

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

# NÁVRH KRUHOVÉHO MOTOROVÉHO LOŽE A PODVĚSNÉHO KONTEJNERU PRO LETOUN SPORT CRUISER S MOTOREM JABIRU

DESIGN OF CIRCULAR ENGINE MOUNT AND POD CONTAINER FOR AIRCRAFT  
SPORT CRUISER WITH JABIRU ENGINE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MARTIN PAVELKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ URÍK

BRNO 2008

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci zpracoval samostatně za použití uvedené literatury a ostatních pramenů.

V Brně, dne 13. října 2008

.....  
Martin Pavelka

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce, Ing. Tomáši Uríkovi, za velmi cenné rady a odborné připomínky, které mi poskytl při vypracování.

**Anotace**

Diplomová práce se zabývá dvojí problematikou; jednak motorovým ložem k motoru Jabiru 3300, a dále podvěsným kontejnerem. V obou případech je řešen konstrukční návrh, který podléhá předpisům ASTM F2245-04 LSA. Konstrukce jsou vymodelovány programem Catia V5R17. Pro výpočet působících sil prutového modelu motorového lože bylo použito metody konečných prvků softwarem Patran. Pevnostní kontrola lože i podvěsného kontejneru je provedena analyticky.

klíčová slova: motorové lože, kontejner, zatížení

**Anotation**

This diploma thesis deal with double problematic both engine bed of Jabiru 3000 engine and by overhead container. In both cases the engineering design is solved with compliance of ASTM F2245-04 LSA rules. The structures are shaped by Catia V5R17 software.

For calculation of acting forces of bar model of the engine bed Finite Element Method software Patran was used. Strength verification of both engine bed and container was done analytically.

key words: engine bed, overhead container, load



## Obsah

<b>1. CÍLE A OHLEDY PRÁCE.....</b>	<b>11</b>
<b>2. ÚVOD.....</b>	<b>12</b>
2.1 POPIS LETOUNU .....	12
2.2 PARAMETRY LETOUNU .....	13
2.3 VOLBA SOUŘADNÉHO SYSTÉMU .....	15
<b>3. MOTOROVÉ LOŽE .....</b>	<b>16</b>
3.1 SROVNÁNÍ MOTORŮ.....	16
3.2 PŘIPOJOVACÍ BODY .....	18
3.3 VÝBĚR VRTULE .....	19
3.3.1 Základní rozdělení vrtulí.....	19
3.3.2 Stávající vrtule .....	19
3.3.3 Zvolená vrtule .....	19
3.4 ZATÍŽENÍ DLE PŘEDPISU LSA .....	21
3.5 KONSTRUKČNÍ NÁVRH.....	23
3.5.1 Konstrukční uzly.....	26
3.5.2 Vyosení motoru .....	28
3.6 PEVNOSTNÍ VÝPOČET .....	29
3.6.1 Prutový model .....	29
3.6.2 Stanovení zatížení.....	29
3.6.3 Výpočet zatížení .....	33
3.6.4 Kontrola konstrukce.....	35
3.6.5 Kontrola čepů.....	41
3.6.6 Kontrola závěsů .....	43
<b>4. KONTEJNER.....</b>	<b>45</b>
4.1 STANOVENÍ UMÍSTĚNÍ .....	45
4.2 ZATÍŽENÍ DLE PŘEDPISU .....	45
4.3 KONSTRUKČNÍ NÁVRH.....	46
4.3.1 Konstrukční uzly.....	49
4.4 PEVNOSTNÍ VÝPOČET .....	55
4.4.1 Stanovení zatížení.....	55
4.4.2 Kontrola nosníku konstrukce .....	55
4.4.3 Kontrola zamykacího mechanismu .....	61
4.5 AERODYNAMIKA .....	62
<b>5. ZÁVĚR.....</b>	<b>63</b>
<b>PŘEHLED POUŽITÝCH VELIČIN.....</b>	<b>64</b>
<b>PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>66</b>
<b>PŘEHLED PŘÍLOH .....</b>	<b>67</b>
<b>SEZNAM VÝKRESŮ .....</b>	<b>67</b>

## 1. Cíle a ohledy práce

Tato práce je rozdělena na dvě rozsáhlejší části. V první se jedná o návrh motorového lože po rozšíření nabídky motorů o výkonnější verzi, ve druhé je pak návrh závěsného kontejneru pod letounem, který bude primárně sloužit pro uložení zavazadel ve formě snowboardového, případně lyžařského vybavení.

### Motorové lože

Rotax 912 ULS je v současné době jediným motorem, který zadavatel této práce (Czech Aircraft Works, dále CZAW) instaluje do letounů SportCruiser. Tato čtyřválcová pohonná jednotka disponuje maximálním vzletovým výkonem 100 Hp. Pro náročnější zákazníky se nabídka rozšíří o šestiválcový motor Jabiru 3300, který disponuje výkonem o 20 Hp vyšším než původní.

Nové motorové lože právě pro motor Jabiru 3300 bude navrženo v souladu s konstrukčními zvyklostmi CZAW a manuálem pro instalaci vydaným společností Jabiru, ale také se snahou o optimální poměr mezi pevností a hmotností konstrukce.

Při navrhování příhradové konstrukce bude použito softwaru pro výpočet zatížení v jednotlivých prutech pomocí metody konečných prvků.

Výpočet zatížení musí být proveden dle platných předpisů tak, aby mohl být certifikován podle předpisu ASTM F2245-04 LSA pro americký trh. Splnění zmiňovaného předpisu je dostačující i pro vývoz do jiných států, kde se SportCruiser již nabízí.

### Závěsný kontejner

K návrhu přídatného zavazadlového prostoru bylo přistoupeno firmou CZAW na podněty klientů, kteří již mají SportCruiser zakoupený, protože zavazadlový prostor v letounu není pro převoz lyží ani snowboardů přizpůsobený.

U kontejneru nebude řešen odpor vznikající působením aerodynamických sil, bylo by to nad rámec této diplomové práce. Návrh bude aerodynamickým vlivům přizpůsoben pouze dodržováním základních zásad nutných pro aerodynamicky čistou konstrukci. Nebude podpořen výpočtem.

Podle předpisu ASTM F2245-04 LSA není zavazadlový prostor mimo pilotní kabinu upravován. Zatížení havarijním násobkem se vztahuje pouze na zavazadlový prostor umístěný za posádkou. Z toho důvodu bude konstrukce zkontrolována na zatížení vlastní vahou a vahou nákladu v bodě  $n_A$  obrátové obálky.

Konstrukce bude i v tomto případě respektovat možnosti výroby leteckého závodu CZAW, která se specializuje na práci s tenkostěnným plechem.

Návrh musí být takový, aby se letoun mohl provozovat i po případném odejmutí tohoto zavazadlového prostoru.

## 2. Úvod

### 2.1 Popis letounu

V roce 1997 vznikla sloučením několika společností firma CZAW s působištěm v Kunovicích u Uherského Hradiště. Začínala s licenční výrobou letounů Zenair a plováků. V současné době se nejvíce věnuje výrobě letounů SportCruiser, která započala v roce 2005. Produkcí více jak 120 kusů tohoto letounu ročně se řadí mezi jedny z největších výrobců ultralightů u nás.

Ultralehký letoun SportCruiser je celokovové konstrukce, pro dvoučlennou posádku, se sedadly vedle sebe. Konstrukce je stavěna a vyvinuta dle amerického předpisu ASTM F 2245, kategorie LSA (Light Sport Aircraft) pro maximální vzletovou hmotnost 600 kg. Podvozek příďového typu není zatahovatelný. Křídla jsou lichoběžníková s přímou náběžnou hranou, uspořádání vůči trupu je dolnoplošné.

SportCruiser je nyní vyvážen především do těchto zemí: USA, Nový Zéland, Austrálie, Itálie, Švýcarsko, Rakousko, Velká Británie, Jižní Afrika.



Obr. 1 SportCruiser těsně před záletem

## 2.2 Parametry letounu

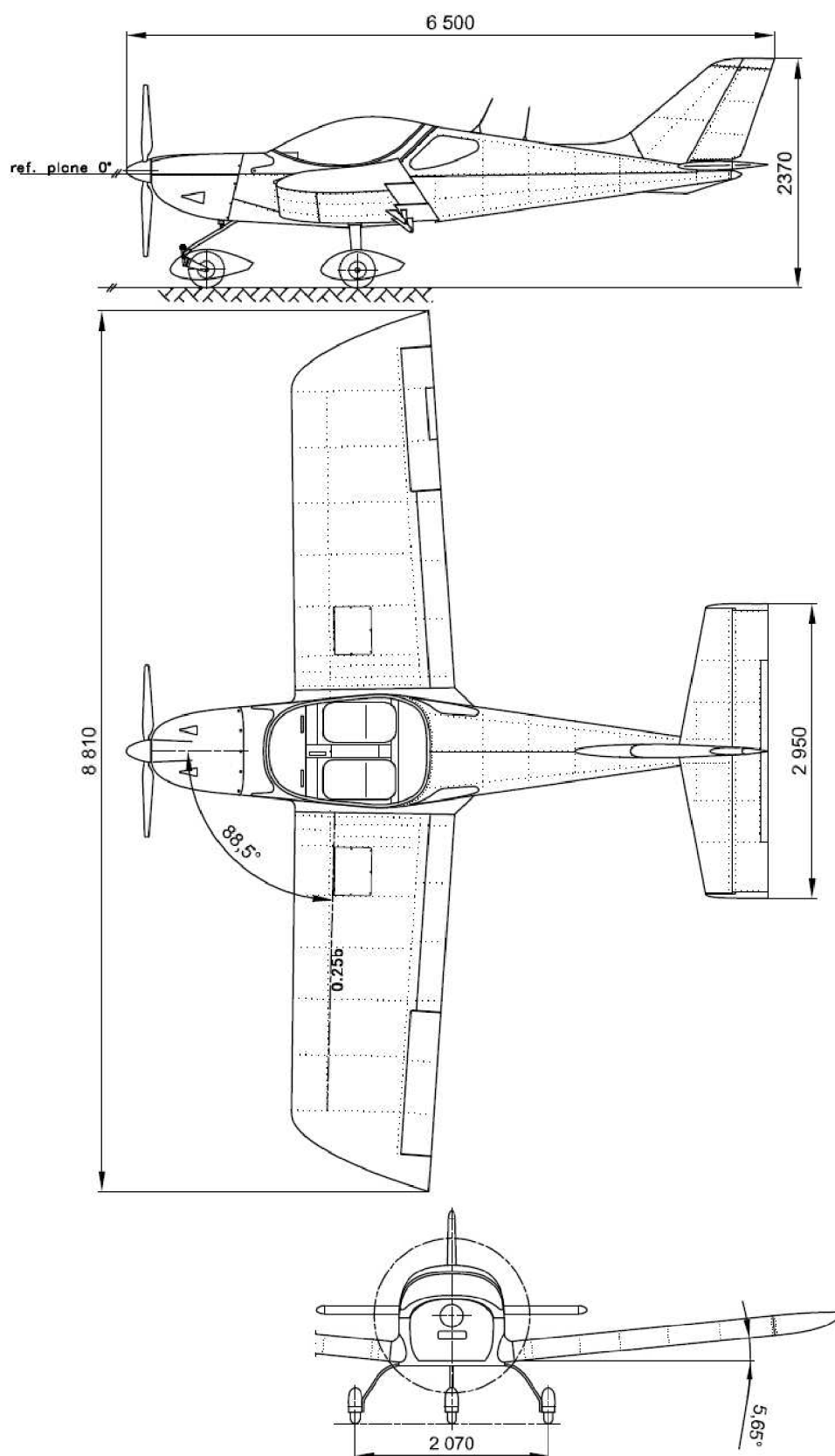
### Základní parametry

Rozpětí	8,78 [m]
Délka	6,49 [m]
Plocha křídla	13,2 [m <sup>2</sup> ]
Zatížení křídla	45,6 [kg.m <sup>-2</sup> ]
Prázdná hmotnost	330 [kg.m <sup>-2</sup> ]
Maximální hmotnost	600 [kg.m <sup>-2</sup> ]
Užitečné zatížení	270 [kg.m <sup>-2</sup> ]
Šířka kabiny	1,18 [m]
Velikost zavazadlového prostoru	300 [l]
Kapacita nádrže	114 [l]
Maximální provozní násobek	4/-2 [G]

### Výkonové parametry

Délka vzletu po trávě	110 [m]
Délka přistání po trávě	122 [m]
Minimální rychlost letu s klapkami	55 [km.h <sup>-1</sup> ]
Minimální rychlost letu bez klapek	61 [km.h <sup>-1</sup> ]
Cestovní rychlost při 75% výkonu	201 [km.h <sup>-1</sup> ]
Nepřekročitelná rychlost	243 [km.h <sup>-1</sup> ]
Stoupání	6 [m.s <sup>-1</sup> ]
Dolet při 75% výkonu	1200 [km]
Maximální výdrž	6 [h]

Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru



Obr. 2 Muška, převzato z CZAW

## 2.3 Volba souřadného systému

Souřadný systém pro snadnější orientaci je zvolen shodně s letadlovou souřadnicovou sestavou ( $x, y, z$ ).

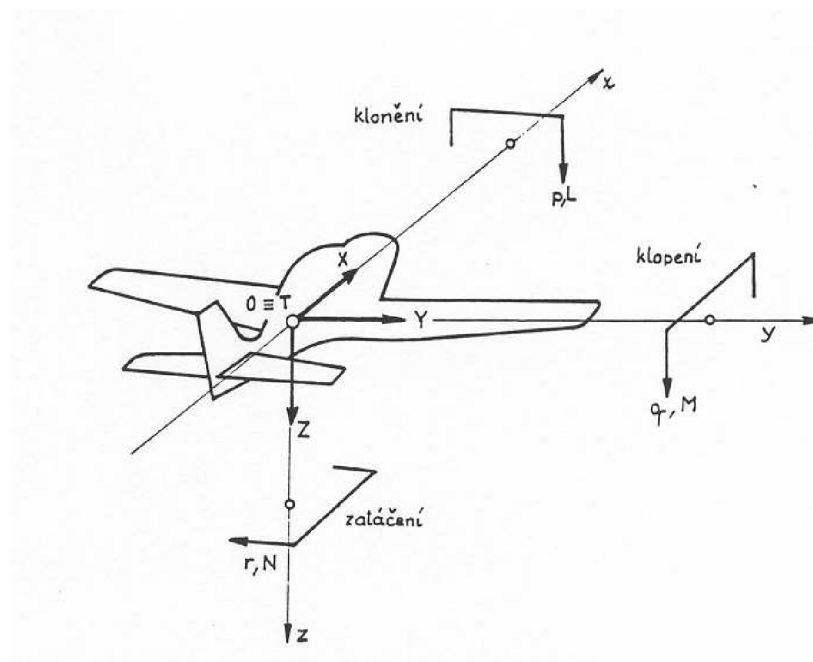
### Letadlová souřadnicová sestava

Počátek je položen do těžiště letounu. Tato soustava je pevně spjata s letounem. Osa  $x$  je orientována ve směru osy trupu, přičemž její kladný smysl je dopředný. Osa  $z$  směřuje od letounu dolů. Osa  $y$  je na předchozí dvě osy kolmá s kladným smyslem po pravé ruce pilota. Všechny tři osy mezi sebou svírají pravý úhel.

osa  $x$  - podélná osa

osa  $y$  - bočná osa

osa  $z$  - kolmá osa



Obr. 3 Letadlový souřadnicový systém, převzato z [4]

### 3. Motorové lože

#### 3.1 Srovnání motorů

Letoun SportCruiser bude dodáván se dvěma variantami pohonných jednotek. Nabídka původního motoru Rotax 912ULS bude rozšířena o nově dodávaný motor Jabiru 3300, jehož uložení je předmětem této práce. Konstrukční řešení obou motorů si je blízké. Jsou čtyřdobé, s uspořádáním válců proti sobě, mazání se suchou skříní. Chlazení je kombinované. Vzduchem jsou chlazeny válce a olejem hlavy válců. Zapalování je elektronické, bezkontaktní, dvouokruhové. Spouštění motorů zajišťuje elektrický startér a dodávku paliva obstarávají karburátory.

Srovnání parametrů v následující tabulce

**Tab. 1 Parametry motorů**

	Rotax 912 ULS	Jabiru 3300	
Počet válců	4	6	[-]
Reduktor	ano	ne	[-]
Převodový poměr reduktoru	2,43	1	[-]
Hmotnost s příslušenstvím	69	81	[kg]
Maximální výkon	100	120	[hp]
Maximální otáčky motoru	5800	3300	[min <sup>-1</sup> ]
Maximální trvalý výkon	95	112,7	[hp]
Maximální trvalé otáčky	5500	3100	[min <sup>-1</sup> ]
Zdvihový objem	1352	3314	[ cm <sup>3</sup> ]
Vrtání	84	97,5	[mm]
Zdvih	61	74	[mm]
Kompresní poměr	10,5:1	8:1	[-]
Časování	26	25	[°]



**Obr. 4 Rotax 912 ULS převzato z [6]**



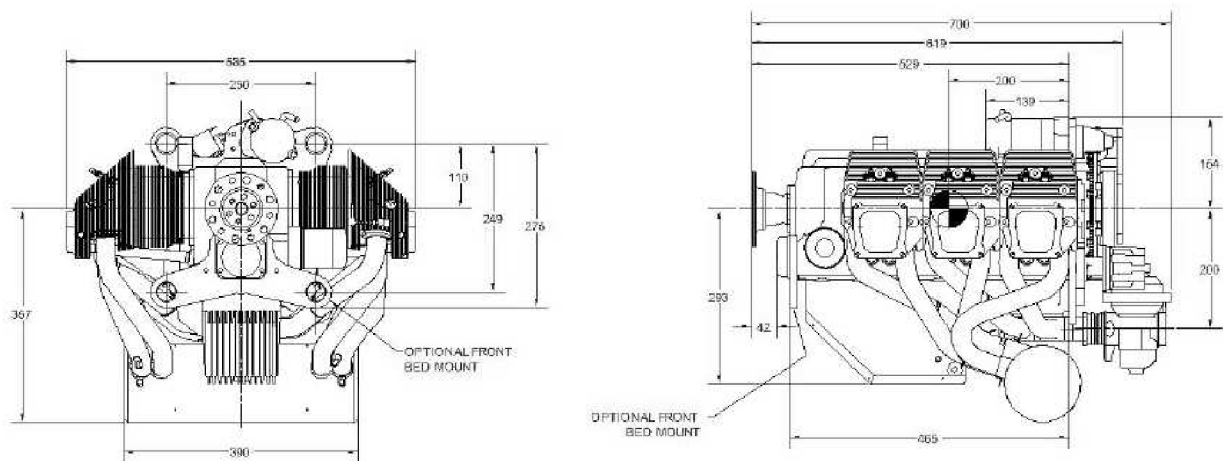
**Obr. 5 Jabiru 3300 převzato z [3]**



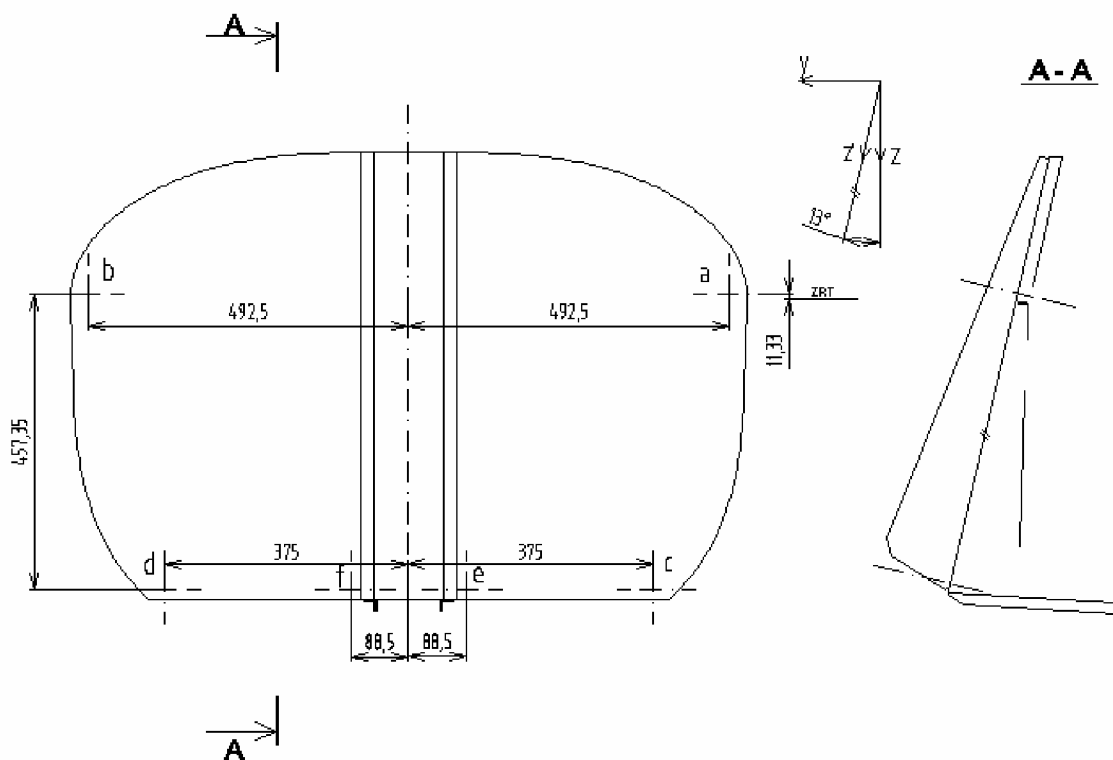
### 3.2 Připojovací body

Konstrukce motorového lože je omezena připojovacími body, a to jak na pohonné jednotce, tak na protipožární stěně.

K připojení motoru bude použito zadní montážní desky se čtyřmi připojovacími body. Přední montážní deska bude demontována z důvodu snížení hmotnosti.



Obr. 6 Připojovací body motoru Jabiru 3300, převzato z [3]



Obr. 7 Protipožární stěna, očíslování závěsů

## Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru

Na protipožární stěně je snaha použít závěsy motorového lože, které jsou na letounu již vyrobeny. Vzhledem k odlišnosti konstrukce nového a stávajícího motorového lože bylo nutné zhotovit do protipožární stěny dva nové připojovací body e, f (viz. Obr. 7). Poloha těchto bodů je taková, aby závěsy byly v letounu proveditelné bez větších komplikací a dalšího vyztužování trupu, případně protipožární stěny.

