



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. Pavla Matějková

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

Ing. JAN BARNAT, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2019



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. Pavla Matějková
Název	Hangár
Vedoucí práce	Ing. Jan Barnat, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2018
Datum odevzdání	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

[1] ČSN EN 1990- Zásady navrhování konstrukcí

[2] ČSN EN 1991- Zatížení konstrukcí

[3] ČSN EN 1993- Navrhování ocelových konstrukcí

[4] Melcher J., Straka B.: Kovové konstrukce – Konstrukce průmyslových budov, SNTL Praha 1985

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Vypracujte návrh nosné konstrukce hangáru pro malá letadla. Objekt se bude nacházet v lokalitě města Brna. Minimální rozpětí konstrukce zastřešení je stanoveno na 30 m. V hangáru by měla být odstavena minimálně 4 malá motorová letadla. Nosnou konstrukci vypracujte v předběžném návrhu ve dvou variantách. Pro detailní řešení zvolte vhodně jednu z těchto variant. Pro nosnou konstrukci zvolte ocel řady S235 nebo S355.

Vypracujte statický výpočet hlavních nosných částí konstrukce včetně řešení směrných detailů. Vypracujte technickou zprávu a výkresovou dokumentaci v rozsahu specifikovaném vedoucím práce.

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. Jan Barnat, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem a posouzením nosné ocelové konstrukce hangáru pro malá letadla v lokalitě Brno-Medlánky. Půdorysné rozměry jsou 40,0×44,0 m, výška konstrukce je 10,0 m. Byly vypracovány dvě předběžné konstrukční varianty; jejich hlavní rozdíl je tvar příhradového vazníku. Obě varianty byly posouzeny na kombinaci sedmnácti zatěžovacích stavů. Následné porovnání variant vedlo ke zvolení finální varianty, která byla podrobně zpracována. Příhradový vazník v této variantě je obloukový, výška příhrady je 1,5 m, jednotlivé prvky jsou tvořeny z čtvercových trubek. Byl proveden podrobný statický výpočet včetně výpočtu spojů, výkresové dokumentace a technické zprávy.

Hlavní konstrukční materiál je ocel S235JR.

KLÍČOVÁ SLOVA

Ocel, ocelová konstrukce, nosná konstrukce, hangár, příhradovina, obloukový příhradový vazník, kopule, čtvercová trubka.

ABSTRACT

Diploma thesis contains a design of steel load-bearing structure of a hangar placed in Brno-Medlánky. The ground dimensions are 40.0×44.0 m, the height of the building is 10.0 m. Two preliminary variants of the design solution were processed; main difference is the shape of the truss girder. Both variants were assessed for a combination of seventeen load cases. The comparison of the variants led to the selection of the final variant, which was assessed in detail. The girder truss in this variant is an arched truss, the height of the truss is 1.5 m, the individual elements are made of square hollow sections. A detailed static calculation was performed including the calculation of joints, drawing documentation and technical report.

The main construction material is S235JR steel.

KEYWORDS

Steel, steel structure, load-bearing structure, hangar, truss, arched truss girder, dome, square hollow section.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Pavla Matějková *Hangár*. Brno, 2019. 28 s., 375 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Jan Barnat, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Hangár* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 11. 1. 2019

Bc. Pavla Matějková
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

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

V Brně dne 11. 1. 2019

Bc. Pavla Matějková
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych tímto poděkovala svému vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Barnatovi, Ph. D. za odborné vedení, poskytnuté rady a vstřícné a trpělivé jednání.

Dále bych ráda poděkovala svým rodičům a přátelům za podporu po celou dobu mého studia.

OBSAH PRÁCE

- A** Technická zpráva
- B** Porovnání variant
- C** Statický výpočet – varianta A
- D** Programový výstup z programu SCIA – varianta A
- E** Programový výstup z programu SCIA – varianta B
- F** Výkresová dokumentace
 - 01 Výkres dispozice – varianta A
 - 02 Výkres dispozice – varianta B
 - 03 Výkres montážního dílce vazníku – varianta A
 - 04 Výkres směrných detailů – varianta A
 - 05 Kotevní plán – varianta A



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

A – TECHNICAL REPORT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

Bc. Pavla Matějková

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

Ing. JAN BARNAT, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2019

Obsah

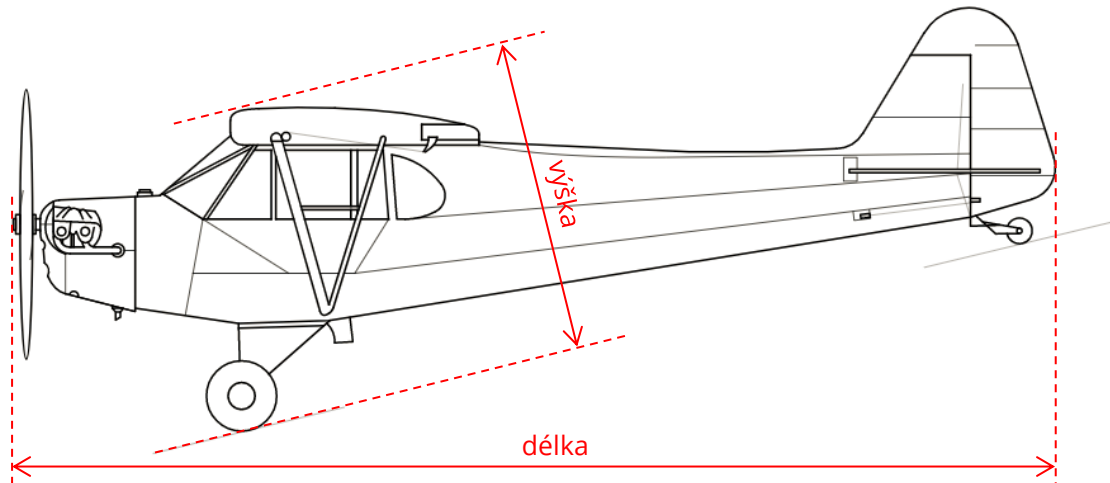
1	Úvod	11
1.1	Volba rozměrů konstrukce.....	11
1.2	Základní údaje.....	13
1.3	Geometrie	14
2	Použité normativní dokumenty	14
3	Zatížení konstrukce	14
3.1	Zatížení stálá	14
3.2	Zatížení proměnná	15
3.3	Kombinace zatížení	16
4	Popis konstrukčního řešení a jednotlivých prvků konstrukce	16
4.1	Obvodový plášť.....	16
4.2	Příhradové vazníky	16
4.3	Příhradové vazníky kopule	18
4.4	Spojovací půl-prstenec	18
4.5	Podélná ztužidla	18
4.6	Střešní ztužidla.....	19
4.7	Mezivazníkové pruty	19
4.8	Čelní stěna.....	19
4.9	Předsazený prut	20
5	Povrchová úprava konstrukce	20
6	Výroba a montáž	20
7	Výpočet	21
8	Výkaz materiálu	22
9	Seznam použitých obrázků a tabulek	23
9.1	Seznam obrázků	23
9.2	Seznam tabulek	23
10	Seznam použitých zdrojů	24
11	Seznam použitých zkratk a symbolů	25

