



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

NÁVRH INSTALACE MOTORŮ ROTAX PRO LETOUN SKYLEADER 400

DESIGN INSTALLATION OF MOTORS ROTAX FOR AIRCRAFT SKYLEADER 400

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Miroslav Rakušan

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Mališ, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Letecký ústav
Student: **Miroslav Rakušan**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Michal Mališ, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

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

Návrh instalace motorů ROTAX pro letoun SKYLEADER 400

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Letoun SKYLEADER 400 byl v první fázi navržen pouze pro motory ROTAX 912 UL a ROTAX 912 ULS. Pro zákazníky je důležité široké portfolio a možnost výběru motorizace. Tato bakalářská práce si bude klást za cíl návrh zástavby motorů 912iS a 914. Pro tyto motory bude navrženo nové motorové lože, palivová instalace, návrh olejového vedení a chladicího okruhu.

Cíle bakalářské práce:

1. Výpočet zatížení.
2. Návrh motorového lože.
3. Návrh zkoušky a výkresová dokumentace.

Seznam literatury:

NIU C. Y. M. Airframe Structural Design, Hong Kong, 1999, Conmilit Press Ltd.

ROSKAM J. Airplane Design, Roskam Aviation and Engineering Corporation, Kansas, 1989.

European Aviation Safety Agency: Certification Specifications for Light Sport Aeroplanes CS-LSA, Initial issue, 27 June 2011.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

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

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



Abstrakt:

Tato bakalářská je zaměřena především na výpočet motorového lože a jeho návrh pro motory Rotax 912iS a 914UL, které budou instalovány v ultralehkém letounu Skylader 400. V první části je krátká rešerše, kde jsou zmíněny některé letouny, které tyto motory již používají. Následně je vypočteno zatížení motorového lože dle předpisu UL2-I.část, dále je navrženo samotné motorové lože, které je pro oba motory stejné. Poté je provedena MKP analýza, výpočet šroubů a utahovací moment šroubů držících motorové lože na požární přepážce. Na konci práce je uvedena instalace těchto dvou motorů v přední části trupu Skylader 400 a návrh zkoušky motorového lože dle předpisu UL2-I.část.

Klíčová slova:

Instalace, konstrukce, letadlo, letoun, motor, motorové lože, Rotax 912iS, Rotax 914UL, Skylader 400, ultralehký letoun.

Abstract:

The bacheloir thesis is focused to calculation forces in engine mount, design and construction of engine mount for engines Rotax 912iS and 914UL, which will be instalated to ultralight plane Skylader 400. In the first part is short search about planes, which use the engines. Then the engine mount is calculate according to rule UL2-I.part. After the MKP analysis is calculation of screws, which hold the engine mount onto the firewall. In the end of the thesis is installation both of engines in the nose of the plane and engine mount test draft according to rule UL2-I.part.

Keywords:

Aircraft, construction, design, engine, engine mount, plane, Rotax 912iS, Rotax 914UL, Skylader 400, ultralight plane.



Bibliografická citace mé práce

RAKUŠAN, M. *Návrh instalace motorů ROTAX pro letoun SKYLEADER 400*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 63 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michal Mališ, Ph.D.



Čestné prohlášení

Já, Miroslav Rakušan čestně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma "NÁVRH INSTALACE MOTORŮ ROTAX PRO LETOUN SKYLEADER 400" vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na konci této práce.

V Brně dne 26.5.2017

.....

Miroslav Rakušan



Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat každému kdo mne podporoval, hlavně vedoucímu práce Ing. Michalovi Mališovi, Ph.D za vedení a odborné rady při psaní této bakalářské práce. Také bych rád poděkoval společnosti Jihlavan airplanes s.r.o, Ing. Filipovi Sukovi za cenné informace a dokumenty, které mi poskytnul.



Obsah

ÚVOD	12
1 LETOUN SKYLEADER 400.....	13
1.1 DEFINICE SOUŘADNÉHO SYSTÉMU.....	13
1.2 POPIS LETOUNU.....	13
1.3 ZÁKLADNÍ ÚDAJE:.....	14
2 MOTORY ROTAX.....	15
2.1 POUŽÍVANÉ MOTORY ROTAX.....	15
2.2 PŘEDSTAVENÍ MOTORU R-912iS SPORT.....	16
2.3 PŘEDSTAVENÍ MOTORU R-914UL	16
2.4 PŘIPRAVOVANÉ MOTORY ROTAX.....	17
2.5 LETOUNY, KTERÉ POUŽÍVAJÍ R-914UL ČI R-912iS.....	18
2.5.1 Skyleader 500.....	18
2.5.2 Skyleader 600.....	18
2.5.3 General Atomics MQ-1B Predator	19
2.5.4 ATEC 321 FAETA.....	19
3 LETOVÁ OBÁLKA NÁSOBKŮ	20
3.1 NÁVRHOVÉ RYCHLOSTI	21
3.1.1 Návrhová rychlost obratu v_A	21
3.1.2 Návrhová rychlost s vysunutými vztakovými klapkami v_F	21
3.1.3 Maximální návrhová rychlost v_D	22
3.1.4 Minimální rychlost při záporném násobku v_{SZ}	22
3.2 PROVOZNÍ NÁSOBKY	22
3.2.1 Vyvažovací případy.....	22
3.2.2 Klapkové případy.....	22
3.2.3 Násobky od poryvu.....	22
3.2.4 Letová obálka.....	23
4 VÝPOČET MOTOROVÉHO LOŽE PRO MOTORY R-912iS A R-914UL.....	24
4.1 VSTUPNÍ PARAMETRY PRO VÝPOČTY ZATÍŽENÍ R-912iS [10] [27] :.....	25
4.2 VÝPOČET MOTOROVÉHO LOŽE PRO MOTOR 912iS	25
4.2.1 Hmotový rozbor 912iS	25
4.2.2 Zatížení tahovou silou.....	26
4.2.3 Zatížení setrvačnými silami.....	26
4.2.4 Boční zatížení - dle předpisu.....	26
4.2.5 Zatížení kroutícím momentem od motoru.....	26



4.3	VSTUPNÍ PARAMETRY PRO VÝPOČTY ZATÍŽENÍ R-914UL [11] [27]:.....	27
4.4	VÝPOČET MOTOROVÉHO LOŽE PRO MOTOR 914UL	27
4.4.1	<i>Hmotový rozbor:</i>	27
4.4.2	<i>Zatížení tahovou silou</i>	28
4.4.3	<i>Zatížení setrvačnými silami</i>	28
4.4.4	<i>Boční zatížení</i>	28
4.4.5	<i>Zatížení kroutícím momentem od motoru</i>	28
4.5	MKP ANALÝZA	29
4.5.1	<i>Poloha těžiště motoru</i>	29
4.5.2	<i>MKP - početní zatížení - Příklad 1</i>	30
4.5.3	<i>MKP - početní zatížení - Příklad 2</i>	31
4.5.4	<i>MKP - početní zatížení - Příklad 3</i>	32
4.5.5	<i>MKP - početní zatížení - zhodnocení</i>	32
5	KONSTRUKCE MOTOROVÉHO LOŽE	33
5.1	POPIS KONSTRUKCE	33
5.2	ZÁSTAVBA MOTORU R-912iS/R-914UL	33
5.3	DETAIL UCHYCENÍ MOTOROVÉHO LOŽE K POŽÁRNÍ PŘEPÁŽCE	34
5.4	VÝPOČET UTAHOVACÍHO MOMENTU ŠROUBŮ MOTOROVÉHO LOŽE.....	35
5.5	DETAIL UCHYCENÍ LOŽE ROTAX K MOTOROVÉMU LOŽI.....	37
6	KONTROLA ZTRÁTY VZPĚRNÉ STABILITY	38
6.1	VÝPOČET ZTRÁTY STABILITY	38
6.2	ZTRÁTA STABILITY Z GRAFU.....	39
7	INSTALACE MOTORU R-912iS	40
7.1	PALIVOVÁ INSTALACE	40
7.2	MAZACÍ OKRUH.....	42
7.3	CHLADÍCÍ OKRUH	43
7.4	CELKOVÁ INSTALACE MOTORU R-912iS	44
8	INSTALACE MOTORU R- 914UL	45
8.1	PALIVOVÁ INSTALACE	45
8.2	MAZACÍ OKRUH.....	46
8.3	CHLADÍCÍ OKRUH	47
8.4	CELKOVÁ INSTALACE MOTORU R-914UL	48
9	NÁVRH ZKOUŠKY MOTOROVÉHO LOŽE	49
9.1	SCHÉMA ZKOUŠKY.....	49
9.2	NÁVRH ZATÍŽENÍ REÁLNÉ ZKOUŠKY	50
9.2.1	<i>Přepočet zatěžujících sil a momentu na zatížení v kg</i>	51



10	ZÁVĚR	53
11	SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A ZKRATEK.....	54
12	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	56
13	SEZNAM TABULEK	59
14	SEZNAM OBRÁZKŮ	60
15	SEZNAM PŘÍLOH.....	63



Úvod

Firma Jihlavan airplanes s.r.o. vyrábějící ultralehká sportovní letadla včetně typu SL 400 dbá na to, aby zákazník měl široké spektrum možností při výběru konfigurace svého letadla, proto se společnost snaží potencionálním zájemcům nabídnout více výkonnostních variant a také velké množství volitelné výbavy jako jsou přístroje, zatahovatelný podvozek atd. V této práci se budu zabývat rozšířením spektra nabízených pohonných jednotek pro letoun SL 400, doposud jsou používány motory Rotax 912UL, dále už jen R-912UL, a Rotax 912ULS, dále už jen R-914ULS. Avšak v budoucnu se plánuje nabídka dalších dvou motorů Rotax, Rotax 912iS a Rotax 914UL, pro SL 400. R-912iS je atmosférický motor se vstřikováním (o max. výkonu 100 koní), jeho přednostmi jsou především nižší spotřeba paliva a vyšší výkon, a R-914UL je turbodmychadlem přeplňovaný motor s karburátory (o max. výkonu 135 koní), jehož předností je vysoký výkon a krouticí moment, dalo by se říci, že tento motor je určen náročnějším zákazníkům, kteří vyžadují vyšší výkon, nebo létají ve větších nadmořských výškách. Doposud byli používány atmosférické motory s přípravou směsi v karburátorech.

Mým úkolem tedy je navrhnout motorové lože ve 3D systému Solidworks, které bude kompatibilní s motorovým ložem dodávaným s motorem. Spočítat hmotnost všech komponentů upevněných na motorovém loži a následně spočítat zatížení, ověřit schopnost konstrukce lože přenést zatížení, provést jednoduchou MKP analýzu pro zvolení vhodného průřezu trubek, ze kterých bude lože svařované. Požadavkem je aby původní úchytné body na požární přepážce zůstali nezměněny.

Posléze se budu zabývat motorovou instalací obou motorů, to znamená vymodelovat chladicí okruh, mazací okruh a palivové vedení, na vědomí bude bráno zejména doporučení instalace dle schématu od výrobce pohonných jednotek.

Letoun by měl vyhovovat předpisu UL2-I.část, motorové lože i výpočty budou dělány dle tohoto předpisu.



1 Letoun Skylader 400

1.1 Definice souřadného systému

Na obrázku 1.1 je stanoven souřadný systém, který byl použit v průběhu celé práce a všechny veličiny se jím řídí.



Obrázek 1.1 - souřadný systém

1.2 popis letounu

Skylader 400 (dále už jen SL 400) je celokovový ultralehký letoun vyráběný firmou Jihlavan airplanes s r.o. sídlící v Jihlavě, jedná se o dolnoplošník s lichoběžníkovým křídlem a klasickým uspořádáním ocasních ploch, pevným tříkolovým podvozkem s řízeným předovým kolem. [1]

Letoun je vybaven záchranným padákovým systémem. V současné době probíhá jeho certifikace dle předpisu UL-2, prozatím byl osazován jen motory ROTAX 912UL a ROTAX 912ULS o maximálním výkonu 59,6kW (81hp) a 73,5kW (100hp). SL 400 byl zkonstruován výhradně pro rekreační létání a výcvik pilotů. Také se očekává verze s vlečným zařízením, která by měla být nabízena jako kombinace cvičného a tažného letounu pro aerokluby.

1.3 základní údaje [2]:

- nepřekročitelná rychlost V_{NE} 260km/h
- cestovní rychlost při 75% výkonu V_C 175 km/h
- minimální rychlost bez klapky V_{S1} 73,26km/h
- minimální rychlost s klapkami V_{S0} 63km/h
- maximální vzletová váha 472,5kg
- základní prázdná váha 306kg
- objem palivových nádrží..... 80l
- výdrž 4,5h
- dolet 800km
- dráha potřebná pro vzlet 250m
- dráha potřebná pro přistání 220m
- rozpětí křídel 9,2m
- délka 6,4m



Obrázek 1.2 - Skylander 400 [2]



2 Motory Rotax

2.1 Používané motory Rotax

R-912UL [3]

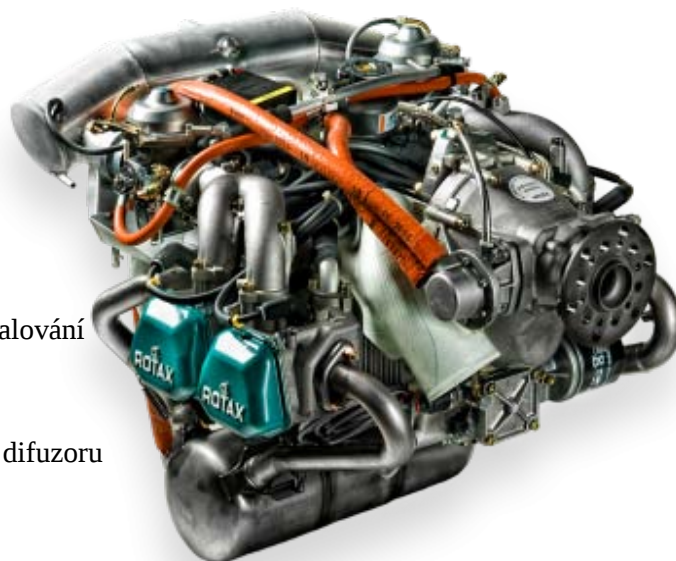
- 4-válcový
- 4-taktní motor s protilehlými válci
- kapalinou chlazené hlavy válců
- vzduchem chlazené válce
- mazání se suchou skříní
- olejová nádrž na 3 l oleje
- automatické vymezování ventilové vůle
- elektronické bezkon. dvouokruhové zapalování
- elektrický startér
- reduktor $i = 2,43$
- dva karburátory s konstantním tlakem v difuzoru



Obrázek 2.1 - motor 912UL [3]

R-912ULS [4]

- 4-válcový
- 4-taktní motor s protilehlými válci
- kapalinou chlazené hlavy válců
- vzduchem chlazené válce
- mazání se suchou skříní
- olejová nádrž na 3 l oleje
- automatické vymezování ventilové vůle
- elektronické bezkon. dvouokruhové zapalování
- elektrický startér
- reduktor $i = 2,43$
- dva karburátory s konstantním tlakem v difuzoru



Obrázek 2.2 - motor 912ULS [4]

Tabulka 2.1 - porovnání motorů R-912UL/ULS [3] [4]

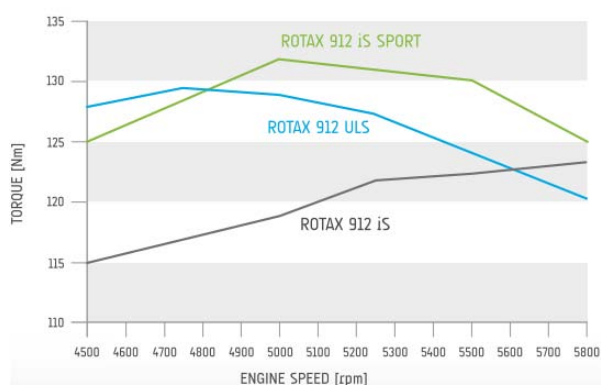
typ motoru	výkon		kroutící moment		max. otáčky
	kw	při otáčkách	Nm	při otáčkách	
R-912UL	59.6*	5800/min	103	4800/min	5800/min
	58.0	5500/min			
R-912ULS	73.5*	5800/min	128	5100/min	5800/min
	69.0	5500/min			
*Omezeno na maximálně 5 minut					

2.2 Představení motoru R-912iS sport

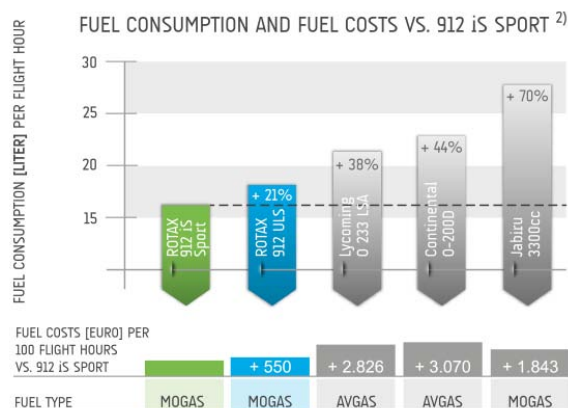
R-912iS je poměrně nový čtyřválcový zážehový motor s protilehlými válci (typ boxer) s vícebodovým vstřikováním, které nahrazuje karburátory a novou elektronickou řídicí jednotkou.

Vzhledem k těmto aspektům je motor úspornější. Díky elektronické jednotce, která dokáže určit množství vstřikovaného paliva v závislosti na otáčkách a výšce, ve které letoun zrovna letí, se podařilo snížit spotřebu až o 21% oproti karburátorovým motorům, což je demonstrováno na obrázku 2.5. Dalším kladem je zvýšení kroutícího momentu jak je patrné z obrázku 2.4 níže. [5]

ENGINE TORQUE (MOGAS, NO HYDRAULIC GOVERNOR)



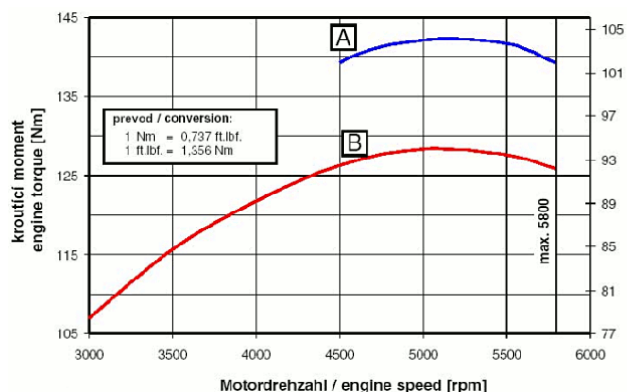
Obrázek 2.4 - graf kroutícího momentu [6]



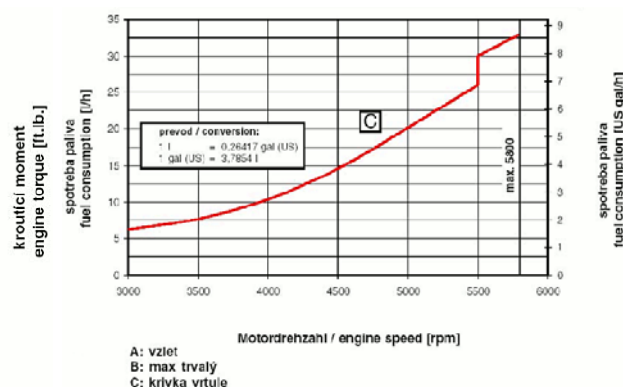
Obrázek 2.3 - spotřeba [7]

2.3 Představení motoru R-914UL

R-914UL je první letecký motor od firmy Rotax přepínaný turbodmychadlem, příprava směsi se provádí ve dvou karburátorech stejně jako u slabších verzí R-912ULS a R-912UL. Pro užití v ultralightech je tento motor více než dostačující. Tento motor představuje jeden z nejsilnějších motorů zastavených v ultralehkých letounech. Na obrázku 2.7 je uvedena závislost kroutícího momentu na otáčkách motoru a na obrázku 2.6 je vyobrazena závislost spotřeby paliva v litrech za hodinu na otáčkách motoru.



Obrázek 2.6 - graf kroutícího momentu [8]



Obrázek 2.5 - graf spotřeby paliva [9]

2.4 Připravované motory rotax

Pro tyto dva motory bude zkonstruováno a vypočteno zatížení motorového lože.

Rotax 912iS [10]

- 4-válcový
- 4-taktní motor s protilehlými válci
- kapalinou chlazené hlavy válců
- vzduchem chlazené válce
- mazání se suchou skříní
- olejová nádrž na 3 l oleje
- automatické vymezování ventilové vůle
- elektronické bezkon. dvouokruhové zapalování
- elektrický startér
- lože motoru
- reduktor $i = 2,43$
- sací komora
- Elektronické vstřikování paliva
- Řídicí jednotka motoru



Obrázek 2.7 - motor R-912iS [10]

Rotax 914UL [11]

- 4-válcový
- 4-taktní motor s protilehlými válci
- kapalinou chlazené hlavy válců
- vzduchem chlazené válce
- mazání se suchou skříní
- olejová nádrž na 3 l oleje
- automatické vymezování ventilové vůle
- elektronické bezkon. dvouokruhové zapalování
- elektrický startér
- lože motoru
- reduktor $i = 2,43$
- sací komora
- turbodmychadlo a přepouštěcí ventil
- dva karburátory s konstantním tlakem v difuzoru



Obrázek 2.8 - motor R-914UL [11]

Tabulka 2.2 - porovnání motorů R-912iS/914UL [10] [11]

typ motoru	výkon		kroutící moment		max. otáčky
	kw	při otáčkách	Nm	při otáčkách	
R-912iS	73.5*	5800/min	121	5800/min	5800/min
	72	5500/min	125	5500/min	
R-914UL	84.5*	5800/min	144Nm	4900/min	5800/min
	73.5	5500/min			
*Omezeno na maximálně 5 minut					

2.5 Letouny, které používají R-914UL či R-912iS

2.5.1 Skyleader 500

SL500 je celokovový ultralehký letoun vyráběný jihlavskou firmou Jihlavan airplanes s.r.o.. Jedná se dolnoplošník s klasickým uspořádáním ocasních ploch, je vybaven třikolovým podvozkem s říditelným předovým kolem, který může být zatahovací. Letoun patří do kategorie UL/LS. Je nabízen s motory R-912UL/ULS, R-914UL, R-912iS. [12]



Tabulka 2.3 - specifikace Skyleader 500 [12]

SL500	
Rozpětí	9,9m
Délka	7,0m
Prázdná hmotnost	311kg
Objem nádrží	90l
Dolet	1050km
Vrtule	2-3 listá
Cestovní rychlost	195km/h
Maximální rychlost	260km/h

Obrázek 2.9 - Skyleader 500 [13]

2.5.2 Skyleader 600

SL600 je další z celokovových letounů vyráběných společností Jihlavan airplanes s.r.o. Jde také o dolnoplošník s klasickým uspořádáním ocasních ploch, může být vybaven třikolovým zatahovacím podvozkem, předové kolo je říditelné. Letoun byl zkonstruován dle předpisu ASTM. Vyniká vysokými bezpečnostními standardy. Je nabízen s motory R-912UL/ULS, R-914UL, R-912iS. [14]



Tabulka 2.4 - specifikace Skyleader 600 [14]

SL600	
Rozpětí	9,9m
Délka	7,1m
Prázdná hmotnost	320kg
Objem nádrží	120l
Dolet	1600km
Vrtule	2-3 listá
Cestovní rychlost	220km/h
Maximální rychlost	265km/h

Obrázek 2.10 - Skyleader 600 [15]



2.5.3 General Atomics MQ-1B Predator

Tento letoun byl vyvinut americkou společností General Atomics, pro speciální operace USAF a CIA. První let proběhl roku 1994 a používán je od roku 1995 dodnes. Jedná se o bezpilotní letoun, vybavený řídicími systémy, radary, speciálními kamerami a zbraněmi. Ovšem je použit certifikovaný typ motoru R-914UL, verze R-914F. [16]

Tabulka 2.5 - specifikace General Atomics MQ-1B Predator [16]



Obrázek 2.11 - General Atomics MQ-1B Predator [17]

MQ-1B	
Rozpětí	14,8m
Délka	8,22m
Prázdná hmotnost	512kg
Objem nádrží	120l
Dolet	1100km
Vrtule	2 listá
Cestovní rychlost	130-165km/h
Maximální rychlost	217km/h

2.5.4 ATEC 321 FAETA

321 Faeta je dolnoplošník s ocasními plochami uspořádanými do "T", vyráběný českou firmou. Vychází ze známého modelu Atec 122 Zephyr. V jeho konstrukci jsou použity uhlíkové kompozity, letoun patří do kategorie UL. Používá motory R-912UL/ULS a R-912iS. [18]

Tabulka 2.6 - specifikace ATEC 321 FAETA [18]



Obrázek 2.12 - ATEC 321 FAETA [19]

321 FAETA	
Rozpětí	9,6m
Délka	6,2m
Prázdná hmotnost	278kg
Objem nádrží	2x50l
Dolet	1600km
Vrtule	2-3 listá
Cestovní rychlost	227km/h
Maximální rychlost	275km/h

3 Letová obálka násobků

Obálka násobků slouží pro stanovení násobků potřebných pro výpočet zatížení částí letadla, včetně motorového lože. Je stanovena na základě stavebního předpisu UL2-I.část.

