

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2016

Bc. Miroslav Brabenec

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Hodnocení stavu motoru bezdemontážní TTD

Bc. Miroslav Brabenec

Diplomová práce

2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Miroslav Brabenec**
Osobní číslo: **D14541**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Provozní spolehlivost dopravních prostředků a infrastruktury:
Ochrana životního prostředí v dopravě**
Název tématu: **Hodnocení stavu motoru bezdemontážní TTD**
Zadávající 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) Popište současný stav poznatků v oblasti využití tribotechnické diagnostiky k bezdemontážnímu hodnocení stavu motoru
- 3) Seznamte se s principy a postupy využití metod TTD
- 4) Proveďte odběr olejových náplní z motorů dopravních prostředků využívaných pro údržbu silnic
- 5) Na základě výsledků analýz zhodnoťte stav olejových náplní a motorů
- 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. MACHALÍKOVÁ, J., SEJKOROVÁ, M. Diagnostika a kontrola jakosti provozních hmot. Učební opora na CD. Univerzita Pardubice, 2013. ISBN 978-80-7395-620-2.
2. 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
3. VLK, F. Paliva a maziva motorových vozidel. Brno: František Vlk, 2006.
4. SIMON C., TUNG and GEORGE E. TOTTEN (editors). Automotive Lubricants and testing. Published by SAE International and ASTM with a Product Code of R-428. Eagan, 2012. ISBN 978-0-7680-7889-3.
5. Kumbár V., Severa L., Glos J., Čorňák Š.: LIFETIME EXTENSION OF ENGINE OIL USING ADDITIVES. Dostupné z https://mnet.mendelu.cz/mendelnet2011/articles/29_kumbar_425.pdf

Vedoucí diplomové práce: Ing. Marie Sejkorová
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání diplomové práce: 25. února 2016

Termín odevzdání diplomové práce: 27. května 2016



doc. Ing. Ivo Drahošský, Ph.D.
děkan

L.S.



doc. Ing. Michael Lata, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 25. února 2016

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.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 17. 5. 2016

Bc. Miroslav Brabenec

Poděkování

Rád bych poděkoval mé rodině za podporu po celou dobu studia a při psaní této diplomové práce.

Dále bych rád poděkoval mé vedoucí práce paní Ing. Marii Sejkorové, Ph.D. za vedení práce a odborné rady a panu kpt. Ing. Josefu Glosovi, Ph.D. z Univerzity obrany v Brně za provedení analýz olejů na atomovém emisním spektrometru.

Velké díky také patří panu Ing. Janu Lisovi z Ředitelství krajské správy a údržby silnic Vysočiny v Jihlavě za poskytnuté vzorky olejů a informace o údržbových vozidlech.

ANOTACE

V diplomové práci jsou shrnuty poznatky týkající se vlastností motorových olejů a sledování jejich aktuálních parametrů. Aplikací metod tribotechnické diagnostiky (TTD) byly sledovány motorové oleje provozované v údržbových vozech Ředitelství krajské správy a údržby silnic Vysočiny. Na základě získaných výsledků analýz mazacích olejů byl nepřímo hodnocen stav motorů diagnostikovaných vozidel.

KLÍČOVÁ SLOVA

Motorový olej, tribotechnická diagnostika, znečištění olejů, opotřebení motorových olejů

TITLE

Assessing the state of the engine without disassembly tribotechnical diagnostics

ANNOTATION

The master thesis summarizes the findings concerning the properties of motor oils and tracks their current parameters. Application methods Tribotechnical diagnostic (TTD) were monitored operated motor oil in vehicles maintenance management of regional administration and maintenance of roads of the Highlands. Based on the results of analyses of lubricating oil was indirectly assessed the state motor vehicle diagnosed.

KEYWORD

Engine oil, tribotechnical diagnostics, oil pollution, engine oil wear

OBSAH

Úvod.....	12
1 Teoretická část	13
1.1 Současný stav poznatků v oblasti využití tribotechnické diagnostiky	13
1.1.1 Význam tribotechnické diagnostiky	13
1.2 Motorové oleje	14
1.2.1 Základní dělení motorových olejů	15
1.2.2 Klasifikace motorových olejů.....	16
1.2.3 Aditivace motorových olejů.....	20
1.3 Diagnostika motorových olejů	23
1.3.1 Sledované vlastnosti motorových olejů	23
1.3.2 Druhy opotřebení a tření	32
1.4 Metody používané pro stanovení znečištění a kontaminace olejů	36
1.4.1 Stanovení teploty vzplanutí v otevřeném kelímku	36
1.4.2 Stanovení obsahu nečistot.....	37
1.4.3 Měření viskozity a hustoty oleje	37
1.4.4 Infračervená spektrometrie	38
1.4.5 Atomová emisní spektrometrie	41
1.4.6 Analýza částic laserovým analyzátozem.....	43
2 Experimentální část.....	46
2.1 Technické údaje o vybraných údržbových vozidlech	46
2.1.1 Vozidlo 1 – IVECO TRAKKER typ AD260T41 (2009)	46
2.1.2 Vozidlo 2 – TATRA typ T815-2 (2005).....	47
2.1.3 Vozidlo 3 – TATRA typ T815-2 (2003).....	48
2.1.4 Vozidlo 4 – TATRA typ T815-2 (2008).....	48
2.1.5 Vozidlo 5 – TATRA typ T815-280S45 (2001)	49
2.2 Metodika odběru vzorku	50

2.2.1	Postup odběru vzorku	50
2.3	Aplikace vybraných tribodiagnostických metod.....	50
2.3.1	Stanovení bodu vzplanutí v otevřeném kelímku dle Clevelanda.....	50
2.3.2	Stanovení obsahu nečistot pomocí denzimetru REO 31.....	52
2.3.3	Měření viskozity pomocí Stabingerova viskozimetru	53
2.3.4	Měření infračervenou spektrometrií	53
2.3.5	Měření atomovou emisní spektrometrií.....	55
2.3.6	Měření částic laserovým analyzátozem.....	56
2.4	Výsledky analýz jednotlivých olejů	57
2.4.1	Analýza vzorku motorového oleje číslo 1	57
2.4.2	Analýza vzorku motorového oleje číslo 2	61
2.4.3	Analýza vzorku motorového oleje číslo 3	65
2.4.4	Analýza vzorku motorového oleje číslo 4	70
2.4.5	Analýza vzorku motorového oleje číslo 5	75
2.5	Dílčí závěr	80
3	Závěr	81
4	Použitá literatura	83

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Složení motorových olejů	14
Obr. 2 Viskozitní třídy SAE motorových olejů	17
Obr. 3 Výkonnostní klasifikace motorových olejů dle ACEA	19
Obr. 4 Otěrové kovy v motorovém oleji	29
Obr. 5 Glykol v motorovém oleji.....	31
Obr. 6 Druhy opotřebení	32
Obr. 7 Adhezivní op. přítlačného kotouče	33
Obr. 8 Abrazivní op. rychlospojky	33
Obr. 9 Erozivní op. koule uzávěru	33
Obr. 10 Kavitační op. lopatkového kola	34
Obr. 11 Únavové op. pastorku	34
Obr. 12 Vibrační op. ložiska	34
Obr. 13 Clevelandův otevřený kelímek	36
Obr. 14 Denzimetr REO 31	37
Obr. 15 Stabingeruv viskozimetr SVM 3000	37
Obr. 16 FTIR Spektrometr Nicolet iS10.....	40
Obr. 17 Princip FTIR spektrometru	41
Obr. 18 Atomová emisní spektrometrie	42
Obr. 19 Laserový analyzátor LNF Q200	44
Obr. 20 Laserové zpracování obrazu LNF	44
Obr. 21 Typy zobrazovaných částic v LNF	45
Obr. 22 Vozidlo 1 - IVECO TRAKKER typ AD260T41.....	47
Obr. 23 Vozidlo 2 - TATRA typ T815-2.....	47
Obr. 24 Vozidlo 3 - TATRA typ T815-2.....	48
Obr. 25 Vozidlo 4 - TATRA typ T815-2.....	49
Obr. 26 Vozidlo 5 – TATRA typ T815-280S45	49
Obr. 27 Clevelandův kelímek	51
Obr. 28 Infračervený spektrometr FTIR Nicolet iS 10.....	54
Obr. 29 Ukázka výsledků z FTIR spektrometru	54
Obr. 30 Atomový emisní spektrometr s počítačem	55
Obr. 31 LNF Q 200.....	56
Obr. 32 Třepačka	56

Obr. 33 Ukázka výsledků z Laserového analyzátoru	56
Obr. 34 Porovnání spekter vzorku 1 a nového oleje.....	59
Obr. 35 Detail spekter vzorku 1 a nového oleje	60
Obr. 36 Porovnání spekter vzorku 2 a nového oleje.....	63
Obr. 37 Naměřené částice LNF na vzorku č. 2.....	65
Obr. 38 Porovnání spekter vzorku 3 a nového oleje.....	68
Obr. 39 Detail spektra vzorku 3 s novým olejem	68
Obr. 40 Naměřené částice LNF na vzorku č. 3.....	70
Obr. 41 Porovnání spekter vzorku 4 a nového oleje.....	72
Obr. 42 Detail spekter vzorku 4 s novým olejem	73
Obr. 43 Naměřené částice LNF na vzorku č. 4.....	74
Obr. 44 Porovnání spekter vzorku 5 a nového oleje.....	77
Obr. 45 Detail spekter vzorku 5 a nového oleje	78
Obr. 46 Naměřené částice LNF na vzorku č. 5.....	80

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Vlnočty charakteristických sloučenin a strukturních skupin.....	39
Tab. 2 Limitní koncentrace kovů v motorovém oleji	42
Tab. 3 Ukazatelé poruch pro spalovací vznětový motor	43
Tab. 4 Hodnoty bodu vzplanutí všech vzorků	51
Tab. 5 Obsah nečistot.....	52
Tab. 6 Hodnoty naměřené Stabingerovým viskozimetrem	53
Tab. 7 Výsledky naměřené AES.....	55
Tab. 8 Porovnání bodu vzplanutí vzorku 1 s novým olejem	57
Tab. 9 Obsah nečistot ve vzorku č. 1	57
Tab. 10 Měření viskozity vzorku č. 1	58
Tab. 11 Výsledky AES vzorku č. 1	61
Tab. 12 Porovnání bodu vzplanutí vzorku 2 s novým olejem	61
Tab. 13 Obsah nečistot ve vzorku č. 2	62
Tab. 14 Měření viskozity vzorku č. 2	62
Tab. 15 Výsledky AES vzorku č. 2	64
Tab. 16 Klasifikace částic vzorku č. 2	65
Tab. 17 Porovnání bodu vzplanutí vzorku 3 s novým olejem	65
Tab. 18 Obsah nečistot ve vzorku č. 3	66

Tab. 19 Měření viskozita vzorku č. 3	66
Tab. 20 Výsledky AES vzorku č. 3	69
Tab. 21 Klasifikace částic vzorku č. 3	69
Tab. 22 Porovnání bodu vzplanutí vzorku 4 s novým olejem	70
Tab. 23 Obsah nečistot ve vzorku č. 4	71
Tab. 24 Měření viskozity vzorku č. 4	71
Tab. 25 Výsledky AES vzorku č. 4	73
Tab. 26 Klasifikace částic vzorku č. 4	74
Tab. 27 Porovnání bodu vzplanutí vzorku 5 s novým olejem	75
Tab. 28 Obsah nečistot ve vzorku č. 5	75
Tab. 29 Měření viskozity vzorku č. 5	76
Tab. 30 Výsledky AES vzorku č. 5	78
Tab. 31 Klasifikace částic vzorku č. 5	79

SEZNAM GRAFU

Graf 1 Bod vzplanutí.....	52
Graf 2 Bod vzplanutí vzorku č. 1	57
Graf 3 Změna vzorku č. 1 oproti novému oleji.....	58
Graf 4 Bod vzplanutí vzorku č. 2.....	61
Graf 5 Změna vzorku č. 2 oproti novému oleji.....	63
Graf 6 Bod vzplanutí vzorku č. 3.....	66
Graf 7 Změna vzorku č. 3 oproti novému oleji.....	67
Graf 8 Bod vzplanutí vzorku č. 4.....	70
Graf 9 Změna vzorku č. 4 oproti novému oleji.....	72
Graf 10 Bod vzplanutí vzorku č. 5.....	75
Graf 11 Změna vzorku č. 5 oproti novému oleji.....	76

ÚVOD

S nárůstem dopravy a rostoucím počtem vozidel jsou kladeny specifické požadavky na jejich stav a zejména na použité provozní kapaliny, především motorové oleje. Trendem posledních let je prodlužování intervalů výměny motorových olejů a to souvisí se zlepšováním jejich vlastností. Zvyšování kvality motorových olejů a jejich delší životnost způsobuje nárůst cen, což vede uživatele k efektivnějšímu využití olejů. Pro lepší a efektivnější využití motorových olejů slouží metody TTD, které sledováním vlastností olejů mohou optimalizovat jejich výměnné intervaly a přizpůsobit výměnu stavu opotřebení oleje. Tyto metody vedou k lepšímu technickému, ekonomickému a ekologickému využití.

U většiny vozidel jsou výměnné intervaly provozních kapalin předepsány jejich výrobcem. Není zde však přihlédnuto k individuálním provozním podmínkám, a proto je vhodné v pravidelných intervalech kontrolovat aktuální stav provozních hmot používaných v dopravních prostředcích a na základě získaných výsledků provádět údržbu.

Tato diplomová práce je věnována hodnocení stavu motoru metodami bezdemontážní tribotechnické diagnostiky (TTD).

V teoretické části práce jsou shrnuty poznatky týkající se složení motorových olejů, jeho vlastností a metod TTD, kterými lze tyto vlastnosti sledovat.

V experimentální části práce jsou uvedeny technické specifikace týkající se diagnostikovaných objektů (údržbových vozů Ředitelství krajské správy a údržby silnic Vysočiny (ŘKSÚSV) a jsou zde uvedeny výsledky analýzy motorových olejů odebraných z těchto vozů a na jejich základě je hodnocen stav motoru, který byl konkrétním motorovým olejem omýván.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Současný stav poznatků v oblasti využití tribotechnické diagnostiky

1.1.1 Význam tribotechnické diagnostiky

Tribotechnická diagnostika (TTD) je metoda bezdemontážní a nedestruktivní, která využívá mazivo jako médium pro získání informací o změnách v technických systémech. Posláním TTD je zjistit a především vyhodnotit výskyt cizích látek v mazivu a posoudit degradaci maziva jak z hlediska kvalitativního, tak kvantitativního. Na základě provedených analýz maziva je možné včas upozornit na příznaky vznikajících poruch a také lokalizovat místa vzniku mechanické závady a tím předejít poruše.

Tribodiagnostika se zabývá sledováním technického stavu provozních náplní a samotného hodnocení opotřebení mazaných součástí strojů. Analýzou samotného oleje se dá nepřímou zjištěním opotřebení, porucha, netěsnosti a další degradace mazaného systému. Degradaci olejů se lze zhodnotit jednoduchými provozními metodami, tzv. rychlometodami, klasickými chemickými (analytickými) normovanými metodami a speciálními tribodiagnostickými metodami.

Vědní obor TTD [1] obsahuje níže uvedené oblasti:

- výběr a způsoby aplikace maziv
- maziva a jejich testování
- materiály pro třecí dvojice
- způsob mazání a mazací zařízení
- výpočet, konstrukce a optimalizace třecích dvojic
- vědecké základy pro tření a opotřebení
- měřicí a kontrolní metody pro tribotechnické pochody
- spolehlivost a diagnostika (tribodiagnostika) konstrukčních součástí a skupin
- speciální technologické postupy vedoucí ke zvýšení odolnosti proti opotřebení.

