

UNIVERZITA PARDUBICE  
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2019

Bc. Jiří Trnka

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Studium viskozitních a mazivostních vlastností motorových olejů

Bc. Jiří Trnka

Diplomová práce

2019

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří Trnka**  
Osobní číslo: **D17504**  
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**  
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Ochrana životního prostředí v dopravě**  
Název tématu: **Studium viskozitních a mazivostních vlastností motorových olejů**  
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

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

- 1) Úvod
- 2) Na základě studia literatury a informačních zdrojů popište současný stav v oblasti vlastností motorových olejů a změn jejich vlastností během provozu
- 3) Seznamte se s principy a metodikou používaných experimentálních metod: Stabingerovým viskozimetrem, Reichertovým testem atd.
- 4) Proveďte měření motorových olejů odebraných z hnacích jednotek ČD.
- 5) Diskutujte vliv změny kinematické viskozity na mazivostní a protioděrové vlastnosti motorových olejů
- 6) Závěr

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího práce  
Rozsah pracovní zprávy: 50-60 stran textu a přílohy  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná  
Seznam odborné literatury:


1. STODOLA, J., MACHALÍKOVÁ, J. Spolehlivost a diagnostika BSV. Provozní hmoty a materiály MTV. Brno: Univerzita obrany v Brně, 2006. 134 s. ISBN 80-7231-167-0.
2. TOMS, L. A.: Machinery Oil Analysis: Methods, Automation & Benefits, Society of Tribologists & Lubrication Engineers, 2008, Park Ridge USA, p. 262. ISBN 978-0-9817512-0-7.
3. MACHALÍKOVÁ, J., SEJKOROVÁ, M. Diagnostika a kontrola jakosti provozních hmot. Studijní opora na CD. Univerzita Pardubice, 2013. ISBN 978-80-7395-620-2.
4. SEJKOROVÁ, M. Metody tribotechnické diagnostiky. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Univerzita Pardubice, 2013. ISBN 978-80-248-3280-7. Dostupné z: [http://www.vvvd.cz/doc/cms\\_library/metody-tribotechnicke-diagnostiky-398.pdf](http://www.vvvd.cz/doc/cms_library/metody-tribotechnicke-diagnostiky-398.pdf)
5. ŠTĚPINA, V. a VESELÝ, V. Maziva v tribologii. Bratislava: Veda, 1985.
6. Černý, J., Václavíčková, I.: Viskozitní a mazivostní vlastnosti motorových olejů. Sborník konference "Mazání v moderním průmyslovém podniku". Česká strojnická společnost, 2008. ISBN: 978-80-02-02041-7.
7. <http://www.techmagazin.cz/>
8. <http://www.tribotechnika.cz/casopis>

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Marie Sejkorová, Ph.D.  
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání diplomové práce: 15. února 2019  
Termín odevzdání diplomové práce: 20. května 2019

  
doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.  
děkan

L.S.

  
Ing. Jakub Vágner, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. února 2019

*Prohlašuji:*

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

Tato diplomová práce byla realizována s využitím technologií Výukového a výzkumného centra v dopravě Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 15. 5. 2019

Bc. Jiří Trnka

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval paní doc. Ing. Marii Sejkorové, Ph.D. za odborné vedení při zpracování diplomové práce. Dále bych rád věnoval poděkování mé rodině za podporu při studium na Univerzitě Pardubice.

## ANOTACE

Motorové oleje rozhodují o spolehlivé funkci motoru. Během jeho provozu dochází v motorovém oleji k velkým změnám, které se týkají rovněž viskozity. Diplomová práce proto řeší vliv změny kinematické viskozity motorových olejů na jeho mazivostní a protioděrové vlastnosti. Změna viskozity motorových olejů odebraných z hnacích jednotek Českých drah byla stanovena pomocí Stabingerova viskozimetru, mazivostní a protioděrové vlastnosti byly hodnoceny na základě Reichertova testu a výsledků FTIR spektrometrie.

## KLÍČOVÁ SLOVA

tribologie, tribotechnická diagnostika, motorový olej, opotřebení, Reichertův test, Stabingerův viskozimetr, stav oleje, mazání, viskozita

## TITLE

Study of viscosity and lubricity properties of engine oils

## ABSTRACT

Engine oils determine the engine reliability. During engine operation are changes in properties oil. Among the important properties belong viscosity. Therefore thesis deals with due to change kinematic viscosity engine oils on his lubricity and anti-wear properties. Change viscosity engine oils taken from Českých drah was determined Stabinger viscometer. For determination lubricity and anti-wear was used the method Raichert test and FTIR spektrometry.

## KEYWORDS

tribology, tribotechnical diagnostics, engine oil, Stabinger viscometer, Reichert test, mechanical wear, condition oil, lubrication, viscosity

# OBSAH

ÚVOD .....	9
1 TEORETICKÁ ČÁST .....	10
1.1 Tribologie .....	10
1.1.1 Tribologický systém.....	10
1.1.2 Tribologické procesy .....	11
1.2 Tribotechnická diagnostika (TTD).....	13
1.3 Automobilové oleje .....	14
1.3.1 Výroba automobilového oleje.....	14
1.3.2 Zušlechťující přísady do automobilových olejů.....	15
1.3.3 Dělení automobilových olejů .....	17
1.3.4 Požadavky na automobilové oleje .....	19
1.3.5 Viskozita a mazivost motorových olejů.....	20
1.3.6 Degradace motorového oleje během provozu .....	22
1.4 Principy metod využití v experimentální části .....	24
1.4.1 Stabingerův viskozimetr .....	24
1.4.2 Infračervená spektrometrie .....	25
1.4.3 Reichertův test .....	28
2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	29
2.1 Vzorky motorového oleje.....	29
2.2 Hodnocení viskozitních vlastností Stabingerovým viskozimetrem .....	30
2.1 FTIR analýza.....	33
2.3. Hodnocení mazivosti Reichertovým testem .....	40
2.4 Závislosti mazivosti na vybraných veličinách motorového oleje .....	51
3 ZÁVĚR .....	59
4 POUŽITÁ LITERATURA .....	60



# SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

## Obrázky

- Obr. 1 – Tribologický systém podle DIN 51 320
- Obr. 2 – Zařazení tribologických procesů do vzájemných vazeb
- Obr. 3 – Schematické rozdělení vrstev na kovovém povrchu mechanicky namáhaného třecího materiálu v přítomnosti maziva
- Obr. 4 – Princip Stabingerova viskozimetru
- Obr. 5 – Princip zeslabené úplné reflektance
- Obr. 6 – Typické oblasti IČ spektra při vyhodnocování olejů
- Obr. 7 – Princip Reichertova testu
- Obr. 8 – Stabingerův viskozimetr SVM 3000
- Obr. 9 – Spektrometr Nicolet Is 10
- Obr. 10 – Spektrogram vzorku č. 3,12
- Obr. 11 – Spektrogram vzorku č. 3,12 – výběr
- Obr. 12 – Spektrogram vzorku č. 5, 6,11
- Obr. 13 – Spektrogram vzorku č. 5, 6,11 – výběr
- Obr. 14 – Spektrogram vzorku č. 5, 9,10
- Obr. 15 – Spektrogram vzorku č. 5, 9,10 – výběr
- Obr. 16 – Spektrogram vzorku č. 1,2,7,8
- Obr. 17 – Spektrogram vzorku č. 1,2,7,8 – výběr
- Obr. 18 – Spektrogram vzorku č. 15,16
- Obr. 19 – Spektrogram vzorku č. 15,16 – výběr
- Obr. 20 – Měřicí přístroj Reichert M2
- Obr. 21 – Lupa se stupnicí (8x zvětšení)
- Obr. 22 – Testovací válečky všech vzorků
- Obr. 23 – Otěrové stopy – vzorek č. 1
- Obr. 24 – Otěrové stopy – vzorek č. 2
- Obr. 25 – Otěrové stopy – vzorek č. 3
- Obr. 26 – Otěrové stopy – vzorek č. 4
- Obr. 27 – Otěrové stopy – vzorek č. 5
- Obr. 28 – Otěrové stopy – vzorek č. 6
- Obr. 29 – Otěrové stopy – vzorek č. 7
- Obr. 30 – Otěrové stopy – vzorek č. 8

- Obr. 31 – Otěrové stopy – vzorek č. 9
- Obr. 32 – Otěrové stopy – vzorek č. 10
- Obr. 33 – Otěrové stopy – vzorek č. 11
- Obr. 34 – Otěrové stopy – vzorek č. 12
- Obr. 35 – Otěrové stopy – vzorek č. 13
- Obr. 36 – Otěrové stopy – vzorek č. 14
- Obr. 37 – Otěrové stopy – vzorek č. 15
- Obr. 38 – Otěrové stopy – vzorek č. 16

### **Tabulky**

- Tab. 1 – Požadavky na automobilový olej
- Tab. 2 – Vlnočty charakteristických strukturních skupin
- Tab. 3 – Označení vzorků
- Tab. 4 – Změřená data – Stabingerův viskozimetr
- Tab. 5 – Vyhodnocená data – FTIR spektrometrie
- Tab. 6 – Vyhodnocení elipsovité plochy a únosnosti mazacího filmu
- Tab. 7 – Hmotnost válečků před měřením
- Tab. 8 – Hmotnostní úbytky válečků po měření

### **Grafy**

- Graf 1 – Závislost mezi plochou otěrové stopy a hmotnostním úbytkem zkušebních válečků
- Graf 2 – Hodnocení mazivosti nových vzorků olejů
- Graf 3 – Hodnocení dopadu změny viskozity na mazivost vzorků oleje M7ADS III
- Graf 4 – Hodnocení dopadu změny viskozity na mazivost vzorků oleje M7ADS V
- Graf 5 – Hodnocení dopadu změny viskozity na mazivost vzorků oleje Urania
- Graf 6 – Hodnocení dopadu změny viskozity na mazivost vzorků oleje OMV 10W40
- Graf 7 – Parametry ovlivňující plochu otěru u vzorků M7ADS III
- Graf 8 – Parametry ovlivňující plochu otěru u vzorků M7ADS V
- Graf 9 – Parametry ovlivňující plochu otěru u vzorků Urania
- Graf 10 – Parametry ovlivňující plochu otěru u vzorků OMV 10W40

# ÚVOD

V dnešní době se klade důraz především na výkonnější, a proto i na více tepelně namáhané motory. S tímto trendem souvisí zvýšené požadavky na kvalitu motorových olejů. Motorový olej zabezpečuje nejen mazání pohybujících se součástí, ale také odvádí teplo, čistí vnitřek motoru a utěsňuje prostor mezi pístními kroužky a stěnou válce.

Provozní podmínky dopravních prostředků a kvalita maziv mají významný vliv na výměnný interval motorového oleje. Proto někteří provozovatelé, nejčastěji firmy disponující rozsáhlým vozovým parkem s ekonomicky náročnými motory, přistoupily k monitorování stavu oleje během provozu s cílem znát aktuální stav jeho kvality a odhadnout zbývající kilometrový proběh. Tak lze na základě stupně degradace a kontaminace motorového oleje optimalizovat nejen výměnné intervaly, ale také na základě prvkové analýzy částic opotřebením nesených olejem bezdemontážně diagnostikovat případné poruchové stavy na motoru.

U osobních automobilů a dalších malých motorů se výměnný interval oleje většinou řídí doporučením výrobce motoru. Vědní disciplína, která se kromě jiného zabývá optimalizací intervalů výměny maziv, se nazývá tribotechnická diagnostika (TTD). Do tribodiagnostiky lze zahrnout jak semikvantitativní jednoduché provozní zkoušky, tak přesné normované zkoušky olejů za použití nákladné laboratorní přístrojové techniky. Díky výsledkům těchto zkoušek lze nejen optimalizovat výměnné intervaly, ale také včas identifikovat blížící se poruchu. Aplikace metod TTD má tedy nejen technický, ale také ekonomický a ekologický přínos.

Viskozita je považována za nejdůležitější sledovaný parametr motorových olejů. V diplomové práci je řešena problematika vlivu změny viskozity na mazivostní a protioděrové vlastnosti motorového oleje odebraného z hnacích jednotek Českých drah (ČD). Viskozita byla hodnocena pomocí Stabingerova viskozimetru, mazivost Reichertovým testem a protioděrové vlastnosti na základě výsledků infračervené spektrometrie s Fourierovou transformací (FTIR spektrometrie).

# 1 TEORETICKÁ ČÁST

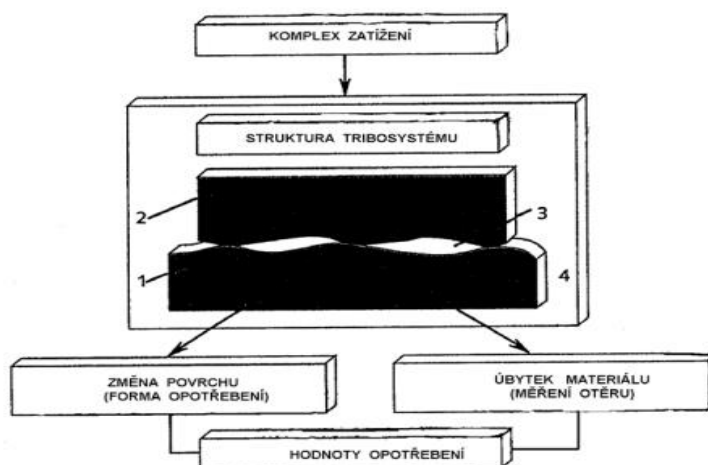
## 1.1 Tribologie

Název vznikl z řeckého slova tribos, což znamená tření. Jedná se o vědní disciplínu, která se zabývá sledováním stavu dvou těles při vzájemném dotyku. Jsou-li dvě tělesa ve vzájemném dotyku, dochází k tzv. odporu proti pohybu (ke tření). Tření dvou povrchů může vést k vadě povrchu a následně až k poruše celé součásti. Věda, která tyto stavy zkoumá se nazývá tribotechnika [1, s. 9-10].

Tribologie si najde uplatnění ve dvou základních zájmových oblastech. Tou první jsou přirozené tribologické systémy, jedná se především o klouby člověka a zvířat, pohybový aparát, kořeny rostlin a mnohé další. Druhou zájmovou oblastí jsou tzv. umělé tribologické systémy. Do této skupiny spadají části technických systémů, které vytvořil člověk [2, s. 9].

### 1.1.1 Tribologický systém

Je materiální systém vytvořený buď člověkem, nebo je vzniklý přirozeně. V tomto systému základní úrovně probíhá tření jako proces v důsledku vzájemného působení dvou a více struktur systémových prvků. Na obrázku 1 můžeme vidět tribologický systém, který představuje jeden třecí systém a ve své struktuře obsahuje čtyři prvky (1 - první třecí těleso, 2 - druhé třecí těleso, 3 - prvky působící na funkci systému, 4 - pasivní prvek, který se zapojuje nepřímou) [2, s. 10].

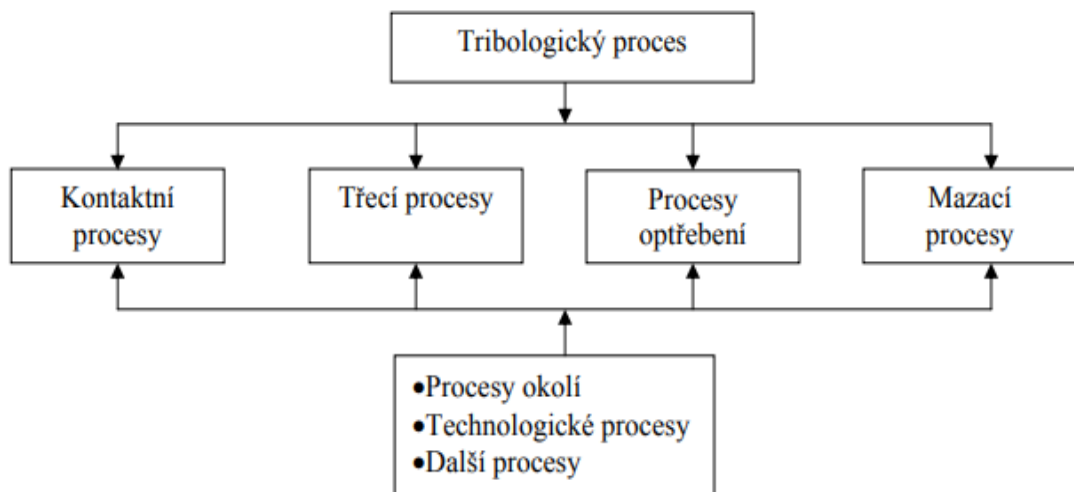


Obr. 1 – Tribologický systém podle DIN 51 320 [2]

## 1.1.2 Tribologické procesy

Jedná se o procesy, probíhající v prostoru a také v čase a jsou charakterizovány interakcí třecích těles, mezilátky a okolí. Na obr. 2 vidíme jednotlivé vazby a zařazení, které vedou na tyto základní otázky:

- co je příčinou přeměny užitečných veličin, jaké procesy vedou k přeměně energie (práce),
- jaké procesy vedou ke ztrátám (ztráty třením, materiálový úbytek, vznik opotřebení),
- jak pozitivně působit na mechanismus, aby došlo k minimalizaci ztrát [2, s. 14-15].



Obr. 2 – Zařazení tribologických procesů do vzájemných vazeb [2]

### Kontaktní procesy

Aby daný systém mohl primárně plnit svoji funkci, musí docházet k dotyku mezi aktivními členy. Zvažujeme tyto charakteristiky:

- počet těles,
- vlastnosti těles,
- druh a velikost působeného napětí,
- druh a rychlost pohybu mezi tělesy.

V místě střetu aktivních členů vyvolá změna mechanické energie ztráty, které následně způsobují deformaci dotýkajících se těles, vznik tangenciálního napětí, lokální skluzu, hystereze atd [2, s. 15].

### Tření

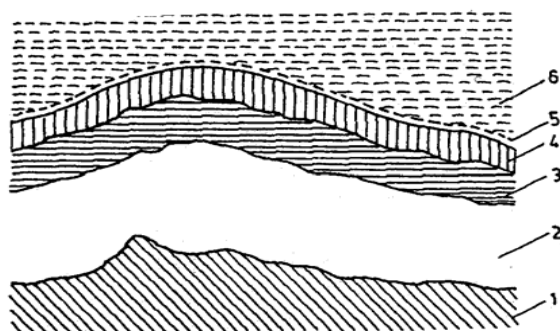
Tření je vždy vztaženo ke dvěma dotýkajícím se prvkům tribologického systému. Jak uvádí nejznámější definice: „*Tření je odpor proti relativnímu pohybu vznikající mezi dvěma k sobě přitlačovanými tělesy v oblasti dotyku jejich povrchů v tangenciálním směru.*“ V této definici se sice skrývá podstata tzv. vnějšího tření, ale nikoli tření vnitřního. Vnější tření je určeno stykem třecích ploch, zatímco vnitřní tření probíhá přímo v materiálu třecího tělesa. Proto bude lepší v definici napsané o pár řádků výše nahradit oblast dotyku jejich povrchů na dotýkajících se materiálových oblastí. Tření můžeme rozdělit na mnoho druhů. Například podle skupenství (tření pevných látek, kapalně), podle pohybu (za klidu, za pohybu, nárazové) atd [2, s. 15].

