

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Ústav letadlové techniky



Konstrukční návrh podvozku nekonvenčního UL letounu

Design of ultralight aircraft Landing gear

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Karel Barák

Autor: Pavel Glončák

Praha 2019



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení:	<b>Glončák</b>	Jméno: <b>Pavel</b>	Osobní číslo: <b>411136</b>
Fakulta/ústav:	<b>Fakulta strojní</b>		
Zadávající katedra/ústav:	<b>Ústav letadlové techniky</b>		
Studijní program:	<b>Letectví a kosmonautika</b>		
Studijní obor:	<b>Letadlová a kosmická technika</b>		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:	<b>Konstrukční návrh podvozku nekonvenčního UL letounu</b>	
Název diplomové práce anglicky:	<b>Design of ultralight aircraft landing gear</b>	
Pokyny pro vypracování:	Pro vypracování proveďte: - Konstrukční návrh přistávacího zařízení - Rozbor zatížení - Pevnostní kontrolu - Hmotový rozbor	
Seznam doporučené literatury:	Dle pokynů vedoucího	
Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:	<b>Ing. Karel Barák, ústav letadlové techniky FS</b>	
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:		
Datum zadání diplomové práce:	<b>31.10.2018</b>	Termín odevzdání diplomové práce: <b>04.01.2019</b>
Platnost zadání diplomové práce:	  	
	Ing. Karel Barák podpis vedoucí(ho) práce	Ing. Robert Theiner, Ph.D. podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry
		prof. Ing. Michael Valášek, DrSc. podpis děkana(ky)

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.	
<u>31.10.2018</u> Datum převzetí zadání	<u>gf</u> Podpis studenta

**ABSTRAKT**

Cílem této diplomové práce je konstrukční návrh podvozku nekonvenčního ultralehkého letounu dle stavebního předpisu UL2- I.Část, který stanovuje zatěžovací případy všech druhů přistání vyskytujících se v provozu, ze kterého se stanoví početní zatížení. Následuje dimenzování sestavy podvozku, návrh kinematiky, hmotový rozbor a pevnostní kontrola.

**Klíčová slova:** Kinematika zatahování podvozku, UL letoun, kompozitová pružnice

**ABSTRACT**

The aim of this diploma thesis is to design a Landing gear of an unconventional ultralight airplane according to building standard UL2-I. Part, which sets the load cases of all kinds of landings occurring in operation, from which the load is determined. Following are the LG assembly design, kinematics design, mass analysis and strength control.

**Keywords :** Kinematic of landing gear, UL airplane, composite spring

## Prohlášení

Prohlašuji tímto, že jsem Diplomovou práci na téma Konstrukční návrh podvozku nekonvenčního UL letounu vypracoval pod vedením Ing. Karla Baráka samostatně, pouze s použitím odborné literatury a zdrojů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

15. 2. 2019

Pavel Glončák

.....

## Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské Ing. Karlovi Barákovi za jeho rady, odborné vedení a vstřícný přístup při tvorbě této práce. Dále bych rád poděkoval své rodině a přátelům za podporu během mého studia.

## Obsah

1. Úvod.....	9
2. Podvozek.....	9
3. Rozdělení podvozků.....	9
3.1 Kolové podvozky.....	10
3.1.1 Normální tricykl.....	10
3.2.2. Obrácený tricykl.....	11
3.2.3 Tandemové podvozky.....	12
3.2.4 Lyžové podvozky.....	13
3.2.5 Plovákový podvozek.....	13
3.2.6 Létající čluny.....	14
3.2.7 Kombinovaný plovák a kolový podvozek.....	15
4. Návrhové vstupy.....	16
5. Varianty řešení.....	17
5.1 Tandemový podvozek.....	17
5.2 Obrácený tricykl varianta č. 1.....	18
5.3 Obrácený tricykl varianta č. 2.....	19
5.4 Konečná varianta.....	19
6. Stabilita.....	20
6.1 Stranová pozemní stabilita.....	20
6.2 Kontrolní výpočet.....	21
6.3 Diskuze výpočtu.....	22
7. Návrh kinematiky.....	23
7.1 Předřový podvozek.....	23
7.2 Hlavní podvozek.....	23
7.1.3 Natáčení kola hlavního podvozku.....	25
8. Rozbor zatížení působící na podvozek.....	28
8.1 Vstupní parametry výpočtu.....	28
8.2 Pozemní zatížení.....	29
7.2.1 Zatížení při stání na zemi.....	31
8.3 Přistávací podmínky.....	32
8.3.1 Vodorovné přistání na tři body.....	33
8.3.2 Vodorovné přistání s předřovým kolem nad zemí.....	34
8.3.3 Přistání s velkým úhlem náběhu.....	36

8.3.4	Boční zatížení kol hlavního podvozku .....	37
8.3.5	Zatížení kol při brždění .....	38
8.3.6	Dodatečné zatížení příďového podvozku .....	40
8.4	Výsledné zatížení .....	42
9.	Konstrukce podvozku .....	44
9.1	Příďový podvozek .....	44
9.1.1	Příďové kolo .....	44
9.1.2	Vidlice nohy .....	45
9.1.3	Sestava kola ve vidlici .....	46
9.1.4	Válec příďové nohy .....	46
9.1.5	Gumový tlumič .....	47
9.1.6	Zlamovací vzpěra .....	49
9.1.7	Pohon .....	49
9.2	Hlavní podvozek .....	50
9.2.1	Kolo hlavního podvozku .....	50
9.2.2	Brzdy .....	51
9.2.3	Noha svislá .....	51
9.2.4	Pružnice nohy .....	52
9.2.5	Vysouvací táhlo .....	55
9.2.6	Pohon .....	56
9.3	Montážní pokyny .....	56
9.4	Nouzové otevírání podvozku .....	57
10.	Pevnostní kontrola .....	57
10.1	Příďový podvozek .....	57
10.2	Osa otáčení .....	61
10.3	Zlamovací vzpěra .....	63
10.4	Hlavní podvozek .....	66
10.5	Noha svislá .....	68
10.6	Pružnice podvozkové nohy .....	70
10.7	Výpočet lepeného spoje .....	72
8.7.1	Foliové .....	72
8.7.2	Dvousložkové epoxidové .....	73
10.8	Táhlo vysouvací .....	73
10.9	kontrola čepu .....	74

10.10	Výpočet pohybového šroubu .....	75
11.	Ovládací síly podvozku .....	76
11.1	Příďový podvozek .....	76
11.2	Hlavní podvozek.....	77
11.3	Návrh motoru .....	78
12.	Hmotnostní rozbor.....	79
13.	Pevnostní kontrola MKP .....	81
13.1	Příďový podvozek .....	81
13.1.1	Vidlice .....	81
13.1.2	Válec příďové nohy .....	82
13.1.3	Táhlo zlomovací vzpěry. ....	83
13.2	Hlavní podvozek.....	84
13.2.1	Pružnice podvozkové nohy.....	84
14.	Závěr.....	91
15.	Seznam použité literatury .....	92
16.	Seznam obrázků .....	94
17.	Seznam tabulek.....	95
18.	Seznam použitých symbolů.....	97



## 1. Úvod

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem podvozku nekonvenčního UL letounu, který je navrhován dle stavebního předpisu UL-2, který předepisuje minimální vzdálenost listů vrtule od země při plně zatíženém podvozku jako hodnotu 170 mm, která platí pro nejnepríznivější podmínky, jako jsou poloha těžiště a nastavení listů vrtule. [1] Dále byla posuzována kritická pneumatika zcela bez tlaku a vzpěra podvozku plně zatížena. Rozbor zatížení, pevnostní kontrola a hmotový rozbor byly vypracovány v programu Autodesk Inventor. Následně byly provedeny analýzy v programech NX 10, v řešiteli lineárně statické analýzy programu Nastran.

## 2. Podvozek

Je definován jako systém opor letounu, který umožňuje ve všech režimech jako je start, přistání a dojezd po přistání, pojíždění po letišti ochranu vlastního letounu i jeho systémů před statickými a dynamickými zatíženími, které se při těchto režimech mohou vyskytnout. Rovněž je po podvozku požadováno utlumení potenciální i kinetické energie při přistání a utlumení přistávacího rázu. Další požadavky jsou minimální aerodynamický odpor, minimální hmotnost, nesmí být náchylný ke kmitání. [2] Dle typu přistávací plochy musí přisávací zařízení umožnit přistání letounu na betonovou, travnatou zpevněnou plochu nebo na vodní hladinu.

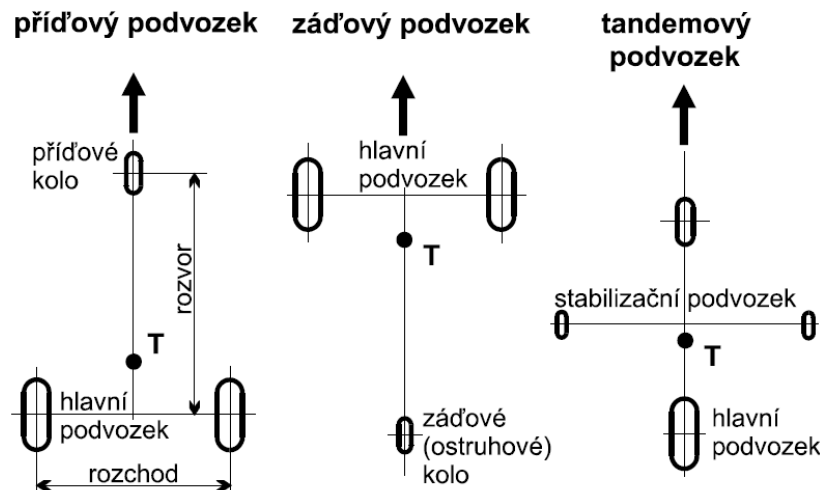
## 3. Rozdělení podvozků

Dle typu přistávací plochy lze podvozky rozdělit na následující kategorie:

- Kolové podvozky
- Lyžové podvozky
- Plovákové podvozky
- Plovákový trup
- Kombinace plovákových a kolových podvozků

### 3.1 Kolové podvozky

Používají se pro menší a lehčí letouny přistávající na travnatou zpevněnou plochu nebo větší, těžší a rychlejší letouny přistávající na betonovou dráhu.



Obrázek 1 - Rozdělení kolových podvozků.[3]

#### 3.1.1 Normální tricykl

Je typ podvozku, jenž byl v minulosti často používán v konstrukci přistávacího zařízení vrtulových letadel. Dnes se používá ve velké většině případů pouze u malých letadel, nebo u speciálních zemědělských strojů. Základním rozpoznávacím prvkem tohoto řešení je použití ostruhového kola, které přenáší pouze malou část zatížení během přistání. Hlavní kola jsou umístěna před těžištěm a ostruhové kolo za těžištěm. Nevýhodou lze nazvat směrovou nestabilitu během pojíždění, dojezdu a rozjezdu letounu. Tuto nestabilitu zvyšují mimo jiné i silné motory s velkými vrtulemi, které vyvozují gyroskopické momenty, které se snaží při rozjezdu vybočit letoun. Mezi další nevýhody patří snadné převržení přes příď při silném brzdění. Dále je třeba zmínit možnost odskočení letounu při přistání pouze na ostruhu. Rovněž výhled při pojíždění nepatří mezi silné stránky tohoto typu přistávacího zařízení. Jako výhodu lze vyzdvihnout nejnižší hmotnost a také jednoduchost ve srovnání s ostatními druhy kolových podvozků.



Obrázek 2 - Zlín Z 126 – podvozek s ostruhovým kolem.[4]

### 3.2.2. Obrácený tricykl

Dnes nejpoužívanější řešení s hlavními koly za těžištěm letounu a předové kolo je umístěno před těžištěm. Předové kolo přenáší vyšší zatížení než ostruhové. Při pojíždění letounu zabezpečuje lepší výhled. Podvozek s předovým kolem má lepší stabilitu při rozběhu, doběhu i při pojíždění než řešení s ostruhovým kolem. Při intenzivním brždění nenastane převržení přes před, kterému zamezí noha předového podvozku. Z konstrukčního hlediska je možné použít menší rozvor, ale hmotnost je vyšší než u normálního tricyklu, protože při brždění je noha předového podvozku více zatížena setrvačnými silami, proto musí být patřičně dimenzována. Předová noha může být namáhána torzně - ohybovým samobuzeným kmitáním tzv. shimmy. Tento způsob namáhání lze eliminovat použitím tlumiče shimmy a vhodnou volbou dvoudotekových pneumatik.



Obrázek 3 – Ae-270 prototyp č. 7 - podvozek s předovým kolem. [4]

### 3.2.3 Tandemové podvozky

Tandemové podvozky se začaly používat u bombardovacích letounů v 50. letech. Klasický představitel tohoto řešení je letoun Boeing B-52, dále Mjasiščev M-2 které mají v trupu prostor pro náklad zbraní/pum a z hlediska konstrukce letounů to byly hornoplošníky, což z hlediska rozložení hmotnosti v blízkosti těžiště a potřebné velikosti noh hlavního podvozku neumožňovalo použití klasické varianty s předovým kolem. Tandemový podvozek byl rovněž použit u kolmo startujícího letounu koncepce STOVL (Short Take-Of and Vertical Landing )/VTOL ( Vertical Take-Of and Landing ) BAE Harrier, který má v trupu v blízkosti těžiště čtveřici polohovatelných trysek systému VTOL.



Obrázek 4 – Letoun britského královského námořnictva BAe Sea Harrier FA. 2 z 801 Naval Air Squadron. [7]

Hlavní podvozek je umístěn v ose trupu za pumovnicí a přenáší jen okolo 55% zatížení. Zbytek musí přenést předový podvozek, který má natáčecí nohu. Natáčení slouží ke změně směru při pojíždění. Součástí tandemového podvozku je dvojice vzpěr, umístěná na konci křídel. Tyto vzpěry zabraňují převržení letounu při malých rychlostech. Tandemový podvozek vykazuje vysokou míru směrové stability, a proto je využíván pro vysoké startovací rychlosti. Z důvodu decelerace po přistání je nutné vybavit brzdou s omezovačem brzdného účinku i přední podvozek.

### 3.2.4 Lyžové podvozky

Lyžový podvozek se používá v zimním období na polních letištích, případně v odlehlých, polárních oblastech. Lyžový podvozek se namontuje místo kol a stává se pevným.



Obrázek 5 - Z-226 zimní konfigurace [4]

### 3.2.5 Plovákový podvozek

Pro starty a přistání na vodní ploše mají letouny plováky, které na rozdíl od kolového podvozku jsou nezatahovatelné, mají za letu větší odpor vzduchu, zvyšují hmotnost letounu, čímž zhoršují letové vlastnosti.



Obrázek 6 - TL 3000 Sirius. [8]

### 3.2.6 Létající čluny

Trup tvoří plovák, který umožňuje provádět vzlety a přistání z vodních ploch. Oproti plovákovému letounu vykazuje vyšší stabilitu na vodní hladině, zvláště na moři.



Obrázek 7 - Saro A19 Cloud. [13]

### 3.2.7 Kombinovaný plovák a kolový podvozek

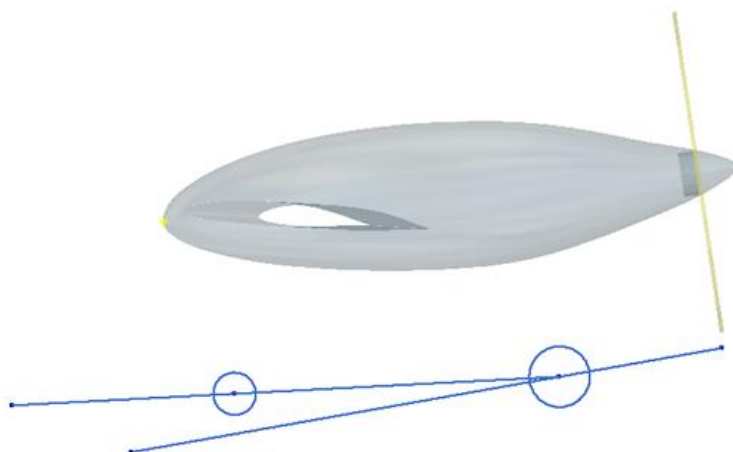
Kombinací hydroplánu a kolového podvozku vznikla amfibie, která umožňuje letadlu přistání a starty jak na vodní hladině, tak i z pozemních letišť.



Obrázek 8 - Consolidated PBY Catalina. [12]

## 4. Návrhové vstupy

Součástí zadání této diplomové práce jsou základní geometrická data navrhovaného letounu ve formě matematického modelu a další důležité parametry nezbytné pro návrh podvozku uvedené v tabulce č. 1.



Obrázek 9 - Zadání DP model UL letounu

Parametr	Symbol	Hodnota	Jednotka
maximální vzletová hmotnost	m	250	kg
gravitační zrychlení	g	9,81	$m \cdot s^{-2}$
plocha křídla	S	8	m
rozpětí křídla	l	10	m
poloha těžiště-osa x	x	1,334 m	m
poloha těžiště-osa y	y	0	m
poloha těžiště-osa z	z	0	m

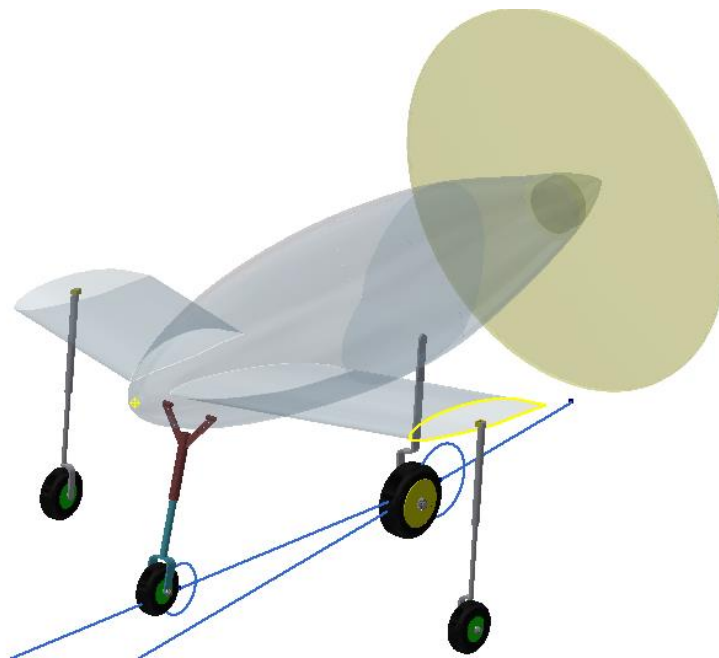
Tabulka 1 - Zadané parametry letounu



## 5. Varianty řešení

### 5.1 Tandemový podvozek

Na základě používaných typů podvozků byl z důvodu letounu s tlačnou vrtulí na konci trupu vyřazen normální tricykl, protože by podvozek s ostruhovým kolem nesplnil požadavky stavebního předpisu minimální výšky vrtulových listů nad zemí. Nejlépe by z hlediska kinematiky vysouvání a zasouvání podvozku do trupu vyhověl tandemový podvozek, který má hlavní podvozkovou nohu a nohu předového podvozku umístěnou v ose letounu. Tandemový podvozek má vyšší hmotnost, vyžaduje dlouhé stabilizační podpěry vestavěné do křídel. Tím by vznikla potřeba zesílení křídla z důvodu absorpce přistávacích rázů a omezil by se prostor pro zástavbu a ovládání vztlakových klapek a balančních křídélek. Nevýhody tohoto řešení spočívají v tom, že stavební předpis v kategorii UL-2 část 1, příloha č. II neuvádí požadavky pro případy přistání a z toho vyplývá obtížnější prokázání všech požadovaných případů přistání včetně bočního zatížení kol, zatížení při brzdění a dodatečné zatížení předového podvozku.

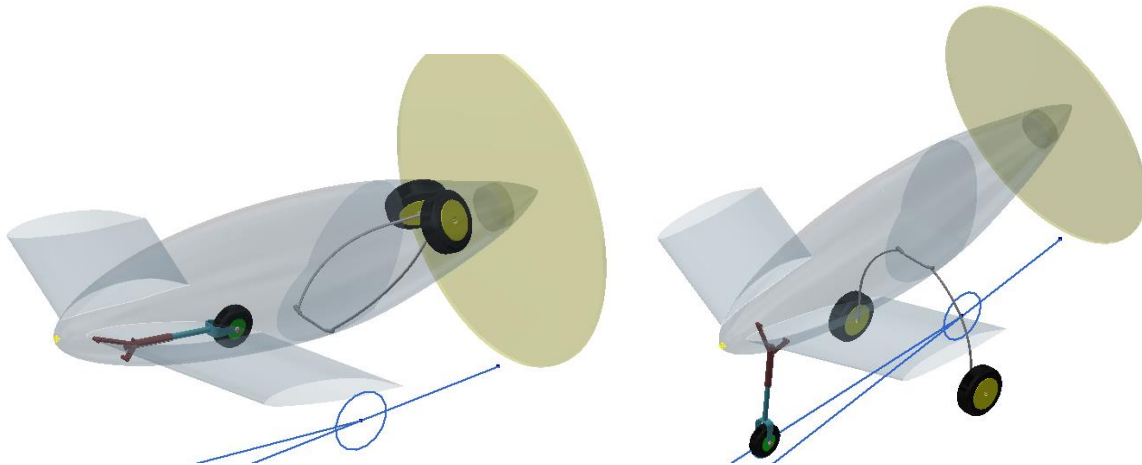


Obrázek 10 - Tandemový podvozek.

## 5.2 Obrácený tricykl varianta č. 1

První řešená varianta obráceného tricyklu. Konstrukčně jednodušší než druhá varianta. Nebyla realizována z důvodu stability proti převržení. Z důvodu použitého pohonu tlačnou vrtulí je nutno použít dlouhé nohy hlavního podvozku, které se musí mít dle Mikuly minimální rozchod 25% rozpětí křídla  $\pm 9\%$ .

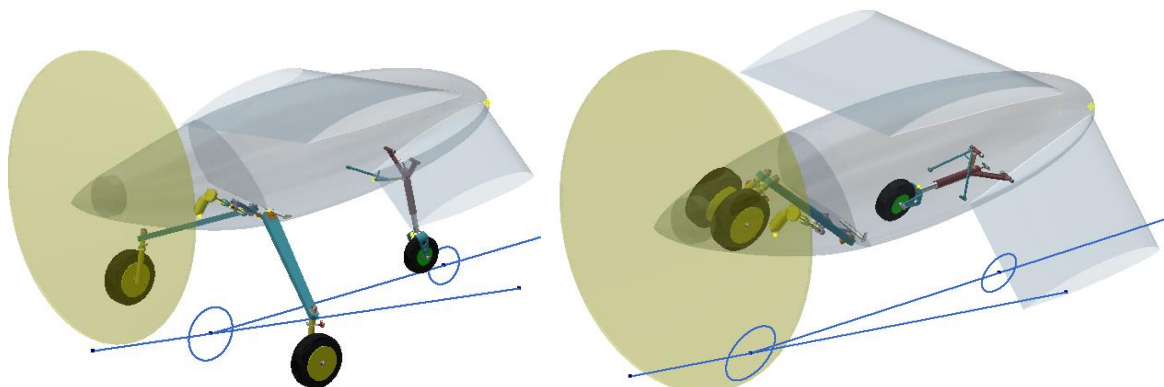
$$t = \frac{(25 - 9) \cdot l}{100} = \frac{(25 - 9) \cdot 10}{100} = 1,6 \text{ m}$$



Obrázek 11 – Varianta č. 1.

Dle modelu byla dosažena hodnota  $t = 1,2 \text{ m}$ , která nesplnila podmínku minimálního rozchodu a rovněž úhel výšky těžiště  $\tan\psi \cong 70^\circ$  přesáhl hodnotu úhlu výšky těžiště nad zemí  $\tan\psi = 63^\circ$ , která se považuje za bezpečnou.

### 5.3 Obrácený tricykl varianta č. 2



Obrázek 12 – Varianta č. 2.

Varianta č. 2 je vylepšením varianty č. 1 a to natáčením podvozkové nohy s kolem hlavního podvozku v pouzdře pružnice. Podařilo se lépe využít volný prostor za kabinou pilota. Varianta č. 1 byla limitována kolem hlavního podvozku, které se po zasunutí podvozku do trupu musí do prostoru vejít, protože po zasunutí podvozkové nohy, které probíhá okolo šikmého čepu, zároveň přetočí kolo o úhel  $87^\circ$  okolo podélné osy letadla. Pokud by nedošlo k natočení kola nebylo by možné podvozek zasunout do trupu.

### 5.4 Konečná varianta

Ze dvou konstrukčních řešení byla vybrána varianta č.2 obráceného tricyklu, protože nejlépe splnila požadavky stavebního předpisu UL-2 a rovněž splnila požadavky na geometrii podvozku, potažmo požadavky na stabilitu.

