

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Pohonná jednotka pro vůz formule SAE

Autor: **Marek Vočadlo**
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Martin HYNEK, Ph.D.**

Akademický rok 2015/2016

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Marek VOČADLO**
Osobní číslo: **S15B0039P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Název tématu: **Pohonná jednotka pro vůz Formule SAE**
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Proveďte návrh úprav mazacího systému pohonné jednotky a vybraných komponent pro vůz Formula SAE, přičemž navržená konstrukce musí zcela splňovat pravidla stanovená soutěží FSAE pro rok 2015/2016 i s ohledem na funkčnost a hmotnost systému, včetně kompatibility s navazujícími systémy.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Rešerše současně používaných pohonných jednotek a jejich úprav u vozů kategorie Formula SAE
2. Specifikace požadavků
3. Návrh úprav konstrukčního řešení mazacího systému podpořený nezbytnými výpočty, tvorba 3D modelů
4. Výkresová dokumentace pro realizaci úprav
5. Vyhodnocení, závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

TRZESNIEWSKI, M. *Rennwagentchnik*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2008

BUDYNAS, R. G., NISBETT, J. K. *Shigley's Mechanical Engineering Design*. Boston: Mc Graw Hill, 2008

Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Martin Hynek, Ph.D.**

Katedra konstruování strojů

Konzultant bakalářské práce:

Ing. Michal Skovajsa

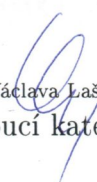
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **21. září 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2016**


Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 21. září 2015

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Vočadlo	Jméno Marek	
STUDIJNÍ OBOR	„Dopravní a manipulační technika“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. HYNEK, Ph.D.	Jméno Martin	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Pohonná jednotka pro vůz Formule SAE		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2016
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	97	TEXTOVÁ ČÁST	68	GRAFICKÁ ČÁST	29
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce obsahuje postup při výběru vhodné pohonné jednotky pro vůz Formule SAE a návrh úpravy mazacího systému známá jako „suchá vana“ s konstrukčním návrhem olejové vany motoru, olejové nádržky, motorového stojanu.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Formule SAE, mazací systém, motor, CAD, Formule, lubrikace, suchá vana, olej, pohonná jednotka</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Vočadlo	Name Marek	
FIELD OF STUDY	“Transport and handling machinery“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. HYNEK, Ph.D.	Name Martin	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Powertrain for Formula SAE car		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2016
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	97	TEXT PART	68	GRAPHICAL PART	29
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis dissert on selecting engine for Formula SAE car and adjustment of lubrication system know as dry sump system. This thesis include design of dry sump pan, dry sump oil tank and engine stand.
KEY WORDS	Formula SAE, lubrication, engine, CAD, formula, dry sump, Oil, powertrain

Obsah

ÚVOD	10
1 VÝBĚR POHONNÉ JEDNOTKY	11
1.1 Kladené požadavky na pohonnou jednotku.....	11
1.2 Kladené požadavky na pohonnou jednotku organizací SAE International®.....	11
1.3 Pohonné jednotky používané nejúspěšnějšími týmy v soutěži Formula SAE®.....	11
1.3.1 PJ motocyklu Yamaha YZF-R6	15
1.3.2 PJ motocyklu Honda CBR 600 RR	17
1.3.3 PJ motocyklu KTM EXC 500 F.....	18
1.4 Výběr nejvhodnější pohonné jednotky	19
2 ÚPRAVA MAZACÍHO SYSTÉMU	20
2.1 Mazací systém u motoru Yamaha YZF-R6.....	20
2.1.1 Mazací systém u motoru Yamaha YZF-R6.....	20
2.1.2 Typy oleje doporučované výrobcem	21
2.2 Pravidla organizace SAE International® pro úpravy mazacího systému	21
2.3 Úprava mazacího systému známá jako „Suchá vana“	22
2.3.1 Základní princip „Suché vany“	22
2.3.2 Hlavní důvody pro návrh systému „suché vany“ pro vozidlo formule SAE	22
2.3.3 Výhody a nevýhody systému „suché vany“	24
2.3.4 Jednotlivé prvky systému „Suché vany“	25
2.4 Olejová vana známá jako „suchá vana“	26
2.4.1 Základní funkce „suché vany“	26
2.4.2 Hrubý návrh „suché vany“	26
2.4.3 Návrh „suché vany“ v CAD programu	28
2.5 Odpadní olejové čerpadlo (angl. „scavenge pump“).....	38
2.5.1 Popis a typy odpadních olejových čerpadel	38
2.5.2 Vybrané odpadní olejové čerpadlo.....	38
2.6 Olejová nádržka.....	41
2.6.1 Olejová nádržka a její funkce.....	41
2.6.2 Hrubý návrh nádržky.....	42
2.6.3 Vlastní návrh olejové nádržky.....	43
2.7 Propojení jednotlivých prvků systému	51
2.7.1 Přípojky a adaptéry pro systém „suché vany“.....	51
2.7.2 Hadice pro systém „suché vany“	52
3 ÚPRAVA CHLADICÍHO SYSTÉMU	53

3.1	Vodní pumpa	53
4	STOJAN NA MOTOR.....	54
4.1	Stojan na motor.....	54
	ZÁVĚR.....	56
	ZDROJE	57
	SEZNAM OBRÁZKŮ	59
	SEZNAM PŘÍLOH	61

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

PJ – POHONNÁ JEDNOTKA

VP – VODNÍ PUMPA

EVP – ELEKTRICKÁ VODNÍ PUMPA

OČ – OLEJOVÉ ČERPADLO

ON – OLEJOVÁ NÁDRŽKA

OOČ – ODPADNÍ OLEJOVÉ ČERPADLO

„SV“ – „SUCHÁ VANA“

ÚVOD

Pohonná jednotka je jeden z nejdůležitějších prvků vozidla, a proto je důležité při návrhu vozu pro sportovní účely zvolit nejvhodnější variantu. Při volbě PJ pro vůz kategorie Formule SAE je třeba provádět výběr podle pravidel organizace SAE International®. Jelikož soutěž probíhá již od roku 1978, je zde možnost inspirace u ostatních univerzitních týmů, které se soutěže účastní již několik let, jejich výběr PJ splňuje pravidla organizace SAE International® a slaví se svým výběrem úspěchy. Cílem je nejdříve definovat kladené požadavky na PJ a následně vybrat nejvhodnější variantu.

Po výběru je nutné navrhnout vhodné úpravy PJ proto, aby byla použitelná pro vůz kategorie Formule SAE. Tato práce je věnována úpravě mazacího systému, která je známá pod pojmem „suchá vana“.

Při návrhu úpravy mazacího systému je nutné nejdříve zkontrolovat mazací systém na originálním motoru a následně definovat úpravy, které budou splňovat pravidla organizace SAE International® a napomohou správnému mazání PJ při provozu na závodních tratích soutěže Formula SAE. Tyto úpravy musí být kompatibilní se všemi částmi motoru a zároveň nesmí narušovat správné funkce ostatních systémů a prvků PJ.

Cílem této práce je vybrat nejvhodnější pohonnou jednotku pro vůz kategorie Formule SAE a následně navrhnout úpravy mazacího systému takovým způsobem, aby splňovaly pravidla organizace SAE International® a zaručovaly správnou lubrikaci PJ při provozu na závodních tratích soutěže FSAE.

1 VÝBĚR POHONNÉ JEDNOTKY

1.1 Kladené požadavky na pohonnou jednotku

Hlavní požadavky pro výběr pohonné jednotky:

- Dostatečný výkon a točivý moment pro závodní účely
- Nízká hmotnost PJ
- Malé rozměry PJ
- Dostupnost a cena PJ na trhu
- Dostupnost náhradních dílů
- Vhodnost jednotlivých prvků PJ pro úpravy

1.2 Kladené požadavky na pohonnou jednotku organizací SAE International®

Pravidla organizace SAE International® pojednávající o PJ:

- Motor použitý pro pohon vozidla musí být pístový s čtyřdobým cyklem a se zdvihovým objemem nepřekračujícím 610cm^3 za cyklus
- Pokud je použito více než jeden motor, celkový zdvihový objem nesmí překročit 610cm^3 a vzduch pro všechny motory musí proudit skrze jeden vzduchový restriktor
- Každé vozidlo musí být vybaveno startérem, který musí být za každých okolností použit během závodu pro nastartování motoru. Není povoleno motor nastartovat roztlačením vozidla nebo oddělitelným startérem [1]

1.3 Pohonné jednotky používané nejúspěšnějšími týmy v soutěži Formula SAE®

Při výběru pohonné jednotky pro vůz Formule SAE je vhodné se inspirovat ostatními týmy, které se účastní soutěže již mnoho let. Nejúspěšnější týmy v posledních třech letech, které se účastnili soutěže Formula Student Germany a jimi zvolený typ PJ v tab. 1-3. [2]

Tabulka 1 Umístění týmů a jejich PJ v roce 2013

Formula Student Germany		
Formula Student Combustion, 2013		
Umístění týmu	Univerzita	Stroj, z něhož je použita PJ
1.	Corvallis OSU	Honda CRF450X
2.	Stuttgart U	Honda CBR 600
3.	Esslingen UAS	Honda CBR 600 RR
4.	Göteborg Chalmers	Yamaha YZF-R6
5.	München TU	Kawasaki ZX6R
6.	Akron U	Yamaha WR450F
7.	Seattle U Washington	Yamaha YFZ-450R
8.	Hamburg UAS	Kawasaki ZX6R
9.	Ann Arbor U MI	Yamaha YZF-R6
10.	Hatfield UH	Yamaha YZF-R6

Tabulka 2 Umístění týmů a jejich PJ v roce 2014

Formula Student Germany		
Formula Student Combustion, 2014		
Umístění týmu	Univerzita	Stroj, z něhož je použita PJ
1.	Corvallis OSU	Honda CRF450X
2.	Stuttgart U	Yamaha YZF-R6
3.	Göteborg Chalmers	Yamaha YZF-R6
4.	Erlangen U	Aprilia SXV 550
5.	Prague CTU	Yamaha YZF-R6
6.	Seattle U Washington	Yamaha YFZ-450R
7.	Coburg UAS	Yamaha YZF-R6
8.	Weingarten UAS	Honda CBR 600 RR
9.	Pomona CSU	Suzuki GSXR 600
10.	Giessen UAS THM	Honda CBR 600 RR

Tabulka 3 Umístění týmů a jejich PJ v roce 2015

Formula Student Germany		
Formula Student Combustion, 2015		
Umístění týmu	Univerzita	Stroj, z něhož je použita PJ
1.	Corvallis OSU	Honda CRF450X
2.	Stuttgart U	Yamaha YZF-R6
3.	Graz UAS	Aprilia SXV 550
4.	Graz TU	KTM 500 EXC
5.	Coburg UAS	Yamaha YZF-R6
6.	London UWO	-
7.	Hatfield UH	KTM 450 SXF
8.	Erlangen U	Aprilia SXV 550
9.	Esslingen UAS	Honda CBR 600 RR
10.	Wrocław TU	Honda CBR 600 RR

Z tabulek č. 1-3 je zřejmé, že nejpoužívanější pohonné jednotky v soutěži FSG jsou z motocyklů a to konkrétněji ze sportovních silničních motocyklů s čtyřválcovým motorem nebo ze sportovních terénních motocyklů s motorem jednoválcovým. Nejčastější stroje, ze kterých je použita PJ v tab. 4.

Tabulka 4 Umístění týmů a jejich PJ v roce 2015

Umístění PJ	Stroj, z něhož je použita PJ	Počet kusů PJ do 10. místa v letech 2013-2015
1.	Yamaha YZF-R6	8
2.	Honda CBR 600 RR	5
3.	Aprilia SXV 550	3
4.	Honda CRF450X	3
5.	Kawasaki ZX6R	2

Stejným způsobem, tedy vyhledáním výsledků za tři ročníky soutěže a součtem počtu stejných typů PJ do 10. místa, jsem postupoval při tvorbě tabulky č. 5, která zobrazuje nejpoužívanější PJ při závodech Formula Student ve Velké Británii. [3]

Tabulka 5 Nejpoužívanější PJ v soutěži FS ve VB

Umístění PJ	Stroj, z něhož je použita PJ	Počet kusů PJ do 10. místa v letech 2012,2013 a 2015
1.	Yamaha YZF-R6	4
2.	Honda CBR 600 RR	3
3.	KTM 500 EXC	2
4.	KTM 510 EXC	2
5.	Suzuki GSXR 600	2

Stejným způsobem, tedy vyhledáním výsledků za tři ročníky soutěže a součtem počtu stejných typů PJ do 10. místa, jsem postupoval při tvorbě tabulky č. 6, která zobrazuje nejpoužívanější PJ při závodech Formula SAE Italy. [4]

Tabulka 6 Nejpoužívanější PJ v soutěži FSAE Italy

Umístění PJ	Stroj, z něhož je použita PJ	Počet kusů PJ do 10. místa v letech 2013 - 2015
1.	Yamaha YZF-R6	8
2.	Honda CBR 600 RR	5
3.	Suzuki GSXR 600	4
4.	KTM 500 EXC F	3
5.	Kawasaki ZX6R	2

Nejpoužívanější PJ v soutěžích SAE jsou čtyřválcové motory ze silničních, sportovních motocyklů Yamaha YZF-R6, Honda CBR 600 a Suzuki GSXR 600, nebo jednoválcový motor z krosového, sportovního motocyklu KTM 500 EXC. Nejčastěji se na prvních deseti místech vyskytovala PJ ze stroje Yamaha YZF-R6.

1.3.1 PJ motocyklu Yamaha YZF-R6

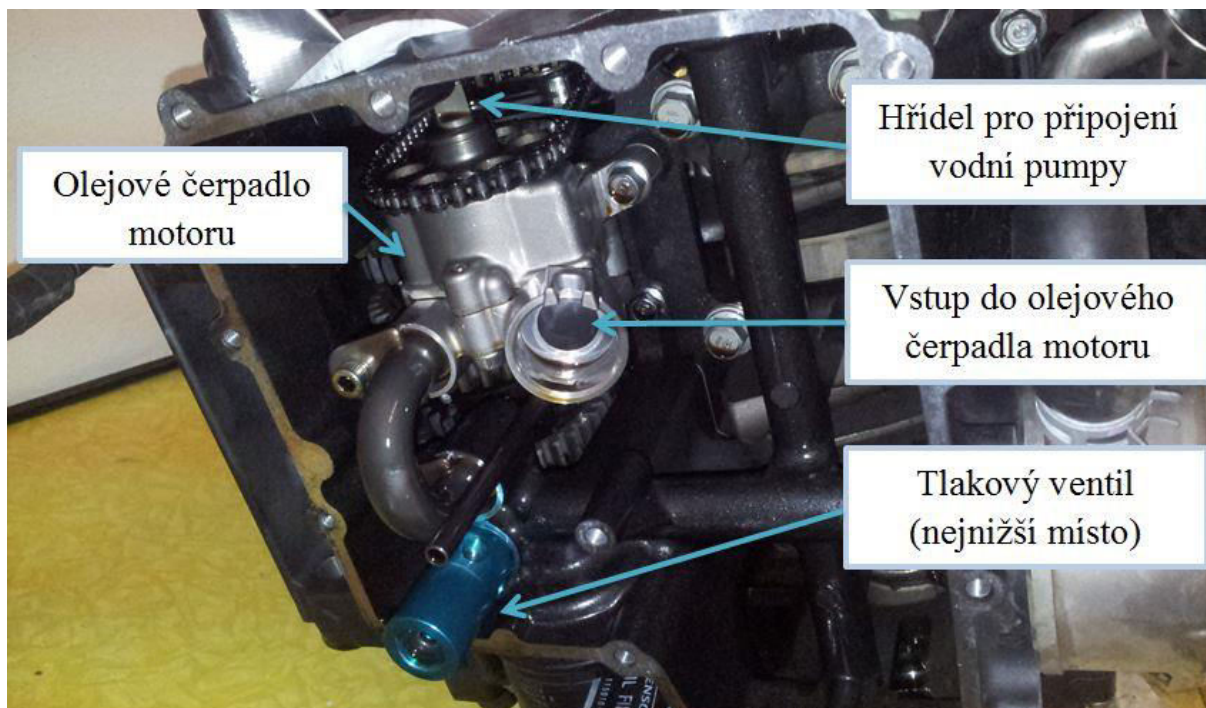
Motor (obr. 1) použitý v motocyklu Yamaha YZF-R6 (obr. 2) je čtyřválcový, čtyřdobý, kapalinou chlazený. Tento motor je nejčastěji používán u nejlepších týmů. Parametry této PJ v tab. 5. [5] [6] [7]



Obr. 1 Motor ze stroje Yamaha YZF-R6



Obr. 2 Motocykl Yamaha YZF-R6



Obr. 3 Pohled zespu do motoru YZF-R6

Na obr. 3 je pohled do motoru po demontování originální olejové vany. Nejnižší bod motoru po demontování vany je tlakový ventil. Olejové čerpadlo, a s ním hřídelí propojená vodní pumpa, se nachází na pravé straně PJ.

Tabulka 7 Základní parametry PJ ze stroje Yamaha YZF-R6

Objem	599cm ³
Výkon	91kW
Výkon při otáčkách	14500ot/min
Točivý moment	66Nm
Otáčky při max. toč. mom.	10500ot/min
Vrtání	67mm
Zdvih	42,5mm
Kompresní poměr	13,1 : 1

Největší výhodou tohoto motoru je mimo výborné parametry výkonu a točivého momentu dostupnost. Tento typ motoru je používán u strojů Yamaha YZF-R6 od roku 2008 až do roku 2015. Díky tomuto faktu je na trhu více kusů této PJ než ostatních, často používaných PJ u vozů kategorie Formule SAE.

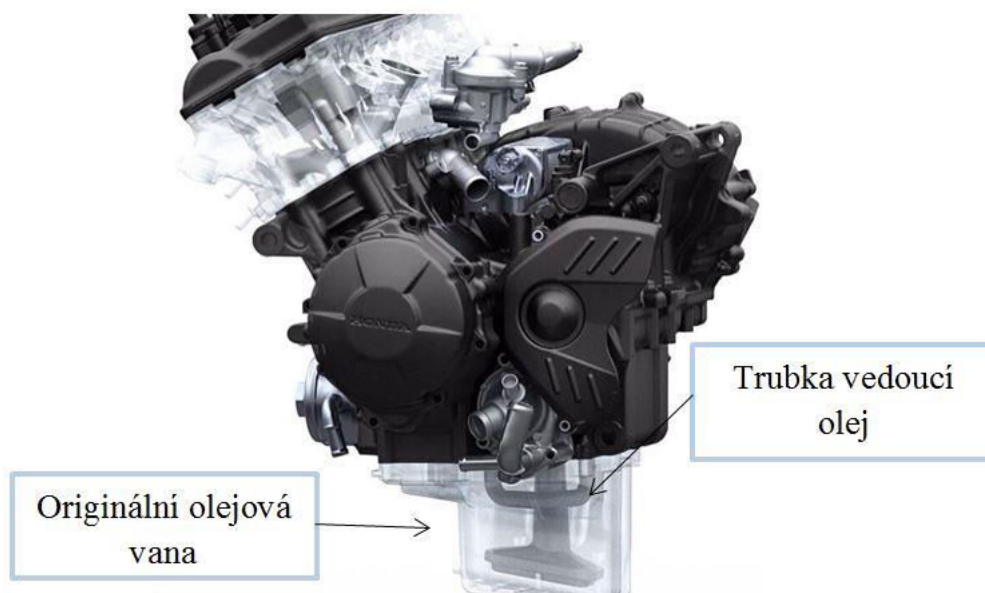
1.3.2 PJ motocyklu Honda CBR 600 RR

Motor použitý v motocyklu Honda CBR 600 RR je čtyřválcový, čtyřdobý, kapalinou chlazený. Tento motor je často používán u týmů Formule SAE. Parametry této PJ v tab. 8. [8]

Tabulka 8 Základní parametry PJ ze stroje Honda CBR 600 RR

Objem	599cm ³
Výkon	88kW
Výkon při otáčkách	13500ot/min 500ot/min
Točivý moment	66Nm
Otáčky při max. toč. mom.	11250ot/min
Vrtání	67mm
Zdvih	42,5mm
Kompresní poměr	12,2 : 1

Největší výhodou tohoto motoru je vyšší dostupnost dílů pro úpravy.



