



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

**NÁVRH KITU PRO PŘESTAVBU LETOUNU L-410
NA NÁKLADNÍ VERZI**

CONVERSION KIT FOR L-410 CARGO VERSION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Jurda

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Bartoněk

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav: Letecký ústav
Student: **Bc. Martin Jurda**
Studijní program: Letecká a kosmická technika
Studijní obor: Stavba letadel
Vedoucí práce: **Ing. Jaroslav Bartoněk**
Akademický rok: 2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh kitu pro přestavbu letounu L-410 na nákladní verzi

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Letoun L-410, jeden z nejúspěšnějších produktů československého leteckého průmyslu, je mezi uživateli oblíben pro svou nenáročnost a operační pružnost. Jedním z požadavků, který doposud nebyl plně reflektován výrobcem, je konverzní sada umožňující přestavbu na čistě nákladní letoun. Student(ka) provede analýzu potřebných úprav standardní konstrukce a navrhne jejich technická řešení, a to tak, aby tato řešení byla použitelná pro verze L-410UVP-E, E20 a NG.

Cíle diplomové práce:

1. Stanovit požadavky stavebního předpisu CS-23 na nákladní verzi letounu L-410UVP-E, E20 a NG.
2. Sestavit seznam potřebných zásahů do konstrukce letounu. Detailně rozpracovat konstrukční návrh jednoho z nich tak, byl použitelný pro všechny tři verze.
3. Provést výpočet zatížení a pevnosti vybraného konstrukčního řešení.
4. Porovnat schopnosti letounu po úpravách s obdobnými typy na trhu.

Seznam doporučené literatury:

NIU, M. Ch.-Y. Airframe structural design. 2nd ed. Hong Kong: Hong Kong Conmilit Press Ltd. ISBN 962-7128-09-0.

DANĚK, V. Mechanika letu. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-761-1.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Táto diplomová práca sa zaoberá návrhom bezpečnostnej bariéry pre prestavbu letúnu L 410 na nákladnú verziu. Úvod práce je zameraný na popis využitia letúnu s následnou klasifikáciou navrhovanej prestavby a zostavením potrebných zmien pre prestavbu letúnu podľa predpisov. Práca pokračuje koncepčným a konštrukčným návrhom, kde sú uvedené detailné konštrukčné riešenia bariéry. Ďalšou časťou je pevnostná kontrola navrhnutých častí bariéry s využitím MKP výpočtu. Poslednou kapitolou je porovnanie upraveného letúnu s letúnmi rovnakej kategórie využívaných pre prepravu nákladu.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Bezpečnostná bariéra, L 410, nákladná verzia, konštrukčný návrh, pevnostná kontrola

ABSTRACT

This master's thesis deals with the design of a safety barrier for the conversion of the L 410 aircraft to a cargo version. The introduction is focused on the description of the use of the aircraft with the subsequent classification of the proposed reconstruction and the compilation of the necessary changes for the reconstruction of the aircraft according to regulations. The work continues with a conceptual and structural design, which provides detailed structural solutions to the barrier. Another part is the strength verification of the designed barrier parts using FEM calculation. The last chapter is a comparison of the modified aircraft with aircraft of the same category used for cargo transport.

KEY WORDS

Safety barrier, L 410, cargo version, structural design, strength verification

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

JURDA, Martin. *Návrh kitu pro přestavbu letounu L-410 na nákladní verzi* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139731>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce Jaroslav Bartoněk.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Ja, Martin Jurda, prehlasujem, že som túto diplomovú prácu na tému „Návrh kitu pro přestavbu letounu L-410 na nákladní verzi“ vypracoval samostatne pod vedením svojho vedúceho práce s použitím literatúry uvedenej na konci práce.

V Brne 17. mája 2022

.....
Martin Jurda

POĎAKOVANIE

Ďakujem svojmu vedúcemu práce Ing. Jaroslavovi Bartoňkovi za odborné a cenné rady, trpezlivosť a pochopenie počas konzultácií. Taktiež by som chcel poďakovať odbornému konzultantovi Ing. Radkovi Raidovi z firmy Aeroservis za poskytnuté dáta a rady počas návrhu. Ako posledné by som chcel vyjadriť svoju vďaku mojím rodičom a celej rodine za ich stálu podporu počas celého štúdia.

OBSAH

ÚVOD	9
1 POPIS LETÚNU L 410	10
1.1 Popis súčasného použitia ako nákladnej verzie	11
1.2 Dôvody prestavby.....	12
2 CERTIFIKÁCIA A STAVEBNÉ POŽIADAVKY ZMENY	13
2.1 Klasifikácia zmeny.....	13
2.1.1 Klasifikácia zmeny podľa 21.A.91	13
2.1.2 Klasifikácia zmeny podľa 21.A.101	13
2.2 Typy certifikačných báz	16
2.3 Stanovenie certifikačnej bázy.....	17
2.4 Požiadavky pre prestavbu na nákladnú verziu	18
2.5 Zhrnutie zmien v konštrukcii letúnu	18
3 NÁVRH BARIÉRY	19
3.1 Funkcie bariéry	19
3.2 Koncepčný návrh bariéry	19
3.2.1 Možnosti umiestnenia a rozdelenia nákladu	19
3.2.2 Druh bariéry	20
3.2.3 Výber riešenia	24
3.3 Konštrukčný návrh bariéry.....	25
3.3.1 Konštrukcia rámu a jeho uchytenie	27
3.3.2 Konštrukcia krátkej vzpery jej uchytenie	29
3.3.3 Konštrukcia tiahla a jeho uchytenie.....	30
3.3.4 Konštrukcia dlhej vzpery a jej uchytenie.....	32
4 PEVNOSTNÁ KONTROLA BARIÉRY	34
4.1 Hmotnostné rozloženie.....	34
4.2 Výpočet zaťaženia bariéry.....	36
4.3 Pevnostná kontrola rámu	39
4.3.1 Nastavenie a overenie MKP modelu	39
4.3.2 Výpočet pomocou MKP.....	42
4.4 Pevnostná kontrola tiahla	44
4.5 Pevnostná kontrola vzpier	45

4.6	Pevnostná kontrola závesného oka.....	46
4.7	Pevnostná kontrola konzoly rámu.....	51
4.8	Pevnostná kontrola ôk ostatných konzol.....	56
4.9	Pevnostná kontrola licovaných skrutiiek tiahla a vzpier.....	57
5	POROVNANIE UPRAVENÉHO LETÚNU S LETÚNMI ROVNAKEJ KATEGÓRIE	60
	ZÁVER	63
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	64
	ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV	66
	ZOZNAM TABULIEK	69
	ZOZNAM OBRÁZKOV.....	70
	ZOZNAM PRÍLOH.....	71

ÚVOD

Táto diplomová práca je zameraná na návrh bezpečnostnej bariéry dvojmotorového viacúčelového letúnu L-410. Dôvodom pre vznik tejto práce je snaha zadávateľa využiť priestor trupu daného letúnu pre prepravu väčšieho množstva nákladu s možnosťou rýchlej prestavby z verzie pre prepravu osôb na nákladnú verziu a naopak.

V úvode práce je uvedený stručný opis letúnu verzií L 410 UVP-E, L 410 UVP-E20 a L 410 NG a ich súčasné využitie pre prepravu nákladu.

Následne je spracovaná kapitola pre určenie certifikačnej báze spolu so stavebnými predpismi pre navrhovanú zmenu, ktorá je zakončená zoznamom potrebných zmien pre prestavbu letúnu na nákladnú verziu.

Podstatnou časťou celej práce je návrh bezpečnostnej bariéry, ktorý sa skladá z koncepčného návrhu a pokračuje detailným konštrukčným návrhom jednotlivých častí bariéry.

Navrhnutá konštrukcia bariéry je potom pevnostne kontrolovaná pre zaťaženie vyplývajúce z rozdelenia nákladného priestoru. Pevnostná kontrola jednotlivých častí bariéry bola prevedená pomocou MKP výpočtu a analytických výpočtov.

Práca je zakončená porovnaním upraveného letúnu s letúnmi rovnakej kategórie, ktoré sú využívané ako nákladné verzie.

1 POPIS LETÚNU L 410

Letún L 410 je dvojmotorový turbopropový viacúčelový hornoplošník, ktorý je schopný prevádzkovania v extrémnych klimatických podmienkach a vzletu a pristátia na krátkych nespevnených plochách (STOL). Je prevádzkovaný po celom svete jak v civilnom sektore pre komerčnú dopravu, prepravu nákladu alebo v aerokluboch, tak aj vo vládných a vojenských sektoroch či už pre účely pátracích alebo aj záchranných zložiek. [12]

Existuje mnoho verzii letúnu L 410, no v súčasnosti medzi ponúkané a najviac prevádzkované patria verzie L 410 UVP-E, UVP-E20 a NG, pre ktoré bude kit pre prestavbu na nákladnú verziu navrhovaný.

Tab. 1.1 - Technické parametre verzií letúnu L-410 [1],[2]

Verzia	L 410 UVP-E, UVP-E20	L 410 NG
Parameter	Hodnota a jednotka	
Počet cestujúcich + posádka	19 + 2 piloti	
Dĺžka	14,475 m	15,074 m
Výška	5,969 m	
Rozpätie (s nádržami)	19,980 m	
Max vzletová hmotnosť	6 600 kg	7000 kg
Max platiace zaťaženie	1 800 kg	2300 kg
Max cestovná rýchlosť	405 km/h	417 km/h
Dolet s koncovými nádržami	1 500 km	2570 km
Výdrž	5,1 h	10,5 h
Max prevádzková výška	4200 m	6100 m
Max dostup	8 382 m	8230 m



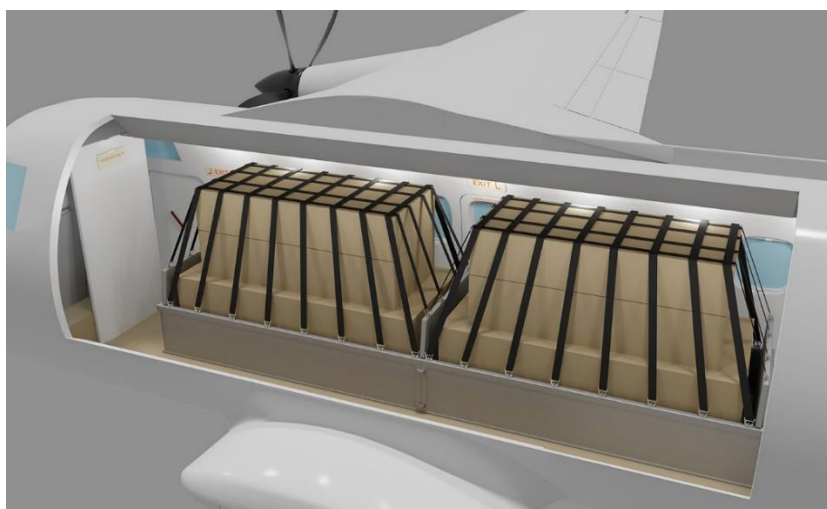
Obr. 1.1 - L 410 UVP-E20 [10]

1.1 Popis súčasného použitia ako nákladnej verzie

V súčasnosti sú verzie letúnu L-410 certifikované pre prevádzku ako nákladná verzia s použitím nákladných kontajnerov namiesto sedadiel. Nákladné kontajnery pritom nevyužívajú celý objem trupu a prepravovaný tovar je uchytený v týchto kontajneroch pomocou sietí a pásov. Boky interiéru kabíny pre cestujúcich sú pri použití tejto verzie chránené pred poškodením umiestnením plastových tabúľ. [1]

Tab. 1.2 - Technické parametre nákladných verzií L-410 [1],[2]

Parameter	Hodnota a jednotka	
Verzia	L-410 UVP-E20	L-410 NG
Max povolená hmotnosť prepravovaného nákladu	1700 kg	
Rozmery nákladných kontajnerov	4 x 1,08 x 1,5 m	4,4 x 1,08 x 1,5 m



Obr. 1.2 - Nákladná verzia L-410 - model [12]



Obr. 1.3 - Nákladná verzia L-410 [15]

1.2 Dôvody prestavby

Z predošlých kapitol a parametrov je viditeľné, že súčasne používaná a ponúkaná nákladná verzia neumožňuje využitie celkového priestoru trupu letúnu pre umiestnenie nákladu.

Preto hlavným dôvodom pre prestavbu súčasnej verzie L-410 na inú nákladnú verziu, ako tú súčasne používanú, je zvýšenie kapacity prepravovaného nákladu s využitím čo najväčšieho možného priestoru trupu.

Zároveň ale má byť splnená požiadavka prevádzkovateľa na čo najrýchlejšiu zmenu konfigurácie trupu z nákladnej verzie na verziu pre prepravu osôb a naopak.

2 CERTIFIKÁCIA A STAVEBNÉ POŽIADAVKY ZMENY

Letún L-410 má niekoľko verzií z ktorých každá verzia je certifikovaná podľa inej certifikačnej bázy. Preto pre návrh a reálne zavedenie kitu nákladnej verzie je nutné uviesť a spracovať niektoré kroky pre dodatočnú typovú certifikáciu zmeny.

Vypracované kroky umožnia určenie konkrétnej certifikačnej bázy resp. stavebného predpisu z ktorého bude vychádzať návrh kitu pre nákladnú verziu a ktoré môžu v budúcnosti slúžiť ako podklady pre certifikačný program a komunikáciu s adekvátnym úradom.

2.1 Klasifikácia zmeny

Prioritnou zmenou nákladnej verzie je úprava priestoru kabíny pre cestujúcich pre prepravu nákladu s využitím čo najväčšieho objemu. Táto úprava by mala pozostávať zo zavedenia úchytovej a závesovej sústavy pre umiestnenie bezpečnostných nákladných sietí podľa návrhu rozmiestnenia nákladu.

Avšak za predpokladu zastavania priestoru za kabínou posádky možno konštatovať, že táto zmena bude ovplyvňovať oblasť kabíny posádky a spôsobí vznik nových zmien priamo súvisiacich s pôvodnou zmenou.

Medzi takéto zmeny možno uvažovať potrebu vzniku nového núdzového východu v oblasti pilotnej kabíny pre potrebu zachovania dostatočného počtu núdzových východov.

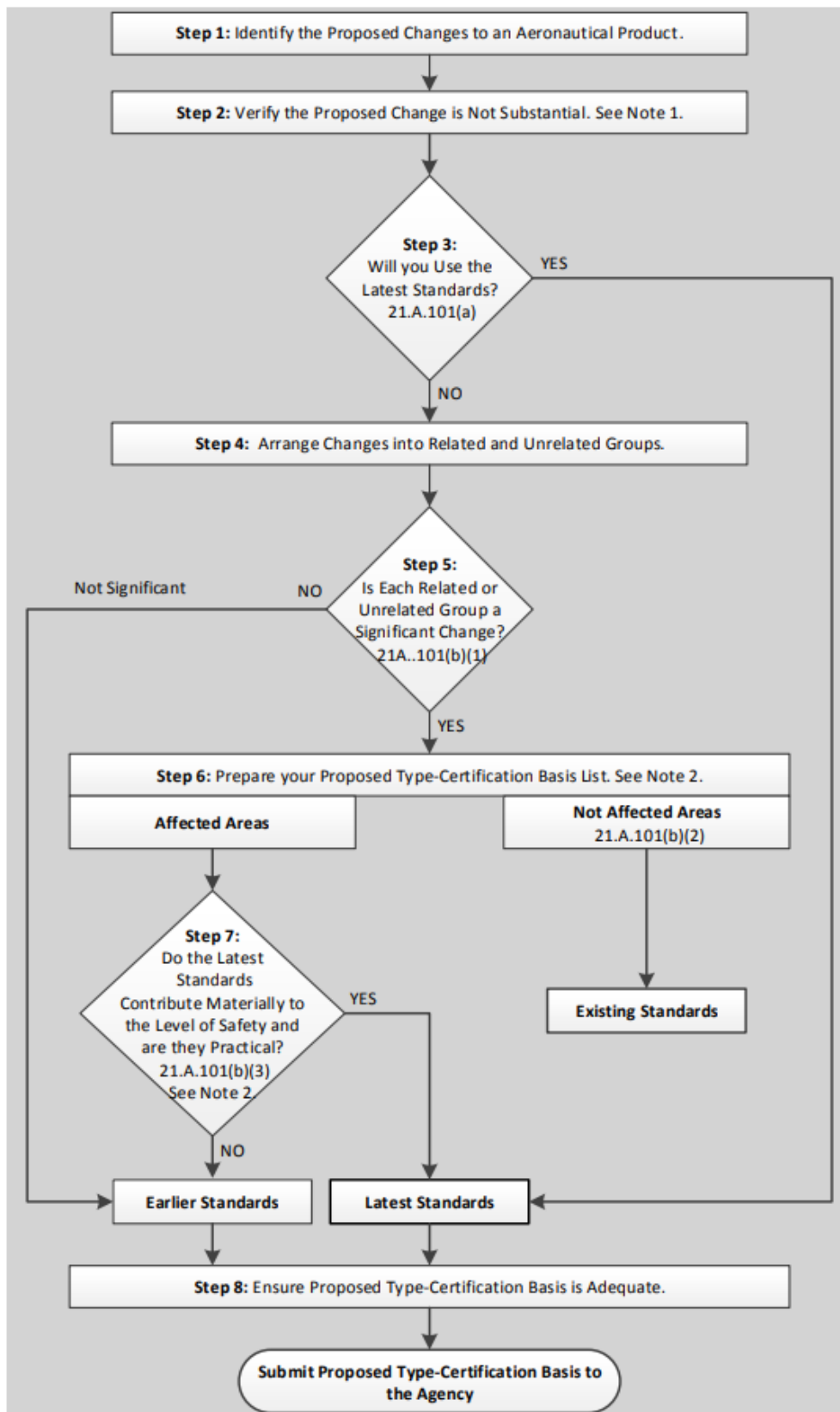
2.1.1 Klasifikácia zmeny podľa 21.A.91

Z vyššie uvedených predpokladov je zmena klasifikovaná podľa 21.A.91 [5] ako závažná (major). Klasifikácia bola určená z dôvodu ovplyvnenia letovej spôsobilosti a to konkrétne vplyvom na:

- Bezpečnosť kabíny – zmenou usporiadania kabíny pre cestujúcich ktorá ovplyvňuje evakuačné cesty a prístup k únikovým východom
- Štruktúru trupu – výrezom pre vznik nového núdzového východu

2.1.2 Klasifikácia zmeny podľa 21.A.101

Po klasifikácii zmeny ako závažnej (major) bola prevedená analýza zmeny pre ďalšie stanovenie certifikačnej bázy podľa 21.A.101 [5] pomocou vývojového diagramu znázorneného na obrázku nižšie (Obr. 2.1).



Obr. 2.1 - Vývojový diagram navrhovanej certifikačnej bázy pre zmenu produktu podľa 21.A.101 [5]

Podľa vývojového diagramu znázorneného na obrázku Obr. 2.1 boli uvedené kroky vyhodnotené následne:

Krok 1.

Navrhovaná zmena sa týka verzií letúnov L-410 UVP-E, L-410 UVP-E20 a L-410 NG. Konkrétny popis zmeny a dôvody sú uvedené v kap. 1.3 a v prvých troch odstavcoch kapitoly 2.1.

Krok 2.

Pri prevedení zmeny sa žiadnym spôsobom nezmení hlavná konfigurácia a dizajn letúnu. Okrem pribudnutia a označenia nového núdzového východu v oblasti pilotnej kabíny bude podobnosť s predošlými verziami zachovaná.

Part 21 [5] uvádza niekoľko príkladov nepodstatných zmien (no-substantial) ako napr.:

- zmena z verzie pre pasažierov na nákladnú verziu, ktorá môže zahŕňať zavedenie nákladných dverí alebo zvýšenie nosnosti podlahy
- zmena typu a počtu únikových východov alebo zvýšenie maximálnej kapacity pasažierov

Na základe uvedených príkladov, bola navrhovaná zmena hodnotená ako nepodstatná (no-substantial).

Krok 3.

Pre navrhovanú zmenu nie je zvažované použitie posledných vydaných certifikačných štandardov pokiaľ to nebude nevyhnutné z výsledku analýzy.

Krok 4.

Závislá skupina:

- úprava kabíny pre cestujúcich ↔ vytvorenie nového núdzového východu

Nezávislá skupina:

- žiadna

Krok 5.

Rozdelenie a hodnotenie je uvedené v nasledujúcej tabuľke (*Tab. 2.1*), kde:

- A - uvádza, či daná zmena zasahuje do obecnej konfigurácie.
- B - uvádza, či daná zmena zasahuje do princípov konštrukcie.
- C - uvádza, či boli predpoklady pre certifikáciu neplatné.

Tab. 2.1 - Rozdelenie závislých zmien na významné a nevýznamné

Navrhovaná zmena	A	B	C	Poznámka	Hodnotenie
Úprava kabíny pre cestujúcich	NIE	NIE	NIE	Aj keď ide o veľkú zmenu, obecná konfigurácia, princípy konštrukcie a predpoklady certifikácie ostávajú zachované.	Nevýznamná (non-significant)
Vytvorenie nového núdzového východu	ÁNO	NIE	ÁNO	Vznik odlišnosti medzi pôvodnými verziami. Certifikácia núdzového východu presahuje tie, ktoré boli predtým podložené.	Významná (significant)

Z uvedeného hodnotenia sú zmeny ako jedna závislá skupina klasifikované podľa predpisu 21.A.101 ako významné (significant).

Krok 6. a Krok 7.

Uvedené v kapitole 2.3.

Krok 8.

Neuvedený. Tento krok nie je uvedený z dôvodov týkajúcich sa samotného podania žiadosti, vyjadrenia a komunikácie s patričným úradom o navrhovanej doplnkovej typovej certifikácii zmeny.

2.2 Typy certifikačných báz

Kapitola uvádza jednotlivé certifikačné bázy týkajúce sa verzií letúnov L-410, pre ktoré je navrhovaný kit pre nákladnú verziu, a z ktorých sa následne odvíja použitie výslednej certifikačnej bázy a jej predpisov.

Tab. 2.2 - Typy certifikačných báz [16]

Typ letúnu: L-410 (EASA.A.026, Issue 33)	
Modely:	Typ certifikačnej bázy:
L-410 UVP-E	NLGS-2, Issue 2, 1974
L-410 UVP-E20	14 CFR Part 23 at Amdt. 34
L-410 NG	CS 23, including Amdt 4

2.3 Stanovenie certifikačnej bázy

Ako dátum žiadosti o STC (doplnkový typový certifikát) navrhovanej zmeny berieme dátum odovzdania tejto diplomovej práce t.j. 20.5.2022.

Pre tento dátum a zároveň pre klasifikáciu zmeny ako významnú (significant) platí, že navrhovaná zmena na letúne má byť prevedená podľa súčasne platnej certifikačnej bázy CS-23 Amdt. 5. Avšak podľa predpisu 21.A.101(b),(3) [5] je možné použiť aj skoršiu certifikačnú bázu a to v prípade, že súčasná báza nijako neprispieva k bezpečnostnej úrovni alebo je nepraktická.