### 3.3 Výběr vrtule

#### 3.3.1 Základní rozdělení vrtulí

Rozdělení podle: způsobu nastavení - pevná  
- na zemi stavitelná  
- ve vzduchu stavitelná

počtu listů - dvoulistá  
- třílistá  
- čtyřlistá

použitého materiálu - dřevěná  
- kompozitová  
- kombinace dřeva a kompozitu

#### 3.3.2 Stávající vrtule

##### Woodcomp Classic 170/3/R

Třílistá na zemi stavitelná o průměru 1700 mm. Z pohledu pilota pravotočivá. Konstrukci listů tvoří kompozitový sendwichek. Hmotnost celé vrtule včetně náboje je 3,5 kg.

#### 3.3.3 Zvolená vrtule

##### Woodcomp SR 3000

Dvoulistá při letu stavitelná o průměru 1640 mm. Z pohledu pilota pravotočivá. Konstrukci listů tvoří dřevěný základ, potažený karbonovou tkaninou s plastovou náběžnou hranou. Hmotnost včetně náboje je 8 kg. Vhodná pro motor Jabiru.



Obr. 8 List vrtule, převzato z [7]

**Další parametry zvolené vrtule DLE [7]:**

*Úhel nastavení listů představován servomotorkem ovládaným z kabiny a může být plynule měněn v rozsahu od minimálního úhlu určeného pro vzlet až po maximální úhel. Systém umožňuje stavění úhlu listů v rozsahu maximálně 20 stupňů nad minimální úhel (např. 10-30 stupňů, 14-34 atp.).*

*Dorazy polohy vrtulových listů jsou zajištěny dvěma systémy:*

**Hlavní systém**

*Hlavní systém je elektrický. Tento systém pracuje tak, že koncový doraz umístěný na listu najede a sepne koncový přepínač, list se tak v požadovaném úhlu nastavení zastaví.*

**Záložní systém**

*Pro případ poruchy hlavního systému je servoelektrický motor jištěný duplicitním koncovým přepínačem. V případě, že by došlo k selhání koncového přepínače malého úhlu, je ve stejném místě umístěn přepínač duplicitní.*

**Ovládání:**

- *Ovládání vrtule na palubní desce*
- *Ovládání vrtule na řídicí páce*

**Režim REVERS**

*Na přání zákazníka může být ovládání vrtule v kabině doplněno o zařízení umožňující ovládat funkci REVERS, což umožňuje couvání nebo dobržďování letounu na zemi.*

**Režim PRAPOR**

*Na přání zákazníka může být přestavování vrtule doplněno také o funkci prapor, umožňující nastavit vrtuli během letu do praporovací polohy.*

*Woodcomp SR 3000 je za letu elektricky stavitelná vrtule s manuálním ovládáním nebo constant speed ovládáním.*

*Na přání může být ovládání vrtule v kabině doplněno o elektronický regulátor MCS 3000, umožňující nastavit požadované otáčky vrtule, které tento systém automaticky udržuje při změnách režimů letu. V tomto případě se vrtule chová jako vrtule stálých otáček – tzv. Constant speed.*

*Do palubní desky je přidán přepínač Auto – Manuál, kterým lze zvolit způsob ovládání:*

*AUTO- režim automatického ovládání – Constant speed*

*MANUÁL- režim ručního ovládání.*

Zvolená vrtule Woodcomp SR 3000 byla vybrána na základě parametrů s přihlédnutím k dlouholeté spolupráci mezi společnostmi CZAW a Woodcomp.

### 3.4 Zatížení dle předpisu LSA

Dle [2] byly vybrány z předpisu LSA pouze kapitoly, které se zabývají problematikou motorového lože.

#### 5.2.5.1

*The positive limit maneuvering load factor  $n_1$  may not be less than 4.0.*

Kladný násobek manévrovacího zatížení, koeficient  $n_1$ , nesmí být menší než 4.0.

#### 5.2.9

*Engine Torque—The engine mount and its supporting structure must be designed for the effects of:*

Upevnění motoru a související konstrukce musí být navrženy pro tyto účinky:

##### 5.2.9.1

*The limit torque corresponding to takeoff power and propeller speed acting simultaneously with 75 % of the limit loads from flight condition of 5.2.5.1.*

Provozní kroutící moment odpovídající startovnímu výkonu a příslušným otáčkám vrtule působící současně se 75% provozního zatížení podle 5.2.5.1.

##### 5.2.9.2

*The limit torque corresponding to maximum continuous power and propeller speed acting simultaneously with the limit loads from flight condition of 5.2.5.1.*

Provozní kroutící moment odpovídající maximálnímu provoznímu výkonu a příslušným otáčkám vrtule působící současně s provozním zatížením podle 5.2.5.1.

##### 5.2.9.3

*For conventional reciprocating engines with positive drive to the propeller, the limit torque to be accounted for in 5.2.9.1 and 5.2.9.2 is obtained by multiplying the mean torque by one of the following factors:*

*For four-stroke engines:*

*(1) 1.33 for engines with five or more cylinders; or*

*(2) 2, 3, 4, or 8 for engines with four, three, two, or one cylinders, respectively.*

*For two-stroke engines:*

*(1) 2 for engines with three or more cylinders; or*

*(2) 3 or 6, for engines with two or one cylinders, respectively.*

Pro obecný stálý pohyb motoru s kladným náhonem vrtule platí kroutící moment stanovený v 5.2.9.1 a 5.2.9.2. Je získán násobením průměrného kroutícího momentu koeficientem určeným takto:

Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru

---

Pro čtyřdobé motory:

(1) 1.33 pro motory s pěti nebo více válci; nebo

(2) 2, 3, 4, nebo 8 pro motory se čtyřmi, třemi, dvěma nebo jedním válcem.

Pro dvoutaktní motory:

(1) 2 pro motory se třemi nebo více válci; nebo

(2) 3 nebo 6 pro motory s dvěma nebo jedním válcem.

#### 5.2.10 Side Load on Engine Mount:

##### 5.2.10.1

*The engine mount and its supporting structure must be designed for a limit load factor in a lateral direction, for the side load on the engine mount, of not less than 1.5.*

Boční zátěž na uložení motoru:

Upevnění motoru a jeho nosná konstrukce musí být navrženy pro provozní násobek zatížení v bočním směru, pro boční zatížení upevnění motoru ne menší než 1.5.

##### 5.2.10.2

*The side load prescribed in 5.2.10.1 may be assumed to be independent other flight conditions.*

Boční zatížení předepsané v 5.2.10.1 může být považováno za nezávislé na ostatních letových podmínkách.

##### 5.2.10.3

*If applicable, the nose wheel loads of 5.8.1.7 must also be considered.*

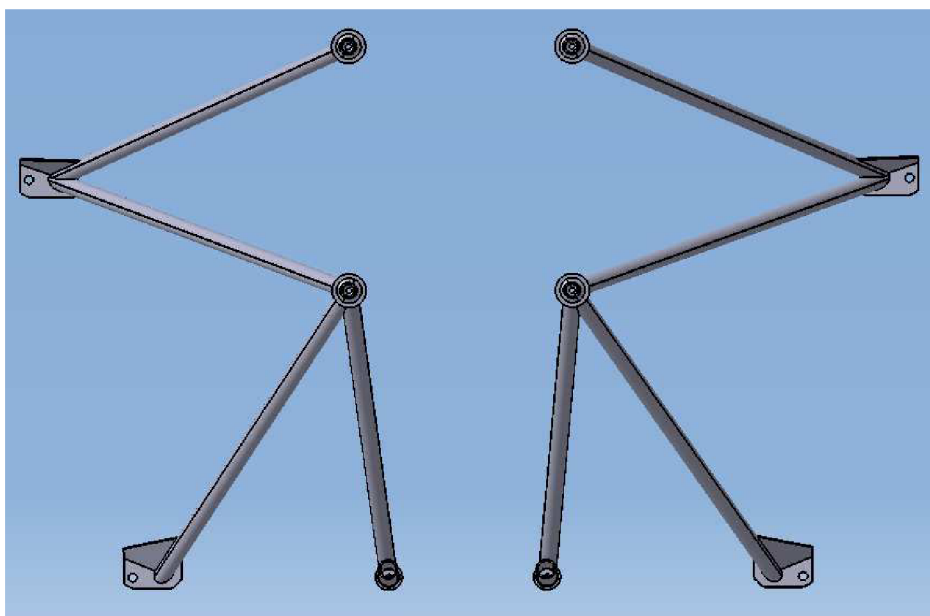
Jestliže je uchycen předový podvozek, zatížení z 5.8.1.7 musí být uvažováno také.

### 3.5 Konstrukční návrh

Pro příhradovou konstrukci motorového lože byly zvažovány dvě varianty se stejným počtem prutů (8).

- 1. jednodílná** Levá a pravá polovina motorového lože jsou propojeny v závěsu tlumiče předového podvozku. Toto konstrukční řešení rozvádí síly působící na motorovém loži i do již navrženého a pevnostně spočítaného podvozku. Což by znamenalo jeho úpravu.
- 2. dvoudílná** Levá a pravá část jsou rozděleny v oblasti trupu, kde se nachází tunel pro uchycení tlumiče předového podvozku.

Dále bude zvažována pouze varianta 2, jelikož přináší menší konstrukční komplikace při řešení zástavby motorového lože.



Obr. 9 Motorové lože 1

#### Materiál lože

Na přání zadavatele je použit materiál trubek AISI 4130 americké výroby. V současné době je jeho množství skladem dostatek, protože je z něj vyráběno nynější motorové lože. Ostatní díly (závěsy, výztuhy) motorového lože jsou z materiálu podobných vlastností. Jedná se o evropský ekvivalent ke zvolenému materiálu trubek. Hmotnost konstrukce činí 2,38kg.

Tab. 2 Použitý materiál

	$R_m$ [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	$E$ [MPa]
AISI 4130 (trubky)	620	420	210000
L - CM 3,6 (závěsy, výztuhy)	640	440	210000

Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru

---

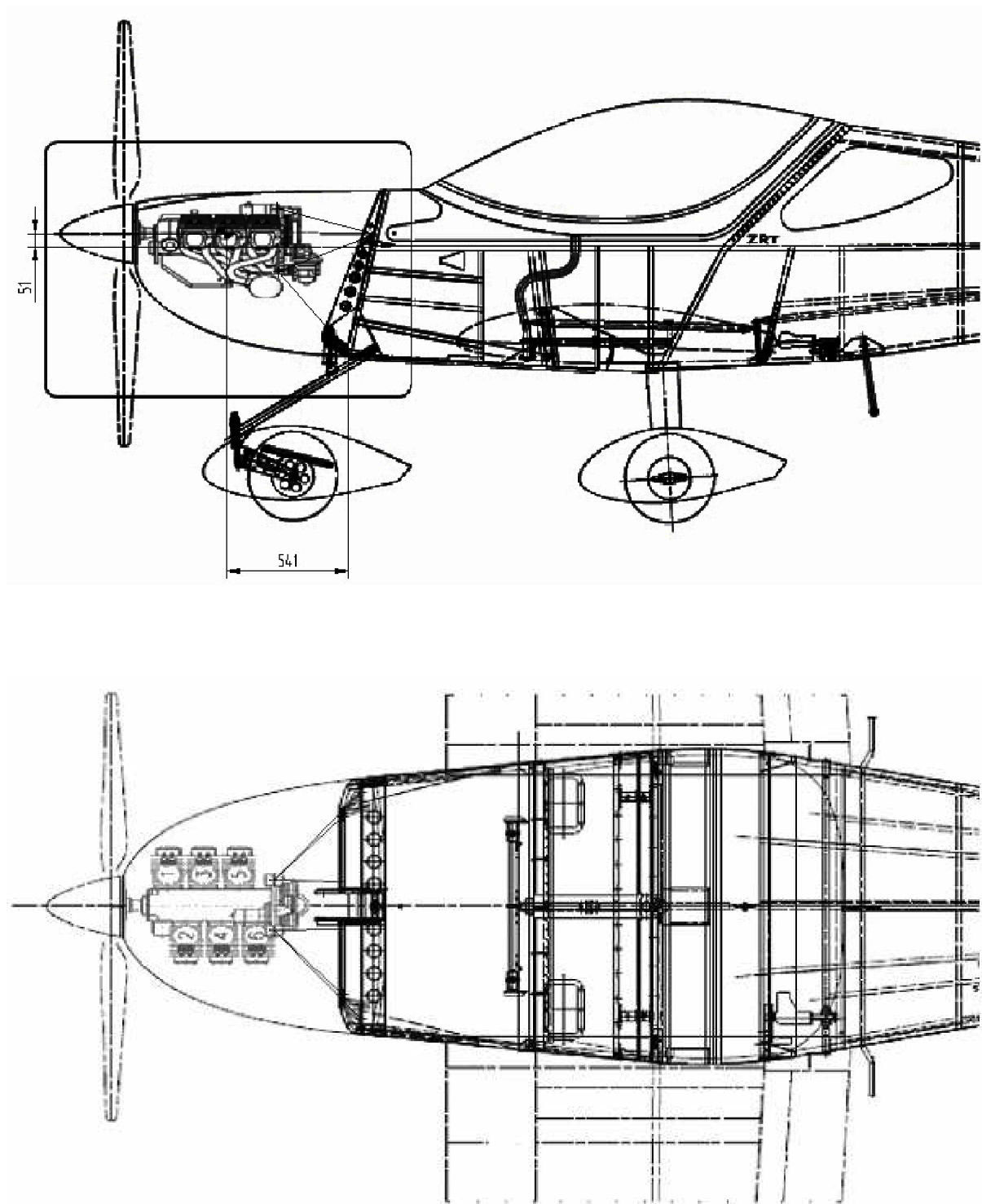


**Obr. 10** Motorové lože 2



**Obr. 11** Motorové lože 3

Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru



Obr. 12 Umístění motoru s prutovým modelem lože

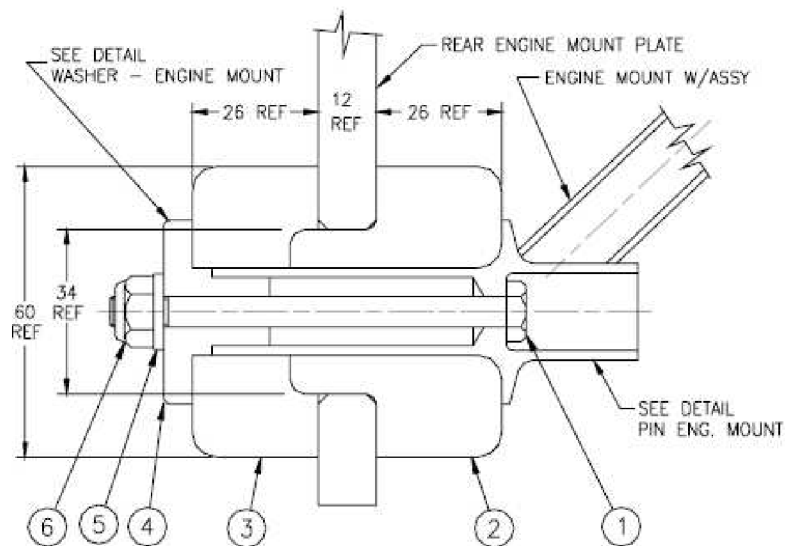


### 3.5.1 Konstrukční uzly

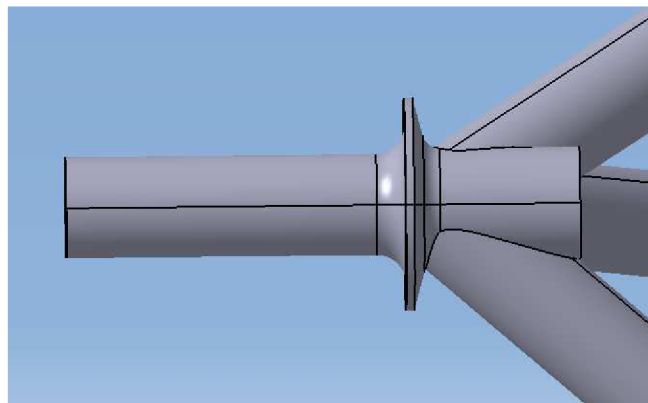
#### Silentbloky

Spojení montážní desky motoru je provedeno přes silentbloky, které tlumí vibrace agregátu, aby nedocházelo k jejich šíření do celé konstrukce draku letounu.

- Díly pro uchycení motoru dodané výrobcem
- 1. šroub
  - 2. část silentbloku (samec)
  - 3. část silentbloku (samice)
  - 4. podložka silentbloku
  - 5. podložka pod matici
  - 6. matice



Obr.13 Silentblok převzato z [3]



Obr. 14 Upravený trn silentbloku

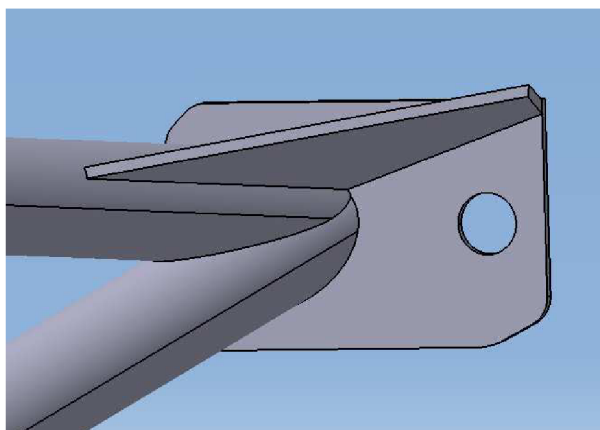
## Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru

Trn silentbloku byl převzat dle doporučení literatury [3] v plném rozsahu. S výjimkou jeho délky, která byla nastavena o 3 mm v oblasti sváru s trubicí. K nárůstu plochy pro svár, oproti doporučení, došlo použitím ostřejšího úhlu sevřeného mezi svařovanými částmi. Ostřejší úhel nemá za následek snížení pevnosti sváru, ale spíše zvýšení pevnosti sváru, a to v důsledku zvětšení obvodu sváru. Trn doporučených rozměrů je součástí příloh.

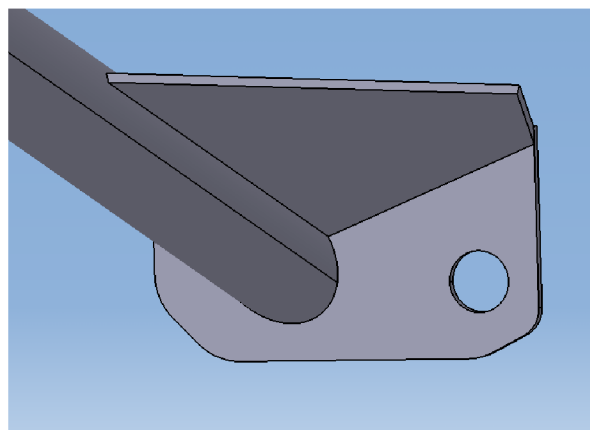
**Závěsy (a), (b), (c), (d)**

Závěsy byly převzaty z původního lože, aby nedocházelo ke změnám sil, vlivem odlišnosti závěsů, působících na skelet letounu, což by vedlo k jinému způsobu namáhání.

Základ tvoří plech tloušťky 1,5 mm, který je přivařen ke konci trubky a opatřen výztuhou.



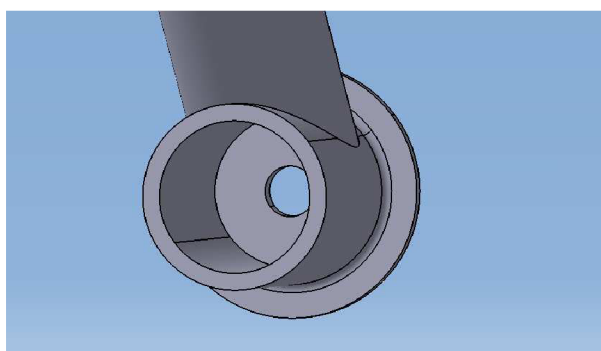
Obr. 15 Závěs (a)



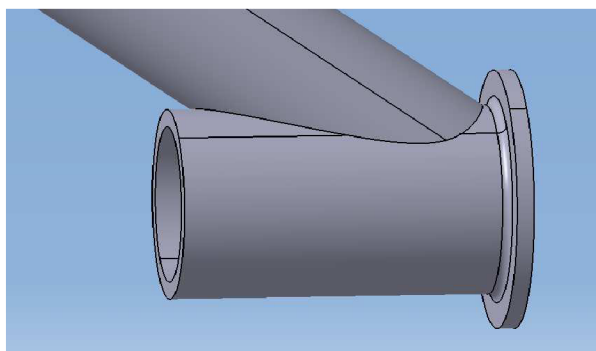
Obr. 16 Závěs (b)

**Závěsy (e), (f)**

Tyto závěsy nejsou voleny s ohledem na předchozí konstrukci, jelikož na ní nebyly použity. Byla snaha o jejich umístění co nejbližše ose souměrnosti, čímž je zajištěna odolnost vůči bočnímu zatěžování konstrukce. Předchozí typ závěsu svými rozměry není pro dané uložení vhodný, proto je použit závěs soustružený.



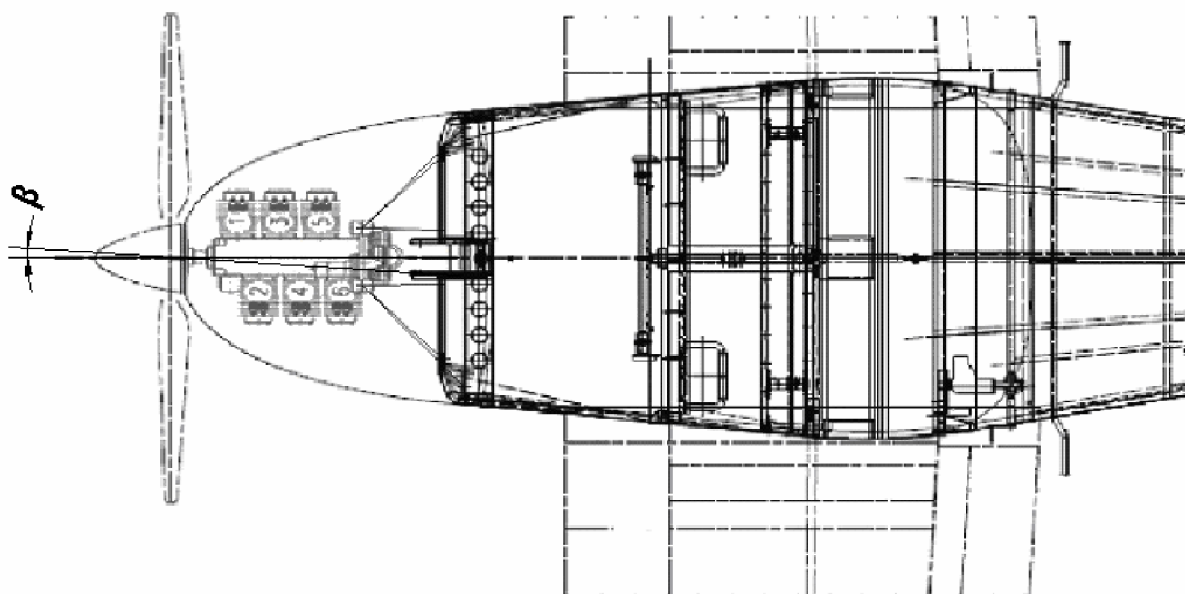
Obr. 17a Závěs (e)



Obr. 17b Závěs (e)

### 3.5.2 Vyosení motoru

Z důvodu působení vrtulového proudu vzduchu vzniká moment kolem osy  $z$ , který negativně působí na letové vlastnosti letounu. V jeho důsledku dochází k vychylování z přímého směru letu. Podle smyslu otáčení vrtule je moment kolem osy  $z$  kladný nebo záporný. V našem případě je vrtule pravotočivá, tudíž dochází k vychýlení směru letu vlivem působení momentu v záporných hodnotách.