Obr. 4 PJ motocyklu Honda CBR600RR [9]

Trubka vedoucí olej z olejového čerpadla značně přesahuje dolní okraj bloku motoru, proto by bylo potřeba při návrhu snížení olejové vany k tomuto aspektu přihlížet. Vodní pumpa, která by byla případně nahrazena OOC, je na levé straně motoru. Originální olejová vana je velmi hluboká a proto by při úpravě na „suchou vanu“ byla značně snížena výška motoru. Provedení mazacího systému je podobné jako u YZF-R6.

1.3.3 PJ motocyklu KTM EXC 500 F

Motor použitý v motocyklu KTM EXC 500 F je jednoválcový, čtyřdobý, kapalinou chlazený – obr. 5. Parametry této PJ v tab. 9. [10] [11]

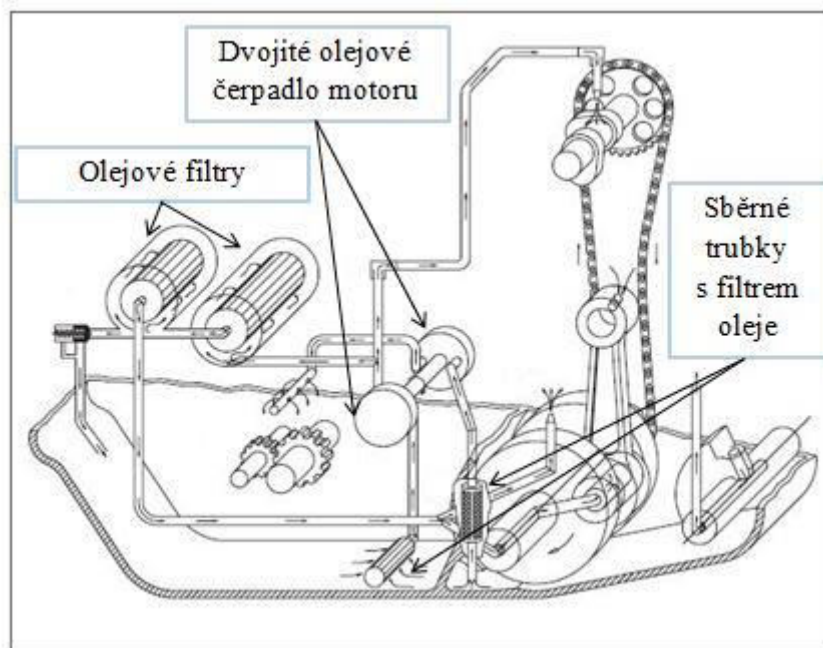


Obr. 5 PJ stroje KTM EXC 500 F

Tabulka 9 Základní parametry PJ ze stroje KTM EXC 500 F

Objem	510,4cm ³
Výkon	43kW
Výkon při otáčkách	-
Točivý moment	-
Otáčky při max. toč. mom.	-
Vrtání	95mm
Zdvih	72mm
Kompresní poměr	11,8 : 1

Největšími výhodami tohoto motoru jsou nízká hmotnost a malé rozměry.



Obr. 6 Schéma mazacího systému stroje KTM EXC 500F

Mazací systém u tohoto stroje je odlišný od předchozích dvou. Jak je k vidění na obr. 6, PJ používá místo jednoho olejového čerpadla dvě. Tento systém je jiný kvůli použití v terénu – a tedy odlišným podmínkám při jízdě. Díky tomu, že je tento motor pouze jednoválcový, jsou použity menší průřezy kanálků vedoucích olej a také menší průtoky. Při úpravách lubrikačního systému by bylo třeba pro správnou funkci navrhnout takové řešení, které bude zásobovat olejem obě sběrné trubky. [12]

1.4 Výběr nejvhodnější pohonné jednotky

Při výběru nejvhodnější pohonné jednotky se musíme zaměřit na několik nejdůležitějších parametrů:

- Dostupnost PJ a tedy i její cena
- Výkon a točivý moment
- Hmotnost a vnější rozměry
- Dostupnost a cena náhradních dílů

Pohonná jednotka byla vybrána na základě výsledků rozhodovací matice.

Tabulka 10 Rozhodovací matice

Kritérium	váha	Yamaha YZF-R6	součin	Honda CBR 600	součin	KTM 500 EXC	součin
Dostupnost	10	5	50	3	30	1	10
Výkon a toč. moment	8	4	32	4	32	2	16
Hmotnost a rozměry	6	2	12	2	12	4	24
Statistiky v soutěžích FSAE	4	5	20	4	16	2	8
Cena náhradních dílů	2	3	6	3	6	2	4
užitnost			120		96		62

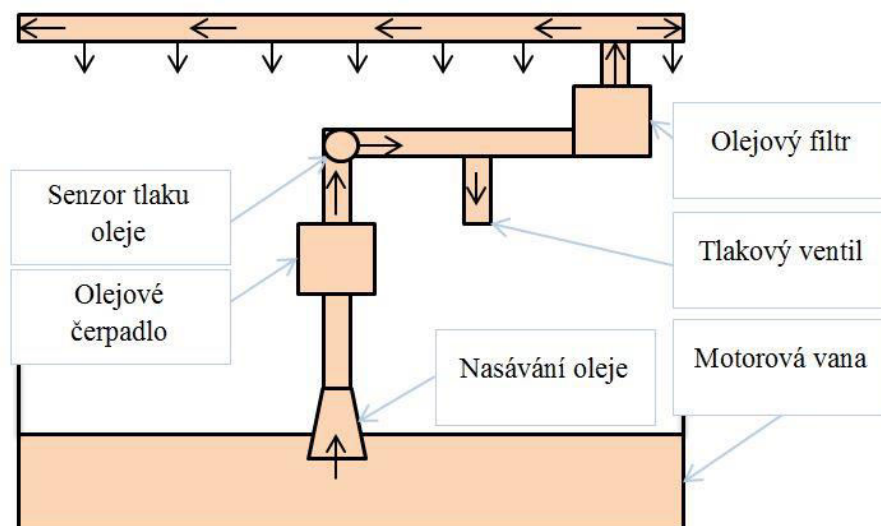
Nejvhodnější PJ pro vůz kategorie Formule SAE je z motocyklu Yamaha YZF-R6. Tato PJ se nejčastěji vyskytuje na prvních deseti příčkách závodů FS ve Velké Británii, FSG v Německu a FSAE v Itálii. Největší předností této PJ je, mimo výše zmíněné úspěchy na soutěžích, dostupnost. Tato PJ byla používána u motocyklu Yamaha YZF-R6 od roku výroby 2008 až do roku výroby 2015, proto je těchto PJ na trhu větší množství, než např. PJ ze stroje Honda CBR 600, které se mění u tohoto typu motocyklu po dvou letech.

2 ÚPRAVA MAZACÍHO SYSTÉMU

2.1 Mazací systém u motoru Yamaha YZF-R6

2.1.1 Mazací systém u motoru Yamaha YZF-R6

PJ ze stroje Yamaha YZF-R6 používá pro systém mazání „mokrou vanu“ ke sběru stékajícího oleje z motorového prostoru a trochoidní olejové čerpadlo, které čerpá olej z „mokrých van“ a rozvádí ho po motoru. [13]



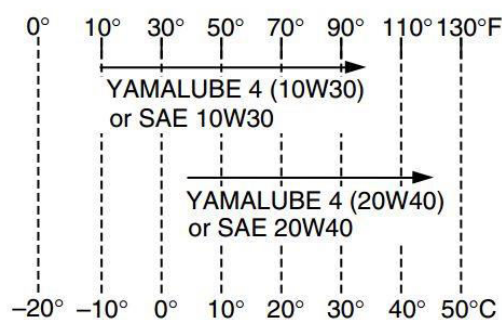
Obr. 7 Schéma rozvodu oleje po motoru

2.1.2 Typy oleje doporučené výrobcem

Výrobce doporučuje typy oleje, podle americké normy API (American Petroleum Institut), které splňují výkonnostní třídu SG nebo vyšší. Třída SG je dnes již zastaralá, vhodná pro motory z roku výroby 1989-1993. Nejnovější výkonnostní třída podle normy API má značení SN.

Výrobce doporučuje viskozitní třídu oleje Yamalube 4 nebo podle normy SAE J300 a to konkrétně typ 10W30 nebo 20W40. [13] [14] [15]

YAMALUBE 4, SAE10W30 or SAE20W40



Obr. 8 Typy oleje doporučené výrobcem

2.2 Pravidla organizace SAE International® pro úpravy mazacího systému

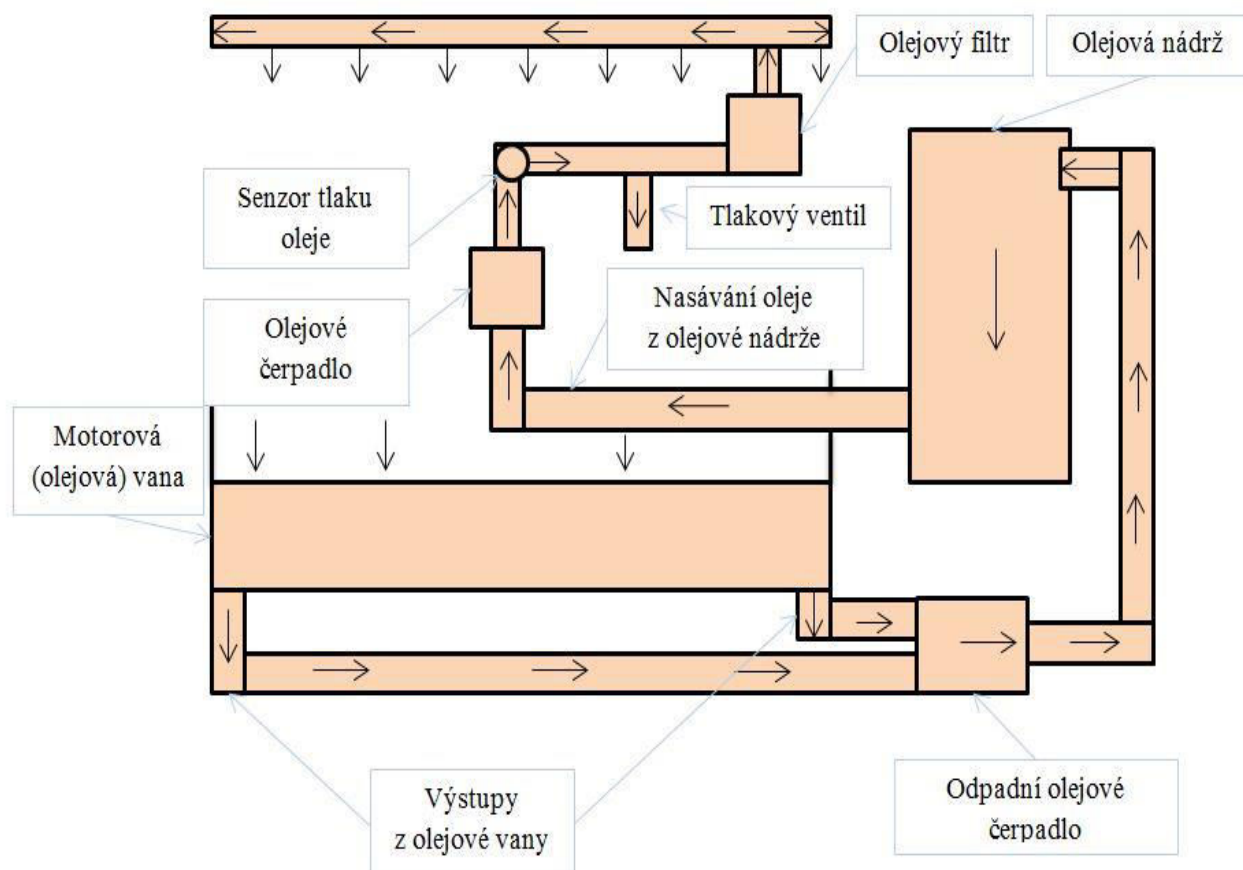
Pravidla organizace SAE International® nařizují, že pokud jsou použity takové úpravy, které ke své správné funkci potřebují odvdzdušnění (vyrovnání tlaku s tlakem okolního prostředí – atmosférický tlak), musí být do systému odvdzdušnění zapojena nádobka, která bude schopna zachytit případně unikající kapaliny. [1]

2.3 Úprava mazacího systému známá jako „Suchá vana“

2.3.1 Základní princip „Suché vany“

Většina vozidel (motocyklů i automobilů) používá pro mazání systém „mokré vany“. V tomto systému je olej, stékající z motorového prostoru, skladován v dolní části motoru – olejové vaně a z ní je opět čerpán a rozveden do motorových prostorů k částem, které je třeba mazat. Schéma tohoto systému je znázorněno na obr. 7.

U systému známého jako „suchá vana“ je olej skladován v externí nádrži mimo motorový prostor, kam je čerpán odpadním olejovým čerpadlem z vany motoru, která je speciálně navržena pro tento druh systému. Z této nádržky je poté olej opět přiveden do motoru, konkrétně k olejovému čerpadlu motoru, které olej po motorovém prostoru rozvede a lubrikuje jeho části. Schéma tohoto systému je znázorněno na obr. 9.

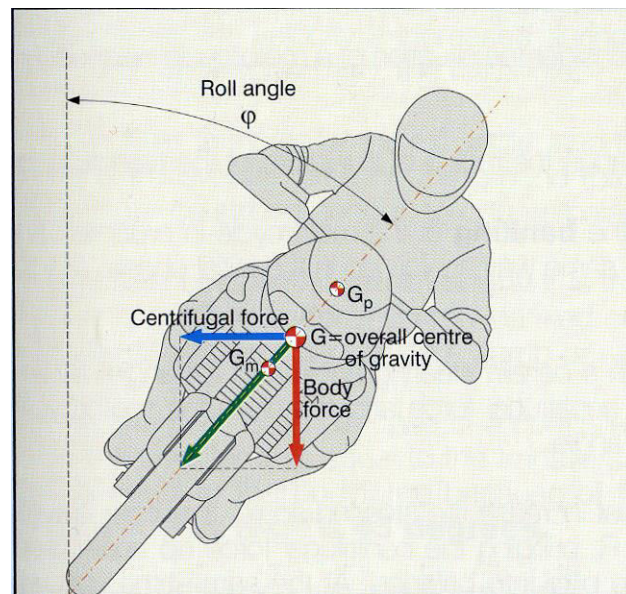


Obr. 9 Schéma zapojení "suché vany"

2.3.2 Hlavní důvody pro návrh systému „suché vany“ pro vozidlo formule SAE

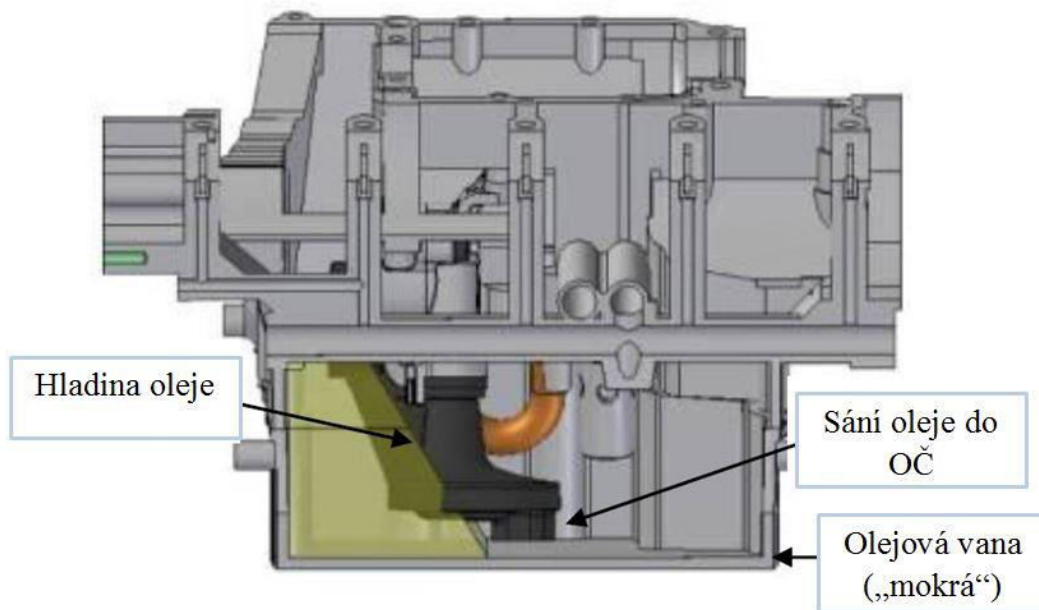
Jak již bylo zmíněno výše, pohonná jednotka, kterou jsme se rozhodli použít pro náš vůz kategorie formule SAE, pochází z motocyklu Yamaha YZF-R6. Tato pohonná jednotka používá systém mazání známý jako „mokrá vana“. Je zřejmé, že tato PJ je navržena výhradně pro použití v jednostopém vozidle (motocyklu). Při provozu se toto vozidlo do zatáček naklání, s čímž se naklání i motor, a velikost tohoto náklonu vozidla je přímo úměrná rychlosti vozidla a poloměru zatáčení. Tzn., že vertikální osa vozidla je rovnoběžná s výslednicí působících sil (gravitační a odstředivá) na vozidlo. Toto souvisí s použitím „mokré vany“ u motocyklů. Díky náklonu motocyklu při zatáčení je olej ve vaně stále přítomen a

nedochází k jeho odlévání do jiných míst, a proto je zajištěno správné mazání, díky dostatečnému přísunu oleje k OČ. Obr. 10. [16]

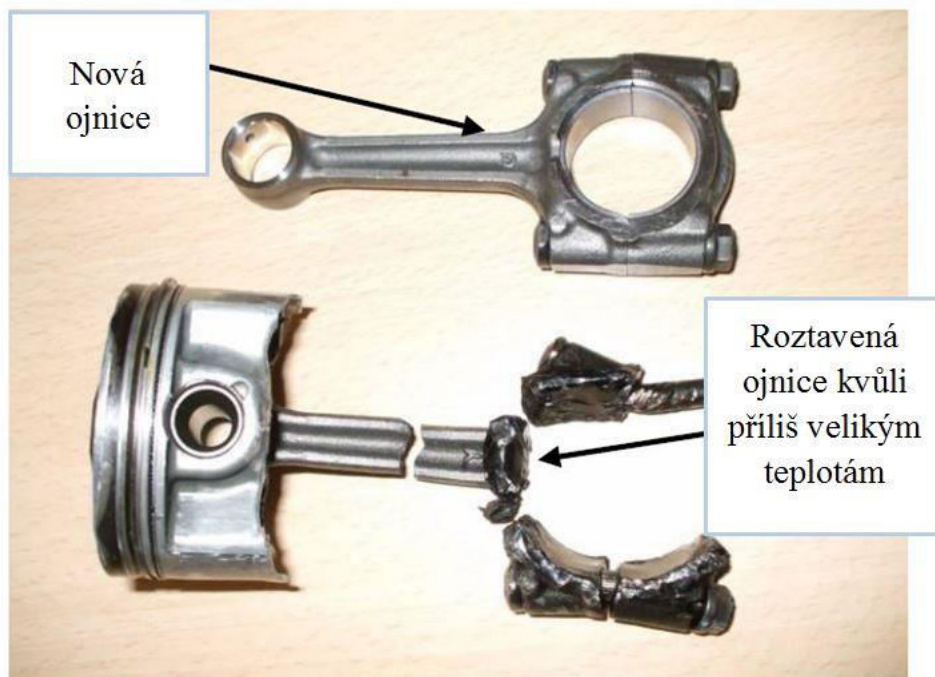


Obr. 10 Náklon motocyklu v zatáčce

Při použití této PJ ve dvoustopém vozidle dochází při zatáčení k odlévání oleje z olejové vany (neboť se vozidlo, a tedy i motor, při zatáčení nenaklání) což může způsobit nedostatečný přísun oleje k olejovému čerpadlu obr. 11. Pokud by olej nebyl delší dobu přiváděn k OČ, a tím pádem by tedy bylo narušeno správné mazání motoru, mohlo by dojít k poškození motoru z důvodů nedostatečného mazání a odvodu tepla. Obr. 12. [13]