1 Úvod

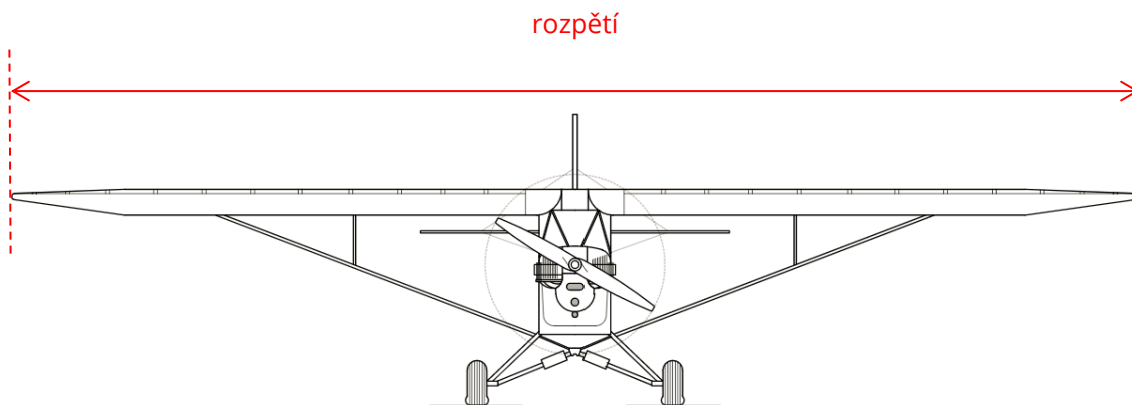
Diplomová práce se zabývá návrhem a posouzením nosné konstrukce hangáru pro malá motorová letadla v lokalitě Brno – Medlánky, Jihomoravský kraj. Hangár je určen pro úschovu minimálně 4 malých motorových letadel.

1.1 Volba rozměrů konstrukce

Základní rozměry hangáru byly voleny s ohledem k velikosti malých motorových letadel, které se vyskytují na letišti Brno – Medlánky. Rozměry letadel (viz Tabulka 1) jsou schematicky znázorněny na Obr. 1 a 2 s letadlem Piper J3C – 65 Cub.



Obr. 1 Znázornění měření výšky a délky letadel



Obr. 2 Znázornění měření rozpětí letadel

Tabulka 1 Typy letounů vyskytující se na letišti Brno-Medlánky a jejich rozměry

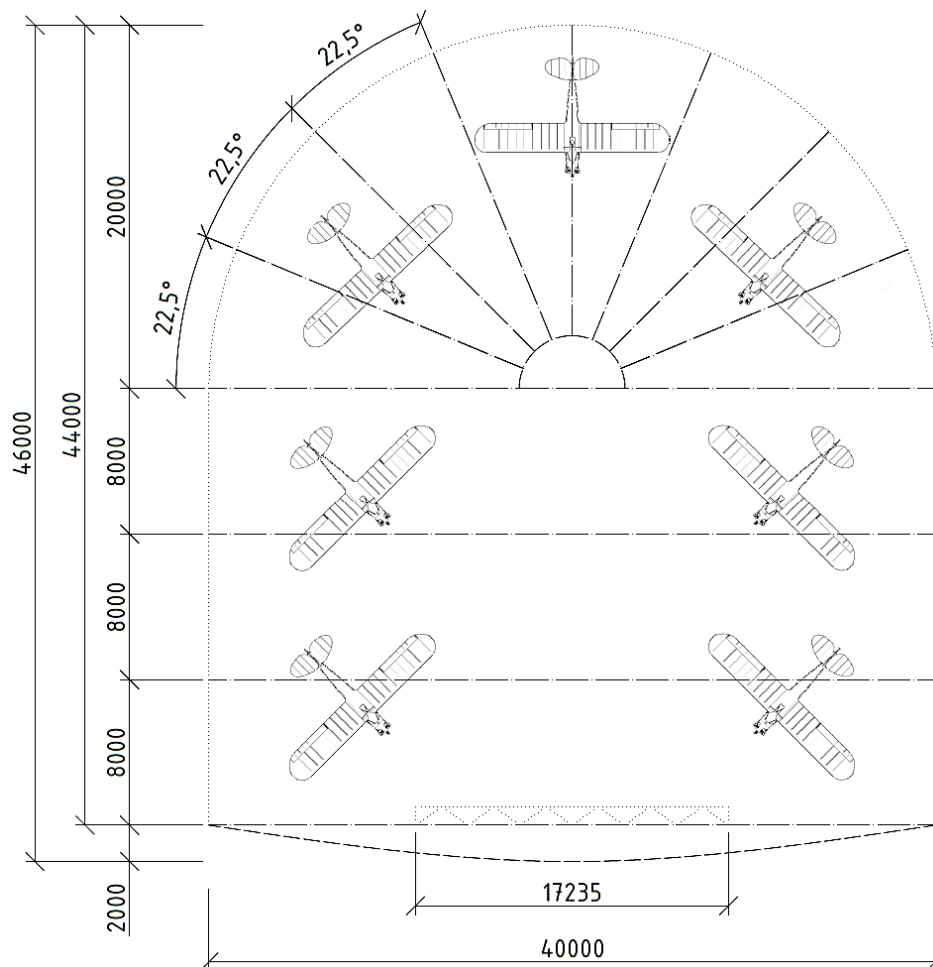
TYP LETOUNU	ROZPĚTÍ [m]	DÉLKA [m]	VÝŠKA [m]
Piper J3C-65 Cub	10,74	6,71	2,00
Maule	10,21	7,16	1,89
Zlín Z-226 MS	10,26	7,49	2,06
Piper Pawnee	11,02	7,55	2,19
WT9 Dynamic	9,00	6,40	2,00
Fox 912	9,15	5,80	1,70
Savage	9,31	6,39	2,03
Straton D8 Moby Dick	13,00	7,10	2,40

S ohledem na velikosti letadel vyskytujících se na letišti v Brně – Medláncích byly zvoleny půdorysné rozměry konstrukce 40,0×44,0×10,0 m. Konstrukci lze rozdělit na dvě části – přední půdorysně obdélníkovou klenbovou část o velikosti 40,0×24,0 m a zadní půdorysně půl kruhovou kopulovou část o poloměru 20,0 m. Přední klenbová část tvoří 4 příčné vazby o osové vzdálenosti 8,0 m, které jsou tvořeny příhradovým obloukovým vazníkem o výšce 1,5 m. Vazník je kloubově uložen.