Poryvová obálka bude řešena pro rychlosti V_A a V_D dle předpisu UL2-I.část. Návrhové rychlosti použité pro konstrukci obálky násobků budou počítány pro maximální vzletovou hmotnost 472.5 kg.

V předpise UL2-I.část je psáno:

"III. V - n diagram (obálka obrátů)

1. Všeobecně

a) Splnění požadavků na pevnost konstrukce musí být prokázáno pro všechny kombinace rychlosti letu a násobků zatížení, nacházejících se na hraniční křivce a uvnitř obálky zatížení popsané v bodě b) tohoto oddílu.

b) Obálka obrátů

Konfigurace:

Vztlakové klapky v cestovní poloze (viz obr. 1)

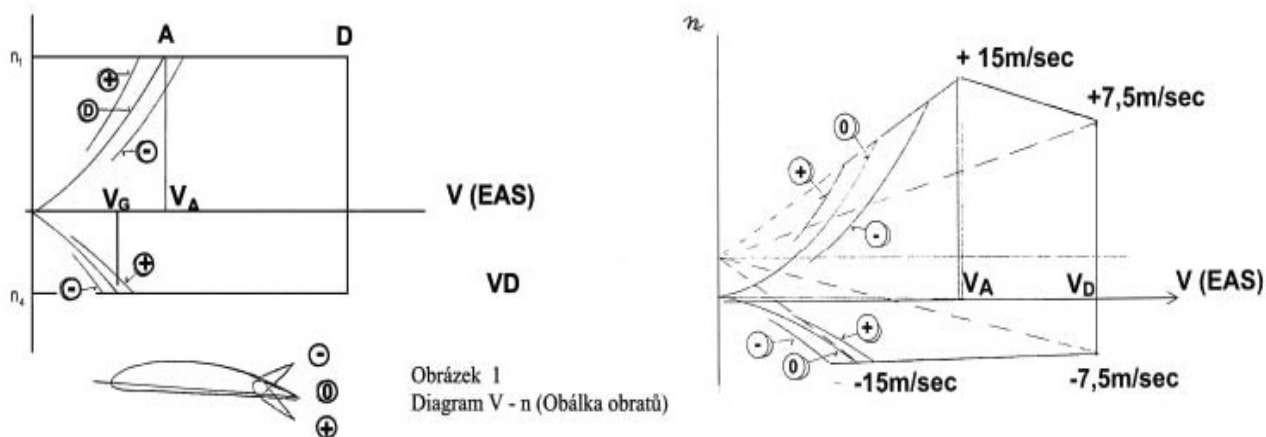
c) Poryvová obálka

Konfigurace:

Vztlakové klapky v cestovní poloze (viz obr.2)

1) Při návrhové rychlosti V_A musí být UL-letoun schopen snést kladný poryv (nahoru) a negativní poryv (dolů) do velikosti 15 m/s, který působí kolmo na dráhu letu.

2) Při návrhové rychlosti V_D musí být UL-letoun schopen snést kladný poryv (nahoru) a negativní poryv (dolů) do velikosti 7,5 m/s, který působí kolmo na dráhu letu." [20]



Obrázek 3.1 - schéma letové obálky z předpisu UL2 - I. část [21]



3.1 Návrhové rychlosti

3.1.1 Návrhová rychlost obratu v_A

Z předpisu UL2-I. část:

"a) Návrhová rychlost obratu V_A

$$v_A = v_{S1} \cdot \sqrt{n_1}$$

kde: V_{S1} = stanovená pádová rychlost při maximální návrhové hmotnosti, zasunutých vztlakových klapkách a s motorem ve volnoběhu." [22]

v_{S1} je pádová rychlost v letové konfiguraci a $n_1=4$. Rychlost v_{S1} je vypočtena níže:

maximální součinitel vztlaku - $c_{Lmax}=1,619$

hustota vzduchu - $\rho=1,225\text{kg/m}^3$

$$v_{S1} = \sqrt{\frac{2 \cdot m_{TOW} \cdot g}{\rho \cdot S \cdot c_{Lmax}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 472,5 \cdot 9,81}{1,225 \cdot 11,282 \cdot 1,619}} = 20,35 \text{ m/s} \cong 73,26 \text{ km/h}$$

$$v_A = v_{S1} \cdot \sqrt{n_1} = 73,26 \cdot \sqrt{4} = 146,52 \text{ km/h} \cong 40,7 \text{ m/s}$$

3.1.2 Návrhová rychlost s vysunutými vztlakovými klapkami v_F

Návrhová rychlost s vysunutými vztlakovými klapkami $v_{Fkl=35^\circ}$

Z předpisu UL2-I. část:

"b) Návrhová rychlost letu s vysunutými vztlakovými klapkami V_F .

1) Při všech přistávacích konfiguracích nesmí být V_F menší než větší z obou následujících hodnot:

(i) $1,4 \cdot V_{S1}$, kde V_{S1} je vypočtená pádová rychlost při zasunutých vztlakových klapkách a při maximální hmotnosti.

(ii) $1,8 \cdot V_{S0}$, kde V_{S0} je vypočtená pádová rychlost s plně vysunutými vztlakovými klapkami a při maximální hmotnosti." [23]

plocha křídla - $S=11,282\text{m}^2$ [24]

maximální součinitel vztlaku s vysunutými klapkami $\delta=35^\circ$ $c_{y\max 35^\circ}=2,190$ [24]

v_{S0} - Pádová rychlost v přistávací konfiguraci

$$v_{S0} = \sqrt{\frac{2 \cdot m_{TOW} \cdot g}{\rho \cdot S \cdot c_{y\max 35^\circ}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 472,5 \cdot 9,81}{1,225 \cdot 11,282 \cdot 2,190}} = 17,5 \text{ m/s} \cong 63 \text{ km/h}$$

a) $v_F=1,4 \cdot v_{S1}= 1,4 \cdot 73,26=102,56 \text{ km/h}$

b) $v_F=1,8 \cdot v_{S0}= 1,8 \cdot 63,00=113,40 \text{ km/h}$

Pro sestavení obálky je zvolena hodnota $v_F=115 \text{ km/h} \cong 31,95 \text{ m/s}$



3.1.3 Maximální návrhová rychlost v_D

Z předpisu UL2-I. část:

"c) maximální návrhová rychlost V_D

Maximální návrhová rychlost může být volena návrhovatelem, ovšem nesmí být menší než $1,2 \cdot V_D$, kde V_D (EAS) je maximální rychlost vodorovného letu při maximálním trvalém výkonu motoru, a nesmí být menší než V_A , viz. odstavec a)." [25]

Dle technické specifikace letounu $v_D = 240 \text{ km/h}$.

$$v_D = 1,2 \cdot 240 = 288 \text{ km/h}$$

Rychlost v_D je $288 \text{ km/h} \cong 80 \text{ m/s}$

3.1.4 Minimální rychlost při záporném násobku v_{SZ}

Postup je shodný s výpočtem pádové rychlosti v_{SO} , ale vztakový součinitel bude pouze 0,8.

$$v_{SZ} = \sqrt{\frac{2 \cdot m_{TOW} \cdot g}{\rho \cdot S \cdot 0,8}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 472,5 \cdot 9,81}{1,225 \cdot 11,282 \cdot 0,8}} = 28,96 \text{ m/s} \cong 104,24 \text{ km/h}$$

3.2 Provozní násobky

Zde bude proveden souhrn provozních násobků daných stavebním předpisem UL2-I.část.

3.2.1 Vyvažovací případy

Pro vyvažovací případy jsou uvažovány násobky dané předpisem. Maximální násobek je +4 a minimální je -2.

3.2.2 Klapkové případy

Podle obou stavebních předpisů je maximální vztakový násobek se vztakovými klapkami +2 a minimální je 0.

3.2.3 Násobky od poryvu

Jak bylo zmíněno výše, poryvy jsou řešeny na rychlostech v_A a v_D . Na rychlosti v_A se počítá s velikostí vertikálního poryvu $\pm 15 \text{ m/s}$ a na rychlosti $v_D \pm 7,5 \text{ m/s}$. Poryvové násobky jsou určeny podle následujících vztahů.

$$n = 1 \pm \frac{0,5 \cdot \rho_0 \cdot v \cdot a \cdot k \cdot U}{\frac{m \cdot g}{S}} \quad k = \frac{0,88 \cdot \mu_g}{5,3 + \mu_g} \quad \mu_g = \frac{2 \cdot \frac{m}{S}}{\rho \cdot b \cdot a}$$

m - hmotnost letounu	[kg]
ρ - hustota vzduchu	[kg/m ³]
a - sklon křivky vztlaku křídla	[1/rad]
v - rychlost letu	[m/s]
g - tíhové zrychlení	[m/s ²]
k - zmírňující součinitel	[-]
U - rychlost poryvu	[m/s]
μ - relativní hmotnostní poměr letounu	[-]



Výpočet pro maximální vzletovou hmotnost a rychlost v_{s0} :

$$\mu_g = \frac{2 \cdot \frac{472,5}{11,282}}{1,225 \cdot 1,257 \cdot 5,170} = 10,52$$

$$k = \frac{0,88 \cdot 10,52}{5,3 + 10,52} = 0,585$$

$$n = 1 + \frac{0,5 \cdot 1,225 \cdot 17,5 \cdot 5,170 \cdot 0,585 \cdot 15}{\frac{472,5 \cdot 9,81}{11,282}} = +2,184$$

Výpočet pro maximální vzletovou hmotnost a rychlost v_{s1} :

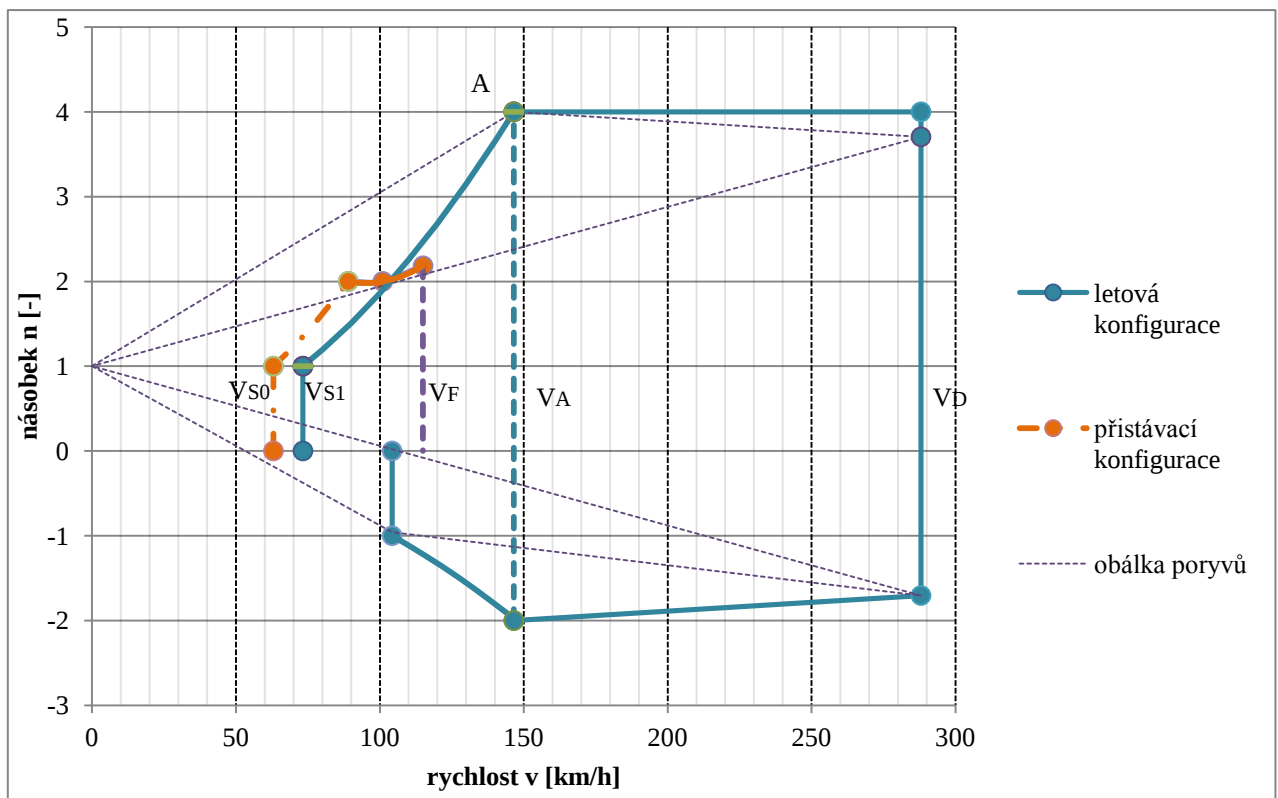
$$n = 1 + \frac{0,5 \cdot 1,225 \cdot 20,35 \cdot 5,170 \cdot 0,585 \cdot 15}{\frac{472,5 \cdot 9,81}{11,282}} = +2,376$$

Výpočet pro maximální vzletovou hmotnost a rychlost v_{sz} :

$$n = 1 - \frac{0,5 \cdot 1,225 \cdot 28,96 \cdot 5,170 \cdot 0,585 \cdot 15}{\frac{472,5 \cdot 9,81}{11,282}} = -0,959$$

3.2.4 Letová obálka

Násobek v bodě A (při rychlosti v_A) je $n_1=4$ jak je znázorněno na obrázku 3.2



Obrázek 3.2 - letová obálka



4 Výpočet motorového lože pro motory R-912iS a R-914UL

Znění předpisu UL2-I.část - zatížení motorového lože:

"6. Zatížení motorového lože

a) Motorové lože a jeho zavěšení musí být navrženo na následující případy zatížení:

Případ 1 1) zatížení provozním kroutícím momentem od motoru, které odpovídá vzletovému výkonu a příslušným otáčkám vrtule, který působí spolu se 75% provozního zatížení podle podmínek v bodě "A" viz. ustanovení kapitoly C, oddíl III, bod I.

Případ 2 2) zatížení provozním kroutícím momentem od motoru, které odpovídá maximálnímu trvalému výkonu a příslušným otáčkám vrtule, který působí spolu s provozním zatížením podle provozních podmínek z případu "A" viz. ustanovení kapitoly C, oddíl III, bod I.

b) Pro konvenční pístové motory s přímým (tvrdým) pohonem vrtule se provozní kroutící moment od motoru, který se používá ve výše uvedeném bodu (a)) vypočte tak, že násobíme střední (průměrný) kroutící moment příslušným součinitelem podle následující tabulky:

Tabulka 4.1 - součinitele "n" pro výpočet kroutícího momentu [26]

xxx	Dvoutaktní motor	Čtyřtaktní motor
1 válec	4	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 náhonů (např. odstředivá spojka, plochý řemen s podélným drážkováním) a nekonvenční motory musí být příslušný součinitel konzultován s LAA

Případ 3 7. Boční zatížení motorového lože

Motorové lože a konstrukce na níž je zavěšeno musí být navrženy na provozní obrátový násobek zatížení v bočním směru ne menším než jedna třetina provozního násobku obrátu pro případ "A" obálky obrátů t.j. 1/3 n1 dle C.III.3." [26]



4.1 Vstupní parametry pro výpočty zatížení R-912iS [10] [27] :

Výpočet zatížení motorového lože je proveden pro následující parametry pohonné soustavy:

Hmotnost motoru (včetně výfuku, karburátorů, startéru, alternátoru, zapalování, chladičů a náplní):

m_{mot} 83,2 kg

Hmotnost vrtule a kuželu:

m_{vrt} 11,5 kg

Vzletový výkon:

P_{vzl} 73,5 kW

Max. trvalý výkon:

P_{trv} 72 kW

Maximální otáčky:

r_{max} 5800 1/min

Maximální trvalé otáčky:

r_{trv} 5500 1/min

Krouticí moment při max. otáčkách motoru:

Mk_{max} 121 Nm

Krouticí moment při max. trvalých otáčkách motoru:

Mk_{trv} 125 Nm

Trvalý převod reduktoru:

i 2,43 -

Účinnost vrtule:

η_{vrt} 1 -

Koeficient pro krouticí moment:

k 2 -

Ostatní vstupní parametry:

Plocha křídla letounu:

S 11,282 m²

Hustota vzduchu:

r 1,225 kg/m³

Násobek dle požadavku předpisu: UL2-I.část

n_1 4

Rychlost V_A :

UL2-I.část

V_A 146,5 km/h (40,7 m/s)

4.2 Výpočet motorového lože pro motor 912iS

4.2.1 Hmotový rozbor 912iS

V tabulce 3.2 je uveden hmotový rozbor motoru 912iS

Tabulka 4.2 - Hmotový rozbor 912iS [10] [28]

část	hmotnost v kg
motor s reduktorem a prokluzovou spojkou	63,6
lože rotax/vejce	2
chladičí kapalina	2
chladič	1,15
olejová náplň	2
olejový chladič	0,65
přídavný alternátor	3
hadice + kabeláž	2
kryt rozvodu chladičího vzduchu	0,4
vrtule SR3000/3N s prostavením	11,5
palivová čerpadla	1,6
výfuk komplet	4,8
celkem	94,7

Výsledná hmotnost všech komponentů včetně motoru upevněných na motorovém loži je 94,7 kg.



4.2.2 Zatížení tahovou silou

$$F_{T1} = \frac{P_{vzl} \cdot \eta_{vrt}}{V_A} = \frac{73500 \cdot 1}{40,7} = 1805,9 \text{ N}$$

4.2.3 Zatížení setrvačnými silami

- zatížení v případě násobku v bodě A 75%:

$$G_{A75} = m \cdot g \cdot n_1 \cdot 0,75 = 94,7 \cdot 9,81 \cdot 4 \cdot 0,75 = 2787,02 \text{ N}$$

- zatížení v případě násobku v bodě A:

$$G_A = m \cdot g \cdot n_1 = 94,7 \cdot 9,81 \cdot 4 = 3716,03 \text{ N}$$

4.2.4 Boční zatížení - dle předpisu

- s násobkem $\frac{1}{3} \cdot n_A = \frac{1}{3} \cdot 4 = 1,33 = n_B$

$$F_B = m \cdot g \cdot n_b = 94,7 \cdot 9,81 \cdot 1,33 = 1243,95 \text{ N}$$

4.2.5 Zatížení kroutícím momentem od motoru

převodový poměr - $i=2,43$

otáčky motoru při: max. trvalém výkonu $n=5500 \text{ ot/min}$

vzletovém výkonu $n=5800 \text{ ot/min}$

$$n_{vrtulev} = \frac{n}{i} = \frac{5800}{2,43} = 2386 \text{ ot/min}$$

$$Mk_{vzl} = \frac{P_{vzl}}{2 \cdot \pi \cdot n_{vrtulev}} = \frac{73500}{2 \cdot 3,1416 \cdot \frac{2386}{60}} = 294,03 \text{ Nm}$$

$$n_{vrtulet} = \frac{n}{i} = \frac{5500}{2,43} = 2263 \text{ ot/min}$$

$$Mk_{trv} = \frac{P_{vzl}}{2 \cdot \pi \cdot n_{vrtulet}} = \frac{72000}{2 \cdot 3,1416 \cdot \frac{2263}{60}} = 303,8 \text{ Nm}$$

dle UL2-I.část je kroutící moment od motoru (pro 4-válec 4-takt) násoben součinitelem $n=2$

$$Mk_{motor} = n \cdot Mk_{trvalý} = 2 \cdot 303,8 = 607,6 \text{ Nm}$$



4.3 Vstupní parametry pro výpočty zatížení R-914UL [11] [27]:

Výpočet zatížení motorového lože byl proveden pro následující parametry pohonné soustavy:

Hmotnost motoru (včetně výfuku, karburátorů, startéru, alternátoru, zapalování, chladičů a náplní):

m_{mot} 88,7 kg

Hmotnost vrtule a kuželu:

m_{vrt} 11,5 kg

Vzletový výkon:

P_{vzl} 84,5 kW

Max. trvalý výkon:

P_{trv} 73,5 kW

Maximální otáčky:

r_{max} 5800 1/min

Maximální trvalé otáčky:

r_{trv} 5500 1/min

Krouticí moment při max. otáčkách motoru:

Mk_{max} 139,1 Nm

Krouticí moment při max. trvalých otáčkách motoru:

Mk_{trv} 127,6 Nm

Trvalý převod reduktoru:

i 2,43 -

Účinnost vrtule:

η_{vrt} 1 -

Koeficient pro krouticí moment:

k 2 -

Ostatní vstupní parametry:

Plocha křídla letounu:

S 11,282 m²

Hustota vzduchu:

r 1,225 kg/m³

Násobek dle požadavku předpisu:

UL-2-I.část

n_1 4 -

Rychlost V_A :

UL-2-I.část

V_A 146,5 km/h (40,7 m/s)

4.4 Výpočet motorového lože pro motor 914UL

4.4.1 Hmotový rozbor:

Tabulka 4.3 - hmotový rozbor 914UL [28]:

část	hmotnost v kg
motor s reduktorem a prokluzovou spojkou	65
lože rotax/vejce	2
chladičí kapalina	2,5
chladič	1
olejová náplň	2
olejový chladič	0,5
přídavný alternátor	3
hadice + kabeláž	2
vakuová pumpa	0,8
usměrňovač	0,1
přístroj FLYDAT	0,5
přístroj RDAT	1
airbox	1,3
vrtule SR3000/3N s prostavením	11,5
výfuk	4
přídavný generátor	3
celkem	100,2

Výsledná hmotnost všech komponentů včetně motoru upevněných na motorovém loži je 100,2 kg.



4.4.2 Zatížení tahovou silou

$$F_{T1} = \frac{P_{vzl} \cdot \eta_{vrt}}{V_{AUL2}} = \frac{84500 \cdot 1}{40,7} = 2076,17 \text{ N}$$

4.4.3 Zatížení setrvačnými silami

- zatížení v případě násobku v bodě A 75%:

$$G_{A75} = m \cdot g \cdot n_A \cdot 0,75 = 100,2 \cdot 9,81 \cdot 4 \cdot 0,75 = 2972,5 \text{ N}$$

- zatížení v případě násobku v bodě A:

$$G_A = m \cdot g \cdot n_A = 100,2 \cdot 9,81 \cdot 4 = 3931,9 \text{ N}$$

4.4.4 Boční zatížení

- s násobkem $1/3 \cdot n_A = \frac{1}{3} \cdot 4 = 1,33 = n_B$

$$F_B = m \cdot g \cdot n_b = 100,2 \cdot 9,81 \cdot 1,33 = 1317,8 \text{ N}$$

4.4.5 Zatížení kroutícím momentem od motoru

převodový poměr - $i=2,43$

otáčky motoru při max. trvalém výkonu $n=5500 \text{ ot/min}$

$$n_{vrtulel} = \frac{n}{i} = \frac{5500}{2,43} = 2263 \text{ ot/min}$$

$$Mk_{trvalý} = \frac{Ptrv}{2 \cdot \pi \cdot n_{vrtulel}} = \frac{73500}{2 \cdot 3,1416 \cdot \frac{2263}{60}} = 310,2 \text{ Nm}$$

$$n_{vrtulev} = \frac{n}{i} = \frac{5800}{2,43} = 2386 \text{ ot/min}$$

$$Mk_{vzlet} = \frac{Pvzl}{2 \cdot \pi \cdot n_{vrtulev}} = \frac{84500}{2 \cdot 3,1416 \cdot \frac{2386}{60}} = 338,2 \text{ Nm}$$

Z předpisu UL2-I. část je kroutící moment od motoru (pro 4-válec 4-takt) součinitel $n=2$

$$Mk_{motor} = n \cdot Mk_{trvalý} = n \cdot 310,2 = 620,4 \text{ Nm}$$

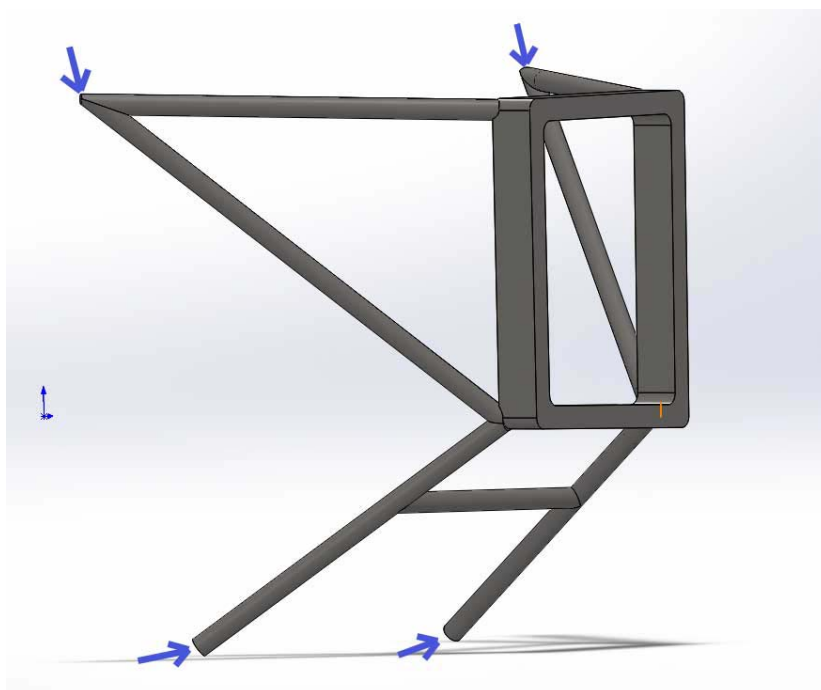
$$Mk_{motor} = n \cdot Mk_{vzlet} = n \cdot 338,2 = 675,54 \text{ Nm}$$

4.5 MKP analýza

Pro simulaci zatížení byl použit simulační doplněk programu Solidworks, lože bylo zjednodušeno kvůli tvorbě sítě, zatížení je simulováno pro všechny tři případy, které budou zkoušeny, výsledky následně porovnány a vyhodnoceny.