Dále pokračuje návrh pouze variantou č. 2 obráceného tricyklu. Mezi základní návrhové požadavky přistávacího zařízení patří požadavky na vzlet, přistání, obsluhu na zemi, minimální výška podvozku z důvodu nástupu a výstupu do kabiny letounu, a na stabilitu proti převržení. Kapitola 6.1 dle Heerense [10].

## 6. Stabilita

### 6.1 Stranová pozemní stabilita

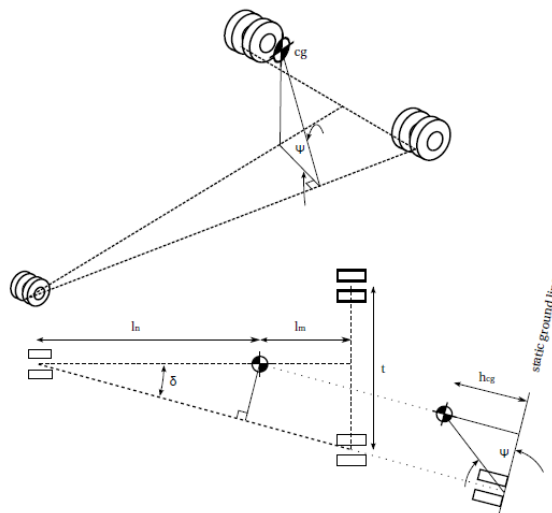
Přistání s bočním větrem, nebo obrat během jízdy vysokou rychlostí může způsobit boční náklon letounu o úhel  $\psi$ , který by měl být nižší než  $63^\circ$  dle Curreyho je roven

$$\tan\psi = \frac{h_{CG}}{l_n \sin\delta}$$

kde delta je vyjádřeno jako

$$\tan\delta = \frac{t}{2(l_m + l_n)}$$

Ve výše uvedených vztazích se nepřisuzuje předovému podvozku větší význam, a proto lze určit minimální rozchod ( $t$ ), který zabrání převržení letounu. Z důvodu zajištění stability při přistání platí další limit. Pokud stanovíme polohu předového kola jako neměnnou, je nutno



Obrázek 13 - Základní geometrie návrhu podvozku proti převržení.

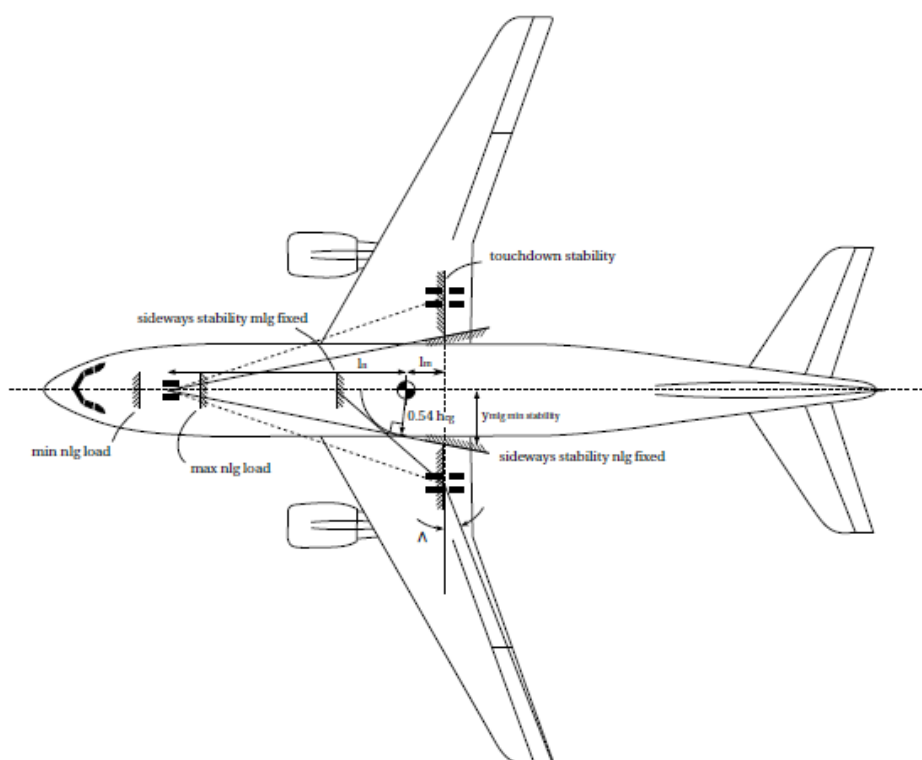
z těžiště vynést kružnici o poloměru  $0,54h_{CG}$  viz obrázek číslo 13 tento poloměr je doporučen dle Torenbecka. Následuje vynesení přímky z osy kola předového podvozku jako tangenty ke kružnici, která stanovuje minimální boční polohu nohy hlavního podvozku. Tuto hodnotu lze ovšem také stanovit analyticky dle vztahu:

$$y_{\min stab} = \tan \left[ \sin^{-1} \left( \frac{0,54 h_{CG}}{l_n} \right) \right] (l_m + l_n)$$

Pokud je předpoklad pevné pozice nohy hlavního podvozku lze stanovit polohu předového podvozku obráceným postupem, než je popsáno výše tj. vynesením tangenty z kružnice o poloměru  $0,54 h_{CG}$  směrem k podélné ose letounu tak, jak je zobrazeno na obrázku č. 13 a to vede na výsledek

$$\Delta = \tan^{-1} \left( \frac{l_m}{t/2} \right)$$

$$l_{n \min} = \tan \left[ \sin^{-1} \left( \frac{0,54 h_{CG}}{l_m \sin \Delta} \right) + \Delta \right] \left( \frac{t}{2} - l_m \right)$$



Obrázek 14 – Pohled shora na meze stability letounu a umístění podvozkových noh.

## 6.2 Kontrolní výpočet

Dle výše uvedených vztahů byl proveden návrh letounu, polohy podvozků byly odměřeny i Inventoru a je možno dosadit pro ověření návrhu:

**Úhel mezi kolem příďového a hlavního podvozku**

$$\tan \delta = \frac{t}{2(l_m + l_n)} = \frac{1612}{2(451 + 944)} = 30,02^\circ$$

**Úhel výšky těžiště**

$$\tan\psi = \frac{h_{CG}}{l_n \sin\delta} = \frac{717}{944 \cdot \sin 30,02} = 56,63^\circ \rightarrow \text{menší než } 63^\circ$$

**Poloha hlavního podvozku**

$$y_{\min \text{stab}} = \tan \left[ \sin^{-1} \left( \frac{0,54 h_{CG}}{l_n} \right) \right] (l_m + l_n) = \tan \left[ \sin^{-1} \left( \frac{0,54 \cdot 717}{944} \right) \right] (451 + 944)$$

$$y_{\min \text{stab}} = 627 \text{ mm} \rightarrow \text{odměřeno } 806 \text{ mm}$$

**Poloha předového podvozku**

$$\Delta = \tan^{-1} \left( \frac{l_m}{t/2} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{451}{806} \right) = 29,23^\circ \rightarrow 0,00977$$

$$l_{n \text{ min}} = \tan \left[ \sin^{-1} \left( \frac{0,54 h_{CG}}{l_m \sin \Delta} \right) + \Delta \right] \frac{t}{2} - l_m$$

$$l_{n \text{ min}} = \tan \left[ \sin^{-1} \left( \frac{0,54 \cdot 717}{451 \cdot \sin 29,23} \right) + 0,00977 \right] (806 - 451) = 822 \text{ mm}$$

$$l_{n \text{ min}} = \text{odměřeno } 944 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

**6.3 Diskuze výpočtu**

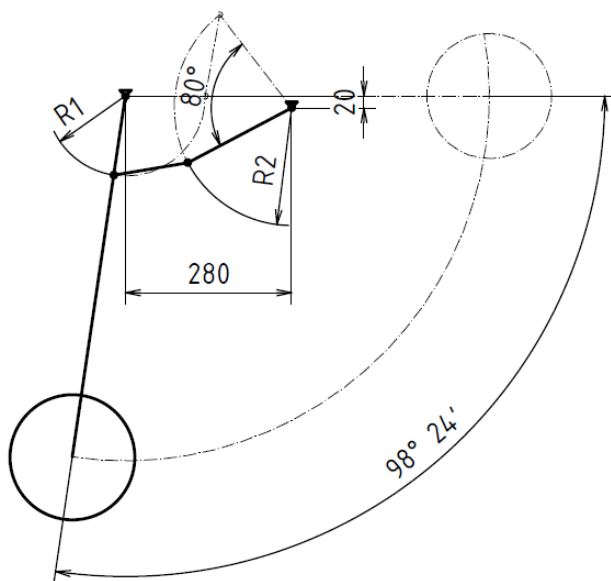
V kapitole 4 jsou popsány základní požadavky stability proti převržení, ve kterých je požadována hodnota úhlu  $\psi$  menší než  $63^\circ$ . Splnění této podmínky bylo ověřeno analyticky. Mikula uvádí ve skriptech, že tento úhel nesmí překročit  $60^\circ$  a i tato podmínka je splněna a je možné stanovit zatížení, které působí na podvozek. Ověřující výpočet byl proveden pouze k jedné poloze těžiště, protože navrhovaný letoun je sólo s jedním stále stejným pilotem a jedná se o UL letoun poháněný elektromotorem, který nespotřebovává letecký benzín jako palivo, nemá prostor pro zavazadla, takže změna polohy těžiště v během letu je způsobena pouze vybitím akumulátorů a tato hodnota byla při návrhu zanedbána.

V odstavci 5.1 je uveden úhel nastavení křídla, ale ten nepatří mezi parametry podvozku a je zde uveden pouze pro kompletnost problematiky návrhu podvozku.

## 7. Návrh kinematiky

### 7.1 Předový podvozek

Z důvodu výpočtu pozice předové podvozkové nohy byl dán jediný možný směr zatahování podvozku a to směrem vzad. Ve vysunuté pozici je podvozková noha natočena o  $8,35^\circ$  vpřed oproti svislici spuštěné ze závěsného kování v podvozkové šachtě ve špičce trupu. Podvozková noha má délku 600 mm bez předového kola a pohybuje se rotačním pohybem po trajektorii dané úhlem  $98^\circ 24'$ . Zlamovací vzpěra vykoná rotační pohyb a natočí se o úhel  $80^\circ$ . Průměr sestavy předového kola je 210 mm.

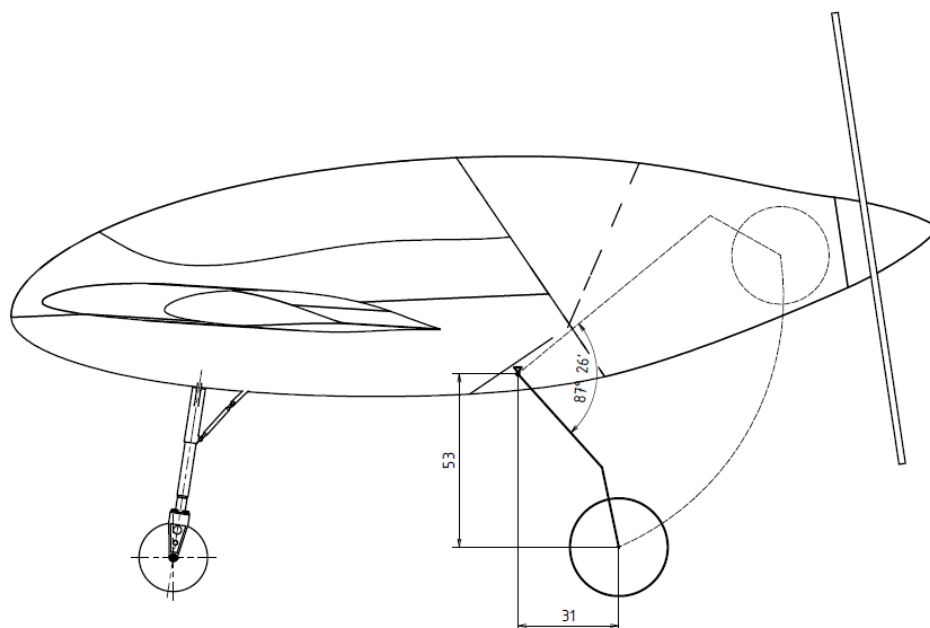


Obrázek 15 - Trajektorie zasouvání podvozku.

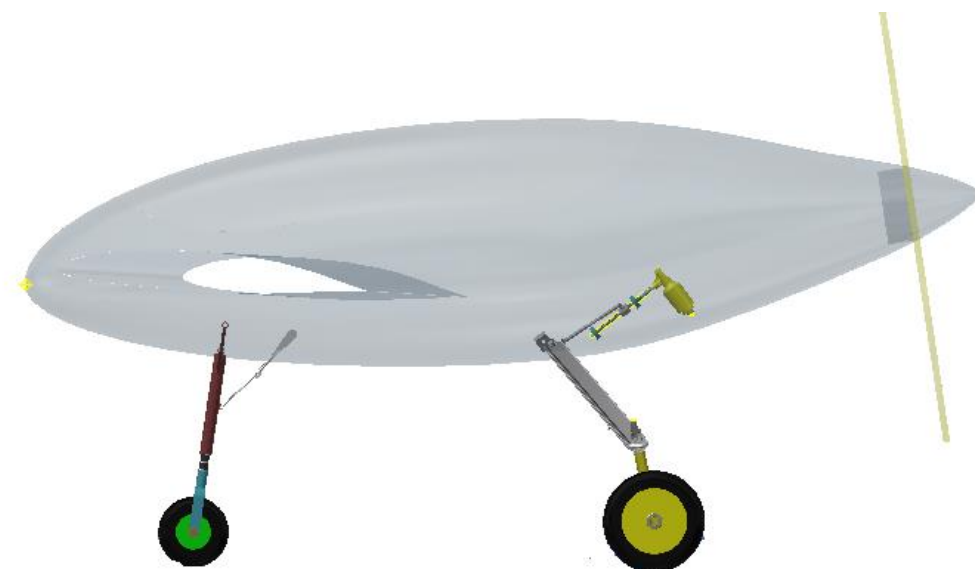
### 7.2 Hlavní podvozek

Kinematika hlavního podvozku je založena na otáčení nohy okolo šikmého čepu, který je skloněn ve směru podélné osy letounu horní stranou vpřed o úhel  $38^\circ$  a zároveň skloněn svojí spodní stranou k rovině souměrnosti letounu o úhel  $30^\circ$ . Pouze tato poloha šikmého čepu zajistí spolehlivé zatažení podvozkových noh do zadní části trupu do prostoru za pilotem. K pohonu hlavního podvozku slouží pohybový šroub, který je poháněn elektromotorem. Translační pohyb koná matice pohybového šroubu po dráze 74 mm. Pomocí táhla se převede translační pohyb matice pohybového šroubu na rotační a natočí podvozkovou nohu o úhel  $87,43^\circ$  v podélné rovině souměrnosti. Sestava pohybového šroubu svírá se šikmým čepem stejný úhel sklonu s podélnou rovinou letounu a to  $38^\circ$ . Po vysunutí podvozkových noh z trupu se provede následný rotační pohyb pomocí tlačnotážného teleflexu o úhel  $75^\circ$  pro srovnání kola s podélnou rovinou souměrnosti. Poloha kola se zajistí čepem, který se po

natočení kola vsune do pojišťovacího otvoru v podvozkové noze a je rovněž ovládán teleflexem z kabiny pilota.

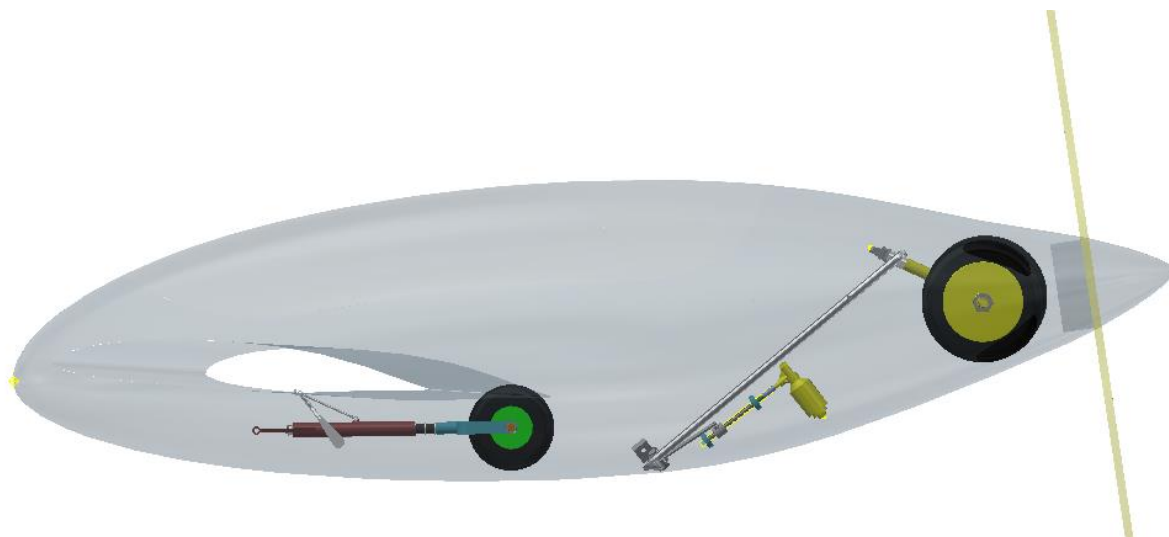


Obrázek 16 - Pohled na trajektorii v podélné ose.



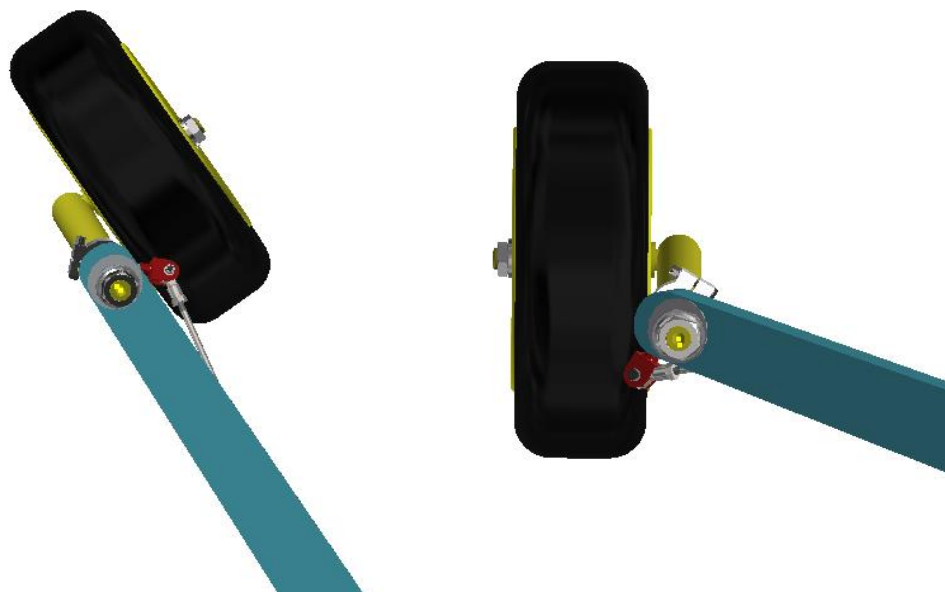
Obrázek 17 - Pohled na vysunutý podvozek.





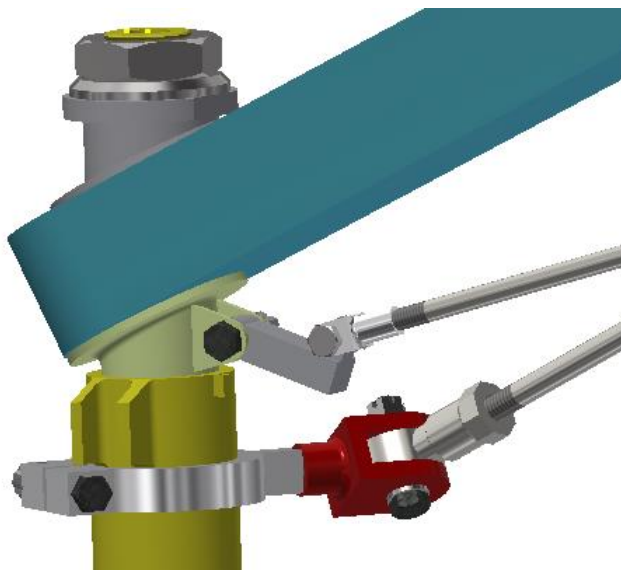
Obrázek 18 - Pohled na zasunutý podvozek

### 7.1.3 Natáčení kola hlavního podvozku



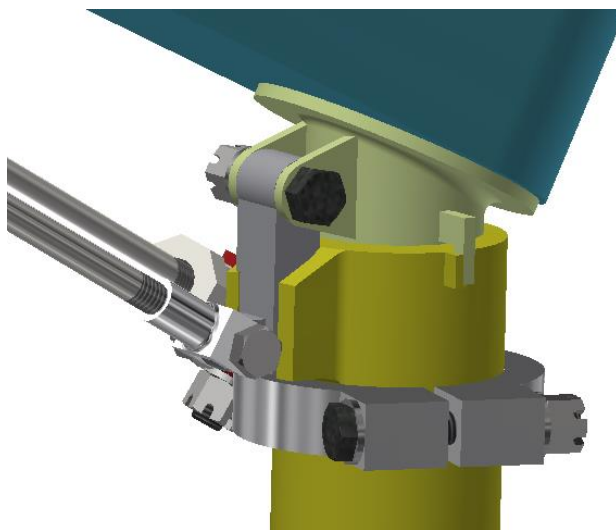
Obrázek 19 – Podvozková noha po vysunutí z trupu vlevo a po natočení do přistávací pozice vpravo.

Jak již bylo popsáno výše, z důvodu zástavbových a pro použité řešení vysouvání nohy hlavního podvozku otáčením okolo šikmého čepu dojde nejen k zasunutí/vysunutí podvozku, ale i k přetočení kola. Z prostorových důvodů bylo nutno přistoupit k natočení kola do polohy rovnoběžné s pružnicí viz obrázek č. 19 vlevo. Jedině tato pozice umožňuje zasunutí podvozku do podvozkové šachty, která se nachází za kabinou pilota. Natočení nohy



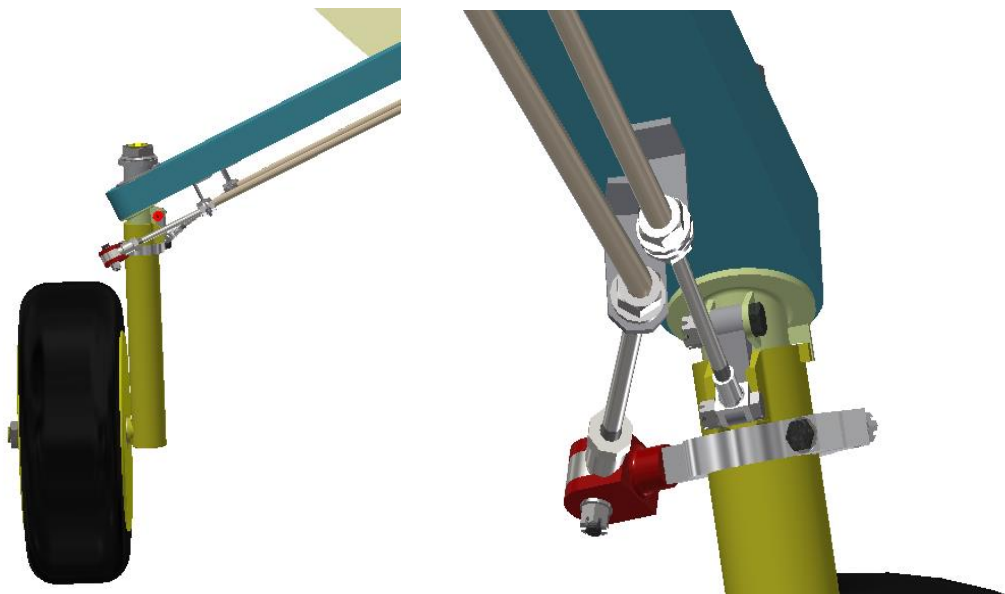
Obrázek 20 - Detail ovládní natáčená podvozkové nohy, pojistka je v poloze odjištěno.

svislé se provádí teleflexovými tažnotlačnými lankami. Tato lanka ovládá pilot z kabiny pákami. Nejprve je nutné odjistit podvozkovou nohu ze zamknuté pozice. To se provede pákou odjištění podvozku, která má na konci lanka připojenou pojistku. Po zatažení páky se přizvedne pojistka o úhel minimálně 60°. Na obrázku č. 20 je zobrazena nadzvednutá pojistka a podvozková noha je v letové pozici, která umožňuje zasouvání / vysouvání podvozku.



