



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

ANALÝZA MAZACÍHO SYTÉMU MOTORU
VOZIDLA FORMULE STUDENT
DESIGN FRONT ROCKERS OF SUSPENSION SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

David Liška

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Pavel Ramík

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **David Liška**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Pavel Ramík**
Akademický rok: 2017/18

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:

Analýza mazacího systému motoru vozidla Formule Student

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Náplní práce je analýza funkce olejového okruhu motoru vozidla Formule Student se zaměřením na olejové čerpadlo a olejový chladič.

Cíle bakalářské práce:

Vytvořit rešerši konstrukčního provedení mazacích systémů spalovacích motorů a jejich komponent. Provést analýzu dat naměřených při provozu olejového motoru vozidla Formule Student (tlaky, teploty).

Provést analytický výpočet průtoku oleje olejovým čerpadlem v závislosti na tlaku v olejovém okruhu.

Změřit průtok a další potřebné veličiny pro určení chladičího výkonu olejového chladiče.

Na základě získaných výsledků se vyslovit k vhodnosti použitého mazacího systému a jeho komponent pro uvažované vozidlo.

Seznam doporučené literatury:

STONE, Richard. Introduction to internal combustion engines. 3rd edition. Warrendale, Pa.: Society of Automotive Engineers, 1999. 641 s. ISBN 0768004950.

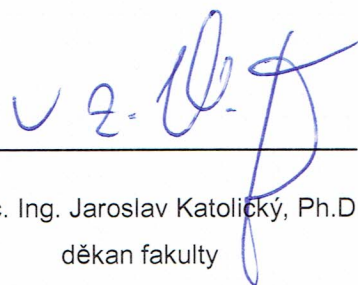
JAN, Zdeněk a ŽDÁNSKÝ, Bronislav. Automobily (3): Motory. Brno: Avid, spol. s r.o., 2009. 179 s. ISBN 978-80-87143-15-5.

JAN, Zdeněk a ŽDÁNSKÝ, Bronislav. Automobily (4): Příslušenství. Brno: Avid, spol. s r.o., 2009. 305 s. ISBN 978-80-87143-08-7.

KÖEHLER, Eduard. Verbrennungsmotoren: Motormechanik, Berechnung und Auslegung des Hubkolbenmotors. 3. verb. Aufl. Braunschweig [u.a.]: Vieweg, 2002. 548 s. ISBN 3-528-23108-4.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 27. 10. 2017



prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá analýzou použitého mazacího systému na osmé generaci vozidla Dragon 8 týmu TU Brno Racing. V úvodu práce objasňuje soutěž Formula Student, které se studentský tým účastní, jejími pravidly a omezeními ovlivňující mazací systém spalovacího motoru. Dále se práce zabývá možnostmi řešení olejového chlazení a rešerší používaných komponent v mazacím systému. Pro mazací systém je vypočítán teoretický objemový průtok a je následně ověřen při měření skutečného průtoku potřebného k určení chladicího výkonu olejového chladiče.

KLÍČOVÁ SLOVA

Mazací systém, Formula Student, olejový chladič, olejové čerpadlo, měření průtoků, výpočet chladicího výkonu olejového chladiče

ABSTRACT

This thesis deals with the analysis of the used lubrication system on the eighth generation of Dragon 8 car from team TU Brno Racing. In the beginning of the thesis there is clarifying the Formula Student competition, in which the student team participates, explains its rules and limitations affecting the combustion engine lubrication system. Furthermore, the thesis deals with the possibilities of oil cooling systems and the search of the used components in lubrication system. For the lubrication system is calculated the theoretical volumetric flow rate by an oil pump and then it is verified by measuring the actual flow rate required to determine the cooling capacity of the oil cooler.

KEYWORDS

Lubrication system, Formula Student, oil cooler, oil pump, flow measurement, calculation of cooling capacity of oil cooler

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

LIŠKA, D. *Analýza mazacího systému motoru vozidla Formule Student*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 31 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Ramík.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Pavla Ramíka a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. května 2018

.....

David Liška

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval své rodině za podporu ve všech fázích mého studia. Dále děkuji Ing. Pavlu Ramíkovi za poznatky a vedení této práce a celému týmu TU Brno Racing.

Obsah

Úvod	10
1 Formula student	11
1.1 Historie.....	11
1.2 Současnost	11
1.3 Disciplíny.....	12
1.4 TU Brno Racing.....	12
2 Pravidla pro mazací systém	14
3 Mazací systémy	15
3.1 Funkce mazání	15
3.2 Druhy mazacích systémů	15
3.2.1 Mazání mastnou směsí	15
3.2.2 Ztrátové mazání dávkovacím čerpadlem.....	16
3.2.3 Rozstřikové mazání	16
3.2.4 Tlakové oběžné mazání	16
3.3 Komponenty mazacího systému	17
3.3.1 Olejová čerpadla	17
3.3.2 Regulační ventil.....	18
3.3.3 Čistič oleje	18
3.4 Chlazení oleje	19
3.5 Olejový systém na vozidle formule student.....	19
4 Analýza dat při provozu	21
4.1 Otáčky	21
4.2 Teplota oleje	21
4.3 Teplota chladicí kapaliny	22
4.4 Tlak oleje	22
5 Výpočet průtoku oleje čerpadlem.....	24
5.1 Měření reálného objemu čerpadla.....	24
5.2 Výpočet	25
6 Určení chladicího výkonu chladiče	27

6.1	Měření průtoku oleje v systému.....	27
6.2	Výpočet chladicího výkonu olejového chladiče	27
	Závěr.....	28
	Seznam použitých zkratk a symbolů	31

ÚVOD

Téma této bakalářské práce jsem si vybral na základě účasti ve studentském projektu Formula Student, který probíhá na naší fakultě již osmým rokem. Jelikož se zajímám o motocykly a motorsport, byla mi nejbližší motorová sekce, ve které jsem pomáhal s realizací mazacího systému na motocyklovém motoru Husqvarna.

Mazací systém má za úkol distribuci oleje pro mazání všech pohybujících se částí ve spalovacím motoru, kde se vyskytuje tření případně vysoké teploty. Snaží se tedy o snížení třecích ztrát a teplot mezi součástmi. S tím je spojena nutnost chlazení celého olejového okruhu náporovým chladičem, kterým protéká olej. Pro správné navržení chladiče je vhodné určit na základě průtoků potřebný chladicí výkon a tím ideální chladicí plochu. Dále nám pomáhá vylepšením těsnosti dílčích součástí, hlavně při dotěsnění pístu ve válci. Nezpochybnitelnou funkcí mazání je také odvod nečistot, které se v motoru a olejovém okruhu nacházejí, společně se zakonzervováním vnitřku motoru.

Motorový olej je za pomoci čerpadla nasáván přes sací sítko do trochoidního čerpadla, které pod tlakem rozvádí olej k ostříku pístu, mazání vaček a ložisek na klikové hřídeli. Samostatný okruh s vlastním čerpadlem je pak veden k mazání ložiskové skříně turbodmychadla.