Obr. 18 Znázornění vyosení motoru

Určení hodnoty úhlu  $\beta$  se provádí experimentálně na základě letových zkoušek. U prototypu bude motorové lože vypočítáno na hodnotu předpokládaného úhlu, která bude na základě výsledku zkoušek upravena na hodnotu konečnou.

SportCruiser je v současné době certifikovaný pro provoz s motorem Rotax 912 ULS, disponující výkonem 100 HP. Vzdálenost vrtule od protipožární stěny bude zachována, tudíž můžeme určit předpokládaný úhel  $\beta$  lineární aproximací. Hodnota úhlu  $\beta$  pro letoun s motorem Rotax byla dodána zadavatelem této diplomové práce.

Tab. 3 Nastavení úhlu vyosení

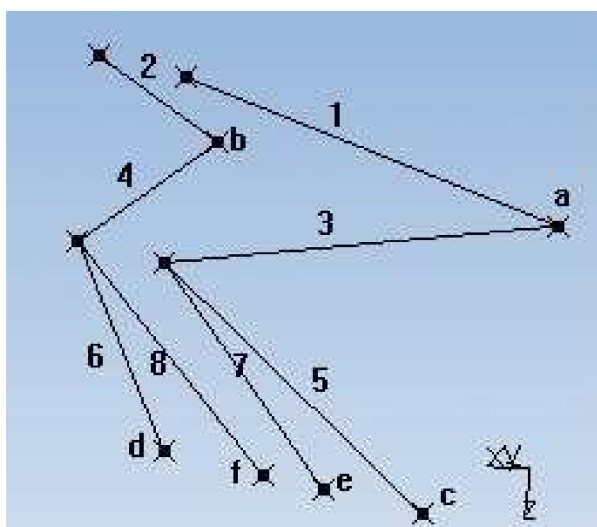
Motor	$P_{\max}$ [hp]	$\beta$ [°]
Rotax 912ULS	100	3
Jabiru 3300	120	3,6

S ohledem na pozdější úpravu konstrukce dle dosažených výsledků zkoušek bude motorové lože symetrické z důvodu snadnějšího projektování. Úhel  $\beta$  bude vzat v úvahu až po letových zkouškách.

## 3.6 Pevnostní výpočet

### 3.6.1 Prutový model

Prutový model je nutný pro zjištění osových sil v programu Patran. Očíslování jednotlivých prutů a závěsů je nasnadě z důvodu orientace.



Obr. 19 Očíslování jednotlivých prutů a závěsů

### 3.6.2 Stanovení zatížení

Motorové lože je obecně zatěžováno

- tahem vrtule;
- kroutícím momentem motoru;
- hmotností vrtule, motoru a vlastní hmotností;
- gyroskopickým momentem.

Vlastní hmotnost motorového lože

- není uvažována, protože je vzhledem k hmotnosti motoru s vrtulí zanedbatelná a zároveň není možné zjistit těžiště tohoto motorového lože před samotným návrhem konstrukce.

Gyroskopický moment - vznik gyroskopického momentu je způsoben rotací vrtule a bočením, klopením, případně kombinací klopení a bočení. Předpis LSA neuvažuje vliv gyroskopického momentu do výpočtu zatížení, tudíž nebude zohledněn.

Tab. 4 Vstupní hodnoty pro výpočet zatížení

Startovní režim	$P_{\max}[\text{kW}]$	89,52
	$n_{\max}[\text{ot.min}^{-1}]$	3300
Maximální provozní režim	$P_{\text{pro}}[\text{kW}]$	84,095
	$n_{\text{pro}}[\text{ot.min}^{-1}]$	3100
Hmotnost motoru s příslušenstvím a s vrtulí	$m[\text{kg}]$	89
Hmotnost vrtule	$m_{\text{vrt}}[\text{kg}]$	8
Násobek v bodě A obálky	$n_A[-]$	4

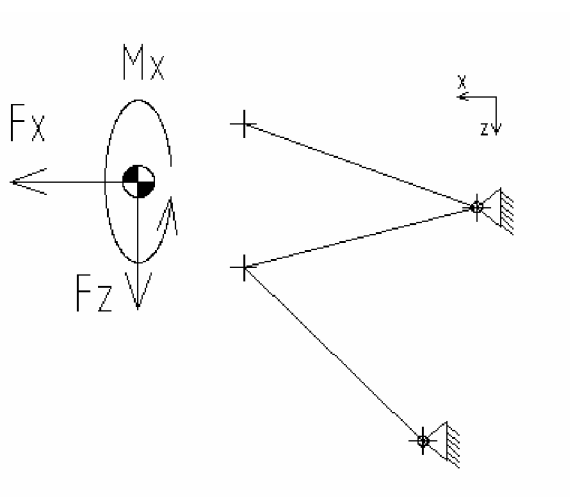
**Provozní zatížení**

Tím je rozuměno maximální zatížení, které se může v provozu konstrukce vyskytnout. Je stanoveno požadavky daného předpisu. Letoun musí vyhovět předpisu LSA [2].

**Zatěžovací případ A**

Současně působí:

- tah vrtule odpovídající příslušným otáčkám motoru;
- maximální kroutící moment motoru vynásoben koeficientem počtu dob a válců motoru;
- 75% provozního zatížení v bodě  $n_A$  obrátové obálky.



Obr. 20 Působící síly zatěžovacího případu A, B

## Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru

$$F_x = T = 2,1 \cdot P \cdot g = 2,1 \cdot 120 \cdot 9,81 = 2472,12 \text{ [N]}$$

P - výkon motoru v koňských silách

$$M_x = M_{k \max} = \frac{P_{\max}}{\omega} = \frac{P_{\max}}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{89,52 \cdot 10^3}{2 \cdot \pi \cdot 55} = 259,046 \text{ [Nm]}$$

$$F_z = n \cdot m \cdot g = 3 \cdot 89 \cdot 9,81 = 2619,27 \text{ [N]}$$

$$n = 0,75 \cdot n_A = 0,75 \cdot 4 = 3$$

**Zatěžovací případ B**

Současně působí:

- tah vrtule odpovídající příslušným otáčkám motoru;
- maximální provozní kroutící moment motoru vynásoben koeficientem počtu válců a dob motoru;
- 100% provozního zatížení v bodě A obratové obálky.

$$F_x = T = 2,1 \cdot P \cdot g = 2,1 \cdot 112,73 \cdot 9,81 = 2322,35 \text{ [N]}$$

P - výkon motoru v koňských silách

$$M_x = M_k = M_{k \max} \cdot 1,33 = 259,031 \cdot 1,33 = 344,511 \text{ [Nm]}$$

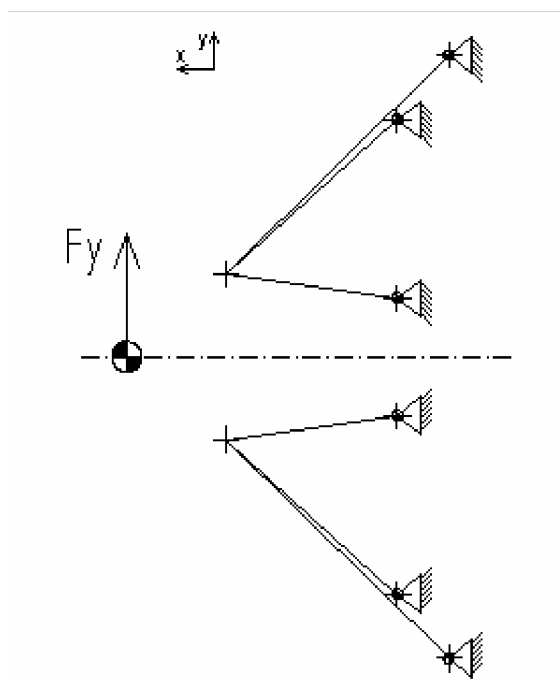
$$M_{k \max} = \frac{P_{pro}}{\omega} = \frac{P_{pro}}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{84,095 \cdot 10^3}{2 \cdot \pi \cdot 51,67} = 259,031 \text{ [Nm]}$$

$$F_z = n \cdot m \cdot g = 4 \cdot 89 \cdot 9,81 = 3492,36 \text{ [N]}$$

$$n = 1 \cdot n_A = 1 \cdot 4 = 4$$

**Zatěžovací případ C**

Současně působí pouze provozní násobek zatížení v bočním směru.



Obr. 21 Působící síly zatěžovacího případu C

$$F_y = n_y \cdot m \cdot g = 1,5 \cdot 89 \cdot 9,81 = 1309,635 \text{ [N]}$$

Jelikož obě části motorového lože jsou k rovině  $xz$  symetrické a boční zatížení je možné považovat za nezávislé na ostatních letových podmínkách, tak výsledné síly v prutech budou při zatížení v kladném i záporném směru osy  $y$  identické. Dojde pouze k záměně jejich smyslu působení. Z toho důvodu nebude zatížení boční silou v záporném směru osy  $y$  řešeno.

Tab. 5 Přehled provozního zatížení

Zatěžovací případ	$F_x$ [N]	$F_z$ [N]	$F_y$ [N]	$M_x$ [N]
A	2472,12	2619,27	0	259,046
B	2322,35	3492,36	0	344,511
C	0	0	1309,64	0

### Počtení zatížení

Je získáno ze součinitele bezpečnosti jeho vynásobením. Pro předpis LSA je součinitel bezpečnosti stanoven dle 5.1.2.1 na hodnotu 1,5.

**Tab. 6 Přehled počteního zatížení**

Zatěžovací případ	$F_x$ [N]	$F_z$ [N]	$F_y$ [N]	$M_x$ [N]
A	3708,18	3928,91	0,00	388,57
B	3483,53	5238,54	0,00	516,77
C	0,00	0,00	1964,45	0,00

### 3.6.3 Výpočet zatížení

Pro výpočet napětí v konstrukci bylo použito metody konečných prvků. Tato metoda se v praxi používá výhradně s použitím výpočetní techniky, jelikož je pro výpočet nutné zpracovat velké množství dat. Tato metoda spočívá v rozložení tělesa na konečné prvky, které jsou řešeny samostatně. Sousedící prvky se vzájemně ovlivňují.

Motorové lože je zatěžováno dle předpisů třemi případy, z toho důvodu byla analýza provedena rovněž třikrát pro každý případ zvlášť.

#### Modelování tělesa (Preprocessing)

Pro modelování bylo použito softwaru Patran 2007, do kterého byla přenesena prutová konstrukce ze softwaru Catia V5 R17.

Elementy byly zvoleny typu bar 2, na celé konstrukci se nachází 154 nodů. Prutům v místech závěsů bylo nadefinováno vetknutí. Síly a kroutící moment působí v těžišti motoru. Proto bylo použito MPC prvku, který pevně sváže těžiště s úchytnými body motoru. V MPC prvku nedochází k žádné deformaci.

Jelikož se jedná o příhradovou konstrukci tvořenou z trubek, byly vlastnosti prutů nadefinovány jako 1D, Beam (nosník). Tímto byl prutům přiřazený průřez tenkostěnné trubky.

#### Řešení (Processing)

Bylo provedeno programem Nastran, který je vyvinut od stejné společnosti jako Patran (MacNeal Schwendler Corporation), tím je zaručena kompatibilita.

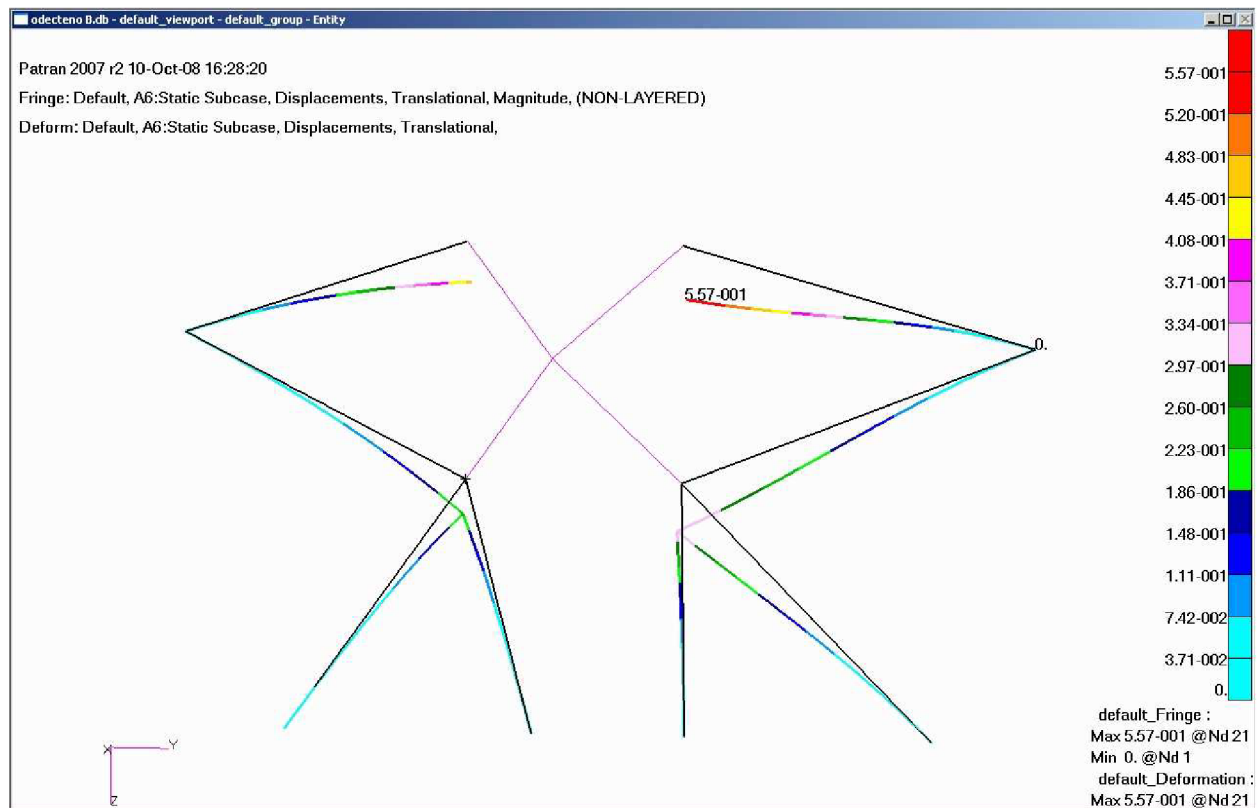
#### Zpracování výsledků (Postprocessing)

Analýza byla vyhodnocena programem Patran. Nabízí celou řadu grafických i tabulkových výstupů. Z grafických bylo vybráno pouze znázornění osových sil v jednotlivých prutech, deformace celé konstrukce a zatížení závěsů. Názorně danou situaci přibližuje Obr. 22, na kterém je vyobrazena deformace zatěžovacího případu B s největší hodnotou posunutí konce prutu 2 o 0,557 mm. Ostatní grafické výstupy jsou umístěny



## Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru

na konci práce v přílohách. Pro pevnostní výpočet byla do tabulek sepsána osová napětí v prutech a rozložení sil závěsů.



Obr. 22 Deformace zatěžovacího případu B

Tab. 7 Osově síly prutů

Prut	Zatěžovací případ					
	A		B		C	
	F[N]	Namáhání	F[N]	Namáhání	F[N]	Namáhání
1	6420	tah	7410	tah	1000	tah
2	6140	tah	7050	tah	1000	tlak
3	6030	tah	6920	tah	1060	tah
4	6170	tah	7100	tah	1060	tlak
5	1660	tlak	2170	tlak	547	tah
6	1570	tlak	2060	tlak	547	tlak
7	2010	tlak	2620	tlak	702	tah
8	2110	tlak	2770	tlak	702	tlak

Tab. 8 Síly působící v závěsech

Závěsy	Zatěžovací případ								
	A			B			C		
	$F_x$ [N]	$F_y$ [N]	$F_z$ [N]	$F_x$ [N]	$F_y$ [N]	$F_z$ [N]	$F_x$ [N]	$F_y$ [N]	$F_z$ [N]
a	-4340	-4750	871	-5000	-5470	1100	-731	-785	-83,3
b	-4320	4700	103	-4960	5410	76,6	731	-785	83,3
c	1040	777	-1030	1370	1020	-1350	-346	-254	339
d	987	-736	-982	1290	-962	-1280	346	-254	-339
e	1420	-163	-1410	1860	-201	-1840	-498	56,9	491
f	1500	154	-1480	1960	214	-1940	498	56,9	-491

### 3.6.4 Kontrola konstrukce

#### 3.6.4.1 Přepočítání souřadnicového systému

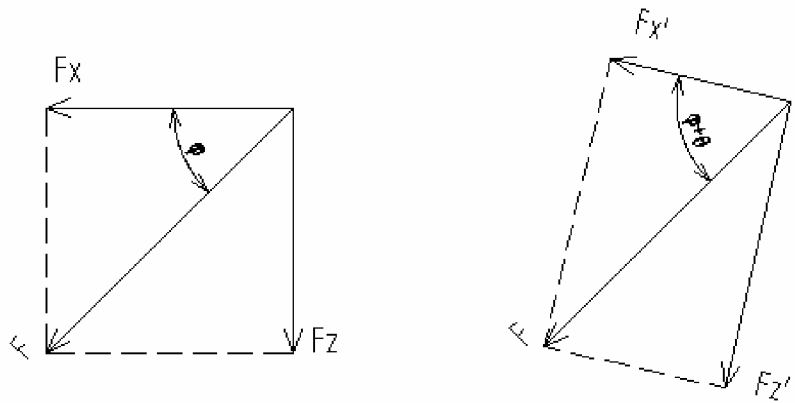
Protipožární stěna je naklopena o  $13^\circ$  stupňů v rovině  $zx$  stanoveného souřadnicového systému s referenčním bodem v místě závěsu e. Proto je nutné provést přepočítání působících sil k nakloněné rovině protipožární stěny. Síly byly přepočítány jen pro nejvíce zatěžující případ, jedná se o případ B.

Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_z^2} \quad \varphi = \arccos \frac{F_x}{F} \quad \theta = 13^\circ$$

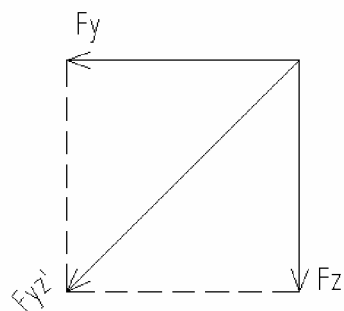
$$F'_x = F \cdot \cos(\varphi + \theta)$$

$$F'_z = F \cdot \sin(\varphi + \theta)$$



Obr. 23 Závislost souřadných systémů

$$F_{yz'} = \sqrt{F_y^2 + F_z'^2}$$



Obr. 24 Rozklad sil

Tab. 9 Síly v původním a přepočítaném souřadném systému (k závěsům)

Závěsy	$F_x$ [N]	$F_y$ [N]	$F_z$ [N]	$F_{x'}$ [N]	$F_{z'}$ [N]	$F_{yz'}$ [N]
<b>a</b>	-5000	-5470	1100	-4624	2197	5895
<b>b</b>	-4960	5410	76,6	-4816	1190	5539
<b>c</b>	1370	1020	-1350	1031	-1624	1917
<b>d</b>	1290	-962	-1280	969	-1537	1814
<b>e</b>	1860	-201	-1840	1398	-2211	2220
<b>f</b>	1960	214	-1940	1473	-2331	2341

### 3.6.4.2 Kontrola prutů

Jedná se o příhradovou konstrukci tvořenou pruty, kde ve styčnicích je uvažováno kloubové uložení. Z toho důvodu bude provedena kontrola prutů pouze na prostý tlak a tah.

Osové síly jednotlivých prutů byly odečteny z Tabulky 7 pro každý zatěžovací případ daný předpisem.

#### Namáhání prutů tlakem

Kontrola se provádí na vzpěrnou stabilitu.

Kvadratický moment pro tenkostěnnou trubku:

$$J = \frac{\pi \cdot D^3}{8} \cdot t = \frac{\pi \cdot 19^3}{8} \cdot 1 = 2693,52 \text{ mm}^4$$

Plocha průřezu tenkostěnné trubky:

$$S = \pi \cdot D \cdot t = \pi \cdot 19 \cdot 1 = 59,69 \text{ mm}^2$$

Kritická hodnota štíhlosti závisí na použitém materiálu a způsobu uložení. Pro všechny pruty je hodnota stejná, jelikož materiál i způsob uložení jsou shodné.

$$\lambda_{kr} = k \cdot \pi \sqrt{\frac{E}{R_{p0,2}}} = 1 \cdot \pi \sqrt{\frac{210000}{420}} = 70,248$$

k - je faktor jehož hodnota je závislá na uložení konců prutů. Pro daný případ nejvíce odpovídá kloubové uložení k = 1

Skutečná hodnota štíhlosti prutu. Pro každý prut je jiná hodnota v závislosti na jeho délce.

$$\lambda = \frac{l}{i}$$

i - kvadratický poloměr průřezu

$$i = 0,353 \cdot D = 0,353 \cdot 19 = 6,707 \text{ mm}$$

#### Výpočet dle Eulera

$$\lambda \geq \lambda_{kr}$$

$$F_{krE} = k^2 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{l^2}$$

## Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru

**Výpočet dle Johnsona**

$$\lambda \geq \lambda_{kr}$$

$$\sigma_{kr} = R_{p0,2} - \frac{R_{p0,2}^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot E} \cdot \left(\frac{l_r}{i}\right)^2 \quad F_{krJ} = \sigma_{kr} \cdot S$$

$$l_r = \frac{l}{k} \quad l_r - \text{redukována délka}$$

Součinitel rezervy podle Eulera a Johnsona:

$$\eta = \frac{F_{krE}}{F} \quad \eta = \frac{F_{krJ}}{F}$$

U prutů 1 až 6 bylo použito výpočtu kritické síly podle Eulera a u prutů 7 a 8 bylo použito Johnsonova výpočtového vzorce.