Obr. 11 Odlévání oleje z vany



Obr. 12 Nová a poškozená ojnice

2.3.3 Výhody a nevýhody systému „suché vany“

Výhody:

- Snížení polohy těžiště - díky tomu, že se olej neskládá v olejové vaně motoru, ale v externí nádržce, může být „suchá vana“ nižší než původní „mokrý vana“ a tím pádem lze motor umístit ve vozidle níže

- Je možné použít libovolné množství oleje a libovolné umístění olejové nádržky ve vozidle – zpravidla co nejbližší k motoru z důvodu použití co možná nejkratších spojovacích cest (hadic)
- Nedochozí k vylévání oleje při zatáčení, a tedy k nedostatečnému mazání (kapitola 2.3.2)
- Díky odsávání oleje (ale také vzduchu) z motorového prostoru dochází v motorovém prostoru ke snížení tlaku, což zlepšuje funkci motoru a může také zvýšit výkon

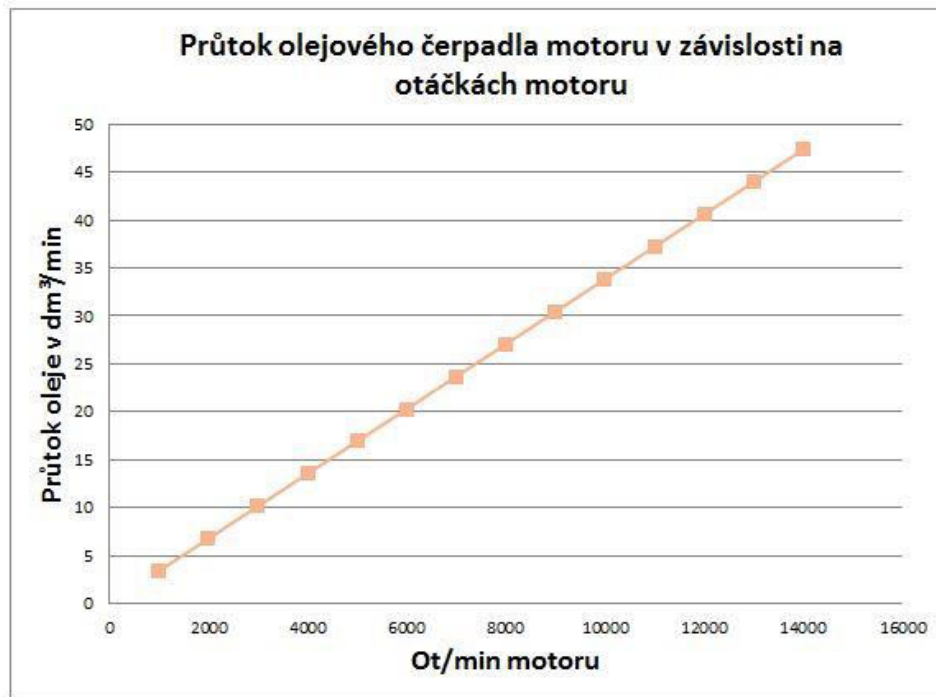
Nevýhody:

- Vyšší hmotnost než u systému „mokrý vany“ (spojovací prvky, odpadní olejové čerpadlo, externí nádrž)
- Vyšší cena
- Složitější systém než „mokrý vana“ a z tohoto důvodu vyšší poruchovost
- Zavzdušnění oleje z důvodu odsávání oleje ze „suché vany“, kdy jeden výstup při ději saje olej, ale druhý pouze vzduch

2.3.4 Jednotlivé prvky systému „Suché vany“

Systém suché vany se skládá z několika prvků:

- „Suchá vana“
- Odpadní olejové čerpadlo
- Externí olejová nádrž
- Propojovací prvky systému
- Hlavní olejové čerpadlo motoru



Obr. 13 Graf průtoku olejového čerpadla motoru

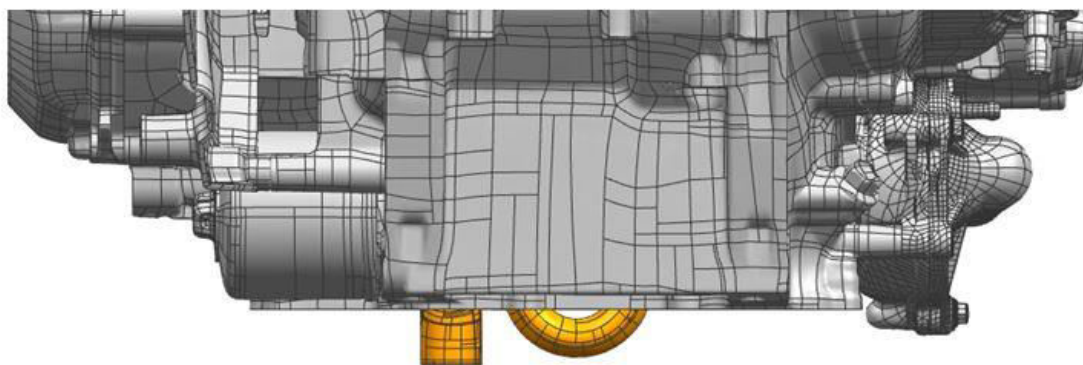
2.4 Olejová vana známá jako „suchá vana“

2.4.1 Základní funkce „suché vany“

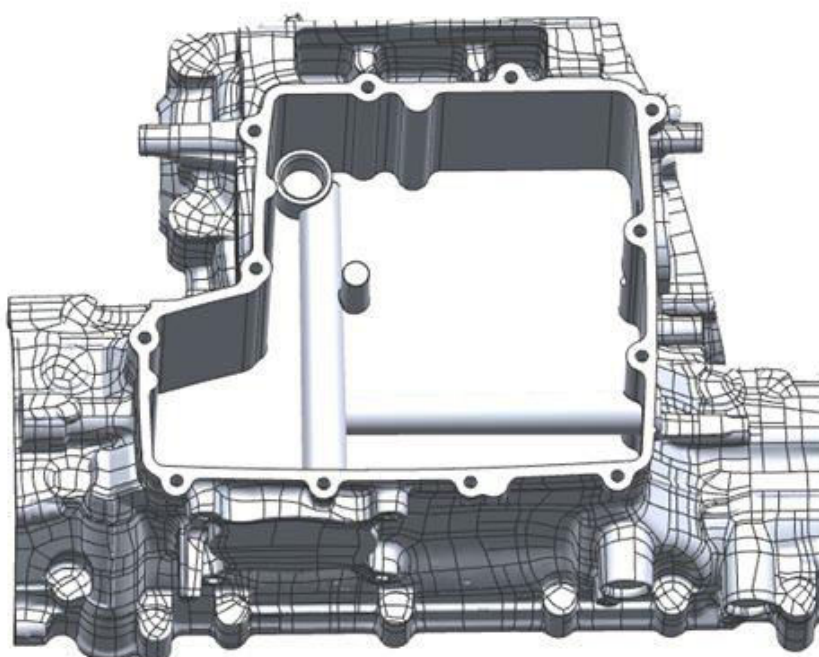
Olejová vana u systému mazání pomocí „suché vany“ slouží k zachytávání oleje stékajícího z motorového prostoru, k odvádění zachyceného oleje pomocí odpadního čerpadla do externí olejové nádržky a k propojení přívodu z olejové nádržky s olejovým čerpadlem motoru. Většina „suchých van“ je zkonstruována tak, aby měla 2-3 výstupy, které odvádějí olej pomocí odpadního olejového čerpadla do externí nádržky. Hlavním důvodem pro použití více než jednoho výstupu je co možná nejrychlejší odvod oleje ze „suché vany“, což by při použití pouze jednoho výstupu a vznikajícím odstředivým silám při zatáčení mohlo být problematické. Výstupy ze „suché vany“ jsou umístěny nejčastěji diagonálně (úhlopříčně) v olejové vaně tak, aby jeden z výstupů mohl nasávat olej při brždění vozidla a zároveň při zatáčení a druhý výstup mohl sávat olej při akceleraci vozidla a zatáčení na opačnou stranu. Při tomto řešení výstupů ze „suché vany“ sice zaručíme odsávání oleje za každé situace, ale toto řešení zároveň způsobuje zavzdušnění oleje z důvodu sání vzduchu jedním z výstupů, který není ponořen do oleje.

2.4.2 Hrubý návrh „suché vany“

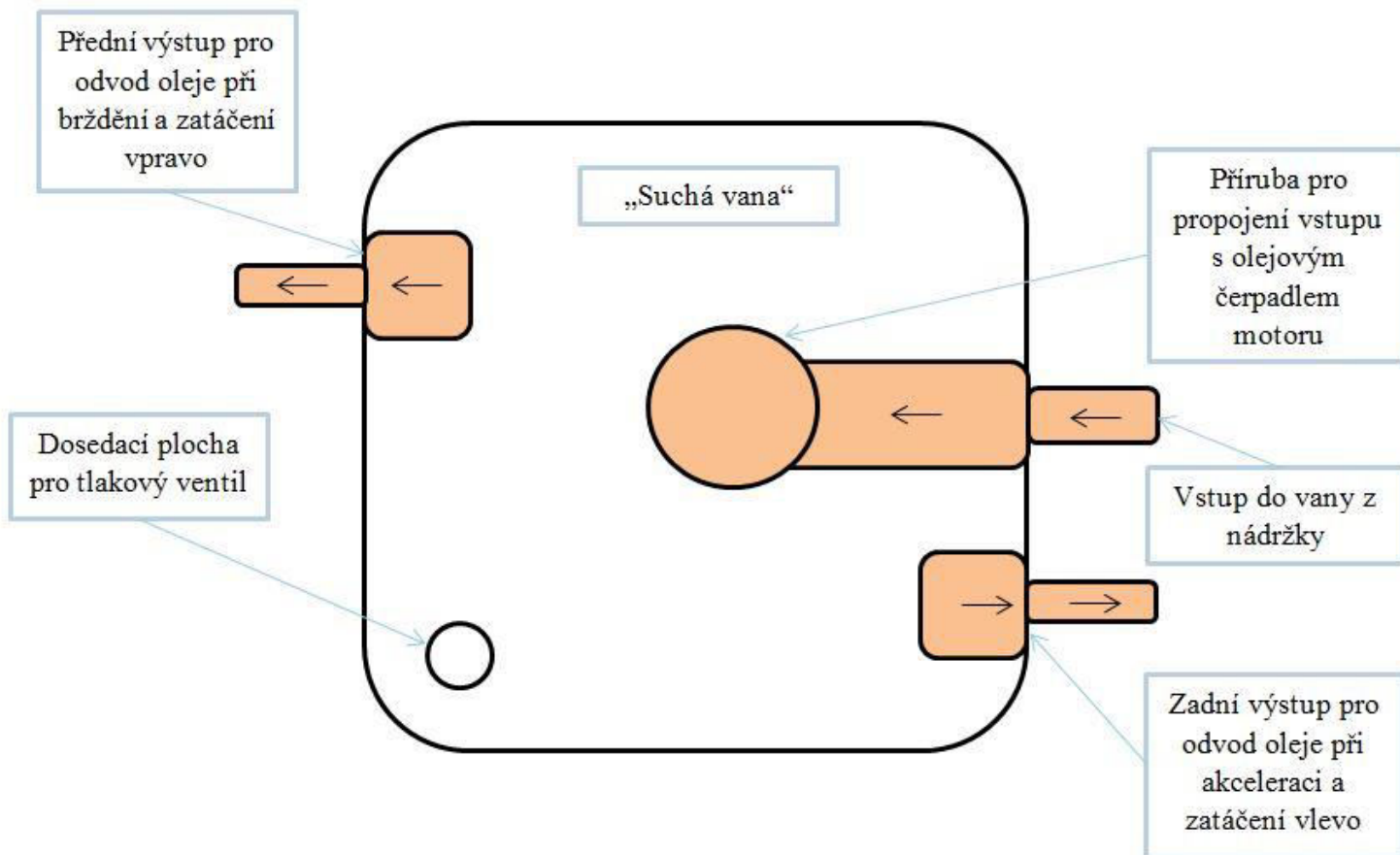
Před samotným návrhem „suché vany“ v CAD programu je vhodné provést hrubý návrh vany a prostudovat motorový prostor, ke kterému bude vana instalována a zajistit tak, aby byla plně kompatibilní. Na obr. 10 je spodní část motoru s demontovanou olejovou vanou, oranžově jsou zvýrazněny nejnižší části – tlakový ventil a olejová trubka. Návrh „suché vany“ může být minimálně vysoký tak, aby tyto komponenty dokázal zahrnout. Nejnižší z těchto dvou komponent je tlakový ventil, který z motorového prostoru vystupuje o 22mm.



Obr. 14 Spodní část motoru



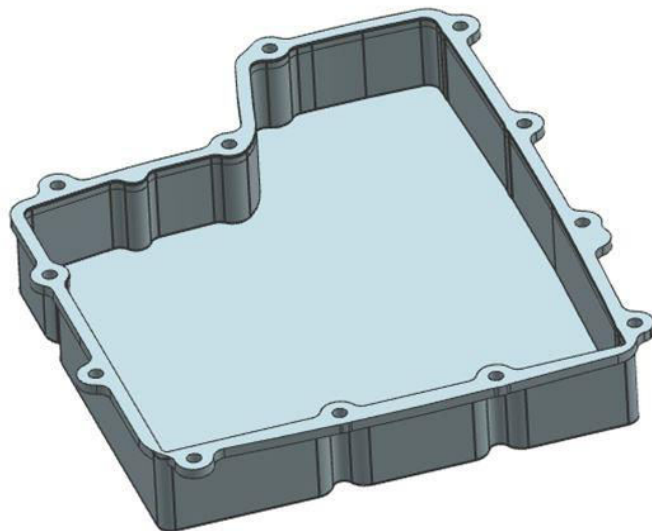
Obr. 15 Pohled zespodu na blok motoru s demontovanou olejovou vanou



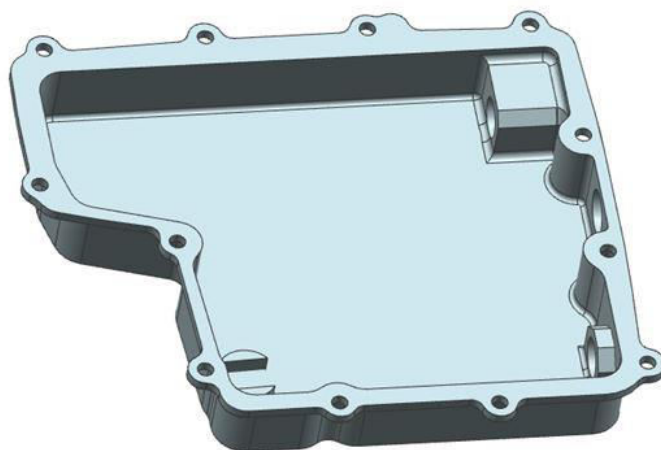
Obr. 16 Hrubý návrh suché vany

2.4.3 Návrh „suché vany“ v CAD programu

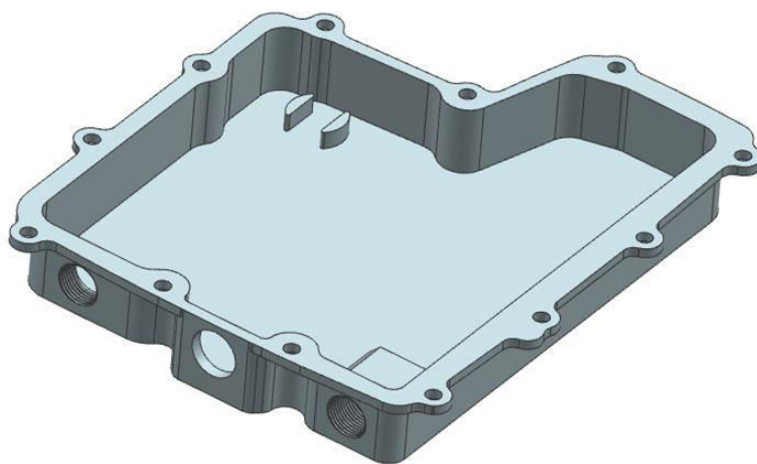
Návrh „suché vany“ se odvíjel od spodní části motoru ze stroje Yamaha YZF-R6 tak, aby komponenta správně přiléhala na plochy pro instalaci vany. Proto jako první část byla navržena dosedací plocha k motoru. Dalším krokem byl návrh dostatečného prostoru pro šrouby a celkového zjednodušení bočních stěn vany, jelikož dosedací část motoru je geometricky složitá, viz obr. 17 - Vana s přesnou dosedací plochou. Vnější část lemu „suché vany“ je konstruována přesně podle motoru (3D skenu) pro dokonalou těsnost, ale vnitřní část lemu je zjednodušená, neboť pro správnou funkci nemá veliký vliv a je tím podstatně zjednodušená výroba a tedy i náklady s ní spojené. Výška lemu je 4mm.



Obr. 17 Vana s přesnou (složitou) dosedací plochou



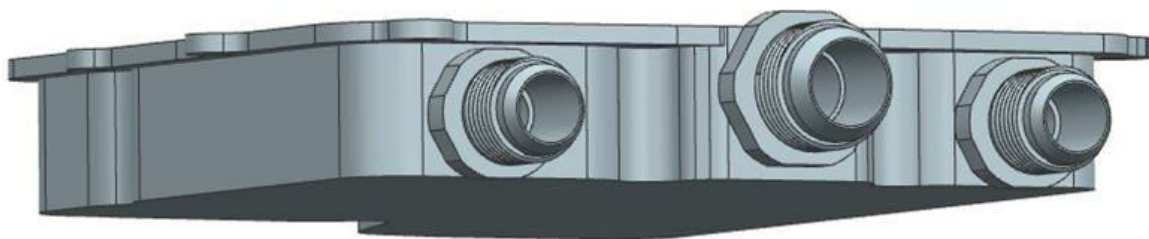
Obr. 18 Návrh suché vany se zjednodušenou dosedací plochou



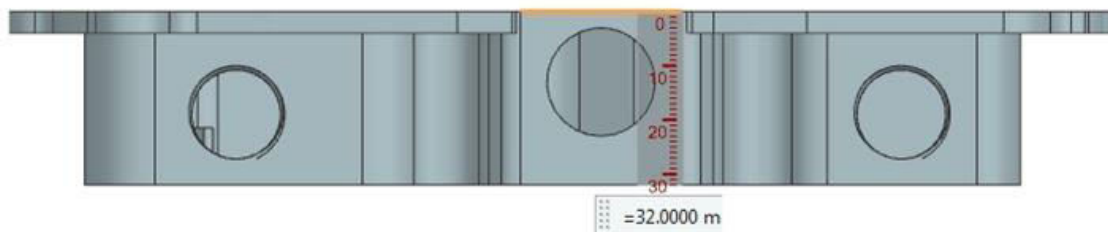
Obr. 19 Návrh suché vany se zjednodušenou dosedací plochou

Další část návrhu vany se týkala bočních stěn, dna a s tím spojená celková výška vany, která má být co možná nejvyšší. Návrh vany musí zahrnovat dostatečný prostor a dosedací