Zadní kopulová část je tvořena 7 vazbami, které jsou rovnoměrně rozmístěny (úhel mezi vazbami je 22,5°) po obvodu kruhu a jsou taktéž kloubově uloženy. Kopulové vazby jsou tvořeny stejným příhradovým obloukovým vazníkem jako vazby v přední části konstrukce, ale mají poloviční délku. Kopulové vazby jsou ke zbytku konstrukce připojeny pomocí spojovacího půl-prstence, který je kloubově uložen na poslední, čtvrtou příčnou vazbu přední klenbové části konstrukce.

Prostorovou tuhost konstrukce v obou směrech zajišťují podélná příhradová ztužidla a střešní ztužidla (systémová táhla od firmy Protah).

V čelní stěně jsou umístěna hangárová samonosná posuvná vrata o rozměrech 17,24×6,14 m od firmy Trido. Hmotnost vrat se přenáší prostřednictvím pojezdových kol na podlahu tak, aby konstrukce hangáru byla co nejméně namáhána. Pojezdový profil se připevní na hotovou podlahu. Na horní straně jsou vrata pouze vedená.



Obr. 3 Schématické rozmístění letadel v hangáru

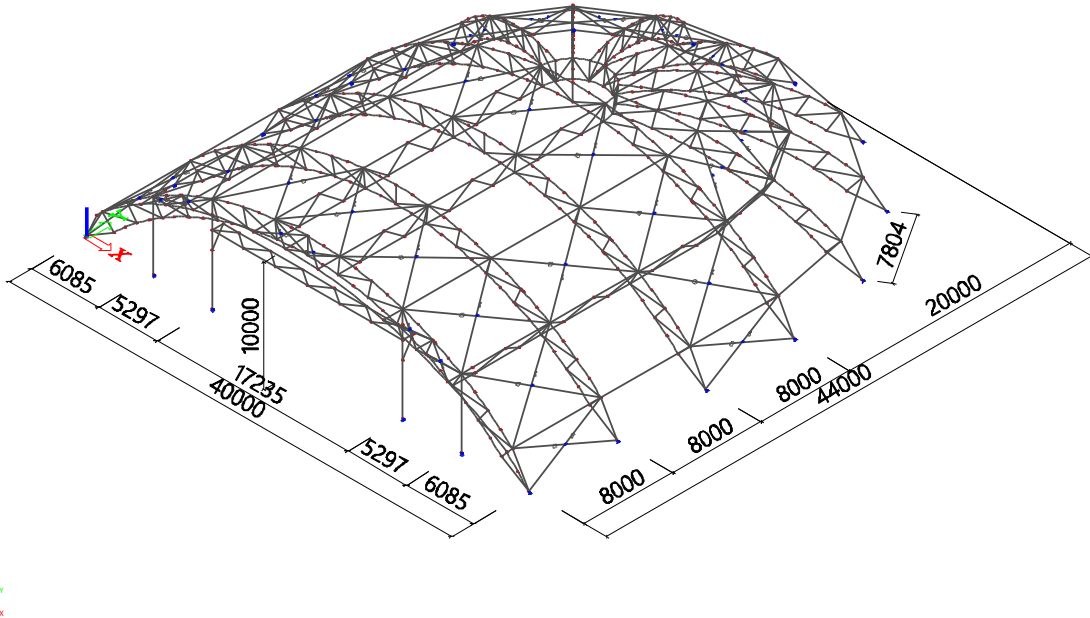
1.2 Základní údaje

Tabulka 2 Základní údaje o konstrukci

Šířka konstrukce	40,0 m
Délka konstrukce	44,0 m
Výška konstrukce	10,0 m
Výška příhradového oblouku	1,5 m
Vzdálenost příčných vazeb v přední část konstrukce	8,0 m
Hodnota přesazení čelního prutu	2,0 m
Velikost hangárových vrat	17,24 × 6,14 m
Základní materiál	S235JR

1.3 Geometrie

Detailní geometrie a konstrukční řešení konstrukce viz příloha F – Výkresová dokumentace.



Obr. 4 Axonometrie konstrukce hangáru z programu Scia Engineer

2 Použité normativní dokumenty

- ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb; ČNI Praha, březen 2004
- ČSN EN 1991-1-3 Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – zatížení sněhem; ČNI Praha, červen 2005
- ČSN EN 1991-1-4 Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – zatížení větrem; ČNI Praha, duben 2007
- ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby; ČNI Praha, prosinec 2006
- ČSN EN 1993-1-8 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčnicků; ČNI Praha, prosinec 2006

3 Zatížení konstrukce

3.1 Zatížení stálá

3.1.1 Vlastní tíha

Zatížení konstrukce od vlastní tíhy bylo vypočítáno automaticky programem SCIA Engineer 18.1 za předpokladu tíhového zrychlení $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

3.1.2 Ostatní stálá zatížení

Nosnou část pláště budovy tvoří trapézový plech firmy Satjam T160/260 tl. 1,5 mm, který je kladen kolmo na vazníky a je zaoblený do příslušného poloměru. Na trapézový plech jsou uloženy asfaltové pásy, které slouží jako parozábrana. Tepelná izolace je navrhnutá jak ochrana proti

kondenzaci vodních pár, tloušťka izolace je navržena na 100 mm. Na tepelnou izolaci je kladená střešní krytina, která je tvořena falcovanou krytinou Satjam Rapid z materiálu AluMat, což je slitina hliníku, manganu a hořčíku. Tento materiál je stejně odolný jako ocelová střešní krytina, ale jeho hmotnost je přibližně poloviční.

Tabulka 3 Zatížení pláštěm budovy

	g_k [kN/m²]
Krytina SATJAM Al. 510 RAPID	0,02
Tepelná izolace tl. 100 mm	0,06
Asfaltové pásy tl. 4 mm	0,045
Trapézový plech T160/260 tl. 1,5 mm	0,214
<u>$\Sigma g_k = 0,339 \text{ kN/m}^2$</u>	



3.2 Zatížení proměnná

3.2.1 Zatížení sněhem

Konstrukce se nachází v oblasti Brno, které spadá na sněhové oblasti II s charakteristickou hodnotou zatížením sněhem $s_k = 1,0 \text{ kPa}$. Typ krajiny je uvažován jako normální.

Uvažované hodnoty jsou v souladu s ČSN EN 1993-1-3 Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem.

3.2.2 Zatížení větrem

Větrná oblast pro oblast Brno je kategorie II s charakteristickou rychlostí větru $v_{b,0} = 25,0 \text{ m/s}$. Kategorie terénu je uvažována jako kategorie III.

Uvažované hodnoty jsou v souladu s ČSN EN 1993-1-4 Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem.

3.2.3 Zatížení užitné

V celé konstrukci je uvažováno pouze jedno užitné zatížení, a to z kategorie H – zatížení na nepřístupných střeších.

