

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

2021

**RADEK
ŠTĚPÁNEK**



**FAKULTA
ŠROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav letadlové techniky

**Návrh motorové instalace rychlostního
letounu**

**Design of engine instalation for racing
airplane**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2021

Bc. Radek Štěpánek

Studijní program: NLAK Letectví a kosmonautika

Studijní obor: 3906T008 Letadlová a kosmická technika

Vedoucí práce: Ing. Jakub Valenta



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Štěpánek** Jméno: **Radek** Osobní číslo: **459860**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav letadlové techniky**
Studijní program: **Letectví a kosmonautika**
Studijní obor: **Letadlová a kosmická technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh motorové instalace rychlostního letounu

Název diplomové práce anglicky:

Design of engine installation for racing airplane

Pokyny pro vypracování:

Náplní práce je návrh instalace motoru UL Power UL350 do ultralehkého letounu.

Body zadání:

- Návrh motorového lože
- Uložení příslušenství motoru
- Stanovení zatížení
- Dimenzování
- Hmotový rozbor

Seznam doporučené literatury:

Dle pokynů vedoucího.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jakub Valenta, ústav letadlové techniky FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **30.04.2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **30.07.2021**

Platnost zadání diplomové práce:



Ing. Jakub Valenta
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.

29.4.2021
Datum převzetí zadání

Jakub Radek
Podpis studenta



Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: Návrh motorové instalace rychlostního letounu vypracoval samostatně pod vedením: Ing. Jakuba Valenty, s využitím literatury a zdrojů uvedených na konci diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne

Radek Štěpánek



Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu práce Ing. Jakubu Valentovy za vedení této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ústavu letadlové techniky fakulty strojní ČVUT za poskytnuté podklady potřebné ke zpracování diplomové práce. Rád bych poděkoval kolektivu studentské formule eForce FEE Prague Formula za poskytnutí podmínek k získání zkušeností s návrhem, výrobou a testováním kompozitních konstrukcí. Největší poděkování patří mé rodině a blízkým, kteří mě při studiu velmi podporovali a díky nim jsem se mohl profesně rozvíjet i nad rámec studia.

Autor:	Bc. Radek Štěpánek
Rok:	2021
Název diplomové práce:	Návrh motorové instalace rychlostního letounu
Rozsah práce:	83 stran, 31 obrázků, 27 tabulek, 2 přílohy
Univerzita:	České vysoké učení technické v Praze – Fakulta strojní
Ústav:	Ústav letadlové techniky
Vedoucí diplomové práce:	Ing. Jakub Valenta
Klíčová slova:	Motorové lože, motorová instalace, rychlostní letoun, kompozitní materiál, uchycení podvozku, rotax

Anotace

Úkolem diplomové práce je prvotní návrh kompozitní motorové instalace pro rychlostní letoun vyvíjený na ústavu letadlové techniky ČVUT. Nejprve bylo třeba definovat zatížení působící na motorovou instalaci. Uvažované zatížení je vypočteno dle požadavků platných předpisů, ke kterým jsou přidány další kritické stavy. Následně je provedeno rozmístění nosných komponent motorové instalace. Prvotní pevnostní výpočet je proveden analyticky. Nakonec je navržená struktura ověřena simulací pomocí metody konečných prvků a je provedeno srovnání s analytickou metodou. Výstupem této práce je tvarový návrh motorové instalace, včetně materiálového složení a hmotnostního rozboru, použitelný pro další iteraci návrhu rychlostního letounu.

Author:	Bc. Radek Štěpánek
Year:	2021
Title of diploma thesis:	Design of engine instalation for racing airplane
Extent:	83 pages, 31 figures, 27 tables, 2 addition
University:	Czech Technical University in Prague – Faculty of Mechanical Engineering
Department:	Department of Aerospace Engineering
Supervisor:	Ing. Jakub Valenta
Key words:	Engine mount , engine instalation, racing airplane, Composite material, suspension attachment, rotax

Abstract

The objective of the diploma thesis was to design composite engine instalation for racing airplane developer at department of Aerospace engineering CTU. Definition of the acting forces to motor instalation has to be made first. considered load was defined with requirements of valid regulations extended by critical states. Location of the structural parts of motor mount has been set. First calculations were made analytically. In the second step motor mount is simulated in PC program using finite element. FEM and analytical calculation were compared. The output of this work is a shape design of an engine installation, including material composition and mass analysis, usable for further iteration of the design of a racing aircraft.

Obsah

Prohlášení.....	III
Poděkování.....	IV
Anotace	V
Abstract	V
Seznam zkratk a symbolů	4
1 Základní Informace o letounu	7
1.1 Specifikace letounu.....	7
1.2 Definice souřadného systému	7
1.3 Pohonná soustava.....	8
1.3.1 Motor.....	8
1.3.2 Vrtule	9
2 Hmotnostní analýza pohonného ústrojí.....	10
2.1.1 Poloha těžiště motoru.....	10
3 Rešerše	12
3.1 Používané typy zavěšení motoru.....	12
3.1.1 Uchycení motoru zezadu.....	12
3.1.2 Uchycení motoru flatbed	13
3.1.3 Uchycení více nosníky	13
3.1.4 Kompozitní zástavba	14
3.1.5 Uchycení do trupu	14
3.2 Konstrukce motorového lože	15
4 Požadavky předpisů.....	16
4.1 Zkoumaná zatížení.....	16
4.2 Obecné požadavky podle UL-2	17
4.2.1 Předpis UL-2 Hlava C – Pevnost sekce I §303 (8)	17
4.3 Zatížení motorového lože podle UL-2	19
4.3.1 Předpis UL-2 Hlava C – Pevnost sekce III §361 Zatížení motorového lože (8)	19
4.3.2 Předpis UL-2 Hlava C – Pevnost sekce III §363 Boční zatížení motorového lože (8).....	19
4.4 Zatížení od podvozku podle UL-2	20
Návrh motorové instalace rychlostního letounu	VI

4.4.1	Předpis UL-2 Hlava C – Pevnost sekce IX §473 Podmínky zatížení podvozku pozemním zatížením (8).....	20
4.4.2	Předpis UL-2 Hlava C – Pevnost sekce IX §479 Základní přistávací podmínky pro podvozek (8).....	21
4.4.3	Předpis UL-2 Hlava C – Pevnost sekce IX §485 Podmínky Bočního zatížení	21
4.4.4	Předpis UL-2 Hlava C – Pevnost sekce IX §493 Podmínky zatížení při brždění (8)....	21
4.5	Konstrukční a materiálové požadavky.....	22
4.5.1	Předpis UL-2 Hlava E – Ovládací zařízení motoru a jeho příslušenství sekce VII §1193 Motorové kryty a motorové gondoly (8)	22
4.5.2	Předpis UL-2 Hlava E – Výfuková soustava VI §1121 Všeobecně (8)	22
5	Výpočet zatížení	23
5.1	Letové obálky.....	23
5.1.1	Hmotová obálka	23
	25
5.2	Letové násobky	25
5.3	Zatížení podle UL-2 § 361 - 1a	26
5.3.1	Tahové zatížení:.....	26
5.3.2	Tíhové zatížení:.....	26
5.4	Zatížení podle UL-2 § 361 – 1b	27
5.4.1	Tahové zatížení.....	27
5.4.2	Tíhové zatížení.....	28
5.5	Zatížení podle UL-2 § 363	28
5.6	Shrnutí předpisového zatížení.....	29
5.7	Zatížení od ostatních letových případů	30
5.7.1	Výpočet úhlu náběhu	30
5.7.2	Výpočet odstředivé síly	32
5.8	Gyroskopické momenty.....	33
5.8.1	Předpisová základna.....	33
5.9	Výpočet gyroskopických momentů	34
5.9.1	Výpočet pro dvoulistou vrtuli.....	37
5.9.2	Odvození gyroskopických momentů při klopení z letových případů	38

5.9.3	Výpočet gyroskopických momentů při zatáčení	42
5.9.4	Výsledné Gyroskopické momenty.....	43
5.10	Pozemní zatížení	43
5.10.1	Výpočet pozemního zatížení	43
5.10.2	Výpočet zatížení od přistávacích podmínek.....	44
5.10.3	Zatížení od brždění	47
5.10.4	Boční zatížení.....	47
5.10.5	Výsledné zatížení od povozku	48
5.11	Výsledky zatížení	50
6	Geometrie motorového lože.....	51
6.1	Prvky konstrukce.....	52
6.1.1	Horní nosník	53
6.1.2	Spodní nosník	53
6.1.3	Boční nosník	53
6.1.4	Torzni skříň	54
6.1.5	Čelo motorového lože	54
6.1.6	Rohová vyztužení úchytů.....	54
7	Materiál motorového lože	55
7.1	Vlastnosti materiálů.....	56
7.1.1	Vlastnosti materiálů jader	56
7.1.2	Vlastnosti vláknových kompozitů.....	57
8	Dimenzování konstrukce	61
8.1	Vstupní zatížení.....	62
8.2	Výpočet smykových toků.....	63
8.3	Orientační návrh plochy pásnic nosníků.....	64
8.4	Výpočet výsledných napětí.....	66
8.4.1	Návrh skladby	66
8.4.2	Výpočet napětí	66
8.4.3	Výpočet jistot	68
9	Návrh rozložení ostatních komponent.....	69

10	Hmotový rozbor	72
10.1	Hmotový rozbor motorového lože	72
10.2	Hmotový rozměr ostatních komponent	75
11	Závěr	76
11.1	Seznam použité literatury	77
11.2	Seznam obrázků	80
11.3	Seznam tabulek	81
11.4	Seznam příloh	82
11.5	Přílohy	82

Seznam zkratk a symbolů

m	hmotnost letounu
g	tíhové zrychlení
w_s	pádová rychlost
n	provozní násobek
y	dráha tlumení
G	tíhová síla
F_T	tahová síla
P_{vzl}	Vzletový výkon
η_{vrt}	účinnost vrtule
α	úhel náběhu
$F_{G\ mot}$	tíhová síla motoru
m_{mot}	hmotnost motoru
$F_{G\ vrt}$	tíhová síla vrtule
m_{vrt}	hmotnost vrtule
k_{mk}	koeficient chodu motoru
Mk	kroučící moment motoru
v	rychlost letu
P_{trv}	trvalý výkon motoru
F_x	síla ve směru osy x
F_y	síla ve směru osy y
F_z	síla ve směru osy z
S	plocha křídla
c_y	koeficient vztlaku
L	vztlaková síla
ρ	hustota vzduchu
M_{Gy}	gyroskopický moment kolem osy y
M_{Gz}	gyroskopický moment kolem osy z
ω_x	úhlová rychlost klonění letounu
ω_z	úhlová rychlost klopení letounu
$\omega_{x\ vrt}$	úhlová rychlost otáčení vrtule
n_{vrt}	otáčky vrtule



J_{vrt}	kvadratický moment vrtule
γ	úhel klonění letounu
Φ	úhel klopení letounu
y_{pn}	stlačení pneumatiky
y_d	stlačení tlumiče
Fx_p	síla od podvozku v ose x
Fy_p	síla od podvozku v ose y
Fz_p	síla od podvozku v ose z
τ	smykové napětí
x_T	poloha těžiště v ose x
y_T	poloha těžiště v ose y
z_T	poloha těžiště v ose z
j	jisota
q_x	smykový tok v rovině yz
q_y	smykový tok v rovině zx
q_z	smykový tok v rovině yx
U	plocha dutiny
T	posouvající síla
σ_{mez}	mezní napětí
$A_{potř}$	potřebná plocha pásnic
t	tloušťka
h_{ef}	efektivní výška



Úvod

Úkolem této práce je navržení motorového lože pro letoun, který bude schopen překonat světový rychlostní rekord Mezinárodní letecké federace v kategorii ultralehkých letadel. Motorové lože je jako celé letadlo navrhováno podle předpisu UL-2 z roku 2019.

Před návrhem konstrukce byla provedena rešerše používaných typů uložení motoru a použití kompozitních materiálů v tomto typu aplikace.

Poté je řešeno zatížení působící na konstrukci, které tvoří zejména setrvačné síly od motoru na změnu násobku, následně reakčním momentem motoru a tahem vrtule, aerodynamickým zatížením a gyroskopickým momentem vrtule vznikajícím při obrazech. Jelikož uchycení podvozku je umístěno také na motorovém loži, je třeba uvažovat síly při přistání, pojíždění a od vlastní váhy podvozku.

1 Základní informace o letounu

1.1 Specifikace letounu

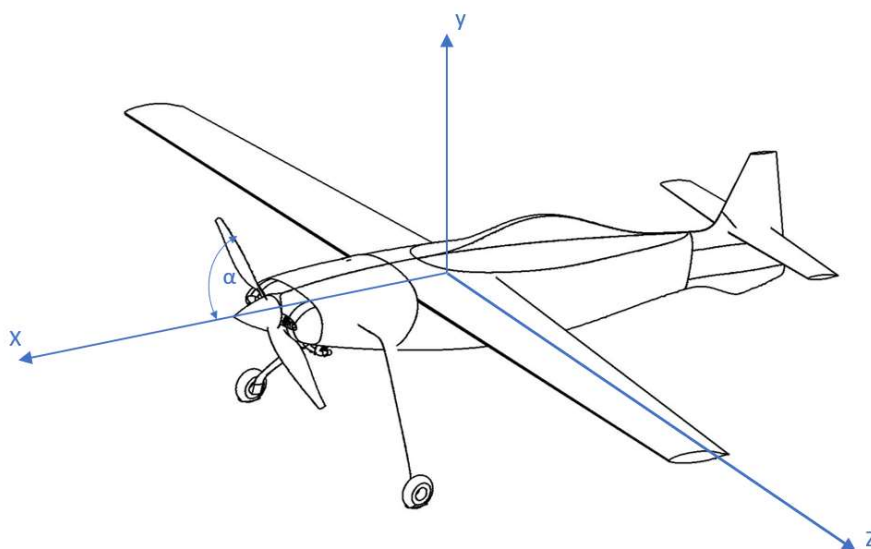
Jednomístný soutěžní letoun spadající do kategorie Aeroplane. Letoun je navrhován na MTOW = 345kg kdy v případě rychlostního letu bude spadat do kategorie do 300kg a v případě soutěžních letů na delší vzdálenost, bude mít letoun k dispozici dostatečnou zásobu paliva a bude spadat do kategorie do 500kg.

Bude použit motor UL Power UL350iSA, na kterém z důvodu aerodynamických optimalizací bude přepracován výfukový systém. Motor bude uchycený přes silentbloky na kompozitní motorové lože.

V aktuálním návrhu je uvažováno s constant speed vrtulí Airmaster AP521CTF-WWR68A, která byla navržena pro daný typ motoru a pro rychlostní aplikace. Na prototyp by ovšem měla být vyvinuta vrtule, navržena na vyšší rychlosti. (1)

1.2 Definice souřadného systému

Na obr.2 je zobrazen souřadný systém letadla. Kladný směr osy x míří ve směru letu, osa y míří ve vertikálním směru kolmo na směr letu.



obr. 1 souřadný systém letadla

1.3 Pohonná soustava

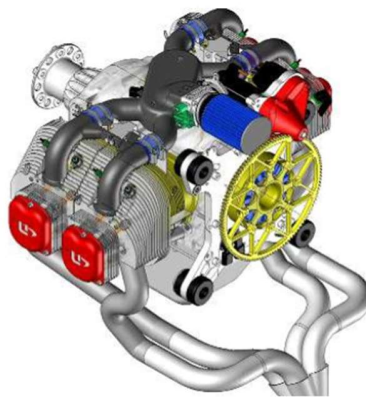
1.3.1 Motor

Motorové lože bude navrženo pro motor UL 350iSA s vlastnostmi uvedenými v tab.1. Jedná se o čtyřdobý čtyřválcový motor s mokrou mazací skříní s elektronickým startérem a alternátorem. Motor má přímý pohon vrtule, elektronický regulátor otáček a elektronické vícebodové vstřikování.

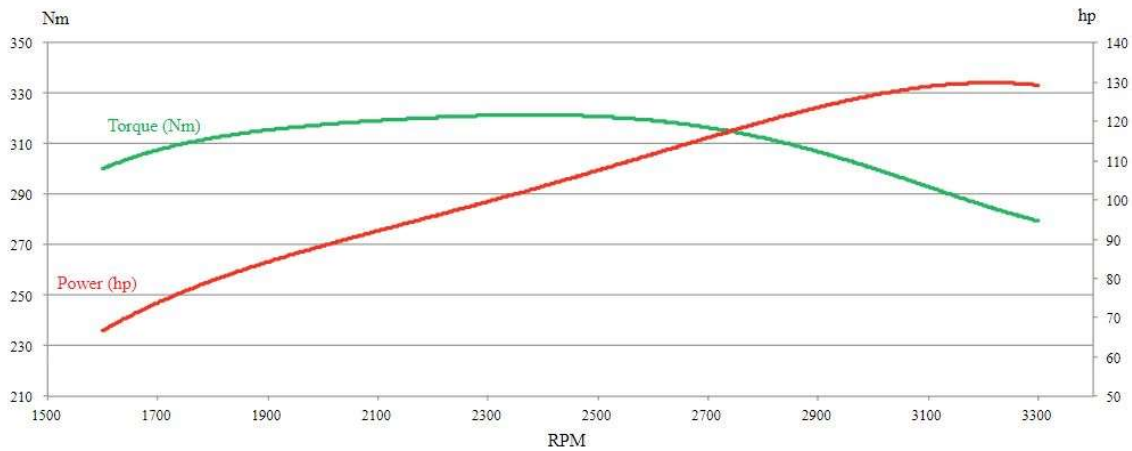
Válce jsou chlazeny stejně jako hlavy válců obtékajícím vzduchem. 3D model motoru je zobrazen na obr.3, na kterém je užito uspořádání výfuku 4 in 1, které nebude na letadle použito. (2)

tab 1 Technické údaje motoru UL 350iSA

Zdvihový objem	3503 ccm
Vrtání	105,6 mm
Zdvih	100 mm
Kompresní poměr	8.7 : 1
Směr rotace	Ve směru hodinových ručiček
Krouticí moment	320 Nm při 2400 otáčkách
Výkon	130hp při 3300 otáčkách / 123hp při 2800 otáčkách
hmotnost	78,4 kg (včetně startéru, oleje a alternátoru)



obr. 2 Motor UL 350iSA (27)



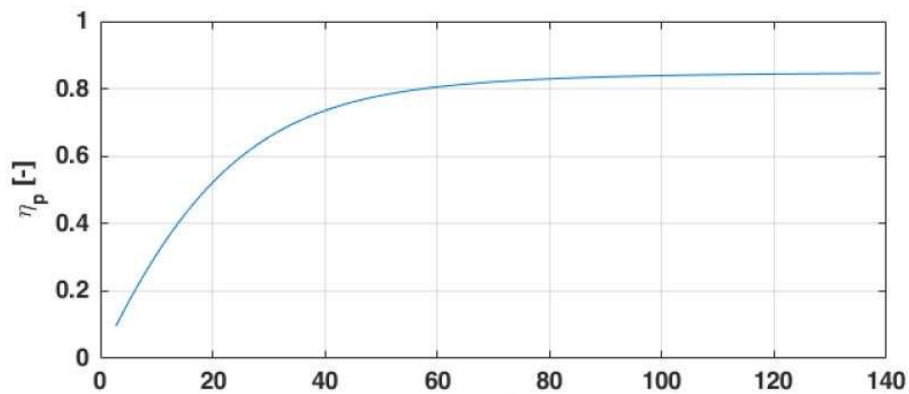
graf 1 Závislost výkonu a kroutícího momentu na otáčkách (27)

1.3.2 Vrtule

S motorem bude využita dvoulistá vrtule Airmaster AP521CTF-WWR68A zobrazena na obr.8, která je přímo navržena k využití s motorem UL350iS. Vrtule je pravotočivá s aerodynamickým profilem Whirlwind A. Listy vrtule jsou vyrobeny z kompozitu s náběžnou niklovou ochranou náběžné hrany. Hmotnost vrtule je 11,5 kg a moment setrvačnosti $\sim 0,5 \text{ kgm}^2$.



obr. 4 Vrtule AP521CTF-WWR68A (29)



graf 2 závislost propulsní účinnosti vrtule na rychlosti (1)

2 Hmotnostní analýza pohonného ústrojí

Hmotnostní analýza pohonného ústrojí včetně vrtule a příslušenství motoru je uvedena v následující tabulce.

tab 2 hmotnosti komponent pohonného ústrojí (1)

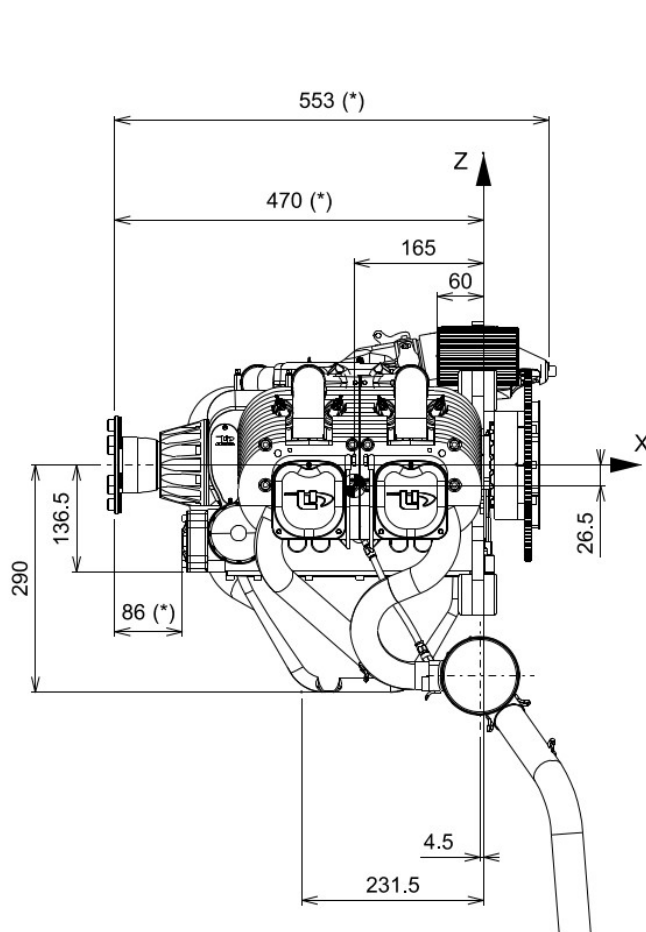
Komponent	Hmotnost (kg)
Motor UL 350iSA	66,1
Vrtule	11,5
Sestava zapalování	3
Řídící jednotka s kabely	1,6
Výfukový systém	3,6
Palivová pumpa	0,7
Palivové filtry	0,2
Chladič vzduch/olej s hadicemi	0,7
regulátor usměrňovače	0,1
Olejová náplň	2,6
Celková hmotnost pohonného ústrojí	90,1

2.1.1 Poloha těžiště motoru

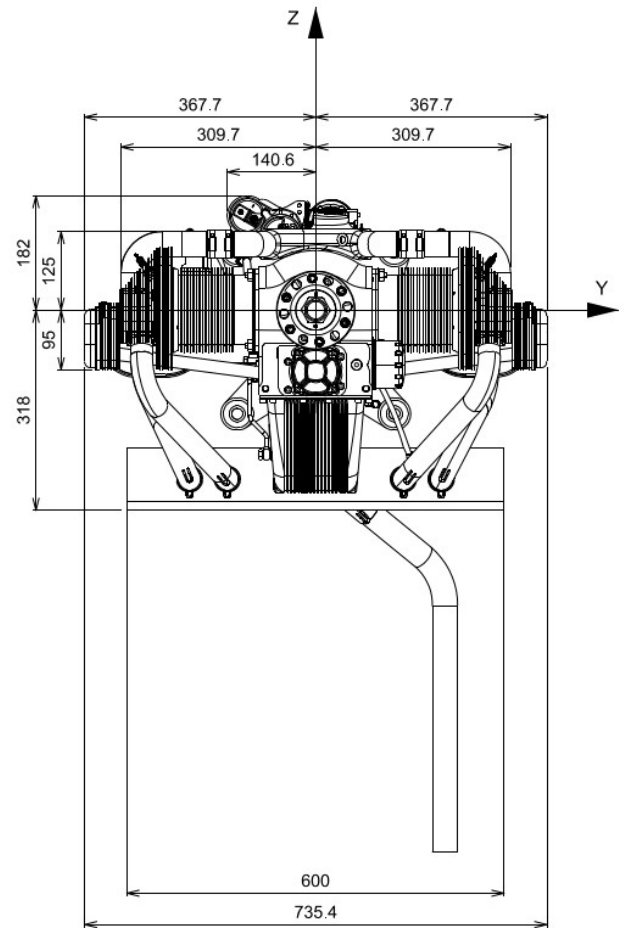
Poloha těžiště motoru vychází z dokumentů dodávaných výrobcem. Díky jiné orientaci os je uvedeno, jaké ose v globálním souřadném systému poloha odpovídá. Hodnota je brána vůči zadní ploše kotvicích bodů a jejich osám symetrie.

tab 3 Poloha těžiště motoru

Poloha těžiště v ose	Vzdálenost (mm)
Osa X (globální ss = -x)	165
Osa Y (globální ss= z)	1
Osa Z (globální ss=y)	26,5



obr. 7 Boční pohled na motor (2)



obr. 6 přední pohled na motor (2)

3 Rešerše

Rešerše byla provedena na v praxi běžně užívané typy zavěšení motoru. Primárně byla rešerše zaměřena na řešení užívané v ultralehké kategorii letectví.

3.1 Používané typy zavěšení motoru

3.1.1 Uchycení motoru zezadu

Motor je uchycen za kotevní body v zadní části, které jsou již vytvořeny výrobcem. Nejčastěji má motor 4 kotevní místa pro tento typ zavěšení. Zavěšení je výhodné z hlediska jednoduchosti a díky tomu také často vychází jako nejlehčí řešení. Na obr.9 je vyobrazen tento typ zavěšení motoru.



obr. 8 uchycení motoru zezadu (3)

3.1.2 Uchycení motoru flatbed

Motor je tentokrát uchycen přes 4 úchyty na spodní straně motoru. Tento typ motorového lože využívá delších komponent, proto často má lehce vyšší hmotnost než uchycení motoru na jeho zadní části, nehodí se pro tenkostěnné konstrukce z důvodu ztráty stability.