### Opotřebení

Jedná se o projev tribologického procesu, při kterém dochází k trvalému úbytku materiálu z povrchu způsobeným vzájemným pohybem (třením) dvou těles, nebo pohybem tělesa a média [2, s. 22].

### Maziva

Úlohu, kterou mazivo primárně má, je zamezení bezprostředního styku povrchu při vzájemném pohybu součástí a následně tedy i zmenšit opotřebení. Na obrázku 3 vidíme jednotlivé vrstvy mechanicky namáhaného tělesa. Číslo 1 zobrazuje neporušený kov, číslo 2 přechodovou vrstvou, číslo 3 značí vrstvu s porušenými krystalovými mřížkami, číslo 4 je poté reakční vrstva, číslo 5 adsorbovaná vrstva a číslo 6 je samotné mazivo [2, s. 26].



Obr. 3 – Schematické rozdělení vrstev na kovovém povrchu mechanicky namáhaného třecího materiálu v přítomnosti maziva [2]

## 1.2 Tribotechnická diagnostika (TTD)

Činnost tribotechnické diagnostiky spočívá ve výzkumu mazací látky (oleje), která se nachází ve stroji, a následně diagnostikuje i stroj samotný.

Vyhodnocení motorového oleje se diagnostikuje na základě stupně degradace oleje, který vychází z jeho užitných vlastností.

Tribodiagnostika samotného stroje je potom určena na základě intenzity otěrových kovů, které se v mazacím médiu sledují [3, s. 119].

### Cíle TTD oleje:

1. musí ve všech provozních podmínkách zabezpečovat bezporuchový provoz stroje,
2. maximalizace užitných vlastností oleje,
3. v průběhu využívání stroje musí zamezit poruše, která by vznikla nedostatečným plněním funkce oleje.

### Cíle TTD naftového motoru:

1. zajistit snižování opotřebení v motoru (sledování trendu opotřebení v reálném čase s cílem zvýšení jeho životnosti),
2. zamezení poruchovosti motoru,
3. vyvarovat se velkým poruchám a tím uspořit nemalý finanční obnos na velkých opravách,
4. plánovat údržbu motoru dle jeho skutečného stavu,
5. diagnostika již nastalé poruchy motoru [3, s. 119–120].

## 1.3 Automobilové oleje

Dnešní doba je nastavena tak, že nečekáme na vznik poruchy, ale snažíme se jí předcházet. V každém autoservisu najdeme nějaký diagnostický přístroj, který slouží pro diagnostiku motorového oleje. Sleduje průběh změn vlastností oleje a koncentraci otěrových kovů, které se v daném oleji nacházejí. Jen tak může být zajištěna funkce motoru po celou dobu jeho životnosti.

Zvyšování výkonu motoru, snižování emisních limitů, prodlužování intervalu výměny oleje, náročnější podmínky při provozu, to vše zvyšuje nároky na olej. Proto je čím dál tím více důležité sledovat vlastnosti oleje průběžně. Jednou z nejdůležitějších vlastností je dostatečná únosnost mazacího filmu, tekutost za nízkých teplot a dostatečná viskozita v celém rozsahu pracovních teplot. Aby olej tyto funkce plnil, má v sobě balíček přísad, ten může být až 20 % z celkového objemu. Bohužel je dokázáno, že přísady během provozu degradují, a tudíž olej ztrácí důležité vlastnosti, následně se do oleje dostává znečištění, které koluje motorem. Znečištění může vyvolat zvyšující se opotřebení motoru, kterým vznikají částičky kovů. Výsledky analýzy by měly zhoršené vlastnosti, a tím pádem i zvýšené opotřebení motoru odhalit [4, s. 40].

### 1.3.1 Výroba automobilového oleje

Aby olej splňoval požadované užité vlastnosti je zapotřebí vhodně zvolit a sladit v optimální celek olej základní, vyhovující druhy zušlechťujících přísad a zajistit jejich správné mísení.

#### Základní olej

Abychom dostali správný základový olej, musejí být splněny tyto faktory:

- výběr ropy vhodného charakteru,
- optimální rafinace olejových frakcí,
- správná skladba rafinovaných olejových frakcí.

Nejlépeší variantou pro výrobu motorových olejů jsou základní oleje jako rafináty z parafinických nebo naftenitických rop.

V procesu výroby základních olejů se využívá vakuové destilace mazutu, pomocí které jsou vyloučeny složky základního oleje na užší olejové frakce, selektivní rafinací a odpařováním olejových frakcí [3, s. 16–17].



### 1.3.2 Zušlechťující přísady do automobilových olejů

Aby motorový olej splňoval příslušné užité vlastnosti, které základní olej nespĺňuje, přidávají se do základového oleje zušlechťující přísady. Lze tedy říci, že druh a množství zušlechťujících přísad je nositelem kvalitativního rozlišení motorových olejů.

Pro motorové oleje v současné době rozlišujeme tyto druhy zušlechťujících přísad:

- snižovače teploty tuhnutí,
- zlepšovače viskozitního indexu,
- inhibitory a antioxidanty,
- detergenty a disperzanty.

#### Snižovače teploty tuhnutí

Rozlišujeme dva druhy bodu tuhnutí v souvislosti s mechanismem tuhnutí oleje. První případ je, že viskozita základního oleje je při určité teplotě již tak vysoká, že olej přestává téci. Mluvíme o tzv. viskozitním bodu tuhnutí.

Skutečný bod tuhnutí základního oleje je způsobený obsahem parafinů, které se vylučují při ochlazování a tvoří pevnou krystalovou mřížku uzavírající olej.

Snižovače teploty tuhnutí zabraňují tvorbě krystalové mřížky parafinů, a tím mají vliv na zlepšení skutečného bodu tuhnutí. Mezi nejdůležitější druhy přísad patří kondenzační produkty parafinu s naftalenem a polymetakryláty. K tvorbě krystalové mřížky u parafinu nedochází, díky velké molekule a adsorpci na vylučujících se krystalech tuhých uhlovodíků.

V oleji je obsaženo do 1 % hm snižovače teploty tuhnutí. Polymetakryláty mají jednu obrovskou výhodu a to, že s jeho objemem se zvyšuje i viskozitní index oleje.

Při uskladnění motorových olejů s přísadou snižovače teploty tuhnutí se může u některých druhů kondenzovaného typu vyskytnout nežádoucí vlastnost. Zvláště pak při větším kolísání teplot dochází k velkým ztrátám účinku přísady. Dostáváme se pak na stejné vlastnosti motorového oleje, jako u oleje základního. V dnešní době jsou tyto případy spíše vzácností [3, s. 18].

### Zlepšovače viskozitního indexu

Mezi dva základní druhy zlepšovačů patří tyto polymery:

- polymetakryláty,
- polyizobutyleny.

Polymetakrylát je z těchto dvou zlepšovačů více rozšířen hlavně z toho důvodu, že je účinnější, nezvyšuje podstatně viskozitu základního oleje a působí zároveň jako snižovač teploty tuhnutí. Dále umožňuje používat méně těkavé viskoznější základní oleje, z toho důvodu je vhodný zejména pro výrobu zimních a všesezónních motorových olejů.

Důležitým parametrem při kvalitativním hodnocení zlepšovače viskozitního indexu je tzv. stálost ve stříhu – stálost proti depolymeraci. Dva základní druhy, které jsou uvedeny výše, dobře vyhovují a jsou používány pro výrobu kvalitních všesezónních motorových olejů [3, s. 18-19].

### Inhibitory a antioxidanty

V dnešní době je kladen důraz především na výkon motoru, to je bohužel spojeno se zvětšováním tepelného a oxidačního namáhání oleje v motoru, a tím pádem i k nárůstu nároků na termooxidační stálost motorových olejů.

V olejích ropného původu jsou obsaženy látky (inhibitory), které jsou schopny zlepšit oxidační stabilitu oleje. Nicméně během rafinačních postupů jsou tyto přírodní inhibitory odstraňovány z olejových frakcí.

Kyselá oxidační zplodiny, které vznikají vysokým termooxidačním namáháním spolu s kyselými zbytky spáleného paliva, korozivně působí na součásti motoru. Nejvíce jsou napadány ložiskové kovy a pístová soustava motoru. Bezespору mají zplodiny oxidace negativní vliv na užité vlastnosti motorového oleje. Proto je cílem co nejvíce snížit oxidaci použitím zlepšujících přísad (antioxidantů).

Mezi tři hlavní způsoby brždění oxidace pomocí antioxidantů patří:

- „*přerušení řetězové reakce spojením s volnými radikály za vzniku stabilní sloučeniny,*
- *usměrňování rozkladu peroxidu na stabilní sloučeniny, které nepodporují další oxidaci,*
- *deaktivace katalyzátoru tím, že vytvářejí na jeho povrchu souvislou vrstvu, která zabrání katalytickým účinkům kovů“ [3, s. 18-19].*

## Detergenty a disperzanty

Detergenty jsou látky, které zabraňují vytvoření nežádoucích nánosů a úsad na plochách motoru tak, že se snaží udržet nerozpustné oxidační zplodiny v jemné dispersi a zabránit jim v jejich shlukování. Sekundárně pak neutralizují kyselé složky oleje, a tím následně i zmenšují korozivní opotřebení součástí motorů [3, s. 24-25].

### 1.3.3 Dělení automobilových olejů

Dělení motorových olejů je poměrně rozsáhlé. Z hlediska původu se oleje dělí na minerální, rostlinné, syntetické a polosyntetické. Další dělení olejů je podle použití, podle převládajícího typu uhlovodíků ve výchozí surovině, podle výkonnostní klasifikace a podle viskozity.

#### Dělení podle původu (způsobu výroby)

##### 1. Minerální (ropné) oleje

Minerální oleje jsou vyráběny především z ropy, černouhelného, hnědouhelného dehtu a živičné břidlice. Jde o směsi výsevroucích uhlovodíků. Postup výroby je následující. Nejprve se surová ropa dopraví do rafinerie, kde se rozdestiluje na jednotlivé frakce. Frakce, které jsou vhodné pro výrobu minerálních olejů, se následně upravují rafinačními pochody. Ty slouží k odstranění nestabilních látek (síra, polyaromatické sloučeniny). K rafinaci lze využít mnoho chemických procesů, těmi nejběžnějšími je použití selektivních rozpouštědel nebo hydrogenace. Po rafinaci nastává odparafinování a dočištění takzvaným kontaktováním s bělicí hlinkou. Po celém tomto procesu se získají oleje, které mají nízký bod tuhnutí, a jsou dále používány pro výrobu konkrétních druhů olejů [5, s. 21].

##### 2. Syntetické a polosyntetické oleje

Syntetické oleje jsou vyráběny pomocí syntézy uhlovodíků (úprava vhodné chemické sloučeniny). Chemických látek, ze kterých se vyrábějí syntetické oleje, je nepřehledné množství. Z těch nejpoužívanějších se jedná například o polyolefiny, aromatické sloučeniny nebo polyglykoly. Syntetické oleje mají zpravidla lepší vlastnosti než oleje minerální. V první řadě se jedná o vyšší odolnost proti vysokým teplotám, vyšší tuhost při nižších teplotách, lepší mazivost, vyšší viskozitní index.

Polosyntetické oleje jsou pak oleje minerální, do kterého je přidána syntetická složka. Syntetické složky by měly zpravidla obsahovat více než polovinu celkového objemu oleje [5, s. 21].

#### Dělení podle převládajícího typu uhlovodíku ve výchozí surovině

Dělení se týká pouze minerálních olejů. K dělení dochází na základě převládajícího typu uhlovodíku ve výchozí surovině, a to na parafinické, naftenické a aromatické [5, s. 21-22].

#### Dělení podle výkonnostní klasifikace

Toto dělení vypovídá o tom, jak je daný olej kvalitní. Kvalitu určují normy ACEA a API. ACEA vydali evropští výrobci automobilů, o normu API se postaral petrolejářský institut. U nás v Evropě je důležitější norma ACEA, jinak řečeno tzv. výkonnostní třída olejů.

Tato norma používá čtyři písmena, písmeno A slouží pro zážehové motory, B pro motory vznětové, E je pro motory těžkých užitkových automobilů a C je pro motory s částicovým filtrem. Norma ACEA má porovnávací údaj HTHS viskozitu. HTHS viskozita je určena číslicí u písmena označující typ motoru. Čím vyšší toto číslo je, tím má olej vyšší viskozitu HTHS. Například olej ACEA A1/B1 – norma určuje, že olej je určený spíše pro klasický krátký interval nebo spíše pro pevný servisní interval. Opakem je potom olej, který je dán normou A3/B3. Tento olej, jelikož obsahuje více příměsí, které zlepšují kvalitu a životnost, je určen pro prodloužené nebo variabilní servisní intervaly. O této normě lze říci, že čím vyšší číslo udává, tím kvalitnější olej je.

Norma API používá rozdílné označení, než tomu bylo u normy ACEA. Písmenko S je pro zážehové motory, C pro vznětové motory. Místo číslic jsou použity písmena. U benzínových motorů je písmeno S dále doplněno o písmeno A až H, u naftových motorů je poté písmeno C doplněno o písmena A až E. Zde platí pravidlo, že čím je písmeno dál v abecedě, tím je olej kvalitnější.

#### Dělení podle viskozity

Jedná se o nejobecnější dělení, kterým se zabývá norma SAE. Ta jednoduše udává viskozitu motorového oleje.

Obecné označení: XW-Y

X – vlastnost oleje při nízkých teplotách

Y – vlastnost oleje při vysokých teplotách

Norma udává, že čím je číslice X nižší, tím má olej lepší mazací schopnost při nízkých teplotách. Číslice pod Y pak udává přesný opak. Čím je číslo vyšší, tím motor lépe maže za vysokých teplot. Tato norma je sice důležitá z pohledu viskozity, nicméně nám nic neřekne z pohledu kvality. O kvalitě vypovídají normy ACEA nebo API [6].

### 1.3.4 Požadavky na automobilové oleje

Ze všech druhů olejů tvoří automobilový olej přibližně 55-60 % z celkové produkce. Tento druh oleje přilákal maximální pozornost u výrobců motorů, organizací, které pracují s automobilovými oleji, a v neposlední řadě i u samotných uživatelů. Aby olej splňoval požadavky těchto „uživatelů“, musí být zajištěna jeho kvalita [7, s. 197].

O motorovém oleji lze říci, že jeho výroba je nejsložitější z olejářských výrobků a musí splňovat řadu požadavků (viz. tabulka č. 1). Díky rostoucím nárokům na vyšší výkony motorů a prodlužování servisního intervalu výměny oleje se musí neustále tyto požadavky zvyšovat. To vede k přidávání stále většího objemu aditiv, a tudíž i k rostoucí ceně samotného oleje.

**Tabulka 1** – Požadavky na automobilový olej [7]

<b>Oblast</b>			
Teplota, viskozita	Tření a opotřebení	Chemické a fyzikální vlastnosti	Ostatní
Tepelná stabilita	Minimalizace tření	Ochrana před korozí	Potlačení pěnovosti
Odolnost proti oxidaci	Minimalizace opotřebení	Tepelná a oxidační stabilita	Snášenlivost s neželeznými kovy a laky
Čerpatelnost	Snížení spotřeby paliva		Těsnicí schopnost
Co možná nejmenší závislost na teplotě	Odolnost olej. filmu		Nízká těkavost
	Eliminace povrchového poškození		Dobrá tepelná vodivost
	Dobrá přilnavost k třecím plochám		

### 1.3.5 Viskozita a mazivost motorových olejů

Tyto dva fyzikálně chemické parametry oleje poskytují relativně přesný obraz o jeho aktuálním stavu a o tom, zda se zkoumaný olej může dál provozovat v objektu, či nikoli. Výzkum oleje dle veškerých jakostních specifikací by byl jak ekonomicky, tak technicky nemožný. Proto se normalizované zkoušky nahrazují zkouškami smluvními.

Degradace maziva je procesem v reálném čase. Z hlediska jak ekonomického, tak ekologického je nutné tento proces sledovat, identifikovat a kvantifikovat. Jinak řečeno sledovat rychlost změn daných parametrů v čase.

#### Kinematická viskozita

Viskozitu lze zařadit mezi nejdůležitější parametry oleje. Viskozita slouží ke třídění a výběru olejů. Viskozita v oleji během provozního namáhání může postupovat dvěma směry. Tím prvním je zvyšování viskozity a tím druhým pokles viskozity.

Zvyšování je přisuzováno k meziproduktům oxidační povahy, produktům částečné oxidace oleje, mísením zmíněných produktů s vodou. V některých případech nastává znečišťováním kondenzačními produkty.

Za snižování viskozity může ve většině případech tepelná a mechanická degradace aditiv, záměna oleje nebo vniknutí paliva do mazacího systému.

V případě příliš nízké viskozity dochází k nadměrnému opotřebení, které následně může vést až k zadření třecích ploch. Je-li viskozita naopak příliš vysoká, dochází ke ztrátě energie vzhledem k velkému koeficientu tření.

Viskozitu řadíme mezi kvalitativní ukazatele olejů, říká nám důležité informace o mazivosti a slouží k vzájemnému třídění. Z diagnostického hlediska je pro nás směrodatná výrazná změna viskozity, která nám značí mechanickou závadu.

V praxi viskozitu lze měřit několika druhy viskozimetrů například viskozimetry typu Pinkevič, Ubbelohde atd. Tyto dva viskozimetry jsou kapilárního typu a kinematická viskozita se vypočítá za vzorce:

$$v = c * \tau \text{ [mm}^2 \text{ * s}^{-1}\text{]}$$

kde  $c$  – je konstanta viskozimetru

$\tau$  – je aritmetický průměr doby průtoku viskozimetru

Měření viskozity je vždy časově náročné. Přesnost je zajištěna tak, že pouze u jednoho případu z dvaceti stanovení může dojít k převýšení stanovené hodnoty o 0,35 % aritmetického průměru. Pro rychlé vyhodnocení se používají jednoduché metody, které nám říkají, zda olej lze dále používat, či nikoli [2, s. 102-103].

### HTHS viskozita

Jedná se o velice důležitou vlastnost motorových olejů. HTHS viskozita je součástí všech výkonových specifikací motorových olejů a také se řadí mezi parametr, který ovlivňuje spotřebu paliva.

HTHS viskozita je viskozita dynamická, která je měřena při 150 °C a velkém smykovém spádu ( $10^6 \text{ s}^{-1}$ ). Určuje tloušťku mazacího filmu, s rostoucí HTHS viskozitou roste i tloušťka mazacího filmu. Naproti tomu u příliš nízké HTHS viskozitě může dojít k přetržení olejového filmu mezi dvěma třecími plochami, to má za následek nedostatečné mazání.

Chceme-li aby motorový olej při provozních podmínkách dostatečně mazal musíme při výběru oleje dodržet předepsané minimální hodnoty HTHS viskozity. Mezi nejdůležitější hodnoty HTHS viskozity je 3,5 mPa.s. Olejům s vyšší HTHS viskozitou se říká oleje s normální HTHS viskozitou. Naopak oleje, které mají hodnotu pod 3,5 mPa.s. se nazývají oleje se sníženou HTHS viskozitou. Oleje s normální HTHS viskozitou lze použít kdykoliv a nemohou uškodit žádnému motoru. Oleje se sníženou HTHS viskozitou jsou určeny pouze pro motory, které udává výrobce.

