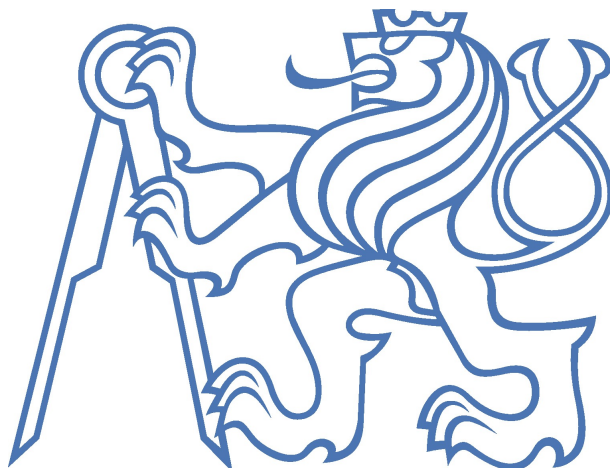


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



DVOULODNÍ SERVISNÍ A SKLADOVACÍ HALA PRO ULTRALEHKÁ LETADLA
TWO-AISLE SERVICE AND STORAGE HALL FOR ULTRALIGHT PLANES

Technická zpráva

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

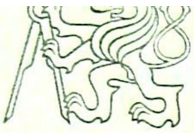
Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce: Ing. Michal Netušil, Ph.D.

DAVID SEKAL

Praha, 2017



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Sekal

Jméno: David

Osobní číslo: 426319

Zadávací katedra: K134

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: C

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Dvoulodní servisní a skladovací hala pro ultralehká letadla

Název bakalářské práce anglicky: Two-aisle service and storage hall for ultralight planes

Pokyny pro vypracování:

Vypracování návrhu konstrukčního řešení a statického schématu příčných vazeb, vypracování numerického modelu konstrukce, statický výpočet a posouzení všech prvků nosné konstrukce včetně ztužení, návrh klíčových detailů, výkresová dokumentace, krátká technická zpráva.

Seznam doporučené literatury:

Ocelové konstrukce 10, 20, normy pro navrhování ocelových konstrukcí, zatížení staveb

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Michal Netušil, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 20.2.2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

20 2 2017

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, 20.5. 2017

Podpis:

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'D. Sekal', written in a cursive style.

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Michalu Netušilovi, Ph.D. za jeho vstřícný přístup, trpělivost a především cenné rady, bez nichž by tato práce nemohla vzniknout.

Anotace:

Cílem mé bakalářské práce je návrh ocelové dvoulodní servisní haly pro ultralehká letadla. Práce obsahuje návrh konstrukčního řešení, statický výpočet včetně posouzení všech prvků nosné konstrukce, návrh klíčových detailů a jejich znázornění v příložené výkresové dokumentaci.

Klíčová slova:

Rámová hala, šroubový rámový roh s náběhem, ocelová konstrukce

Abstract:

The aim of my thesis is the design of a two-aisle service and storage hall for ultralight planes. The thesis includes design solution, structural analysis of all major load bearing elements, design of key details and their representation in accompanying drawings.

Key words:

Frame hall, bolted knee of frame with haunch, steel structure

1 OBSAH

Úvod.....	- 5 -
1 Umístění stavby.....	- 6 -
2 Požadavky	- 6 -
3 Dispozice.....	- 7 -
4 Popis konstrukce	- 7 -
4.1 Rozměry.....	- 7 -
4.2 Hlavní prvky.....	- 8 -
4.2.1 Příčná vazba	- 8 -
4.2.2 Příčné ztužidlo.....	- 8 -
4.2.3 Podélné ztužidlo	- 8 -
4.2.4 Příhradový nosník nad vraty	- 9 -
4.2.5 Základové konstrukce	- 9 -
4.2.6 Střešní plášť.....	- 9 -
4.2.7 Obvodový plášť.....	- 9 -
5 Výpočetní modely	- 9 -
5.1 Výpočetní software.....	- 9 -
5.2 Příčná vazba.....	- 10 -
5.3 Příčné ztužidlo	- 10 -
5.4 Podélné ztužidlo	- 11 -
5.5 Příhradový nosník.....	- 12 -
6 Materiály	- 13 -
7 Ochrana ocelových prvků.....	- 14 -
7.1 Klasifikace prostředí.....	- 14 -
7.2 Ochranné opatření.....	- 14 -
Závěr.....	- 15 -
Seznam použité literatury	- 16 -
Normy.....	- 16 -
Literatura	- 16 -
Internetové stránky.....	- 16 -
Použité programy	- 16 -