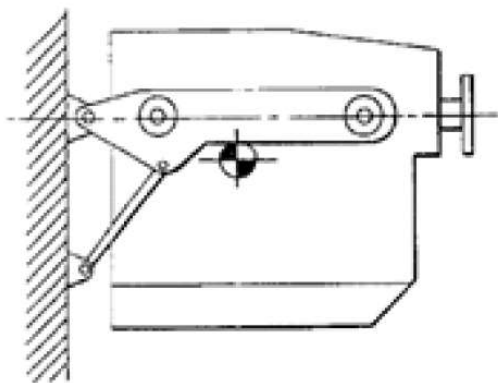
obr. 10 Uchycení typu bed (4)



obr. 9 uchycení typu bed s motorem (4)

3.1.3 Uchycení více nosníky

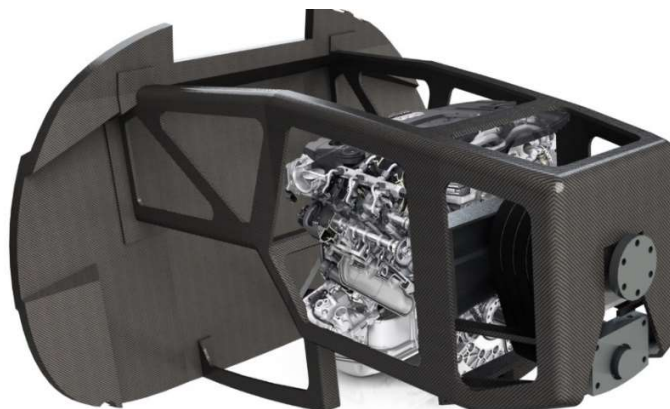
Na ultralightech téměř nepoužívaná možnost uchycení motoru. Tento typ uchycení motoru se převážně využívá na letadlech vyšších kategorií s turbovrtulovými a proudovými motory. Systém je složitější a nemá tak velké možnosti vložení pružných členů, které tlumí vibrace od motoru.



obr. 11 Uložení motoru na nosnících (5)

3.1.4 Kompozitní zástavba

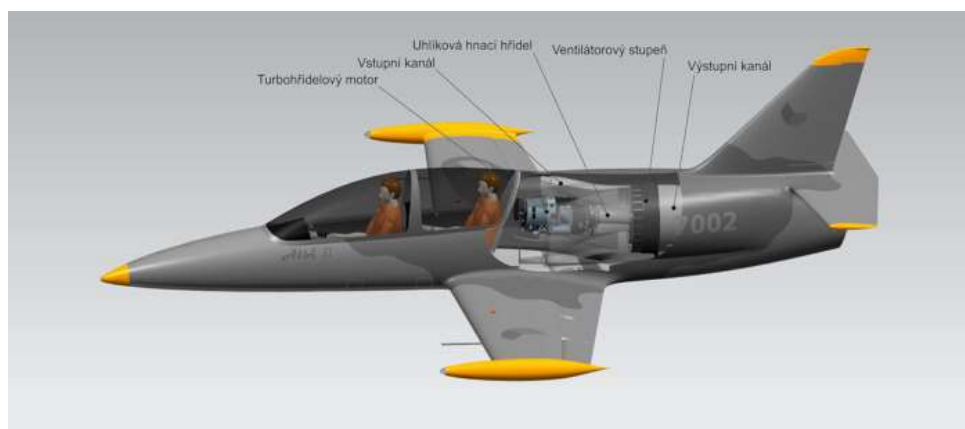
Využití kompozitních materiálů přináší větší geometrickou volnost a vznikají konstrukce, které se těžko zařadí do předchozích skupin. Ovšem využití kompozitu je finančně náročnější. Vyšší náklady přináší nejen cena materiálů, ale také náročnější výpočty a více vzorků potřebných ke zjištění přesných materiálových vlastností.



obr. 12 Uchycení použité na letadle raptor (30)

3.1.5 Uchycení do trupu

Uchycení do trupu je nejčastěji realizováno při využití proudového motoru. Z hmotnostního hlediska je ideální díky víceúčelovému využití konstrukce. Poloha motoru je optimálnější také z hlediska působení setrvačných sil. Ovšem v ultralehkém letectví se téměř neužívá, kvůli častému využití vrtulového pohonu. Několik výjimek ale existuje, například UL-39 Albi vyvinutý ústavem Letectví a kosmonautiky na ČVUT, vyobrazený na obr.14.




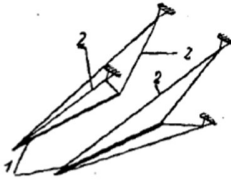

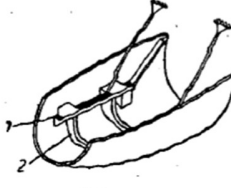
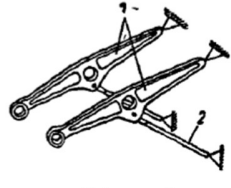
obr. 13 Uložení motoru v trupu u letadla UL-39 Albi (6)

3.2 Konstrukce motorového lože

Motorové lože je konstrukce, která pevně spojuje motor letadla s trupem, přenáší veškeré síly vznikající za letu působením hmotnosti motoru od vrtule a dalších k němu připevněných komponent.

Je to za letu velmi zatížená konstrukce, a proto se zde ve velkém vyskytují ocelové a hliníkové prvky.

Konstrukce motorového lože se dělí podle použitých nosných prvků viz obr.15.

Nosné schema	Řadové motory	
	Lože s příčným vyztužením. Motory s nenosnou skříní	Lože bez příčného vyztužení. Motory s nosnou skříní
Příhradové	 <p>Schema 1</p>	 <p>Schema 2</p>
Nosníkové		 <p>Schema 5</p>
Nosníko-příhradové	 <p>Schema 6</p>	 <p>Schema 7</p>

obr. 14 Obecné dělení konstrukce motorového lože (7)



4 Požadavky předpisů

V této kapitole jsou shrnuty požadavky, které klade předpis UL-2 na motorové lože ultralehkého letounu. Bylo rozhodnuto, že letoun bude certifikován podle UL-2 vydaného Leteckou amatérskou asociací (LAA) v roce 2019. Letoun by se dal také certifikovat podle německého předpisu LTF-UL.

V těchto předpisech jsou specifikované metody výpočtu zatížení motorového lože i zatížení od podvozku, při všech zátěžných stavech.

4.1 Zkoumaná zatížení

Motorové lože na rychlostním letounu bude spojovat více funkcí, a tudíž k běžným zátěžným stavům přibudou ještě zatížení od uchycení podvozku. V této práci budu užívat následujících zátěžných stavů:

Od motoru:

- Hmotnost motoru a příslušenství
- Vibrace

Od vrtule:

- Tah vrtule
- Hmotnost vrtule
- Gyroskopický moment vrtule

Od podvozku:

- Při přistání
- Při pojíždění
- Aerodynamické síly

4.2 Obecné požadavky podle UL-2

4.2.1 Předpis UL-2 Hlava C – Pevnost sekce I §303 (8)

1. Pokud není uvedena jiná hodnota, musí být použit součinitel bezpečnosti 1,5.
2. Součinitel bezpečnosti je nutno vynásobit doplňkovým součinitelem bezpečnosti, jestliže:
 - a. existuje nejistota o pevnosti součásti (dílu),
 - b. musí být očekávána ztráta pevnosti v čase do výměny,
 - c. nejsou k dispozici přesné pevnostní hodnoty vzhledem k neznámým výrobním a zkušebním metodám.

Velikost tohoto doplňkového součinitele bezpečnosti, pokud není v dalším uvedeno jinak, musí být stanovena pro každý typ zvlášť. Požadovaná doba do výměny těchto součástí (dílů) je uvedena v Provozně technické příručce.

- d. doplňkový součinitel bezpečnosti je především stanoven pro:
 - i. každou část, která má vůli (neplatí pro nalisování) a na níž působí rázové namáhání nebo vibrace,
 - ii. závěsy kormidel (mimo valivých a kloubových ložisek),
 - iii. ložiska (klouby) v táhlovém řízení, která jsou vystavena úhlovému pohybu
 - iv. valivých a kloubových ložisek),
 - v. ložiska (klouby) v lanovém řízení.

tab 4 výpočet součinitele bezpečnosti (8)

Aplikace	Doplňkový součinitel bezpečnosti	Výsledný součinitel bezpečnosti f_U
spoje (smykové uložení) s vůlí, zatížené rázovým namáháním nebo vibracemi	2,0	$f_U = 2,0 \times 1,5 = 3,0$
závěsy kormidel (mimo valivých a kloubových ložisek)	4,44	$f_U = 6,67$
ložiska (klouby) v řízení táhly	2,2	$f_U = 3,30$
ložiska (klouby) v lanovém řízení	1,33	$f_U = 2,0$
odlitky	2,0	$f_U = 1,5 \times 2,0 = 3,0$
kování – platí pro <ul style="list-style-type: none"> - všechny prvky kování, - všechny spojovací prvky, - otlačení (u pevného uložení) 	1,15	$f_U = 1,5 \times 1,15 = 1,725$
bezpečnostní pásy a sedačky	1,33	$f_U = 1,5 \times 1,33 = 2,0$



Zvyšující součinitele se aplikují v případě pevnostního průkazu vedeného početně (nikoliv zkouškou), vyjma bezpečnostních pásů a sedaček.

Výklad použití doplňkových součinitelů pro kompozitové konstrukce:

Součinitel bezpečnosti f pro kompozitové konstrukce je v rozmezí 1,5 až 2,25, to znamená zvyšující součinitel 1 až 1,5.

Použití zvyšujícího součinitele závisí na:

- a) součásti či dílu, na který bude vztahován,
- b) přesnosti výpočtů a jejich spolehlivosti,
- c) předložených zkouškách vzorků kompozitového materiálu a jejich výsledcích, a
- d) ověření výroby, kontrolních postupech a zkušenostech výrobce.

O použití příslušného zvyšujícího součinitele bezpečnosti rozhodne Technická komise ve spolupráci s hlavním technikem a odborným oponentem projektu. U amatérských staveb rozhodne o použití součinitele hlavní technik s technikem stavebního dozoru. (8)

4.3 Zatížení motorového lože podle UL-2

4.3.1 Předpis UL-2 Hlava C – Pevnost sekce III §361 Zatížení motorového lože (8)

- 1) Motorové lože a jeho uchycení musí být dimenzováno na následující případy zatížení:
 - a) provozní zatížení krouticím momentem od vrtule, které odpovídá vzletovému výkonu a příslušným otáčkám vrtule při současném působení 75 % provozního zatížení z případu A podle bodu UL 2 § 333.
 - b) provozní zatížení krouticím momentem od vrtule, které odpovídá maximálnímu trvalému výkonu a příslušným otáčkám vrtule při současném působení provozního zatížení z případu A podle bodu UL 2 § 333.
- 2) Pro konvenční pístové motory s přímým („tvrdým“) náhonem vrtule se provozní krouticí moment od motoru, který se používá ve výše uvedeném odstavci 1., vypočte tak, že násobíme střední (průměrný) krouticí moment příslušným součinitelem podle následující tabulky:

Tabulka 1 Součinitel zatížení podle počtu válců (8)

	Dvoutaktní motor	Čtyřtaktní motor
1 válec	6	8
2 válce	3	4
3 válce	2,5	3
4 válce	1,5	2
5 a více válců	1,33	1,33

Poznámka:

Pojem „tvrdý“ přenos znamená přímý náhon, náhon ozubeným kolem nebo ozubeným řemenem. Pro ostatní druhy náhonu (např. odstředivá spojka) a nekonvenční motory musí být příslušný součinitel konzultován s odpovědným úřadem.

4.3.2 Předpis UL-2 Hlava C – Pevnost sekce III §363 Boční zatížení motorového lože (8)

Motorové lože a jeho uchycení musí být navrženy na boční zatížení provozním násobkem ne menším než jedna třetina provozního násobku z bodu obálky A ($1/3 n_1$).

4.4 Zatížení od podvozku podle UL-2

4.4.1 Předpis UL-2 Hlava C – Pevnost sekce IX §473 Podmínky zatížení podvozku pozemním zatížením (8)

- 1) Požadavky následujících odstavců musí být splněny pro maximální návrhovou hmotnost.
- 2) Zvolený, v těžišti letounu působící, provozní násobek nesmí být menší než hodnota, která je dosažena při přistání s klesací rychlostí

$$ws = 0,51 \sqrt[4]{m \cdot \frac{g}{s}} \quad (1)$$

s omezením, že nesmí být menší než 1,5 m/s a nemusí být větší než 3 m/s.

- 3) V průběhu nárazu může být v těžišti letounu uvážena vztlaková síla odpovídající maximálně 2/3 hmotnosti letounu. Při uvážení takovéto vztlakové síly může být za násobek pro pozemní zatížení dosazen násobek setrvačných sil snížený v poměru uvažované vztlakové síly k hmotnosti letounu.

Provozní násobek zatížení v těžišti letounu se stanoví ze vztahu:

$$n_{pr} = n_k + 0,67 \quad (2)$$

kde n_k je provozní násobek na kolech podvozku:

$$n_k = \frac{0,0132 \cdot \sqrt{m \cdot \frac{g}{s} + \frac{y}{3}}}{y_{ef}} \quad (3)$$

kde:

y = celková dráha tlumení nárazu-celkový pokles těžiště [m]

(součet předpokládaného stlačení pneumatiky y_{PN} a tlumiče y_{TL})

$$y = y_{PN} + y_{TL}$$

y_{ef} = účinná dráha tlumení [m]

$$y_{ef} = 0,5 \cdot y_{PN} + 0,5 \cdot y_{TL} \text{ pro gumové nebo pružinové tlumiče [m]}$$

$$y_{ef} = 0,5 \cdot y_{PN} + 0,65 \cdot y_{TL} \text{ při použití hydraulických tlumičů [m]}$$

Poznámka:

Jestliže n_{pr} je podle výpočtu větší než 4, potom je nutné uchycení všech soustředěných hmot (motor, palivové nádrže, sedadla posádky) kontrolovat na zatížení odpovídající vypočtenému n_{pr} . (8)

4.4.2 Předpis UL-2 Hlava C – Pevnost sekce IX §479 Základní přistávací podmínky pro podvozek (8)

Příloha IV. – Základní případy přistání Se zádovým kolem:

Tabulka 2 Základní případy přistání (8)

Předpoklad přistání	vodorovné přistání	s velkým úhlem náběhu
Svislá složka síly v těžišti letounu	$n_{pr} \cdot G$	$n_{pr} \cdot G$
Vodorovná složka síly v těžišti letounu	$0,25 \cdot n_{pr} \cdot G$	0
Svislá složka síly na kola hlavního podvozku	$(n_{pr} - 0,667) \cdot G$	$(n_{pr} - 0,667) \cdot G \cdot \frac{b}{c}$
Vodorovná složka síly na kola hlavního podvozku	$0,25 \cdot n_{pr} \cdot G$	0
Svislá složka síly na zádové kolo	0	$(n_{pr} - 0,667) \cdot G \cdot \frac{a}{c}$
Vodorovná složka síly na zádové kolo	0	0

4.4.3 Předpis UL-2 Hlava C – Pevnost sekce IX §485 Podmínky Bočního zatížení

Pro určení bočního zatížení podvozku se předpokládá, že letoun je ve vodorovné poloze, kdy kola hlavního podvozku se dotýkají země a:

- 1) v těžišti letounu působí síla rovnající se 1,34násobku max. tíhy letounu (G), rovnoměrně rozdělena na hlavní kola,
- 2) provozní boční setrvačné síly o velikosti 0,83 G v těžišti letounu jsou rozděleny mezi kola hlavního podvozku tak, že:
 - a) 0,5 G působí na jedné straně směrem k trupu,
 - b) 0,33 G působí na druhé straně směrem od trupu. Viz. Příloha IV.

4.4.4 Předpis UL-2 Hlava C – Pevnost sekce IX §493 Podmínky zatížení při brždění (8)

Musí být prokázáno, že brzděná kola podvozku (s pneumatikami a tlumiči ve statické poloze) vyhoví zatížení, kdy:

- a) svislé provozní zatížení na jedno kolo je 0,67 G,
 - b) vodorovné provozní zatížení v místě dotyku kola se zemí je 0,54 G směrem dozadu.
- (8)

4.5 Konstrukční a materiálové požadavky

V tomto odstavci jsou shrnuty materiálové a konstrukční požadavky, které se přímo týkají motorového lože, nebo které musely být při návrhu kontrolovány.

4.5.1 Předpis UL-2 Hlava E – Ovládací zařízení motoru a jeho příslušenství sekce VII §1193 Motorové kryty a motorové gondoly (8)

Pro zakrytovanou zástavbu motoru platí následující:

1. Kryty motoru musí být konstruovány a upevněny tak, aby odolávaly vibracím, setrvačným a vzdušným silám, které mohou být očekávány v provozu.
2. Kryty musí být vybaveny takovým zařízením, aby unikající látky ze všech částí krytů mohly rychle a beze zbytku odtéci při všech normálních konfiguracích na zemi i za letu. Unikající látky nesmí být odváděny na místa, kde by mohlo vzniknout nebezpečí požáru.
3. Všechny části motorových krytů, které jsou vystaveny vysokým teplotám v důsledku blízkosti částí výfukové soustavy nebo v důsledku přímého styku s výfukovými plyny, musí být vyrobeny ze žáruvzdorného materiálu. (8)

4.5.2 Předpis UL-2 Hlava E – Výfuková soustava VI §1121 Všeobecně (8)

1. Výfuková soustava musí účinně zajistit bezpečný odvod výfukových zplodin bez nebezpečí vzniku ohně a bez zamoření prostoru určeném pro osoby oxidem uhelnatým.
2. Každá část výfukové soustavy, jejíž povrch je dostatečně horký na to, aby mohl zapálit hořlavé kapaliny nebo páry, musí být tak umístěna a zakrytována, aby průsak z jakékoliv soustavy, kterou prochází hořlavé kapaliny nebo páry, nemohl způsobit požár v důsledku styku kapaliny nebo par s jakoukoliv částí výfukového potrubí včetně jejich krytů.
3. Veškeré části výfukové soustavy musí být dostatečně vzdáleny od sousedních hořlavých částí, nebo musí být odděleny žáropevnými kryty.
4. Výfuky se nesmí nacházet v nebezpečné blízkosti výpustí palivové a olejové soustavy.
5. Všechny části výfukové soustavy musí být větrány tak, aby na žádném místě nevznikla nepřiměřeně vysoká teplota.

5 Výpočet zatížení

5.1 Letové obálky

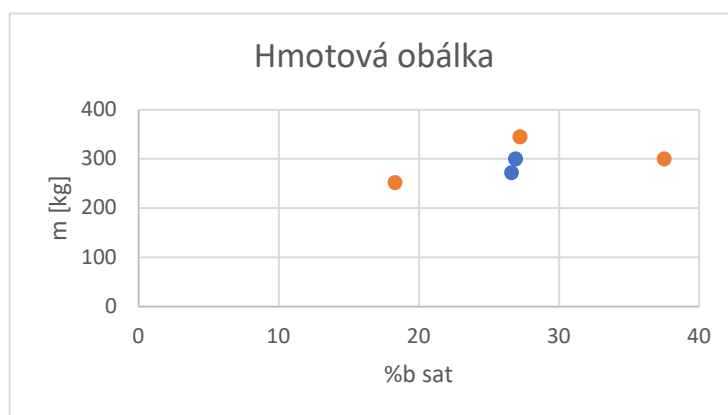
Nejdříve je nutné stanovení letových obálek, ze kterých budou vycházet zrychlení působící na motorové lože a ostatní komponenty. Letové obálky vycházejí z aerodynamického návrhu Adama Zezuly. Letové obálky zpracoval Tomáš Filip ve své diplomové práci, která je prováděna na návrh křídla na stejné letadlo. Letové obálky jsem využil, kvůli uvažování stejných výsledných násobků. Letové obálky jsou provedeny pro různé hmotnostní konfigurace vycházející z hmotové obálky.

5.1.1 Hmotová obálka

V práci byla využita hmotové obálky z diplomové práce Jakuba Valenty. V hmotové obálce jsou zobrazeny nejvýznamnější body. Hmotová konfigurace, při níž dochází k nejvyšším násobkům při obratech a poryvech.

tab 5 významné hmotové konfigurace (1)

	PC	Pilot 80 kg PC	Pilot 80 kg letoun 300kg	Pilot 80kg ZC	ZC
%bsat	18,3	26,6	26,9	27,2	37,5
M (kg)	252,3	272,3	300	345	300,3
CG x	2540	2605	2607	2610	2691
CG y	1981	1985	1997	2021	1989

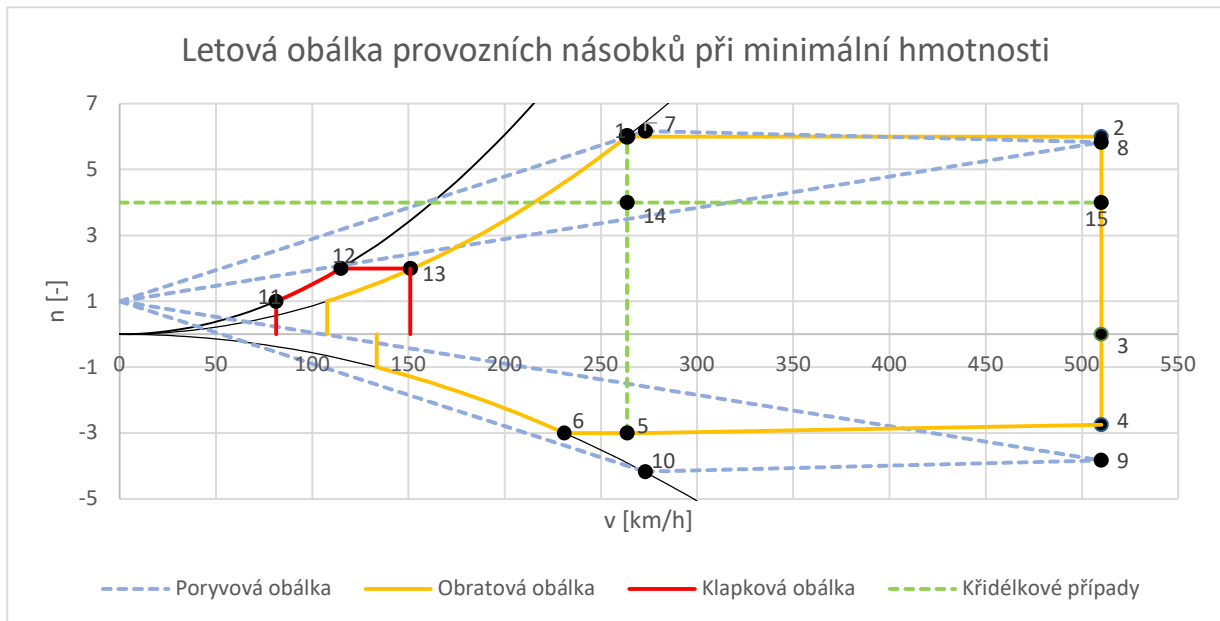


graf 4 Hmotová obálka

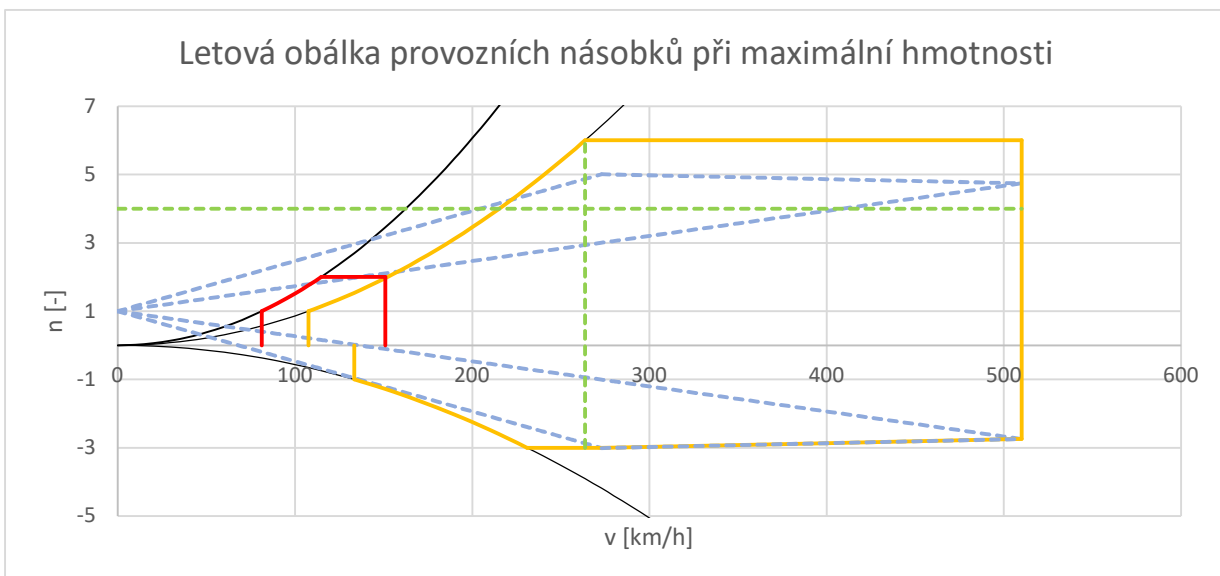
K dalším výpočtům byli využity zvýrazněné body obálky, což jsou:

1. minimální hmotnost při přední centrāži
2. maximální hmotnost
3. maximální zadní centrāž

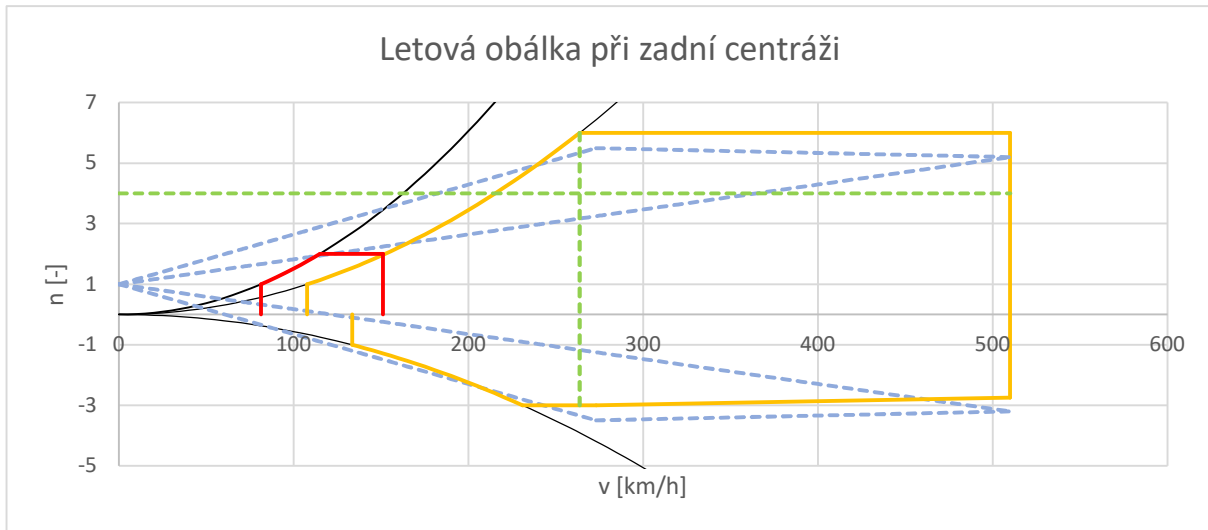
Výpočet obálky je proveden v příloze č.1



graf 5 letová obálka s minimální hmotností (31)



graf 6 letová obálka s maximální hmotností (31)



graf 7 Letová obálka při zadní centráži (31)

5.2 Letové násobky

Letové násobky vyobrazené v letových obálkách jsou shrnuty v následující tabulce i s příslušnými rychlostmi.

tab 6 Letové násobky

Bod obálky	Minimální hmotnost		Maximální hmotnost		Zadní centráž	
	Rychlost [km/h]	Násobek [-]	Rychlost [km/h]	Násobek [-]	Rychlost [km/h]	Násobek [-]
1	263,63	6,00	263,63	6,00	263,63	6,00
2	510,00	6,00	510,00	6,00	510,00	6,00
3	510,00	0,00	510,00	0,00	510,00	0,00
4	510,00	-2,74	510,00	-2,74	510,00	-2,74
5	263,63	-3,00	263,63	-3,00	263,63	-3,00
6	231,00	-3,00	231,00	-3,00	231,00	-3,00
7	273,00	6,17	273,00	5,01	273,00	5,49
8	510,00	5,83	510,00	4,74	510,00	5,20
9	510,00	-3,83	510,00	-2,74	510,00	-3,20
10	273,00	-4,17	273,00	-3,01	273,00	-3,49
11	81,25	1,00	81,25	1,00	81,25	1,00
12	115,00	2,00	115,00	2,00	115,00	2,00
13	151,00	2,00	151,00	2,00	151,00	2,00
14	263,63	4,00	263,63	2,66	263,63	2,66
15	510,00	4,00	510,00	2,66	510,00	2,66

5.3 Zatížení podle UL-2 § 361 - 1a

Provozní zatížení krouticím momentem od vrtule, které odpovídá vzletovému výkonu a příslušným otáčkám vrtule při současném působení 75 % provozního zatížení z případu A podle bodu UL 2 § 333.