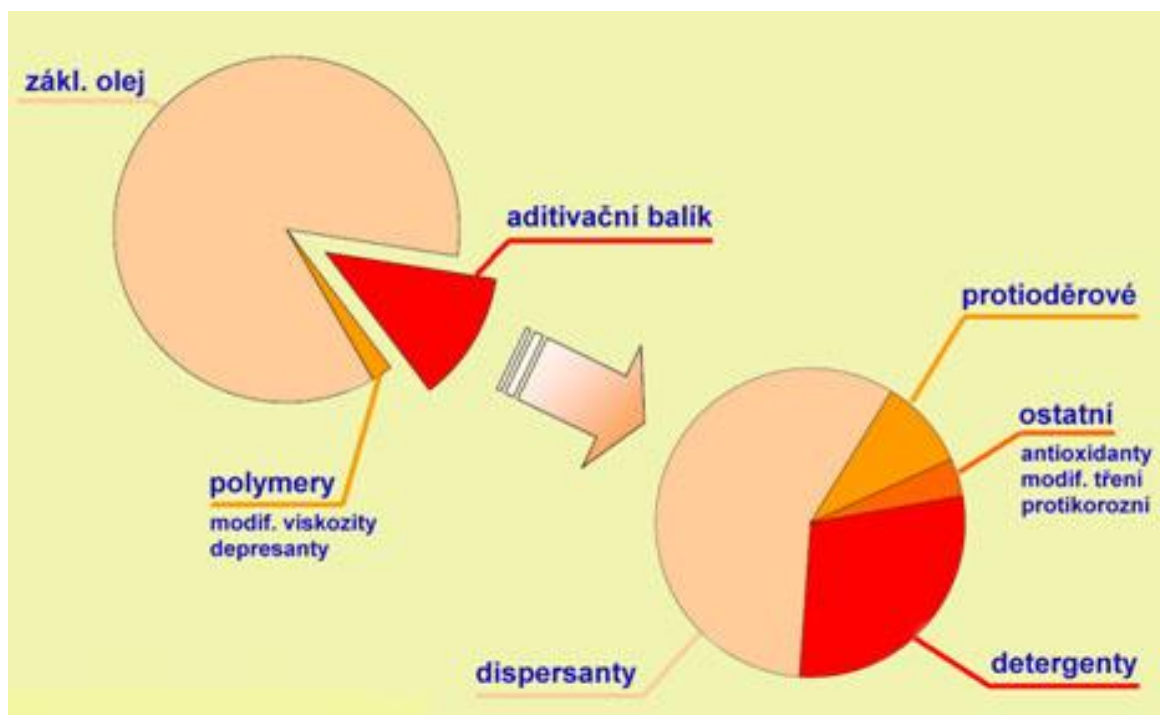
Tribotechnika je důležitou součástí údržby strojů. Cílem údržby by měla být ochrana strojů a zařízení před problémy, ne jejich oprava. Měla by udržovat stroje tak, aby se jejich

stav od doby uvedení do provozu neměnil. V praxi to znamená zajištění bezporuchovosti stroje.

Uplatnění tribotechniky lze pozorovat ve zlepšení ekonomiky výrobku či stroje po celou dobu jeho životnosti. Z hlediska celospolečenského sem přistupuje také bezpečnost provozu a ekologická ohleduplnost k životnímu prostředí. Ekonomika výrobku je charakterizována poměrem jeho užité hodnoty k vynaloženým nákladům na celkový životní cyklus výrobku [1,2,3].

1.2 Motorové oleje

Motorové oleje jsou směsi uhlovodíků, které se získávají rafinací ropy. Motorový olej se skládá ze základového oleje a aditiv pro získání požadovaných vlastností. Motorový olej je nezbytná provozní náplň spalovacích motorů a po technologické stránce je to nejsložitější olejářský výrobek.



Obr. 1 Složení motorových olejů [4]

Motorový olej v motoru plní pět základních funkcí: mazací, chladicí, čistící, ochranou a těsnící, kde hlavní funkcí je:

- Mazací - pro omezení tření mezi pohyblivými částmi.
- Chladicí - odvádí teplo vznikající při tření a hoření ve spalovacím prostoru

- Čistící - při průtoku oleje motorem se nečistoty vzniklé opotřebením při chodu motoru zachytávají v olejovém filtru
- Ochranná - olej chrání všechny kovové plochy před korozi
- Těsnící - olejový film vznikající mezi pístními kroužky a stěnou válce má dotěšňovací schopnost

Při pravidelném sledování kvality oleje a stavu motoru a pravidelné výměně oleje má motor vyšší účinnost a je méně hlučný. Proto je zapotřebí sledovat, sbírat a vyhodnocovat informace o stavu oleje. To lze zabezpečit průběžnou analýzou motorového oleje, který je odebírán v pravidelných intervalech během provozu motoru. Analýzou těchto vzorků oleje a stanovením různých tribodiagnostických parametrů tak lze determinovat aktuální kvalitu a odhadnout zbývající životnost motorového oleje. Cennou informací je také vzájemná korelace kvality a opotřebením motorového oleje s naměřenými údaji o množství a kvalitě výfukových emisí a množství otěrových částic [5,6].

1.2.1 Základní dělení motorových olejů

Dle technologie výroby se motorové oleje dělí na minerální, syntetické a polosyntetické:

Minerální oleje

Minerální oleje neboli ropné oleje jsou směsi výševroucích uhlovodíků, které se získávají z ropy, nebo z hnědouhelného či černouhelného dehtu, živočišných břídlíce apod.

Ropa v surovém stavu se v rafinériích rozdestiluje na jednotlivé frakce a frakce, která je vhodná pro výrobu olejů se rafinací upraví, tzn. (odstraní se nestabilní látky). Získaný rafinát se odparafinuje, dočistí a odfiltruje od nečistot vzniklých při teplotním zpracování. Tím vzniknou různé druhy olejů, které jsou použity jako základ pro výrobu různých druhů olejů [1].

Syntetické oleje

V posledních několika letech jsou jako syntetické oleje milně označovány i kvalitní minerální oleje. Technologie výroby minerálních olejů už opravdu došly tak daleko, že vlastnosti kvalitních minerálních a syntetických olejů se téměř vyrovnaly. Jedná se tak o neustálý boj obchodníků, kteří by "syntetický olej" říkali nejraději téměř každému oleji, protože zákazníci na to dobře slyší. Právě syntetické oleje jsou ale vyráběné syntézou z plynného etylenu nebo dalšími syntézami (např. z esterového oleje).

Syntetické oleje mají oproti ropným olejům vyšší mazivost, lepší teplotní odolnost, vyšší tekutost při nižších teplotách, vyšší viskozitní index další lepší vlastnosti a proto se používají tam, kde běžné oleje selhávají [1].

Polosyntetické oleje

Polosyntetický olej vznikne tak, že se do minerálního základu přimíchává syntetický olej. Množství syntetických složek nesmí být menší než 20 % objemu. Nejlepší polosyntetické oleje obsahují až 65 % syntetických složek. Poměr těchto složek ovlivňuje výslednou cenu oleje.

Takto vyrobený polosyntetický olej se dále aditivuje pro lepší dosažení potřebných parametrů a finální stav je kompromisem mezi oleji minerálními a oleji plně syntetickými. Kvalitativně sice nejsou polosyntetické oleje lepší jak syntetické, ale řadí se na vyšší úroveň než oleje minerální.

Dělení olejů [1] dle technologie výroby na minerální a syntetické mělo význam v polovině minulého století, kdy výroba syntetických olejů byla v počátcích a tehdejší technologie nedovedla minerální a syntetické oleje míchat, protože by došlo k destabilizaci oleje, sražení a zpěnění jejich směsí.

Nástup syntetických olejů znamenal kvalitativní skok ve vlastnostech olejů a to ve výkonových vlastnostech a požadované vysoké viskozitě olejů. Postupem doby a lepších technologií se výroba syntetických olejů upravila na bezproblémové míchání obou druhů, což mělo za následek vznik polosyntetických olejů.

V dnešní době už nelze říci, že jsou oleje čistě minerální, protože jsou postaveny na minerální bázi a k dosažení ideálních vlastností se komponují zušlechťující syntetické složky [1,7,8,9,10].

1.2.2 Klasifikace motorových olejů

Motorové oleje se klasifikují podle níže uvedených specifikací:

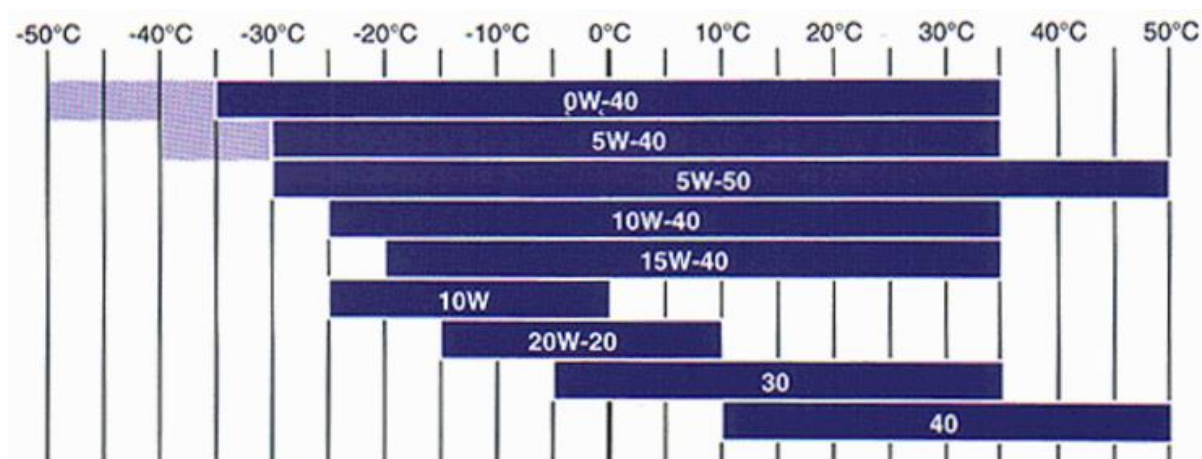
Viskozitní klasifikace SAE

Tato norma používá 11 tříd, 6 zimních označovaných písmenem W a příslušným číslem (0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W) a 5 letních tříd označovaných pouze číslem (20, 30, 40, 50, 60).

Zimní třída označuje startovatelnost motoru při nízkých teplotách, čím nižší je číslo, tím více olej zachovává dostatečnou viskozitu i při nízkých teplotách (např. 0W až do -50°C).

Letní třída naopak označuje dostatečnou viskozitu i při vysokých teplotách, čím vyšší je číslo udávané letní třídy, tím může být olej použit ve vyšších teplotách. Pro klimatické podmínky v Evropě jsou dostatečné klasifikační třídy 40 a 50. Vyšší třída by mohla snížit výkon motoru.

V současné době se výhradně používají celoroční neboli vícestupňové motorové oleje, které umožňují celoroční bezpečné mazání motoru za rozmanitých klimatických podmínek. Označují se kombinací zimní a letní třídy, typické jsou např.: SAE 5W-40 nebo SAE 5W-50, SAE 10W-40 a SAE 15W-40. Na viskozitu těchto olejů má vliv také tlak a různé přísady přidávané do olejů pro zvýšení pevnosti ve stříhu, to je vlastnost olejového filmu odolávat mechanickému namáhání. Oleje se zkouší tlakovou zkouškou, při které ztrácí svoji viskozitu a hodnota, o kterou viskozita poklesne je mírou odolnosti oleje [8,9,10,11,12].



Obr. 2 Viskozitní třídy SAE motorových olejů [12]

Výkonnostní klasifikace motorových olejů podle API

Tato výkonnostní norma dělí motorové oleje podle typu motoru na zážehové (benzínové), označené písmenem "S" (= Service) a vznětové (naftové), označené písmenem "C" (= Commercial). Výkonnostní stupeň je vyjádřen pro daný typ motoru dalším písmenem abecedy, a čím je toto písmeno dále v abecedě, tím kvalitnější je olej.

SJ/CF - olej prioritně pro benzínové motory, použitelný i pro naftové motory

CE/SG - olej prioritně pro naftové motory, použitelný i pro benzínové motory

Klasifikace API odráží vývoj automobilových olejů na americkém kontinentu, proto u vyšších tříd plně nevyhovuje podmínkám pro evropské motory (americké a evropské motory jsou konstrukčně, objemově a výkonově odlišné).

Výkonnostní klasifikace motorových olejů podle ACEA

ACEA – Asociace evropských konstruktérů vozidel, platí od roku 1995 a nahradila dříve používanou klasifikaci CCMC. Je dělena do čtyř skupin:

A – Benzínové motory

B – Diesellové motory osobních automobilů, dodávek a lehkých užitkových vozidel

E – Diesellové motory těžkých užitkových vozidel

C – Zážehové a vznětové motory osazené částicovými filtry

Výkonnostní stupeň se vyjadřuje číslem, které se uvádí dle typu motoru a píše se za písmeno. Čím je číslovka vyšší, tím kvalitnější je olej viz obr. 3 [1,8,9,10,11,12].

Výkonnostní třída ACEA	Použití oleje	HTHS [mPa.s]
A1, B1	Standardní olej, normální intervaly výměny	2,9 - 3,5
A2, B2	Standardní olej, normální intervaly výměny (Již neplatné)	> 3,5
A3, B3	Olej pro vysokou zátěž, možnost prodloužení intervalu výměny	> 3,5
B4	Jako B3 + možno použít pro dieselové motory s přímým vstřikováním	> 3,5
A4	Rezervováno pro oleje pro benzínové motory s přímým vstřikováním	-
A5, B5	Jako A3 / B4, avšak se sníženou viskozitou HTHS	2,9 - 3,5
E1	Již neplatné od 3/2000	>= 3,5
E2	Standardní olej, normální intervaly výměny	>= 3,5
E3	Olej pro vysokou zátěž, možnost prodloužení intervalu výměny (Již neplatná)	>= 3,5
E4	Olej pro extrémě vysokou zátěž, možnost prodloužení intervalu výměny	>= 3,5
E5	Olej pro vysokou zátěž, možnost prodloužení intervalu výměny	>= 3,5
E6	Vysoce stabilní oleje podporující čistotu pístů, snižující opotřebení (včetně působením sazí) a zajišťující stálé mazání. Olej je doporučován pro moderní, vysoce zatěžované vznětové motory, splňující emisní limity Euro 1-4. Umožňuje prodloužené výměnné intervaly dle doporučení výrobce. Je vhodný pro motory se systémy EGR (Exhaust Gas Recirculation), DPF (Diesel Particulate Filter) a SCR NO _x (Selective Catalitic Reduction). Třída E6 je zvláště doporučována pro motory s DPF systémy, které spalují palivo s nízkým obsahem síry (50 ppm).	>= 3,5
E7	Stabilní oleje zabraňující usazování nečistot na pístech a vzniku zrcadlových ploch na stěnách válců. Omezuje opotřebení (včetně působením sazí), vznik úsad v turbodmychadlu. Olej je doporučován pro moderní, vysoce zatěžované vznětové motory splňující emisní limity Euro 1-4. Umožňuje prodloužené výměnné intervaly dle doporučení výrobce. Je vhodný pro většinu motorů se systémy EGR (Exhaust Gas Recirculation) a SCR NO _x (Selective Catalitic Reduction), není vhodný pro systémy DPF (Diesel Particulate Filter).	>= 3,5
C1	Stabilní olej kompatibilní s katalyzátorem pro vysoce výkonné zážehové i vznětové motory osobních a lehkých nákladních automobilů se systémy DPF (Diesel Particulate Filter) a TWC (Three Way Catalyst), které vyžadují nízkoviskózní oleje se sníženým obsahem SAPS (Sulfate Ash Phosphorus Sulfur - sulfátový popel, síra, fosfor) a HTHS vyšší než 2,9 mPa.s. Tyto oleje prodlužují životnost systémů DPF a TWC a snižují spotřebu paliva.	> 2,9
C2	Stabilní olej kompatibilní s katalyzátorem pro vysoce výkonné zážehové i vznětové motory osobních a lehkých nákladních automobilů se systémy DPF (Diesel Particulate Filter) a TWC (Three Way Catalyst), které vyžadují nízkoviskózní oleje s HTHS vyšší než 2,9 mPa.s. Tyto oleje prodlužují životnost systémů DPF a TWC a snižují spotřebu paliva.	> 2,9
C3	Stabilní olej kompatibilní s katalyzátorem pro automobily se systémy DPF (Diesel Particulate Filter) a TWC (Three Way Catalyst). Tyto oleje prodlužují životnost těchto systémů.	> 3,5
C4	Stabilní olej kompatibilní s katalyzátorem pro automobily se systémy DPF (Diesel Particulate Filter) a TWC (Three Way Catalyst). Tyto oleje prodlužují životnost těchto systémů. (platná od roku 2006)	> 3,5

Obr. 3 Výkonnostní klasifikace motorových olejů dle ACEA [12]

1.2.3 Aditivace motorových olejů

Aditiva jsou chemické přísady, které zlepšují vlastnosti plastických maziv a olejů. Množství a druhy aditiv se liší podle způsobu užití maziv a olejů. Obsah aditiv v mazivu se pohybuje mezi 1-25%. Množství a druh aditiv stanovují výrobci na základě norem a praktických zkoušek. Aditiva do olejů se používají pro zlepšení jejich účinků např. chlazení motorů, čištění motorů, dotěsnění motorů, snížení tření, zlepšení studených startů. Aditiva jsou odlišná pro motorové, převodové i hydraulické oleje [1,9,11].