Obrázek 21 - Pojistka v poloze zajištěno.

Na obrázku č. 21 je pojistka v zajištěné pozemní pozici, která stabilizuje otočnou část podvozkové nohy a tím umožňuje starty a přistání, pohyb letounu po zemi. Na obrázku je vidět doraz polohy natáčení podvozkové nohy.



Obrázek 22 - Detailní pohled na ovládání natáčení podvozkové nohy.

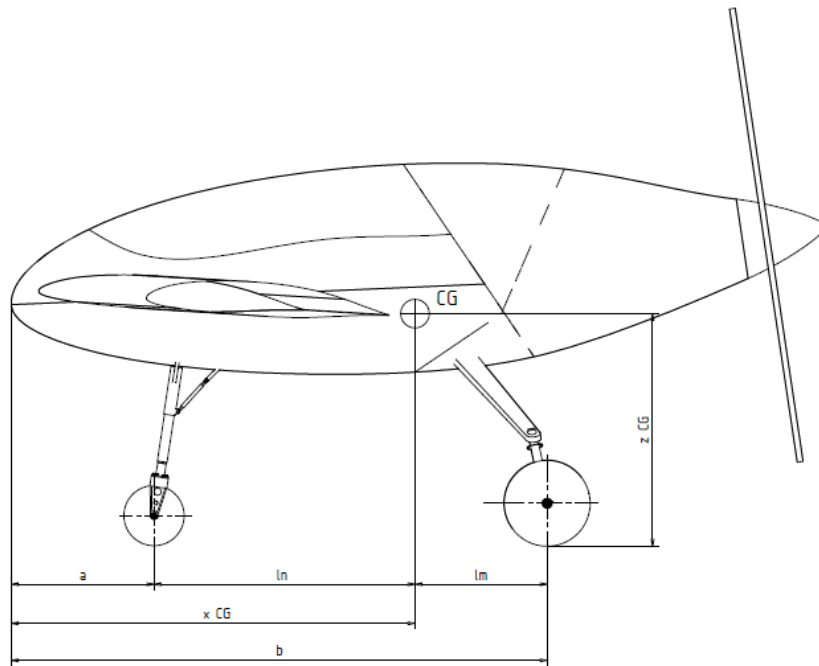
## 8. Rozbor zatížení působící na podvozek

Všechny řešené případy zatížení se vztahují pouze k jedné zadané poloze těžiště, protože uvažovaný letoun má elektrický pohon, tudíž změna polohy těžiště v čase během letu je minimální, protože při spotřebě elektrické energie z akumulátorů probíhají pouze elektrochemické procesy bez podstatného vlivu na hmotnost akumulátorů.

### 8.1 Vstupní parametry výpočtu

Parametr	Symbol	Hodnota	Jednotka
maximální vzletová hmotnost	m	250	kg
gravitační zrychlení	g	9,81	$m \cdot s^{-2}$
plocha křídla	S	8	m
rozpětí křídla	l	10	m
CG poloha těžiště-osa x	x	1,447 m	m
CG poloha těžiště-osa y	y	0	m
CG poloha těžiště-osa z	z	0,717	m
předový podvozek- SS osa x	a	0,503	m
předový podvozek- CG	ln	0,944	m
předový podvozek- SS osa y	e	0	m
hlavní podvozek- CG	lm	0,451	m
hlavní podvozek -SS osa x	b	1,898	m
hlavní podvozek -SS osa y	t/2	0,806	m
rozvor podvozku	ln+lm	1,395	m
rozchod podvozku	t	1,612	m

Tabulka 2 - Vstupní parametry výpočtu zatížení.



Obrázek 23 – Poloha podvozku.

## 8.2 Pozemní zatížení

Zatížení podvozku letounu kategorie UL 2 je v bodě C IX 2 požadováno:

- pro maximální návrhovou hmotnost  $m_{TOW} = 250 \text{ kg}$
- hodnota provozního násobku působícího v těžišti letounu nesmí být menší než hodnota násobku při přistání s klesací rychlostí dle vztahu:

$$v_y = 0,51 \cdot \sqrt[4]{\frac{m \cdot g}{s}}$$

a s omezením rychlosti klesání, která nemusí být větší než  $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  a nesmí být menší než  $1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Po dosazení:

$$v_y = 0,51 \cdot \sqrt[4]{\frac{250 \cdot 9,81}{8}} = 2,134 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Rychlost klesání  $v_y \in (1,5; 3)[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \rightarrow v_y = 2,134 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  vyhovuje

Pro zjednodušení je stanovena vztlaková síla  $F_L = \frac{2}{3} m_{TOW}$

Vztlaková síla  $F_L = \frac{2}{3} 250 \cdot 9,81 = 1635 \text{ N}$

- Provozní násobek v těžišti

$$n_{pr} = n_j + 0,67$$

$$n_j = \frac{0,0132 \cdot \sqrt{\frac{m \cdot g}{S}} + \frac{y}{3}}{y_{ef}}$$

$y(m)$ ...celková dráha tlumení nárazu  $y = y_{PN} + y_{TL}$

$y_{ef}$ ...součinitel účinnosti tlumení

$y_{ef} = 0,5 \cdot y_{PN} + 0,5 \cdot y_{TL}$ ...pro gumové nebo pružinové tlumiče

- Pokud je  $n_{pr} > 4$  je nutno kontrolovat uchycení všech soustředěných hmot na zatížení, které odpovídá vypočtenému  $n_{pr}$ .

Do výše uvedených vztahů dosadíme:

První odhad stlačení pružnice 0,134 m

$$y_{ef} = 0,5 \cdot y_{PN} + 0,5 \cdot y_{TL} = 0,5 \cdot 0,070 + 0,5 \cdot 0,134 = 0,102 \text{ m}$$

$$y = y_{PN} + y_{TL} = 0,070 + 0,134 = 0,204$$

$$n_j = \frac{0,0132 \cdot \sqrt{\frac{m \cdot g}{S}} + \frac{y}{3}}{y_{ef}} = \frac{0,0132 \cdot \sqrt{\frac{250 \cdot 9,81}{8}} + \frac{0,204}{3}}{0,102} = 2,93$$

$$n_{pr} = n_j + 0,667 = 2,93 + 0,67 = 3,6$$

Energie pohlcená tlumením

$$E = \frac{1}{2} m v_y^2 = \frac{1}{2} \cdot 250 \cdot 2,134^2 = 569,24 \text{ J}$$

Reakční síla v podvozkových nohách

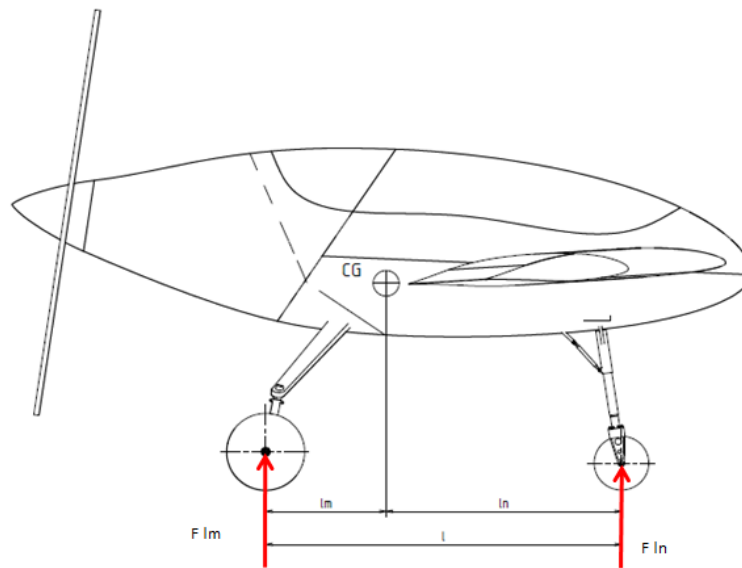
$$F_R = \frac{E}{y_{ef}} = \frac{569,24}{0,102} = 5581 \text{ N}$$

Násobek v těžišti letounu

$$n_T = \frac{F_R}{m_{TOW}} = \frac{5581}{250 \cdot 9,81} = 2,27$$

Hodnota násobku při přistání s vypočtenou klesací rychlostí je 2,27 a hodnota provozního násobku byla vypočtena  $n_{pr} = 3,6$ . Tímto je splněn požadavek předpisu UL 2 je v bodě C IX 2.

### 7.2.1 Zatížení při stání na zemi



Obrázek 24 - Pozemní zatížení.

Podvozek je zatížen pouze vlastní hmotností a velikost reakcí je dána vzdáleností jednotlivých podvozkových noh od těžiště, reakční síly jsou vyvozeny ve svislém směru, provozní násobek  $n_{pr} = 1$ .

Přídový podvozek je namáhán silou:

$$F_{ln} = m_{TOW} \cdot g \cdot \frac{l_m}{l} = 250 \cdot 9,81 \cdot \frac{451}{1395} = 793 \text{ N}$$

Noha hlavního podvozku je namáhána silou:

$$F_{lm} = \frac{1}{2} \cdot m_{TOW} \cdot g \cdot \frac{l_n}{l} = \frac{1}{2} \cdot 250 \cdot 9,81 \cdot \frac{944}{1395} = 830 \text{ N}$$

### 8.3 Přistávací podmínky

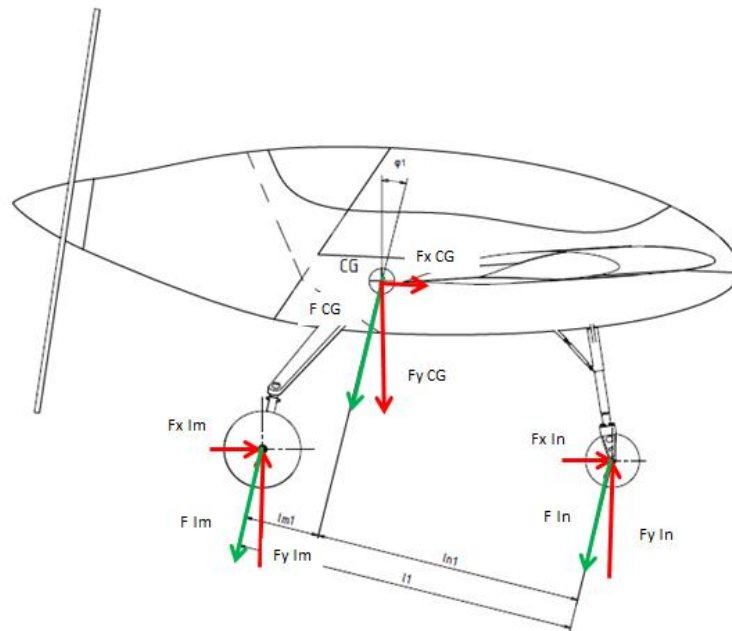
Pro podvozek s příďovým kolem jsou v příloze II ve stavebním předpise jmenovány následující základní případy zatížení:

Předpoklad přistání	vodorovné přistání		Přistání s velkým úhlem náběhu
	se skloněnými reakcemi	s příďovým kolem nad zemí	
Svislá složka síly v těžišti letounu	$n_{pr} \cdot m_{TOW} \cdot g$	$n_{pr} \cdot m_{TOW} \cdot g$	$n_{pr} \cdot m_{TOW} \cdot g$
Vodorovná složka síly v těžišti letounu	$0,25 \cdot n_{pr} \cdot m_{TOW} \cdot g$	$0,25 \cdot n_{pr} \cdot m_{TOW} \cdot g$	0
Svislá složka síly na kola hl. podvozku	$(n_{pr} - 0,667)m_{TOW} \cdot g \cdot \frac{a_1}{d_1}$	$(n_{pr} - 0,667)m_{TOW} \cdot g$	$(n_{pr} - 0,667)m_{TOW} \cdot g$
Vodorovná složka síly na kola hl. podvozku	$0,25 \cdot n_{pr} \cdot m_{TOW} \cdot g \cdot \frac{a_1}{d_1}$	$0,25 \cdot n_{pr} \cdot m \cdot g$	0
Svislá složka síly na příďové kolo	$(n_{pr} - 0,667)m_{TOW} \cdot g \cdot \frac{b_1}{d_1}$	0	0
Vodorovná složka síly na příďové kolo	$0,25 \cdot n_{pr} \cdot m_{TOW} \cdot g \cdot \frac{b_1}{d_1}$	0	0

Tabulka 3 - Příloha II. dle UL2-část II.



### 8.3.1 Vodorovné přistání na tři body



Obrázek 25 - Síly při přistání na tři body.

Je to zatěžovací případ, ve kterém se uvažuje, že se všechna kola podvozkových noh dotknou země současně.

Síly v těžišti letounu složkově:

$$F_{xCG} = 0,25 \cdot n_{pr} \cdot m_{TOW} \cdot g = 0,25 \cdot 3,6 \cdot 250 \cdot 9,81 = 2207,25 \text{ N}$$

$$F_{yCG} = n_{pr} \cdot m_{TOW} \cdot g = 3,6 \cdot 250 \cdot 9,81 = 8829 \text{ N}$$

$$\varphi_1 = \arctg \frac{F_{xCG}}{F_{yCG}} = \arctg \left( \frac{2207,25}{8829} \right) = 14,036^\circ$$

Přepočet ramen k úhlu  $\varphi_1$ :

$$l_{n1} = l_n \cdot \cos \varphi_1 = 944 \cdot \cos 14,036^\circ = 916 \text{ mm}$$

$$l_{m1} = l_m \cdot \cos \varphi_1 = 451 \cdot \cos 14,036^\circ = 438 \text{ mm}$$

$$l_1 = l \cdot \cos \varphi_1 = 1395 \cdot \cos 14,036^\circ = 1353 \text{ mm}$$

Síly na kolech hlavního podvozku letounu složkově:

$$F_{xlm} = 0,25 \cdot n_{pr} \cdot m_{TOW} \cdot g \cdot \frac{l_{n1}}{l_1} = 0,25 \cdot 3,6 \cdot 250 \cdot 9,81 \cdot \frac{916}{1353} = 1494,34 \text{ N}$$

$$F_{ylm} = (n_{pr} - 0,667)m_{TOW} \cdot g \cdot \frac{l_{n1}}{l_1} = (3,6 - 0,667) \cdot 250 \cdot 9,81 \cdot \frac{916}{1353} = 4869,89 \text{ N}$$

Síly na jednom kole hlavního podvozku složkově:

$$F_x = \frac{1}{2} \cdot F_{xlm} = \frac{1}{2} \cdot 1494,34 = 747,17 \text{ N}$$

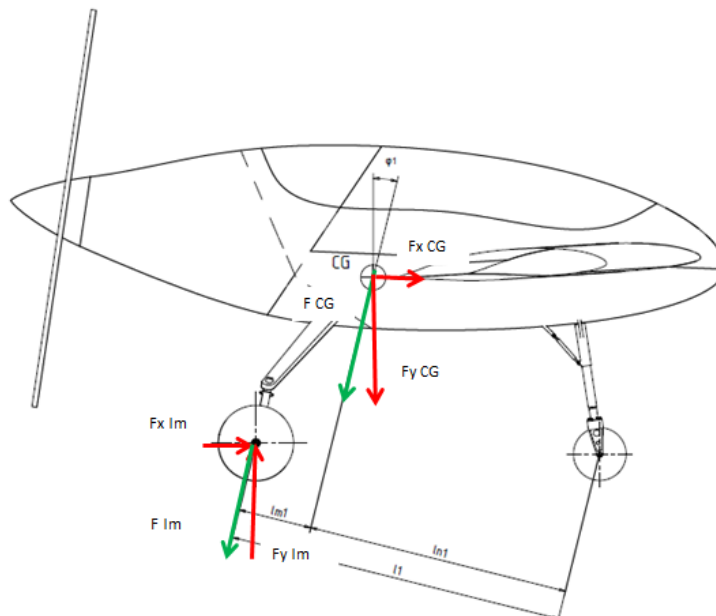
$$F_y = \frac{1}{2} \cdot F_{ylm} = \frac{1}{2} \cdot 4869,89 = 2434,95 \text{ N}$$

Síly na kole předového podvozku letounu složkově:

$$F_{xln} = 0,25 \cdot n_{pr} \cdot m \cdot g \cdot \frac{l_{m1}}{l_1} = 0,25 \cdot 3,6 \cdot 250 \cdot 9,81 \cdot \frac{438}{1353} = 714,54 \text{ N}$$

$$F_{yln} = (n_{pr} - 0,667)m \cdot g \cdot \frac{l_{m1}}{l_1} = (3,6 - 0,67) \cdot 250 \cdot 9,81 \cdot \frac{438}{1353} = 2328,61 \text{ N}$$

### 8.3.2 Vodorovné přistání s předovým kolem nad zemí



Obrázek 26 - Předové kolo nad zemí.

Jedná se o zatěžovací případ, kdy přistávací ráz pohltní pouze nohy hlavního podvozku. Kolo předového podvozku je těsně nad zemí a nepůsobí na něj síly při přistání.

Síly v těžišti letounu složkově:

$$F_{xCG} = 0,25 \cdot n_{pr} \cdot m \cdot g = 0,25 \cdot 3,6 \cdot 250 \cdot 9,81 = 2207,25 \text{ N}$$

$$F_{yCG} = n_{pr} \cdot m \cdot g = 3,6 \cdot 250 \cdot 9,81 = 8829 \text{ N}$$

Síly na kolech hlavního podvozku letounu složkově:

$$F_{xlm} = 0,25 \cdot n_{pr} \cdot m_{TOW} \cdot g = 0,25 \cdot 3,6 \cdot 250 \cdot 9,81 = 2207,25 \text{ N}$$

$$F_{ylm} = (n_{pr} - 0,667) m_{TOW} \cdot g = (3,6 - 0,667) \cdot 250 \cdot 9,81 = 7193,18 \text{ N}$$

Síly na jednom kole:

$$F_x = \frac{1}{2} \cdot F_{xlm} = \frac{1}{2} \cdot 2207,25 = 1103,63 \text{ N}$$

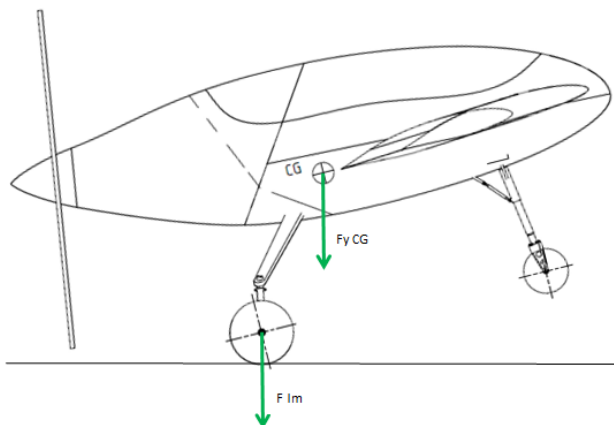
$$F_y = \frac{1}{2} \cdot F_{ylm} = \frac{1}{2} \cdot 7193,18 = 3596,59 \text{ N}$$

Síly na kole předového podvozku letounu složkově:

$$F_{xln} = 0 \text{ N}$$

$$F_{yln} = 0 \text{ N}$$

### 8.3.3 Přistání s velkým úhlem náběhu



Obrázek 27 - Přistání s velkým úhlem náběhu.

Tento zatěžovací případ je také bez zatížení předového podvozku. Přistávací ráz přenáší pouze hlavní podvozek, neuvažují se vodorovné složky sil.

Svislá složka síly v těžišti letounu:

$$F_{xCG} = 0 \text{ N}$$

$$F_{yCG} = n_{pr} \cdot m \cdot g = 3,6 \cdot 250 \cdot 9,81 = 8829 \text{ N}$$

Svislá složka síly na kola hlavního podvozku letounu:

$$F_{xlm} = 0 \text{ N}$$

$$F_{ylm} = (n_{pr} - 0,667)m_{TOW} \cdot g = (3,6 - 0,667) \cdot 250 \cdot 9,81 = 7193,18 \text{ N}$$

Síly na jednom kole:

$$F_x = 0 \text{ N}$$

$$F_y = \frac{1}{2} \cdot F_{ylm} = \frac{1}{2} \cdot 7193,18 = 3596,59 \text{ N}$$

Síly na kole předového podvozku letounu složkově:

$$F_{xln} = 0 \text{ N}$$

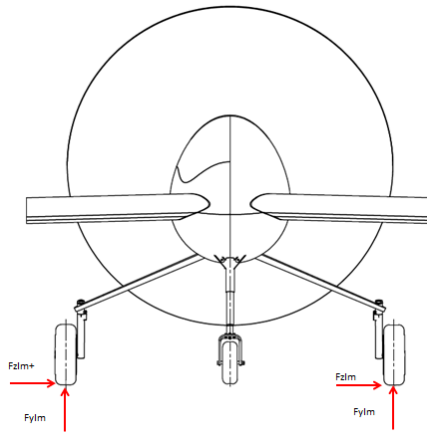
$$F_{yln} = 0 \text{ N}$$

### 8.3.4 Boční zatížení kol hlavního podvozku

#### Požadavky předpisu:

Při určení bočního zatížení podvozku se předpokládá, že se letoun nachází ve vodorovné poloze, kola hlavního podvozku se dotýkají země a

- V těžišti letounu působí síla, která se rovná 1,34 násobku maximální tíhy letounu  $G$ , která je rovnoměrně rozdělena na hlavní kola
- Provozní boční setrvačné síly o velikosti  $0,83G$  v těžišti letounu jsou rozdělena mezi kola hlavního podvozku tak, že:
  - $0,5 \text{ G}$  působí na jedné straně směrem ke trupu
  - $0,33 \text{ G}$  působí na druhé straně od trupu



Obrázek 28 - Boční zatížení hlavního podvozku.

#### Výpočet:

Síly v předřevém podvozku:

Vodorovný směr

$$F_{xln} = 0 \text{ N}$$

Svislý směr

$$F_{yln} = 0 \text{ N}$$

Síly v hlavním podvozku na jednom kole:

Svislý směr

$$F_{y'lm} = 1,34 \cdot m_{TOW} \cdot g \cdot \frac{1}{2} = 1,34 \cdot 250 \cdot 9,81 \cdot \frac{1}{2} = 1643,18 \text{ N}$$

Vodorovný směr

$$F_{x'lm} = 0 \text{ N}$$

Boční síla k trupu

$$F_{z'lm} = 0,5 \cdot m_{TOW} \cdot g = 0,5 \cdot 250 \cdot 9,81 = 1226,25 \text{ N}$$

Boční síla od trupu

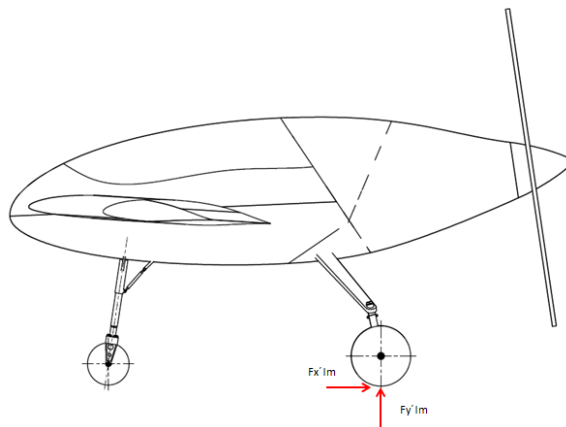
$$F_{z'lm} = 0,33 \cdot m_{TOW} \cdot g = 0,33 \cdot 250 \cdot 9,81 = 809,33 \text{ N}$$

### 8.3.5 Zatížení kol při brždění

#### Požadavky předpisu:

Musí být prokázáno, že bržděná kola podvozku s pneumatikami a tlumiči ve statické poloze vyhoví zatížení, kdy

- Svislé provozní zatížení na jedno kolo je 0,67 G
- Vodorovné provozní zatížení v místě dotyku kola se zemí je 0,54 G směrem dozadu



Obrázek 29 - Dodatečné zatížení při brždění.