5.3.1 Tahové zatížení:

Tahové zatížení od vrtule působící na lože ve směru tahu. V bodě a je počítáno ze vzletového tzn. maximálního výkonu motoru. Tohoto výkonu dosahuje motor při 3300 otáčkách.

$$F_{T_I} = \frac{P_{vzl} \cdot \eta_{vrt}}{v_A}$$

$$F_{T_I} = \frac{96,9 \cdot 0,824}{263,633} \quad (4)$$

$$F_{T_I} = 1\,090,32 \text{ N}$$

5.3.2 Tíhové zatížení:

Tíhové zatížení bylo rozděleno oproti předpisu na dva silové účinky, od vrtule a od motoru z důvodu velmi rozdílných silových působišť, a tudíž rozdílného momentu od působících sil.

a) Tíhové zatížení od motoru

$$F_{G_I_mot} = 0,75 \cdot m_{mot} \cdot g \cdot n_A$$

$$F_{G_I_mot} = 0,75 \cdot 78,4 \cdot 9,814 \cdot 6 \quad (5)$$

$$F_{G_I_mot} = 3\,462,284 \text{ N}$$

b) Zatížení od vrtule

$$F_{G_I_vrt} = 0,75 \cdot m_{vrt} \cdot g \cdot n_A$$

$$F_{G_I_vrt} = 0,75 \cdot 11,5 \cdot 9,814 \cdot 6 \quad (6)$$

$$F_{G_I_vrt} = 507,861 \text{ N}$$



c) Zatížení kroutícím momentem

Motorové lože je zatíženo reakčním momentem k momentu pohánějícímu vrtuli. Díky využití čtyřválcového čtyřtaktního motoru má koeficient k_{MK} podle UL-2 hodnotu 2. Převodový poměr má hodnotu 1, jelikož je využit přímý pohon vrtule bez reduktoru.

$$\begin{aligned}M_{k_I} &= M_{k_{vzl}} \cdot i \cdot k_{MK} \\M_{k_I} &= 279,7 \cdot 1 \cdot 2 \\M_{k_I} &= 559,4 \text{ Nm}\end{aligned}\tag{7}$$

5.4 Zatížení podle UL-2 § 361 – 1b

Provozní zatížení kroutícím momentem od vrtule, které odpovídá maximálnímu trvalému výkonu a příslušným otáčkám vrtule při současném působení provozního zatížení z případu A podle bodu UL 2 § 333.

5.4.1 Tahové zatížení

Tahové zatížení je v bodě b počítáno z maximálního trvalého výkonu udávaného výrobcem. Účinnost vrtule je určena z grafu propulsní účinnost vrtule na rychlosti.

$$\begin{aligned}F_{T_{II}} &= \frac{P_{uv} \cdot \eta_{vrt}}{v_A} \\F_{T_{II}} &= \frac{91,7 \cdot 0,824}{263,633} \\F_{T_{II}} &= 1031,81 \text{ N}\end{aligned}\tag{8}$$



5.4.2 Tíhové zatížení

Tíhové zatížení v bodě b je tentokrát uvažováno ze 100 % silových účinků v bodě A letové obálky, a to při násobku 6. Násobek je zvýšen díky možnému využití letadla k lehké akrobacii.

a) Zatížení od motoru

$$\begin{aligned}F_{G_II_mot} &= m_{mot} \cdot g \cdot n_A \\F_{G_II_mot} &= 78,4 \cdot 9,814 \cdot 6 \\F_{G_II_mot} &= 4\,616,379 \text{ N}\end{aligned}\tag{9}$$

b) Zatížení od vrtule

$$\begin{aligned}F_{G_II_vrt} &= m_{vrt} \cdot g \cdot n_A \\F_{G_II_vrt} &= 11,5 \cdot 9,814 \cdot 6 \\F_{G_II} &= 677,147 \text{ N}\end{aligned}\tag{10}$$

c) Zatížení kroutícím momentem

$$\begin{aligned}M_{k_II} &= M_{k_max_trv} \cdot i \cdot k_{MK} \\M_{k_II} &= 313 \cdot 1 \cdot 2 \\M_{k_II} &= 626 \text{ Nm}\end{aligned}\tag{11}$$

5.5 Zatížení podle UL-2 § 363

Návrh motorového lože musí být schopný přenášet zatížení od setrvačných účinků i v bočním směru, na což se zaměřuje výpočet v § 363. V bočním směru je násobek stanovený jako 1/3 násobku bodu A z obálky letových případů.

$$\begin{aligned}F_Z &= \frac{n_A}{3} \cdot (m_{mot} + m_{vrt}) \cdot g \\F_Z &= 2 \cdot (78,4 + 11,5) \cdot 9,814 \\F_Z &= 1\,764 \text{ N} \\F_{Z_mot} &= 1\,538,793 \text{ N} \\F_{Z_vrt} &= 225,716 \text{ N}\end{aligned}\tag{12}$$

5.6 Shrnutí předpisového zatížení

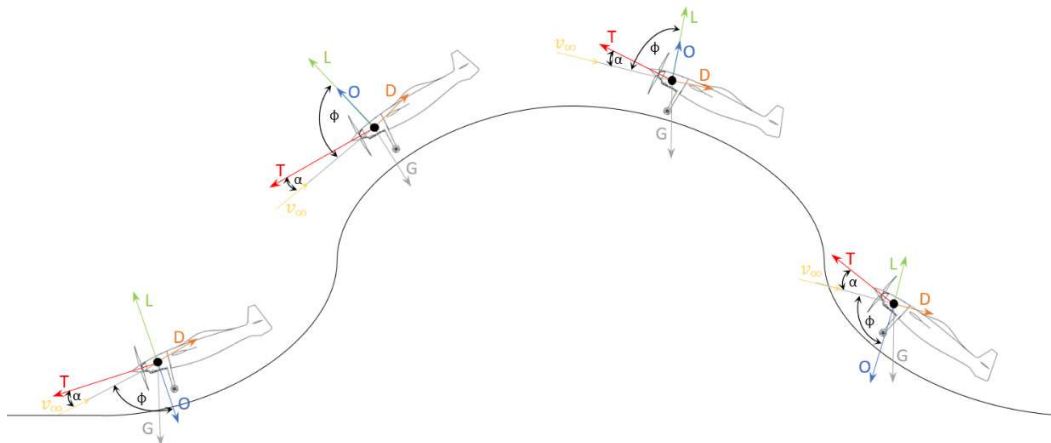
Zatížení plynoucí z předpisů jsou vypsána v následující tabulce. Jak již bylo zmiňováno síly byly oproti požadavku předpisu, rozděleny na síly od motoru a síly od vrtule, z důvodu následného využití ve výpočtech na dimenzování motorového lože.

Tabulka 3 Předpisové zatížení

Název veličiny	zkratka	podle bodu a	podle bodu b	jednotky
Tahové zatížení	F_T	1 090,320	1 031,810	N
Tíhové zatížení od motoru	F_{G_mot}	3 462,284	4 616,379	N
Tíhové zatížení od vrtule	F_{G_vrt}	507,861	677,147	N
Kroutící moment	M_k	599,4	626	Nm
Boční zatížení od motoru	F_{Z_mot}	1 538,793	-	N
Boční zatížení od vrtule	F_{Z_vrt}	225,716	-	N

5.7 Zatížení od ostatních letových případů

Oproti požadavkům bylo spočteno zatížení i v ostatních bodech obálky. Níže je uveden výpočet v bodě A letové obálky. Výpočet je zaměřen na zjištění odstředivé síly motoru a reakčního momentu přenášeného do motorového lože.



obr. 15 rozklad sil u letových případů

5.7.1 Výpočet úhlu náběhu

K výpočtu úhlu náběhu je nejprve nutné zjistit potřebnou vztlakovou sílu. Následně je z potřebné vztlakové síly spočten potřebný koeficient vztlaku c_y . K výpočtu koeficientu vztlaku je nutné znát plochu křídla $S = 5,029 \text{ m}^2$

$$L_{\text{potř}} = m \cdot n \cdot g$$

$$L_{\text{potř}} = 252,3 \cdot 6 \cdot 9,81 \quad (13)$$

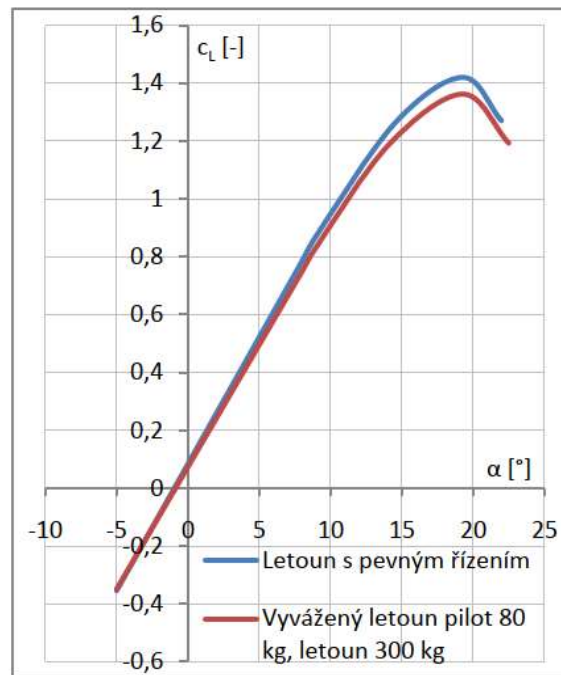
$$L_{\text{potř}} = 14\,850,378 \text{ N}$$

$$c_y = \frac{2 \cdot L_{\text{potř}}}{\rho \cdot v^2 \cdot S}$$

$$c_y = \frac{2 \cdot 14\,850,378}{1,225 \cdot \left(\frac{263,63}{3,6}\right)^2 \cdot 5,029} \quad (14)$$

$$c_y = 0,899334$$

Jak bylo naznačeno na obrázku 16, vztlaková síla nepůsobí ve směru síly tíhové, a proto je nutné tíhovou sílu přepočítat do směru vektoru vztlakové síly. Pro získání potřebného úhlu využijeme grafu závislosti vztlakové čáry letounu z práce Jakuba Valenty a pro daný koeficient vztlaku odečteme příslušný úhel náběhu.



graf 8 Vztlakové čáry letounu (1)

V tabulce jsou shrnuty proměnné veličiny pro všechny stavy.

Proměnné veličiny jsou:

- Rychlost letu
- Násobek

Stálé veličiny ve výpočtu jsou:

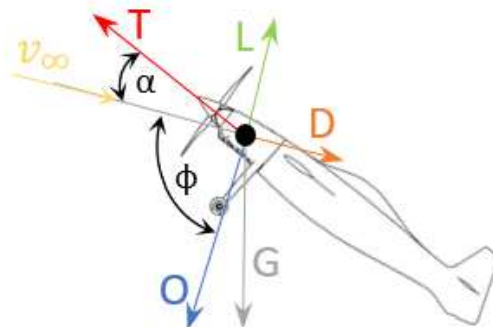
- Hustota vzduchu
- Hmotnost
- Tíhové zrychlení
- Plocha křídla

tab 7 výpočet úhlu náběhu

		A	C	D	E	F	G	
Rychlost letu	v	263,63	273	510,00	510	273	231	km/h
Hustota vzduchu	ρ	1,225	1,225	1,225	1,225	1,225	1,225	kg/m ³
Hmotnost letounu	m	252,3	252,3	252,3	252,3	252,3	252,3	kg
Provozní násobek	n	6	6,168942	6	-3,82813	-4,16894	-3	-
Tíhové zrychlení	g	9,81373	9,81373	9,81373	9,81373	9,81373	9,81373	m/s ²
Plocha křídla	S	5,029	5,029	5,029	5,029	5,029	5,029	m ²
Potřebný koeficient vztlaku	cy potř	0,899334	0,862291	0,240314	-0,15333	-0,58273	-0,58569	-
Úhel náběhu ve stupních	α	9,8	9,32	1,88	-2,76	-8,04	-8,12	°
Úhel náběhu v radiánech	α	0,171042	0,162665	0,032812	-0,04817	-0,14032	-0,14172	rad

5.7.2 Výpočet odstředivé síly

Odstředivá síla působící na daný komponent je následně rozložena do osy x a y.



obr. 16 Rozklad sil na letounu

tab 8 Odstředivá síla motoru a vrtule

	A	C	D	E	F	G
F_{G_mot}	4616,379	4746,362	4616,379	-2945,35	-3207,57	-2308,19
F_{G_vrt}	677,1474	696,2138	677,1474	-432,035	-470,498	-338,574
F_{y_mot}	4549,016	4683,706	4613,894	-2941,94	-3176,04	-2285,05
F_{y_vrt}	667,2664	687,0233	676,7829	-431,534	-465,873	-335,179
F_{x_mot}	-785,7515	-768,6652	-151,4463	-141,8259	-448,6248	-326,0244
F_{x_vrt}	-115,2569	-112,7506	-22,2147	-20,80355	-65,80593	-47,82245

5.8 Gyroskopické momenty

Gyroskopický moment vzniká při rotaci letadla kolem osy Y a Z. Moment vzniká díky rotaci vrtule kolem osy X, která funguje jako setrvačnická a vytváří moment kolem zbylých os. Předpisy používané v ultralehkém letectví běžně gyroskopické momenty zanedbávají. Kvůli využití letadla na překonání rekordu a použitému motoru s vyšším výkonem, než je pro tuto kategorii běžné, jsou gyroskopické momenty zahrnuty ve výpočtu.

Vznikající gyroskopický moment je závislý na:

- Momentu setrvačnosti vrtule
- Otáčkách vrtule
- Úhlové rychlosti letounu
- Počtu listů vrtule

5.8.1 Předpisová základna

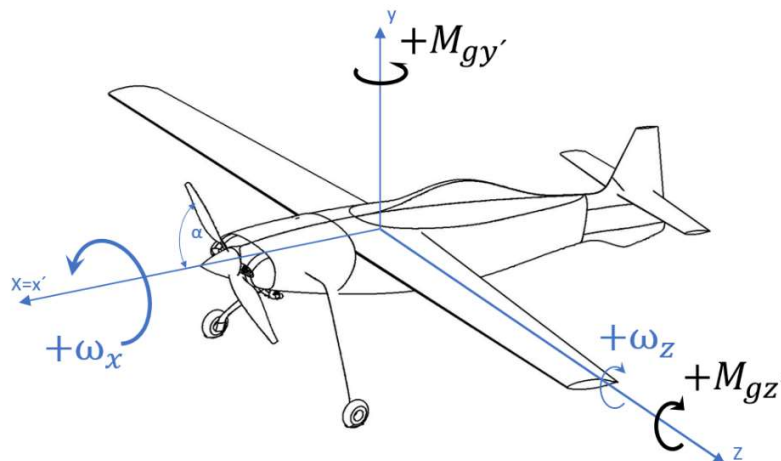
Předpis uvažující zatížení gyroskopickým momentem je FAR 23 /CS 23. Předpis udává jednotné rychlosti rotace a to:

- Rychlost rotace kolem osy Y, zatáčení, je 2,5 radiánu za sekundu
- Rychlost rotace kolem osy Z, klopení, je 1 radián za sekundu

Díky užití dvoulisté vrtule na letounu je nutné zahrnout i nestálost vznikajících momentů. Nelze tento případ počítat podle vztahů, které platí pro setrvačnický. Díky změně úhlu otoční vrtule bude moment kolem osy Y i Z proměnný podle sinusové závislosti.

5.9 Výpočet gyroskopických momentů

Vyjádření gyroskopického momentu je provedeno z rovnoměrného kruhového pohybu v rovině XY. Vyjádření je třeba provést pro kladné a pro záporné letové násobky. Orientace momentů a rychlostí rotace je zakreslena na následujícím obrázku. Nejprve je výpočet proveden se zjednodušením vrtule jako disku a následně je provedeno odvození pro dvoulistou vrtuli.



obr. 17 Orientace momentů při klopení

- Pro kladné násobky

$$Y = G \cdot \cos \alpha$$

$$n \cdot G = G \cdot \cos \alpha + m \cdot r \cdot \omega_z^2$$

$$G \cdot (n - \cos \alpha) = m \cdot r \cdot \omega_z^2$$

$$m \cdot g \cdot (n - \cos \alpha) = m \cdot \frac{v}{\omega_z} \cdot \omega_z^2$$

$$\omega_z = \frac{g \cdot (n - \cos \alpha)}{v}$$



- Pro záporné násobky

$$Y = G \cdot \cos \alpha$$

$$n \cdot G = G \cdot \cos \alpha + m \cdot r \cdot \omega_z^2$$

$$G \cdot (n - \cos \alpha) = m \cdot r \cdot \omega_z^2 \quad (9) \quad (15)$$

$$m \cdot g \cdot (n - \cos \alpha) = m \cdot \frac{v}{\omega_z} \cdot \omega_z^2$$

$$\omega_z = \frac{g \cdot (n - \cos \alpha)}{v}$$

Po výpočtu rychlosti rotace kolem osy z je třeba vypočítat rychlost rotace vrtule kolem osy x a poté je možné dosadit do vztahu pro výpočet gyroskopického momentu kolem osy Y.

Výpočet rychlosti rotace vrtule:

$$\omega_{x_vrt} = 2 \cdot \pi \frac{n_{vrt}}{60 \cdot i} \quad (16)$$

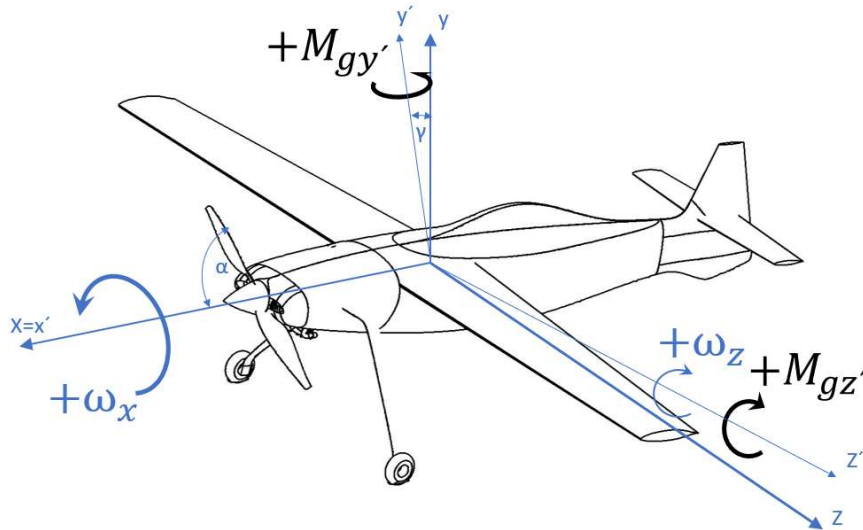
Vztah pro výpočet gyroskopického momentu plného disku

$$M_{Gy} = -J_{vrt} \cdot \omega_x \cdot \omega_z \quad (17)$$

Tabulka 4 Gyroskopické momenty plného disku

	A	C	D	E	F	G
ω_{x_max} [Rad/s]	345,58	345,58	345,58	345,58	345,58	345,58
Ω_z [Rad/s]	0,19	0,19	0,10	0,09	0,19	0,17
M_{Gy} [Nm]	-64,51	-64,38	-33,25	-32,10	-64,09	-58,58

Vyjádření gyroskopického momentu pro plný disk je proveden z teorie rovnoměrně ustálené zatáčky. Výpočet je proveden v rovině YZ a momenty a rotace jsou vyznačeny na následujícím obrázku.



obr. 18 Orientace momentů při zatáčení

Ze silové rovnováhy na letounu vychází následující vztahy

$$Y \cdot \cos \gamma = G$$

$$n \cdot G \cdot \cos \gamma = G$$

$$Y \cdot \sin \gamma = 0 \quad (9) \quad (18)$$

$$n \cdot G \cdot \sin \gamma = m \cdot r \cdot \Omega^2$$

$$n \cdot m \cdot g \cdot \sin \gamma = m \cdot \frac{v}{\omega_y} \cdot \Omega^2$$

$$\Omega = \frac{n \cdot g \cdot \sin \gamma}{v}$$

Dále ve výpočtu využijeme vztahu

$$\sin^2 \gamma + \cos^2 \gamma = 1 \quad a \quad \cos \gamma = \frac{1}{n}$$

$$\sin \gamma = \sqrt{1 - \cos^2 \gamma} \quad (19)$$

$$\sin \gamma = \sqrt{1 - \frac{1}{n^2}}$$

Následně můžeme odvodit rotační rychlosti a gyroskopické momenty kolem osy Y a Z.

$$\omega_y = \Omega \cdot \cos \gamma = \Omega \cdot \frac{1}{n}$$

$$\omega_z = \Omega \cdot \sin \gamma = \Omega \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{n^2}}$$

(9)

(20)

$$M_{Gy} = \pm J_{vrt} \cdot \omega_{vrt} \cdot \omega_z$$

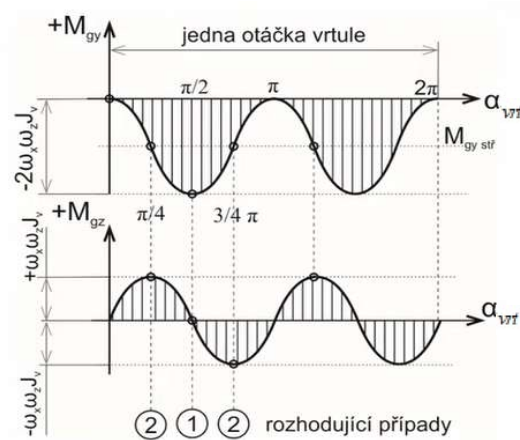
$$M_{Gz} = \pm J_{vrt} \cdot \omega_{vrt} \cdot \omega_y$$

tab 9 gyroskopické momenty při zatáčení

	A	C	D	E	F	G	
Ω	0,220226	0,218826	0,113840803	-0,07111	-0,14549	-0,12016	rad/s
ω_y	0,036704	0,035472	0,018973467	0,018574	0,034898	0,040054	rad/s
ω_z	0,217146	0,215932	0,112248546	-0,06864	-0,14124	-0,11329	rad/s
M_{Gy}	-37,5201	-37,3104	-19,39515637	11,85956	24,40474	19,57507	Nm
$M_{Gz} +$	6,342056	6,12917	3,278379785	3,209438	6,029984	6,920834	Nm
$M_{Gz} -$	-6,34206	-6,12917	-3,278379785	-3,20944	-6,02998	-6,92083	Nm

5.9.1 Výpočet pro dvoulistou vrtuli

V případě zahrnutí nestejného rozmístění hmoty v disku, budou vznikat momenty proměnné v čase, jejich průběh je periodický proměnný s frekvencí dvojnásobnou otáčkám vrtule. Kritické případy jsou vyznačené v grafu. V daném čase budeme uvažovat současné působení obou momentů.



graf 9 průběh gyroskopických momentů (10)