V následující tabulce jsou pouze hodnoty tlakových sil. Políčka prázdná jsou u prutů namáhaných pouze tahem. Zvýrazněná pole představují nejkritičtější zatěžovací případ.

**Tab. 10 Parametry prutů namáhaných tlakem**

Prut	l [mm]	$\lambda$ [-]	$F_{krE}$ [N]	$F_{krJ}$ [N]	F[N]			$\eta$ [-]		
					Zatěžovací případ			Zatěžovací případ		
					a	b	c	a	b	c
1	527,6	78,661	-	-	-	-	-	-	-	-
2	527,6	78,661	20057	-	-	-	1000	-	-	20,06
3	521,1	77,699	-	-	-	-	-	-	-	-
4	521,1	77,699	20556	-	-	-	1060	-	-	19,39
5	472,1	70,385	25051	-	1660	2170	-	15,09	11,54	-
6	472,1	70,385	25051	-	1570	2060	547	15,96	12,16	45,8
7	405,1	60,398	-	20437	2010	2620	-	10,17	7,8	-
8	405,1	60,398	-	20437	2110	2770	702	9,69	7,38	29,11

Pruty 1, 3 nejsou při daném způsobu zatěžování (zjednodušení symetrické konstrukce) namáhány tlakem. V případě zatížení boční síly v záporné ose  $y$ , budou hodnoty u prutů 1,3 stejné jako u prutů 2, 4.

**Namáhání prutů tahem**

Napětí v tělese způsobeno tahem:

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

Součinitel rezervy je spočítán jako podíl meze pevnosti a napětí:

$$\eta = \frac{Rm}{\sigma}$$

Políčka prázdná jsou u prutů namáhaných pouze tlakem. Zvýrazněná pole představují nejkritičtější zatěžovací případ.

**Tab. 11 Parametry prutů namáhaných tahem**

prut	l	F[N]			$\sigma$ [MPa]			$\eta$ [-]		
		Zatěžovací případ			Zatěžovací případ			Zatěžovací případ		
		a	b	c	a	b	c	a	b	c
1	527,58	6420	7410	1000	107,56	124,14	16,75	5,76	4,99	37,01
2	527,58	6140	7050	-	102,86	118,11	-	6,03	5,25	-
3	521,13	6030	6920	1060	101,02	115,93	17,76	6,14	5,35	34,91
4	521,13	6170	7100	-	103,37	118,95	-	6	5,21	-
5	472,07	-	-	547	-	-	9,16	-	-	67,66
6	472,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	405,09	-	-	702	-	-	11,76	-	-	52,72
8	405,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-

## Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru

Pro snadnou orientaci byla sestavena tabulka přehledu součinitelů rezervy. Jde o součinitele rezervy nejnižší hodnoty bez rozdílu namáhání tlakem či tahem.

**Tab. 12 Minimální součinitel rezervy**

Prut	Namáhání	$\eta[-]$
1	tah	4,99
2	tah	5,25
3	tah	5,35
4	tah	5,21
5	tlak	11,54
6	tlak	12,16
7	tlak	7,8
8	tlak	7,38

U součinitelů rezervy jednotlivých prutů nedochází k velkým výkyvům, s výjimkou prutů 5, 6. U těchto prutů by bylo možné volit oproti ostatním prutům jiný průřez trubky (menší průměr, případně tloušťku stěny). Volba rozdílného průřezu konstrukce z důvodu ušetření hmotností je vhodná u sériové výroby, kde zvýšený počet různých polotovarů nepřináší takovou logistickou ani jinou zátěž. Což je tento případ.

Dle přehledu součinitelů rezervy se jedná z pevnostního hlediska o konstrukci celkově předimenzovanou, kde by byla vhodná optimalizace ve formě zmenšení průřezu použitých trubek, případně jejich tloušťky.

Trubky nejsou nejkritičtějšími místy konstrukce, proto při jejich volbě musí být přihlédnuto k namáhavějším místům, mezi které bezesporu patří sváry trubek s ostatními díly konstrukce. Pro zajištění kvalitního sváru musí být určitá minimální tloušťka trubky. Příliš tenké stěny se špatně svařují a při navaření na silnější stěny závěsů lože by vznikaly únavové trhliny díky velké změně tuhosti. Další nevýhodou sváru s menším průřezem trubky je zmenšení délky sváru a tím jeho pevnosti.

Ze zmiňovaných důvodů nebude průřez žádné trubky měněn. Dalším hlediskem pro zachování navržených trubek je požadavek zadavatele (tzn. použít trubky, které jsou skladem).

### 3.6.5 Kontrola čepů

Na původním motorovém loži je spojení závěsů s protipožární stěnou provedeno šrouby se šestihrannou hlavou o průměru 10 mm. Z důvodu návaznosti nového lože budou čepy zachovány.

Čepy nově vytvořených závěsů  $\underline{e}$ ,  $\underline{f}$  byly voleny stejného průřezu z důvodu jednotnosti.

Byl zvolen materiál  $R_m = 600$  MPa,  $R_{ms} = 430$  MPa. Nebyly dodány podrobnější podklady k nyní používaným šroubům, proto byl zvolen z důvodu bezpečnosti řešení materiál s nižším  $R_m$ .

$$d = 10 \text{ mm} \quad (\check{C}_a - \check{C}_f) \\ R_m = 600 \text{ MPa}$$

Kontroluje se na smyk podle literatury [1], kapitola: 4.2 (Únosnost ocelových svorníků).

Při kombinovaném zatížení (tahem i smykem) je nutné určit v kritickém řezu redukované napětí:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq R_m$$

Smykové napětí v čepu:

$$\tau = \frac{F}{S} = \frac{F_{yz'}}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}}$$

Tahové napětí v čepu:

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{F_{x'}}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}}$$

Na čepy v závěsech  $\underline{c}$ ,  $\underline{d}$ ,  $\underline{e}$ ,  $\underline{f}$  nepůsobí tahová síla, proto byl výpočet u těchto čepů proveden pouze na smyk. Působí na ně pouze síla  $F_{yz'}$ .

$$\sigma_{kr} = 33770 \text{ MPa} \quad (\text{odečteno z tabulky, viz literatura [1]})$$

Součinitel rezervy spočítán ze vzorců:

$$\eta = \frac{R_m}{\sigma_{red}} \quad \eta = \frac{F_{kr}}{F}$$



## Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru

**Tab. 13** Výsledné hodnoty pro navržené čepy

Zavěsy	$F_{x'}$ [N]	$F_{yz'}$ [N]	$\tau$ [MPa]	$\sigma$ [MPa]	$\sigma_{red}$ [MPa]	$\eta$ [-]
<b>a</b>	-4624,40	5894,56	75,05	-58,88	161,24	3,72
<b>b</b>	-4815,64	5539,42	70,53	-61,31	153,81	3,90
<b>c</b>	1031,20	1917,40	-	-	-	17,61
<b>d</b>	969,00	1813,56	-	-	-	18,62
<b>e</b>	1398,42	2220,37	-	-	-	15,21
<b>f</b>	1473,36	2340,98	-	-	-	14,43

U nově zvolených čepů v závěsech e, f vyšla bezpečnost 15,21 a 14,43. Bylo nutné provést optimalizaci konstrukce, průměr čepu 10 mm bude nahrazen průměrem 6 mm při zachování vlastností materiálu. Součinitel rezervy se sníží na hodnoty 5,49 a 5,21.

Příliš velké součinitele rezervy vychází i u čepů v závěsech c, d, kde budou čepy zachovány, aby konstrukce letounu byla v co nejmenší míře pozměněna. Tím bude docíleno jednodušší výroby a možnosti motory zaměňovat.

Nově zvolené průměry:

$$d = 10 \text{ mm} \quad (\check{C}_a - \check{C}_d)$$

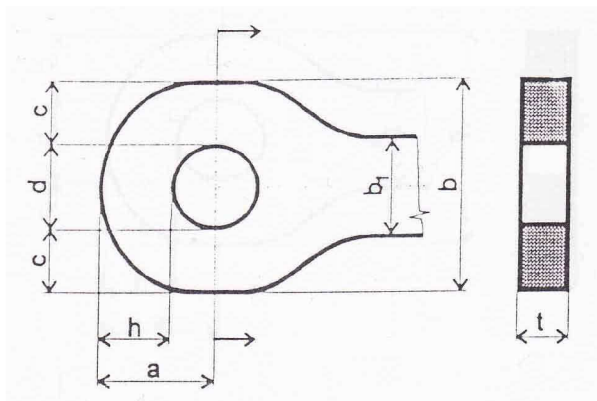
$$d = 6 \text{ mm} \quad (\check{C}_e - \check{C}_f)$$

V následující tabulce jsou hodnoty pro upravený průměr čepů  $\check{C}_e - \check{C}_f$ .

**Tab. 14** Parametry pro pozměněné čepy

Zavěsy	$F_{x'}$ [N]	$F_{yz'}$ [N]	$\tau$ [MPa]	$\sigma$ [MPa]	$\sigma_{red}$ [MPa]	$\eta$ [-]
<b>a</b>	-4624,40	5894,56	75,05	-58,88	161,24	3,72
<b>b</b>	-4815,64	5539,42	70,53	-61,31	153,81	3,90
<b>c</b>	1031,20	1917,40	-	-	-	17,61
<b>d</b>	969,00	1813,56	-	-	-	18,62
<b>e</b>	1398,42	2220,37	-	-	-	5,49
<b>f</b>	1473,36	2340,98	-	-	-	5,21

### 3.6.6 Kontrola závěsů



Obr. 25 Rozměry závěsu, převzato z [1]

#### Kontrola závěsu na otláčení

Výpočet oka na otláčení se řeší dle literatury [1], kapitola 4.4 (Výpočet oka 2).

Nejprve se určí poměry  $a/d$  a  $t/d$  ( $a$ ,  $d$ ,  $t$  jsou znázorněny na Obr. 25).

Z diagramu určíme hodnotu

$$\frac{\sigma_{pkotl}}{R_m} \Rightarrow \sigma_{pkotl} = R_m \cdot \text{odečtená hodnota}$$

Skutečné napětí se spočítá dle vzorce:

$$\sigma = \frac{F}{d \cdot t}$$

Součinitel rezervy:

$$\eta = \frac{\sigma_{pkotl}}{\sigma}$$

Tab. 15 Parametry závěsu ( otláčení)

Závěsy	$F_{yz}$ [N]	$a$ [mm]	$d$ [mm]	$t$ [mm]	$\sigma_{pkotl}/R_m$ [MPa]	$\sigma$ [MPa]	$\eta$ [-]
a	5894,56	10	10	0,15	0,75	392,97	1,22
b	5539,42	10	10	0,15	0,75	369,29	1,30
c	1917,40	10	10	0,15	0,75	127,83	3,76
d	1813,56	10	10	0,15	0,75	120,90	3,97
e	2220,37	15	6	0,15	2,08	246,71	5,40
f	2340,98	15	6	0,15	2,08	260,11	5,12

## Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru

U závěsů c, d, e, f vychází bezpečnost větší, než je pro závěsy potřeba. Pro jejich optimalizaci by se musela zmenšit jejich plocha, což by pak vedlo ke zvýšení tlaku na protipožární stěnu, z toho důvodu budou závěsy ponechány v této podobě.

**Kontrola závěsu na utržení**

Závěs a a b je nutné zkontrolovat na utržení, jelikož na ně síly v ose y působí opačně než na ostatní závěsy.

Skutečné napětí se spočítá dle vzorce:

$$\sigma = 1,15 \frac{F}{2 \cdot c \cdot t}$$

Součinitel rezervy:

$$\eta = \frac{R_m}{\sigma}$$

**Tab. 16 Parametry závěsu ( utržení)**

Závěsy	$F_y$ [N]	$c$ [mm]	$\sigma$ [MPa]	$\eta$ [-]
<b>a</b>	-5470	15	139,79	4,5783
<b>b</b>	5410	15	138,26	4,6291

## 4. Kontejner

### 4.1 Stanovení umístění

Zadavatelem nebyly dodány hmotnosti dílů letounu ani jejich přesné rozmístění k podélné ose letounu. Proto nebylo možné zanalyzovat těžiště letounu v jednotlivých konfiguracích.

Je známa minimální a maximální podélná poloha těžiště letounu, 27% a 38% SAT. Umístění kontejneru bude tedy vyhovující, když poloha těžiště kontejneru a poloha těžiště kontejneru s nákladem budou v rozsahu 27% až 38% SAT.

Poloha těžiště kontejneru bez nákladu byla stanovena v 37, 89% SAT z důvodu omezení prostorem v přední části letounu.

Náklad může být tedy uložen v 27% - 38% SAT. Pro přesnější určení polohy by bylo nutné znát, při jaké hmotnosti samotného letounu byla minimální a maximální poloha těžiště získána. V praxi není možné zkoumat těžiště přepravovaného nákladu, proto by přesnější určení minimální a maximální polohy těžiště letounu bez kontejneru nemělo žádný přínos.

### 4.2 Zatížení dle předpisu

Předpis LSA [2] problematiku zavazadel mimo kabinu letounu neřeší, proto bylo postupováno dle předpisu JAR – VLA [5].

#### **VLA 787 Zavazadlový prostor**

(a) Každý zavazadlový prostor musí být navržen pro deklarovanou (uvedenou na štítku) maximální hmotnost obsahu a pro kritické rozložení zatížení, odpovídající příslušným podmínkám letových a pozemních zatížení v tomto dokumentu.

(b) Musí být použity takové prostředky, které zabrání, aby obsah kteréhokoliv nákladového prostoru se nestal při posunutí nebezpečný, a které chrání veškeré řízení, elektrické vedení, potrubí, vybavení nebo příslušenství, jehož poškození nebo selhání by ovlivnilo bezpečný provoz letounu.

(c) Zavazadlový prostor musí být zkonstruován z materiálů, které jsou při nejmenším ohnivzdorné.

(d) Konstrukce, které jsou navrženy pro přepravu nákladu ve stejném prostoru společně s osobami, musí mít prostředky, zajišťující ochranu těchto osob před zraněním při mezních setrvačných silách, specifikovaných v VLA 561 (b) (2).

(e) Pokud mezi zavazadly a prostory posádky není žádná konstrukce, musí být zavazadla umístěná za posádkou a ta, která by mohla způsobit nebezpečí v případě havárie, zajištěna na násobek 1,33 g.

**VLA 561 Všeobecně**

(b) (2) Součinitelé mezního setrvačného zatížení:	Nahoru 3,0 g
	Dopředu 9,0 g
	Do stran 1,5 g

### 4.3 Konstrukční návrh

Konstrukce závěsného kontejneru nebyla zadavatelem nijak omezena, proto se uvažovaly všechny vyrobiteľné varianty. Zvažován byl především použitý materiál, z něhož se způsob konstrukce odvíjí. Dále pak sériovost výroby, která je důležitá z ekonomického pohledu. Dalším významným ukazatelem pro konečný výběr byl tvar, a to jak z hlediska aerodynamického, tak z hlediska realizace výroby.

#### 1. Kompozit

a) Celá konstrukce je samonosná pouze z kompozitního materiálu. Základem poloskořepinové konstrukce je skelný případně uhlíkový laminát. Závěsy jsou vyztuženy kevlarom, aby nedošlo k utržení.

b) Konstrukce je kombinovaná. Nosníky tvořeny z kovových prvků a poloskořepinu tvoří uhlíkové či skelné vlákno.

Výhody: - velmi malý aerodynamický odpor, protože z kompozitu lze vytvořit i velice složité tvary (zaoblené);  
- nízká hmotnost.

Nevýhody: - nutná výroba formy;  
- horší možnosti opravy při mechanickém poškození;  
- při vlivu prostředí, zejména vlhkosti a teplotního namáhání, vlastnosti kompozitního materiálu degradují.

#### 2. Celokovová

Dural patří mezi kovy upřednostňované v leteckém průmyslu pro méně namáhané části letounu, tvoří jak potah, tak nosníky.

a) se zaoblenými hranami a rohy (použití dvojí křivosti)

b) s pouze zaoblenými hranami

Výhody: a) možnost většího ohledu na aerodynamiku;  
b) jednoduchá vyrobiteľnost;  
a),b) při poničení jakéhokoliv dílu konstrukce je možné spojovací nýty odvrtnat a díl vyměnit.

## Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru

Nevýhody: a) nutné zhotovovat přípravky a formy pro lisování;  
b) větší aerodynamický odpor vlivem menší aerodynamické čistoty jednotlivých dílů.

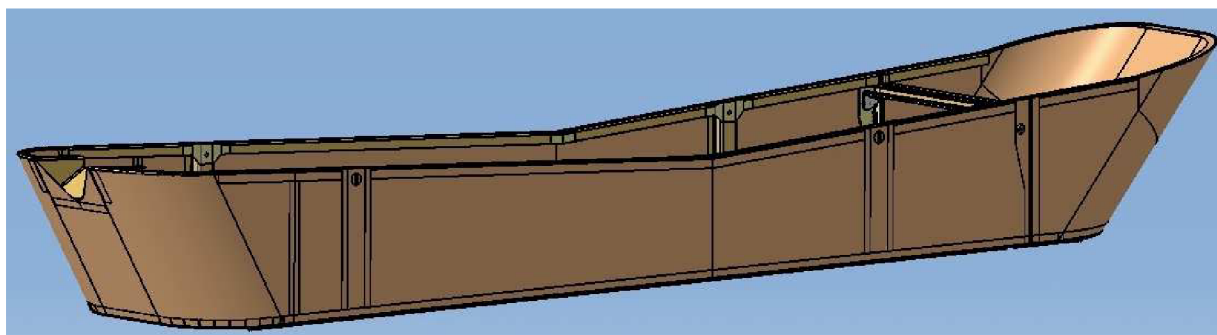
### 3. Ostatní

Dřevo, případně dřevo v kombinaci s plátnem, nebylo uvažováno, protože jde o materiál, který se v letectví používal dříve a svým charakterem se k letounu SportCruiser nehodí. Plast je sice velice odolný chemickému způsobu zatěžování vlivem okolí, ale svou hmotností a náročností výroby se obecně v leteckém průmyslu nepoužívá na konstrukce tohoto typu.

Byla upřednostněna varianta 2 b, tzn. celokovová s pouze zaoblenými hranami, kterou se práce bude nadále zabývat.

#### Vybraná a dále řešená varianta celokovová s pouze zaoblenými hranami

Hlavním důvodem při výběru byl ohled na sériovost výroby. Předpokládá se, že přídatného zavazadlového prostoru bude vyrobeno velice malé množství kusů v závislosti na poptávce klientů. Proto není ekonomicky výhodné volit varianty, u nichž je nutné investovat velké finanční prostředky do potřebného vybavení pro výrobu (např. formy). Také bylo přihlédnuto k tomu, že CZAW nemá potřebné zkušenosti s laminátováním. Na letounu SportCruiser jsou sice použity kompozitové díly (kryt motoru a jiné nezátěžované díly), ale jsou dodávány jinou společností.



Obr. 26 Kontejner

Základem konstrukce jsou dva nosníky a potah z plechu tloušťky 0,6 mm. V přední části je kontejner vyříznutý (pozn. noha předového podvozku). Zadní část je odklopná pro nakládku a vykládku snowboardů, případně lyží. Horní okraje poloskořepiny jsou olemovány profilem tvaru U a potaženy pryží aby nedocházelo k poškrábání laku letounu. Jelikož bude letoun ponecháván na horském letišti bez dozoru, je závěsný kontejner vybaven zámkem. Hmotnost konstrukce činí 4,98kg.

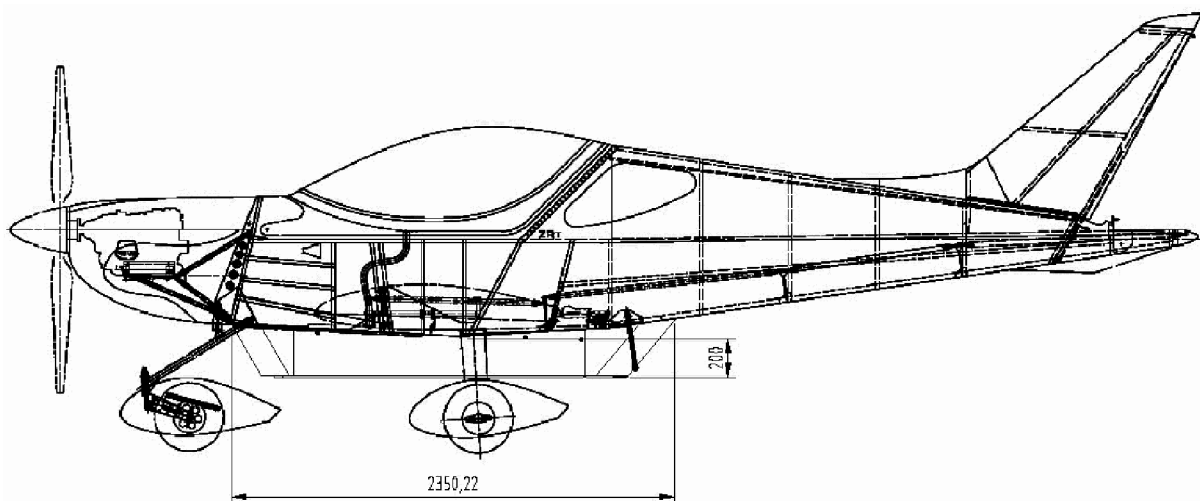
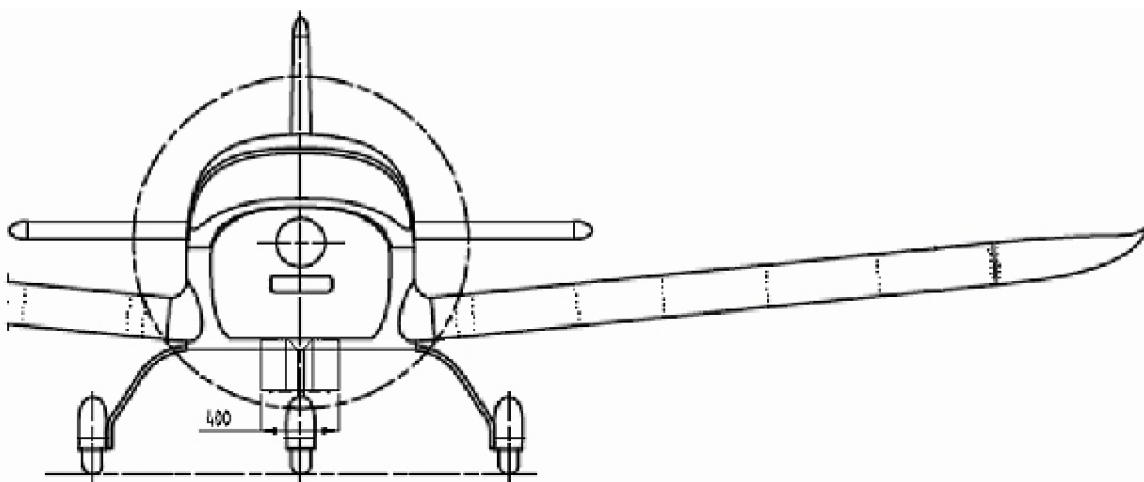
## Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru

**Materiál kontejneru**

Na všechny díly zhotovené z plechu (potahy, lemy, výztuhy) byl použit shodný materiál Z424253.61. Protlačované profily  $\underline{L}$  jsou z materiálu Z424222.71. Pro spojnicí levé a pravé části zamykacího mechanismu byl použit materiál L-ROL.6.