Dnešní doba klade důraz na tzv. lehkoběžné motorové oleje. Jedná se o oleje, které ve srovnání se standardním olejem snižují spotřebu paliva. Obecně je známo, že čím je HTHS viskozita nižší, tím nižší je i spotřeba paliva. Dále je pro úsporu paliva důležitý i obsah mazivostních přísad v oleji [29].

### Mazivost olejů

Každý správný olej, aby zvládal plnit svoji funkci, musí především správně mazat a mít dobré mazací schopnosti. Díky uhlovodíkovým, ropným či syntetickým základovým olejům je dobrá mazivost zajištěna u většiny olejů. Mazání u problematických částí motoru, řadíme sem například mazání u ventilové oblasti, je podpořeno protioděrovými přísadami. V případě převodových olejů je mazivost řešena vysokotlakými mazivostními přísadami. V tomto případě ne vždy platí, že čím více mazivostních přísad v oleji je, tak tím lépe je zabezpečena ochrana

motoru. Mazivostní přísady reagují s povrchem mazaného kovu a v případě silného působení mazivostní složky, nebo při nadbytku běžné přísady může dojít ke vzniku koroze [10].

### 1.3.6 Degradace motorového oleje během provozu

Udržení čistoty olejů je investicí, která se většině firem vyplatí. Degradace, popřípadě kontaminace motorového oleje může vést až k jeho znehodnocení a následně i k samotné poruše stroje. Firmy v mnoha případech neví, jak o samotný olej pečovat, a také co dělat v případě problému spojeného s jeho znečištěním. Ke zvládnutí těchto problémů musíme znát tato fakta:

- mazivo řadíme mezi základní konstrukční prvky strojů a zařízení,
- není-li mazivo čisté a suché, tak nemůže správně pracovat,
- mazivo musí mít správnou teplotu,
- i malé částice jsou z hlediska opotřebení podstatné, je dokázáno, že částice menší, než 5 $\mu$ m generují 3 - 5x více opotřebení než částice větší 10  $\mu$ m,
- voda do oleje nepatří, zhoršuje její vlastnosti, podporuje korozi, zkracuje životnost oleje a podílí se na tvorbě měkkých kalů [8, s. 29-30].

Degradace motorového oleje vede ke změně viskozitních vlastností motorového oleje. Ta je způsobena jejich provozem. Olej je v motoru namáhán jak tepelně, tak oxidačně a působí na něj výfukové plyny v kombinaci s palivem. Další důležitou rolí při jízdě se studeným motorem je rozdíl teplot oleje a motoru. Když ponecháme stranou vlivy na celkovou degradaci oleje a budeme si všímat pouze faktorů, které ovlivňují viskozitu, dostaneme čtyři zásadní faktory: obsah paliva, obsah sazí, namáhání oleje ve stříhu a oxidační degradaci oleje [9, s. 13].

#### Palivo v oleji

Palivo je v motorovém oleji obsaženo vždy, ať už díky „přirozené“ cestě tzn. dostanou se do oleje spolu se spalinami z prostoru válce kolem pístních kroužků do klikové skříně, nebo druhou „nepřirozenou“ cestou, a to závadou na motoru. Vždy díky průniku paliva do oleje dochází ke snížení viskozity.



Zvýšený obsah paliva lze tedy zjistit pomocí viskozimetru nebo pomocí bodu vzplanutí. Chceme-li určit přímo procentuální část, lze k tomu použít plynovou chromatografii nebo infračervenou spektrometrii.

Hodnota obsahu paliva do 4 % je ještě v normě a říká nám, že palivo zásadním způsobem neohrožuje dané mazivo [9, s. 13].

### Saze

Sledují se u naftových motorů, kde jsou produktem spalování nafty, a do oleje se dostávají při styku oleje se spalinami. Saze fungují u třecích ploch jako brusná pasta. Díky sazím také dochází ke zvyšování viskozity. V mnoha případech se právě díky nárůstu sazí a následně nárůstu viskozity mění motorový olej. Výrobci dieselových motorů udávají limitní obsah většinou 2-4 % hm. [9, s. 13].

### Stříhová stabilita

U motorových olejů dochází často k její zanedbání. Jedná se o důsledek používání polymerních modifikátorů viskozity. Ty se během provozu mechanicky trhají a následně způsobují podstatné snížení viskozity oleje. Je-li zanedbaná stříhová stabilita podpořena i palivem v oleji, může dojít až k tak výraznému poklesu oleje, že dojde i ke ztrátě mazacích schopností.

U olejů se sníženou HTHS viskozitou se používají stříhově stabilnější modifikátory, protože možné snížení viskozity z důvodu narušení stříhové stability by zde bylo nebezpečné [9, s. 13].

### Oxidační stabilita oleje

Oxidační stabilitu zajišťuje antioxidant. Je-li v oleji dostatečná koncentrace, oxidační stárnutí probíhá pomalu. V případě spotřebování antioxidantu se proces stárnutí velmi zrychlí. Pod pojmem stárnutí oleje si lze představit vznik oxidačních produktů, které mohou kondenzovat a polymerovat. V případě těchto reakcí nastává velmi rychlé zvýšení viskozity [9, s. 14].

## 1.4 Principy metod využité v experimentální části

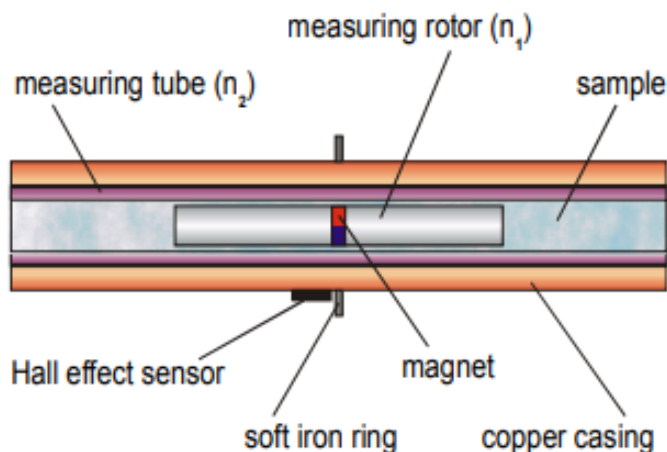
V této kapitole jsou popsány metody použité v experimentální části. První metodou je stanovení viskozity pomocí Stabingerova viskozimetru. Jedná se o rotační viskozimetr, pomocí kterého měříme viskozity nebo hustoty olejů a kapalných paliv.

Druhou metodou je FTIR spektrometrie. Tato metoda je výhodná v tom, že vyžaduje malé množství vzorku oleje. Slouží pro identifikaci a strukturní charakterizaci zejména organických sloučenin.

Reichertův test slouží pro hodnocení únosnosti mazacího filmu. Obecně platí, že mazivost stoupá s vyšší viskozitou. I když toto tvrzení není tak úplně pravdivé, mazivost oleje závisí především na jeho chemickém složení. Raichertův test je testem simulačním. To znamená, že při testu je co nejlépe simulováno reálné zatížení.

### 1.4.1 Stabingerův viskozimetr

Princip měření viskozity pomocí Stabingerova viskozimetru je k vidění na obrázku 4.



Obr. 4 – Princip Stabingerova viskozimetru [11]

Trubice naplněná vzorkem se otáčí konstantní rychlostí. V trubici se nachází dutý měřicí rotor, který je díky vztlakové síle vycentrován, a na základě které se vytvoří mezera mezi rotorem a trubicí. Rotor, ve kterém je umístěný magnet, se díky smykovému napětí pohybuje v kapalině. Vestavěný permanentní magnet působí na měkký železný kroužek. Rotující magnetické pole dává signál rychlosti a indikuje vířivé proudy v okolním měděném pouzdře. Tyto vířivé proudy jsou pak úměrné rychlosti rotoru [11].

Rychlost rotoru ovlivňují dva různé momenty [11]:

1. Hnací moment

$$T_d = \eta A \gamma r_1 = K_d \eta (n_2 - n_1)$$

2. Retardační moment

$$T_r = K_r * n_1$$

Kdy:

$\gamma$  – rychlost smyku

$\eta$  – dynamická viskozita

A – plocha měřicího rotoru

$n_1$  – otáčky měřicího rotoru

$n_2$  – otáčky měřicí trubice

K – konstanty

Při rovnováze těchto dvou momentů se viskozita rovná:

$$\eta = \frac{K}{\frac{n_2}{n_1} - 1}$$

## 1.4.2 Infračervená spektrometrie

Jedná se o metodu, která analyzuje absorpční spektra molekul, absorbujících záření o vlnočtu 12000-10  $\text{cm}^{-1}$ . Během absorpce záření se zvyšují vibrační a rotační stavy molekuly. Vibrace se dále dělí na vibrace valenční, které mohou být symetrické nebo asymetrické, a vibrace deformační. U vibrací deformačních dochází ke změně valenčního úhlu, ale nemění se délka vazby.

Infračervené záření dělíme na záření v oblasti blízké (12000-4000  $\text{cm}^{-1}$ ), střední (4000-200  $\text{cm}^{-1}$ ) a posledním zářením je záření vzdálené (200-10  $\text{cm}^{-1}$ ). Při vyhodnocování infračervených spekter jsou sledovanými parametry především: poloha a tvar absorpčních pásů, počet pásů a intenzita pásů.

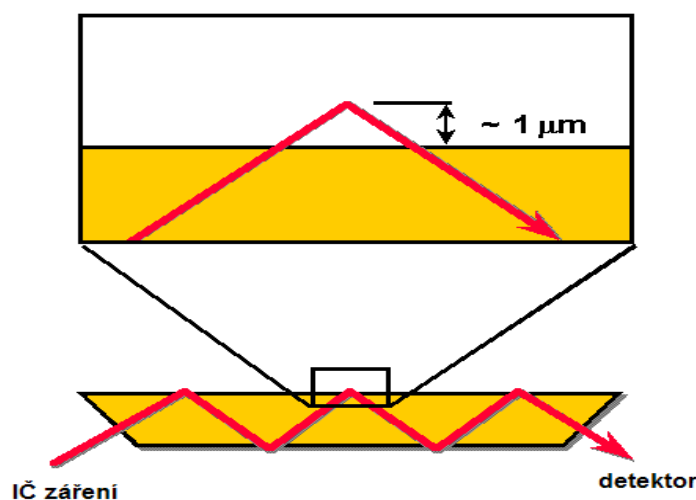
Infračervené spektrum monitoruje polární vazby v molekule. U vibrací nepolárních nebo jen slabě polárních nelze určit absorpční pásy.

## FTIR spektrometrie

Interferenční signál je převáděn pomocí Fourierovy transformace na infračervené spektrum. Zdrojem záření je keramická tyčinka. U FTIR spektrometru musí být zajištěn dobrý pohon pohyblivého zrcadla. Výstupem je interferogram, který obsahuje veškeré spektrální informace. Ty se však z něho musí dostat pomocí Fourierovou transformací.

Samotný princip metody je založen na takzvané zeslabené úplné reflektanci (Obr. 5). Paprsek interferenčního záření dopadá na fázové rozhraní dvou prostředí. Poté prochází prostředím o vyšším indexu lomu a je-li úhel dopadu větší než kritický úhel, dojde k úplnému odrazu.

V praxi to vypadá tak, že paprsek prochází podložkou z krystalického materiálu, který propouští infračervené záření. Na této podložce se nachází vzorek. Ten je prosvěcován infračerveným zářením. Část pronikne do hloubky několika  $\mu\text{m}$  do vzorku, ve které dochází k absorbování energie, ty odpovídají frekvencím vibrace molekul vzorku. Na základě takto zeslabeného odraženého záření získáme absorpční spektrum.

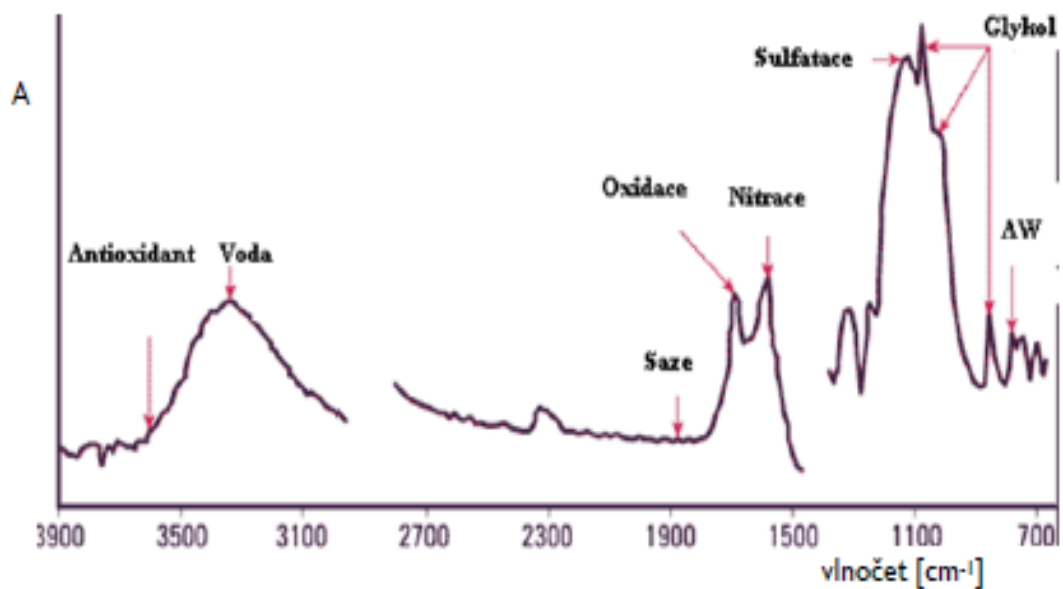


Obr. 5 – Princip zeslabené úplné reflektance [12]

Při vyhodnocování spektra je důležitá znalost vlnových délek konkrétních sloučenin nebo charakteristických skupin. Na obrázku 6 jsou k vidění IČ spektra, pomocí kterých se vyhodnocuje motorový olej. Sloučeniny a skupiny, které jsou typické pro motorové oleje jsou k vidění v tabulce č. 2 [12, s. 111–115].

**Tabulka 2** – Vlnočty charakteristických strukturních skupin [12]

Primární absorpce (cm <sup>-1</sup> )	Sekundární absorpce (cm <sup>-1</sup> )	Prvky vibrace	Diagnostický záznam
3300-3500	1600	skupina – OH	voda
1700-1750	1100-1200	skupina =C=O	modifikátory viskozity, oxidační produkty
1630	1270	skupina N=O	organické nitrosloučeniны
1100-1200		skupina SO <sub>3</sub> -	sulfátový detergent
1040-1080	3300-3500	vazba C-O-	glykol
950-1050		P-O-C	aditiva
1900		C	saze



Obr. 6 – Typické oblasti IČ spektra, při vyhodnocování olejů [12]

### 1.4.3 Reichertův test

Všechny chemicko-fyzikální metody nám poukazují na kvalitu maziv pouze nepřímo. Obecně platí, že s nárůstem viskozity a hustoty roste i její mazivost. I když toto tvrzení nemusí být ve všech případech pravdivé. Mazivost především závisí na chemickém složení daného maziva.

Reichertův test využívá přístroj, který simuluje třecí kontakt. Jedná se o pevně ukotvený testovací váleček z definované oceli, který přichází pomocí pákového mechanismu do styku s otáčejícím se brusným prstencem. Prstenec je vyroben ze speciální legované oceli. Brusný prstenec nabírá zkoušený vzorek maziva, a tím pádem ho dostává do kontaktu s brusným prstencem a testovacím válečkem. Na obrázku 7 je zobrazen princip Reichertova testu. Na povrchu testovacího válečku se vytvoří elipsová plocha, z které se počítá únosnost mazacího filmu [13].



Obr. 7 – Princip Reichertova testu [13]

#### Únosnost mazacího filmu:

Abychom určili únosnost mazacího filmu, tak napřed musíme znát plochu otěru. Tu určíme ze vzorce:  $A=0,785 \cdot l \cdot d$  [mm<sup>2</sup>], kde  $l$  je délka elipsy a  $d$  je šířka elipsy. Následně se únosnost mazacího filmu rovná  $\text{ÚMF}=(2000 \cdot G \cdot 9,81) / A$  [N/cm<sup>2</sup>]. Kde  $G$  odpovídá zvolenému zatížení v kg [13].

## 2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 2.1 Vzorky motorového oleje

Pro experimentální část byly použity vzorky motorového oleje odebrané z hnacích jednotek Českých drah (ČD). V tabulce č. 3 je pod označením vzorku uveden název/typ oleje a případně označení lokomotivy, z které byl vzorek odebrán. Toto označení je používáno v celé experimentální části. Název včetně typu oleje je převzatý od ČD. Dále je u některých vzorků uveden proběh oleje.

**Tabulka 3 – Označení vzorků [autor]**

Název/typ oleje	Označení vzorku	Proběh oleje [km]	Název/typ oleje	Označení vzorku	Proběh oleje [km]
Nový olej (M7ADS V)	1	0	841 007 I (URANIA)	9	33256
810 578 (M7ADS V)	2	12335	841 007 II (URANIA)	10	33256
Nový olej (M7ASD III)	3	0	841 015I (URANIA)	11	37805
VŠ (M7ADS III)	4	x	742 144 (M7 ADS III)	12	x
Nový olej (URANIA LD)	5	0	VŠ (M7ADS III) + NAFTA	13	x
841 015 II (URANIA)	6	37805	VŠ (M7ADS III) + 2X NAFTA	14	x
814 031 (M7ADS V)	7	25900	OMV (10W40) + SAZE	15	x
814 085(M7ADS V)	8	25888	OMV (10W40) NOVÝ	16	0

x – km proběh neznámý

Vzorky č. 1-14 zastupují pouze minerální oleje. Vzorek č. 15 a 16 se poté řadí do skupiny olejů syntetických. Neopotřebené oleje jsou označeny čísly 1,3,5 a 16, ostatní oleje jsou opotřebené. Do vzorku č. 4 byla přidána nafta a vznikl vzorek č. 13. Vzorek č. 14 poté vznikl dalším přídavkem nafty do vzorku 13.

### M7ADS III

Jedná se o minerální olej viskozitní třídy (dle SAE) 15W-40, který vykazuje vysokou výkonnost (výkonová charakteristika: API CF-4/SG). Jakostní ropné základové oleje dodávají výslednému oleji nízkou odparnost a zušlechťující přísady vysoké kvality, poté zajišťují optimální vlastnosti v každém ročním období. HTHS viskozita překračuje hodnotu 3,5 mPa.s, a proto má tento olej normální HTHS viskozitu. Tento typ olej je vhodný jak pro přeplňované, tak pro nepřepřlňované naftové motory [18].

### M7ADS V

I u tohoto minerálního typu oleje je viskozitní třída dle SAE 15W-40 a normální HTHS viskozita. Výkonová charakteristika je však rozdílná (API CI-4 CH-4/SL). Tento typ oleje se uplatní u vozidel mezinárodní přepravy, které jsou vystaveny mimořádně těžkým provozním podmínkám. Nasvědčuje tomu i jeho bezproblémová startovatelnost při teplotách okolo  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  [19].