Vztahy pro dvoulistou vrtuli:

$$M_{Gy} = J_{vrt} \cdot \omega_x \cdot \omega_z \cdot (\cos 2\alpha_{vrt} - 1) \quad (21)$$

$$M_{Gz} = J_{vrt} \cdot \omega_x \cdot \omega_z \cdot \cos 2\alpha_{vrt}$$

Výpočet kritického stavu číslo 1 pro $\alpha_{vrt} = \frac{\pi}{2}$

$$M_{Gy1} = J_{vrt} \cdot \omega_x \cdot \omega_z \cdot (-2) \quad (10)$$

$$M_{Gz1} = 0$$

Výpočet kritického stavu číslo 2 pro $\alpha_{vrt} = \pm \frac{\pi}{4}$

$$M_{Gy2} = -J_{vrt} \cdot \omega_x \cdot \omega_z \quad (10)$$

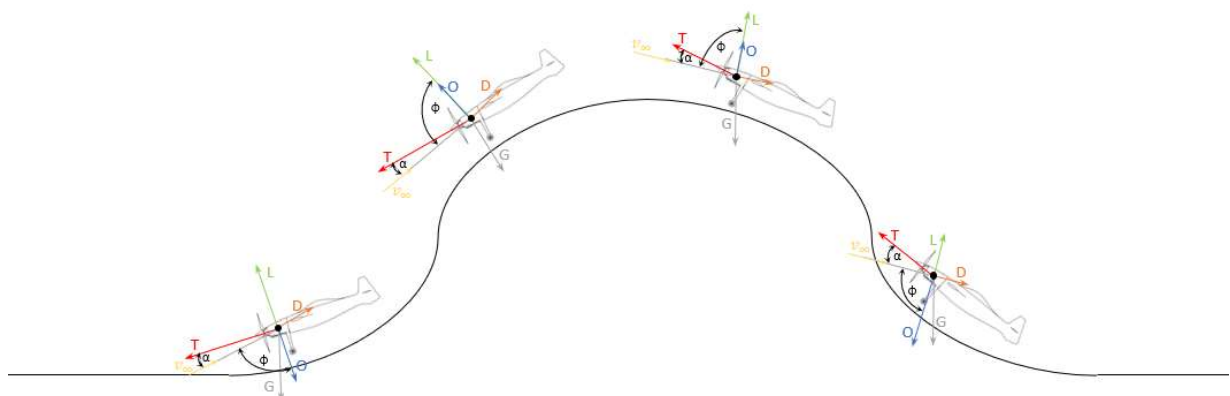
$$M_{Gz2} = \pm J_{vrt} \cdot \omega_x \cdot \omega_z \quad (23)$$

tab 10 gyroskopické momenty dvoulisté vrtule při klopení

Klopení							
	A	C	D	E	F	G	
ω_z	0,18667	0,18021	0,09622	-0,09624	-0,18009	-0,21284	
M_{Gy}	-64,508	-62,277	-33,252	33,257	62,235	73,554	

5.9.2 Odvození gyroskopických momentů při klopení z letových případů

V následující kapitole je gyroskopický moment pro klopení odvozen z jednotlivých letových případů, které jsou vyobrazeny na následujícím obrázku.



obr. 19 Letové případy pro odvození gyroskopických momentů

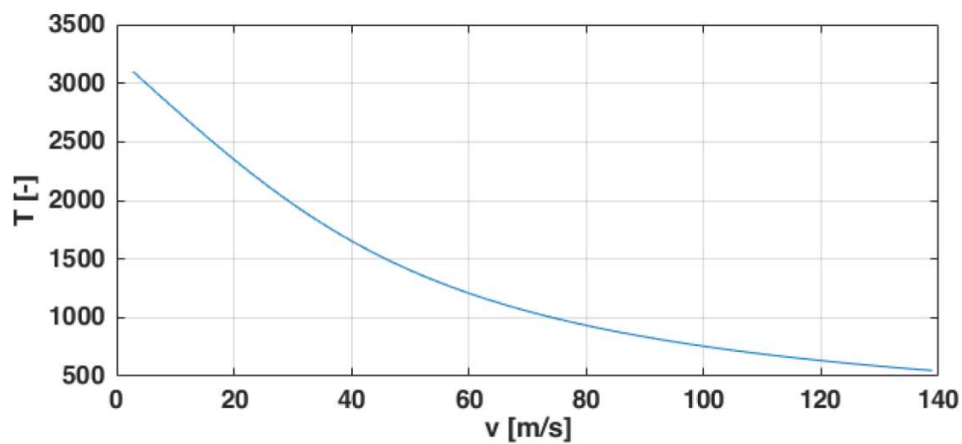
V odvození se vyskytují následující síly:

$$L = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot c_y \cdot S$$

$$D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot c_x \cdot S \quad (24)$$

$$O = \frac{v^2}{r} \cdot m = v \cdot \omega \cdot m$$

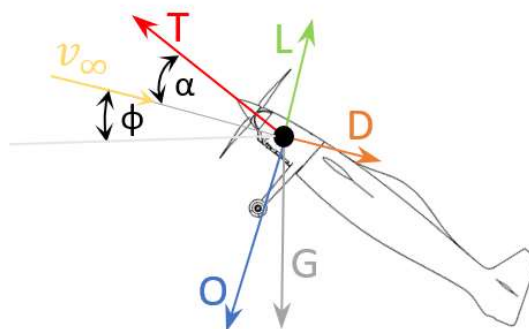
Tahová síla je odečtena z tahové křivky



obr. 20 tahová křivka (1)

5.9.2.1 1.případ

Silová rovnováha pro první případ:



obr. 21 1.případ klopení

$$\text{osa } y: L - O - G \cdot \cos \Phi + T \cdot \sin \alpha = 0 \rightarrow \sin \Phi = \frac{T \cdot \cos \alpha - D}{G}$$

$$\text{osa } x: -D - G \cdot \sin \Phi + T \cdot \cos \alpha = 0$$

po dosazení :

$$v \cdot \omega_z \cdot m = n \cdot m \cdot g - m \cdot g \cdot \cos \Phi + T \cdot \sin \alpha$$

$$\omega_z = \frac{g \cdot (n - \cos \Phi)}{v} + \frac{T \cdot \sin \alpha}{v \cdot m}$$

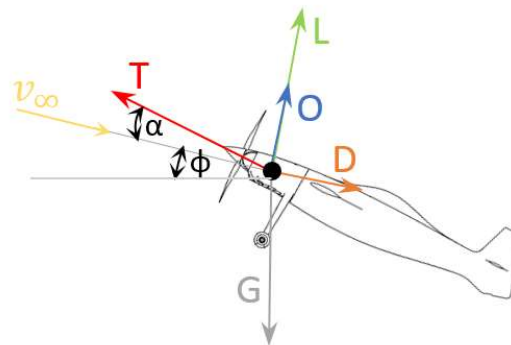
(25)

tab 11 1. letový případ klopení

	A	C	D	E	F	G	
Ω_z [Rad/s]	0,22615	0,22412	0,11560	-0,07387	-0,15190	-0,13043	rad/s
Mgy [Nm]	-78,153	-77,450	-39,947	25,527	52,493	45,073	Nm

5.9.2.2 2.případ

Sílová rovnováha pro druhý případ:



obr. 22 2. případ klopení

$$\text{osa } y: -L - O + G \cdot \cos \Phi - T \cdot \sin \alpha = 0$$

$$\text{osa } x: -D - G \cdot \sin \Phi + T \cdot \cos \alpha = 0$$

po dosazení :

$$v \cdot \omega_z \cdot m = -n \cdot m \cdot g + m \cdot g \cdot \cos \Phi - T \cdot \sin \alpha$$

$$\omega_z = \frac{g \cdot (-n + \cos \Phi)}{v} - \frac{T \cdot \sin \alpha}{v \cdot m}$$

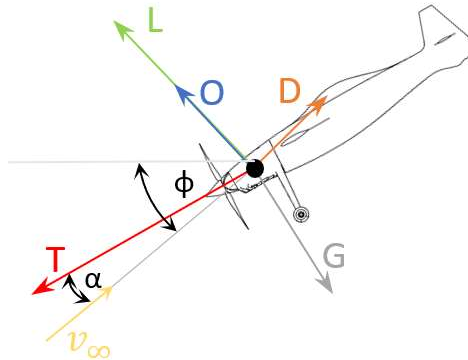
(26)

tab 12 2. letový případ klopení

	A	C	D	E	F	G	
Ω_z [Rad/s]	-0,22055	-0,21940	-0,11532	0,07346	0,14783	0,12447	rad/s
Mgy [Nm]	76,215	75,819	39,850	-25,385	-51,085	-43,015	Nm

5.9.2.3 3.případ

Silová rovnováha pro 3. případ



obr. 23 3. případ klopení

$$\text{osa } y: -L - O + G \cdot \cos \Phi - T \cdot \sin \alpha = 0$$

$$\text{osa } x: -D + G \cdot \sin \Phi + T \cdot \cos \alpha = 0$$

po dosazení :

$$v \cdot \omega_z \cdot m = -n \cdot m \cdot g + m \cdot g \cdot \cos \Phi - T \cdot \sin \alpha$$

$$\omega_z = \frac{g \cdot (-n - \cos \Phi)}{v} - \frac{T \cdot \sin \alpha}{v \cdot m}$$

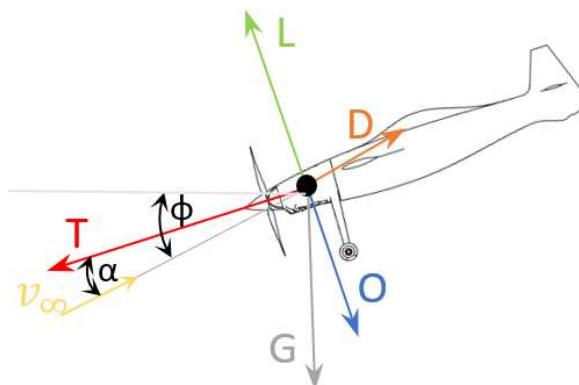
(27)

tab 13 letový případ klopení

	A	C	D	E	F	G	
Ω_z [Rad/s]	-0,22055	-0,21940	-0,11532	0,07346	0,14783	0,12447	rad/s
Mgy [Nm]	76,215	75,819	39,850	-25,385	-51,085	-43,015	Nm

5.9.2.4 4.případ

Silová rovnováha pro 4. případ



obr. 24 4. případ klopení

$$\text{osa } y: L - O - G \cdot \cos \Phi + T \cdot \sin \alpha = 0$$

$$\text{osa } x: -D + G \cdot \sin \Phi + T \cdot \cos \alpha = 0$$

po dosazení :

(28)

$$v \cdot \omega_z \cdot m = n \cdot m \cdot g + m \cdot g \cdot \cos \Phi + T \cdot \sin \alpha$$

$$\omega_z = \frac{g \cdot (n - \cos \Phi)}{v} + \frac{T \cdot \sin \alpha}{v \cdot m}$$

tab 14 4. letový případ klopení

	A	C	D	E	F	G	
Ω_z [Rad/s]	0,22615	0,22412	0,11560	-0,07387	-0,15190	-0,13043	rad/s
Mgy [Nm]	-78,153	-77,450	-39,947	25,527	52,493	45,073	Nm

5.9.3 Výpočet gyroskopických momentů při zatáčení

Při výpočtu momentů při zatáčení je možné využít buď rychlosti zatáčení vycházející z rychlosti zatáčení, nebo rychlosti stanovené předpisem a to 2,5 rad/s. Výpočet byl proveden pro obě rychlosti, dále v práci je využita rychlost vypočtená z maximálních letových násobků.

tab 15 Vypočtené gyroskopické momenty

Zatáčení dané letovými násobky							
	A	C	D	E	F	G	
γ	1,403348	1,407976	1,403348	1,835086	1,813027	1,910633	°
Ω	0,22023	0,21883	0,11384	-0,07111	-0,14549	-0,12016	rad/s
ω_y	0,03670	0,03547	0,01897	0,01857	0,03490	0,04005	rad/s
ω_z	0,21715	0,21593	0,11225	-0,06864	-0,14124	-0,11329	rad/s
M_{Gy}	-37,520	-37,310	-19,395	11,860	24,405	19,575	Nm
$M_{Gz} +$	6,342	6,129	3,278	3,209	6,030	6,921	Nm
$M_{Gz} -$	-6,342	-6,129	-3,278	-3,209	-6,030	-6,921	Nm

5.9.4 Výsledné Gyroskopické momenty

Výběr nejkritičtějších momentů pro motorové lože je zaznamenán v následující tabulce. Jedná se o výběr z předem počítaných zátěžných stavů.

tab 16 Výsledné gyroskopické momenty

		A	C	D	E	F	G	
Klopení	M_{Gy}	-78,1531	-77,4504	-39,947	33,25655	62,23532	73,55372	Nm
Zatáčení	M_{Gy}	-37,5201	-37,3104	-19,3952	11,85956	24,40474	19,57507	Nm
	M_{Gz}	6,342056	6,12917	3,27838	3,209438	6,029984	6,920834	Nm

5.10 Pozemní zatížení

Výpočet pozemního zatížení vychází z předpisu UL-2. Zatížení bylo konzultováno s Richardem Širokým, který na rychlostní letoun zpracovává návrh podvozku. Provozní pozemní zatížení stanovená předpisem jsou definována, jako vnější zatížení a setrvačné síly působící na konstrukci letounu. Zatížení by měli být na bezpečné straně výpočtu, jelikož jsou výpočty provedeny s maximální hmotností 345kg.

5.10.1 Výpočet pozemního zatížení

Nejprve je spočtena klesací rychlost, aby bylo možné následně ověřit, že při přistání touto rychlostí nevznikne vyšší násobek, než je zvolený provozní násobek.

$$w_s = 0,51 \cdot \sqrt[4]{m \cdot \frac{g}{S}} \quad (30)$$

$$w_s = 0,51 \cdot \sqrt[4]{345 \cdot \frac{9,814}{5,029}} = 2,599 \text{ m/s}$$

Klesací rychlost by měla být v rozmezí 1,5 m/s až 3 m/s, čemuž výsledek odpovídá. V průběhu dosednutí, případně i nárazu může být vztlaková síla letounu 2/3 hmotnosti letounu. Provozní násobek se spočte podle následujícího vztahu $n_{pr} = n_k + 0,67$. Pro výpočet n_k je nutné znát hodnoty celkové dráhy tlumení y , která se skládá ze součtu předpokládaného stlačení pneumatiky y_{pn} a tlumiče y_{tl} . Odhad pro první iteraci provedl Richard Široký a v následující tabulce jsou uvedeny přibližné hodnoty.



tab 17 Parametry podvozku (11)

Stlačení pneumatiky	y_{pn}	100	mm
Stlačení pružiny	y_{il}	150	mm
Celková dráha tlumení	y	250	mm
Elektivní dráha tlumení	y_{ef}	125	mm

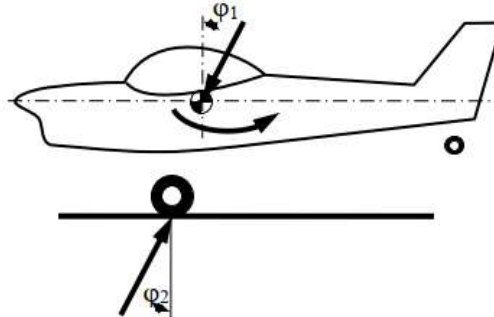
$$n_k = \frac{0,0132 \cdot \sqrt{m \cdot \frac{g}{S} + \frac{y}{3}}}{y_{ef}}$$
$$n_k = \frac{0,0132 \cdot \sqrt{345 \cdot \frac{9,814}{5,029} + \frac{0,250}{3}}}{0,125}$$
$$n_k = 3,41 \tag{31}$$
$$n_{pr} = n_k + 0,67$$
$$n_{pr} = 4,08$$

Násobek při přistání vychází vyšší než násobek vznikající od letových případů, tudíž budeme pro další výpočty, dimenzování komponent a jejich uchycení uvažovat tento násobek roven 4,08.

5.10.2 Výpočet zatížení od přistávacích podmínek

Výpočet přistávacích podmínek je specifikován v příloze IV. Předpisu UL-2. Jelikož je letoun vybaven ostruhovým kolem výpočty vycházejí z tabulky č.18.

5.10.2.1 Vodorovné přistání



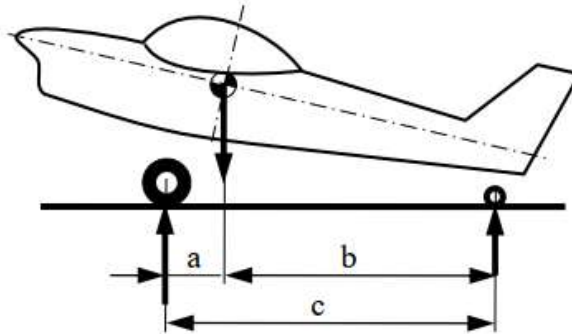
obr. 25 Vodorovné přistání

Schéma vodorovného přistání je označeno na obrázku č.26 a výpočet je řešen v tabulce 20 pro maximální hmotnost. Při výpočtu byli kontrolovány zbylé hmotnostní konfigurace letounu, které vyobrazuje tabulka č.19

tab 18 Výpočet vodorovného přistání

Předpoklad přistání	vodorovné přistání	[N]
Svislá složka síly v těžišti letounu	$n_{pr} \cdot G$	13 808,556
Vodorovná složka síly v těžišti letounu	$0,25 \cdot n_{pr} \cdot G$	3 452,139
Svislá složka síly na kola hlavního podvozku	$(n_{pr} - 0,667) \cdot G$	11 538,065
Vodorovná složka síly na kola hlavního podvozku	$0,25 \cdot n_{pr} \cdot G$	3 452,139

5.10.2.2 Přistání s velkým úhlem náběhu



obr. 26 Přistání s velkým úhlem náběhu

tab 19 Výpočet přistání s velkým úhlem náběhu

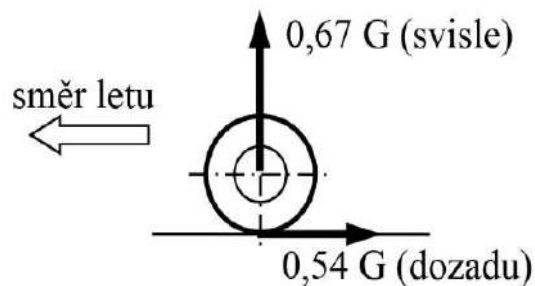
Předpoklad přistání	s velkým úhlem náběhu	[N]
Svislá složka síly v těžišti letounu	$n_{pr} \cdot G$	13 808,556
Vodorovná složka síly v těžišti letounu	0	0
Svislá složka síly na kola hlavního podvozku	$(n_{pr} - 0,667) \cdot G \cdot \frac{b}{c}$	7237
Vodorovná složka síly na kola hlavního podvozku	0	0

5.10.3 Zatížení od brzdění

Zatížení při brzdění je přímo dáno předpisem a skládá se ze dvou případů, druhý je vypočten v sekci bočního zatížení:

- Svislé provozní zatížení na jedno kolo je 0,67 G
- 0,33 G působí na druhé straně směrem od trupu

Zatížení kol při brzdění:



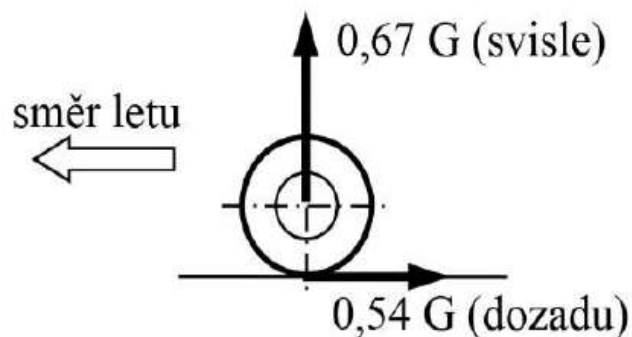
obr. 27 Zatížení podvozku od brzdění (8)

5.10.4 Boční zatížení

Výpočet bočního zatížení vychází ze dvou zatěžovacích stavů, při obou je letoun ve vodorovné poloze a kola hlavního podvozku se dotýkají země.

- Síla 1,34G je rozložena rovnoměrně na hlavní podvozek
- Boční setrvačná síla 0,83G v těžišti letounu je rozdělena podle obrázku č.29

Zatížení kol při brzdění:



obr. 28 Boční zatížení podvozku (8)

5.10.5 Výsledné zatížení od povozku

Výsledné zatížení vyobrazuje v tabulce č.20 zatížení od podvozku a následně je přepočteno na do koordinačního systému letadla. Na jednotlivých řádcích jsou zachyceny rozdílné hmotové konfigurace a s tím měnící se poloha těžiště a velikost vypočtených násobků.

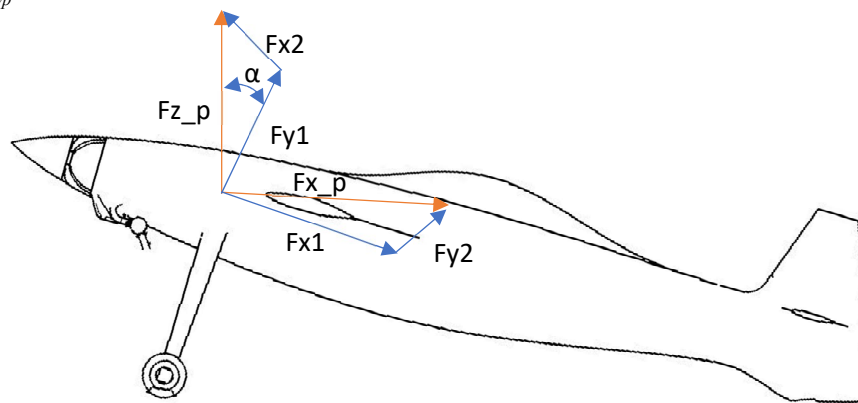
tab 20 Výsledné zatížení od podvozku

Vodorovné			Velký úhel náběhu			Brždění			Boční			
Fz [N]	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Fx [N]	Fy1 [N]	Fy2 [N]
7456	2277	0	4806	0	0	1658	1337	0	1658	0	1238	817
8290	2518	0	5020	0	0	1790	1442	0	1790	0	1336	882
9489	2863	0	5734	0	0	1972	1589	0	1972	0	1472	971
11538	3449	0	6952	0	0	2268	1828	0	2268	0	1692	1117
9502	2867	0	5262	0	0	1974	1591	0	1974	0	1473	972
11538	3449	0	7237	0	0	2268	1828	0	2268	0	1692	1117
11538	3449	0	7128	0	0	2268	1828	0	2268	0	1692	1117
11538	3449	0	6964	0	0	2268	1828	0	2268	0	1692	1117
11538	3449	0	6446	0	0	2268	1828	0	2268	0	1692	1117
9591	2892	0	5326	0	0	1987	1601	0	1987	0	1483	979
8205	2494	0	4953	0	0	1777	1432	0	1777	0	1326	875
8290	2518	0	5016	0	0	1790	1442	0	1790	0	1336	882
7374	2253	0	4744	0	0	1645	1326	0	1645	0	1228	810
7786	2372	0	4847	0	0	1711	1379	0	1711	0	1277	843
7870	2396	0	4888	0	0	1724	1390	0	1724	0	1287	849
7456	2277	0	4806	0	0	1658	1337	0	1658	0	1238	817
8290	2518	0	5020	0	0	1790	1442	0	1790	0	1336	882
9489	2863	0	5734	0	0	1972	1589	0	1972	0	1472	971

5.10.5.1 Přepočet do koordinačního systému letadla

Síly vycházející z předpisu musejí být pro další využití převedeny do souřadnicového systému na letadle, osy mají jinou posloupnost a současně jsou vůči sobě natočené. V tabulce jsou zaznamenány maximální síly, které se budou nadále využívat pro výpočet.

$$\begin{aligned}
 F_y &= F_{y1} + F_{y2} = F_{zp} \cdot \cos \alpha + F_{xp} \cdot \sin \alpha \\
 F_x &= F_{xp} \cdot \cos \alpha + F_z \cdot \sin \alpha \\
 F_z &= F_{yp}
 \end{aligned}
 \tag{32}$$



obr. 29 Rozklad sil od podvozku

tab 21 Síly od podvozku v souřadnicovém systému letadla

Vodorovné			Velký úhel náběhu			Brždění			Boční			
Fy [N]	Fx [N]	Fz [N]	Fy [N]	Fx [N]	Fz [N]	Fy [N]	Fx [N]	Fz [N]	Fy [N]	Fx [N]	Fz1 [N]	Fz2 [N]
11 703	-4048	0	6 756	0	0	2 912	-2 836	0	1 787	0	1 692	1 117



5.11 Výsledky zatížení

Zatížení důležité pro dimenzování motorové instalace jsem rozdělil do dílčích stavů:

- UL-2 Hlava C – Pevnost sekce III §361 a,
- UL-2 Hlava C – Pevnost sekce III §361 b,
- UL-2 Hlava C – Pevnost sekce IX §485
- Letová obálka bod A
- Letová obálka bod B
- Letová obálka bod C
- Letová obálka bod D
- Letová obálka bod E
- Letová obálka bod F
- Letová obálka bod G
- Zatížení od podvozku – vodorovné přistání
- Zatížení od podvozku – přistání s velkým úhlem náběhu
- Zatížení od podvozku – boční zatížení
- Zatížení od podvozku – brzdění

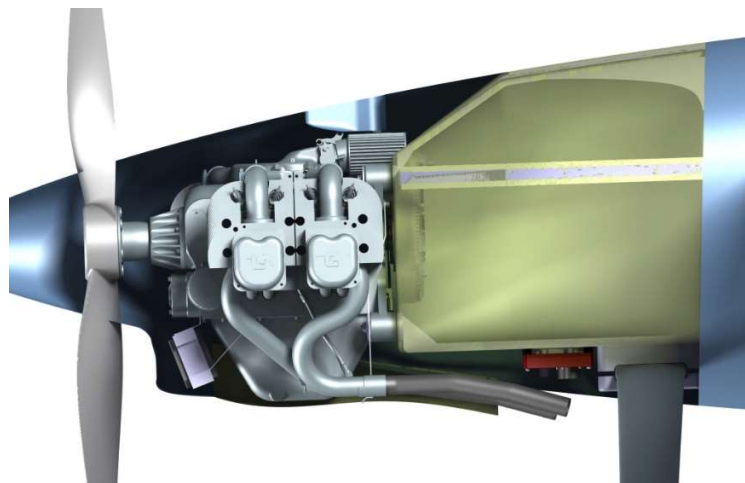
Tabulka s dílčími stavy je přiložena v příloze.

6 Geometrie motorového lože

Hlavní myšlenka při návrhu motorového lože na tento letoun tkví v prodloužení trupu, až do místa uchycení motoru, čímž by se zlepšil přenos sil z motorové instalace do trupu letounu. Motorová instalace by byla vyrobena při stejném procesu jako zbytek trupu, což zjednoduší výrobu a zároveň zvýší přesnost. Dalším přínosem je také snížení hmotnosti o díly, které nemusejí být vyžity, například spojovací prvky lože a trupu.