- Kategorie **H**: nepřístupné střechy

$$q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2 (\text{působící na ploše } A = 10 \text{ m}^2) \text{ nebo } Q_k = 1,0 \text{ kN}$$

- Užitné zatížení kategorie H nepůsobí ve stejnou dobu jako zatížení sněhem nebo větrem.

3.2.4 Zatížení TZB

- Stanoveno odhadem na $1 \text{ m}^2 \rightarrow qk = 0,1 \text{ kN/m}^2$

3.3 Kombinace zatížení

Kombinace zatížení jsou provedeny podle rovnic 6.10 pro mezní stav únosnosti a 6.14b (charakteristická kombinace) pro mezní stav použitelnosti.

4 Popis konstrukčního řešení a jednotlivých prvků konstrukce

4.1 Obvodový plášť

Skladba pláště konstrukce viz výše. Trapézový plech byl uvažován jako prostý nosník o délce 8,0 m. Při posuzování únosnosti byla návrhová hodnota maximálního zatížení porovnávána s katalogovou únosností trapézového plechu, která je garantována výrobcem.

4.2 Příhradové vazníky

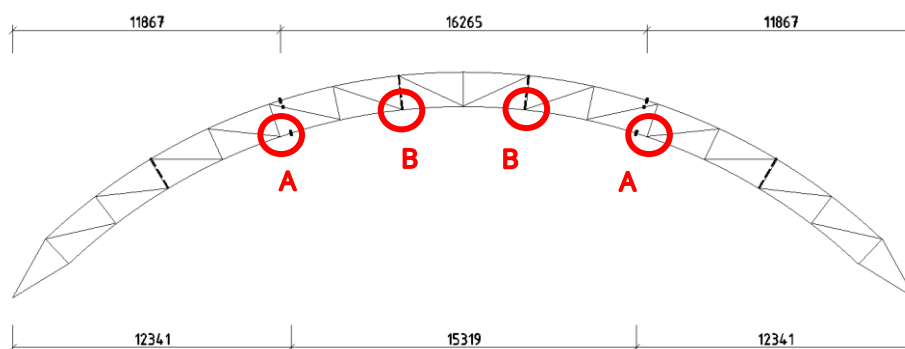
Vazník je uvažován jako obloukový příhradový vazník o rozpětí 40,0 m a výšce příhrady 1,5 m. Osová vzdálenost vazníků je 8,0 m.

Poloměr horního pásu je $R_h = 27,0 \text{ m}$, poloměr dolního pásu je $R_d = 25,5 \text{ m}$. Vzepětí vnějšího oblouku je 7,393 m, vnitřního 6,982 m. Horní pás tvoří čtvercová trubka SHS 150/150/6,3 ve druhé, třetí a čtvrté vazbě, v první vazbě je použit profil SHS 120/120/8,0. Dolní pás tvoří taktéž čtvercová trubka o rozměrech SHS 180/180/10,0 v první až třetí vazbě, ve čtvrté vazbě je použit profil SHS 250/250/6,3.

Výplňové pruty tvoří trojúhelníkovou pravoúhlou soustavu. Diagonály a svislice vazníku jsou tvořeny čtvercovými trubkami, které jsou spojeny s horním i dolním pásem koutovými svary o velikosti 4 mm. Délka diagonál je 3,212 m, délka svislic 1,5 m. Svislice tvoří čtvercová trubka SHS 50/50/4,0, diagonály taktéž čtvercová trubka SHS 70/70/6,3.

4.2.1 Zesílení N styčnicků

Kvůli poměrně malým dimenzím výplňových prutů dojde na některých místech k propíchnutí dolního pásu příhrady. Konkrétně se jedná o čtvrtou vazbu přední části konstrukce, kde je stěna pásu tenčí než v ostatních vazbách a díky připojení spojovacího půl-prstence jsou zde vyšší normálové síly ve výplňových prutech. Zesílení je nutno provést na styčnicích znázorněných na následujícím schématu.



Obr. 5 Schéma zesílených styčnicků

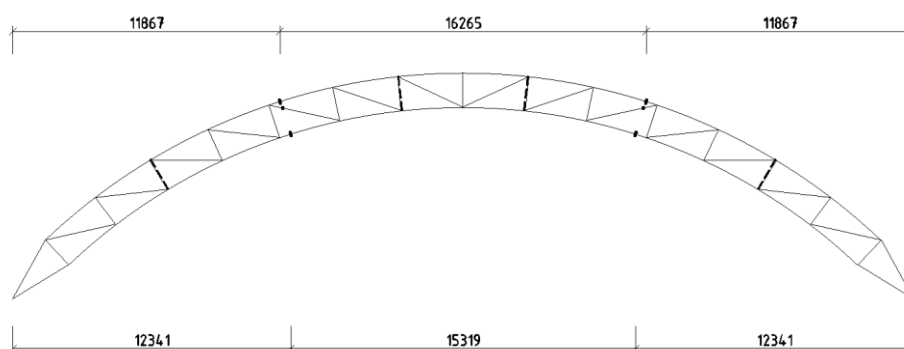
Zesílení styčníků je provedeno pomocí výztužných plechů, které se koutovými svary velikosti 4 mm připevní v horní pásnici dolního pásu.

Tabulka 4 Rozměry ztužujících plechů

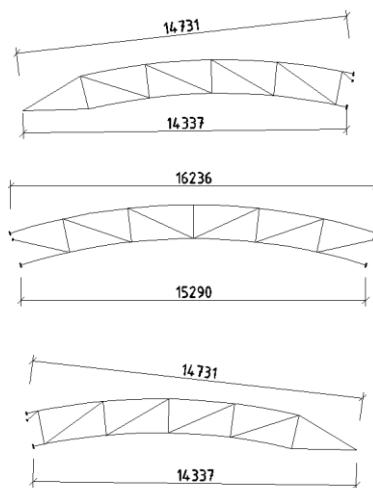
Vyztužení	Rozměry plechu [mm]	Tloušťka plechu [mm]
A	560×240	13
B	575×240	13

4.2.2 Montážní díly

Vazník je rozdělen na tři montážní celky z čehož jsou dva geometricky totožné, pouze zrcadlově převrácené. Montážní spoje dolního i horního pásu vazníku jsou provedeny pomocí přírubových spojů s čelní deskou a čtyřmi šrouby.



Obr. 6 Schéma rozdělení vazby na montážní celky



Obr. 7 Montážní celky vazníku

4.2.3 Kotvení příhradových vazníků

Kotvení příčných vazeb je kloubové, příhradový nosník je osazen na čep $\varnothing 60$ mm a pevnosti 5.6., tloušťka plechů je 28 mm pro střední plech a 14 mm pro krajní plechy. Čep je připevněn na patní plech tloušťky 10 mm a rozměrech 450×450 mm, který má podlití tloušťky 20 mm cementovou maltou. Samotná betonová patka je z betonu pevnosti C20/25.

