VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

HANGÁR
HANGAR

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. Daniel Čajda
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. KAREL SÝKORA
SUPERVISOR

BRNO 2017

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

Student	Bc. Daniel Čajda
Název	Hangár
Vedoucí práce	Ing. Karel Sýkora
Datum zadání	31. 3. 2016
Datum odevzdání	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016

prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

1. Prostorové uspořádání hangáru.
2. ČSN EN 1993 (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 hangáru nepravidelného půdorysu.
Rozměry nosné konstrukce jsou patrny z podkladů , cca 142 x 72 m a výšce cca 7 m.
Konstrukci navrhněte pro lokalitu Brno - Medlánky.
Konstrukci navrhněte v několika variantách, vybranou variantu podrobně rozpracujte.
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.

STRUKTURA 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. Karel Sýkora
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem a posouzením dřevěné konstrukce hangáru v Brně - Medlánkách. Hangár je určen pro malá letadla, která se na tomto letišti nacházejí. Půdorysné rozměry jsou 116 m × 64 m a výšce 10,6 m. Objekt je půdorysně zakřiven, tvoří část půlkruhu. Příčné vazby jsou nepravidelné, tvořeny z plnostěnných vazníků, které staticky působí jako dvoukloubové oblouky. Konstrukce je navržena z lepeného lamelového dřeva, rostlého dřeva a ocelových spojovacích prvků. Spodní stavba je řešena betonovými bloky a základovými pasy. Prostorovou tuhost zajišťují příčná a podélná ztužidla. Střešní a obvodový plášť je tvořen sendvičovými panely.

KLÍČOVÁ SLOVA

hangár, dřevěná konstrukce, lepené lamelové dřevo, rostlé dřevo, ocelové spojovací prvky, plnostěnný vazník, dvoukloubový oblouk, vaznice, příčné ztužidlo, podélné ztužidlo, sloup, paždík, návrh, posouzení,

ABSTRACT

This thesis is about designing and assessmenting timber structure of hangar in Brno - Medlánky. Hangar is designed for small planes at Medlanky airport. Plan view of hangar is 116 m × 64 m and hight is 10,6 m. The building is curved and building forms part of a semicircle. The main frames are irregular and formed of solid girder which statically acting as a double-jointed arches. The structure is designed from glued laminated timber, solid timber and steel connecting elements. Substructure is solved by concrete blocks and foundation strips. A spatial rigidity of the structure is provided by the sway and longitudinal bracings. Roof and peripheral walls are made by sandwich panels.

KEYWORDS

hangar, timber structure, glued laminated timber, solid timber, steel connecting elements, solid girder, double-jointed arch, purlin, sway bracing, longitudinal bracing, column, girt, design, assessment

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Daniel Čajda *Hangár.* Brno, 2017. 12 s., 323 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. 2017

Bc. Daniel Čajda
autor práce

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat Ing. Karlovi Sýkorovi za odborné vedení diplomové práce, za vstřícné jednání a cenné rady, které mi v průběhu zpracování práce podával. Také bych chtěl poděkovat své rodině a Lidunce Smejkalové za podporu v životě a při studiu na vysoké škole.

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

A TECHNICKÁ ZPRÁVA
TECHNICAL REPORT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. Daniel Čajda
AUTHOR

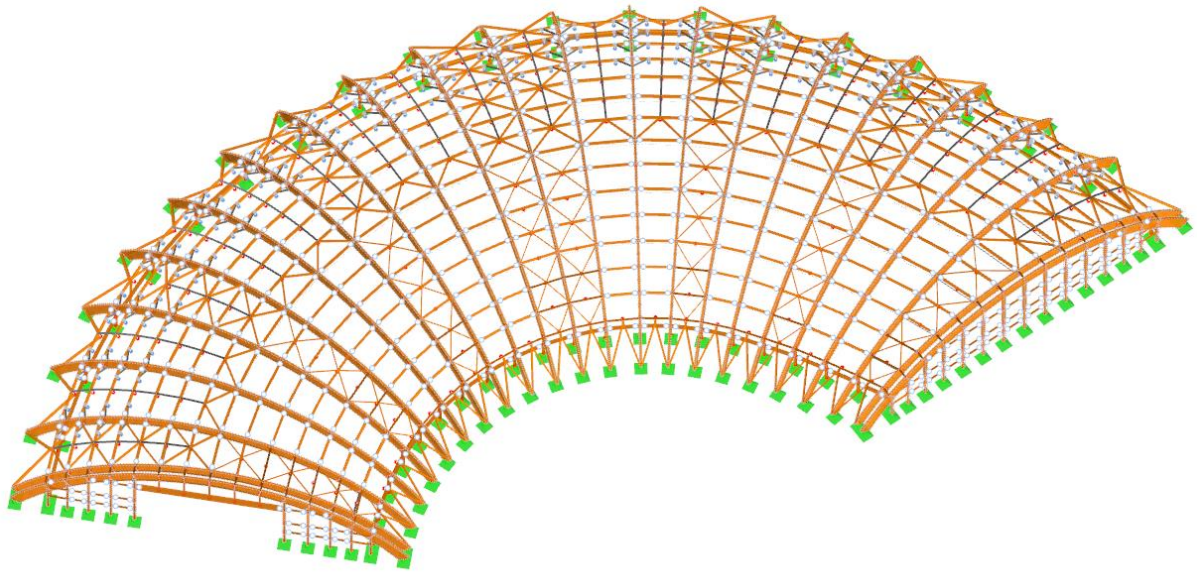
VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. KAREL SÝKORA
SUPERVISOR

BRNO 2017

Obsah

1 ÚVOD....3
2 VARIANTY ŘEŠENÍ....4
3 DISPOZICE KONSTRUKCE....4
4 NORMATIVNÍ DOKUMENTY....6
5 ZATÍŽENÍ....6
5.1 Stálé zatížení....6
5.2 Proměnné zatížení....6
5.2.1 Sníh....6
5.2.2 Vítr....7
6 POPIS KONSTRUKCE....7
6.1 Popis jednotlivých prvků konstrukce....8
6.1.1 Střešní plášť....8
6.1.2 Vaznice....8
6.1.2.1 Vrcholová vaznice....8
6.1.2.2 Vaznice 2....8
6.1.2.3 Vaznice 3....8
6.1.2.4 Vaznice 4....8
6.1.2.5 Vaznice 5....8
6.1.3 Vazník....9
6.1.4 Příčný sloup....9
6.1.5 Podélný sloup....9
6.1.6 Příčný paždík....9
6.1.7 Podélný paždík....9
6.1.8 Příčné ztužidlo....10
6.1.8.1 Příčné ztužidlo venkovní 1....10
6.1.8.2 Příčné ztužidlo venkovní 2....10
6.1.8.3 Příčné ztužidlo vnitřní 1....10
6.1.8.4 Příčné ztužidlo vnitřní 2....10
6.1.9 Podélné ztužidlo....10
6.2 Popis spojů konstrukce....11
6.2.1 Montážní spoj vazníku....11
6.2.2 Kotvení vazníku....11
6.2.3 Kotvení sloupů....11
6.2.4 Uložení sloupů na vazník....11