#### Výpočet:

#### Vodorovné přistání na tři body:

Síly ve svislém směru

$$F_y = n \cdot m_{TOW} \cdot g = 1,34 \cdot 250 \cdot 9,81 = 3286,35 \text{ N}$$

Síly ve vodorovném směru

$$F_x = 0,54 \cdot n \cdot m_{TOW} \cdot g = 0,54 \cdot 1,34 \cdot 250 \cdot 9,81 = 1774,63 \text{ N}$$

Úhel sklonu síly

$$\varphi_1 = \arctg \frac{F_x}{F_y} = \arctg \left( \frac{1774,63}{3286,35} \right) = 28,37^\circ$$

Přepočítání ramen k úhlu  $\varphi_1$ :

$$l_{n1} = l_n \cdot \cos \varphi_1 = 944 \cdot \cos 14,036^\circ = 916 \text{ mm}$$

$$l_{m1} = l_m \cdot \cos \varphi_1 = 451 \cdot \cos 14,036^\circ = 438 \text{ mm}$$

$$l_1 = l \cdot \cos \varphi_1 = 1395 \cdot \cos 14,036^\circ = 1353 \text{ mm}$$

**Síly v jednom hlavním podvozku**

Svislý směr

$$F_{y'lm} = \frac{1}{2} \cdot F_y \cdot \frac{l_{n1}}{l_1} = \frac{1}{2} \cdot 3286,35 \cdot \frac{916}{1353} = 1112,45 \text{ N}$$

Vodorovný směr

$$F_{x'lm} = 0,54 \cdot F_{y'lm} = 0,54 \cdot 1112,45 = 600,72 \text{ N}$$

**Příd'ový podvozek těsně nad zemí:**

Síly ve svislém směru

$$F_y = n \cdot m_{TOW} \cdot g = 1,34 \cdot 250 \cdot 9,81 = 3286,35 \text{ N}$$

Síly ve vodorovném směru

$$F_x = 0,54 \cdot n \cdot m_{TOW} \cdot g = 0,54 \cdot 1,34 \cdot 250 \cdot 9,81 = 1774,63 \text{ N}$$

Úhel sklonu síly

$$\varphi_1 = \arctg \frac{F_x}{F_y} = \arctg \left( \frac{1774,63}{3286,35} \right) = 28,37^\circ$$

### Síly v příďovém podvozku

Svislý směr

$$F_{y'PP} = 0 \text{ N}$$

Vodorovný směr

$$F_{x'PP} = 0 \text{ N}$$

### Síly v jednom hlavním podvozku

Svislý směr

$$F_{y'lm} = \frac{1}{2} n \cdot m_{TOW} \cdot g = \frac{1}{2} \cdot 1,34 \cdot 250 \cdot 9,81 = 1643,18 \text{ N}$$

Vodorovný směr

$$F_{x'lm} = 0,54 \cdot F_{y'HP} = 0,54 \cdot 1643,18 = 887,32 \text{ N}$$

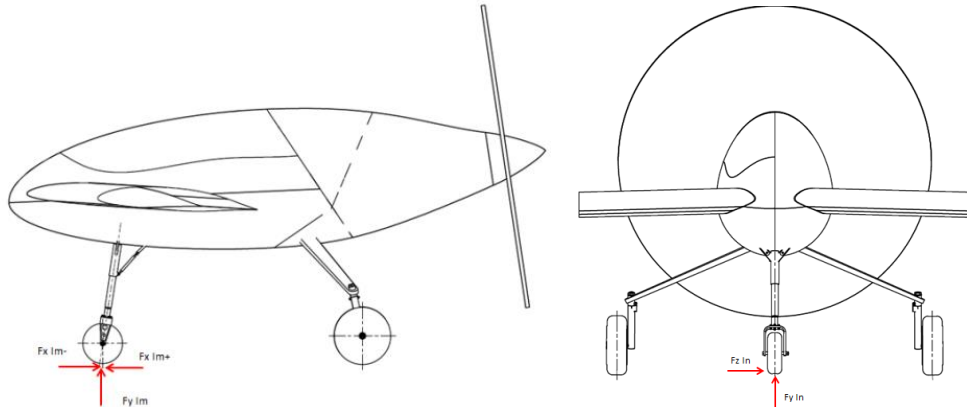
### 8.3.6 Dodatečné zatížení příďového podvozku

Pro určení pozemního zatížení příďového podvozku a jeho uchycení musí být za předpokladu, že stlačení tlumících prvků a pneumatik odpovídá statickým reakcím na podvozcích např při stání na zemi, musí být splněny následující podmínky:

- a. Pro výsledné zatížení působícího dozadu musí mít složky síly působící v ose následující velikost:
  1. Svislá složka odpovídá 2,25 násobku hodnoty statického zatížení kola a
  2. Odporová složka odpovídá 0,8 násobku svislého zatížení
- b. Pro výsledné zatížení působící dopředu musí mít složky síly působící v ose následující velikost:
  1. Svislá složka odpovídá 2,25 násobku hodnoty statického zatížení kola a
  2. Směrem dopředu orientovaná složka odpovídá 0,4 násobku svislého zatížení
- c. Pro zatížení s boční složkou musí mít provozní složky sil v bodě dotyku se zemí následující velikost:



1. Svislá složka odpovídá 2,25 násobku hodnoty statického zatížení kola a
2. Boční složka zatížení odpovídá 0,7 násobku svislého zatížení



Obrázek 30 - Síly v předovém podvozku.

### Síly v předovém podvozku

Svislý směr

$$F_{yln} = 2,25 \cdot m_{TOW} \cdot g \cdot \frac{l_{m1}}{l_1} = 2,25 \cdot 250 \cdot 9,81 \cdot \frac{438}{1353} = 1786,36 \text{ N}$$

Vodorovný směr vzad

$$F_{xln-} = 0,8 \cdot m_{TOW} \cdot g \cdot \frac{l_{m1}}{l_1} = 0,8 \cdot 250 \cdot 9,81 \cdot \frac{438}{1353} = 635,15 \text{ N}$$

Vodorovný směr vpřed

$$F_{xln+} = 0,4 \cdot m_{TOW} \cdot g \cdot \frac{l_{m1}}{l_1} = 0,4 \cdot 250 \cdot 9,81 \cdot \frac{438}{1353} = 317,57 \text{ N}$$

Boční směr

$$F_{zln} = 0,7 \cdot m_{TOW} \cdot g \cdot \frac{l_{m1}}{l_1} = 0,7 \cdot 250 \cdot 9,81 \cdot \frac{438}{1353} = 555,75 \text{ N}$$

## 8.4 Výsledné zatížení

Vypočtené hodnoty pro všechny případy provozního zatížení byly vloženy do tabulky č. 4. Početní zatížení je stanoveno z provozního zatížení vynásobené součinitelem bezpečnosti  $f = 1,5$ , hodnoty jsou v tabulce č.5. V předpisu UL 2 1. Část v kapitole C Pevnost není pro podvozek uveden další zvyšující součinitel.

PROVOZNÍ ZATÍŽENÍ						
Zatěžovací případ	Zatížení hlavního podvozku v osách			Zatížení příďového podvozku v osách		
	x	y	z	x	y	z
Vodorovné na tři kola	747,17	2434,950	0	714,54	2328,61	0
Příďový podv. těsně nad zemí	1103,630	3596,59	0	0	0	0
Velký úhel náběhu	0	3596,59	0	0	0	0
Boční zatížení	0	1643,18	1226,25	0	0	0
	0	1643,18	809,33	0	0	0
Brzdění při přistání	600,72	1112,45	0	574,49	1063,87	0
	887,32	1643,18	0	0	0	0
Dodatečné zatížení	0	0	0	635,15	1786,36	0
	0	0	0	317,57	0	555,75
Maxima zatížení	1103,630	3596,59	1226,25	714,54	2328,61	555,75

Tabulka 4 - Provozní zatížení podvozku.

POČETNÍ ZATÍŽENÍ						
Zatěžovací případ	Zatížení hlavního podvozku v osách			Zatížení příďového podvozku v osách		
	x	y	z	x	y	z
Vodorovné na tři kola	1120,755	3652,425	0	1071,81	3492,915	0
Příďový podv. těsně nad zemí	1655,445	5394,885	0	0	0	0
Velký úhel náběhu	0	5394,885	0	0	0	0
Boční zatížení	0	2464,77	1839,375	0	0	0
	0	2464,77	1213,995	0	0	0
Brzdění při přistání	901,08	1668,675	0	861,735	1595,805	0
	1330,98	2464,77	0	0	0	0
Dodatečné zatížení	0	0	0	952,725	2679,54	0
	0	0	0	476,355	0	833,625
Maxima zatížení	1655,445	5394,885	1839,375	1071,81	3492,915	833,625

Tabulka 5 - Početní zatížení.

## 9. Konstrukce podvozku

### 9.1 Příďový podvozek

Příďový podvozek byl z důvodu konstrukce UL letounu jako samokřídla a tím vzniklých prostorů pro vlastní zástavbu přistávacího zařízení, navržen jako zatahovací směrem vzad. Konstrukce příďového podvozku se skládá z následujících částí:

- Příďové kolo
- Vidlice nohy
- Válec nohy
- Gumový tlumič
- Zlamovací vzpěra
- Pohon

#### 9.1.1 Příďové kolo

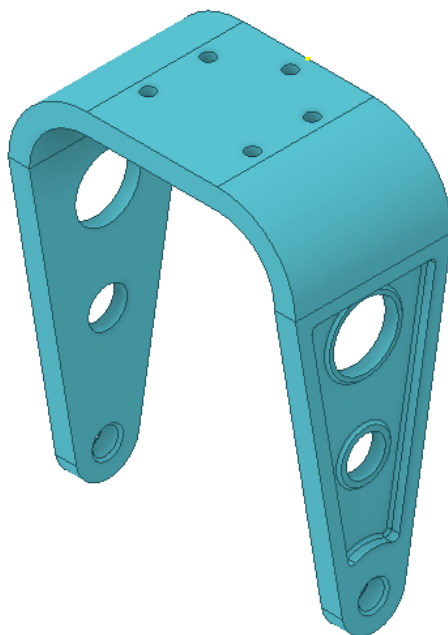
Příďové kolo je rozměru 210x65 mm, které je zakoupeno [11] jako sestava Disku rozměr 210x65 s ložiskem průměr otvoru 10mm, hmotnost vlastního disku je 0,35 kg. Duše 2,50-3 se zahnutým ventilkem a pneumatiky 210x65, která má hmotnost 0,045kg. Hmotnost sestavy kola je 0,84kg. Sestava příďového kola neobsahuje brzdu.



Obrázek 31 - Sestava příďového kola.

### 9.1.2 Vidlice nohy

Vidlice nohy předového podvozku byla navržena z neplátované desky, hliníková slitina 7075. Po tváření následuje tepelné zpracování na stav T6 (rozpuštěcí žíhání, kalení a umělé stárnutí), jmenovitá tloušťka 8 mm, jenž má mez pevnosti v tahu 572 MPa, mez kluzu 503 MPa, mez únavy 159 MPa, při 500 mil. cyklů. Hmotnost vidlice činí 0,385 kg.



Obrázek 32 -Vidlice předového podvozku.

### 9.1.3 Sestava kola ve vidlici

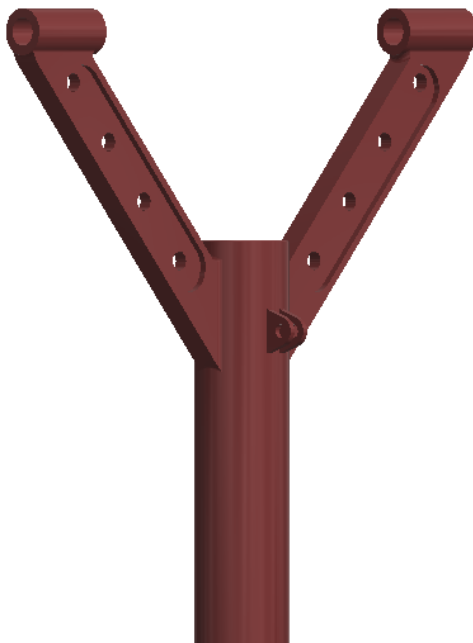


Obrázek 33 -Montáž kola do vidlice.

Kolo předového podvozku je upevněno ve vidlici pomocí svorníku M10x125 mm, podložka 10 a korunová matice M10. Šroubový spoj je zajištěn závlačkou. Středění kola ve vidlici je dosaženo pomocí dvou distančních vložek z hliníkové slitiny o vnějším průměru 15mm.

### 9.1.4 Válec předové nohy

Válec předové nohy je navržen z trubky TR  $\varnothing 40 \times 3$ , hliníková slitina 7075 T6. K válci jsou přivařeny bočnice, ve kterých jsou namontována pouzdra pro uchycení podvozkové nohy do podvozkové šachty. Uvnitř pouzder jsou nalisovány bronzové vložky z důvodu snížení tření při vysouvání a zasouvání podvozku. Na válci jsou přivařena dvě oka pro uchycení zlamovací vzpěry. Hmotnost válce je 0,364 kg.

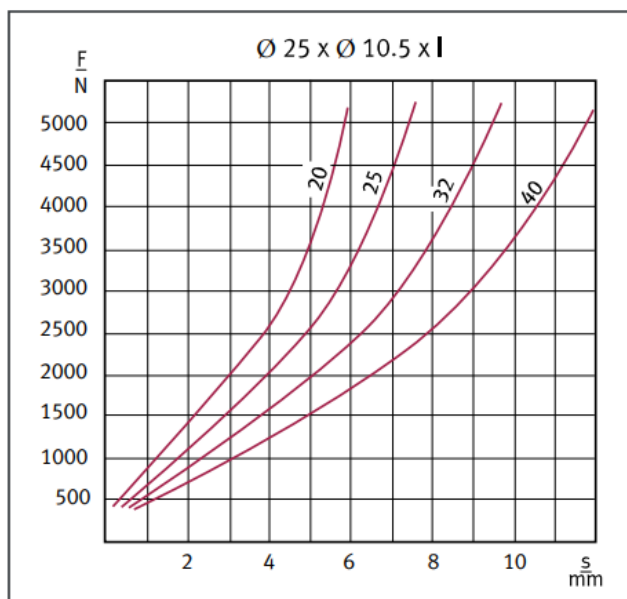


Obrázek 34 – Válec nohy předového podvozku

### 9.1.5 Gumový tlumič

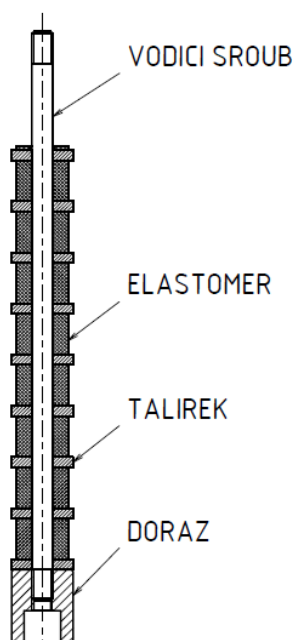
V systému tlumení předového podvozku je použit tlumič s gumovou pružinou, který je složen z osmi elastomerových válečků EFFBE U90, Shore A vyrobených dle normy DIN ISO 10069-2. Elastomery mají průměr 25mm a délku  $l = 20\text{mm}$ . Mezi elastomery jsou vloženy AL talířky o průměru 30 mm, tloušťka talířku je 5 mm. Stlačení jednoho elastomeru o průměru 25 mm je zobrazeno na obrázku č. 27, který je zatížen silou  $F_{yPP} = 3614\text{ N}$  je cca 5 mm. Celkové stlačení tlumiče po zatížení výše uvedenou silou je vyjádřen jako součet stlačení jednotlivých elastomerů:

$$\sum n_i \cdot \Delta l_i = 8 \cdot 5 = 40\text{ mm}$$



Obrázek 35 - Stlačení elastomeru v závislosti na síle.

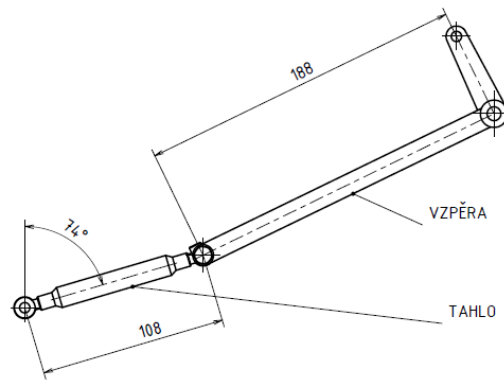
Talířky a elastomery jsou vloženy na vodícím šroubu M10 z oceli L-ROL (třídy 14 331), délka šroubu je 278 mm. Šroub je ze spodní strany namontován do dorazu z hliníkové slitiny 7075 T6 polotovar KR 30x50. Doraz je přišroubován k vidlici pěti šrouby M5x18 z oceli L-ROL (třídy 14 331). Sestava tlumiče je vložena do válce. Na druhém konci vodícího šroubu je upevněno vahadlo řízení. Viz obrázek č. 28. Hmotnost sestavy tlumiče je 0,579 kg.



Obrázek 36 - Řez tlumičem.



### 9.1.6 Zlamovací vzpěra

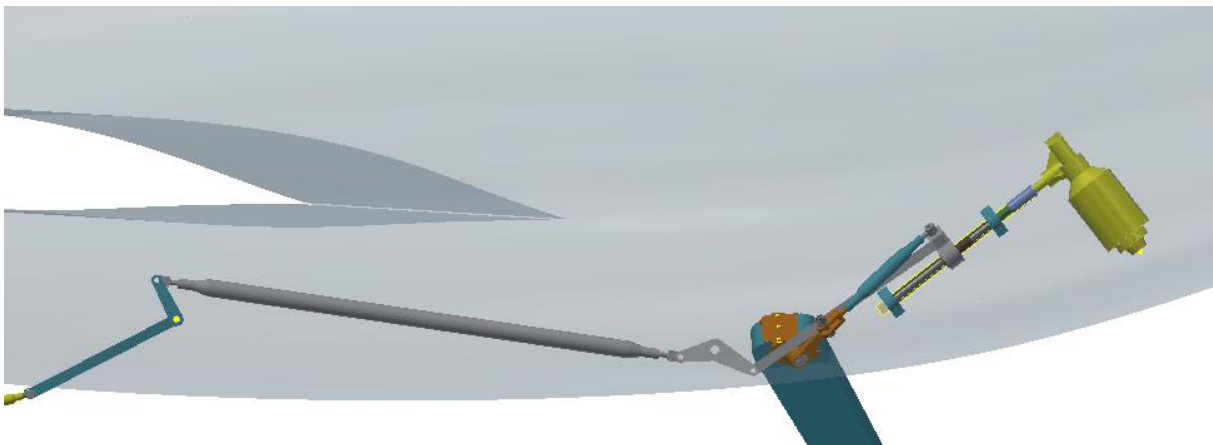


Obrázek 37 - Sestava zlamovací vzpěry.

Sestava zlamovací vzpěry se skládá z táhla zlamovací vzpěry a ze vzpěry. Vzpěra je svařenec z hliníkové slitiny 6061 T6, polotovaru TR  $\varnothing$  12x1. Vzdálenost středů od vzpěry je 188 mm. Táhlo zlamovací vzpěry je nýtovaná sestava dvou ok a trubky táhla. Vzdálenost středů ok táhla je 108 mm. Hmotnost sestavy je 0,096kg.

### 9.1.7 Pohon

Příďový podvozek je vysouván a zasouván pomocí zlamovací vzpěry. Na zlamovací vzpěře je umístěna páka, na kterou působí táhlo, které převádí translační pohyb z pohybového šroubu ovládání hlavního podvozku. Na obou koncích dráhy pohybu zlamovací vzpěry příďového podvozku jsou koncové spínače, které signalizují na palubní desce polohu příďového podvozku. Zlamovací vzpěra koná rotační pohyb po dráze  $80^\circ$ .



Obrázek 38 – Pohon ovládání příďového podvozku táhlem.

## 9.2 Hlavní podvozek

Prostor pro hlavní podvozek, z důvodu konstrukce UL letounu jako samokřídla s tlačnou vrtulí umístěnou v zadní části trupu, byl pevně dán a to za kabinou pilota. Z důvodu zužujícího se proudnicového tvaru trupu je nutno kola hlavního podvozku natočit rovnoběžně s podélnou osou letadla.

Konstrukce hlavního podvozku se skládá z následujících částí:

- Kolo hlavního podvozku
- Brzdy
- Noha svislá
- Pružnice nohy
- Zlamovací vzpěra
- Pohon

### 9.2.1 Kolo hlavního podvozku

Kola hlavního podvozku mají rozměr 300x100. Sestava kola obsahuje disk kola 300x100, hmotnost disku je 0,95 kg. Pneumatika 12x4, index 28J. Duši 300x100. Součástí sestavy je také bubnová brzda, instalovaná uvnitř disku. Lankem je ovládán brzdový klíč, jehož vychýlením je vyvoláno tření, mezi třecími segmenty a diskem kola. Kolo obsahuje i ložiska pro hřídel o průměru 17 mm. Hmotnost sestavy kola je 2,75 kg. Kola se nevyrábí, budou zakoupena[11].



Obrázek 39 - Kolo hlavního podvozku.

### 9.2.2 Brzdy

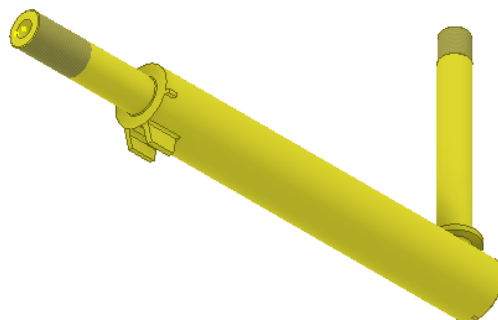
Ovládání klíčů bubnových brzd se provádí brzdovými lankami. Lanka jsou v kabině pilota uchycena k pedálům nožního řízení. Stlačením pedálů se lanko napne a natočí brzdový klíč. To způsobí dosednutí brzdových segmentů na třecí plochu disku kola a výsledným třením se vyvolá brzdový účinek.



Obrázek 40 - Bubnová brzda[11].

### 9.2.3 Noha svislá

Je vyrobena z hliníkové slitiny 7075 Tato část podvozku obsahuje hřídel kola hlavního podvozku a v horní části je přišroubována k pružnici podvozku. Z důvodu zasunutí kol rovnoběžně s podélnou rovinou letounu je nutno otočit po vzletu svislou nohu o 75°. Při vysouvání podvozku se nohy nejprve vysunou do přistávací polohy a teprve potom proběhne natočení svislé nohy pomocí teleflexu. Zajištění nohy v poloze pro přistání se provádí pomocí čepu, který se teleflexem vsune do otvoru v pouzdře. Hmotnost svislé nohy je 0,282 kg.



Obrázek 41 - Noha svislá

### 9.2.4 Pružnice nohy

Pružnice nohy hlavního podvozku je vyrobena z uhlíkového kompozitu. V pružnici jsou zalaminována dvě pouzdra, první pouzdro slouží k montáži na šikmý čep. Rotací okolo šikmého čepu dojde k zasunutí, nebo vysunutí podvozkové nohy. K ovládní pohybu slouží vysouvací táhlo, které převádí translační pohyb pohybového šroubu na rotaci okolo čepu. Pružnice podvozkové nohy je vyrobena z uhlíkového kompozitu. Je rozdělena na pět sekcí, každá sekce má jinou délku a rozdílný počet vrstev. Směr výztužných vláken je podélný, z důvodu umožnění průhybu nohy, který je nutný pro utlumení přistávací energie.

Nejdříve byl vypracován výpočtový model, který měl prokázat schopnost pružení/tlumení v závislosti na počtu vrstev v jednotlivých polích. V tabulkách jsou zobrazena pole a vrstvy dvou uvažovaných druhů materiálů.

Uhlík	Počet vrstev v poli číslo					Průhyb pružnice v ose			Index selhání vrstvy	Interlaminární napětí
	počet řešení	1	2	3	4	5	y	x		
1	75	31	27	25	19	96,950	0,185	5,160	1,281	322,740
2	79	31	27	25	17	96,080	0,478	5,210	1,136	305,820
3	81	29	25	23	15	98,940	0,679	5,380	1,136	305,710
4	81	27	23	21	15	96,080	1,583	5,960	1,136	305,820
5	81	25	21	19	15	115,590	2,113	6,380	1,073	352,250
6	83	23	19	17	15	123,970	2,929	6,860	1,110	395,810
7	85	21	17	15	13	135,810	4,013	7,630	1,404	449,610
8	85	23	19	15	13	135,810	4,013	7,630	1,404	449,610

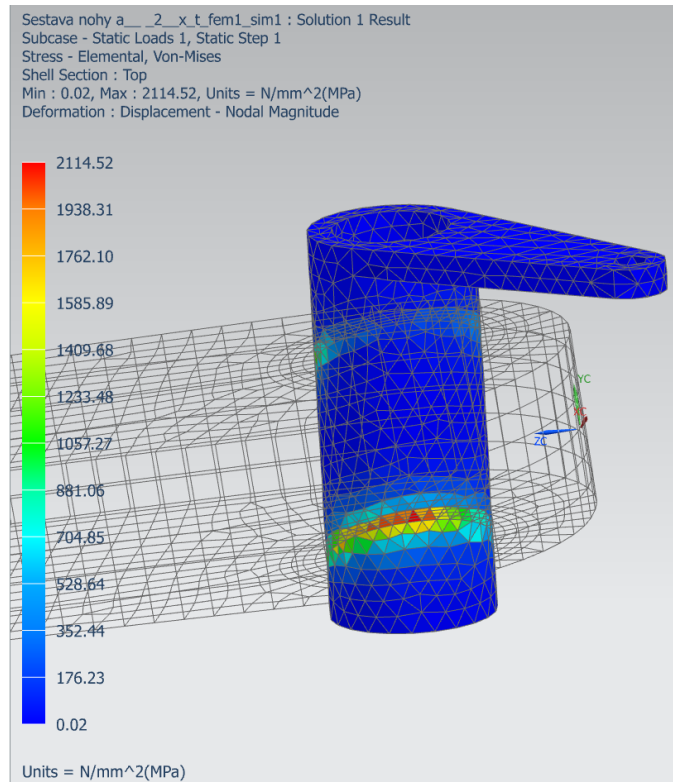
Tabulka 6 Skladba vrstev uhlíkového prepregu a jejich mechanické vlastnosti.

