle 6.2.3
	KV17	0,34 ≤1	102) Posouzení průřezu - tlak podle 6.2.4
	KV17	0,45 ≤1	112) Posouzení průřezu - ohyb okolo y podle 6.2.5 - třída 3
	KV17	0,45 ≤1	143) Posouzení průřezu - ohyb a smyk podle 6.2.9.2 a 6.2.10 - třída 3 - obecný průřez
	KV17	0,25 ≤1	163) Posouzení průřezu - dvouosý ohyb a smyk podle 6.2.9.2 a 6.2.10 - třída 3 - obecný průřez
	KV17	0,79 ≤1	183) Posouzení průřezu - ohyb, smyk a osová síla podle 6.2.9.2 - třída 3 - obecný průřez
	ZS13	0,14 ≤1	203) Posouzení průřezu - ohyb okolo z, smyk a osová síla podle 6.2.9.2 - třída 3 - obecný průřez
7	KV17	0,48 ≤1	223) Posouzení průřezu - dvouosý ohyb, smyk a osová síla podle 6.2.10 a 6.2.9 - třída 3 - obecný průřez
	2LA L 50x50x5-4/1 EN 10056-1:1998		
	KV17	0,00 ≤1	100) Zanedbatelné vnitřní síly
	KV17	0,13 ≤1	101) Posouzení průřezu - tah podle 6.2.3
	KV17	0,79 ≤1	102) Posouzení průřezu - tlak podle 6.2.4
	KV17	0,01 ≤1	112) Posouzení průřezu - ohyb okolo y podle 6.2.5 - třída 3
	ZS6	0,19 ≤1	117) Posouzení průřezu - ohyb okolo z podle 6.2.5 - třída 3
	KV17	0,01 ≤1	122) Posouzení průřezu - smyk ve směru z podle 6.2.6(4) - třída 3 nebo 4
	KV17	0,02 ≤1	124) Posouzení průřezu - posouvající síla ve směru y podle 6.2.6(4) - třída 3 nebo 4
	KV17	0,01 ≤1	143) Posouzení průřezu - ohyb a smyk podle 6.2.9.2 a 6.2.10 - třída 3 - obecný průřez
	ZS6	0,19 ≤1	153) Posouzení průřezu - ohyb okolo z a smyk podle 6.2.9.2 a 6.2.10 - třída 3 - obecný průřez
	KV17	0,01 ≤1	163) Posouzení průřezu - dvouosý ohyb a smyk podle 6.2.9.2 a 6.2.10 - třída 3 - obecný průřez
	KV17	0,14 ≤1	183) Posouzení průřezu - ohyb, smyk a osová síla podle 6.2.9.2 - třída 3 - obecný průřez
	KV17	0,82 ≤1	203) Posouzení průřezu - ohyb okolo z, smyk a osová síla podle 6.2.9.2 - třída 3 - obecný průřez
	KV17	0,32 ≤1	223) Posouzení průřezu - dvouosý ohyb, smyk a osová síla podle 6.2.10 a 6.2.9 - třída 3 - obecný průřez