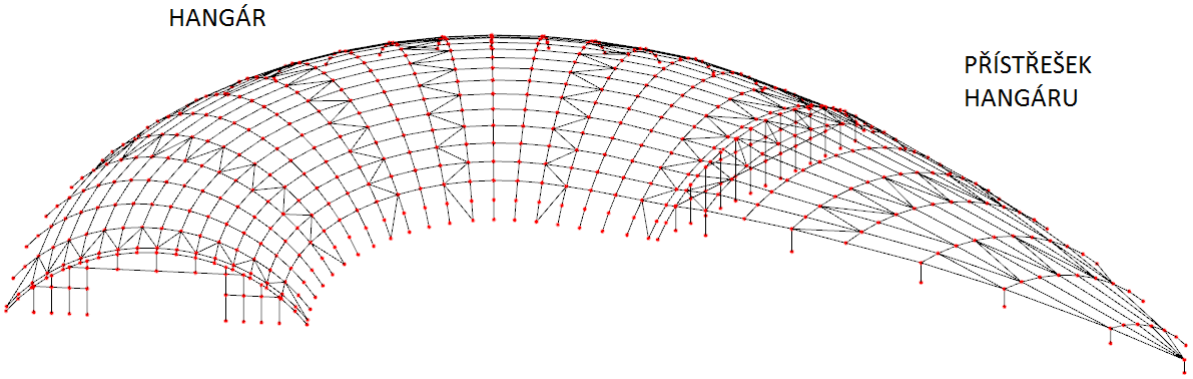
6.2.5 Uložení vaznice na vazník 11
6.2.6 Uložení paždíků na sloupy 11
6.2.7 Přípoj příčného vnitřního ztužidla 12
6.2.7.1 Příčné ztužidlo vnitřní 1 12
6.2.7.2 Příčné ztužidlo vnitřní 2 12
6.2.8 Přípoj příčného vnějšího ztužidla 12
6.2.9 Přípoj příčných táhel 12
6.2.10 Přípoj podélného ztužidla 12
6.2.11 Přípoj vzpěrek 12
7 VÝROBA 13
8 MONTÁŽ KONSTRUKCE 13
9 OCHRANA KONSTRUKCE 13
10 PŘEPRAVA 14
11 VÝKAZ MATERIÁLU 14
12 ZÁVĚR 16



Obrázek 1: Prostorový model konstrukce

1 ÚVOD

Diplomová práce se zabývá návrhem a posouzením nosné dřevěné konstrukce hangáru v Brně – Medlánkách. Hangár je určen pro malá letadla, která se na tomto letišti nacházejí. Diplomová práce byla vypracována na základě architektonického podkladu. V podkladech od architekta byla konstrukce navržena z plnostěnných lamelových vazníků a tohoto návrhu jsem se snažil držet i v možných konstrukčních variantách. Konstrukce byla také rozdělena na samostatný hangár a přístřešek hangáru, jak je vidět na obrázku 1: Axonometrický prutový model konstrukce. Přístřešek hangáru byl uvažován jako samostatná oddilatovaná konstrukce a nebylo s ní tak při výpočtech a výpočetním modelu uvažováno. V místě kotvení je vazník ve vnějším prostředí, takže musely být vytvořeny podélné sloupy pro stěnové opláštění.



Obrázek 2: Axonometrický prutový model konstrukce

Hangár je půdorysně zakřiven, tvoří část půlkruhu. Půdorysné rozměry jsou 116 m x 64 m při výšce 10,6 m. Světlá velikost vjezdového otvoru do hangáru je 14,4 m x 6,6 m. Tento otvor slouží pro vjezd/ výjezd letadel, ale i pro vstup osob.

Konstrukce je navržena z lepeného lamelového dřeva, rostlého dřeva a ocelových spojovacích prostředků. Spodní stavba bude řešena betonovými bloky a základovými pasy. Prosvětlení objektu zajišťuje velké množství světlíků, které se nachází ve střešní krytině.

2 VARIANTY ŘEŠENÍ

Jak již bylo řečeno v úvodu, bylo uvažováno pouze s variantou plnostěnného lamelového vazníku. Proto možnost variantních řešení byla omezena na dvoukloubovou a tříkloubovou variantu s možnou úpravou dřeva. Jednotlivé varianty jsou podrobně popsány v příloze B – STATICKÝ VÝPOČET v bodě 5 VARIANTY ŘEŠENÍ a v bodě 6 VYHODNOCENÍ VARIANT.

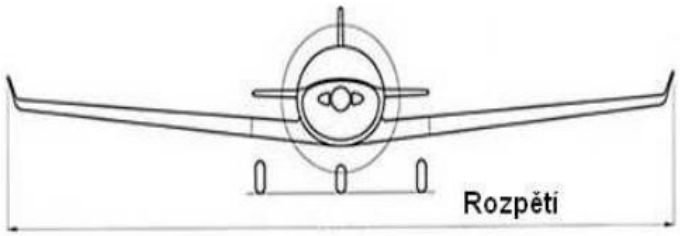
Jako nejlepší varianta byla vybrána dvoukloubová varianta s plnostěnným lamelovým vazníkem s pevnostní třídou dřeva GL24h a vaznicemi z rostlého dřeva C24 a C30. Pevností třída dřeva GL24h by mohla být u vazníku nahrazena variantou GL24c a tak efektivněji využít průřez. K této alternativě ohledně použití této pevnostní třídy jsem dospěl při zpracování diplomové práce, ale tato varianta při použití těchto materiálů nebyla dále podrobněji uvažována.

3 DISPOZICE KONSTRUKCE

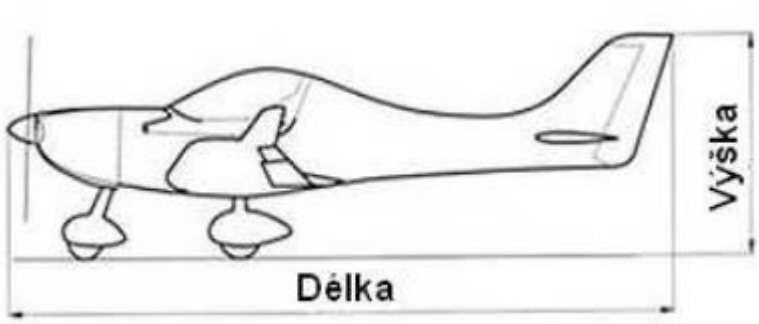
Hangár bude sloužit pro úschovu malých letadel. Rozměry jednotlivých letadel jsou v tabulce 1: Letadla. Tato letadla létají nebo mohou létat na letišti Brno – Medlánky. Rozměry letadel jsou vyobrazeny na obrázcích 3 a 4.

Tabulka 1: Letadla

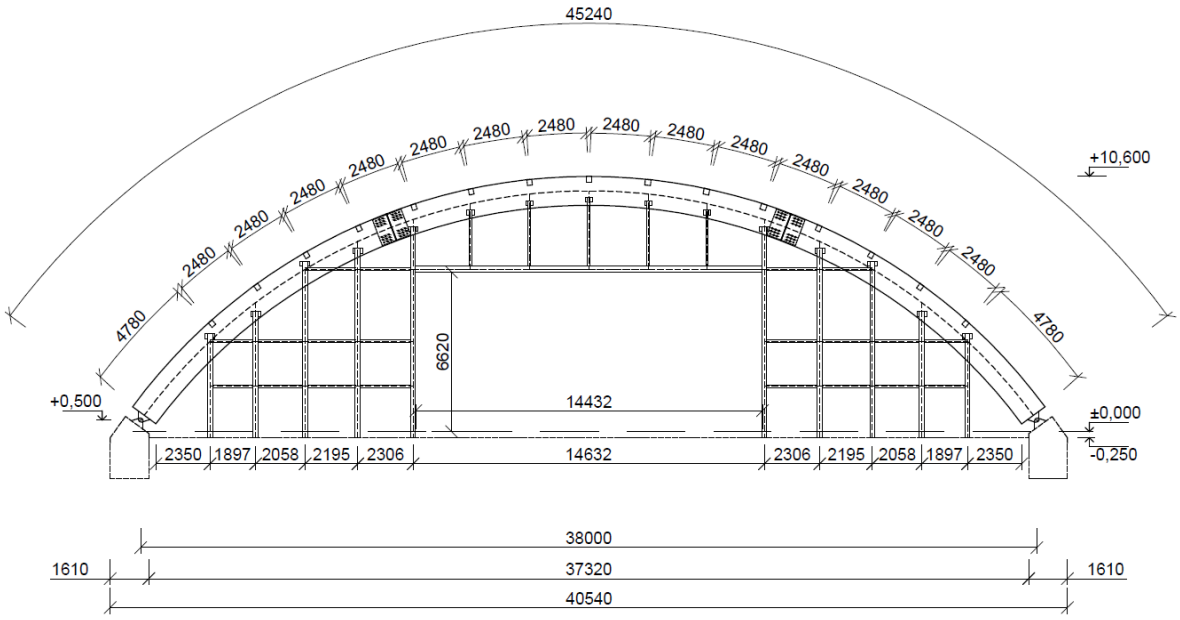
	rozpětí [m]	délka [m]	výška [m]	hmotnost [kg]
Zlín Z-226 MS	10,3	7,5	2,0	180
Maule	10,2	7,2	1,9	205
Piper J3C-65 Cub	10,8	6,8	2,1	195
Piper Pawnee	11,1	7,6	2,2	220
Zlín Z-24 Krajánek	12,2	6,3	1,6	140
LF-109 Pionýr	13,5	7,8	1,9	250
LF-107 Luňák	6,8	14,3	2,0	205
WT9 Dynamic	9,0	6,4	2,0	275
Fox 912	9,1	5,6	2,1	285
P-92 JS	8,6	6,4	1,8	285
D-7 Straton	10,8	6,8	2,0	145
D-8 Straton	13,0	7,1	2,0	190
Banjo MH	13,3	6,3	1,7	157
AT-3	7,3	5,9	1,9	360
HiMAX	7,6	4,5	2,1	150