Dle chemické struktury lze aditiva dělit na:

- Polární
- Nepochární

Polární aditiva

Velké množství polárních aditiv jsou tzv. povrchově aktivní – polární látky. Polární látky jsou chemické látky, jejichž molekuly jsou nesymetrické, a proto na jejich koncích vzniká elektrický náboj. Těmito náboji jsou molekuly přitahovány k povrchům, např. k povrchu pístu uvnitř válce motoru. Polární aditiva vytvoří na povrchu tenký film, který v závislosti na chemickém složení aditiva zvyšuje odolnost proti korozi, poškození vysokým tlakem, chrání před opotřebením a proti usazování nečistot apod.

Nepochární aditiva

Nepochární aditiva nejsou přitahovány vodou, kyselinami ani částicemi sazí nebo kovy. Nepochární aditiva nejsou povrchově aktivní. Nejsou přitahována k povrchům, ale rovnoměrně rozptýlována po celém objemu maziva. Tato aditiva jsou velice významná, protože zlepšují viskozitu maziva, snižují bod tuhnutí maziva a chrání gumová těsnění proti poškození, apod. [1].

Dle jednotlivých typů se aditiva dělí na:

- Aditiva s povrchovým účinkem:
 - **Detergenty**

Detergenty mají funkci neustále čistit kovové povrchy motoru a uvolňovat zárodky různých usazenin, kalů nebo karbonových povlaků z povrchu mazaných dílů. Uvolněné

nečistoty však není dobré ponechat v oleji bez dozoru a bez kontroly, aby nedošlo k jejich shlukování, zvětšování shluků nečistot a jejich opětovnému usazování v olejovém systému.

- **Disperzanty**

Disperzanty slouží k obalení každé uvolněné částice nečistoty a zabraňují jejich vzájemnému spojování či shlukování a jejich následnému usazování. Každá molekula disperzantů má jeden konec polární, který se přichytí na nečistotě a druhý konec molekuly je nepolární a dokonale rozpustný v oleji. Díky tomuto mechanismu jsou všechny malé částičky nečistot v oleji dobře dispergovány a nemohou se shluknout a usadit. Rozměry většiny dispergovaných částiček nečistot jsou malé v řádech několika setin až maximálně desetiny mikrometru. Jsou mnohem menší, než je tloušťka mazacího filmu a bez problému také prochází všemi filtry. Takto zajištěné nečistoty nepůsobí v oleji žádné podstatné problémy.

Tyto detergentní a disperzantní schopnosti motorového oleje však nejsou nekonečné a i z tohoto důvodu je proto nutné dodržovat výměnné lhůty a včas motorový olej vyměnit. V oleji se také časem hromadí i větší částice různých nečistot, jako je prach či otěr, zejména při nižší účinnosti vzduchových, palivových a olejových filtrů, se kterými si disperzantní přísady již nejsou schopny poradit [5,13].

- **Aditiva zlepšující ochranu proti vysokému tlaku a opotřebení**

Aditiva tvoří chemickou reakci na povrchu kovu, která zamezí kontaktu kov na kov a chrání před vzájemným opotřebením ocelových částí, které se vzájemně třou pod vysokým tlakem

- **Aditiva zvyšující ochranu proti korozi**

Tyto aditiva vytváří na povrchu kovů ochranný film, který zabraňuje tvorbě koroze. Chrání před oxidací kovových povrchů vlivem agresivních sloučenin vznikajících při spalování

- **Aditiva upravující tření**

Aditiva upravující tření mezi třecími plochami na požadovanou a přijatelnou hodnotu

- Aditiva pro zlepšení jakosti olejů:
 - **Aditiva zlepšující viskozitu**

Aditiva neboli modifikátory viskozity, jsou závislé především na teplotě a rozšiřují teplotní rozsah, v kterém může motorový olej plnit svoji funkci. Jsou to polymerní látky rozpouštějící se při vysokých teplotách a tím zvyšují viskozitu oleje. Zvyšující se teplotou viskozita oleje klesá, a proto je olej použitelný celoročně

- **Aditiva snižující bod tuhnutí**

Tato aditiva (**depresanty**) snižují možnost shlukování parafinů v mazivu za nízkých teplot. Při nízkých teplotách dochází u minerálních olejů k vylučování a shlukování parafinů a tím ke zvyšování hustoty oleje. Zvýšená hustota oleje zhoršuje kvalitu mazání a zvyšuje ztráty energie

- **Chránič elastomery**

Jedná se o aditiva zpomalující stárnutí gumových a umělohmotných částí, které jsou ve styku s oleji. Zamezují chemické degradaci elastomerů obsažených v plastických a gumových dílech a zajišťují jejich stálou elasticitu

- Aditiva pro ochranu oleje:
 - **Zpomalovače stárnutí**

Zpomalovače stárnutí jsou aditiva zpomalující chemickou degradaci maziva při vyšších teplotách. Likvidací oxidačních činidel zamezují vzniku nežádoucích chemických sloučenin, které vedou ke zkrácení životnosti. Degradacním procesem mazivo tmavne a dochází ke zvyšování viskozity.

- **Deaktivátory kovů**

Deaktivátory kovů neutralizují ionty kovů v oleji a na kovových površích vytváří ochranný film a tím zmírňují nebo ukončí katalyckou reakci. Zabraňují chemickým reakcím probíhajícím na povrchu mikroskopických kovových částecek přítomných v mazivu, které vznikají při tření kovu o kov, čímž působí jako katalyzátor chemických degradačních procesů. Těmto reakcím deaktivátory kovů zabrání tak, že se kolem částecek vytvoří ochranný film a tím dojde ke zpomalení stárnutí maziva.

- **Aditiva snižující pěnovost**

Jsou to aditiva založena na silikonové bázi a urychlující rozklad vzniklé pěny, tím se zlepšuje mazání a snižuje stárnutí maziva. K tvorbě pěny dochází při intenzivním promícháváním motorového oleje se vzduchem, pěna pak urychluje stárnutí oleje a tím zvyšuje stlačitelnost maziva nebo dokonce jeho únik ze zařízení. Pěnění vede ke stárnutí oleje, zvýšení viskozity a stlačitelnosti [1,5,9,11,13].

1.3 Diagnostika motorových olejů

Motorový olej je z technologické stránky velmi složitý produkt, který slouží mimo jiné jako nositel informací o stavu motoru. Cílem diagnostiky je sledování kvality oleje, podle které se určí optimální doba na výměnu, tak aby výměna byla provedena v nejlepší čas a to pokud možno po plném využití oleje a zároveň včas, aby nedošlo ke škodám na motoru. Je důležité provádět odběr vzorku oleje dle předepsaných pravidel a normy ČSN 65 6207.

1.3.1 Sledované vlastnosti motorových olejů

Při diagnostice motorových olejů sledujeme změnu jejich fyzikálně-chemických vlastností a dále produkty jejich provozního opotřebení a průnik kontaminantů, které se během provozu do oleje dostaly.

Viskozita

Viskozita je pro motorové oleje jedna z nejdůležitějších vlastností. Viskozita je měřítkem tekutosti kapalin neboli udává velikost vnitřního tření v kapalině. Oleje s nižší viskozitou jsou tekutější (řidší) a mají menší vnitřní odpor proti proudění. Vyšší viskozita olejů (hustější oleje) naopak znamená vyšší odpor a tím také pomalejší proudění, přeneseně pak i vyšší odpor proti vzájemnému pohybu dvou mazaných součástí.

Na stykové ploše dvou vrstev tekutiny pohybujících se různou rychlostí se projevuje viskozita tečným napětím, jímž se snaží rychlejší vrstva urychlovat pomalejší, a pomalejší zadržovat vrstvu rychlejší. Určuje vlastně režim mazání, tvorbu a únosnost mazacího filmu, velikost odporu pohyblivých částí, čerpatelnost a těsnicí schopnost. Vlivem tlaku a teploty se může viskozita oleje měnit. Tyto závislosti určují vlastnosti použitého oleje. Mírou závislosti je koeficient viskozity [1,10,14].

Viskozita se pro měření dělí na kinematickou a dynamickou viskozitu.

Dynamická viskozita η je dána jako vztah míry tření proudící kapaliny při rychlosti $1\text{mm}^2/\text{s}$ a je konstantou úměrnosti ve vztahu vyjadřujícím přímou úměrnost mezi velikostí tečného napětí τ a rychlostním spádem dv/dz .

Dynamická viskozita se vypočte ze vztahu:

$$\tau = \eta \cdot \frac{dv}{dz} \dots [\text{Pa}]$$

Tedy pro dynamickou viskozitu

$$\eta = \frac{\tau}{\frac{dv}{dz}} \dots [\text{Pa} \cdot \text{s}]$$

kde τ – smykové napětí [Pa]

η – dynamická viskozita [Pa.s]

dv/dz – rychlostní gradient [s^{-1}]

Kinematická viskozita ν je definována jako poměr dynamické viskozity a hustoty kapaliny při stejné teplotě. Měření kinematické viskozity je ovlivněno zemskou přitažlivostí, proto se měření provádí ve svislé poloze, kdy kapalina teče dolů.

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \dots [\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$$

kde: ν – kinematická viskozita [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]

η – dynamická viskozita [Pa.s]

ρ – hustota kapaliny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Kromě uvedené jednotky [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] se kinematická viskozita uvádí také v [$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$].
Dříve se používala jednotka (centistokes), kde $1 \text{ cSt} = 1 [\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$.

Viskozitní index

Viskozitní index oleje je bezrozměrná veličina, která udává vliv teploty na viskozitu oleje v porovnání s dvěma řadami standardních olejů (oleje z mexické ropy a oleje z pensylvánské ropy), které mají při teplotě 98,89°C (210°F) stejnou viskozitu jako zkušební olej. Z toho vyplývá, že oleje s vyšším viskozitním indexem mají příznivější průběh viskozitně – teplotní závislosti než olej s nižším viskozitním indexem

Viskozitní index se vypočte ze vztahu:

$$VI = \frac{L-U}{L-H} \cdot 100 = \frac{L-U}{D} \cdot 100$$

kde: L - viskozita [$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] oleje s VI = 0 při 100°F (37,78°C), jehož viskozita při 210°F (98,89°C) je stejná jako viskozita zkoušeného oleje při téže teplotě.

U - viskozita [$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] zkoušeného oleje při 100°F (37,78°C).

H - viskozita [$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] oleje s VI = 100 při 100°F, jehož viskozita při 210°F je stejná jako viskozita zkoušeného oleje při téže teplotě.

$$D = (L-H)$$

Při provozu dochází k velkým změnám viskozity v motorovém oleji. Důvodem nárůstu viskozity oleje při provozu je termická a oxidační degradace. Naopak snížení viskozity způsobuje nadměrný obsah paliva v oleji. Další příčinou snižování viskozity je tzv. stříhová stabilita modifikátorů viskozity. To jsou tzv. polymerní látky, které upravují viskozitu motorových olejů a zvyšují jejich viskozitní index.

Automobilové motorové a převodové oleje jsou charakterizovány viskozitními třídami podle americké SAE (SAE = Society of Automotive Engineers), což je celosvětově uznávaná a používaná klasifikace amerických inženýrů, rozděluje oleje podle viskozitních vlastností při nízkých a vysokých teplotách okolí i uvnitř motoru [1,10,14].

Bod vzplanutí - palivo v motorovém oleji

Určení obsahu paliva v oleji je jednou z velmi důležitých vlastností motorových olejů. Nejčastěji se pro vyhodnocení obsahu paliva v oleji používá metoda stanovení bodu vzplanutí oleje. Měření se provádí Clevelandovým kelímkem dle ČSN EN ISO 2592. Poklesne-li bod vzplanutí pod 180-190°C u vznětových motorů a pod 140-150°C u zážehových, znamená to, že v oleji je již maximální přípustná koncentrace nafty/benzínu. Pokud dojde k takové

koncentraci na konci výměnného intervalu, stačí motorový olej vyměnit. Pokud je takový pokles bodu vzplanutí zaznamenán např. v polovině výměnného intervalu, je zapotřebí servisní zásah. Tyto základní informace by měl znát každý, kdo často přichází do styku s motory a oleji.

Je třeba říci, že nepatrné množství paliva je v oleji přítomné vždy, ať už jde o naftu či benzin. Palivo se do oleje může dostat jednak přirozenou cestou, tj. spolu se spalinami z prostoru válce kolem pístních kroužků do klikové skříně, anebo díky závadě na motoru. Netěsnosti kolem pístních kroužků velmi ovlivňují degradaci a životnost olejové náplně. Výfukové plyny vždy obsahují nespálené palivo, ale většina odchází do výfukového traktu, kde si s nespáleným palivem poradí u zážehového motoru řízený katalyzátor, u vznětového motoru odchází nespálená nafta do ovzduší. Pokud ale projdou výfukové plyny do klikové skříně, dostanou se do kontaktu s olejem. Potom už záleží jen na tom, jaká je teplota oleje a prostoru klikové skříně. U studených motorů dochází ke kondenzaci par paliva do oleje v mnohem větší míře než u motorů při provozní teplotě. Tímto způsobem se může u osobních automobilů během výměnného intervalu dostat do oleje průměrně 1-2 % benzínu či nafty. U velkoobjemových vznětových motorů s delšími výměnnými intervaly pak i o něco více, ale maximální přípustnou hranici udává většina výrobců motorů kolem 4 % paliva v oleji. Překročí-li množství paliva v oleji tuto mez, znamená to ve většině případů závadu na motoru. Závady bývají zpravidla na vstřikování paliva: zakarbonované či přicpané vstřikovací trysky (špatný palivový filtr) a tím nedokonalý rozptyl paliva, defekty těsnících kroužků, špatná funkce vstřikovacího čerpadla apod.

Někdy může být příčinou i špatná kvalita paliva. Pokud benzin či nafta mají špatné destilační rozmezí a obsahují těžší látky než by měly, potom tyto látky nejsou v motoru dokonale spalovány. Motory nejsou seřizovány na spalování těžších podílů paliva a výfukové plyny pak obsahují větší množství nespáleného paliva než obvykle [14,15,16].

Oxidační stabilita

Oxidace je reakce mezi kyslíkem ze vzduchu a molekulami motorového oleje, tedy kyslíkem a uhlovodíky. Kyslík při oxidaci reaguje s olejem a mění tím jeho vlastnosti a to za podpory teploty. Čím je teplota oleje větší, tím olej rychleji oxiduje. Pouhé zvýšení teploty o 10°C přináší přibližně zdvojnásobení rychlosti oxidace. Jelikož je oxidace podporována zvýšenou teplotou, mluví se o termooxidačním stárnutí oleje, při němž olej kromě oxidace podléhá současně i dalším určitým termickým změnám.