Na základe tohto pravidla bola zostavená tabuľka aplikovateľných predpisov pre navrhované zmeny, kde sú porovnané jednotlivé predpisy poslednej použitej certifikačnej bázy pre letún L-410, teda CS-23 Amdt 4, s predpismi súčasnej platnej certifikačnej bázy CS-23 Amdt 5.

Tab. 2.3 - Zoznam aplikovateľných predpisov pre navrhované zmeny

Certifikačná špecifikácia	Novelizačné úrovne (Amendment Levels)			Zmena / ovplyvnená oblasť
	Novela poslednej použitej certifikačnej základne	Novela k dátumu podania žiadosti a jej AMC*		
	Amdt 4 [6]	Amdt 5 [7]	AMC [7]	
CS-23	23.23	23.2100	CS-23 Amdt 4	Úprava kabíny pre cestujúcich
	23.561	23.2270	CS-23 Amdt 4	
	23.787	23.787	CS-23 Amdt 4	
	23.853	23.2325	CS-23 Amdt 4	
	23.855	23.2325	CS-23 Amdt 4	
	23.805	23.2315	CS-23 Amdt 4	Vytvorenie nového núdzového východu

*AMC – Akceptovateľné spôsoby splnenia predpisu

Uvedené porovnanie z tabuľky (Tab. 2.3) ukazuje, že predpisy poslednej použitej a súčasne platnej bázy sa líšia a boli upravované. Avšak súčasne platná certifikačná báza uvádza, že ako jednu z možností uplatnenia predpisu je možné použitie predošlej certifikačnej bázy CS-23 Amdt. 4.

Preto je pre túto prácu, vzhľadom na klasifikáciu zmeny podľa 21.A.91 a 21.A.101 ako závažnú (major) a významnú (significant), zvolená certifikačná báza CS-23 Amdt. 5 podľa ktorej budú pre navrhovanú zmenu použité akceptovateľné spôsoby splnenia predpisu (AMC) CS-23 Amdt 4.

2.4 Požiadavky pre prestavbu na nákladnú verziu

Na základe certifikačnej bázy CS-23 Amdt. 5 a jej príslušných AMC boli vybrané a zhrnuté dôležité požiadavky týkajúce sa umiestnenia a uloženia nákladu pre prestavbu na nákladnú verziu a požiadavky týkajúce sa vytvorenia nového núdzového východu pre posádku.

Všetky tieto požiadavky sú uvedené v Príloha A – Zoznam predpisov, spolu so spôsobmi overenia ich uplatnenia v dodatočnej typovej certifikácii.

2.5 Zhrnutie zmien v konštrukcii letúnu

Z uvedených požiadaviek predpisu (*Príloha A*) sú zhrnuté potrebné zmeny pre nákladnú verziu.

Tieto zmeny sú rozdelené do dvoch skupín a to na:

- **Primárne zmeny** – zahŕňajú nutné zmeny k prestavbe na nákladnú verziu.
- **Sekundárne zmeny** – zahŕňajú zmeny odvíjajúce sa od riešení primárnych zmien, teda ich zavedenie nemusí byť nutne vyžadované.

Primárne zmeny v konštrukcii letúnu:

- a) Umiestnenie prostriedkov pre zachytenie dopredných zotrvačných síl od nákladu a oddelenie pilotnej kabíny od nákladného priestoru.
- b) Umiestnenie prostriedkov pre uchytenie nákladu a zachytenie vertikálnych a kolmých zotrvačných síl.
- c) Vytvorenie druhého núdzového východu v ľavej časti pilotnej kabíny.

Sekundárne zmeny v konštrukcii letúnu:

- a) Umiestnenie systému detekcie a signalizácie vzniku požiaru v nákladnom priestore.

V ďalších kapitolách je práca zameraná iba na riešenie primárnej zmeny a), teda na návrh prostriedkov zachytávajúcich dopredné zotrvačné sily a oddeľujúcich pilotnú kabínu od nákladného priestoru.

3 NÁVRH BARIÉRY

Pre účely zachytenia dopredných zotrvačných síl a oddelenie pilotnej kabíny od nákladnej bol spracovaný návrh bezpečnostnej bariéry. Celkový návrh bariéry pozostáva z koncepčného návrhu ktorý obsahuje možnosti prevedenia bariéry. Následne na neho nadväzuje konštrukčný návrh bariéry kde sú detailnejšie spracované jednotlivé konštrukčné riešenia návrhu.

3.1 Funkcie bariéry

Z požiadaviek v predchádzajúcich kapitolách a požiadaviek prevádzkovateľa by mala bariéra zabezpečovať nasledovné funkcie:

- Zachytiť dopredné zotrvačné sily pre násobok 18g pri núdzovom pristátí za pôsobenia maximálnej hmotnosti nákladu.
- Oddeliť nákladný priestor od pilotnej kabíny.
- Zamedziť možnosti poškodenia panelu riadenia nákladom.
- Umožniť prechod posádke lietadla k nákladu v prípade vzniku požiaru.
- Spĺňať protipožiarne opatrenia na použité materiály v konštrukcii bariéry.
- Umožniť rýchlu a jednoduchú prestavbu z verzie pre prepravu pasažierov na nákladnú verziu a naopak.

3.2 Koncepčný návrh bariéry

Koncepčný návrh a možnosti jeho prevedenia vychádzajú zo spracovanej rešeršnej časti priemyslového projektu [10], kde boli získané informácie o používaných prevedeniach nákladných verzí konkurenčných letúnov kategórie CS-23.

3.2.1 Možnosti umiestnenia a rozdelenia nákladu

Pre účely zachytenia požadovaných síl od nákladu je možné uvažovať nad jednou bariérou ktorá by plnila požadované funkcie alebo rozdeliť nákladný priestor na viacero častí a tým prerozdeliť aj zaťaženie.

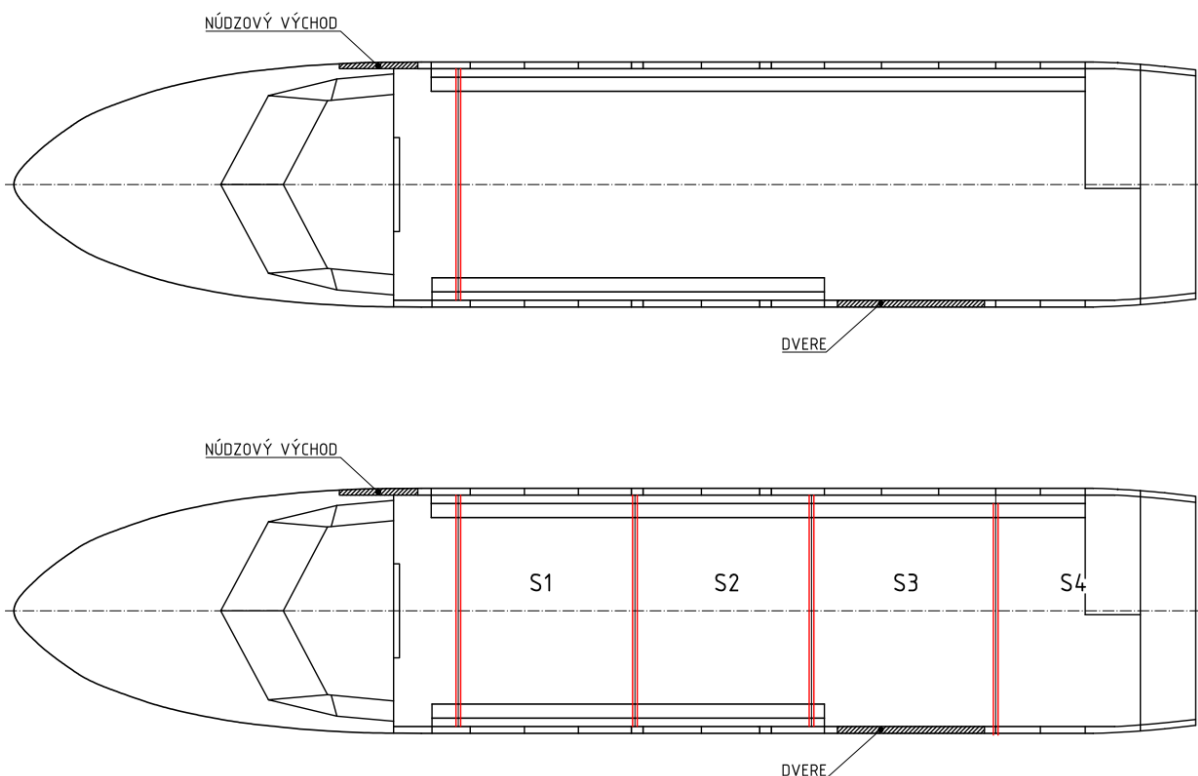
Každá z uvedených možností pritom poskytuje určité výhody a nevýhody ktoré ovplyvňujú ďalšie kroky pri návrhu.

Použitie jednej samostatnej bariéry (Obr. 3.1– hore):

- + Jednoduchšia montáž/demontáž v prípade prestavby verzí – použitie jedného kusu.
- + Zásah do konštrukcie trupu iba v jednej oblasti pozdĺž trupu.
- + Pri vypuknutí požiaru v zadnej časti trupu by člen posádky prekonával iba jednu bariéru.
- + Možnosť ľubovoľného využitia celého nákladného priestoru podľa potreby pri umiestnení nákladu
- Masívnejšia (ťažšia) konštrukcia bariéry a jej uchytení.
- Väčšia potreba spevnenia pôvodnej konštrukcie v danej časti trupu.
- Horšia manipulácia pri montáži/demontáži vplyvom hmotnosti bariéry

Použitie viacerých bariér s rozdelením na sekcie (Obr. 3.1– dole):

- + Ľahšie bariéry a ich uchytenia kvôli prerozdeleniu zaťaženia - sekcie s určenými maximálnymi hmotnosťami.
- + Menšia potreba spevnenia pôvodnej konštrukcie.
- Hmotnostné obmedzenie jednotlivých sekcií vzhľadom na zachovanie polohy ťažiska letúnu
- V prípade vypuknutia požiaru v zadnej časti trupu by člen posádky musel prekonať viacero bariér.
- Zásah do konštrukcie trupu vo viacerých miestach pozdĺž trupu.
- Zložitejšia montáž/demontáž v prípade prestavby verzií – viac bariér, viac častí ktoré treba pridať alebo odstrániť.



Obr. 3.1 - Možnosti umiestnenia a rozdelenia nákladu,
hore – použitie samostatnej bariéry,
dole – použitie viacerých bariér

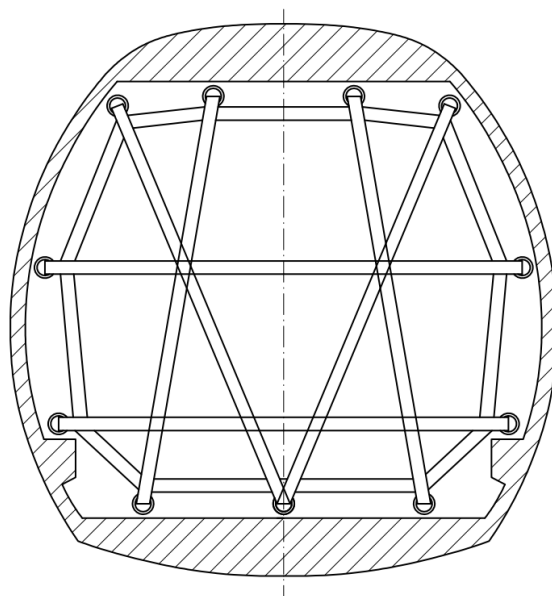
3.2.2 Druh bariéry

Možností zachytenia síl od nákladu je viacero a pre optimálny návrh je potrebné tieto možnosti zhodnotiť a vybrať tú ktorá bude okrem spĺňania požadovaných funkcií poskytovať aj najjednoduchšiu manipuláciu pri zmene verzií a najnižšiu hmotnosť.

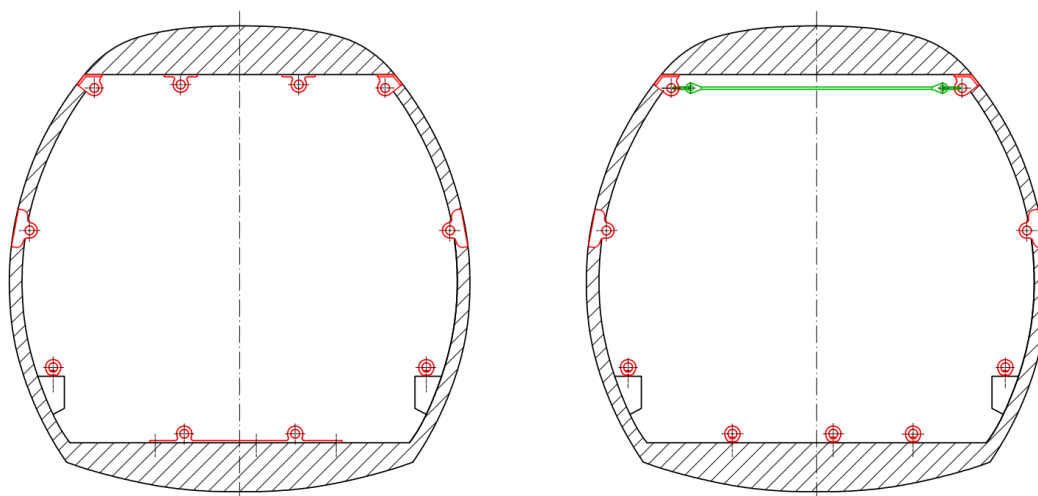
Navrhované varianty bariér sú uvedené s popisom ich vlastností a predpokladaných následkov pre konštrukciu a prevádzku letúnu.

A. Bariéra tvorená okami a záchytnou sieťou

Konštrukcia by na zachytenie síl od nákladu využívala oká upevnené ku konštrukcií letúnu o ktoré by bola upevnená záchytná sieť pomocou karabín (Obr. 3.2 a 3.3).



Obr. 3.2 - Druh bariéry, variant A



Obr. 3.3 - Návrhy prevedenia variantu bariéry A, vľavo – prevedenia iba pomocou ôk, vpravo – prevedenie pomocou lana v hornej časti trupu

Výhody:

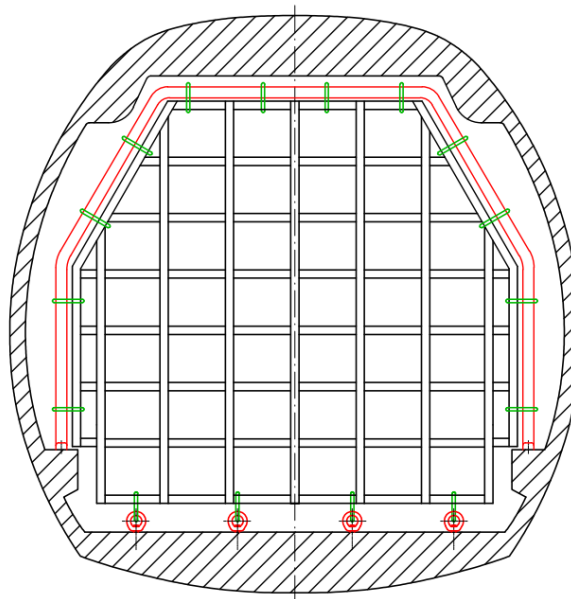
- Jednoduché uchytenie ôk v pôvodných miestach uchytenia sedačiek.
- Jednoduchá a rýchla manipulácia so záchytnou sieťou pomocou karabín.
- Možnosť využitia vyrábaných a certifikovaných sietí, úchyto, ôk a karabín ponúkaných na trhu.
- Jednoduchšia manipulácia s konštrukciou bariéry – viac menších ľahkých dielov.
- Možnosť využitia ako pre použitie jednej bariéry tak aj pre použitie viacerých bariér a rozdelenie konštrukcie.

Nevýhody:

- Zložitejšie uchytenie ôk po stranách trupu a v miestach horného roštu trupu – pravdepodobnosť nutného spevnenia konštrukcie.
- Vyšší počet dielov pre uchytenie ku konštrukcii – náročnejšia montáž/demontáž a kontrola.
- V prípade nedemontovateľného uchytenia ôk – estetická degradácia interiéru pri verzii pre prepravu pasažierov.

B. Bariéra tvorená rámom a záchytnou sieťou

Konštrukcia by na zachytenie síl od nákladu využívala rám upevnený ku konštrukcií spolu s okami v podlahe letúnu o ktoré by bola upevnená záchytná sieť pomocou karabín (Obr. 3.4).



Obr. 3.4 - Druh bariéry, variant B

Výhody:

- Možnosť uchytenia rámu k súčasným miestam uchytenia sedačiek.
- Jednoduchá a rýchla manipulácia so záchytnou sieťou pomocou karabín.
- Nie je nutné spevnenie konštrukcie po stranách trupu a konštrukcie horného roštu.
- Konštrukcia bariéry ako jeden celok – jednoduchšia montáž/demontáž a kontrola
- Možnosť využitia ako pre použitie jednej bariéry tak aj pre použitie viacerých bariér a rozdelenie konštrukcie.

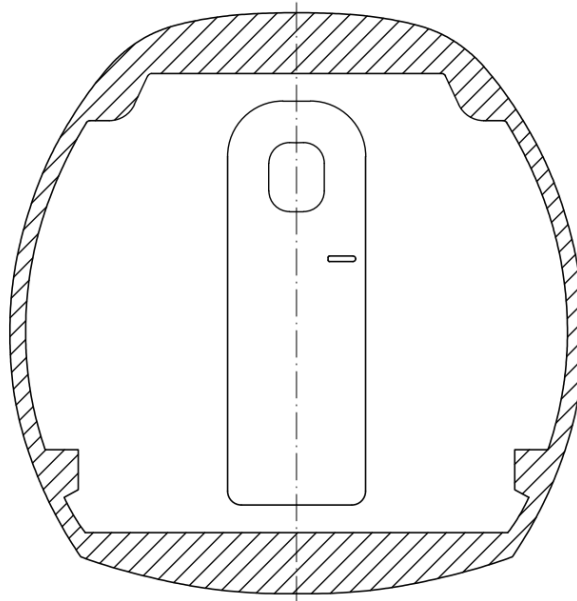
Nevýhody:

- Zložitejšia manipulácia s konštrukciou bariéry – vyššia hmotnosť bariéry, jeden kus ako celok

C. Bariéra tvorená prepážkou s dvermi

Konštrukcia by na zachytenie síl od nákladu využívala novú vstavanú prepážku s dvermi (Obr. 3.5). Prepážka by pritom mohla byť buď:

- **Plná**
 - Kde by bola potreba zavedenia detektorov dymu alebo ohňa, prípadne utesnenie priestoru pre izolovanie požiaru; alebo
- **S otvormi v hornej časti**
 - Kde by otvory umožňovali prestup vzduchu ako aj dymu a spalín do pilotnej kabíny



Obr. 3.5 - Druh bariéry, variant C

Výhody:

- Na pevno uchytená bariéra – absencia montáže a demontáže pri zmene verzií
- Použitie dverí – rýchly prechod medzi pilotnou kabínou a nákladným priestorom

Nevýhody:

- Obmedzenie uloženia nákladu v mieste dverí – nutnosť zachovať priechod a možnosť otvárania dverí.
- Väčší zásah do konštrukcie trupu oproti predošlým možnostiam a tým pravdepodobne aj vyššia hmotnosť.
- Pravdepodobné zníženie počtu sedadiel zastavaním priestoru prvej rady súčasného umiestnenia sedadiel.

3.2.3 Výber riešenia

Z uvedených možností zachytenia dopredného zaťaženia od nákladu bola nakoniec zvolená možnosť s rozdelením nákladného priestoru na sekcie (Obr. 3.1 - dole) spolu s použitím bariér tvorených rámom s okami a záchytnou sieťou (Obr. 3.4).

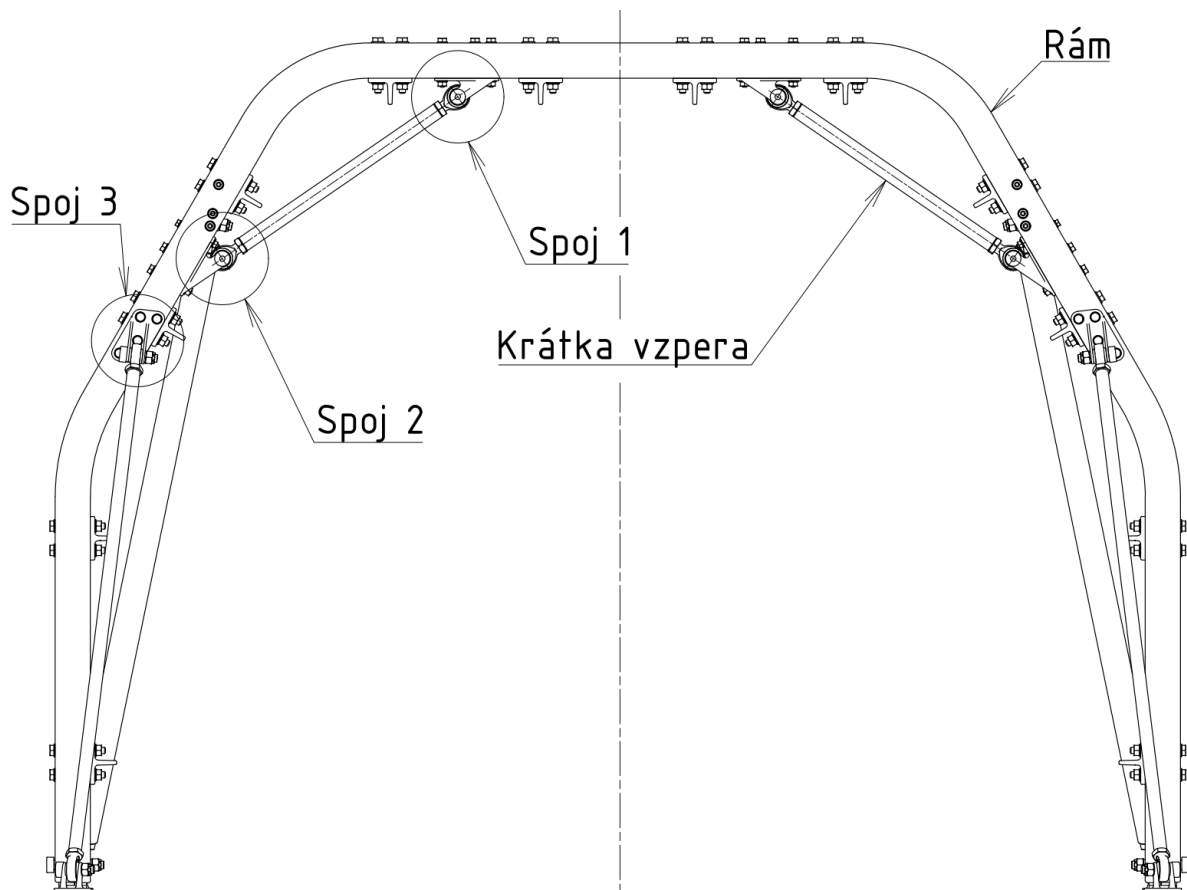
Rozdelenie nákladného priestoru na sekcie bolo vybraté z dôvodu lepšieho prerozdelenia zaťaženia od nákladu v konštrukcii trupu letúnu. Zároveň sa predpokladá prevoz objemného nákladu, takže hmotnostné obmedzenie vzniknuté rozdelením na sekcie nebude nevýhodou ale umožní variabilitu využitia daných sekcií, t.j. jednotlivé bariéry sa budú dať odstrániť/pridať podľa objemu a hmotnosti nákladu. Plusom je taktiež aj predom stanovená poloha ťažísk jednotlivých sekcií, čo uľahčí prácu pri výpočte polohy ťažiska letúnu pri rozmiestnení nákladu.