**Tab. 17 Použitý materiál pro kontejner**

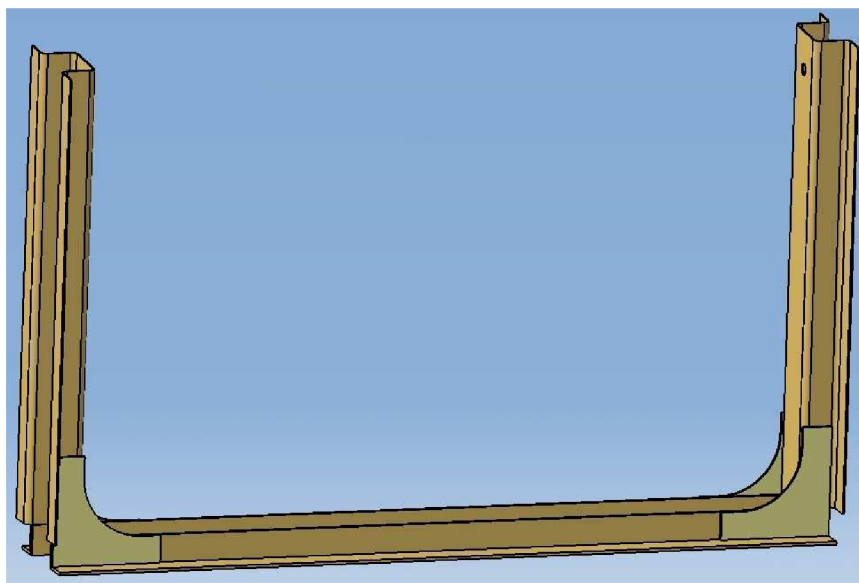
	$R_m$ [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	E [MPa]
Z424253.61 (potahy, lemy, výztuhy)	407	270	72000
Z424222.71 (protlačované profily)	540	440	72000
L-ROL.6 (zamykací mechanismus)	930	735	72000

**Obr. 27a Umístění kontejneru na letounu****Obr. 27b Umístění kontejneru na letounu**

### 4.3.1 Konstrukční uzly

#### Nosníky

Oba dva hlavní nosníky jsou téměř identické, liší se výškou podle tvaru letounu. Byla upřednostněna možnost skládaného nosníku ze tří konstrukčních částí. Hlavním důvodem je styk vnitřní horizontální části nosníku s nákladem. Dále její výška, která ovlivňuje využitelnost nákladového prostoru.



Obr. 28 Nosník

Svislá část je z duralového plechu tloušťky 0,8 mm. Byla vytvořena ohýbáním s minimálním radiusem 2,5 mm do profilu tvaru  $\Omega$ .

Slouží zároveň jako závěs nosníku k letounu, ve spodní části je spojena přes dva úhelníky nýty k horizontální části (profilu L 15 x 15 x 1,5). Závěs je součástí profilu  $\Omega$  z důvodu ušetření hmotnosti.

#### Potah po stranách

Příďový potah byl rozdělen na tři části z důvodu rozměrnosti. Tím bylo docíleno lepší manipulace při ohýbání. Čtvrtou část tvoří odklopné čelo.

#### Dno

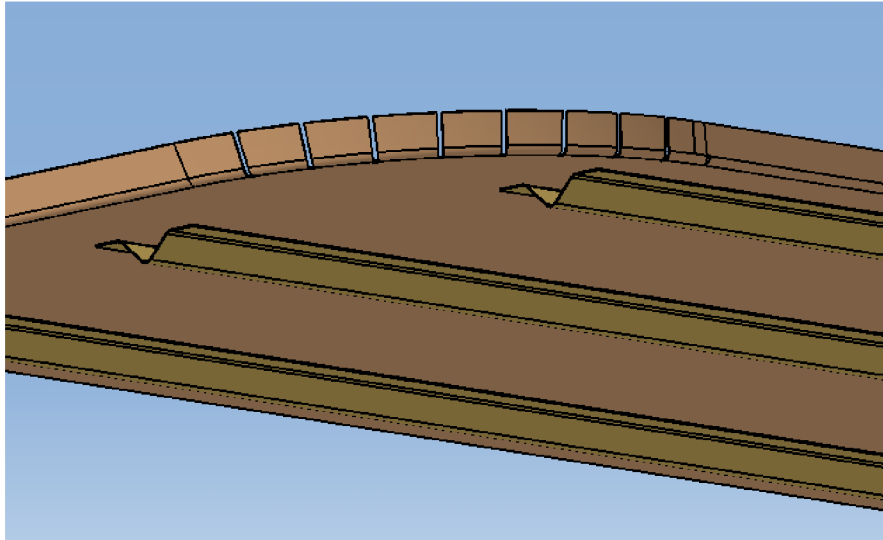
Spojení potahu dna odklopné i neodklopné části s postranním potahem je provedeno nýty přes ohnutý okraj podlahy.

Náklad při nesprávném umístění může svojí vahou zatěžovat nejen nosníky, ale i podlahu, například vázáním lyží. Z toho důvodu bylo nutné vyztužit dno, aby nedocházelo k jeho



## Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru

prohýbání. Výztuhy ve formě podélníků byly na dno přinýtovány z vnější strany, jelikož na vnitřní straně se nachází nosníky.



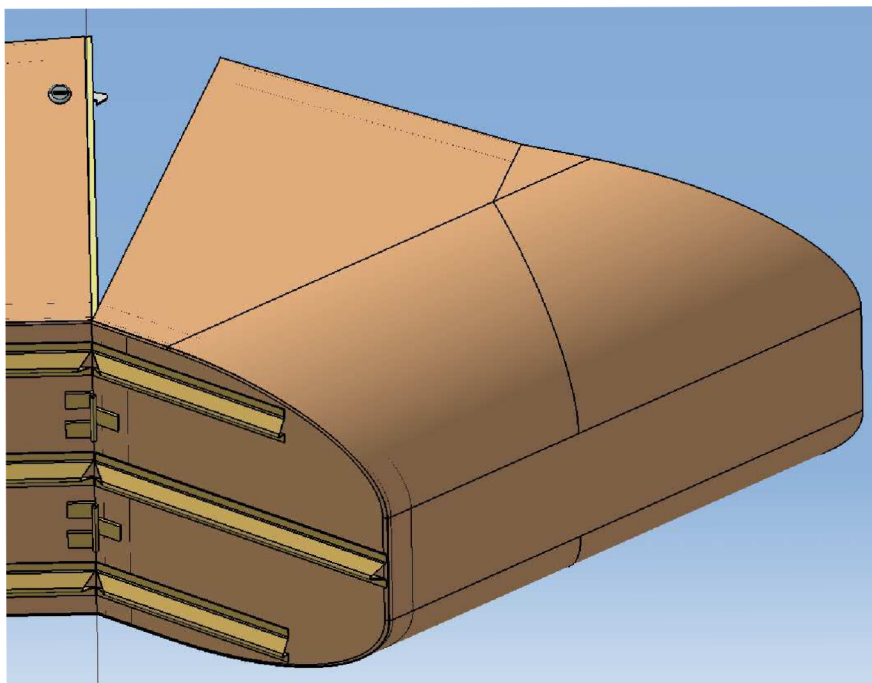
**Obr. 29** Dno s podélníky

### Podélníky

Jsou tvořeny střechovitým profilem ze zohýbaného plechu tloušťky 0,6 mm. Podélníky v přední části podlahy záměrně nezačínají již od kraje, nýbrž s odskokem, protože na odtokové hraně čelní plochy kontejneru je působení obtékaného vzduchu nejintenzivnější. Znázornění na Obr. 29.

U pantů jsou podélníky zkoseny pod úhlem 45°, jinak by nebylo možné zadní čelo odklopit.

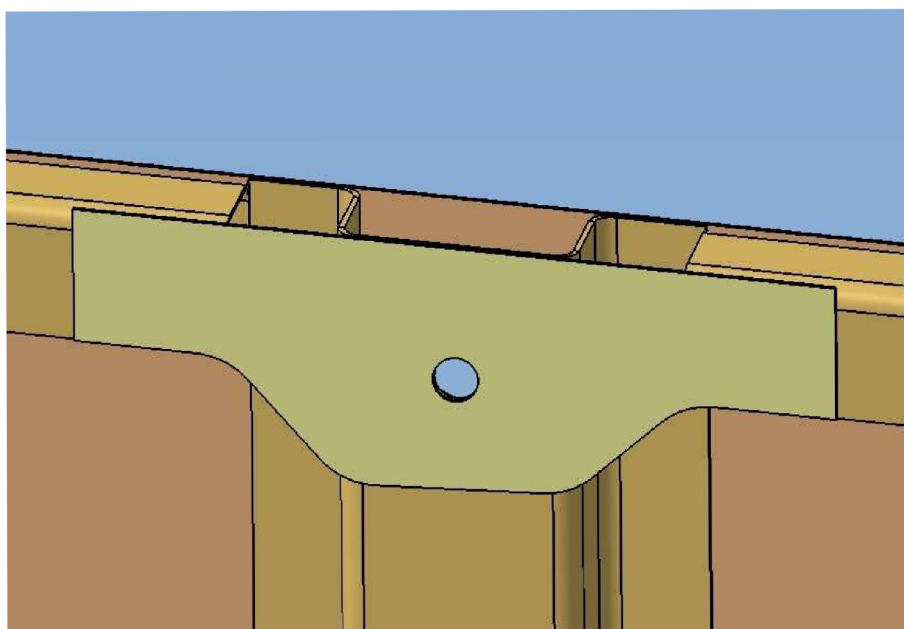
## Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru



Obr. 30 Znárodně skosení podélníků

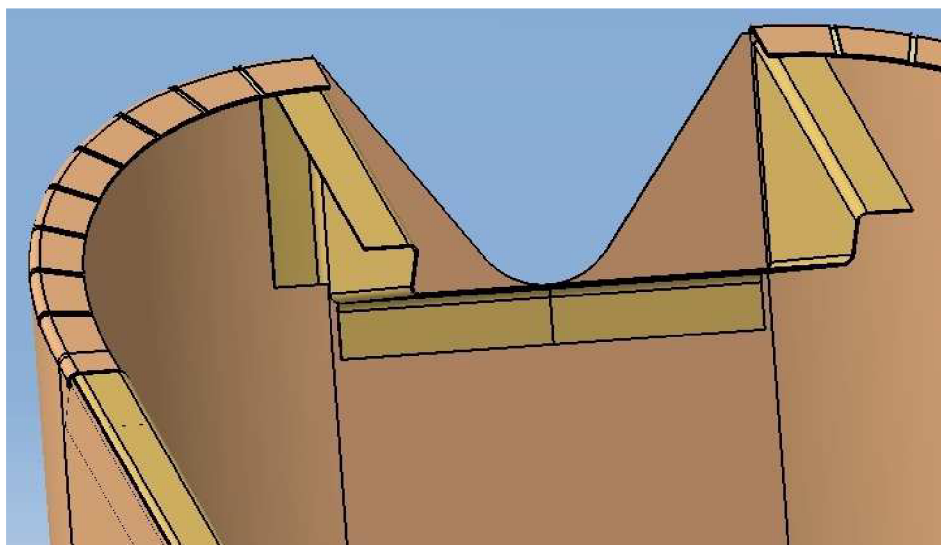
### Lemy

Okraje potahu bylo nutné vyztužit, aby se neprohýbal a nevznikaly na něm vlny. Výtuhu tvoří lemy profilu U po celém okraji potahu, s výjimkou přední a zadní části, kde by z důvodu křivosti potahu nebylo možné tento lem vyrobit. V místech nosníků jsou lemy přerušeny a propojeny výtuhami z plechu o stejné tloušťce 0,6 mm, aby konstrukce nebyla v těchto místech oslabena.



Obr. 31 Uzel nosníku a lemu

## Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru



**Obr. 32 Výztuha přední části**

V přední části potahu došlo ke konfliktu s předovým podvozkem. Z toho důvodu byl v potahu vyhotoven výřez, a následně vyztužen pozohýbaným plechem. Tvar plechu musel být přizpůsoben dvěma profilům  $\underline{L}$ , jenž vedou podélně po spodní části trupu letounu ve vzdálenosti 138 mm od sebe. Výztuha ve formě krycího plechu zároveň zabraňuje vniknutí deště a hlodavcům menší velikosti do prostoru nákladu.

### Nýty

Nýty byly zvoleny o průměru 2,5 mm s půlkulatou hlavou. V místech těžko přístupných z obou stran jsou použity nýty jednostranné. Nýty se zapuštěnou hlavou jsou v oblasti dotyku odklopného čela se základní částí konstrukce, protože by nebylo možné dovření obou částí.

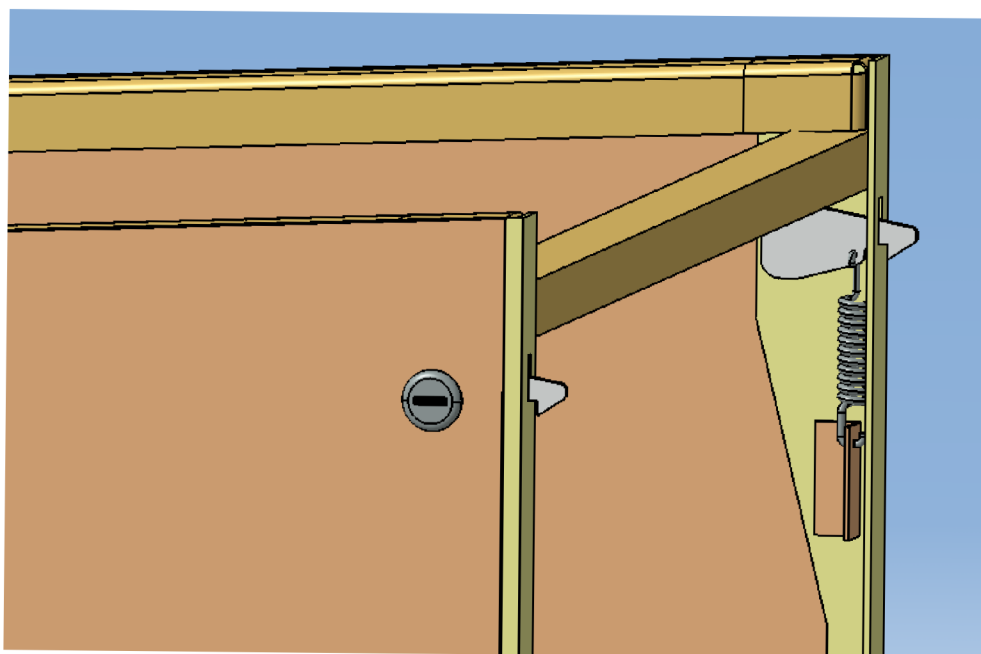
Po celé konstrukci jsou použity jednostřížné nýtové spoje.

### Zamykání kontejneru

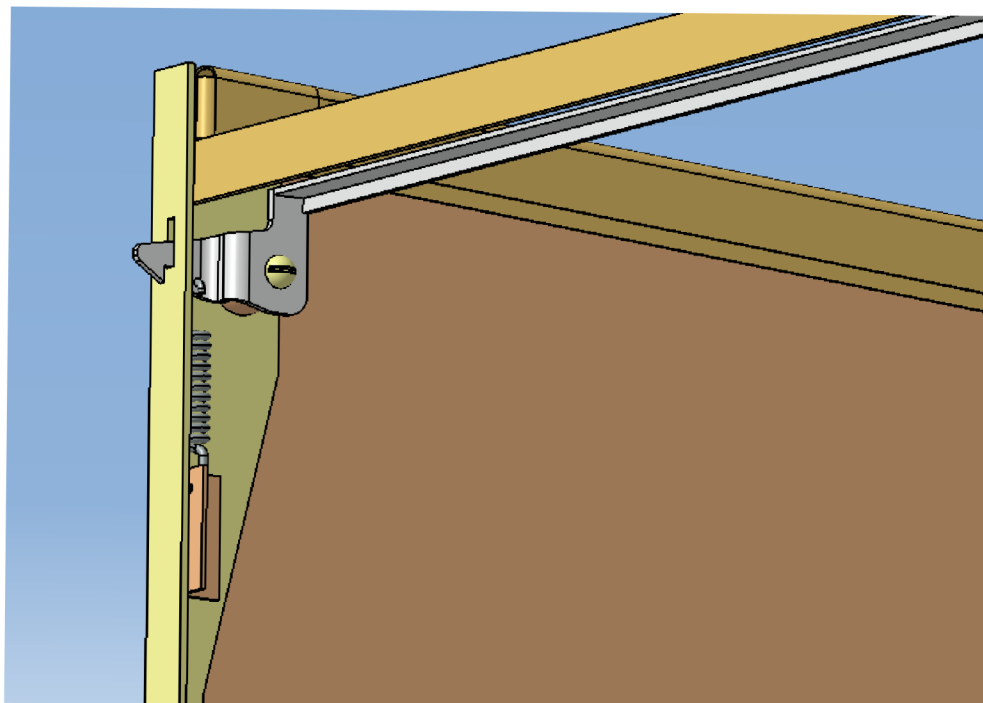
Varianta I., kde na každé straně je jeden zámek. Toto řešení je konstrukčně jednoduché. Největší nevýhodou je nutnost přístupu ke kontejneru z obou stran. Uživatel by musel nejdříve uzamknout jednu stranu, obejít letoun a teprve zamknout i druhou stranu. Tento způsob by byl nepraktický zvláště s přihlédnutím k obtížnému přístupu ke kontejneru.

Varianta II., kdy zámek je pouze na levé straně propojený profilem  $\underline{L}$  k druhé straně zamykacího mechanismu. Tato varianta byla upřednostněna.

## Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru

**Obr. 33 Detail zámku 1**

Zamykací mechanismus spolu s panty jsou jedinými body styku odklopné a statické části konstrukce. Profilem  $\underline{L}$ , byl vytvořen rám na konci statické části, který zabraňuje v těchto místech prohýbání obou částí konstrukce. Odklopná část je fixována zamykacím mechanismem.

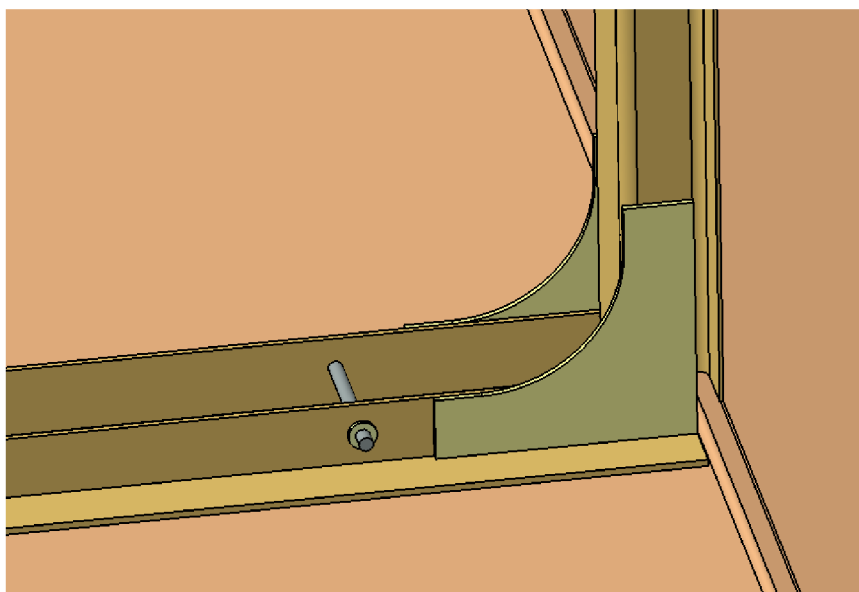
**Obr. 34 Detail zámku 2**

### Zajištění posunu nákladu

Vzhledem k rozměrnému charakteru přepravovaného nákladu by bylo vhodné, zajistit jej proti posunu na dvou místech. Například v místech předního i zadního nosníku, kde je konstrukce nejpevnější. To není možné z důvodu nepřístupnosti k přednímu nosníku. Konstrukce je totiž přístupná pouze ze zadu odklopným čelem ve vzdálenosti 319 mm od zadního nosníku, ke kterému se uživatel bez problémů dostane. Nepředpokládá se let na zádech, proto uchycení na předním nosníku není nutné.

### Pás

Je umístěn na zadním nosníku dvěma čepy v profilech tvaru  $\underline{L}$ , umístěných na dně. Pružný pás je ze dvou částí, které se k sobě spojují uprostřed dvěma háčky. Předpětí pružného pásu nemusí být velké, protože tíha nákladu působí ve stejném smyslu s pásy.



Obr. 35 Detail pravého čepu pro uchycení pásu

## 4.4 Pevnostní výpočet

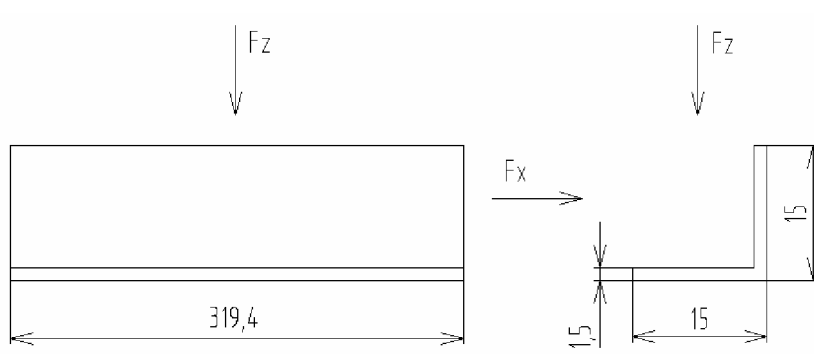
### 4.4.1 Stanovení zatížení

Z předpisu je zřejmé, že zatížení pro přídatný zavazadlový prostor není definováno. Z toho důvodu bude konstrukce zkontrolována na zatížení vlastní vahou a vahou nákladu v bodě  $n_{A}$ obálky.