Jelikož motor R-914UL je s příslušenstvím těžší a má větší výkon, i zatížení vychází o několik % vyšší, použijeme právě hodnoty zatížení od tohoto motoru.

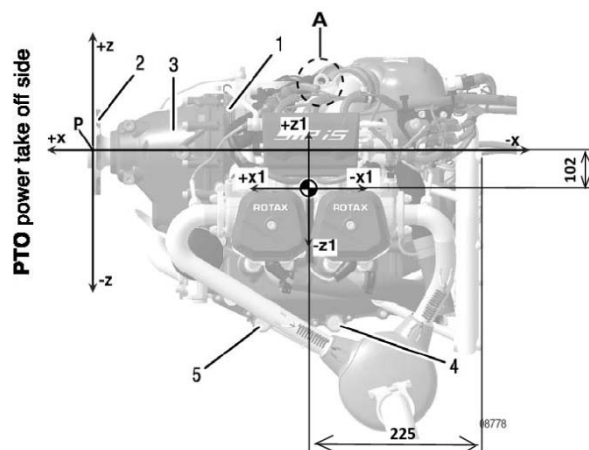
Lože je v MKP analýze pevně uloženo čtyřmi body (ploškami) označenými šipkami jak je znázorněno na obrázku 4.1, vzdálená zatěžující síla případně moment jsou posunuty do těžiště motoru případně do osy vrtule.



Obrázek 4.1 - body uchycení motorového lože

4.5.1 Poloha těžiště motoru

Poloha těžiště je určena z manuálu od výrobce motoru Rotax, na obrázku je zakótována k čelu motorového lože a ke středu vrchní díry pro šroub silentbloku.



Obrázek 4.2 - těžiště motoru R-912iS and R-914UL [29]

4.5.2 MKP - početní zatížení - Příklad 1

Příklad 1:

"Zatížení provozním kroutícím momentem od motoru, které odpovídá vzletovému výkonu a příslušným otáčkám vrtule, který působí spolu se 75% provozního zatížení podle provozních podmínek v bodě "A" viz. ustanovení kapitoly C, oddíl III, bod 1." [26]

Zde je navíc uvažováno tahové zatížení při vzletovém výkonu.

Tahové zatížení:

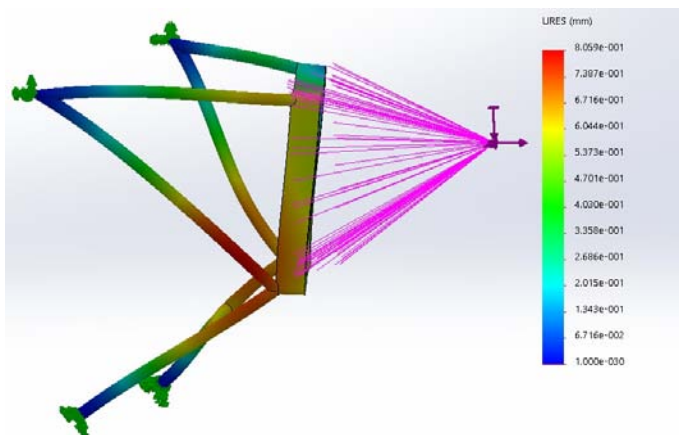
$$F_{T1P} = \frac{P_{vzl} \cdot \eta_{vrt}}{V_A} \cdot 1,5 = \frac{84500 \cdot 1}{40,7} \cdot 1,5 = 3114,26 \text{ N}$$

Tíhové zatížení:

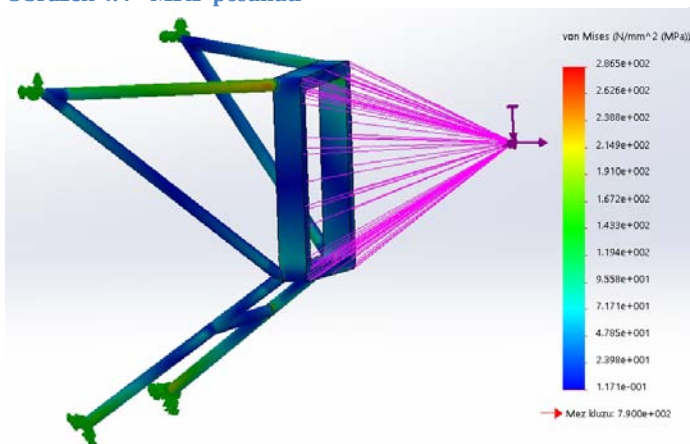
$$F_{G1P} = 0,75 \cdot (m_{mot} + m_{vrt}) \cdot g \cdot n_A \cdot 1,5 = 0,75 \cdot (88,7 + 11,5) \cdot 9,81 \cdot 4 \cdot 1,5 = 4458,75 \text{ N}$$

Zatížení kroutícím momentem:

$$Mk_{C1P} = Mk_{max} \cdot k \cdot i \cdot 1,5 = 139 \cdot 2 \cdot 2,43 \cdot 1,5 = 1013,31 \text{ Nm}$$



Obrázek 4.4 - MKP posunutí



Obrázek 4.3 - MKP napětí

4.5.3 MKP - početní zatížení - Příklad 2

Příklad 2:

"Zatížení provozním kroutícím momentem od motoru které odpovídá maximálnímu trvalému výkonu a příslušným otáčkám vrtule, který působí spolu s provozním zatížením, podle provozních podmínek z případu "A" viz. ustanovení kapitoly C, oddíl III, bod 1." [26]

Zde je navíc uvažováno tahové zatížení při trvalém výkonu.

Tahové zatížení:

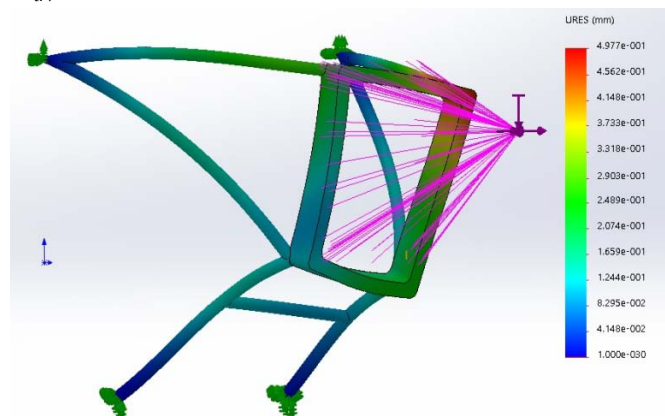
$$F_{T2P} = \frac{P_{trv} \cdot \eta_{vrt}}{V_A} \cdot 1,5 = \frac{73500 \cdot 1}{40,7} \cdot 1,5 = 2780,85 \text{ N}$$

Tíhové zatížení:

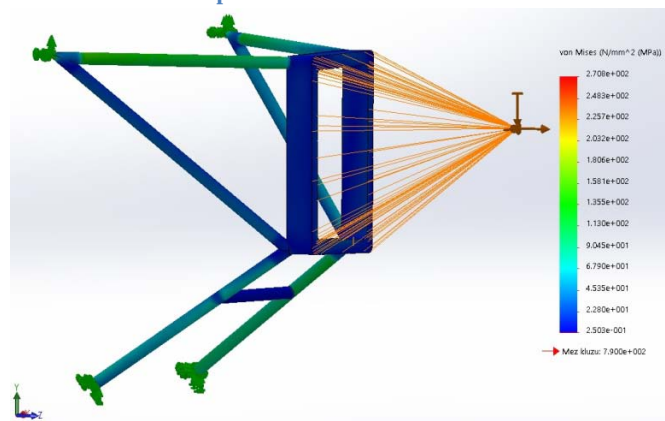
$$F_{G2P} = (m_{mot} + m_{vrt}) \cdot g \cdot n_A \cdot 1,5 = (88,7 + 11,5) \cdot 9,81 \cdot 4 \cdot 1,5 = 5897,7 \text{ N}$$

Zatížení kroutícím momentem:

$$Mk_{C2P} = Mk_{trv} \cdot k \cdot i \cdot 1,5 = 127,63 \cdot 2 \cdot 2,43 \cdot 1,5 = 930,6 \text{ Nm}$$



Obrázek 4.6 - MKP posunutí



Obrázek 4.5 - MKP napětí

4.5.4 MKP - početní zatížení - Příklad 3

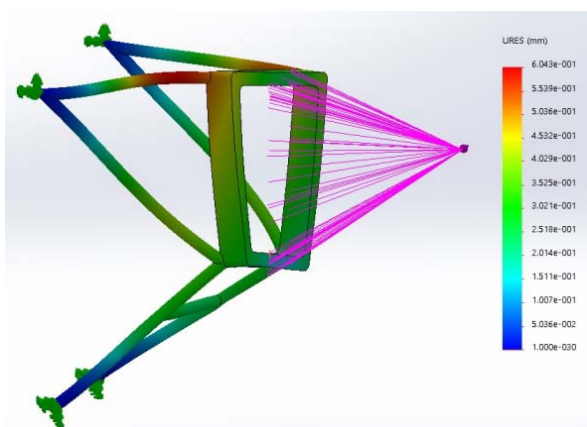
Příklad 3:

"Boční zatížení motorového lože

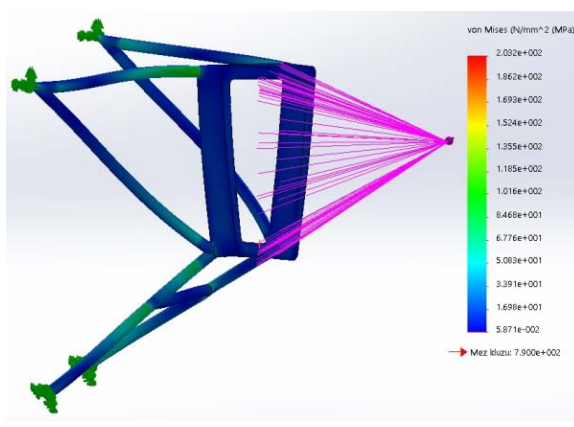
Motorové lože a konstrukce na níž je zavěšeno musí být navrženy na provozní obrátový násobek zatížení v bočním směru ne menším než jedna třetina provozního násobku obratu pro případ "A" obálky obrátů t.j. 1/3 n1 dle C.III.3." [26]

Boční zatížení:

$$F_{B3} = \frac{1}{3} \cdot n_A \cdot (m_{mot} + m_{vrt}) \cdot g \cdot 1,5 = \frac{1}{3} \cdot 4 \cdot (88,7 + 11,5) \cdot 9,81 \cdot 1,5 = 1965,9 \text{ N}$$



Obrázek 4.7 - MKP posunutí



Obrázek 4.8 - MKP napětí

4.5.5 MKP - početní zatížení - zhodnocení

Tabulka 4.4 - MKP analýza maximální napětí

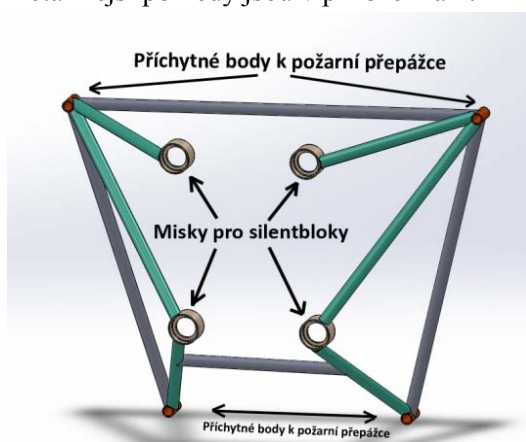
MKP - početní zatížení	Zatěžující síly			Zatěžující moment	max. posunutí	max. napětí	Mez kluzu
	Fx	Fy	Fz	Mz			
Příklad 1	0	4458,75 N	3114,26 N	1013,1 Nm	0,8 mm	286 MPa	790 MPa
Příklad 2	0	5897,7 N	2780,85 N	930,6 Nm	0,498 mm	270 MPa	790 MPa
Příklad 3	1965,9 N	0	0	0	0,6 mm	208 MPa	790 MPa

Dle MKP analýzy je zřejmé, že lože je navrženo z dostatečně silných trubek, na vzpěr bude provedena kontrola v kapitole 4.5, i když trubky, které by mohly být namáhány tlakem jsou zhruba ve 2/5 své délky stabilizovány spojovací trubkou a tudíž by neměla nastat ztráta vzpěrné stability.

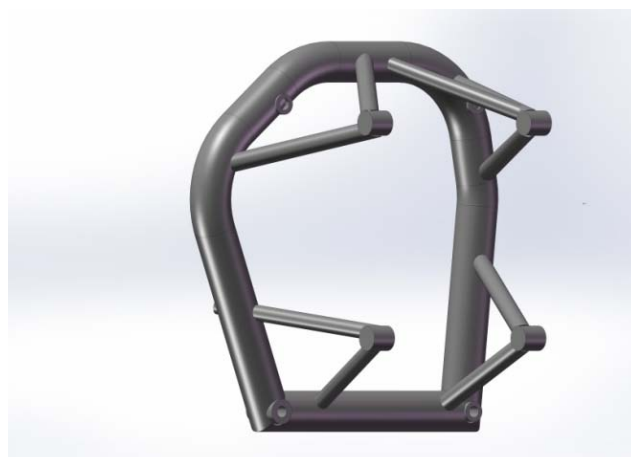
5 Konstrukce motorového lože

5.1 Popis konstrukce

Motorové lože je zkonstruováno z trubek Tr $\varnothing 18 \times 1$ vyrobených z materiálu 1.7734.5 s mezí kluzu $Re=790\text{MPa}$, je uchyceno čtyřmi šrouby k požární přepážce a čtyřmi šrouby přes silentbloky k loži Rotax. Lože je svážené, svár je koutový a3. Navíc je vyoseno o 2° k pravé straně a o 1° dolů, nicméně požadavkem je, aby poloha vrtule zůstala ve stejném místě, jako u dříve používaných motorů. Reference (vrtule a motorová přepážka) jsou převzaty z již existujícího 3D modelu zástavby motoru R-912UL. U nových motorů (R-912iS a R-914UL) bylo výrobcem předepsáno, že je nutné použít motorového lože Rotax, ta jsou shodná pro oba motory. Detailnější pohledy jsou v příloze 1 a 2.



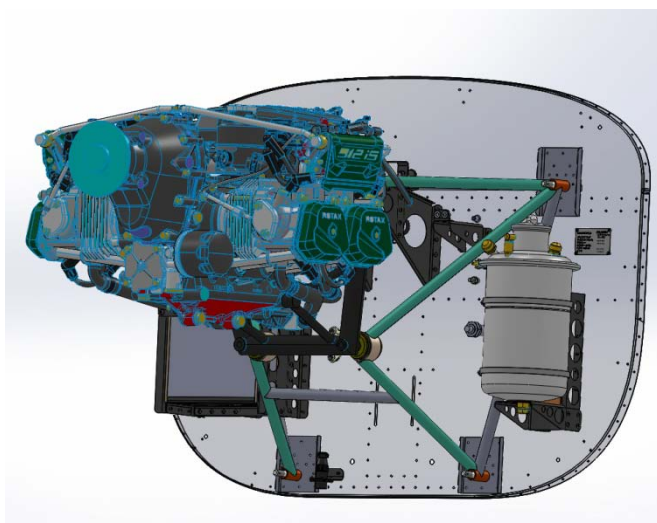
Obrázek 5.2 - motorové lože R-912iS/R-914UL



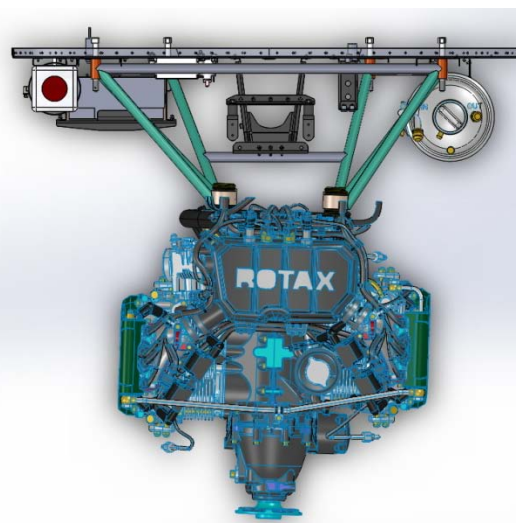
Obrázek 5.1 - lože ROTAX [30]

5.2 Zástavba motoru R-912iS/R-914UL

Jak bylo zmíněno, motor je upevněn čtyřmi body k loži Rotax, které je uchyceno pomocí čtyř silentbloků k motorovému loži jehož reakci zachycují čtyři body na požární přepážce což je vidět na obrázku 5.3 a obrázku 5.4.



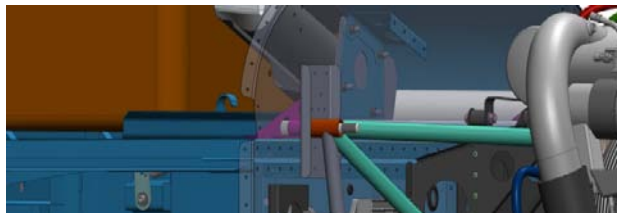
Obrázek 5.3 - zástavba motoru [31]



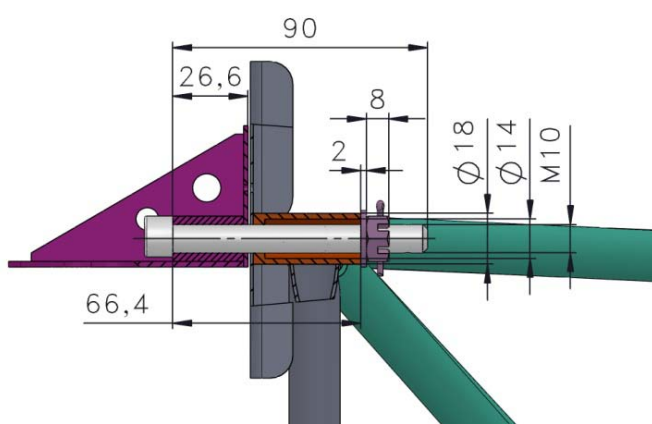
Obrázek 5.4 - zástavba motoru [31]

5.3 Detail uchycení motorového lože k požární přepážce

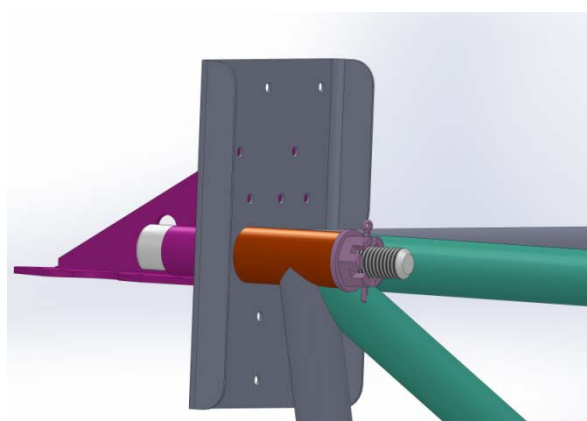
Uchycení je provedeno čtyřmi šrouby M10 s vnitřním šestihranem s pevnostní třídou 8.8 (tzn. s mezí kluzu $R_e=640\text{MPa}$ a mezí pevnosti $R_m=800\text{MPa}$), pojištěnými korunovou maticí se závlačkou, uložení je stejné jako pro ostatní typy motorů. Šrouby jsou namáhány na stříh a na tah, přičemž napětí od tahu bude převládající.



Obrázek 5.5 - uchycení lože k motorové přepážce [31] [32]

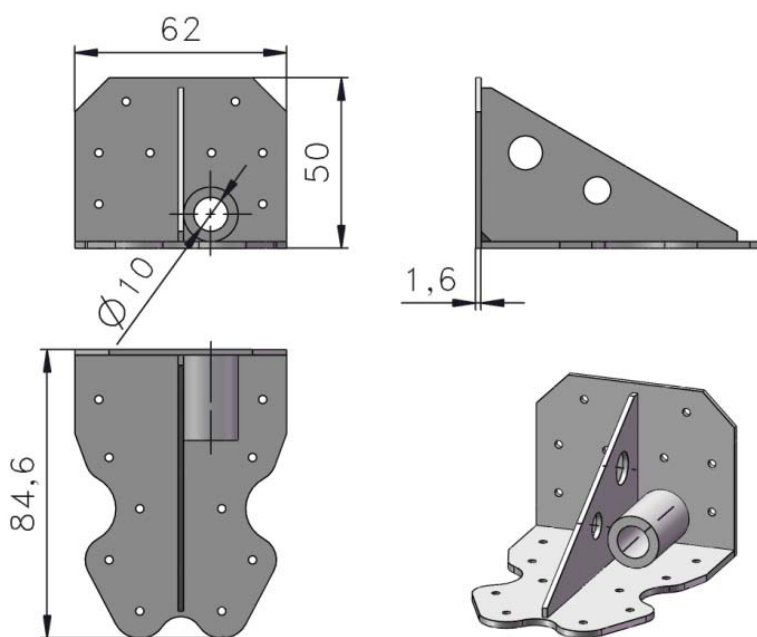


Obrázek 5.7 - rozměry uložení [32]



Obrázek 5.6 - detail uložení [32]

Jak je vidět na obrázku, šroub je vsunut zevnitř směrem od pilota skrze kování, požární přepážku, příložku až přes váleček motorového lože kde je korunovou maticí dotažen na požadovaný moment a závlačkou pojištěn proti povolení.



Obrázek 5.8 - kování [32]

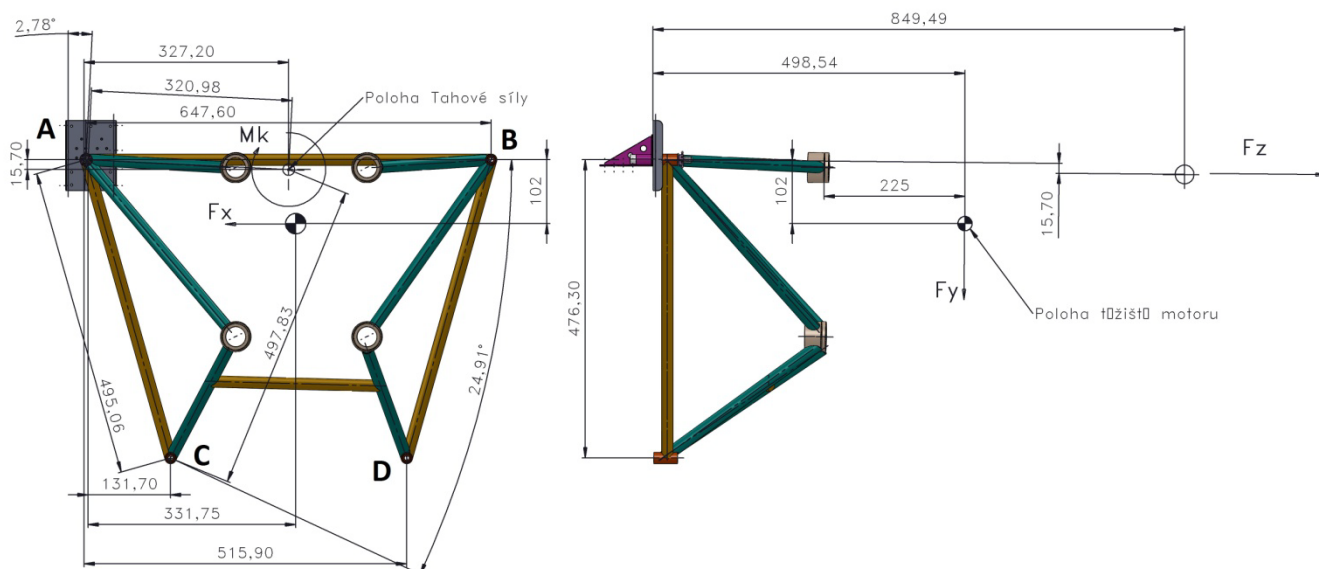


5.4 Výpočet utahovacího momentu šroubů motorového lože

Šrouby jsou počítány na zatížení, které nastane při zkušebních případech 1,2 a 3. Využiji hodnoty z výpočtu motorového lože, ale vynásobím je součinitelem 1,5 (početní zatížení). Výsledky výpočtu jsou shrnuty v tabulce 5.1.