Výsledná voľba bariér tvorených rámom s okami a záchytnou sieťou bola na základe uvedených výhod a nevýhod tohto riešenia, pričom najväčšiu z nich predstavuje nutnosť rekonštrukcie iba vyvýšených líšť a podlahy.

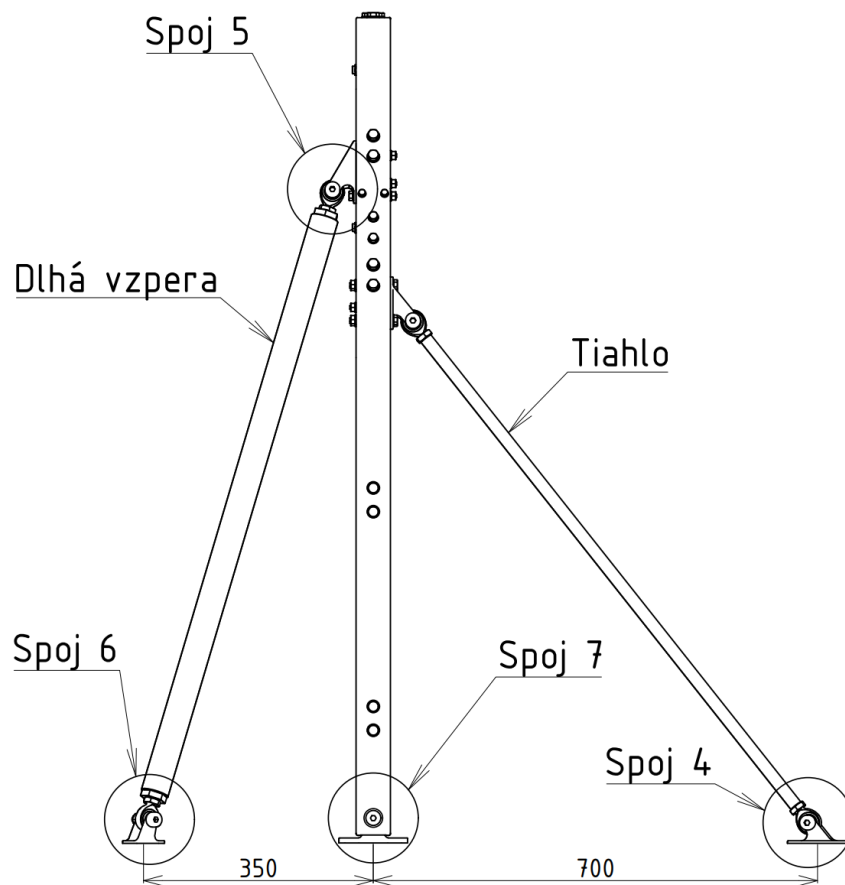
3.3 Konštrukčný návrh bariéry

Konštrukčný návrh bariéry vychádza z koncepčného návrhu a bol navrhnutý na základe vnútorných rozmerov trupu letúnu.

Celkový konštrukčný návrh je vyobrazený na nasledujúcich obrázkoch (Obr. 4.1, 4.2 a 4.3), kde uvedené prevedenia spojov sú detailnejšie zobrazené v nasledujúcich kapitolách.



Obr. 3.6 - Konštrukčný návrh bariéry - pohľad spredu,
Spoj 1 – spojenie krátkej vzpery s hornou časťou rámu, Spoj 2 – spojenie krátkej vzpery
s šikmou časťou rámu, Spoj 3 – spojenie tiahla s rámom

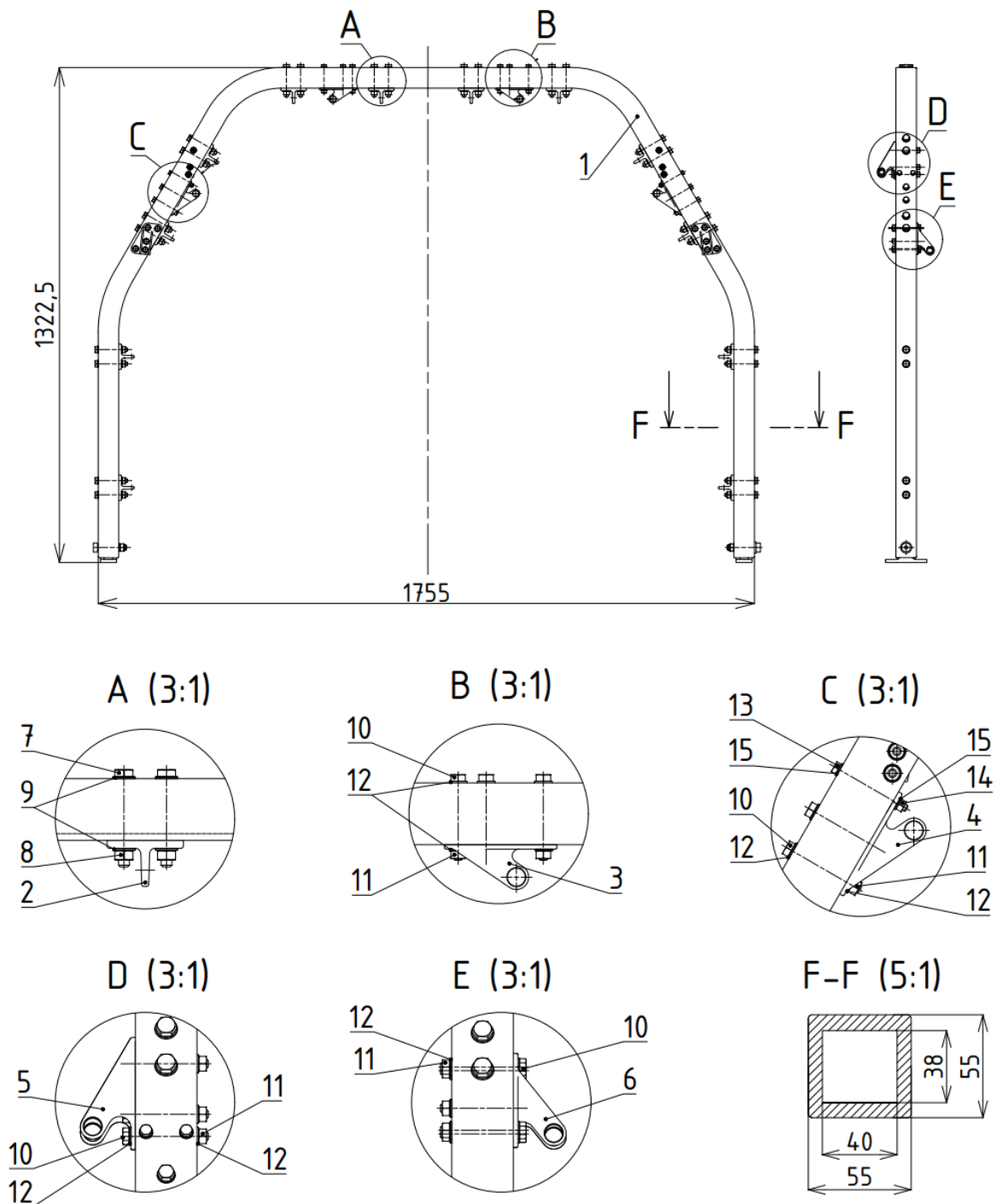


Obr. 3.7 - Konštrukčný návrh bariéry-pohľad zľava,
 Spoj 4 – spojenie tiahla s konštrukciou letúnu, Spoj 5 – spojenie dlhej vzpery s rámom, Spoj 6 – spojenie dlhej vzpery s konštrukciou letúnu, Spoj 7 – spojenie rámu s konštrukciou letúnu



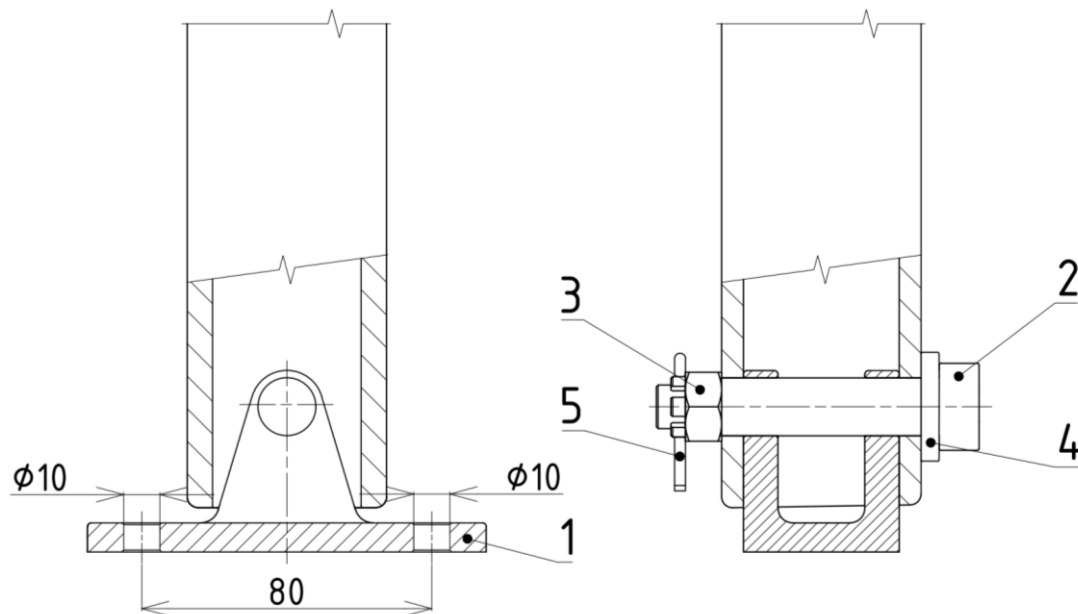
Obr. 3.8 - Model bariéry

3.3.1 Konštrukcia rámu a jeho uchytenie



Obr. 3.9 - Konštrukcia rámu

1 – Rámový zvarenec, 2 – Závesné oko, 3 – Horná konzola KV, 4 – Šikmá konzola KV, 5 – Horná konzola DV, 6 – Horná konzola tiahla, 7 – Skrutka ISO 4014 – M10x80 – 8.8, 8 – Poistná matica ISO 7040 – M10 – 10, 9 – Podložka ISO 7090 – 8 – 200 HV, 10 – Skrutka ISO 4014 – M8x80 – 12.9, 11 – Poistná matica ISO 7040 – M8 – 10, 12 – Podložka ISO 7090 – 8 – 200 HV, 13 – Skrutka ISO 4014 – M6x80 – 8.8, 14 – Poistná matica ISO 7040 – M6 – 8, 15 – Podložka ISO 7090 – 8- 200 HV



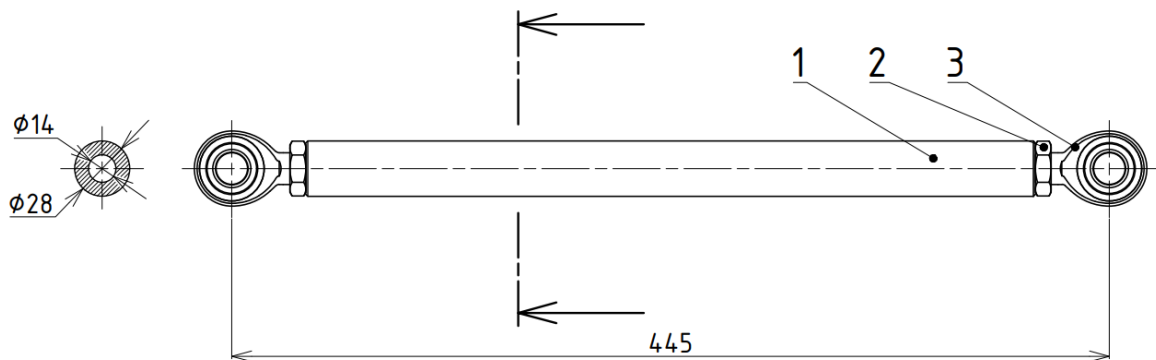
Obr. 3.10 – Spoj 7 - Uchytenie rámu

1 – Konzola rámu, 2 – Licovaná skrutka s vnútorným šesťhranom ISO 7379 M12x55 – 12.9,
 3 – Korunková matica ČSN 02 1411 – M12x1,25-8, 4 – Vymedzovacia podložka, 5 –
 Závlačka ISO 1234 – 3,2 x 30 – St

Tab. 3.1 - Technické údaje navrhovaných súčiastok konštrukcie rámu

Názov	Materiál	Hmotnosť [kg]	Medza pevnosti po tepelnom spracovaní [MPa] [13]
Rámový zvarenec	Al 7075	15,841	530,9
Závesné oko	D6AC	0,134	1516,9
Horná konzola KV		0,180	1482,4
Šikmá konzola KV		0,222	
Horná konzola DV		0,191	
Horná konzola tiahla		0,192	
Konzola rámu		0,389	

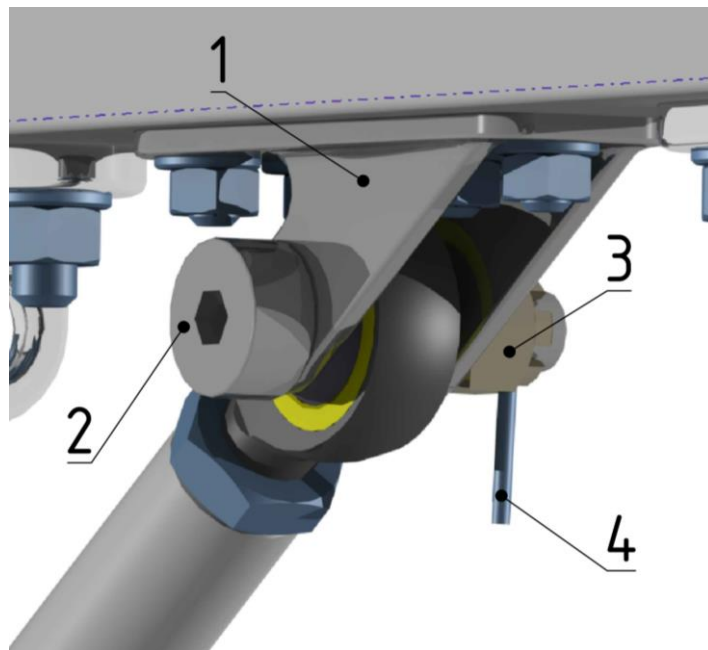
3.3.2 Konštrukcia krátkej vzpery jej uchytenie



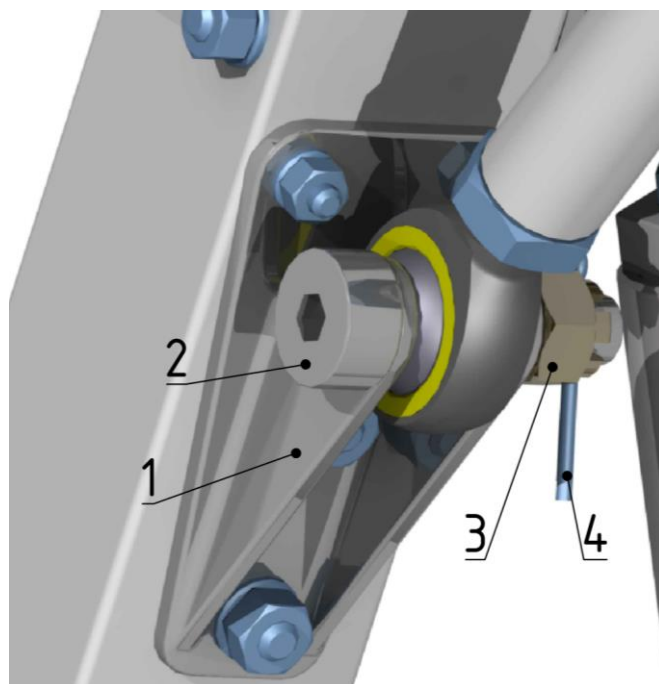
Obr. 3.11 - Konštrukcia krátkej vzpery
1 – Trubka KV, 2 – Matica ISO 4035 – M16 – 05, 3 – Koncové oko [4]

Technologické údaje trubky KV:

Materiál:	Al 2024
Hmotnosť:	0,453 kg
Medza pevnosti po tepelnom spracovaní:	393 MPa [13]

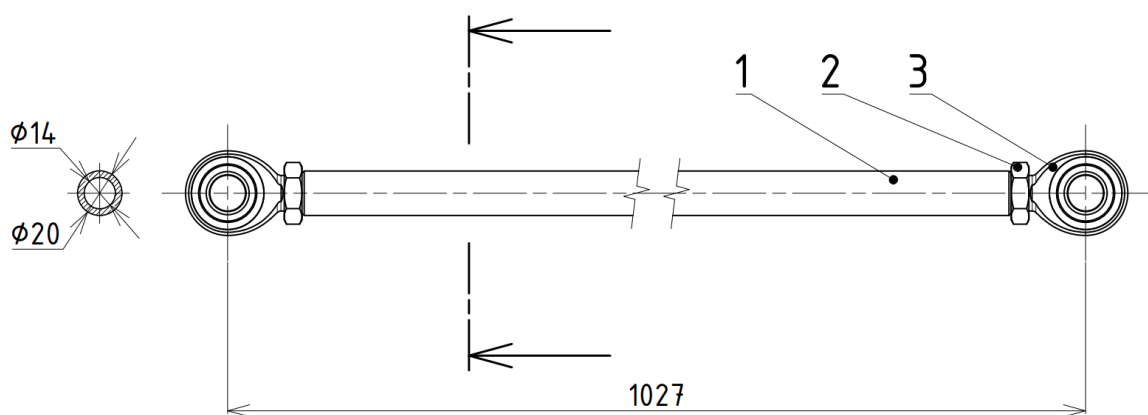


Obr. 3.12 - Spoj 1 - uchytenie krátkej vzpery
1 – Horná konzola KV, 2 – Licovaná skrutka s vnútorným šesťhranom ISO 7379 M12x55 – 12.9, 3 – Korunková matica ČSN 02 1411 – M12x1,25-8, 4 – Závlačka ISO 1234 – 3,2 x 30 – St

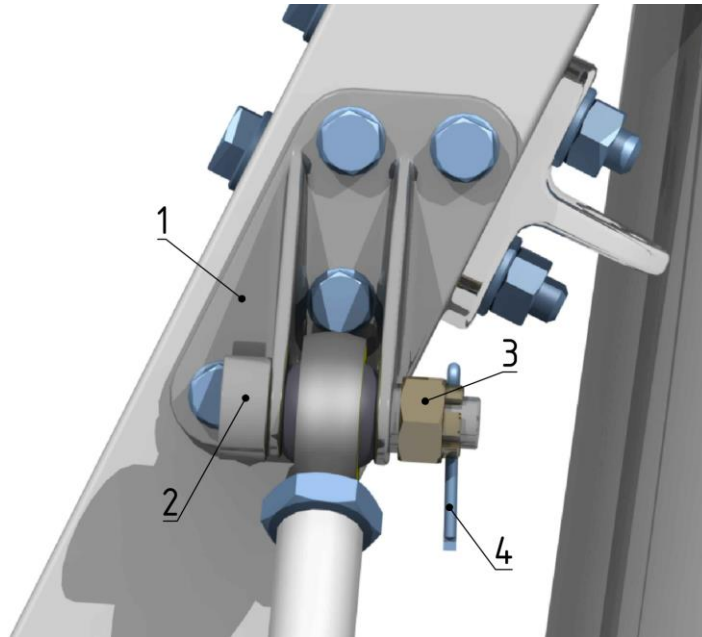


Obr. 3.13 - Spoj 2 - uchytenie krátkej vzpery
 1 – Šikmá konzola KV, 2 – Licovaná skrutka s vnútorným šesťhranom ISO 7379 M12x55 – 12.9, 3 – Korunková matica ČSN 02 1411 – M12x1,25-8, 4 – Závlačka ISO 1234 – 3,2 x 30 – St

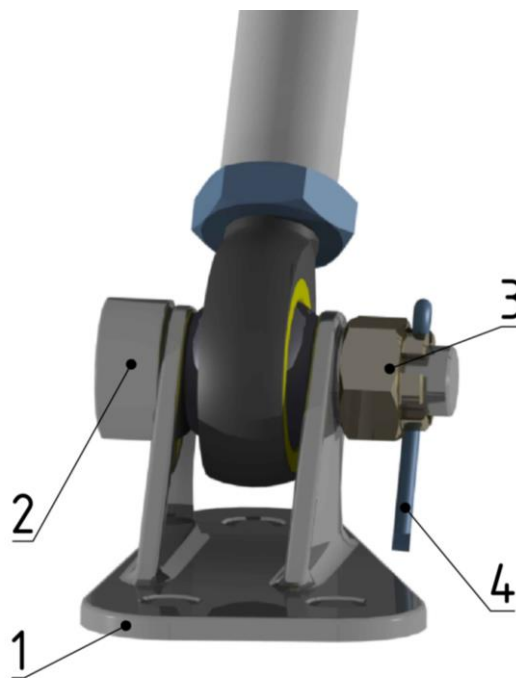
3.3.3 Konštrukcia tiahla a jeho uchytenie



Obr. 3.14 - Konštrukcia tiahla
 1 – Trubka KV, 2 – Matica ISO 4035 – M16 – 05, 3 – Koncové oko [4]



Obr. 3.15 - Spoj 3 - uchytenie tiahla
 1 – Horná konzola tiahla, 2 – Licovaná skrutka s vnútorným šesťhranom ISO 7379 M12x55 – 12.9, 3 – Korunková matica ČSN 02 1411 – M12x1,25-8, 4 – Závlačka ISO 1234 – 3,2 x 30 – St