### 4.4.2 Kontrola nosníku konstrukce

#### Horizontální část nosníku

Náklad nebude od vnitřní konstrukce ničím oddělen, proto musí být konstrukce nosníku taková, aby odolala zatížení od hmotnosti zavazadel příslušného násobku a zacházení uživatele. Profil  $L$ , který s nákladem přijde do styku, je počítán na ohyb ve směru osy  $x$  a osy  $z$ .



Obr. 36 Síly působící na příčník

Rovnoramenný profil L 15 x 15 x 1,5 (dural)

$$R_m = 540 \text{ MPa}$$

$$J = 910 \text{ mm}^4$$

$$e = 4,23 \text{ mm}$$

$$l = 319,4 \text{ mm}$$

$$W_o = \frac{J}{e} = \frac{910}{4,23} = 215,13 \text{ mm}^3$$

Síly ve směru osy  $x$  a osy  $z$  budou počítány nezávisle na sobě, protože nepůsobí současně. Nebude prováděna kontrola místa uchycení pásů, jelikož síly toto místo zatěžující jsou k povaze profilu zanedbatelné.

**Síla ve směru osy  $z$** 

V ideálním případě náklad bude usazen na obou nosnících. Pro jistotu bude uvažováno se zachycením síly celého nákladu jedním nosníkem, který v horizontální rovině je tvořen dvěma profily  $\underline{L}$  znázorněnými na Obr. 36.

$$m_n \leq 15 \text{ Kg} \quad (\text{průměrný snowboard } 5,6 \text{ kg, průměrné lyže i s hůlkami } 6,5 \text{ kg})$$

$$n_A = 4$$

$$F_z = m_n \cdot g \cdot n_A = 15 \cdot 9,81 \cdot 4 = 588,6 \text{ N}$$

$$F_{zp} = \frac{F_z \cdot f}{2} = \frac{588,6 \cdot 1,5}{2} = 441,45 \text{ N} \quad (\text{početní síla na jeden profil } \underline{L})$$

Ohybový moment

$$M_o = \frac{F_{zp} \cdot l}{2} = \frac{441,45 \cdot 391,4}{2} = 86391,78 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = \frac{M_o}{W_o} = \frac{86391,78}{215,13} = 401,58 \text{ MPa}$$

Určení kritického napětí podle literatury [1], kapitola 2.7 (Lokální stabilita profilů při ohybu).

$$\sigma_{kr} = 510 \text{ MPa} \quad (\text{odečteno z grafu podle křivek pro čistý ohyb a pro } R_m = 540 \text{ MPa})$$

$$\eta = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma} = \frac{510}{401,58} = 1,27 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Síla ve směru osy  $x$** 

Síla působící od uživatele při zasouvání nákladu (dojde-li k zachycení o nosník) byla určena odhadem. Nepředpokládá se, že by mohlo dojít k použití síly větší jak 50 N.

$F_u$  - síla od uživatele při nakládce

$$F_u = F_x = 50 \text{ N}$$

$$M_o = \frac{F_x \cdot l}{2} = \frac{50 \cdot 391,4}{2} = 9785 \text{ Nmm}$$

## Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru

$$\sigma = \frac{M_o}{W_o} = \frac{9785}{215,13} = 45,48 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{kr} = 510 \text{ MPa} \quad (\text{shodná se zatížením v ose } \underline{z})$$

$$\eta = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma} = \frac{510}{45,48} = 11,21 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Profil vyhovuje na oba způsoby zatěžování. Při zatížení od uživatele vyšla bezpečnost několikanásobně vyšší než je zapotřebí, proto profil snese i hrubé zacházení.

**Kontrola nosníku se zapnutým pásem**

$$F_p = 100 \text{ N} \quad (\text{předpětí pásu})$$

$$F_{zp+p} = F_{np} + F_p = 441,45 + 100 = 541,45 \text{ N}$$

$$M_o = \frac{F_{zp+p} \cdot l}{2} = \frac{541,45 \cdot 391,4}{2} = 105961,77 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = \frac{M_o}{W_o} = \frac{105961,77}{215,13} = 492,55 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{kr} = 510 \text{ MPa}$$

$$\eta = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma} = \frac{510}{492,55} = 1,035 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Pásky jsou přichyceny k nosníku o 50 mm blíže k ose souměrnosti než je uchycen profil L, což je u výpočtu zanedbáno a posouvá to tedy výsledek řešení na bezpečnou stranu.

**Vertikální část nosníku**

Zde je nutné kromě váhy nákladu uvažovat i váhu kontejneru. Kontrola na tah nebude provedena, poněvadž kritickým místem profilu je závěs. Bude provedena pouze kontrola závěsů.

Při výpočtu je vycházeno z Obr. 25.

$$R_m = 407 \text{ MPa}$$

$$a = 18 \text{ mm}$$

$$d = 6 \text{ mm}$$

$$c = 12 \text{ mm}$$

$$t = 0,8 \text{ mm}$$



## Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru

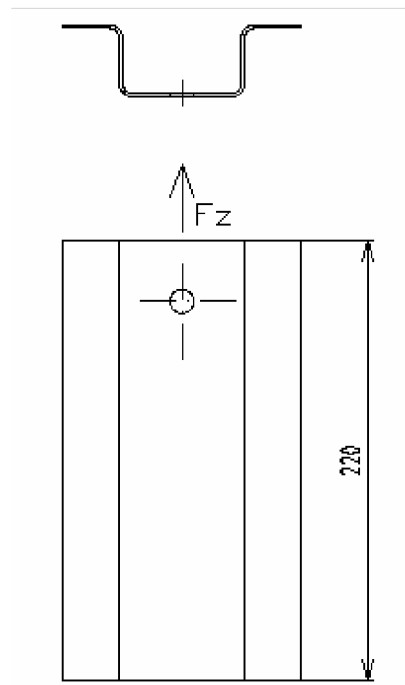
$$m_n = 15 \text{ kg}$$

$$m_k = 5 \text{ kg}$$

$$n_A = 4$$

$$F_z = (m_n + m_k) \cdot g \cdot n_A = (15 + 5) \cdot 9,81 \cdot 4 = 784,8 \text{ N}$$

$$F_{zp} = \frac{F_z \cdot f}{2} = \frac{784,8 \cdot 1,5}{2} = 588,6 \text{ N} \quad (\text{síla na jeden profil omega})$$



Obr. 37 Síly působící na závěs

### Kontrola závěsu na otláčení

Je provedena podle literatury [1], kapitola 4.4 (Výpočet oka 2).

Nejprve se určí poměry **a/d** a **t/d** (a, d, t jsou znázorněny na obrázku výše).

$$\frac{a}{d} = \frac{18}{6} = 3 \quad \frac{t}{d} = \frac{0,8}{6} = 0,133$$

$$\frac{\sigma_{pkotl}}{R_m} = 1,65 \quad \text{odečteno z grafu podle křivek } \mathbf{a/d} \text{ a } \mathbf{t/d}$$

## Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru

$$\sigma_{pkotl} = R_m \cdot 1,65 = 407 \cdot 1,65 = 671,55$$

$$\sigma = \frac{F}{d \cdot t} = \frac{588,6}{6 \cdot 0,8} = 122,63 \text{ MPa}$$

$$\eta = \frac{\sigma_{pkotl}}{\sigma} = \frac{671,55}{122,63} = 5,48 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Kontrola závěsu na utržení**

$$\sigma = 1,15 \frac{F}{2 \cdot c \cdot t} = 1,15 \frac{588,6}{2 \cdot 12 \cdot 0,8} = 35,25 \text{ MPa}$$

$$\eta = \frac{R_m}{\sigma} = \frac{407}{35,25} = 11,54 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Čep spojující nosník s letounem**

Byl použit šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem.

M6x20 ISO 4762 - 12,9

$R_m = 600 \text{ MPa}$

$R_{ms} = 430 \text{ MPa}$

l - 20 mm

Kontroluje se na smyk podle literatury [1], kapitola 4.2 (Únosnost ocelových svorníků). Pevnost ve smyku je dána součinem pevnosti ve smyku materiálu a průřezu svorníku.

$F_{kr} = 12200 \text{ N}$  (dle tabulky byla odečtena hodnota únosnosti jednoho svorníku na stříh)

$$\eta = \frac{F_{kr}}{F} = \frac{1200}{588,6} = 2,04 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Kontrola nýtů**

Nýty spojující horizontální a vertikální část nosníku přes úhelník jsou jednostranné kvůli omezenému přístupu. Bude opět uvažována celá síla od hmotnosti konstrukce i nákladu na jeden nosník. Nosník je smontován pomocí 4 úhelníků, proto celková síla je podělena čtyřmi.

$R_{ms} = 245 \text{ MPa}$

d = 2,6 mm

## Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru

$$m_n = 15 \text{ kg}$$

$$m_k = 5 \text{ kg}$$

$$n_A = 4$$

$$F_z = \frac{(m_n + m_k) \cdot g \cdot n_A}{4} = \frac{(15 + 5) \cdot 9,81 \cdot 4}{4} = 196,2 \text{ N} \quad (\text{na 1 úhelník})$$

$$F_{zp} = F_z \cdot f = 196,2 \cdot 1,5 = 294,3 \text{ N}$$

Určení kritické síly v nýtu podle literatury [1], kapitola 4.1 (Únosnost duralových nýtů).

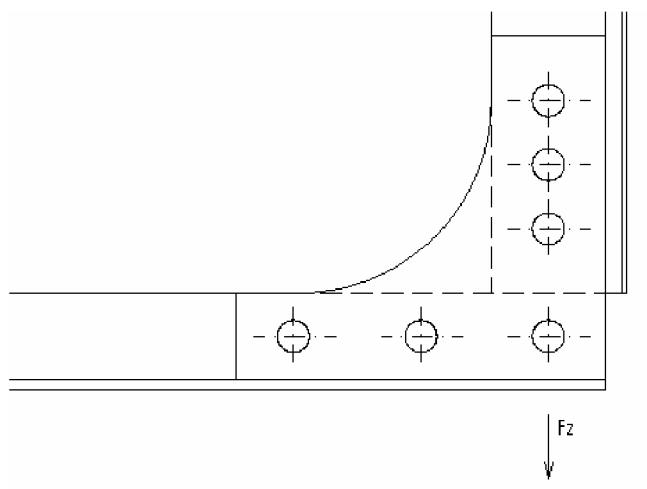
$$F_{kr} = 1333 \text{ N} \quad (\text{síla jednoho nýtu, odečteno pro nejslabší ze spojovaných materiálů})$$

Pro zjednodušení výpočtu bude uvažováno zatížení nýtů pouze v ose  $z$ . Síly působící v ostatních směrech jsou v porovnání s osou  $z$  zanedbatelné.

$$\eta = \frac{F_{kr}}{F_{zp}} = \frac{1333}{294,3} = 4,53$$

Dle výsledku součinitele rezervy by na spojení úhelníku a horizontální části, případně vertikální části nosníku, mělo stačit použití jednoho nýtu. V těchto místech konstrukce budou působit i jiné vedlejší síly, než které byly zahrnuty do výpočtu. Pro nadjistotu bude použito tři nýty.

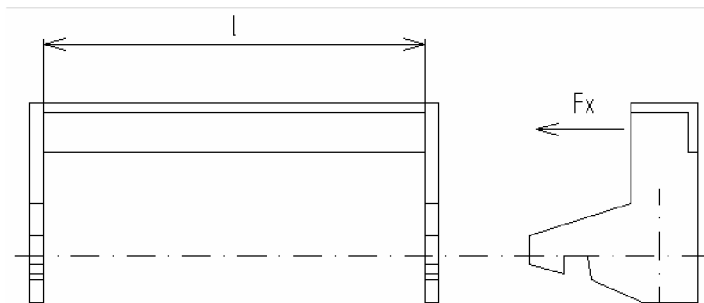
$$\eta = \frac{F_{kr}}{F_{zp}} = \frac{1333 \cdot 3}{294,3} = 13,59 \quad (\text{pro 3 nýty})$$



Obr. 38 Síly působící na nýty

### 4.4.3 Kontrola zamykacího mechanismu

Rám je tvořen profily  $\underline{L}$  o tloušťce 2 mm, tudíž je považován za dostatečně tuhý, aby propojení zamykacího mechanismu bylo namáháno pouze na ohyb, nikoliv na smyk. Pro kontrolu nebyla uvažována příčná strana profilu, posouvá to výsledek na bezpečnou stranu. Síla  $F_x$  od pružiny při odemykání působí na pravou část zamykacího mechanismu.



Obr. 39 Síly působící na zamykací mechanismus

L 10 x 5 x 1,5

$R_m = 930 \text{ MPa}$

$F_x = 15 \text{ N}$  (předpětí pružiny)

$h = 10 \text{ mm}$

$t = b = 1,5 \text{ mm}$

$l = 373,5 \text{ mm}$

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{12} = 125 \text{ mm}^2$$

$$e = \frac{h}{2} = \frac{10}{2} = 5 \text{ mm}$$

$$W_o = \frac{J}{e} = \frac{125}{5} = 25 \text{ mm}^3$$

$$M_o = F_x \cdot l = 15 \cdot 373,5 = 5602,5 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = \frac{M_o}{W_o} = \frac{5602,5}{25} = 224,1 \text{ MPa}$$

## Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru

Určení kritického napětí podle literatury [1], kapitola 2.7 (Lokální stabilita profilů při ohybu).

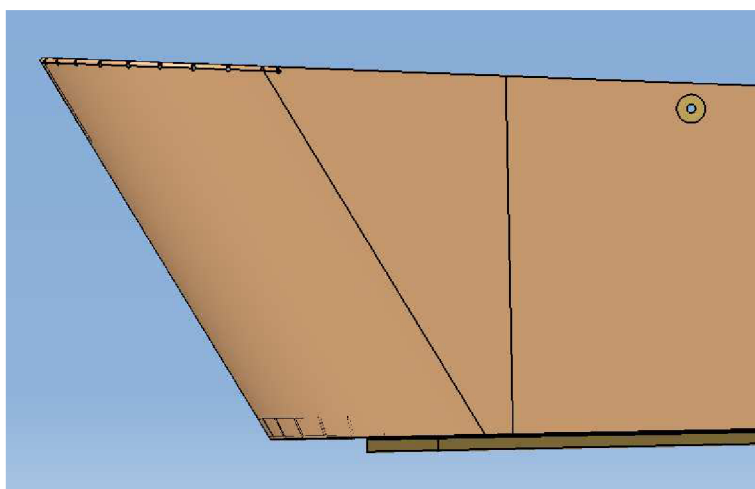
$\sigma_{kr} = 910 \text{ MPa}$  (odečteno z grafu podle křivek pro čistý ohyb a pro  $R_m = \text{MPa}$ )

$$\eta = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma} = \frac{930}{224,1} = 4,14 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Součinitel rezervy musí být daleko větší než jedna, protože může dojít i k jinému namáhání, např. způsobeného tlačením nákladu při špatném uložení atd.

## 4.5 Aerodynamika

Řešení obtékání vzduchu kolem poloskořepinového kontejneru není náplní této práce. Pouze přední čelo bylo sklopeno pod úhlem  $50^\circ$  z důvodu zmenšení aerodynamického odporu. Původní varianta uvažovala s čelem svislým, což by přineslo velký odpor, který je zřejmý bez podrobnější aerodynamické analýzy.



Obr. 40 Sklopení předního čela

Aby nedošlo ke zmenšení použitelného prostoru nákladu a posunu těžiště, bylo nutné sklopením čela prodloužit kontejner ve směru letu, kde nastal problém s konfliktem příďového podvozku. Tento problém byl řešen v kapitole 4.3.1 Konstrukční uzly.

## 5. Závěr

Diplomová práce splnila předem stanovené cíle.

### Motorové lože

Pro motor Jabiru byla vybrána dvoulístá vrtule, elektricky stavitelná za letu, o průměru 1640 mm a hmotnosti 8 kg. Dále byl proveden konstrukční návrh motorového lože vymodelovaný 3D softwarem Catia V5R17. Zatěžovací případy působící na uvedené motorové lože splňují požadavky předpisu ASTM F2245-06 LSA.

Pevnostní kontrola byla provedena analyticky na základě sil působících v konstrukci získaných programy Patran a Nastran (2007). Součinitel rezervy vyšel u všech prutů použitých v konstrukci vyšší než je nutné, z důvodu použití zadavatelem zvoleného materiálu. Také čepy v závěsech  $c$ ,  $d$  jsou záměrně předimenzovány, aby došlo k minimálním úpravám na trupu letounu.

### Podvěsný kontejner

Konstrukční návrh podvěsného kontejneru byl rovněž vymodelován pomocí softwaru Catia V5R17. Zatížení konstrukce bylo zvoleno jako maximální dovolené při letu, vynásobeno součinitelem bezpečnosti. Pevnostní kontrola byla provedena pro dva hlavní nosníky. Pro nadjistotu byl každý nadimenzovaný tak, aby při nesprávném uložení nákladu přenesl celé zatížení nákladu.

Obě navržené konstrukce vyhovují provedené pevnostní kontrole, je však nutné výpočty ověřit experimentálně statickými zkouškami.

## Přehled použitých veličin

Značka	Jednotky	Význam
<b>b</b>	[mm]	Šířka
<b>d</b>	[mm]	Průměr
<b>E</b>	[MPa]	Modul pružnosti materiálu
<b>f</b>	[-]	Součinitel bezpečnosti
<b>F</b>	[N]	Síla
<b>F<sub>x</sub></b>	[N]	Síla v ose x
<b>F<sub>y</sub></b>	[N]	Síla v ose y
<b>F<sub>z</sub></b>	[N]	Síla v ose z
<b>F<sub>zp</sub></b>	[N]	Síla v ose z početní
<b>F<sub>zp+p</sub></b>	[N]	Síla v ose z s předpětím pásu
<b>F<sub>u</sub></b>	[N]	Síla od uživatele
<b>i</b>	[mm]	Kvadratický poloměr průřezu
<b>J</b>	[mm <sup>4</sup> ]	Kvadratický moment průřezu
<b>k</b>	[-]	Faktor uložení
<b>l</b>	[mm]	Délka
<b>l<sub>r</sub></b>	[mm]	Redukovaná délka
<b>m</b>	[kg]	Hmotnost
<b>m<sub>k</sub></b>	[kg]	Hmotnost konstrukce
<b>m<sub>n</sub></b>	[kg]	Hmotnost nákladu
<b>m<sub>vrt</sub></b>	[kg]	Hmotnost vrtule
<b>M<sub>o</sub></b>	[Nmm]	Ohybový moment
<b>M<sub>x</sub></b>	[Nm]	Moment kolem osy x
<b>M<sub>y</sub></b>	[Nm]	Moment kolem osy y
<b>M<sub>z</sub></b>	[Nm]	Moment kolem osy z
<b>n</b>	[-]	Násobek
<b>n<sub>A</sub></b>	[-]	Násobek v bodě A obrátové obálky
<b>n<sub>max</sub></b>	[min <sup>-1</sup> ]	Maximální otáčky motoru
<b>n<sub>pro</sub></b>	[min <sup>-1</sup> ]	Maximální trvalé otáčky motoru
<b>P<sub>max</sub></b>	[kw]	Maximální výkon motoru
<b>P<sub>pro</sub></b>	[kw]	Maximální trvalý výkon motoru
<b>R<sub>m</sub></b>	[MPa]	Mez pevnosti materiálu
<b>R<sub>ms</sub></b>	[MPa]	Mez pevnosti ve smyku
<b>R<sub>p0,2</sub></b>	[MPa]	Mez kluzu materiálu
<b>S</b>	[mm <sup>2</sup> ]	Obsah
<b>t</b>	[mm]	Tloušťka
<b>T</b>	[N]	Tah vrtule
<b>W<sub>o</sub></b>	[mm <sup>3</sup> ]	Modul průřezu v ohybu
<b>β</b>	[°]	Vyosení motoru

## Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru

---

$\varphi$	[°]	Úhel mezi $F_x$ a $F$
$\theta$	[°]	Úhel naklonění protipožární stěny
$\eta$	[-]	Součinitel rezervy
$\sigma$	[MPa]	Napětí
$\sigma_{kr}$	[MPa]	Kritické napětí
$\sigma_{red}$	[MPa]	Redukované napětí
$\sigma_{pkotl}$	[MPa]	Napětí při otláčení
$\tau$	[MPa]	Smykové napětí



## **Přehled použité literatury**

### **Publikace**

- [1] Čtverák J., Mertl V., Píštěk A., Soubor podkladů pro pevnostní výpočty leteckých konstrukcí, VUT FSI, Brno 1997
- [2] ASTM International, Standard Specification for Design and Performance of a Light Sport Airplane F 2245 – 06, ASTM 2006
- [3] Jabiru aircraft, Instalation manual for Jabiru 3300 aircraft engine document JEM 3302-1, 2007
- [4] Daněk V., Mechanika letu 1, VUT FSI, Brno 1993
- [5] VZLÚ, Joint aviation requirements very light aeroplanes, Praha 1990

### **Internetové odkazy**

- [6] [www.teveso.cz](http://www.teveso.cz)
- [7] [www.woodcomp.cz](http://www.woodcomp.cz)
- [8] [www.czaw.cz](http://www.czaw.cz)