Konstrukce tečně navazuje na pokračující trup, poté vnější obrys tvoří kryt motoru a motorové lože je staženo přímo k úchytným bodům motoru. Prostor za válci je tvořen rovnou plochou, na kterou bude uchycen vzduchovod, který může být navržen v navazující práci zabývající se vnitřní aerodynamikou v okolí motoru. Spodní částí tohoto prostoru prochází výfukové potrubí, které je zde přibližně namodelováno, mezi výfukovým potrubím a motorovým ložem bude muset být kryt, který bude z materiálů vyhovujících předpisům, jelikož se předpisy zabývají pouze částmi, přicházejícími do přímého styku, nebo v bezprostřední blízkosti, nevztahují se již tyto normy na motorovou instalaci. Poslední z aerodynamických prvků, je nutné řešit vstup vzduchu do motoru, předběžně je v modelu navržen vstup tvaru naca nad motorovým sáním, motorové lože v tomto místě vytváří kapsu na ono motorové sání.

Spodní část motorového krytu musela být radikálně změněna oproti původnímu návrhu, jelikož v něm nebylo uvažováno umístění olejového chladiče. Olejový chladič byl umístěn na standardní místo, před olejovou vanou. Využito může být standardních úchytů, které jsou dodávány spolu s motorem, jako volitelný prvek. Před chladičem je umístěn kryt tvarovaný tak, aby umožnil zpomalení vzduchu v chladiči. Výstup vzduchu je za olejovou vanou, kterou svým tokem bude ochlazovat. Od elektronických komponent je oddělen druhou částí krytu, pokud je ovšem bude třeba chladit, je možné tento vzduch využít.



obr. 30 Boční pohled na konstrukci

6.1 Prvky konstrukce

Prvky konstrukce jsou navrhovány na silové toky, působící při vypočtených zatíženích. Konstrukce je složena z následujících prvků:

- 2x horní nosník
- 2x spodní nosník
- 2x boční nosník
- Torzní skříň
- Čelo motorového lože
- Rohová vyztužení úchytů



obr. 31 Prvky motorové instalace

6.1.1 Horní nosník

Horní nosníky jsou symetricky umístěné vůči ploše symetrie letadla. Díky kombinaci se spodním nosníkem, tvoří dohromady velmi ohybově tuhý prvek. Horní nosník se skládá z povrchových vrstev torzní skříně, poté je na tento povrch umístěný tužší materiál v podobě jednosměrné tkaniny. Díky vyšší tuhosti, než okolní kompozit bude nosník přenášet mnohem větší zatížení. Na vrstvy jednosměrné tkaniny bude následně umístěn omega profil z pěnového jádra. Prvotní předpoklad uvažuje využití rohacelového jádra IF 51. Tento profil může být vyfrézován, nebo vyřezán vodním paprskem. Následně je rohacelové jádro zakryto vnitřní vrstvou potahu torzní skříně. Rohacelové jádro plní svůj účel při tvorbě potahů kolmých na nosník, které fungují jako stojny nosníku a zvyšují stabilitu nosníku. Na boky jádra je ještě přidána vrstva orientována pod 90° k orientaci vláken jednosměrného potahu. Tato vrstva bude z materiálu využitého na potah torzní skříně a vytvoří dříve zmiňovanou stojnu.

Nosníky v trupu pokračují až k hraně kabiny, zde vytvoří tuhý komponent, potřebný kvůli otevření trupu. Vepředu nosníky navazují na čelo motorového lože.

6.1.2 Spodní nosník

Spodní nosník využívá stejnou materiálovou strukturu jako nosník horní. Navíc do spodního nosníku jsou přivedeny síly z podvozku, což tvoří významné zatížení této komponenty. V trupu na tento nosník pokračuje až k ostruhovému podvozku.

6.1.3 Boční nosník

Oproti hornímu a spodnímu nosníku, přenáší dominantní zatížení pouze 2 nosníky, symetricky umístěné. Díky orientaci nosníku je nejvíce zatěžován při bočních násobcích. V trupu navazuje na nosník, do něhož je uchyceno křídlo. Nosník je jako předešlé tvořen omega profilem z rohacelového jádra, jenž je přeplátováno pomocí tkaniny orientované pod 90°. V čele motorového lože směřuje k hornímu úchyty motoru.

6.1.4 Torzní skříň

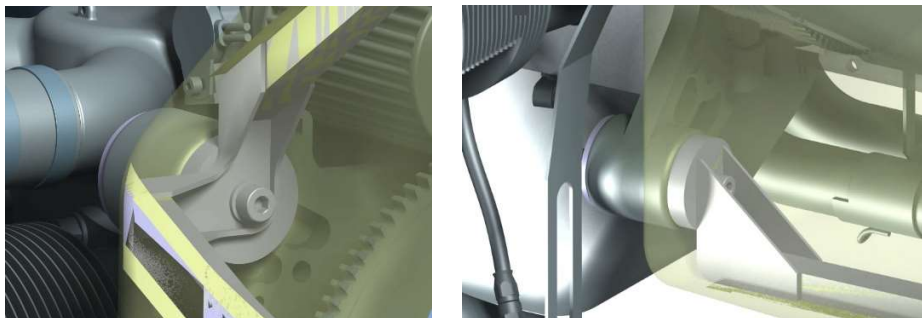
Torzní skříň, jak již název napovídá má za účel primárně přenos kroutícího momentu z uchycení motoru do zbytku trupu, některé její části působí významně také jako nosné prvky při ohýbání lože vertikálně i horizontálně, působí totiž jako stojny a přenáší smyková napětí mezi nosníky. Příslušenství motoru, jako například ECU jednotka motoru, OPS, regulátor a další jsou uchyceny právě k torzní skříni

6.1.5 Čelo motorového lože

Čelo motorového lože je část, k níž je uchycen motor přes 4 úchytné body. V těchto místech je nutné místní vyztužení, právě, kvůli procházejícím šroubům a velkému lokálnímu zatížení. Pro tento účel se do jádra kompozitu vkládají takzvané inserty. Jedná se o prvek, který přenesse násobně větší smykové a tlakové napětí do obou potahů. V ultralehkém letectví se hojně využívá tzv. letecké překližky. V našem případě se také uvažuje o jejím využití. Na čele motorového lože je vybrán prostor, který zabírá část motoru zasahující za úchytné body, kvůli tuhosti je tento otvor uzavřený a vzniká jakási kapsa.

6.1.6 Rohová vyztužení úchytů

Pro lepší přenos smykových toků z uchycení motoru do nosníků je zde využito rohové vyztužení v podobě frézovaného úhelníku. V případě horního úchyty přenášíme síly do horního a bočního nosníku, tudíž má úhelník v čelním pohledu tvar písmene L. úhelník je zalaminován při výrobě přímo na vnější potah torzní skříně, následně dovnitř je vložen jednosměrný laminát, který překryje jádro, následuje obalení vnitřním potahem torzní skříně.



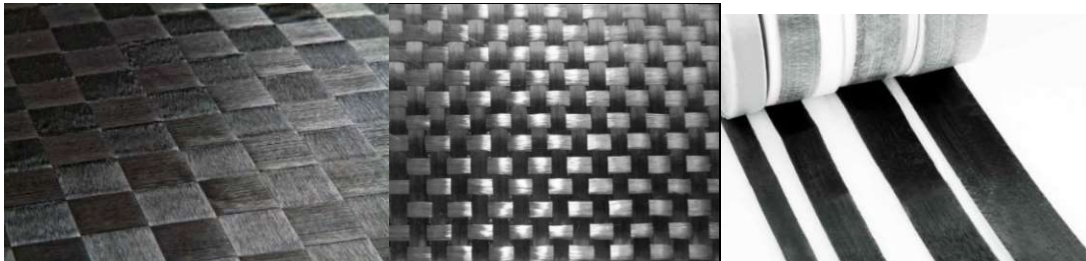
obr. 32 Úchyty motorového lože (vlevo horní vyztužení, vpravo spodní vyztužení)

7 Materiál motorového lože

Materiály motorového lože vycházejí z aplikace materiálů na ostatní části letadla, primárně části trupu. Jelikož se jedná o prodloužení trupu, bylo by nevhodné použít na obě komponenty jiné materiály. Materiály a materiálové vlastnosti byli převzaty z práce Ing. Vojtěcha Malého z důvodu známých vlastností využitých kompozitů.

Využívané typy matric a vláken:

- Vláčna Textreme 1000 sycená pryskyřicí DT 120
- Uhlíková tkanina GG160T sycená pryskyřicí DT 120
- Jednosměrný uhlíkový prepreg UTS 150 sycený pryskyřicí DT 120



obr. 33 použité kompozity, zleva - Textreme 1000, GG 160T, UTS150

7.1 Vlastnosti materiálů

Vlastnosti materiálů vycházejí z testů Vojtěcha Malého. Jejich výsledky jsou zapsány v následujících tabulkách. Materiálové vlastnosti vláknových materiálů vycházejí z fyzických testů provedených na ústavu letecké techniky ČVUT.

7.1.1 Vlastnosti materiálů jader

Jádra využívané u kompozitů jsou často různé druhy strukturálních pěn, jejich hlavní účel je rozeprít potahy, které jsou obecně mnohem tužší a pevnější a přenášet mezi nimi smykové síly. V letectví jsou obvykle vyžadovány i jiné vlastnosti než jen dobrá pevnostní odolnost, například nehořlavost, kvůli čemuž se využívá například níže zmíněný airex. Rohacel tuto vlastnost nemá, díky svým mechanickým vlastnostem a teplotní odolnosti je ale jeho užití v mechanicky namáhaných kompozitech vyráběných v autoklávu těžko nahraditelné. Airex najde využití také v tvarově složitějších součástech, právě kvůli nižší tuhosti, díky čemuž se lépe přizpůsobí požadovanému tvaru i v případech kdy by bylo rohacelovou pěnu na potřebný tvar obrábět.

tab 22 Vlastnosti Rohacelu 51a (12)

Rohacel 51A			
Husota	ρ	52	kg/m^3
Youngův modul pružnosti	E	70	MPa
Poissonovo číslo	ν	0,25	-
Modul pružnosti ve smyku	G	19	MPa
Maximální napětí v tahu	Pt	1,9	MPa
Maximální napětí v tlaku	Pc	0,9	MPa
Maximální napětí ve smyku	Ps	0,62	MPa

tab 23 Vlastnosti Airexu R82.8 (12)

Airex R82.8			
Husota	ρ	80	kg/m^3
Youngův modul pružnosti	E	54	MPa
Poissonovo číslo	ν	0,25	-
Modul pružnosti ve smyku	G	23	MPa
Maximální napětí v tahu	Pt	1,7	MPa
Maximální napětí v tlaku	Pc	0,9	MPa
Maximální napětí ve smyku	Ps	0,9	MPa

7.1.2 Vlastnosti vláknových kompozitů

Jelikož vláknové kompozity jsou orthotropní materiály, vlastnosti jsou závislé na orientaci vláken. Uvedené vlastnosti jsou v hlavních směrech 1,2 a 3.

Pro výsledné vlastnosti kompozitních panelů je nutné do výpočtu zahrnout i sendvičové jádro, jelikož právě na přechodu jádra a potahu dochází k nejčastějším porušením. Zahrnutí pěnového jádra je možné analyticky řešit u rovných panelů. Zakřivených ploch jako v našem případě je ideální využití MKP simulací.

7.1.2.1 *Textreme 1000*

Materiál textreme 1000 DT120 je tvořen uhlíkovými vlákny TR50S 15K JJ a má velkou rozteč mezi jednotlivými osnovami a útky. Na letadle bude díky nižší gramáži použit na velkých plochách. Plochy právě kvůli zmíněné velké vzdálenosti osnovy a útku musejí být málo křivé, z toho důvodu bude materiál použit pouze na torzní skříň a nikoli na čelo motorového lože.

tab 24 Vlastnosti materiálu textreme 100 DT 120 (12)

Textreme 1000 DT120			
Tloušťka jedné vrtvy	t	0,125	mm
Husota	ρ	1 490	kg / m^3
Youngův modul pružnosti	E1	57 695	MPa
	E2	57 695	MPa
	E3	7 312	MPa
Poissonovo číslo	v12	0,062	-
	v23	0,03	-
	v13	0,03	-
Modul pružnosti ve smyku	G12	4 207	MPa
	G13	2 100	MPa
	G23	2 100	MPa
Maximální napětí v tahu	Pt1	604	MPa
	Pt2	604	MPa
	Pt3	46	MPa
Maximální napětí v tlaku	Pc1	443	MPa
	Pc2	443	MPa
	Pc3	80	MPa
Maximální napětí ve smyku	Ps	570,9	MPa

7.1.2.2 UTS 150

Jednosměrný uhlíkový kompozit tvoří vlákna UTS50 F13. Díky velkému youngovu modulu se hodí k využití na nosnících, jelikož skrz tyto vlákna půjde největší smykový tok. Ostatní použité kompozitní materiály předčí také v maximálních tahových a tlakových napětích, což se hodí u nejvíce jednoduše zatěžovaných komponent - nosníků. Využití v obecných plochách vylučuje hodnota napětí ve smyku, tudíž v ploše, kde nepůsobí pouze jednosměrné napětí, je vhodnější využít jinak uspořádaný kompozit.

tab 25 Vlastnosti jednosměrného kompozitu UTS 150 DT120 (12)

UTS 150 DT120			
Tloušťka jedné vrtvy	t	0,15	mm
Husota	ρ	1 480	kg/m^3
Youngův modul pružnosti	E1	121 473	MPa
	E2	7 312	MPa
	E3	7312	MPa
Poissonovo číslo	v12	0,32	-
	v23	0,032	-
	v13	0,032	-
Modul pružnosti ve smyku	G12	4 200	MPa
	G13	4 200	MPa
	G23	4 200	MPa
Maximální napětí v tahu	Pt1	1774	MPa
	Pt2	46	MPa
	Pt3	46	MPa
Maximální napětí v tlaku	Pc1	1 200	MPa
	Pc2	90	MPa
	Pc3	90	MPa
Maximální napětí ve smyku	Ps	77	MPa

7.1.2.3 GG160T

Kompozit s malou vzdáleností osnova a útku je ideální na plochy zakřivené více směry, oproti materiálu Textreme 1000 má o něco vyšší hustotu a gramáž, ale položen pod 45° dokáže kopírovat povrch součásti, proto je využit pro překrytí nosníků a pro čelní stranu motorového lože.

tab 26 Vlastnosti kompozitu GG160T (12)

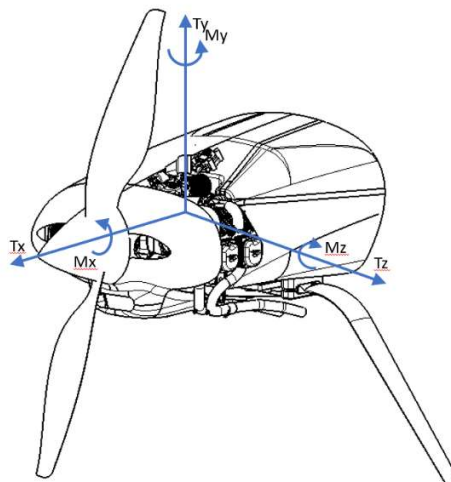
GG160T			
Tloušťka jedné vrtvy	t	0,15	mm
Husota	ρ	1 800	kg/m^3
Youngův modul pružnosti	E1	24 569	MPa
	E2	21 194	MPa
	E3	7 312	MPa
Poissonovo číslo	v12	0,164	-
	v23	0,139	-
	v13	0,150	-
Modul pružnosti ve smyku	G12	15 364	MPa
	G13	3 300	MPa
	G23	3 300	MPa
Maximální napětí v tahu	Pt1	509	MPa
	Pt2	418	MPa
	Pt3	100	MPa
Maximální napětí v tlaku	Pc1	336	MPa
	Pc2	336	MPa
	Pc3	120	MPa
Maximální napětí ve smyku	Ps	57	MPa

8 Dimenzování konstrukce

Konstrukce byla následně podrobena analytickému výpočtu. Nejprve bylo nutné vybrat nejvíce zatěžující stavy. Byly vybírány maximální a minimální hodnoty, na příkladu kroutícího momentu kolem osy y . K maximálnímu zatížení dochází ve výpočtu podle UL-2 Pevnost sekce III §363, výpočtu bočního zatížení a to 1 333,474 Nm. Minimální zatížení, obrazně řečeno, jen je zde opačné znaménko se objevuje v bodě A letové obálky s hodnotou -78,15 Nm.

Ve výpočtu bylo stanoveno, jaké prvky budou dominantní v přenosu daných zatížení a níže jsou dané prvky vypsány u daného zatížení, ve kterém jsou uvažovány jako nosné.

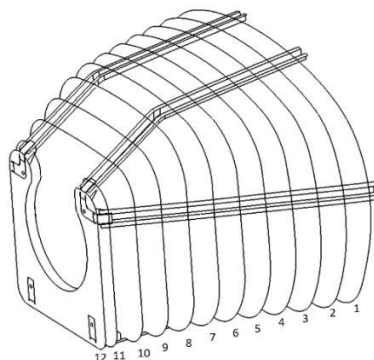
- Kroutící moment kolem osy x
torzní skříň
- Kroutící moment kolem osy y
boční nosníky
- Kroutící moment kolem osy z
Horní a spodní nosníky
- Posouvající síla ve směru x
Nosníky boční, nosníky horní, nosníky spodní
- Posouvající síla ve směru y
Vertikální části torzní skříně
- Posouvající síla ve směru z
Horizontální části torzní skříně



obr. 34 Orientace působících sil

8.1 Vstupní zatížení

Pro analytický výpočet byla konstrukce rozdělena na 12 výpočtových řezů, vždy po 50mm ve směru x, vzdálenost řezu 11 a 12 je odlišná a to 22mm.



obr. 35 výpočtové řezy

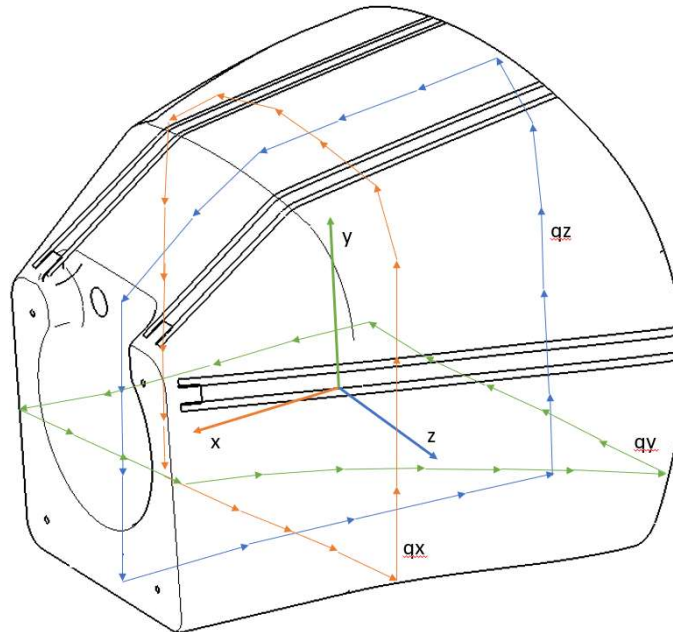
Vybrané momenty a posouvající síly na které je následně dimenzovaná konstrukce jsou zaznamenány v tabulce č.888.

tab 27 vstupní zatížení do pevnostního návrhu

		Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	Tx [N]	Ty [N]	Tz [N]
x1	max	626	1335,474	8780,275	1224,217	15231,77	2809,094
	min	-2446,72	-78,1531	-2803,88	-4048	-3641,91	0
x2	max	626	1247,249	8008,567	1224,217	15231,77	2809,094
	min	-2446,72	-78,1531	-2619,28	-4048	-3641,91	1764,509
x3	max	626	1159,023	7236,858	1224,217	15231,77	2809,094
	min	-2446,72	-78,1531	-2434,69	-4048	-3641,91	1764,509
x4	max	626	1070,798	3219,757	1224,217	5370,73	2809,094
	min	0	-78,1531	-2249,59	0	-3641,91	1764,509
x5	max	626	982,5722	2953,72	1224,217	5370,73	2809,094
	min	0	-78,1531	-2065	0	-3641,91	1764,509
x6	max	626	894,3468	2688,183	1224,217	5370,73	2809,094
	min	0	-78,1531	-1879,9	0	-3641,91	1764,509
x7	max	626	806,1214	2423,145	1224,217	5370,73	2809,094
	min	0	-78,1531	-1694,31	0	-3641,91	1764,509
x8	max	626	717,8959	2162,106	1224,217	5370,73	2809,094
	min	0	-78,1531	-1504,72	0	-3641,91	1764,509
x9	max	626	629,6705	1915,562	1224,217	5370,73	2809,094
	min	0	-78,1531	-1300,63	0	-3641,91	1764,509
x10	max	626	541,4451	1664,02	1224,217	5370,73	2809,094
	min	0	-78,1531	-1101,54	0	-3641,91	1764,509
x11	max	626	453,2196	1411,978	1224,217	5370,73	2809,094
	min	0	-78,1531	-902,948	0	-3641,91	1764,509
x12	max	626	414,4005	1300,82	1224,217	5370,73	2809,094
	min	0	-78,1531	-815,828	0	-3641,91	1764,509

8.2 Výpočet smykových toků

K výpočtu silových toků v dutinách bylo přistoupeno z hlediska dimenzování torzní skříňě a čela motorového lože, kdy se k působícím smykovým silám přidávají ještě účinky od působících momentů. Smykové toky jsou naznačeny na obr.36.



obr. 36 smykové toky

Vztah pro výpočet smykového toku vychází z Brechtova vzorce.

$$M_k = q_{dutiny} \cdot 2 \cdot U_{Dutiny} \quad (33)$$

Vzorec po úpravě

$$\begin{aligned}
 M_x &= q_{Mx_dutiny} \cdot 2 \cdot U_{ZY_Dutiny} \\
 M_y &= q_{My_dutiny} \cdot 2 \cdot U_{ZX_Dutiny} \\
 M_z &= q_{Mz_dutiny} \cdot 2 \cdot U_{XY_Dutiny}
 \end{aligned} \quad (34)$$

Vztah užitý k výpočtu smykového toku od posouvající síly:

$$q_T = \frac{T}{h_{ef}} \quad (35)$$

tab 28 Smykové toky a plochy dutin

		$U_x [m^2]$	$U_y [m^2]$	$U_z [m^2]$	$q_{mx} [N/mm]$	$q_{my} [N/mm]$	$q_{mz} [N/mm]$	$q_{rx} [N/mm]$	$q_{ry} [N/mm]$	$q_{rz} [N/mm]$
x1	max	0,381	0,2455	0,3127	0,1193	0,1639	1,3728	2,3452	31,1488	3,7157
	min				-0,4661	-0,0096	-0,4384	-7,7548	-7,4477	0,0000
x2	max	0,365	0,2455	0,3127	0,1142	0,1531	1,2521	2,3452	31,4706	3,8428
	min				-0,4465	-0,0096	-0,4095	-7,7548	-7,5246	2,4138
x3	max	0,3455	0,2455	0,3127	0,1081	0,1423	1,1315	2,3452	31,7991	3,9959
	min				-0,4227	-0,0096	-0,3807	-7,7548	-7,6032	2,5100
x4	max	0,3246	0,2455	0,3127	0,1016	0,1314	0,5034	2,3452	11,3546	4,1740
	min				0,0000	-0,0096	-0,3517	0,0000	-7,6996	2,6219
x5	max	0,3031	0,2455	0,3127	0,0949	0,1206	0,4618	2,3452	11,4759	4,3824
	min				0,0000	-0,0096	-0,3229	0,0000	-7,7819	2,7527
x6	max	0,2816	0,2455	0,3127	0,0881	0,1098	0,4203	2,3452	11,6250	4,6355
	min				0,0000	-0,0096	-0,2939	0,0000	-7,8829	2,9117
x7	max	0,2601	0,2455	0,3127	0,0814	0,0990	0,3789	2,3452	11,8038	4,9631
	min				0,0000	-0,0096	-0,2649	0,0000	-8,0042	3,1175
x8	max	0,2333	0,2455	0,3127	0,0730	0,0881	0,3380	2,3452	12,2062	5,3917
	min				0,0000	-0,0096	-0,2353	0,0000	-8,2771	3,3868
x9	max	0,1994	0,2455	0,3127	0,0624	0,0773	0,2995	2,3452	13,5624	5,9264
	min				0,0000	-0,0096	-0,2034	0,0000	-9,1968	3,7226
x10	max	0,1676	0,2455	0,3127	0,0525	0,0665	0,2602	2,3452	14,8363	6,5787
	min				0,0000	-0,0096	-0,1722	0,0000	-10,0605	4,1323
x11	max	0,0805	0,2455	0,3127	0,0252	0,0556	0,2208	2,3452	16,3244	7,3924
	min				0,0000	-0,0096	-0,1412	0,0000	-11,0696	4,6434
x12	max	0,0713	0,2455	0,3127	0,0223	0,0509	0,2034	2,3452	17,0499	7,8248
	min				0,0000	-0,0096	-0,1276	0,0000	-11,5616	4,9151

8.3 Orientační návrh plochy pásnic nosníků

Předběžný návrh plochy pásnic vychází ze vztahu, kdy plocha pásnice by měla být větší než působící moment násobený zvoleným koeficientem bezpečnosti, v našem případě s hodnotou 2,2. Ve jmenovateli zlomku se nachází efektivní výška mezi pásnicemi v součinu s maximálním napětím, které je schopen materiál přenést.

$$A_{potř} \geq \frac{M_x \cdot f}{h_{ef} \cdot \sigma_{mez}} \quad (36)$$

tab 29 Potřebné plochy pásnic

Poloha	Typ vstupního zatížení	$A_{M_y \text{ potř}} \text{ [mm]}$	$A_{M_z \text{ potř}} \text{ [mm]}$
x1	max	3,39	22,27
	min	0,20	7,11
x2	max	3,20	20,52
	min	0,20	6,71
x3	max	3,00	18,74
	min	0,20	6,30
x4	max	2,81	8,44
	min	0,20	5,90
x5	max	2,60	7,83
	min	0,21	5,47
x6	max	2,40	7,22
	min	0,21	5,05
x7	max	2,20	6,60
	min	0,21	4,62
x8	max	2,02	6,09
	min	0,22	4,24
x9	max	1,97	6,00
	min	0,24	4,07
x10	max	1,85	5,70
	min	0,27	3,77
x11	max	1,71	5,32
	min	0,29	3,40
x12	max	1,63	5,12
	min	0,31	3,21

8.4 Výpočet výsledných napětí

Po výpočtu smykových toků je možné přistoupit k výpočtu vznikajících napětí. V tomto kroku je již nutné znát navrhovanou skladbu materiálu a při výpočtu provádět iterativní kroky.