Vstupní hodnoty:

- Tah dle případu zatížení viz tabulka 3.4 v kapitole 3.5.5
- Setrvačná síla: dle případu zatížení
- Boční síla: dle případu zatížení
- Krouticí moment: dle případu zatížení
- Mez pevnosti šroubu $R_m=800\text{MPa}$
- Mez kluzu šroubu $R_e=640\text{MPa}$
- Šroub M10 8.8



Obrázek 5.9 - schéma sil zatěžujících šrouby

Kromě tahu, který působí v ose otáčení vrtule, působí všechny síly v těžišti motoru. Ve výpočtu pro případ 1, který je uveden v příloze 3, jsou vypočteny výslednice všech sil působících ve šroubech, tuhosti šroubů i spojovaných součástí, bezpečnosti, síla předpětí a utahovací moment.

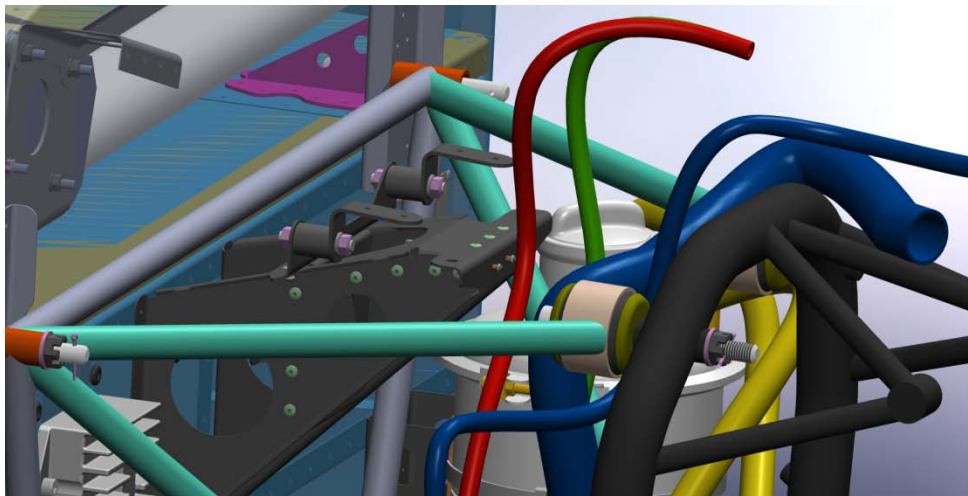
Výsledné síly jsou v každém šroubu jiné, tudíž by stačil i menší průměr šroubu, ale z hlediska výroby a nezaměnitelnost budou všechny šrouby rozměru M10 a utahovací moment bude též ve všech 4 šroubech stejný dle maximální utahovacího momentu z tabulky 5.1.

**Tabulka 5.1 - Výsledné síly ve šroubech a jejich utahovací moment**

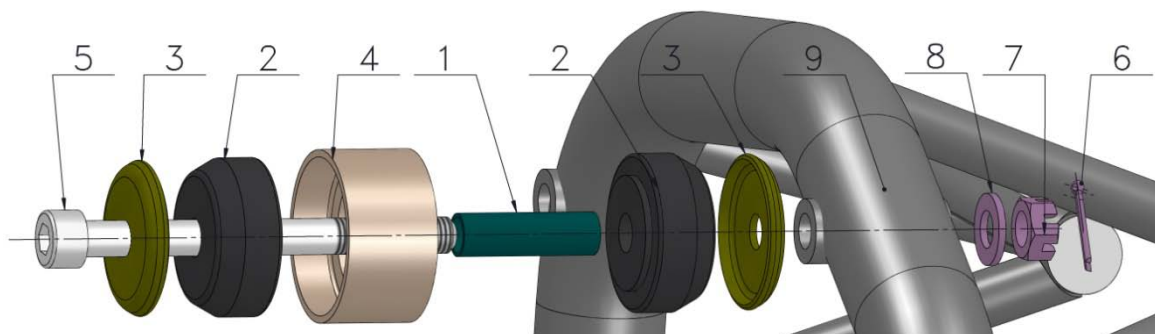
			šroub A	šroub B	šroub C	šroub D
			vypočteno	vypočteno	vypočteno	vypočteno
Případ 1	Fxy	střih [N]	1568	38,512	1720	1312
	Fz	tah [N]	3839	3839	51,32	51,32
	Mut	utahovací moment [Nm]	10,189	10,189	0,136	0,136
Případ 2	Fxy	střih [N]	1758	326,393	2147	1763
	Fz	tah [N]	4431	4431	45,832	45,832
	Mut	utahovací moment [Nm]	11,76	11,76	0,122	0,122
Případ 3	Fxy	střih [N]	772,45	772,45	210,499	210,499
	Fz	tah [N]	906,235	906,235	717,32	717,32
	Mut	utahovací moment [Nm]	2,405	2,405	1,904	1,904
max. utahovací moment [Nm]			11,76			

5.5 Detail uchycení lože ROTAX k motorovému loži

Spojení těchto dvou loží je pružné, tedy přes silentbloky, přenos síly opět obstarávají 4 šrouby M10 8.8, které jsou zajištěny korunovou maticí se závlačkou na obrázku níže je zobrazen detail a rozklad spojení. Dříve byly silentbloky montovány až mezi požární přepážku a motorové lože, ale z důvodu snížení neodpružených hmot a tím i zredukováním vibrací, které se přenáší do motorového lože, se začaly silentbloky dávat mezi lože ROTAX a motorové lože.



Obrázek 5.11 - Detail spojení motorového lože a lože ROTAX [30] [31]



Obrázek 5.10 - rozklad spojení motorového lože a lože Rotax [31] [34]

Popis obrázku 5.10:

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1 - rozpěrná trubička silentbloku | 2 - guma silentbloku |
| 3 - krajní miska silentbloku | 4 - miska silentbloku (přivařená k motorovému loži) |
| 5 - šroub M10x110 8.8 | 6 - závlačka |
| 7 - korunová matic | 8 - podložka 10,5 |
| 9 - lože ROTAX | |

6 Kontrola ztráty vzpěrné stability

6.1 Výpočet ztráty stability

Trubka 18x1 $D := 18\text{mm}$ $d := 16\text{mm}$

$l_1 := 462\text{mm}$ Délka trubky kde kontroluji vzpěr

$\sigma_{\max} := 286\text{MPa}$ Maximální napětí které vyšlo dle MKP

$R_e := 790\text{MPa}$ Mez pevnosti v kluzu

$E := 207\text{GPa}$ modul pružnosti v tahu

Oba konce jsou vetknuté -> $L_{\text{red}} := \frac{l_1}{2} = 231\text{mm}$

$\alpha := 1.2$ doporučený součinitel α

$$J_1 := \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{64} = 1.936 \times 10^3 \cdot \text{mm}^4 \quad \text{minimální hl. kvadratický moment}$$

$$S_1 := \frac{\pi \cdot (D^3 - d^3)}{4} = 53.407 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{plocha průřezu}$$

$$i := \sqrt{\frac{J_1}{S_1}} = 6.021 \cdot \text{mm} \quad \text{poloměr osového kvadratického momentu}$$

$$\lambda := \frac{l_1}{i} = 76.734 \quad \text{skutečný štíhlostní poměr}$$

$$\lambda_Q := \sqrt{\pi \cdot \alpha \cdot \frac{E}{R_e}} = 31.429 \quad \text{štíhlostní poměr v bodě Q}$$

"blíží-li se skutečný štíhlostní poměr λ štíhlostnímu poměru λ_Q zavede se bod T, který je obvykle v úrovni $R_e/2$, který odpovídá štíhlostnímu poměru λ_l . Použití vztahu pro Eulerovu kritickou sílu je možné pouze v případě je-li skutečný štíhlostní poměr λ větší než λ_l ." [33]

$$\lambda_l := \sqrt{2 \cdot \pi \cdot \alpha \cdot \frac{E}{R_e}} = 44.448 \quad \text{štíhlostní poměr v bodě T}$$

V mém případě je skutečný štíhlostní poměr větší než λ_l => tudíž počítám dle Eulerova vztahu pro kritickou sílu.



Výpočet dle Eulera

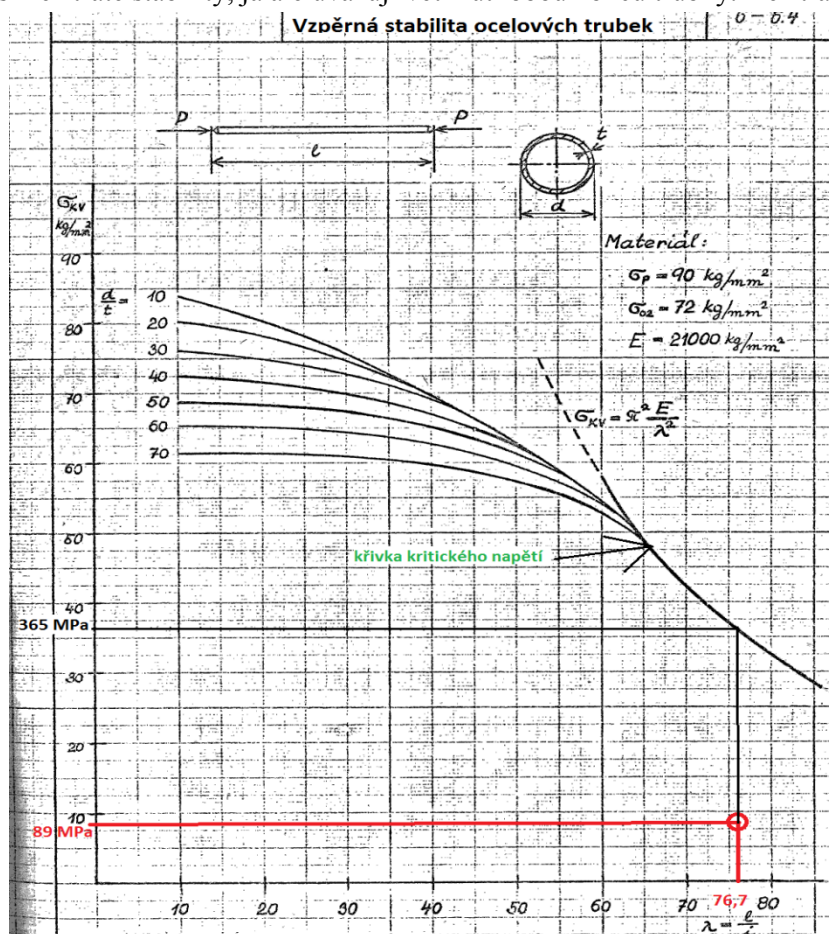
$$F_{\text{krit}} := \pi^2 \cdot E \cdot \frac{J_1}{\left(\frac{l_1}{2}\right)^2} = 7.412 \times 10^4 \text{ N} \quad \text{kritická síla}$$

$$\sigma_{\text{krit}} := \frac{F_{\text{krit}}}{S_1} = 1.388 \times 10^3 \cdot \text{MPa}$$

Při tomto kritickém napětí σ_{krit} by nastala ztráta stability, ale v motorovém loži za normálních podmínek nikdy takovéto napětí nenastane, což je uvedeno v tabulce 4.4.

6.2 Ztráta stability z grafu

Z grafu je vidět, že nedojde ke ztrátě vzpěrné stability, jelikož průsečík skutečného napětí (89 MPa) v trubce zatížené tlakem a průsečík skutečné štiřlosti trubky je hluboko pod kritickou křivkou, kritické napětí při této štiřlosti, stejných rozměrech trubky a stejném materiálu by bylo 365 MPa, což je méně než bylo vypočteno v kapitole 5.1. Rozdíl kritického napětí je zde kvůli jinému uložení trubky pro kterou je graf sestaven. Uložení v kloubech na obou stranách je nejnáchylnější ke ztrátě stability, já ale uvažuji vetknutí obou konců trubky. Ke ztrátě stability nedojde.



Obrázek 6.1 - graf vzpěrné stability ocelových trubek [35]

7 Instalace motoru R-912iS

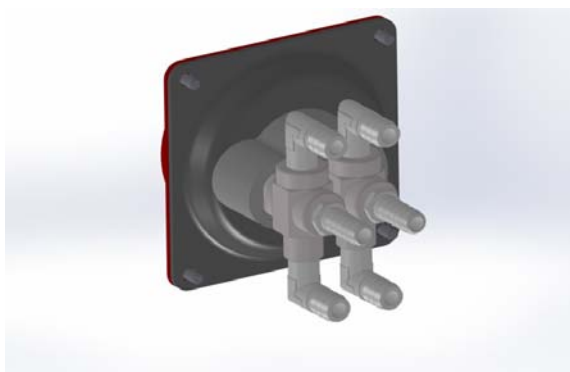
7.1 Palivová instalace

Palivová instalace se skládá z:

1. potrubí
2. palivového kohoutu
3. vysokotlakých čerpadel
4. palivových filtrů
5. ventilů s různými funkcemi

Palivové potrubí má být vyrobeno z trubek s minimálním vnitřním průměrem 7,5mm a mělo by být tvořeno primárně kovovými trubkami je-li to možné. Schéma zapojení uvedeno v příloze 4.

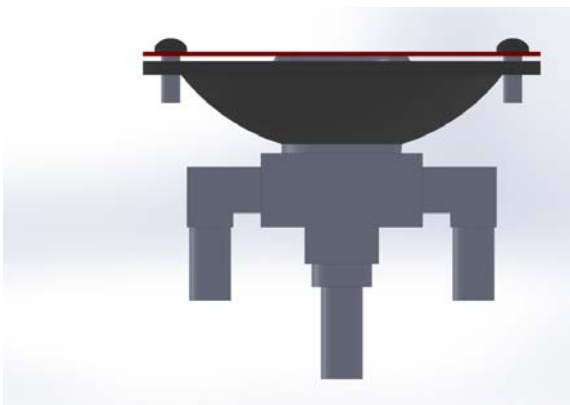
Vzhledem k vysokotlakým čerpadlům je nutné použít dvojitý ventil oproti klasickému (rozdíl je patrný na obrázku), jelikož je nutné otvírat/zavírat i zpětné vedení paliva, z toho důvodu aby byli vstříky a čerpadlo stále zaplavené palivem. Rozvod paliva je vymodelován dle "MULTI-Tank-System", jelikož v každém křídle je samostatná nádrž.



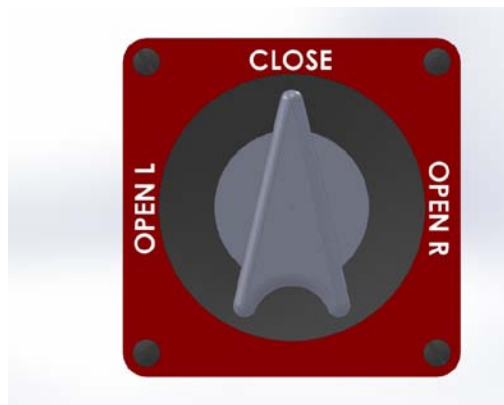
Obrázek 7.2 - dvojitý palivový ventil [36]



Obrázek 7.1 - dvojitý palivový ventil [36]



Obrázek 7.4 - jednoduchý palivový ventil [36]

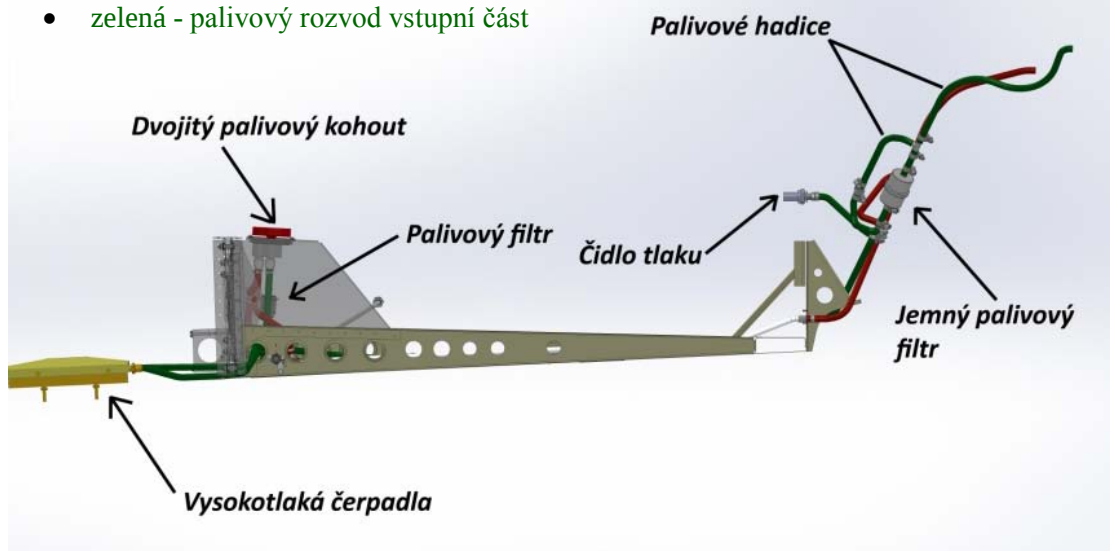


Obrázek 7.3 - jednoduchý palivový ventil [36]

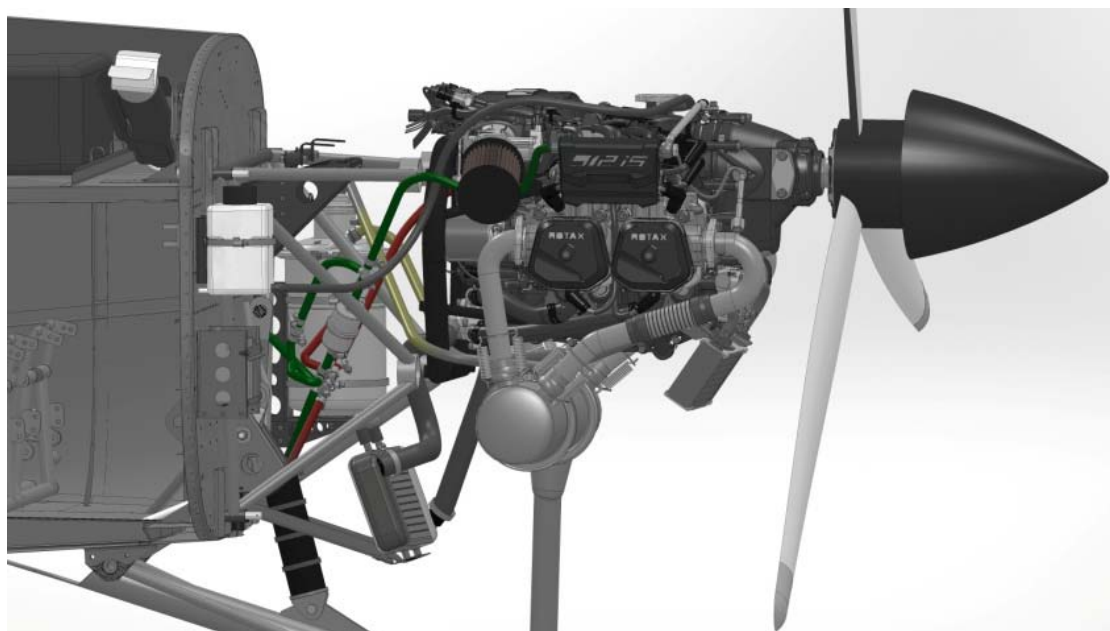
Základ byl převzat ze stávajícího modelu, tzn. jako je pro motor R- 912UL, kromě referencí bylo vše přemodelováno, a upraveno do té vhodné konfigurace aby odpovídalo schématu zapojení.

Palivo je sáno z nádrží přes dvojitý palivový kohout a palivový filtr, dále je dvojicí vysokotlakých čerpadel tlačeno skrz požární přepážku přes jemný palivový filtr ke vstřikovačům, přebytek tlaku (paliva) odchází zpětnou větví zpět do nádrže, ze které je zrovna palivo odčerpáváno.

- červená - palivový rozvod zpětná část
- zelená - palivový rozvod vstupní část



Obrázek 7.5 - Palivová instalace [36]



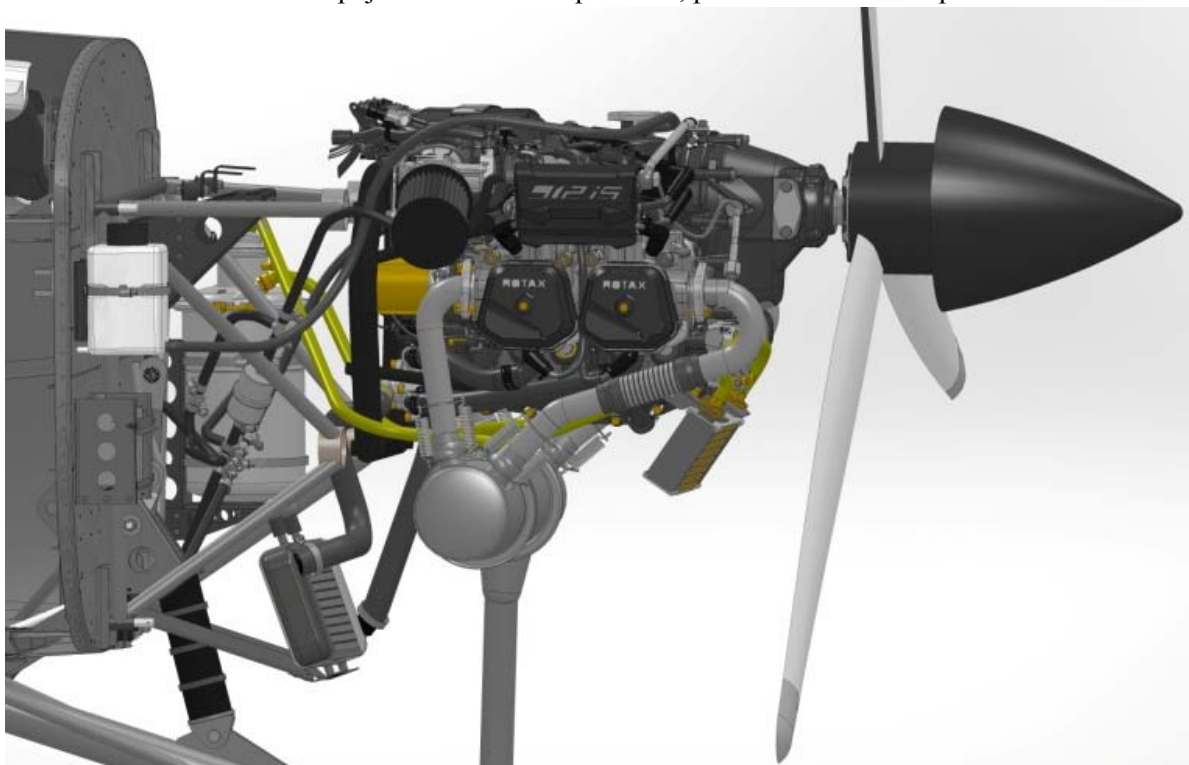
Obrázek 7.6 - Palivová instalace v letounu [31]

7.2 Mazací okruh

je složen z:

1. Olejová nádrž
2. potrubí
3. olejový chladič
4. olejový filtr
5. olejové čerpadlo (v bloku motoru)

Olejová nádrž byla ponechána na stejném místě jako u předchozích motorů. Zbytek byl modelován dle schématu zapojení uvedeného v příloze 5, pro klasické tažné uspořádání.