1 FORMULA STUDENT

1.1 HISTORIE

Studentská soutěž Formula Student je původní projekt z roku 1981, který vznikl ve Spojených státech amerických na základě podpory Sdružení automobilových inženýrů SAE. Jejich snahou bylo vytvořit soutěž pro studenty technicky zaměřených vysokých škol, ve které by mohli budoucí promovani inženýři aplikovat své poznatky získané při studiích do praxe a získat tak velice cenné zkušenosti nejen technického zaměření, ale i zkušenosti formou týmové spolupráce, uplatnitelné v následném zaměstnání po studiích a mohou si tak lépe vybírat zaměstnavatele právě díky praktickým zkušenostem, které se v průběhu studia těžce sbírají. Mezi největší podporovatele patří jména jako Ross Brawn, Bob Bell, David Brabham a další. [1]

V Evropě se první závody uskutečnily ve Velké Británii ve Warwickshire roku 1998 na testovací dráze společnosti MIRA. Touto událostí započala každoroční sezóna se závody, které se konají na konci akademického roku. Letošní ročník soutěže je tak 20. výroční. V roce 2007 se závod z Warwickshire přemístil na závodní okruh Silverstone v oblasti Northamptonshire. Dalším závodním okruhem hostícím tuto soutěž je například od roku 2006 německý Hockenheim Ring, na který se snaží dostat nejlepší týmy z celého světa díky jeho vysoké prestiži. V České Republice se závody konají od roku 2013, kde se první závod konal roku 2013 v Hradci Králové a dva roky po té se přemístil na mostecký polygon. [1]

1.2 SOUČASNOST

V současné době se této soutěže účastní téměř 600 univerzitních týmů z celého světa včetně zemí jako je Japonsko, Brazílie či Austrálie, z toho celkem 7 týmů zastupuje Českou republiku. [2] Soutěží se ve třech hlavních kategoriích dělených na základě pohonného ústrojí:

- vozidla s motorem s vnitřním spalováním
- vozidla s elektromotorem - poprvé v roce 2010
- vozidla řízená bez účasti řidiče - poprvé v roce 2017[3]

Díky vysoké finanční náročnosti je každý tým závislý na sponzorech, které si musí sám dokázat obstarat a udržet. Mezi největší partnery týmu TU Brno Racing patří firmy jako Bosch, Honeywell, Škoda Auto. Kromě finančních prostředků je velice důležitá nejen materiálová podpora, ale hlavně podpora formou výroby jednotlivých součástí, ze kterých se vozidlo skládá.

1.3 DISCIPLÍNY

Cíl soutěže je každoročně stejný a spočívá v navrhnutí a představení vlastního prototypu jednomístného závodního vozu formulového typu s dobrou ovladatelností, spolehlivostí, vysokým výkonem a hlavně také vysokou bezpečností, pro výrobu s produkčním plánem 1000 vozů za rok. Požadavek je dán také na designové provedení, ekonomickou a ekologickou náročnost. Fiktivním zákazníkem je víkendový amatérský závodník se zaměřením na autokros nebo sprint. Vítěz jednotlivého závodu není tak, jak je tomu ve většině případů, pouze ten nejrychlejší, ale je dán celkovým součtem bodů získaných z každé bodované disciplíny s maximálně možným ziskem 1000 bodů. [2] Jejich dělení je následovné:

- statické disciplíny:
 - Engineering Design - celkový konstrukční návrh vozu
 - Cost and Manufacturing - nákladová studie
 - Business Plan - marketingový plán
- dynamické disciplíny:
 - Acceleration - akcelerace na vzdálenosti 75 metrů
 - Skid Pad - jízda ve tvaru osmičky
 - Autocross - jedno kolo po vyznačené dráze z kuželek
 - Endurance a Efficiency - vytrvalostní závod na 22 kilometrů s měřením spotřebovaného paliva [3]

Před samotným vpuštěním vozu do závodů v dynamických disciplínách je nutné absolvování technické přejímky, kdy musí vozidlo splnit následující kontroly vyplývající z bezpečnostních pravidel:

- technická bezpečnostní přejímka
- test náklonu
- test hluku výfukové soustavy
- test brzdného účinku [3]

1.4 TU BRNO RACING

Vznik studentského týmu TU Brno Racing v roce 2010 proběhl díky zájmu z řad studentů a podpory Ústavem automobilního a dopravního inženýrství v Brně. V letošní osmé sezóně půjde především o obhájení úspěšných výsledků z historicky nejlepší loňské sezóny, kdy tým zaujal čtvrté místo v celkovém hodnocení týmů soutěžících s vozidlem poháněným motorem s vnitřním spalováním. Každým rokem z týmu odchází členové jejichž působení ve studiích dospělo ke zdárnému konci a proto je vždy na začátku akademického roku prováděn nábor nováčků, kteří musí projít takzvaným trainee programem. Jeho účelem je seznámení nováčka

s fungováním celého týmu, organizačními záležitostmi a zařazením do práce v jednotlivé sekci, která se stará o jednu z hlavních sestav. Těmi jsou rám s šasi, podvozek, aerodynamika, motor nebo elektronika. Z mimo technických sekcí je zde také sekce zabývající se businessem. Sekce má vždy svého lídra, který zodpovídá za rozdělení úkolů mezi členy, kompletnost celé sekce a finální zprovoznění jeho části vozidla. Během roku tak probíhá předávání zkušeností od starších členů, které je velice důležité pro vyvarování se možným chybám z minulosti, v závislosti se snahou najít nová inovativní řešení. V zimním semestru probíhá návrh celého modelu auta do posledních detailů v modelovacím programu Creo Parametric 3.0 od společnosti PTC a analýzy s optimalizací pro namáhané díly programem ANSYS tak, aby se při výrobě předem vyhnulo možným kolizím a problémům. V letním semestru pak probíhá výroba a stavba celého auta společně s testováním a následně se tým účastní závodů.

2 PRAVIDLA PRO MAZACÍ SYSTÉM

Možnosti konstrukčních řešení jsou pevně ohraničeny pravidly soutěže, která dbají v průběhu závodu na bezpečnost, jak pasivní, tak aktivní, a určují další podstatná omezení. Dále upravují podobu každé disciplíny a jejich kompletní znění je vždy před začátkem sezóny k dispozici na stránkách soutěže. Ke každému ze závodů pak mohou být dodatečná pravidla, jenž jsou pro týmy ke stažení na oficiálních stránkách jednotlivých závodů.

Pro mazací systém upravují pravidla pro vozidla s motorem s vnitřním spalováním následující problematiku:

- 1) Jakýkoli chladicí nebo mazací systém musí být utěsněn, aby nedošlo k úniku.
- 2) Samostatné záchytné nádoby musí být použity k zadržení kapalin z jakýchkoliv ventilačních otvorů chladicího systému nebo mazacího systému motoru. Každá záchytná nádoba musí mít minimální objem 10% z kapalin, které jsou použity nebo 900 ml podle toho, která hodnota je větší.
- 3) Jakýkoli ventilační otvor pro jiné systémy obsahující kapalné mazivo nebo chladiivo musí mít záchytnou nádobu s minimálním objemem 10% z kapaliny, která je obsažena nebo 100 ml podle toho, která hodnota je větší.
- 4) Záchytná nádoba musí být schopna pojmout vroucí vodu aniž by nastala její deformace. Uchycení a hadice musí být schopny odolávat teplotám nejméně 100°C.
- 5) Záchytná nádoba musí být umístěna za firewallem (tj. nehořlavou přepážkou oddělující prostor pro řidiče od všech komponent dodávky paliva, motorového oleje, kapalinového chladicího systému a baterií s nízkým napětím) pod úrovní ramen řidiče.
- 6) Nejnižší bod jakéhokoli mazacího systému může být níž než přímka mezi nejnižším bodem hlavního oblouku rámu (tj. válcovaná trubka umístěná vedle nebo těsně za trupem řidiče) a nejnižší částí šasi za mazacím systémem, pokud je chráněn před nárazem do země konstrukcí namontovanou přímo na šasi.
- 7) Každé odvodušňovací vedení z klikové skříně nebo z mazání motoru vedeného k sacímu systému musí být připojeno proti směru proudění vzduchu v restriktoru (tj. zúžené místo s průměrem 19 mm pro vozidla s palivem E-85 (tj. palivo s 85% etanolu a 15% benzínu), které škrtí průtok nasávaného vzduchu do sání motoru).
- 8) Odvodušňování klikové skříně, které prochází skrze záchytné nádoby na olej k výfukovým systémům nebo podtlaková zařízení, která se připojují přímo k výfukovému systému jsou zakázány.
- 9) Odpadní olej musí být převezen na čerpací stanici k likvidaci. [3]