Byla zvažována varianta pružnice nohy ze skelného kompozitu, ale po návrhu skladby a ověření výpočtem v programu NX 10 tento typ konstrukce nevykazoval lepší hodnoty v závislosti na počtu použitých vrstev prepregů. Zvýšil se pouze počet všech vrstev a tím i vlastní hmotnost, ale bez vztahu ke zvýšení pevnosti. Tento typ konstrukce zaujmul pouze průhybem, nikoli pevností kompozitu jako celku.

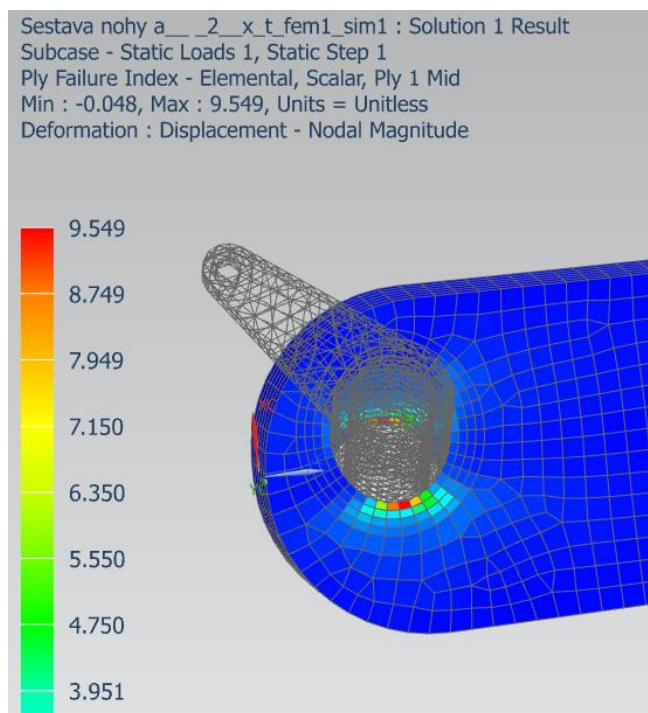
Sklo	Pole číslo					Průhyb pružnice v ose			Index selhání vrstvy	Interlaminární napětí
	počet vrstev	1	2	3	4	5	y	x		
1	83	23	19	17	15	267,020	17,260	16,250	5,383	406,520
2	83	31	29	27	25	184,060	11,078	10,750	5,338	263,620
3	87	35	33	31	29	162,180	9,700	9,410	4,608	230,350
4	91	43	41	39	37	131,830	7,690	7,550	3,967	202,740
5	95	49	47	45	43	115,310	6,670	6,550	3,432	188,560

Tabulka 7 - Skladba skelných vláken.

Po úvodním ověření návrhu následovalo modelování sestavy pružnice, pro zjištění přenosu sil mezi jednotlivými prvky. Přistávací zatěžující síly byly zavedeny do pouzdra nohy svislé. Přes pouzdro přechází složky zatížení jednotlivými poli pružnice až do pouzdra šikmého čepu. Sestavě byly přiděleny příslušné materiály jednotlivých prvků a vytvořeny 2D a 3D sítě. Po zatížení početním zatížením se zobrazila místa největšího zatížení. Na obrázcích č. 32 a č. 33 je vidět zatížení konstrukce. Poté byly naskládány jednotlivé skladby kompozitu v jednotlivých polích a zatěžovány.



**Obrázek 42 - Největší zatížení pouzdra šikmého čepu.**



Obrázek 43 - Největší zatížení kompozitové konstrukce.

Výsledná data ze zatěžování vykazují ve čtyřech z pěti polí hodnoty návrhem předpokládané. Pouze pole číslo jedna má extrém v místě připojení pouzdra šikmého čepu. Postupným zvyšováním počtu vrstev nebylo dosaženo bezpečnosti konstrukce. Je nutno místo využít, protože prosté vlepení pouzdra nevede ke snížení napětí okolo pouzdra čepu.

Uhlík	Počet vrstev v poli číslo					Průhyb pružnice v ose			Elementární napětí	Index selhání vrstvy	Index rozlepení vrstvy	Napětí inter laminární
počet řešení	1	2	3	4	5	y	x	z				
1	25	23	17	15	13	106,410	16,520	7,860	2095,970	1,991	0,415	452,300
2	31	19	17	13	13	119,600	17,050	8,500	2038,950	1,793	0,688	411,850
3	39	19	17	13	13	117,840	16,430	8,420	1986,850	1,532	0,688	407,280
4	37	23	15	13	11	117,880	16,590	8,420	1995,170	1,229	1,095	456,370
5	39	24	14	12	11	121,270	16,800	8,690	1983,750	1,166	1,095	493,600
6	39	24	15	11	10	120,950	16,830	8,600	1983,950	1,466	1,425	529,600
7	38	23	15	11	11	121,750	16,930	9,280	1989,510	1,246	0,642	476,980
8	37	23	14	12	9	124,310	17,200	9,400	1994,960	1,228	1,038	493,400

Tabulka 8 - Skladba sestavy pružnice.

Vysoké napěťové špičky byly zjištěny v sestavě pružnice, a proto bylo nutno zvýšit styčnou plochu mezi pružnicí a pouzdem šikmého čepu. Vlastní pouzdro bylo opatřeno přírubou a vlepeno do pružnice. Z důvodu zamezení průhybu kompozitu po dotažení šroubového spoje, byla do sestavy použita jako spacer letecká překližka. Po vyztužení kritického místa byly provedeny simulace výpočtového modelu v programu NX počítány všechny případy přistání v souladu se stavebním předpisem UL-2, část 1. Konečný počet vrstev je vložen do následující tabulky

Počet vrstev v poli číslo				
1	2	3	4	5
39	21	16	12	9

Tabulka 9 - Počet vrstev v jednotlivých polích.

Po naskládání jednotlivých vrstev byly provedeny výpočty průhybů a zároveň byla ověřována odolnost konstrukce proti selhání, jejímž prediktorem je index selhání vrstvy.

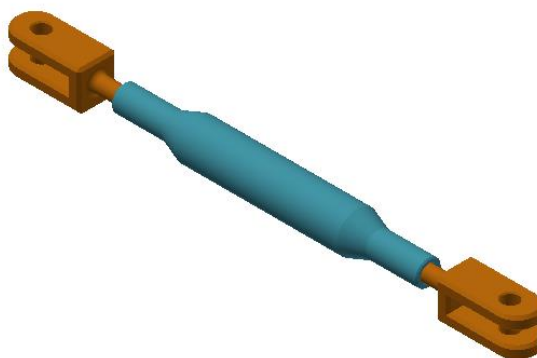
Zatěžovací případ	průhyb pružnice v ose y	Index selhání vrstvy
maximum	116,100	1,430
Vodorovné na tři kola	80,700	0,701
Těsně nad zemí	119,200	1,444
Velký úhel náběhu	117,420	1,682
Boční zatížení	51,340	0,384
	52,120	0,388
Brždění	37,540	0,200
	55,450	0,394

Tabulka 10 - Průhyby a index selhání vrstvy u jednotlivých zatěžujících případech.

Podrobný popis v tabulce uvedených případů je uveden v kapitole MKP .

### 9.2.5 Vysouvací táhlo

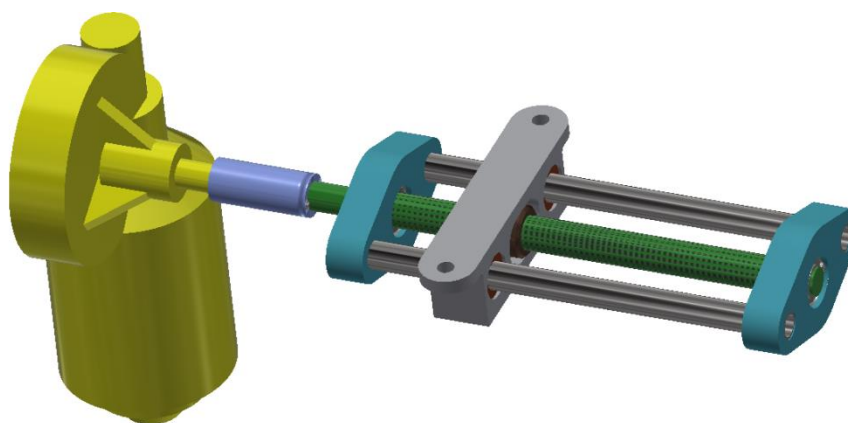
Táhlo vysouvání podvozku je jednou stranou připevněno k matici pohybového šroubu a druhá strana spojuje pružnici hlavního podvozku. Polotovarem je trubka z oceli AISI 300M polotovar TR  $\emptyset$  32x3. Délka táhla je 104 mm. V sestavě podvozku jsou použita táhla dvě.



Obrázek 44 - Vysouvací táhlo.

### 9.2.6 Pohon

Podvozek je poháněn elektromotorem. Elektromotor roztáčí přes převodovku pohybový šroub, jenž má závit TR12x2. Matice pohybového šroubu ovládá táhla, která jsou připevněna k pružnicím podvozkových noh. Vlastní dráha pohybu matice je 72,5mm. V krajních polohách matice při dojezdu sepne koncový spínač, který zobrazí na palubní desce polohu podvozkových noh. Zda jsou vysunuty, nebo zasunuty.



Obrázek 45 - Pohybový šroub včetně pohonu

## 9.3 Montážní pokyny

### Zajištění šroubových spojů:

- Spoje s korunovou maticí ČSN 02 1411 je nutno pojistit závlačkou, která se zasekne do drážky v koruně matice
- Spoje s šestihrannou maticí ČSN EN ISO 4032 se pojišťují tmelem Loctite 275
- Samojistné matice se po demontáži musí zaměnit za nové, nepoužité

### Izolace různých kovů:



Při spojování sestav, které se skládají z různých kovů například oceli a hliníkové slitiny se jako prevence vzniku elektrochemické koroze vyžaduje zabránění možného styku. Izolaci lze provést buď na barvu, anebo je možné použít tmel.

## 9.4 Nouzové otevírání podvozku

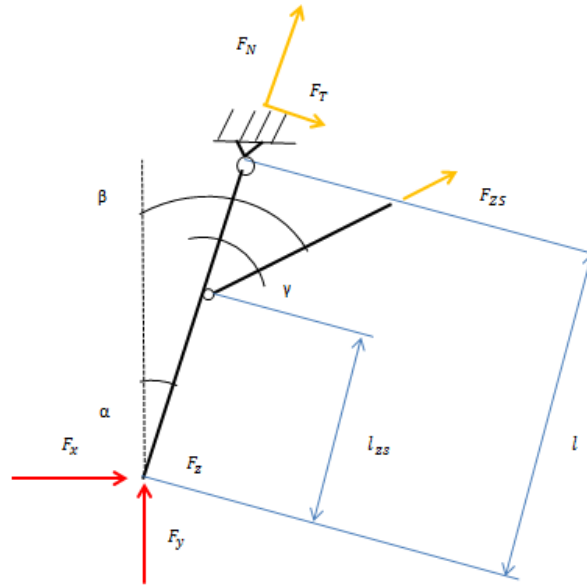
Každý letoun, který má poháněno vysouvání a zasouvání podvozku pomocí hydrauliky, pneumatiky nebo elektromotoru musí být dodatečně vybaveno nouzovým vysouváním podvozku. Nouzový systém musí zajistit, že letoun v případě ztráty silového systému, který pohání podvozek, bude nahrazen jiným záložním systémem, tzn. V případě selhání hlavního systému, bude letoun schopen bezpečného přistání s vysunutým podvozkem.

Hlavní podvozek je ovládán pohybovým šroubem s trapézovým závitem, který je samosvorný a zajišťuje polohu podvozku v pozici zataženo a vytaženo. Matice je podélně rozříznuta, za normálního provozu jsou obě poloviny matice zajištěny silou pružiny. V případě potřeby nouzového vysunutí lze pomocí páky rozevřít matici a podvozek se vysune vlastní hmotností.

## 10. Pevnostní kontrola

### 10.1 Předřevý podvozek

Výpočtový model předřevého podvozku je zobrazen na obrázku číslo 32. Jedná se o idealizovaný výpočet.



Obrázek 46 Zatěžující síly příďového podvozku.

Do výpočtu vstupují následující hodnoty:

$$F_x = 1071,81 \text{ N} \quad \alpha = 8,65^\circ \quad \beta = \alpha + \gamma = 46^\circ \quad \gamma = 37,35^\circ \quad F_y = 3492,915 \text{ N}$$

$$F_z = 833,625 \text{ N} \quad l = 600 \text{ mm} \quad l_{ZS} = 466 \text{ mm}$$

**Řešení:**

Jedná se o staticky určitou úlohu. Závěs podvozkové nohy je vetknut do trupu. Pro vypočtení zatěžujících sil je nutno sestavit následující soustavu rovnic:

$$\sum F_x = F_x \cdot \cos\alpha - F_y \cdot \sin\alpha + F_T + F_{ZS} \cdot \sin\gamma = 0$$

$$\sum F_y = F_x \cdot \sin\alpha + F_y \cdot \cos\alpha + F_N + F_{ZS} \cdot \cos\gamma = 0$$

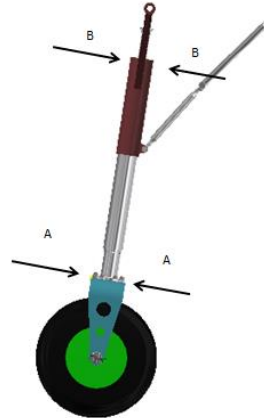
$$\sum M_A = F_T \cdot l + F_{ZS} \cdot \sin\gamma \cdot l_{ZS} = 0$$

Po dosazení:

$$F_T = 477,04 \text{ N}$$

$$F_N = -2650,23 \text{ N}$$

$$F_{ZS} = -1012,85 \text{ N}$$

**Kontrola v místě řezu A-A:**

Obrázek 47 - Kontrolovaná místa na předovém podvozku.

Profilové charakteristiky:

Materiál dural  $R_m = 572 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ ,  $R_p = 503 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$

Plocha řezu:

$$S = b \cdot h = 60 \cdot 8 = 480 \text{ mm}^2$$

Kvadratický moment průřezu

$$J_x = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{60 \cdot 8^3}{12} = 2560 \text{ mm}^4$$

Modul průřezu v ohybu

$$W_{ox} = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{60 \cdot 8^2}{6} = 640 \text{ mm}^3$$

$$J_z = \frac{h \cdot b^3}{12} = \frac{8 \cdot 60^3}{12} = 144000 \text{ mm}^4 \quad W_{oz} = \frac{h \cdot b^2}{6} = \frac{8 \cdot 60^2}{6} = 4800 \text{ mm}^3$$

Výpočet sil v podvozkové noze:

$$F_{oy} = F_x \cdot \sin \alpha + F_y \cdot \cos \alpha = 1071,81 \cdot \sin 8,65 + 3492,915 \cdot \sin 8,65 = 3614,38 \text{ N}$$

$$F_{ox} = F_x \cdot \cos \alpha - F_y \cdot \sin \alpha = 1071,81 \cdot \cos 8,65 - 3492,915 \cdot \sin 8,65 = 534,29 \text{ N}$$

$$F_{oz} = F_z = 833,625 \text{ N}$$

Ohybové momenty:

$$M_{oz \max} = F_z \cdot h = 833,625 \cdot 136 = 113\,373 \text{ Nmm}$$

$$M_{ox \max} = F_{ox} \cdot h = 534,29 \cdot 136 = 72\,663,44 \text{ Nmm}$$

Ohybová napětí:

$$\sigma_{oz \max} = \frac{M_{oz \max}}{W_{oz}} = \frac{6 \cdot M_{oz \max}}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 113373}{60 \cdot 8^2} = 177,15 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$\sigma_{ox \max} = \frac{M_{ox \max}}{W_{ox}} = \frac{6 \cdot M_{ox \max}}{b^2 \cdot h} = \frac{6 \cdot 72663,44}{60^2 \cdot 8} = 15,14 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Osové napětí:

$$\sigma_{oy \max} = \frac{F_{oy}}{A} = \frac{3614,38}{60 \cdot 8} = 7,53 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Redukované napětí:

$$\sigma_{red} = \sigma_{oz \max} + \sigma_{ox \max} + \sigma_{oy \max} \leq \sigma_D$$

$$\sigma_{red} = 177,15 + 15,14 + 7,53 = 199,82 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Dovolené napětí:

$$\sigma_D = \frac{R_m}{k} = \frac{572}{1,5} = 381,3 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Porovnání redukovaného napětí s dovoleným napětím:

$$\sigma_{red} = 199,82 \leq \sigma_D = 381,75$$

Výpočet bezpečnosti:

$$k = \frac{R_m}{\sigma_{red}} = \frac{572}{199,82} = 2,86$$

### **Kontrola v místě řezu B-B:**

Největší zatížení je očekáváno od boční síly  $F_z$  v místě uchycení nohy příďového podvozku do trupové šachty. Síla působí na rameni  $l = 600 \text{ mm}$ . Polotvar trubka, vnější průměr 40 mm vnitřní průměr 34 mm.

Průřezová plocha:

$$S = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = \frac{\pi(40^2 - 34^2)}{4} = 348,72 \text{ mm}^2$$

Kvadratický moment průřezu - ohyb:

$$J_y = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^4 \right] = \frac{\pi \cdot 40^4}{64} \left[ 1 - \left( \frac{34}{40} \right)^4 \right] = 60066,47 \text{ mm}^4$$

Průřezový modul v ohybu:

$$W_o = \frac{\pi \cdot D^3}{32} \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^4 \right] = \frac{\pi \cdot 40^3}{32} \left[ 1 - \left( \frac{34}{40} \right)^4 \right] = 3003,32 \text{ mm}^3$$

Ohybový moment:

$$M_{oz \max} = F_z \cdot l = 833,625 \cdot 600 = 500\,175 \text{ Nmm}$$

Ohybové napětí:

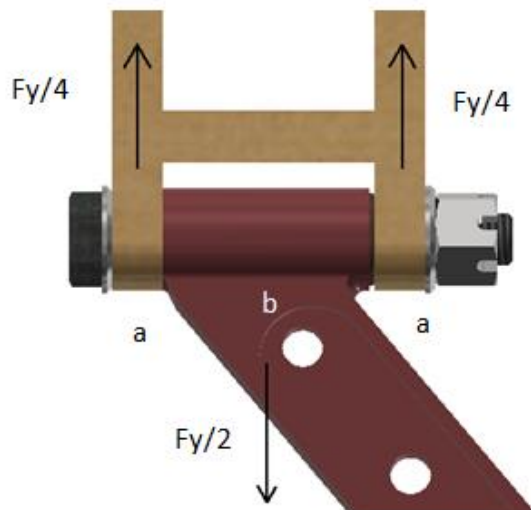
$$\sigma_o \max = \frac{M_{oz \max}}{W_o} = \frac{500175}{3003,32} = 166,54 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Výpočet bezpečnosti:

$$k = \frac{R_m}{\sigma_o} = \frac{572}{166,54} = 3,43$$

## 10.2 Osa otáčení

Svorník má průměr  $D = 10 \text{ mm}$ , materiál ocel třídy AISI 300M,  $R_m = 1980 \text{ MPa}$ ,  $a = 10 \text{ mm}$ ,  $b = 41 \text{ mm}$ ,  $F_y = F_N = 2650,23 \text{ N}$ ,  $R_A = \frac{F_N}{2}$ ,  $R_{p0,2} = 1655 \text{ MPa}$  jedná se o šroubový spoj – součinitel bezpečnosti 2,0.



Obrázek 48 - Svorník závěsu předového podvozku.

Provozní zatížení  $F = 2650,23 \text{ N} \rightarrow$  Početní zatížení  $F = 5300,46 \text{ N}$

Ohybový moment:

$$M_o = \frac{R_A \cdot l}{2} = \frac{F_N \cdot l}{4} = \frac{F_N(2a + b)}{4} = \frac{5300,46(2 \cdot 10 + 41)}{4} = 80\,832,015 \text{ Nmm}$$

Průřezový modul v ohybu

$$W_o = \frac{\pi \cdot D^3}{6} = \frac{\pi \cdot 10^3}{6} = 52,36 \text{ mm}^3$$

Ohybové napětí:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_{Do} \rightarrow \sigma_o = \frac{80\,832,015}{52,36} = 1543,77 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Součinitel bezpečnosti:

$$k = \frac{R_p}{\sigma_o} = \frac{1655}{1543,77} = 1,07$$

### 10.3 Zlamovací vzpěra

Ve vysunuté poloze zajišťuje zlamovací vzpěra polohu podvozku a svým mírným prolomením zabráňuje zpětnému pohybu směrem do trupu. V této poloze je zajištěna pomocí ovládací páky, která působí na příd'ový podvozek. Skládá se ze dvou částí, táhla a vzpěry.

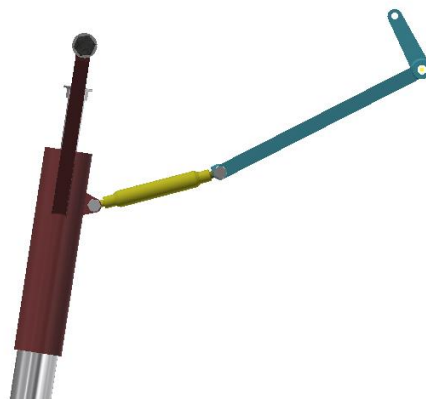
#### Kontrola táhla:

Polotovar je trubka TR  $\emptyset$  16x3, vnější průměr 16 mm, vnitřní průměr 10 mm. Zatíženo silou působící na zlamovací vzpěru  $F_{ZS} = 1012,85N$ . Táhlo bude kontrolováno na vzpěr. Délka je 183 mm. Materiál dural 6061 T6 má následující charakteristiky:

Modul pružnosti:  $E = 68\,900\,MPa$

Pevnost v tahu:  $R_m = 310\,MPa$

Mez kluzu:  $R_p = 276\,MPa$



Obrázek 49 - Zlamovací vzpěra.

Průřezová plocha:

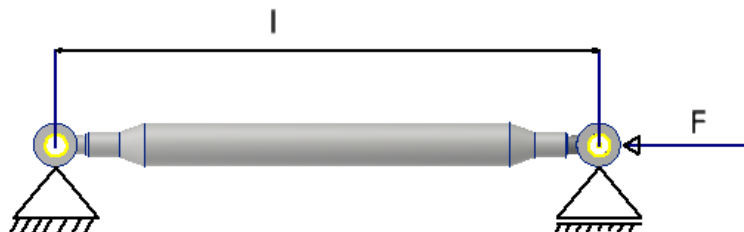
$$S = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = \frac{\pi(12^2 - 10^2)}{4} = 34,56\,mm^2$$

Osově napětí:

$$\sigma_o = \frac{F_{ZS}}{S} = \frac{1012,85}{34,56} = 29,31\,MPa$$

Kvadratický moment průřezu:

$$J_{min} = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^4 \right] = \frac{\pi \cdot 12^4}{64} \left[ 1 - \left( \frac{10}{12} \right)^4 \right] = 527 \text{ mm}^4$$



Obrázek 50 - 2.případ vzpěru.