Obrázek 7.7 - mazací okruh v letounu [31]

- **žlutá - mazací okruh**

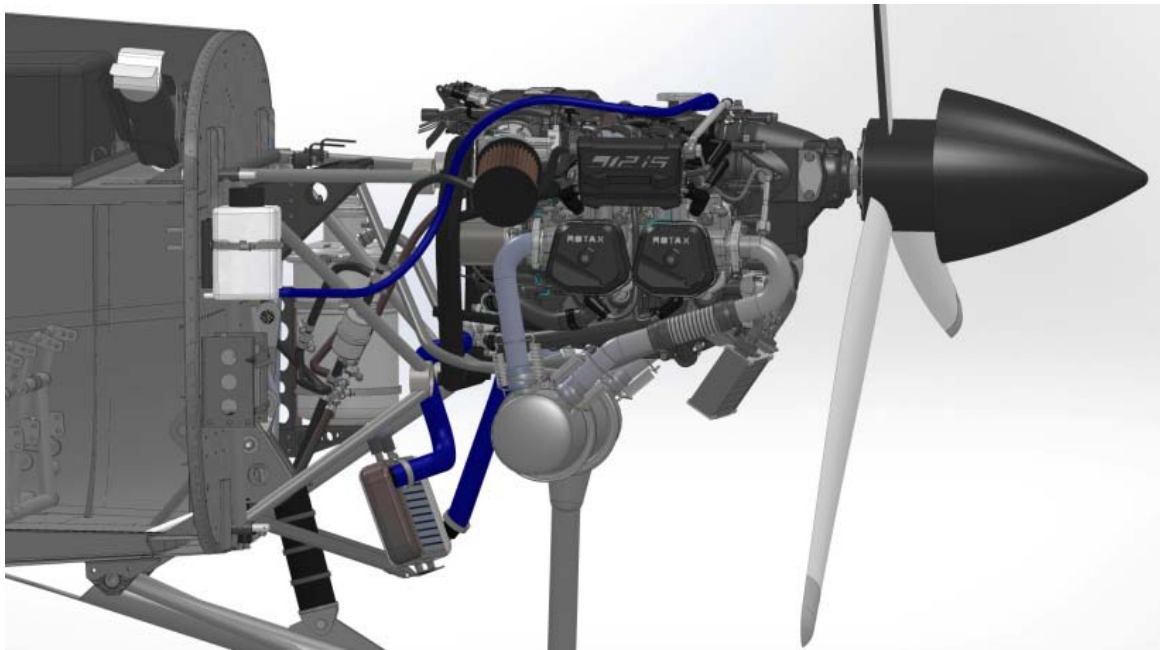
Mazací olej je z olejové nádrže odebírán přes olejový chladič a olejový filtr čerpadlem, kde vzniká potřebný tlak, následně je olej odsáván z klikové skříně a je veden opět do olejové nádrže.

7.3 Chladicí okruh

je složen z:

1. expanzní nádobka
2. potrubí
3. chladič
4. přepadová nádobka
5. čerpadlo (v motoru)

Zde bylo nutno dbát na polohu chladiče kvůli zamezení kontaktu chladiče a motorového krytu, chladič byl o něco více skloněn, místo původního horního držáku je chladič přichycen přes silentbloky přímo k trubce motorového lože a jeho uložení tím pádem zmenšuje zatížení motorového lože. Schéma zapojení je uvedeno v příloze 6.



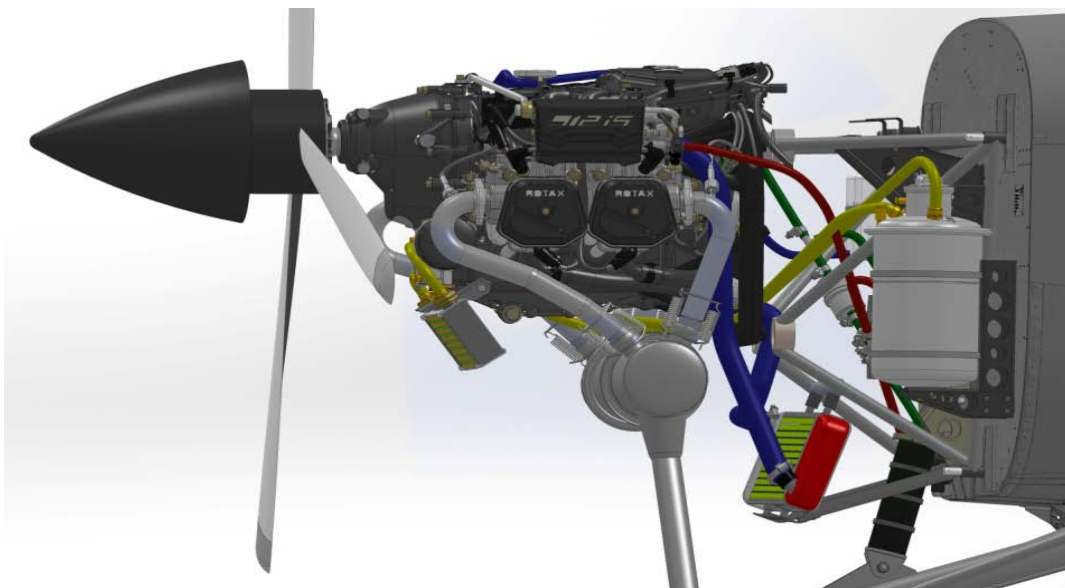
Obrázek 7.8 - Chladicí okruh v letounu [31]

- modrá - chladicí okruh

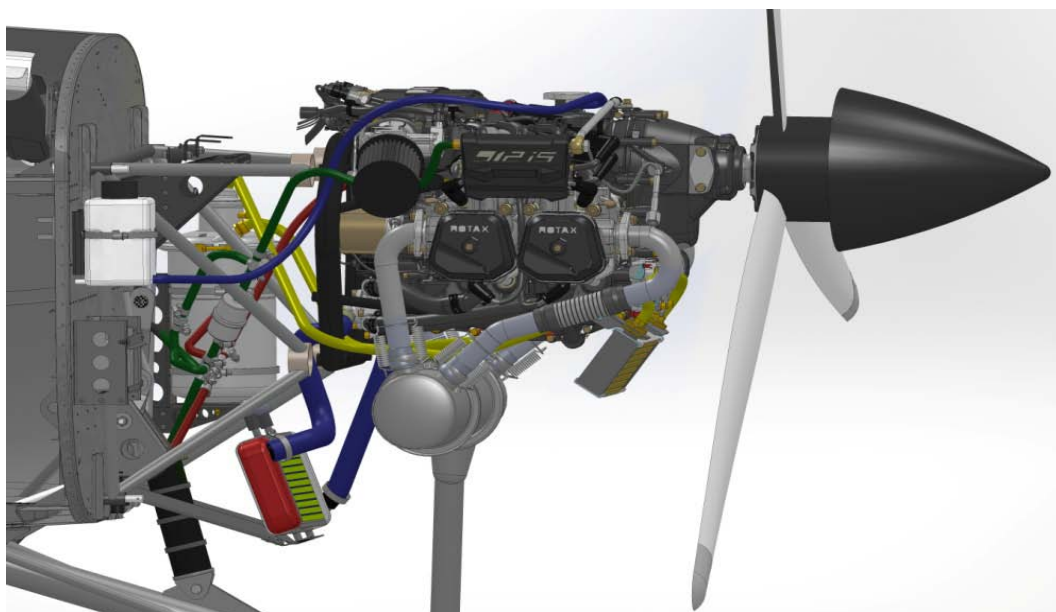
Z expanzní nádobky je chladicí kapalina vedena do chladiče, posléze je čerpadlem tlačena skrze hlavy válců zpět do expanzní nádobky.

7.4 Celková instalace motoru R-912iS

- modrá - chladicí okruh
- žlutá - mazací okruh
- červená - palivový rozvod zpětná část
- zelená - palivový rozvod zásobovací část



Obrázek 7.9 - instalace motoru R-912iS [31]

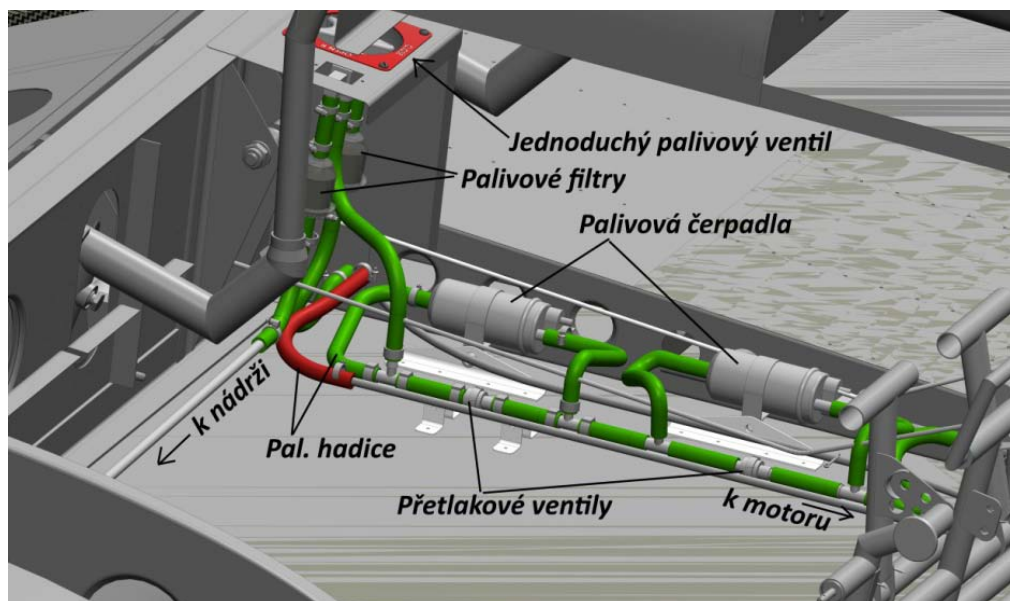


Obrázek 7.10 - instalace motoru R-912iS [31]

8 Instalace motoru R- 914UL

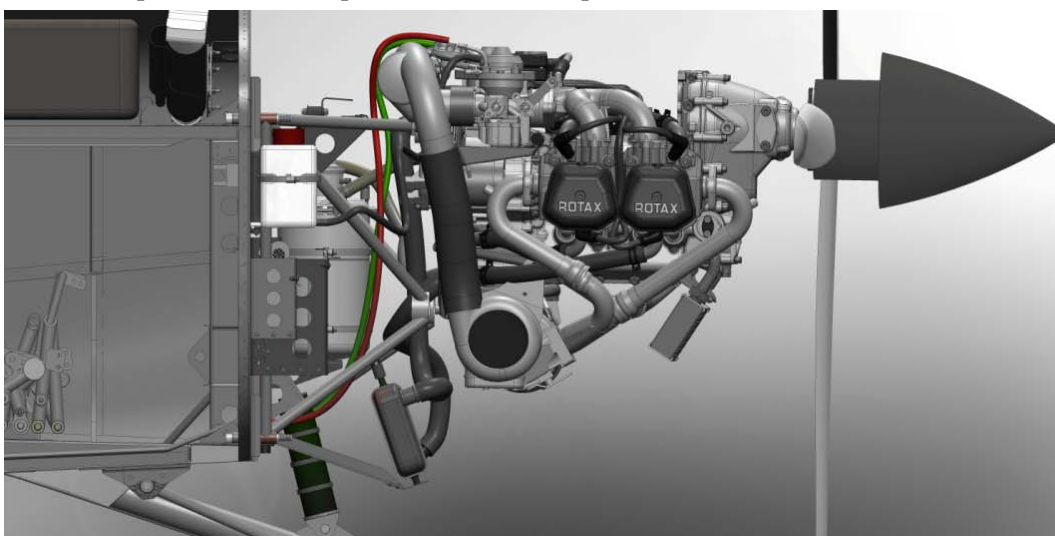
8.1 Palivová instalace

V případě motoru 914UL je palivová instalace značně jednodušší oproti 912iS, ale byla nutná opět změna palivového systému, jelikož stávající motory využívají jednoho mechanického a druhého elektrického palivového čerpadla, na rozdíl od nich tento motor už je vybaven dvěma elektrickými čerpadly. Palivový kohout byl použit jednoduchý třicestný, zpětná větev vede pouze do levé nádrže, protože zde není takový "přítok" jako u motoru s vysokotlakými čerpadly (912iS).



Obrázek 8.1 - palivová instalace R-912iS v prostoru kabiny [36]

Palivo je odebíráno z jedné z nádrží dle volby pilota, jde přes palivový filtr do jednoduchého kohoutu odkud je vedeno do dvojice čerpadel (hlavní a pomocné), v případě velkého tlaku před čerpadlem je přetlakovými ventily pouštěno dále, po průchodu skrz požární přepážku je palivo vedeno do karburátorů, přebytek paliva je odváděn zpět a to pouze do levé nádrže. Schéma je uvedeno v příloze 7 a detail palivové instalace v příloze 8.

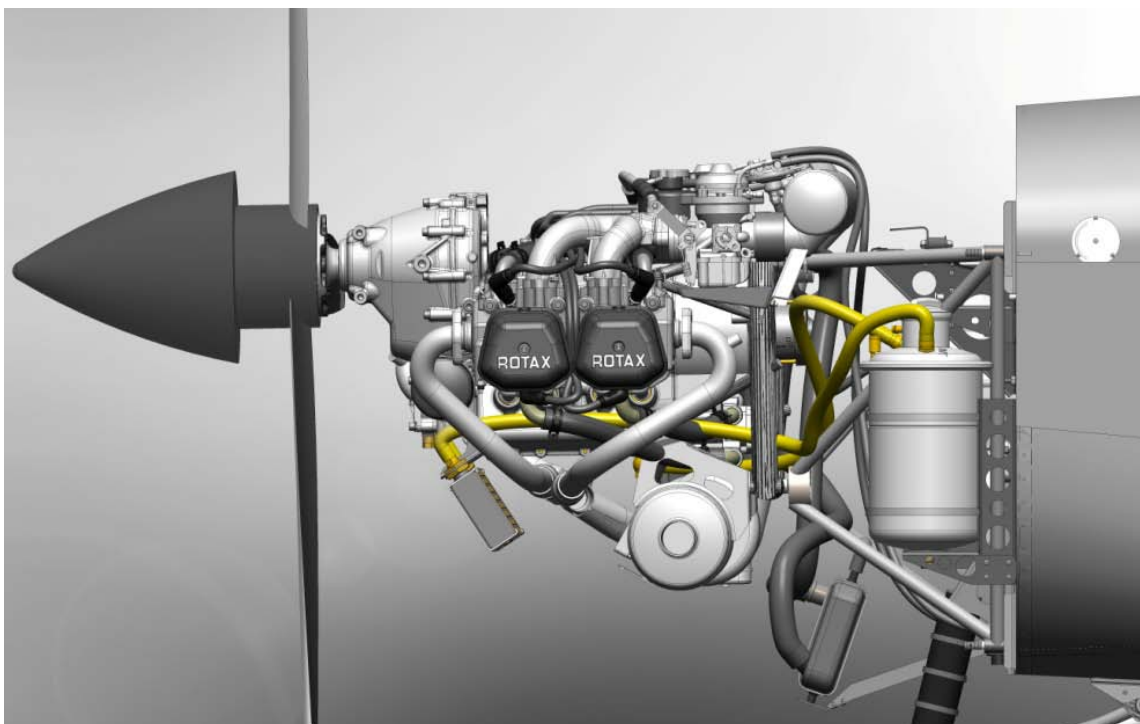


Obrázek 8.2 - Palivová instalace 914UL [31]

8.2 Mazací okruh

je složen z:

1. olejová nádrž
2. olejový chladič
3. olejové hadice
4. olejové čerpadlo (v motoru)



Obrázek 8.3 - Mazací okruh v letounu [31]

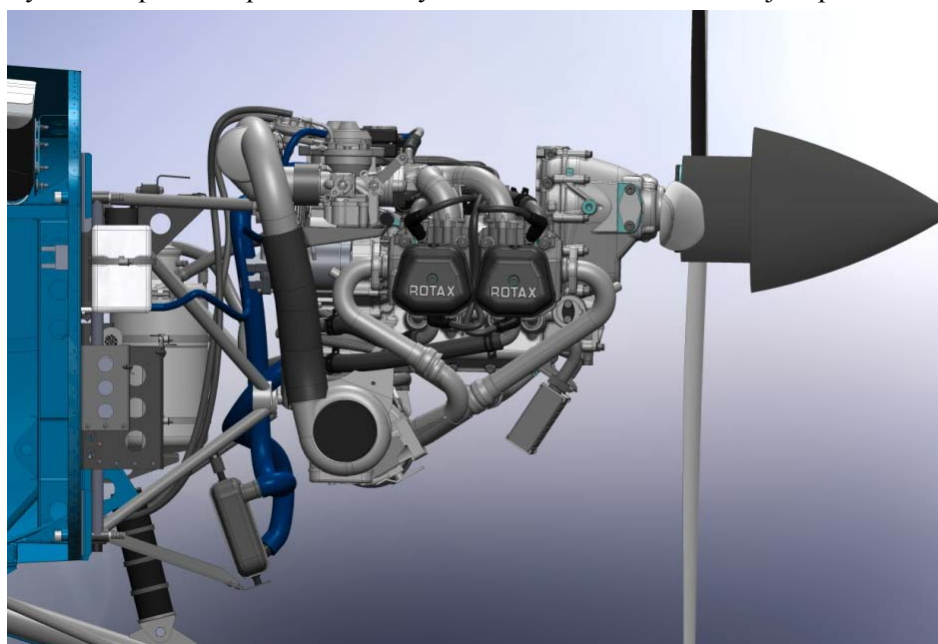
Mazací olej je z nádrže odebírán skrze chladič a olejový filtr do čerpadla odkud je veden jednak do mazacích míst v motoru tak speciálně další větví na mazání turbodmyhadla, poté je vrácen zpět do nádrže. Schéma zapojení je uvedeno v příloze 9.

8.3 Chladicí okruh

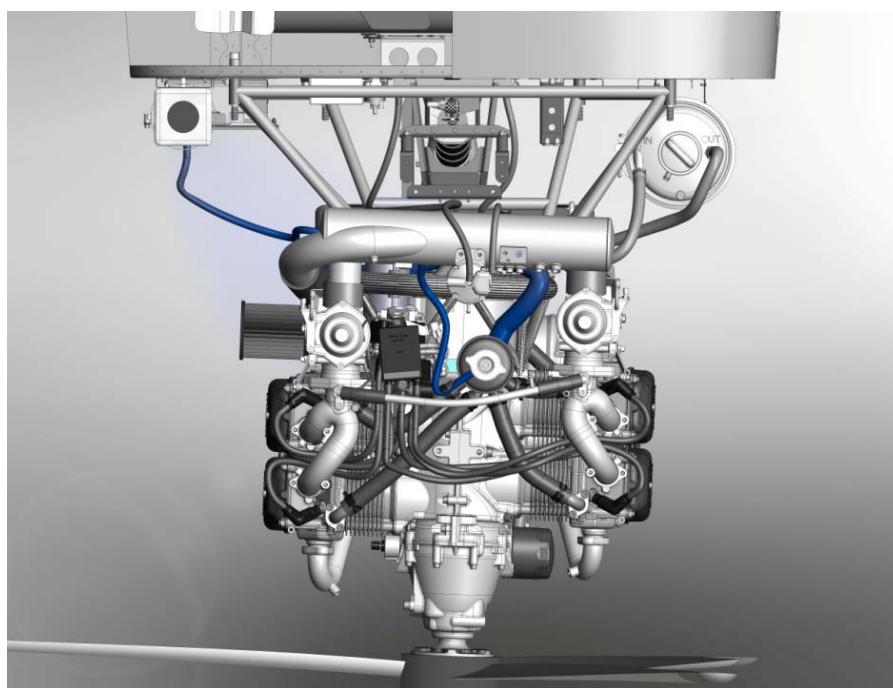
je složen z:

1. chladič
2. potrubí
3. čerpadlo (v motoru)

Z expanzní nádoby je chladicí kapalina vedena do chladiče, posléze je čerpadlem tlačena skrze hlavy válců zpět do expanzní nádoby. Schéma chladicího okruhu je v příloze 10.



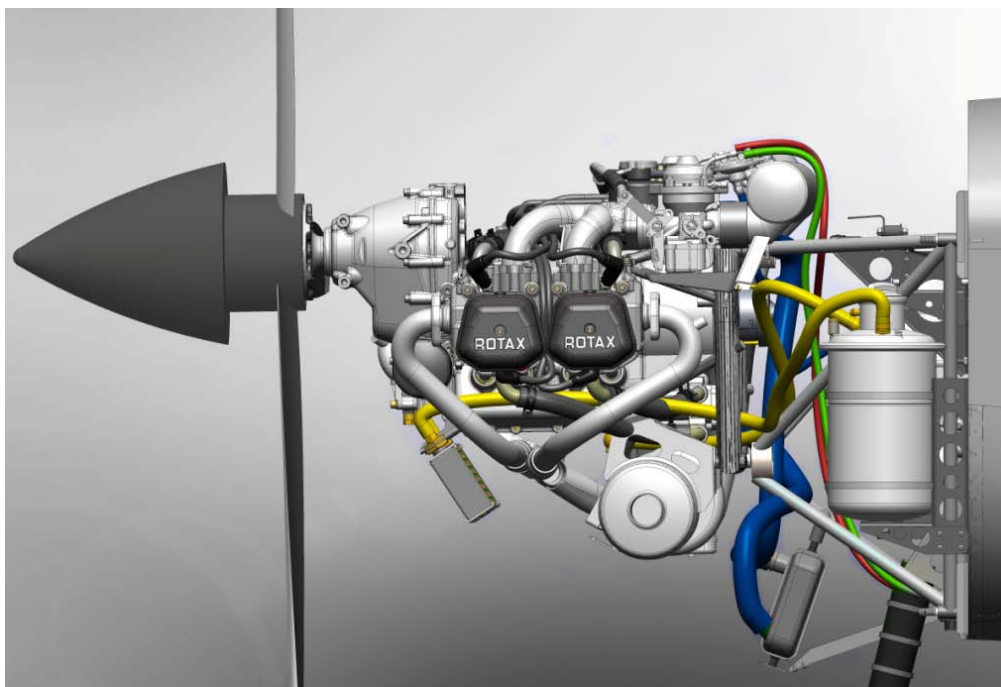
Obrázek 8.4 - Chladicí okruh v letounu [37]



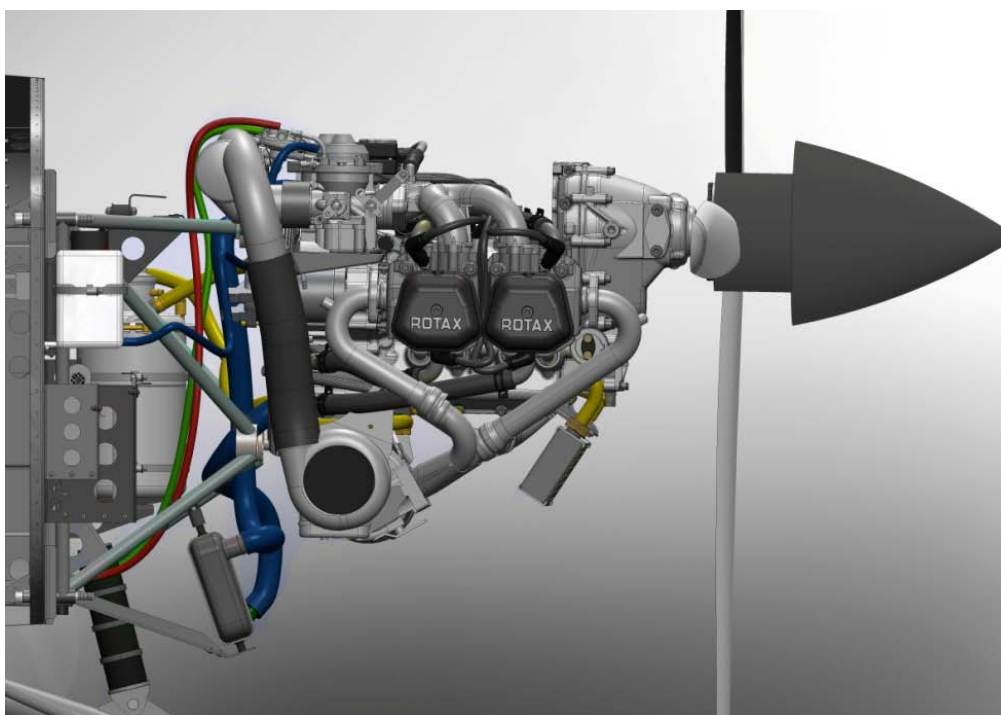
Obrázek 8.5 - Chladicí okruh v letounu [37]

8.4 Celková instalace motoru R-914UL

- modrá - chladicí okruh
- žlutá - mazací okruh
- červená - palivový rozvod zpětná část
- zelená - palivový rozvod zásobovací část



Obrázek 8.6 - Instalace motoru R-914UL pohled zleva [37]



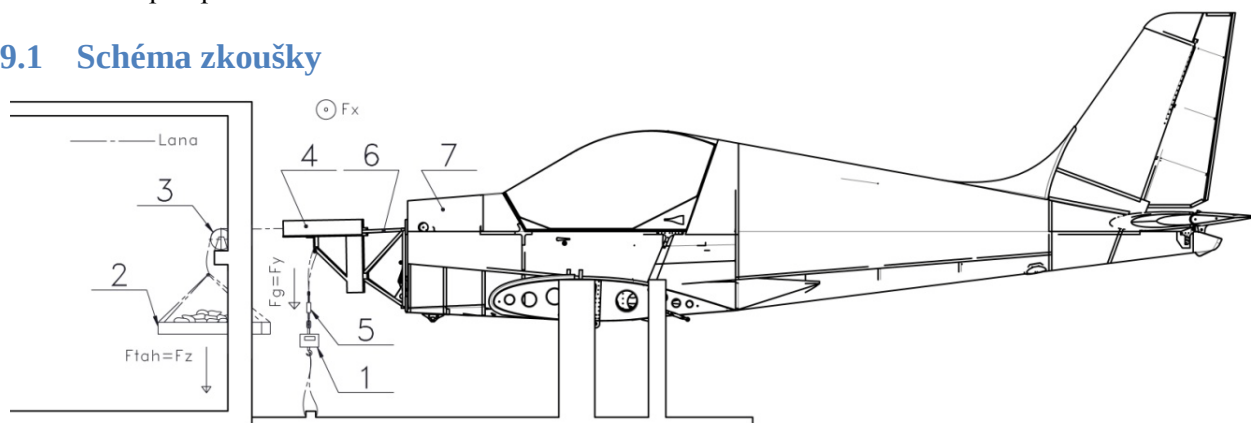
Obrázek 8.7 - Instalace motoru R-914 UL pohled zprava [37]



9 Návrh zkoušky motorového lože

V této kapitole bude vysvětlen postup zkoušky motorového lože, pro všechny případy zatížení dle předpisu UL2-I.část.