ÚVOD

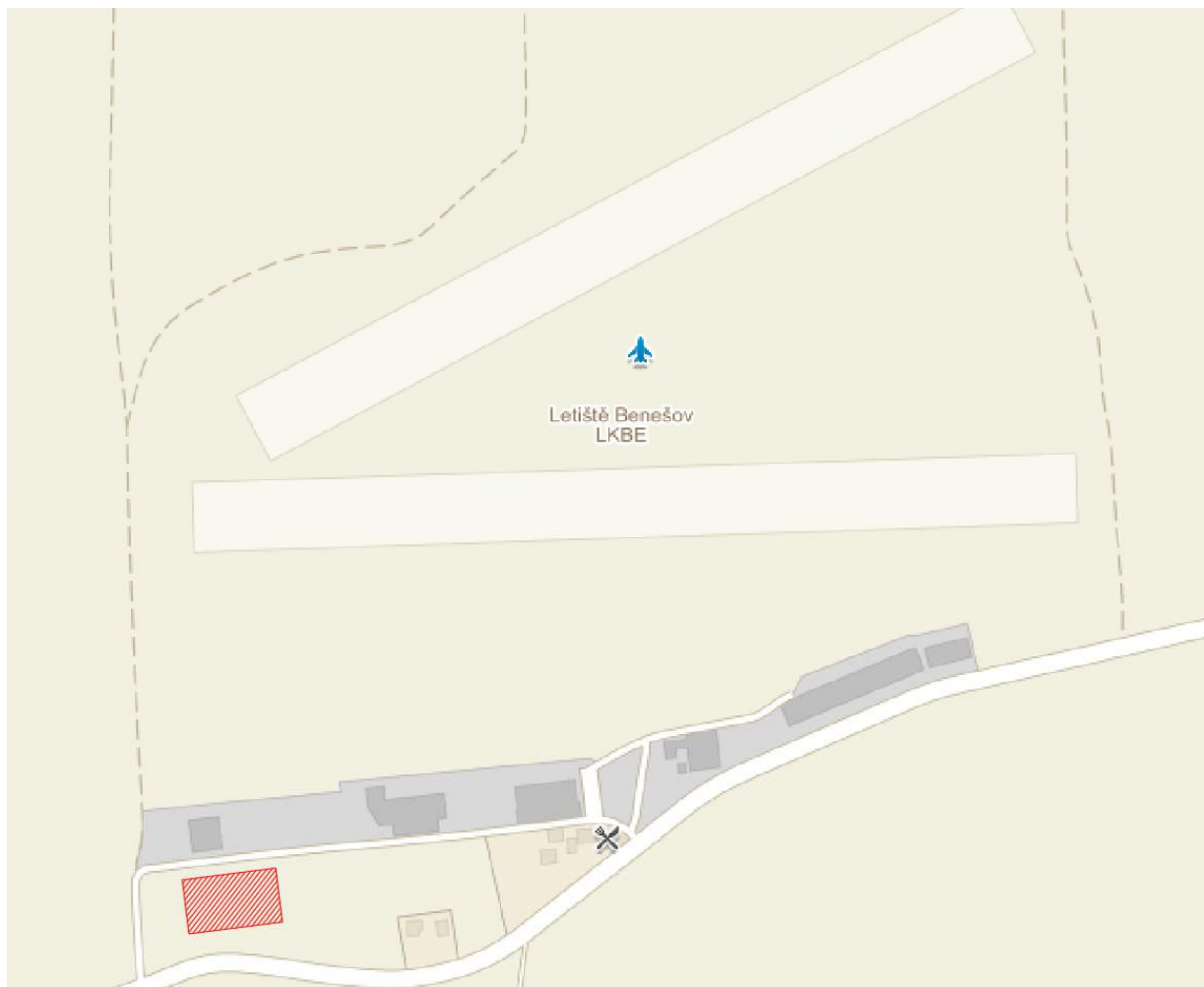
Cílem práce je navrhnout dvoulodní ocelovou halu, která bude sloužit jako servis a sklad náhradních dílů ultralehkých letadel. Hala leží v blízkosti veřejného vnitrostátního letiště Benešov. Toto letiště je hojně využíváno rekreačními piloty za účelem výcviku či vyhlídkových letů. Proto vznikla potřeba vybudovat halu, kde bude možné letadla servisovat.

Vzhledem k rozpětí haly a dalším požadavkům byla zvolena trojkloubová rámová hala s náběhy a šroubovanými rámovými rohy.