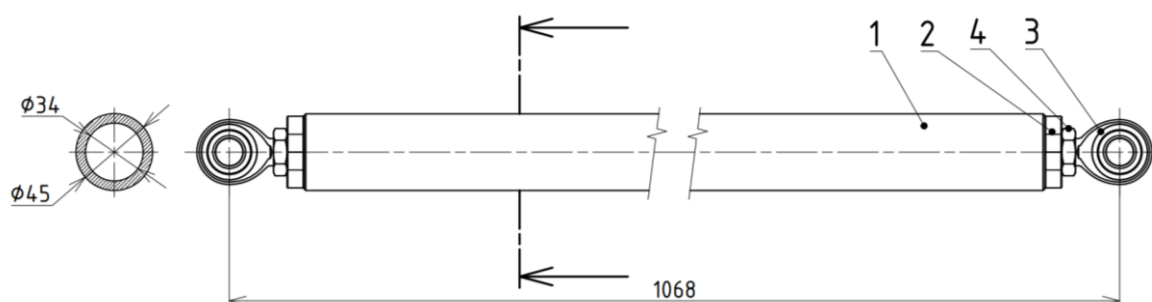


Obr. 3.16 - Spoj 4 - uchytenie tiahla
 1 – Dolná konzola tiahla, 2 – Licovaná skrutka s vnútorným šesťhranom ISO 7379 M12x55 – 12.9, 3 – Korunková matica ČSN 02 1411 – M12x1,25-8, 4 – Závlačka ISO 1234 – 3,2 x 30 – St

Tab. 3.2 – Technické údaje navrhovaných súčiastok konštrukcie tiahla

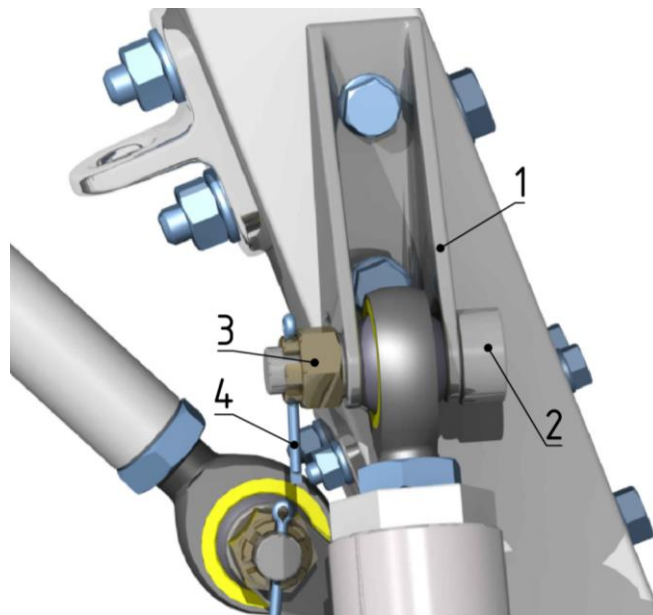
Názov	Materiál	Hmotnosť [kg]	Medza pevnosti po tepelnom spracovaní [MPa] [13]
Trubka tiahla	Al 7075	0,407	537,8
Dolná konzola tiahla	D6AC	0,187	1482,4

3.3.4 Konštrukcia dlhej vzpery a jej uchytenie



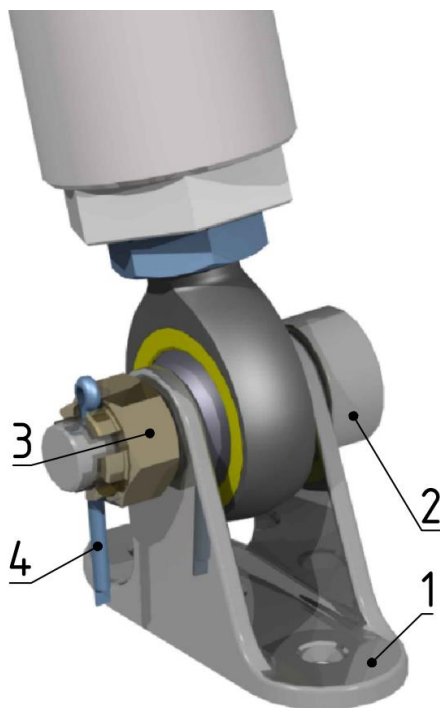
Obr. 3.17 - Konštrukcia dlhej vzpery

1 – Trubka DV, 2 – Prípojka, 3 – Koncové oko [4], 4 – Matica ISO 4035 – M16 – 05



Obr. 3.18 - Spoj 5 - uchytenie dlhej vzpery

1 – Horná konzola DV, 2 – Licovaná skrutka s vnútorným šesťhranom ISO 7379 M12x55 – 12.9, 3 – Korunková matica ČSN 02 1411 – M12x1,25-8, 4 – Závlačka ISO 1234 – 3,2 x 30 - St



Obr. 3.19 - Spoj 6 - uchytenie dlhej vzpery
 1 – Dolná konzola DV, 2 – Licovaná skrutka s vnútorným šesťhranom ISO 7379 M12x55 – 12.9, 3 – Korunková matica ČSN 02 1411 – M12x1,25-8, 4 – Závlačka ISO 1234 – 3,2 x 30 - St

Tab. 3.3 - Technické údaje navrhovaných súčiastok konštrukcie dlhej vzpery

Názov	Materiál	Hmotnosť [kg]	Medza pevnosti po tepelnom spracovaní [MPa] [13]
Trubka DV	Al 2024	1,789	393,0
Prípojka	Al 2024	0,115	393,0
Dolná konzola DV	D6AC	0,117	1482,4

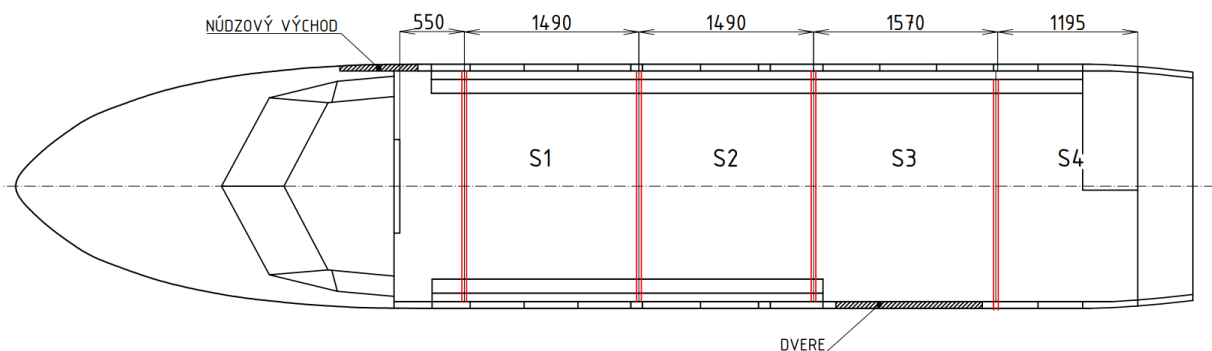
4 PEVNOSTNÁ KONTROLA BARIÉRY

Pre prevedenie pevnostnej kontroly bolo najskôr určené zaťaženie pôsobiace na navrhnutú bariéru vychádzajúce z hmotnostného rozloženia nákladu a zo stavebných predpisov.

Samotná pevnostná kontrola bola potom prevedená na všetkých častiach bariéry pomocou analytických výpočtov a MKP výpočtu.

4.1 Hmotnostné rozloženie

Podľa výsledného konceptu vybratého v kapitole 3.2.3 boli navrhnuté rozmery sekcií nákladného priestoru a následne počítané ich maximálne hmotnostné zaťaženia.



Obr. 4.1 - Návrh rozmerov sekcií

Výpočet maximálnych hmotnostných zaťažení sekcií bol prevedený za pomoci znalosti maximálneho plošného zaťaženia podlahy a hmotnostnej obálky, získaných z letového manuálu letúnu L-410 UVP-E20 [11].

Pre výpočet maximálnej hmotnosti nákladu sekcie vzhľadom na nosnosť podlahy bol použitý nasledujúci vzorec:

$$m_{i,podl} = l_i * b_{MAX} * p_{MAX} \quad [kg] \quad (4.1)$$

kde: $p_{MAX} = 400 \text{ kg/m}^2$ – maximálna nosnosť podlahy
 $b_{MAX} = 1,53 \text{ m}$ – maximálna šírka podlahy
 $l_i \text{ [m]}$ – navrhovaná dĺžka sekcie

Tab. 4.1 - Maximálne hmotnosti nákladu sekcií vzhľadom na nosnosť podlahy

Sekcia	Označenie sekcie	Navrhovaná dĺžka sekcie l_i [m]	Maximálna hmotnosť $m_{i,podl}$ [kg]
1.	S1	1,490	912
2.	S2	1,490	912
3.	S3	1,570	961
4.	S4	1,195	731

Na základe týchto výsledkov bola zvolená maximálna hmotnosť nákladu pre sekcie 1. a 2. na 900 kg.

Následne boli dopočítané maximálne hmotnosti nákladu pre sekcie 3. a 4. za pomoci hmotnostnej obálky pre prípad dovažovania danej sekcie rozmiestnením nákladu. Vzhľadom na prístupnosť údajov hmotnostných obálok jednotlivých verzií boli maximálne hodnoty nákladu pre sekcie stanovené na základe hmotnostnej obálky verzie letúnu L-410 UVP-E20.

Pre výpočet dovažovanej sekcie 3. bol použitý program Matlab s uvedeným výpočtovým m-skriptom v Prílohe D a pre výpočet dovažovanej sekcie 4. bola použitá nasledujúca rovnica (4.2) odvodená z obecnej rovnice pre výpočet ťažiska:

Výpočet hmotnosti sekcie 4:

$$m_4 = \frac{\sum_j^n m_j x_j - \sum_j^n m_j x_T}{x_T - x_4} \quad [kg]$$

(4.2)

$$m_4 = \frac{\sum_j^n m_j x_j - \sum_j^n m_j x_T}{x_T - x_4} = \frac{14\,688,78 - 5960 * 2,766}{2,766 - 6,245} = 516,48 \text{ kg}$$

kde: x_4 – poloha ťažiska sekcie 4 od referenčného bodu

x_j – polohy ťažísk jednotlivých častí letúnu od referenčného bodu, okrem polohy ťažiska sekcie 4

m_4 – hmotnosť sekcie 4

m_j – hmotnosti jednotlivých častí letúnu, okrem sekcie 4

Hodnota x_T bola zvolená na základe polohy počítaných sekcií 3. a 4. ktoré sa obe nachádzajú za ťažiskom letúnu, ako možno vidieť z náčrt v Prílohe B, a teda maximálnu hodnotu hmotnosti nákladu danej sekcie možno získať za predpokladu dosiahnutia zadnej povolenej hodnoty ťažiska $x_T = 2,766 = 30 \%SAT$ [11].

Náčrt a tabuľka s údajmi vstupujúcimi do výpočtu sú uvedené v Prílohe B a C.

Výsledky výpočtu maximálnej hmotnosti sekcie 3 pomocou programu Matlab (Príloha D):

- Hmotnosť predného batožinového priestoru $m_b = 100 \text{ kg}$
- Hmotnosť sekcie 1 $m_1 = 749 \text{ kg}$
- Hmotnosť sekcie 3 $m_3 = 790 \text{ kg}$

Záverom kapitoly je uvedené zhrnutie jednotlivých výsledkov obmedzení a finálna voľba maximálnej hmotnosti nákladu pre jednotlivé sekcie.

Tab. 4.2 - Výsledky maximálnych hmotnostných zaťažení sekcií

Sekcia	Hmotnostné obmedzenie [kg]		Volená maximálna hmotnosť [kg]
	Nosnosť podlahy	Hmotnostná obálka	
1.	918	-	900
2.	918	-	900
3.	1190	790	790
4.	520	516	510

4.2 Výpočet zaťaženia bariéry

Základom pre výpočet zaťaženia bariéry je určenie maximálnej hmotnosti nákladu ktorý bude bariéra zachytávať.

Táto hmotnosť bola určená z pomedzi volených maximálnych hmotností sekcií (Tab. 4.2) a odpovedá jej hodnota 900 kg.

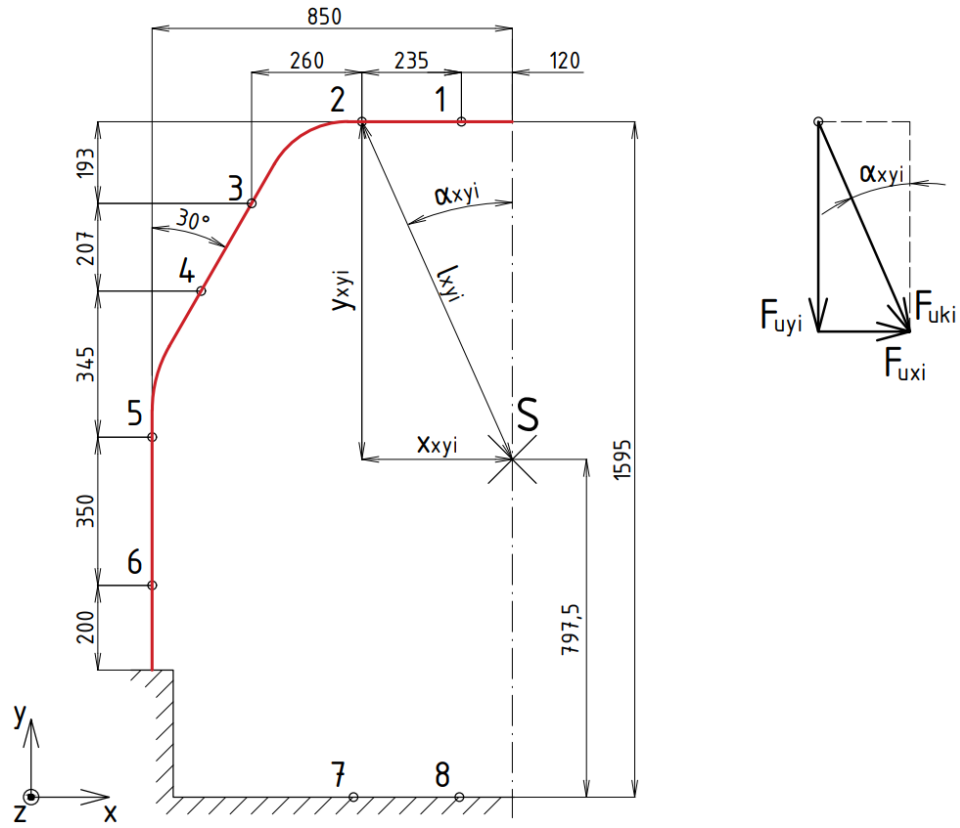
Následne bola táto hmotnosť prepočítaná na zotrvačnú silu pri požadovanom maximálnom doprednom násobku 18g:

$$F_S = 18 \cdot m_{S,max} \cdot g = 18 \cdot 900 \cdot 9,80665 = 158,87 \text{ kN} \quad (4.3)$$

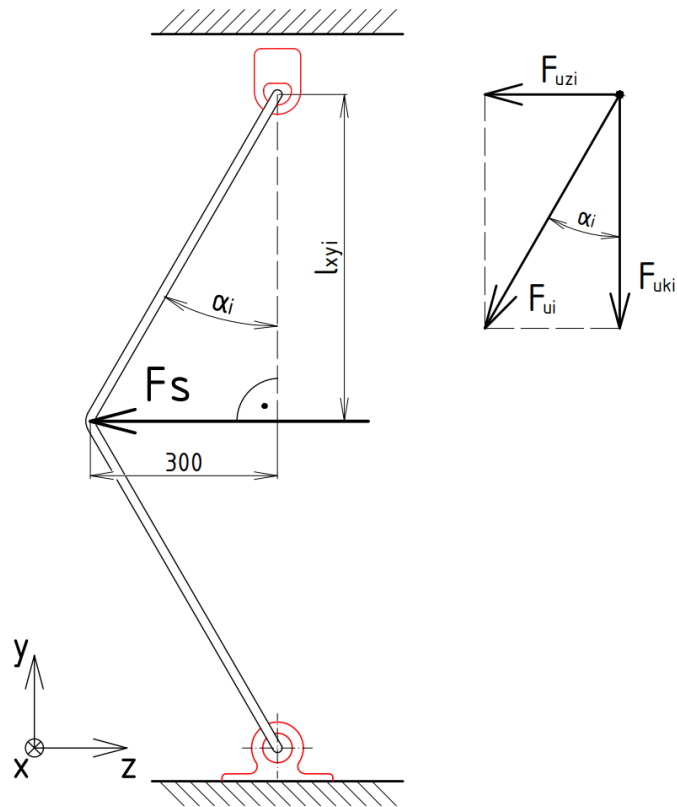
Táto sila bude ďalej braná ako početné zaťaženie, pretože je vyžadovaná iba pre núdzové pristátia kedy je, podľa predpisov, povolená deformácia častí letúnu.

Pre rozdelenie zaťaženia od zotrvačných síl nákladu je uvažované pôsobenie sily F_S v strede záchytnej siete.

Zo záchytnej siete je potom toto zaťaženie rozdelené do jednotlivých úchyto (Obr. 4.2 a Obr. 4.3).



Obr. 4.2 - Rozloženie zaťaženia v rovine XY



Obr. 4.3 - Rozloženie zaťaženia v rovine YZ

Výpočet rozloženia zaťaženia do jednotlivých úchytovej siete bolo prevedené pomocou nasledujúcich rovníc s predpokladom dĺžky prehnutia siete o 0,3 m.

Výpočet vzdialenosti úchyty od stredu siete v rovine XY:

$$l_{XYi} = \sqrt{x_{XYi}^2 + y_{XYi}^2} \quad (4.4)$$

Výpočet uhlu v rovine XY:

$$\alpha_{XYi} = \cos^{-1} \frac{y_{XYi}}{l_{XYi}} \quad (4.5)$$

Výpočet celkového uhlu:

$$\alpha_i = \tan^{-1} \frac{0,3}{l_{XYi}} \quad (4.6)$$

Výpočet z-ovej zložky sily v úchyte:

$$F_{uz_i} = \frac{F_S}{n} \quad (4.7)$$

kde: n – počet úchytovej siete

Výpočet zložky sily smerujúcej do stredu siete z úchyty:

$$F_{uk_i} = \frac{F_{uz_i}}{\tan \alpha_i} \quad (4.8)$$

Výpočet y-ovej zložky sily v úchyte:

$$F_{uy_i} = F_{uk_i} \cos \alpha_{XYi} \quad (4.9)$$

Výpočet x-ovej zložky sily v úchyte:

$$F_{ux_i} = F_{uk_i} \sin \alpha_{XYi} \quad (4.10)$$

Tab. 4.3 - Výsledky rozloženia zaťaženia v úchytoch

i	F_{ux_i} [N]	F_{uy_i} [N]	F_{uz_i} [N]	F_{u_i} [N]
1	3971,69	-26395,21	-9929,23	28479,31
2	11749,59	-26395,21	-9929,23	30550,77
3	20355,88	-20007,41	-9929,23	30219,99
4	24311,06	-13156,23	-9929,23	29371,82
5	28132,83	-1737,62	-9929,23	29884,19
6	28132,83	9846,49	-9929,23	31416,54
7	11749,59	26395,21	-9929,23	30550,77
8	3971,69	26395,21	-9929,23	28479,31

4.3 Pevnostná kontrola rámu

Pre pevnostnú kontrolu rámu bol použitý výpočet pomocou MKP a to s využitím programov Patran a Nastran.

Kvôli použitiu údajov pri ďalších pevnostných kontrolách bolo pred samotným MKP výpočtom rámu najskôr overené nastavenie modelu a to porovnaním s analytickým výpočtom.

4.3.1 Nastavenie a overenie MKP modelu

Model bariéry bol vytvorený na základe konštrukčného návrhu s absenciou dlhých vzpier z dôvodu možnosti analytického overenia (statickej určitosti modelu).

Ako základné prvky pre tvorbu siete boli použité 1D prvky bar2, ktorým boli následne priradené vlastnosti.

Rám:

- typ prvku – BEAM,
- materiál – DURAL,
- prierez podľa konštrukčného návrhu

Tiahla a vzpery:

- typ prvku – ROD,
- materiál – DURAL,
- plocha prierezu podľa konštrukčného návrhu

Do modelu boli zavedené sily z výsledkov rozloženia zaťaženia (Tab. 4.3 – úchyt 1 až 6).

Okrajové podmienky boli pre všetky uchytenia ku konštrukcii letúnu (rám aj tiahla) volené ako DISPLACEMENT s odobratím 3 stupňov voľnosti – F_x , F_y , F_z , t.j boli zavedené rotačné väzby.

Pre výpočet bola použitá lineárna statická analýza.

Výpočtové rovnice vychádzajú z rovníc rovnováhy síl a momentov v rovine ZY.

Výpočet sily vo vzpere v rovine ZY:

$$F_{vzzy} = \frac{\sum_{i=1}^6 (F_{uz_i} l_{y_i})}{873,27 \cdot \sin(38,72^\circ)} = 97\,022,36 \text{ N} \quad (4.11)$$

kde: l_{y_i} – vzdialenosť sily F_{uz_i} od uchytenia rámu

Výpočet celkovej sily vo vzpere:

$$F_{vz} = \frac{F_{vzzy}}{\cos(11,66^\circ)} = 97\,693,85 \text{ N} \quad (4.12)$$

Výpočet z-ovej zložky sily v mieste uchytenia rámu:

$$F_{rz} = \sum_{i=1}^6 F_{uz_i} - F_{vzzy} \sin(38,72^\circ) = -1\,106,95 \text{ N} \quad (4.13)$$

Výpočet y-ovej zložky sily v mieste uchytenia rámu:

$$F_{ry} = F_{vzzy} \cos(38,72^\circ) - \sum_{i=1}^6 F_{uy_i} = 153\,548,50 \text{ N} \quad (4.14)$$

Výpočet rozdielu medzi analytickým a MKP výsledkom:

$$\Delta_i = \frac{F_i(AN)}{F_i(MKP)} \cdot 100 - 100 [\%] \quad (4.15)$$

Tab. 4.4 - Porovnanie výsledkov analytického a MKP výpočtu

Názov	Označenie	Analytický výpočet $F_i(AN)$ [N]	MKP výpočet $F_i(MKP)$ [N]	Rozdiel Δ_i [%]
Sila vo vzpere v rovine ZY	F_{vzzy}	97 022,36	97 022,53	0,0002
Celková sila vo vzpere	F_{vz}	97 693,85	97 431,92	0,2688
Z-ová zložka sily uchytenia rámu	F_{rz}	-1 106,95	-1 107,08	- 0,0119
Y-ová zložka sily uchytenia rámu	F_{ry}	153 548,50	153 548,60	0,0001

Z porovnania výsledkov analytického a MKP výpočtu bariéry vyplýva že najväčší rozdiel je 0,269% danej hodnoty. Tento rozdiel výsledkov je vyhodnotený ako dostatočne malý, teda výsledky MKP výpočtu sú dostatočne presné pre ďalšie použitie pri pevnostných kontrolách.

4.3.2 Výpočet pomocou MKP

Zadanie modelu bolo vytvorené podľa predošlej kapitoly s rozdielom pridania dlhých vzpier.