K největším změnám v oxidaci oleje dochází tam, kde je nevyšší teplota tedy v oblasti pístů a ventilů a třeba i u turbodmychadla. K oxidaci dochází v klikové skříně díky přítomnosti horkých spalin, které sem pronikají z válců motoru. Tyto spaliny přináší do klikové skříně vysokou teplotu a výfukové plyny (a s nimi i NO_x). Díky odvětrávání klikové skříně jsou přítomny vzduch i kyslík. V klikové skříně dochází k promíchávání oleje, kterým jsou pokryty stěny skříně, kliková hřídel atd. a olej má proto velký povrch ve styku s horkými spalinami a se vzduchem. Tedy ideální podmínky k nitraci oleje.

Důležitý kvalitativní ukazatel u motorového oleje je jeho odolnost vůči vysokým teplotám za přítomnosti spalin. Čím je teplota a doba odolnosti vyšší, tím je olej kvalitnější.

Je-li termo-oxidační stabilita oleje malá nebo je dlouhodobým provozem vyčerpána, může docházet k zapékání pístních kroužků, které jsou tísněny úsadami kalů a později i karbonu a čerpací a těsnicí schopnost kroužků se zhoršuje až k nule. Výkon motoru klesá, roste spotřeba motorového oleje a dochází k profuku spalin do karteru motoru. Tento proces je nebezpečný v pomalém, ale ve finále výrazném, poklesu parametrů motoru [17].

Kyselé látky

Palivo ve válci není nikdy spáleno naprosto dokonale. Hoření paliva je oxidační proces, kdy jsou molekuly paliva postupně, avšak velmi rychle, oxidovány až na konečné produkty spalování (vodu a oxid uhličitý). Protože spalování není úplně dokonalé, jsou ve spalinách, přítomny v určitém množství všechny meziprodukty oxidace a ty jsou téměř všechny kyselé s různým stupněm kyselosti. Dalším zdrojem tvorby kyselin při spalování paliva jsou oxidy dusíku (NO_x). Oxidy dusíku vznikají ze vzdušného dusíku, kterého je ve vzduchu kolem 78 % (kyslíku 21 %, oxidu uhličitého a dalších plynů 1 %). Při vysokých teplotách spalovacího procesu se vzdušný dusík oxiduje vzdušným kyslíkem a vznikají oxidy dusíku. Kromě oxidů dusíku je ve spalinách i voda ze spalování paliva, a ta ve styku s oxidy dusíku vytváří velmi silné kyseliny.

Důležitý je také obsah síry v palivu, obzvláště v naftě. Sírné látky v palivu tvoří při spalování oxidy síry, z nichž opět reakcí s vlhkostí vznikají velmi silné kyseliny. Naštěstí se díky legislativě v posledních letech koncentrace síry v palivě zlepšuje. Problematickou složkou benzinů může být i bioetanol. Oxidačním produktem bioetanolu při jeho spalování je kyselina octová, která může ovlivňovat kvalitu a vlastnosti motorového oleje.

Kyselé ani zásadité látky nejsou v motorovém oleji žádoucí a v nejhorším případě mohou způsobit závažnou korozi motoru. Proto všechny motorové oleje obsahují alkalické sloučeniny, které neutralizují působení kyselých látek. Těmto alkalickým látkám se jinak říká alkalická rezerva oleje, vyjadřuje se pomocí hodnoty TBN (Total Base Number - celkové číslo alkality). Čím je TBN oleje vyšší, tím déle vydrží olej neutralizovat kyselé látky. Stejně jako alkalitu oleje je i kyselost oleje možné vyjádřit měřitelnou hodnotou TAN (Total Acid Number - celkové číslo kyselosti). Toto číslo vyjadřuje množství slabě i silně kyselých látek v oleji. Obě hodnoty, TBN i TAN, se vyjadřují ve stejných jednotkách - mg KOH/g. Olej např. s TAN = 6mg KOH/g tak obsahuje v 1g tolik kyselých látek, které lze neutralizovat 6 mg hydroxidu draselného. Výrobci motorů často doporučují využití oba tyto testy a získat více informací o stavu oleje pro lepší ochranu oleje [6,14,18].

Otěrové kovy

Motor a všechny třecí povrchy vněm jsou vyrobeny z určitých kovových materiálů. Většinou jde o zušlechtné železo s přidavkem jiných kovů, o hliníkové či měděné součástky, nebo díl motoru potažený povrchovou vrstvičkou jiného kovu, např. s cílem zvýšit tvrdost povrchu, zlepšit protikorozní ochranu, zlepšit kluzné vlastnosti apod. Díky těmto případům se kromě železa samotného musíme zajímat i o další kovy, např. hliník, měď, cín, nikl, stříbro, chrom, olovo apod. Povrch kovů i sebevíc vysoustružený není nikdy naprosto hladký, a proto jsou v motoru povrchy odděleny vrstvou olejového filmu. Viskóznější oleje vytvářejí při stejné teplotě silnější vrstvu olejového filmu než méně viskózní oleje. Pomocí olejového filmu nepřicházejí povrchy do kontaktu anebo jen minimálně díky větším nerovnostem. Avšak když na třecí plochy působí nějaká přitlačná síla, může být vrstva oleje vytlačena a dva povrchy přijít do kontaktu.

Pokud dochází k vzájemnému kontaktu dvou povrchu, dochází k vzájemnému odírání jejich nerovností a oddělování mikroskopických částeczek konstrukčního kovu. Tyto částecčky pak přecházejí do oleje. Potom je možné chemicky stanovit množství určitých prvků kovu v oleji (obr. 4) a na základě množství také odhadnout významnost tření v motoru. Díky tomu, že konstrukční kovy různých dílů motoru jsou většinou vyrobeny ze specifických materiálů, je z množství konkrétního konstrukčního kovu v oleji možné také odhadnout pravděpodobné místo, kde k závadě dochází. Touto diagnostikou lze předcházet (prognostikovat) velkým závadám a haváriím motorů mnohem dříve, než by se na závadu přišlo díky jejím dalším projevům (hluk nebo vibrace motoru, zvýšená teplota oleje apod.) [14,15,19].

Otěrový kov	Původ - motorový díl
železo	vyskytuje se téměř vždy jako hlavní konstrukční kov, jeho koncentrace je až na výjimky vždy nejvyšší
měď	ložiska, ventilová skupina - zdvihátka, pouzdro pístního čepu, bronzové díly
chrom	chromované díly - těsnicí kroužky, vložky apod.
nikl	součást konstrukční oceli ložisek, hřídelí, ventilů
hliník	písty, válečková ložiska, určité typy pouzder
olovo	valivá ložiska, u starých zářehových motorů kontaminace z benzínu
cín	ložiska, bronzové díly
stříbro	postříbřená ložiska
křemík	indikátor prachu, špatný stav vzduchového filtru

Obr. 4 Otěrové kovy v motorovém oleji [14]

Mechanické nečistoty v motorovém oleji

Nejčastějším zdrojem cizích částic v motorovém oleji je nasávaný vzduch, který sebou při nasátí vnáší do spalovacího traktu i prachové částice. Tyto částice rozdělujeme na velké, střední a malé. Velké a střední částice jsou zachytávány na vzduchovém filtru a menší částice se mohou dostat do spalovacího procesu a po spláchnutí olejovým filmem i do motorového oleje. Jejich velikost je několik mikrometrů a jsou velmi tvrdé (většinou částice křemičitého prachu) a tedy abrazivního charakteru, což může vést k degradaci olejových přísad [14,20].

Saze v motorovém oleji

Saze jsou tvořeny téměř čistým uhlíkem a jsou velmi tvrdé s ostrými hranami. Velikost sazí je přibližně setina mikrometru. Avšak díky aglomeraci a shlukování částic se však jejich velikost zvětšuje na několik setin až jednu desetinu mikrometru. Dalšímu shlukování a růstu velikosti částic sazí zabraňují disperzanty v motorovém oleji. Částice kolem desetiny mikrometru jsou mnohem menší, než je velikost olejového mazacího filmu či velikost pórů olejového filtru.

Saze se v motorovém oleji hromadí už od začátku používání a už malé množství sazí v oleji stačí k tomu, že způsobí zčernání oleje. Mnohdy saze v motoru zůstanou z předešlého oleje. Problémy se sazezi nastávají, pokud je jejich množství v oleji velmi vysoké. Udává se, že limitní koncentrace sazí jsou přibližně 3 hmotnostní procenta. U některých moderních motorů a odpovídajících olejů může být tato limitní koncentrace i vyšší. Záleží přitom na kvalitě základového oleje i na použitých aditivech a účinnosti disperzantů [14,20].

Glykol a voda v oleji

Glykol je součástí všech nemrznoucích kapalin a to ve formě etylenglykolu nebo propylenglykolu. Nemrznoucí kapalina se do motorového oleje může dostat poměrně lehce při závadě na hlavě válců a to nemusí jít ani o zřetelnou závadu (např. prasklá hlava válců), ale i o drobné průniky nemrznoucí kapaliny do motorového oleje. Nemrznoucí kapaliny jsou dnes navíc aditivovány látkami, které zabraňují korozi chladicího systému. Glykoly a aditiva reagují s motorovým olejem více než obyčejná voda, která se s nemrznoucí směsí dostává do oleje. Výsledkem pak je, že již při velmi nízkých koncentracích chladicí kapaliny v oleji dochází k nevratným a závažným změnám v motorovém oleji a ke ztrátě jeho funkce. Rychlost, s jakou dojde ke zničení oleje a tím případně i motoru, závisí na množství proniklé nemrznoucí kapaliny a glykolu. Konec je však neodvratný. Olej rychle zcela zčerná, ztrácí kapalnou formu a objevují se v něm nerozpustné úsady a kaly. Pokud je i v tomto stavu dále provozován, nakonec téměř úplně ztuhne a neodvratně dojde k zadření motoru. Před zadřením se nás motor ještě snaží upozornit, že všechno není v pořádku, tím, že budeme mít potíže s nastartováním díky hustému a později i ztuhlému oleji [21].



Obr. 5 Glykol v motorovém oleji [21]

Voda je běžným produktem spalování paliva a styk motorového oleje a vody je v motoru běžný a nelze mu zabránit. Voda i oxid uhličitý jsou v ideálním stavu produktem spalování benzínu nebo nafty. Po startu v zimním období lze vodu pozorovat jako bílý kouř nebo kapky vody jdoucí z výfuku. Výfukové plyny obsahují škodliviny, které jsou produktem nedokonalého spalování paliva (zbytkové uhlovodíky, karcinogenní polyaromatické uhlovodíky, aldehydy, saze a další) nebo přeměny neškodného vzdušného dusíku na jeho nepříjemné oxidy.

Spálíme-li v motoru jeden litr benzínu nebo nafty, vznikne přibližně jeden litr vody, který v naprosté většině odchází ve formě páry do výfuku a dále do ovzduší. Část spalin se ale dostává z válce přes pístní kroužky do klikové skříně a zde dochází ke styku horké vodní páry ve spalínách s motorovým olejem. Pokud jsou olej a celá kliková skříň vyhřáté na provozní teplotu (80-100°C), pak je vše v pořádku a nic závažného se nemůže stát. Voda klikovou skříň ve formě vodní páry opět opustí.

Jiná situace nastává, pokud je motor studený. Jestliže horké spaliny s vodní párou přijdou ve studené klikové skříni do styku se studeným motorovým olejem, tak dochází ke kondenzaci vodní páry, kde se zkapalněná voda hromadí v motorovém oleji, který

se intenzivně promíchává, a vytvářejí se emulze vody v oleji, jejíž vzhled rozhodně není příliš vábný. Takový olej usazený na víčku olejové vany pak vystraší nejednoho motoristu [21].

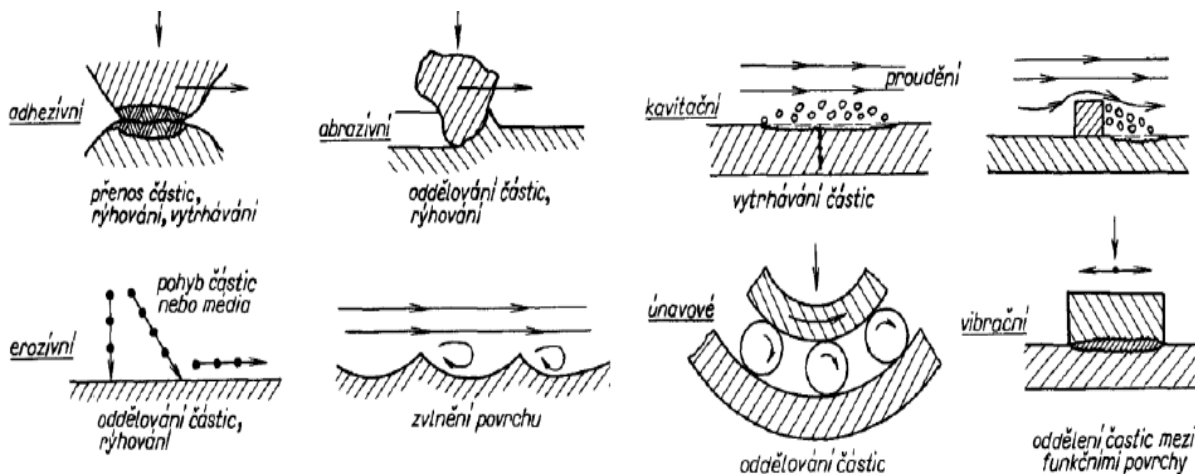
Obsah vody v motorovém oleji se stanovuje [21]:

- a) **Prskací test** - Test spočívá v posouzení obsahu vody v oleji na horké destičce zahřáté na 120°C. Běžně se provádí na zahřáté žehličce. Při kápnutí oleje na horkou plochu žehličky je možné slyšet prasknutí, způsobené rychlým odpařením vody. Olej kontaminovaný vodou pění, kapka se na rozpálené kovové ploše roztéká.
- b) **Kapková zkouška** – Zkouška spočívá v kápnutí kapky oleje na speciální chromatografický papírek, kde kapka difunduje a vytvoří souvislé kruhové vrstvy, při vzniku bezbarvého mezikruží zjistíme, že olej obsahuje vodu.
- c) **Titrace podle Karl Fischera** – využívá se coulometrické metody, kdy se využívá chemikálie s malou nebezpečností a sleduje se změna vodivosti. Tato metoda je přesná a rychlá, sleduje se koncentrace ppm na desítky %.
- d) **FTIR spektrometrie** – používají se speciální přístroje a sleduje se absorpční pás v oblasti vlnočtu kolem 3400 cm^{-1} . Podrobně popsáno v kapitole 1.4.6.

1.3.2 Druhy opotřebení a tření

a) Opotřebení

Opotřebení je nežádoucí trvalá změna tvaru, velikosti nebo struktury materiálu na jeho povrchu. Projevuje se odstraňováním nebo přemísťováním částic hmoty z povrchu součásti mechanickými účinky působících sil, doprovázenými někdy i jinými vlivy, např. chemickými nebo elektrochemickými. Jedná se o nevratný úbytek materiálu, který vede k postupné ztrátě požadované funkčnosti stroje či strojního zařízení.