3 MAZACÍ SYSTÉMY

3.1 FUNKCE MAZÁNÍ

Zásadní funkcí mazacích systémů pístových spalovacích motorů je zajištění snížení třecích ztrát mezi vzájemně pohyblivými součástmi, a to za pomoci kapalinového tření, na základě kterého jsou třecí plochy odděleny mezní vrstvou nazývanou olejovým filmem. Systém tak musí dopravovat olej s potřebným množstvím do všech kluzných uložení s požadovanou teplotou a tlakem. Velmi důležitou funkcí je také ochlazování vnitřních částí motoru, které nemohou být přímo chlazeny kapalinou nebo vzduchem. Mazání pomáhá k vylepšení těsnosti pohyblivých komponent ve spalovacím prostoru, a to mezi válcem, pístem a pístními kroužky, aby nedocházelo k průniku plynů do oblasti klikové skříně a tím k oxidaci neboli stárnutí oleje. Dotěšňuje tak případné vůle a tím pomáhá ke snížení hluku v motoru. Dalším úkolem je odplavování nečistot, které v mazacím okruhu vznikají při opotřebení a při nasávání vzduchu, který není dokonale přefiltrován. Olej v motoru zajišťuje také odstraňování karbonových úsad tvořených při spalování tak, aby nemohlo dojít k poškození motoru. Z tohoto důvodu je důležité použití kvalitní filtrace, která z oleje úsady odloučí. Olej se také stará o protikorozní ochranu povrchů, které mohou být narušovány z důvodu obsahujících kyselin z oxidů dusíku a síry vznikajících při spalování paliva, které se mísí s vodní párou tvořenou při spalování uhlovodíků. Tato ochrana je vyžadována hlavně v případě, kdy není motor v pohybu. [4][5]

3.2 DRUHY MAZACÍCH SYSTÉMŮ

3.2.1 MAZÁNÍ MASTNOU SMĚSÍ

Tento typ mazání se používá díky své jednoduchosti pro malé dvoudobé motory. Kliková skřín je zde použita k nasávání a předběžnému stlačení připravované směsi paliva se vzduchem. Mazací směs složená z oleje přidávaného do paliva se při kontaktu s horkými částmi motoru opět rozdělí, jelikož se palivo v tomto případě začne odpařovat. Odloučený olej se stará o mazání pohyblivých komponent klikového mechanismu včetně ložisek a kontaktní plochy válce a pístu. Olej, který se od paliva neoddelí je následně spalován a usazuje se ve formě karbonu na pístech, hlavě válců a ve výfukovém systému. Množství usazenin je dáno větším obsahem oleje ve směsi. Jeho nadbytek pak můžeme pozorovat ve formě modrého kouře z výfukového systému a uvnitř motoru lze poznat nadměrný vznikem usazenin. Při snaze o snížení poměru by ovšem mohlo dojít v konečném důsledku až zadření pístu ve válci. S použitím tohoto typu mazání je potřeba zvolit valivá ložiska. Nejčastěji jsou volena ložiska jehlová, která jsou použita i pro uložení pístního čepu v ojnici. Důležitým faktem je dodržení

předepsaného poměru směsi vhodného oleje s palivem, který je dán výrobcem a vyplývá z provozních otáček a zatížení motoru. [4][5]

3.2.2 ZTRÁTOVÉ MAZÁNÍ DÁVKOVACÍM ČERPADLEM

Při mazání dvoudobých motorů vybavených tímto systémem je olej na mazaná místa dávkován pístovým čerpadlem přímo z olejové nádržky. Olej je dávkovaný na základě zatížení a otáček klikového hřídele v závislosti polohy plynového ovládní, které je propojené s vačkou čerpadla. Díky přesnému dávkování není potřeba dopravovat velké množství oleje, který je pak relativně chladný, neobsahuje tolik usazenin a jeho spotřeba je nižší společně i s produkcí emisí. Na úkor toho ovšem nemá požadovaný chladící účinek. [4][5]

3.2.3 ROZSTŘIKOVÉ MAZÁNÍ

Jeho použití nalezneme u čtyřdobých motorů s požadavkem na jednoduchost, nízkou cenu a použitím u malé mechanizace. V principu ojnice na klikové hřídeli během chodu motoru narážejí do hladiny oleje a vytváří tak olejovou mlhovinu, která se roznáší do válců a všech přístupných dutin uvnitř bloku. Na stěnách jsou pak vytvořeny mazací kanálky k ložiskům, do kterých se olej dostává stečením po sražení. Provedení může být i ve formě kdy se s hřídelí otáčejí lžičky nabírající olej v místech pro to uzpůsobených například žlábkem, kde se olej shlukuje a ten je pak jimi rozháněn opět jako mlhovina. Další možností je vytvoření lžičky s otvorem pro mazání na hlavě ojnice nebo mazání rozvodů pomocí rozvodového řetězu nebo ozubeného řemenu. Pro motory, které jsou uloženy naležato, tj. v situaci kdy je klikový hřídel ve svislé poloze je řešení rozstříku formou ozubeného kola s šikmým ozubením a připevněnými lopatkami. Z důvodu, co nejjednoduššího zpracování nejsou motory opatřeny ani olejovými filtry. Nečistoty jsou tak zachycovány pouze na magnetické vypouštěcí zátce. U tohoto druhu mazání je nejdůležitější kontrola a dodržování optimální hladiny oleje hlavně v případě, kdy je motor naklopen společně s výměnou oleje v pravidelných časových intervalech daných výrobcem. [4][5]

3.2.4 TLAKOVÉ OBĚŽNÉ MAZÁNÍ

U čtyřdobých motorů je v dnešní době používáno zásadně tlakové mazání. Olej je přiváděn ke každému místu, jenž je nutno mazat za pomoci čerpadla a dále pokračuje ve směru mazacího oběhu. Rozlišují se podle umístění zásoby oleje. [4]