Obrázek 3: Rozměry letadla 1



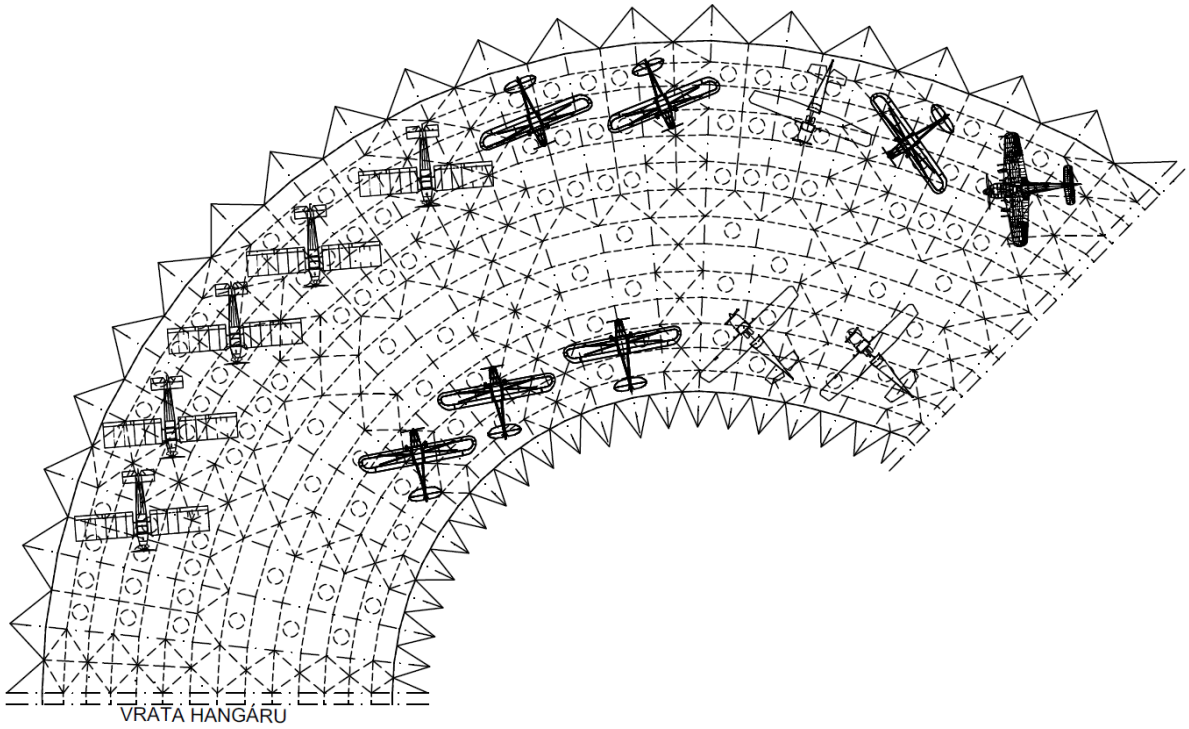
Obrázek 4: Rozměry letadla 2



Obrázek 5: Čelní pohled - vjezd

Maximální rozpětí křídel pro uvažovaná letadla je 13,5 m. Podle tohoto rozpětí křídel byla volena světlá velikost vjezdového otvoru do hangáru, která je 14,4 m x 6,6 m, viz obrázek 5: Čelní pohled – vjezd. Větší světlá výška je z důvodu možného uskladnění helikoptér, u kterých se výška pohybuje do 5,0 m, i když hangár není primárně navrhován pro uskladnění helikoptér.

Na obrázku 4: Dispozice objektu je vidět, že je hangár navržen přibližně pro 15 malých letadel. Které jsou uskladněny po stranách hangáru a střední část slouží k vjezdu a výjezdu letadel.



Obrázek 6: Dispozice objektu

4 NORMATIVNÍ DOKUMENTY

Nosná dřevěná konstrukce hangáru a výkresová dokumentace byla navržena v souladu s těmito platnými normativními dokumenty:

- ČSN EN 1990 – „Zásady navrhování konstrukcí“
- ČSN EN 1991 – „Zatížení konstrukcí“
- ČSN EN 1995 – „Navrhování dřevěných konstrukcí“
- ČSN 01 3487 – „Výkresy dřevěných konstrukcí“

5 ZATÍŽENÍ

5.1 Stálé zatížení

Mezi stálé zatížení uvažuji tíhu střešního pláště, bodové světlíky, které jsou umístěny ve střešním plášti, ostatní stálé zatížení (osvětlení, revizní lávky, ..), které je uvažováno jako 10 kg/m^2 a vlastní tíha konstrukce, která byla vygenerovaná programem RFEM.

5.2 Proměnné zatížení

5.2.1 Sníh

Hangár se nachází ve II. sněhové oblasti, která byla určena dle sněhové mapy. Charakteristická hodnota zatížení sněhem je s_k = 1,0 kN/m^2. Ve statickém výpočtu bylo uvažováno se sněhem rovnoměrně plným, polovičním, navátým a pro válcové střechy. Z toho bylo vytvořeno 7 zatěžovacích stavů.

5.2.2 Vítr

Hangár se nachází ve II. větrné oblasti. Základní rychlost větru je v_b = 25 m/s. Ve statickém výpočtu bylo uvažováno s tlakem a sáním na štítové stěny, tlakem a sáním v příčné oblasti, tlakem a sáním v podélné oblasti, kladným vnitřním tlakem (přetlakem) a záporným vnitřním tlakem (podtlakem). Přetlak a podtlak vznikají v důsledku otevřených hangárových vrat. Z toho bylo vytvořeno 8 zatěžovacích stavů. 2 zatěžovací stavy pro každou světovou stranu a to pro případ zavřených a otevřených hangárových vrat.

6 POPIS KONSTRUKCE

Konstrukci tvoří 23 příčných vazeb tvořených plnostěnnými vazníky z lepeného lamelového dřeva. Jednotlivé vazby jsou půdorysně zakřivené a tvoří část půlkruhu. Vazníky jsou ve vnitřním oblouku příčného řezu vzdáleny přibližně 2,7 m a ve vnějším 7,1 m. Tyto vzdálenosti se lehce v jednotlivých vazbách liší. Největší změna je u předposlední příčné vazby, kde se ve vnějším oblouku vzdálenost vazníků pohybuje okolo 8,5 m. Tato razantní změna je v důsledku uvažovaného přístřešku hangáru, který může být dostavěn. Právě toto místo rozhodovalo u posuzování vaznic a podélných paždíků.