Kritická síla dle Eulera (2. Případ vzpěru  $n=1$ )

$$F_{kr} = k \cdot F = n \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_{min}}{l^2} = 1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 68900 \cdot 527}{108^2} = 30\,724,31 \text{ N}$$

Výpočet bezpečnosti:

$$k = \frac{F_{kr}}{F_{ZS}} = \frac{30\,724,31}{1012,85} = 30,33$$

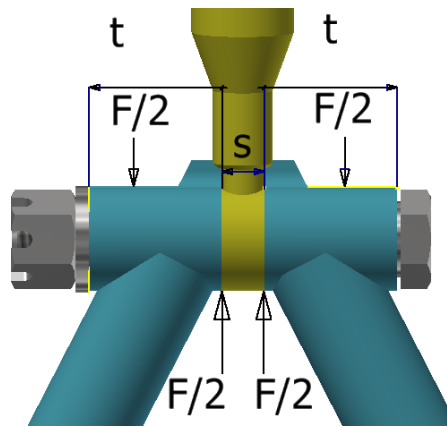
Průřezový modul v ohybu:

$$W_o = \frac{\pi \cdot D^3}{32} \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^4 \right] = \frac{\pi \cdot 16^3}{32} \left[ 1 - \left( \frac{10}{16} \right)^4 \right] = 340,76 \text{ mm}^3$$

$$M_o = F_{ZS} \cdot l_{ZS} \cdot \sin \gamma = 1012,85 \cdot 465,8 \cdot \sin 37,35 = 285983,75 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{285983,75}{340,76} = 839,25 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$



**Kontrola čepu:**

Obrázek 51 - Čep zlomovací vzpěry.

Čep zlomovací vzpěry spojuje táhlo a vlastní vzpěru. Je vyroben z materiálu L-ROL (třídy 14 331). Polotovar je tyč KR  $\varnothing 6 \text{ mm}$ . Rozměr  $t = 15,5 \text{ mm}$ ,  $s = 5 \text{ mm}$ , zatíženo silou  $F_{ZS} = 1331,74 \text{ N}$ .

Materiálové charakteristiky:

Pevnost v tahu:  $R_m = 1080 \text{ MPa}$

Mez kluzu:  $R_p = 930 \text{ MPa}$

Průřezová plocha:

$$S = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 6^2}{4} = 28,27 \text{ mm}^2$$

Kvadratický moment průřezu:

$$J = \frac{\pi \cdot D^4}{64} = \frac{\pi \cdot 6^4}{64} = 63,62 \text{ mm}^4$$

Průřezový modul v ohybu:

$$W_o = \frac{\pi \cdot D^3}{32} = \frac{\pi \cdot 6^3}{32} = 21,21 \text{ mm}^3$$

Ohybový moment:

$$M_o = \frac{F_{ZS}}{2} \cdot \left( \frac{t}{2} + \frac{s}{2} \right) = \frac{1331,74}{2} \cdot \left( \frac{15,5}{2} + \frac{5}{2} \right) = 6825,17 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Ohybové napětí:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{6825,17}{21,21} = 321,79 \text{ MPa}$$

Smykové napětí:

$$\tau = \frac{F}{2 \cdot S} = \frac{1331,74}{2 \cdot 28,27} = 23,55 \text{ MPa}$$

Redukované napětí:

$$\sigma_{red \text{ HMH}} = \sqrt{\sigma_o^2 + \alpha \tau^2} = \sqrt{321,79^2 + 3 \cdot 23,55^2} = 324,36 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{red \tau_{max}} = \sqrt{\sigma_o^2 + \alpha \tau^2} = \sqrt{321,79^2 + 4 \cdot 23,55^2} = 325,22 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{red} = \max(\sigma_{red \text{ HMH}} ; \sigma_{red \tau_{max}}) \rightarrow 325,22 \text{ MPa}$$

Výpočet bezpečnosti:

$$k = \frac{R_m}{\sigma_{red}} = \frac{1080}{325,22} = 3,3$$

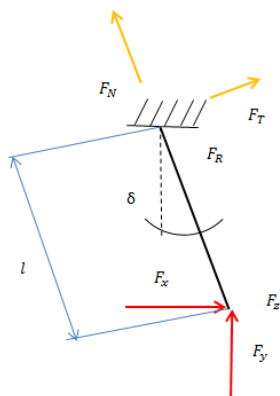
## 10.4 Hlavní podvozek

Hlavní podvozek je složen ze dvou pevných noh vyrobených z hliníkové slitiny, které jsou uchyceny v pružné části podvozku. Pružnice je vyrobena z uhlíkového kompozitu. Pro výpočet zatížení je výpočtový model po uvolnění rozdělen na dvě části.

Do výpočtu vstupují následující hodnoty:

$$F_x = 1655,445 \text{ N} \quad F_y = 5394,885 \text{ N} \quad F_z = 1839,38 \text{ N} \quad \delta = 12,95^\circ \quad l = 235 \text{ mm}$$

**Řešení:**



Sestavíme soustavu rovnic:

$$\sum F_x = F_x \cdot \cos\delta + F_y \cdot \sin\delta + F_T = 0$$

$$\sum F_y = -F_x \cdot \sin\delta + F_y \cdot \cos\delta + F_N = 0$$

Obrázek 14 - Síly na noze hlavního podvozku

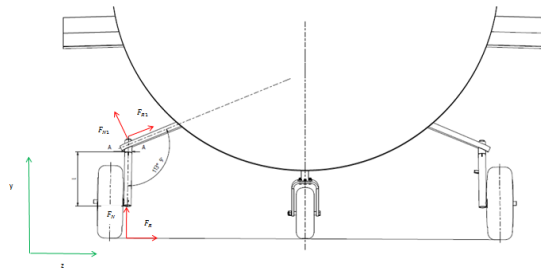
$$F_T = -F_x \cdot \cos\delta - F_y \cdot \sin\delta = -1655,445 \cdot \cos 12,95^\circ - 5494,885 \cdot \sin 12,95^\circ = 2844,55 \text{ N}$$

$$F_N = -F_y \cdot \cos\delta + F_x \cdot \sin\delta = 1655,445 \cdot \sin 12,95^\circ - 5494,885 \cdot \cos 12,95^\circ =$$

$$F_N = -4984,14 \text{ N}$$

$$F_R = F_z = 1839,38 \text{ N}$$

Překlopení pružnice nohy do roviny y-z 1 ( $\varepsilon = 23,15^\circ$ )



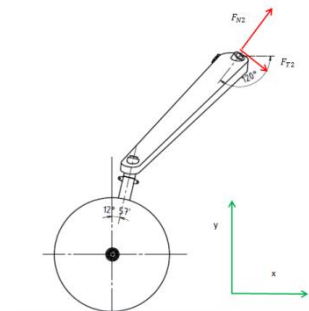
Obrázek 52 – Překlopení do roviny pružnice y-z.

$$F_{N1} = F_N \cdot \cos\varepsilon + F_z \cdot \sin\varepsilon = -4984,14 \cdot \cos 23,15 + 1839,38 \cdot \sin 23,15 = -3859,68 \text{ N}$$

$$F_{R1} = F_z \cdot \cos\varepsilon - F_N \cdot \sin\varepsilon = 1839,38 \cdot \cos 23,15 - (-4984,15 \cdot \sin 23,15) = 3650,74 \text{ N}$$

$$F_{T1} = F_T = 2639,45 \text{ N}$$

Překlopení do roviny čepu 2 ( $\varepsilon = 30^\circ$ )



Obrázek 53 - Překlopení do roviny šikmého čepu x-z.

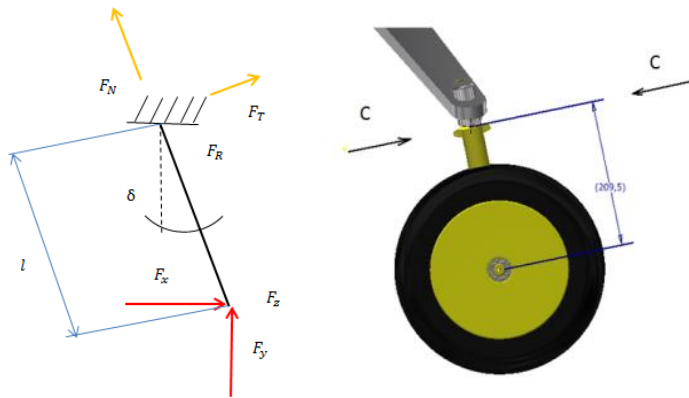
$$F_{T2} = F_{N1} \cdot \cos\varepsilon + F_{T1} \cdot \sin\varepsilon = -3859,68 \cdot \cos 30 + 2639,45 \cdot \sin 30 = -2122,86 \text{ N}$$

$$F_{N2} = F_{N1} \cdot \sin\varepsilon - F_{T1} \cdot \cos\varepsilon = -3859,68 \cdot \sin 30 - 2639,45 \cdot \cos 30 = -4042,47 \text{ N}$$

$$F_{R2} = F_{R1} = 3650,74 \text{ N}$$

## 10.5 Noha svislá

Svislá noha je vyrobena z hliníkové slitiny polotovaru trubky TR34x5, délky 209,5 mm. Trubka je uchycena v bronzovém pouzdře a otáčí se okolo své osy o úhel 74°.



Obrázek 54 - Kontrolované místo na svislé noze.

$$F_T = 2844,55 \text{ N}$$

$$F_N = -4984,14 \text{ N}$$

$$F_x = 1655,45 \text{ N} \quad F_y = 5394,89 \text{ N} \quad F_z = 1839,38 \text{ N} \quad \delta = 12,95^\circ \quad l = 209,5 \text{ mm}$$

Profilové charakteristiky:

Plocha řezu:

$$S = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = \frac{\pi(30^2 - 22^2)}{4} = 326,72 \text{ mm}^2$$

Modul průřezu v ohybu

$$W_{ox} = \frac{\pi \cdot D^3}{32} \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^4 \right] = \frac{\pi \cdot 34^3}{32} \left[ 1 - \left( \frac{24}{34} \right)^4 \right] = 2900,67 \text{ mm}^3$$

Výpočet sil v podvozkové noze:

$$F_{ox} = F_x \cdot \cos\delta + F_y \cdot \sin\delta = 1655,45 \cdot \cos 12,95 + 5394,89 \cdot \sin 12,95 = 2822,14 \text{ N}$$

$$F_{oy} = -F_x \cdot \sin\delta + F_y \cdot \cos\delta = -1655,45 \cdot \sin 12,95 + 5394,89 \cdot \cos 12,95 = 4855,82 \text{ N}$$

$$F_{oz} = F_z = 1839,38 \text{ N}$$

Ohybové momenty:

$$M_{oz\ max} = F_z \cdot h = 1839,38 \cdot 209,5 = 391635,11\ Nmm$$

$$M_{ox\ max} = F_{ox} \cdot h = 2822,14 \cdot 209,5 = 591233,33\ Nmm$$

Ohybová napětí:

$$\sigma_{oz\ max} = \frac{M_{oz\ max}}{W_{oz}} = \frac{M_{oz\ max}}{\frac{\pi \cdot D^3}{32} \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^4 \right]} = \frac{391635,11}{\frac{\pi \cdot 34^3}{32} \left[ 1 - \left( \frac{24}{34} \right)^4 \right]} = 135,02\ N \cdot mm^{-2}$$

$$\sigma_{ox\ max} = \frac{M_{ox\ max}}{W_{ox}} = \frac{M_{ox\ max}}{\frac{\pi \cdot D^3}{32} \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^4 \right]} = \frac{591233,33}{\frac{\pi \cdot 34^3}{32} \left[ 1 - \left( \frac{24}{34} \right)^4 \right]} = 203,83\ N \cdot mm^{-2}$$

Osové napětí:

$$\sigma_{oy\ max} = \frac{F_{oy}}{A} = \frac{4 \cdot F_{oy}}{\pi(D^2 - d^2)} = \frac{4 \cdot 4855,82}{\pi(34^2 - 24^2)} = 10,66\ N \cdot mm^{-2}$$

Redukované napětí:

$$\sigma_{red} = \sigma_{oz\ max} + \sigma_{ox\ max} + \sigma_{oy\ max} \leq \sigma_D$$

$$\sigma_{red} = 135,02 + 203,83 + 10,66 = 348,51\ N \cdot mm^{-2}$$

Dovolené napětí:

$$\sigma_D = \frac{R_m}{k} = \frac{572}{1,5} = 381,3\ N \cdot mm^{-2}$$

Porovnání redukovaného napětí s dovoleným napětím:

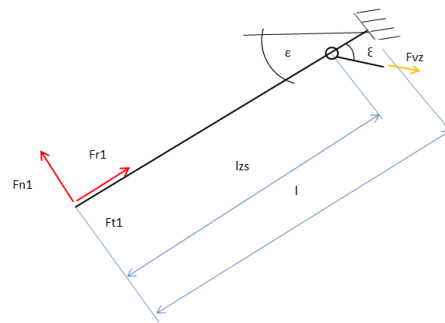
$$\sigma_{red} = 348,51 \leq \sigma_D = 381,75$$

Výpočet bezpečnosti:

$$k = \frac{R_m}{\sigma_{red}} = \frac{572}{348,51} = 1,64$$

## 10.6 Pružnice podvozkové nohy

Výpočtový model pružnice v rovině y-z. prut je na jednom konci vetknut a na druhém působí radiální a normálová složka síly. Jedná se o staticky určitou úlohu. Pružnice podvozkové nohy je vyrobena z uhlíkového kompozitu  $R_{m+} = 1900 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$   $R_{m-} = 1600 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$   $l = 758 \text{ mm}$ . Noha má tvar obdélníku rozměr 80x30mm s proměnlivou tloušťkou stěny od 1,8 mm do 7,8mm v pěti polích. Průměrná tloušťka stěny je 4mm.



Obrázek 55 - Síly v rovině z-y.

Výše byly vypočteny složky sil

$$F_{N1} = -3859,68 \text{ N}$$

$$F_{R1} = 3650,74 \text{ N}$$

$$F_{T1} = F_T = 2639,45 \text{ N}$$

Výpočet  $F_{vz}$  z momentové rovnice

$$\sum M = F_{N1} \cdot l - F_{vz} \cdot l_{vz} \cdot \sin \xi = 0 \rightarrow F_{vz} = \frac{F_{N1} \cdot l}{l_{vz} \cdot \cos \xi} = \frac{-3859,68 \cdot 820}{758 \cdot \sin 66,5} = -4452,2 \text{ N}$$

Plocha řezu:

$$S = b \cdot h = 95,6 \cdot 45,6 - 80 \cdot 30 = 1959,36 \text{ mm}^2$$

Modul průřezu v ohybu

$$W_{on} = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{95,6 \cdot 45,6^2 - 80 \cdot 30^2}{6} = 21\,131,14 \text{ mm}^3$$

$$W_{ot} = \frac{h \cdot b^2}{6} = \frac{95,6^2 \cdot 45,6 - 80^2 \cdot 30}{6} = 37459,14 \text{ mm}^3$$

Ohybové momenty:

$$M_{on\ max} = F_{N1} \cdot l = 3859,68 \cdot 820 = 3\ 164\ 937,6\ Nmm$$

$$M_{or\ max} = F_{R1} \cdot l = 3650,74 \cdot 820 = 2\ 993\ 606,8\ Nmm$$

Ohybová napětí:

$$\sigma_{on\ max} = \frac{M_{on\ max}}{W_{on}} = \frac{3\ 164\ 937,6}{21\ 131,14} = 149,78\ N \cdot mm^{-2}$$

$$\sigma_{or\ max} = \frac{M_{or\ max}}{W_{ox}} = \frac{2\ 993\ 606,8}{37459,14} = 79,92\ N \cdot mm^{-2}$$

Osové napětí:

$$\sigma_{or\ max} = \frac{F_r}{A} = \frac{2639,45}{1959,36} = 2,22\ N \cdot mm^{-2}$$

Redukované napětí:

$$\sigma_{red} = \sigma_{oz\ max} + \sigma_{ox\ max} + \sigma_{or\ max} \leq \sigma_D$$

$$\sigma_{red} = 323,15 + 153,04 + 2,22 = 478,41\ N \cdot mm^{-2}$$

Dovolené napětí:

$$\sigma_D = 600\ N \cdot mm^{-2}$$

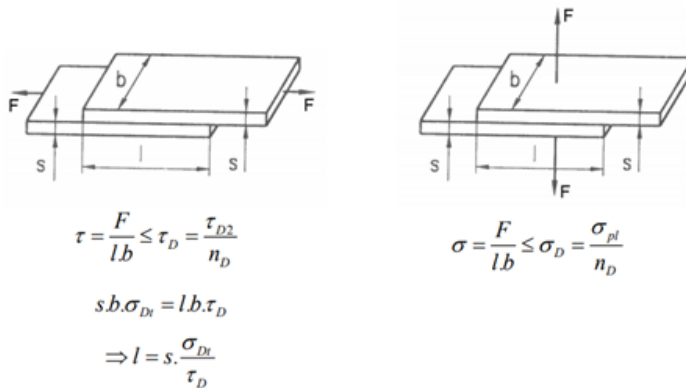
Porovnání redukovaného napětí s dovoleným napětím:

$$\sigma_{red} = 478,41 \leq \sigma_D = 600$$

Výpočet bezpečnosti:

$$k = \frac{R_m}{\sigma_{red}} = \frac{1900}{478,41} = 3,97$$

## 10.7 Výpočet lepeného spoje



Obrázek 56 - Namáhání lepeného spoje.

$\sigma_{Dt}$  – dovolené tahové napětí pružnice

$\tau_{D2}$  – pevnost lepidla ve stříhu

$\sigma_{pl}$  – pevnost lepidla v tahu

### Druhy lepidel:

- Foliové jednosložkové epoxidové
- Dvousložkové epoxidové

### 8.7.1 Foliové

Navrženo lepidlo Letoxit KFL 120. Vytvrzování pouze při 120°C . Pevnost ve smyku závisí na teplotě, průměrná hodnota 36 MPa. Pevnost v odlupu 4-7 MPa.

Styčná plocha

$$S = \pi(R^2 - r^2) = \pi(35^2 - 14^2) = 3232,7 \text{ mm}^2$$

#### Smyk:

Dovolené smykové napětí  $\tau = \frac{F}{S} \leq \tau_D$

$$\tau_D = 36 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Smyková síla

$$\tau = \frac{F}{S} \rightarrow F = \tau \cdot S = 36 \cdot 3232,7 = 116377,2 \text{ N}$$



### 8.7.2 Dvousložkové epoxidové

Letoxit PL 20

Pevnost ve smyku závisí na teplotě, průměrná hodnota 30 MPa. Pevnost v odlupu 4-7 MPa.

Styčná plocha

$$S = 3232,7 \text{ mm}^2$$

#### Smyk:

Dovolené smykové napětí

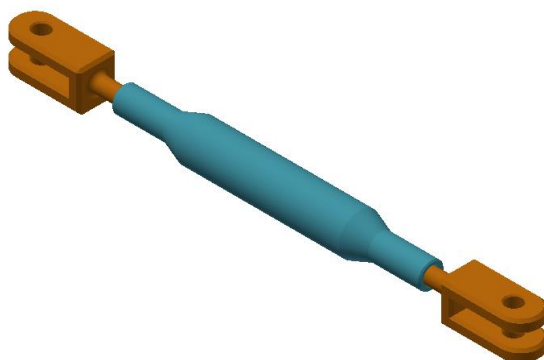
$$\tau = \frac{F}{S} \leq \tau_D$$

$$\tau_D = 30 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Smyková síla

$$\tau = \frac{F}{S} \rightarrow F = \tau \cdot S = 30 \cdot 3232,7 = 96981 \text{ N}$$

## 10.8 Táhlo vysouvací



Obrázek 57 - Táhlo vysouvací.

Táhlo je vyrobeno z oceli AISI 300M ,  $R_m = 1970 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$   $R_{p0,2} = 1660 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ , polotovar je trubka TR32x3. Táhlo mimo ovládací síly stabilizuje podvozkovou nohu na kterou působí síla  $F_T$  která vyvolá ohybový moment.

$$F_T = 2844,55 \text{ N}$$

Ohybový moment:

$$M_{oFT} = 2844,55 \cdot 820 = 2332531 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Průřezový modul v ohybu:

$$W_{oFT} = \frac{\pi \cdot D^3}{32} \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^4 \right] = \frac{\pi \cdot 32^3}{32} \left[ 1 - \left( \frac{26}{32} \right)^4 \right] = 1815 \text{ mm}^3$$

Ohybové napětí:

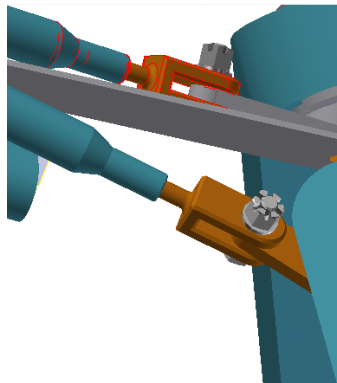
$$\sigma_o = \frac{M_{oFT}}{W_{oFT}} = \frac{2332531}{1815} = 1285,14 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Výpočet bezpečnosti:

$$k = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_o} = \frac{1660}{1285,14} = 1,29$$

## 10.9 kontrola čepu

Ve spoji byl použit čep M6x26, z oceli AISI 300M,  $R_m = 1970 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ ,  $R_{p0,2} = 1660 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ , šířka páky je  $b = 5 \text{ mm}$ , vidlice má ramena o šířce  $a = 5 \text{ mm}$ ,  $F_T = 2844,55 \text{ N}$ .



Obrázek 58 - Spoj táhla a páky ovládání podvozku.

Kontrola na otláčení – tlak pod pákou:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{F_T}{b \cdot d} = \frac{2844,55}{5 \cdot 6} = 94,82 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Tlak ve vidlici

$$p = \frac{F}{S} = \frac{F_T}{2 \cdot a \cdot d} = \frac{2844,55}{2 \cdot 5 \cdot 6} = 47,41 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Kontrola čepu na stříh

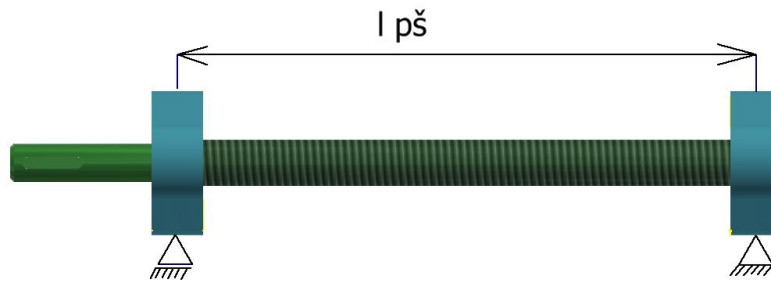
$$\tau = \frac{F_T}{2 \cdot S_{\xi}} = \frac{2844,55}{2 \cdot 28,274} = 50,31 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Střížná plocha čepu

$$S_{\xi} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 6^2}{4} = 28,274 \text{ mm}^2$$

## 10.10 Výpočet pohybového šroubu

Je to případ, ve kterém je dominantní namáhání vzpěrná síla.



Obrázek 59- Pohybový šroub.

Kritická síla dle Eulera (2. Příklad vzpěru  $n=1$ ),  $F_{vz} = 4452,2 \text{ N}$ ,  $l = 150 \text{ mm}$

$$F_{kr} = k \cdot F = n \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_{min}}{l^2} = 2 \cdot 1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot \frac{\pi \cdot d^4}{64}}{l^2}$$

Hledaný průměr šroubu

$$d = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot l^2 \cdot k \cdot F}{\pi^3 \cdot E}} = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot 150^2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 4452,2}{\pi^3 \cdot 2,1 \cdot 10^5}} = 7,92 \text{ mm}$$

$d = d_3 \rightarrow$  pro TR12x2 je  $d_3 = 9,5$

## 11. Ovládací síly podvozku

Při zasouvání a vysouvání podvozku je nutno překonat síly působící na letoun během letu po startu nebo při přiblížení na přistání. Na podvozek působí zatížení od vlastní hmotnosti a aerodynamický odpor. Byl uvažován maximální provozní násobek  $n=2$ , protože letoun krátce po startu, nebo těsně před přistáním vysouvá/zasouvá podvozek.