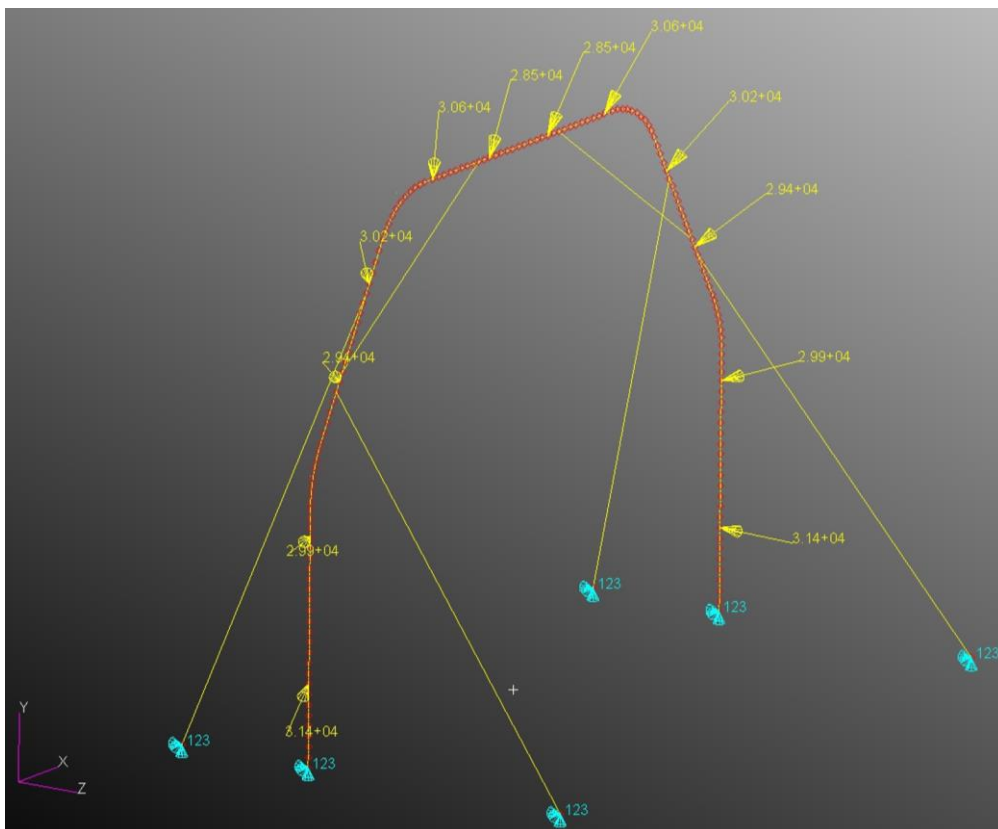
Pre tvorbu siete dlhých vzpier boli ako v predchádzajúcej kapitole použité 1D prvky bar2, ktorým boli následne priradené vlastnosti.

Dlhé vzpery:

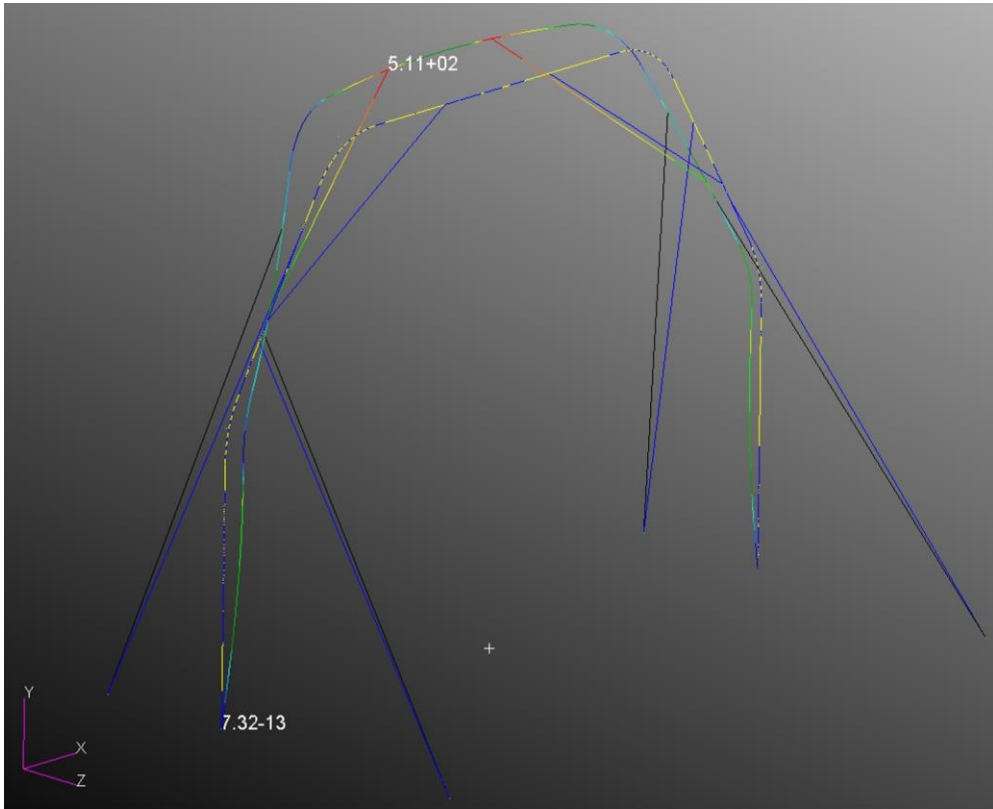
- typ prvku – ROD,
- materiál – DURAL,
- prierez podľa konštrukčného návrhu

Okrajové podmienky boli znovu pre všetky uchytenia ku konštrukcii letúnu (rám, vzpery a tiahla) volené ako DISPLACEMENT s odobratím 3 stupňov voľnosti – F_x , F_y , F_z , t.j boli zavedené rotačné väzby.

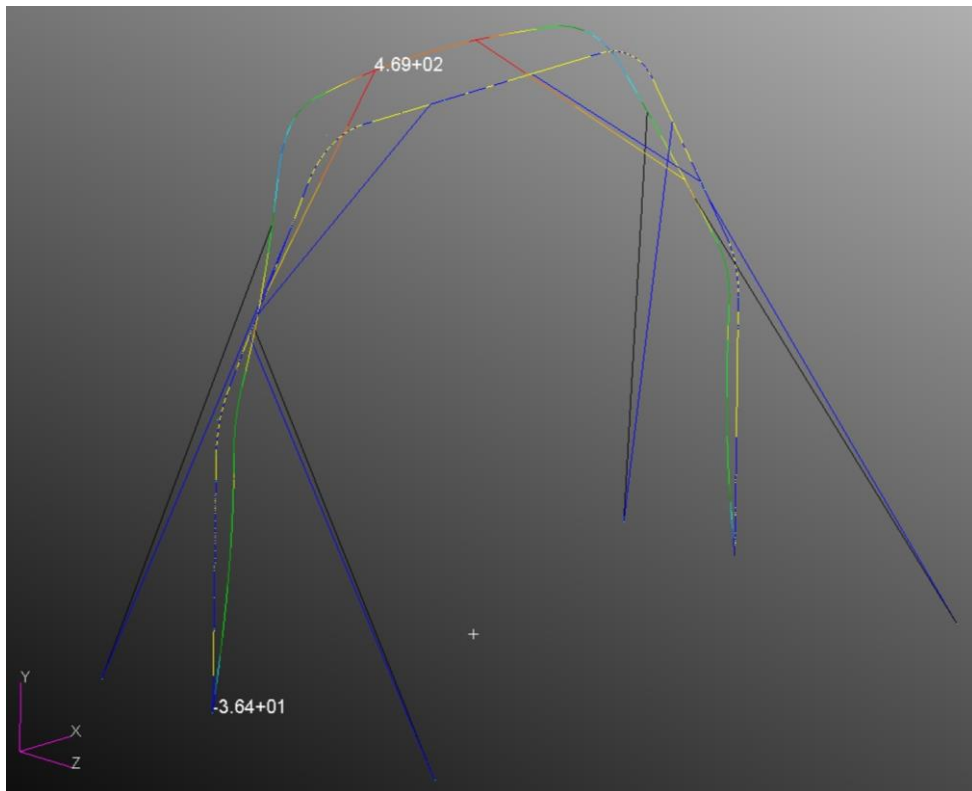
Pre výpočet bola použitá lineárna statická analýza.



Obr. 4.6 - MKP model bariéry



Obr. 4.7 - Priebeh ohybového napätia na ráme
Maximum napätia = 511 MPa



Obr. 4.8 - Priebeh kombinovaného napätia na ráme
Maximum napätia = 469 MPa

Výpočet bezpečnosti rámu:

- pre maximálnej hodnote ohybového napätia

$$RF = \frac{Rm}{511} = \frac{530,9}{511} = \mathbf{1,039}$$

- pre maximálnej hodnote kombinovaného napätia

$$RF = \frac{Rm}{469} = \frac{530,9}{469} = \mathbf{1,132}$$

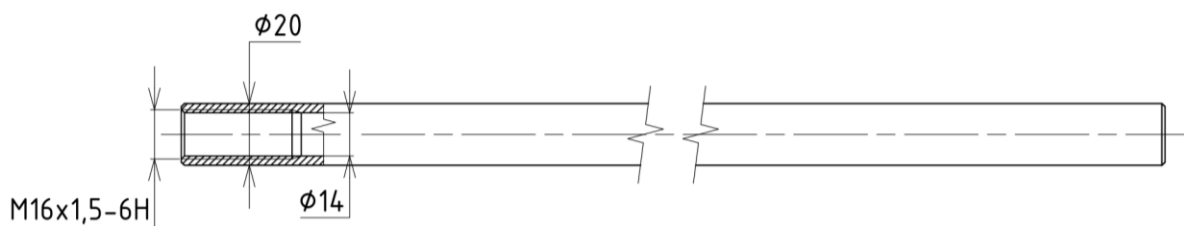
Tab. 4.5 - Výsledné hodnoty síl v častiach bariéry z MKP výpočtu

Názov	Označenie	Hodnota [N]
Sila v tiahle	F_T	55 054,00
Sila v krátkej vzpere	F_{Kvz}	75 645,15
Sila v dlhej vzpere	F_{Dvz}	70 537,51
X-ová zložka sily uchytenia rámu ⁽¹⁾	F_{URx}	-27 328,50
Y-ová zložka sily uchytenia rámu	F_{URy}	54 767,10
Z-ová zložka sily uchytenia rámu	F_{URz}	3 972,37

(1) – platí pre ľavé uchytenie rámu

4.4 Pevnostná kontrola tiaha

Pevnostná kontrola tiaha bola prevedená v mieste najmenšieho prierezu trubky tiaha a to v mieste závitu.



Obr. 4.9 - Trubka tiaha

Výpočet normálového napätia v trubke:

$$\sigma_N = \frac{4F_T}{\pi(D_t^2 - d^2)} = \frac{4 \cdot 55\,054}{\pi(20^2 - 16^2)} = 486,78 \text{ MPa}$$

(4.16)

Výpočet bezpečnosti tiaha:

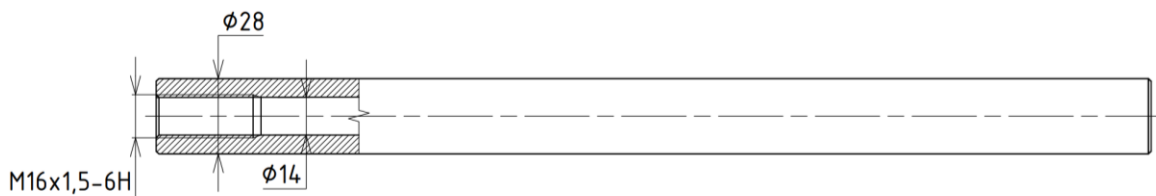
$$RF = \frac{Rm}{\sigma_N} = \frac{538,8}{486,78} = \mathbf{1,10} \quad (4.17)$$

Pri pevnostnej kontrole tiaha neboli kontrolované koncové oká (Obr. 3.14, poz. 3) a to z dôvodu overenia únosnosti u výrobcu [4].

4.5 Pevnostná kontrola vzpier

Pevnostná kontrola vzpier bola prevedená v mieste najmenšieho prierezu trubky vzpery a to v mieste závitú.

Kontrola krátkej vzpery



Obr. 4.10 - Trubka krátkej vzpery

Výpočet kritickej sily trubky:

$$F_{CR} = \frac{C \pi^2 E J_k}{l_{KV}^2} = \frac{1 \cdot \pi^2 \cdot 74\,463,4 \cdot 26\,995}{445^2} = 100\,036,76 \text{ N} \quad (4.18)$$

Kde: C – spôsob uloženia vzpery

J_k – kvadratický moment prierezu

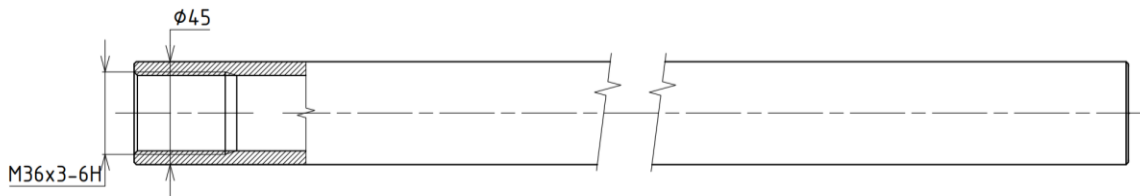
l_{KV} – dĺžka krátkej vzpery (Obr. 3.11)

E – modul pružnosti materiálu [13]

Výpočet bezpečnosti krátkej vzpery:

$$RF = \frac{F_{CR}}{F_{Kvz}} = \frac{100\,036,76}{75\,645,15} = \mathbf{1,32} \quad (4.19)$$

Kontrola dlhej vzpery



Obr. 4.11 - Trubka dlhej vzpery

Výpočet kritickej sily trubky:

$$F_{CR} = \frac{C \pi^2 E J_k}{l_{DV}^2} = \frac{1 \cdot \pi^2 \cdot 74\,463,4 \cdot 118\,841}{1068^2} = 76\,571,35 \text{ N}$$

Kde: l_{DV} – dĺžka dlhej vzpery (Obr. 3.17)

Výpočet bezpečnosti krátkej vzpery:

$$RF = \frac{F_{CR}}{F_{Dvz}} = \frac{76\,571,35}{70\,537,51} = \mathbf{1,09}$$

Pri pevnostnej kontrole vzpier neboli kontrolované koncové oká (Obr. 3.11, poz. 3 a Obr. 3.17 – poz.4) a to z dôvodu overenia únosnosti u výrobcu [4].

4.6 Pevnostná kontrola závesného oka

Pred samotnou pevnostnou kontrolou boli najskôr určené maximálne zložky síl pôsobiace na závesné oká. Tieto maximálne zložky boli získané z tabuľky rozloženia zaťaženia v jednotlivých uchyteniach siete (Tab. 4.3) a platia pre súradnicový systém uvedený na obrázku Obr. 4.2.

Tab. 4.6 - Maximálne zložky síl pôsobiace na závesné oko

Označenie	$F_{uz_{MAX}}$ [N]	$F_{uy_{MAX}}$ [N]	$F_{ux_{MAX}}$ [N]
Hodnota	-9929,23	-28 132,83	11 749,59

Následne bola prevedená pevnostná kontrola závesného oka. Kontrola pozostáva z dvoch krokov, a to z:

- Kontroly závesného oka prevedenej podľa NIU
- Kontroly závesného oka v kritických rezoch

a) Kontrola závesného oka prevedená podľa NIU

Vstupujúce hodnoty do výpočtu: $D = 15 \text{ mm}$

$$t = 7 \text{ mm}$$

$$W = 30 \text{ mm}$$

Kontrola oka na odtrhnutie od axiálneho zaťaženia

- Výpočet maximálneho dovoleného zaťaženia [14]:

$$P_{tu} = A_t F_{tu} K_t = 105 \cdot 1516,9 \cdot 0,97 = 155\,127,9 \text{ N}$$

(4.20)

Kde: $A_t = (D - W)t$ – plocha prierezu oka

F_{tu} – medza pevnosti v ťahu

K_t – faktor účinnosti pre odtrhnutie

- Výpočet bezpečnosti:

$$RF = \frac{P_{tu}}{F_{uAXMAX}} = \frac{155\,127,9}{28\,132,83} = 5,51$$

(4.21)

Kde: $F_{uAXMAX} = F_{uyMAX}$

Kontrola oka na roztrhnutie od axiálneho zaťaženia:

- Výpočet maximálneho dovoleného zaťaženia [14]:

$$P_{bru} = A_{br} F_{tu} K_{br} = 105 \cdot 1516,9 \cdot 0,8 = 127\,415 \text{ N}$$

(4.22)

Kde: $A_{br} = Dt$ – plocha diery oka

F_{tu} – medza pevnosti v ťahu (kap. 4.1)

K_{br} – faktor účinnosti pre roztrhnutie od axiálneho zaťaženia

- Výpočet bezpečnosti:

$$RF = \frac{P_{bru}}{F_{uAXMAX}} = \frac{127\,415}{28\,132,83} = 4,53$$

(4.23)

Kontrola oka na otlačenie:

- Výpočet medzného dovoleného zaťaženia [14]:

$$P_{bry} = 1,85A_{brb}F_{cy} = 1,85 \cdot 105 \cdot 1365,2 = 265\,182,7\,N \quad (4.24)$$

Kde: A_{brb} – menšia z plôch medzi plochou diery pre ložisko a plochou diery pre čap, pre tento prípad $A_{brb} = A_{br}$

F_{cy} – medza klzu materiálu v tlaku [13]

- Výpočet bezpečnosti:

$$RF = \frac{P_{bry}}{F_{uCMAX}} = \frac{P_{bry}}{\sqrt{F_{uAXMAX}^2 + F_{uTRMAX}^2}} = \frac{265\,182,7}{29\,833,63} = \mathbf{8,89} \quad (4.25)$$

Kde: F_{uCMAX} – celková maximálna sila pôsobiaca na oko

$$F_{uTRMAX} = F_{uzMAX}$$

Kontrola oka na odtrhnutie od tranzverzálneho zaťaženia:

- Výpočet maximálneho dovoleného zaťaženia [14]:

$$P_{tru} = A_{br}F_{tux}K_{tru} = 105 \cdot 1516,9 \cdot 0,9 = 143\,342\,N \quad (4.26)$$

Kde: F_{tux} – medza pevnosti v ťahu naprieč zrnám, pre tento prípad $F_{tux} = F_{tu}$

K_{tru} – faktor účinnosti pre odtrhnutie od tranzverzálneho zaťaženia

- Výpočet bezpečnosti:

$$RF = \frac{P_{tru}}{F_{uTRMAX}} = \frac{143\,342}{9929,23} = \mathbf{14,44} \quad (4.27)$$

Výpočet celkovej bezpečnosti oka pri pôsobení oboch zložiek [14]:

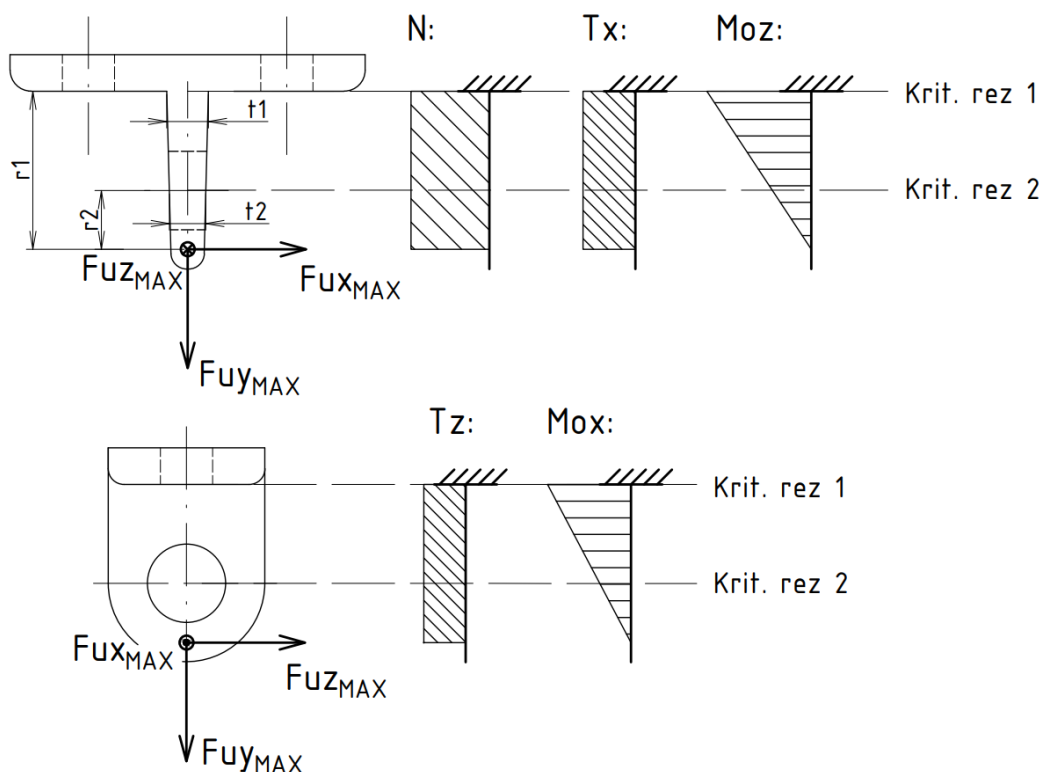
$$RF = \frac{1}{(R_a^{1,6} + R_{tr}^{1,6})^{0,625}} = \frac{1}{(0,1814^{1,6} + 0,0693^{1,6})^{0,625}} = \mathbf{4,88} \quad (4.28)$$

Kde: R_a – menšia z prevrátených hodnôt bezpečnosti pri axiálnom zaťažení

R_{tr} – prevrátená hodnota bezpečnosti pri tranzverzálnom zaťažení

b) Kontrola závesného oka v kritických rezoch

Pretože na závesné oko siete nepôsobia iba zložky síl kolmé na os oka ale aj sila v smere osi oka, boli pre účel pevnostnej kontroly zhotovené VVÚ závesného oka a to nahradením časti oka bez prechodových zaoblení votknutým nosníkom.



Obr. 4.12 - Priebeh VVÚ pre závesné oko

Z uvedených VVÚ boli vybrané 2 kritické rezy oka (Obr. 4.12) v ktorých bola prevedená pevnostná kontrola zahrnujúca pôsobenie všetkých zložiek zaťaženia.