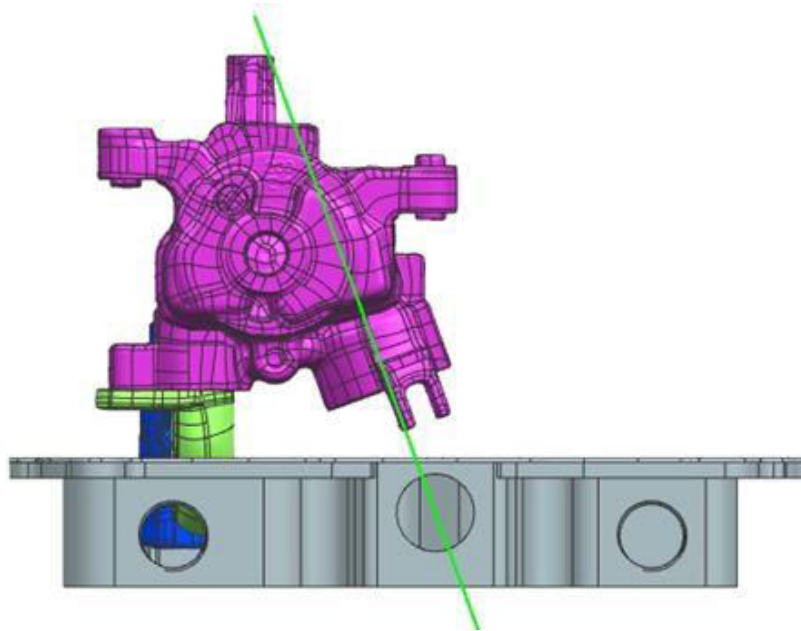
plochu pro tlakový ventil a olejovou trubku. Tlakový ventil z bloku motoru vystupuje délkou 22mm, pokud uvažujeme tloušťku dna vany 3mm, vana musí být vysoká minimálně 25mm. Další částí určující celkovou výšku vany jsou vstupy pro adaptéry a adaptéry samotné. Podle pravidel Formule SAE International® smí být minimální výška částí vozidla, mimo kola, nad vozovkou 25mm a toto pravidlo se týká všech částí, které by mohli z vozidla vystupovat. Proto je třeba adaptéry na vanu umístit takovým způsobem, aby byla „SV“ co nejnižší, ale také dostatečně prostorná pro umístění adaptérů takovým způsobem, aby nevystupovali pod dolní okraj „SV“. Z toho důvodu jsou na výstupních adaptérech sražené rohy na šestihranech a umístěny co nejbližší k hornímu lemu vany tak, abychom dosáhli co nejnižší konstrukce. Na vstupním adaptéru jsou také sražené rohy na šestihranech a je umístěn výše než adaptéry výstupní, to proto, že je tento adaptér rozměrnější a také je třeba k němu z vnitřní strany vany připojit přírubu. Tento adaptér svými rozměry vystupuje nad horní kraj „suché vany“ a proto musí být vana přizpůsobena tak, aby adaptér nebyl v kolizi s blokem motoru. Střed otvoru pro tento adaptér bylo třeba umístit v rovině, která je určena osou vstupu olejového čerpadla motoru a kolmicí k boku vany a to z toho důvodu, aby bylo zajištěno správné propojení jednotlivých částí systému. Tato rovina je zeleně znázorněna na obr 22. Dosažená celková výška je 32mm. Pohled na vanu s adaptéry a její výšku na obr. 20 a 21. [1]



Obr. 20 Pohled na vanu s nainstalovanými adaptéry

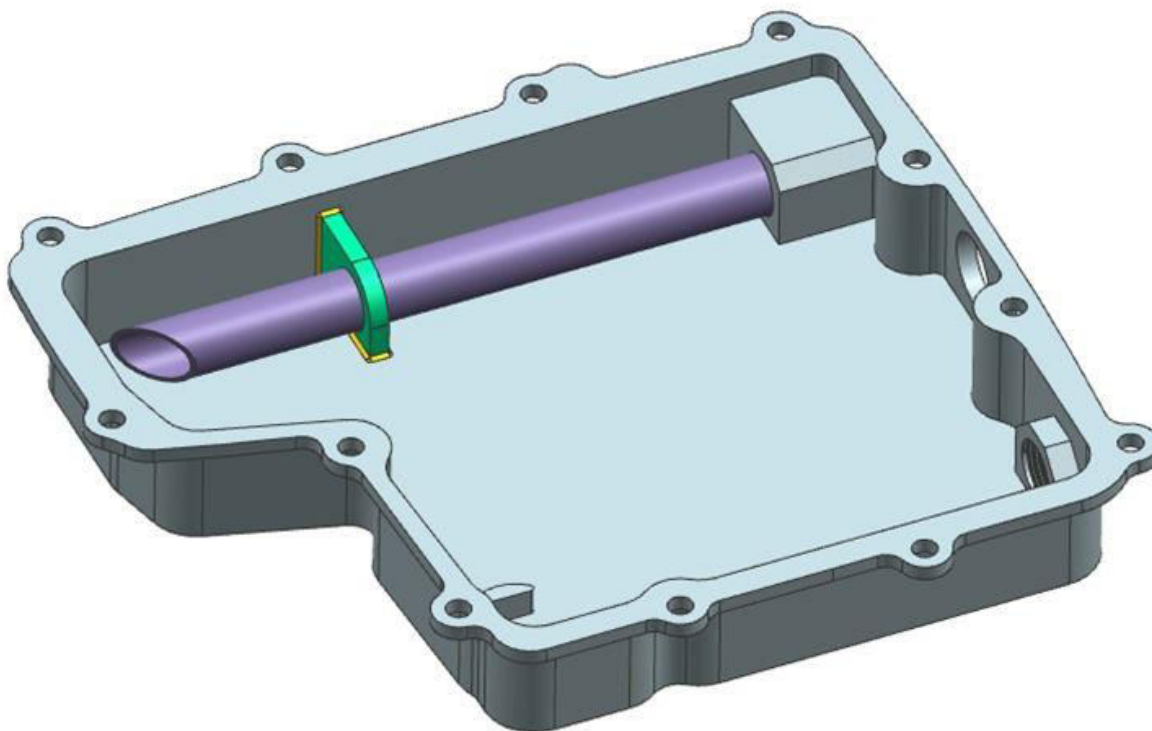


Obr. 21 Celková výška "suché vany"



Obr. 22 Průmět roviny potřebné k návrhu vstupu

Následovala část návrhu s výstupy ze „SV“, které, jak už bylo zmíněno výše, je třeba umístit diagonálně. Výstup, který bude odebírat olej při zrychlení a zatáčení vozu vlevo, zajistí samotný adaptér, který bude namontovaný na „SV“. Druhý výstup, který bude odebírat olej při brždění a zatáčení vpravo, je třeba zajistit použitím nějaké komponenty. Buďto samotným návrhem vany, která bude zahrnovat díru se vstupem v požadované části, nebo použitím trubky. V tomto návrhu je použita druhá možnost, neboť je snazší na výrobu a také lehčí. Nevýhodou ovšem může být případná netěsnost. Trubka je navržena tak, aby dosedala na část vany s adaptérem a na druhém konci je seříznutá pod úhlem 45° pro větší obsah plochy při nasávání oleje. Trubka je také podepřena plechem s dírou pro větší stabilitu. Viz obr. 23.



Obr. 23 Návrh suché vany se sběrnou trubkou

Po vyřešení výstupů z vany do odpadního olejového čerpadla je třeba zajistit přísun oleje zpět do motoru a to konkrétně z olejové nádrže do olejového čerpadla motoru, které olej dále rozvede. Vstup do „SV“ zajišťuje adaptér kompatibilní s fitinky a olejovými hadicemi. Tento adaptér je tedy třeba propojit s olejovým čerpadlem motoru a to tak, aby spojení jednotlivých částí bylo dokonale těsné a byl zajištěn dostatečný podtlak (vytvářený sáním čerpadla motoru) k nasávání oleje a tedy i k mazání motorových částí. Pro toto propojení byla navržena příruba (obr. 24) ke spojení s adaptérem a propojovací trubka.

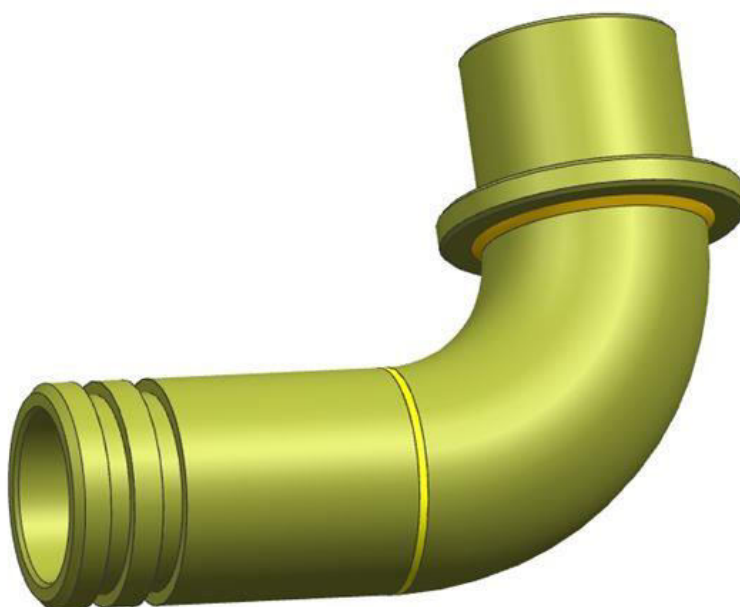


Obr. 24 Příruba pro vstup do "SV"

Propojovací trubka se skládá celkem ze tří částí, které jsou k sobě přivařené. První část vstupuje do příruby a zahrnuje spáru pro dva o-kroužky pro těsnění. Druhá část je 90° koleno a třetí část je navržena podle vstupu do olejového čerpadla motoru a příslušného těsnění. Tento návrh třetí části je navrženy podle plastového tělesa, které je použito v originálním motoru s „mokrou vanou“, pro sání oleje.

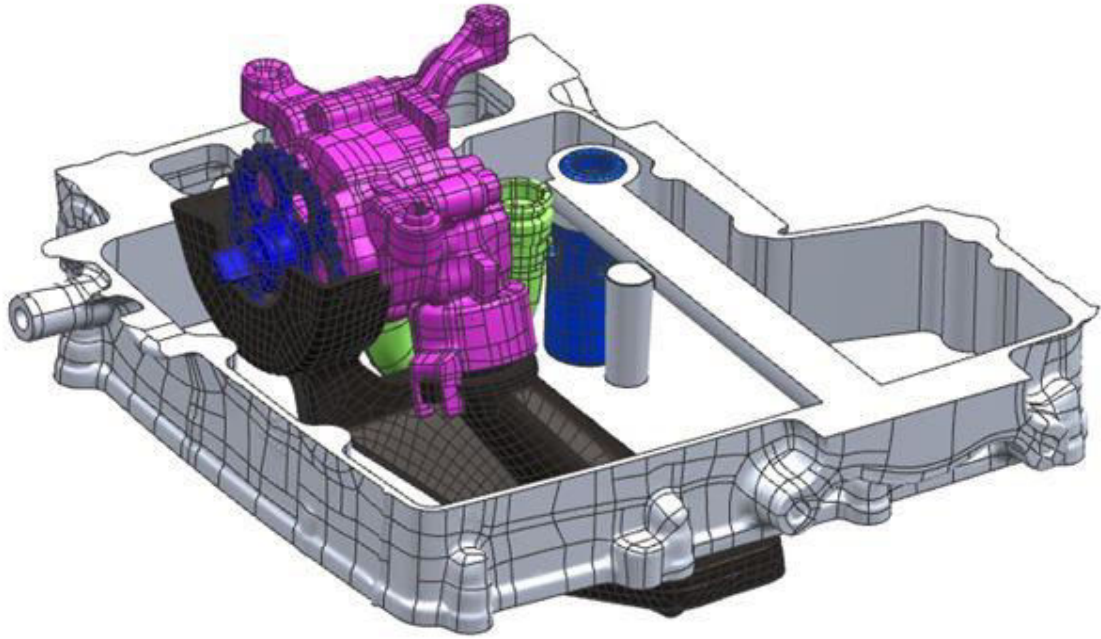


Obr. 25 Originální těleso pro sání oleje



Obr. 26 Trubka pro propojení s olejovým čerpadlem motoru

Jak je k vidění na obr. 25, originální těleso pro sání oleje zahrnuje také misku, díky které je mazán řetěz pohánějící olejové čerpadlo motoru. Jelikož návrh propojovací trubky nezahrnuje tuto misku, je vhodné toto mazání zprostředkovat jiným způsobem. Tuto misku lze vyrobít, nebo použít misku z originálního tělesa.



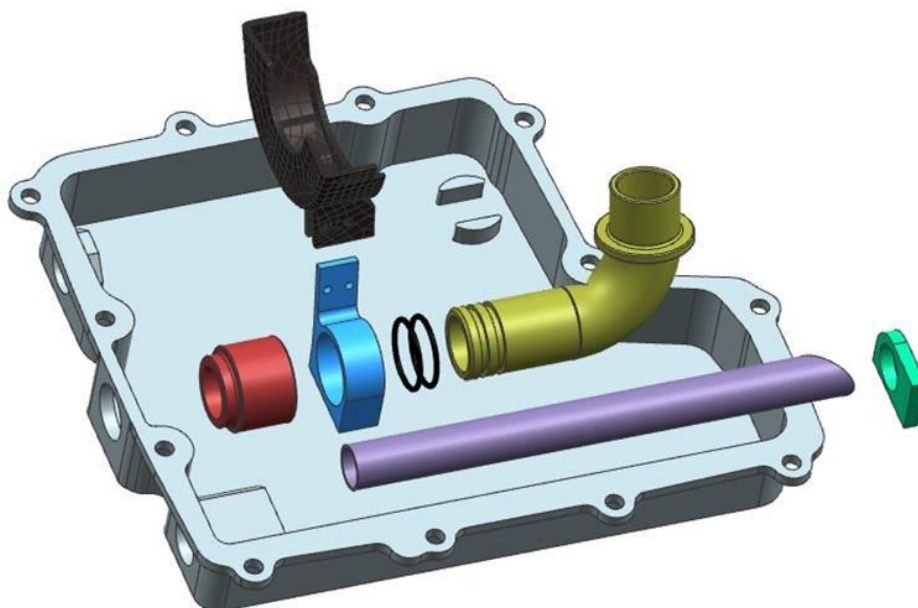
Obr. 27 Pohled do originálního rozvržení spodní části motoru



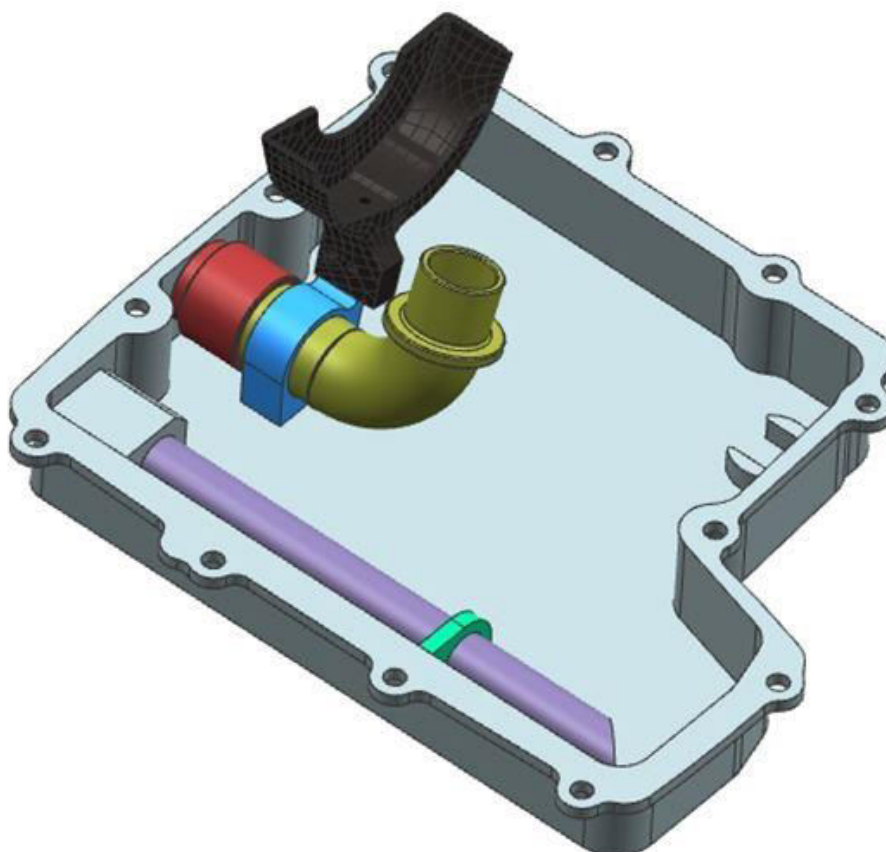
Obr. 28 Držák mazací misky a propojovací trubky



Obr. 29 Miska získaná z originálního sacího tělesa



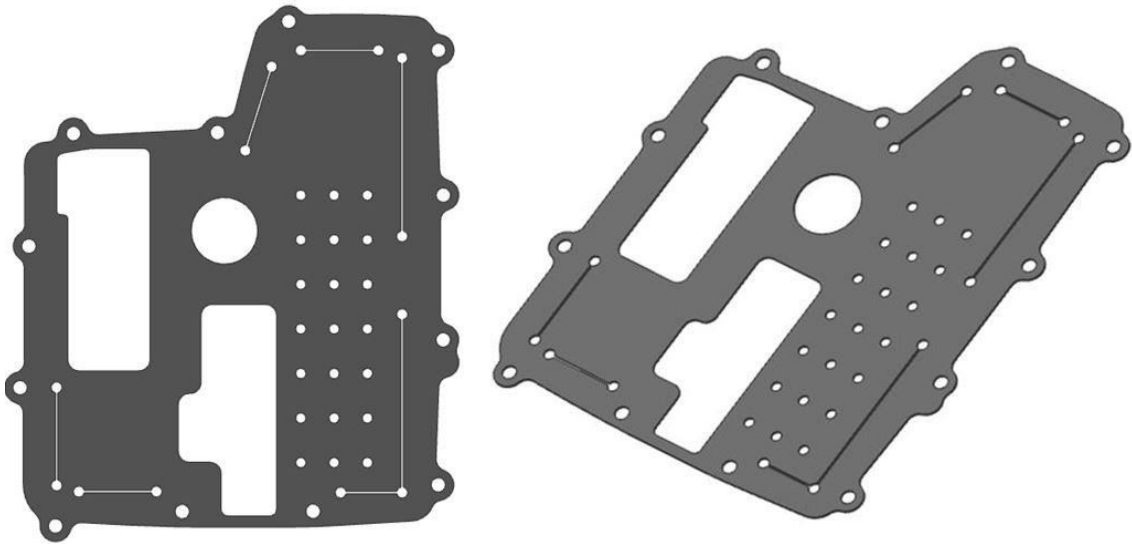
Obr. 30 Rozstřel komponent "suché vany"



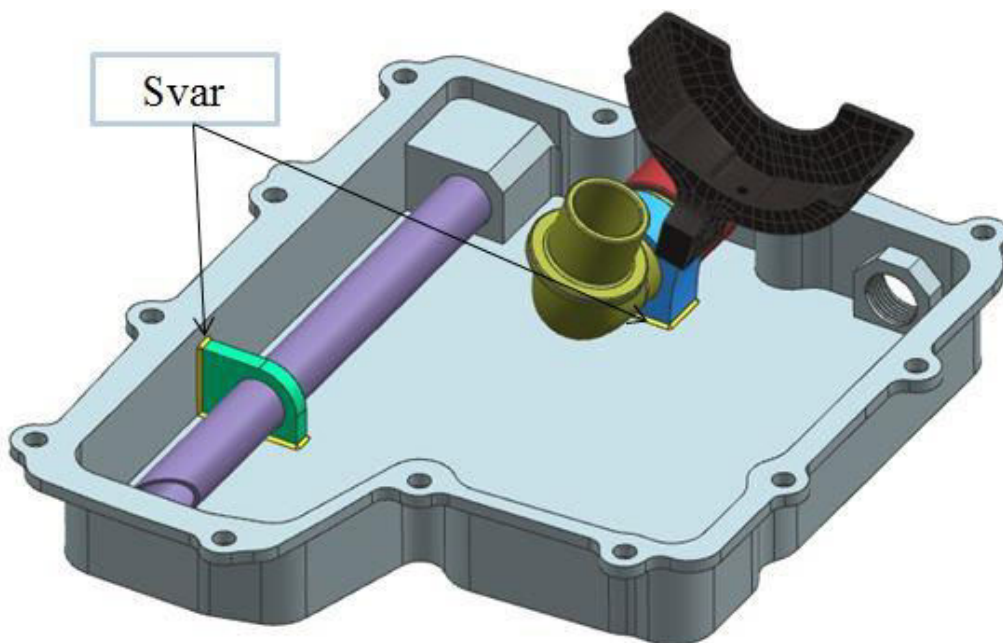
Obr. 31 Sestavení komponent "suché vany"