Obr. 6 Druhy opotřebení [22]

Opotřebení dělí na šest základních druhů:

- Adhezivní

vzniká oddělováním a přemísťováním částic kovu mezi dvěma stykovými plochami, kdy v důsledku pohybu funkčních povrchů dochází k porušování povrchových vrstev materiálů



Obr. 7 Adhezivní op. přitlačného kotouče [23]

- Abrazivní



Obr. 8 Abrazivní op. rychlospojky [23]

vzniká oddělováním částic z funkčního povrchu působením tvrdého a drsného povrchu druhého tělesa – abrazivní částice

- Erozivní

vzniká dopadáním částic obsažených v proudícím médiu na povrch funkční plochy. Pokud má částice dostatečnou energii při dopadu, v závislosti na úhlu dopadu způsobí vytlačení nebo oddělení materiálu z funkční plochy



Obr. 9 Erozivní op. koule uzávěru [23]

- Kavitační

vzniká oddělováním částic kovu z povrchu funkční plochy v místech zániku kavitačních „bublin“, vznikajících v kapalině. Ke kavitaci dochází v proudící kapalině v místech, kde se zvyšuje rychlost proudění a důsledkem je snížení tlaku kapaliny. Objeví se kavitační bubliny vyplněné plynem (párou), které ulpí na povrchu kovu a zaniknou implozí



Obr. 10 Kavitační op. lopatkového kola [23]

- Únavové



Obr. 11 Únavové op. pastorku [23]

vzniká postupnou kumulací poruch v povrchové vrstvě funkčních ploch, kde vznikají postupně se rozšiřující oblasti mikrotrhlin, po čase dochází k jejich „spojování“ a postupně vznikají rozsáhlejší oblasti únavového poškození. Únavové poškození vzniká při cyklickém namáhání součástí

- Vibrační

vzniká vzájemnými kmitavými tangenciálními posuny funkčních ploch při spolupůsobení normálového zatížení. Je doprovázen vznikem oxidů železa s typickou hnědočervenou barvou neboli tzv. krvácení materiálu. Vibračním opotřebením jsou poškozeny i velmi tvrdé materiály bez ohledu na přítomnost maziva [1,19,24].



Obr. 12 Vibrační op. ložiska [23]

Olej v motoru má za funkci oddělit stykové povrchy, odstranit místní napětí ve styku mikronerovností povrchu a působit jako chemická ochrana proti korozi. Nejlépe olej plní svou funkci v podmínkách hydrodynamického nebo hydrostatického mazání, kdy funkční povrchy jsou oddělené dostatečně silnou vrstvou oleje. Tloušťka olejového filmu závisí na viskozitě oleje, na kluzné rychlosti a zatížení. Při mezním mazání jsou stykové plochy odděleny tenkou vrstvou oleje, který i přes svou nepatrnou tloušťku zmenšuje dotyk styčných ploch a tím snižuje celkové množství přeneseného otěrového materiálu ve srovnání s třením za sucha.

Rozhodující vliv na mazací schopnosti má teplota. Čím vyšší je teplota stykových ploch a oleje, tím klesá viskozita oleje i tloušťka mazací vrstvy a přibývá stykových plošek a roste třecí odpor i teplota oleje až se poruší souvislá mazací vrstva a dojde k tvorbě otěrových částic.

Při spuštění studeného motoru klade studený viskóznější olej větší odpor při průtoku olejovými kanály, dokud se teplota nezvýší teplem ze spáleného paliva a tím sníží viskozitu oleje. Do té doby pracuje motor s nedostatečným množstvím oleje na třecích plochách a v tento časový interval dochází k 70% celkového opotřebení motoru oděrem [1,19,24].

b) Tření

Tření je proces, který nastává při vzájemném relativním pohybu ve stykových místech dvou prvků systému (pevných, tepelných či plynných). Při každém tření (smykovém, kapalném, valivém) existuje třecí síla, které vždy působí proti pohybu.

- ***Rozlišujeme 2 základní druhy tření:***

- **smykové** – vzniká mezi plochami dvou těles, kde dochází ke styku na velké kluzné ploše

- **valivé** – vznikne při odvalování rotačního tělesa po rovinné nebo zakřivené ploše.

- ***Dle toho, za jakých podmínek tření probíhá, jej dělíme na:***

- **tření suché** – mezi pevnými tělesy bez přítomnosti maziva, třecí plochy jsou suché – čím je plocha drsnější, tím je třecí síla větší

- **tření za mazání** – mezi dotykové plochy těles pohybujících se po sobě zavedeme mazivo, které zabraňuje přímému styku a zmenšuje třecí sílu

- **Tření za mazání se dělí na tři druhy:**

- **tření kapalinové** – jsou-li vzájemně pohybující se povrchy odděleny dokonale souvislou vrstvou maziva.

- **tření mezní** – vzniká, pokud nedojde k vytvoření kapalinové vrstvy, nebo není kapalinová vrstva nedostatečně únosná. Dojde při tom k takovému přiblížení těles, že jejich vzájemnému styku brání jen mezní vrstva maziva.

- **tření smíšené** – je přechod mezi kapalinovým a mezním třením. Jedná se o velmi častý případ vyskytující se v technické praxi [25].

1.4 Metody používané pro stanovení znečištění a kontaminace olejů

1.4.1 Stanovení teploty vzplanutí v otevřeném kelímku

Tato zkouška informuje o zředění motorového oleje palivem nebo vodou. Hodnota bodu vzplanutí je základním kritériem pro zjištění stavu degradace oleje a tím jeho schopnosti plnit svoji úlohu v mazacím systému. Tato zkouška je normovaná dle ČSN EN ISO 2592 a specifikuje postup stanovení bodu vzplanutí a bodu hoření ropných výrobků pomocí přístroje s otevřeným kelímkem podle Clevelanda obr. 13.

Teplota vzplanutí je nejnižší teplota, při které vzorek oleje za definovaných podmínek vyvine tolik par, že jejich směs se vzduchem, vytvořená nad hladinou vzorku, po přiblížení zkušebního plamínku vzplane a opět zhasne. Teplota vzplanutí se vyjadřuje v °C, při přesných měřeních se vztahuje na tlak 101,315kPa. Její hodnota má rozhodující význam pro zařazení oleje do třídy hořlavosti kapalin - je tedy významnou požárně-bezpečnostní charakteristikou. Teplota vzplanutí souvisí také s odpařivostí oleje. U použitých olejů je zpravidla snížení teploty vzplanutí důsledkem zředění oleje palivem, tj. lehkými, snadno zápalnými frakcemi [26].



Obr. 13 Clevelandův otevřený kelímek [vlastní]

1.4.2 Stanovení obsahu nečistot

Stanovení obsahu nečistot v oleji je provedeno Denzimetrem REO 31 obr. 14, kde hodnoty korelují s Conradsonovým karbonizačním zbytkem. Přístroj měří znečištění oleje, karbonizační zbytek a stárnutí oleje, kde jsou tyto degradace spojeny s tmavnutím oleje a měřeny na principu měření intenzity úbytku světelného paprsku odraženého světla od vzorku oleje, který je nanesen na speciální proužek ze silufolové fólie, ve srovnání s intenzitou světla odraženého od čistého proužku [26].



Obr. 14 Denzimetr REO 31 [vlastní]

Na stejném principu jako denzimetr REO 31 pracuje také přístroj TCM-U, který využívá pro stanovení obsahu nečistot v oleji DOPRAVNÍ SPOLEČNOST ZLÍN-OTROKOVICE, s.r.o. Podle dlouholetých zkušeností provozní laboratoře se výměna oleje provádí, pokud je na přístroji TCM-U stanovena hodnota celkového znečištění 5 %. V bakalářské práci [36] je komparace výsledků stanovení celkového znečištění na REO 31 a TCM-U, kde korelační koeficient mezi hodnotami celkového znečištění stanoveného na těchto přístrojích dosahuje hodnoty 0,9–1. Z grafů vyplynulo, že znečištění 5 %, které bylo stanoveno na přístroji TCM-U, odpovídá znečištění cca 0,9 % na přístroji REO 31.

1.4.3 Měření viskozity a hustoty oleje

Dynamická viskozita se měří Stabingerovým viskozimetrem SVM 3000 obr. 15. Je to modifikovaný rotační viskozimetr, kterým se měří viskozita a hustota olejů a kapalných paliv. Ze změřených hodnot přístroj automaticky spočítá kinematickou viskozitu a viskozitní index dle ASTM D 2270/ISO 2909.



Obr. 15 Stabingerov viskozimetr SVM 3000 [vlastní]

Stanovení dynamické viskozity je princip určení stabilní rychlosti měřicího rotoru s integrovaným magnetem, který plave ve vzorku, jímž je naplněna trubice rotující konstantní rychlostí. Stabilní rychlosti

měřicího rotoru je dosaženo v okamžiku, rovnováhy brzdných účinků vířivého elektrického pole a smykové napětí vznikající ve vzorku. Malý objem vzorku potřebný k analýzám umožňuje mimořádně rychlé teplotní změny a velmi krátké časy k dosažení rovnováhy. Pro přepočet hodnot dynamické viskozity na kinematickou viskozitu je nutné znát příslušnou hustotu kapaliny. Z tohoto důvodu má SVM 3000 integrované hustotní cely založené na ověřeném a přesném principu oscilující U-trubice a obě cely jsou naplněny vzorkem v jednom měřicím cyklu [26].

1.4.4 Infračervená spektrometrie

Infračervená spektrometrie je opticko-nedestruktivní analytická metoda, patřící do skupiny metod molekulové spektrometrie. Používá se již od 30. let 20. století. Principem je měření absorpce infračerveného záření o různé vlnové délce analyzovaným materiálem.

Infračervené záření je část elektromagnetického spektra v rozsahu vlnových délek $\lambda = 0,78 - 1000 \mu\text{m}$. To odpovídá rozsahu vlnočtů $1/\lambda$ $12800 - 10 \text{ cm}^{-1}$.

Infračervenou spektrometrii dělíme podle vlnových délek záření na:

- dalekou (FIR) – $(200 - 10 \text{ cm}^{-1})$
- střední (MIR) – $(4000 - 200 \text{ cm}^{-1})$
- blízkou (NIR) – $(12800 - 4000 \text{ cm}^{-1})$

Nejpoužívanější z hlediska vyhodnocení stavu olejů je střední oblast. Hlavně část jejího intervalu $(2000 - 400 \text{ cm}^{-1})$, která se také jinak nazývá oblast „otisku prstů“.

Principem metody je absorpce infračerveného záření při průchodu vzorkem. Při absorpci dochází ke změnám rotačně vibračních energetických stavů molekuly v závislosti na změnách dipólového momentu molekuly. Výstupem po analytické stránce je infračervené spektrum, které je grafickým zobrazením funkční závislosti energie, většinou vyjádřené v procentech transmitance nebo jednotkách absorbance, na vlnové délce (λ) dopadajícího záření [26].

Tab. 1 Vlnočty charakteristických sloučenin a strukturních skupin [28]

Parametr	Spektrální region v cm^{-1}	Poznámka
Voda	3640 - 3540	V esterových olejích
Voda	3600 - 3150 (max. 3400)	V ropných olejích
Rozklad esterů	3540	
Saze	2000	
Oxidační produkty	1800 - 1670	
Estery	1748	Syntetické oleje
Nitrosloučeniny	1650 - 1600	
Sírné sloučeniny	1180 - 1120	Sírné přísady
Etylenglykol	1070, 1040 (dvojice)	Chladicí kapalina
Protiotěrové přísady	1025 - 960	(ZDDP)
Vysokoteplotní přísady	1000	(ZnDDF)
Protiotěrové přísady	990 - 960	(TCP - trikresylfosfát)
Nafta	815 - 805	
Petrolej	755 - 748	Lehčí složky

Transmittance T (propustnost) je definována jako poměr intenzity záření I, které prošlo vzorkem k intenzitě záření I_o vycházejícího ze zdroje [2].

$$T = \frac{I}{I_o} 100 \dots [\%]$$

Absorbance je definována jako dekadický logaritmus $1/T$

$$A = -\log \frac{I}{I_o} \dots [\%]$$

I intenzita záření prošlého vzorkem $[\text{W}/\text{m}^2]$

I_o intenzita záření vyšlého ze zdroje $[\text{W}/\text{m}^2]$

S rozvojem výpočetní techniky dochází v 80. letech 20. století k praktickému rozšíření infračervených spektrometrů s Fourierovou transformací (FTIR spektrometry).

FTIR spektrometr obr. 16 pracuje na principu obr. 17 interference záření, které na rozdíl od dispersních přístrojů měří interferogram modulovaného svazku záření po průchodu vzorkem. Paprsek světla ze zdroje prochází nejdříve interferometrem, kde paprsek ze zdroje dopadá pod úhlem 45° na polopropustné zrcadlo. Polopropustné zrcadlo propustí polovinu intenzity a druhou polovinu odrazí.

Každý paprsek prochází jedním ramenem interferometru, kde se odrazí od pevného nebo pohyblivého zrcadla a zpět k polopropustnému, kde se oba paprsky sbíhají. Část záření se vrací k zářiči, kde je zářičem pohlceno a část prochází dál. U paprsku, který projde více zmiňovaným odražením od zrcadel,

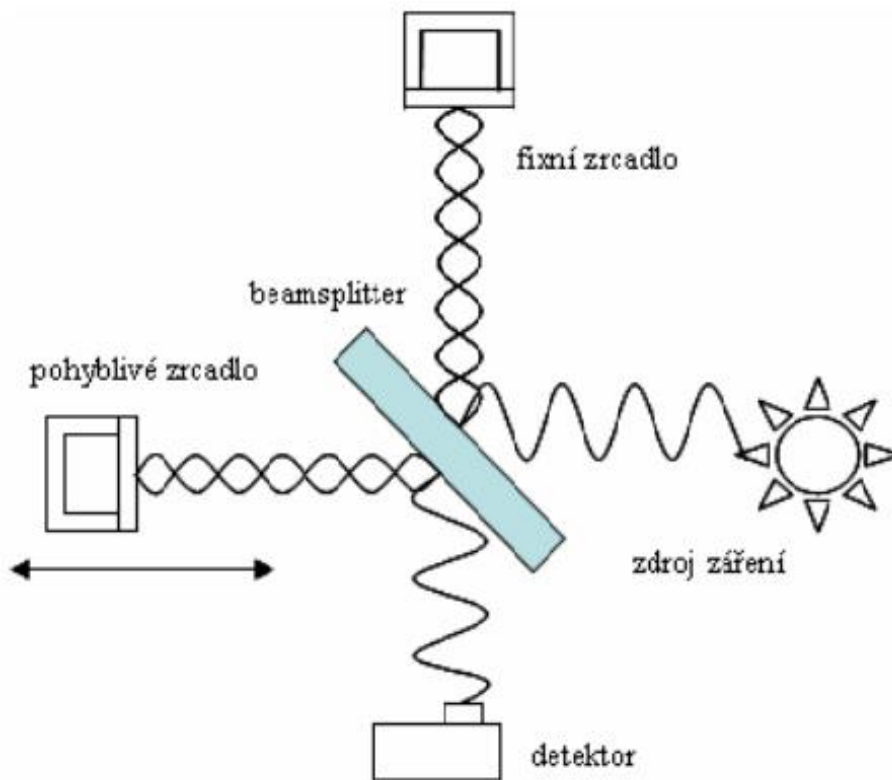


Obr. 16 FTIR Spektrometr Nicolet iS10 [vlastní]

už není nutno uvažovat posun o čtvrtinu vlnové délky na odraz a vzájemné posunutí vln záření je dáno rozdílem vzdáleností pevného a pohyblivého zrcadla od polopropustného. Tyto vzdálenosti se dále matematicky upravují (sčítají, odčítají, násobí) dle rovnosti či nerovnosti vzdáleností a výsledné vlnové délky se v interferometru zesilují nebo zeslabují.

Pohyblivé zrcadlo se posouvá po určité dráze, a proto jsou v každém okamžiku činnosti spektrometru zesilovány a zeslabovány jiné vlnové délky. Toto proměnné záření pak prochází vzorkem a dopadá na rychlý neselektivní senzor (v infračervené oblasti), kde vzniklý interferogram (závislost intenzity dopadajícího záření v čase) vyžaduje aplikaci matematické metody Fourierovy transformace, aby byl softwarově přepočítán na klasický spektrální záznam.

FTIR spektrometry mají celou řadu výhod, protože při měření dopadá na detektor vždy celý svazek záření a takové uspořádání umožňuje i experimenty, při nichž dochází k velkým energetickým ztrátám, tj. měření silně absorbujících vzorků nebo měření s nastavci pro analýzu pevných či silně absorbujících kapalných vzorků v odraženém záření [2,12,26].