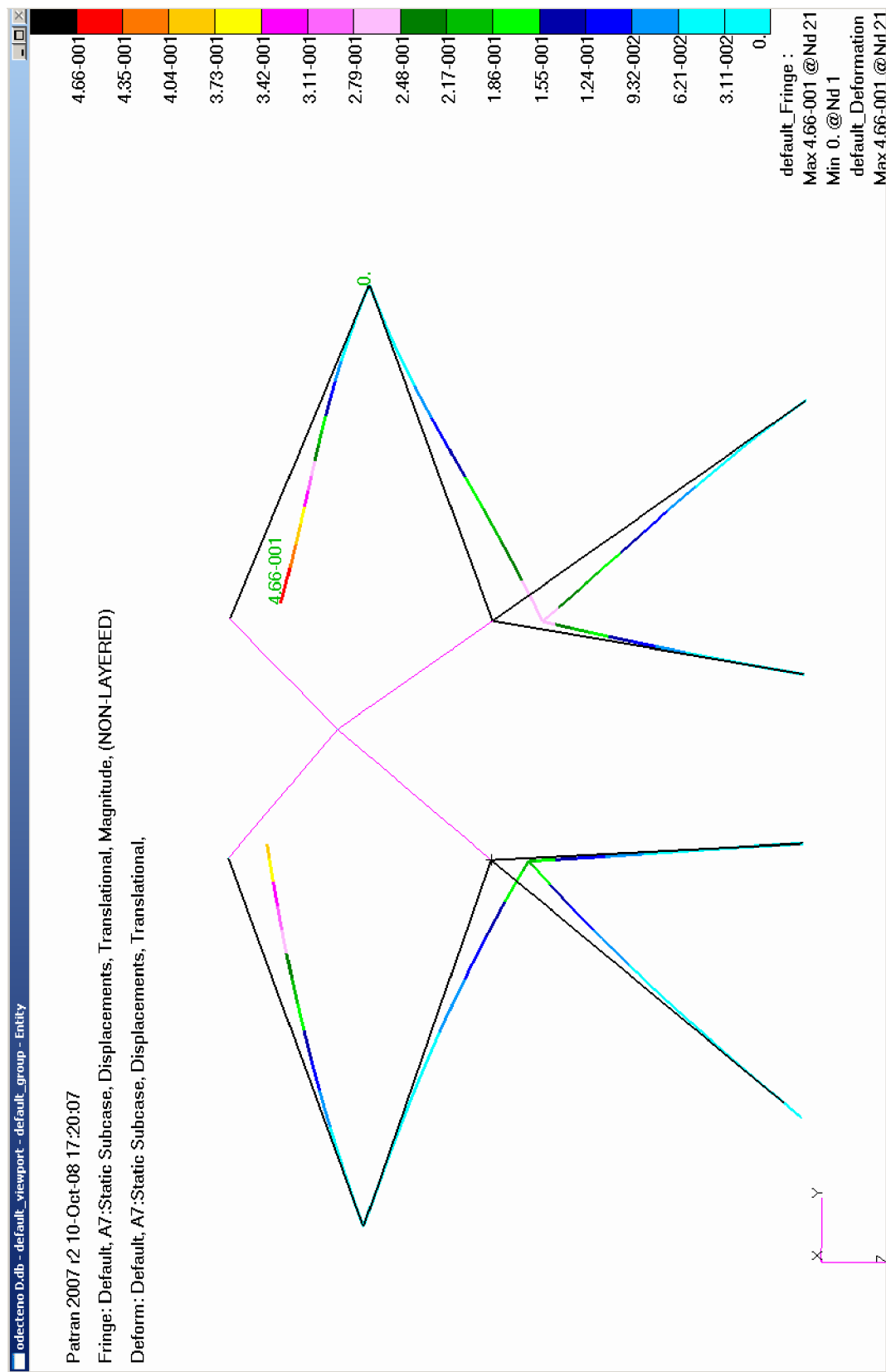
## Přehled příloh

1. Deformace, zatěžovací případ A
2. Osové síly, zatěžovací případ A
3. Síly v závěsech, zatěžovací případ A
4. Deformace, zatěžovací případ B
5. Osové síly, zatěžovací případ B
6. Síly v závěsech, zatěžovací případ B
7. Deformace, zatěžovací případ C
8. Osové síly, zatěžovací případ C
9. Síly v závěsech, zatěžovací případ C
10. Kontejner, pohled shora a zespodu
11. Kontejner, pohled při odklopení
12. Kontejner, pohled při nakládání a detail závěsu nosníku

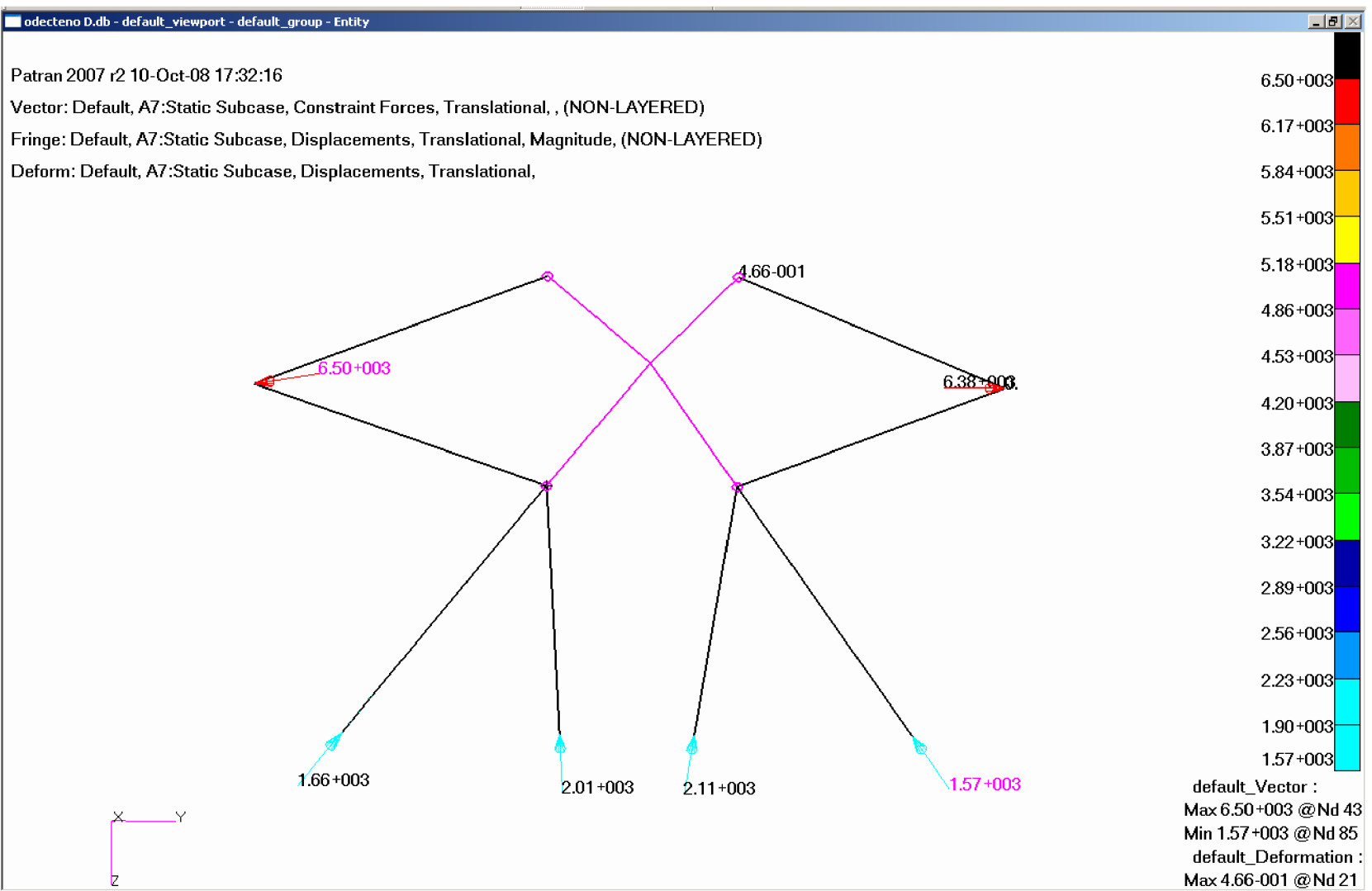
## Seznam výkresů

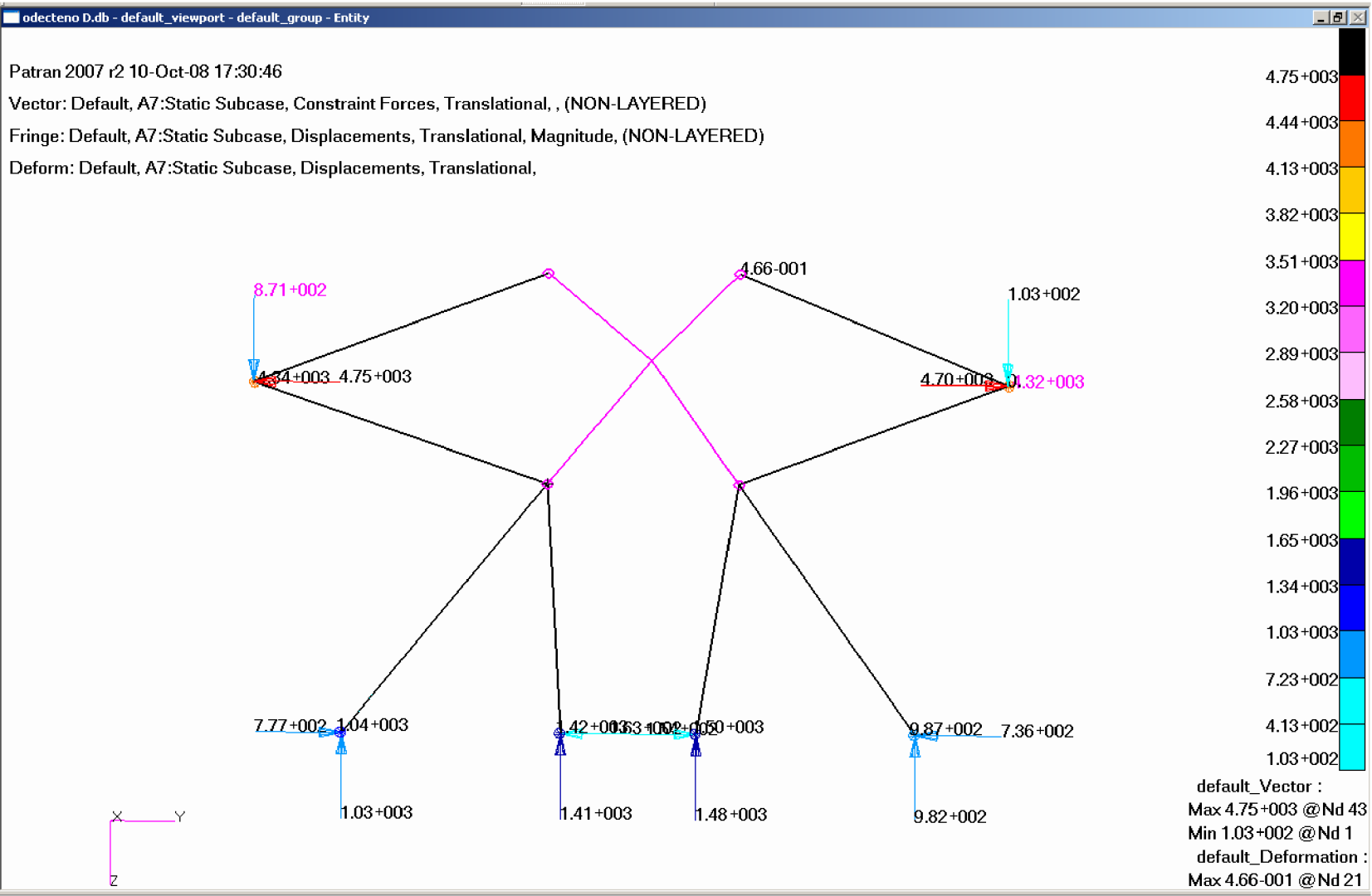
- |               |                          |
|---------------|--------------------------|
| 01 - 001 / 08 | Svařenec motorového lože |
| 01 - 002 / 08 | Sestava lože - letoun    |
| 02 - 001 / 08 | Sestava kontejneru       |
| 02 - 002 / 08 | Sestava kontejner - lože |

Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru



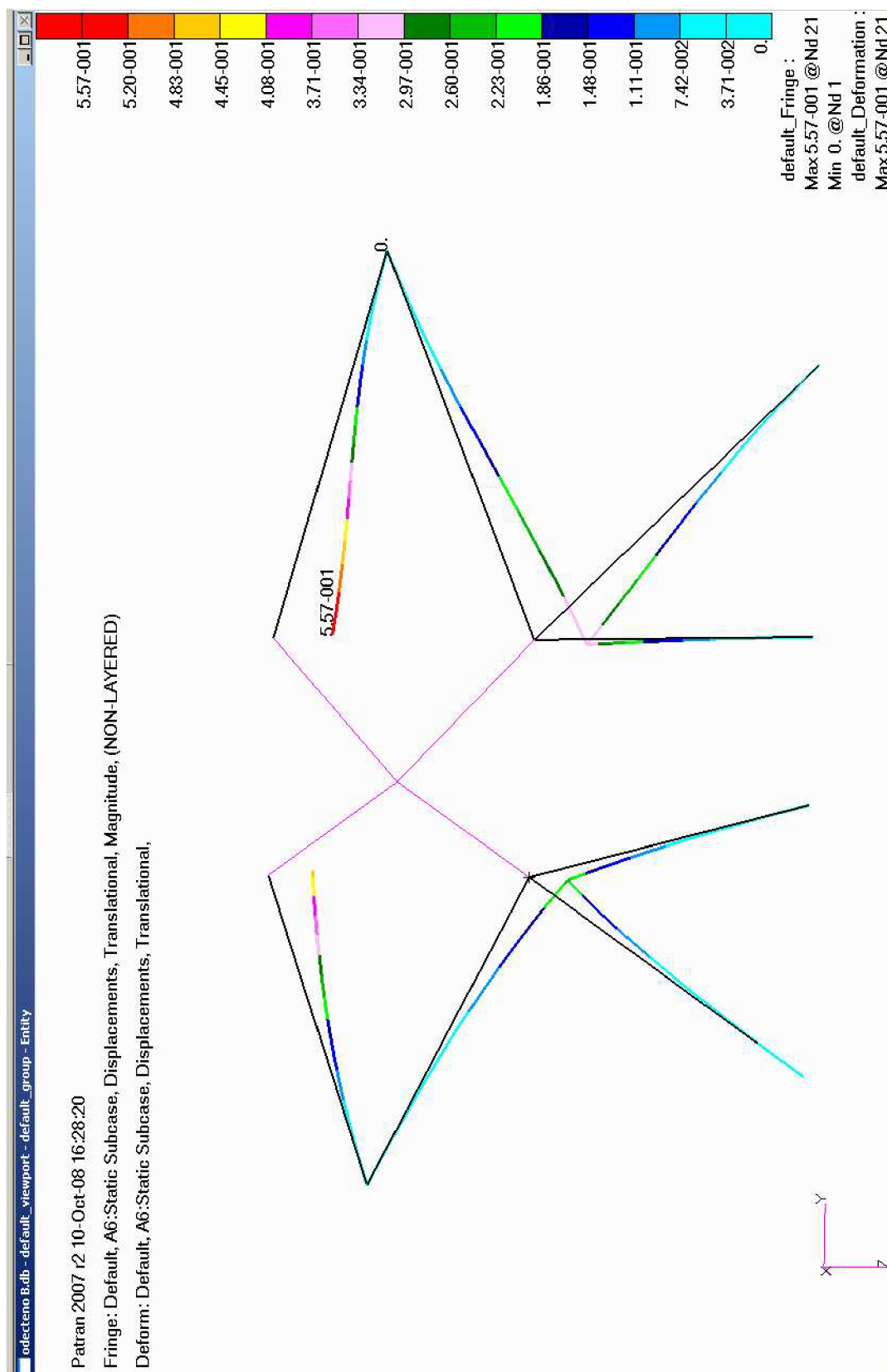
Príloha 1 Deformace, zatěžovací případ A



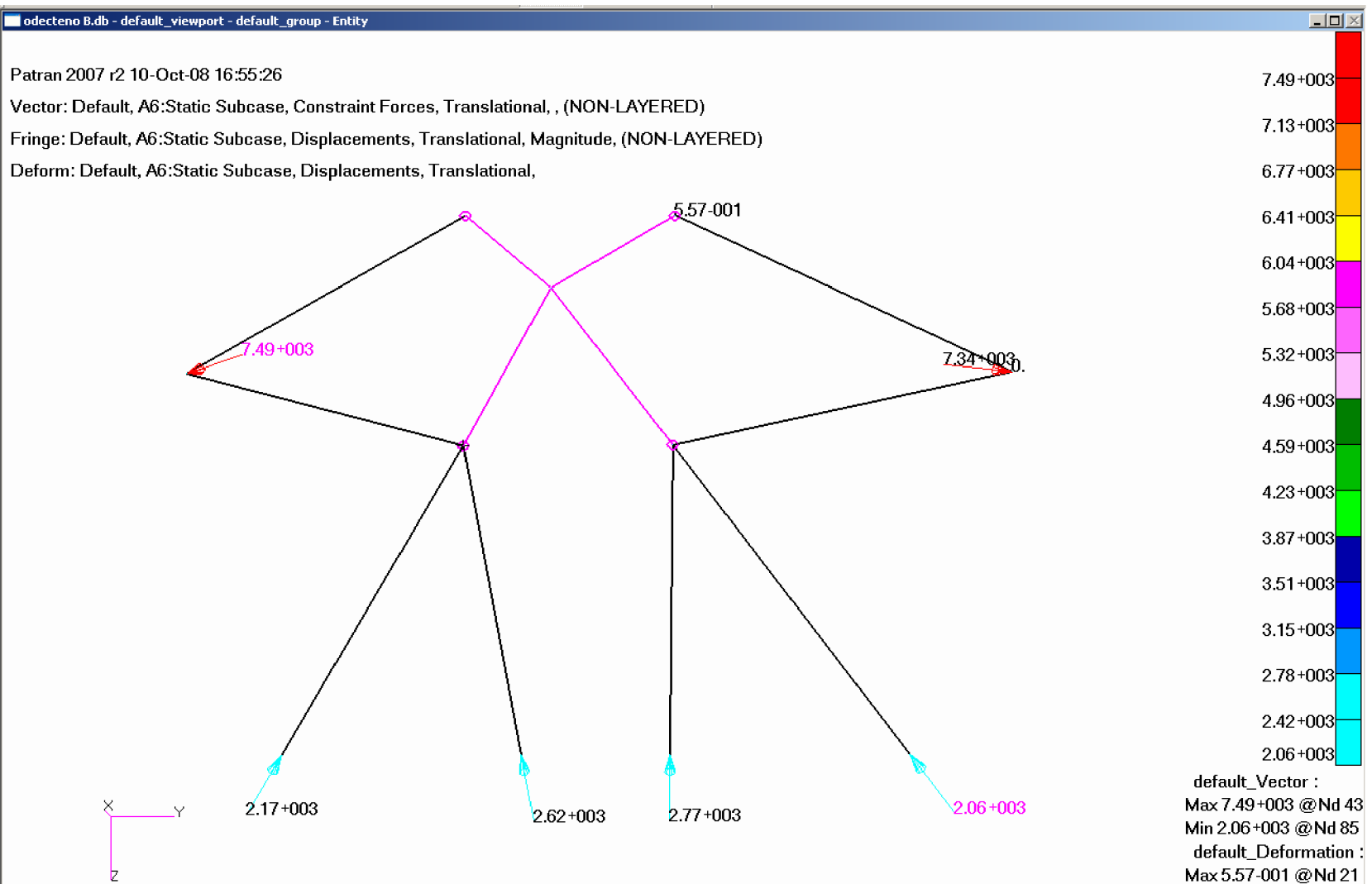


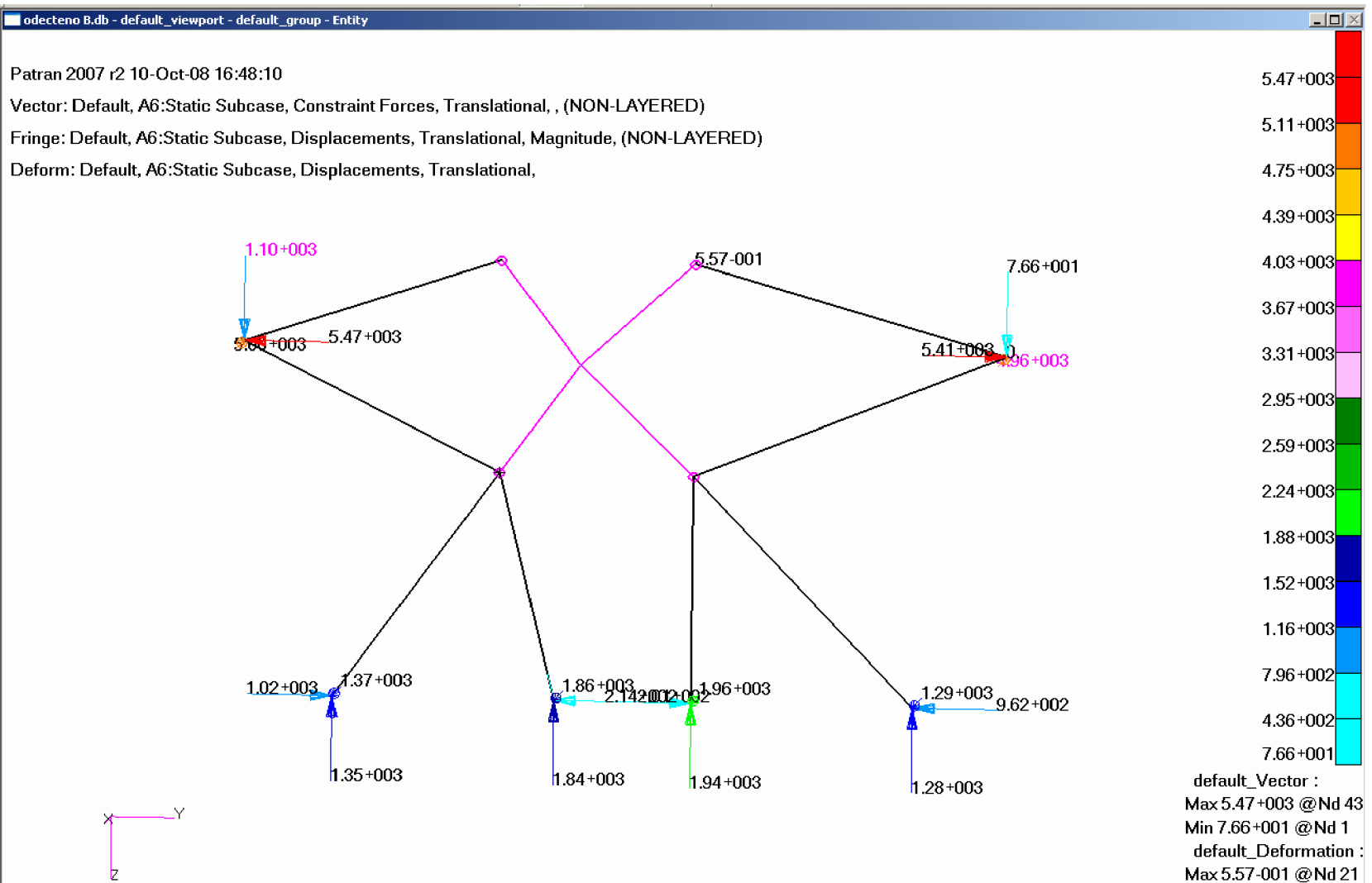
Příloha 3 Síly v závěsech, zatěžovací případ A

Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru



Příloha 4 Deformace, zatěžovací případ B

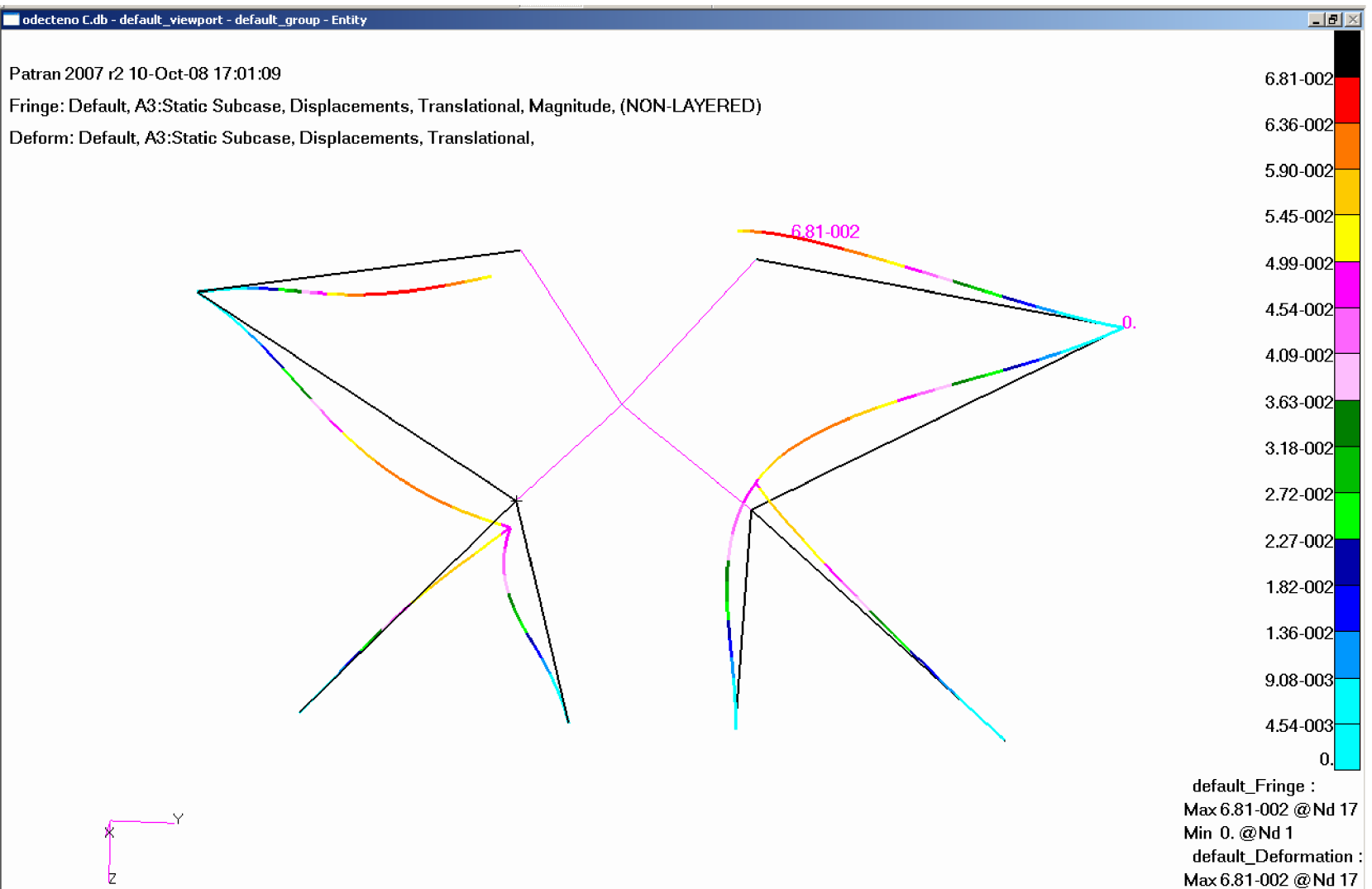


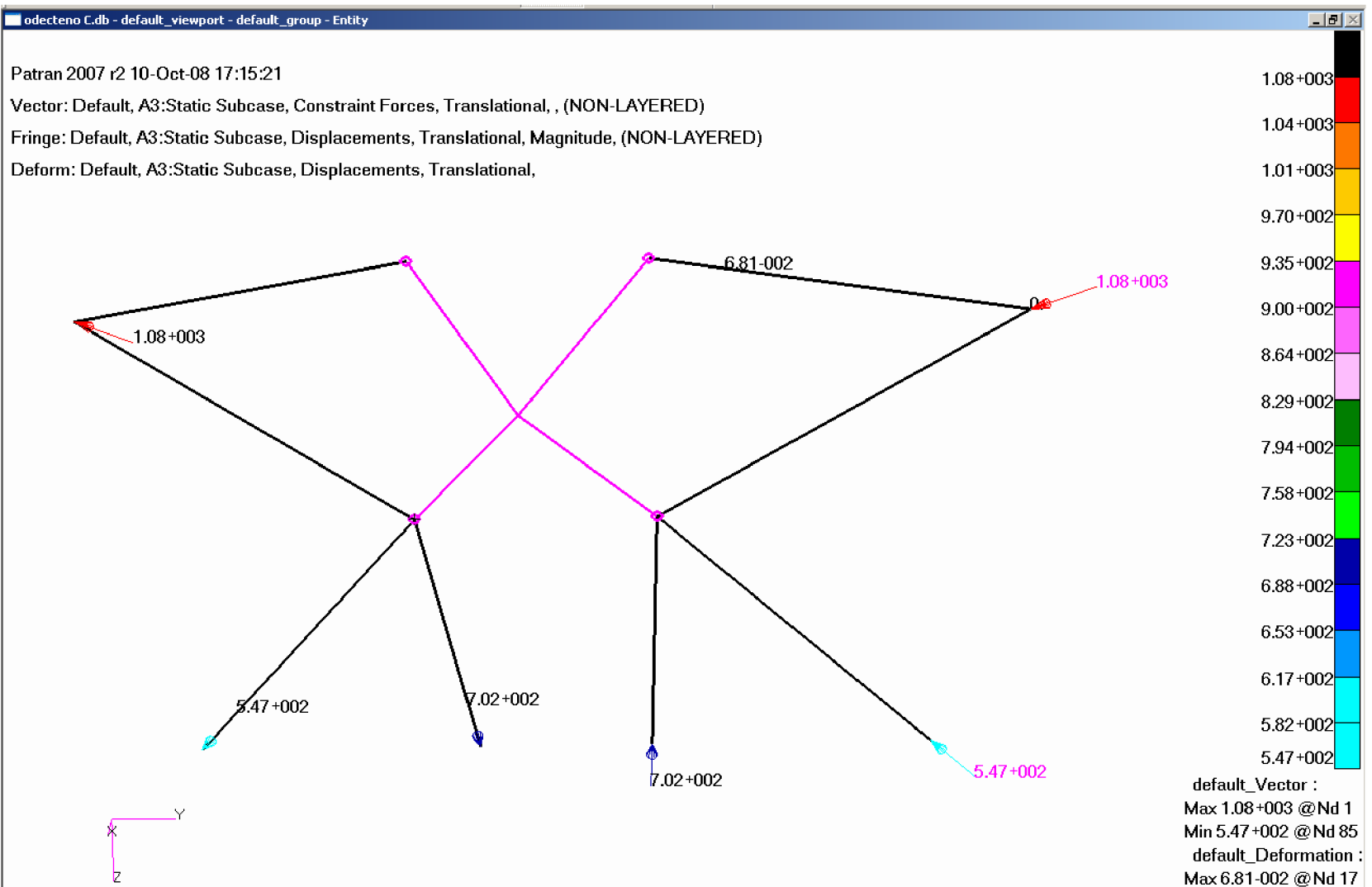


Příloha 6 Síly v závěsech, zatěžovací případ B

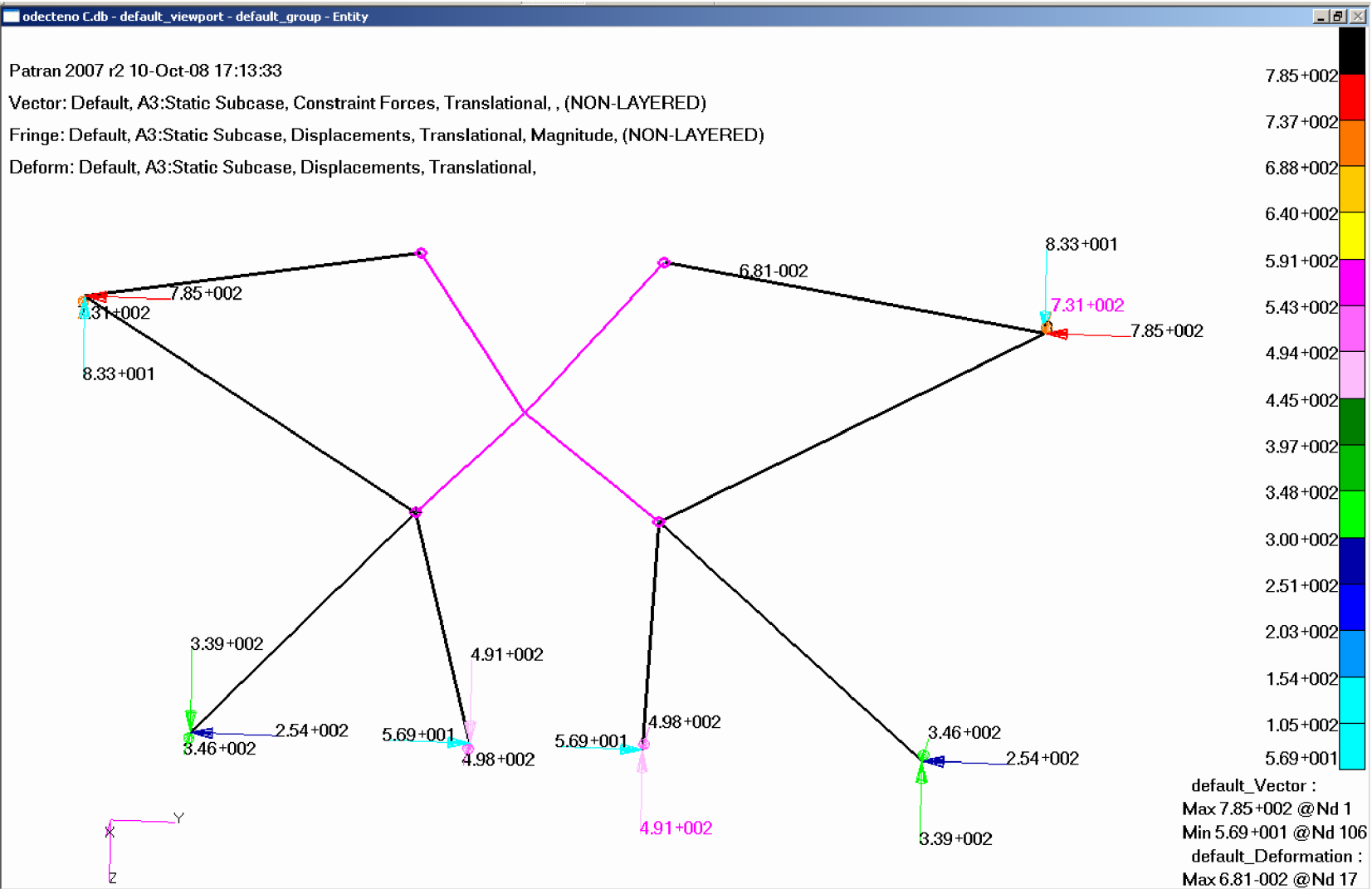


Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru



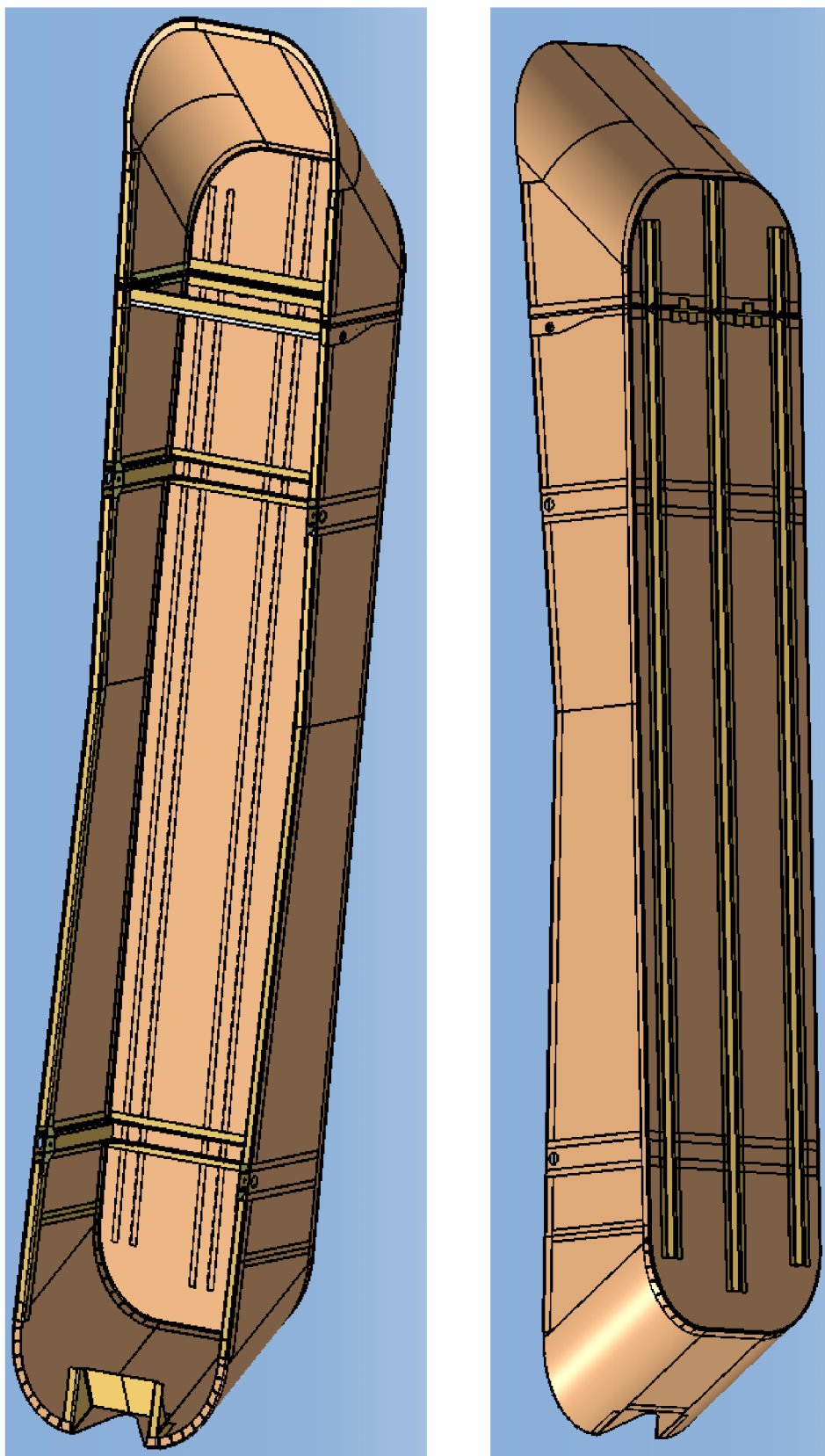


Příloha 8 Osově síly, zatěžovací případ C



Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru

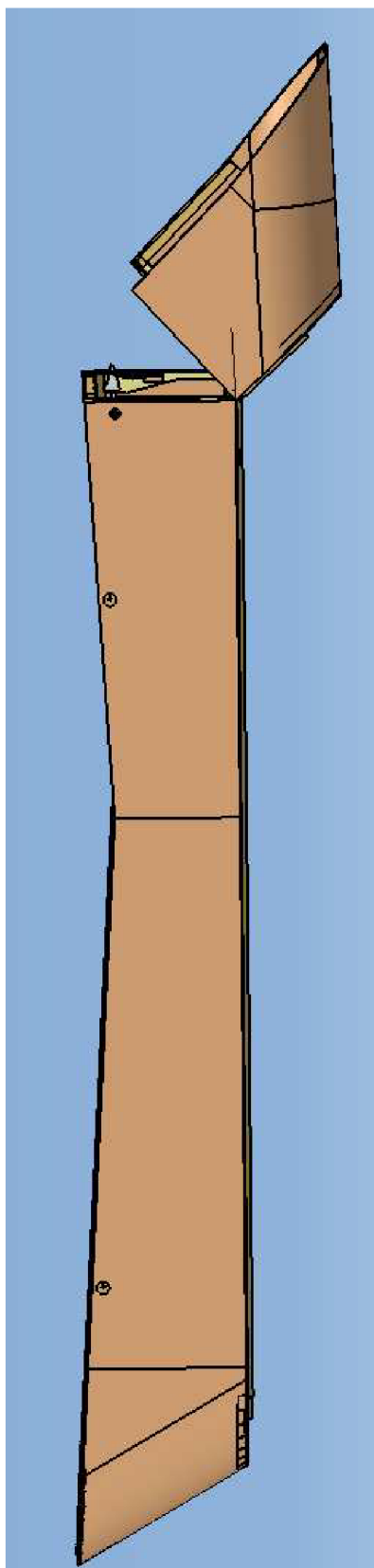
---



Příloha 10 Kontejner, pohled shora a zespodu

Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru

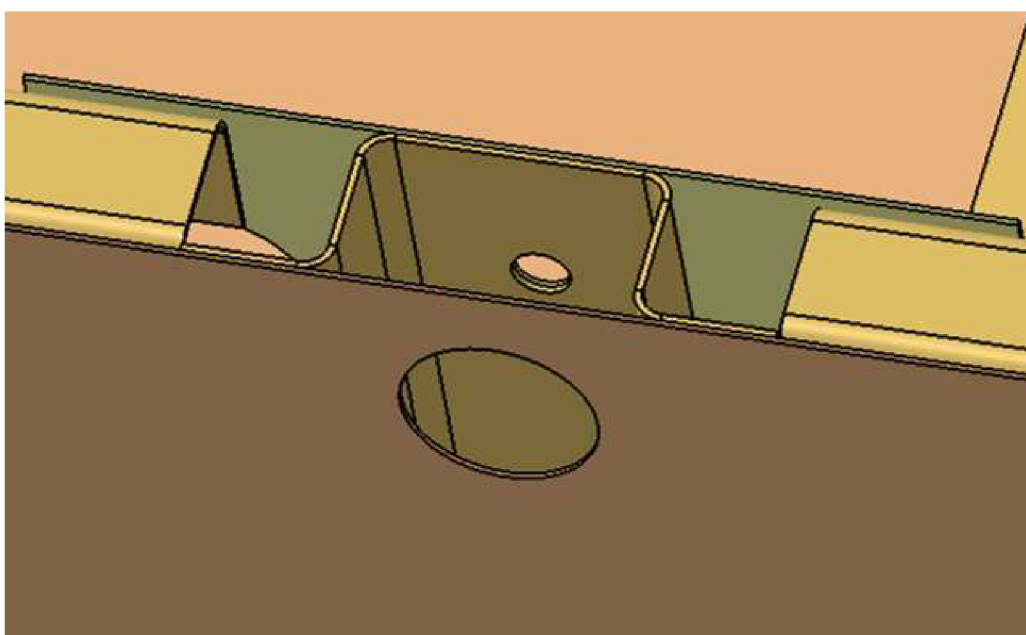
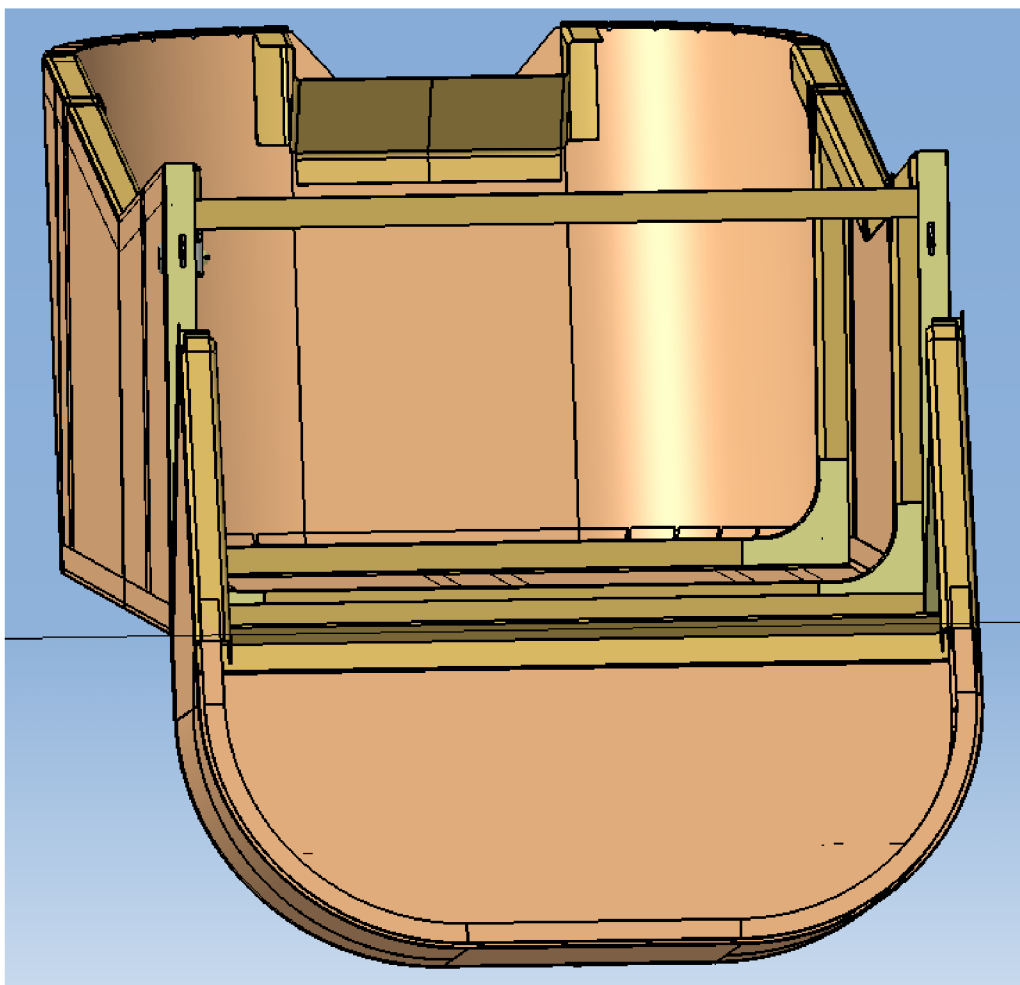
---



**Příloha 11 Kontejner, pohled při odklopení**

Návrh motorového lože a podvěsného kontejneru

---



**Příloha 12 Kontejner, pohled při nakládání a detail závěsu nosníku**