Přenos tahových sil v patce zajišťují čtyři kotevní šrouby HIT-RE500 M33 od firmy Hilti.

Pro zajištění přenosu smykových sil do základu je navržena smyková z úpalku profilu HEB100 o délce 100 mm. K patnímu plechu je smyková zarážka připevněna koutovým svarem velikosti 4 mm.

4.3 Příhradové vazníky kopule

Příhradový vazník kopule je totožný jako polovina příhradového vazníku v přední části konstrukce. Od typické příčné vazby se kopulová vazba liší dimenzí prvků. Horní pás je tvořen profilem SHS 120/120/8,0, dolní pás tvoří čtvercová trubka SHS 140/140/6,3, svislice jsou z profilu SHS 40/40/3,0. Diagonály mají stejné rozměry jako v typické příčné vazbě, tedy SHS 70/70/6,3.

Výplňové pruty jsou k dolnímu i hornímu pásu připojeny pomocí svarů velikosti 4 mm.

Pro připojení jednotlivých vazeb na spojovací půl-prstenec je zvoleno kloubové spojení pomocí čepů. Čep pro přípoj horního pásu je velikosti $\varnothing 16$ mm a pevnosti 5.6., tloušťka plechů je 10 mm pro prostřední plech a 5 mm pro krajní plechy. Čep pro přípoj dolního pásu je velikosti $\varnothing 20$ mm a pevnosti 5.6, tloušťka plechů je 12 mm pro prostřední plech a 6 mm pro krajní plechy.

4.3.1 Kotvení kopulových vazeb

Kotvení příčných vazeb je kloubové, příhradový nosník je osazen na čep $\varnothing 40$ mm a pevnosti 5.6., tloušťka plechů je 24 mm pro prostřední plech a 12 mm pro krajní plechy. Čep je připevněn na patní plech tloušťky 10 mm a rozměrech 220×220 mm, který má podlití tloušťky 20 mm cementovou maltou. Samotná betonová patka je z betonu pevnosti C20/25.

Přenos tahových sil v patce zajišťují dva kotevní šrouby HIT-RE500 M16 od firmy Hilti.

Pro zajištění přenosu smykových sil do základu je navržena smyková z úpalku profilu IPE100 o délce 120 mm. K patnímu plechu je smyková zarážka připevněna koutovým svarem velikosti 4 mm.

4.4 Spojovací půl-prstenec

Spojovací půl-prstenec slouží k připojení kopulových vazeb ke zbytku konstrukce. Všechny kopulové vazby jsou na něj uloženy kloubově horním i dolním pásem vazníku pomocí čepu.

Prstenec je tvořen příhradovinou, kdy na horní i dolní pás jsou použity profily stejných typů jako na pásy hlavních vazníků a kopulových vazeb. Horní pás je tvořen čtvercovou trubkou SHS 120/120/5,0, dolní pás je tvořen profilem SHS 150/150/5,0. Výplet mezi pásy je tvořen svislicemi a diagonálami, na které jsou použity čtvercové trubky. Svislice i diagonály jsou tvořeny stejným profilem SHS 65/65/4,0. Umístění svislic je v místě napojení kopulových vazeb na prstenec, úhel mezi diagonálami a pásy prstence je 53,57°.

Samotný prstenec je připojen na poslední, čtvrtou vazbu přední části konstrukce kloubově pomocí čepů. Čep přípoje horního pásu dosahuje velikosti $\varnothing 24$ mm a pevnosti 5.6., tloušťka prostředního plechu je 15 mm, tloušťka krajních plechů je 7 mm. Čep přípoje dolního pásu je velikosti $\varnothing 36$ mm a pevnosti 5.6. při tloušťce prostředního plechu 18 mm a tloušťce krajních plechů 10 mm.

4.5 Podélná ztužidla

V konstrukci se nachází čtyři příhradová podélná ztužidla, která jsou kloubově uložena na horní a dolní pás příhradových vazníků pomocí čepů. Zajišťují tuhost konstrukce v podélném směru.

Všechny prvky příhradového podélného ztužidla jsou kruhové trubky, horní pás tvoří profil CHS 114,3/5,0. Dolní pás je tvořen profilem CHS 139,7/10,0, v místech menšího namáhání dolního pásu

podélného ztužidla je z důvodů úspory materiálu použit profil CHS 139,7/5,0. Diagonály jsou z profilu CHS 76,1/4,0, v místech menšího namáhání je z důvodů úspory materiálu použit profil CHS 42,4/3,2.

4.6 Střešní ztužidla

Střešní ztužidlo, které je tvořeno dvěma zkříženými táhly kruhového průřezu, zajišťuje tuhost konstrukce v příčném směru. Do výpočtu vnitřních sil ve výpočtovém programu byly zaneseny nelinearity – tlačené pruty se uvažují za vybočené, zohledněny jsou pouze tažené pruty. V konstrukci jsou použita systémová táhla Protah S460 M20 o průměru 20 mm, která jsou ke zbytku konstrukce připojena kloubově pomocí čepů, vidlic a styčnickových desek dle pokynů výrobce.

Systémová táhla Protah S460 jsou zhotovena z oceli konstrukční třídy S460 a umožňují délkovou rektifikaci.

4.7 Mezivazníkové pruty

Mezivazníkové pruty slouží k zajištění horního pásu příhradového vazníku proti vybočení z roviny a ke ztužení konstrukce. Na horní pásy vazníků jsou připojeny pomocí čepů $\varnothing 36$ a pevnosti 5.6. Tloušťky čepových desek jsou 18 mm pro vnitřní plech, 10 mm pro plechy krajní.

4.8 Čelní stěna

Prvky v čelní stěně umožňují roznos účinků větru do konstrukce a uložení obvodového pláště. Sloupy a čelní příhradovina jsou umístěny tak, aby bylo možné umístění hangárových vrat. Hangárová vrata o rozměrech 17,24 m × 6,14 m nebudou na předním pásu příhradoviny zavěšená, ale jenom pojížděná.

4.8.1 Čelní sloupy

Sloupy čelní stěny přenášejí účinky větru do podélných ztužidel a dále do konstrukce, nepodpírají příhradový vazník a jsou kloubově uloženy. Profil sloupů je HEA240 a je orientován větší tuhostí průřezu proti podélným účinkům větru vzhledem k celé konstrukci.

Připojení sloupů k hornímu pásu první příčné vazby je uskutečněno pomocí šroubového spoje o jednom šroubu M20 o pevnosti 5.6. Šroub je osazen do prodlouženého otvoru. Při volbě prodloužení otvoru byl zohledněn maximální průhyb horního pásu vazníku, aby nedošlo k podepření vazníku sloupy.