MAZÁNÍ Z KLIKOVÉ SKŘÍNĚ

Může být nazýváno jako mazání s mokrou klikovou skříní. Olej je čerpán z olejové vany, kterou tvoří spodní část bloku motoru s přepážkami proti přílišnému přelévání olej a je nejnižší položeným místem. Z ní jde do čerpadla přes sací koš se sítkem. Ten má za úkol od oleje oddělit hrubé mechanické nečistoty a jejich případné nasátí do oběhu. Z čerpadla je

olej vytlačován okolo regulačního ventilu do olejového filtru, ze kterého se následně čistý dostává do hlavního olejového kanálu. Ten je umístěn rovnoběžně s klikovou hřídelí a je kontrolován tlakovými senzory. Odtud je olej rozváděn k jednotlivým mazacím místům klikové a vačkové hřídele, vahadlům a ventilům. Z ojnicích ložisek je otvory v hlavě ojnice rozstříkován olej díky odstředivé síle při otáčení, který vytváří olejovou mlhovinu a maže tak vnitřní prostor klikové skříně společně s válci motoru. Sražený olej na stěnách pak stéká zpět do olejové vany, kde se shromažďuje. Nevýhodou tohoto typu mazání je situace, kdy je možné že se hladina oleje dostane mimo sací hrdlo olejového čerpadla, které pak nasává vzduch, což je naprosto nežádoucí. Toto však může nastat pouze v extrémních případech. [5][6]

MAZÁNÍ Z OLEJOVÉ NÁDRŽE

Může být nazýváno jako mazání se suchou klikovou skříní. Tato varianta je používána v případě předpokladu velkých náklonů a odstředivých sil, kdy by mazání z klikové skříně nemohlo bezpečně zaručit jeho funkci. Mohlo by totiž dojít k přerušení dodávky oleje při nasávání do čerpadla. Olej je v tomto případě rozváděn čerpadlem ze samostatné nádrže, není tu tak použita olejová vana. Jsou zde použita dvě čerpadla, jedno na vstupu s větším výkonem oproti druhému na výstupu z nádrže, které tlačí olej k mazaným místům. Díky tomu nedochází ke shromažďování oleje v prostorech mimo nádrž. Je také možné použít pouze jedno zdvojené čerpadlo. Toto mazání se také používá u motorů typu boxer. [5][6]

3.3 KOMPONENTY MAZACÍHO SYSTÉMU

3.3.1 OLEJOVÁ ČERPADLA

Požadavky olejových čerpadel zahrnují schopnost dodávat velké množství oleje společně s dostatečným tlakem a celkově jejich vysokou spolehlivostí. [5]

ZUBOVÁ ČERPADLA

Olej je zde čerpán ze sacího prostoru mezi dvě stejná čelní ozubená kola, kde dochází za místem záběru k podtlaku díky minimální vůli a tak je jimi dopravován v prostoru mezi jednotlivými zuby a stěnou skříně čerpadla na výtlačnou stranu. [4]

ČERPADLO S VNITŘNÍM OZUBENÍM

Jedná se o vylepšený model zubového čerpadla. Vnitřní ozubené kolo je poháněno přímo klikovým hřídelem a otáčí s excentricky uložením vnějším kolem. Tím je vytvořen prostor

pro srpek, který vyplňuje vzniklé místo. Olej je při otáčení dopravován v zubových mezerách na obou stranách srpku. Tento typ nám umožňuje zvětšení dopravního výkonu oproti zubovému čerpadlu obzvláště při nižších otáčkách. [4]

TROCHOIDNÍ ČERPADLO

Je také řešeno pomocí dvou ozubení a to na vnějším a vnitřním rotoru. Ten má o jeden zub méně a umožňuje tak ke konání pohybu vnitřního rotoru po vnějším. Ozubení je navzájem tvarováno tak, aby docházelo k neustálému dotyku a tím k dostatečnému utěsnění. Při otáčení se zvětšuje prostor na sací straně a může nastávat sání oleje. Naopak na výtlačné straně se prostor zmenšuje a vytlačuje olej z pracovního prostoru. Díky velké plynulosti dokáže čerpadlo vyvinout vysoký výtlačný tlak. [4]

3.3.2 REGULAČNÍ VENTIL

Regulační nebo-li redukční ventil zabraňuje překročení požadované tlaku a chrání tak mazací soustavu. Při dosažení vyššího tlaku přepouští takové množství objemu do olejové vany, aby se tlak dostal na provozní hodnoty a neohrožoval tak použitá těsnění, hadice, potrubí, olejové čističe a chladič. Vysoký tlak má při studeném motoru za následek horší mazání, než když se motor dostane na provozní teploty. Zapojení regulačního ventilu do systému je v těsné blízkosti za olejovým čerpadlem, případně může být přímo jeho součástí. [4][5]

3.3.3 ČISTIČ OLEJE

K odstranění mechanických nečistot z mazací soustavy, jakou jsou prachové nebo kovové částice, vznikajících při provozu motoru je použito olejového filtru. Snižuje tak opotřebení ploch součástí, které by jimi mohly být narušovány. Z těchto důvodů je nutné filtry pravidelně obměňovat. Tyto filtry ovšem nedokážou odstranit chemické nečistoty, které způsobují stárnutí oleje. Jsou rozděleny podle jejich umístění a způsobu protékání oleje na **plnoprůtokové**, kterými protéká celý tlačný objem oleje a **obtokové** čističe, jimiž prochází pouze 10 až 20% oleje vytlačovaného čerpadlem. Menší průtok oleje filtrem znamená možné použití jemnější filtrace, tudíž větší množství zachycených částic. Výhoda nastává také v situaci, kdy dojde díky silnému zanesení až k ucpání filtru, což ovšem neznamená přerušení dodávky oleje k mazaným místům [4][5].

Další rozdělení filtrů je podle způsobů zachytávání nečistot a dle jejich konstrukce následovně na:

- štěrbinové (lamelové)

- síťové
- filtry s papírovou vložkou
- odstředivé [4]

3.4 CHLAZENÍ OLEJE

Pro dosažení požadovaných vlastností oleje, jako je jeho optimální viskozita a schopnost mazat, musí mít olej správnou teplotu. Tu nám pomáhá udržovat olejové chlazení. Způsob chlazení může být formou, kdy je do mazacího systému připojen olejový chladič, přes který proudí pod nápořem vzduch. Také je možné využití rozdílu teplot, kdy je provozní teplota vody v chladicí soustavě zhruba o 20 až 30°C nižší než je teplota oleje za provozu motoru. Může se tak využít umístění olejového chladiče v chladícím systému. Tato možnost je použitelná pouze v případě, nejedná-li se o vzduchem chlazené motory, nýbrž motory chlazené kapalinou. Pro ochranu chladiče, kterým prochází chladicí kapalina a olej, se k chladiči přidává obtokové potrubí s obtokovým pojistným ventilem, jehož úkolem je zabránit vysokému tlaku oleje. Průtok oleje přes chladiče je ovládaný pomocí termostatu, který uzavírá průtok do chladiče, v případě je-li jeho teplota nízká a je zde prvotní požadavek na ohřátí motoru k jeho provozním teplotám. Tato situace nastává zejména při studených startech a v zimním období. [4][6]

U motorů, které nemají tak vysoké nároky na chlazení oleje se využívá ochlazování, při kterém kolem olejové vany proudí při pohybu vozidla okolní vzduch. Pro zlepšení účinku chlazení, který je v tomto případě velmi nerovnoměrný z důvodu závislosti na rychlosti vozidla a okolní teplotě, je vhodné zvolit materiál olejové vany z lehkých slitin a opatřit ji chladícími žebry umístěnými na její vnější straně, které urychlují odvod tepla zvětšením chladící plochy. [4]