Po návrhu veškerých důležitých částí „SV“ a tedy definování tvarů systému, byl navržen plech, který slouží jako přepážka pro znemožnění přílišného pohybu oleje – jeho vylévání – do ostatních (převážně horních) částí motoru při jízdě. Tento plech by měl být navržen tak, aby olej co nejlépe stékal dolů k výstupům ze „SV“ a co možná nejméně vytékal nad něj při různých zrychleních. Při návrhu plechu je zapotřebí brát v úvahu jednotlivé komponenty „SV“ a vyhnout se kolizím, které by mohly vzniknout. Návrh plechu je na

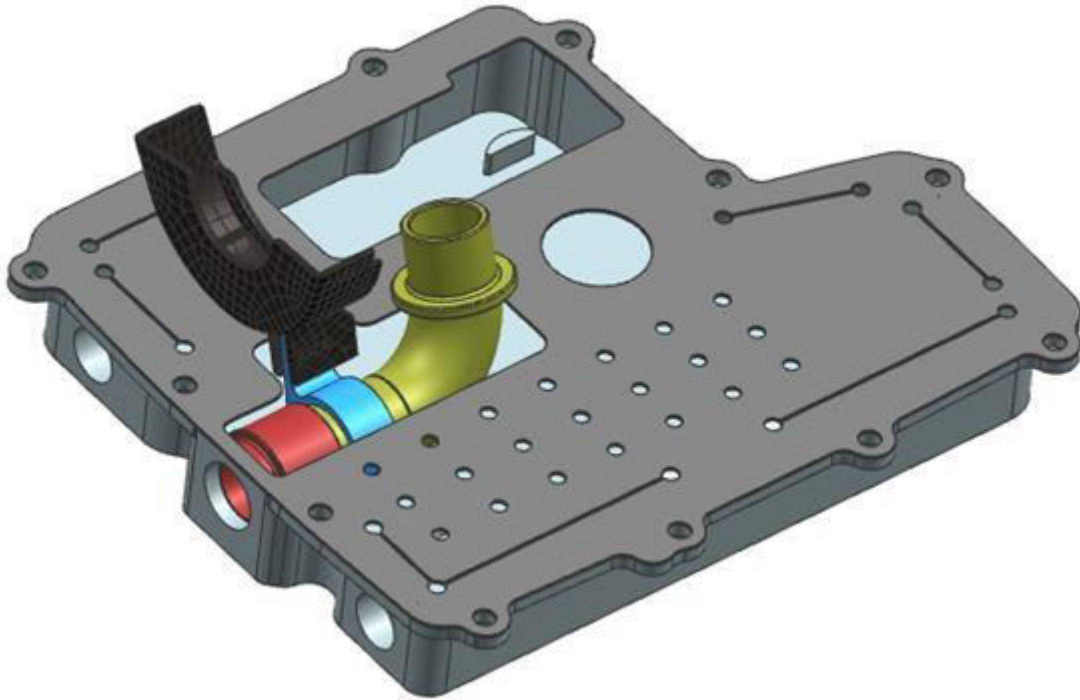
obr. 32. Při okrajích plechu jsou otvory, které se skládají z kruhových děr a mezi nimi je díra tenká obdélníková. Hrany tohoto obdélníkového otvoru se ohnou směrem dolů, čímž se zajistí lepší stékání oleje pod plech a zároveň se znesnadní olejový odtok nad plech těmito otvory. Jak lze vidět na obr. 32, v okolí výstupů ze „SV“ je otvorů co nejméně. To proto, aby se při odsávání olej nevyléval nad plech.



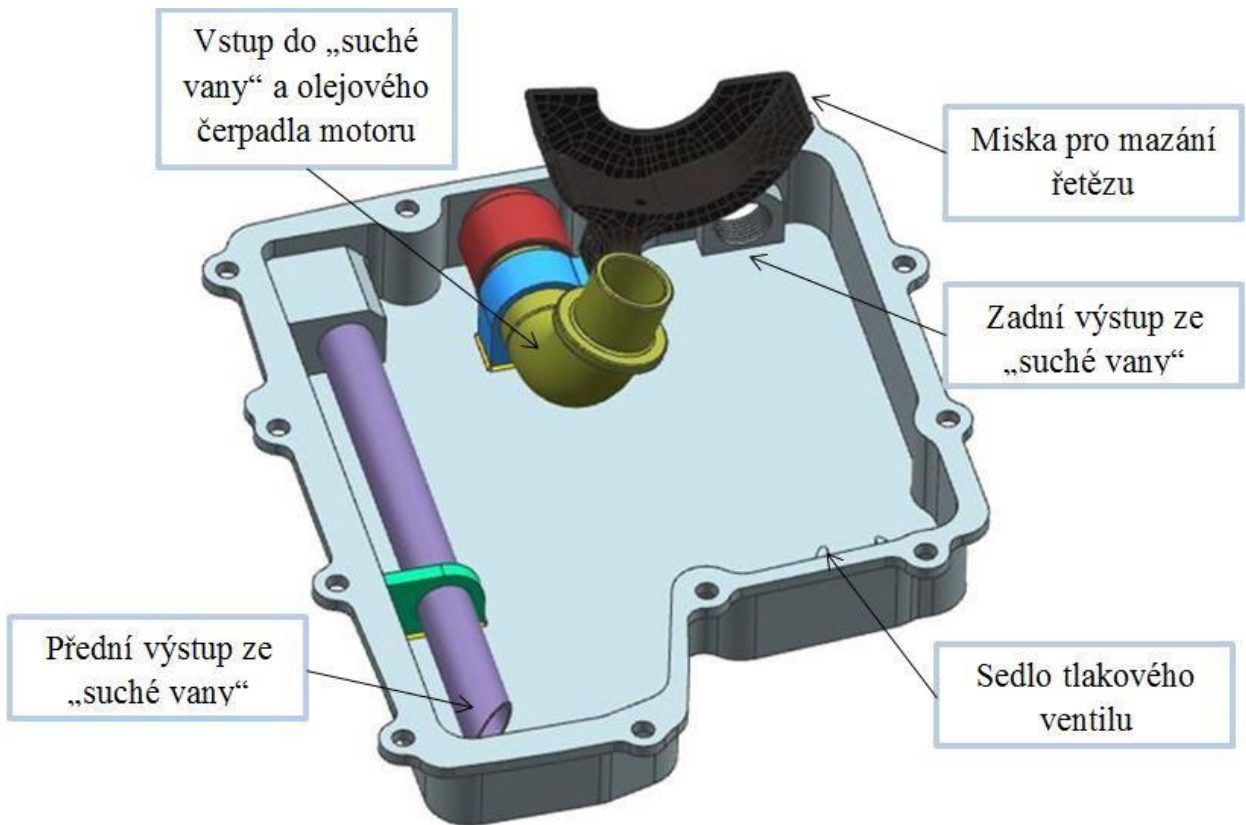
Obr. 32 Přepážkový plech



Obr. 33 Kompletní návrh "suché vany" s přidruženými komponenty



Obr. 34 Kompletní návrh "suché vany" s přidruženými komponenty 2

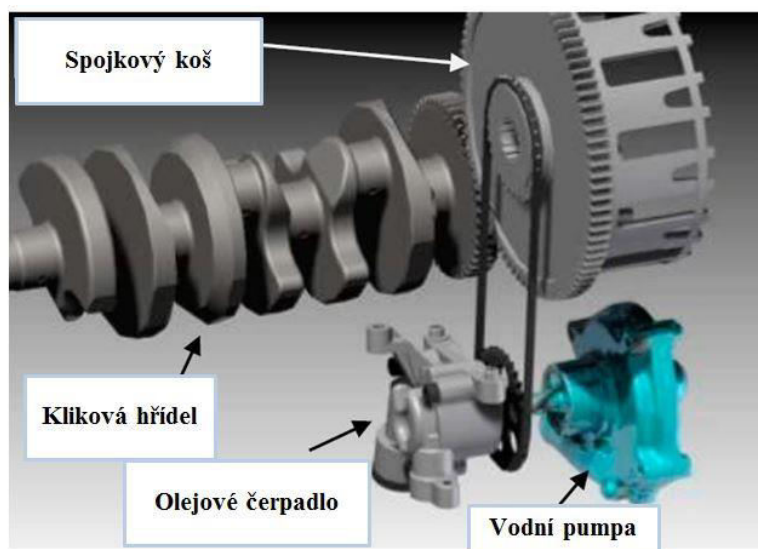


Obr. 35 Suchá vana s komponenty a popisky

2.5 Odpadní olejové čerpadlo (angl. „scavenge pump“)

2.5.1 Popis a typy odpadních olejových čerpadel

Odpadní olejové čerpadlo (angl. „scavenge pump“) je speciální čerpadlo pro odvod oleje ze „suché vany“ do externí nádržky na olej. Toto čerpadlo využívá ke svému pohonu nejčastěji mechanickou energii motoru a to konkrétně energii, která je přiváděná z klikové hřídele, přes spojkový koš a ozubené kolo na spojkovém koši, na ozubené kolo na hřídeli, která pohání olejové čerpadlo motoru a vodní pumpu. Tento převod je znázorněn na obr. 36. [13]



Obr. 36 Převod

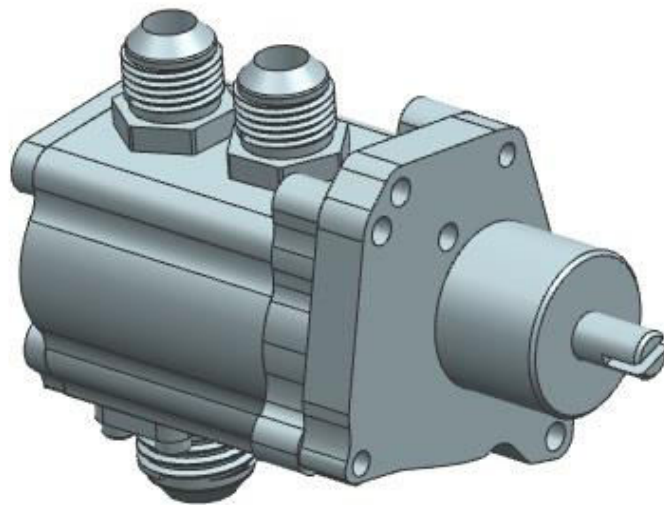
U odpadního olejového čerpadla je důležité, aby jeho průtok byl stejný nebo vyšší, než olejové čerpadlo motoru. Tím se zabezpečí dostatečně rychlé odsávání oleje ze „suché vany“.

Na trhu je k dostání několik typů odpadních čerpadel. Hlavní rozdíly mezi nimi jsou:

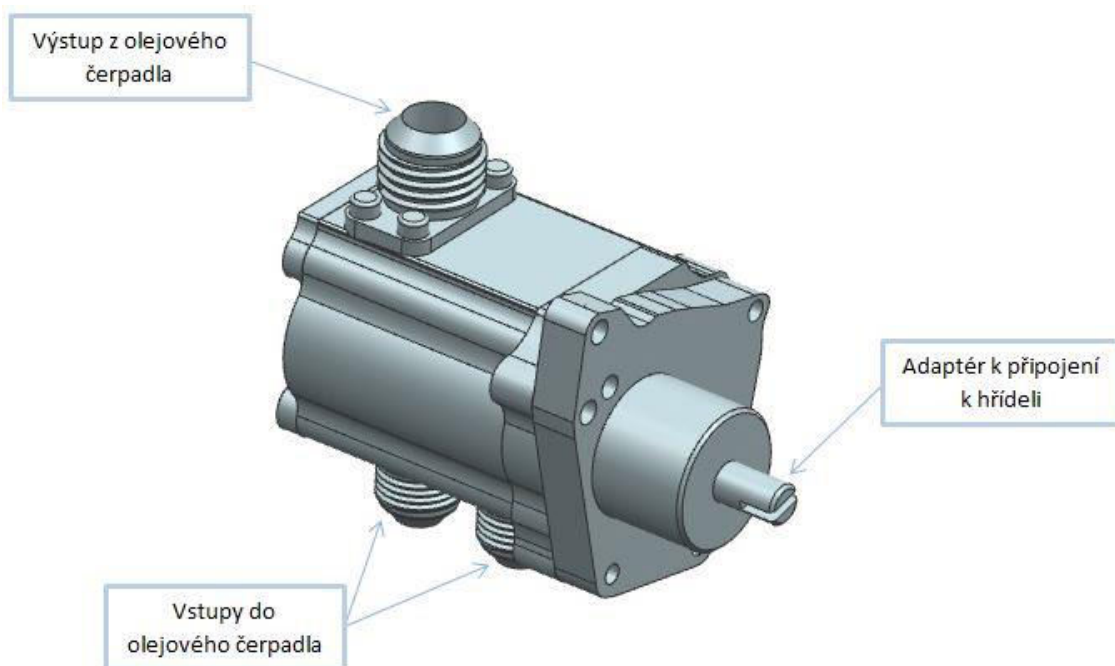
- Typy rotorů
- Počet sacích otvorů
- Způsob pohonu čerpadla

2.5.2 Vybrané odpadní olejové čerpadlo

Nejvhodnější OoČ pro naši aplikaci je OoČ od firmy Dailyengineering. Toto čerpadlo je určeno přímo pro námi zvolenou PJ ze stroje Yamaha YZF-R6. Čerpadlo je umístěno přímo na místo vodní pumpy, kterou bylo třeba z motoru odinstalovat. Odpadní OČ je poháněno stejnou hřídelí, jako OČ motoru. Toto OoČ bylo vymodelováno pomocí softwaru Siemens NX viz obr. 37. Popis důležitých částí OoČ je znázorněn na obr. 38. [17]

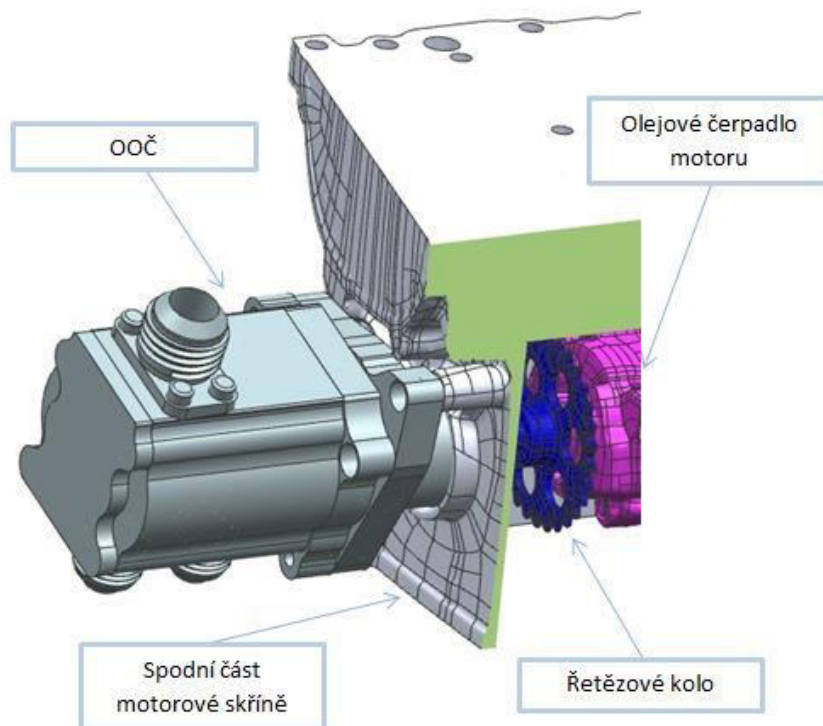


Obr. 37 Odpadní OČ od firmy Dailyengineering

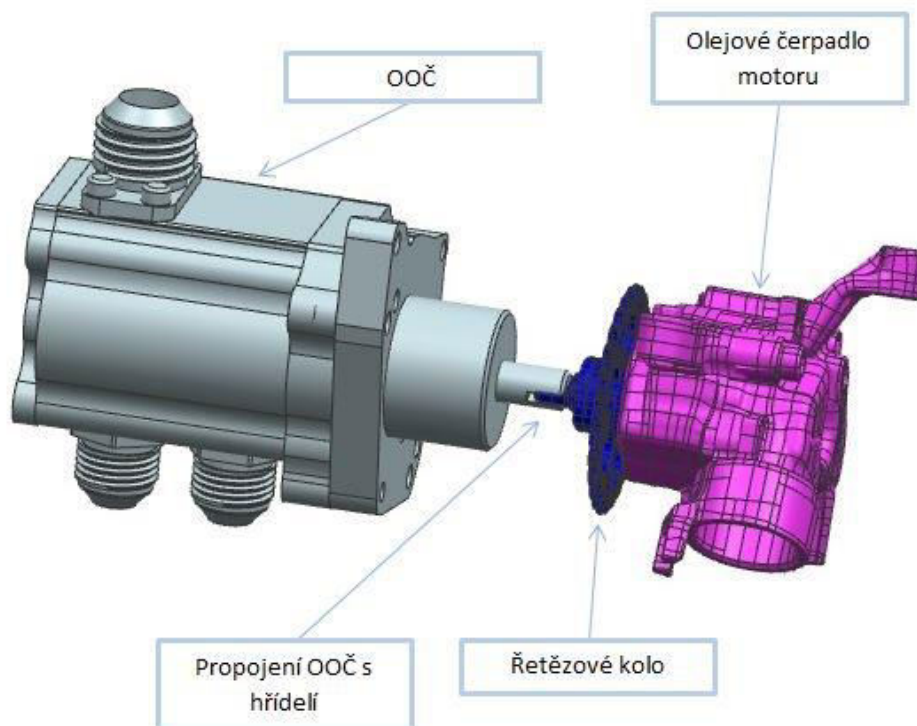


Obr. 38 Popis částí OOČ od firmy Dailyengineering

Instalace OOČ do systému PJ je znázorněna na obr. 39 a obr. 40.