4.8.1.1 Kotvení

Kotevní patky K1 u sloupů v čelní stěně jsou tvořeny patním plechem tloušťky 10 mm s rozměry 300×365 mm a s podlitím tloušťka 20 mm cementovou maltou. Patní plech je ukotven dvěma kotevními šrouby Hilti HIT-RE500 HAS-E M16 do betonové patky. Samotná betonová patka má půdorysné rozměry 500×500 mm a výšku 750 mm, použit je beton pevnosti C20/25.

V žádné kombinaci účinků zatížení nevzniká na sloupech tahová síla.

Kvůli účinkům větru a nedostatečné normálové tlakové síle na sloupech se posouvající síla nepřenesou pouze třením mezi betonem a ocelí, proto je potřeba použít smykovou zarážku. Pro zajištění přenosu smykových sil do základu je navržena smyková zarážka z úpaluku profilu IPE 100

o délka 100 mm. K patnímu plechu je smyková zarážka připevněna koutovým svarem velikosti 4 mm.

4.8.2 Příhradovina v čelní stěně

Na sloupu č. 2 a 3 je kloubově připojena vodorovná příhradovina, která taktéž zachycuje účinky větru a dále je roznáší do konstrukce. Pásky této příhradoviny jsou tvořeny profily HEB200, výplňové pruty příhradoviny tvoří diagonály z čtvercových trubek SHS 40/40/5,0, které jsou k pásům připojeny pomocí koutových svarů velikosti 4 mm.

4.8.3 Vzpěrky

Vzpěrky v čelní stěně slouží jako podpora příhradoviny v čelní stěně proti svislému průhybu. Vzpěrka je z kruhové trubky CHS 33,7/3,2 a na obou stranách je kloubově uložena – na sloup je přivařena koutovým svarem velikosti 3 mm. Na druhém konci je přípoj realizován přes styčnickovou desku, na kterou je vzpěrka přivařena koutovým svarem velikosti 3 mm. Čtvercová styčnicková deska je pak šroubově připevněna na spodní pásnici HEB profilu příhrady za pomoci čtyř šroubů M12 o pevnosti 5.6. Tloušťka styčnickové desky je 5 mm.

4.9 Předsazený prut

Předsazený prut je z čtvercové trubky SHS200/200/6,3 a je kloubově uložen na obou koncích. Prut bude montážně rozdělen přibližně ve třetinách délky, spoj bude proveden jako přírubových s čelní deskou a čtyřmi šrouby. K první vazbě konstrukce je připojen pomocí podélných ztužujících prvků z profilů CHS 88,9/4,0 a zkřížených táhel Protah o $\varnothing 20$ mm.

5 Povrchová úprava konstrukce

Veškeré ocelové prvky budou opatřeny ochranným nátěrem Siko Poxicolor Plus zajišťující ochranu proti korozi a dlouhodobou životnost konstrukce.

6 Výroba a montáž

Montáž bude provedena za pomoci autojeřábů s patřičnou nosností a dosahem a pomocí zvedacích plošin pro pracovníky. Před začátkem montáže musí být převzato staveniště se zaměřenými polohovými body. Musí být zhotoveny betonové patky s dostatečnou pevností a přesností a v nich zabetonovány kotevní šrouby s požadovanou geometrickou přesností. Během montáže je třeba kontrolovat geometrii konstrukce pomocí geodetických metod.

Orientační montážní postup:

- Zhotovení základových konstrukcí.
- Na montážní plošině se ze třech dílců smontuje příhradový vazník osy č. 1 a 2 a osadí se na základ. Jelikož je uložení kloubové, je nutné dočasně zajistit podpůrným systémem, dokud nebude provedeno ztužení. Následně bude provedena výšková rektifikace a podlití patního plechu.
- Mezi vazníky se osadí ztužení – táhla, podélná ztužidla a mezivazníkové pruty, tím se získá stabilní celek.
- Následně se vztyčí příhradový vazník osy konstrukce č. 3 a opět se zztuží a bude provedena výšková rektifikace a podlití patního plechu. Posléze se postup opakuje i s vazníkem osy č. 4.

- Na vazník osy č. 4 se pomocí čepových spojů připojí spojovací půl-prstenec, na který jsou postupně pomocí čepových spojů připojovány kopulové vazby. Vazby se nejprve smontují na montážní plošinu. Prstenec je třeba dočasně zajistit podpůrným systémem.
- Nejdříve jsou osazeny kopulové vazby K4, K3 a K5, je provedeno ztužení mezi těmito vazbami a provedena výšková rektifikace a podlití patního plechu. Dále jsou na řadě vazby K1 a K7, opět je provedeno postupné ztužení, výšková rektifikace a ztužení. Takto se pokračuje i s vazbami K2 a K6, po jejich osazení bude provedeno ztužení se sousedními vazbami výšková rektifikace a podlití patních plechů.
- Dalším krokem je vztyčení sloupů v čelní stěně. Sloupy nepodpírají příhradový vazník a jsou připojeny na horní pás první vazby šroubovým spojem s prodlouženými otvory. Dále se provede výšková rektifikace a podlití patních plechů patek čelních sloupů.
- Na sloupy je dále připojena čelní příhradovina.
- Konstrukce se dokončí dopnutím střešních táhel
- Posledním krokem je připevnění opláštění budovy.

7 Výpočet

Ocelová konstrukce byla modelována jako prostorová prutová konstrukce pomocí studentské verze programu SCIA Engineer 18.1. Výpočetní program posloužil k výpočtu vnitřních sil, k posouzení navržených průřezů a jejich následnému posouzení na mezní stav únosnosti a použitelnosti. Většina prvků byla řešena pomocí lineárního výpočtu, nelinearity byly do výpočtu vneseny u výpočtu střešních ztužidel, kdy byl z výpočtu vyloučen tlak.

8 Výkaz materiálu

Detailní výkaz materiálů se nachází v příloze D – Programový výstup z programu Scia – varianta A.