### URANIA

Tento olej je vyroben na minerální bázi pro vozidla s motory turbodiesel s přímým vstřikováním. Plní viskozitní třídu SAE 15W-40 a výkonovou třídu API CI-4. Zajišťuje splnění nejpřísnějších mezinárodních specifikací. Řadí se mezi oleje s normální HTHS viskozitou. Olej je výjimečný v tom, že má vyšší odolnost při mechanickém řezu [20].

### OMV 10W-40

Jedná se o lehkoběžný olej vyrobený na syntetické bázi s viskozitní specifikací 10W-40 a výkonovou specifikací API SL/CF. Novodobá aditivace činí z tohoto oleje špičkové mazivo pro vozidla s extrémně dlouhými výměnnými intervaly [21].

## 2.2 Hodnocení viskozitních vlastností Stabingerovým viskozimetrem

U sledovaných vzorků motorových olejů byla zjišťována viskozita Stabingerovým viskozimetrem SVM 3000 (obr. 8), který ze změřených hodnot dynamické viskozity přepočítává automaticky kinematickou viskozitu a viskozitní index.





Obr. 8 – Stabingerův viskozimetr SVM 3000 [autor]

Postup měření probíhal v souladu s ASTM D7042. Ze změřených hodnot dynamické viskozity a hustoty přístroj automaticky spočítal kinematickou viskozitu a viskozitní index podle ASTM D 2270/ISO 2909. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 4.

#### Změřená data

Tabulka 4 – Změřená data – Stabingerův viskozimetr [autor]

Označení vzorku	Kinematická viskozita při 40 °C [mm <sup>2</sup> /s]	Kinematická viskozita při 100 °C [mm <sup>2</sup> /s]	Viskozitní index	Dynamická viskozita při 40 °C [mPa*s]	Dynamická viskozita při 100 °C [mPa*s]	Hustota při 15 °C [g/cm <sup>3</sup> ]
1	105	14,29	138,6	90,501	11,755	0,8755
2	92	12,94	138,5	80,337	10,805	0,8886
3	107	14,62	140,8	92,226	12,055	0,8778
4	83	12,15	141,2	72,282	10,098	0,8844
5	109	14,14	130,9	94,048	11,650	0,8766
6	117	14,68	128,0	103,170	12,372	0,8961
7	102	15,48	160,9	88,458	12,850	0,8833
8	97	13,30	136,2	84,207	11,049	0,8840
9	111	14,07	127,9	96,142	11,703	0,8850
10	111	14,07	127,9	96,142	11,670	0,8850
11	115	14,65	128,8	100,770	12,787	0,8850
12	107	14,75	142,8	93,388	12,336	0,8894
13	56	9,23	147,6	47,967	7,621	0,8784
14	38	7,47	168,2	32,629	6,138	0,8766
15	123	15,58	132,9	108,620	13,167	0,8981
16	90	14,37	152,6	83,131	11,751	0,8713

### Dílčí závěr

Když porovnáme nový vzorek motorového oleje č. 1 se vzorkem opotřebeného oleje č. 2, tak vidíme, že u vzorku č. 2 dochází ke snížení viskozity. To je zřejmě dáno průnikem motorové nafty do oleje, jak vyplývá z výsledků FTIR analýzy. Další z možností snížení viskozity může být tzv. stříhová stabilita modifikátorů viskozity. Jde o polymerní látky, které upravují viskozitu olejů a zvyšují jejich viskozitní index. Tyto polymerní látky jsou stříhově namáhány především v olejovém čerpadle, kde dochází k jejich trhání na menší molekuly a následně snižování viskozity [14]. U nového vzorku motorového oleje č. 3 a opotřebeného oleje č. 4 dochází také u vzorku č.4 (opotřebený olej) ke snížení viskozity. Jak prokázala FTIR za snížení viskozity může průnik motorové nafty a glykolu do oleje. U opotřebených vzorků 13 a 14 byl zaznamenán výrazný pokles viskozity. Za tento pokles může přidání velkého objemu nafty do obou vzorků. U těchto vzorků vidíme, že s rostoucím objemem nafty se rapidně snižuje viskozita. U vzorku 15 (opotřebovaný olej + saze) můžeme oproti vzorku 16 (nový olej) vidět nárůst viskozity. Ta je dána u těchto vznětových motorů především velkým množstvím sazí.

## 2.1 FTIR analýza

Další metodou použitou v této diplomové práci byla FTIR analýza, kdy byly sejmuty spektrogramy nových a opotřebených motorových olejů odebraných z vozidel ČD. Na základě těchto spektrálních záznamů byly vyhodnoceny dané parametry motorového oleje (viz tabulka č. 5). Analýza vybraných vzorků byla provedena na přístroji Nicolet Is10 (obr. 9) metodou horizontální zeslabené totální reflektance (ATR). Byly nastaveny tyto specifikace měření:

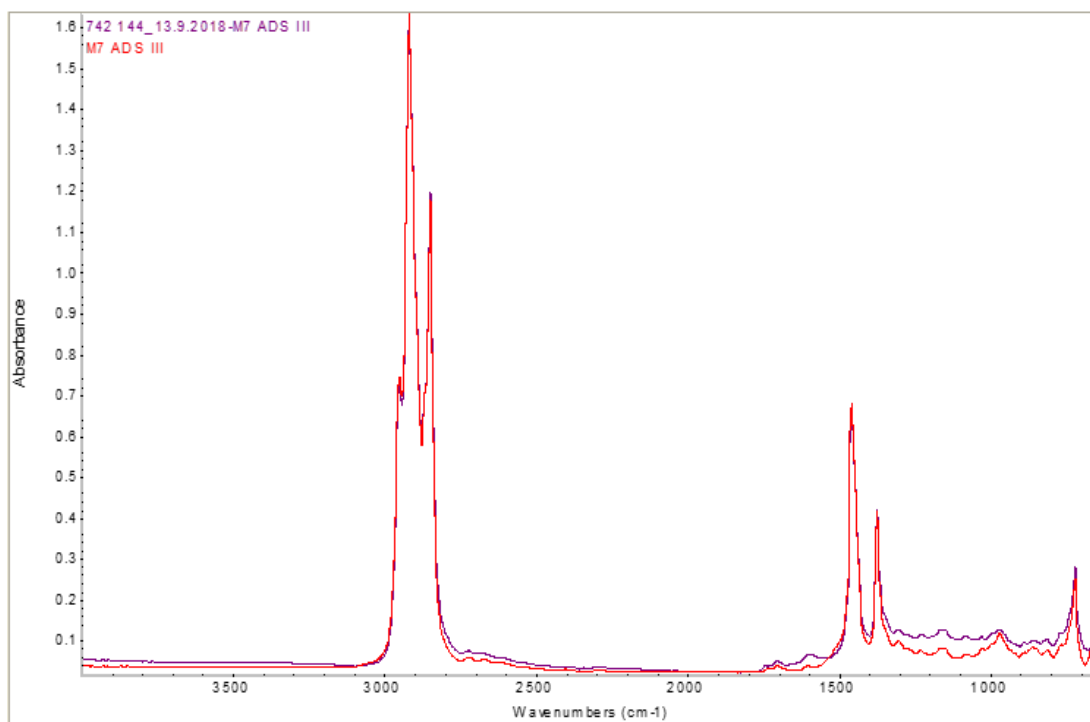
- spektrální rozsah: 4000-650  $\text{cm}^{-1}$
- rychlost – 1 scan/s
- spektrální rozlišení 4  $\text{cm}^{-1}$
- počet akumulací spekter 64
- krystal: ZnSe



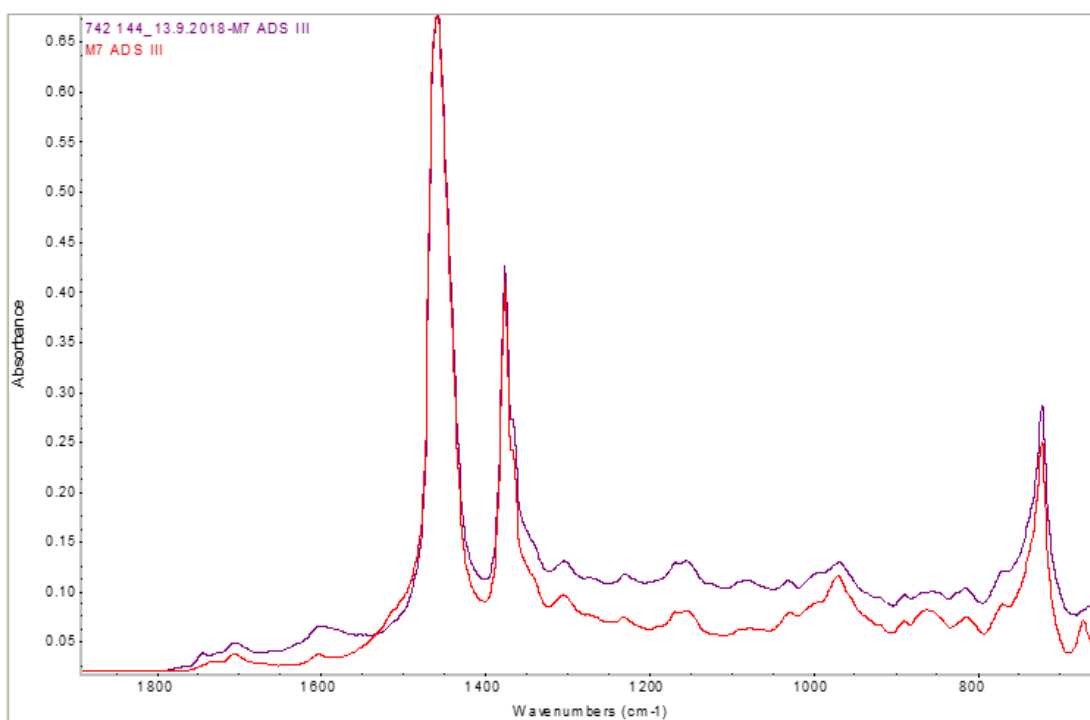
Obr. 9 – Spektrometr Nicolet Is 10 [15]

### Výsledné spektrální záznamy:

Výstupem jsou spektrogramy, na základě kterých lze z rozdílových spekter nových a opotřebených motorových olejů určit degradaci oleje, průnik kontaminantů do olejové náplně a určit koncentraci antioxidační a protioxidové přísady na bázi ZnDDP (dialkyldithiofosfátu zinečnatého). Kvantitativní analýza byla realizována komerčním softwarem „OLEJOVÝ ANALYZÁTOR“, který je součástí řídicího softwaru OMNIC FTIR spektrometru.



Obr. 10 – Spektrogram vzorku č. 3,12 [autor]

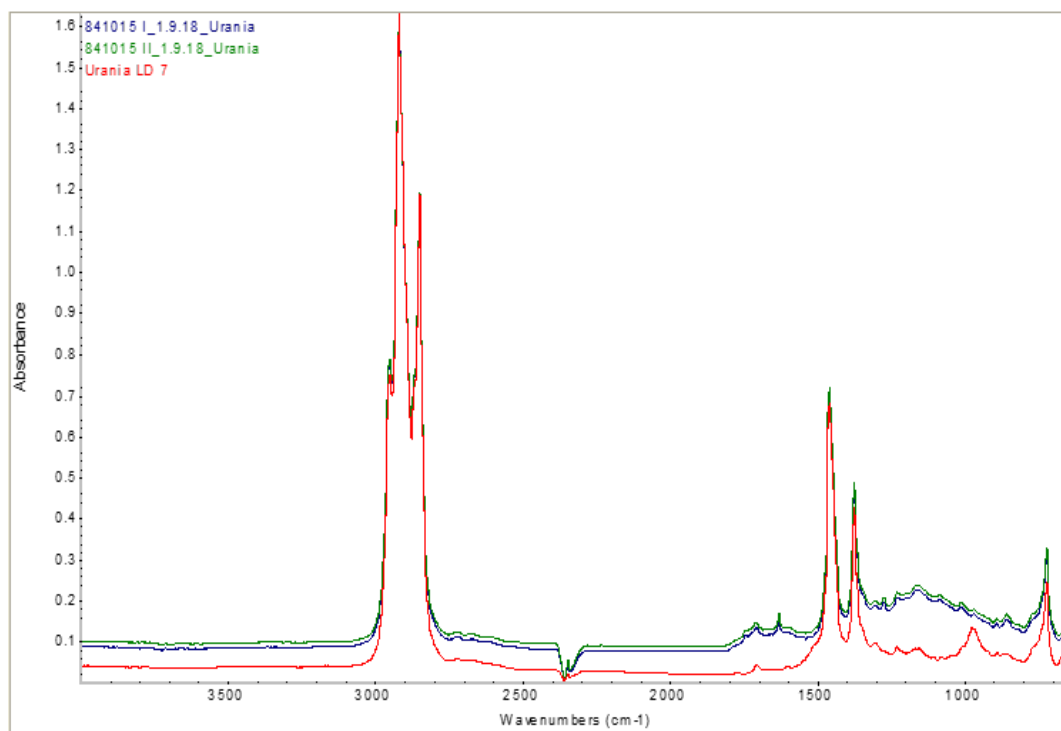


Obr. 11 – Spektrogram vzorku č. 3,12 – výběr [autor]

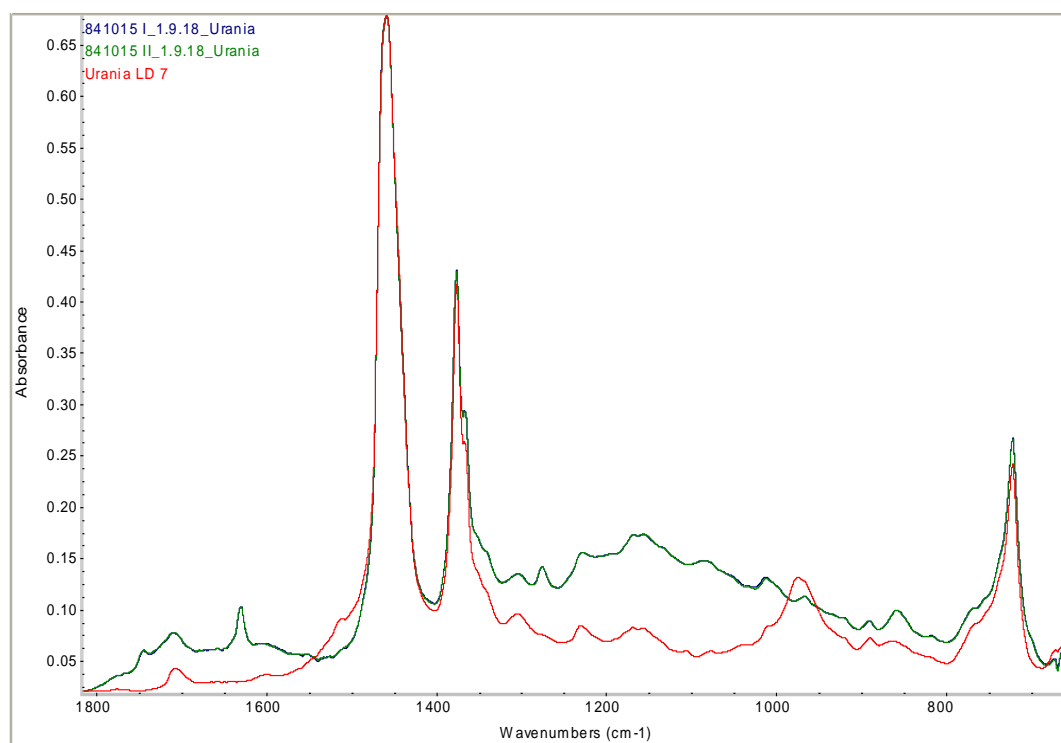
Legenda k obrázku 10 a 11:

742 144\_13.9.2018 – M7 ADS III – vzorek č. 12

M7ADS III – vzorek č. 3



Obr. 12 – Spektrogram vzorku č. 5, 6,11 [autor]



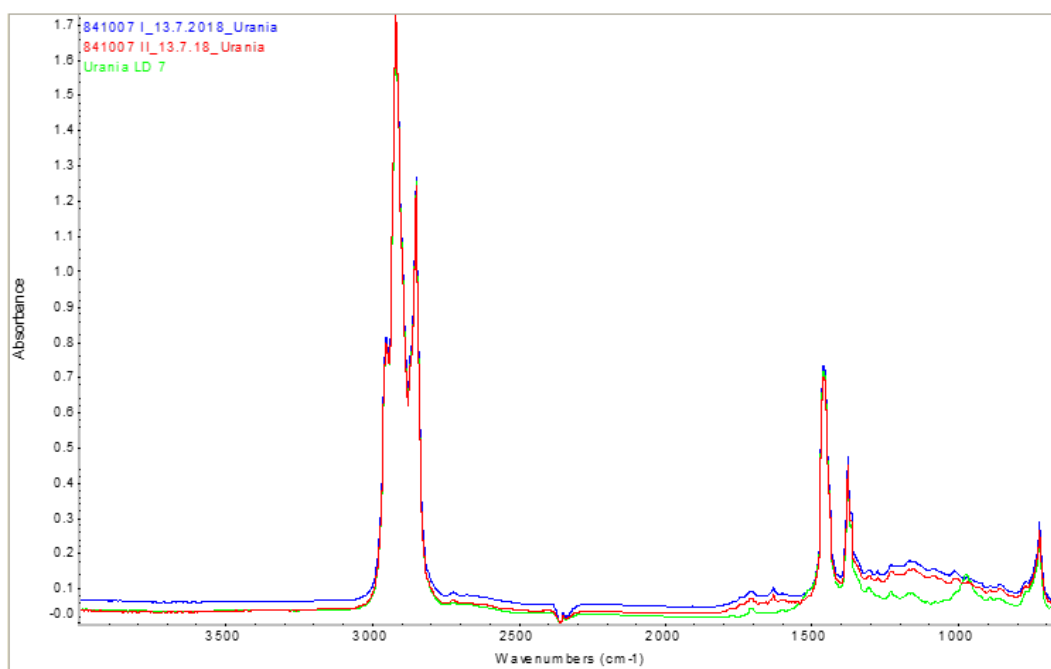
Obr. 13 – Spektrogram vzorku č. 5, 6,11 – výběr [autor]

Legenda k obrázku 12 a 13:

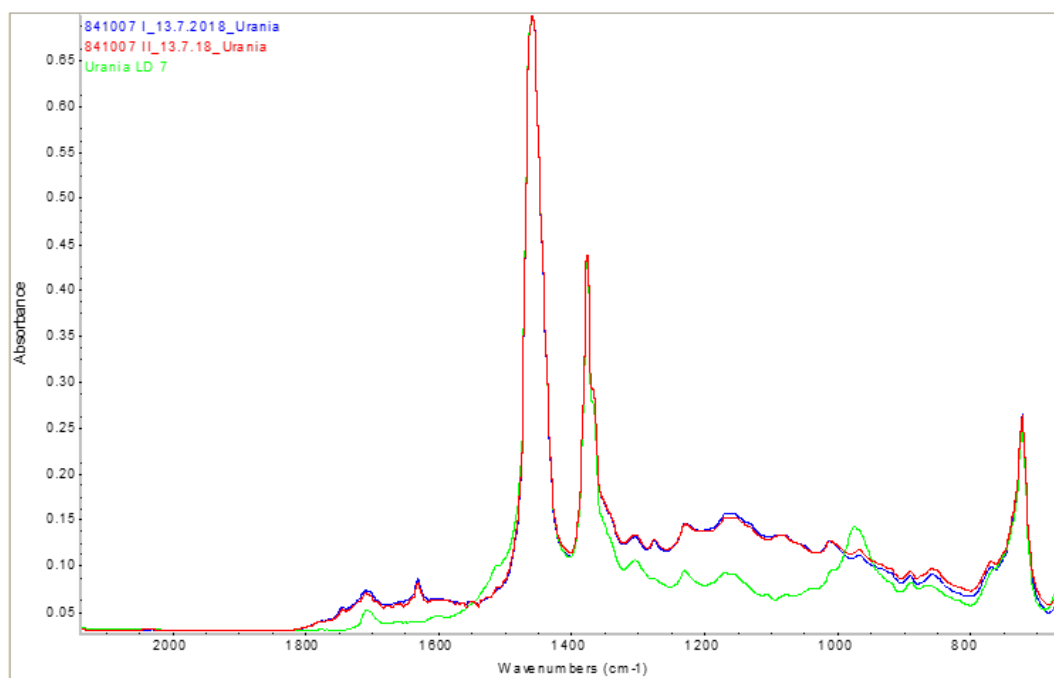
841015 I\_1.9.18\_Urania – vzorek č. 11

841015 II\_1.9.18\_Urania – vzorek č. 6

Urania LD 7 – vzorek č.5



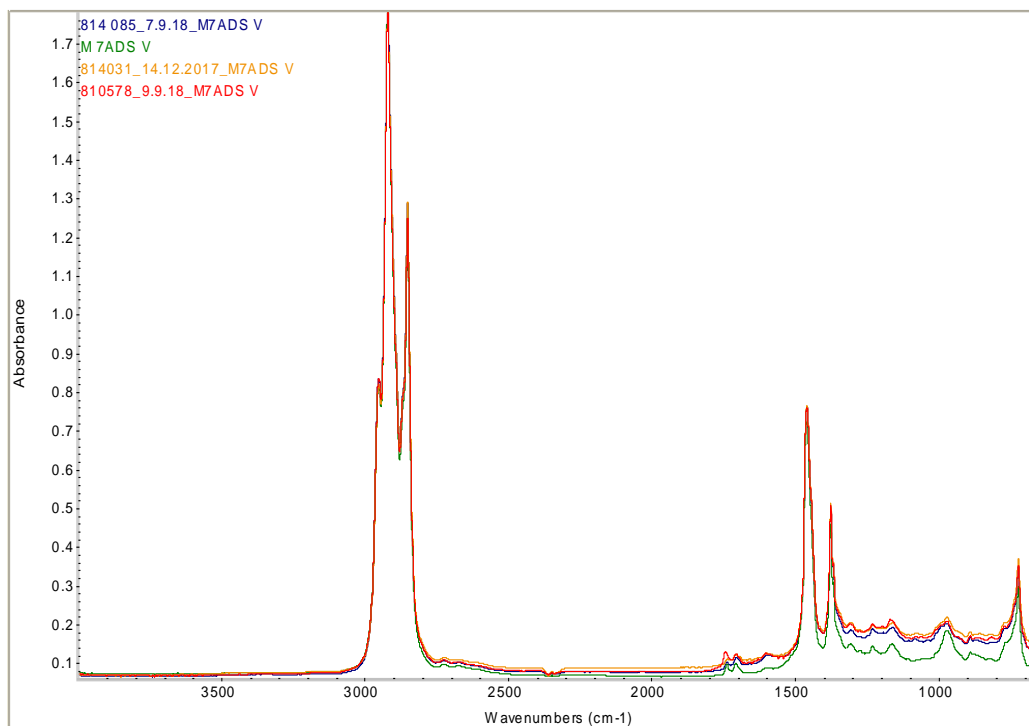
Obr. 14 – Spektrogram vzorku č. 5, 9,10 [autor]



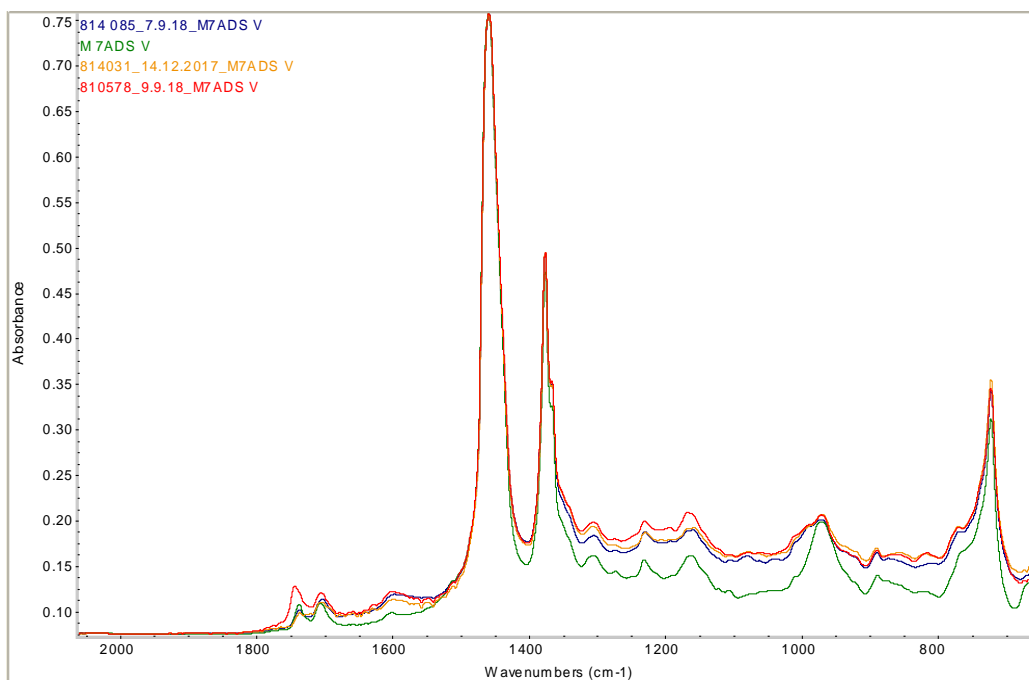
Obr. 15 – Spektrogram vzorku č. 5, 9,10 – výběr [autor]

Legenda k obrázku 14 a 15:

- 841007 I\_13.7.18\_Urania – vzorek č. 9
- 841007 II\_13.7.18\_Urania – vzorek č. 10
- Urania LD 7 – vzorek č.5



Obr. 16 - Spektrogram vzorku č. 1,2,7,8 [autor]



Obr. 17 - Spektrogram vzorku č. 1,2,7,8 - výběr [autor]

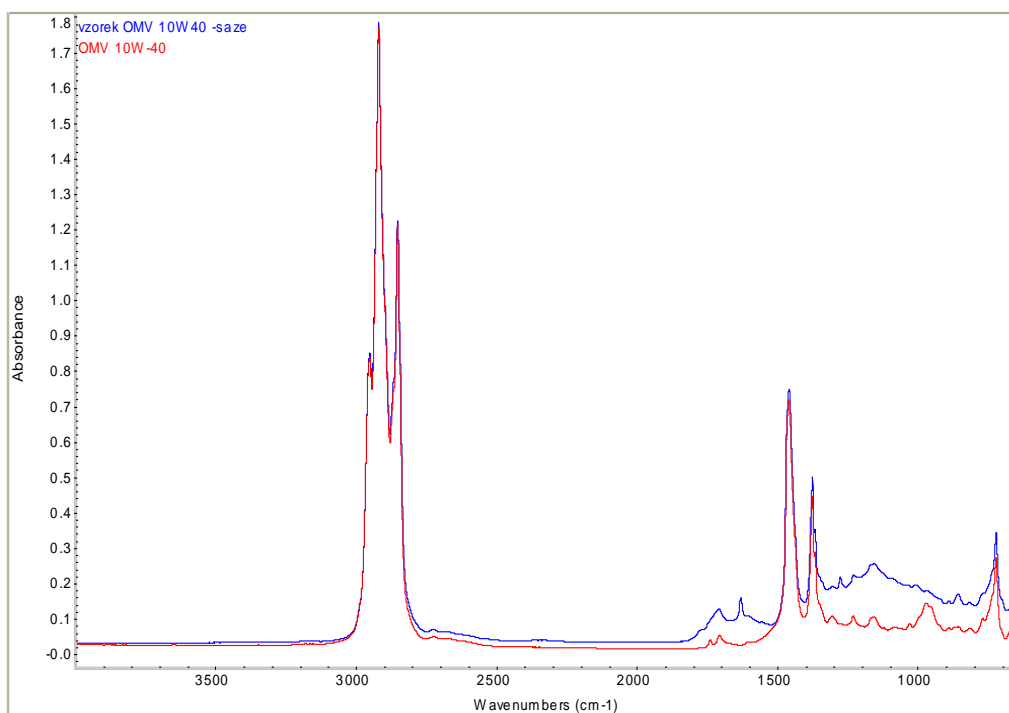
Legenda k obrázku 16 a 17:

814 085\_7.9.18\_M7ADS V – vzorek č. 8

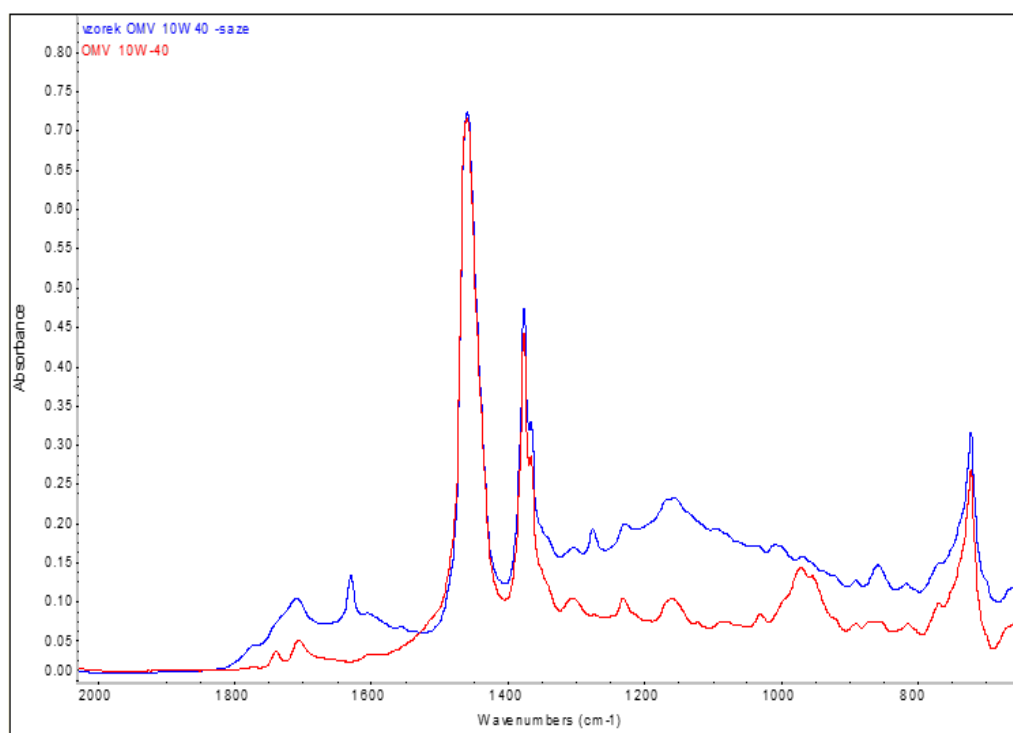
M7ADS V – vzorek č. 1

814 031\_14.12.2017\_M7ADS V – vzorek č. 7

810578\_9.9.18\_M7ADS V – vzorek č. 2



Obr. 18 - Spektrogram vzorku č. 15,16 [autor]



Obr. 19 - Spektrogram vzorku č. 15,16 – výběr [autor]

Legenda k obrázku 18 a 19:

OMV 10W-40 - saze – vzorek č. 15

OM 10W-40 – vzorek č. 16



Vzhledem k tomu, že cílem práce bylo posoudit vliv změny viskozity na mazivostní a prodioderové vlastnosti motorových olejů, jsou v tabulce 5 uvedeny hodnoty motorového oleje, které s těmito parametry souvisí. Olejovým analyzátozem byly na základě rozdílových spekter sledovány koncentrace kontaminantů (paliva, vody a sazí), které mají vliv na viskozitu. Dále byla zjišťována koncentrace antioxidační a protioderové přísady ZnDDP, která se v spektrogramu projevuje typickým pásem s vrcholem v oblasti cca 950 cm<sup>-1</sup>. Olejovým analyzátozem lze určit také množství nitratačních, oxidačních a sulfatačních produktů.

**Tabulka 5** – Vyhodnocená data – FTIR spektrometrie [autor]

Označení vzorku	Antioxidanty [%]	Saze [%] T	Palivo [%]	Voda [%]hm	Oxidační p. [A/0.1 mm]	Nitratační p. [A/0.1 mm]	Sulfatační p. [A/0.1 mm]
1	100	100	0	0	0	0	0
2	74	81	17,0	0	0,21	0,12	0,19
3	100	100	0	0	0	0	0
4	69,3	72	4,4	0	0,17	0,08	0,16
5	100	100	0	0	0	0	0
6	5	88	0	0	0,26	0,40	0,38
7	59,0	79	7,0	0	0,07	0,09	0,17
8	67	78	0	0,1	0,07	0,10	0,14
9	11,5	93	0	0	0,15	0,23	0,26
10	13,8	93	0	0	0,14	0,22	0,26
11	6	88	0,5	0	0,26	0,40	0,38
12	63,4	54	2,7	0,2	0,05	0,08	0,14
13	69,3	72	20,0	0	0,17	0,08	0,16
14	69,3	72	30,0	0	0,17	0,08	0,16
15	23,2	75	0	0,2	0,42	0,62	0,57
16	100	100	0	0	0	0	0

#### Dílčí závěr

Vzorky olejů z provozu byly vždy porovnávány s novými (neopotřebovanými) vzorky oleje stejného typu. U vzorku č. 12 (742 144) byl díky FTIR prokázán výskyt glykolu v oleji. Olej je zapotřebí vyměnit a musí také dojít ke kontrole hlavy válců včetně celého chladicího okruhu.

Ve vzorku č. 11(841015 I) a 6 (841015 II) bylo prokázáno zvýšené množství nitratačních a oxidačních produktů. Za toto zvýšení s největší pravděpodobností může profuk spálených plynů kolem pístních kroužků a značné termicko-oxidačně namáhání maziva. Hodnota obsahu pro výměnu maziva u oxidačních, nitratačních a sulfatačních produktů je 0,4 A/0,1 mm [23]. U těchto vzorků byl rovněž zaznamenán výrazný úbytek antioxidační a protioděrové přísady ZnDDP. V literatuře [24] se uvádí, že pokud klesne koncentrace přísady ZnDDP pod 20 % původní hodnoty, měl by se olej vyměnit. FTIR prokázala u obou vzorků nárůst nitratačních produktů na hraniční hodnotu 0,4 A/0,1 mm. Proto by se měl i z tohoto důvodu olej v co nejkratším čase vyměnit.

U vzorků č. 9 (841007 I) a 10 (841007 II) dochází jako v předchozím případě k nárůstu nitratačních a oxidačních produktů. Nárůst je ovšem menší než hraniční hodnota 0,4 A/0,1. Proto se dané oleje mohou v těchto parametrech prohlásit za vyhovující. Nevyhovující je úroveň koncentrace ZnDDP.

Ve vzorku č. 7 (814031) byla prokázána přítomnost nafty v objemu 7 %. Výrobci udávají maximální přípustnou hranici koncentrace paliva v naftovém motorovém oleji 4 % obj. [16]. Proto musí dojít k výměně oleje. Vyšší přítomnost paliva v oleji má vliv na viskozitu oleje; snížením viskozity se sníží únosnost mazacího filmu, který se pak může lehce porušit. Ostatní zkoumané parametry oleje byly v normě.

Vzorek č. 8 (814085) obsahoval vodu. Tento objem však byl 0,1 % hm, což můžeme považovat za zcela běžné a nezávadné.

Vzorek č. 2 (810578) obsahoval 17 % hm nafty, což je zcela nepřípustné. Proto by měla být provedena výměna oleje.

V posledním vzorku č.15, který byl podroben FTIR analýze (OMV 10W40 saze) byl zjištěn vyšší výskyt sazí. Saze naopak zvyšují viskozitu motorových olejů. Dále byly v oleji zaznamenány spektrální pásy příslušející sulfatačním, nitratačním a oxidačním produktům.

### 2.3. Hodnocení mazivosti Reichertovým testem

Poslední experimentální metodou byl Reichertův test. Při tomto testu dochází k vytvoření elipsové plochy na testovacím válečku, který je pevně upevněn a definovanou silou přitlačován k rotujícímu prstenci, kde mezi oběma interagujícími díly proudí testovaný motorový olej. Z vytvořené elipsoidní plochy se určuje únosnost mazacího filmu. Pro výpočet plochy elipsy musela být změřena délka a šířka otěrové stopy za pomoci speciální lupy (viz obr. 21).

Vyhodnocení mazivosti bylo provedeno na přístroji Reichert M2 (obr. 20) s hmotností závaží 1 kg, dráhou testu 100 m a třemi druhy testovacího válečku (váleček z mědi, hliníku a oceli). Tyto druhy válečků byly vybrány proto, že většina dílů v motoru je právě z těchto materiálů, nebo z jejich slitin. Z hliníku se vyrábí celý blok motoru a může být převládajícím materiálem i u pístu motoru. Ocel lze najít také u pístu motoru, dále u různých krytů motoru. Z mědi se vyrábí podložky, těsnící kroužky, různé vedení a tak dále [25].



Obr. 20 – Měřicí přístroj Reichert M2 [autor]

### Postup měření

1. Nejprve se uvolní a následně vykloní úchyt testovacího válečku, do kterého se testovací váleček z jedné strany zasune a ze strany druhé se pojistí šroubem.
2. Odměří se cca 25 ml vzorku a nalije se do olejové vany, která se následně nasune na doraz pod třecí kolo.
3. Zapne se termostat, který je nastaven tak, aby voda procházela přes plášť vany.
4. Termostat se nastaví na 20 °C.
5. Přístroj se uvede do pohotovosti tlačítkem POWER a následně tlačítkem START.
6. Nastaví se otáčky na 800 ot. /min.
7. Dojde k zatížení testovacího válečku a vynulování oběžné dráhy.
8. Při dosažení hodnoty 100 m dojde k odlehčení testovacího válečku a následně zastavení elektromotoru stiskem START.