Práce se skládá z technické zprávy se základním popisem konstrukce, statického výpočtu s návrhem a posouzením hlavních nosných prvků a výkresové dokumentace celkové dispozice a hlavních konstrukčních detailů haly

1 UMÍSTĚNÍ STAVBY

Obrázek 1: Mapa letiště Benešov s červeně vyznačeným umístěním haly

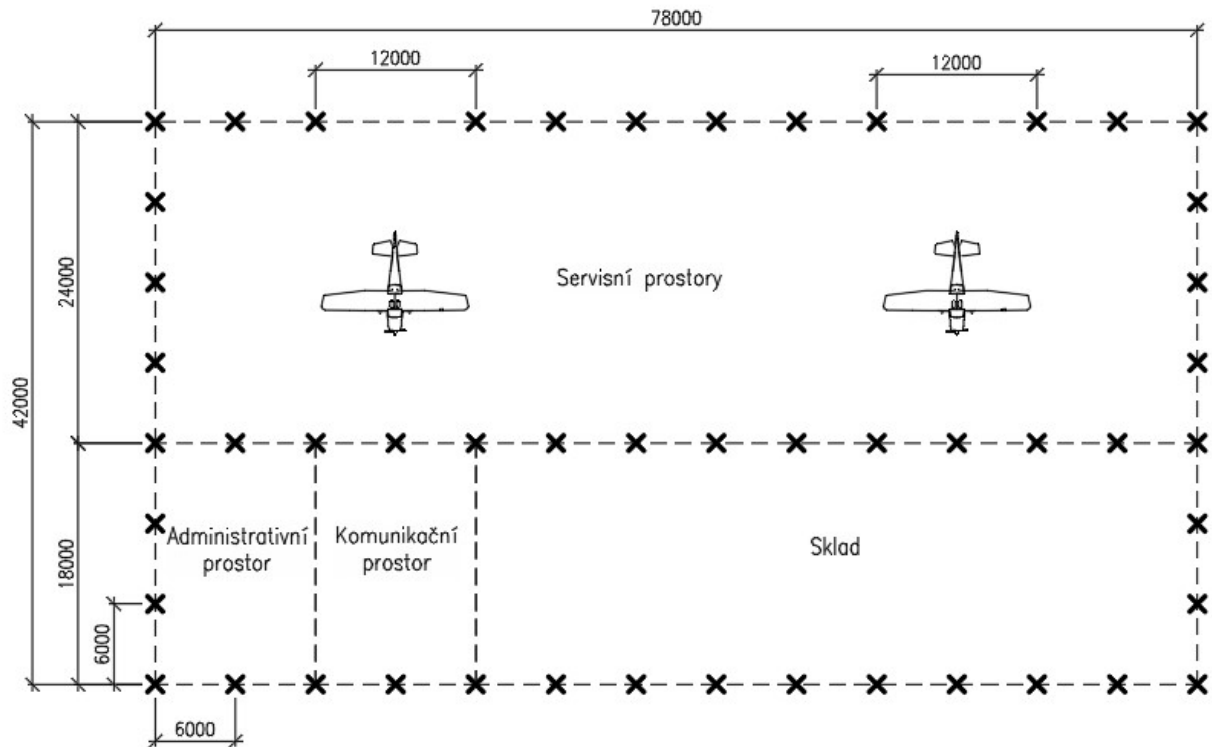


2 POŽADAVKY

Požadavky jsou vzhledem k účelu haly především otevřená dispozice, která umožní manipulaci s letadly uvnitř haly (rozpětí ultralehkých letadel se pohybuje okolo jedenácti metrů), pohyb vysokozdvížných vozíků mezi skladovacími a servisními prostory a dostatečný prostor pro skladování náhradních dílů. Dalším z požadavků byla možnost nezávislého vjezdu dvou letadel do servisních prostorů – z tohoto důvodu byly na obvodě vynechány dva sloupy a byly nahrazeny dvěma prostorovými příhradovými nosníky.

3 DISPOZICE

Obrázek 2: Dispozice haly



4 POPIS KONSTRUKCE

4.1 ROZMĚRY

Délka haly: 78 m

Celková šířka: 42 m

Šířka jednotlivých lodí: 24 m (servisní část) a 18 m (administrativní část a sklad)