Mezi vazníky jsou při horním okraji umístěny vaznice z rostlého dřeva. Vaznice jsou rozděleny na 5 různých vaznic, dle umístění v příčném řezu a statického systému. Vrcholové vaznice jsou umístěny ve vrcholu vazníku. Vaznice 2 jsou umístěny ve vnitřním oblouku. Vaznice 3 jsou první tři vaznice ve vnějším oblouku od vrcholové vaznice. Vaznice 4 a 5 jsou vzpěrkové vaznice, poslední čtyři ve vnějším oblouku. Horní povrchy vaznic jsou rovnoběžné s horními povrchy vazníků. Na vaznice je konstrukčně uložen střešní plášť KS1000 X-DEK od firmy Kingspan s bodovými světlíky R700 mm od firmy ALLUX.

Štítové a podélné stěny jsou tvořeny ze sloupů z lepeného lamelového dřeva, které jsou kluzně uloženy k vazníkům. Mezi sloupy jsou umístěny paždíky z lepeného lamelového dřeva. Na paždíky jsou konstrukčně uloženy stěnové panely KS1000 AWP od firmy Kingspan.

Hangárový vjezd je tvořen vjezdovým trámem a vjezdovými sloupy, které jsou z lepeného lamelového dřeva. Tyto dva prvky mají větší dimenzi průřezu z důvodu celkové tuhosti vjezdového rámu, na který budou umístěny posuvně skládací hangárová vrata od firmy TRIDO. Dimenze těchto prvků by byla upravena na základě požadavků výrobce hangárových vrat. Tyto vrata jsou konstrukčně připojeny k vjezdovému rámu.

Ztužení konstrukce je zajištěno pomocí příčných a podélných ztužidel. Příčná ztužidla se dělí na venkovní a vnitřní ve vnitřním a vnějším oblouku. Příčná ztužidla venkovní jsou ve všech příčných vazbách, jak ve vnitřním, tak ve vnějším oblouku. Příčná ztužidla vnitřní jsou v krajních polích a dále ob dvě příčné vazby a zdvojené uprostřed. Příčná ztužidla jsou umístěna při horním okraji povrchu vazníků, v rovině vaznic. Podélná ztužidla z lepeného lamelového dřeva jsou umístěna při horním okraji vazníků, ve vnějším oblouku u vrcholových vaznic. Na ně navazují příčná táhla z kruhové vysokopevnostní oceli od firmy Macalloy, která zajišťuji vaznice ve vnějším oblouku proti vyboření z roviny. Podélná ztužidla z oceli jsou umístěna při spodním okraji vazníků ob jednu vaznici, mimo vzpěrkové vaznice. Podélná ztužidla jsou tvořena z kruhové vysokopevnostní oceli od firmy Macalloy a čtvercové profily v krajních polích.

6.1 Popis jednotlivých prvků konstrukce

6.1.1 Střešní plášť

Je tvořen střešními panely KS1000 X-DEK od firmy Kingspan o tloušťce panelu 188 mm. Jde o střešní „velkorozponový“ kompoziční střešní panel se skrytým upevněním ke konstrukci ve spodní vlně.

6.1.2 Vaznice

Jsou zhotoveny z rostlého dřeva pevnosti C24 nebo C30. Jsou obdélníkového průřezu výšky 240 mm, šířka se u jednotlivých vaznic liší v násobku 20 mm. Stejná výška vaznic je z důvodu podobné proveditelnosti přípoje vaznice k vazníku. Osová vzdálenost vaznic je 2,48 m, rozpětí jednotlivých vaznic je proměnné. Všechny vaznice jsou umístěny při horních okrajích vazníků.

6.1.2.1 Vrcholová vaznice

Je zhotovena z rostlého dřeva C24 obdélníkového průřezu o rozměrech 240/220 mm. Staticky působí jako prostý nosník uložený mezi vazníky. Vrcholové vaznice jsou umístěny ve vrcholu vazníku.

6.1.2.2 Vaznice 2

Je zhotovena z rostlého dřeva C24 obdélníkového průřezu o rozměrech 240/200 mm. Statický působí jako prostý nosník uložený mezi vazníky. Vaznice 2 jsou umístěny ve vnitřním oblouku příčného řezu.

6.1.2.3 Vaznice 3

Je zhotovena z rostlého dřeva C24 obdélníkového průřezu o rozměrech 240/240 mm. Staticky působí jako prostý nosník uložený mezi vazníky. Vaznice 3 jsou první tři vaznice ve vnějším oblouku od vrcholové vaznice v příčném řezu. Tyto vaznice jsou zajištěny uprostřed rozpětí pomocí ocelových vysokopevnostních táhel od firmy Macalloy, proti vyboření z roviny.

6.1.2.4 Vaznice 4

Je zhotovena z rostlého dřeva C24 obdélníkového průřezu o rozměrech 240/200 mm. Staticky působí jako vzpěrkový nosník uložený mezi vazníky. Vaznice 4 jsou ve vnitřních polích příčných vazeb, poslední čtyři ve vnějším oblouku příčného řezu.

6.1.2.5 Vaznice 5

Je zhotovena z rostlého dřeva C30 obdélníkového průřezu o rozměrech 240/200 mm. Staticky působí jako vzpěrkový nosník uložený mezi vazníky. Vaznice 5 jsou v krajních polích příčných vazeb, poslední čtyři ve vnějším oblouku příčného řezu.

6.1.3 Vazník

Je zhotoven z lepeného lamelového dřeva GL24h obdélníkového průřezu o rozměrech 200/1200 mm. Varianta použitého materiálu vazníku z LLD GL24h by mohla být nahrazena variantou GL24c a tak efektivněji využít průřez. K této alternativě jsem dospěl při zpracování diplomové práce, ale tato varianta nebyla podrobněji rozpracována. Vazník staticky působí jako dvojkloubový nosník osazený na betonové kotevní bloky pomocí čepových spojů. Část vazníku dle architektonických podkladů není pod střešním pláštěm, u této části je uvažována třída provozu 3. Tato část je lokálně oplechovaná a zvýšená ochrana vůči škůdcům, dřevokaznému hmyzu a houbám. Vzepětí vazníku je 10,0 m a rozpětí 38,0 m. Každý vazník je složen ze 3 částí, které jsou spojeny montážními spoji. Spodní části vazníku mají rozpětí 12,9 m a vzepětí 0,9 m, vrcholová část má rozpětí 16,4 m a vzepětí 1,5 m.

6.1.4 Příčný sloup

Je zhotoven z lepeného lamelového dřeva GL24h obdélníkového průřezu o rozměrech 200/400 mm. Staticky působí jako prostý nosník osazený v dolní části kloubově na základový pas a v horní části kloubově, s umožněním svislého posunu na vazníku. Výšky jednotlivých sloupů jsou proměnné, závislé na výšce obloukové části vazníku. Osové vzdálenosti jednotlivých sloupů jsou nepravidelné, pohybují se okolo 2,3 m.

6.1.5 Podélný sloup

Je zhotoven z lepeného lamelového dřeva GL24h obdélníkového průřezu o rozměrech 160/360 mm. Staticky působí jako prostý nosník osazený v dolní části kloubově na základový pas a v horní části kloubově, s umožněním svislého posunu na vazníku. Výška sloupů je 3,0 m. Osová vzdálenost jednotlivých sloupů se liší podle vazníků.