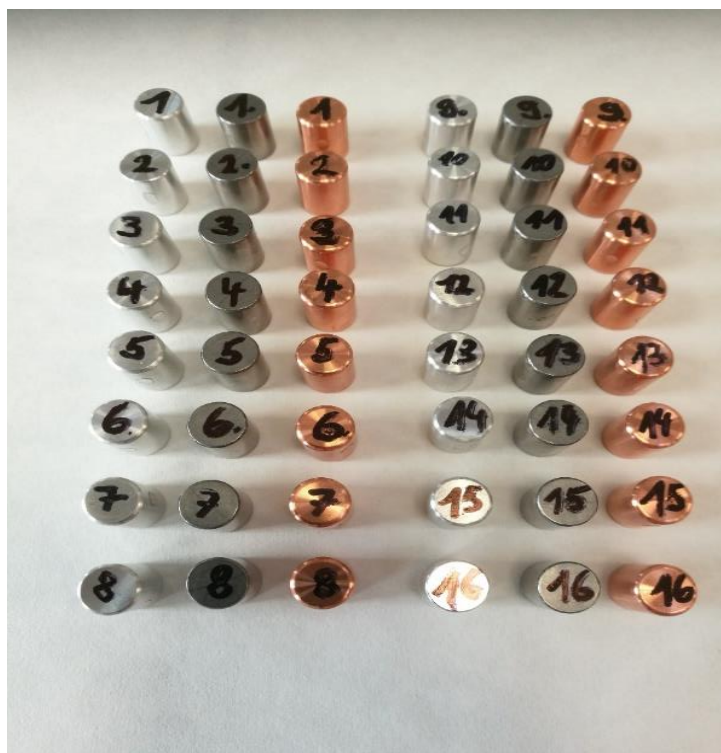
9. Dochází k vyhodnocení otěrové plochy pomocí speciální lupy se stupnicí (obr. 21).
10. Z důvodu zůstávání zbytků otěrových částic na prstenci musí dojít po každém měření k jeho očištění.



Obr. 21 – Lupa se stupnicí (8x zvětšení) [autor]

### Testovací válečky

Na obrázku 22 jsou zobrazeny již „opotřebované“ testovací válečky všech vzorků motorových olejů. Pro každý vzorek motorového oleje byl použit hliníkový, ocelový a měděný testovací váleček, a následně byla vyhodnocována otěrová plocha testovacího válečku.



Obr. 22 – Testovací válečky všech vzorků [autor]

#### Fotodokumentace otěrových (elipsových) ploch

Fotodokumentace otěrových ploch byla zhotovena digitálním mikroskopem s USB připojením (zvětšení až 500x). Pořadí testovacích válečků ve fotodokumentaci hliník-měď-ocel.

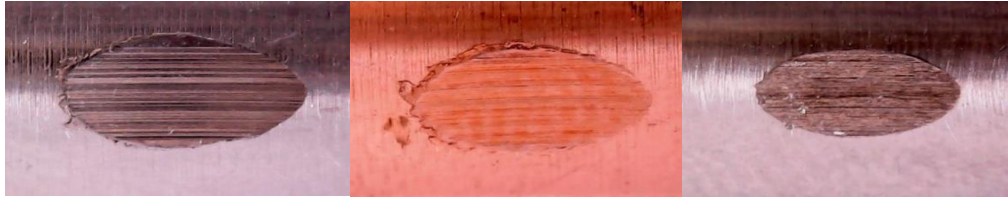


Obr. 23 – Otěrové stopy – vzorek č. 1 [autor]



Obr. 24 – Otěrové stopy – vzorek č. 2 [autor]

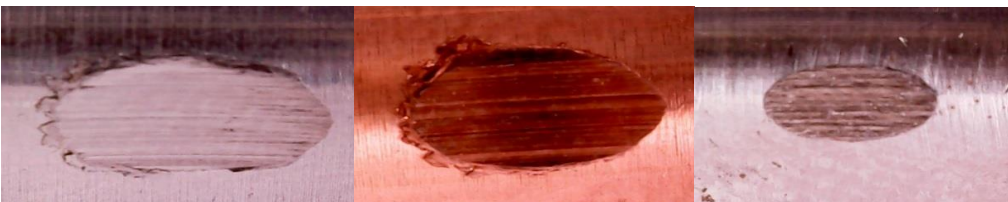




Obr. 25 – Otěrové stopy – vzorek č. 3 [autor]



Obr. 26 – Otěrové stopy – vzorek č. 4 [autor]



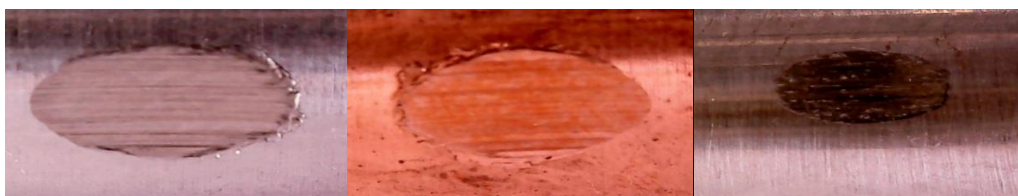
Obr. 27 – Otěrové stopy – vzorek č. 5 [autor]



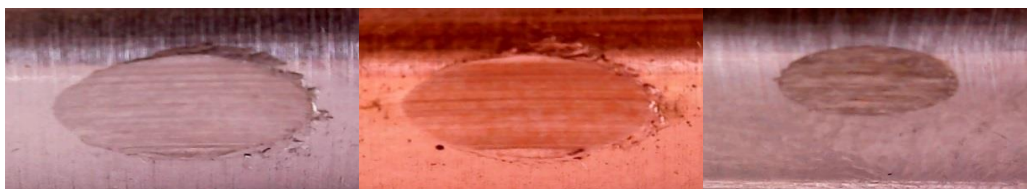
Obr. 28 – Otěrové stopy – vzorek č. 6 [autor]



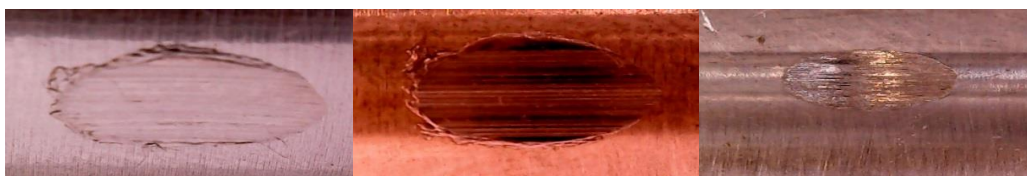
Obr. 29 - Otěrové stopy – vzorek č. 7 [autor]



Obr. 30 - Otěrové stopy – vzorek č. 8 [autor]



Obr. 31 - Otěrové stopy – vzorek č. 9 [autor]



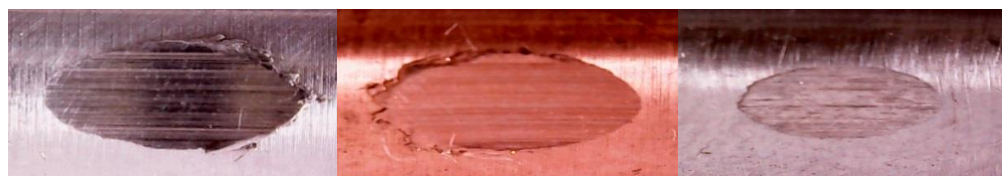
Obr. 32 – Otěrové stopy – vzorek č. 10 [autor]



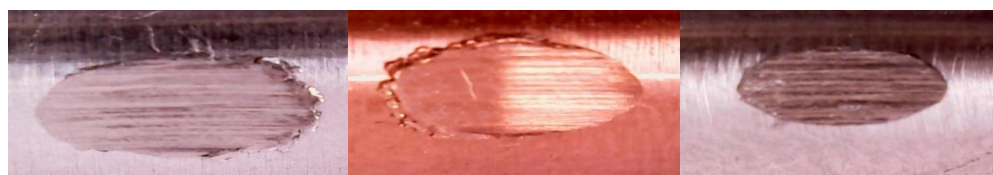
Obr. 33 – Otěrové stopy – vzorek č. 11 [autor]



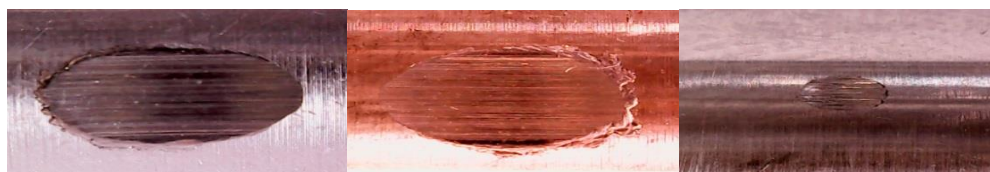
Obr. 34 – Otěrové stopy – vzorek č. 12 [autor]



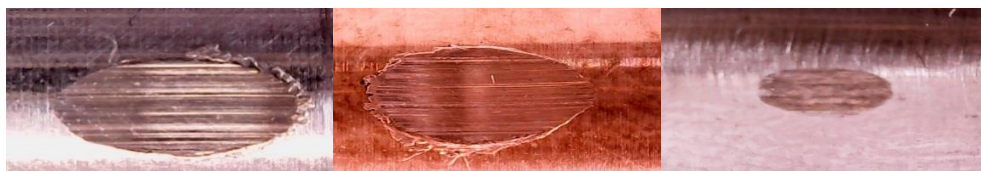
Obr. 35 - Otěrové stopy – vzorek č. 13 [autor]



Obr. 36 - Otěrové stopy – vzorek č. 14 [autor]



Obr. 37 - Otěrové stopy – vzorek č. 15 [autor]



Obr. 38 - Otěrové stopy – vzorek č. 16 [autor]

### Výpočet elipsovité plochy a únosnosti mazacího filmu

V tabulce 6 jsou zaznamenány parametry elipsovité plochy (délka, šířka) pro jednotlivé vzorky olejů. Každý rozměr byl měřen 3x a uvedené hodnoty v tabulce 4 jsou aritmetickým průměrem naměřených hodnot. Dále je v tabulce vypočtená hodnota plochy otěru a z ní je následně spočítána únosnost mazacího filmu. Výpočet probíhal v programu EXCEL.

**Tabulka 6** - Vyhodnocení elipsovité plochy a únosnosti mazacího filmu [autor]

Vzorek č.	Materiál	Délka elipsy l [mm]	Šířka elipsy d [mm]	Plocha otěru A [mm <sup>2</sup> ]	Únosnost mazacího filmu ÚMF [N/cm <sup>2</sup> ]
1	Hliník	4,9	2,5	9,6	2041,1
1	Ocel	3,6	2,1	5,9	3307,3
1	Měď	5,4	3,3	14,0	1403,1
2	Hliník	6,0	2,7	12,7	1543,0
2	Ocel	4,4	2,2	7,6	25823,0
2	Měď	5,5	3,2	13,8	1420,6
3	Hliník	5,1	3,1	12,4	1581,5
3	Ocel	4,6	2,5	9,0	2174,2
3	Měď	5,3	3,1	12,9	1521,8
4	Hliník	5,6	3,2	14,1	1395,3
4	Ocel	4,2	2,4	7,9	2480,5
4	Měď	5,0	3,3	13,0	1515,3
5	Hliník	5,5	3,2	13,8	1420,6
5	Ocel	3,7	2,0	5,8	3378,8
5	Měď	5,2	3,2	13,1	1502,6
6	Hliník	5,1	3,2	12,8	1532,1
6	Ocel	3,8	2,1	6,3	3133,2



6	Měď	5,1	3,3	13,2	1485,6
7	Hliník	5,7	3,3	14,8	1329,2
7	Ocel	4,2	2,4	7,9	2480,5
7	Měď	5,2	3,0	12,2	1602,8
8	Hliník	5,7	3,3	14,8	1329,2
8	Ocel	3,8	2,1	6,3	3133,2
8	Měď	5,0	3,2	12,6	1562,7
9	Hliník	5,2	3,1	12,7	1551,1
9	Ocel	3,6	2,1	5,9	3307,3
9	Měď	5,1	3,2	12,8	1532,1
10	Hliník	5,3	3,4	14,1	1387,5
10	Ocel	3,7	2,1	6,1	3217,9
10	Měď	5,2	3,1	12,7	1551,1
11	Hliník	5,6	3,3	14,5	1353,0
11	Ocel	3,7	2,0	5,8	3378,8
11	Měď	5,4	3,3	14,0	1403,1
12	Hliník	5,8	2,8	12,7	1539,6
12	Ocel	3,8	2,1	6,3	3133,2
12	Měď	5,2	3,3	13,5	1457,1
13	Hliník	5,7	3,3	14,8	1329,2
13	Ocel	4,4	2,4	8,3	2367,7
13	Měď	5,3	3,4	14,1	1387,5
14	Hliník	5,8	3,5	15,9	1231,7
14	Ocel	4,5	2,5	8,8	2222,5
14	Měď	5,2	3,3	13,5	1457,1
15	Hliník	5,4	3,2	13,6	1446,9
15	Ocel	2,1	1,3	2,1	9158,7
15	Měď	5,4	3,3	14,0	1403,1
16	Hliník	5,2	3,0	12,2	1602,8
16	Ocel	3,0	1,5	3,5	5556,3
16	Měď	4,8	3,4	12,8	1532,1

### Počítání hmotnostních úbytků testovacích válečků

Mazivost byla také hodnocena na základě úbytku hmotnosti testovaného válečku v důsledku vzniku otěrové stopy. Proto byly určeny hmotnosti testovacích válečků před Raichertovým testem a po testu. Ze zaznamenaných hodnot byly vypočítány hmotnostní úbytky. K vážení byly použity analytické váhy KERN. Tato váha má váživost 200 g a přesnost  $\pm 0,0001$  g. Tabulka č. 7 udává hmotnosti válečků před testem, v tabulce č. 8 jsou zobrazeny hmotnostní úbytky válečků.

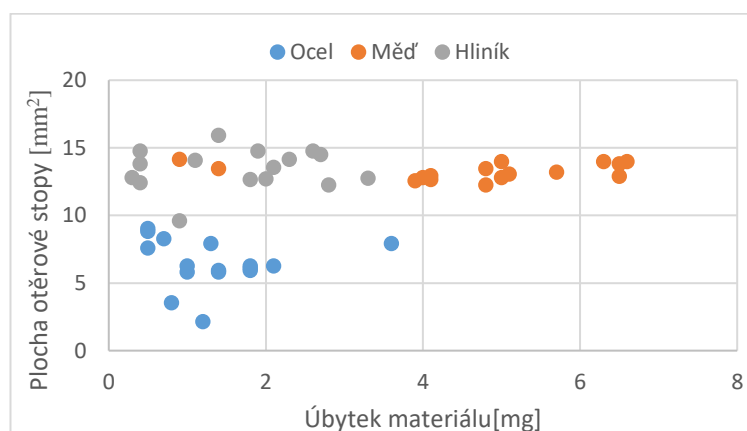
**Tabulka 7 – Hmotnost válečků před měřením [autor]**

Vzorek č.	Hmotnost [g]	Materiál	Vzorek č.	Hmotnost [g]
1	5,4324	Hliník	9	5,4421
2	5,4707	Hliník	10	5,4350
3	5,4226	Hliník	11	5,4339
4	5,4372	Hliník	12	5,4384
5	5,4382	Hliník	13	5,4292
6	5,4431	Hliník	14	5,4214
7	5,4319	Hliník	15	5,4314
8	5,4274	Hliník	16	5,4738
1	15,7511	Ocel	9	15,7582
2	15,7558	Ocel	10	15,7578
3	15,755	Ocel	11	15,7665
4	15,7561	Ocel	12	15,7484
5	15,7572	Ocel	13	15,7504
6	15,7583	Ocel	14	15,7601
7	15,7548	Ocel	15	15,751
8	15,7657	Ocel	16	15,7583
1	17,9591	Měď	9	17,9556
2	17,9494	Měď	10	17,9533
3	17,9466	Měď	11	17,9558
4	17,9518	Měď	12	17,945
5	17,9522	Měď	13	17,9532
6	17,9667	Měď	14	17,9281
7	17,9632	Měď	15	17,9603
8	17,9443	Měď	16	17,9551

**Tabulka 8** – Hmotnostní úbytky válečků po měření [autor]

Vzorek č.	Hmotnostní úbytek [mg]	Materiál	Vzorek č.	Hmotnostní úbytek [mg]
1	0,9	Hliník	9	1,8
2	2,0	Hliník	10	2,3
3	0,4	Hliník	11	2,7
4	1,1	Hliník	12	3,3
5	0,4	Hliník	13	0,4
6	0,3	Hliník	14	1,4
7	2,6	Hliník	15	2,1
8	1,9	Hliník	16	2,8
1	1,4	Ocel	9	1,8
2	0,5	Ocel	10	1,8
3	0,5	Ocel	11	1,4
4	1,3	Ocel	12	1,8
5	1,0	Ocel	13	0,7
6	1,0	Ocel	14	0,5
7	3,6	Ocel	15	1,2
8	2,1	Ocel	16	0,8
1	6,3	Měď	9	5,0,
2	6,5	Měď	10	4,1
3	6,5	Měď	11	6,6
4	4,1	Měď	12	4,8
5	5,1	Měď	13	0,9
6	5,7	Měď	14	1,4
7	4,8	Měď	15	5,0
8	3,9	Měď	16	4,0

V grafu č. 1 je zobrazena závislost mezi plochou otěrové stopy a úbytkem materiálu.



**Graf 1** – Závislost mezi plochou otěrové stopy a hmotnostním úbytkem zkušebních válečků [autor]

Z grafu č. 1 je patrné, že není vhodné na základě hmotnostního úbytku testovaného materiálu hodnotit mazivost. Lineární závislost zde neplatí, protože u většiny testovacích válečků sice docházelo k vytvoření otěrové stopy, ale opotřeбенý materiál se neuvolnil do testovaného motorového oleje. Došlo pouze k jeho přesunu na hranu elipsovité plochy. Tento děj je patrný i z dokumentace otěrových ploch viz obr. 23-38. Z tohoto důvodu byla mazivost testovaných motorových olejů hodnocena pouze na základě vytvořených otěrových stop na ocelových válečcích.

### Dílčí závěr

Na základě provedených experimentů bylo prokázáno, že opotřeбенí strojních součástí přímo souvisí s únosností mazacího filmu. Proto lze mazivost zařadit mezi nejdůležitější parametr motorového oleje, který má vliv na životnost motoru.

Nejmenší otěrová stopa byla vyhodnocena u vzorku 15. Ocelový váleček je zobrazen na obr. 35. Únosnost mazacího filmu byla u tohoto vzorku naměřena  $9159 \text{ N/cm}^2$ , což je přibližně 2x větší hodnota než u nového oleje stejného typu (vzorek 16). Za lepší mazací schopnosti u opotřeбенého oleje (vzorek 15) může nadměrný výskyt sazí v oleji, který byl prokázán FTIR analýzou.

Nejhorší mazivostní vlastnosti opotřeбенého oleje vykazoval vzorek oleje č. 14. Do tohoto vzorku byla přidána 2x nafta. Únosnost mazacího filmu zde byla spočítána na  $1223 \text{ N/cm}^2$ . Otěrová stopa je zobrazena na obrázku 34. V porovnání tohoto vzorku se vzorkem nového oleje stejného typu (vzorek č. 4) došlo u opotřeбенého oleje ke zhoršení únosnosti mazacího filmu o  $257 \text{ N/cm}^2$ .