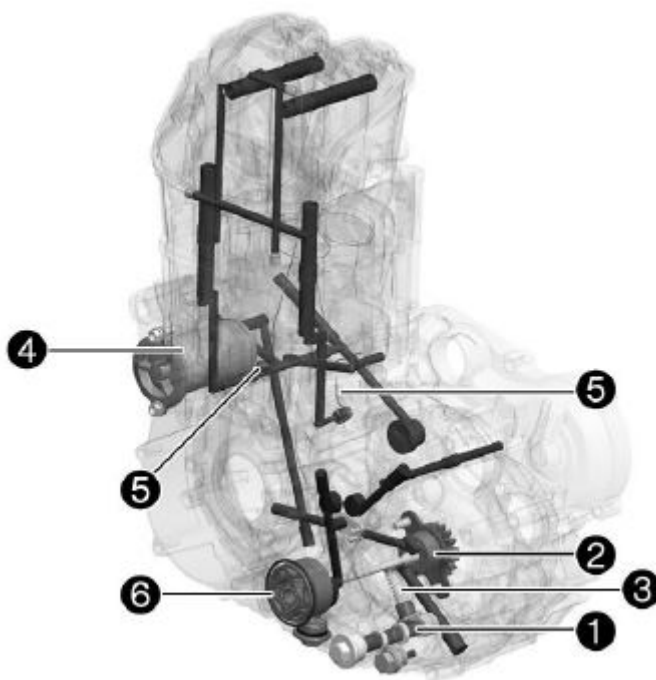
3.5 OLEJOVÝ SYSTÉM NA VOZIDLE FORMULE STUDENT

Systém mazání na vozidle Dragon 8 týmu TU Brno Racing je oproti původnímu systému motoru Husqvarna FE 501 upraven z důvodu použití turbodmychadla firmy Honeywell. Tato úprava spočívá v nutnosti rozšíření olejového okruhu pro přivádění oleje do ložiskové skříně, a to vlastním trochoidním čerpadlem. Toto čerpadlo je stejné jako to, které se stará o zásobování mazacích míst v celém motoru. Další provedenou změnou je zakomponování vzduchem chlazeného olejového chladiče, vzhledem k vysoké teplotě oleje, který je oteplován turbodmychadlem a motorem se zvýšeným výkonem oproti sériovému provedení. Chlazení oleje proudícím vzduchem přes chladič bylo upřednostněno před chladičem chlazeným kapalinou z důvodu jednodušší aplikace a snížení nároků na chladicí výkon vodního okruhu.

Při zakomponování olejového chladiče pro mazání do chladicího systému by bylo nutné provést daleko větší změny a představoval by zbytečnou váhu na víc.

Celkový oběh oleje tak začíná v olejové vaně. Z té je olej trochoidním čerpadlem nasáván přes olejové sítko a regulátoru tlaku do olejového chladiče. Odtud se vrací zpět do motoru, konkrétně do olejového filtru a z něj je po vyčištění dopravován k jednotlivým mazacím místům. Mezi ně se řadí kliková, vačková a vyvažovací hřídel a píst.

Za prvním trochoidním čerpadlem jsou na stejné ose připojena další dvě trochoidní čerpadla. Druhé čerpadlo v pořadí je z plastu a stará se o odsávání přebytečného oleje od klikové hřídele, alternátoru a od expanzní nádoby za turbodmychadlem a také domazává převodové ústrojí. Třetí z nich pak přivádí olej do okruhu s turbodmychadlem. Materiál použitý na prvním a třetím čerpadle je ocel, která je následně chemicky ošetřena nitridací v solné lázni s následnou oxidací. Díky ní má pak čerpadlo lepší odolnost proti opotřebení, zadření, otěru a korozi.



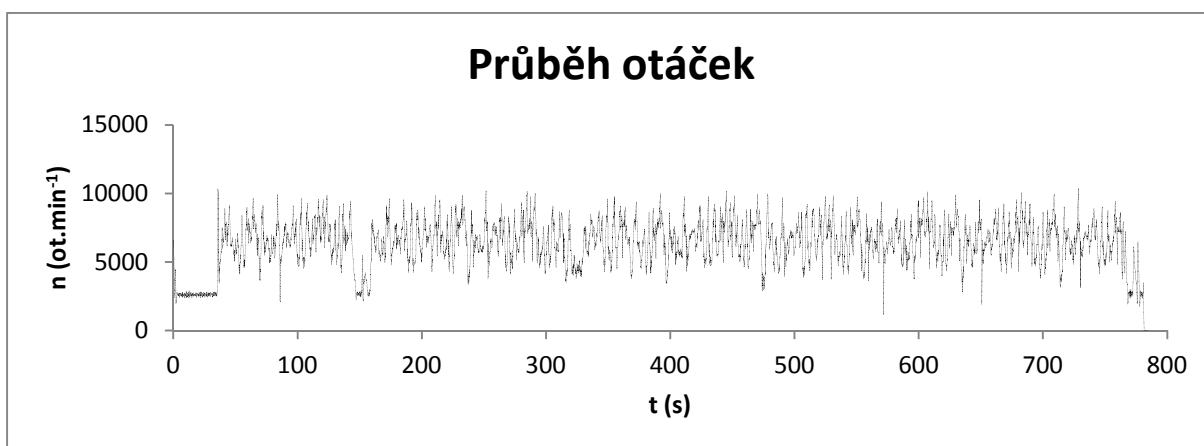
Obr. 1 Mazací systém motoru Husqvarna FE 501[11];
1 - kontrolní okénko hladiny oleje; 2 - sací čerpadlo; 3 - regulátor tlaku oleje;
4 - olejový filtr; 5 - olejová tryska pro chlazení pístu; 6 - sací pumpa

4 ANALÝZA DAT PŘI PROVOZU

Pro analýzu dat z provozu je důležité zapojení nejrůznějších druhů snímačů. V mazacím systému motoru je nutné zejména kontrolování provozních teplot a tlaků. Díky použití motorové řídicí jednotky od značky Life Racing máme možnost okamžitého zobrazení měřených dat v systému Life Mon s obnovovací frekvencí až 1000 Hz. Vykreslení závislostí jednotlivých veličin většinou bývá v závislosti na čase nebo na otáčkách motoru. Následující grafy ukazují záznam dat při disciplíně endurance na závodech v Německu.

4.1 OTÁČKY

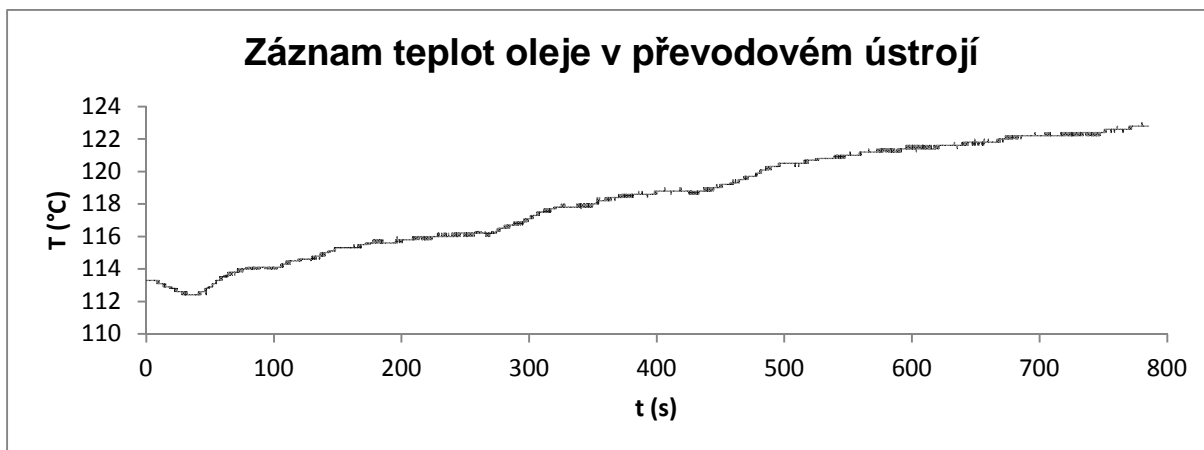
Většina potřebných údajů pro správných návrh komponent vyžaduje informaci o otáčkách motoru. Volnoběžné otáčky motoru se pohybují okolo 2 600 otáček za minutu a maximální otáčky dosahovaly v závodě necelých 10 400 otáček za minutu. Z dat lze následně vyvodit, že průměrná hodnota otáček je 6 600 otáček za minutu