6.1.6 Příčný paždík

Je zhotoven z lepeného lamelového dřeva GL24h obdélníkového průřezu o rozměrech 120/160 mm. Staticky působí jako prostý nosník osazený mezi příčné sloupy. Osová vzdálenost paždíků je proměnná. Rozpětí jednotlivých paždíků je závislé na příčných sloupech, pohybuje se okolo 2,3 m.

6.1.7 Podélný paždík

Je zhotoven z lepeného lamelového dřeva GL24h obdélníkového průřezu o rozměrech 160/360 mm. Staticky působí jako prostý nosník osazený mezi podélné sloupy. Rozpětí jednotlivých paždíků je závislé na podélných sloupech.

6.1.8 Příčné ztužidlo

6.1.8.1 Příčné ztužidlo venkovní 1

Je zhotoveno z lepeného lamelového dřeva GL24h obdélníkového průřezu o rozměrech 160/160 mm. Staticky působí jako příhradový prut, přenášející pouze normálové síly. Příčná ztužidla venkovní 1 jsou ve všech příčných vazbách ve vnitřním oblouku. Délka jednotlivých příčných ztužidel je nepravidelná, pohybující se okolo 3,1 m.

6.1.8.2 Příčné ztužidlo venkovní 2

Je zhotoveno z lepeného lamelového dřeva GL24h obdélníkového průřezu o rozměrech 240/240 mm. Staticky působí jako příhradový prut, přenášející pouze normálové síly. Příčná ztužidla venkovní 2 jsou ve všech příčných vazbách ve vnějším oblouku. Délka jednotlivých příčných ztužidel je nepravidelná, pohybující se okolo 4,8 m.

6.1.8.3 Příčné ztužidlo vnitřní 1

Je zhotoveno z lepeného lamelového dřeva GL24h obdélníkového průřezu o rozměrech 100/100 mm. Staticky působí jako příhradový prut, přenášející pouze normálové síly. Příčná ztužidla vnitřní 1 jsou v krajních polích a dále ob dvě příčné vazby a zdvojené uprostřed. Délka jednotlivých příčných ztužidel je nepravidelná, pohybující se okolo 2,5 m.

6.1.8.4 Příčné ztužidlo vnitřní 2

Je zhotoveno z lepeného lamelového dřeva GL24h obdélníkového průřezu o rozměrech 180/180 mm. Staticky působí jako příhradový prut, přenášející pouze normálové síly. Příčná ztužidla vnitřní 2 jsou v krajních polích a dále ob dvě příčné vazby a zdvojené uprostřed. Délka jednotlivých příčných ztužidel je nepravidelná, pohybující se okolo 3,0 m.

6.1.9 Podélné ztužidlo

Je navrženo z lepeného lamelového dřeva, ocelových konstrukčních táhel a z ocelových čtvercových profilů.

Část z lepeného lamelového dřeva GL24h je obdélníkového průřezu o rozměrech 180/180 mm. Staticky působí jako příhradový prut, přenášející pouze normálové síly. Je umístěno při horním okraji vazníků, ve vnějším oblouku u vrcholových vaznic. Na ně navazují příčná táhla.

Dále je podélné ztužidlo navrženo z konstrukčních táhel Macalloy 460 z oceli S460 o průměru ⌀10 mm, osazeny pomocí čepových spojů. Táhla jsou průběžná ve vnitřních polích při spodním okraji vazníku a jako diagonály mezi dolními a horními okraji vazníků v místě napojení příčných vnitřních ztužidel z vnější strany. Táhla přenášejí tahová namáhání do nejbližších příčných ztužidel.

V krajních polích je podélné ztužidlo tvořeno čtvercovými průřezy 60/60 o tloušťce stěny 3mm, při spodním okraji vazníku. Čtvercový průřez přenáší tlakové namáhání.

Podélná ztužidla z oceli jsou umístěna při spodním okraji vazníků ob jednu vaznici (4,96m), mimo vzpěrkové vaznice.

Podélná ztužidla z oceli by mohla být nahrazena dřevěnou příhradovinou na výšku vazníku. K této alternativě jsem dospěl při zpracování diplomové práce, ale tato varianta nebyla podrobněji rozpracována.

6.2 Popis spojů konstrukce

6.2.1 Montážní spoj vazníku

Je tvořen plechem P10 z oceli S235 vsazeným do drážek ve vazníku. Spoj tvoří 32 kolíků průměru ⌀30 mm a délce 160 mm a 4 svorníky M30 – 160. Kolíky i svorníky jsou do vazníku zapuštěny a jsou opatřeny dřevěnou pohledovou krycí zátkou.

6.2.2 Kotvení vazníku

Je kloubové, provedeno pomocí tří plechů, kterým prochází ocelový čep z oceli S235 o průměru ⌀60 mm. Horní plech P30 přivařen koutovými svary ke styčníkovému plechu P20 osazeného na spodní ploše vazníku přivařeného koutovými svary k plechu P10, který je vsazený do drážek ve vazníku. Plech P10 je zajištěn pomocí 6 kolíků průměru ⌀20 mm a délky 160 mm a 6 svorníků M20 - 160. Kolíky i svorníky jsou do vazníku zapuštěny a jsou opatřeny dřevěnou pohledovou krycí zátkou. Dolní plechy P15 jsou navařeny tupými svary k patnímu plechu P20, který je ukotven do betonového bloku pomocí 4 šroubů M24 – 250 osazených do vrtů s chemickou kotvou. Patní plech P20 je podlit betonem C20/25 tloušťky 20 mm. Všechny plechy jsou z oceli S235.

6.2.3 Kotvení sloupů

Je kloubové, provedeno pomocí dvojice svislých plechů P8, mezi které je vložena pata sloupu, kterou skrz prochází svorníky M20. Délka svorníků se liší dle tloušťky jednotlivých druhů sloupů. Svislé plechy P8 jsou přivařeny koutovými svary k patnímu plechu P10, který je ukotven do základového pasu pomocí 2 šroubů M24 – 250 osazených do vrtů s chemickou kotvou. Všechny plechy jsou z oceli S235.

6.2.4 Uložení sloupů na vazník

Je kloubové, provedeno pomocí dvojice úhelníkových plechů P4, mezi které je vložena hlava sloupu, kterou skrz prochází svorník M20. Délka svorníků se liší dle tloušťky jednotlivých druhů sloupů. Úhelníkové plechy jsou k vazníku připojeny ve spodní části vazníku. Připojení je pomocí 4 vrutů průměru ⌀8 mm a délky 60 mm. Všechny plechy jsou z oceli S235.

6.2.5 Uložení vaznice na vazník

Je pomocí plechu P8, který je vsunut do drážky ve vaznici, tento plech je uchycen pomocí 4 svorníků M16. Délka svorníků se liší dle tloušťky jednotlivých vaznic. Plech P8 je pomocí koutových svarů přivařen na plech P10, který je z každé strany vazníku připevněn pomocí 2 svorníků M16 – 230. Všechny plechy jsou z oceli S235.

6.2.6 Uložení paždíků na sloupy

Je provedeno na stejném principu, jako uložení vaznice na vazník.

6.2.7 Přípoj příčného vnitřního ztužidla

6.2.7.1 Příčné ztužidlo vnitřní 1

Přípoj je proveden pomocí plechu P8, který je vsunut do drážky v příčném ztužidle, tento plech je uchycen pomocí 2 svorníků M16 – 80. Plech P8 je tupým svarem přivařen na plech P10 pod úhlem 41,5°. Úhel přivaření se může u jednotlivých přípojů drobně lišit. Všechny plechy jsou z oceli S235.

6.2.7.2 Příčné ztužidlo vnitřní 2

Přípoj je proveden pomocí plechu P8, který je vsunut do drážky v příčném ztužidle, tento plech je uchycen pomocí 8 svorníků M16 – 220. Plech P8 je tupým svarem přivařen na plech P10 pod úhlem 48,0°. Úhel přivaření se může u jednotlivých přípojů drobně lišit.