9.1 Schéma zkoušky



1 - Váha s přesností 1kg

2 - Vozík se závažím

3 - Kladka

4 - Maketa motoru ($m=27,8\text{kg}$)

5 - Napínák (vyvození síly F_y)

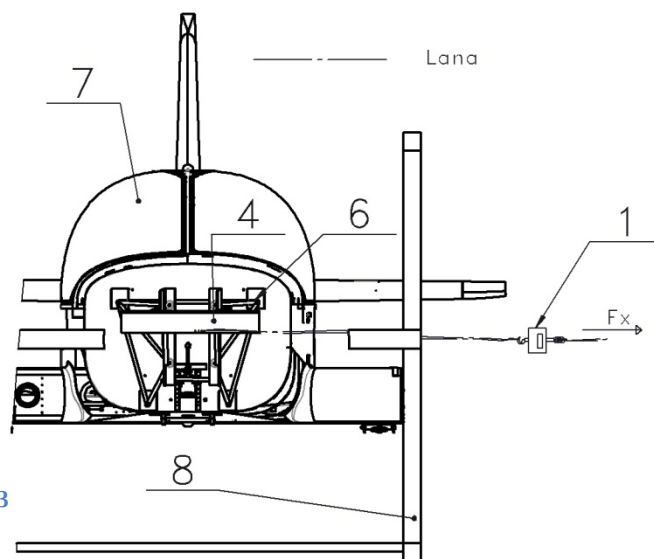
6 - Motorové lože

7 - Zkouškový trup letounu SL 400

Obrázek 9.1 - schéma zkoušky mot. lože pro případ 1 a 2

Případ 1 a 2

- Tahová síla F_{TAH} je vyvozena závažím na vozíku (2), které je přes kladku (3) upevněno k maketě motoru (4). Závaží je předem zváženo a poté naskládáno na vozík.
- Síla od násobku F_y je vyvozena utahováním napínáku (5), síla je odečítána v kg na váze (1).
- Kroutící moment M_K je vyvozen silou F_y působící na rameni r uvedené v Tabulka 9.2 a Tabulka 9.3



1 - Váha s přesností 1kg

4 - Maketa motoru ($m=27,8\text{kg}$)

6 - Motorové lože

7 - Zkouškový trup letounu SL 400

8 - Stojan

Obrázek 9.2- schéma zkoušky mot. lože pro případ 3

Případ 3

- Boční zatížení F_x je vyvozeno do strany, opět je použita váha (1) pro správné určení síly, síla F_x působí ze stejného místa na maketě motoru (4) jako síla F_y .



9.2 Návrh zatížení reálné zkoušky

Zkouška bude vždy probíhat tak, že se připraví pro určitý případ a následně se motorové lože zatěžuje na provozní zatížení, zde by neměla vzniknout viditelná trvalá deformace. Poté se motorové lože odlehčí a znovu se zatěžuje, tentokrát až do početního zatížení. Při početním zatížení už může vzniknout viditelná trvalá deformace, nicméně motorové lože musí zůstat funkční.

Motorové lože je třeba vyzkoušet pro tři následující případy:

Případ 1:

Tento případ definuje předpis UL2-I.část, ve všech hodnotách převládá zatížení od motoru R-914UL, tudíž nám bude stačit odzkoušet lože na tato zatížení, které bude dostačující pro oba typy motorů.

Případ 2:

Tento případ definuje předpis UL2-I.část, ve všech hodnotách převládá zatížení od motoru R-914UL, tudíž nám bude stačit odzkoušet lože na tato zatížení, které bude dostačující pro oba typy motorů.

Případ 3:

Tento případ definuje předpis UL2-I.část, ve všech hodnotách převládá zatížení od motoru R-914UL, tudíž nám bude stačit odzkoušet lože na tato zatížení, které bude dostačující pro oba typy motorů.

Tabulka 9.1 - případy zatížení

		Provozní zatížení	Početní zatížení	
Případ 1	<i>Tah</i>	2076,2	3114,3	N
	<i>Setrvačná síla</i>	2972,5	4458,75	N
	<i>Krouticí moment</i>	675,4	1013,1	Nm
Případ 2	<i>Tah</i>	1805,9	2708,85	N
	<i>Setrvačná síla</i>	3931,8	5897,7	N
	<i>Krouticí moment</i>	620,4	930,6	Nm
Případ 3	<i>Boční síla</i>	1310,6	1965,9	N



9.2.1 Přepoččet zatěžujících sil a momentu na zatížení v kg

Hmotnosti částí systému použitých při zkoušce ovlivňující výsledné zatížení:

Hmotnost váhy	$m_{váha}$	3	kg	$F_{G_{váha}}$	29,4	N
Hmotnost makety	m_{maketa}	27,8	kg	$F_{G_{maketa}}$	272,7	N

Početní=1,5·provozní

Případ 1

Provozní zatížení

$F_Z =$	2076,17	[N]	Dopředná tahová síla
$F_Y =$	2972,5	[N]	Svislá setrvačná síla působící na pohonnou jednotku v jejím těžišti
$M_K =$	675,54	[Nm]	Krouticí moment od motoru
$\frac{F_Z}{g} =$	211,64	[kg]	Dopředná zátěž při zkoušce
$F_{Y_{zk}} =$	2670,4	[N]	Svislá zatěžovací síla při zkoušce ($F_{Y_{zk}} = F_Y - F_{G_{váha}} - F_{G_{maketa}}$)
$\frac{F_{Y_{zk}}}{g} =$	272,21	[kg]	Svislá zátěž při zkoušce
$r =$	0,25	[m]	Vyosení svislé síly ($r = \frac{M_K}{F_Y - F_{G_{maketa}}}$)

Početní hodnoty

$F_Z =$	3114,26	[N]	Dopředná tahová síla
$F_Y =$	4458,8	[N]	Svislá setrvačná síla působící na pohonnou jednotku v jejím těžišti
$M_K =$	1013,31	[Nm]	Krouticí moment od motoru
$\frac{F_Z}{g} =$	317,46	[kg]	Dopředná zátěž při zkoušce
$F_{Y_{zk}} =$	4156	[N]	Svislá zatěžovací síla při zkoušce ($F_{Y_{zk}} = F_Y - F_{G_{váha}} - F_{G_{maketa}}$)
$\frac{F_{Y_{zk}}}{g} =$	423,72	[kg]	Svislá zátěž při zkoušce
$r =$	0,24	[m]	Vyosení svislé síly ($r = \frac{M_K}{F_Y - F_{G_{maketa}}}$)

Případ 2

Provozní zatížení

$F_Z =$	1805,9	[N]	Dopředná tahová síla
$F_Y =$	3931,8	[N]	Svislá setrvačná síla působící na pohonnou jednotku v jejím těžišti
$M_K =$	620,4	[Nm]	Krouticí moment od motoru
$\frac{F_Z}{g} =$	184,1	[kg]	Dopředná zátěž při zkoušce
$F_{Y_{zk}} =$	3629,7	[N]	Svislá zatěžovací síla při zkoušce ($F_{Y_{zk}} = F_Y - F_{G_{váha}} - F_{G_{maketa}}$)
$\frac{F_{Y_{zk}}}{g} =$	370	[kg]	Svislá zátěž při zkoušce
$r =$	0,17	[m]	Vyosení svislé síly ($r = \frac{M_K}{F_Y - F_{G_{maketa}}}$)

Početní hodnoty

$F_Z =$	2708,85	[N]	Dopředná tahová síla
$F_Y =$	5897,7	[N]	Svislá setrvačná síla působící na pohonnou jednotku v jejím těžišti
$M_K =$	930,6	[Nm]	Krouticí moment od motoru
$\frac{F_Z}{g} =$	276,13	[kg]	Dopředná zátěž při zkoušce
$F_{Y_{zk}} =$	5596,6	[N]	Svislá zatěžovací síla při zkoušce ($F_{Y_{zk}} = F_Y - F_{G_{váha}} - F_{G_{maketa}}$)
$\frac{F_{Y_{zk}}}{g} =$	570,40	[kg]	Svislá zátěž při zkoušce
$r =$	0,165	[m]	Vyosení svislé síly ($r = \frac{M_K}{F_Y - F_{G_{maketa}}}$)



Případ 3

Provozní zatížení

$F_x =$ 1310,6 [N]

Boční setrvačná síla působící na pohonnou jednotku v jejím těžišti

Početní zatížení

$F_y =$ 1965,9 [N]

$F_y = 200,39 \text{ kg}$

Tabulka 9.2 - zatížení pro zkoušku v [N]

	Případ 1			Případ 2			Případ 3	
	Provozní [N]	Početní [N]	r [m]	Provozní [N]	Početní [N]	r [m]	Provozní [N]	Početní [N]
F_z	2076,17	3114,26	-	1805,9	2708,85	-	-	-
F_y	2972,5	4458,8	0,24	3931,8	5897,7	0,17	-	-
F_x	-	-	-	-	-	-	1310,6	1965,9

Tabulka 9.3 - zatížení pro zkoušku v [kg] $g=9,81 \text{ m/s}^2$

	Případ 1			Případ 2			Případ 3	
	Provozní [kg]	Početní [kg]	r [m]	Provozní [kg]	Početní [kg]	r [m]	Provozní [kg]	Početní [kg]
F_z	211,6	317,45	-	184,1	276,13	-	-	-
F_y	303	454,52	0,24	400,8	601,2	0,17	-	-
F_x	-	-	-	-	-	-	133,6	200,4



10 Závěr

MKP analýzou a výpočtem na vzpěr bylo dokázáno, že konstrukce motorového lože bude schopna přenést zatížení, která lze očekávat od zastavěných motorů. Výpočtem šroubů držících motorové lože na motorové přepážce, se potvrdilo že šrouby M10 8.8 jsou plně vyhovující. Spočtený potřebný utahovací moment, který je důležitý k dostatečnému předpětí nosných šroubů, $M_{\text{utah}}=11.76\text{Nm}$. Velká část věnovaná zástavbě motoru dle schémat výrobce motoru, firmy ROTAX, je nedílnou součástí reálné zástavby v letounu Skylader 400, samozřejmě jsem se snažil aby změny na částech letounu byli minimální a aby žádná součást na motorovém loži včetně motoru nekolidovala s motorovým krytem.

Dle přiložené výkresové dokumentace a 3D modelu motorového lože i celé zástavby bude možné toto lože vyrobit a odzkoušet dle návrhu zkoušky motorového lože, která je v souladu s předpisem "UL2-I. část" a kulturou společnosti Jihlavan airplanes s.r.o. Nicméně motorové lože nebylo v termínu odevzdání této práce vyrobeno.



11 Seznam použitých značek a zkratek

symbol	jednotky	význam symbolu
a	[1/rad]	sklon křivky vztlaku křídla
$C_{y\max 35^\circ}$	[-]	maximální součinitel vztlaku s vysunutými klapkami
d	[mm]	malý průměr trubky
D	[mm]	velký průměr trubky
E	[GPa]	Youngův modul (modul pružnosti v tahu)
F_B	[N]	boční síla
F_{B3}	[N]	boční síla případ 3
F_{G1}	[N]	tíhová síla případ 1
F_{G2}	[N]	tíhová síla případ 2
F_i	[N]	síla předpětí ve šroubech
F_{T1}	[N]	tahová síla
F_{T1}	[N]	tahová síla případ 1
F_{T2}	[N]	tahová síla případ 2
F_x	[N]	celková boční síla
F_y	[N]	celková tíhová síla
F_z	[N]	celková tahová síla
g	[m/s ²]	gravitační/tíhové zrychlení
G_A	[N]	setrvačná síla při 100% násobku v bodě A
G_{A75}	[N]	setrvačná síla při 75% násobku v bodě A
i	[-]	trvalý převod reduktoru
k	[-]	zmírňující součinitel; koeficient pro kroutící moment; součinitel bezpečnosti
l_1	[mm]	délka trubky
L_{red}	[mm]	redukováná délka trubky
m	[kg]	hmotnost letounu
Mk	[Nm]	početní kroutící moment
Mk_{C1P}	[N]	kroutící moment případ 1
Mk_{C2P}	[N]	kroutící moment případ 2
Mk_{max}	[Nm]	kroutící moment při max. otáčkách motoru
Mk_{motor}	[Nm]	kroutící moment od motoru
Mk_{trv}	[Nm]	kroutící moment při max. trvalých otáčkách motoru
Mk_{ut}	[Nm]	utahovací moment
m_{mot}	[kg]	hmotnost motoru včetně výfuku, karburátorů, startéru atd.
m_{TOW}	[kg]	maximální vzletová hmotnost
m_{vrt}	[kg]	hmotnost vrtule včetně kuželu a prostavení
n	[-]	součinitel pro kroutící moment
n_1	[-]	maximální násobek při rychlosti VA
n_b	[-]	násobek při bočním zatížení
$n_{vrtulet}$	[1/min]	otáčky vrtule při maximálním trvalém výkonu



$n_{vrtulev}$	[1/min]	otáčky vrtule při vzletovém výkonu
P_{trv}	[kW]	maximální trvalý výkon
P_{vzl}	[kW]	vzletový výkon
R_e	[MPa]	mez kluzu v tahu/tlaku
R_m	[MPa]	mez pevnosti v tahu/tlaku
r_{max}	[1/min]	maximální otáčky
r_{trv}	[1/min]	maximální trvalé otáčky
S	[m ²]	plocha křídla
U	[-]	rychlost poryvu
v	[m/h]	rychlost letu
V_A	[km/h]	návrhová rychlost obratu
V_C	[km/h]	rychlost při 75% výkonu
V_D	[km/h]	maximální návrhová rychlost
V_F	[km/h]	návrhová rychlost letu s vysunutými klapkami
V_{NE}	[km/h]	nepřekročitelná rychlost
V_{S0}	[km/h]	pádová rychlost s maximální hmotností při vysunutých klapkách
V_{S1}	[km/h]	pádová rychlost s maximální hmotností při zasunutých klapkách
V_{SZ}	[km/h]	minimální rychlost při záporném násobku
μ	[-]	relativní hmotnostní poměr letounu
α	[-]	součinitel pro výpočet vzpěrné stability
δ	[°]	úhel náběhu
η_{vrt}	[-]	účinnost vrtule
ρ	[kg/m ³]	hustota vzduchu
ρ_0	[kg/m ³]	hustota vzduchu



12 Seznam použitých zdrojů

- [1] Overview skyleader 400. Skyleader [online]. © 2014 [cit. 2017-02-09] Dostupné z: <http://skyleader.aero/skyleader-400>
- [2] Skyleader 400. Skyleader [online]. © 2017 [cit. 2017-05-10] Dostupné z: <http://www.skyleader.aero/skyleader-400/>
- [3] Rotax 912 UL. Teveso [online]. © 2016 [cit. 2017-01-02] Dostupné z: <http://teveso.cz/motory/ctyrtaktni-necertifikovane/rotax-912-ul/>
- [4] Rotax 912 ULS. Teveso [online]. © 2016 [cit. 2017-01-02] <http://teveso.cz/motory/ctyrtaktni-necertifikovane/rotax-912-uls/>
- [5] Instalace nového motoru ROTAX 912 iS. Rokospol aviation [online]. 2012 [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: <http://roko.rabbitdesign.cz/?topic=instalace-noveho-motoru-rotax-912-is>
- [6] Engine torque (Mogas, No hydraulic governor). Rotec [online]. 2012 [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: <http://www.rotec.com/images/127.jpg>
- [7] Fuel consumption and fuel costs vs. 912iS sport. Rotec [online]. 2012 [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: <http://www.rotec.com/images/119.jpg>
- [8] Kroutící moment Rotax 914 UL. Teveso [online]. 2012 [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: <http://teveso.cz/motory/ctyrtaktni-necertifikovane/rotax-914-ul/#tabs-deeplink-2>
- [9] Spotřeba paliva Rotax 914 UL. Teveso [online]. 2012 [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: <http://teveso.cz/motory/ctyrtaktni-necertifikovane/rotax-914-ul/#tabs-deeplink-2>
- [10] Rotax 914 iS. Teveso [online]. 2012 [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: <http://teveso.cz/motory/ctyrtaktni-necertifikovane/rotax-912-is-sport/>
- [11] Rotax 914 UL. Teveso [online]. 2012 [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: <http://teveso.cz/motory/ctyrtaktni-necertifikovane/rotax-914-ul/>
- [12] Skyleader 500. Skyleader [online]. 2017 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://www.skyleader.aero/skyleader-500/>
- [13] Skyleader 500. Skyleader [online]. 2017 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://www.skyleader.aero/wp-content/uploads/2017/02/imageskyleader-500a.png>
- [14] Skyleader 600. Skyleader [online]. 2017 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://www.skyleader.aero/skyleader-600/>
- [15] Skyleader 600. Skyleader [online]. 2017 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://www.skyleader.aero/wp-content/uploads/2017/02/imageskyleader-600a.png>
- [16] KASPER, Joakim. MQ–1 Predator / MQ–9 Reaper In: fi-aeroweb.com [online]. 27.6.2016 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://www.fi-aeroweb.com/Defense/MQ-1-Predator-MQ-9-Reaper.html>



- [17] Predator 3D model. Cgtrader [online]. 2017 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <https://img-new.cgtrader.com/items/3702/1fa7b85914/predator-3d-model-max.png>
- [18] Atec 321 faeta. Atecaircraft [online]. 2017 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://www.atecaircraft.eu/letadla/faeta/>
- [19] Atec 321 faeta. Atec-adriatica [online]. 2017 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://www.atec-adriatica.si/wp-content/themes/blankleftsidebar/images/faeta.png>
- [20] UL2-I.část [online]. Upravené vydání Praha: Letecká amatérská asociace ČR, 17.10.2002. str. 13-14 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.laacr.cz/SiteCollectionDocuments/predpisy/UL2-I.pdf>
- [21] UL2-I.část [online]. Upravené vydání Praha: Letecká amatérská asociace ČR, 17.10.2002. str. 14 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.laacr.cz/SiteCollectionDocuments/predpisy/UL2-I.pdf>
- [22] UL2-I.část [online]. Upravené vydání Praha: Letecká amatérská asociace ČR, 17.10.2002. str. 14 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.laacr.cz/SiteCollectionDocuments/predpisy/UL2-I.pdf>
- [23] UL2-I.část [online]. Upravené vydání Praha: Letecká amatérská asociace ČR, 17.10.2002. str. 14 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.laacr.cz/SiteCollectionDocuments/predpisy/UL2-I.pdf>
- [24] Jihlavan Airplanes s.r.o: součinitel vztlaku
- [25] UL2-I.část [online]. Upravené vydání Praha: Letecká amatérská asociace ČR, 17.10.2002. str. 15 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.laacr.cz/SiteCollectionDocuments/predpisy/UL2-I.pdf>
- [26] UL2-I.část [online]. Upravené vydání Praha: Letecká amatérská asociace ČR, 17.10.2002. str. 15-16 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.laacr.cz/SiteCollectionDocuments/predpisy/UL2-I.pdf>
- [27] Jihlavan Airplanes s.r.o: plocha křídla
- [28] Jihlavan Airplanes s.r.o: hmotnosti komponentů
- [29] Jihlavan Airplanes s.r.o: INSTALLATION MANUAL FOR ROTAX ENGINE 912 i SERIES 72-00-00 page 3.
- [30] Jihlavan Airplanes s.r.o: 3D model lože Rotax
- [31] Jihlavan Airplanes s.r.o: 3D model motoru Rotax 912iS a motorové přepážky SL 400
- [32] Jihlavan Airplanes s.r.o: 3D model kování



- [33] SHIGLEY, E. Joseph a MISCHKE, R. Charles a BUDYNAS, R. Richard. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Nakladatelství VUTIUM, 2010. 1163 s. ISBN 978-80-214-2629-0
- [34] Jihlavan Airplanes s.r.o: 3D model silentbloku
- [35] Jihlavan Airplanes s.r.o: graf vzpěrné pevnosti
- [36] Jihlavan Airplanes s.r.o: 3D model palivového kohoutu
- [37] Jihlavan Airplanes s.r.o: 3D model motoru Rotax 914UL a motorové přepážky SL 400
- [38] Jihlavan Airplanes s.r.o: INSTALLATION MANUAL FOR ROTAX ENGINE 912 i SERIES 73-00-00 page 3
- [39] Jihlavan Airplanes s.r.o: INSTALLATION MANUAL FOR ROTAX ENGINE 912 i SERIES 79-00-00 page 4
- [40] Jihlavan Airplanes s.r.o: INSTALLATION MANUAL FOR ROTAX ENGINE 912 i SERIES 75-00-00 page 4
- [41] Jihlavan Airplanes s.r.o: INSTALLATION MANUAL FOR ROTAX ENGINE 914 SERIES page 84
- [42] Jihlavan Airplanes s.r.o: INSTALLATION MANUAL FOR ROTAX ENGINE 914 SERIES page 65
- [43] Jihlavan Airplanes s.r.o: INSTALLATION MANUAL FOR ROTAX ENGINE 914 SERIES page 43



13 Seznam tabulek

Tabulka 2.1 - porovnání motorů R-912UL/ULS [3] [4].....	15
Tabulka 2.2 - porovnání motorů R-914iS/914UL [10] [11].....	17
Tabulka 2.3 - specifikace Skylader 500 [12].....	18
Tabulka 2.4 - specifikace Skylader 600 [14].....	18
Tabulka 2.5 - specifikace General Atomics MQ-1B Predator [16].....	19
Tabulka 2.6 - specifikace ATEC 321 FAETA [18].....	19
Tabulka 4.1 - součinitele "n" pro výpočet kroutícího momentu [26].....	24
Tabulka 4.2 - Hmotový rozbor 912iS [10] [28]	25
Tabulka 4.3 - hmotový rozbor 914UL [28]:.....	27
Tabulka 4.4 - MKP analýza maximální napětí.....	32
Tabulka 5.1 - Výsledné síly ve šroubech a jejich utahovací moment	36
Tabulka 9.1 - případy zatížení.....	50
Tabulka 9.2 - zatížení pro zkoušku v [N].....	52
Tabulka 9.3 - zatížení pro zkoušku v [kg] $g=9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$	52

14 Seznam obrázků

Obrázek 1.1 - souřadný systém.....	13
Obrázek 1.2 - Skylader 400 [2].....	14
Obrázek 2.1 - motor 912UL [3].....	15
Obrázek 2.2 - motor 912ULS [4].....	15
Obrázek 2.4 - spotřeba [7]	16
Obrázek 2.3 - graf kroutícího momentu [6].....	16
Obrázek 2.5 - graf spotřeby paliva [9].....	16
Obrázek 2.6 - graf kroutícího momentu [8].....	16
Obrázek 2.7 - motor R-912iS [10].....	17
Obrázek 2.8 - motor R-914UL [11].....	17
Obrázek 2.9 - Skylader 500 [13].....	18
Obrázek 2.10 - Skylader 600 [15].....	18
Obrázek 2.11 - General Atomics MQ-1B Predator [17].....	19
Obrázek 2.12 - ATEC 321 FAETA [19].....	19
Obrázek 3.1 - schéma letové obálky z předpisu UL2 - I. část [21].....	20
Obrázek 3.2 - letová obálka	23
Obrázek 4.1 - body uchycení motorového lože	29
Obrázek 4.2 - těžiště motoru R-912iS and R-914UL [29].....	29
Obrázek 4.3 - MKP napětí	30
Obrázek 4.4 - MKP posunutí	30
Obrázek 4.5 - MKP napětí	31
Obrázek 4.6 - MKP posunutí	31
Obrázek 4.7 - MKP posunutí	32
Obrázek 4.8 - MKP napětí	32
Obrázek 5.1 - lože ROTAX [30]	33
Obrázek 5.2 - motorové lože R-912iS/R-914UL	33
Obrázek 5.3 - zástavba motoru [31].....	33
Obrázek 5.4 - zástavba motoru [31].....	33
Obrázek 5.5- uchycení lože k motorové přepážce [31] [32].....	34
Obrázek 5.6 - rozměry uložení [32].....	34
Obrázek 5.7 - detail uložení [32]	34
Obrázek 5.8 - kování [32].....	34