Obr. 39 Propojení OOČ se systémem PJ



Obr. 40 Propojení OOČ s hřídelí a OČ motoru

2.6 Olejová nádržka

2.6.1 Olejová nádržka a její funkce

Primární funkcí olejové nádržky je zadržení oleje, který je do ON pumpován ze „suché vany“ odpadním olejovým čerpadlem. Další velmi důležitou funkcí nádržky je co nejúčinnější odstranění pěny a vzduchových bublin z oleje. Zavzdušnění oleje dochází při sání oleje ze „suché vany“, kdy jedním z výstupů je sán olej a druhým pouze vzduch viz kap. 2.3.3. S přibývajícím procentuálním objemem vzduchu v oleji se zhoršují vlastnosti oleje, konkrétně:

- Degradace oleje způsobená oxidací, a tím pádem zhoršené mazací schopnosti
- Degradace oleje vysokými teplotami – olej s velkým procentuálním objemem vzduchu generuje teplo a to na základě:
 - adiabatické komprese vzduchových bublin v oleji
 - odporu v trubkách a ostatních komponentech mazacího systému
- Tepelná vodivost – olej s vysokým % vzduchu je špatný vodič tepla a také se nedostává k jednotlivým komponentům motoru dostatečné množství oleje, což způsobuje nedostatečné chlazení systému
- Přívod oleje:
 - Stlačitelnost oleje způsobená vysokým % vzduchu v něm způsobuje narušení funkčnosti čerpacích komponent
 - Olejová pěna může svými vlastnostmi působit jako bariéra mezi mazivem (olejem) a komponenty jako např. ložiska a ozubená kola
 - Zmenšení hustoty oleje v důsledku vysokého % vzduchu může způsobit špatné stékání oleje do vany a v ostatních komponentech mazacího systému
- Kavitace, které mohou způsobovat opotřebení součástí mazacího systému

Z výše uvedených důvodů je třeba procentuální objem vzduchu v oleji udržovat na co nejnižší úrovni. Toho lze docílit:

- Zachováním vysokého povrchového napětí oleje. Faktory, které snižují povrchové napětí oleje:
 - H₂O v oleji
 - Sloučeniny kyslíku v oleji
 - Polární aditiva nebo znečišťující příměsi
- Poskytnutím dostatečného času pro zpěnění olej, při němž se olej nebude dále sytit vzduchem, se zaručí separace vzduchových bublin od oleje. Toho lze docílit:
 - Olejovými zásobníky s vysokým objemem
 - Olejovými zásobníky s přepážkami, které usměrňují proud oleje
- Použitím odvzdušňovacích postupů a technologií:
 - Vytvořením mírného podtlaku v olejové nádrži
 - Použitím vírových odvzdušňovacích technologií

- Použitím speciálních separátorů s drátěnou tkaninou [15]

2.6.2 Hrubý návrh nádržky

Jak již bylo zmíněno v kap. 2.6.1, nejdůležitější funkcí nádržky je skladování dostatečného množství oleje a co nejúčinnější odvodu oleje. Systém „suché vany“ s externí olejovou nádržkou se hojně používá u sportovních čtyřkolých vozidel, které používají motocyklové motory – mimo závody kategorie FSAE např. v závodech typu autokros. Nejpoužívanější ON jsou válcové, s průměrem základny pohybujícím se okolo 12cm (cca 5 palců) a výškou, která je dvakrát až třikrát větší než průměr základny. Objem těchto nádržek se pohybuje okolo 2-4 litrů oleje podle použité PJ a řešení systému „suché vany“. Do těchto externích nádržek se začleňují děrované přepážky, které pomáhají při odvodu oleje. Komerčně prodávaná ON na obr. 41. [18] [19]

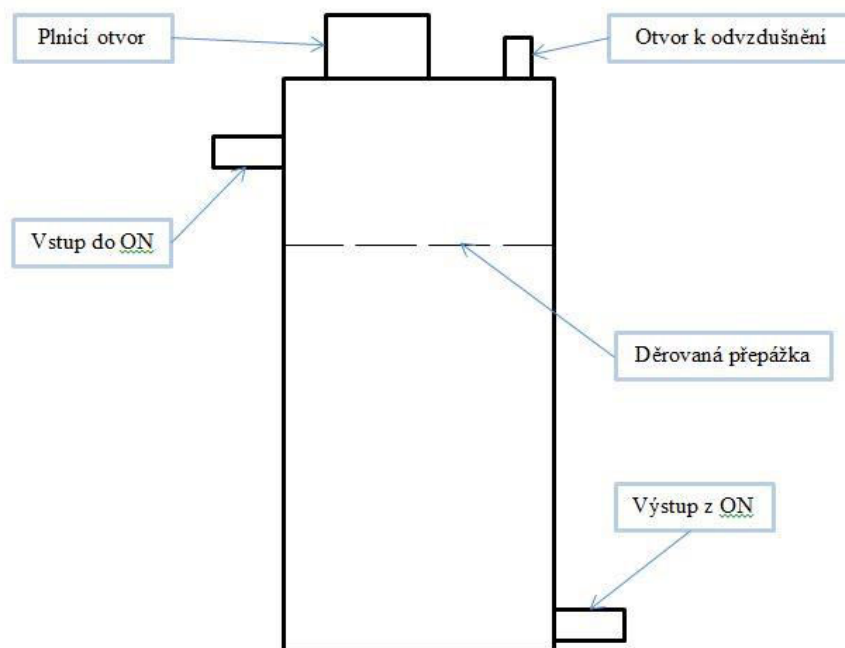


Obr. 41 Komerčně dostupná olejová nádržka

Výpočet vnitřního objemu ON, a tedy její velikost, je závislý:

- Na objemu oleje, se kterým pracuje motor v originálním řešení s „mokrou vanou“
- Na délce propojovacích komponent (hadice, trubky, fitinky, adaptéry)

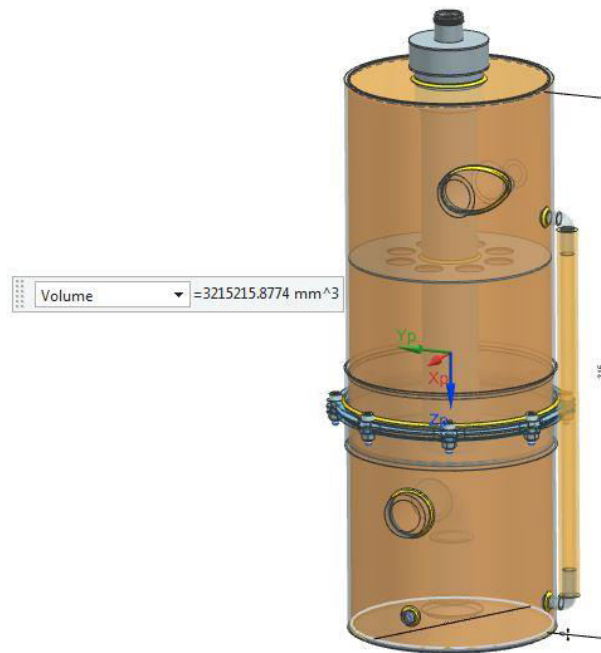
Pro návrh ON není důležitý pouze objem oleje, který je třeba skladovat v nádrži, ale také je třeba věnovat pozornost pro návrh dostatečně velkého volného prostoru nad olejovou hladinou v nádrži. Tento prostor je důležitý pro správnou funkci ON při separaci vzduchových bublin z oleje. V této části se při funkci systému „SV“ vyskytuje olejová pěna, která, pokud má dostatek volného prostoru, se po určitém časovém období bortí a olej v ní obsažený stéká v nádrži zpět dolů. Dostatečný prostor je také důležitý při odvodu oleje ze systému – pokud by byla hladina blízko odvodňovacího otvoru, mohlo by dojít k výtoku oleje ze systému (buďto v podobě samotného oleje nebo olejové pěny) a tím ke ztrátě potřebného množství oleje v systému. Výrobci dry sump („suchá vana“) systémů doporučují upravovat výšku hladiny oleje v ON při zahřátém běžícím motoru a to přibližně na $\frac{3}{4}$ výšky vnitřního objemu ON. [15]



Obr. 42 Hrubý návrh olejové nádržky

2.6.3 Vlastní návrh olejové nádržky

Vlastní návrh olejové nádržky byl vytvořen s ohledem na ostatní komerčně prodávané nádržky. Byl kladen důraz na dostatečný vnitřní objem nádržky pro skladování oleje a také na co nejlehčí konstrukci nádržky, která z tohoto důvodu byla vyrobena z hliníku. Návrh olejové nádržky má vnitřní objem cca 3,2l, ovšem nádržka při provozu může být zaplněna maximálně ze $2/3 - 3/4$ z důvodu správné funkce odvzdušnění oleje (nad hladinou oleje v nádržce je třeba zachovat určitý prostor pro případnou pěnu a její zkapalnění).



Obr. 43 Vnitřní objem nádržky zjištěn ze systému Siemens NX10

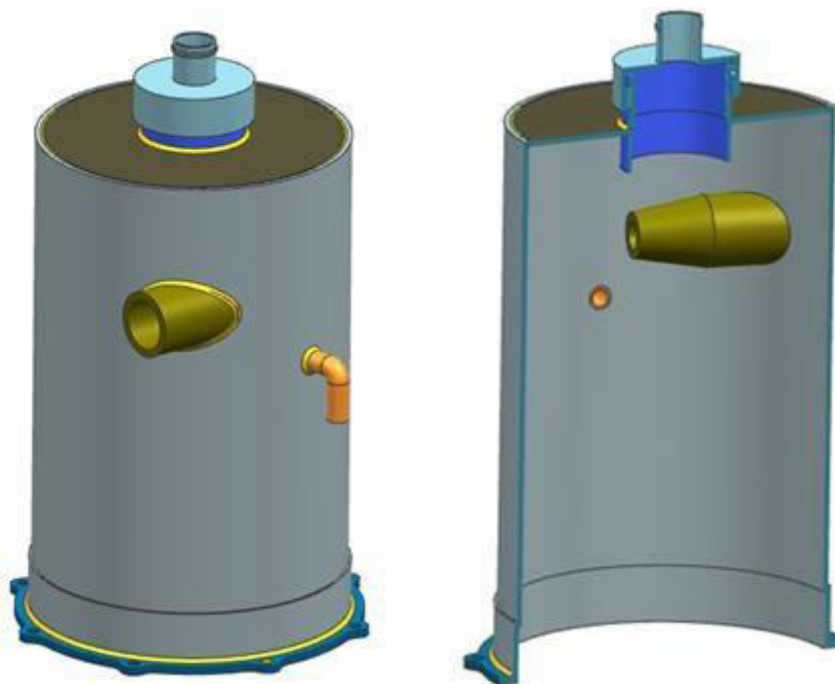
Vnitřní objem nádrže podle programu Siemens NX10: $3,215\text{dm}^3$. Funkční objem oleje v nádrži při běžícím systému (hladina oleje na úrovni přepážky) je cca $2,2\text{dm}^3$.

Nádržka je konstruována ze tří částí:

- Horní část se vstupem a odvětrávacím otvorem
- Střední část s přepážkami
- Spodní část s výstupem

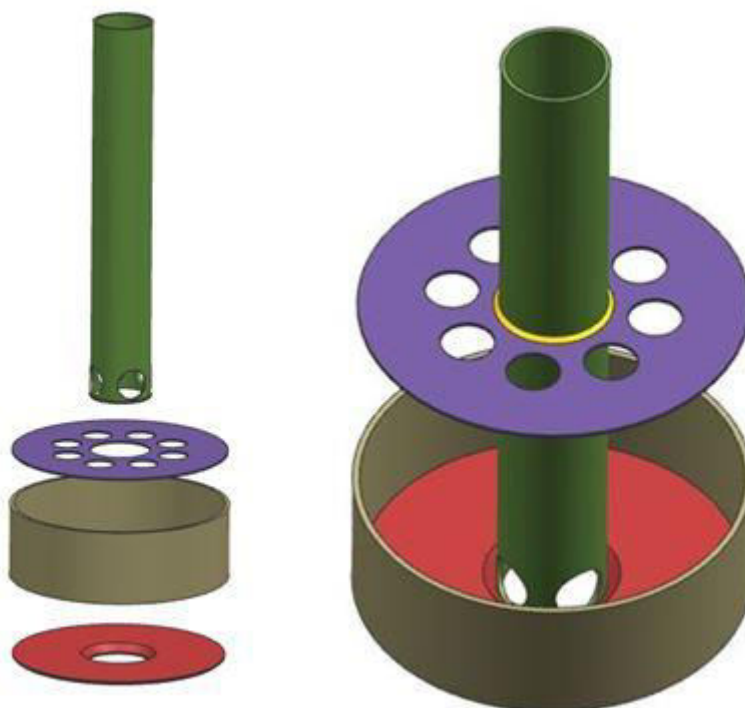
Horní a spodní části mají na sobě příruby s celkem 8 dírami, díky kterým na sebe dolehnou a přišroubují se k sobě imbusovými šrouby. Střední část je vložena uvnitř nádrže.

V horní části ON je víčko, které má v sobě již zahrnutou trubku, na kterou se nainstaluje hadice pro odvětrání vnitřních prostor nádržky. Toto víčko je přišroubované ke krku, který je vyroben z trubky. Tento krk je přivařený ke kruhovému plechu, který dosedá na boční stěny nádrže. Pod horním krajem ON je ke stěně navařena trubka se závitem, do kterého se nainstaluje příslušný adaptér, přes který bude do nádržky vstupovat čerpaný olej, a to tak, aby smáčel vnitřní boční stěnu nádrže a díky ní a energii, kterou má, se při pohybu roztočil. Na pravé straně ON je navařené duté kolínko, které je spojené s druhým kolínkem ve spodní části průhlednou hadicí, pro sledování výšky hladiny oleje v nádrži a na dolním kraji je navařena příruba pro spojení se spodní částí nádrže. Obr. 44.



Obr. 44 Horní část ON

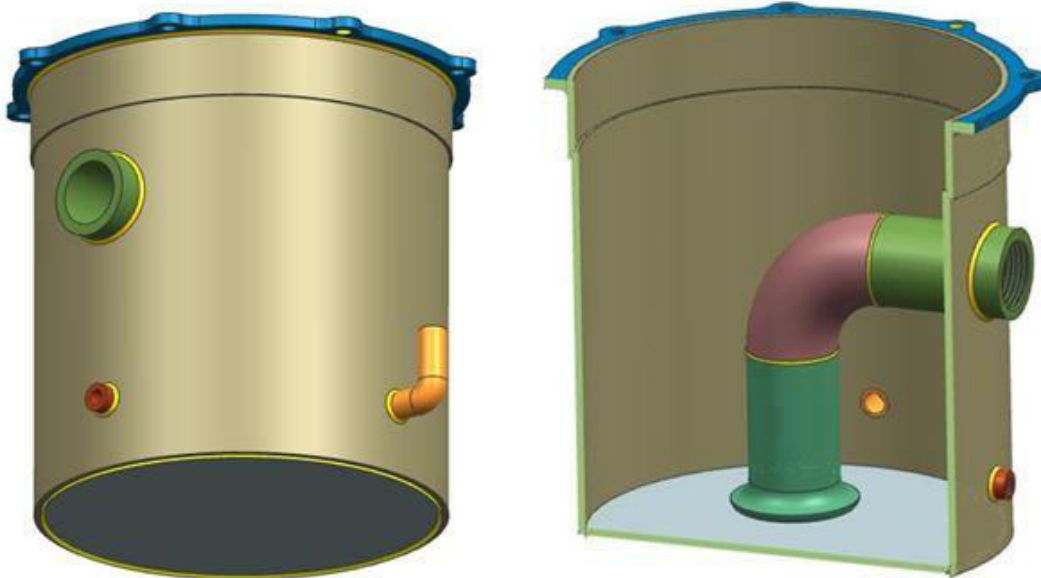
Střední část nádrže se skládá z trubky, která má ve spodní části vyvrtané 4 otvory, k této trubce je přivařena děrovaná přepážka a tato trubka je připevněna svarem k plechu, který je dále přivařen na trubkový lem – ten dosedá do vnitřních částí horní a dolní komponenty nádrže. Obr. 45.



Obr. 45 Střední část ON

Spodní část nádrže je navržena ze samotné trubky, tvořící stěny nádrže, ke které je v její horní části přivařena příruba pro spojení s horní částí ON. Pod přírubou, v horní části, je

v normálovém směru ke stěně nádrže umístěn výstup se závitem, ke kterému se připojí adaptér. Umístění výstupu bude dále vysvětleno. Také se ve spodní části nachází výstup pro teplotní čidlo a duté kolínko, které bude spojeno s kolínkem v horní části nádrže průhlednou hadicí.



Obr. 46 Spodní část ON

Výstup do motoru je vedený v její horní části z důvodu možného odlévání oleje zpět do motoru samospádem při neběžícím motoru. Díky tomuto je zaručeno dostatečné množství oleje pro OČ při startování a vyvarování se nedostatečného mazání až zadření motoru. Po případném odlití oleje samospádem do motoru je třeba zaručit objem maziva pro nastartování motoru a správné mazání. Podle grafu na obr. 13, ze kterého lze zjistit hodnota průtoku OČ při volnoběhu (cca 2000ot/min) – viz příloha č. 2, můžeme spočítat objem oleje, který bude potřebný pro bezproblémový běh motoru. Objem, který musí být dodáván čerpadlu při nastartování a rozběhu systému suché vany, by měl zásobit PJ alespoň 3-4 sekundy. Po této době se olej nacházející se v motoru odčerpá do ON a systém již bude plnohodnotně zásoben mazivem.

V_o ... objem oleje [cm³]

t ... čas [s]

Q_v ... objemový průtok [cm³/s]

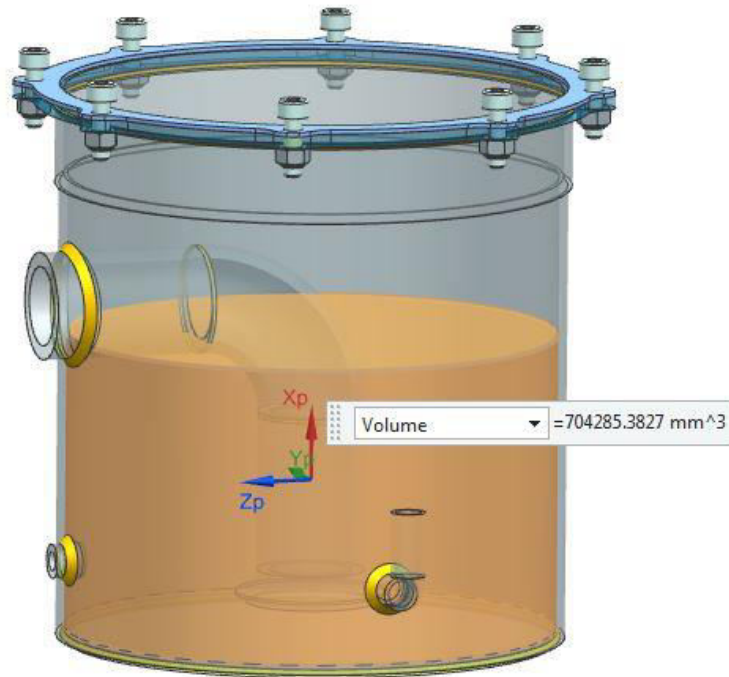
$$V_o = t * Q_v$$

$$V_o = 4 * 112,75$$

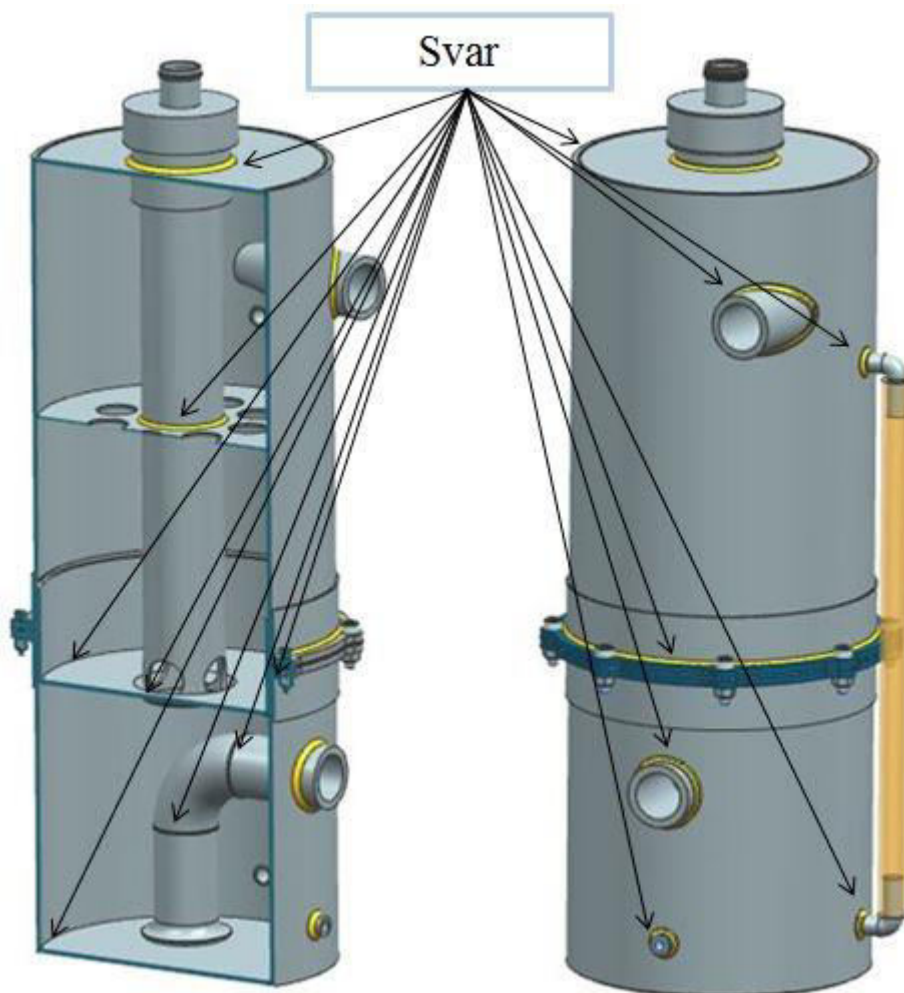
$$V_o = 451 \text{ cm}^3$$

Minimální objem oleje, který je zapotřebí pro rozběh systému, je tedy 0,45dm³. Je vhodné zajistit systému dostatečnou rezervu z důvodu možných nepředvídatelných situací a zajistit tak dostatečný přísun maziva k motorovým částem. Z tohoto důvodu je v tomto návrhu