### 11.1 Příďový podvozek

Hmotnost kola	$m_k = 0,84 \text{ kg}$
Hmotnost příďové nohy	$m_{PN} = 2,144 \text{ kg}$
Celková hmotnost	$m_{ln} = m_k + m_{PN} = 2,984 \text{ kg}$
Tíha příďového podvozku	$G = g \cdot n \cdot m_{ln} = 9,81 \cdot 2 \cdot 2,984 = 58,55 \text{ N}$
Poloha těžiště od osy otáčení podvozku	

$$l_{CG} = 277 \text{ mm}$$

Otáčivý moment:

$$M_{PP} = G \cdot l_{CG} = 58,55 \cdot 277 = 16\,218,35 \text{ Nmm}$$

Vzdálenost os otáčení podvozku a osy táhla:

$$l_{Tahla_{ZS}} = 244,6 \text{ mm}$$

Síla v táhle zlamovací vzpěry:

$$F_{TZS} = \frac{M_{PP}}{l_{Tahla_{ZS}}} = \frac{16\,218,35}{244,6} = 66,31 \text{ N}$$

Úhel natočení vzpěry příďového podvozku:

$$\theta = 80^\circ$$

Vzdálenost os vzpěry:

$$l_{Vzpery_{ZS}} = 108 \text{ mm}$$

Kroutící moment potřebný k zavření příďového podvozku

$$M_k = F_{TZS} \cdot l_{Vzpery_{ZS}} = 66,31 \cdot 108 = 7\,161,48 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Specifikace závitu pohybového šroubu:

TR 12x2:

Dráha potřebná k vysunutí hlavního podvozku:

$$s_{lm} = 74 \text{ mm}$$

Celkové natočení pohybového šroubu:

$$\theta = \frac{s}{P} 2\pi = \frac{74}{2} \cdot 2\pi = 232,48 \text{ rad}$$

Kroutící moment na pohybovém šroubu pro příďový podvozek:

$$M_{ztn} = \frac{M_k}{\theta} = \frac{7\,161,48}{232,48} = 29,53 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

## 11.2 Hlavní podvozek

Hmotnost kola

$$m_k = 2,75 \text{ kg}$$

Hmotnost sestavy jedné nohy

$$m_{PN} = 1,867 \text{ kg}$$

Celková nohy hmotnost

$$m_{lm} = m_k + m_{PN} = 4,617 \text{ kg}$$

Tíha podvozku

$$F_{lm} = m \cdot g \cdot n = 4,617 \cdot 9,81 \cdot 2 = 90,59 \text{ N}$$

Poloha těžiště od osy otáčení podvozku

$$l_{CG} = 591 \text{ mm}$$

Moment otáčení

$$M_{lm} = F_{lm} \cdot l_{CG} = 90,59 \cdot 591 = 53\,538,69 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Vzdálenost osy vzpěry a osy hlavního podvozku  $l_{vz} = 133 \text{ mm}$

Síla ve vzpěře

$$F = \frac{M_{lm}}{l_{vz}} = \frac{53\,538,69}{133} = 402,55 \text{ N}$$

Dráha posuvu závitové matice

$$S = 74 \text{ mm}$$

Počet otáček závitu TR12x2:

$$\alpha = 2\pi \frac{S}{2} = 2\pi \frac{74}{2} = 232,48 \text{ rad}$$

Převodový poměr:

Počet otáček pohybového šroubu na vysunutí hlavního podvozku:

$$n_{pš} = 35,75$$

Dráha zlomovací vzpěry na vysunutí příďového podvozku:

$$s_{zs_{80^\circ}} = \frac{2\pi \cdot r}{360} \cdot 80 = \frac{2\pi \cdot 50}{360} \cdot 80 = 69,81 \text{ mm}$$

Dráha potřebná k vysunutí hlavního podvozku:

$$s_{lm} = 74 \text{ mm}$$

Převodový poměr:

$$i = \frac{s_{lm}}{s_{zs_{80^\circ}}} = \frac{74}{69,81} = 1,06$$

Převodový poměr je nutno upravit páku tak, aby byly dráhy stejně dlouhé:

$$s_{zs_{80^\circ}} = \frac{2\pi \cdot r}{360} \cdot 80 \rightarrow r = \frac{9 \cdot s_{zs_{80^\circ}}}{4\pi} = \frac{9 \cdot 74}{4\pi} = 52,999 \text{ mm}$$

Zasouvací moment nohy  $M_{zlm_1} = \frac{F_{lm} \cdot S}{\alpha} = \frac{1070,77 \cdot 74}{232,48} = 340 \text{ N} \cdot \text{mm}$

Zasouvací moment hlavního podvozku  $M_{zlm} = 2 \cdot M_{zlm_1} = 2 \cdot 340 = 680 \text{ N} \cdot \text{mm}$

### 11.3 Návrh motoru

Potřebný výkon elektromotoru pro ovládání podvozku je nutné stanovit jako součin úhlové rychlosti a všech zasouvacích momentů.

Celkový zasouvací moment

$$M_z = M_{zln} + M_{zlm} = 29,53 + 680 = 709,53 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Čas zasunutí podvozku  $t = 8 \text{ s}$

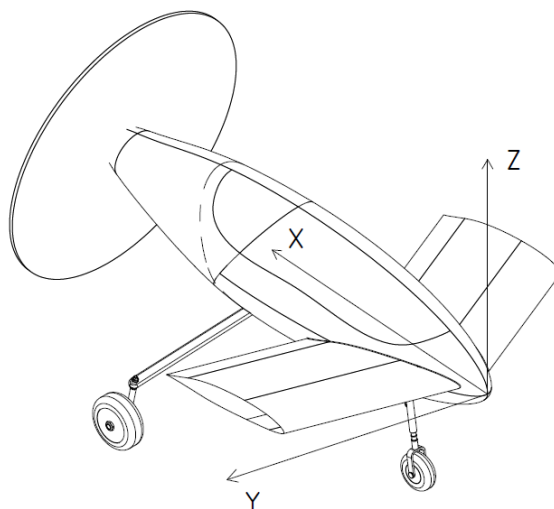
Rychlost zasouvání  $v = \frac{s}{t} = \frac{74}{8} = 9,25 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$

Úhlová rychlost  $\omega = 2\pi \frac{v}{st \text{ pš}} = 2\pi \frac{9,25}{2} = 29,06 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$

Potřebný výkon  $P = \frac{M_z \cdot \omega}{1000} = \frac{709,53 \cdot 29,06}{1000} = 20,62$

## 12. Hmotnostní rozbor

Na obrázku je znázorněně souřadnicový systém jehož počátek je umístěn na špičku trupu. Z této polohy počátku letadlového souřadného systému byly vypočteny polohy těžišť jednotlivých částí konstrukce podvozku pro hmatový rozbor.



Obrázek 60 - Souřadný systém letounu.

Pořadové číslo	Název součásti	Hmotnost [kg]	Vzdálenost těžiště součásti od počátku souřadného systému		
			$x_i$ [m]	$y_i$ [m]	$z_i$ [m]
1	Kolo předové	0,840	0,501	0,000	0,773
2	Předová noha	3,394	0,556	0,000	0,408
3	Kolo levé	2,750	1,871	-0,802	0,701
4	Svislá	0,641	1,846	-0,751	0,604
5	Levá noha	2,658	1,696	-0,399	0,329
6	Kolo pravé	2,750	1,871	0,802	0,701
7	Svislá	0,641	1,846	0,751	0,604
8	Pravá noha	2,658	1,696	0,399	0,329
9	Ostatní	1,276	1,921	-0,020	0,039
	<b>Celkem</b>	<b>17,608</b>			

Tabulka 11. - Hmotový rozbor vysunutý podvozek.

Pořadové číslo	Název součásti	Hmotnost [kg]	Vzdálenost těžiště součásti od počátku souřadného systému		
			$x_i$ [m]	$y_i$ [m]	$z_i$ [m]
1	Kolo předové	0,840	1,217	0,000	0,111
2	Předová noha	3,394	0,906	0,000	0,123
3	Kolo levé	2,750	2,379	0,098	0,199
4	Svislá	0,641	2,277	0,050	0,244
5	Levá noha	2,658	1,864	0,054	0,056
6	Kolo pravé	2,750	2,379	0,098	0,199
7	Svislá	0,641	2,277	0,050	0,244
8	Pravá noha	2,658	1,864	0,054	0,056
9	Ostatní	1,276	1,921	0,020	0,039
	<b>Celkem</b>	<b>17,608</b>			

Tabulka 12 - Hmotový rozbor zasunutý podvozek



## 13. Pevnostní kontrola MKP

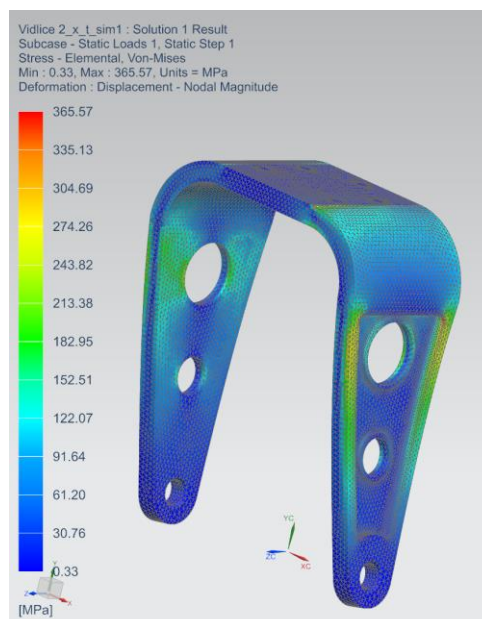
Vybrané konstrukční prvky byly kontrolovány v programu NX 10 v pokročilých analýzách a jako řešič byl použit program Nastran. Nejprve bylo nutno vytvořit idealizovaný díl. Poté byl pro potřeby analýzy vybrán z knihovny materiálů požadovaný typ, a následně byla vytvořena prostorová síť. Pro simulaci zatížení bylo nutno zavazbit prostorově kontrolované součásti, buď pevnou vazbou, nebo vazbami povolujícími rotace anebo posuvy. Nakonec se modely zatížily dle předpokladů osamělými silami, případně momenty. Následovalo spuštění výpočtu a výsledky řešení.

### 13.1 Příďový podvozek

Příďový podvozek je navržen z materiálu dural a byly kontrolovány následující prvky konstrukce:

#### 13.1.1 Vidlice

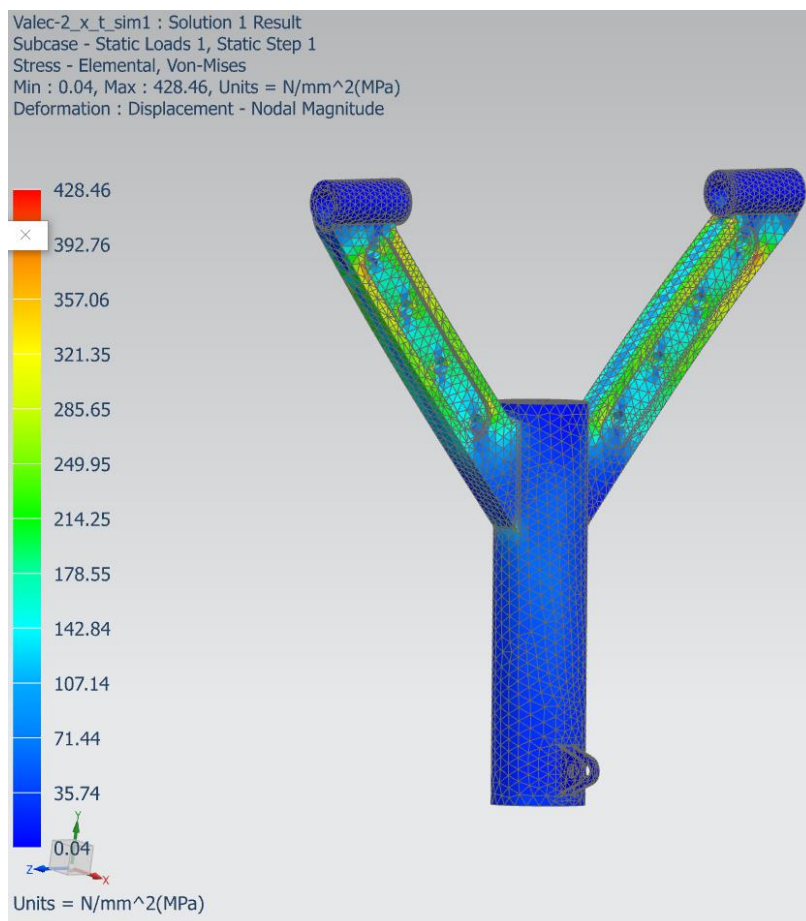
Vidlice příďové nohy byla na horní ploše vetknuta a zatížena třemi osamělými silami v obou pouzdrech vidlice v místě přenosu zatěžujících sil z čepu podvozkové nohy. Každá z těchto sil působí v jedné prostorové ose. Síly byly zavedeny do místa připojení osy příďového kola do vidlice. Tato úloha je statiky určitá, proto byla použita lineárně statická analýza. Dovolené napětí bylo stanoveno  $\sigma_D = 381,75 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ . Dle MKP bylo vypočteno napětí  $\sigma_{Mie} = 365,57 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ , to je poměrně slušná shoda odhadů zatížení vidlice podvozku.



Obrázek 61 - Napětí dle Miesese.

### 13.1.2 Válec příďové nohy

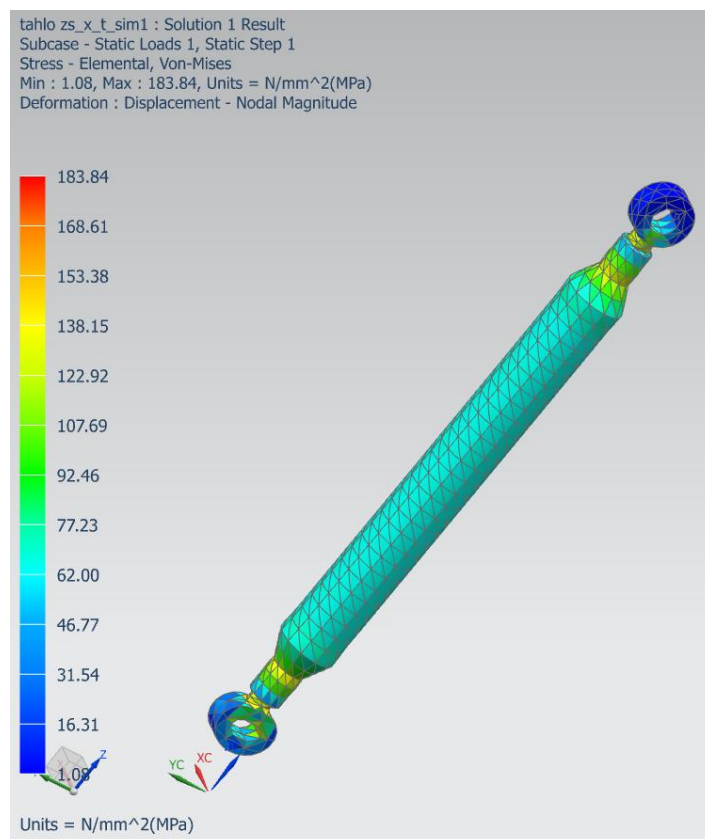
Válec příďové nohy byl v místě uchycení do podvozkové šachty vetknut a byl zatížen třemi osamělými silami působícími každá v jedné ose. V oku pro táhlo zlamovací vzpěry byla přidána síla  $F_{ZS}$ . Opět se jedná o staticky určitou úlohu, která byla řešena lineárně statickou analýzou.



Obrázek 62 - Napětí dle Miesese na válci příďové nohy.

### 13.1.3 Táhlo zlomovací vzpěry.

Táhlo zlomovací vzpěry je připojeno na jedné straně rotační vazbou k podvozkové noze a na druh straně je rotační vazba na čepu zlomovací vzpěry. Táhlo bylo početně kontrolováno na vzpěr a kritická síla pro ztrátu stability byla vypočtena  $F_{KR} = 16\,141\text{ N}$

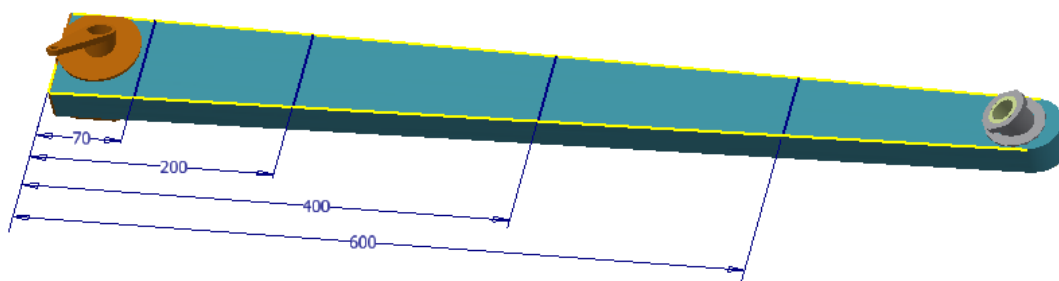


Obrázek 63 - Zatížení táhla zlomovací vzpěry.

## 13.2 Hlavní podvozek

### 13.2.1 Pružnice podvozkové nohy

Pro řešení skladby materiálů byl vytvořen model pružnice pro výpočet průhybu podvozkové nohy. Model byl rozdělen po délce na pět polí různých délek. Tento idealizovaný model byl pokryt 2D sítí a pouzdra byla vytvořena jako 3D elementy. 2D prvky představují vrstvy uhlíkového prepregů, které byly navrstveny dle polí do různých výšek. Nejvyšší skladba je v oblasti šikmého čepu a nejméně vrstev je okolo pouzdra nohy svislé. 3D prvky představují ocelová pouzdra. Poté byly připojeny rotační vazby. Dále byly připojeny síly stanovené výpočtem početního zatížení ve třech osách.



Obrázek 64 - Rozdělení výpočtového modelu pružnice do 5 polí.

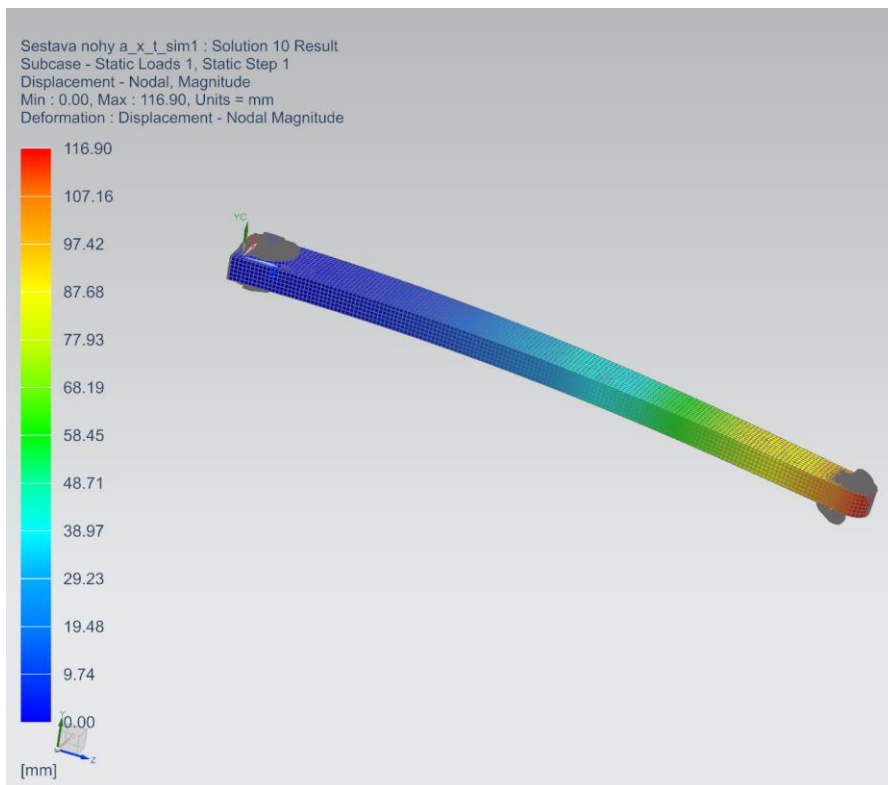
Na obrázku viz výše je zobrazeno rozdělení pružnice do polí a v tabulce č. 11 jsou vrstvy uhlíkové tkaniny ve formě prepregu

Počet vrstev v poli číslo				
1	2	3	4	5
39	21	16	12	9

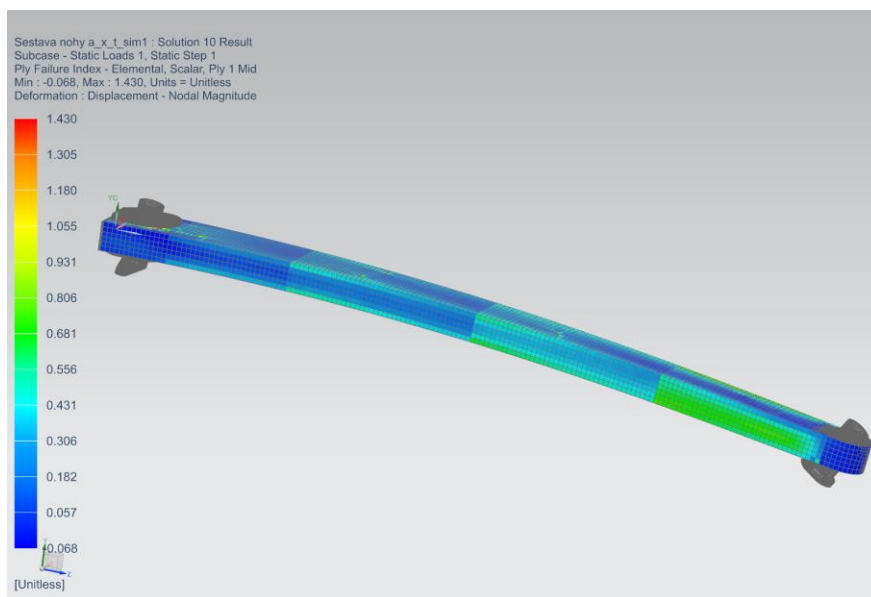
Tabulka 13 - Skladba vrstev dle polí. Vlevo je pole č.1.

#### 13.2.1.1 Maximální napětí

První zatěžovací případ byla superpozice napětíových maxim ve všech osách. Do výpočtového modelu byly zavedeny maximální síly zjištěné při početním zatížení  $F_x = 1655,445 \text{ N}$   $F_y = 5394,885 \text{ N}$   $F_z = 1839,375 \text{ N}$ . Byl vypočten maximální průhyb pružnice 0,1169 m. Vzhledem k prvnímu odhadu 0,134 m pro výpočet provozního násobku v těžišti je zde rozdíl cca 17 mm.

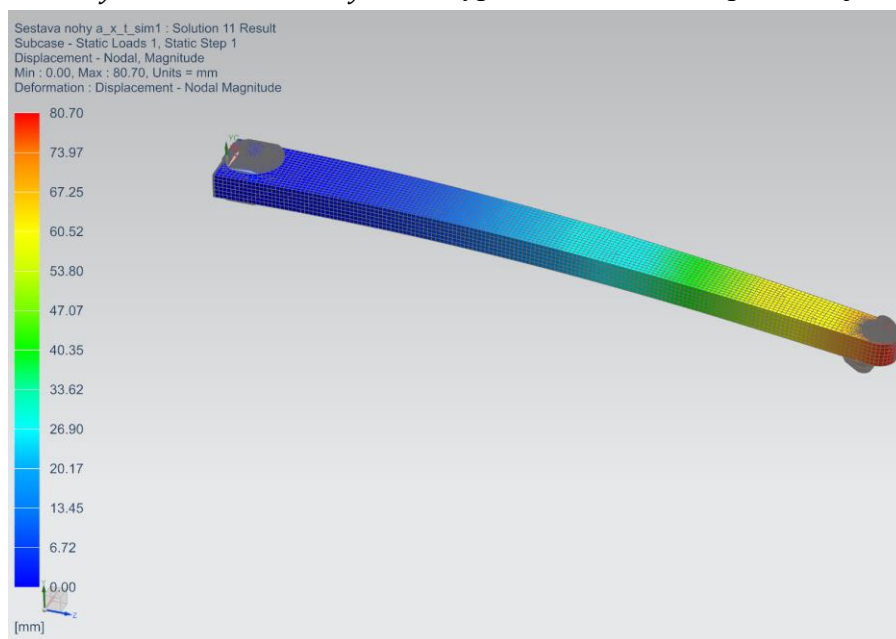


Vzhledem k nepravidelnému tvaru elementu a vlivem nesterajných stran byla překročena hodnota indexu selhání vrstvy několika málo prvcích.



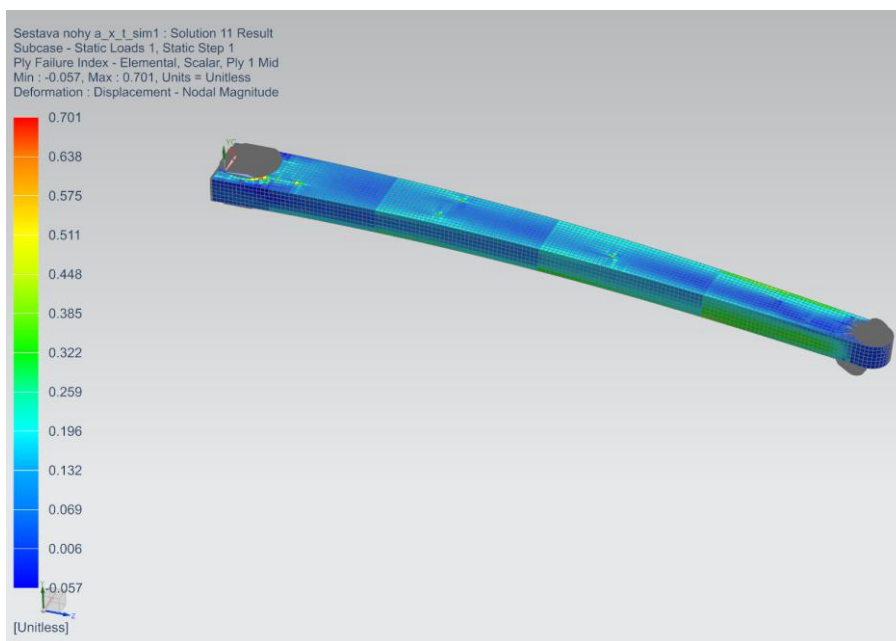
### 13.2.1.2 Vodorovné přistání na tři kola.