Obrázek 5.9 - schéma sil zatěžujících šrouby	35
Obrázek 5.10 - rozklad spojení motorového lože a lože Rotax [31] [34]	37
Obrázek 5.11 - Detail spojení motorového lože a lože ROTAX [30] [31]	37
Obrázek 6.1 - graf vzpěrné stability ocelových trubek [35]	39
Obrázek 7.1 - dvojitý palivový ventil [36]	40
Obrázek 7.2 - dvojitý palivový ventil [36]	40
Obrázek 7.3 - jednoduchý palivový ventil [36]	40
Obrázek 7.4 - jednoduchý palivový ventil [36]	40
Obrázek 7.5 - Palivová instalace [36]	41
Obrázek 7.6 - Palivová instalace v letounu [31]	41
Obrázek 7.7 - mazací okruh v letounu [31]	42
Obrázek 7.8 - Chladicí okruh v letounu [31]	43
Obrázek 7.9 - instalace motoru R-912iS [31]	44
Obrázek 7.10 - instalace motoru R-912iS [31]	44
Obrázek 8.1 - palivová instalace R-912iS v prostoru kabiny [36]	45
Obrázek 8.2 - Palivová instalace 914UL [31]	45
Obrázek 8.3 - Mazací okruh v letounu [31]	46
Obrázek 8.4 - Chladicí okruh v letounu [37]	47
Obrázek 8.5 - Chladicí okruh v letounu [37]	47
Obrázek 8.6 - Instalace motoru R-914UL pohled zleva [37]	48
Obrázek 8.7 - Instalace motoru R-914 UL pohled zprava [37]	48
Obrázek 9.1 - schéma zkoušky mot. lože zleva	49
Obrázek 9.2- schéma zkoušky mot. lože zepředu	49

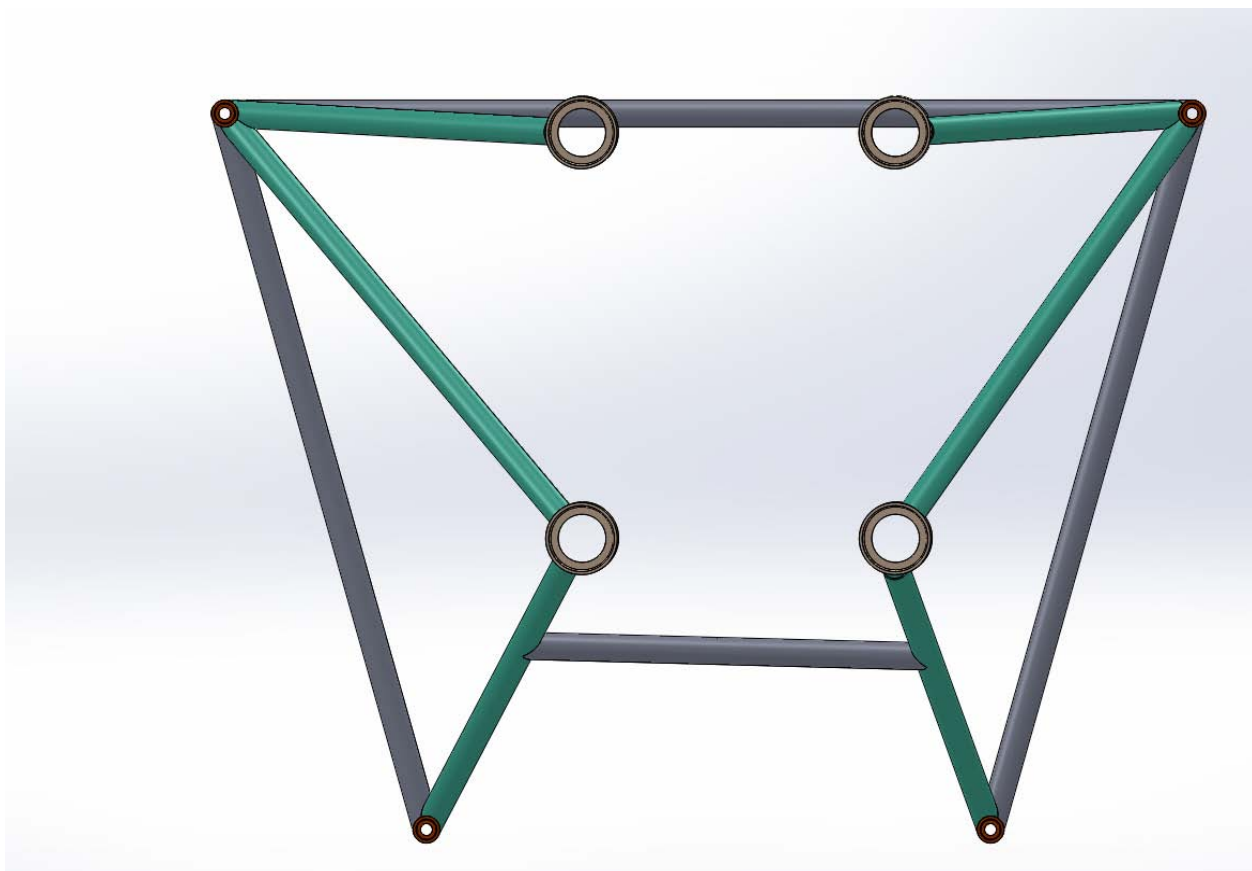




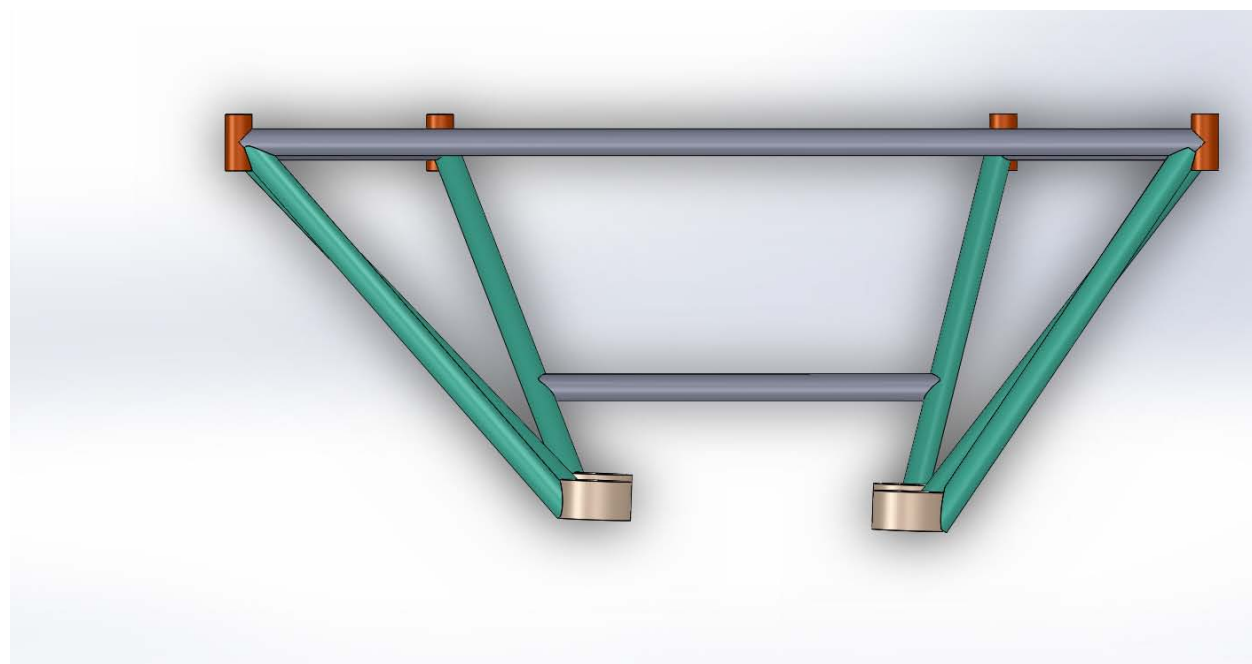
15 Seznam příloh

1	MOTOROVÉ LOŽE	64
2	MOTOROVÉ LOŽE ROTAX.....	65
3	VÝPOČET ŠROUBŮ	66
4	SCHÉMA PALIVOVÉHO VEDENÍ R-912IS [38].....	75
5	SCHÉMA MAZACÍHO OKRUHU V KLASICKÉM TAŽNÉM USPOŘÁDÁNÍ R-912IS [39]	76
6	SCHÉMA CHLADÍČÍHO OKRUHU R-912IS [40].....	77
7	SCHÉMA PALIVOVÉHO INSTALACE R-914UL [41]	78
8	PALIVOVÁ INSTALACE R-914UL SHORA [37]	79
9	SCHÉMA MAZACÍHO OKRUHU R-914UL [42].....	80
10	SCHÉMA CHLADÍČÍHO OKRUHU R-914UL [43]	81

1 Motorové lože



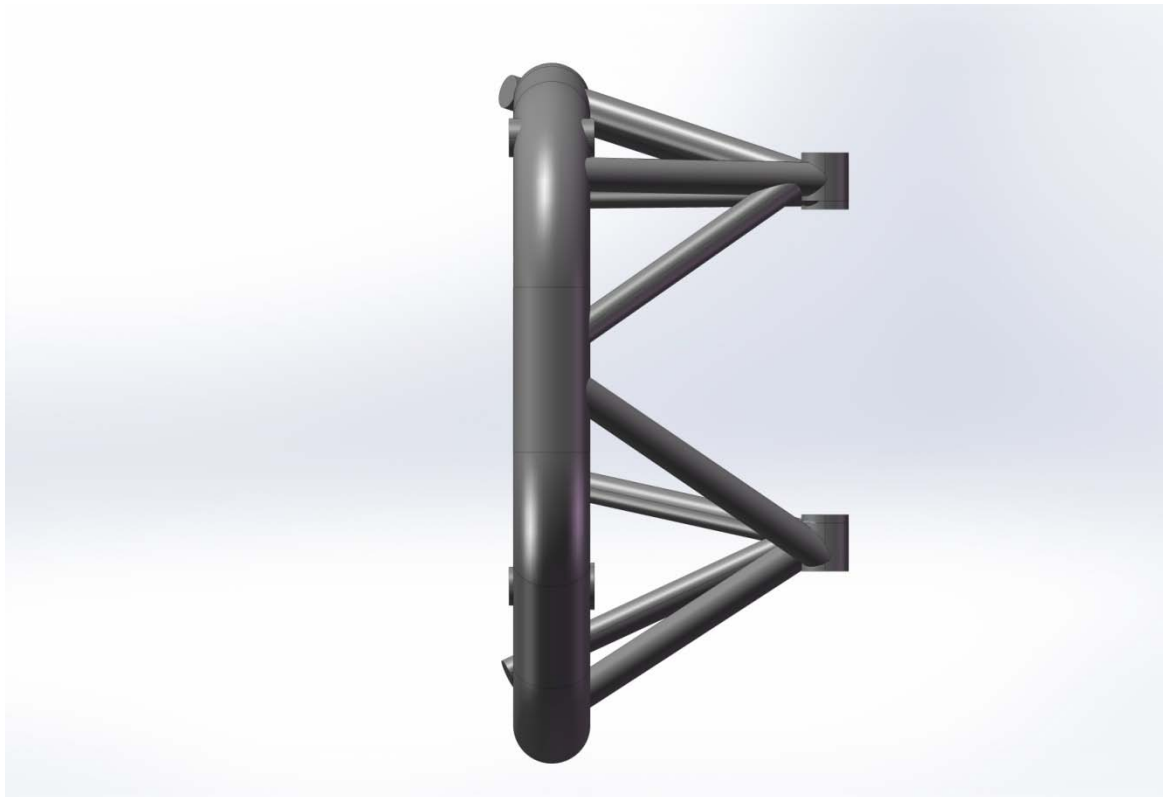
1.2 - motorové lože pohled zepředu



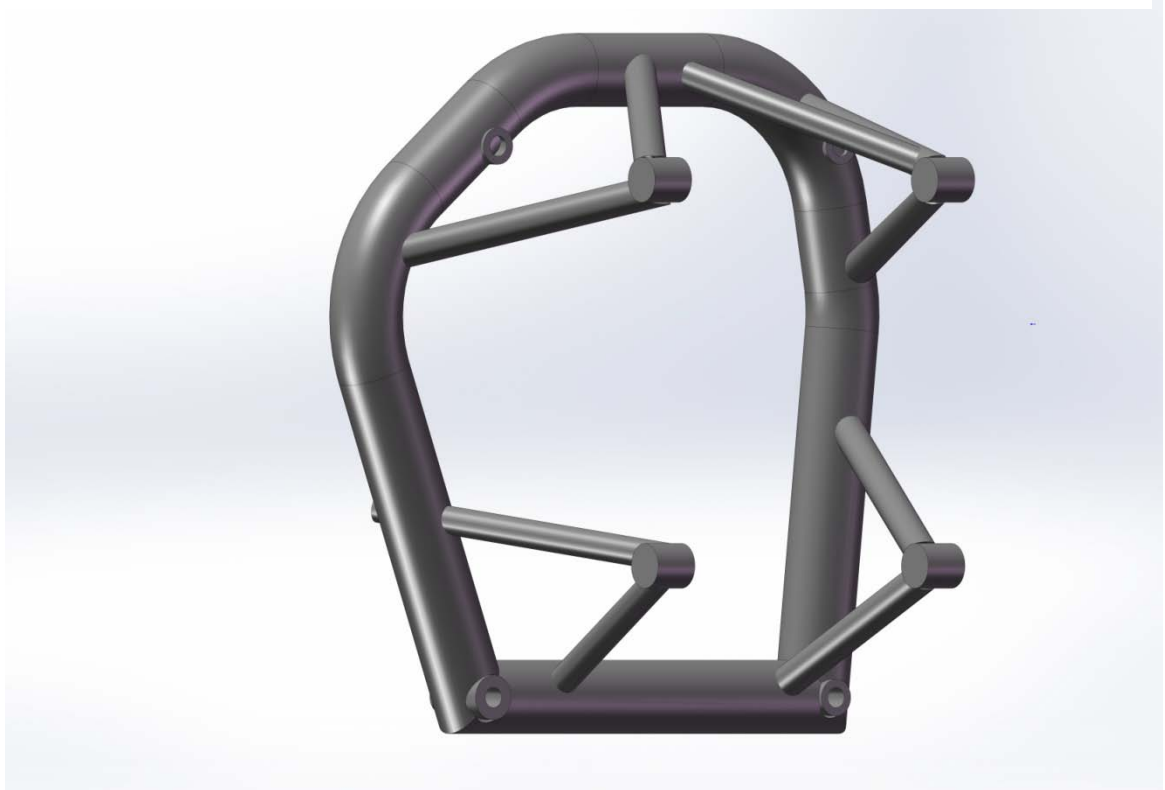
1.1 - motorové lože pohled shora



2 Motorové lože rotax



2.1 - motorové lože rotax shora [30]



2.2 - motorové lože rotax [30]



3 Výpočet šroubů

Výpočet šroubů a utahovacího momentu

Vstupní hodnoty:

$E := 207\text{GPa}$	Modul pružnosti v tahu
$R_m := 800\text{MPa}$	Mez pevnosti v tahu
$R_e := 640\text{MPa}$	Mez kluzu
$F_y := 4458.75\text{N}$	dolu
$F_x := 0\text{N}$	vlevo i vpravo
$M_k := 1013.1\text{N}\cdot\text{m}$	z pohledu pilota se vrtule točí ve směru hodinových ručiček
$F_z := 3114.3\text{N}$	ve směru letu

$$4 \times \text{šroub M10 třídy 8.8} \quad D := 10\text{mm} \quad A_s := 58\text{mm}^2 \quad S_{\text{šroubu}} := \pi \cdot \frac{D^2}{4} = 78.54 \cdot \text{mm}^2$$

Případ 1

Síly ve šroubech od F_x

v ose x - smyk

y-polygonové vzdálenosti:

$$l_{Fx} := 102\text{mm}$$

$$l_{Fc} := 476.3\text{mm}$$

$$F_{CxFx} := \frac{F_x \cdot l_{Fx}}{2 \cdot l_{Fc}} = 0\text{N}$$

vyjádřeno z rovnice $M_z A = 0$

$$F_{AxFx} := \frac{F_x}{2} - F_{CxFx} = 0$$

$$F_{BxFx} := F_{AxFx} = 0$$

$$F_{DxFx} := F_{CxFx} = 0$$



v ose z - tah

$$l_1 := 135\text{mm}$$

$$l_2 := 512.6\text{mm}$$

$$l_3 := 647.6\text{mm}$$

$$l_f := 498.54\text{mm}$$

$$M_{F_x} := F_x \cdot l_f = 0 \cdot \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$F_{BzFx} := M_{F_x} \cdot \frac{l_3}{l_1^2 + l_2^2 + l_3^2} = 0$$

$$F_{CzFx0} := F_{BzFx} \cdot \frac{l_1}{l_3} = 0$$

$$F_{DzFx} := F_{BzFx} \cdot \frac{l_2}{l_3} = 0$$

jelikož může nastat boční zatížení na druhou stranu, budu uvažovat větší hodnotu z vrchních šroubů A a B a spodních šroubů C a D, tyto dvě síly budou symetrické

tedy například

$$F_{AzFx} := F_{BzFx} = 0$$

$$F_{CzFx} := F_{DzFx} = 0$$

Síly ve šroubech od F_y

v ose y - smyk

x-ové vzdálenosti

$$l_{F_y} := 331.75\text{mm}$$

$$l_{F_{cx}} := (2 \cdot 323.9 - 135)\text{mm}$$

$$F_{DyFy} := \frac{F_y \cdot l_{F_y}}{2 \cdot l_{F_{cx}}} = 1.442 \times 10^3 \text{ N}$$

vyjádřeno z rovnice $M_{zA}=0$

$$F_{AyFy} := \frac{F_y}{2} - F_{DyFy} = 787.107 \text{ N}$$

$$F_{ByFy} := F_{AyFy} = 787.107 \text{ N}$$

$$F_{CyFy} := F_{DyFy} = 1.442 \times 10^3 \text{ N}$$

**v ose z - tah**

$$l_4 := 476.3\text{mm}$$

Výpočet osových sil ve šroubech dle Shigleyho str. 483

$$l_5 := 498.54\text{mm}$$

$$i_s := 2$$

$$M_{Fy} := F_y \cdot l_5 = 2.223 \times 10^6 \cdot \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$F_{AzFy} := \frac{M_{Fy}}{i_s} \cdot \frac{l_4}{l_4^2} = 2.333 \times 10^3 \text{ N}$$

vypočteno z rovnosti momentů $M_x A$

$$F_{BzFy} := F_{AzFy} = 2.333 \times 10^3 \text{ N}$$

Smykové síly ve šroubech od M_k předpokládám že se šrouby na zachycení M_k podílejí rovnoměrně

$$l_A := 324.28\text{mm}$$

vzdálenost M_k od bodu A a B

$$l_B := 497.83\text{mm}$$

vzdálenost M_k od bodu C a D

$$F_{Axy} := \frac{M_k}{4 \cdot l_A} = 781.038 \text{ N}$$

$$\alpha := \tan\left(\left(\frac{15.7}{323.9}\right)\right) = 2.779 \cdot \text{deg}$$

uhel mezi F_{Axy} a osou y

$$F_{Bxy} := F_{Axy} = 781.038 \text{ N}$$

každá tato síla působí pod jiným úhlem !!!

$$F_{Cxy} := \frac{M_k}{4 \cdot l_B} = 508.758 \text{ N}$$

$$\beta := \tan\left(\frac{323.9 - 135}{476.3 - 15.7}\right) = 24.911 \cdot \text{deg}$$

uhel mezi F_{Cxy} a osou x

$$F_{Dxy} := F_{Cxy} = 508.758 \text{ N}$$

každá tato síla působí pod jiným úhlem

Tudíž smykové síly ve šroubech po rozložení do složek x a y jsou

$$F_{AyMk} := \cos(\alpha) \cdot F_{Axy} = 780.119 \text{ N}$$

$$F_{AxMk} := \sin(\alpha) \cdot F_{Axy} = 37.873 \text{ N}$$

$$F_{ByMk} := -\cos(\alpha) \cdot F_{Bxy} = -780.119 \text{ N}$$

$$F_{BxMk} := \sin(\alpha) \cdot F_{Bxy} = 37.873 \text{ N}$$

$$F_{CyMk} := \sin(\beta) \cdot F_{Cxy} = 214.29 \text{ N}$$

$$F_{CxMk} := -\cos(\beta) \cdot F_{Cxy} = -461.427 \text{ N}$$

$$F_{DyMk} := -\sin(\beta) \cdot F_{Dxy} = -214.29 \text{ N}$$

$$F_{DxMk} := -\cos(\beta) \cdot F_{Dxy} = -461.427 \text{ N}$$



Tahové síly ve šroubech od síly F_z -tahové síly

$$l_{Ft} := 15.7\text{mm}$$

$$l_{Fcy} := 476.3\text{mm}$$

$$F_{CzFz} := \frac{F_z \cdot l_{Ft}}{2 \cdot l_{Fcy}} = 51.327\text{ N}$$

$$F_{DzFz} := F_{CzFz} = 51.327\text{ N}$$

$$F_{AzFz} := \left(\frac{F_z}{2} \right) - F_{CzFz} = 1.506 \times 10^3\text{ N}$$

$$F_{BzFz} := F_{AzFz} = 1.506 \times 10^3\text{ N}$$

Výsledné složky sil v jednotlivých šroubech

Síly ve šroubu A

$$F_{Ax} := F_{AxFx} + F_{AxMk} = 37.873\text{ N}$$

$$F_{Ay} := F_{AyFy} + F_{AyMk} = 1.567 \times 10^3\text{ N}$$

$$F_{Az} := F_{AzFx} + F_{AzFy} + F_{AzFz} = 3.839 \times 10^3\text{ N}$$

Síly ve šroubu B

$$F_{Bx} := F_{BxFx} + F_{BxMk} = 37.873\text{ N}$$

$$F_{By} := F_{ByFy} + F_{ByMk} = 6.988\text{ N}$$

$$F_{Bz} := F_{BzFx} + F_{BzFy} + F_{BzFz} = 3.839 \times 10^3\text{ N}$$

Síly ve šroubu C

$$F_{Cx} := F_{CxFx} + F_{CxMk} = -461.427\text{ N}$$

$$F_{Cy} := F_{CyFy} + F_{CyMk} = 1.657 \times 10^3\text{ N}$$

$$F_{Cz} := F_{CzFx} + F_{CzFz} = 51.327\text{ N}$$

Síly ve šroubu D

$$F_{Dx} := F_{DxFx} + F_{DxMk} = -461.427\text{ N}$$

$$F_{Dy} := F_{DyFy} + F_{DyMk} = 1.228 \times 10^3\text{ N}$$

$$F_{Dz} := F_{DzFx} + F_{DzFz} = 51.327\text{ N}$$

**Výsledné síly ve šroubech**

$$F_{Ast\emptyset ih} := \sqrt{F_{Ax}^2 + F_{Ay}^2} = 1.568 \times 10^3 \text{ N}$$

$$F_{Bst\emptyset ih} := \sqrt{F_{Bx}^2 + F_{By}^2} = 38.512 \text{ N}$$

$$F_{Atah} := F_{Az} = 3.839 \times 10^3 \text{ N}$$

$$F_{Btah} := F_{Bz} = 3.839 \times 10^3 \text{ N}$$

$$F_{Cst\emptyset ih} := \sqrt{F_{Cx}^2 + F_{Cy}^2} = 1.72 \times 10^3 \text{ N}$$

$$F_{Dst\emptyset ih} := \sqrt{F_{Dx}^2 + F_{Dy}^2} = 1.312 \times 10^3 \text{ N}$$

$$F_{Ctah} := F_{Cz} = 51.327 \text{ N}$$

$$F_{Dtah} := F_{Dz} = 51.327 \text{ N}$$

Únosnost šroubu ve střihu

[33]

$$\alpha_v := 0.6 \quad \text{prochází li rovina střihu nezávitovou částí}$$

$$\gamma_{M2} := 1.25 \quad \text{součinitel pro otažení}$$

$$F_v := \alpha_v \cdot R_m \cdot \frac{S_{\text{šroubu}}}{\gamma_{M2}} = 3.016 \times 10^4 \text{ N}$$

únosnost 1 šroubu ve střihu. **šroub**
vyhovuje**Únosnost šroubu v tahu**

[33]

$$F_t := 0.9 \cdot A_s \cdot \frac{R_m}{\gamma_{M2}} = 3.341 \times 10^4 \text{ N}$$