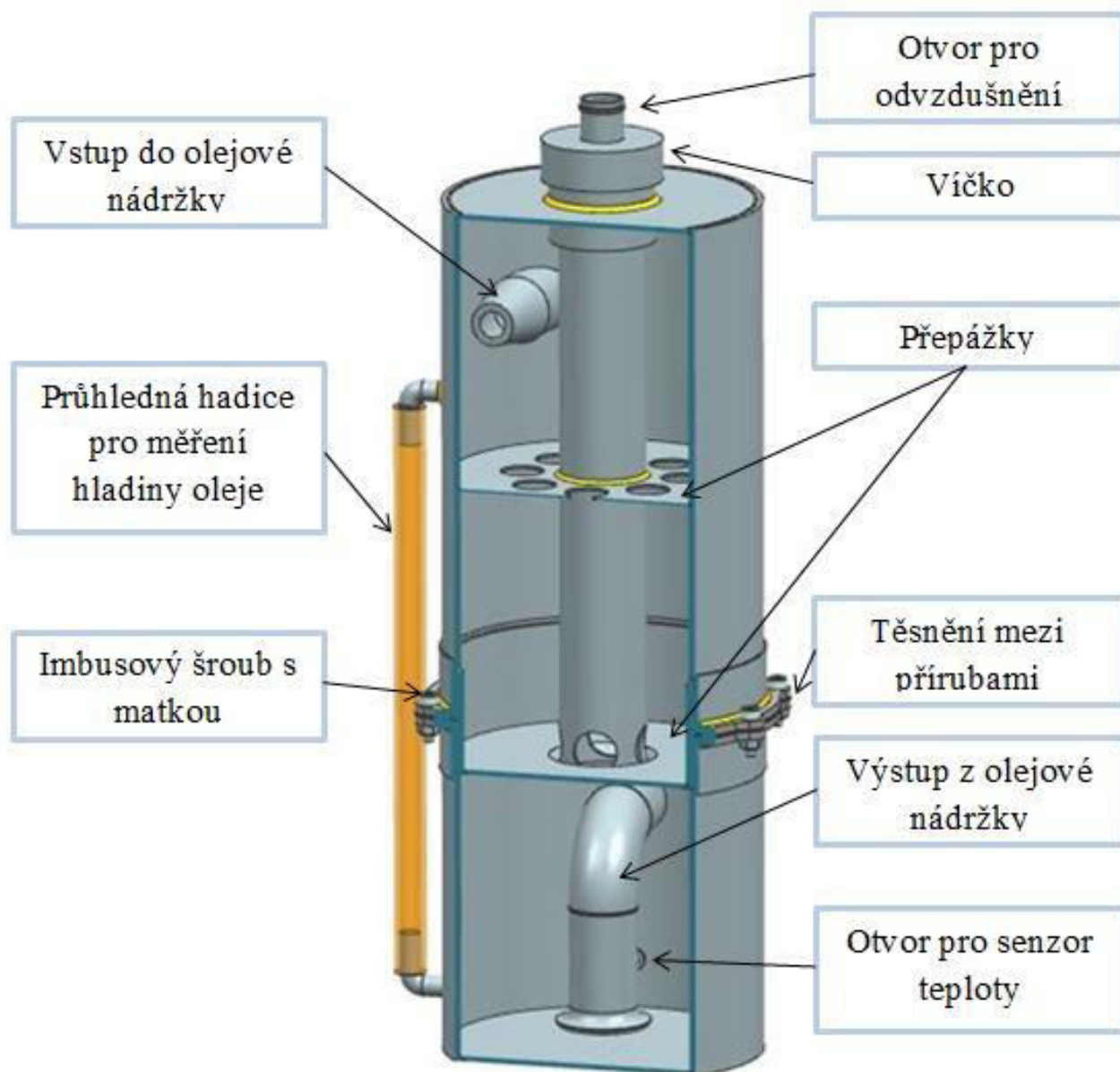
umístěn výstup z ON výše, aby v nádrži zůstal větší objem oleje – $0,7\text{dm}^3$. Tento objem oleje vystačí pro 6,2 sekundy běhu motoru na volnoběh (2000ot/min). Za tento čas se olej nacházející se v „suché vaně“ motoru odčerpá zpět do olejové nádržky, odkud samospádem do motoru vytekl.



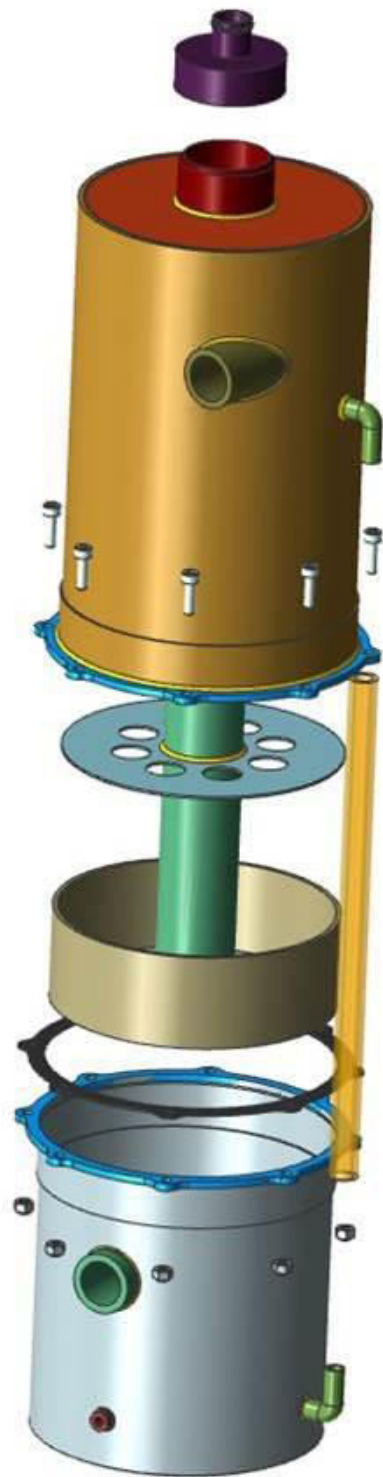
Obr. 47 Zůstatek oleje v ON při vylití samospádem



Obr. 48 Návrh olejové nádržky



Obr. 49 Olejová nádržka s popisky



Obr. 50 Rozstřel ON

Na obr. 51 je k vidění pozice ON na vozidle kategorie formule SAE univerzity Dalhouse z Kanady. Z této fotografie je patrná přibližná velikost nádržky vůči PJ. [20]

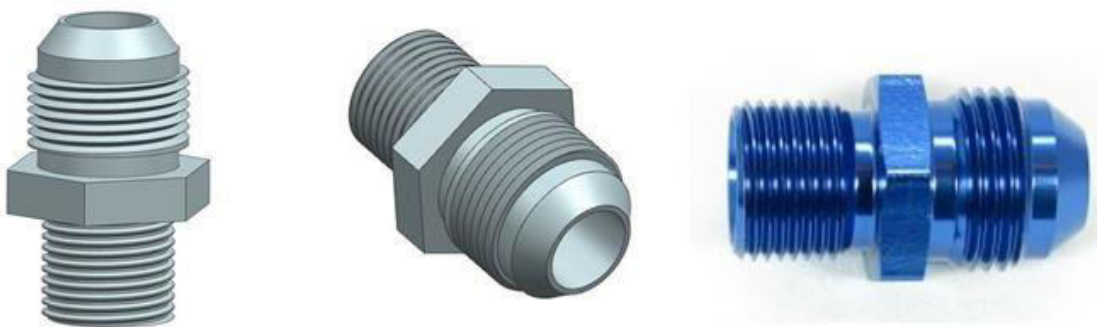


Obr. 51 ON na voze kategorie formule SAE

2.7 Propojení jednotlivých prvků systému

2.7.1 Přípojky a adaptéry pro systém „suché vany“

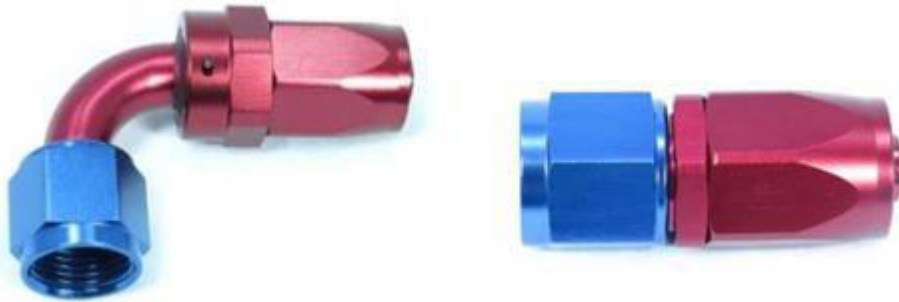
Pro propojení jednotlivých prvků systému „suché vany“ musí být použity přípojky a adaptéry, které spolu budou kompatibilní. Vybraný typ adaptéru na obr. 52. Tento adaptér bude použit na „suché vaně“ – 2 ks s kuželem AN10 a metrickým závitem M18x1,5 a 1 ks s kuželem AN12 a metrickým závitem M20x1,5, a 2 ks AN12 a M20x1,5 na olejové nádržce.



Obr. 52 Adaptér s metrickým závitem [21]

Adaptér slouží pro propojení dvou prvků – např. olejové nádržky s koncovkou hadice. Tyto adaptéry a koncovky hadic mají veliké množství variant, a proto je vhodné správnou kombinací koncovky hadice a adaptéru vytvořit co nejkratší cesty mezi prvky systému „suché vany“. Pro propojení výstupu z OoČ a ON jsou použity výše zmíněné adaptéry AN12, 90° a

přímý fitink kompatibilní s AN12 – obr. 53. Pro výstup z ON je použit výše zmíněný adaptér AN12 a přímý fitink. Pro propojení výstupů ze „suché vany“ a OoČ bylo třeba použít na zakázku zohýbaných trubek s převlečnými maticemi, protože z důvodu minimálního prostoru v okolí motoru byly tradičně dostupné fitinky nevhovující.



Obr. 53 Přímý a 90° fitink pro propojení OoČ a ON [21]

2.7.2 Hadice pro systém „suché vany“

Hadice použité k propojení systému „SV“ musí mít takové parametry, aby byly schopny správně plnit svou funkci, tzn.: musí být odolné chemickým vlivům oleje, rychlosti proudění oleje i při maximálních hodnotách a vysokým teplotám oleje. Hadice musí být také kompatibilní s námi vybranými fitinkami. Vybraná pancéřová hadice, kompatibilní s fitinkem velikosti AN12, vhodná pro účely systému „suché vany“ na obr. 54. [21]



Obr. 54 Hadice pro propojení prvků systému "SV"

3 ÚPRAVA CHLADICÍHO SYSTÉMU

3.1 Vodní pumpa

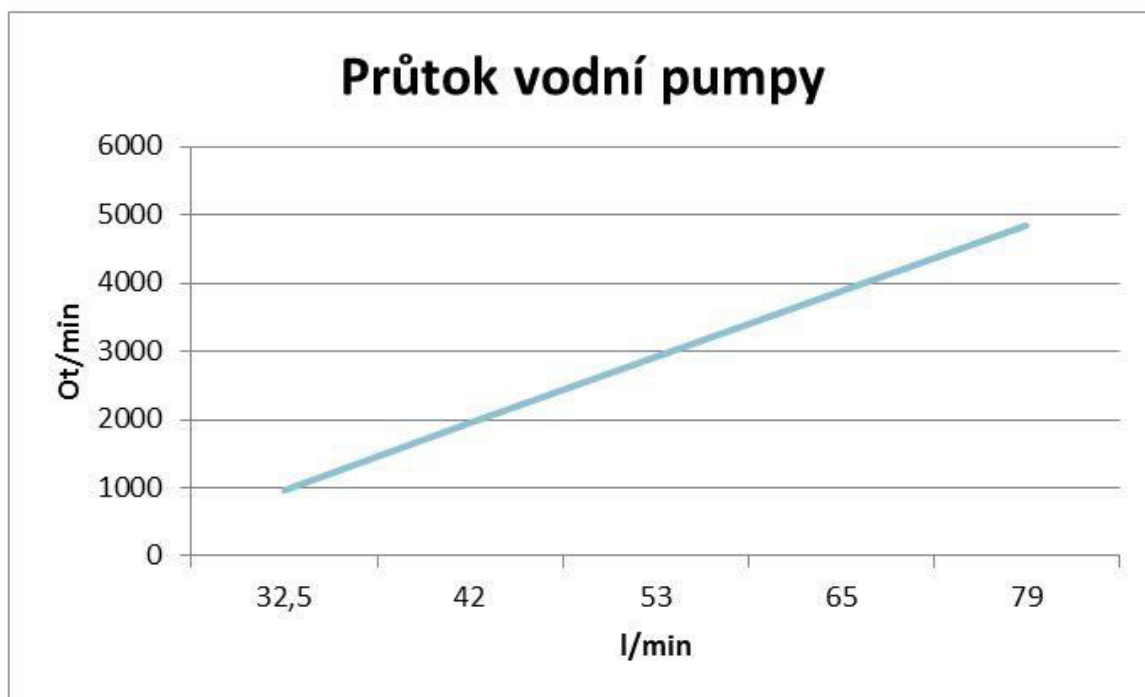
Původní vodní pumpa musela být z motoru odinstalována kvůli odpadnímu olejovému čerpadlu, a proto je třeba jí nahradit elektrickou vodní pumpou. Použití elektrické vodní pumpy má několik výhod:

- PJ lze chladit i v případě, kdy není nastartovaná (dochlazování motoru)
- Otáčky vodní pumpy lze měnit nezávisle na otáčkách motoru (původní vodní pumpa byla poháněna přes převody klikovou hřídelí motoru a proto byly otáčky vodní pumpy závislé na otáčkách motoru) – lepší kontrola nad teplotou PJ, schopnost dosáhnout ideální teploty pro funkci motoru (cca 85°C)
- Možnost použití výkonnější EVP než je původní VP

Nevýhody:

- Vyšší zátěž elektrického systému
- Při výpadku elektrické energie může dojít k nedostatečnému chlazení PJ

Pro výběr správné elektrické vodní pumpy je třeba nejprve zjistit průtok originální vodní pumpy. Hodnoty průtoků originální VP výrobce Yamaha® neuvádí a informace, které jsou k vidění na internetových stránkách, nejsou důvěryhodné. Z tohoto důvodu byly provedeny testy průtoků originální VP, viz příloha č. 1. Průtok VP v závislosti na otáčkách motoru na obr. 55.

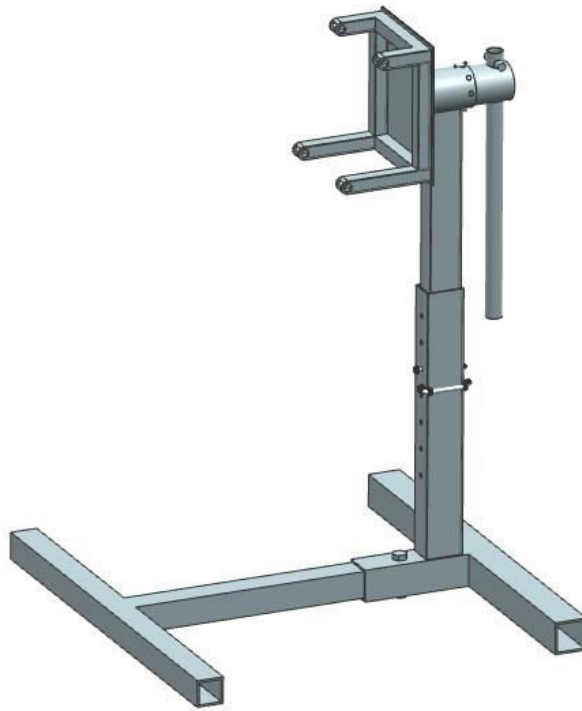


Obr. 55 Průtok vodní pumpy

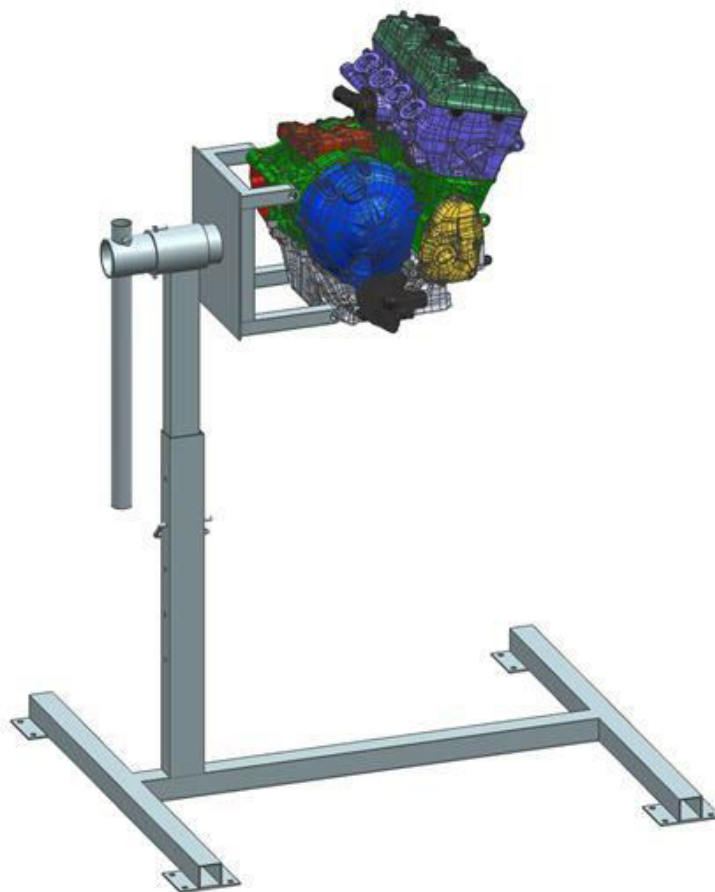
4 STOJAN NA MOTOR

4.1 Stojan na motor

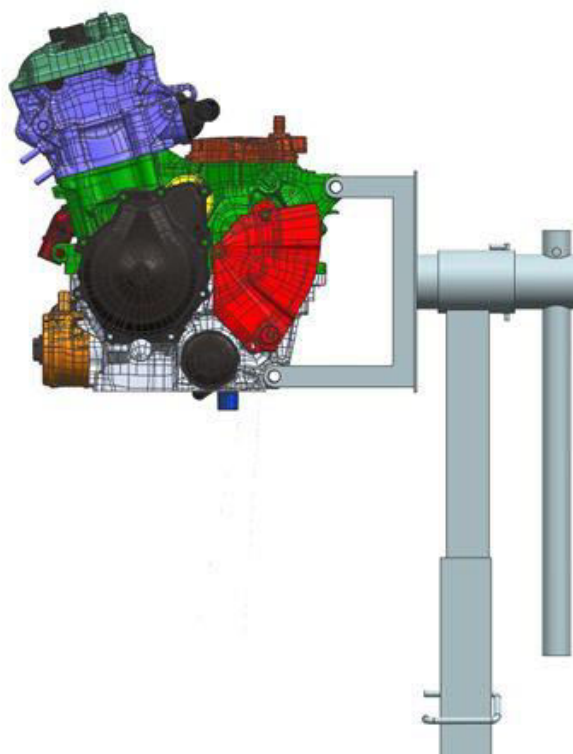
Vzhledem k tomu, že bude třeba s motorem pracovat a manipulovat s ním při údržbě a úpravách, je vhodné použít přípravky, které nám tuto činnost usnadní. Pro manipulaci s motorem, jehož hmotnost se pohybuje okolo 40 kilogramů, je nejvhodnější použití motorového stojanu. Tento stojan by měl umožňovat natočení motoru kolem horizontální osy a také pohyb po vertikální ose pro nastavení výšky. Návrh motorového stojanu v programu Siemens NX přímo pro použití PJ ze stroje Yamaha YZF-R6 na obr. 56 a 57.



Obr. 56 Stojan na motor



Obr. 57 Stojan s umístěným motorem v držáku



Obr. 58 Pohled na umístění motoru v držáku stojanu

ZÁVĚR

Jako nejvhodnější pohonná jednotka byla zvolena PJ ze stroje Yamaha YZF-R6. Nejdůležitější důvod pro výběr této PJ byla dostupnost na trhu, jelikož je tato PJ montována do strojů YZF-R6 od roku 2008 až do roku 2015 a proto je těchto PJ na trhu více, než ostatních PJ z jiných strojů. Dalším důvodem pro výběr bylo velice dobré umístění strojů s touto PJ v posledních letech v soutěžích FSAE.