Plech P10 je z každé strany vazníku připevněn pomocí 4 svorníků M16 – 230. Všechny plechy jsou z oceli S235.

6.2.8 Přípoj příčného vnějšího ztužidla

Je provedeno na stejném principu, jako přípoj příčného vnitřního ztužidla.

6.2.9 Přípoj příčných táhel

Je tvořen pomocí plechu P8, ve kterém je kruhový otvor průměru ⌀17 mm, sloužící pro osazení čepu průměru ⌀16 mm táhla systému Macalloy 460. Plech P8 je navařen koutovými svary k plechu P4, který je z každé strany vaznice připevněn pomocí 2 svorníků M10. Délka svorníků se liší dle tloušťky jednotlivých vaznic. Všechny plechy jsou z oceli S235.

6.2.10 Přípoj podélného ztužidla

Je tvořen pomocí plechu P8, ve kterém je kruhový otvor průměru ⌀17 mm, sloužící pro osazení čepu průměru ⌀16 mm táhla systému Macalloy 460. Plech P8 je navařen koutovými svary k plechu P4, který je z každé strany vazníku připevněn pomocí 2 svorníků M10 - 230.

Připojení čtvercového průřezu 60/60 o tloušťce stěny 3 mm je vytvořeno navařením průřezu koutovým svarem na styčníkový plech P4, který je připojen k vazníku pomocí 4 vrutů průměru ⌀8 mm a délky 60 mm. Všechny plechy jsou z oceli S235.

6.2.11 Přípoj vzpěrek

Je tvořen pomocí plechu P10, který je mezi dvěma úhelníky L60x40x5 přišroubovaný pomocí 2 šroubů M16. Plech P10 je navařen koutovými svary k plechu P4, který je pomocí 12 vrutů průměru ⌀8 mm a délky 80 mm připojen k vazníku. Plech P4 je pomocí 20 vrutů průměru ⌀8 mm a délky 80 mm připojen k vaznici. Všechny plechy jsou z oceli S235.

7 VÝROBA

Výroba prvků z lepeného lamelového dřeva se provede z řeziva tloušťky 40 mm, které bylo vysušeno na vlhkost nejvýše 15 %, vyfrézováno a roztřízeno. Přířezy se na koncích opatří zubovitým spojem a po nanesení lepidla se spojí v tzv. nekonečnou lamelu. Z nekonečné lamely se odřezají jednotlivé lamely požadované délky a uloží se do hraní. Lamely se znovu frézují, lepí, uloží nastojato vedle sebe a zalisují se. Lisovací přípravky umožňují výrobu přímých nosníků pro výrobu sloupů, paždíků, příčných ztužidel a výrobu zakřivených nosníků pro výrobu částí vazníků.

Výroba vaznic bude z hraněného řeziva vysušeného na vlhkost nejvýše 15 %.

8 MONTÁŽ KONSTRUKCE

Prvotní fází výstavby je betonáž betonových bloků a základových pasů. Na betonových blocích se provede přesné zaměření polohy patních plechů kotvení vazníku. Podle jejich umístění se do betonových bloků provedou vývrty pro chemické kotvy. Patní plechy se k betonovému bloku uchytí pomocí chemické kotvy a 4 šroubů M24 – 5.6. Dále se pomocí jeřábu provede osazení spodních částí vazníků dvou sousedních vazeb ve vnitřním oblouku. Tyto části se ve spodní části zajistí čepem průměru ⌀60 mm. Mezi těmito vazbami se provede osazení vaznic a příčných ztužidel vnitřních. Během montáže vaznic a příčných ztužidel jsou vazníky podepírány lešením. Obdobným způsobem se provede osazení spodních částí vazníku na protější straně vazby. Po té se pomocí jeřábu osadí vrcholová část vazníku, která se ke spodním částem upevní pomocí montážních spojů. Osadí se zbylé vaznice, příčná ztužidla vnitřní a podélná ztužidla. Montáž pokračuje obdobně, ale vždy po jedné vazbě, která se zajistí vaznicemi a dalšími prvky v dané vazbě. Po osazení všech vazníků, vaznic, příčných ztužidel vnitřních a podélných ztužidel se zaměří polohy patních plechů kotvení příčných a podélných sloupů. V základových pasech se vyvrtají otvory a pomocí chemické kotvy a 2 šroubů M24 – 5.6 se patní plechy připevní. Pomocí jeřábu se příčné sloupy osadí ve spodní části na patní plechy a v horní části k vazníku pomocí vrutů a svorníků. Vjezdové sloupy se osadí stejným způsobem. Po té se příčné sloupy zajistí příčnými paždíky a vjezdové sloupy vjezdovým trámem a vjezdovými sloupky. V další fázi se provede osazení podélných sloupů, které je obdobné jako u příčných sloupů. Na podélné sloupy se osadí podélné paždíky. Dále se provede osazení příčných ztužidel vnějších na vazníky ve vnitřním a ve vnějším oblouku. Po připojení všech ztužidel se provede osazení příčných táhel ve vnějším oblouku a také připojení vzpěrek k vaznicím a vazníkům. Na závěr se konstrukčně připojí střešní panely k vaznicím, stěnové panely k paždíkům a hangárová vrata k vjezdovému rámu.

9 OCHRANA KONSTRUKCE

Veškeré dřevěné prvky konstrukce se opatří impregnací proti houbám, dřevokaznému hmyzu a škůdcům. Impregnace se provede máčením. Dřevo se dále ošetří chemickým postřikem pro snížení jeho hořlavosti a šíření ohně. Povrchy budou opatřeny nátěrem bezbarvého laku.

Dřevěné prvky, které se nenacházejí pod střešními nebo stěnovými panely budou lokálně oplechovány a se zvýšenou ochranou vůči houbám, dřevokaznému hmyzu a škůdcům.

Všechny ocelové prvky konstrukce se opatří žárovým zinkováním jako ochrana proti korozi.

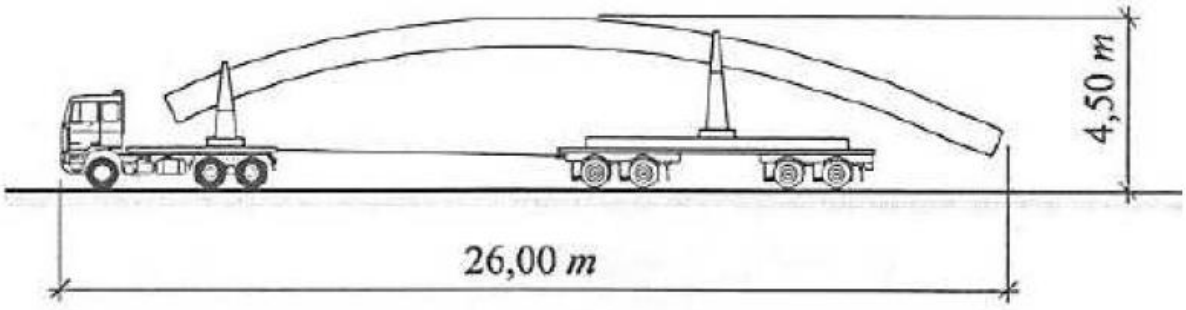
10 PŘEPRAVA

Přeprava jednotlivých částí vazníků a sloupů bude provedena pomocí tahače s plošinovým přívěsem. Tahač je schopen přepravit náklad do výšky 3,5 m a délky 24,0 m, jak je vidět na obrázku 7: Přeprava prvků. Prvky konstrukce nepřesahují délku 25 m ani šířku 3 m, tudíž není nutný policejní doprovod.