Tab. 4.7 - Vstupné hodnoty pre kontrolu závesného oka v kritických rezoch

Kritický rez	Hrúbka steny	Rameno	Plocha prierezu	Kvadratický moment k ose z	Kvadratický moment k ose x
$i [-]$	$t_i [\text{mm}]$	$r_i [\text{mm}]$	$A_i [\text{mm}^2]$	$J_{zi} [\text{mm}^4]$	$J_{xi} [\text{mm}^4]$
1	8	30,25	240	1280,00	18 000,00
2	7	11,25	105	428,75	13 781,25

Tab. 4.8 - Hodnoty síl a momentov v kritických rezoch závesného oka

Kritický rez i	Normálová sila N	Posúvajúca sila T_x	Posúvajúca sila T_z	Moment M_{oz}	Moment M_{ox}
$[-]$	$[\text{N}]$	$[\text{N}]$	$[\text{N}]$	$[\text{Nmm}]$	$[\text{Nmm}]$
1	28 132,83	11 749,59	9929,23	355 425,2	300 359,3
2				132 182,9	111 703,9

Výpočet napätia od normálovej sily N :

$$\sigma_{N_i} = \frac{N_i}{A_i} \text{ [MPa]} \quad (4.29)$$

Výpočet napätia od posúvajúcej sily T_x :

$$\tau_{x_i} = \frac{T_{x_i}}{A_i} \text{ [MPa]} \quad (4.30)$$

Výpočet napätia od ohybového momentu M_{oz} :

$$\sigma_{M_{oz_i}} = \frac{T_{x_i} r_i}{J_{z_i}} \cdot \frac{t_i}{2} \text{ [MPa]} \quad (4.31)$$

Výpočet napätia od posúvajúcej sily T_z :

$$\tau_{z_i} = \frac{T_{z_i}}{A_i} \text{ [MPa]} \quad (4.32)$$

Výpočet napätia od ohybového momentu M_{ox} :

$$\sigma_{M_{ox_i}} = \frac{T_{z_i} r_i}{J_{x_i}} \cdot \frac{z_i}{2} \text{ [MPa]} \quad (4.33)$$

Výpočet redukovaného napätia:

$$\sigma_{RED_i} = \sqrt{(\sigma_{N_i} + \sigma_{M_{oz_i}} + \sigma_{M_{ox_i}}) + 3(\tau_{x_i} + \tau_{z_i})} \text{ [MPa]} \quad (4.34)$$

Výpočet bezpečnosti:

$$RF_i = \frac{R_m}{\sigma_{RED_i}} \text{ [-]} \quad (4.35)$$

Tab. 4.9 - Výsledky napätí a bezpečnosti závesného oka

Kritický rez i	σ_{N_i}	τ_{x_i}	σ_{Moz_i}	τ_{z_i}	σ_{Mox_i}	σ_{RED_i}	RF_i
[-]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]
1	117,22	48,96	1110,70	41,37	250,30	1486,48	1,020
2	267,93	111,90	1079,04	94,56	106,38	1496,71	1,013

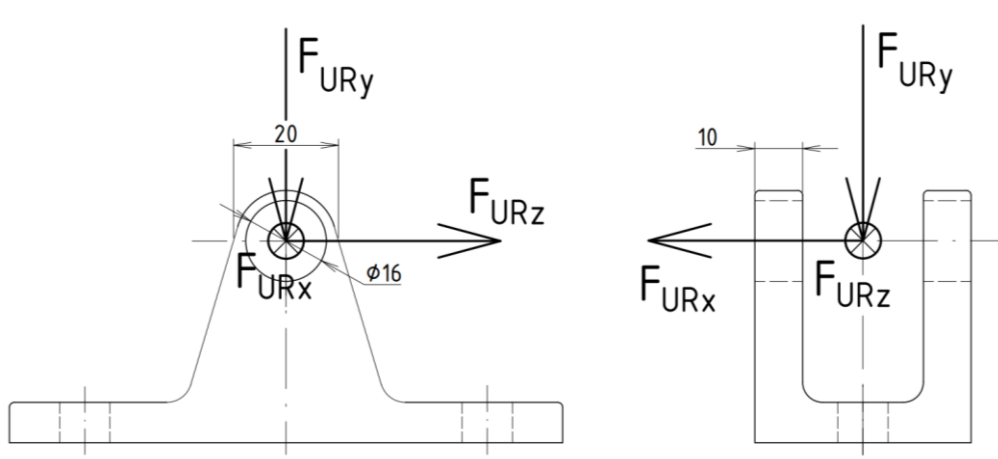
4.7 Pevnostná kontrola konzoly rámu

Konzola rámu bola kontrolovaná z viacerých hľadísk pričom boli do nej zavedené sily získané z MKP výpočtu (Tab. 4.5). Pre kontrolu bola použitá ľavá konzola rámu.

Kontrola konzoly pozostáva z nasledujúcich častí:

- Kontrola oka konzoly podľa NIU
- Kontrola konzoly v kritických rezoch
- Kontrola licovanej skrutky pre uchytenie k rámu

a) Kontrola oka konzoly podľa NIU



Obr. 4.13 - Náčrt ľavej konzoly rámu pre výpočet oka

Kontrola bola prevedená podobne ako v prípade kontroly závesného oka s využitím rovníc (4.24) až (4.28), kde vzhľadom na pôsobiacu y-ovú zložku sily F_{URy} , kolmo do konzoly boli vynechané kontroly oka na odrthnutie a roztrhnutie od axiálnej zložky a takisto výpočet celkovej bezpečnosti od oboch zložiek síl.

Vstupujúce hodnoty do výpočtu: $D = 16 \text{ mm}$
 $t = 10 \text{ mm}$
 $W = 20 \text{ mm}$

Kontrola oka na otláčenie:

- Výpočet medzného dovoleného zaťaženia [14]:

$$P_{bry} = 1,85 A_{brb} F_{cy} = 1,85 \cdot 304 \cdot 1365,2 = 808\,175,87 \text{ N}$$

- Výpočet bezpečnosti:

$$RF = \frac{P_{bry}}{F_{uC_{MAX}}} = \frac{P_{bry}}{\sqrt{F_{uAX_{MAX}}^2 + F_{uTR_{MAX}}^2}} = \frac{808\,175,87}{54\,910,97} = \mathbf{14,72}$$

Kde: $F_{uC_{MAX}}$ – celková maximálna sila pôsobiaca na oko

$$F_{uTR_{MAX}} = F_{UR_z}$$

Kontrola oka na odtrhnutie od tranzverzálneho zaťaženia:

- Výpočet maximálneho dovoleného zaťaženia [14]:

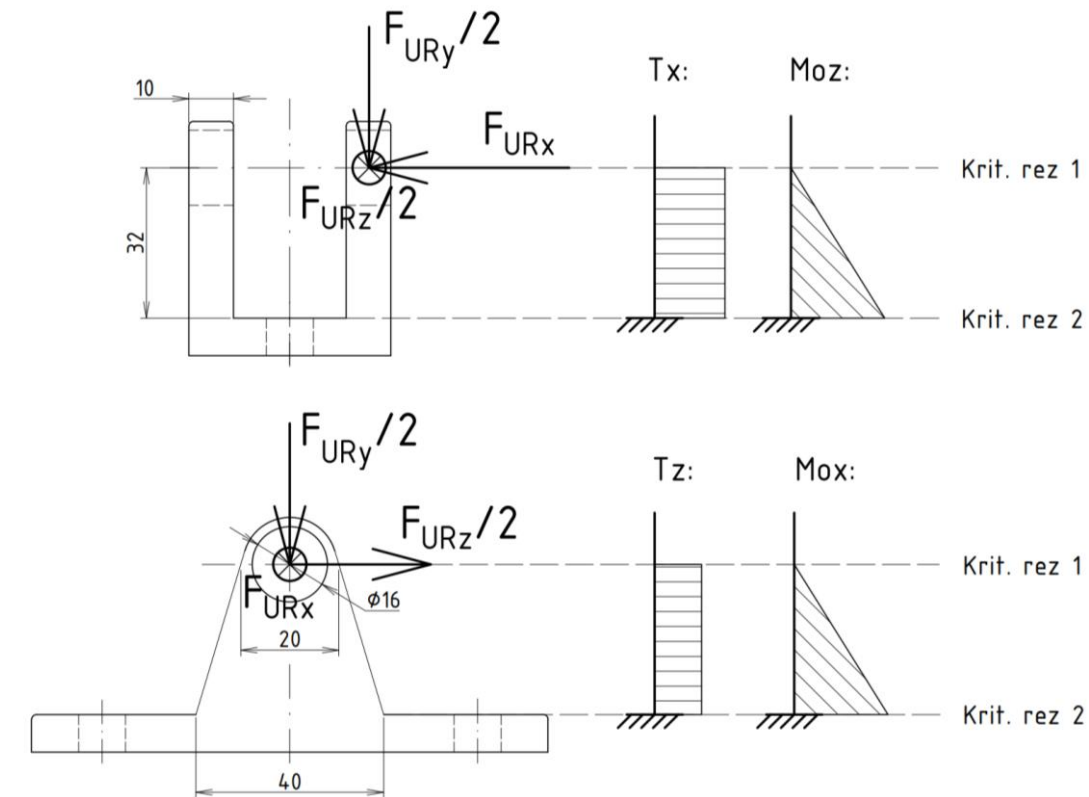
$$P_{tru} = A_{br} F_{tux} K_{tru} = 304 \cdot 1516,9 \cdot 0,4 = 94\,871,86 \text{ N}$$

- Výpoč bezpečnosti:

$$RF = \frac{P_{tru}}{F_{uTR_{MAX}}} = \frac{94\,871,86}{3\,972,36} = \mathbf{23,88}$$

b) Kontrola konzoly v kritických rezech

Kontrola v kritických rezech bola prevedená rovnako ako pre prípad závesného oka s použitím rovníc (4.29) až (4.35).



Obr. 4.14 - VVÚ jednej polovice ľavej konzoly rámu

Použitie VVÚ jednej polovice konzoly rámu bolo zavedené kvôli opieraniu sa konštrukcie rámu vždy iba o jednu stranu konzoly, takže táto strana musí byť schopná preniesť x-ovú zložku sily od rámu F_{URx} .

Avšak pre tento prípad nebola zohľadnená normálová sila v stene oka konzoly kvôli tlakovému pôsobeniu kolmej zložky sily F_{URy} .

Vstupné hodnoty pre výpočet:

Tab. 4.10 - Vstupné hodnoty pre kontrolu konzoly rámu v kritických rezech

Kritický rez	Hrúbka steny	Rameno	Plocha prierezu	Kvadratický moment k ose z	Kvadratický moment k ose x
i [-]	t_i [mm]	r_i [mm]	A_i [mm ²]	J_{zi} [mm ⁴]	J_{xi} [mm ⁴]
1	10	0	40	2000,00	3253,33
2		32	400	3333,33	53 333,33

Tab. 4.11 - Hodnoty síl a momentov v kritických rezoch konzoly rámu

Kritický rez i	Posúvajúca sila T_x	Posúvajúca sila T_z	Moment M_{oz}	Moment M_{ox}
[-]	[N]	[N]	[Nmm]	[Nmm]
1	27 328,50	1986,18	0	0
2			874 512,00	63 557,76

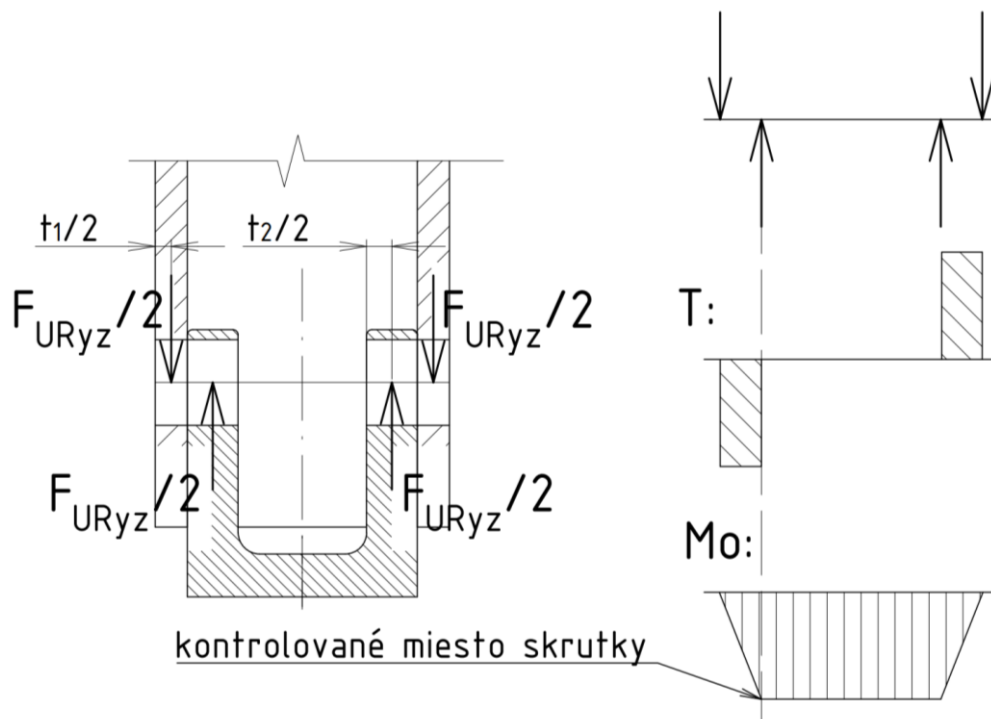
Výsledky výpočtu:

Tab. 4.12 - Výsledky napätí a bezpečnosti konzoly rámu

Kritický rez i	τ_{x_i}	σ_{Moz_i}	τ_{z_i}	σ_{Mox_i}	σ_{RED_i}	RF_i
[-]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]
1	683,21	0	49,65	0	1269,36	1,168
2	68,32	1311,77	4,97	23,83	1341,62	1,105

c) Kontrola licovanej skrutky pre uchytenie k rámu

Kontrola je založená na prevedení uvoľnenia licovanej skrutky s vykreslením priebehu VVÚ na skrutke v danom uložení.



Obr. 4.15 - Priebeh VVÚ pre licovanú skrutky uchytenia rámu

Z VVÚ na skrutke bolo vybrané kritické miesto v ktorom je kontrola prevedená pomocou nasledujúcich vzorcov.

Výpočet posúvajúcej sily v skrutke:

$$T = \frac{\sqrt{F_{URy}^2 + F_{URz}^2}}{2} = \frac{\sqrt{54\,767,10^2 + 3\,972,36^2}}{2} = 27\,455,49 \text{ N} \quad (4.36)$$

Výpočet ohybového momentu v skrutke:

$$M_o = T \left(\frac{t_1}{2} + \frac{t_2}{2} \right) = 27\,455,49 \cdot \left(\frac{7,5}{2} + \frac{10}{2} \right) = 240\,235,50 \text{ Nmm} \quad (4.37)$$

Kde: t_1 – hrúbka steny rámu

t_2 – hrúbka steny oka konzoly rámu

Výpočet šmykového napätia v skrutke:

$$\tau = \frac{4T}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 27\,455,49}{\pi \cdot 16^2} = 136,55 \text{ MPa} \quad (4.38)$$

Kde: D – priemer licovanej skrutky

Výpočet ohybového napätia na skrutke:

$$\sigma_{Mo} = \frac{M_o D}{J_k} \frac{1}{2} = \frac{240\,235,50}{3216,99} \cdot \frac{16}{2} = 597,42 \text{ MPa} \quad (4.39)$$

Kde: J_k – Kvadratický moment prierezu licovanej skrutky

Výpočet redukovaného napätia v skrutke:

$$\sigma_{RED} = \sqrt{\sigma_{Mo}^2 + 3\tau^2} = \sqrt{597,42^2 + 3 \cdot 136,55^2} = 642,53 \text{ MPa} \quad (4.40)$$

Výpočet bezpečnosti skrutky:

$$RF = \frac{Rm}{\sigma_{RED}} = \frac{1200}{642,53} = \mathbf{1,868} \quad (4.41)$$

Kde: $Rm = 1200$ – pre skrutku pevnostnej triedy 12.9

4.8 Pevnostná kontrola ôk ostatných konzol

Vzhľadom na to, že konštrukčný návrh bariéry obsahuje viacero konzol pri ktorých boli použité rovnaké pevnostné výpočty, sú výsledky pevnostných kontrol ôk týchto konzol zhrnuté do nasledujúcich tabuliek.

Kvôli zdvojenému oku u všetkých konzol je hrúbka steny pri výpočte charakteristických plôch braná dvojnásobne.

Hodnota medze klzu v tlaku je braná ako $F_{cy} = 1365,16 \text{ MPa}$. [13]

Hodnoty a výsledky pevnostnej kontroly hornej a dolnej konzoly tiahla (Obr. 3.9) na odtrhnutie, roztrhnutie a otláčenie s použitím rovníc (4.20) až (4.25).

Tab. 4.13 - Hodnoty pevnostnej kontroly ôk konzol tiahla

Názov hodnoty	Označenie a jednotka	Kontrola		
		Odtrhnutie (tu)	Roztrhnutie (bru)	Otláčenie (bry)
Priemer diery oka	$D [mm]$	16		
Šírka oka	$W [mm]$	22		
Hrúbka oka	$t [mm]$	3,5		
Charakteristická plocha	$A_i [mm^2]$	42	112	112
Faktor účinnosti	$K_i [-]$	0,99	0,54	-
Max povolená sila	$P_i [N]$	61 637,1	89 653,9	282 861,6
Pôsobiaca sila	$F_T [N]$	55 054,0		
Bezpečnosť	RF [-]	1,12	1,63	5,14

Hodnoty a výsledky pevnostnej kontroly hornej a šikmej konzoly krátkej vzpery (Obr. 3.9) na otláčenie s použitím rovníc (4.24) a (4.25).

Tab. 4.14 - Hodnoty pevnostnej kontroly ôk konzol krátkej vzpery

Názov hodnoty	Označenie a jednotka	Hodnota
Priemer diery oka	$D [mm]$	16
Šírka oka	$W [mm]$	22
Hrúbka oka	$t [mm]$	4
Charakteristická plocha	$A_{brb} [mm^2]$	128
Max povolená sila	$P_{bry} [N]$	323 270,4
Pôsobiaca sila	$F_{Kvz} [N]$	75 645,15
Bezpečnosť	RF [-]	4,27

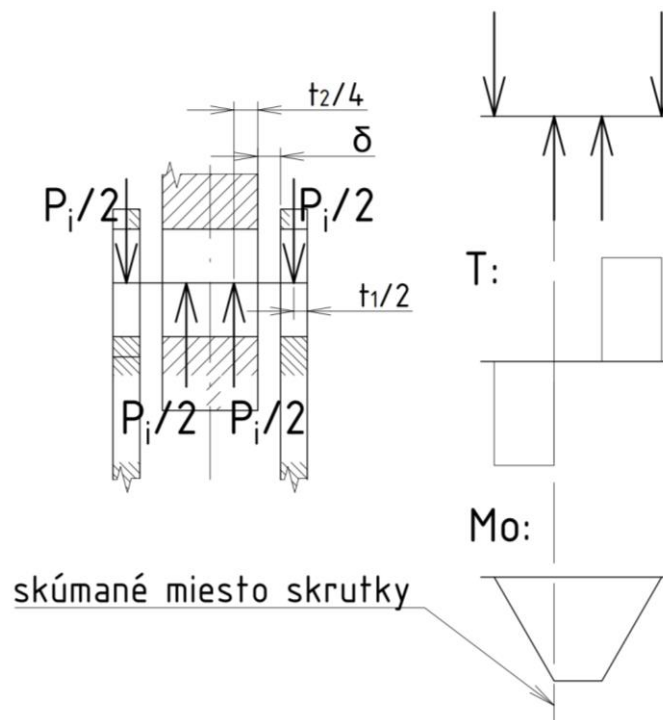
Hodnoty a výsledky pevnostnej kontroly hornej a dolnej konzoly dlhej vzpery (Obr. 3.9) na otláčené s použitím rovníc (4.24) a (4.25).

Tab. 4.15 - Hodnoty pevnostnej kontroly ôk konzol dlhej vzpery

Názov hodnoty	Označenie a jednotka	Hodnota
Priemer diery oka	D [mm]	16
Šírka oka	W [mm]	22
Hrúbka oka	t [mm]	4
Charakteristická plocha	A_{brb} [mm ²]	128
Max povolená sila	$P_{brý}$ [N]	323 270,4
Pôsobiaci sila	F_{Kvz} [N]	70 537,51
Bezpečnosť	RF [–]	4,58

4.9 Pevnostná kontrola licovaných skrutiek tiahla a vzpier

Kontrola licovaných skrutiek pre všetky spoje tiahla a vzpier vychádza z uvoľnenia a vytvorenia VVÚ skrutky (Obr. 4.16).



Obr. 4.16 – Priebeh VVÚ pre licovanú skrutku uchytenia tiahla a vzpier

Z VVÚ skrutky bolo vybrané kritické miesto pre ktoré bola následne počítaná bezpečnosť.

Výpočet posúvajúcej sily v skrutke:

$$T_i = \frac{P_i}{2} [N] \quad (4.42)$$

Kde: P_i – sila pôsobiaca v tiahle alebo vzpere

Výpočet momentu v skrutke:

$$M_{oi} = T_i \left(\frac{t_1}{2} + \frac{t_2}{4} + \delta \right) [Nmm] \quad (4.43)$$

Kde: t_1 – hrúbka steny oka konzoly

t_2 – hrúbka steny koncového oka

δ – medzera medzi okom konzoly a koncovým okom

Pre ďalší výpočet napätí a bezpečnosti boli použité zobernené rovnice (4.38) až (4.41).

Výpočet šmykového napätia v skrutke:

$$\tau_i = \frac{4T_i}{\pi D^2} [MPa]$$

Výpočet ohybového napätia na skrutke:

$$\sigma_{Moi} = \frac{M_{oi} D}{J_k} \frac{1}{2} [MPa]$$

Výpočet redukovaného napätia v skrutke:

$$\sigma_{REDi} = \sqrt{\sigma_{Moi}^2 + 3\tau_i^2} [MPa]$$

Výpočet bezpečnosti skrutky:

$$RF_i = \frac{Rm}{\sigma_{REDi}} [-]$$

Vstupné hodnoty do výpočtu:

Tab. 4.16 - Vstupné hodnoty pre pevnostnú kontrolu licovaných skrutiek tiahla a vzpier

Kontrolované miesto	Hrúbka steny oka konzoly	Hrúbka steny koncového oka	Medzera medzi okami
-	t_1 [mm]	t_2 [mm]	δ [mm]
Skrutka tiahla	3,5	14,25	3,375
Skrutka krátkej vzpery	4		
Skrutka dlhej vzpery			

Výsledky výpočtu pevnostnej kontroly:

Tab. 4.17 - Výsledky pevnostnej kontroly licovaných skrutiek tiahla a vzpier

Kontrolované miesto	-	Skrutka tiahla	Skrutka krátkej vzpery	Skrutka dlhej vzpery
Posúvajúca sila	T_i [N]	27 527,00	37 822,58	35 268,76
Ohybový moment	M_o [Nmm]	239 140,79	338 039,28	315 214,51
Šmykové napätie	τ_i [MPa]	136,91	188,11	175,41
Ohybové napätie	σ_{Moi} [MPa]	594,69	840,63	783,87
Redukované napätie	σ_{REDi} [MPa]	640,23	901,57	840,69
Bezpečnosť	RF_i [-]	1,874	1,331	1,427

5 POROVNANIE UPRAVENÉHO LETÚNU S LETÚNMI ROVNAKEJ KATEGÓRIE

Aby bolo možné zhodnotiť či je upravený letún schopný konkurovať iným letúnom vo svojej kategórii, bola prevedená rešerš a následne porovnanie vlastností týchto letúnov.