Obr. 17 Princip FTIR spektrometru [29]

1.4.5 Atomová emisní spektrometrie (AES)

Atomová emisní spektrometrie se používá ke stanovení obsahu otěrových kovů, kontaminantů a aditiv ve vzorcích motorového oleje, pro měření se používá přístroj Spectroil Q100 obr. 18. Atomy prvků v plazmatu o teplotě několika tisíc stupňů vysílají ultrafialové (popřípadě viditelné záření), které po rozkladu ve spektrometru dává čárové spektrum. Jednotlivé čáry těchto spektrálních souborů odpovídají spontánním přechodům excitovaných valenčních elektronů z vyšší na nižší energetickou hladinu. Energie uvolněná při těchto přechodech je emitována ve formě fotonu (zářivých kvant) o vlnové délce dané rozdílem energie vyšší a nižší energetické hladiny.

Každý prvek emituje za výše uvedených podmínek charakteristické atomové spektrum, jehož čáry mají přesně definovanou a stálou vlnovou délku podle uvedeného vztahu. Toho se využívá ve spektrální analýze. Mírou rychlosti přechodu atomu z excitovaného stavu s vyšší energetickou hladinou p do stavu s nižší energetickou hladinou q je emisní přechodová pravděpodobnost A_{pq} . Intenzita emisní čáry ve spektru odpovídající přechodu $p \rightarrow q$ je úměrná přechodové pravděpodobnosti A_{pq} a koncentraci atomu ve stavu p .

Tato koncentrace je úměrná celkové koncentraci atomu daného prvku v plazmatu a Boltzmannovu faktoru. Úměrnost platí jen do teploty, při které je stupeň ionizace menší než 1 % [30, 31].

Limitní hodnoty jednotlivých prvků v motorovém oleji jsou dány v tab. 2 a rozdělení na primární a sekundární prvky materiálů jednotlivých součástek dle tab. 3. Většinou se měření zaměřuje na primární prvky (kovy) opotřebení Fe, Cu, Al, Pb, a podle konstrukce sledujeme i sekundární prvky Mn, Mo, Sn, Ni, atd. tab. 3 vždy záleží na konstrukci a materiálovém složení součástek, nebo jejich povrchových vrstev. Stejně metody se používají celosvětově, už od roku 1991 [34, 35].



Obr. 18 Atomová emisní spektrometrie [vlastní]

Tab. 2 Limitní koncentrace kovů v motorovém oleji [32]

Kov	Velké vznětové motory - opotřebení			Benzínové motory - opotřebení		
	normální	zvýšené	nebezpečné	normální	zvýšené	nebezpečné
železo	pod 50	50 - 75	nad 75	pod 120	120 - 150	nad 150
měď	pod 30	30 - 45	nad 45	pod 25	25 - 35	nad 35
chrom	pod 12	13 - 20	nad 20	0 - 17	17 - 25	nad 25
nikl	pod 25	25 - 40	nad 40	pod 25	25 - 40	nad 40
hliník	pod 25	25 - 35	nad 35	pod 35	35 - 50	nad 50
olovo	pod 25	25 - 40	nad 40	pod 25	25 - 40	nad 40
cín	pod 5	5 - 12	nad 12	pod 5	5 - 12	nad 12
křemík	pod 25	-	nad 25	pod 25	-	nad 25

Tab. 3 Ukazatelé poruch pro spalovací vznětový motor [33]

Ukazatele poruch pro spalovací vznětový motor		
Problém- porucha	hlavní	sekundární
kliková a ojnicí ložiska	OPb	OCu, ONi, OSn
	OCu	OSn
	OAl	OFe, OPb, OSn
píst	OFe	OSn
	OAl	
plášť pístu	OFe	
	OSn	
pístní čep	OFe	OMn
pouzdro pístního čepu	OCu	OPb, OSn
	OAg	
pístní kroužky	OCr	OFe, OMn, OMo
	OFe	OMn
válec	OCr	OFe
	OFe	OSi
plocha vačky	ONi	
ložiska turbodmychadla	OCu	
	OAg	
vačky vačkového hřídele	OFe	
ložiska vačkového hřídele	OCu	OZn, OPb, OSn
	OAl	OSi, OCu, OFe,
kontaminace saze	OS	KV
kontaminace prach	OSi	OAl
kontaminace voda z atmosféry	OV	
kontaminace nemrznoucí chladicí kapalina	OV	ONa, OB, Si
	OG	ONa, OB, OSi
kontaminace slaná voda	OV	ONa, OMg, OCa,
naředění palivem	OP	KV, TBN, BV
produkty oxidace	OxP	TBN
produkty nitrace	NP	TBN
produkty sulfatace	SP	TBN
vyčerpání protiotěrové přísady	APP	OZn, OP, OMo,
vyčerpání antioxidační přísady	APP	
kontaminace silikonová těsnění	OSi	

1.4.6 Analýza částic laserovým analyzátozem

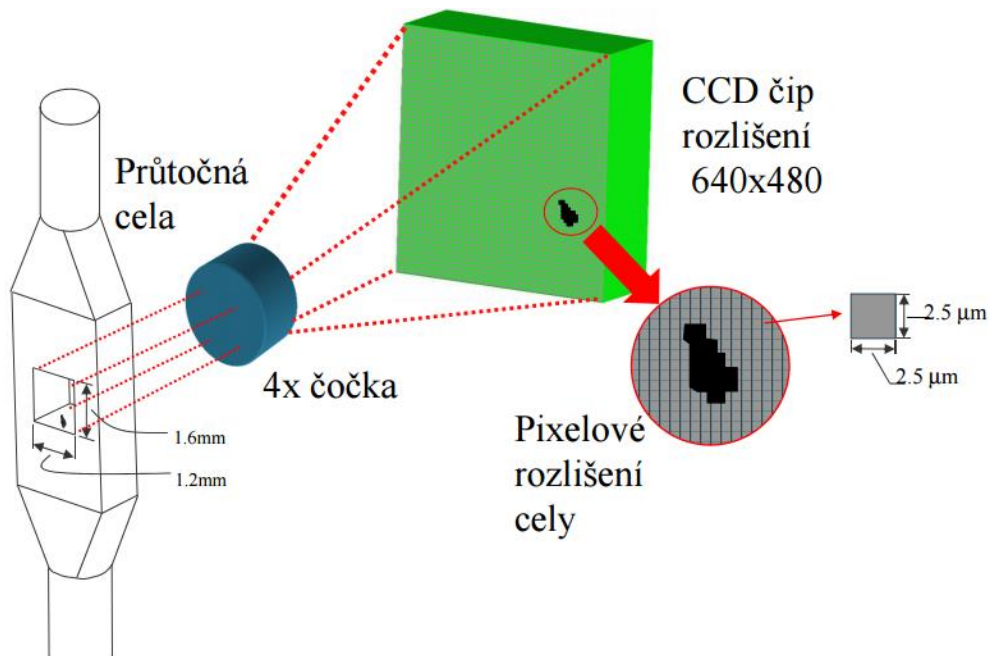
Laserový analyzátor částic LNF (LaserNet Fines Q200) obr. 19 je analytický přístroj, který při analýze opotřebovaných olejů umožňuje klasifikaci tvarů a stanovení počtu a velikosti částic nacházejících se v mazacích olejích. SpectroLNF Q200 se používá pro analýzu vzorků hydraulických a motorových olejů. Vyhodnocení se provádí softwarově na základě morfologické analýzy a rozdělení velikosti částic opotřebovaní.

Analyzovaný vzorek oleje se nechá protékat zobrazovací celou, kde se prosvěcuje pulzní laserovou diodou obr. 20. Prošlé záření je snímáno CCD snímačem kamerového systému. Částice obsažené v oleji nepropouštějí světlo - za pomoci CCD snímače je zachycen jejich




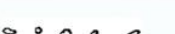






Obr. 19 Laserový analyzátor LNF Q200 [vlastní]

obrys (3500 snímků na 0,65ml). Obrazy snímané kamerou se přenášejí do počítače, kde se analyzují rychlostí 30 snímků za sekundu. V každém snímku je softwarově určen počet objektů. Výsledky statistického hodnocení objektů se uloží a vytvoří se bitmapový obraz objektů s hlavním rozměrem větším než 20 μm a ty jsou klasifikovány do několika kategorií. Jedná se o řezné částice abrazivního a adhezivního opotřebení, únavové a nekovové částice, vlákna, kapičky vody a vzduchové bubliny obr. 21 [26].



Obr. 20 Laserové zpracování obrazu LNF [27]

Typ částice	Příklad	Popis
<i>Kluzná otěrová částice</i>		<i>Způsobené třením/kontaktem kovu na kov důsledkem přetížení, špatného seřízení. Nižší viskozita oleje</i>
<i>Únavová otěrová částice</i>		<i>Převodovky, ložiska vzhledem k únavě materiálu, lomu, důsledkem velkého přetížení, kontaminace apod.</i>
<i>Řezná otěrová částice</i>		<i>Poškození povrchu těla součástky následnou abrazivní činností částic</i>
<i>Oxidy</i>		<i>Kontaminace nebo rozžhavení součástky způsobené vodou nebo nedostatečným mazáním.</i>
<i>Vlákna</i>		<i>Nacházející se v oleji nebo způsobené nesprávnou manipulací a kontaminací vzorku</i>
<i>Vzduchové bubliny</i>		<i>Nedostatečné odstranění bublin ultrazvukem po protřepání vzorku.</i>
<i>Různé čáry</i>		<i>Problémy způsobené přístrojem nedostatečným promícháním nového a starého vzorku Discarded</i>
<i>Vodní kapičky</i>		<i>Voda v systému. Měří se obsah vody ale ne kapičky < 20 mikronů a ne rozpuštěnou vodu. Hodnota informativní ale trend.</i>

SPECTRO INC.
Industrial Tribology Systems

Obr. 21 Typy zobrazovaných částic v LNF [27]

2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část této diplomové práce se zabývá analýzami a hodnocením motorových olejů vybraných údržbových vozidel, která spadají pod Ředitelství krajské správy a údržby silnic kraje Vysočiny (dále KSÚSV) a na základě těchto výsledků posouzením stavu motoru, které jsou danými oleji mazány.

Výběr vozidel se prováděl na základě několika odlišností, a to podle roku výroby, typu a značky vozidla a podle najetých kilometrů. Po dohodě s KSÚSV bylo vybráno 5 vozidel, z kterých byly odebrány vzorky provozovaných motorových olejů, a zároveň ke každému vzorku byl dodán vzorek nového oleje. Jednalo se o motorový olej URANIA FE 5W30 a SHELL RIMULA R4L 15W40.

Všechny údržbové vozy jsou pravidelně udržovány jak kontrolou a doplňováním kapalin, tak i pravidelným mytím. Všechny vozy jsou garážované ve vyhřívaných prostorech.

Vzhledem k tomu, že KSÚSV nevlastní laboratoř na sledování parametrů provozovaných motorových olejů, mění se olej pravidelně jednou za rok a to v období před zimou, nehledě na najeté kilometry.

Cílem této diplomové práce je zjistit stav odebraných vzorků motorových olejů z údržbových aut KSÚSV a případně optimalizovat výměnné intervaly a posoudit stav motorů, které jsou mazivem omývány.

2.1 Technické údaje o vybraných údržbových vozidlech

2.1.1 Vozidlo 1 – IVECO TRAKKER typ AD260T41 (2009)

Z vozidla 1 byl odebrán vzorek oleje označený jako Sample 1, který byl porovnáván s vzorkem nového oleje URANIA FE 5W30.

<u>Palivo:</u>	Nafta	<u>Max. rychlost:</u>	90km/h s omezovačem
<u>Max. výkon:</u>	302kW/1900ot	<u>Rok výroby:</u>	2009
<u>Zdvih. objem:</u>	12 882cm ³	<u>Najeté km:</u>	120 731km
<u>Provozní hmotnost:</u>	10 395kg	<u>Použitý olej:</u>	URANIA FE 5W30
<u>Výměny oleje:</u>	12.11.2015	<u>Najeté km na oleji:</u>	4676km



Obr. 22 Vozidlo 1 - IVECO TRAKKER typ AD260T41 [vlastní]

2.1.2 Vozidlo 2 – TATRA typ T815-2 (2005)

Z vozidla 2 byl odebrán vzorek oleje označený jako Sample 2, který byl porovnáván s vzorkem nového oleje SHELL RIMULA R4L 15W40.

<u>Palivo:</u>	Nafta	<u>Max. rychlost:</u>	85km/h s omezovačem
<u>Max. výkon:</u>	270kW/1800ot	<u>Rok výroby:</u>	2005
<u>Zdvih. objem:</u>	12 667cm ³	<u>Najeté km:</u>	57 004km
<u>Provozní hmotnost:</u>	9 700kg	<u>Použitý olej:</u>	SHELL RIMOLA 15W40
<u>Výměny oleje:</u>	3.11.2015	<u>Najeté km na oleji:</u>	5530km



Obr. 23 Vozidlo 2 - TATRA typ T815-2 [vlastní]

2.1.3 Vozidlo 3 – TATRA typ T815-2 (2003)

Z vozidla 3 byl odebrán vzorek oleje označený jako Sample 3, který byl porovnáván s vzorkem nového oleje SHELL RIMULA R4L 15W40.

<u>Palivo:</u>	Nafta	<u>Max. rychlost:</u>	85km/h s omezovačem
<u>Max. výkon:</u>	270kW/1800ot	<u>Rok výroby:</u>	2003
<u>Zdvih. objem:</u>	12 667cm ³	<u>Najeté km:</u>	180 125km
<u>Provozní hmotnost:</u>	8 750kg	<u>Použitý olej:</u>	SHELL RIMOLA 15W40
<u>Výměny oleje:</u>	12.11.2015	<u>Najeté km na oleji:</u>	4699km



Obr. 24 Vozidlo 3 - TATRA typ T815-2 [vlastní]

2.1.4 Vozidlo 4 – TATRA typ T815-2 (2008)

Z vozidla 4 byl odebrán vzorek oleje označený jako Sample 4, který byl porovnáván s vzorkem nového oleje SHELL RIMULA R4L 15W40.

<u>Palivo:</u>	Nafta	<u>Max. rychlost:</u>	85km/h s omezovačem
<u>Max. výkon:</u>	325kW/1800ot	<u>Rok výroby:</u>	2008
<u>Zdvih. objem:</u>	12 667cm ³	<u>Najeté km:</u>	117 156km
<u>Provozní hmotnost:</u>	10 050kg	<u>Použitý olej:</u>	SHELL RIMOLA 15W40
<u>Výměny oleje:</u>	20.7.2015	<u>Najeté km na oleji:</u>	8824km



Obr. 25 Vozidlo 4 - TATRA typ T815-2 [vlastní]

2.1.5 Vozidlo 5 – TATRA typ T815-280S45 (2001)

Z vozidla 5 byl odebrán vzorek oleje označený jako Sample 5, který byl porovnáván s vzorkem nového oleje SHELL RIMULA R4L 15W40.

<u>Palivo:</u>	Nafta	<u>Max. rychlost:</u>	85km/h s omezovačem
<u>Max. výkon:</u>	270kW/1800ot	<u>Rok výroby:</u>	2001
<u>Zdvih. objem:</u>	12 667cm ³	<u>Najeté km:</u>	178 831km
<u>Provozní hmotnost:</u>	9 900kg	<u>Použitý olej:</u>	SHELL RIMOLA 15W40
<u>Výměny oleje:</u>	23.2.2015	<u>Najeté km na oleji:</u>	9219km



Obr. 26 Vozidlo 5 – TATRA typ T815-280S45 [vlastní]

2.2 Metodika odběru vzorku

Pro odběr reprezentativní vzorku motorového oleje je vypracováno několik základních postupů, které jsou zakotveny v ČSN. Nejpřesnější a pracovně náročná je norma **ČSN 65 6207 - Hydraulické oleje a kapaliny. Odběr vzorků pro stanovení obsahu mechanických nečistot**, který konkrétně popisuje i jednotlivé kroky odběru **motorového oleje**. Jedná se o odběr vzorků hydraulických kapalin a motorových olejů, kde je tedy nutné věnovat zvýšenou pozornost množství a velikosti nečistot.