Maximální rozměry prvků:

části vazníku:	délka 12,9 m a výška 0,9 m
	délka 16,4 m a výška 1,5 m
Sloup:	délka 10,0 m
Vaznice:	délka 7,8 m
Podélné paždíky:	délka 7,8 m

Ostatní prvky nepřesahují délku 5,0 m a mohou být přepraveny pomocí nákladního vozidla.



Obrázek 7: Přeprava prvků

11 VÝKAZ MATERIÁLU

Délky jednotlivých prutů byly brány z vytvořeného prutového modelu v programu RFEM. Celková hmotnost konstrukce je pouze orientační.

Tabulka 2: Celkový výkaz materiálu

	HMOTNOST [t]
KONSTRUKČNÍ PRVKY (1)	156,2
SPOJOVACÍ PRVKY (1)	17,6
SPOJOVACÍ MATERIÁL (2)	4,7
CELKOVÁ HMOSNOST	**178,5**

(1) viz tab 3: Výkaz materiálu

(2) uvažováno jako 3 % hmotnosti konstrukčních prvků

tab. 3: Výkaz materiálu

PRVEK KONSTRUKCE	MATERIÁL	PRŮŘEZ	CELKOVÁ DÉLKA [m]	PLOCHA [m^2]	OBJEM [m^3]	HMOTNOST [t]
VAZNÍK	LLD - GL24h	200/1200	1027,4	2876,7	246,6	91,2
VAZNICE VRCHOLOVÁ	ROSTLÉ - C24	240/220	101,0	93,0	5,3	2,2
VAZNICE 2	ROSTLÉ - C24	240/200	553,5	487,1	26,6	11,2
VAZNICE 3	ROSTLÉ - C24	240/240	337,5	324,0	19,5	8,2
VAZNICE 4	ROSTLÉ - C24	240/200	471,0	414,5	22,6	9,5
VAZNICE 5	ROSTLÉ - C30	240/200	52,8	46,4	2,6	1,2
PŘÍČNÉ SLOUPY	LLD - GL24h	200/400	161,3	193,6	12,9	4,8
PODÉLNÉ SLOUPY	LLD - GL24h	160/360	157,9	164,2	9,1	3,4
PŘÍČNÉ PAŽDÍKY	LLD - GL24h	120/160	125,2	70,1	2,4	0,9
PODÉLNÉ PAŽDÍKY	LLD - GL24h	160/360	202,2	210,3	11,6	4,3
PŘÍČNÉ ZTUŽIDLO VENKOVNÍ 1	LLD - GL24h	160/160	205,4	131,5	5,2	1,9
PŘÍČNÉ ZTUŽIDLO VENKOVNÍ 2	LLD - GL24h	240/240	244,6	234,8	14,1	5,2
PŘÍČNÉ ZTUŽIDLO VNITŘNÍ 1	LLD - GL24h	100/100	355,7	142,3	3,6	1,3
PŘÍČNÉ ZTUŽIDLO VNITŘNÍ 2	LLD - GL24h	180/180	516,4	371,8	16,8	6,2
VJEZDOVÝ TRÁM	LLD - GL24h	240/560	14,6	23,4	2,0	0,7
VJEZDOVÉ SLOUPY	LLD - GL24h	240/560	17,6	28,2	2,4	0,9
VJEZDOVÉ SLOUPKY	LLD - GL24h	100/140	15,0	7,2	0,2	0,1
CELKEM	LLD - GL24h		**3043,2**	**4453,8**	**326,8**	**120,9**
CELKEM	ROSTLÉ - C24		**1463,0**	**1318,6**	**74,0**	**31,1**
CELKEM	ROSTLÉ - C30		**52,8**	**46,4**	**2,6**	**1,2**
CELKEM			**4558,9**	**5818,8**	**403,3**	**153,1**
PŘÍČNÉ TÁHLO	S460	R10	292,3	9,2	0,2	0,2
PODÉLNÉ TÁHLO	S460	R10	645,2	20,3	0,5	0,4
PODÉLNÉ ZTUŽIDLO	S235	TO 60/60/3	43,1	10,3	0,3	0,2
VZPĚRKY	S235	L 60X40X5	295,1	115,0	2,8	2,2
CELKEM	S460		**937,5**	**29,5**	**0,7**	**0,6**
CELKEM	S235		**338,3**	**125,4**	**3,1**	**2,5**

PRVEK SPOJE	MATERIÁL	ŠÍŘKA [mm]	VÝŠKA [mm]	TLOUŠŤKA [mm]	POČET [ks]	OBJEM [m^3]	ρ [kg/m^3]	HMOTNOST [t]
P10 - 1270x1140	S235	1270	1140	10	46	0,666	7850	5,2
P30 - 400x300		400	300	30	46	0,166		1,3
P20 - 400x200		400	200	20	46	0,074		0,6
P10 - 510x400		510	400	10	46	0,094		0,7
P15 - 400x300		400	300	15	92	0,166		1,3
P20 - 400x200		400	200	20	46	0,074		0,6
P8 -220x120		220	120	8	134	0,028		0,2
P10 -360x120		360	120	10	67	0,029		0,2
P4 - 250x150		250	150	4	134	0,020		0,2
P4 - 150x110		150	110	4	134	0,009		0,1
P10 - 240x220		240	220	10	4	0,002		0,0
P10 - 240x200		240	200	10	148	0,071		0,6
P10 - 240x240		240	240	10	148	0,085		0,7
P8 - 260x240		260	240	8	330	0,165		1,3
P10 - 520x220		520	220	10	224	0,256		2,0
P8 - 350x100		350	100	8	224	0,063		0,5
P8 - 530x180		530	180	8	272	0,208		1,6
P8 - 60x50		60	50	8	360	0,009		0,1
P4 - 190x90		170	90	4	360	0,022		0,2
P4 - 190x90		150	60	4	56	0,002		0,0
P10 - 165x60		165	60	10	80	0,008		0,1
P10 - 220x60		220	60	10	80	0,011		0,1
P4 - 280x105		280	105	4	80	0,009		0,1
P4 - 210 x 194		210	194	4	80	0,013		0,1
CELKEM	S235							**17,6**

12 ZÁVĚR

Konstrukce je navržena podle platných norem tak, aby byla schopná odolat 17 zatěžovacím stavům a jejich kombinacím, které byly pro danou stavbu uvažovány. Posouzení jednotlivých prvků bylo provedeno na prostorovém prutovém modelu v programu RFEM, hlavní prvky byly posouzeny i ručním výpočtem. Nosná konstrukce z lepeného lamelového dřeva a rostlého dřeva vyhovuje na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti. Všechny spoje konstrukce vyhovují na mezní stav únosnosti.

V Brně dne 13.1.2017

Bc. Daniel Čajda

Seznam použité literatury

Normativní dokumenty

[1] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí

[2] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb

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

[4] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem

[5] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

[6] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků

[7] ČSN EN 1995-1-1 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

[8] ČSN EN 14080: Dřevěné konstrukce – Lepené lamelové dřevo – Požadavky

[9] ČSN EN 386: Lepené lamelové dřevo – Požadavky na užitné vlastnosti a minimální výrobní požadavky

[10] ČSN EN 1194: Dřevěné konstrukce – Lepené lamelové dřevo – Třídy pevnosti a stanovení charakteristických hodnot

[11] ČSN 01 3487 – „*Výkresy dřevěných konstrukcí*“

Odborná literatura

[12] KUKLÍK, P., KUKLÍKOVÁ, A. Navrhování dřevěných konstrukcí: příručka k ČSN EN 1995-1.1 vyd. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010, 140s

[13] STRAKA, B., SÝKORA, K. Dřevěné konstrukce, Studijní opory BO03, VUT-Fast Brno, 2005

[14] SÝKORA, K. Kovové a dřevěné konstrukce, Studijní opory BO07, VUT-Fast Brno, 2005