Graf 1. Průběh otáček motoru v závislosti na čase

4.2 TEPLOTA OLEJE

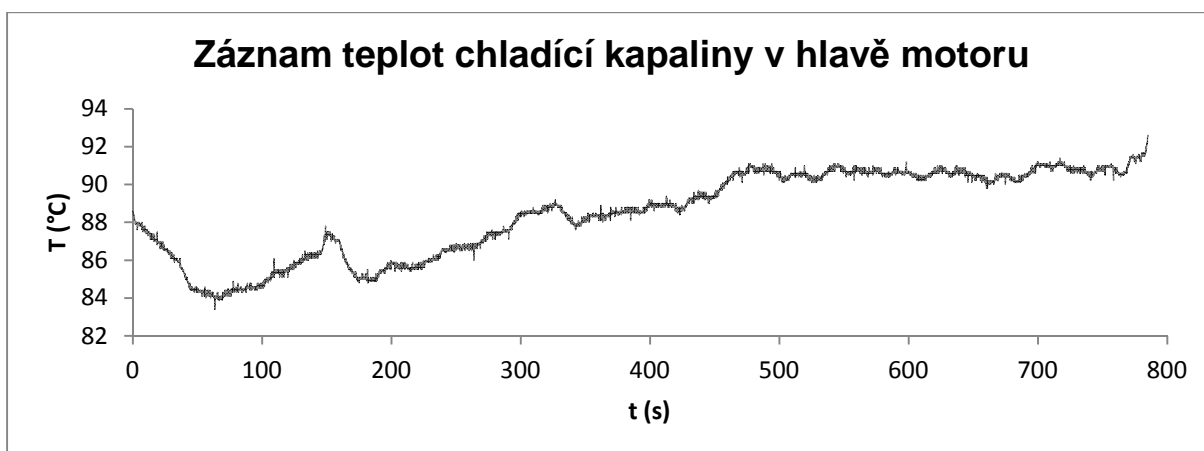
Teplota motorového oleje je měřena pomocí senzoru umístěného v převodovém ústrojí. Ze spojnice bodů v grafu můžeme konstatovat relativně lineární narůstání teploty v průběhu celého grafu. Maximum dosáhla před vypnutím motoru s hodnotou 123°C. Tato hodnota není nikterak extrémní. Bylo by však vhodné ověřit, jestli by při delší jízdě teplota nadále rostla nebo se v průběhu ustálila a s touto hodnotou nadále pracovat.



Graf 2. Záznam teplot oleje v převodovém ústrojí

4.3 TEPLOTA CHLADÍCÍ KAPALINY

Graf teploty kapaliny v chladícím okruhu vychází z hodnot měřených v hlavě motoru. Při ohřátí motoru můžeme pozorovat kolísání na hranici 90°C. Důležité je, že se tato teplota nijak dramaticky nezvyšuje. Mírný finální nárůst je způsoben prostojem vozidla před vypnutím. Další navýšení by zde nemělo nastat, a to díky sepnutí ventilátoru za chladičem, který zajistí proudění vzduchu přes chladičí lamely.



Graf 3. Záznam teplot chladící kapaliny v hlavě motoru

4.4 TLAK OLEJE

Hodnoty tlaku motorového oleje jsou měřeny těsně za výstupem z trochoidního olejového čerpadla. Rozmezí získaných hodnot při závodu se pohybuje od 0,4 do 3,8 barů. Průměrný tlak, kterého je v mazacím okruhu dosaženo je 2,6 barů. Pro lepší představivost je však vhodnější zaměřit se na hodnotu statistické funkce modus, která zahrnuje četnost a nabývá hodnoty 2,8 barů.



Graf 4. Záznam tlaků za výstupem z olejového čerpadla

5 VÝPOČET PRŮTOKU OLEJE ČERPADLEM

Objemový průtok oleje čerpadlem nám říká, jak velký objem ochlazeného oleje je čerpadlo schopné dopravit za požadované otáčky do mazacího systému. Z analýzy dat lze usoudit, že při výpočtu průtoku oleje při průměrných otáčkách v závodu, které se pohybují okolo 6600 otáček za minutu, má tlak za čerpadlem průměrnou hodnotu 2,4 barů. Tyto dvě veličiny jsou na sobě přímo úměrně závislé.

5.1 MĚŘENÍ REÁLNÉHO OBJEMU ČERPADLA

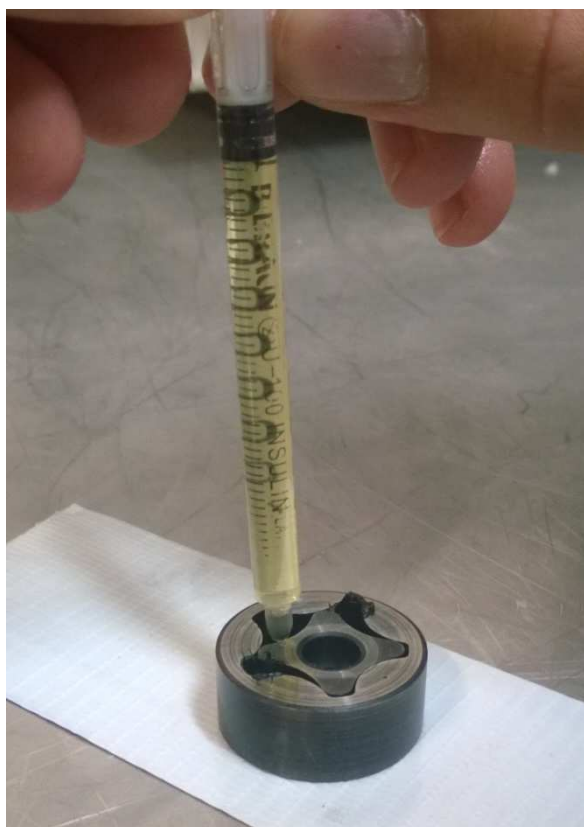
Pro vypočítání objemového průtoku čerpadlem je potřeba zjistit jeho geometrický objem, ten určíme následujícím postupem měření. Obě části trochoidního čerpadla zaslepíme z jedné strany těsnicí páskou v poloze, kdy je mezi ozubením rotorů vytvořena nejširší mezera. Dále utěsníme spáru, ve které dochází k dotyku ozubení z vnější strany silikonovým lepícím těsněním Loctite SI 5910. Po dostatečném vytvrzení nabere do injekční stříkačky s vhodně zvolenou stupnicí pro postačující přesnost měření motorový olej a zapíšeme si nasátý objem V_{Z1} . Ten postupně dostáváme jehlou do měřeného prostoru. Díky dobré vzlínivosti oleje můžeme relativně přesně určit, kdy se dostane hladina oleje na úroveň šířky čerpadla. Bezprostředně po té odečteme ze stupnice na stříkačce hodnotu zbývajícího oleje V_{Z2} . Rozdíl takto naměřených hodnot nám pak udává reálný objem V_{ZC} jedné zubové mezery potřebný k dalším výpočtům. Správně by se měl od takto změřeného objemu odečíst objem, který vzniká mezi vnitřním a vnějším rotorem ve fázi kdy se hlavová kružnice ozubení na vnitřním rotoru nejvíce přiblíží patní kružnici ozubení vnějšího rotoru. Tento objem je u ozubení potřebný z důvodů nepřesnosti výroby ozubení a teplotní roztažnosti při provozu. Vzhledem k malým rozměrům olejového čerpadla a tím velice malého vzniklého objemu mezi zuby v největším záběru, je velikost tohoto objemu při výpočtu zanedbána.