2.2.1 Postup odběru vzorku

Vzorek oleje by měl odebírat prověřený a poučený pracovník. Při odběru vzorku se musí dát pozor, aby okolí vypouštěcího místa bylo důkladně očištěno. Vzorek oleje nesmí být znehodnocen vnější nečistotou. Všeobecně se vzorky odebírají do čistých a suchých vzorkovnic o obsahu 500 ml. Strojní zařízení musí být minimálně 20 minut v provozu z důvodu dokonalého promíchání a ohřátí oleje na provozní teplotu. Pak odpustíme cca 500 ml oleje do čisté nádoby a nalijeme zpět do zařízení. Po propláchnutí odběrných zařízení provedeme odběr cca 250 - 400 ml oleje (záleží na počtu analýz). Odebraný vzorek důkladně popíšeme a předáme ke zkoušce.

Na odběru vzorku závisí výsledek diagnostiky, a proto je mu nutné věnovat mimořádnou pozornost [16].

2.3 Aplikace vybraných tribodiagnostických metod

V následujících kapitolách je popsáno provedení jednotlivých laboratorních měření použitých při této analýze s ukázkou naměřených celkových výsledků, které jsou dále použity na jednotlivých vzorcích s průběžnými výsledky.

2.3.1 Stanovení bodu vzplanutí v otevřeném kelímku dle Clevelanda

Určení obsahu paliva v oleji je jednou z velmi důležitých vlastností motorových olejů. Nejčastěji se pro vyhodnocení obsahu paliva v oleji používá metoda stanovení bodu vzplanutí oleje pomocí Clevelandovým kelímkem ČSN EN ISO 2592. Poklesne-li bod vzplanutí pod 180-190°C u vznětových motorů a pod 140-150°C u zážehových, znamená to, že v oleji je již maximální přípustná koncentrace nafty/benzínu. Pokud dojde k takové koncentraci na konci výměnného intervalu, stačí motorový olej vyměnit. Pokud je takový pokles bodu vzplanutí zaznamenán např. v polovině výměnného intervalu, je zapotřebí servisní zásah. Podrobněji v kapitolách 1.3.1 a 1.4.1.

Provedení:

Zkušební přístroj se skládá z otevřeného kelímku, ohřívací desky, teploměru s držákem a zkušebního hořáku s přívodem plynu (obr. 27). Stanovení teploty vzplanutí se provádí v tmavém místě, dostatečně chráněném před průvanem. Kelímek se naplní vzorkem tak, aby hladina zkoušeného oleje dosahovala úrovně rysky na vnitřní stěně kelímku. Je potřeba dbát, aby nedošlo k potřísnění kelímku zvenčí nebo na vnitřní stěně nad ryskou. Na hladině oleje nesmějí být bublinky. Teploměr se upne do svorky tak, aby spodní okraj rtuťové nádoby byl ve výši 6mm ode dna kelímku přibližně v jeho středu. Zahřívání se reguluje reostatem tak, aby ze začátku stoupala teplota vzorku rychlostí 15°C za minutu.

Průměr zkušebního plamínku se nastaví na 4mm. Když je teplota vzorku cca 50°C pod předpokládanou teplotou vzplanutí, zmírní se ohřev tak, aby minimálně posledních 30°C stoupala teplota o 5 až 6°C za minutu. Asi 10°C pod očekávanou teplotou vzplanutí se začne zkoušet zápalnost směsi par paliva se vzduchem nad hladinou vzorku. Zkušební plamen se vede vždy po každém zvýšení teploty o 2°C v rovině horního okraje kelímku přes jeho střed rovnoměrným pohybem. Tento pohyb nad kelímkem trvá asi 1 sekundu. Je nepřípustné vést zkušební plamen v rovině vzdálené více než 2mm nad horním okrajem kelímku nebo předcházet plamenem vícekrát po dobu jedné sekundy.

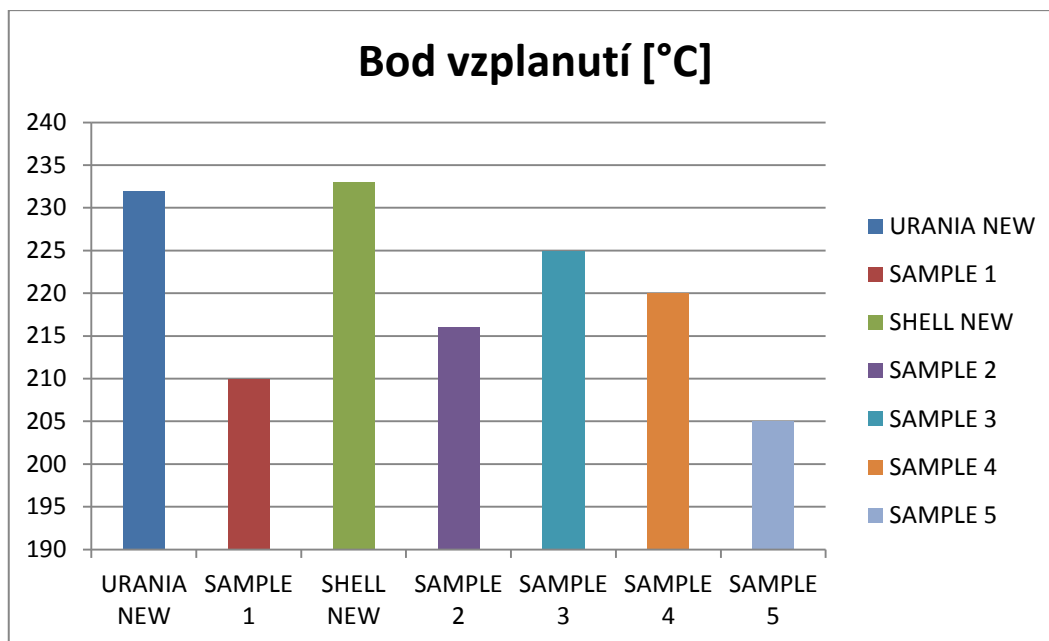


Obr. 27 Clevelandův kelímek [vlastní]

Jako teplota vzplanutí se zaznamená teplota, při které v kterémkoli místě nad hladinou vzorku dojde k prvnímu vzplanutí. Výsledek zkoušky je aritmetický průměr dvou stanovení zaokrouhlených na celé °C [26]. Výsledky bodu vzplanutí všech naměřených vzorků a nových olejů tab. 4 jsou zobrazeny i graficky (graf 1).

Tab. 4 Hodnoty bodu vzplanutí všech vzorků

Druh vzorku	URANIA NEW	SAMPLE 1	SHELL NEW	SAMPLE 2	SAMPLE 3	SAMPLE 4	SAMPLE 5
Bod vzplanutí [°C]	232	210	233	216	225	220	205



Graf 1 Bod vzplanutí

2.3.2 Stanovení obsahu nečistot pomocí denzimetru REO 31

Přístroj měří znečištění oleje na principu měření intenzity úbytku světelného paprsku na silufolové fólie. Podrobně popsáno v kapitole 1.4.2.

Provedení:

Nejprve se přístroj zapne, ponechá se alespoň hodinu ustálit a vynuluje se. Nastřihají se proužky z silufolové fólie o rozměrech 9x100mm o počtu dle zkoušených vzorků. Pro kontrolu se vloží čistý proužek a na panelu přístroje musí být údaj 0,00%. Do zkumavky se odměří 1ml zkoušeného oleje a přidá se 24ml technického benzínu. Zkumavka se důkladně protřepe a vloží se do ní zkušební proužek fólie na 180s. Po vyjmutí se proužek opláchne rychlým ponořením do zkumavky s čistým technickým benzínem a ve svislé poloze se usuší. Poté se proužek zasune aktivní vrstvou nahoru do otvoru přístroje a přidrží se v horní poloze. Světlo se odráží od fotočlátku a intenzita odraženého světla se vyhodnotí tak, aby zobrazovací jednotka vykazovala znečištění v procentech [26]. Výsledky znečištění naměřené Denzimetrem REO 31 jsou v tab. 5.

Tab. 5 Obsah nečistot [%]

	URANIA NEW	SAMPLE 1	SHELL NEW	SAMPLE 2	SAMPLE 3	SAMPLE 4	SAMPLE 5
Pokus 1	0,04	0,1	0,07	0,69	0,68	0,34	0,62
Pokus 2	0,06	0,1	0,06	0,71	0,72	0,44	0,66
Průměr	0,05	0,1	0,065	0,7	0,7	0,39	0,64

2.3.3 Měření viskozity pomocí Stabingerova viskozimetru

Stabingeruv viskozimetr je přístroj, kterým se dá změřit dynamická a kinematičká viskozita, viskozitní index a hustota. Podrobnější popis v kapitole 1.4.3.

Provedení:

Po zapnutí přístroje se spustí autotest a po bezchybném spuštění se tlačítkem MODE v menu vybere příslušný měřicí program. V tomto případě M7. Naplní se stříkačka vzorkem oleje (asi 4 ml) a připojí se stříkačka do plnicího nástavce. Naplní se systém minimálně 2 ml vzorku, spustí se přístroj pomocí tlačítka START na 10 vteřin, opět se vypne tlačítkem START a dostříkne se zbytek vzorku až po naplnění celé hadičky olejem. Potom se opět zmáčkne tlačítko START a počká se, až proběhne celé měření. Zobrazené hodnoty se zapíše a přístroj se pomocí n-Hexanu vyčistí. Podobným způsobem jako s olejem se n-hexan nasaje do stříkačky, vstříkne do přístroje a ten se zapne. Po pročištění se hadička vysuší pomocí vzduchové hadice a volby PUMP. Naměřené výsledky odebraných vzorků a nových olejů jsou v tab. 6.

Tab. 6 Hodnoty naměřené Stabingerovým viskozimetrem

		URANIA NEW	SAMPLE 1	SHELL NEW	SAMPLE 2	SAMPLE 3	SAMPLE 4	SAMPLE 5
Kinematičká viskozita mm ² /s	40 °C	72,117	64,786	116,72	92,047	89,335	91,041	71,237
	100 °C	12,174	10,686	15,573	12,367	12,093	12,521	10,635
Dynamická viskozita mPa/s	40 °C	61,006	55,121	100,07	79,722	77,251	78,441	61,507
	100 °C	9,838	8,681	12,772	10,249	10,006	10,323	8,783
Viskozitní index		167,1	155,2	140,6	128,7	128,6	133,1	136,9
Hustota při 15 °C (g/cm ³)		0,8617	0,8668	0,8729	0,8817	0,8803	0,8771	0,8791

2.3.4 Měření infračervenou spektrometrií

Touto metodou se stanovuje znečištění a degradace motorového oleje. K měření se používá FTIR spektrometr Nicolet iS 10 obr. 16 a 28. Podrobný popis je v kapitole 1.4.4.

FTIR spektrometr Nicolet iS 10 má měřicí krystal ATR ze ZnSe (Seleninu zinečnatého) a při měření dochází k 64 akumulací spektra za rozlišení 4 cm⁻¹, data spacing je 1,929 cm⁻¹ ve spektrálním rozsahu 4000 – 650 cm⁻¹.

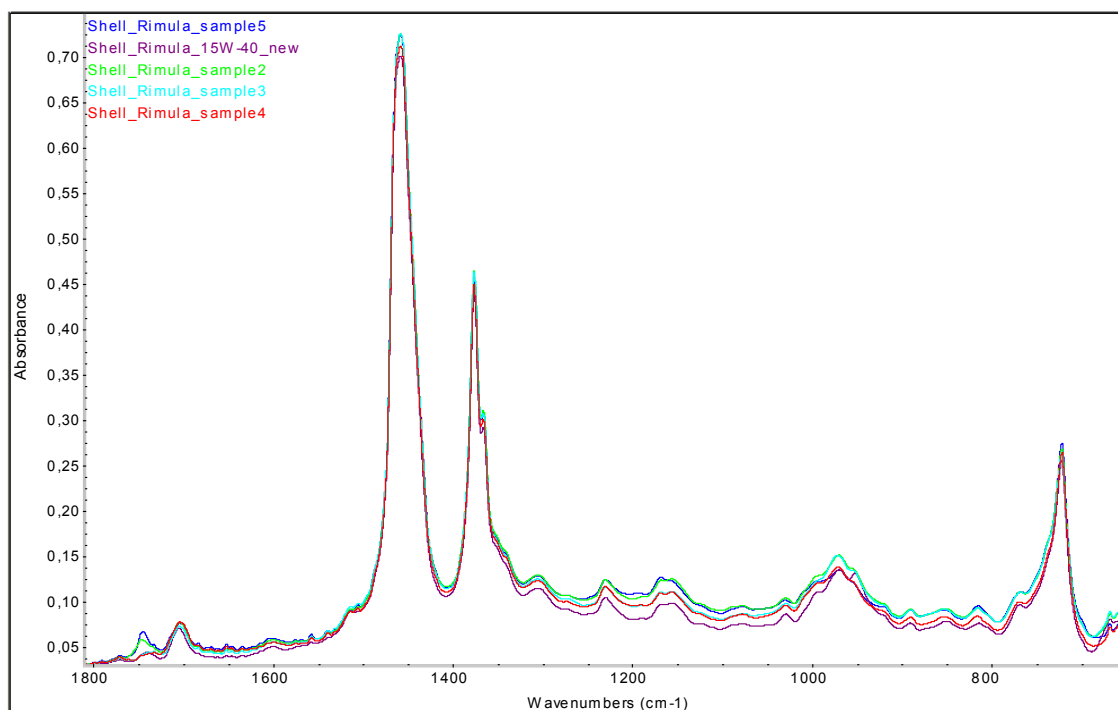
Provedení:

Spustí se program OMNIC. Z FTIR spektrometru se vyjme krystal a očistí se Hexanem C₆H₁₄ za pomoci měkkého ubrousku. Na krystal se nanese rovnoměrně vzorek

oleje a spustí se samotné měření. Po provedení měření se v programu na PC objeví spektrum odpovídající vlastnostem oleje obr. 28. Před dalším měřením se opět musí důkladně očistit krystal. Spektra obr. 29 jednotlivých měření se ukládají pro další použití.



Obr. 28 Infračervený spektrometr FTIR Nicolet iS 10 [vlastní]



Obr. 29 Ukázka výsledků z FTIR spektrometru [vlastní]

2.3.5 Měření atomovou emisní spektrometrií

Atomová emisní spektrometrie (AES) se používá ke stanovení obsahu otěrových kovů, kontaminantů a aditiv ve vzorcích motorového oleje, podrobně popsaná v kapitole 1.4.5.

Provedení:

Měření probíhalo na Univerzitě obrany v Brně na katedře bojových a speciálních vozidel.

Před vlastním měřením je nutné zajisti homogenizaci měřeného vzorku oleje, aby se zajistilo rovnoměrné rozptýlení sedimentovaných částic v oleji a to na laboratorní třepačce obr. 32. Mezitím se zapne spektrometr v tomto případě Spectroil Q100 obr. 30 a na připojeném počítači zapne program a nastaví se parametry oleje (název, vzorek, najeté km). Po důkladné homogenizaci se požadované množství oleje, cca 2 ml odlejí do vzorkové mističky. V AES se připraví rotační disková a tyčová elektroda a vloží se vzorek oleje. Přístroj se zavře a zapne. Po 30 vteřinách je měření hotové a výsledky jsou uloženy v excelovském souboru tab. 7.



Obr. 30 Atomový emisní spektrometr s počítačem [vlastní]

Tab. 7 Výsledky naměřené AES [ppm]

Primární prvky	Fe 30,15	Cu 8,51	Al 9,32	Pb 0,00
Sekundární prvky	Mn 3,74	Mo 2,45	Sn 17,79	Ni 1,45

2.3.6 Měření částic laserovým analyzátozem

Laserový analyzátor částic LNF (LaserNet Fines Q200) obr. 31 je analytický přístroj, který slouží k analýze opotřebených olejů a umožňuje klasifikaci tvarů a stanovení počtu a velikosti částic nacházejících se v mazacích olejích. Podrobně v kapitole 1.4.6.