[15] KOŽELOUH, Bohumil. Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5 – Step 1 – Navrhování a konstrukční materiály. Zlín: Bohumil Koželouh, 1998

[16] KOŽELOUH, Bohumil. Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5 – Step 2 – Navrhování detailů a nosných systémů. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2004

Webové stránky

[17] Sněhová mapa. [online]. [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: http:// http://snehovamapa.cz/

[18] Spoje ocelových konstrukcí – šroubové spoje. [online]. [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/kdk/pilgr.m/bo02/bo02_cvi_02.pdf

[19] Spoje ocelových konstrukcí – svarové spoje. [online]. [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/kdk/pilgr.m/bo02/bo02_cvi_05.pdf

[20] Detaily ocelových konstrukcí. [online]. [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: http://detailyok.webnode.cz/halovy-objekt/stresni-konstukce/vaznice/

[21] KINGSPAN – střešní panely. [online]. [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: http://panely.kingspan.cz/stresni-PUR-panely-polyuretanove-panely-KS1000-RW-zatepleni-budov-1828.html

[22] KINGSPAN – stěnové panely. [online]. [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: http://panely.kingspan.cz/stenove-PUR-panely-KS1000-SF-zatepleni-fasad-zatepleni-budov-1751.html

[21] TENSION SYSTEMS – táhla Macalloy . [online]. [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: http://www.tension.cz/www/media/files/pdf-k-pripojeni_12/macalloy-system-konstrukcnich-tahel_57.pdf

Seznam použitých zkratek a symbolů

Velká písmena

A	průřezová plocha
A_s	průřezová plocha šroubu
A_{net}	průřezová plocha oslabeného průřezu
C_0 (z)	součinitel orografie
Ce	součinitel expozice
Cdir	součinitel směru větru
$C_{pe,10}$	součinitel tlaku
Cr (z)	součinitel nerovnosti terénu
Cseason	součinitel ročního období
Ct	součinitel teploty
F_{sd}	návrhová hodnota působící na šrouby
$F_{v,Rd}$	návrhová únosnost šroubu ve střihu
$F_{b,Rd}$	návrhová únosnost šroubu v otlačení
I_b	moment setrvačnosti rámové spojky
I_{eff}	účinný moment setrvačnosti členěného prutu
I_y	moment setrvačnosti průřezu k ose y
I_z	moment setrvačnosti průřezu k ose z
I_w	výsečový moment setrvačnosti
I_t	moment setrvačnosti v kroucení
I_{ch}	moment setrvačnosti jednoho pásu členěného prutu v rovině
Iv (z)	intenzita turbulence
$L_{cr,y}$	kritická vzpěrná délka kolmo k ose y
$L_{cr,z}$	kritický vzpěrná délka kolmo k ose z
L_{LT}	vzpěrná délka klopení
M_{cr}	pružný kritický moment při klopení
$M_{b,Rd}$	návrhová únosnost v ohybu při klopení
$M_{y,ed}$	návrhová hodnota ohybového momentu k ose y
$M_{z,ed}$	návrhová hodnota ohybového momentu k ose z
$M_{y,Rd}$	návrhová únosnost průřezu k ose y
$M_{z,Rd}$	návrhová únosnost průřezu k ose z
MSÚ	mezní stav únosnosti
MSP	mezní stav použitelnosti
N	normálová síla
N_{cr}	kritická síla
$N_{ed,c}$	tlaková návrhová hodnota osové síly
$N_{ed,t}$	tahová návrhová hodnota osové síly
$N_{y,Rd}$	návrhová únosnost ve vzpěrném tlaku k ose y
$N_{z,Rd}$	návrhová únosnost ve vzpěrném tlaku k ose z
$N_{ch,ed}$	návrhová tlaková síla v pásu uprostřed délky členěného prutu
$N_{ch,b,rd}$	návrhová vzpěrná únosnost pásu
$N_{rd,t}$	návrhová únosnost v tahu
$N_{u,rd}$	návrhová únosnost oslabeného průřezu
S	zatížení pro plný sníh
S_v	smyková tuhost panelu členěného prutu s rámovými spojkami
Sk	charakteristická hodnota zatížení sněhem
Vy	smyková síla k ose y
Vz	smyková síla k ose z
$V_{y,ed}$	návrhová hodnota smykové síly k ose y

$V_{z,ed}$	návrhová hodnota smykové síly k ose z
$W_{el,y}$	elastický modul průřezu k ose y
$W_{el,z}$	elastický modul průřezu k ose z
$W_{pl,y}$	plastický modul průřezu k ose y
$W_{pl,z}$	plastický modu průřezu k ose z
Z	tahová síla v kotevních šroubech
ZŠ	zatěžovací šířka

Malá písmen

a	účinná výška svaru
b	šířka průřezu
b	délka kolmá na směr větru
b_p	šířka patky
e	excentricita
e_1	vzdálenost šroubu od kraje
d	délka rovnoběžná se směrem větru
d	jmenovitý průměr šroubu
d	délka patky
d_0	průměr šroubu
f_y	mez kluzu
f_u	mez pevnosti
f_{ub}	mez pevnosti materiálu šroubu
f_{ck}	charakteristický hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku
f_{ck}	výpočtová hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku
g_k	zatížení na 1 m^2
g_s	hmotnost světlíku
g_p	hmotnost panelu
h	výška průřezu
i_y	poloměr setrvačnosti k ose y
i_z	poloměr setrvačnosti k ose z
k_I	součinitel turbulence
kr	součinitel terénu
k_{yy}	součinitel interakce
k_{zy}	součinitel interakce
n	počet střihových rovin
q_p	maximální charakteristický tlak
p_1	rozteč mezi šrouby
t	tloušťka
t_f	tloušťka pásnice
t_w	tloušťka pásnice
u_y	průhyb k ose y
u_z	průhyb k ose z
v_b	základní rychlost větru
$v_{b,0}$	charakteristická desetiminutová střední rychlost větru
v_m	charakteristický střední rychlost větru
w_e	tlak větru na povrchu
w_{max}	maximální průhyb
z_e	referenční výška
z_0	délka nerovnosti
z_{min}	minimální výška
z_{max}	maximální výška

Řecká písmena

α	sklon střechy
α_1	součinitel imperfekce
β	součinitel podepření
β	úhel přípojení
δ	průhyb
δ_2	doporučený průhyb
γ_c	součinitel spolehlivosti materiálu
γ_{M1}	součinitel spolehlivosti materiálu
γ_{M2}	součinitel spolehlivosti pro spoje
γ_G	součinitel zatížení pro stálé zatížení
$\gamma_{G,min}$	součinitel zatížení pro stálé zatížení – příznivý
γ_Q	součinitel zatížení pro proměnné zatížení
ε	součinitel zavisející na fy
λ_1	štíhlost
λ'_y	poměrná štíhlost k ose y
λ'_z	poměrná štíhlost k ose z
λ'_{LT}	poměrná štíhlost při klopení
μ_1	tvarový součinitel střech
μ_{cr}	bezrozměrný kritický moment
ρ	měrná hmotnost vzduchu
$\sigma_\perp$	normálové napětí kolmé
$\sigma_{b,max}$	maximální napětí v betonu
$\tau_\perp$	smykové napětí kolmé
τ_{II}	smykové napětí rovnoběžné
χ_{LT}	součinitel klopení
χ_y	součinitel vzpěrnosti k ose y
χ_z	součinitel vzpěrnosti k ose z
χ_T	součinitel vzpěrnosti při prostorovém vzpěru
ϕ_y	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti k ose y
ϕ_z	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti k ose z
ϕ_{LT}	hodnota pro výpočet součinitele klopení

Seznam příloh

A TECHNICKÁ ZPRÁVA

B STATICKÝ VÝPOČET

C VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

D VÝSTUPY Z PROGRAMU RFEM