Tabulka 5 Výkaz materiálu

Prvek	Profil	Hmotnost [kg]
Horní pás	SHS 150/150/6,3	3953,0
Horní pás 2	SHS 120/120/8,0	1295,6
Svislice	SHS 50/50/4,0	508,0
Diagonály	SHS 70/70/6,3	3854,5
Dolní pás	SHS 180/180/10,0	7004,0
Dolní pás 2	SHS 250/250/6,3	2128,8
Horní pás kopule	SHS 120/120/8,0	3969,0
Svislice kopule	SHS 40/40/3,0	214,6
Dolní pás kopule	SHS 140/140/6,3	3562,1
Předsazený prut	SHS 200/200/6,3	1790,5
Prstenec horní pás	SHS 120/120/5,0	163,4
Prstenec výplet	SHS 65/65/4,0	194,7
Prstenec dolní pás	SHS 140/140/5,0	181,5
Ztužidlo podélné horní pás	CHS 114,3/5,0	1882,6
Ztužidlo podélné diagonály	CHS 76,1/4,0	637,0
Ztužidlo podélné diagonály 2	CHS 42,4/3,2	247,4
Ztužidlo podélné dolní pás	CHS 139,7/10,0	1533,6
Ztužidlo podélné dolní pás 2	CHS 139,7/5,0	1481,5
Ztužidlo střešní	RD20	1334,2
Mezivazníkové pruty	CHS 114,3/5,0	1211,7
Mezivazníkové pruty 2	CHS 88,9/4,0	889,8
Sloup	HEA 240	1775,5
Vzpěrka sloupu	CHS 33,7/3,2	8,8
Čelní příhradovina pásy	HEB 200	2235,4
Čelní příhradovina diagonály	SHS 40/40/5,0	111,0

9 Seznam použitých obrázků a tabulek

9.1 Seznam obrázků

Obr. 1 Znázornění měření výšky a délky letadel	11
Obr. 2 Znázornění měření rozpětí letadel.....	11
Obr. 3 Schématické rozmístění letadel v hangáru	13
Obr. 4 Axonometrie konstrukce hangáru z programu Scia Engineer	14
Obr. 5 Schéma zesílených styčnicků	16
Obr. 6 Schéma rozdělení vazby na montážní celky	17
Obr. 7 Montážní celky vazníku.....	17

9.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 Základní údaje o konstrukci	13
Tabulka 2 Zatížení pláštěm budovy	15
Tabulka 3 Rozměry ztužujících plechů.....	17

10 Seznam použitých zdrojů

Kromě použitých podkladů dle kapitoly „2 Použité normativní dokumenty“ byly použity i následující zdroje:

- [01] STUDNIČKA, Jiří. Navrhování nosných konstrukcí. V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05490-1
- [02] Studnička, J., Ocelové konstrukce – Normy; ČVUT Praha, 2011
- [03] Eliášová, M., Sokol, Z., Ocelové konstrukce 1 – Příklady; ČVUT Praha, 2014
- [04] VRANÝ, Tomáš a Martina ELIÁŠOVÁ. Ocelové konstrukce 2: Cvičení. ČVUT Praha, 2005.
- [05] VRANÝ, Tomáš, Martina ELIÁŠOVÁ, Karel PELEŠKA a Milena HOBLÍKOVÁ. Ocelové konstrukce 20: Pomůcka pro navrhování hal. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02066-5.
- [06] MELCHER, Jindřich a Milan PILGR. Kovové konstrukce I: Modul BO04-MO4 Sloupy a větrové ztužidlo.
- [07] PILGR, M. Kovové konstrukce. Podklady pro navrhování prvků ocelových konstrukcí [online]. Brno: 2018, 700 s. Dostupné z: <https://www.fce.vutbr.cz/KDK/pilgr.m/studijni-materialy/PilgrM-PrvkyKK-2018.pdf>
- [08] NCCI: Návrh kloubové patky se smykovou záložkou [online]. [cit. 2019-01-08]. Dostupné z: [http://steel.fsv.cvut.cz/Access Steel CZ/SN NCCI/SN021a-CZ-EU.pdf](http://steel.fsv.cvut.cz/Access%20Steel%20CZ/SN%20NCCI/SN021a-CZ-EU.pdf)[https://cfix.cz/pdf/CFIX T%C3%A1hla PROTAH www.pdf](https://cfix.cz/pdf/CFIX_T%C3%A1hla_PROTAH_www.pdf)
- [09] MACHÁČEK, Josef., Navrhování nosných konstrukcí; [online]. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~machacek/>
- [10] Čelní deska/pásnice sloupu v ohybu, šrouby v tahu [online]. [cit. 2019-01-08]. Dostupné z: <https://www.fine.cz/napoveda/finec/cs/celni-deska-pasnice-sloupu-v-ohybu-srouby-v-tahu-01/>
- [11] Šroubové spoje | Vliv páčení [online]. [cit. 2019-01-08]. Dostupné z: <http://ocel.wz.cz/sroubove-spoje/vliv-paceni.php>
- [12] Střešní krytina Rapid | SATJAM [online]. [cit. 2019-01-08]. Dostupné z: <https://www.satjam.cz/satjam-rapid-91.html>
- [13] Satjam T160 | SATJAM [online]. [cit. 2019-01-08]. Dostupné z: <https://www.satjam.cz/trapezy-produkt/t160-208-cz23.html#konstrukce/>
- [14] Katalog systémových táhel Protah [online]. [cit. 2019-01-08]. Dostupné z: http://www.protah.cz/data/Files/pages/katalog_143333247212.574.pdf
- [15] Hilti.cz -Hilti Czech Republic [online]. [cit. 2019-01-08]. Dostupné z: <https://www.hilti.cz/>
- [16] HILTI, Katalog pro projektanty; Marketing Hilti ČR, 2014
- [17] BIM/CAD Library [online]. [cit. 2019-01-09]. Dostupné z: <http://hilti.cadclick.com/?mandant=cz>
- [18] Ocelářské tabulky [online]. [cit. 2019-01-08]. Dostupné z: <http://www.staticstools.eu/cs>
- [19] Aeroklub Brno – Medlánky [online]. [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: <http://www.akmedlanky.cz/>
- [20] KABOLDY. Třípohledový nákres. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2018 [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=47971803>
- [21] *Operace s vektory - Matematika.cz* [online]. [cit. 2018-12-07]. Dostupné z: <https://matematika.cz/vektory-operace>

11 Seznam použitých zkratk a symbolů

Velká písmena

A	průřezová plocha
A	plná průřezová plocha šroubu
A_0	průřezová plocha průřezu o průměru d_0
A_{eff}	účinná plocha průřezu
A_{net}	účinná plocha průřezu
A_s	plocha šroubu nebo kotevního šroubu účinná v tahu
A_w	návrhová účinná plocha svaru
$B_{p,Rd}$	návrhová smyková únosnost v protlačení hlavy nebo matice šroubu
$C_{1/2/3}$	součinitelé závislé na zatížení a podmínkách uložení konců
C_e	součinitel expozice
C_m	součinitel ekvivalentního konstantního momentu
C_t	tepelný součinitel
E	Youngův modul pružnosti
F	zatížení
$F_{b,Rd}$	návrhová únosnost šroubu v otláčení
$F_{t,Rd}$	návrhová únosnost šroubu v tahu
$F_{v,Rd}$	návrhová únosnost šroubu ve střihu
G	stálé zatížení
G	modul pružnosti ve smyku
G_k	charakteristická hodnota stálého zatížení
F_d	návrhová hodnota zatížení
F_k	charakteristická hodnota zatížení
I_v	intenzita turbulence
I	moment setrvačnosti průřezu
L	systémová délka
L_{cr}	vzpěrná délka
$M_{b,Rd}$	návrhová únosnost v ohybu při klopení
M_{cr}	pružný kritický moment při klopení
$M_{c,Rd}$	návrhová únosnost v ohybu k některé hlavní ose průřezu
M_{ed}	návrhový ohybový moment
$M_{pl,Rd}$	návrhová plastická momentová únosnost
$M_{el,Rd}$	návrhová elastická momentová únosnost
M_{Rk}	charakteristická únosnost rozhodujícího průřezu v ohybu
$N_{b,Rd}$	vzpěrná únosnost
N_{cr}	kritická síla
$N_{c,Rd}$	návrhová únosnost průřezu v prostém tlaku
N_{Ed}	návrhová hodnota osové síly
N_{jRd}	návrhová únosnost patky
$N_{pl,Rd}$	návrhová únosnost neoslabeného průřezu
N_{Rk}	charakteristická únosnost rozhodujícího průřezu při působení osové síly
$N_{t,Rd}$	návrhová únosnost v tahu
Q	proměnné zatížení
Q_k	charakteristická hodnota proměnného zatížení
V_{Ed}	návrhová smyková síla
W_{pl}	plastický modul průřezu
W_{el}	elastický modul průřezu