Výška k okapu: 10 m

Celková výška: 13,3 m

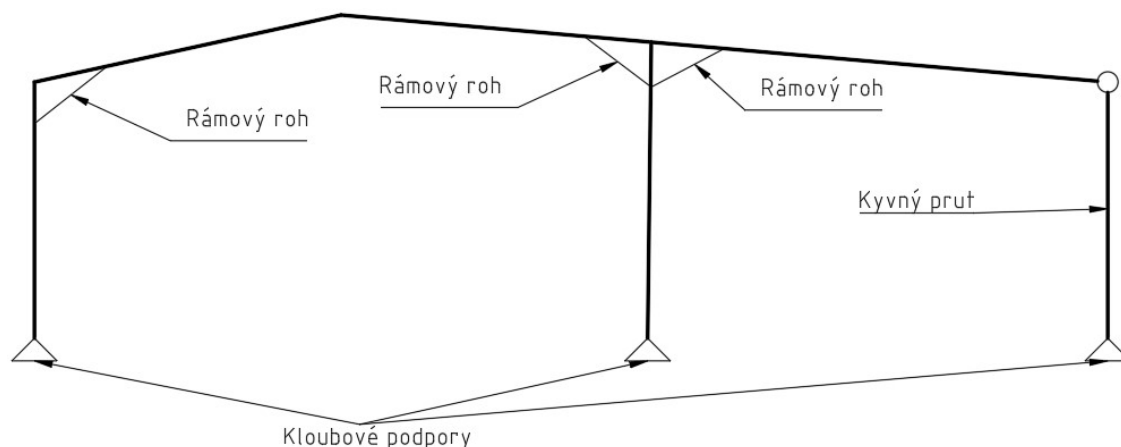
Vzdálenost příčných vazeb: 6 m

4.2 HLAVNÍ PRVKY

4.2.1 PŘÍČNÁ VAZBA

Příčná vazba haly je navržena jako rámová, tříkloubová. Příčná tuhost haly je zajištěna třemi rámovými rohy mezi příčlí a sloupem na osách A a B. Rámový roh je vyřešen jako šroubový a příčle jsou opatřeny náběhy o délce 6 metrů. Sloup na ose C je k příčli připojen kloubově pomocí dvou úhelníků. Všechny tři sloupy příčné vazby jsou v patkách uloženy kloubově.

Obrázek 3: Statické schéma příčné vazby



Co se materiálu týče, sloupky jsou navrženy z válcovaných profilů HE 500A, příčle z profilu IPE 550 a v místě náběhu ze svařence profilu IPE 550 a diagonálně upáleného profilu IPE 550. Každý sloupek je ukotven dvěma šrouby (chemickými kotvami Hilti u běžných sloupů a šrouby se zabetonovanou kotevní hlavou v místě podélného ztužidla) skrz patní plech do betonové patky. Horizontální reakce v patce je přenášena smykovou zarážkou z úpalku HE 100A, jež je přivařen ke spodní straně patního plechu.

4.2.2 PŘÍČNÉ ZTUŽIDLO

Zatížení na štítové stěny je zachyceno příčným ztužidlem, které leží ve střešní rovině haly v polích sousedících se štítovými stěnami na obou stranách haly a v poli podélného ztužidla. Příčné ztužidlo je tvořeno diagonálními táhly z tyčí o průměru 24 mm a svislic z trubek o rozměrech 89/5,6 mm. Reakce z příčných ztužidel je do podélných ztužidel přenášena pomocí trubek o rozměrech 108/8 mm přivařených po celé délce haly k horní části sloupů na všech třech osách.

4.2.3 PODÉLNÉ ZTUŽIDLO

Podélné ztužidlo zajišťuje v kombinaci s příčným ztužidlem podélnou tuhost haly. Leží uprostřed haly mezi sloupky na osách 7 a 8 ve všech třech řadách sloupů (celkem tři ztužidla). Ztužidlový sloupek se skládá ze dvou trubek 108/11 připojených křížem k patě a horní části sloupů. Zatížení z podélného ztužidla je distribuováno do základových konstrukcí haly.

4.2.4 PŘÍHRADOVÝ NOSNÍK NAD VRATY

Jedním z požadavků na halu je možnost vjezdu ultralehkých letadel do servisních prostorů haly. Letadla mají rozpětí křídel zhruba 11 metrů, z tohoto důvodu musí být mezi osami 3 a 5 a 10 a 12 vynechány sloupy. V těchto místech jsou sloupy nahrazeny prostorovým příhradovým nosníkem. Prostorový příhradový nosník byl zvolen z několika důvodů. Jedním z nich je, že mimo svislé reakce musí být schopen přenášet také horizontální reakce od příčle a sání podélného větru působícího na vrata. Dalším důvodem bylo MSP – menší míra deformace příhradových konstrukcí.

Nosník je navržen z trubek různých profilů (viz. statický výpočet) a na sloupy je uložen kloubově, stejně tak je na nosník kloubově uložena rámová příčle.

4.2.5 ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE

Základové konstrukce tvoří betonové patky čtvercového půdorysu spojené základovými pasy. Detailní návrh základových konstrukcí není součástí statického výpočtu.