Celkový změřený objem:

$$V_{ZC} = V_{Z2} - V_{Z1} = 1 - 0,44 = 0,56 \text{ ml} \quad (1)$$

Jelikož má vnitřní rotor čtyři zuby, vynásobíme změřený objem jedné zubové mezery celkovým počtem zubů N a tím dostaneme množství přečerpaného oleje za jednu rotaci čerpadla [14].

$$V_S = V_{ZC} \cdot N = 0,56 \cdot 4 = 2,24 \text{ ml} = 2,24 \cdot 10^{-3} \text{ l} \quad (2)$$



Obr. 2 Měření geometrického objemu za pomoci injekční stříkačky

5.2 VÝPOČET

Výpočet teoretického objemového průtoku čerpadlem q můžeme vypočítat ze vzorce [14]:

$$q = V_s \cdot \eta_v \cdot n_{sc} \quad (3)$$

Uvažovaný průtok čerpadlem je počítaný pro nejčastější provozní otáčky motoru. Jelikož je mezi klikovou hřídelí a ozubeným kolem umístěným na hřídeli pro pohon vnitřního rotoru čerpadla zpřevodování, musíme si určit převodový poměr mezi ozubeními i_K . Převodový poměr pro otáčky vnitřního rotoru je dán počtem primárních zubů na spojkovém koši z_{SK1} a počtem zubů na hřídeli rotoru z_H . Převodový poměr tak spočítáme jako [13]:

$$i_K = \frac{z_{SK1}}{z_H} = \frac{17}{20} = 0,85 \quad (4)$$

Převodový poměr mezi klikovou hřídelí a spojkovým košem i_M je dán počtem sekundárních zubů na spojkovém koši z_{SK2} a počtem zubů na stálém převodu klikového hřídele z_{KH} [13]:

$$i_M = \frac{z_{SK2}}{z_{KH}} = \frac{76}{33} = 2,303 \quad (5)$$

Výsledný poměr i_C je pak možné vypočítat součinem převodových poměrů i_K a i_M [13]:

$$i_C = i_K \cdot i_M = 0,85 \cdot 2,303 = 1,958 \quad (6)$$

Nejčastější provozní otáčky klikové hřídele n_p dosahují 6600 otáček za minutu. Přepočítání na skutečné otáčky hřídele olejového čerpadla n_{SC} provedeme za pomoci výsledného poměru i_C následovně [13]:

$$n_{SC} = \frac{n_p}{i_C} = \frac{6600}{1,958} = 3370,8 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1} \quad (7)$$

Uvažovaná hodnota účinnosti čerpadla pro výpočet η_V je 93%. Výsledný průtok tak určíme dosazením do vztahu (1) [15]:

$$q = V_S \cdot \eta_V \cdot n_{SC} = 2,24 \cdot 10^{-3} \cdot 0,93 \cdot 3370,8 = 7,022 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \quad (8)$$

Na základě této rovnice můžeme konstatovat lineární nárůst objemového průtoku při zvyšování otáček čerpadla.

6 URČENÍ CHLADÍČÍHO VÝKONU CHLADIČE

Pro správné dimenzování olejového chladiče je potřeba určit jeho chladicí výkon. K jeho vypočítání nejprve změříme reálný průtok.

6.1 MĚŘENÍ PRŮTOKU OLEJE V SYSTÉMU

Vzhledem k vysokým teplotám oleje v mazacím systému musí být brán zřetel na teplotní možnosti použitých průtokoměrů. Tento problém se dá vyřešit zvolením oleje, který má obdobné viskozitní vlastnosti při pokojové teplotě jako motorový olej Liqui Moly Motorbike 4T Synth 10W-60 Offroad Race, jenž se v pohonné jednotce používá. Jeho viskozita při 100°C je 23,4 mm²/s. Zvolený olej pro měření byl Paramo OL-J10 s viskozitou 13,78 mm²/s při 40°C. Protože viskozita roste se snižující se teplotou, byl tento olej vybrán jakožto adekvátní [16][18].

Abychom dosáhli změřeného průtoku Q při průměrných otáčkách motoru, které motor dosahuje v závodě, bylo nutné zvolit vhodný převodový poměr, jelikož byl motor poháněn elektrickou vrtačkou. Maximální hodnota převodového poměru i_p byla 1,8 při zařazení prvního převodového stupně v převodovce. Při takovémto převodovém poměru můžeme zpětně určit potřebné otáčky n_v , kterých musí dosáhnout vrtačka. Do výpočtu je také potřeba zahrnout převodový poměr mezi klikovou hřídelí a spojkovým košem i_M [13]:

$$n_v = \frac{n_v}{i_p \cdot i_M} = \frac{6600}{1,8 \cdot 2,303} = 1592,1 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1} \quad (9)$$

Pro kontrolu nastavení ustálených otáček byl zapojen do motorové řídicí jednotky snímač otáček klikového hřídele. Po zapojení průtokoměru mezi olejové čerpadlo a olejový chladič byl při 6600 otáčkách klikového hřídele, které představují nejčastější hodnotu otáček při provozu motoru, dosažen průtok 6,3 litrů za minutu což odpovídá $1,05 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

6.2 VÝPOČET CHLADÍČÍHO VÝKONU OLEJOVÉHO CHLADIČE

K vypočítání chladícího výkonu chladiče P je nutné zjistit měrnou tepelnou kapacitu c , která má hodnotu pro olej 1800 J.kg⁻¹.K⁻¹. Další potřebná veličina k výpočtu je hustota ρ zvoleného oleje Paramo OL-J10, která má hodnotu 852 kg.m⁻³. Rozdíl tepelných hodnot vychází z maximální naměřené teploty oleje t_1 v průběhu závodu a z požadované teploty na výstupu z čerpadla t_2 . Všechny známé veličiny tak můžeme dosadit do vztahu pro výpočet chladícího výkonu oleje [17][18][19]:

$$P = Q \cdot \rho \cdot c \cdot (t_1 - t_2) = 1,05 \cdot 10^{-4} \cdot 852 \cdot 1800 \cdot (123 - 115) = 1,288 \cdot 10^3 \text{ W} \quad (10)$$

Výsledný výkon, který je potřeba chladit pro udržení požadované teploty oleje je 1,288 kW.