Malá písmena

a_b	součinitel pro výpočet únosnosti v otláčení, nejmenší z hodnot: a_d , f_{ub}/f_u a 1
a_d	součinitel pro výpočet únosnosti v otláčení pro výpočet ve směru zatížení
a	účinná výška svaru
b	šířka konstrukce (délka povrchu kolmému ke směru větru, pokud není stanoveno jinak)
b	šířka průřezu
c	šířka nebo výška části průřezu
C_{dir}	součinitel směru
$C_{e(z)}$	součinitel expozice
C_{pi}	součinitel vnitřního tlaku
C_{pe}	součinitel vnějšího tlaku
C_r	součinitel drsnosti
C_o	součinitel orografie
C_{season}	součinitel ročního období
d	hloubka konstrukce (délka povrchu rovnoběžného se směrem větru, pokud není stanoveno jinak)
d	vnější průměr kruhové trubky d jmenovitý průměr šroubu, průměr čepu, nebo průměr spojovacího prostředku
d_0	průměr otvoru pro šroub, nýt nebo čep
d_0	velikost otvoru kolmo k působící tahové síle, obvykle průměr otvoru
d_1	velikost otvoru rovnoběžně k působící tahové síle, obvykle průměr otvoru
d_m	průměrný průměr hlavy šroubu
e	výstřednost síly nebo vzdálenost od okraje
e	vzdálenost šroubu od okraje
f_{cd}	návrhová hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku
f_{ck}	charakteristická hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku
f_{jd}	návrhová pevnost betonu v koncentrovaném tlaku
f_{Rdu}	návrhová pevnost betonu v uložení
f_u	mez pevnosti
f_{ub}	mez pevnosti pro šrouby
f_y	mez kluzu
f_{yb}	mez kluzu pro šrouby
g	stálé zatížení
g_k	charakteristická hodnota stálého zatížení
h	výška konstrukce
h	výška průřezu
i_y	poloměr setrvačnosti
k_1	součinitel pro výpočet únosnosti v otláčení pro výpočet kolmo na směr zatížení
k_2	součinitel
k_j	součinitel koncentrace napětí
k_l	součinitel turbulence
k_p	součinitel
k_r	součinitel terénu
k_y	součinitel vzpěrné délky
k_{yy}	součinitel interakce
k_z	součinitel vzpěrné délky
k_{zz}	součinitel interakce
k_w	součinitel vzpěrné délky
k_{wt}	bezrozměrný parametr kroucení
l_w	délka svaru

m	hmotnost
n	počet příčných vazeb
p	rozteč spojovacích prostředků
q	proměnné zatížení
q _b	referenční (základní) dynamický tlak (pro střední rychlost)
q _k	charakteristická hodnota proměnného zatížení
q _p	maximální hodnota dynamického tlaku (dynamický tlak při nárazu větru)
r	poloměr zaoblení
s	zatížení sněhem na střeše
s _k	charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi v místě staveniště
t	tloušťka
t ₁	tloušťka stěn průřezu o průměru d ₁
t _f	tloušťka pásnice
t ₀	tloušťka stěn průřezu o průměru d ₀
t _p	tloušťka patního plechu
t _w	tloušťka stojiny u průhyb
δ _{lim}	maximální hodnota průhybu
v _m	střední rychlost větru
v _{b,0}	výchozí hodnota základní rychlosti větru
v _b	základní rychlost větru
w	tlak větru
x	šířka tlačené oblasti
z ₀	parametr drsnosti terénu
z _{0,II}	parametr drsnosti terénu (terén kategorie II)
z _e	referenční výška pro zatížení vnějšího povrchu větrem, vnější nebo vnitřní tlak
z _{min}	minimální výška
z _g	souřadnice působiště zatížení vzhledem ke středu smyku

Řecká písmena

φ	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti
φ _{LT}	hodnota pro výpočet součinitele klopení χ _{LT}
α	sklon střechy měřený od vodorovné roviny
α	součinitel imperfekce
α	úhel
α _v	součinitel pro šrouby
α _{LT}	součinitel imperfekce při klopení
β	součinitel vzpěrné délky
β	poměr d ₁ /d ₀
β _w	korelační součinitel pro svary závislý na druhu oceli
γ _G	dílčí součinitel stálého zatížení, v němž jsou uváženy modelové nejistoty a proměnnost rozměrů
γ _{G,j}	dílčí součinitel j-tého stálého zatížení
γ _M	globální dílčí součinitel spolehlivosti (materiálu)
γ _{M0}	dílčí součinitel únosnosti průřezu kterékoliv třídy
γ _{M1}	dílčí součinitel únosnosti průřezu při posuzování stability prutu
γ _{M2}	dílčí součinitel únosnosti průřezu při porušení v tahu
γ _Q	dílčí součinitel proměnného zatížení, v němž jsou uváženy modelové nejistoty a proměnnost rozměrů
γ _{Q,i}	dílčí součinitel i-tého proměnného zatížení
ε	součinitel závislé na f _y

ζ_g	bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku
ζ_j	bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu
θ	úhel
λ	štíhlost
$\bar{\lambda}$	poměrná štíhlost
$\bar{\lambda}_{LT}$	poměrná štíhlost při klopení
μ_i	tvarový součinitel zatížení sněhem
μ_{cr}	bezrozměrný kritický moment
π	Ludolfovo číslo
ρ	měrná hmotnost vzduchu
σ	normálové napětí
τ	smykové napětí
χ	součinitel vzpěrnosti při rovinném vzpěru
χ_{LT}	součinitel klopení
ψ_0	součinitel pro kombinační hodnotu proměnného zatížení
ψ_f	parametr nesymetrie průřezu