4.2.6 STŘEŠNÍ PLÁŠŤ

Střešní plášť haly se skládá ze Z vaznic - Z 240/3 v krajních polích a Z 240/2,5 v mezilehlých polích - a sendvičových izolačních panelů. Vaznice jsou kotevny s přesahem k horní pásnici příčné vazby pomocí L úhelníkových příložek. K vaznicím jsou shora přichyceny samovrtnými šrouby střešní izolační panely KS 1000RW 100 od firmy Kingspan.

4.2.7 OBVODOVÝ PLÁŠŤ

Obvodový plášť haly je tvořen sendvičovými izolačními panely KS 1150 NF od firmy Kingspan, které jsou kotveny do pásnic obvodových sloupů samovrtnými šrouby.

5 VÝPOČETNÍ MODEL Y

5.1 VÝPOČETNÍ SOFTWARE

Pro veškeré výpočty vnitřních sil a deformací konstrukce byl použit statický software Scia Engineer 16.0. Scia Engineer je systém pro statickou a dynamickou analýzu konstrukcí a jejich návrh podle příslušných norem. Je založen na metodě konečných prvků. Systém lze použít na výpočty a posouzení konstrukcí z prutů a rovinných prvků jako jsou stěny, desky a skořepiny. Scia Engineer obsahuje výpočetní moduly pro lineárně statické výpočty, včetně některých nelineárních vlastností. V rámci mé práce jsem využil pouze lineární výpočty. Kromě vlastního výpočtu systém umožňuje také provádění posudku výsledného návrhu konstrukce podle odpovídajících technických norem. Tuto možnost jsem v mé práci nevyužil a posudky jsem provedl s využitím postupů definovaných v řadě norem ČSN EN 1993-1, ČSN EN 1991-1.

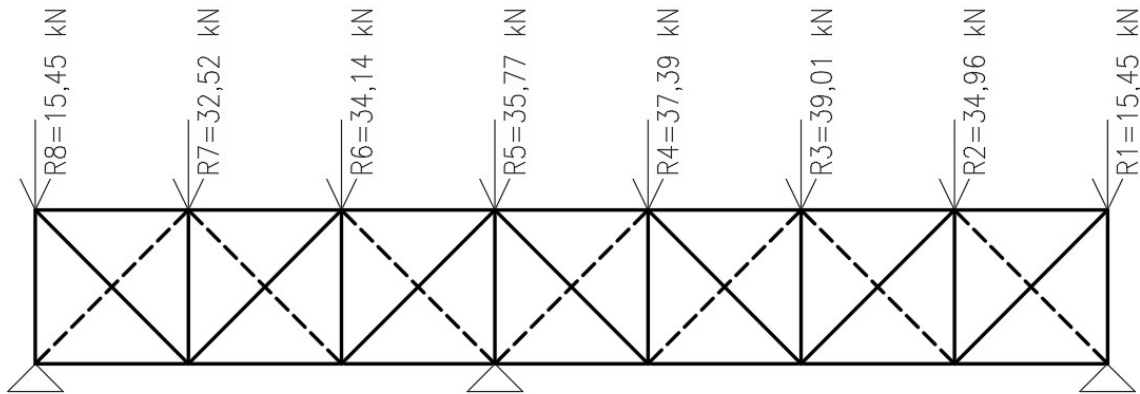
5.2 PŘÍČNÁ VAZBA

Jako model pro příčnou vazbu mi posloužil 2D rám (viz obrázek 3). Působící zatížení je bráno nejhorší možné – příčná vazba na ose 2, kde je největší zatížení větrem. Zatěžovací šířka je 6 m – modulová vzdálenost příčných vazeb. Oproti celkovému 3D modelu je tento návrh více konzervativní.

5.3 PŘÍČNÉ ZTUŽIDLO

Modelem pro příčné ztužidlo mi byla 2D příhrada. Zatížení v uzlech je reakce od větru na štítové fasádní sloupy. Při tvorbě modelu byl můj postup následující: nejprve vymodeloval celý nosník, zjistil, které diagonály jsou tlačené a protože jsem navrhl diagonály jako táhla z plných tyčí, tak jsem z výsledného modelu tlačené diagonály odstranil a pro takto upravenou konstrukci pak provedl výpočet vnitřních sil.