ZÁVĚR

V této závěrečné práci bylo cílem vypracovat obeznámení s principem mazacího systému. Úvodní část práce se zabývá rešerší o studentském projektu Formula Student a pravidlech, které přímo ovlivňují mazací systém. Dále jsou popsány jednotlivé komponenty v mazacím okruhu a jejich funkce, včetně popsání konkrétního mazacího systému na vozidle Dragon 8.

Další část se zaměřuje na analýzu dat získaných při provozu vozidla v závodě. Tato data slouží k následným výpočtům. Můžeme z nich také vyvodit, že použitý chladič je dostačující vzhledem ke krátké době, po kterou je spalovací motor v plné zátěži během závodu a provozní teploty nedosahují extrémně vysokých teplot. Proběhlo také měření a výpočet průtoku oleje v trochoidním čerpadle a výpočet chladícího výkonu olejového chladiče na základě konkrétních požadavků.

Ze získaných výsledků vyplývá, že reálné měření průtoku dosahuje menších hodnot než analytický výpočet. To je dáno většími ztrátami v olejovém okruhu než jsou uvažovány v účinnosti, jenž je zahrnuta ve výpočtu.

K vylepšení chladícího účinku olejového chladiče by mohlo dojít pokud by za chladič byl zakomponován ventilátor zajišťující proudění vzduchu přes chladící lamely i v případě, kdy není vozidlo v pohybu.

Poznatky získané díky této práci budou zohledňovány při stavbě dalšího monopostu týmu TU Brno Racing.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] *History of Formula Student* [online]. © Institution of Mechanical Engineers (IMEchE), 2018 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <https://www.imeche.org/events/formula-student/about-formula-student/history-of-formula-student>
- [2] *TU Brno Racing: Studentská formule* [online]. [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <http://www.tubrnoracing.cz/cs/studentska-formule/>
- [3] *Formula Student Rules 2018, Version: 1.1* [online]. 2017 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2018/rules/FS-Rules_2018_V1.1.pdf
- [4] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily. (3), Motory. 7. vydání*. Brno: Nakladatelství Avid, spol. s r. o., Brno, 2012, 179 stran : barevné ilustrace. ISBN 978-80-87143-21-6
- [5] PEKÁREK, J.: *Technologie oprav 1: T13 Mazání motorů, opravy, údržba, vlastnosti motorových olejů* [online]. Střední škola technická a zemědělská, NOVÝ JIČÍN [cit. 2018-05-25]. ISBN: 978-80-88058-23-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/160/13.html>
- [6] VLK, František. *Chlazení a mazání motocyklových motorů*. Soudní inženýrství. 2005, 16(5), 243-257. ISSN 1211-443X.
- [7] *Mazací soustava spalovacích motorů* [online]. [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: http://www.skola-auto.cz/wp-content/uploads/2018/02/21_Mazani.pdf
- [8] *Mazání motoru* [online]. [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=36408&revision=-1&instance=4>
- [9] MUSIL, Tomáš. Olejový okruh motoru: Kudy všude motorem putuje? A co všechno maže?. *AUTO.cz: Nejlepší jízda na webu* [online]. 11.12. 2016 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/olejovy-okruh-motoru-kudy-vsude-motorem-putuje-a-co-vsechno-maze-101231>
- [10] *Přednáška 10 PJ-II* [online]. [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: http://old.kvm.tul.cz/studenti/texty/POJ2/P%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ka_10_PJ-II.pdf
- [11] *Husqvarna: REPAIR MANUAL FE 501 EU*. Stallhofnerstraße 3, 5230 Mattighofen, Austria: Husqvarna Motorcycles, 2014. Art. no. 3403003en.

- [12] *PARTSDEPOT: Originální náhradní díly Husqvarna FE 501 EU 2015* [online]. [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <https://www.partsdepot.cz/originalni-dily/motorky/Husqvarna/2015/FE+501+EU/441759/>
- [13] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE, Richard G. (Richard Gordon) BUDYNAS, Martin HARTL a Miloš VLK. *Konstruování strojních součástí*. V Brně: VUTIUM, 2010, xxv, 1159 s. : il. ; 26 cm. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [14] JOONG-HO SHIN a HAN SUNG KANG. *Rotor profile design in a hypogenerator pump* [online]. Changwon, 2008 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: http://www.jmst.org/on_line/admin/files/34-05185_3459-3470_.pdf. Changwon National University.
- [15] *Engineering Essentials: Fundamentals of Hydraulic Pumps. Hydraulics & Pneumatics* [online]. Penton, 2016 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <http://www.hydraulicspneumatics.com/200/TechZone/HydraulicPumpsM/Article/False/6401/TechZone-HydraulicPumpsM>
- [16] *Product information: Motorbike 4T Synth 10W-60 Offroad Race* [online]. [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <https://pim.liqui-moly.de/pidoc/P003115/3053-Motorbike4TSynth10W-60OffroadRace-23.0-en.pdf>
- [17] *FYZIKÁLNÍ TABULKY* [online]. [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <https://kfy.zcu.cz/export/sites/kfy/dokumenty/FP1/tabulky.pdf>
- [18] *PARAMO: Technické informace Paramo OL-J* [online]. [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: https://eshop.paramo.cz/data/VyrobkovaDokumentace/ti_paramo_olj_z2.pdf
- [19] PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. Vyd. 3., přeprac. / v Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003, 284 s. : il. ISBN 80-214-2409-5.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

c	$J.kg^{-1}.K^{-1}$	měrná tepelná kapacita
i_C	[-]	výsledný převodový poměr mezi klikovou hřídelí a čerpadlem
i_K	[-]	převodový poměr mezi spojkou a čerpadlem
i_M	[-]	převodový poměr mezi klikovou hřídelí a spojčným košem
i_P	[-]	převodový poměr převodovky
N	[-]	počet zubů vnitřního rotoru čerpadla
n	$[ot.min^{-1}]$	otáčky klikové hřídele
n_P	$[ot.min^{-1}]$	nejčastější provozní otáčky klikového hřídele
n_{SC}	$[ot.min^{-1}]$	skutečné otáčky olejového čerpadla
n_V	$[ot.min^{-1}]$	otáčky vrtačky
p	[mBar]	tlak
P	[W]	chladicí výkon
q	$[l.min^{-1}]$	teoretický objemový průtok
Q	$[m^3.s^{-1}]$	průtok
T	[°C]	teplota
t	[s]	čas
t_1	[°C]	maximální dosahovaná teplota oleje
t_2	[°C]	požadovaná teplota oleje
V_S	[l]	geometrický objem čerpadla
V_{Z1}	[ml]	objem nasátého oleje do stříkačky
V_{Z2}	[ml]	objem oleje po vytlačení ze stříkačky
V_{ZC}	[ml]	celkový změřený objem zubové mezery čerpadla
Z_H	[-]	počet zubů ozubeného kola u čerpadla
Z_{KH}	[-]	počet zubů stálého převodu klikové hřídele
Z_{SK1}	[-]	počet primárních zubů spojčného koše
Z_{SK2}	[-]	počet sekundárních zubů spojčného koše
η_V	[%]	objemová účinnost čerpadla
ρ	$[kg.m^{-3}]$	hustota