únosnost 1 šroubu v tahu **šroub**
vyhovuje**Únosnost šrouby při kombinovaném namáhání tahu a smyku**

$$K_{kA} := \frac{F_{Ast\emptyset ih}}{F_v} + \frac{F_{Atah}}{1.4 \cdot F_t} = 0.134 \quad k \leq 1 \quad \textbf{Vyhovuje}$$

$$K_{kB} := \frac{F_{Bst\emptyset ih}}{F_v} + \frac{F_{Btah}}{1.4 \cdot F_t} = 0.083 \quad k \leq 1 \quad \textbf{Vyhovuje}$$

$$K_{kC} := \frac{F_{Cst\emptyset ih}}{F_v} + \frac{F_{Ctah}}{1.4 \cdot F_t} = 0.058 \quad k \leq 1 \quad \textbf{Vyhovuje}$$

$$K_{kD} := \frac{F_{Dst\emptyset ih}}{F_v} + \frac{F_{Dtah}}{1.4 \cdot F_t} = 0.045 \quad k \leq 1 \quad \textbf{Vyhovuje}$$



Redukované napětí ve šroubech

$$\tau_A := \frac{F_{Cst\emptyset ih}}{S_{\text{šroubu}}} = 21.895 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_A := \frac{F_{Atah}}{A_s} = 66.195 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_B := \frac{F_{Cst\emptyset ih}}{S_{\text{šroubu}}} = 21.895 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_B := \frac{F_{Btah}}{A_s} = 66.195 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_C := \frac{F_{Cst\emptyset ih}}{S_{\text{šroubu}}} = 21.895 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_C := \frac{F_{Ctah}}{A_s} = 0.885 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_D := \frac{F_{Cst\emptyset ih}}{S_{\text{šroubu}}} = 21.895 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_D := \frac{F_{Dtah}}{A_s} = 0.885 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{redA}} := \sqrt{\sigma_A^2 + 3 \cdot \tau_A^2} = 76.288 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{redB}} := \sqrt{\sigma_B^2 + 3 \cdot \tau_B^2} = 76.288 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{redC}} := \sqrt{\sigma_C^2 + 3 \cdot \tau_C^2} = 37.933 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{redD}} := \sqrt{\sigma_D^2 + 3 \cdot \tau_D^2} = 37.933 \cdot \text{MPa}$$

Bezpečnost šroubů

$$k_A := \frac{R_e}{\sigma_{\text{redA}}} = 8.389$$

$$k_B := \frac{R_e}{\sigma_{\text{redB}}} = 8.389$$

$$k_C := \frac{R_e}{\sigma_{\text{redC}}} = 16.872$$

$$k_D := \frac{R_e}{\sigma_{\text{redD}}} = 16.872$$



Výpočet tuhosti šroubu

$$l_s := 68.4\text{mm}$$

svěrná délka

$$l_b := 3.9\text{mm}$$

délka závitové části v sevření

$$l_g := l_s - l_b = 64.5\text{mm}$$

délka nezávitové části v sevření

Tuhost šroubu

$$k_s := S_{\text{šroubu}} \cdot A_s \cdot \frac{E}{S_{\text{šroubu}} \cdot l_b + A_s \cdot l_g} = 2.33 \times 10^5 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Tuhost spojovaných součástí

$$t_{k1} := 26.6\text{mm}$$

$$\delta_1 := 30\text{deg}$$

$$t_{k2} := 39.8\text{mm}$$

$$d_p := 16\text{mm}$$

$$t_{k3} := 2\text{mm}$$

$$k_1 := \pi \cdot E \cdot D \cdot \frac{\tan(\delta_1)}{\ln \left[(2 \cdot t_{k1} \cdot \tan(\delta_1) + d_p - D) \cdot \frac{(d_p + D)}{(2 \cdot t_{k1} \cdot \tan(\delta_1) + d_p + D) \cdot (d_p - D)} \right]} = 3.64 \times 10^6 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$k_2 := \pi \cdot E \cdot D \cdot \frac{\tan(\delta_1)}{\ln \left[(2 \cdot t_{k2} \cdot \tan(\delta_1) + d_p - D) \cdot \frac{(d_p + D)}{(2 \cdot t_{k2} \cdot \tan(\delta_1) + d_p + D) \cdot (d_p - D)} \right]} = 3.291 \times 10^6 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$k_3 := \pi \cdot E \cdot D \cdot \frac{\tan(\delta_1)}{\ln \left[(2 \cdot t_{k3} \cdot \tan(\delta_1) + d_p - D) \cdot \frac{(d_p + D)}{(2 \cdot t_{k3} \cdot \tan(\delta_1) + d_p + D) \cdot (d_p - D)} \right]} = 1.561 \times 10^7 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$k_p := \frac{1}{\left(\frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_1} \right)} = 1.556 \times 10^6 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

tuhost spojovaných součástí

**Tuhost součástí podle exponenciálního vztahu**

$$A_{\text{ocel}} := 0.78715$$

$$B_{\text{ocel}} := 0.62873$$

$$k_{\text{pc}} := A_{\text{ocel}} \cdot e^{\left(B_{\text{ocel}} \cdot \frac{D}{l_s}\right)} \cdot E \cdot D = 1.786 \times 10^6 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$\frac{k_p}{k_{\text{pc}}} = 0.871$$

Rozdíl tuhostí je cca 13%

aby tedy bylo předpětí větší volím $k_p = 1786 \text{ KN/mm}$

Výpočet síly předpětí

$$S_p := 580 \text{ MPa}$$

$$C_1 := \frac{k_s}{k_s + k_{\text{pc}}} = 0.115$$

Tuhostní konstanta - část síly přenášená šroubem

$$\Delta F_s := C_1 \cdot F_{\text{Btah}} = 442.978 \text{ N}$$

$$\Delta F_p := (1 - C_1) \cdot F_{\text{Btah}} = 3.396 \times 10^3 \text{ N}$$

$$F_p := A_s \cdot S_p = 3.364 \times 10^4 \text{ N}$$

$$F_i := 0.9 \cdot F_p = 3.028 \times 10^4 \text{ N}$$

maximální síla předpětí kterou lze vyvodit

$$F_s := F_i + \Delta F_s = 3.072 \times 10^4 \text{ N}$$

$$k_0 := 1.5$$

koeficient bezpečnosti proti selhání sevření

$$F_{0A} := F_{\text{Atah}} \cdot k_0$$

$$F_{0B} := F_{\text{Btah}} \cdot k_0$$

$$F_{0C} := F_{\text{Ctah}} \cdot k_0$$

$$F_{0D} := F_{\text{Dtah}} \cdot k_0$$

$$F_{i1A} := F_{0A} \cdot (1 - C_1) = 5.094 \times 10^3 \text{ N}$$

Síla předpětí

F_{i1} je mnohem menší než max. síla předpětí kterou lze vyvodit, nebude tedy přesažena mez kluzu !!

$$F_{i1B} := F_{0B} \cdot (1 - C_1) = 5.094 \times 10^3 \text{ N}$$

$$F_{i1C} := F_{0C} \cdot (1 - C_1) = 68.108 \text{ N}$$

$$F_{i1D} := F_{0D} \cdot (1 - C_1) = 68.108 \text{ N}$$

**Utahovací momenty jednotlivých šroubů**

$$K_{\text{aprox}} := 0.20$$

$$M_{\text{utA}} := K_{\text{aprox}} \cdot F_{i1A} \cdot D = 10.189 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{utB}} := K_{\text{aprox}} \cdot F_{i1B} \cdot D = 10.189 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{utC}} := K_{\text{aprox}} \cdot F_{i1C} \cdot D = 0.136 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{utD}} := K_{\text{aprox}} \cdot F_{i1D} \cdot D = 0.136 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

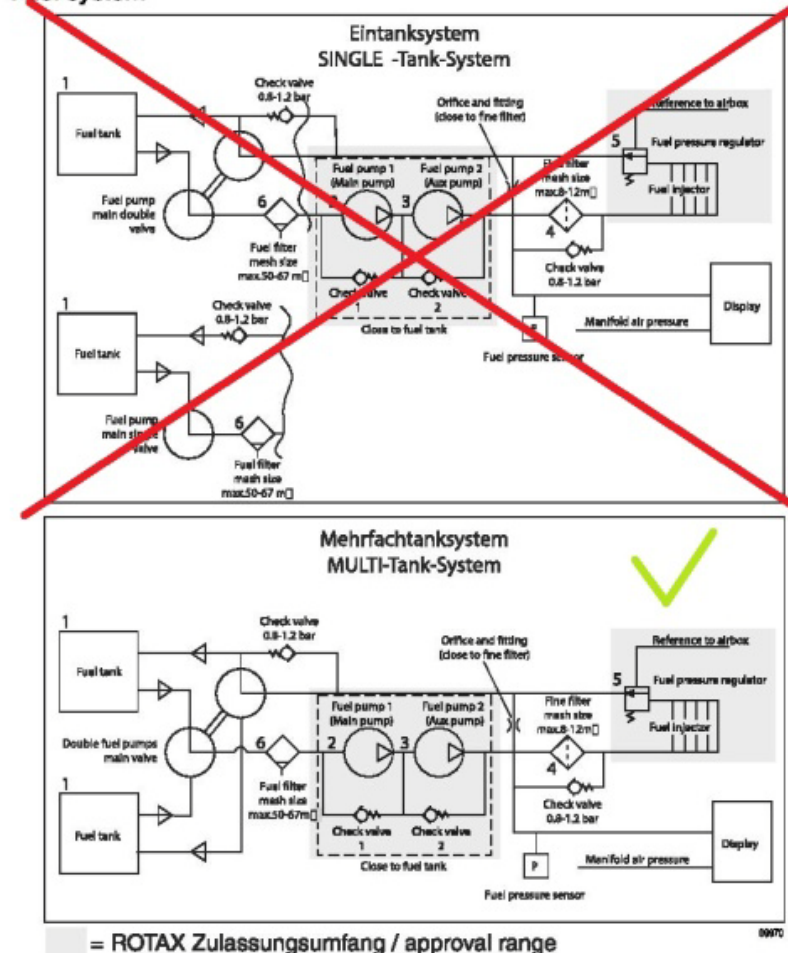


4 Schéma palivového vedení R-912iS [38]

BRP-Powertrain INSTALLATION MANUAL

Overview

Fuel system



Part	Function
1	Fuel tank
2	Fuel pump 1
3	Fuel pump 2
4	Fine filter
5	Fuel pressure regulator
6	Coarse filter/water trap

Fig. 1

09970_a

Effectivity: 912 | Series
Edition 1/Rev. 3

73-00-00

Page 3
August 01/2015

d06206.fm

5 Schéma mazacího okruhu v klasickém tažném uspořádání R-912iS [39]

Mazací olej je z olejové nádrže (1.) odebírán přes olejový chladič (3.) a olejový filtr (4.) čerpadlem, kde vzniká potřebný tlak, následně je olej odsáván z klikové skříně a je veden opět do olejové nádrže.

BRP-Powertrain INSTALLATION MANUAL

Graphic

Oil system

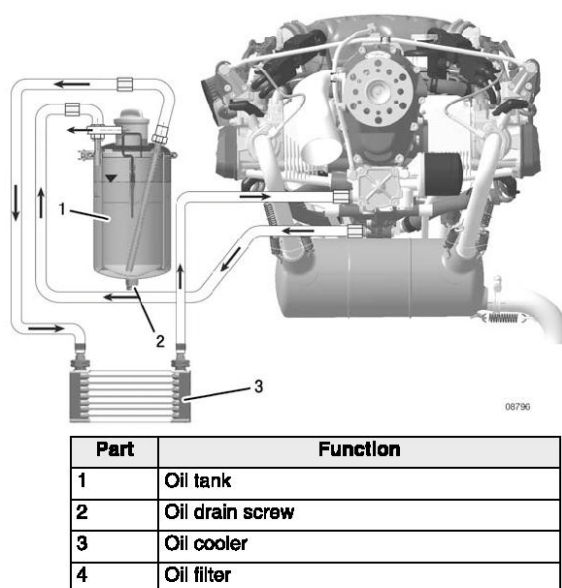


Fig. 2

1.2) Operating limits

General note



Non-compliance can result in serious injuries or death!
The lubrication system must be designed such that the permissible operating temperatures and maximum values are not exceeded.

Operating limits	Manual
Oil pressure	See OM 912 i Series, section 2.1
Oil temperature	See OM 912 i Series, section 2.1



Non-compliance can result in serious injuries or death!
At operation below nominal temperature, formation of condensate in the oil system might negatively affect oil quality.

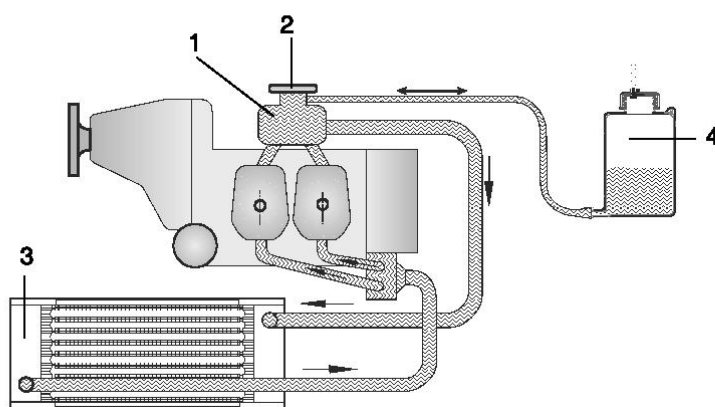


6 Schéma chladicího okruhu R-912iS [40]

BRP-Powertrain INSTALLATION MANUAL

Graphic

Cooling system



Part	Function
1	Expansion tank
2	Pressure cap
3	Radiator
4	Overflow bottle

Fig. 2

09152

Effectivity: 912 i Series
Edition 1/Rev. 0

75-00-00

Page 4
January 01/2012

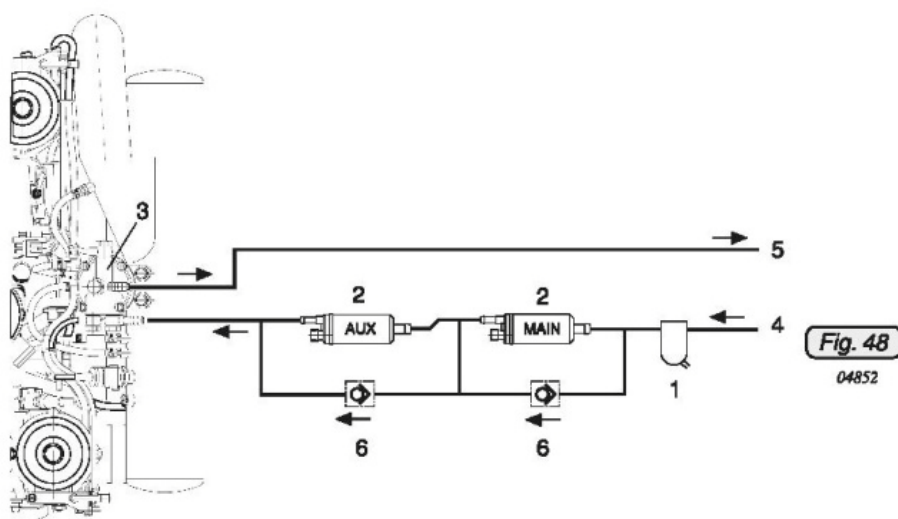
d05785.fm

7 Schéma palivového instalace R-914UL [41]

BRP-Rotax INSTALLATION MANUAL

legend:

- (1) fine filter/watertrap gascolator
- (2) 2 x electric fuel pump
- (3) fuel pressure control
- (4) feeding line from tank
- (5) return line to tank
- (6) 2 x check valve

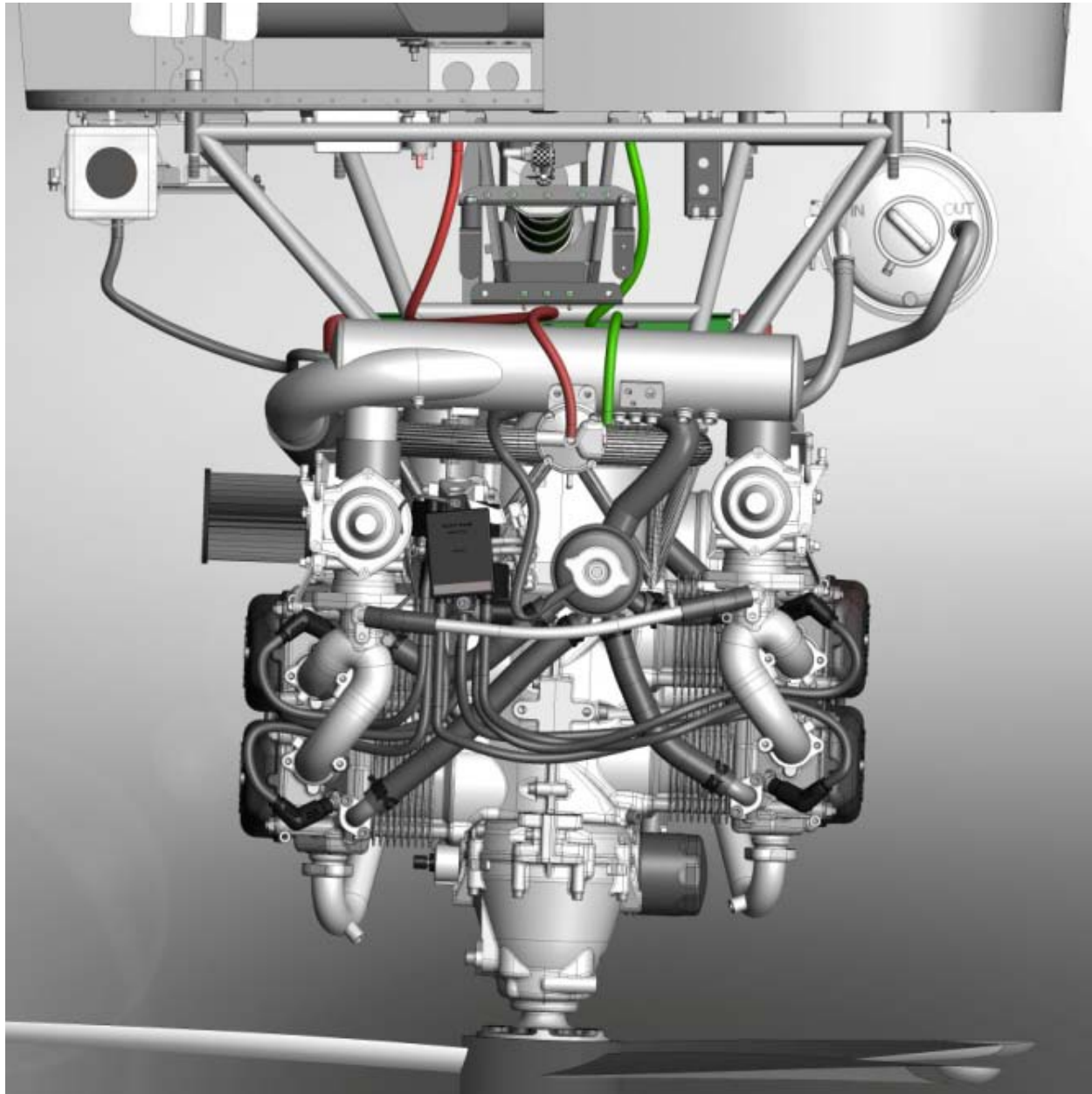


Only the following connections per Fig. 48 have to be established:

- Feeding lines to suction side of the electric fuel pumps (2)
- Lines from pressure side of the electric fuel pump to inlet of fuel pressure control (3)
- Returnline from fuel pressure control to fuel tank



8 Palivová instalace R-914UL shora [37]



9 Schéma mazacího okruhu R-914UL [42]

Mazací olej je z nádrže (2.) odebírán skrze chladič (3.) a olejový filtr do čerpadla (4.) odkud je veden jednak do mazacích míst v motoru tak speciálně další větví na mazání turbodmychadla, poté je vrácen zpět do nádrže.

BRP-Rotax

INSTALLATION MANUAL

13) Lubrication system

13.1) Description of the system

See Fig. 33.

The ROTAX 914 engine is provided with a dry sump forced lubrication system with a main oil pump with integrated pressure regulator and an additional suction pump

◆ **NOTE:** The oil pumps are driven by the camshaft.

The main oil pump sucks the motor oil from the oil tank (1) via the oil cooler (2) and forces it through the oil filter to the points of lubrication (lubricates also the plain bearings of the turbo charger and the propeller governor).

The surplus oil emerging from the points of lubrication accumulates on the bottom of crankcase and is forced back to the oil tank by the blow-by gases.

The turbo charger is lubricated via a separate oil line (3) from the main oil pump.

The oil emerging from the lower placed turbo charger collects in the oil sump and is pumped back by a separate pump to the oil tank via the oil line (4).

◆ **NOTE:** The oil circuit is vented via nipple (5) in the oil tank.

For the completion of the lubrication system only the following connections need to be established:

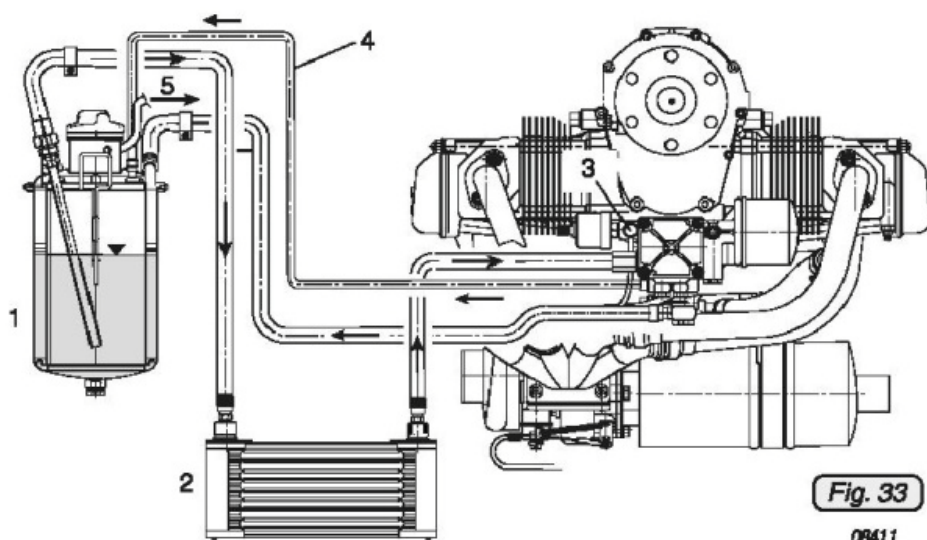


Fig. 33

08411



10 Schéma chladicího okruhu R-914UL [43]

BRP-Rotax

INSTALLATION MANUAL

12) Cooling system

12.1) Description of the system

See Fig. 14.

The cooling system of the ROTAX 914 is designed for liquid cooling of the cylinder heads and ram-air cooling of the cylinders.

The cooling system of the cylinder heads is a **closed** circuit with an expansion tank and overflow bottle.

The coolant flow is forced by a water pump, driven from the camshaft, from the radiator to the cylinder heads. From the top of the cylinder heads the coolant passes on to the expansion tank (1). Since the standard location of the radiator (2) is below engine level, the expansion tank located on top of the engine allows for coolant expansion.

The expansion tank is closed by a pressure cap (3) (with pressure relief valve and return valve). At temperature rise and expansion of the coolant the pressure relief valve opens and the coolant will flow via a hose at atmospheric pressure to the transparent overflow bottle (4). When cooling down, the coolant will be sucked back into the cooling circuit. See therefore SB-914-025 "Modifications of the overflow bottle", latest issue.

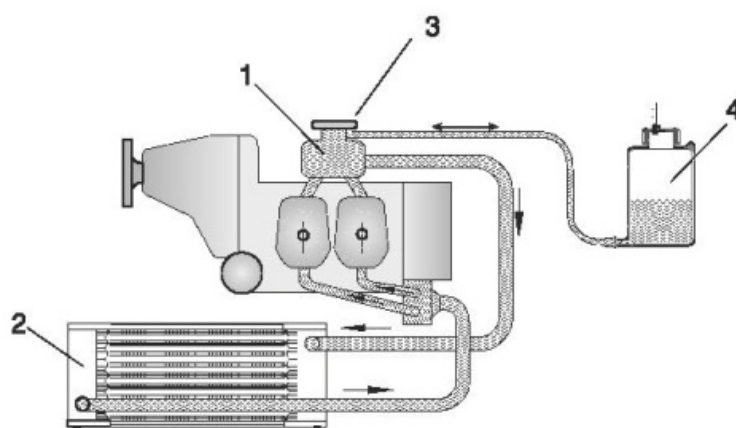


Fig. 14

09152

The shape, size and location of one or more radiators depend mainly on the space available.

BRP-Rotax offers optional radiators, these radiators when properly installed in winged aircrafts has proven its worth in regard to the operating limits. The flow resistance of the cooling liquid in the radiator is adjusted well to the cooling system. Make sure that the diameter of the conduction is sufficient.