Mazací systém motoru YZF-R6 byl zkontrolován a následně byla zvolena úprava známá jako „suchá vana“, která se skládá ze tří hlavních prvků. První prvek je samotná olejová „suchá“ vana, která je přímo namontovaná na místo původní olejové vany. Při návrhu tohoto prvku bylo potřeba definovat prvky, které musí „suchá vana“ zahrnout a s jakými prvky musí být kompatibilní, aby nedocházelo ke konfliktům s částmi motoru a nebyla narušena funkce ostatních systémů PJ, a také bylo třeba dosáhnout co nejnižší výšky vany pro co nejnižší umístění PJ ve vozidle, čímž se sníží těžiště vozu. Druhý prvek je odpadní olejové čerpadlo, které bylo vybráno na základě jeho jednoduché konstrukce, která využívá pro pohon OoČ vlastní otáčky PJ a hřídel je přímo spojeno s OČ motoru. Tím jsou zajištěny stejné otáčky obou čerpadel, které jsou přímo závislé na otáčkách motoru. Třetí prvek je olejová nádržka, u které bylo nejdříve nutné definovat objem, který musí pojmout a následně navrhnout její tvar, umístění vstupu a výstupu, umístění víčka a odvodu systému, tvar a umístění přepážek. Po návrhu těchto tří prvků bylo třeba určit, jakým způsobem jednotlivé části propojit. Propojení bylo navrženo z komerčně dostupných adaptérů, fitinků a hadic. Propojení výstupů ze „suché vany“ a OoČ, a také vstupu do „SV“ bylo třeba nechat vyrobit z trubek s převlečnými maticemi.

Z důvodu náhrady vodní pumpy za OoČ bylo třeba zjistit průtoky vodní pumpy, aby VP byla nahrazena dostatečně výkonnou elektricky poháněnou vodní pumpou. Tyto průtoky byly naměřeny a zaneseny do grafu závislosti průtoků na otáčkách motoru.

Pro lepší manipulaci s PJ při zhotovování úprav byl navržen motorový stojan, který je přímo určený pro PJ ze stroje Yamaha YZF-R6, jelikož pro uchycení do držáku stojanu využívá otvory na PJ, které jsou určeny pro uchycení motoru k rámu motocyklu.

ZDROJE

- [1] FSAE_Rules. *Formula SAE* [online]. Houston: SAE, 2015 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: http://www.fsaeonline.com/content/2016_FSAE_Rules.pdf
- [2] Formula Student. *Formula Student Germany* [online]. Hockenheim: Formula Student, 2015 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <https://www.formulastudent.de/>
- [3] Formula Student. *IMECHE* [online]. London: Formula Student, 2015 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://formulastudent.imeche.org/>
- [4] Formula SAE Italy. *ATA* [online]. Turín: ATA, 2015 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://archivio.ata.it/en/formulaata/24/formula-sae-italy/index.html>
- [5] *GrabCAD: yamaha yzf-r6* [online]. Cambridge: Eden Prairie, 2013 [cit. 2016-05-10]. Obrázek ve formátu JPEG. Dostupné z: <https://grabcad.com/requests/yamaha-ymzf-r6-igs-file>
- [6] *ROAD_SMILE: yamaha yzf-r6* [online]. New York: Road Smile, 2015 [cit. 2016-05-10]. Obrázek ve formátu JPG. Dostupné z: http://www.roadsmile.com/image-model/472-yamaha-r6_key_0.jpg.html
- [7] Yamaha YZF-R6: Motokatalog. *Motorkari.cz* [online]. Praha: Motorkari.cz, 2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/motokatalog/yamaha/yamaha-ymzf-r6.html>
- [8] Honda CBR 600: Motokatalog. *Motorkari.cz* [online]. Praha: Motorkari.cz, 2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/motokatalog/honda/honda-cbr-600rr.html>
- [9] *ENGINE FOR 3DSCAN* [online]. Web: mulpix, 2015 [cit. 2016-05-17]. Obrázek ve formátu JPG. Dostupné z: http://mulpix.com/instagram/engine_for_3dscan.html
- [10] *2013 KTM 500 EXC Six Days* [online]. Web: Topspeed, 2013 [cit. 2016-05-17]. Obrázek ve formátu JPG. Dostupné z: <http://www.topspeed.com/motorcycles/motorcycle-reviews/ktm/2013-ktm-500-exc-six-days-ar147497.html>
- [11] KTM EXC-500f: Motokatalog. *Motorkari.cz* [online]. Praha: Motorkari.cz, 2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/motokatalog/ktm/ktm-exc-500-f.html>
- [12] *Ktm 530 exc 2010 gear oil* [online]. web: advrider.com, 2015 [cit. 2016-05-17]. Obrázek ve formátu JPG. Dostupné z: <http://advrider.com/index.php?threads/ktm-530-exc-2010-gear-oil.1050067/>
- [13] MCKENNA, Shane, Chris MCKEOWN, Glenn SLOAN, Geoffrey MCCULLOUGH a Geoff CUNNINGHAM. *Dry sump design for a 600ccm Yamaha Yzf-R6 Engine* [online]. Belfast, 2011 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <https://www.scribd.com/doc/103993557/Dry-Sump-Design-for-Yamaha-600-Cc-Yzf-r6> http://www.yamaha-motor.com/assets/service/manuals/2007/lit-11626-20-43_r6_1310.pdf
- [14] Viskozita automobilových motorových olejů. *Oleje.cz* [online]. Brno: Oleje.cz, 2010 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Viskozita-automobilovych-motorovych-oleju>

- [15] FITCH, Jim Fitch. The Perils of Aerated Oil - Let Your Machine Burp. In: *Machinery Lubrication* [online]. Tulsa: Noria, 2005 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.machinerylubrication.com/Read/690/aerated-oil>
- [16] *WF* [online]. Cypress: WF, 2008 [cit. 2016-05-10]. Obrázek ve formátu JPEG. Dostupné z: <http://www.2wf.com/wp/wp-content/uploads/2008/12/lean%20angle%20pic%20crop.jpg>
- [17] *Roots style dry sump oil pumps* [online]. Web: daileyengineering.com, 2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: http://www.daileyengineering.com/dailey_engineering_home.htm
- [18] *Merlin Motorsport* [online]. Chippenham: MERLIN, 2016 [cit. 2016-05-10]. Obrázek ve formátu JPEG. Dostupné z: <https://www.merlinmotorsport.co.uk/p/dry-sump-tank-easy-clean-5-inch-diameter-1-dst-5>
- [19] *Fuel Consumption* [online]. Atlanta: HOW STUFF WORKS, 2015 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://auto.howstuffworks.com/fuel-efficiency/fuel-consumption/question331.htm>
- [20] *Dalhousie FSAE* [online]. Halifax: DALHOUSIE UNIVERSITY, 2012 [cit. 2016-05-10]. Obrázek ve formátu JPEG. Dostupné z: <https://blogs.dal.ca/formulaSAE/2012/04/29/a-few-fabrication-updates-fuel-oil-steering-pedal-assembly-and-suspension/>
- [21] *Bat-Motorsport* [online]. Leutkirch: bat-motorsport, 2016 [cit. 2016-05-10]. Obrázek ve formátu JPEG. Dostupné z: <http://www.bat-motorsport.de/Stahlflex-Alu-Fittinge/Dash-12/Alu-Fitting-Dash-12-gerade::19.html#prettyPhoto>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Motor ze stroje Yamaha YZF-R6	15
Obr. 2 Motocykl Yamaha YZF-R6	15
Obr. 3 Pohled zespu do motoru YZF-R6	16
Obr. 4 PJ motocyklu Honda CBR600RR [9]	17
Obr. 5 PJ stroje KTM EXC 500 F	18
Obr. 6 Schéma mazacího systému stroje KTM EXC 500F.....	19
Obr. 7 Schéma rozvodu oleje po motoru.....	21
Obr. 8 Typy oleje doporučené výrobcem.....	21
Obr. 9 Schéma zapojení "suché vany"	22
Obr. 10 Náklon motocyklu v zatáčce	23
Obr. 11 Odlévání oleje z vany.....	24
Obr. 12 Nová a poškozená ojnice.....	24
Obr. 13 Graf průtoku olejového čerpadla motoru	26
Obr. 14 Spodní část motoru.....	27
Obr. 15 Pohled zespu na blok motoru s demontovanou olejovou vanou.....	27
Obr. 16 Hrubý návrh suché vany	28
Obr. 17 Vana s přesnou (složitou) dosedací plochou.....	29
Obr. 18 Návrh suché vany se zjednodušenou dosedací plochou.....	29
Obr. 19 Návrh suché vany se zjednodušenou dosedací plochou.....	29
Obr. 20 Pohled na vanu s nainstalovanými adaptéry	30
Obr. 21 Celková výška "suché vany"	30
Obr. 22 Průmět roviny potřebné k návrhu vstupu	31
Obr. 23 Návrh suché vany se sběrnou trubkou	32
Obr. 24 Příruba pro vstup do "SV"	32
Obr. 25 Originální těleso pro sání oleje	33
Obr. 26 Trubka pro propojení s olejovým čerpadlem motoru.....	33
Obr. 27 Pohled do originálního rozvržení spodní části motoru	34
Obr. 28 Držák mazací misky a propojovací trubky	34
Obr. 29 Miska získaná z originálního sacího tělesa	34
Obr. 30 Rozstřel komponent "suché vany"	35
Obr. 31 Sestavení komponent "suché vany"	35
Obr. 32 Přepážkový plech	36

Obr. 33 Kompletní návrh "suché vany" s přidruženými komponenty	36
Obr. 34 Kompletní návrh "suché vany" s přidruženými komponenty 2	37
Obr. 35 Suchá vana s komponenty a popisky	37
Obr. 36 Převod	38
Obr. 37 Odpadní OČ od firmy Dailyengineering.....	39
Obr. 38 Popis částí OOC od firmy Dailyengineering	39
Obr. 39 Propojení OOC se systémem PJ.....	40
Obr. 40 Propojení OOC s hřídelí a OČ motoru.....	40
Obr. 41 Komerčně dostupná olejová nádržka	42
Obr. 42 Hrubý návrh olejové nádržky.....	43
Obr. 43 Vnitřní objem nádržky zjištěn ze systému Siemens NX10.....	44
Obr. 44 Horní část ON	45
Obr. 45 Střední část ON	45
Obr. 46 Spodní část ON	46
Obr. 47 Zůstatek oleje v ON při vylití samospádem.....	47
Obr. 48 Návrh olejové nádržky	48
Obr. 49 Olejová nádržka s popisky	49
Obr. 50 Rozstřel ON.....	50
Obr. 51 ON na voze kategorie formule SAE	51
Obr. 52 Adaptér s metrickým závitem [21].....	51
Obr. 53 Přímý a 90° fitink pro propojení OOC a ON [21].....	52
Obr. 54 Hadice pro propojení prvků systému "SV"	52
Obr. 55 Průtok vodní pumpy.....	53
Obr. 56 Stojan na motor	54
Obr. 57 Stojan s umístěným motorem v držáku.....	55
Obr. 58 Pohled na umístění motoru v držáku stojanu	55

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 - Měření průtoků vodní pumpy

Příloha 2 - Průtoky olejového čerpadla motoru

Příloha 3 – Výkres UWB16-05-50-000

Příloha 4 – Výkres UWB16-05-51-000

Příloha 5 – Výkres UWB16-05-52-000

Příloha 6 – Výkres UWB16-05-53-000

Příloha 7 – Výkres UWB16-05-50-001

Příloha 8 – Výkres UWB16-05-50-002

Příloha 9 – Výkres UWB16-05-51-001

Příloha 10 – Výkres UWB16-05-51-003

Příloha 11 – Výkres UWB16-05-51-004

Příloha 12 – Výkres UWB16-05-52-001

Příloha 13 – Výkres UWB16-05-52-002

Příloha 14 – Výkres UWB16-05-52-003

Příloha 15 – Výkres UWB16-05-52-004

Příloha 16 – Výkres UWB16-05-53-001

Příloha 17 – Výkres UWB16-05-53-003

Příloha 18 – Výkres UWB16-05-53-005

Příloha 19 – Výkres UWB16-05-01-003

Příloha 20 – Výkres UWB16-05-01-009

Příloha 21 – Výkres UWB16-05-01-010

Příloha 22 – Výkres UWB16-05-01-011

Příloha 23 – Výkres UWB16-05-01-012

Příloha 24 – Výkres UWB16-05-01-013

PŘÍLOHA č. 1

Měření průtoků vodní pumpy

Tabulka 1 Průtok vodní pumpy

VP - vodní pumpa

Časový úsek měření - ČÚM [sekundy]

KH - kliková hřídel

ČÚM	Objem vody proteklý za ČÚM [litry]	arit. průměr objemu/čas [l/s]	
20	10,5	0,541666667	500ot/min
20	11		
20	11		
10	7	0,7	1000ot/min
10	7		
10	7		
10	9	0,883333333	1500ot/min
10	9		
10	8,5		
10	11	1,083333333	2000ot/min
10	10,5		
10	11		
10	13	1,316666667	2500ot/min
10	13		
10	13,5		

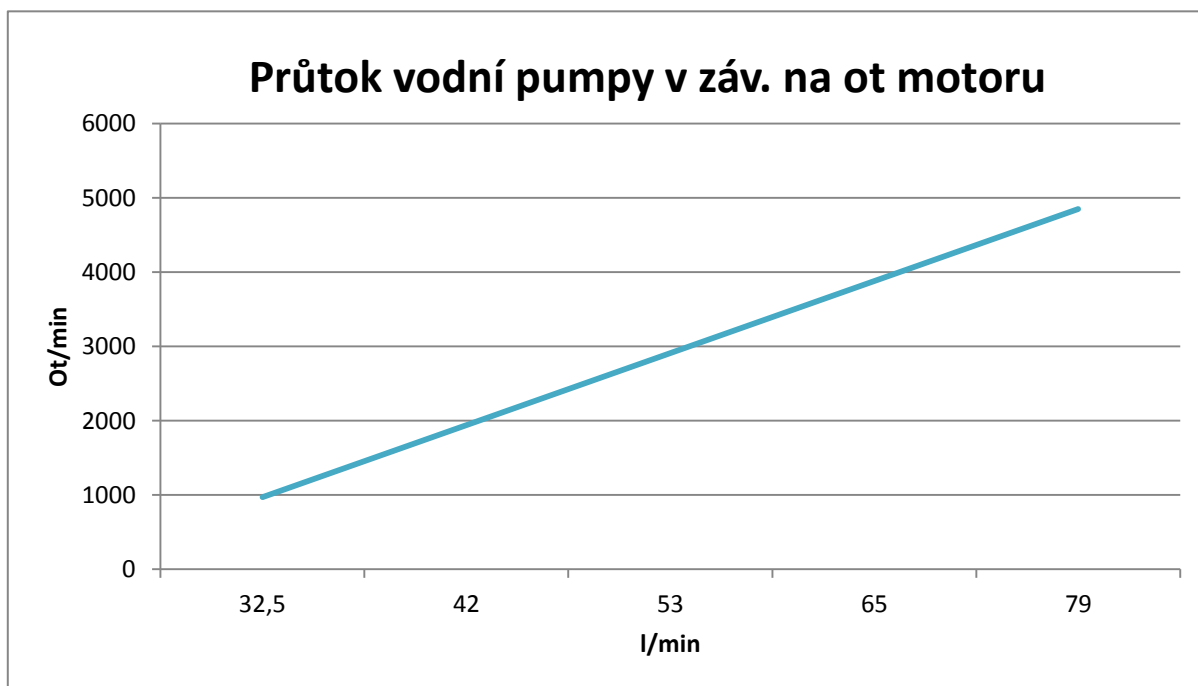
Tabulka 2 Průtok vodní pumpy v závislosti na ot. rotoru VP

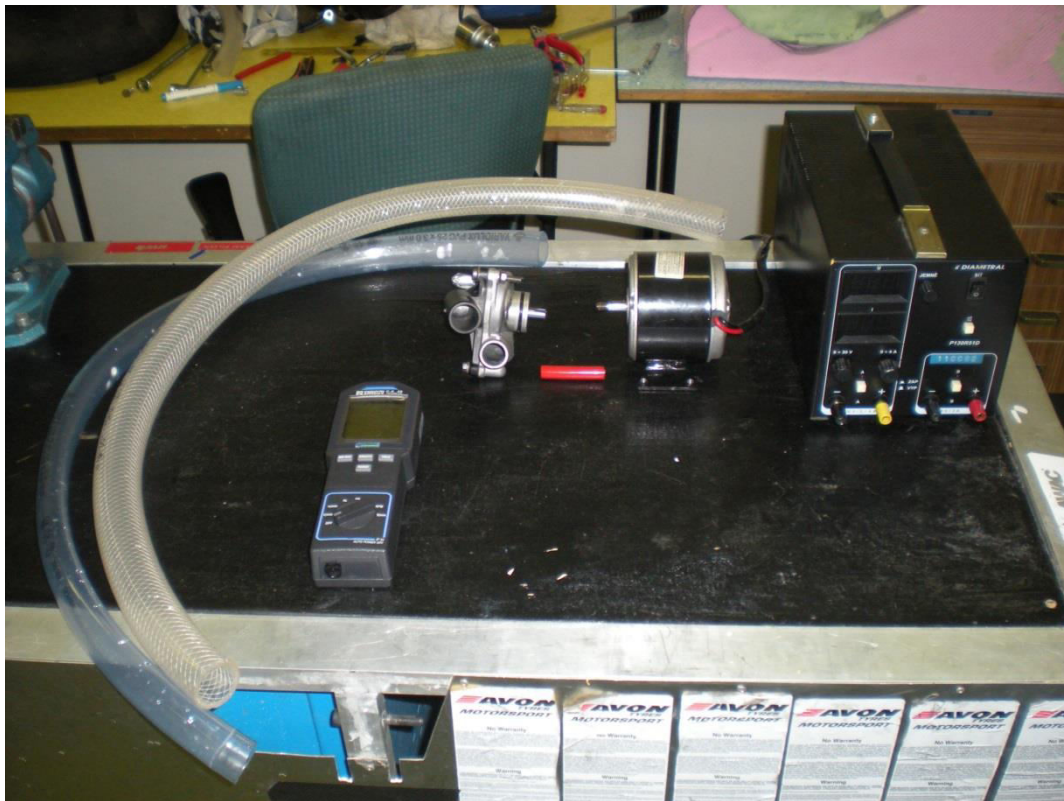
ot VP/min	l/min
500	32,5
1000	42
1500	53
2000	65
2500	79

Tabulka 3 Průtok vodní pumpy v závislosti na ot. motoru

Celkový převod z klikové hřídele na hřídel čerpadla			
1,939417			
otáčky motoru (KH)		l/min	
969,7085		32,5	
1939,417		42	
2909,1255		53	
3878,834		65	
4848,5425		79	

Graf 1 Průtok VP v závislosti na ot. motoru





Obr. 1 Příprava měření průtoků vodní pumpy



Obr. 2 Měření průtoků vodní pumpy



Obr. 3 Otáčkoměr



Obr. 4 Měření průtoků vodní pumpy

PŘÍLOHA č. 2

Průtoky olejového čerpadla motoru

Tabulka 1 Průtok olejového čerpadla motoru

Objem jedné trochoidy čerpadla	Otáčky motoru (ot/min)	Průtok oleje (l/min)
0,00164 l	1000	3,382458418
Objem, který projde čerpadlem za 1 otáčku	2000	6,764916836
0,00656 l	3000	10,14737525
Počet zubů na spojovém koši	4000	13,52983367
85	5000	16,91229209
Počet zubů na oz.kole klik.hřídele	6000	20,29475051
41	7000	23,67720892
Primární převod	8000	27,05966734
2,073170732	9000	30,44212576
Počet zubů na hřídeli	10000	33,82458418
31	11000	37,2070426
Počet zubů na hřídeli olejové pumpy	12000	40,58950101
29	13000	43,97195943
Sekundární převod(pro olejové čerpadlo)	14000	47,35441785
0,935483871		
Celkový převod z klikové hřídele na hřídel čerpadla		
1,939417781		

Graf 1 Průtok olejového čerpadla