Pred samotným porovnaním bolo nutné odhadnúť predpokladanú hmotnosť bezpečnostných bariér o ktorú by bola zmenšená celková užitočná hmotnosť pre jednotlivé verzie letúnu L 410.

Tab. 5.1 - Odhad hmotnosti bariér

Názov časti bariéry	Počet kusov	Hmotnosť [kg]
Hmotnosť rámu	1	19,797
Hmotnosť krátkej vzpery	2	1,598
Hmotnosť tiahla	2	1,506
Hmotnosť dlhej vzpery	2	4,730
Hmotnosť dolnej konzoly tiahla	2	0,187
Hmotnosť dolnej konzoly dlhej vzpery	2	0,117
Hmotnosť spojovacieho materiálu	-	4,426
Celková hmotnosť jednej bariéry	-	32,665
Celková hmotnosť všetkých bariér (4)	-	130,661

Po odčítaní celkovej hmotnosti bariér od pôvodných platiacich zaťažení letúnov boli získané nasledovné hodnoty nových platiacich zaťažení verzií letúnov:

- Upravené maximálne platiace zaťaženie L410 UVP-E a UVP-E20:

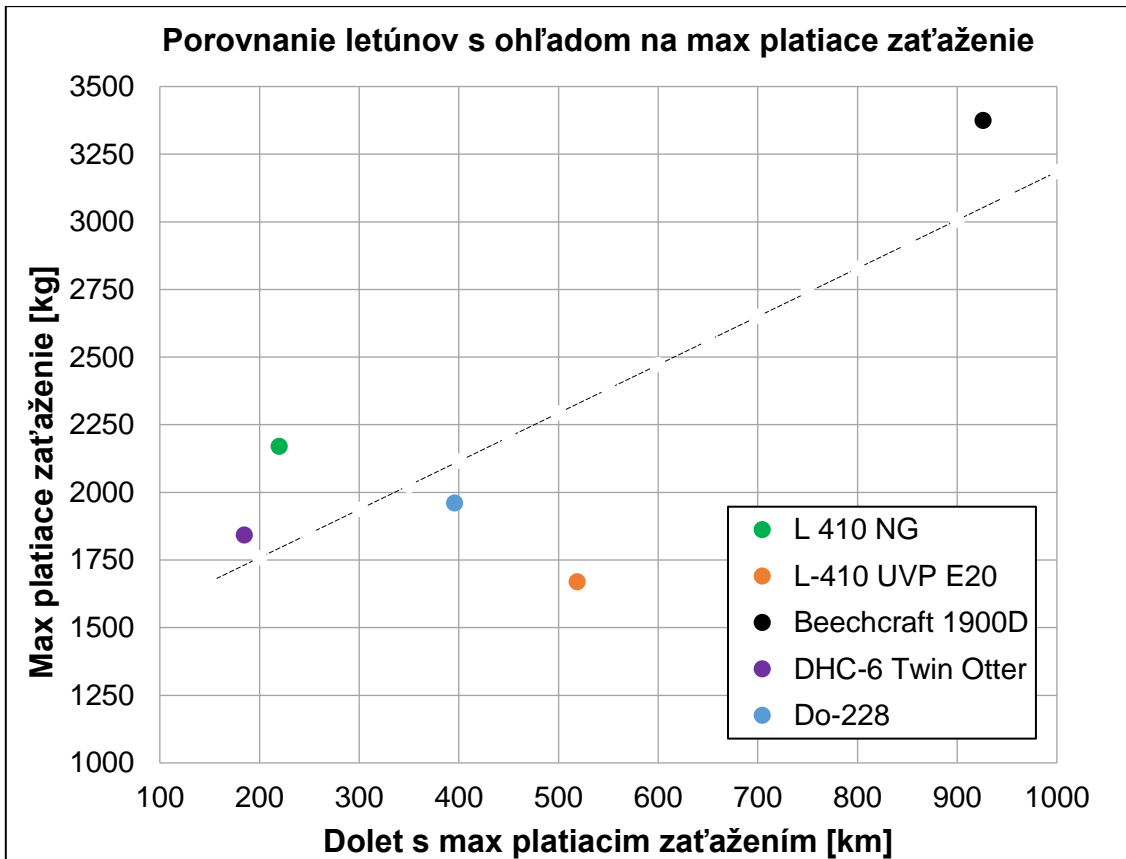
$$m_{pu} = m_p - m_B = 1800 - 130,661 = 1669,34 \text{ kg}$$

(5.1)

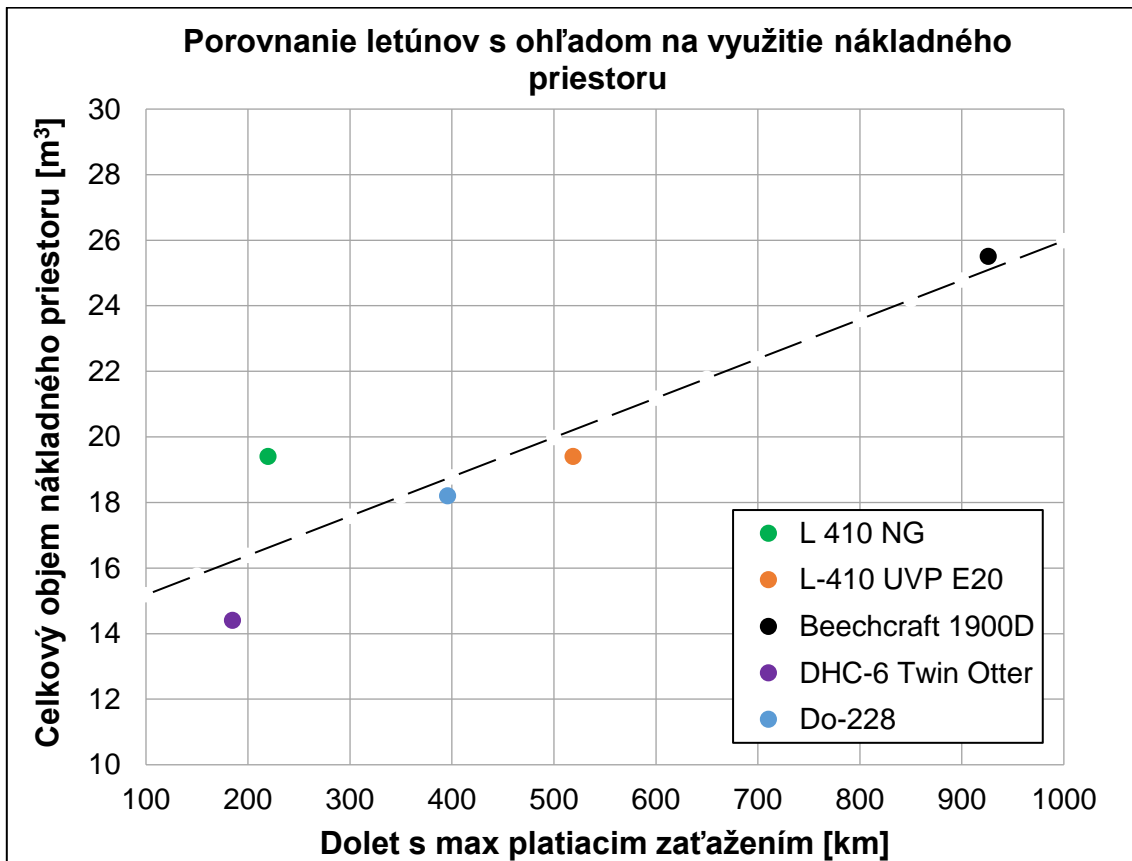
- Upravené maximálne platiace zaťaženie L410 NG:

$$m_{pu} = m_p - m_B = 2300 - 130,661 = 2169,34 \text{ kg}$$

Následné porovnanie upraveného letúnu bolo prevedené s letúnmí Beechcraft 1900D Cargo Conversion, DHC-6 Twin Otter a Do-228. Výsledky porovnania sú uvedené v nasledujúcich grafoch a v tabuľke nachádzajúcej sa v prílohách (Príloha E).



Obr. 5.1 - Graf porovnania letúnov s ohľadom na max platiace zaťaženie



Obr. 5.2 - Graf porovnania letúnov s ohľadom na objem nákladného priestoru

So spracovania porovnania letúnov (Obr. 5.1 a Obr. 5.2) boli vytvorené nasledujúce závery:

1. Letún verzie L 410 NG je po úprave z hľadiska veľkosti maximálneho platiaceho zaťaženia konkurencie schopný voči ostatným letúnom.
2. Naopak letún verzie L-410 UVP-E a UVP-E20 má po úprave najhoršie vlastnosti s ohľadom na maximálne platiace zaťaženie z pomedzi všetkých letúnov.
3. Obe verzie letúnu L-410 majú po úprave stále lepšie vlastnosti s ohľadom na objem prepravovaného nákladu ako polovica z porovnávaných letúnov.

Z uvedených záverov vyplýva, že prestavba letúnu L 410 na nákladnú verziu by mala z hľadiska využitia väčší zmysel pre verziu L 410 NG ako pre verzie L 410 UVP-E a UVP E-20.

ZÁVER

Cieľom diplomovej práce bol návrh kitu pre prestavbu letúnu verzií L-410 UVP-E, L 410 UVP-E20 a L 410 NG na nákladnú verziu. Táto prestavba mala navyše podľa požiadaviek zadávateľa umožniť vzájomnú jednoduchú a rýchlu prestavbu medzi verziami pre prepravu osôb a nákladu.

V úvode práce je uvedené súčasné využitie daných verzií letúnov pre prepravu nákladu s následným odôvodnením pre zaoberanie sa novou prestavbou na nákladnú verziu.

Prestavba letúnu na nákladnú verziu bola potom podľa Part 21 klasifikovaná ako zmena závažná a významná vďaka čomu bola pre navrhovanú zmenu zvolená certifikačná báza CS-23 Amdt 5. Zo zvolenej certifikačnej bázy bol vytvorený zoznam stavebných predpisov a potrebných zmien pre prestavbu na nákladnú verziu.

Ďalej bola práca zameraná na koncepčný a konštrukčný návrh bariéry pre zachytenie dopredných zotrvačných síl od nákladu.

Koncepčný návrh vychádzal z rešeršnej časti a spracovania priemyslového projektu. Ako výsledný koncepčný návrh bariéry bolo z variant uvedených v tejto práci vybrané prevedenie pomocou rámu so závesnými okami a záchytnou sieťou.

Na základe koncepčného návrhu a geometrie interiéru trupu letúnu bol následne vytvorený detailný konštrukčný návrh. Základnými časťami konštrukčného návrhu sú rám, tiahla a vzpery spojené pomocou licovaných skrutiek cez oká.

Po konštrukčnom návrhu bola prevedená pevnostná kontrola častí bariéry pri ktorej boli využité analytické výpočty a MKP výpočet pomocou programov Patran a Nastran. MKP výpočet bol overený zjednodušeným modelom porovnaným s analytickým výpočtom silou v tiahle bariéry kde sa rozdiely vo výsledkoch pohybovali v desatinách percent. Výsledky všetkých uvedených pevnostných kontrol dosahovali rezervy bezpečnosti od 1,01 po 23,88.

V závere práce boli porovnané upravené verzie letúnu L-410 s letúnmi rovnakej kategórie používaných ako nákladné verzie. Z porovnania bolo vyhodnotené, že väčší význam prestavby letúnu na nákladnú verziu má prestavba verzie L 410 NG oproti verziám L 410 UVP-E a UVP E-20.

Pri pokračovaní v návrhu prestavby na nákladnú verziu by práca bola zameraná na optimalizáciu konštrukcie bariéry vzhľadom na vysoké hodnoty bezpečnosti niektorých súčastí bariéry a vzhľadom na použité materiály. Ďalej by nasledovala pevnostná kontrola uchytenia rámu k súčasnej konštrukcii letúnu, prípadne úprava konštrukcie podlahy a vyvýšených líšt kvôli nedostatočnej pevnosti.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] [AI_BR] Aircraft Industries a.s. *LETOUN L 410 UVP-E20* [on-line]. [b.r.] [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: http://www.let.cz/documents/L_410_E20.PDF
- [2] [AI_BR] Aircraft Industries a.s. *L 410 NG* [on-line]. [b.r.] [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: <http://www.let.cz/documents/L410NG.pdf>
- [3] [B-1900] Alpine Super Freighter. *Alpine Air* [online]. 2019 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.alpine-air.com/superfreighter>
- [4] [KO] AM-M & AB-M Series Male Rod Ends - Metric. *AURORA BEARING COMPANY* [online]. [cit. 2022-04-16]. Dostupné z: <https://www.aurorabearing.com/index.html>
- [5] [PART21] Annex I to ED Decision 2017/024/R. *AMC & GM to Part 21 – Issue 2, Amendment 7* [online]. European Aviation Safety Agency EASA, 2017 [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/downloads/44581/en>
- [6] [CS 23 A4] CS-23 Amendment 4. *Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Normal, Utility, Aerobatic, and Commuter Category Aeroplanes* [online]. European Aviation Safety Agency EASA, 2015 [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/downloads/18858/en>
- [7] [CS 23 A5] CS-23 Amendment 5. *Certification Specifications for Normal-Category Aeroplanes* [online]. European Aviation Safety Agency EASA, 2017 [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/downloads/22283/en>
- [8] [DHC-6] DHC-6 Twin Otter. *Viking Air* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.vikingair.com/viking-aircraft/dhc-6-twin-otter>
- [9] [Do-228] Dornier 228 Advanced Commuter Facts & Figures. *Issuu* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://issuu.com/ruaqcom/docs/dornier228-ac_facts-booklet_online
- [10] [PP] JURDA, Martin. *Nákladná verzia letúnu L-410*. Brno, 2021. Priemyselný projekt. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Letecký ústav. Vedúcí práce Jaroslav BARTONĚK.
- [11] [FM-E20] LET, A.S. *AIRPLANE FLIGHT MANUAL FOR THE L 410 UVP-E20* [pdf]. 2012. [Pdf dokument bol poskytnutý firmou AEROSERVIS, s.r.o.]
- [12] [AI] L 410 NG. *Aircraft Industries a.s.* [online]. [cit. 2022-02-10]. Dostupné z: <http://www.let.cz/l410ng>

- [13] [MIL] MIL-HDBK-5J. *METALLIC MATERIALS AND ELEMENTS FOR AEROSPACE VEHICLE STRUCTURES* [online]. DEPARTMENT OF DEFENCE, 2003 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: http://everyspec.com/MIL-HDBK/MIL-HDBK-0001-0099/MIL_HDBK_5J_139/
- [14] [NIU] NIU, M. Ch.-Y. *Airframe structural design. 2nd ed.* Hong Kong: Hong Kong Conmilit Press Ltd. ISBN 962-7128-09-0.
- [15] [SA] *Silver Air: PERFORMANCE AND BASIC CHARACTERISTICS* [online]. [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <http://www.silverair.cz/en/home/>
- [16] [TCB] TCDS EASA.A.026 Issue 33. *TYPE-CERTIFICATE DATA SHEET No. EASA.A.026 for L-410* [online]. European Aviation Safety Agency EASA, 2020 [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/TCDS_L_410%20EASA_A_026_Issue_33.pdf

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

Skratka	Názov	Jednotka
A_{br}	plocha diery oka	[mm ²]
A_{brb}	menšia z plôch medzi plochou diery pre ložisko a plochou diery pre čap	[mm ²]
A_j	plocha prierezu	[mm ²]
AMC	akceptovateľný spôsob uplatnenia (z angl. Acceptable Mean of Compliance)	-
A_t	plocha prierezu oka	[mm ²]
b_{MAX}	maximálna šírka podlahy	[m]
C	spôsob uloženia vzpery	-
d	vnútorný priemer trubky v mieste závitú	[mm]
D	priemer oka	[mm]
D	priemer licovanej skrutky	[mm]
D_t	vonkajší priemer trubky	[mm]
DV	dlhá vzpera	-
E	modul pružnosti materiálu	[Mpa]
F_{CR}	kritická sila	[N]
F_{cy}	medza klzu materiálu v tlaku	[Mpa]
F_{Dvz}	sila v dlhej vzpere	[N]
$F_i(AN)$	i-tá sila analytického výpočtu	[N]
$F_i(MKP)$	i-tá sila MKP výpočtu	[N]
F_{Kvz}	sila v krátkej vzpere	[N]
F_{rz}	z-ová zložka sily v mieste uchytenia rámu	[N]
F_{ry}	y-ová zložka sily v mieste uchytenia rámu	[N]
F_s	zotrvačná sila pre maximálnu hmotnosť sekcie	[N]
F_T	sila v tiahle	[N]
F_{tu}	medza pevnosti v ťahu	[Mpa]
F_{tux}	medza pevnosti v ťahu naprieč zrnám	[N]
F_{uAXMAX}	maximálna axiálna sila v oku	[N]
F_{uCMAX}	celková maximálna sila pôsobiaca na oko	[N]
F_{ui}	celková sila v úchyte	[N]
F_{uki}	zložka sily z úchyty do stredu siete	[N]
F_{URx}	x-ová zložka sily uchytenia rámu	[N]
F_{URy}	y-ová zložka sily uchytenia rámu	[N]
F_{URz}	z-ová zložka sily uchytenia rámu	[N]
F_{uTRMAX}	maximálna tranzverzálna sila v oku	[N]
F_{uxi}	x-ová zložka sily v úchyte	[N]
F_{uxMAX}	x-ová maximálna sila v závesnom oku	[N]
F_{uyi}	y-ová zložka sily v úchyte	[N]
F_{uyMAX}	y-ová maximálna sila v závesnom oku	[N]
F_{uzi}	z-ová zložka sily v úchyte	[N]
F_{uzMAX}	z-ová maximálna sila v závesnom oku	[N]

F_{VZ}	celková sila vo vzpere	[N]
F_{VZYZ}	sila vo vzpre v rovine ZY	[N]
J_k	kvadratický moment prierezu	[mm ⁴]
J_{xi}	kvadratický moment k ose x	[mm ⁴]
J_{zi}	kvadratický moment k ose z	[mm ⁴]
K_{br}	faktor účinnosti pre roztrhnutie od axiálneho zaťaženia	-
K_t	faktor účinnosti na odtrhnutie	-
K_{tru}	faktor účinnosti pre odtrhnutie od tranzverzálneho zaťaženia	-
KV	krátka vzpera	-
l_{DV}	dĺžka dlhej vzpery	[mm]
l_i	navrhovaná dĺžka sekcie	[m]
l_{KV}	dĺžka krátkej vzpery	[mm]
l_{XYi}	vzdialenosť úchyty od stredu siete v rovine XY	[mm]
m_1	hmotnosť sekcie 1	[kg]
m_3	hmotnosť sekcie 3	[kg]
m_4	hmotnosť sekcie 4	[kg]
m_b	hmotnosť predného batožinového priestoru	[kg]
m_B	hmotnosť bariér	[kg]
$m_{i,podl}$	maximálna hmotnosť nákladu vzhľadom na nosnosť podlahy	[kg]
m_j	hmotnosť jednotlivých častí letúnu, okrem sekcie 4	[kg]
MKP	metóda konečných prvkov	-
M_o	ohybový moment	[N]
M_{ox}	ohybový moment v ose x	[Nmm]
M_{oz}	ohybový moment v ose z	[Nmm]
m_p	hmotnosť platiaceho zaťaženia	[kg]
m_{pu}	hmotnosť upraveného maximálneho platiaceho zaťaženia	[kg]
$m_{s,max}$	maximálna hmotnosť nákladu v sekcii	[kg]
n	počet úchytovej siete	-
N	normálová sila	[N]
P_{bru}	maximálne dovolené axiálne zaťaženie - roztrhnutie	[N]
P_{bry}	medzné dovolené zaťaženie v otláčení	[N]
P_i	Sila pôsobiaca v tiahle alebo vzpere	[N]
ρ_{MAX}	maximálna nosnosť podlahy	[kg/m ²]
P_{tru}	maximálne dovolené tranzverzálne zaťaženie - odtrhnutie	[N]
P_{tu}	maximálne dovolené axiálne zaťaženie - odtrhnutie	[N]
R_a	menšia z prevrátených hodnôt bezpečnosti pri axiálnom zaťažení	-
RF	rezerva bezpečnosti (z angl. Reserve Factor)	-
r_i	rameno	[mm]
R_m	medza pevnosti	-
R_{tr}	prevrátená hodnota bezpečnosti pri tranzverzálnom zaťažení	-

SAT	stredná aerodynamická tetiva	[m]
STC	doplňkový typový certifikát (z angl. Supplemental Type Certificate)	-
STOL	krátky vzlet a pristátie (z angl. Short Take Of and Landing)	-
t	hrúbka oka	[mm]
T	Posúvajúca sila	[N]
T_x	Posúvajúca sila v ose x	[N]
T_z	Posúvajúca sila v ose z	[N]
W	šírka oka	[mm]
x_4	poloha ťažiska sekcie 4 od referenčného bodu	[m]
x_j	poloha ťažiska jednotlivých častí letúnu od referenčného bodu, okrem polohy sekcie 4	[m]
x_T	poloha zadného ťažiska	[m]
x_{XYi}	x-ová poloha úchyty od stredu siete v rovine XY	[mm]
y_{XYi}	y-ová poloha úchyty od stredu siete v rovine XY	[mm]
α_i	uhol v rovine XY	[rad]
α_{XYi}	celkový uhol	[rad]
Δ_j	rozdiel výsledkov analytického a MKP výpočtu	[%]
σ_{Mo}	ohybové napätie	[Mpa]
σ_{Mox}	ohybové napätie v ose x	[Mpa]
σ_{Moz}	ohybové napätie v ose z	[Mpa]
σ_N	normálové napätie	[Mpa]
σ_{RED}	redukované napätie	[Mpa]
τ_x	šmykové napätie v ose x	[Mpa]
τ_x	šmykové napätie	[Mpa]
τ_z	šmykové napätie v ose z	[Mpa]

Neuvedené skratky a symboly sú vysvetlené pri použití v texte práce.