8.4.1 Návrh skladby

Při návrhu skladby byli vždy navrženy 3 různé tloušťky potahů, které se vkládali do výpočtu a podle potřeby použily na danou sekci komponentu.

tab 30 skladba motorového lože

	Typ potahu	1		2		3	
		počet vrstev	Tloušťka [mm]	počet vrstev	Tloušťka [mm]	počet vrstev	Tloušťka [mm]
UTS 150	Horní nosník	1	0,15	2	0,3	4	0,6
	Spodní nosník	1	0,15	2	0,3	4	0,6
	Boční nosník	1	0,15	1	0,15	2	0,3
Textreme 1000	Vrchní č. dutiny	3	0,375	2	0,25	3	0,375
	Bok dutiny	5	0,625	4	0,5	3	0,375
	Spodní č. dutiny	3	0,375	2	0,25	3	0,375
GG160T	Přední č. Dutiny	4	0,8	3	0,6	7	1,4

8.4.2 Výpočet napětí

Výpočet napětí je možné rozdělit do dvou skupin. Jelikož nosníky jsou díky jednosměrnému kompozitu primárně nosné v ohybu motorové instalace, tak jsou napětí v nich počítané pouze z příslušných momentů, ovšem u torzní skříně tomu tak není, ta je zatížena momenty a posouvajícími silami, tudíž je zde výsledné napětí vypočteno ze smykových toků. Použitá skladba je v tabulce barevně označena.

$$\sigma = \frac{M \cdot f}{t_{\text{potahu}} \cdot b_{\text{nosniku}} \cdot h_{\text{ef}}} \quad (37)$$

$$\tau = \frac{q_{\text{dutiny}}}{t_{\text{potahu}}}$$

tab 31 Vypočtená napětí

	Horní nosník	Spodní nosník	Boční nosník	Spodní č. dutiny		Vrchní č. dutiny		Bok dutiny		Přední č. Dutiny	
	$\bar{\sigma}_{hn}$ [MPa]	$\bar{\sigma}_{sn}$ [MPa]	$\bar{\sigma}_{bn}$ [MPa]	$\tau_{xy\ sd}$ [MPa]	$\tau_{yz\ sd}$ [MPa]	$\tau_{xy\ vd}$ [MPa]	$\tau_{yz\ vd}$ [MPa]	$\tau_{xz\ bd}$ [MPa]	τ_{yzbd} [MPa]	$\tau_{xz\ pd}$ [MPa]	$\tau_{xy\ pd}$ [MPa]
x1	1645,928	1645,928	647,717	9,915	10,227	9,915	10,227	6,691	10,423	-	-
	525,608	525,608	37,905	21,848	1,243	21,848	1,243	20,705	2,638	-	-
x2	1516,774	1516,774	625,615	9,593	10,552	9,593	10,552	6,662	10,528	-	-
	496,076	496,076	39,201	21,772	5,246	21,772	5,246	20,705	2,657	-	-
x3	1384,924	1384,924	604,517	9,271	10,944	9,271	10,944	6,633	10,636	-	-
	465,929	465,929	40,763	21,695	5,566	21,695	5,566	20,705	2,675	-	-
x4	1247,968	1247,968	1166,793	11,395	17,102	11,395	17,102	4,953	22,912	-	-
	871,936	871,936	85,159	1,407	10,487	1,407	10,487	0,013	15,399	-	-
x5	1157,084	1157,084	1124,108	11,228	17,909	11,228	17,909	3,288	23,142	-	-
	808,938	808,938	89,411	1,291	11,011	1,291	11,011	0,013	15,564	-	-
x6	1066,739	1066,739	1082,268	11,062	18,894	11,062	18,894	3,273	23,426	-	-
	745,994	745,994	94,575	1,176	11,647	1,176	11,647	0,013	15,766	-	-
x7	976,359	976,359	1044,445	10,896	20,178	10,896	20,178	3,259	23,770	-	-
	682,689	682,689	101,258	1,060	12,470	1,060	12,470	0,013	16,008	-	-
x8	900,877	900,877	1010,474	10,733	21,859	10,733	21,859	3,244	24,558	-	-
	626,965	626,965	110,004	0,941	13,547	0,941	13,547	0,013	16,554	-	-
x9	1773,669	1773,669	974,174	10,579	23,955	7,053	23,955	3,230	18,166	-	-
	1204,285	1204,285	120,912	0,813	14,890	0,542	14,890	0,013	12,262	-	-
x10	1685,472	1685,472	929,882	6,948	17,683	6,948	17,683	3,216	19,852	-	-
	1115,739	1115,739	134,221	0,459	11,020	0,459	11,020	0,013	13,414	-	-
x11	1573,633	1573,633	874,634	6,843	19,780	6,843	19,780	3,201	21,799	-	-
	1006,325	1006,325	150,822	0,376	12,383	0,376	12,383	0,013	14,760	-	-
x12	1514,182	1514,182	846,500	6,796	20,926	6,796	20,926	3,195	22,763	9,845	21,567
	949,641	949,641	159,644	0,340	13,107	0,340	13,107	0,013	15,416	6,132	14,611

8.4.3 Výpočet jistot

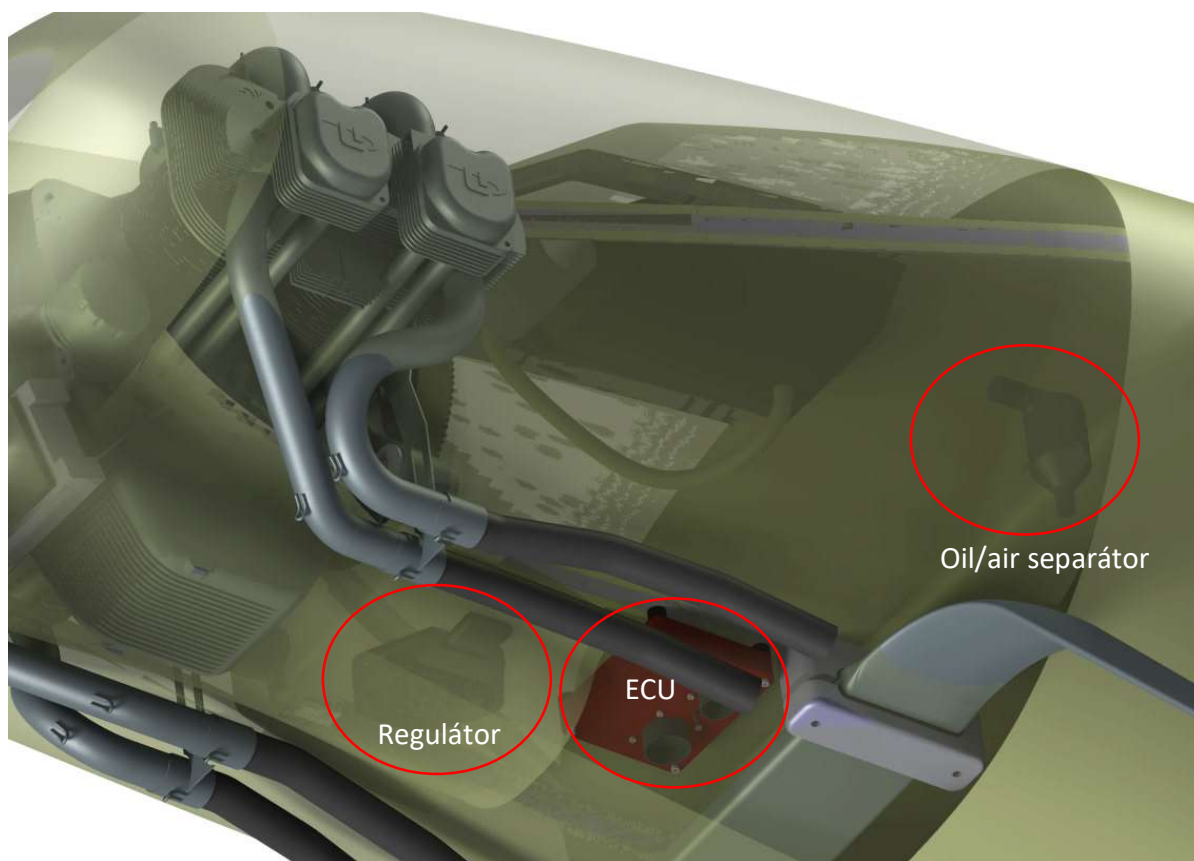
Následně jsou výsledná napětí porovnána s maximálním napětím, které přenesou materiál v daném směru zatěžování a je vyhodnocena jistota. Pokud hodnota jistoty vychází 0 - 1 je nedostatečná a je proto označena barvou červenou, jistota s hodnotou od 1 – 1,5 je z hlediska využití materiálu ideální a je proto označena zelenou barvou. Jistoty s vyšší hodnotou než 1,5 jsou označeny žlutou barvou. V některých případech je daná část zatížena například v rovině yz a tudíž v rovině xy dosahují jistoty vysokých hodnot, zmenšit tloušťku materiálu nejde, právě kvůli zatížení ve více rovinách.

tab 32 Jistoty jednotlivých komponent

j hn	j sn	j bn	j sd xy	j sd yz	j vd xy	j vd yz	j bd xz	j bd yz	j pd xz	j pd xy
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1,08	1,08	2,74	2,61	2,53	2,61	2,53	3,87	2,49	-	-
3,38	3,38	46,80	1,19	20,85	1,19	20,85	1,25	9,82	-	-
1,17	1,17	2,84	2,70	2,46	2,70	2,46	3,89	2,46	-	-
3,58	3,58	45,25	1,19	4,94	1,19	4,94	1,25	9,75	-	-
1,28	1,28	2,93	2,79	2,37	2,79	2,37	3,91	2,44	-	-
3,81	3,81	43,52	1,19	4,65	1,19	4,65	1,25	9,68	-	-
1,42	1,42	1,52	2,27	1,51	2,27	1,51	5,23	1,13	-	-
2,03	2,03	20,83	18,42	2,47	18,42	2,47	2025,56	1,68	-	-
1,53	1,53	1,58	2,31	1,45	2,31	1,45	7,88	1,12	-	-
2,19	2,19	19,84	20,06	2,35	20,06	2,35	2025,56	1,66	-	-
1,66	1,66	1,64	2,34	1,37	2,34	1,37	7,92	1,11	-	-
2,38	2,38	18,76	22,04	2,22	22,04	2,22	2025,56	1,64	-	-
1,82	1,82	1,70	2,38	1,28	2,38	1,28	7,95	1,09	-	-
2,60	2,60	17,52	24,45	2,08	24,45	2,08	2025,56	1,62	-	-
1,97	1,97	1,76	2,41	1,19	2,41	1,19	7,99	1,05	-	-
2,83	2,83	16,13	27,53	1,91	27,53	1,91	2025,56	1,57	-	-
1,00	1,00	1,82	2,45	1,08	3,67	1,08	8,02	1,43	-	-
1,47	1,47	14,67	31,85	1,74	47,78	1,74	2025,56	2,11	-	-
1,05	1,05	1,91	3,73	1,47	3,73	1,47	8,06	1,31	-	-
1,59	1,59	13,22	56,41	2,35	56,41	2,35	2025,56	1,93	-	-
1,13	1,13	2,03	3,79	1,31	3,79	1,31	8,09	1,19	-	-
1,76	1,76	11,76	68,82	2,09	68,82	2,09	2025,56	1,76	-	-
1,17	1,17	2,10	3,81	1,24	3,81	1,24	8,11	1,14	2,63	1,20
1,87	1,87	11,11	76,17	1,98	76,17	1,98	2025,56	1,68	4,23	1,77

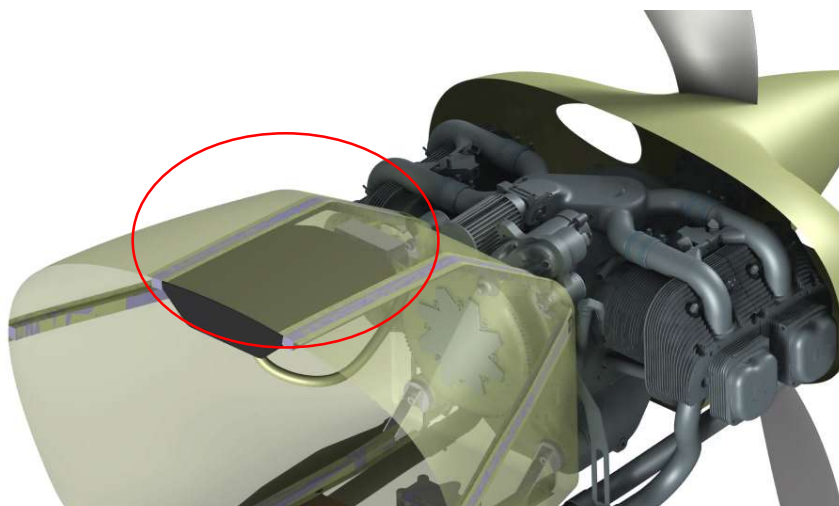
9 Návrh rozložení ostatních komponent

Vzhledem k tomu, že potah lože je využíván k přenosu kroutícího momentu, tak bude mít pouze malé servisní otvory umožňující přístup k montážním bodům, které ale nebudou umožňovat montáž ostatních komponent nutných k provozu motoru dovnitř lože. Tudíž je nejvíce využita spodní plocha motorového lože, kde byl umístěn regulátor. Někdy je nutné regulátor chladit proudícím vzduchem, což by se řešilo posunutím v ose y o několik desítek mm na vnější povrch krytu motoru do vzduchového kanálu. Na spodní straně lože je také připevněna ECU jednotka i kvůli usnadnění přístupu. Podle instrukcí výrobce motoru byl air/oil separátor umístěn na motorovou přepážku, jeho rozměry umožňují instalaci dovnitř lože. Jedna z nejtěžších komponent je zapalování, které bylo umístěno hned za vzduchový filtr, kde se motorová instalace zužuje k horním úchytům motoru a tímto vytvoří potřebný prostor a díky této instalaci minimalizujeme délku kabelů a tím i celkovou váhu zapalování, která je od výrobce udávána s hodnotou 3kg.



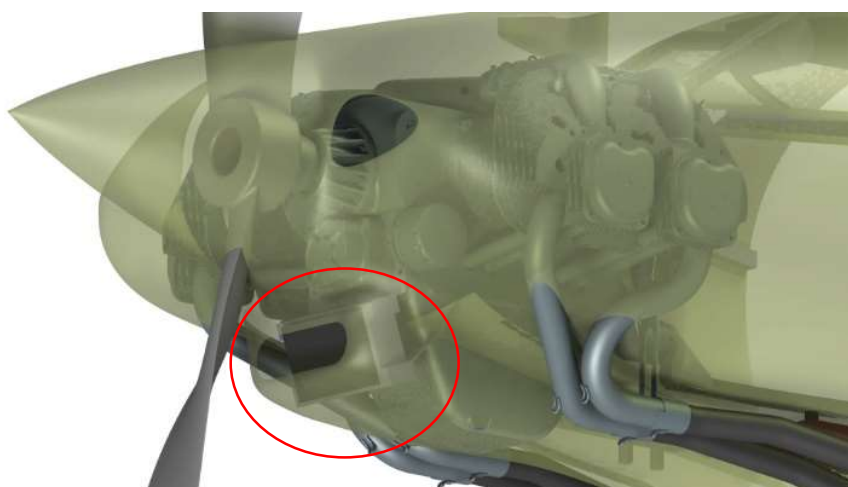
obr. 37 rozmístění komponent motoru

Na vrchní části motorového lože je vidět přepouštěcí nádrž, která by vznikla vytvořením dutiny v potahu motorového lože, následně by mohla být patřičně ošetřena nátěry, které ochrání laminát při kontaktu s palivem a zaručí její těsnost. Před zalepením motorové přepážky by se nádrž uzavřela dodaným zadním čelem. Z vrchní strany by byl ponechán pouze inspekční otvor. Nádrž je uložena mezi nosníky, do nichž vnáší síly od setrvačných sil. Před nádrž je umístěna palivová pumpa, která je díky umístění mimo nádrž lehce servisovatelná.



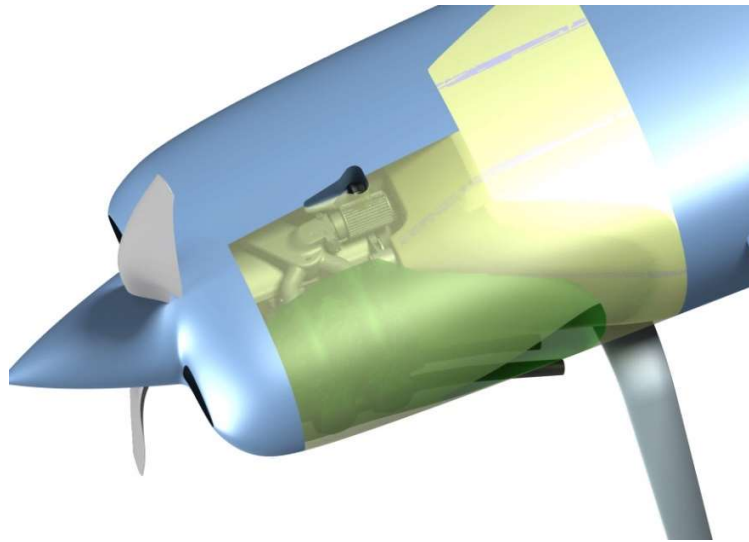
obr. 38 umístění palivové nádrže

Další díl, který je nutný pro chod motoru je olejový chladič. Tento prvek byl již zmiňován v části zabývající se geometrií lože, jelikož kvůli němu vznikl další vstup na čelní ploše letadla a tento prvek bude významně zasahovat do aerodynamiky letadla a je třeba ji v tomto oboru přepracovat. Olejový chladič se tedy nachází na výrobcem doporučeném místě před olejovou vanou.



obr. 39 umístění olejového chladiče

Nutné je také vyřešit proudění vzduchu uvnitř motorového překrytu, který vstupuje dovnitř k chlazení válců motoru. Návrhem tvaru vzduchového kanálu jsem se příliš nezabýval, jelikož to nebyl účel mé práce a také bylo uvažováno s využitím ohřátého vzduchu k vylepšení aerodynamiky celého letounu. Díky tvaru motorového lože vzniká poměrně velký prostor pro optimalizaci zmiňovaného proudění. Na obrázku níže je vyznačen prostor, kde by se vzduchovod mohl nacházet. Nejspíš bude spojen s krytem motoru i kvůli zvýšení tuhosti obou částí.



obr. 40 Vzduchovod chladícího vzduchu

10 Hmotový rozbor

Hmotový rozbor je v letectví velice důležitý prvek, který je nutné průběžně aktualizovat a kontrolovat, zda se pohybujeme v daných mezích. Pokud se letoun dostane přes určené hodnoty, se kterými bylo uvažováno již na začátku výpočtu, bude třeba provést kontrolu všech výpočtů, nejen z oblasti pevnosti, ale již od výpočtů týkající se mechaniky letu a letových výkonů. Proto v této části je proveden odhad hmotnosti komponent a současně i polohy těžiště dané komponenty, nebo části motorového lože.

10.1 Hmotový rozbor motorového lože

Motorové lože je z kompozitního materiálu, jehož struktura byla navržena v předešlé kapitole, kvůli vyřešení stability potahů bylo třeba ještě přidat vyztužení potahů jádrem kompozitu. Jádro bylo voleno také s ohledem na zbytek trupu, kde se bude využívat jádro airex. V případě potahu torzní skříně bylo přistoupeno k volbě airexu s tloušťkou 5mm. Nosníky jsou vyztuženy z pohledu vyšší únosnosti jádrem rohacell o tloušťce 15mm. Čelo motorového lože je na rovné ploše vyztuženo 10mm jádrem rohacell, které musí být opracováno do rádiusů aby ideálně kopírovalo požadovaný tvar. V tabulce jsou sepsány hmotnosti s polohy těžiště, které byly změřeny v programu Catia V. Těžiště je měřeno v souřadnicovém systému motorového lože který je umístěn na přední straně lože v rovině symetrie a 47mm od spodní plochy lože.

Výpočet těžiště vychází z momentové rovnováhy a je určen pomocí následující rovnice, kde poloha těžiště je rovna sumě statických momentů dělených celkovou hmotností.

$$\begin{aligned}x_T &= \frac{\sum m_i \cdot x_i}{m} \\y_T &= \frac{\sum m_i \cdot y_i}{m} \\z_T &= \frac{\sum m_i \cdot z_i}{m}\end{aligned}\tag{37}$$

poloha	Název části	Plocha [m ²]	Tloušťka [mm]	Hustota [kg/m ³]	Hmotnost [kg]	xT [mm]	yT [mm]	zT [mm]
Levý	Jádro spodní nosník	0,010453	15	51	0,008	-39	532	-140
	Potah spodní nosník 1-3	0,002000	0,6	1480	0,001776	-47	482	-140
	Potah spodní nosník 3-8	0,005011	0,3	1480	0,0022249	-47	306	-136
	Potah spodní nosník 8-12	0,003443	0,15	1480	0,0007643	-47	98	-125
	přeplátování spodní nosník	0,036350	0,15	1800	0,0098145	-39	273	-133
pravý	Jádro spodní nosník	0,010453	15	51	0,008	-39	532	140
	Potah spodní nosník 1-3	0,002000	0,6	1480	0,001776	-47	482	140
	Potah spodní nosník 3-8	0,005011	0,3	1480	0,0022249	-47	306	136
	Potah spodní nosník 8-12	0,003443	0,15	1480	0,0007643	-47	98	125
	přeplátování spodní nosník	0,036350	0,15	1800	0,0098145	-39	273	133
Levý	Jádro boční nosník	0,011765	15	51	0,009	260	272,9	-292
	Potah boční nosník 1-3	0,002513	0,3	1480	0,0011158	260	489	-397
	Potah boční nosník 3-6	0,003281	0,15	1480	0,0007284	259	357	-338
	Potah boční nosník 6-12	0,005971	0,15	1480	0,0013256	260	146	-243
	přeplátování boční nosník	0,041134	0,15	1800	0,0111062	259	278	-294
pravý	Jádro boční nosník	0,011765	15	51	0,009	260	272,9	292
	Potah boční nosník 1-3	0,002513	0,3	1480	0,0011158	260	489	397
	Potah boční nosník 3-6	0,003281	0,15	1480	0,0007284	259	357	338
	Potah boční nosník 6-12	0,005971	0,15	1480	0,0013256	260	146	243
	přeplátování boční nosník	0,041134	0,15	1800	0,0111062	259	278	294
Levý	Jádro horní nosník	0,011736	15	51	0,009	410	268	-124
	Potah horní nosník 1-3	0,002559	0,6	1480	0,0022724	466	495	-124
	Potah horní nosník 3-8	0,005098	0,3	1480	0,0022635	445	305	-124
	Potah horní nosník 8-12	0,004079	0,15	1480	0,0009055	364	97	-125
	Přeplátování horní nosník	0,040874	0,15	1800	0,011036	413	275	-124
pravý	Jádro horní nosník	0,011736	15	51	0,009	410	268	124
	Potah horní nosník 1-3	0,002559	0,6	1480	0,0022724	466	495	124
	Potah horní nosník 3-8	0,005098	0,3	1480	0,0022635	445	305	124
	Potah horní nosník 8-12	0,004079	0,15	1480	0,0009055	364	97	125
	Přeplátování horní nosník	0,040874	0,15	1800	0,011036	413	275	124
Levé	Vrchní vyztužení	-	2	2700	0,036	277	19	-145
Pravé	Vrchní vyztužení	-	2	2700	0,036	277	19	145
Levé	spodní vyztužení	-	2	2700	0,039	-26	31	-125
Pravé	spodní vyztužení	-	2	2700	0,039	-26	31	125
střed	Jádro spodní dutina	0,187268	5	80	0,0749072	-47	299	0
	potah spodní dutina 1-3	0,047714	0,375	1490	0,0266602	-47	482	0
	potah spodní dutina 3-9	0,103799	0,25	1490	0,0386651	-47	294	0
	potah spodní dutina 9-12	0,035754	0,375	1490	0,0199775	-47	71	0
levá	Jádro boční dutina	0,244691	5	80	0,0978764	117	287	-285
	Potah boční dutina 1-3	0,054797	0,375	1490	0,0306178	139	487	-363
	Potah boční dutina 3-8	0,119325	0,5	1490	0,0888971	116	309	-293

	Potah boční dutina 8-12	0,070567	0,625	1490	0,0657155	103	97	-212
pravá	Jádro boční dutina	0,244691	5	80	0,0978764	117	287	285
	Potah boční dutina 1-3	0,054797	0,375	1490	0,0306178	139	487	363
	Potah boční dutina 3-8	0,119325	0,5	1490	0,0888971	116	309	293
	Potah boční dutina 8-12	0,070567	0,625	1490	0,0657155	103	97	212
střed	Jádro vrchní dutina	0,386684	5	80	0,1546736	410	308	0
	Potah vrchní dutina 1-3	0,102209	0,375	1480	0,056726	442	495	0
	Potah vrchní dutina 3-8	0,187671	0,25	1480	0,0694383	421	308	0
	Potah vrchní dutina 8-12	0,096810	0,375	1480	0,0537296	357	110	-2
Střed	Jádro přední dutina	0,052047	10	51	0,026544	82	0	0
	potah přední dutina	0,160864	0,8	1800	0,2316442	139	22	-2

Následně po výpočtu polohy těžiště pomocí uvedených rovnic vychází poloha těžiště vůči souřadnému systému motorového lože popsaného dříve takto:

$$X = 172,95 \text{ mm}$$

$$Y = 222,42 \text{ mm}$$

$$Z = -0,35 \text{ mm}$$

Vyjádříme-li těžiště motorového lože v souřadnicích letadla, dostaneme tyto hodnoty

$$X = 1929,42 \text{ mm}$$

$$Y = 1996,425 \text{ mm}$$

$$Z = -0,35 \text{ mm}$$

Hmotnost celku včetně nosníků a vyztužovacích úhelníků

$$M = 1,612 \text{ kg}$$

10.2 Hmotový rozměr ostatních komponent

Ostatní komponenty byly předběžně umístěny na motorové lože a zde je vypsána jejich hmotnost a poloha těžiště. Jsou zde uvedeny komponenty, které podstatně mění polohu těžiště, např. nádrž olejový chladič atd.

díl	Hmotnost [g]	xT [mm]	yT [mm]	zT [mm]
Olejový chladič	600	1347	1780	0
ECU	600	1989	1753	57
Kabeláž ECU	1 000	1635	1764	30
Nádrž	1 700	2137	2266	0
Palivová pumpa	700	1952	2223	0
Palivový filter	200	2107	2197	-93
Oil air separator s hadicemi	700	2218	1918	331
silentbloky	300	1740	1988	0
regulátor	100	1813	1769	-18
Zapalování	3000	1685	2180	20

11 Závěr

Motorové lože navržené v této diplomové práci je jednou z iterací v procesu návrhu letadla, které by mělo překonat rychlostní rekord. Hlavním účelem bylo zjistit zda se vyplatí více zaobírat návrhem netradičního řešení motorového lože, které je oproti běžně využívané konstrukci z ocelových trubek vyrobeno z uhlíkového kompozitu. S váhou 1,6kg se jistě k využití na prototypovém letadle tento typ konstrukce hodí, jelikož běžná váha podobného lože na stejný typ motoru pohybuje okolo hodnoty 3kg a v tomto případě není lože určeno pouze pro přenos sil z kotvících bodů motoru, ale také pro zanesení sil od podvozku do konstrukce.