U nového vzorku č. 1 (M7ADS V) vyšla oproti vzorku č. 2 (opotřeбенý olej M7ADS V) únosnost mazacího filmu vyšší. Vzhledem k tomu, že ve vzorku č. 2 byl díky FTIR analýze prokázán vysoký obsah paliva je tento výsledek opodstatněný.

Vzorek č. 4 (VŠ – M7 ADS III) oproti vzorku č. 3 (nový olej M7 ADS III) vykazoval zlepšení únosnosti mazacího filmu. Tento fakt lze přisuzovat tomu, že v oleji bylo dle FTIR analýzy prokázáno zvýšené množství sazí.

Výsledky únosnosti mazacího filmu pro vzorky č. 6 (URANIA) a 10 (URANIA) v porovnání s novým olejem Urania (vzorek č. 5) jsou dost podobné. Pro ocelové válečky, u kterých dochází k minimální tvorbě zvlnění okrajové plochy vychází únosnost mazacího filmu u nového oleje Urania (vzorek č.5) největší.

U obou vzorků č. 7 a 8.(opotřebené oleje) došlo ke zhoršení mazivosti v porovnání se vzorkem č. 1 (nový olej). Jak bylo prokázáno z FTIR analýzy u vzorku č. 7 může za snížení únosnosti mazacího filmu průnik paliva do oleje. U vzorku č. 8 (opotřebený olej) je oproti vzorku č. 1 (nový olej) zhoršení mazivosti nepatrné.

U vzorků č. 9 a 11 je v porovnání se vzorkem č. 5 únosnost mazacího filmu přibližně stejná, a to hlavně proto, že u vzorků nebyl ve větší míře prokázán výskyt produktů, které by mazivost radikálně měnily.

Vzorek č. 12 (M7 ADS III) vykazuje v porovnání se vzorkem 3 (nový olej M7 ADS III) zvýšení únosnosti mazacího filmu. To je dáno především zvýšeným výskytem sazí.

## 2.4 Závislosti mazivosti na vybraných veličinách motorového oleje

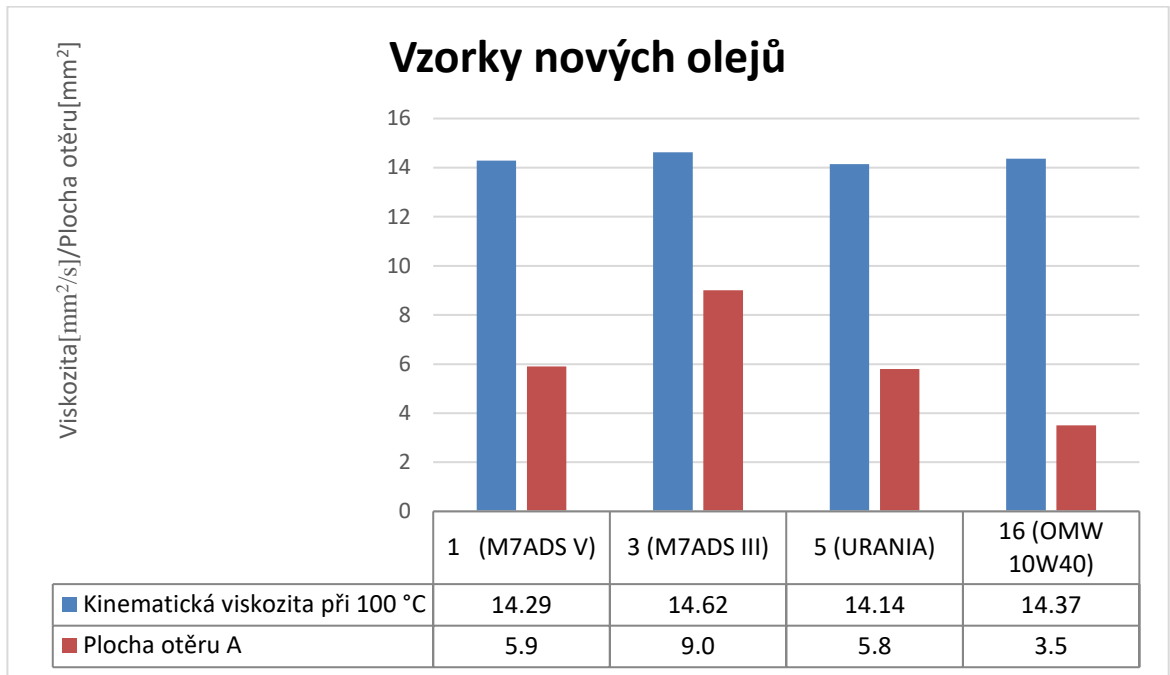
Tato část diplomové práce se zabývá sledováním závislosti mazivosti, tj. velikosti otěrové stopy testovacího válečku na vybraných veličinách: viskozitě, obsahu antioxidantů, sazí a paliva. Pro vyhodnocení závislosti byly použity pouze ocelové testovací válečky, a to z důvodu tvrdšího materiálu. U tohoto materiálu dochází minimálně k vytváření nepravidelně zvlněného okraje měřené plochy.

### Velikost otěrové stopy v závislosti na viskozitní specifikaci

Viskozitu oleje ovlivňuje tvorba tepla v točivých strojních dílech, například v ložiskách a sadách ozubených kol v závislosti na vnitřním tření oleje. Viskozita upravuje těsnící účinek maziva a řídí jeho spotřebu, dále určuje jednoduchost, s jakou mohou být stroje spouštěny nebo provozovány za různých teplotních podmínek, zejména pak v chladném prostředí. Obecně platí, že při zvyšování viskozity dochází k nižší spotřebě oleje a také k menšímu opotřebení [17] strojních dílů. Zvyšování viskozity se však nemůže dostat na hodnotu, kdy by mazivo mělo nízkou tekutost, a tím pádem nebylo schopno dostatečně mazat [22]. Za zvýšením viskozity oleje stojí produkty termooxidačních reakcí a saze, které se do motoru dostávají při styku oleje se spaliny. Snížení viskozity je obvykle dáno stříhovou nestabilitou, která se nejvíce projeví hned při prvních 100 km od naplnění oleje do motoru [26]. Další snížení viskozity nastává při průniku paliva do oleje [27].

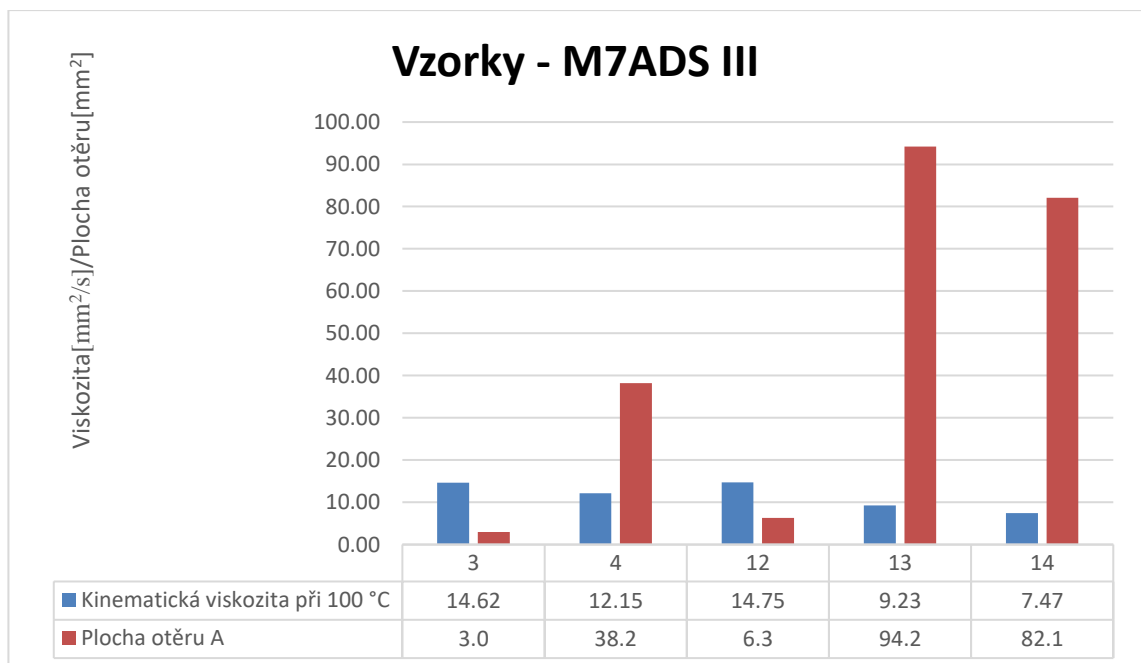
V grafu 2 je zobrazena naměřená mazivost a viskozita pro nové vzorky motorových olejů, kde tři vzorky byly shodné viskozitní specifikace, ale rozdílné výkonové specifikace. Vzorky motorového oleje 1,3,5 jsou stejné viskozitní specifikace 15W-40. Vzorek OMV je dle SAE 10W-40. Jak je patrné z grafu 2, tak bylo potvrzeno, že nejlepší mazivost vykazuje

syntetický olej specifikace 10W-40. Na stejné úrovni z pohledu hodnocení mazivosti se umístily minerální oleje M7ADSV a Urania. Nejhůře dopad olej M7ADS III.



Graf 2 – Hodnocení mazivosti nových vzorků olejů [autor]

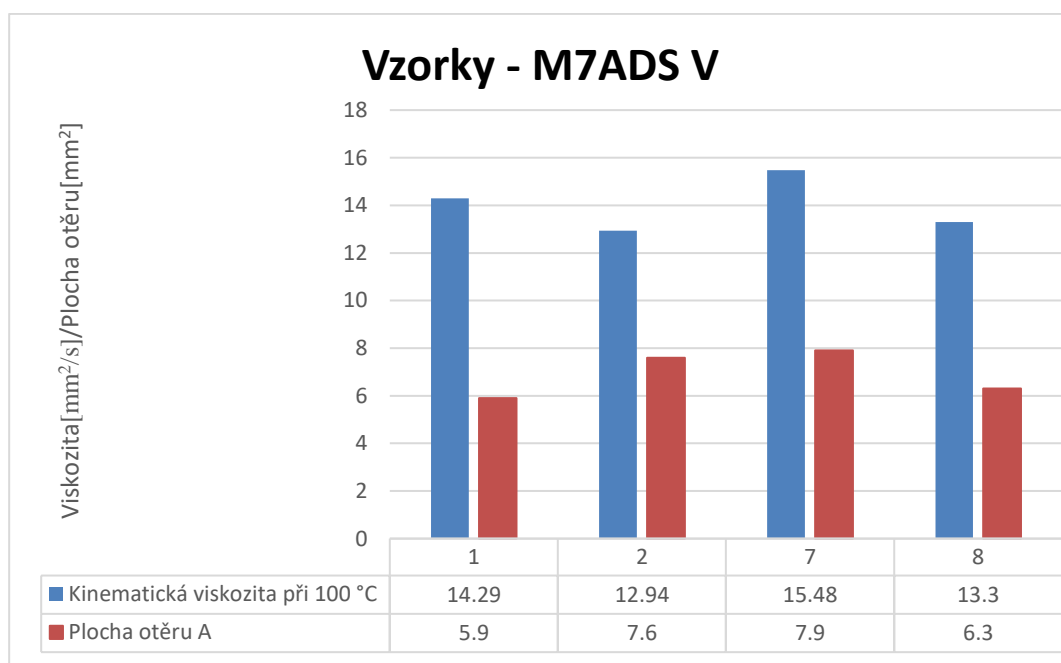
V následujícím grafu č. 3 byl hodnocen dopad změny viskozity na mazivost oleje M7ADS III.



Graf 3 – Hodnocení dopadu změny viskozity na mazivost vzorků oleje M7ADS III [autor]

Vzorek č. 13 vznikl tak, že se do vzorku nového oleje č. 4 přidala nafta. Vzorek 14 byl poté vytvořen ze vzorku 13 přidáním ještě většího objemu nafty. Z grafu č. 3 je tedy patrné, že s rostoucími kontaminacemi oleje paliv klesá viskozita a následně roste otěrová plocha, tj. zmenšuje se mazivost. Ve vzorku 12 (opotřebený olej) došlo v porovnání se vzorkem č. 3 (nový olej) ke zvýšení viskozity a rapidnímu snížení otěrové plochy. Za snížení může velké procento sazí nacházející se ve vzorku 12. Saze byly prokázány FTIR analýzou.

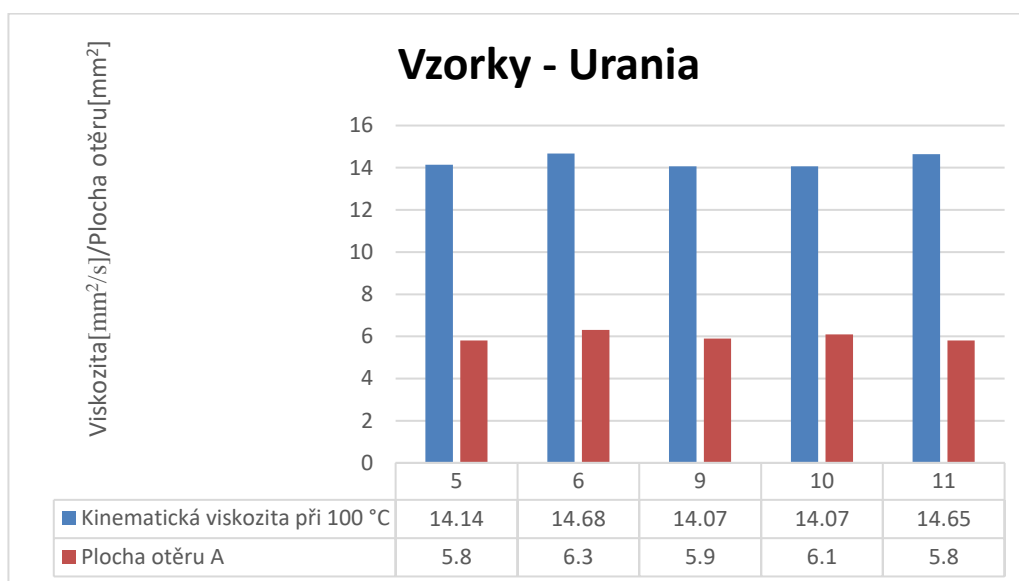
V následujícím grafu č. 4 je vyjádřen dopad změny viskozity na mazivost oleje M7ADS V.



Graf 4 – Hodnocení dopadu změny viskozity na mazivost vzorků oleje M7ADS V [autor]

Nový olej M7ADS V má hodnotu viskozity 14,28 mm<sup>2</sup>/s. U opotřebeného oleje vzorku č. 2 vidíme pokles viskozity z důvodu průniku paliva do oleje. Výskyt paliva prokázala FTIR analýza. Vzhledem k snížení viskozity došlo i ke zhoršení mazivosti. U vzorku č. 7 došlo ke zvýšení viskozity. Toto zvýšení je dle FTIR analýzy dáno především výskytem sazí ve vzorku, které převládá nad průnikem paliva. U vzorku č. 8 došlo oproti novému vzorku oleje (vzorek č. 1) k nepatrnému snížení viskozity a následně i nepatrnému zvětšení otěrové plochy (zhoršení mazivosti).

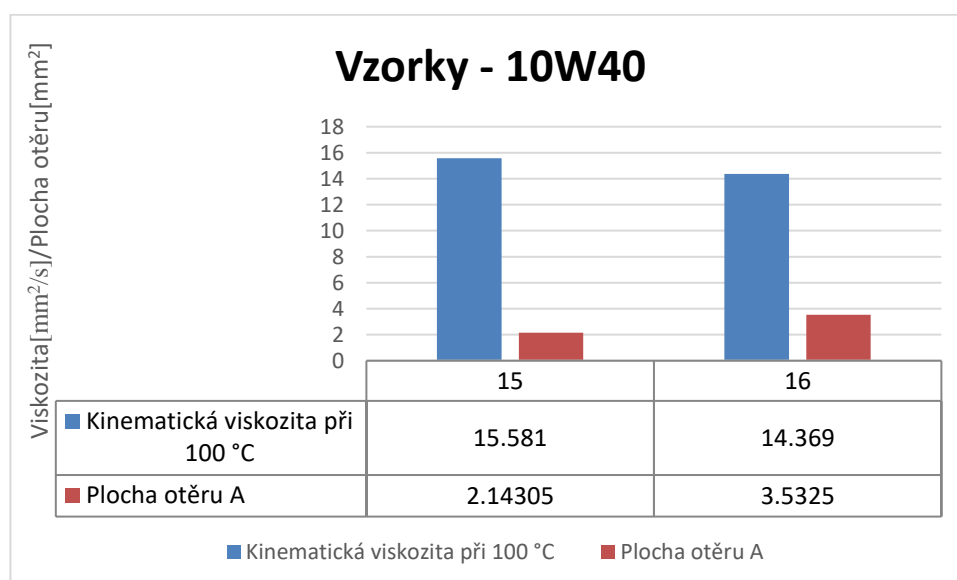
V grafu č. 5 je vyjádřen dopad změn viskozity na mazivost oleje typu Urania



Graf 5 – Hodnocení dopadu změny viskozity na mazivost vzorků oleje Urania [autor]

Viskozita nového oleje Urania je 14,1 mm<sup>2</sup>/s. U všech opotřeбенých vzorků je viskozita a následně mazivost dost podobná novému oleji. Z toho vyplývá že oleje tohoto typu si uchová své vlastnosti i během jeho degradace.