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1.1 - Technické parametre verzií letúnu L-410 [1],[2]	10
Tab. 1.2 - Technické parametre nákladných verzií L-410 [1],[2]	11
Tab. 2.1 - Rozdelenie závislých zmien na významné a nevýznamné	16
Tab. 2.2 - Typy certifikačných báz [16]	16
Tab. 2.3 - Zoznam aplikovateľných predpisov pre navrhované zmeny	17
Tab. 3.1 - Technické údaje navrhovaných súčiastok konštrukcie rámu	28
Tab. 3.2 - Technické údaje navrhovaných súčiastok konštrukcie tiahla	32
Tab. 3.3 - Technické údaje navrhovaných súčiastok konštrukcie dlhej vzpery	33
Tab. 4.1 - Maximálne hmotnosti nákladu sekcií vzhľadom na nosnosť podlahy	35
Tab. 4.2 - Výsledky maximálnych hmotnostných zaťažení sekcií	36
Tab. 4.3 - Výsledky rozloženia zaťaženia v úchytoch	39
Tab. 4.4 - Porovnanie výsledkov analytického a MKP výpočtu	41
Tab. 4.5 - Výsledné hodnoty síl v častiach bariéry z MKP výpočtu	44
Tab. 4.6 - Maximálne zložky síl pôsobiace na závesné oko	46
Tab. 4.7 - Vstupné hodnoty pre kontrolu závesného oka v kritických rezoch	49
Tab. 4.8 - Hodnoty síl a momentov v kritických rezoch závesného oka	49
Tab. 4.9 - Výsledky napätí a bezpečnosti závesného oka	51
Tab. 4.10 - Vstupné hodnoty pre kontrolu konzoly rámu v kritických rezoch	53
Tab. 4.11 - Hodnoty síl a momentov v kritických rezoch konzoly rámu	54
Tab. 4.12 - Výsledky napätí a bezpečnosti konzoly rámu	54
Tab. 4.13 - Hodnoty pevnostnej kontroly ôk konzol tiahla	56
Tab. 4.14 - Hodnoty pevnostnej kontroly ôk konzol krátkej vzpery	56
Tab. 4.15 - Hodnoty pevnostnej kontroly ôk konzol dlhej vzpery	57
Tab. 4.16 - Vstupné hodnoty pre pevnostnú kontrolu licovaných skrutiek tiahla a vzpier	58
Tab. 4.17 - Výsledky pevnostnej kontroly licovaných skrutiek tiahla a vzpier	59
Tab. 5.1 - Odhad hmotnosti bariér	60

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1.1 - L 410 UVP-E20 [10].....	10
Obr. 1.2 - Nákladná verzia L-410 - model [12].....	11
Obr. 1.3 - Nákladná verzia L-410 [15].....	11
Obr. 2.1 - Vývojový diagram navrhovanej certifikačnej bázy pre zmenu produktu podľa 21.A.101 [5]	14
Obr. 3.1 - Možnosti umiestnenia a rozdelenia nákladu	20
Obr. 3.2 - Druh bariéry, variant A.....	21
Obr. 3.3 - Návrhy prevedenia variantu bariéry A	21
Obr. 3.4 - Druh bariéry, variant B.....	22
Obr. 3.5 - Druh bariéry, variant C	23
Obr. 3.6 - Konštrukčný návrh bariéry - pohľad spredu.....	25
Obr. 3.7 - Konštrukčný návrh bariéry-pohľad zľava	26
Obr. 3.8 - Model bariéry.....	26
Obr. 3.9 - Konštrukcia rámu.....	27
Obr. 3.10 - Spoj 7 - Uchytenie rámu	28
Obr. 3.11 - Konštrukcia krátkej vzpery.....	29
Obr. 3.12 - Spoj 1 - uchytenie krátkej vzpery.....	29
Obr. 3.13 - Spoj 2 - uchytenie krátkej vzpery.....	30
Obr. 3.14 - Konštrukcia tiahla	30
Obr. 3.15 - Spoj 3 - uchytenie tiahla	31
Obr. 3.16 - Spoj 4 - uchytenie tiahla	31
Obr. 3.17 - Konštrukcia dlhej vzpery.....	32
Obr. 3.18 - Spoj 5 - uchytenie dlhej vzpery.....	32
Obr. 3.19 - Spoj 6 - uchytenie dlhej vzpery.....	33
Obr. 4.1 - Návrh rozmerov sekcií.....	34
Obr. 4.2 - Rozloženie zaťaženia v rovine XY.....	37
Obr. 4.3 - Rozloženie zaťaženia v rovine YZ.....	37
Obr. 4.4 - MKP model bariéry - overenie	40
Obr. 4.5 - Náčrt uvoľnenia polovice rámu s absenciou x-ových zložiek síl	40
Obr. 4.6 - MKP model bariéry	42
Obr. 4.7 - Priebeh ohybového napätia na ráme.....	43
Obr. 4.8 - Priebeh kombinovaného napätia na ráme	43
Obr. 4.9 - Trubka tiahla.....	44
Obr. 4.10 - Trubka krátkej vzpery	45
Obr. 4.11 - Trubka dlhej vzpery	46
Obr. 4.12 - Priebeh VVÚ pre závesné oko	49
Obr. 4.13 - Náčrt ľavej konzoly rámu pre výpočet oka.....	51
Obr. 4.14 - VVÚ jednej polovice ľavej konzoly rámu.....	53
Obr. 4.15 - Priebeh VVÚ pre licovanú skrutku uchytenia rámu.....	54
Obr. 4.16 - Priebeh VVÚ pre licovanú skrutku uchytenia tiahla a vzpier.....	57
Obr. 5.1 - Graf porovnania letúnov s ohľadom na max platiace zaťaženie	61
Obr. 5.2 - Graf porovnania letúnov s ohľadom na objem nákladného priestoru	61

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha A – Zoznam predpisov [6].....	72
Príloha B – Náčrt hmotnostného rozloženia častí letúnu.....	77
Príloha C – daje vstupujúce do výpočtu hmotnostného rozloženia	78
Príloha D – Výpočtový m-skript programu Matlab.....	79
Príloha E – Tabuľka údajov porovnávaných letúnov.....	80

Príloha A – Zoznam predpisov [6]

CS-23	Popis požiadavky	Spôsob overenia uplatnenia (MoC)
VŠEOBECNE		
23.23 (a)	<p>Obmedzenia rozloženia záťaže Musia byť stanovené rozsahy hmotností a ťažiska, v ktorých môže byť letún bezpečne prevádzkovaný a musí zahrňovať rozsah pre priečne polohy ťažiska, ak možné podmienky zaťaženia môžu viesť k významným zmenám ich polohy.</p>	1; 2
23.23 (b)	<p>Rozloženie záťaže nesmie prekročiť:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. zvolené obmedzenia 2. obmedzenia pri ktorých bola konštrukcia skúšaná; alebo 3. obmedzenia pri ktorých bolo preukázané vyhovenie všetkým príslušným letovým požiadavkám tejto Hlavy. 	1; 2
PODMIENKY NÚDZOVÉHO PRISTÁTIA		
23.561 (b), (2)	<p>Všeobecne Konštrukcia letúnu musí byť navrhnutá tak, aby poskytovala každej osobe na palube vždy možnosť primeranej ochrany pred vážnym zranením, keď:</p> <p>Na hmotné predmety v kabíne, ktoré by mohli spôsobiť zranenie osôb na palube, pôsobia statické zotrvačné sily, ktoré odpovedajú nasledujúcim výpočtovým násobkom zaťaženia:</p> <ol style="list-style-type: none"> i. Smerom nahor 3,0 g ii. Smerom dopredu 18,0 g iii. V bočnom smere 4,5 g [6] 	1; 2; 4

MoC: 0 – Prehlásenie o splnení, 1 – Posudok návrhu, 2 – Výpočet, Analýza, 3 – Hodnotenie bezpečnosti, 4 – Laboratórne testy, 5 – Pozemné testy na súvisiacom produkte, 6 – Letové testy, 7 – Kontrola návrhu, 8 – Simulácia, 9 – Kvalifikácia vybavenia, N/A – nepoužiteľné, N/E – zanedbateľný efekt

CS-23	Popis požiadavky	Spôsob overenia uplatnenia (MoC)
UMIESTNENIE OSÔB A NÁKLADU		
23.787 (a), (1)	Priestory pre batožinu a náklad Každý priestor pre batožinu a náklad musí: Byť navrhnutý pre označenú maximálnu hmotnosť obsahu a pre kritické rozloženie zaťaženia pri príslušných maximálnych násobkoch zaťaženia pre prípady letových a pozemných zaťažení podľa CS-23.	0
23.787 (a), (2)	Mať prostriedky brániace nebezpečnému posunu obsahu ktoréhokoľvek priestoru a chrániace riadenie, elektrické vedenie, potrubie, vybavenie alebo príslušenstvo, ktorého poškodenie alebo zlyhanie by mohlo ovplyvniť bezpečnú prevádzku.	1
23.787 (a), (3)	Mať prostriedky pre ochranu osôb na palube pred zranením obsahom ktoréhokoľvek priestoru, umiestneného za osobami na palube a oddeleného konštrukciou, ak je výpočtový dopredný násobok zaťaženia 9 g pri maximálnej dovolenej hmotnosti batožiny alebo nákladu v danom priestore	1; 2; 4
23.805 (a)	Núdzové východy pre letovú posádku Pri letúnoch, kde v dôsledku veľkej vzdialenosti nepredstavujú núdzové východy pre cestujúcich vhodný a ľahko prístupný prostriedok pre evakuáciu letovej posádky, platí nasledujúce: V priestore pre letovú posádku musí byť k dispozícii buď jeden núdzový východ na každej strane letúnu alebo núdzový východ prielazom v streche letúnu.	0
23.805 (b)	Každý núdzový východ musí byť umiestnený tak, aby umožňoval rýchlu evakuáciu posádky a mať tvar nezataraseného obdĺžnikového otvoru s veľkosťou najmenej 48x51 cm (19x20 palcov); a	1

MoC: 0 – Prehlásenie o splnení, 1 – Posudok návrhu, 2 – Výpočet, Analýza, 3 – Hodnotenie bezpečnosti, 4 – Laboratórne testy, 5 – Pozemné testy na súvisiacom produkte, 6 – Letové testy, 7 – Kontrola návrhu, 8 – Simulácia, 9 – Kvalifikácia vybavenia, N/A – nepoužiteľné, N/E – zanedbateľný efekt

CS-23	Popis požiadavky	Spôsob overenia uplatnenia (MoC)
23.805 (c)	<p>Každý núdzový východ, ktorý je vyššie ako 1,8 m (6 ft) od zeme, musí byť opatrený pomocnými prostriedkami pre únik. Pomocným prostriedkom môže byť lano alebo iný prostriedok, ktorý sa preukázal ako vhodný pre tento účel. Pokiaľ je pomocným prostriedkom lano alebo schválený obdobný prostriedok, musí:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Byť upevnený ku konštrukcií trupu v najvyššom bode alebo nad otvorom núdzového východu, alebo v prípade zariadenia na okne pre núdzový východ pilota, v inom schválenom mieste, pokiaľ by uložené zariadenie alebo jeho upevnenie obmedzovalo výhľad pilota; a 2) Byť schopný (vrátane jeho upevnenia) odolať statickému zaťaženiu 1779 N (400 lbf). 	0; 1
POŽIARNA OCHRANA		
23.853 (a)	<p>Interiér priestoru pre cestujúcich a posádku Pre každý priestor používaný posádkou alebo cestujúcimi platí: Materiály musia byť aspoň odolné voči plameňu</p>	9

MoC: 0 – Prehlásenie o splnení, 1 – Posudok návrhu, 2 – Výpočet, Analýza, 3 – Hodnotenie bezpečnosti, 4 – Laboratórne testy, 5 – Pozemné testy na súvisiacom produkte, 6 – Letové testy, 7 – Kontrola návrhu, 8 – Simulácia, 9 – Kvalifikácia vybavenia, N/A – nepoužiteľné, N/E – zanedbateľný efekt

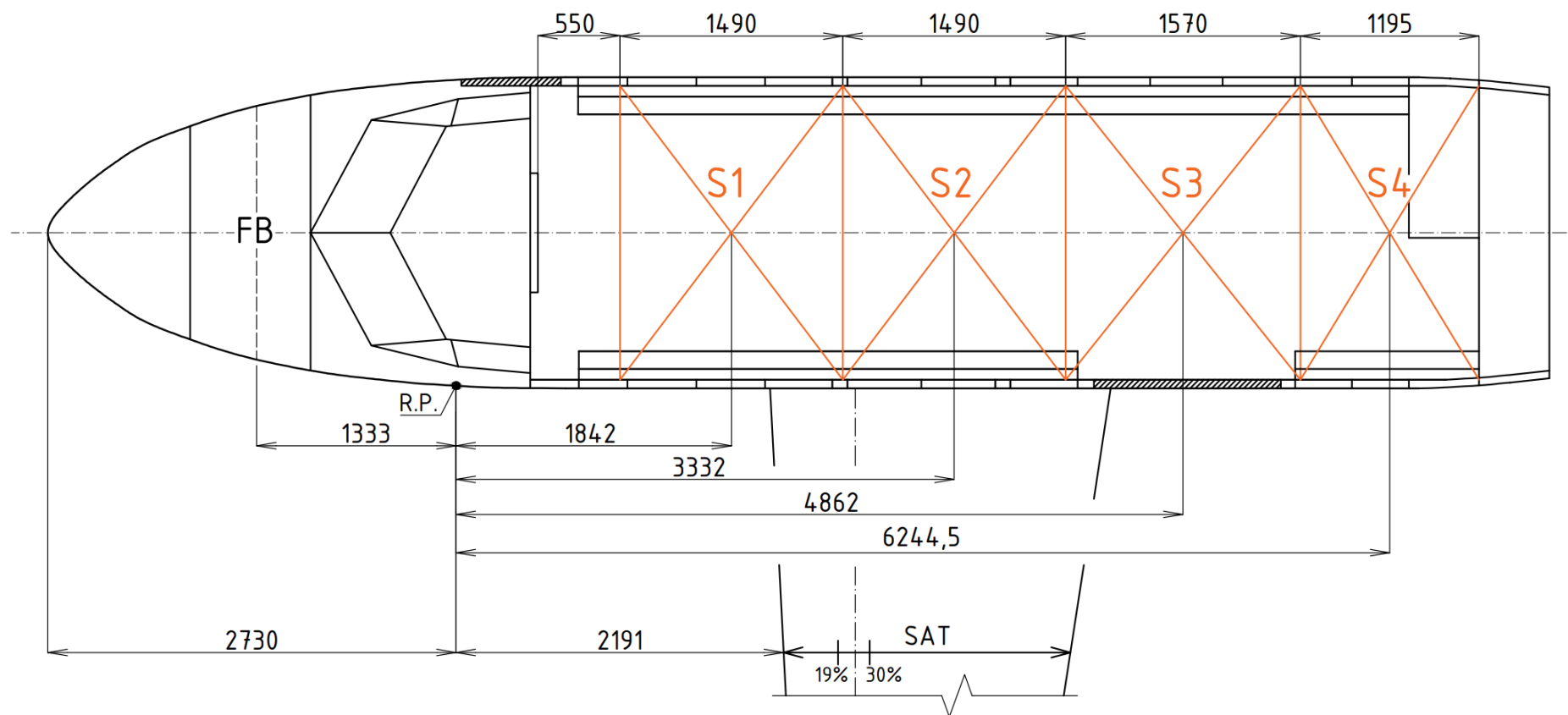
CS-23	Popis požiadavky	Spôsob overenia uplatnenia (MoC)
23.853 (d), (3), (iii, iv)	<p>Pre letúny kategórie pre zbernú dopravu navyše platia nasledujúce požiadavky</p> <p>3) Materiály (vrátane povrchovej úpravy alebo dekoratívnych plôch na materiáloch) použité v každom priestore pre posádku alebo cestujúcich musí spĺňať nasledujúce príslušné skúšobné kritéria:</p> <p>iii. Podlahová krytina, ..., obloženie priestoru pre náklad, izolačné brzdy, kryty a priehľadné obaly nákladu, ktoré sú prevedené z materiálov neodpovedajúcich požiadavkám odseku (d)(3)(iv), musia byť samo zhasňajúce, pokiaľ sú skúšané vertikálne v súlade s príslušnou časťou Dodatku F k CS-23 alebo inou schválenou ekvivalentnou metódou. Priemerná dĺžka spálenej plochy nesmie presiahnuť 20 cm (8 palcov) a priemerná doba horenia plameňom nesmie po odstránení zdroja plameňa prekročiť 15 sekúnd. Kvapkajúca hmota skúšobného vzorku nesmie v priemere horieť dlhšie ako 5 sekúnd po odkvapnutí.</p> <p>iv. Akrylové okná a značenie, ..., bezpečnostné pásy, ramenné viacbodové pásy a zariadenia k upevneniu nákladu a batožiny vrátane kontajnerov, košov, paliet, atď. použité v priestore pre cestujúcich alebo posádku nesmú mať priemernú rýchlosť horenia väčšiu ako 63 cm (2,5 palca) za minútu, pokiaľ sú skúšané horizontálne v súlade s príslušnou časťou Dodatku F k CS-23 alebo inou schválenou ekvivalentnou metódou.</p>	9
23.855 (a)	<p>Požiarna ochrana nákladného a batožinového priestoru</p> <p>Zdroje tepla v každom nákladnom a batožinovom priestore, ktoré sú schopné zapáliť náklad alebo batožinu, musia byť odtienené (zakryté) alebo izolované tak, aby bolo zabránené takémuto zapáleniu.</p>	0
23.855 (b)	<p>Pre letúny kategórie normálne, cvičné a akrobatické musí byť každý nákladný a batožinový priestor konštruovaný z materiálov, ktoré sú aspoň odolné voči plameni.</p>	9

MoC: 0 – Prehlásenie o splnení, 1 – Posudok návrhu, 2 – Výpočet, Analýza, 3 – Hodnotenie bezpečnosti, 4 – Laboratórne testy, 5 – Pozemné testy na súvisiacom produkte, 6 – Letové testy, 7 – Kontrola návrhu, 8 – Simulácia, 9 – Kvalifikácia vybavenia, N/A – nepoužiteľné, N/E – zanedbateľný efekt

CS-23	Popis požiadavky	Spôsob overenia uplatnenia (MoC)
23.855 (c)	<p>Každý nákladný a batožinový priestor letúnov kategórie pre zbernú dopravu musí navyše spĺňať ustanovenie CS 23.853 (d)(3), a buď:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Byť umiestnený tak, aby oheň mohol byť ľahko objavený pilotom, pokiaľ je na svojom stanovišti, alebo musí byť vybavený samostatným systémom detektorov dymu alebo ohňa dávajúcim výstrahu na stanovište pilota a poskytovať za letu pilotovi dostatočný prístup ku ktorejkoľvek časti priestoru pre zásah pomocou ručného hasiaceho prístroja; alebo 2) Byť vybavený samostatným systémom detektorov dymu alebo ohňa dávajúcim výstrahu na stanovište pilotov a mať stropné a podlahové panely a stenové výplňové dosky konštruované z materiálov, ktoré boli skúšané pri uhle 45° v súlade s príslušnými časťami Dodatku F k CS-23. Plameň nesmie preniknúť (prehoriť) materiálom behom pôsobenia plamena alebo následne po jeho odstránení. Priemerná doba horenia plameňom po odstránení zdroja plameňa nesmie presiahnuť 15 sekúnd a priemerná doba tlenia nesmie presiahnuť 10 sekúnd. Priestor musí byť konštruovaný tak, aby zaistil ochranu pred požiarom aspoň takú, aká je požadovaná pre jeho jednotlivé panely; alebo 3) Byť konštruovaný a utesnený tak, aby v sebe izoloval akýkoľvek požiar. 	1

MoC: 0 – Prehlásenie o splnení, 1 – Posudok návrhu, 2 – Výpočet, Analýza, 3 – Hodnotenie bezpečnosti, 4 – Laboratórne testy, 5 – Pozemné testy na súvisiacom produkte, 6 – Letové testy, 7 – Kontrola návrhu, 8 – Simulácia, 9 – Kvalifikácia vybavenia, N/A – nepoužiteľné, N/E – zanedbateľný efekt

Príloha B – Náčrt hmotnostného rozloženia častí letúnu



FB – označenie predného nákladného priestoru
R.P. – označenie referenčného bodu

Príloha C – daje vstupujúce do výpočtu hmotnostného rozloženia

Časť letúnu	Poloha ťažiska od referenčného bodu (R.P.)	Hmotnosť časti
	x_j [m]	m_j [kg]
		UVP-E20
Prázdny letún	2,666 [11]	4050 [11]
Palivo v hlavnej nádrži	3,134 [11]	750
Palivo v koncových nádržiach	2,674 [11]	0
Posádka	0,103 [11]	160
Predný batožinový priestor	-1,333 [11]	100 [1]
Sekcia 1.	1,797	900
Sekcia 2.	3,297	0
Sekcia 3.	5,020	-
Sekcia 4.	6,417	-

Príloha D – Výpočtový m-skript programu Matlab

```
clear;clc;

me=4050;           %prázdna hmotnost letunu
mpal=750;          %hmotnost paliva v hlavných nádržiach
mp=1800;           %maximálna hmotnost užitočného zataženia
mpil=160;          %hmotnost pilotov
mfb=100;           %hmotnost predného batožinového priestoru
m1=900;            %hmotnost sekcie 1
m3=mp-mpil-mfb-m1; %výpočet hmotnosti sekcie 3

le=2.666;          %poloha ťažiska orázdneho letunu
lpal=3.134;        %poloha ťažiska paliva v hl. nádržiach
lpil=0.103;        %poloha ťažiska pilotov
lfb=-1.333;        %poloha ťažiska predného batožinového priestoru
lm1=1.842;         %poloha ťažiska sekcie 1
lm3=4.862;         %poloha ťažiska sekcie 3

xT=2.766;          %maximálna zadná poloha ťažiska
xP=(me*le+mpal*lpal+mpil*lpil+mfb*lfb+m1*lm1+m3*lm3)/(me+mpal+mpil+mfb+m1+m3);
%výpočet aktuálnej polohy ťažiska

while xP<xT        %cyklus pre výpočet max. hmotnosti sekcie 3 s krokom 0,05
    kg
    m1=m1-0.05;
    m3=m3+0.05;
    xP=(me*le+mpal*lpal+mpil*lpil+mfb*lfb+m1*lm1+m3*lm3)/(me+mpal+mpil+mfb
+m1+m3);
end

formatSpec='m3 = %6.2f kg\n';
fprintf(formatSpec,m3)

m3 = 790.75 kg
```

Published with MATLAB® R2022a

Príloha E – Tabuľka údajov porovnávaných letúnov [1], [2], [3], [8], [9]

Typ letúnu	Beechcraft 1900D	DHC-6 Twin Otter	Do-228	L-410 UVP E20	L-410 UVP NG
Max hmotnosť [kg]	7765	5670	6400	6600	7000
Max platiace zaťaženie [kg]	3374	1842	1960	1669	2169
Celkový objem nákladného priestoru [m ³]	25,5	14,4	18,2	19,4	19,4
Max cestovná rýchlosť [km/h]	519	337	413	405	417
Dolet s max platiacim zaťažením [km] ¹	926	185	396	510 ²	220 ²

¹ Hodnoty doletov s max platiacim zaťažením boli odhadované z diagramov platiaceho zaťaženia ku doletu udávajúcich v použitých zdrojoch

² Hodnoty doletov odčítané pre pôvodné hodnoty platiacich zaťažení letúnov