V této práci byla provedena běžně používaných konstrukcí k uchycení motoru. Jelikož bylo rozhodnuto vydat se netradiční cestou kompozitního motorového lože, cestou která nebyla v ultralehkém letectví téměř využívána. Následně byla stanovená předpisová základna, jež specifikovala především výpočtové zatížení.

Následně bylo vypočteno zatížení podle požadavků předpisů a k tomuto zatížení byla přidána také zatížení, která mohou při letu nastat při kombinaci různých hmotových konfigurací při různých letových stavech z letové obálky násobků. V práci bylo uvažováno i s gyroskopickými momenty, přestože v ultralehkém letectví se příliš často nevyskytují kvůli nižším výkonům motorů. Nakonec bylo kvůli poloze uchycení podvozku vypočteno i pozemní zatížení, které výrazně ovlivnilo zatížení zadní části motorového lože.

S vypočteným působícím zatížením bylo přikročeno k výpočtu smykových toků v dutině, kterou vytvořil tvar motorového lože. U nosníků bylo rovnou vypočteno maximální působící napětí. U potahu dutiny byli nejprve vypočteny celkové smykové toky od posouvajících sil a momentů a následně byli kontrolovány na maximální napětí. Bylo rozhodnuto že ke kontrole na stabilitu potahů bude vytvořena MKP simulace, jelikož takto složitou geometrii by bylo téměř nemožné spočítat analyticky už kvůli definování okrajových podmínek počítaných částí. Simulace ovšem nebyla součástí zadání tak v práci není uvedena.

Při znalosti vnitřní napjatosti byl proveden návrh optimální skladby a vypočteny jistoty, se kterými daná konstrukce vyhovuje vypočteným zatížením. Poté byl proveden hmotový rozbor celé konstrukce a následně i rozmístěných součástí, které budou na motorovém loži upevněny.

11.1 Seznam použité literatury

1. **Valenta, Jakub.** *Koncepční návrh rychlostního letounu.* Fakulta strojní ČVUT, Praha : Diplomová práce ČVUT, 2019.
2. **Engines, ULPower Aero.** Technical Data UL260/UL350/UL390/UL520 Aero engines. *ULPower Aero Engines.* [Online] 01. 02 2020. [Citace: 13. 04 2021.] <https://ulpower.com/en>.
3. **engineering, Flygas.** Rotax with ring mount. *Flygas engineering.* [Online] [Citace: 06. 12 2020.] <https://www.flygas.info/with-rotax-ring-mount/>.
4. **company, Zenith Aircraft.** Zenithair. [Online] [Citace: 09. 11 2020.] <http://www.zenithair.com/zodiac/6-engine.html>.
5. **Brabec, Marek.** *Návrh motorového lože UL letounu s motorem Rotax 912.* Fakulta strojní ČVUT, Praha : Diplomová práce, 2018.
6. **ČVUT, Fakulta strojní.** UL-39 Albi II. *Výsledky projektů - Fakulta strojní ČVUT.* [Online] [Citace: 23. 06 2021.] <https://www.fs.cvut.cz/veda-a-vyzkum/vysledky/vysledky-projektu/ul-39-albi/ul-39-albi-ii/>.
7. **Šulženko a Nikolajevič, M.** *Konstrukce letadel 2.* Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1954. 418 s.
8. **ČR, Letecká amatérská asociace.** *UL2 - Část I., Požadavky letové způsobilosti SLZ, Ultralehké letouny řžené aerodynamicky.* Ke Kablu 289,102 00, Praha 10 : Letecká amatérská asociace ČR, 2019.
9. **Helmich, Martin.** *Zatížení motorového lože letounu DS-1 motorem rotax 912.* Praha : Fakulta strojní ČVUT, 2018.
10. **Brabec, Jiří.** *Zatížení letounu.* [Přednáška] Praha : Fakulta strojní ČVUT, 2020.
11. **Široký, Richard.** *Návrh podvozku vysokorychlostního letounu.* Fakulta strojní ČVUT, Praha : Diplomová práce.
12. **Malý, Vojtěch.** *Dimenzování trupu letounu UL-39.* Fakulta strojní ČVUT, Praha : Diplomová práce, 2018.
13. **Špunda, Jaromír.** *Stavební mechanika a pevnost letounu.* Brno : Vojenská akademie antonína zápotockého, 1971.
14. **Evropská agentura pro bezpečnost letectví, .** *Certifikační specifikace pro letouny kategorie normální, cvičná, akrobatická a pro sběrnou dopravu.* Kolín nad Rýnem : Evropská agentura pro bezpečnost letectví, 2012.

15. **Koštel, Jakub.** *Tuhostní a pevnostní analýza nsné konstrukce turbovrtulového motoru.* Fakulta strojní ČVUT, Praha : Bakalářská práce, 2017.
16. **Osičková, Klára.** *Návrh přistávacího zařízení rychlostního letounu.* Fakulta strojní ČVUT, Praha : Bakalářská práce, 2020.
17. **Suk, Filip.** *Návrh Letounu VUT 081 Kondor v dvoutrupové variantě.* Fakulta strojního inženýrství VUT, Brno : Diplomová práce, 2013.
18. **Dycka, Jan.** *Návrh cvičného letounu s tandemovým uspořádáním sedadel.* Fakulta strojního inženýrství VUT, Brno : Diplomová práce, 2008.
19. **Souček, Jiří.** *Optimalizace konstrukce kompozitního křídla.* Fakulta strojní ČVUT, Praha : Diplomová práce, 2020.
20. **Zezula, Adam.** *Aerodynamická analýza rychlostního letounu.* Fakulta strojní ČVUT, Praha : Dipomová práce, 2020.
21. **Mikula, Jan.** *Konstrukce a projektování letadel II.* Praha : Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005.
22. —. *Konstrukce a projektování letadel.* Praha : Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2004.
23. **Juračka, Jaroslav.** *Návrh křídla z kompozitního materiálu.* Fakulta strojního inženýrství VUT, Brno : Disertační práce, 2001.
24. **Engines, ULPower Aero.** instalation manual 2020 v1.1. *ULPower Aero Engines.* [Online] 01. 11 2020. [Citace: 26. 11 2020.] <https://ulpower.com/en>.
25. —. ipc-ul350isa-generation-2019-rev-6. *ULPower Aero Engines.* [Online] 00. 00 2000. [Citace: 13. 04 2021.] <https://ulpower.com/en>.
26. —. Operations manual revision 2. *ULPower Aero Engines.* [Online] 01. 11 2020. [Citace: 02. 05 2021.] <https://ulpower.com/en>.
27. —. UL350iSA. *ULPower Aero Engines.* [Online] [Citace: 02. 05 2021.] <https://ulpower.com/en/engines/ul350/ul350isa#2-performance>.
28. **Barbero, Ever J.** *Introduction to composite material design.* Boca Raton : Taylor & Francis Group, 2011. 978-1- 4200 - 7915 -9.
29. **Airmaster.** AP521CTF-WWR68A. *Airmaster propellers.* [Online] [Citace: 04. 11 2020.] <https://www.propellor.com/ap521ctf-wwr68a-3>.
30. **aircraft, Raptor.** Belt Drive and Engine Mount. *Raptor-aircraft.* [Online] [Citace: 24. 10 2020.] <http://www.raptor-aircraft.com/features/beltdriveandenginemount.html>.

31. **Tomáš, Filip.** *Návrh křídla rychlostního letounu.* Fakulta strojní ČVUT, Praha : Diplomová práce, 2021.

11.2 Seznam obrázků

obr. 1 souřadný systém letadla	Chyba! Záložka není definována.
obr. 1 souřadný systém letadla	7
obr. 2 Motor UL 350iSA (technical data 2020).....	8
obr. 2 Motor UL 350iSA (technical data 2020).....	Chyba! Záložka není definována.
obr. 3 závislost výkonu, kroutícího momentu na otáčkách	9
obr. 3 závislost výkonu, kroutícího momentu na otáčkách	Chyba! Záložka není definována.
obr. 4 Vrtule AP521CTF-WWR68A (https://www.propellor.com/ap521ctf-wwr68a-3)	9
obr. 4 Vrtule AP521CTF-WWR68A (https://www.propellor.com/ap521ctf-wwr68a-3)	9
obr. 5 přední pohled na motor.....	11
obr. 5 přední pohled na motor.....	Chyba! Záložka není definována.
obr. 6 Boční pohled na motor	11
obr. 7 uchycení motoru zezadu (https://www.flygas.info/with-rotax-ring-mount/).....	12
obr. 8 uchycení typu bed s motorem (http://www.zenithair.com/zodiac/6-engine.html).....	13
obr. 9 Uchycení typu bed (http://www.zenithair.com/zodiac/6-engine.html).....	13
obr. 10 Uložení motoru na nosnících (Marek Brabec).....	13
obr. 11 Uchycení použité na letadle raptor	14
obr. 12 https://www.fs.cvut.cz/veda-a-vyzkum/vysledky/vysledky-projektu/ul-39-albi/ul-39-albi-ii/	14
obr. 13 Obecné dělení konstrukce motorového lože (ŠULŽENKO, Nikolajevič M. Konstrukce letadel. 2. vyd. Praha: Státní	15
obr. 14 rozklad sil u letových případů	30
obr. 15 Rozklad sil na letounu	32
obr. 16 Orientace momentů při klopení	34
obr. 17 orientace momentů při zatáčení	36
obr. 18 Letové případy pro odvození gyroskopických momentů	38
obr. 19 tahová křivka.....	39
obr. 20 1.případ klopení	39
obr. 21 2. případ klopení	40
obr. 22 3. případ klopení	41
obr. 23 4. případ klopení	41
obr. 24 Vodorovné přistání	45
obr. 25 Přistání s velkým úhlem náběhu.....	46
obr. 26 Zatížení podvozku od brždění.....	47
obr. 27 Boční zatížení podvozku.....	47
obr. 28 použité kompozity, zleva - Textreme 1000,GG 160T, UTS150	55
obr. 29 Orientace působících sil.....	61
obr. 30 výpočtové řezy	62
obr. 31 smykové toky	63
Návrh motorové instalace rychlostního letounu	80

11.3 Seznam tabulek

tab 1 Technické údaje motoru UL 350iSA	8
tab 2 hmotnosti komponent pohonného ústrojí	10
tab 3 významné hmotové konfigurace.....	23
tab 4 letové násobky	25
tab 5 výpočet úhlu náběhu.....	32
tab 6 Odstředivá síla motoru a vrtule	32
tab 7 gyroskopické momenty při zatáčení	37
tab 8 gyroskopické momenty dvoulisté vrtule při klopení	38
tab 9 1. letový případ klopení	40
tab 10 2. letový případ klopení.....	40
tab 11 letový případ klopení	41
tab 12 4. letový případ klopení	42
tab 13 Výsledné gyroskopické momenty	43
tab 14 výpočet vodorovného přistání	45
tab 15 Výsledné zatížení od podvozku	48
tab 16 Síly od podvozku v ss letadla.....	49
tab 17 Vlastnosti Rohacelu 51a	56
tab 18 Vlastnosti Airexu R82.8	57
tab 19 Vlastnosti materiálu textreme 100 DT 120.....	58
tab 20 Vlastnosti jednosměrného kompozitu UTS 150 DT120	59
tab 21 Vlastnosti kompozitu GG160T	60
tab 22 vstupní zatížení do pevnostního návrhu	62
tab 23 Smykové toky a plochy dutin	64
tab 24 Potřebné plochy pásnic.....	65
tab 25 skladba motorového lože.....	66
tab 26 Vypočtená napětí	67
tab 27 Jistoty jednotlivých komponent.....	68



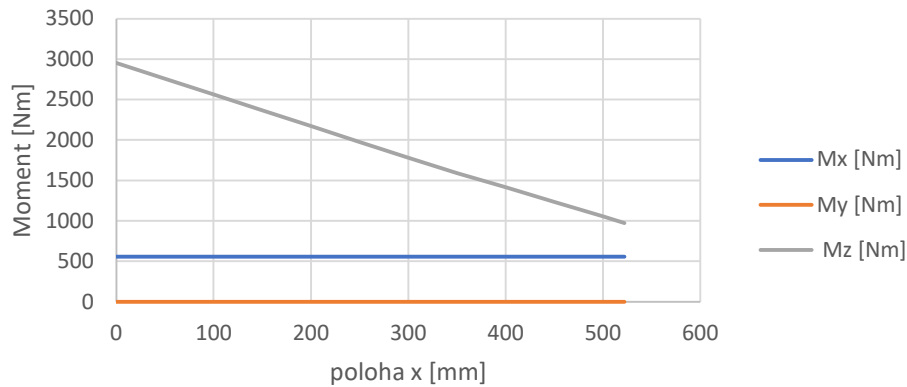
11.4 Seznam příloh

1. Výsledná zatížení
2. Zátěžné stavy

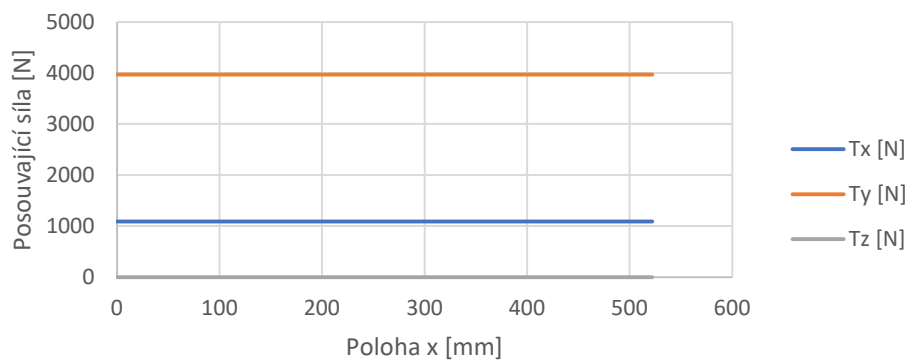
11.5 Přílohy

poloha	UL2 A					
x	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	Tx [N]	Ty [N]	Tz [N]
0	559,4	0	2953,026	1090,32	3970,144	0
50	559,4	0	2757,245	1090,32	3970,144	0
100	559,4	0	2561,463	1090,32	3970,144	0
150	559,4	0	2366,227	1090,32	3970,144	0
200	559,4	0	2170,446	1090,32	3970,144	0
250	559,4	0	1975,209	1090,32	3970,144	0
300	559,4	0	1780,518	1090,32	3970,144	0
350	559,4	0	1590,188	1090,32	3970,144	0
400	559,4	0	1415,668	1090,32	3970,144	0
450	559,4	0	1235,697	1090,32	3970,144	0
500	559,4	0	1055,18	1090,32	3970,144	0
522	559,4	0	975,4687	1090,32	3970,144	0

Průběh momentů

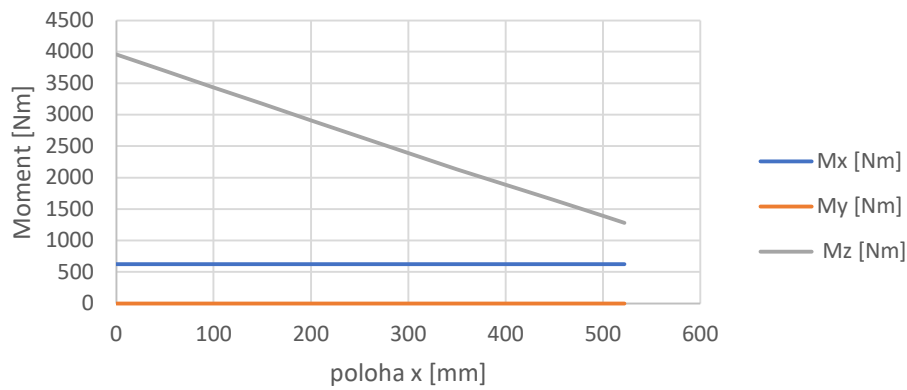


Průběh posouvající síly

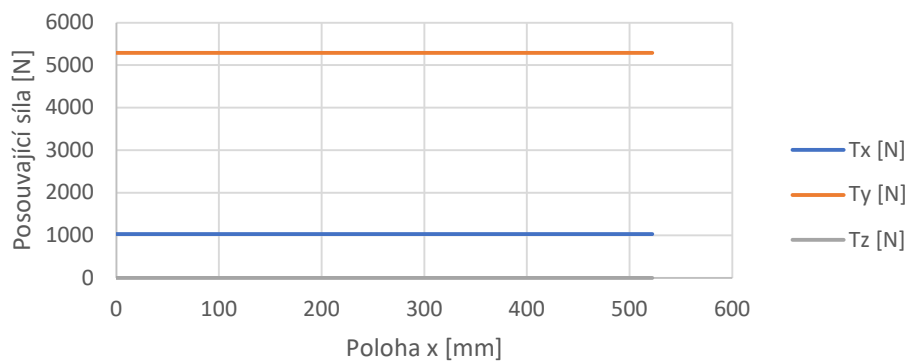


poloha	UL2 B					
x	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	Tx [N]	Ty [N]	Tz [N]
0	626	0	3957,411	1031,81	5293,526	0
50	626	0	3695,314	1031,81	5293,526	0
100	626	0	3433,217	1031,81	5293,526	0
150	626	0	3171,120	1031,81	5293,526	0
200	626	0	2909,023	1031,81	5293,526	0
250	626	0	2646,926	1031,81	5293,526	0
300	626	0	2384,829	1031,81	5293,526	0
350	626	0	2122,732	1031,81	5293,526	0
400	626	0	1860,635	1031,81	5293,526	0
450	626	0	1598,538	1031,81	5293,526	0
500	626	0	1336,441	1031,81	5293,526	0
522	626	0	1283,958	1031,81	5293,526	0

Průběh momentů

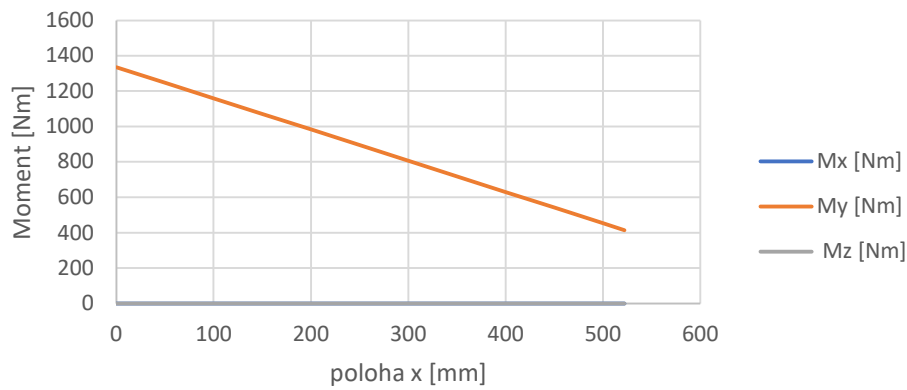


Průběh posouvající síly

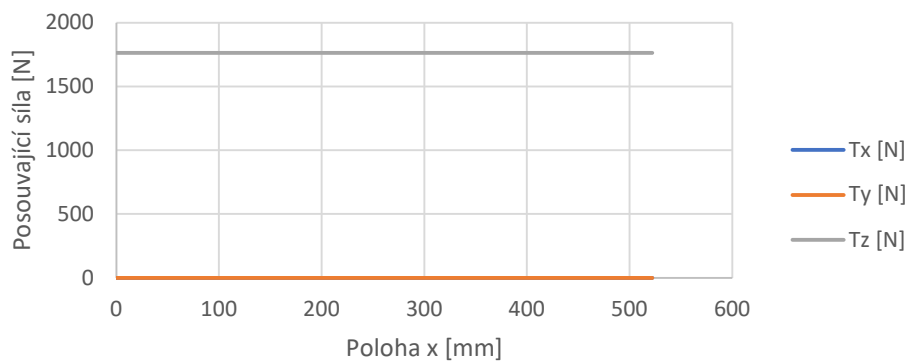


poloha	UL 2 boční					
x	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	Tx [N]	Ty [N]	Tz [N]
0	0	1335,474	0	0	0	1764,509
50	0	1247,249	0	0	0	1764,509
100	0	1159,023	0	0	0	1764,509
150	0	1070,798	0	0	0	1764,509
200	0	982,5722	0	0	0	1764,509
250	0	894,3468	0	0	0	1764,509
300	0	806,1214	0	0	0	1764,509
350	0	717,8959	0	0	0	1764,509
400	0	629,6705	0	0	0	1764,509
450	0	541,4451	0	0	0	1764,509
500	0	453,2196	0	0	0	1764,509
522	0	414,4005	0	0	0	1764,509

Průběh momentů

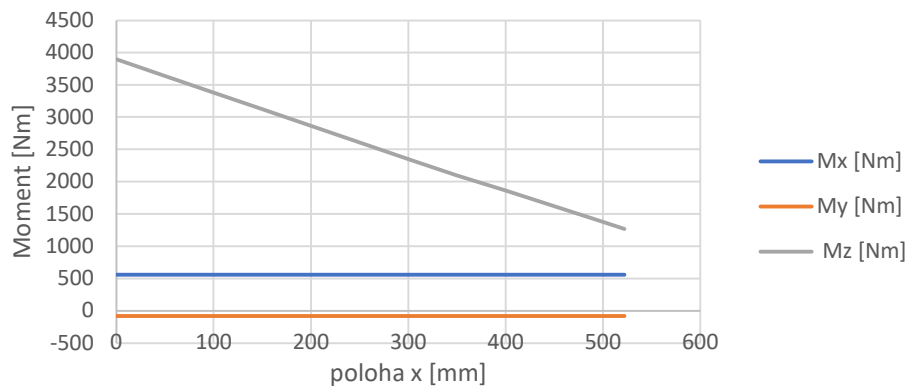


Průběh posouvající síly

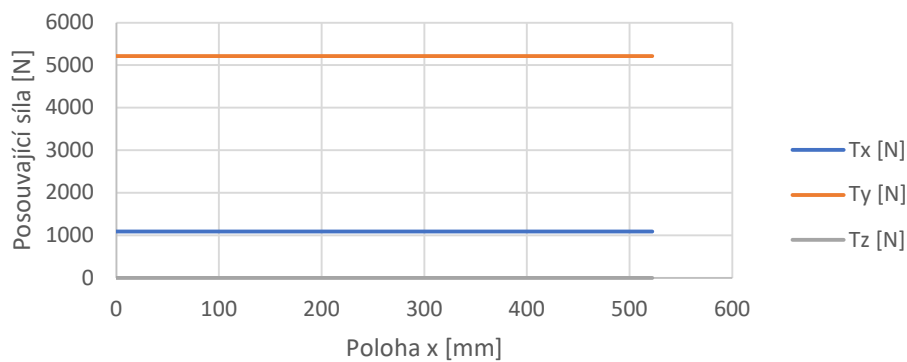


poloha	A					
x	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	Tx [N]	Ty [N]	Tz [N]
0	559,4	-78,1531	3896,17	1090,32	5216,282	0
50	559,4	-78,1531	3638,081	1090,32	5216,282	0
100	559,4	-78,1531	3379,993	1090,32	5216,282	0
150	559,4	-78,1531	3122,45	1090,32	5216,282	0
200	559,4	-78,1531	2864,361	1090,32	5216,282	0
250	559,4	-78,1531	2606,818	1090,32	5216,282	0
300	559,4	-78,1531	2349,82	1090,32	5216,282	0
350	559,4	-78,1531	2097,184	1090,32	5216,282	0
400	559,4	-78,1531	1860,357	1090,32	5216,282	0
450	559,4	-78,1531	1618,078	1090,32	5216,282	0
500	559,4	-78,1531	1375,254	1090,32	5216,282	0
522	559,4	-78,1531	1268,128	1090,32	5216,282	0

Průběh momentů

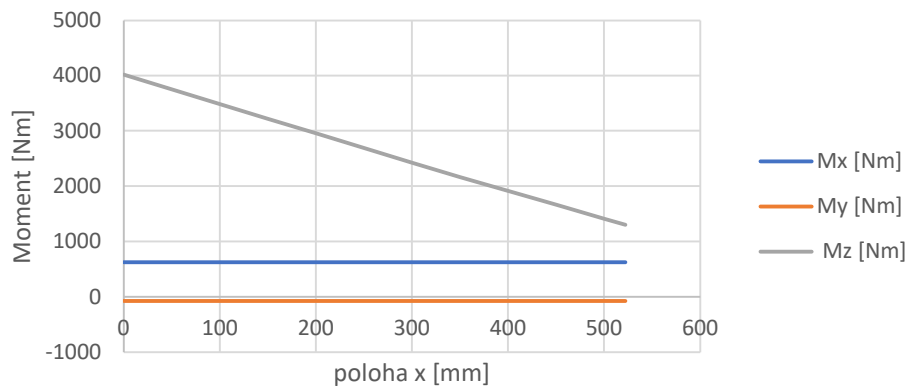


Průběh posouvající síly

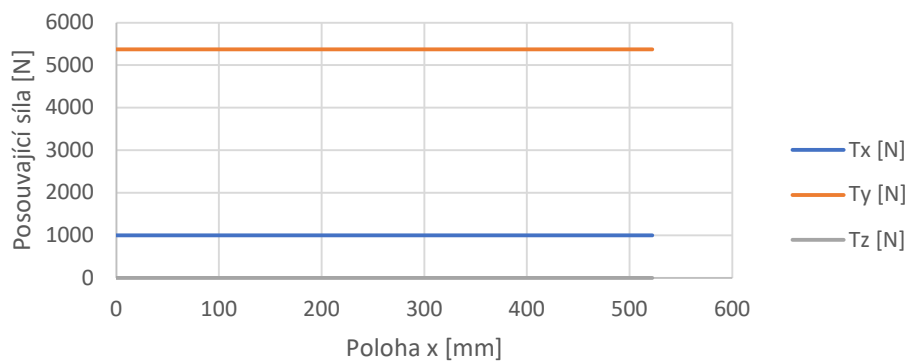


poloha	C					
x	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	Tx [N]	Ty [N]	Tz [N]
0	626	-77,4504	4017,369	999,6711	5370,73	0
50	626	-77,4504	3751,332	999,6711	5370,73	0
100	626	-77,4504	3485,295	999,6711	5370,73	0
150	626	-77,4504	3219,257	999,6711	5370,73	0
200	626	-77,4504	2953,22	999,6711	5370,73	0
250	626	-77,4504	2688,183	999,6711	5370,73	0
300	626	-77,4504	2423,145	999,6711	5370,73	0
350	626	-77,4504	2162,106	999,6711	5370,73	0
400	626	-77,4504	1915,562	999,6711	5370,73	0
450	626	-77,4504	1664,02	999,6711	5370,73	0
500	626	-77,4504	1411,978	999,6711	5370,73	0
522	626	-77,4504	1300,82	999,6711	5370,73	0