V grafu č. 6 je vyjádřen dopad změn viskozity na mazivost oleje typu 10W40



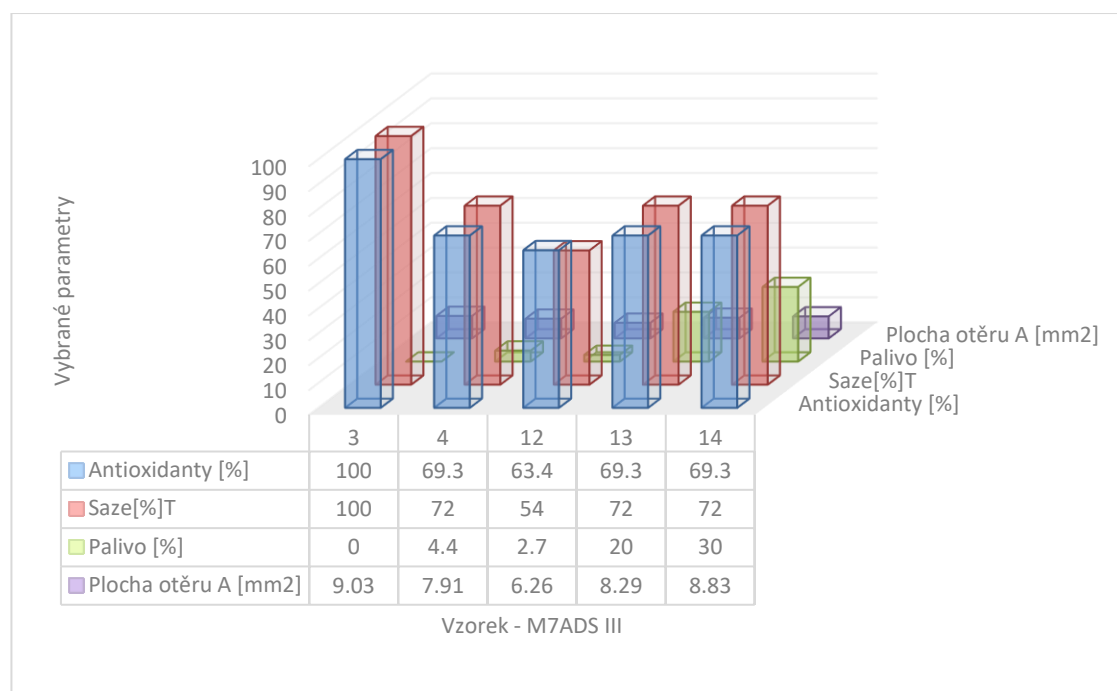
Graf 6 – Hodnocení dopadu změny viskozity na mazivost vzorků oleje OMV 10W40 [autor]



Na grafu 6 vidíme nový motorový olej č.16 s hodnotu viskozity 14,4 mm<sup>2</sup>/s a otěrovou plochou 3,5 mm<sup>2</sup>. Dále je zde uveden vzorek č. 15 (opotřebený olej). Z grafu je patrné, že u opotřebeného oleje došlo k nárůstu viskozity a následně i ke zmenšení otěrové plochy (zlepšení únosnosti mazacího filmu). Zlepšení mazacího filmu je dáno především produkty oxidace, jak vyplývá z FTIR analýzy. Tyto výsledky jsou v souladu s výsledky publikovanými autorem Černým [28].

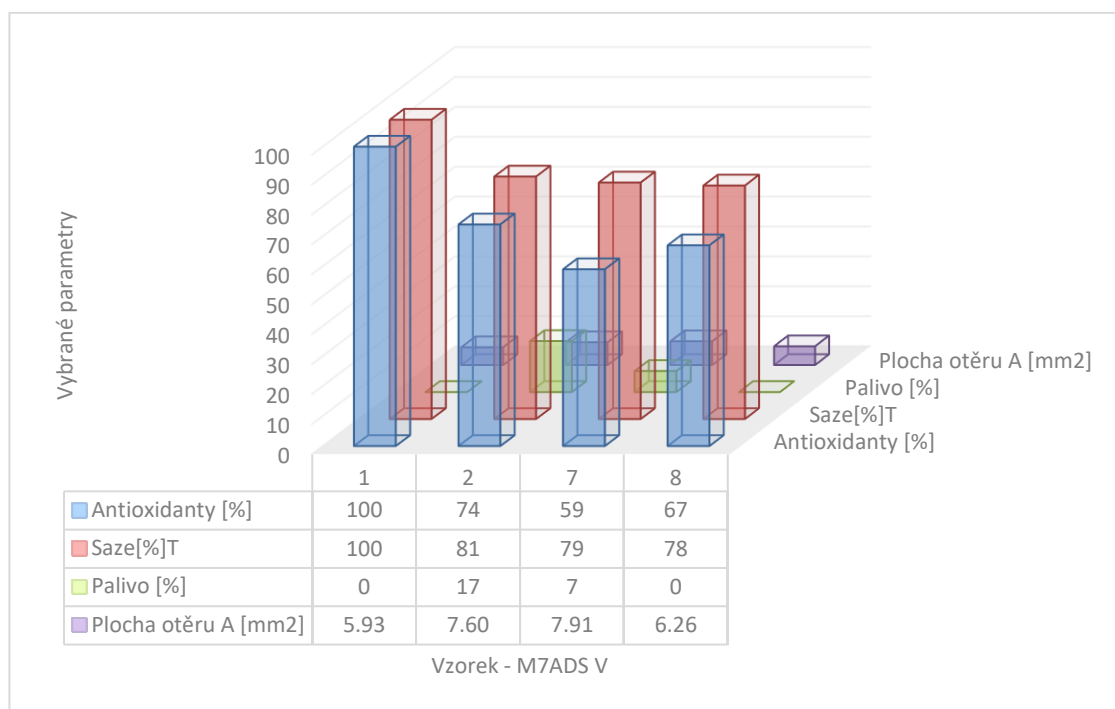
### Vliv ostatních sledovaných parametrů oleje na jeho mazivost

V této části diplomové práce jsou zobrazeny nejdůležitější parametry motorového oleje, které byly vyhodnoceny FTIR analýzou. Tyto parametry ovlivňují jak viskozitu, tak přímo mazivost hodnocenou Reichertovým testem, tj. velikost otěrové plochy na testovaném válečku. Z grafu č. 7 je patrné, že zvyšující se koncentraci paliva v motorovém oleji M7ADS III dochází k nárůstu otěrové plochy, a tedy ke zhoršení mazivosti. Dále je zde prokázáno, že nový olej (vzorek 3) má horší mazací schopnosti než vzorky opotřebené. Za tento stav může především výskyt sazí ve všech vzorcích, především pak u vzorku 12. Dále je zde mazivost pozitivně ovlivněna oxidačními produkty. Jak vyplývá z grafu, tak mazivost motorových olejů nesnižuje ani úbytek antioxidantu dithiofosfátového typu; to je v souladu s výsledky práce Černého a kolektivu [28].



Graf. 7 – Parametry ovlivňující plochu otěru u vzorků M7ADS III [autor]

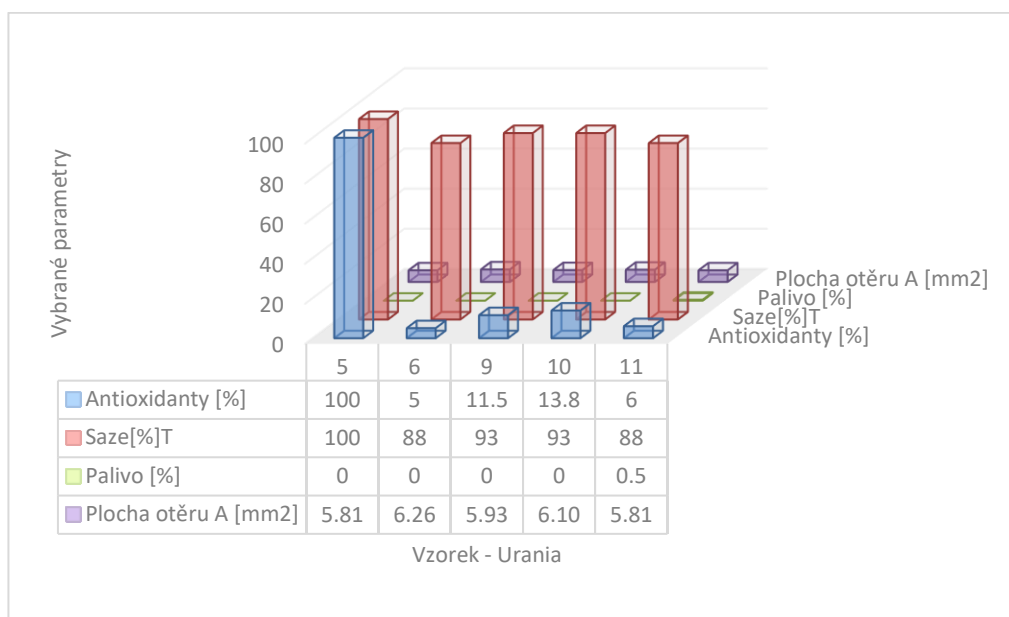
V grafu č. 8 jsou zobrazeny výsledky testování vzorků motorového oleje typu M7ADS V.



Graf. 8 – Parametry ovlivňující plochu otěru u vzorků M7ADS V [autor]

Otěrové stopy opotřebovaných olejů jsou větší, než u oleje nového (vzorek 1). Tudiž mazivost všech opotřebovaných olejů je horší než u oleje nového. V opotřebovaných olejích se nevyskytují ve větší míře látky, které by mazivost zlepšovaly (např. saze nebo produkty oxidace).

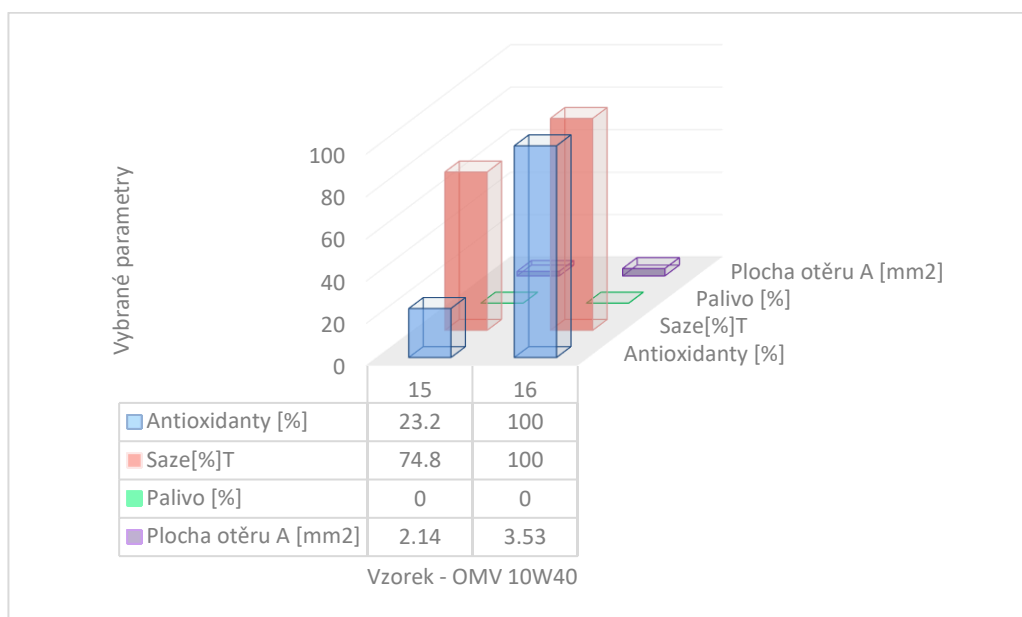
Z grafu 9 vyplývá, že vzorky opotřebovaných olejů mají stejnou nebo jen nevýznamně horší mazivost než nový motorový olej Urania (vzorek 5).



Graf. 9 – Parametry ovlivňující plochu otěru u vzorků Urania [autor]

Změny v mazivosti nejsou dostatečně průkazné, může se jednat o chybu ve vyhodnocení otěrové plochy.

Graf č. 10 obsahuje výsledky analýzy vzorků syntetického oleje OMV 10W-40.



Graf. 10 – Parametry ovlivňující plochu otěru u vzorků OMV 10W40 [autor]

Zde byla prokázána lepší mazivost u oleje opotřebeného (č. 15). Vlivem termicko-oxidačního namáhání oleje během jeho provozu došlo ve vzorku oleje č. 15 k nárůstu oxidačních produktů a zároveň nitratačních produktů, a tím i ke zvýšení viskozity. Na základě toho došlo i ke zlepšení mazivosti.

### 3 ZÁVĚR

Viskozita je obecně jeden z nejdůležitějších sledovaných parametrů motorových olejů. Čím je viskozita nového motorového oleje nižší, tím kladou pohybující se části motoru menší odpor. Důsledkem toho dochází ke snížení spotřeby paliva, a tím i ke snížení emisí skleníkového plynu CO<sub>2</sub>.

Diplomová práce je zaměřena na sledování viskozitních a mazivostních vlastností jak nových, tak opotřebených motorových olejů používaných v lokomotivách Českých drah. Celkem bylo hodnoceno 16 vzorků motorových olejů.

V rámci experimentálních prací byla posuzována mazivost hodnocených motorových olejů M7ADS III, M7ADS V, Urania a OMV 10W-40. Toto hodnocení bylo prováděno Reicherovým testem. Viskozita byla měřena Stabingerovým viskozimetrem. FTIR spektrometrií byla hodnocena chemická degradace motorových olejů a jejich kontaminace palivem, sazemí a vodou. V případě testování mazivosti nových motorových olejů bylo prokázáno, že nejlepší mazivost vykazuje syntetický olej OMV 10W-40. Olej Urania a M7ADS V vykazovaly podobnou mazivost. Nejhorší výsledky mazivosti prokázal olej M7ADS III.

Dále bylo experimentálně potvrzeno, že průnik paliva do olejové náplně snižuje viskozitu a zvyšuje opotřebení. Naopak polární termooxidační produkty a průnik sazí do oleje viskozitu zvyšují a zároveň zlepšují mazivost, tzn. tyto faktory jsou příčinou lepší mazivosti u opotřebených olejů oproti novým motorovým olejům.

Mazivost a protioděrové vlastnosti motorových olejů nesnižuje ani vyčerpání antioxidantu dithiofosfátového typu.

Z výsledků diplomkové práce vyplývá, že současné motorové oleje mají výborné mazací schopnosti, které si udržují po celou dobu životnosti. Mazivost snižuje pouze průnik paliva do oleje. Použité oleje používaném v hnacích jednotkách ČD měly v mnoha případech lepší vlastnosti než oleje nové.

## 4 POUŽITÁ LITERATURA

1. SEJKOROVÁ, M. *METODY TRIBOTECHNICKÉ DIAGNOSTIKY*. Vysoká škola báňská Technická univerzita Ostrava, Univerzita Pardubice, 2013. ISBN 978-80-248-3280-7.
2. HELEBRANT, František, Jiří ZIEGLER a Daniela MARASOVÁ. *Technická diagnostika a spolehlivost I. Tribodiagnostika*. Ostrava, 2000.
3. STRAKA, Bedřich. *Motorové oleje a tribotechnická diagnostika naftových motorů*. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1986. ISBN 31-074-86-05-94.
4. NOVÁČEK, Vladimír. Analýzy motorových olejů a nemrznoucích kapalin z naftových motorů. *Tribotechnické informace*. (1), 40.
5. *OLEJE SPALOVACÍCH MOTORŮ*. Brno, 2012. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
6. Motorové oleje: SAE, API, ACEA... Víte, co znamená jejich označení? A jak moc škodí nevhodný olej?. *Auto.cz* [online]. 2016, 2016 [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/motorove-oleje-sae-api-acea-vite-co-znamenaja-jejich-oznaceni-a-jak-moc-skodi-nevhodny-olej-101192>
7. SRIVASTAVA, S. P. *Developments in lubricant technology*. 1. Hoboken, New Jersey: Wiley, [2014]. ISBN 978-1-118-16816-5.
8. MAZÁNÍ OVLIVŇUJE SPOLEHLIVOST STROJŮ A ZAŘÍZENÍ. *TRIBOTECHNICKÉ INFORMACE*. 2017, (2), 29-30.
9. *APROCHEM: konference chemické technologie : sborník přednášek*. Praha: APROCHEM, 2007. ISBN 978-80-02-01891-9.
10. *Vlastnosti motorových olejů - Základní funkce olejů* [online]. Praha: Jaroslav Černý [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Zakladni-funkce-oleju>
11. *Boundary and mixed lubrication: THE STABINGER VISCOMETER – A UNIQUE NEW INSTRUMENT FOR OIL SERVICE LABORATORIES* [online]. Boston: Elsevier, 2002 [cit. 2019-04-07]. ISBN 9780444509697. Dostupné z: [http://www.oetg.at/fileadmin/Dokumente/oetg/Proceedings/WTC\\_2001\\_files/html/M-68-10-765-BELITSCH.pdf](http://www.oetg.at/fileadmin/Dokumente/oetg/Proceedings/WTC_2001_files/html/M-68-10-765-BELITSCH.pdf)
12. MACHALÍKOVÁ, Jaroslava a Marie SEJKOROVÁ. *Diagnostika a kontrola jakosti provozních hmot: studijní opora*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013. ISBN 978-80-7395-620-2.
13. *Testování olejů – Reichert*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická.

14. Vlastnosti motorových olejů - Viskozita. *Svět maziv* [online]. [cit. 2019-04-11].  
Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Viskozita>
15. Nicolet iS10. *Nicolet* [online]. Praha: Nicolet CZ, 2014 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z:  
<http://www.nicoletcz.cz/nicolet-is10/>
16. Vlastnosti motorových olejů - Palivo v oleji. *Svět maziv* [online]. [cit. 2019-04-11].  
Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Palivo-v-oleji>
17. The Importance of an Oil's Viscosity. *Machinery Lubrication* [online]. [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://www.machinerylubrication.com/Read/29185/oil-viscosity-importance>
18. *MOGUL M7ADS III* [online]. [cit. 2019-04-23]. Dostupné z:  
[https://eshop.paramo.cz/data/VyrobkovaDokumentace/ti\\_mogul\\_m7\\_15w40\\_z2.pdf](https://eshop.paramo.cz/data/VyrobkovaDokumentace/ti_mogul_m7_15w40_z2.pdf)
19. Olej M7ADS motorový olej. *Nejedlý-AGRO-AUTO-PNEU TRADING* [online]. [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://eshop.nejedly.cz/olej-m7ads-v-sud-200l-nahrada-lotos-turdus-power-ci-4-motorovy-olej-61065059>
20. *EAA OIL* [online]. 2015 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/13304226-Obsah-motorovy-olej-4-8.html>
21. Produktový list OMV 10W-40. *Erneks* [online]. [cit. 2019-04-23]. Dostupné z:  
[http://www.erneks.cz/data/erneks/files/file/OMV\\_truck\\_blue\\_SAE\\_10W-40\\_cs.pdf](http://www.erneks.cz/data/erneks/files/file/OMV_truck_blue_SAE_10W-40_cs.pdf)
22. Viskozita oleje. *Ebeso* [online]. Česká Lípa [cit. 2019-04-28]. Dostupné z:  
<http://www.ebeso.cz/oleje/viskozita-oleje>
23. Černý J., Mašek P.: Znehodnocení motorových olejů při jejich výměně. *Sborník 3. konference Tribotechnika v provozu a údržbě*, Hrubá Skála, 8-9. 11.2005, str. 31-36 Ostrava, 2000.
24. MANG, Theo, ed. *Encyclopedia of lubricants and lubrication*. Berlin: Springer Reference, 2014. ISBN 978-3-642-22646-5.
25. Ocelové písty motoru: Začínají vytlačovat hliníkové. V čem jsou lepší?. *Auto.cz* [online]. 2018 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z:  
<https://www.auto.cz/ocelove-pisty-motoru-zacinaji-vytlacovat-hlinikove-v-cem-jsou-lepsi-120385>
26. Taylor R.I., Mainwaring R., Mortier R.M.: Engine Lubricant Trends Since 1990. *Proc. IMechE, Part J, J. Engineering Tribology* 2005,219(5),331-346
27. Tocci L.: Paradox in the Crankcase. *Lubes & Greases* 2007, 20-22
28. ČERNÝ, Jaroslav a Ivana VÁCLAVÍČKOVÁ. Viskozitní a mazivostní vlastnosti motorových olejů. *Petroleum*. 2007, 5."
29. Vlastnosti motorových olejů - HTHS viskozita a lehkoběžné oleje. *Oleje* [online]. Praha [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---HTHS-viskozita-a-lehkobezne-oleje>