Zatěžovací případ přistání na všechna kola vyvodí síly při dotyku se zemí o velikosti  $F_x = 1120,755 \text{ N}$  a  $F_y = 3652,425 \text{ N}$ ,  $F_z = 0$ . Vypočtená deformace pružnice je 80,7 mm.



Obrázek 65 - Deformace pružnice přistání na 3 kola.

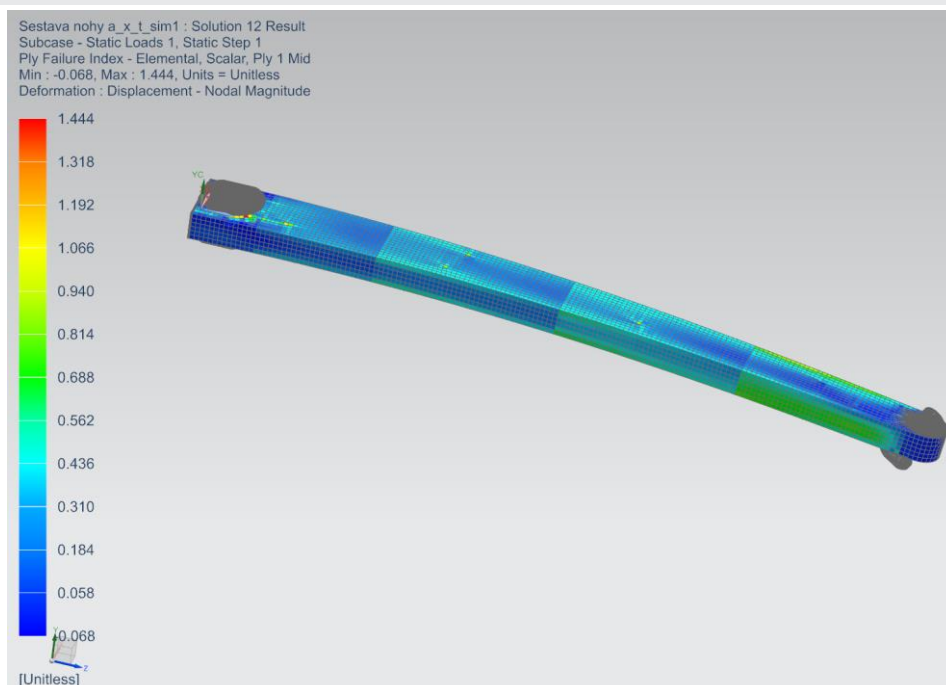
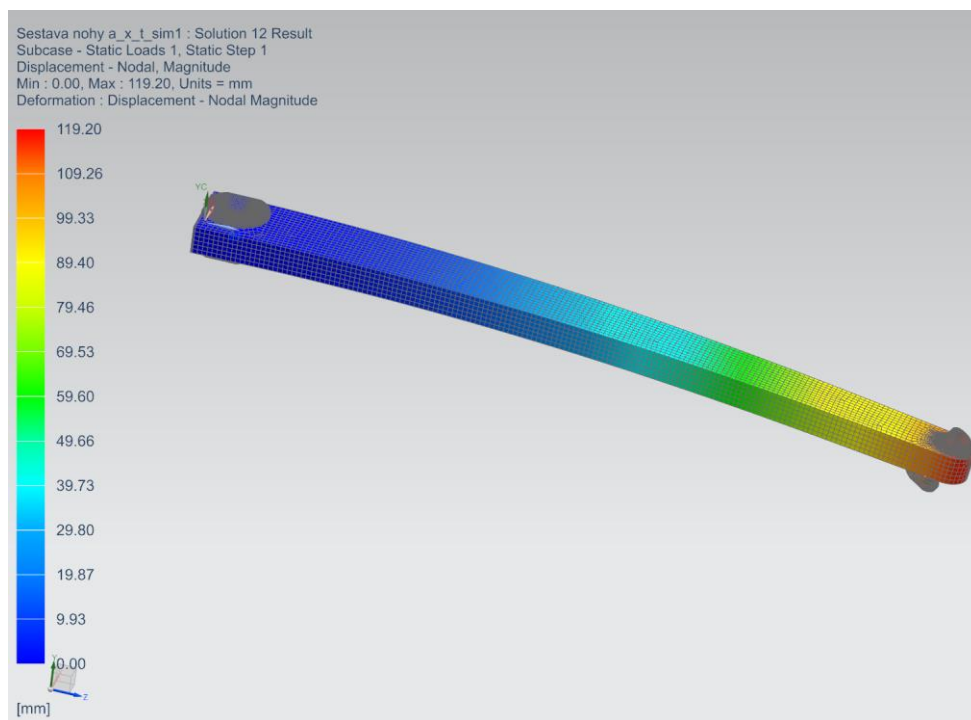
Index selhání vrstvy se pohybuje v požadovaných mezích, porušení kompozitu není výpočtem predikováno.



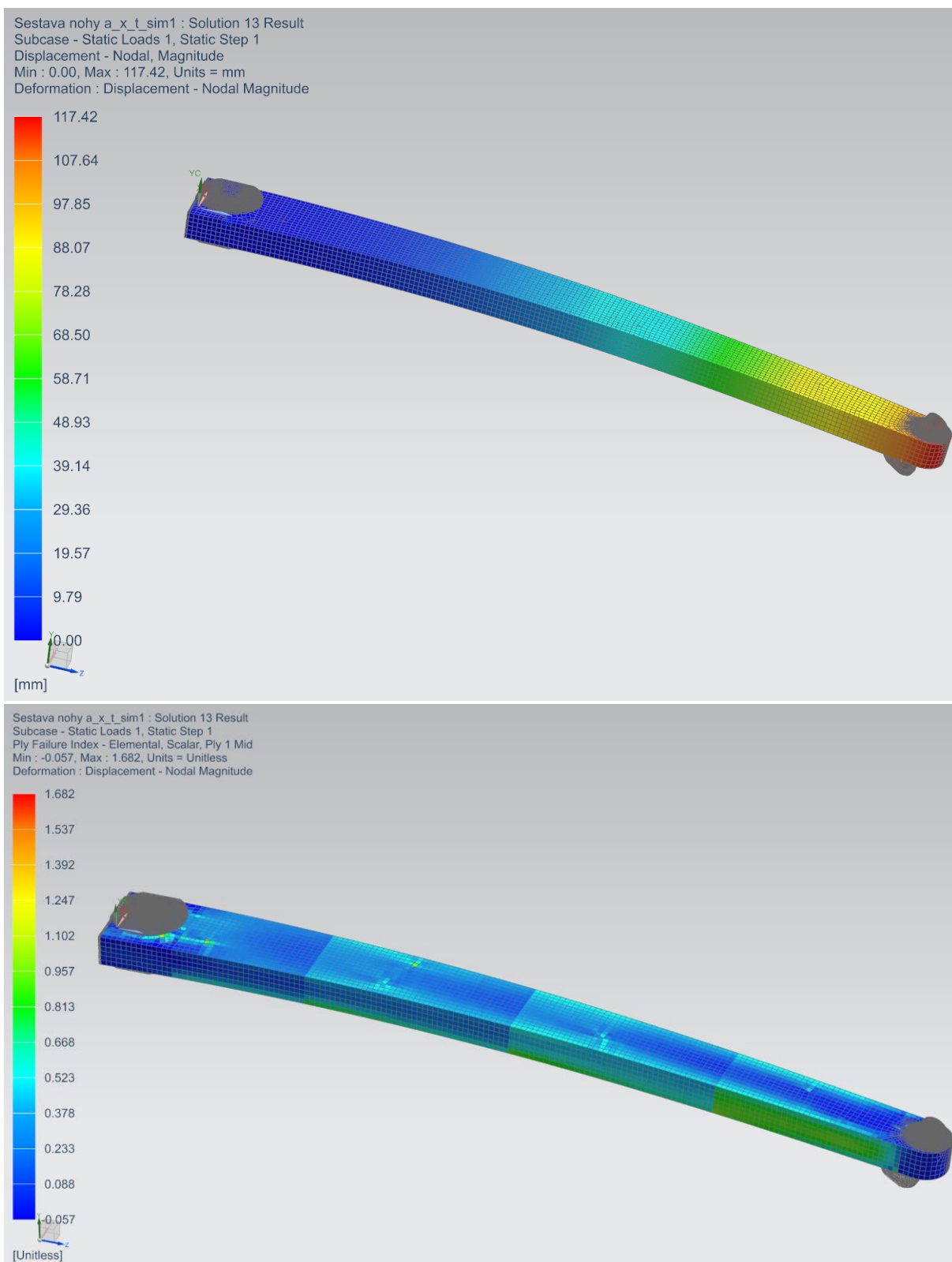
Obrázek 66 - Index selhání vrstvy zatěžovací případ přistání na 3 kola.

### 13.2.1.3 Příkladový podvozek těsně nad zemí.

$F_x = 1655,445 \text{ N}$  a  $F_y = 5394,885 \text{ N}$ .  $F_z = 0$ . Vypočtená deformace pružnice je 119,2 mm.



### 13.2.1.4 Velký úhel náběhu





Případy s nejvyšším zatížením byly po výpočtu metodou MKP zobrazeny, další případy zatížení nejsou z pohledu absorpce přistávací energie kritické, proto byly jejich hodnoty vloženy do následující tabulky:

Zatěžovací případ	Zatížení hlavního podvozku v osách			Průhyb pružnice v ose y	Index selhání vrstvy	Index rozlepení vrstvy
	x	y	z			
Vodorovné na tři kola	747,17	2434,950	0	80,700	0,701	0,564
Přídový podv. těsně nad zemí	1103,630	3596,59	0	119,2	1,444	0,833
Velký úhel náběhu	0	3596,59	0	117,42	1,682	0,722
Boční zatížení	0	1643,18	1226,25	51,34	0,384	0,335
	0	1643,18	809,33	52,12	0,388	0,333
Brždění při přistání	600,72	1112,45	0	37,54	0,2	0,284
	887,32	1643,18	0	55,45	0,394	0,419

Tabulka 14 - Hodnoty průhybu pružnice dle případů zatížení při přistání.

### 11.2.1.1 Kontrola násobku

Po provedení návrhu a kontrole pomocí metody MKP, byl stanoven/vypočten průhyb pružnice hlavního podvozku na hodnotě 0,1169 m je nutné zkontrolovat velikost provozního násobku v těžišti s ohledem na limitní hodnotu  $n_{pr} = 4$ .

Ve stavebním předpisu UL2-I. část jsou v kapitole IX odstavec 2d vzorce:

$$n_{pr} = n_j + 0,667$$

$$n_j = \frac{0,0132 \cdot \sqrt{\frac{m \cdot g}{S}} + \frac{y}{3}}{y_{ef}}$$

Kde:

$y$  (m) je celková dráha tlumení nárazu (součet předpokládaného stlačení pneumatiky a tlumiče  
 $y = y_{PN} + y_{TL}$

$y_{ef}$  součinitel účinnosti tlumení

Pro pružinové a gumové tlumiče

$$y_{ef} = 0,5 \cdot y_{PN} + 0,5 \cdot y_{TL}$$

Dosadíme vypočtené hodnoty

$$y_{ef} = 0,5 \cdot y_{PN} + 0,5 \cdot y_{TL} = 0,5 \cdot 0,070 + 0,5 \cdot 0,117 = 0,0935 \text{ m}$$

$$y = y_{PN} + y_{TL} = 0,070 + 0,134 = 0,187 \text{ m}$$

$$n_j = \frac{0,0132 \cdot \sqrt{\frac{m \cdot g}{S}} + \frac{y}{3}}{y_{ef}} = \frac{0,0132 \cdot \sqrt{\frac{250 \cdot 9,81}{8}} + \frac{0,187}{3}}{0,0935} = 3,14$$

$$n_{pr} = n_j + 0,667 = 3,14 + 0,67 = 3,81$$

Provozní násobek v těžišti byl přepočítán a jeho nová hodnota  $n_{pr} = 3,81 < 4$  nepřekročila limitní hodnotu stanovenou stavebním předpisem pro kontrolu všech soustředěných hmot.

## 14. Závěr

Tato diplomová práce řešila návrh podvozku ultralehkého letounu. Vzhledem k typu pohonu tlačnou vrtulí, jež je umístěna v zadní části trupu se omezil výběr použitelných typů přistávacího zařízení a to na obrácený tricykl a tandemový podvozek. Nakonec byl vybrán obrácený tricykl, protože tandemový podvozek má vyšší hmotnost, vyžaduje dlouhé stabilizační podpěry vestavěné do křídel. Tím by vznikla potřeba zesílení křídla z důvodu absorpce přistávacích rázů a omezil by se prostor pro zástavbu a ovládání vztlakových klapek a balančních křidélek. V příloze č. II. stavebního předpisu není tandemový podvozek uveden, vedla by obtížnější cesta ke stanovení provozních zatížení a jejich obhájení u dohlédacího úřadu.

Pro vybraný návrh dle stavebního předpisu UL-2 část 1 byl proveden výpočet provozního zatížení, tzn. největšího předpokládaného zatížení během přistání, startů, pojíždění a vlečení letounu. Provozní zatížení bylo zvýšeno součinitelem bezpečnosti na početní zatížení. Na tuto hodnotu bylo dimenzováno přistávací zařízení. Nejtěžší úkol byl stanovit kinematiku podvozku, protože tento typ letounu neumožňuje použít křídlo pro uchycení noh hlavního podvozku, proto bylo nezbytné využít prostor za pilotem, který je ovšem omezen proudnicovým tvarem trupu a vyžaduje postavení kol hlavního podvozku svisle k podélné rovině letounu. Dále byla provedena pevnostní kontrola pro ověření správnosti návrhu a hmotnostní rozbor pro doplnění / sestavení hmotnostní obálky letounu.

## 15. Seznam použité literatury

- [1] LETECKÁ AMATÉRSKÁ ASOCIACE ČR. UL2- I. Část: Požadavky letové způsobilosti SLZ. Ultralehké letouny řízené aerodynamicky. Praha: LAA ČR 2002
- [2] Mikula J.: *Konstrukce a projektování letadel II*, Vydavatelství ČVUT, Praha 2005, 246s.
- [3] Slavík S.: *Stavba letadel*, Vydavatelství ČVUT, Praha 1997, 129s.
- [4] AEROWEB.CZ. [online]. Dostupné z :  
<https://www.aeroweb.cz/letadla/letouny/zlin-z126> [Citováno dne 27. 6. 2018].
- [5] AVIATION-FAN-CLOB.COM. [online]. Dostupné z :  
[http://www.aviation-fan-club.com/airshow\\_lkln\\_2012.htm](http://www.aviation-fan-club.com/airshow_lkln_2012.htm)
- [6] GAC-RAMERT.EU [online]. Dostupné z :  
<http://www.gac-ramert.eu/zima-3.html>
- [7] WIKIPEDIA.ORG. [online]. Dostupné z :  
[https://cs.wikipedia.org/wiki/BAE\\_Sea\\_Harrier#/media/File:SeaHarrier.jpg](https://cs.wikipedia.org/wiki/BAE_Sea_Harrier#/media/File:SeaHarrier.jpg)
- [8] TL-ULTRALIGHT.CZ [online]. Dostupné z :  
<http://www.tl-ultralight.cz/cs/ultralehka-letadla/sirius-s-plovaky>
- [9] LETIŠTĚ VLAŠIM.CZ [online]. Dostupné z :  
<http://www.lkvl.cz/index.php/letovy-park/p-92s-echo>
- [10] HERENS N.C.: *Landing gear design in automated desing environment*, TU DELFT, 2014, 123s
- [11] AVIATIK.CZ [online]. Dostupné z :  
<https://www.aviatik.cz/kompletni-kolo/ostruhove-kolo>
- [12] WIKIPEDIA.ORG. [online]. Dostupné z :  
[https://cs.wikipedia.org/wiki/Obojživelné\\_letadlo](https://cs.wikipedia.org/wiki/Obojživelné_letadlo)
- [13] IDNES.CZ. [online]. Dostupné z :  
[https://www.idnes.cz/technet/technika/jadransky-expres-letajici-clun-saro-cloud-csa.A131213\\_130800\\_vojenstvi\\_kuz](https://www.idnes.cz/technet/technika/jadransky-expres-letajici-clun-saro-cloud-csa.A131213_130800_vojenstvi_kuz)
- [14] SLAVĚTIND.CZ. [online]. Dostupné z :

[http://www.slavetind.cz/stavba/koncepce/Koncepce\\_prist\\_zar.aspx](http://www.slavetind.cz/stavba/koncepce/Koncepce_prist_zar.aspx)

[15] TL-ULTRALIGHT.CZ. [online]. Dostupné z :

<http://www.tl-ultralight.cz/en/ultralight-aircraft/sirius-with-floats>

## 16. Seznam obrázků

Obrázek 1 - Rozdělení kolových podvozků.[3] .....	10
Obrázek 2 - Zlín Z 126 – podvozek s ostruhovým kolem.[4] .....	11
Obrázek 3 – Ae-270 prototyp č. 7 - podvozek s příďovým kolem. [4].....	12
Obrázek 4 – Letoun britského královského námořnictva BAe Sea Harrier FA. 2 z 801 Naval Air Squadron. [7].....	12
Obrázek 5 - Z-226 zimní konfigurace [4] .....	13
Obrázek 6 - TL 3000 Sirius. [8] .....	14
Obrázek 7 - Saro A19 Cloud. [13] .....	14
Obrázek 8 - Consolidated PBV Catalina. [12].....	15
Obrázek 9 - Zadání DP model UL letounu .....	16
Obrázek 10 - Tandemový podvozek. ....	17
Obrázek 11 – Varianta č. 1. ....	18
Obrázek 12 – Varianta č. 2. ....	19
Obrázek 13 - Základní geometrie návrhu podvozku proti převržení.....	20
Obrázek 14 – Pohled shora na meze stability letounu a umístění podvozkových noh.....	21
Obrázek 15 - Trajektorie zasouvání podvozku. ....	23
Obrázek 16 - Pohled na trajektorii v podélné ose.....	24
Obrázek 17 - Pohled na vysunutý podvozek. ....	24
Obrázek 18 - Pohled na zasunutý podvozek.....	25
Obrázek 19 – Podvozková noha po vysunutí z trupu vlevo a po natočení do přistávací pozice vpravo. ....	25
Obrázek 20 - Detail ovládání natáčená podvozkové nohy, pojistka je v poloze odjištěno. ....	26
Obrázek 21 - Pojistka v poloze zajištěno. ....	26
Obrázek 22 - Detailní pohled na ovládání natáčení podvozkové nohy. ....	27
Obrázek 23 – Poloha podvozku. ....	29
Obrázek 24 - Pozemní zatížení. ....	31
Obrázek 25 - Síly při přistání na tři body. ....	33
Obrázek 26 - Příďové kolo nad zemí.....	34
Obrázek 27 - Přistání s velkým úhlem náběhu. ....	36
Obrázek 28 - Boční zatížení hlavního podvozku.....	37
Obrázek 29 - Dodatečné zatížení při brzdění. ....	38
Obrázek 30 - Síly v příďovém podvozku. ....	41
Obrázek 31 - Sestava příďového kola.....	44
Obrázek 32 -Vidlice příďového podvozku. ....	45
Obrázek 33 -Montáž kola do vidlice.....	46
Obrázek 34 – Válec nohy příďového podvozku.....	47
Obrázek 35 - Stlačení elastomeru v závislosti na síle.....	48
Obrázek 36 - Řez tlumičem.....	48
Obrázek 37 - Sestava zlamovací vzpěry.....	49
Obrázek 38 – Pohon ovládání příďového podvozku táhlem.....	49
Obrázek 39 - Kolo hlavního podvozku.....	50
Obrázek 40 - Bubnová brzda[11].....	51

Obrázek 41 - Noha svislá .....	51
Obrázek 42 - Největší zatížení pouzdra šikmého čepu.....	53
Obrázek 43 - Největší zatížení kompozitové konstrukce. ....	54
Obrázek 44 - Vysouvací táhlo. ....	55
Obrázek 45 - Pohybový šroub včetně pohonu .....	56
Obrázek 46 Zatěžující síly příďového podvozku. ....	58
Obrázek 47 - Kontrolovaná místa na příďovém podvozku.....	59
Obrázek 48 - Svorník závěsu příďového podvozku.....	62
Obrázek 49 - Zlamovací vzpěra.....	63
Obrázek 50 - 2.případ vzpěru. ....	64
Obrázek 51 - Čep zlamovací vzpěry.....	65
Obrázek 52 – Překlopení do roviny pružnice y-z. ....	67
Obrázek 53 - Překlopení do roviny šikmého čepu x-z. ....	67
Obrázek 54 - Kontrolované místo na svislé noze. ....	68
Obrázek 55 - Síly v rovině z-y.....	70
Obrázek 56 - Namáhání lepeného spoje. ....	72
Obrázek 57 - Táhlo vysouvací. ....	73
Obrázek 58 - Spoj táhla a páky ovládní podvozku. ....	74
Obrázek 59- Pohybový šroub. ....	75
Obrázek 60 - Souřadný systém letounu. ....	79
Obrázek 61 - Napětí dle Miesese. ....	81
Obrázek 62 - Napětí dle Miesese na válci příďové nohy. ....	82
Obrázek 63 - Zatížení táhla zlamovací vzpěry. ....	83
Obrázek 64 - Rozdělení výpočtového modelu pružnice do 5 polí. ....	84
Obrázek 65 - Deformace pružnice přistání na 3 kola. ....	86
Obrázek 66 - Index selhání vrstvy zatěžovací případ přistání na 3 kola. ....	86

## 17. Seznam tabulek

Tabulka 1 - Zadané parametry letounu .....	16
Tabulka 2 - Vstupní parametry výpočtu zatížení. ....	28
Tabulka 3 - Příloha II. dle UL2-část II. ....	32
Tabulka 4 - Provozní zatížení podvozku. ....	42
Tabulka 5 - Početní zatížení.....	43
Tabulka 6 Skladba vrstev ullíkového prepregu a jejich mechanické vlastnosti.....	52
Tabulka 7 - Skladba skelných vláken. ....	52
Tabulka 8 - Skladba sestavy pružnice. ....	54
Tabulka 9 - Počet vrstev v jednotlivých polích. ....	55
Tabulka 10 - Průhyby a index selhání vrstvy u jednotlivých zatěžujících případů.....	55
Tabulka 11. - Hmotový rozbor vysunutý podvozek.....	79
Tabulka 12 - Hmotový rozbor zasunutý podvozek.....	80
Tabulka 13 - Skladba vrstev dle polí. Vlevo je pole č.1.....	84

Tabulka 14 - Hodnoty průhybu pružnice dle případů zatížení při přistání..... 89



## 18. Seznam použitých symbolů

$v_y$	$[m \cdot s]$	klesací rychlost
$g$	$[m \cdot s^{-2}]$	gravitační zrychlení
$m$	$[kg]$	hmotnost
$m_{TOW}$	$[kg]$	maximální vzletová hmotnost
$S$	$[m^2]$	plocha křídla
$F_L$	$[N]$	vztlaková síla
$c_{L\alpha}$	$[rad^{-1}]$	směrnice vztlakové čáry
$\frac{dc_L}{d\alpha}$	$[rad^{-1}]$	derivace součinitele vztlaku podle úhlu náběhu
$c_L$	$[-]$	součinitel vztlaku
$c_{Lkr}$	$[-]$	kritický součinitel vztlaku
$(c_{Lmax})_{f=0}$	$[-]$	součinitel vztlaku se zasunutými klapkami
$l_m$	$[m]$	vyložení hlavního podvozku
$h_{CG}$	$[m]$	výška těžiště nad zemí při pojíždění
$e_s$	$[m]$	statické stlačení tlumiče
$l_n$	$[m]$	vyložení příďového podvozku
$t$	$[m]$	rozchod podvozku
$\delta$	$[^\circ]$	úhel svírající kolo příďového a hlavního podvozku
$\Psi$	$[^\circ]$	úhel mezi kolem hlavního podvozku a těžištěm v rovině souměrnosti letounu
$y_{minstab}$	$[m]$	minimální vzdálenost nohy hlavního podvozku od podélné osy
$\theta_{LOF}$	$[^\circ]$	úhel překlopení
$cg$	$[-]$	těžiště