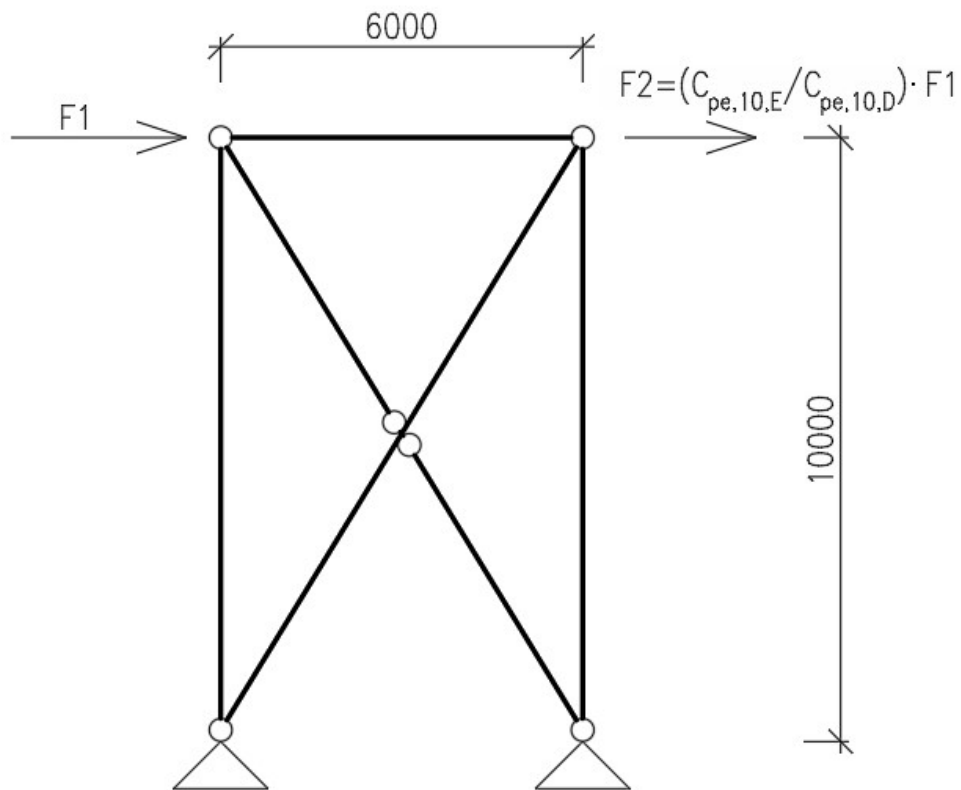
Obrázek 4 - Statické schéma příčného střešního ztužidla – čárkovaně tlačené diagonály



5.4 PODÉLNÉ ZTUŽIDLO

Jako model pro podélné ztužidlo mi opět posloužila 2D příhrada. V tomto modelu jsem diagonály započítal jak tlačené, tak tažené. Tlačené diagonály jsem posoudil na tlak s vlivem vzpěru. Jejich vzpěrnou délku jsem mohl uvažovat jako poloviční, jelikož tlačené diagonály v polovině rozpětí drží z roviny vybočení diagonály tažené. Působící zatížení je reakce od příčného ztužidla jak od tlaku větru na jednu štítovou stěnu, tak od sání větru na tu druhou.

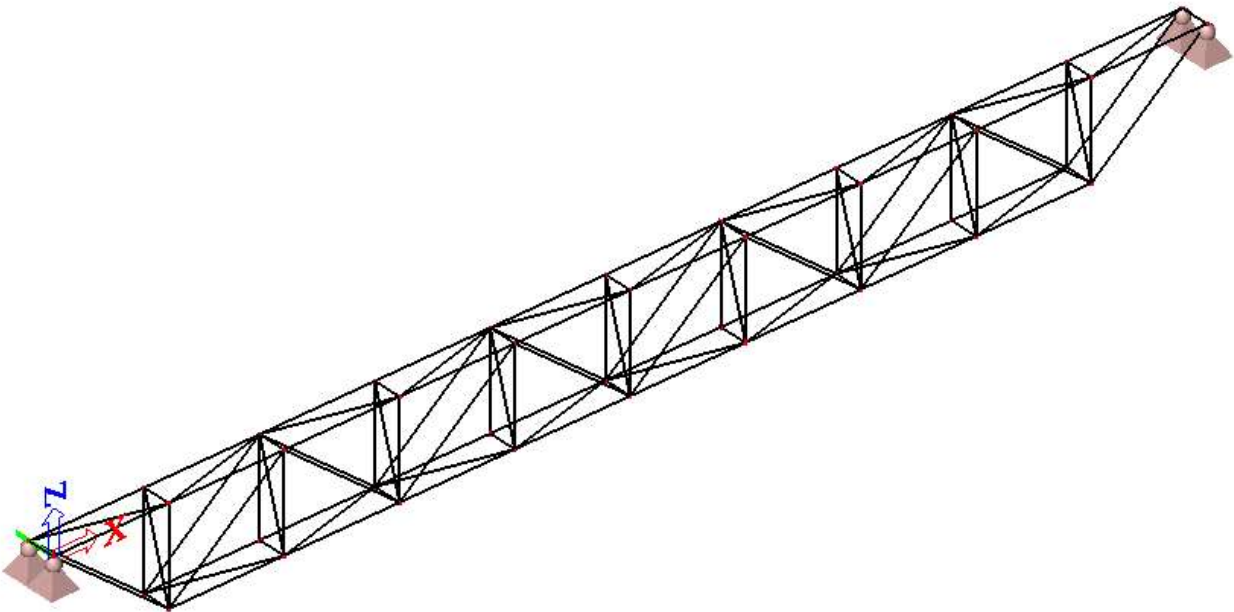
Obrázek 5 – Statické schéma hlavního podélného ztužidla