Průběh momentů

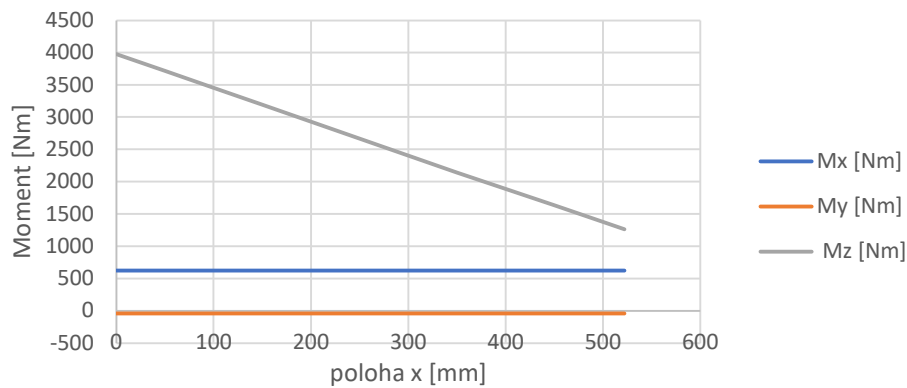


Průběh posouvající síly

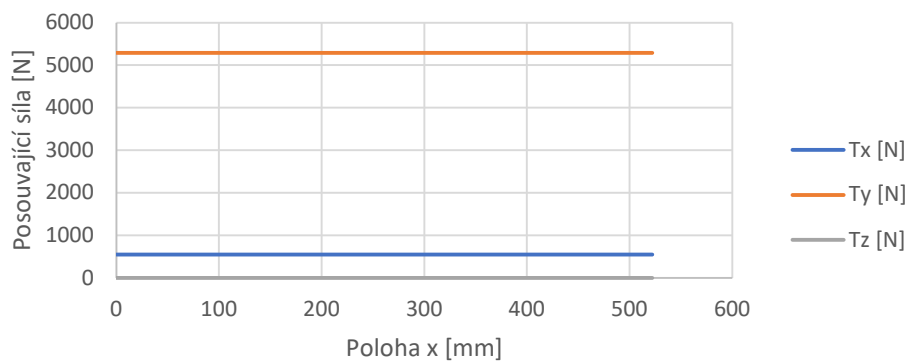


poloha	D					
x	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	Tx [N]	Ty [N]	Tz [N]
0	626	-39,947	3978,192	548,9054	5290,677	0
50	626	-39,947	3715,031	548,9054	5290,677	0
100	626	-39,947	3451,869	548,9054	5290,677	0
150	626	-39,947	3188,982	548,9054	5290,677	0
200	626	-39,947	2925,821	548,9054	5290,677	0
250	626	-39,947	2662,933	548,9054	5290,677	0
300	626	-39,947	2400,321	548,9054	5290,677	0
350	626	-39,947	2139,904	548,9054	5290,677	0
400	626	-39,947	1887,446	548,9054	5290,677	0
450	626	-39,947	1632,243	548,9054	5290,677	0
500	626	-39,947	1376,766	548,9054	5290,677	0
522	626	-39,947	1264,214	548,9054	5290,677	0

Průběh momentů

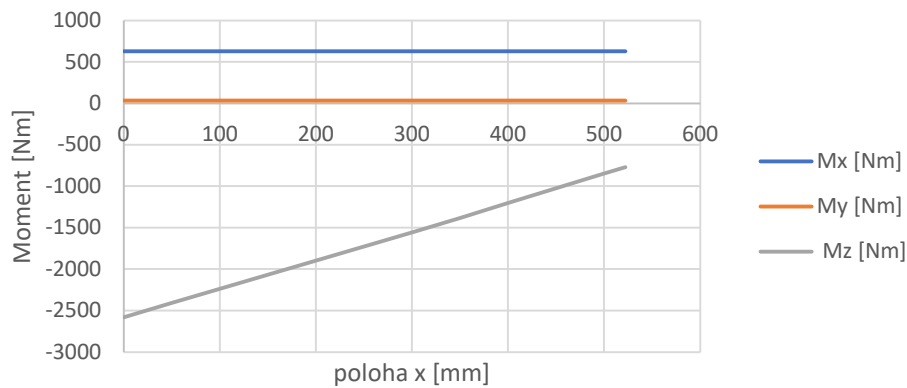


Průběh posouvající síly

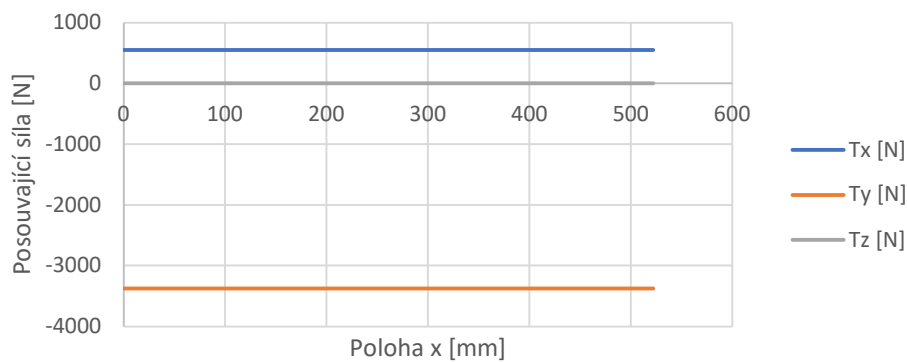


poloha	E					
x	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	Tx [N]	Ty [N]	Tz [N]
0	626	33,25655	-2579,29	548,9054	-3373,47	0
50	626	33,25655	-2409,25	548,9054	-3373,47	0
100	626	33,25655	-2239,2	548,9054	-3373,47	0
150	626	33,25655	-2068,88	548,9054	-3373,47	0
200	626	33,25655	-1898,84	548,9054	-3373,47	0
250	626	33,25655	-1728,52	548,9054	-3373,47	0
300	626	33,25655	-1557,92	548,9054	-3373,47	0
350	626	33,25655	-1385,13	548,9054	-3373,47	0
400	626	33,25655	-1204,38	548,9054	-3373,47	0
450	626	33,25655	-1026,38	548,9054	-3373,47	0
500	626	33,25655	-848,647	548,9054	-3373,47	0
522	626	33,25655	-770,588	548,9054	-3373,47	0

Průběh momentů

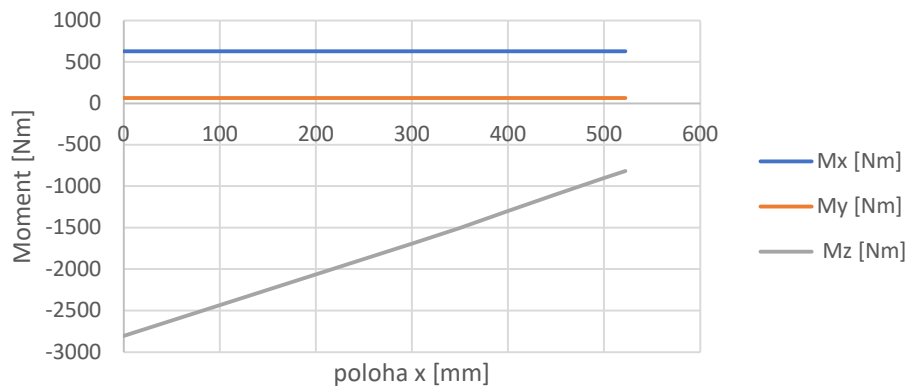


Průběh posouvající síly

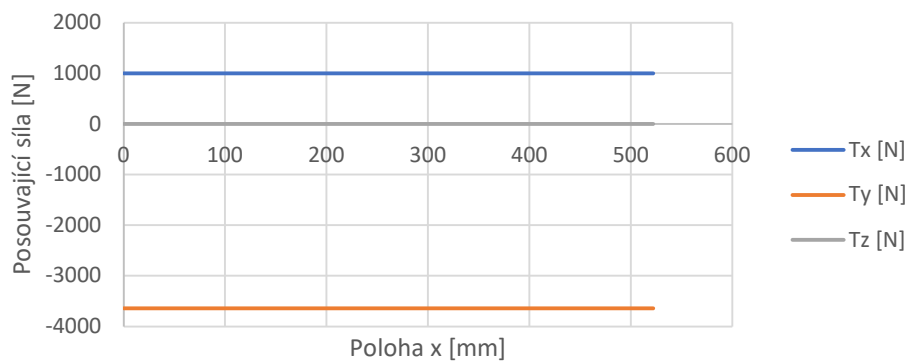


poloha	F					
x	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	Tx [N]	Ty [N]	Tz [N]
0	626	62,23532	-2803,88	999,6711	-3641,91	0
50	626	62,23532	-2619,28	999,6711	-3641,91	0
100	626	62,23532	-2434,69	999,6711	-3641,91	0
150	626	62,23532	-2249,59	999,6711	-3641,91	0
200	626	62,23532	-2065	999,6711	-3641,91	0
250	626	62,23532	-1879,9	999,6711	-3641,91	0
300	626	62,23532	-1694,31	999,6711	-3641,91	0
350	626	62,23532	-1504,72	999,6711	-3641,91	0
400	626	62,23532	-1300,63	999,6711	-3641,91	0
450	626	62,23532	-1101,54	999,6711	-3641,91	0
500	626	62,23532	-902,948	999,6711	-3641,91	0
522	626	62,23532	-815,828	999,6711	-3641,91	0

Průběh momentů

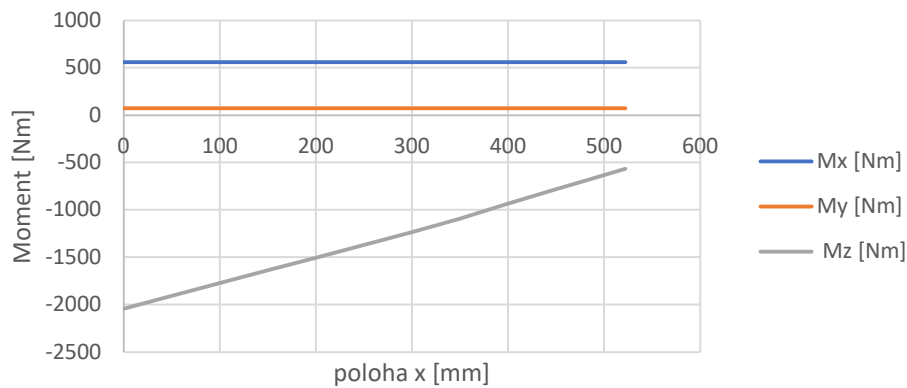


Průběh posouvající síly

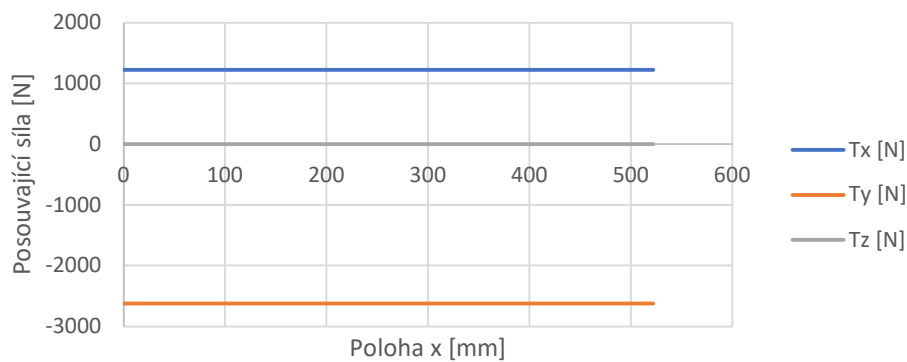


poloha	G					
x	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	Tx [N]	Ty [N]	Tz [N]
0	559,4	73,55372	-2041,28	1224,217	-2620,23	0
50	559,4	73,55372	-1907,21	1224,217	-2620,23	0
100	559,4	73,55372	-1773,13	1224,217	-2620,23	0
150	559,4	73,55372	-1638,45	1224,217	-2620,23	0
200	559,4	73,55372	-1504,38	1224,217	-2620,23	0
250	559,4	73,55372	-1369,69	1224,217	-2620,23	0
300	559,4	73,55372	-1234,4	1224,217	-2620,23	0
350	559,4	73,55372	-1094,2	1224,217	-2620,23	0
400	559,4	73,55372	-936,261	1224,217	-2620,23	0
450	559,4	73,55372	-784,438	1224,217	-2620,23	0
500	559,4	73,55372	-633,227	1224,217	-2620,23	0
522	559,4	73,55372	-567,012	1224,217	-2620,23	0

Průběh momentů

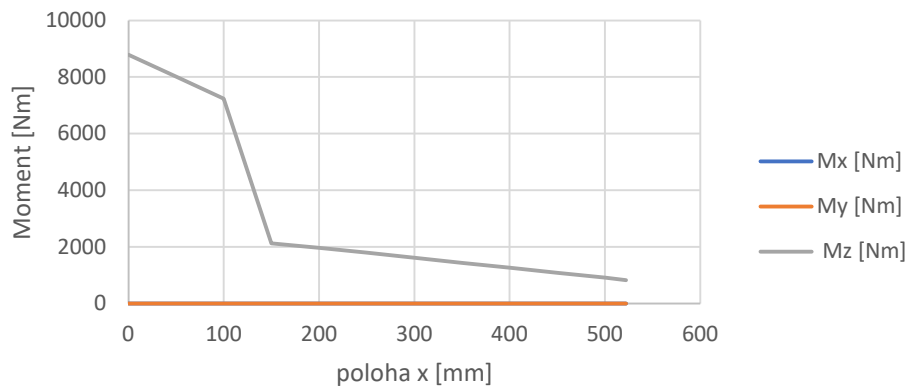


Průběh posouvající síly

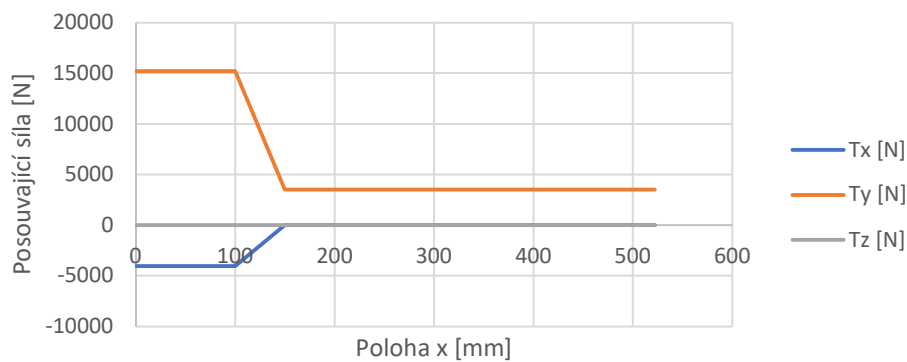


poloha	Přistání vodorovné					
x	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	Tx [N]	Ty [N]	Tz [N]
0	0	0	8780,275	-4048	15231,77	0
50	0	0	8008,567	-4048	15231,77	0
100	0	0	7236,858	-4048	15231,77	0
150	0	0	2119,024	0	3529,017	0
200	0	0	1965,144	0	3529,017	0
250	0	0	1788,694	0	3529,017	0
300	0	0	1612,243	0	3529,017	0
350	0	0	1435,792	0	3529,017	0
400	0	0	1259,341	0	3529,017	0
450	0	0	1082,89	0	3529,017	0
500	0	0	906,4393	0	3529,017	0
522	0	0	828,8009	0	3529,017	0

Průběh momentů

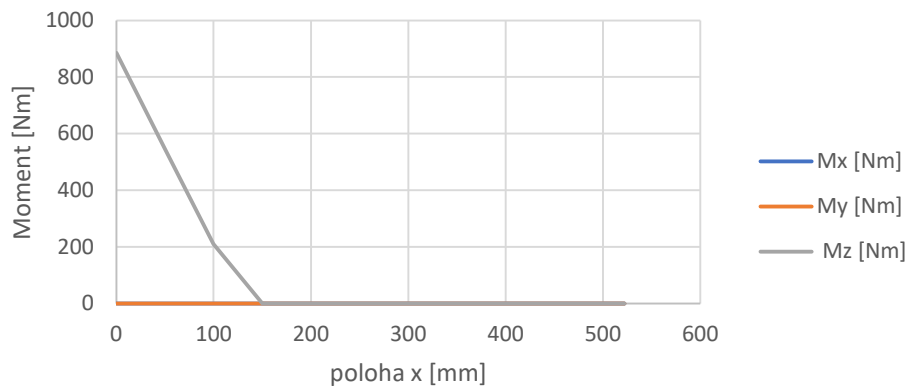


Průběh posouvající síly

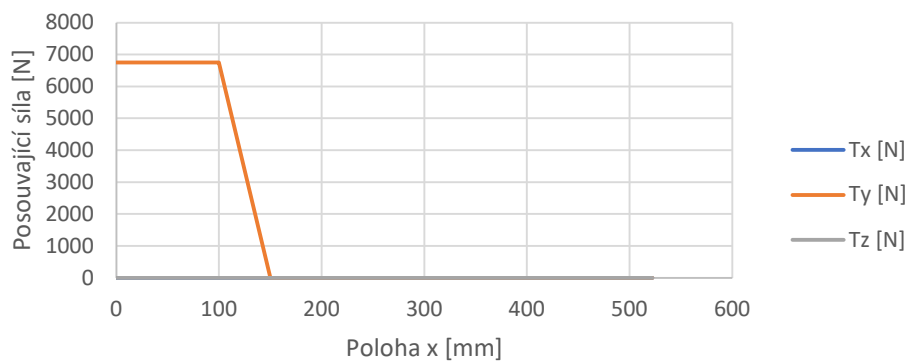


poloha	s velkým úhlem náběhu					
x	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	Tx [N]	Ty [N]	Tz [N]
0	0	0	885,0891	0	6756,405	0
50	0	0	547,2688	0	6756,405	0
100	0	0	209,4486	0	6756,405	0
150	0	0	0	0	0	0
200	0	0	0	0	0	0
250	0	0	0	0	0	0
300	0	0	0	0	0	0
350	0	0	0	0	0	0
400	0	0	0	0	0	0
450	0	0	0	0	0	0
500	0	0	0	0	0	0
522	0	0	0	0	0	0

Průběh momentů

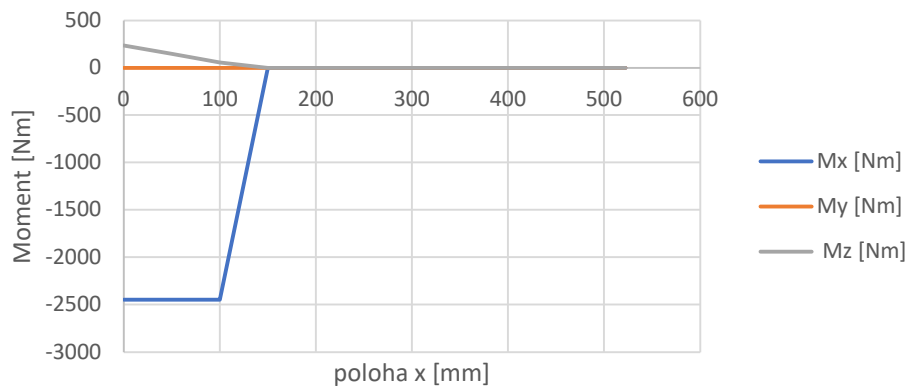


Průběh posouvající síly

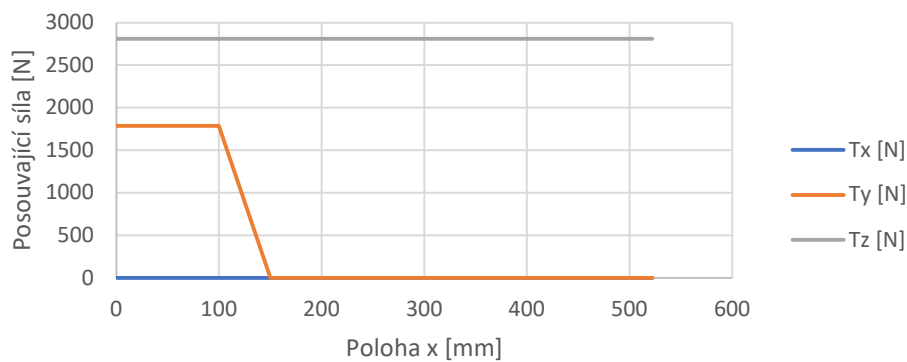


poloha	boční zatížení					
x	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	Tx [N]	Ty [N]	Tz [N]
0	-2446,72	0	234,0811	0	1786,879	2809,094
50	-2446,72	0	144,7372	0	1786,879	2809,094
100	-2446,72	0	55,39324	0	1786,879	2809,094
150	0	0	0	0	0	2809,094
200	0	0	0	0	0	2809,094
250	0	0	0	0	0	2809,094
300	0	0	0	0	0	2809,094
350	0	0	0	0	0	2809,094
400	0	0	0	0	0	2809,094
450	0	0	0	0	0	2809,094
500	0	0	0	0	0	2809,094
522	0	0	0	0	0	2809,094

Průběh momentů

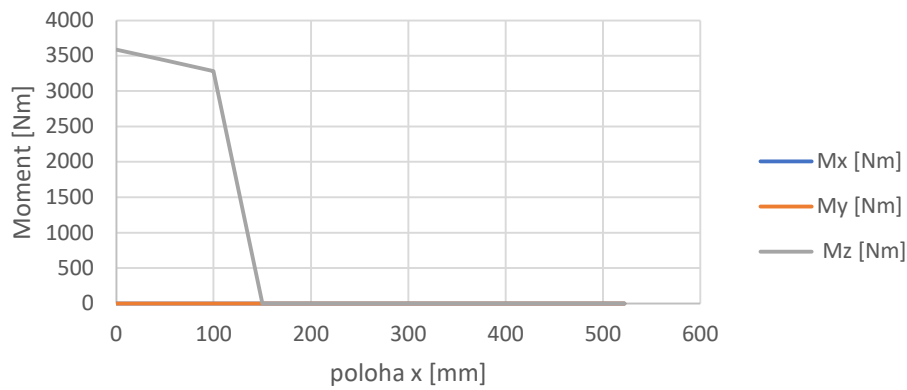


Průběh posouvající síly

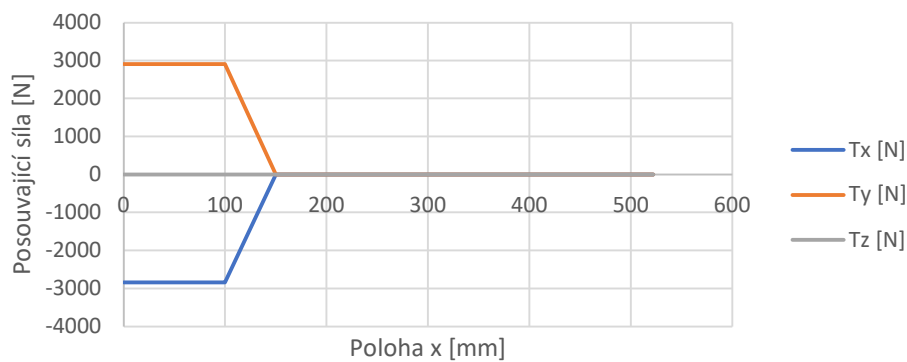


poloha	pojždění (brždění)					
x	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	Tx [N]	Ty [N]	Tz [N]
0	0	0	3587,842	-2836,23	2912,063	0
50	0	0	3435,148	-2836,23	2912,063	0
100	0	0	3282,455	-2836,23	2912,063	0
150	0	0	0	0	0	0
200	0	0	0	0	0	0
250	0	0	0	0	0	0
300	0	0	0	0	0	0
350	0	0	0	0	0	0
400	0	0	0	0	0	0
450	0	0	0	0	0	0
500	0	0	0	0	0	0
522	0	0	0	0	0	0

Průběh momentů



Průběh posouvající síly



Příloha 2

Režim	O_mot	O_vrt	F_t	Fx_mot	F_x_vrt	F_y_mot	F_y_vrt	Fz UL2 (mo	F_z mot	F_z vrt	M_k	M_GY	M_GZ	FP_X	FP_Y	FP_Z
UL2 A			1090,32			3462,284	507,8605				559,4					
UL2 B			1031,81			4616,379	677,1474				626					
UL 2 boční								1764,509	1538,793	225,7158						
A	4616,379	677,1474	1090,32	-785,7515	-115,2569	4549,016	667,2664				559,4	-78,15313	-			
												-37,52011	6,342056			
C	4746,362	696,2138	999,6711	-768,6652	-112,7506	4683,706	687,0233				626	-77,45042	-			
												-37,31041	6,12917			
D	4616,379	677,1474	548,9054	-151,4463	-22,2147	4613,894	676,7829				626	-39,94698	-			
												-19,39516	3,27838			
E	2945,352	432,035	548,9054	-141,8259	-20,80355	-2941,935	-431,5338				626	33,25655	-			
												11,85956	3,209438			
F	3207,569	470,498	999,6711	-448,6248	-65,80593	-3176,041	-465,8733				626	62,23532	-			
												24,40474	6,029984			
G	2308,189	338,5737	1224,217	-326,0244	-47,82245	-2285,048	-335,1793				559,4	73,55372	-			
												19,57507	6,920834			
Přistání vodorovné						3077,586	451,4316							-4048,003	11702,75	0
s velkým úhlem náběhu														0	6756,405	0
boční zatížení														0	1786,879	1692 1117
pojízdní (brzdění)														-2836,233	2912,063	0