5.5 PŘÍHRADOVÝ NOSNÍK

Pro návrh příhradového nosníku jsem použil 3D model příhradové konstrukce, jelikož jsem potřeboval ověřit také únosnost nosníku ve směru kolmo k jeho rozpětí. Působícím zatížením na nosník je svislá a vodorovná reakce z příčné vazby a vodorovná reakce od sání podélného větru na vrata.

Obrázek 6 – Statické schéma příhradového nosníku



6 MATERIÁLY

Pro ocelové konstrukce bude použita ocel **S 355J0**

Přehled vlastností oceli S355J0								1.0553	
Druh oceli	Nelegovaná jakostní konstrukční ocel								
TDP	CSN EN 10025-2: 2005								
Dřívější označení	S355J0 podle EN 10025: 1990 + A1: 1993; St 52-3 U podle DIN 17100; 11 523 podle CSN								
Chemické složení v % hmot. (rozbor tavby)	C max. pro tloušťku v mm		Mn	Si	P	S	N		
	≤16	>16≤40	>40 ¹⁾	max.	max.	max.	max.	max.	
	0,20 ²⁾	0,20 ⁴⁾	0,22	1,60	0,55	0,030	0,030	0,012	
Složení hotového výrobku	0,23 ⁵⁾	0,23 ⁴⁾	0,24	1,70	0,60	0,050	0,050	0,011	
Mechanické vlastnosti pro zkoušky v podélném směru	Minimální mez kluzu R _{eH} MPa pro výrobky jmenovité tloušťky v mm :								
	≤16	>16≤40	>40≤63	>63≤80	>80≤100	>100≤150	>150≤200	>200≤250	
	355	345	335	325	315	295	285	275	
	Pevnost v tahu R _m MPa pro výrobky jmenovité tloušťky v mm :								
	≥ 3 ≤ 100		> 100 ≤ 150			> 150 ≤ 250			
	470-630		450-600			450-600			
	Minimální tažnost v % (L ₀ = 5,65S ₀) pro výrobky jmenovité tloušťky v mm ⁶⁾ :								
	≥ 3 ≤ 40		> 40 ≤ 63		> 63 ≤ 100		> 100 ≤ 150		> 150 ≤ 250
	22		21		20		18		17
	Minimální nárazová práce KV (J) při 0° C pro výrobky jmenovité tloušťky v mm : ^{4), 6)}								
≤ 150				> 150 ≤ 250					
27 ⁶⁾				27 ⁶⁾					
Maximální hodnota CEV ³⁾	Pro výrobky jmenovité tloušťky v mm:								
	≥ 30		> 30 ≤ 150			> 150 ≤ 250			
	0,45		0,47			0,49 ⁷⁾			
Technologické vlastnosti									
Svařitelnost	Vhodná ke svařování všemi obvykle používanými způsoby svařování. S rostoucí tloušťkou výrobku a rostoucí hodnotou uhlíkového ekvivalentu se zvyšuje riziko výskytu trhlin za studena v oblasti sváru. Je účelné dbát doporučení stanovující podmínky pro svařování, jak je ku příkladu uvádí ECSC IC 2 (EN 1011).								
Tváření za tepla	Jsou-li dodané výrobky dále tvářeny za tepla, splňují uvedené mechanické hodnoty pouze po následném normalizačním žitání.								
Tvařitelnost za studena	Ocel určená pro tváření za studena musí být označena písmenem C (S355J0C). To se týká i tažení za studena.								
¹⁾ pro profily o jmenovité tloušťce nad 100 mm se obsah C stanoví po dohodě. ²⁾ pro profily o jmenovité tloušťce nad 100 mm je hodnoty nutno dohodnout. ³⁾ hodnota uhlíkového ekvivalentu CEV stanovená z rozboru tavby se vypočte podle vzorce: CEV = C + Mn : 6 + (Cr+Mo+V) : 5 + (Ni+Cu) : 15 CEV je volitelný požadavek. ⁴⁾ pro jmenovitou tloušťku nad 30 mm a pro tváření za studena je obsah C max. 0,22% resp. 0,24% pro hotový výrobek. ⁵⁾ je-li ocel určena k válcování za studena je obsah C max. 0,22% resp. 0,24% pro hotový výrobek. ⁶⁾ průměrná hodnota vypočtená z výsledků tří stanovení musí splňovat předepsané požadavky. Jedna hodnota může být nižší, než předepsaná minimální hodnota za předpokladu, že nebude nižší, než 70% této hodnoty. V opačném případě se odebírají ze zkušební vzorku další 3 zkušební tělesa. Průměrná hodnota ze 6 zkoušek pak nesmí být nižší než předepsaná minimální hodnota, přičemž 2 výsledky mohou být nižší, ale pouze jeden s hodnotou nižší, než 70% předepsané minimální hodnoty. ⁷⁾ u dlouhých výrobků je maximální hodnota CEV 0,54. ⁸⁾ pro podélný směr zkoušení									

Tenkostěnné za studena válcované Z vaznice od firmy Kovové profily jsou z oceli S350GD.

Šroubové spoje jsou spojeny běžnými šrouby (kategorie A), jakost 8.8.

Pro kotvení běžné patky je použit HIT-Z M20x250 lepený do betonu lepicí hmotou HIT-HY 200 a pro kotvení patky v poli s podélným ztužidlem jsou použity šrouby s kotevní hlavou M 42x3.

Konstrukci základů je navržena z betonu C20/25 XC1. Vyšší třída betonu je požadována z důvodu kotvení chemických kotev Hilti.

7 OCHRANA OCELOVÝCH PRVKŮ

7.1 KLASIFIKACE PROSTŘEDÍ

Kategorie korozní agresivity byla určena jako C2 – nízká – nevytápěné budovy, kde může docházet ke kondenzaci, např. sklady, sportovní haly.

7.2 OCHRANNÉ OPATŘENÍ

Nosné části ocelové konstrukce budou v dílně opatřeny základním nátěrem – primérem, který zaručuje přilnutí a brání korozi. Po montáži bude konstrukce opatřena nátěrem finálním, jež bude sloužit jako inertní ochrana před prostředím, a bude mít minimální tloušťku vrstev 40 μm .

ZÁVĚR

Cílem mé práce bylo navrhnout konstrukční řešení ocelové haly s ohledem na její využití, kterým je servis a sklad pro ultralehká letadla. Můj koncept řešení je dvoulodní trojkloubová rámová hala s náběhy. Součástí práce je statický výpočet, ve kterém je návrh dimenzí a posouzení prvků nosné konstrukce dle platných norem a zpracování klíčových detailů a jejich výkresové dokumentace. Výpočty vnitřních sil a deformací byly provedeny ve statickém softwaru Scia Engineer a jako výpočetní modely posloužily zjednodušené 2D/3D modely jednotlivých prvků.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

NORMY

- [1] ČSN EN 1991-1 - Eurokód 1 Zatížení konstrukcí
- [2] ČSN EN 1993-1 (731401) - Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí

LITERATURA

- [3] Vraný T.: Ocelové konstrukce 20, Projekt, haly, vydalo České vysoké učení technické v Praze, 2003
- [4] Sokol Z., Wald F.: Ocelové konstrukce, Tabulky, vydalo České vysoké učení technické v Praze, 2013
- [5] Studnička J.: Ocelové konstrukce, Normy, vydalo České učení technické v Praze, 2014
- [6] Hilti: Katalog pro projektanty 2016/2017
- [7] Jandera M., Eliášová M., Vraný T.: Ocelové konstrukce 01 – cvičení, vydalo České učení technické v Praze, 2015

INTERNETOVÉ STRÁNKY

- [8] www.kingspan.com – stránky výrobce sendvičových izolačních panelů
- [9] www.kovprof.cz – stránky výrobce tenkostěnných profilů
- [10] www.ferona.cz – stránky velkoobchodu s hutním materiálem
- [11] www.snehovamapa.cz - mapa zatížení sněhem na zemi
- [12] Macháček J.: <http://people.fsv.cvut.cz/~machacek/>, Přednášky NNK, OK01
- [13] <http://letistebenesov.cz>
- [14] <https://mapy.cz/>
- [15] <http://www.ebeton.cz>
- [16] <http://www.bolzano.cz>

POUŽITÉ PROGRAMY

- SCIA Engineer 16.0 – studentské verze
- AutoCAD Mechanical 2017 – studentské verze
- Sada Microsoft Office 2016