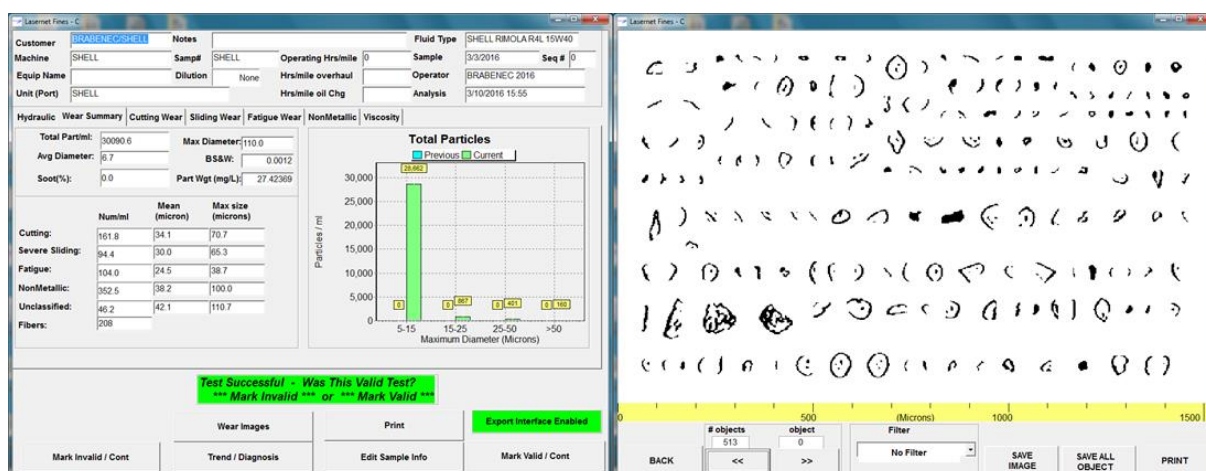
Obr. 31 LNF Q 200[vlastní]

Provedení:

Před vlastním měřením je nutné zajisti homogenizaci měřeného vzorku oleje, aby se zajistilo rovnoměrné rozptýlení sedimentovaných částic v oleji a to na laboratorní třepače obr. 32 a dále pomocí ultrazvukové lázně odstranili vzduchové bubliny, které vznikly mícháním. V menu měřícího softwaru se zapíše parametry měřeného oleje (typ oleje, průběh, druh, najeté kilometry...) a vybere se druh oleje (hydraulický nebo motorový). Průtoková cela se propláchne petrolejem a do odsávacího nástavce se umístí měřený vzorek oleje a spustí vlastní měření. Po ukončení měření software přístroje automaticky vyhodnotil počet a tvar zaznamenaných částic. Otěrové částice jsou rozděleny do kategorií podle druhu opotřebení, dále jsou identifikovány bubliny vzduchu, kapky vody a vlákna obr. 33 [26].



Obr. 32 Třepačka [vlastní]



Obr. 33 Ukázka výsledků z Laserového analyzátoru [vlastní]

2.4 Výsledky analýz jednotlivých olejů

2.4.1 Analýza vzorku motorového oleje číslo 1

Analýza vzorku označeného jako č. 1 byl odebrán z vozu č.1 a porovnán se vzorkem nového oleje URANIA FE 5W-30.

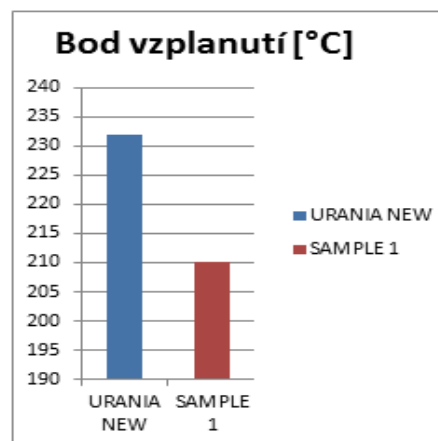
➤ Měření bodu vzplanutí vzorku č. 1

Tab. 8 Porovnání bodu vzplanutí vzorku 1 s novým olejem

Druh oleje	Urania new	Sample 1	Pokles v %
Bod vzplanutí	232°C	210°C	9,48

U naftových motorů nesmí bod vzplanutí klesnout pod hranici 180°-190°C viz kapitola 2.3.1. Dle tabulky č. 8 u vzorku č. 1 je bod vzplanutí 210°C.

Porovnání s novým olejem je graficky porovnáno na grafu 2. Na základě měření obsah paliva v oleji nepřekročil hranici 4 % a dle naměřeného bodu vzplanutí v bodě 210° C lze vyhodnotit vzorek oleje č. 1 jako použitelný pro další používání.



Graf 2 Bod vzplanutí vzorku č. 1

➤ Stanovení obsahu nečistot v oleji Denzimetrem REO 31 vzorku č. 1

Procentuální obsah nečistot stanovený denzimetrem REO 31 ve vzorku nového i používaného oleje je uveden v tabulce č. 9. Z tabulky vyplývá, že obsah sazí a produktů chemických degradačních reakcí je u používaného oleje pouze na úrovni 0,1 % a nedošlo k překročení limitní hodnoty celkového znečištění 0,9 %. Hodnocený motorový olej je zanedbatelně znečištěný, což je v souladu s průběhem vozidla a z tohoto pohledu může být dále používán.

Tab. 9 Obsah nečistot ve vzorku č. 1 [%]

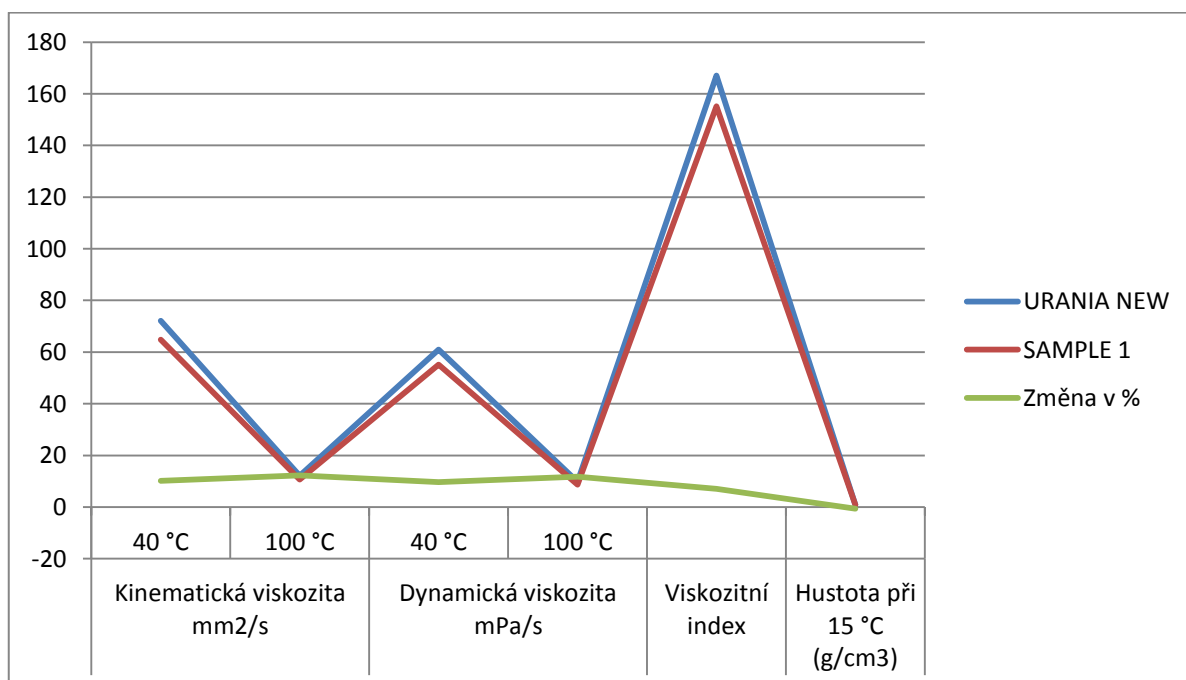
Druh oleje	Urania new	Sample 1
Pokus 1	0,04	0,1
Pokus 2	0,06	0,1
Průměr	0,05	0,1

➤ Stanovení viskozity – Stabingerovým viskozimetrem, měření vzorku č. 1

Tab. 10 Měření viskozity vzorku č. 1

		URANIA NEW	SAMPLE 1	Změna v %
Kinematická viskozita mm ² /s	40 °C	72,117	64,786	10,17
	100 °C	12,174	10,686	12,22
Dynamická viskozita mPa/s	40 °C	61,006	55,121	9,65
	100 °C	9,838	8,681	11,76
Viskozitní index		167,1	155,2	7,12
Hustota při 15 °C (g/cm ³)		0,8617	0,8668	-0,59

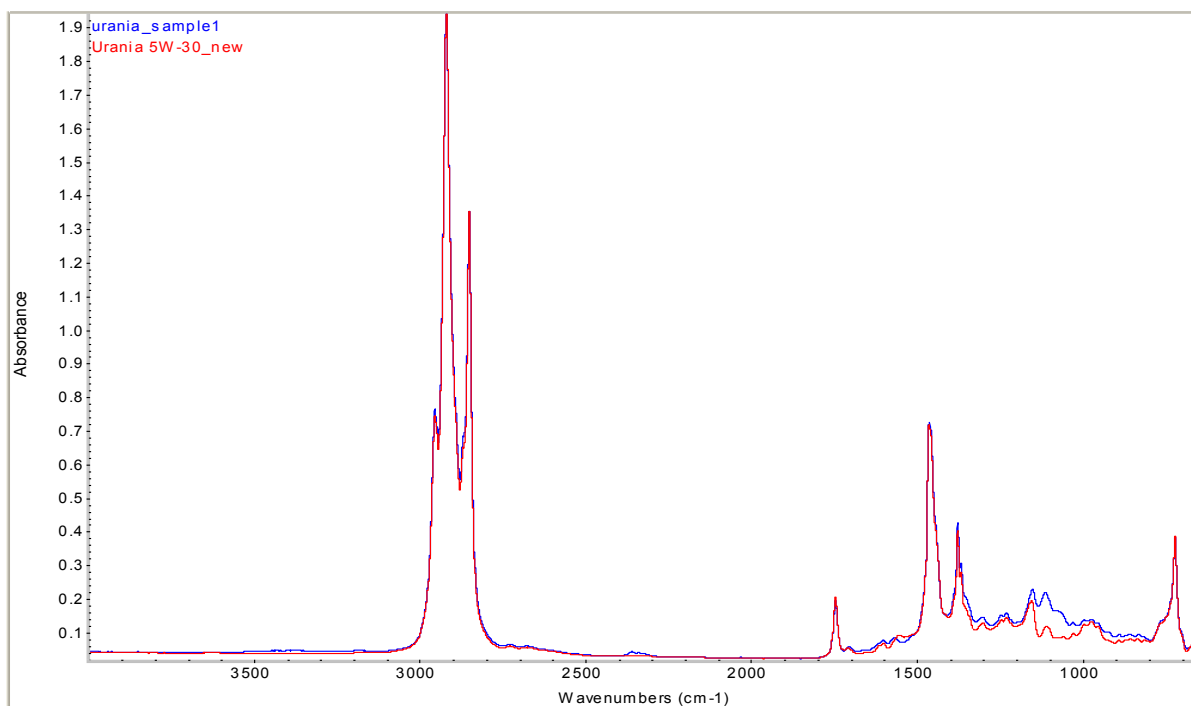
U vzorku č. 1 oproti novému vzorku je vidět změna viz tab. 10. Pokles kinematické viskozity při 40°C je o 10,17 a u 100°C o 12,22 %. U dynamické viskozity byl pokles při 40°C o 9,65 % a u 100°C o 11,76. Viskozitní index klesl oproti novému oleji o 7,12 % a hustota při 15°C stoupla o 0,59 %. Grafické zobrazení je vidět v grafu č. 3. Z výše uvedených výsledků a grafického zobrazení je patrné, že provozem motorového oleje došlo ke snížení kinematické i dynamické viskozity. Příčinou snížení viskozity může být průnik paliva do oleje, které se tam může v nízké koncentraci dostat přirozenou cestou spolu se spalinami. Nízké koncentraci paliva v oleji by odpovídaly i výsledky naměřeného bodu vzplanutí. K výraznému snížení viskozity o více jak 20 % tu nedochází a olej lze dále používat.



Graf 3 Změna vzorku č. 1 oproti novému oleji

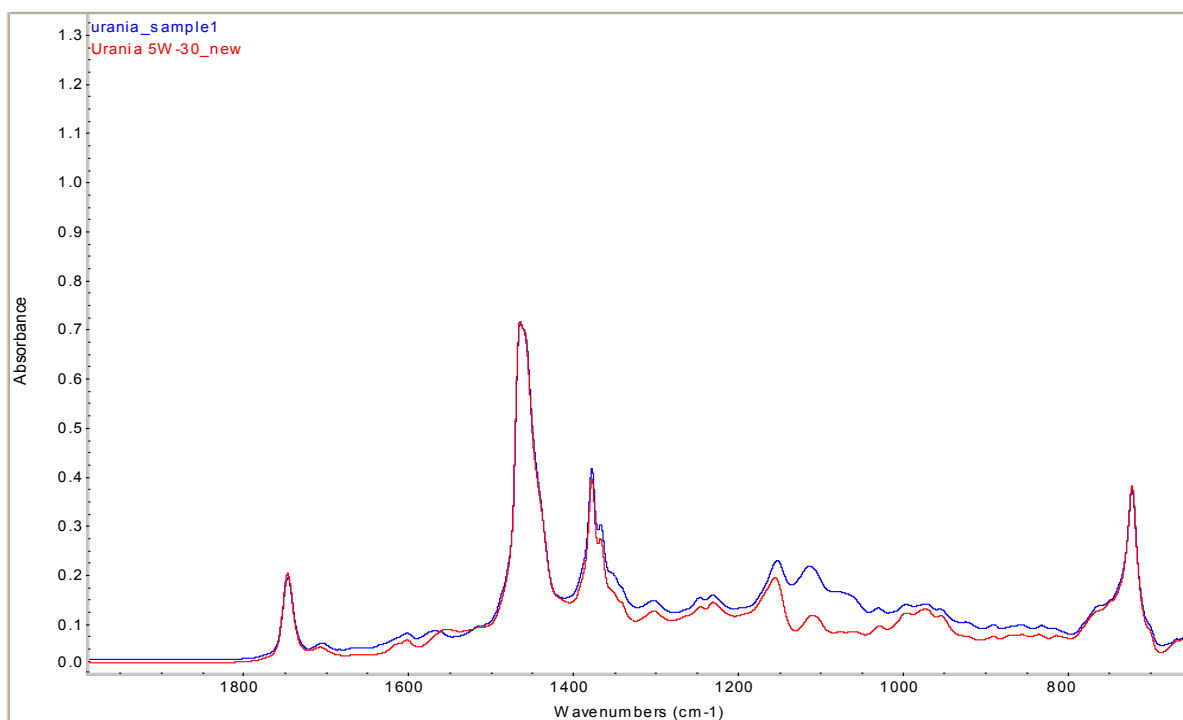
➤ FTIR spektrometrie vzorku č. 1

Porovnáním spekter nového oleje Urania 5W-30 a opotřebeného oleje odebraného z motoru vozidla č. 1 (viz obr. 22) lze relativně hodnotit obsah oxidačních, nitratačních, sulfatačních produktů, případný průnik vody, glykolu a paliva do olejové náplně, a také úbytek antioxidačních a dalších přísad [11].



Obr. 34 Porovnání spekter vzorku 1 a nového oleje

Vzhledem k tomu, že v oblasti $3600\text{--}3300\text{ cm}^{-1}$ se nevyskytuje široký pás náležející vodíkovým můstkům a dvojicí pásů s vrcholy kolem $1080, 1040\text{ cm}^{-1}$ patřící ethylenglykolu, nelze se domnívat, že by byl v motoru problém s těsněním pod hlavou válců nebo její dosedací plochou, tj. že by se do olejové náplně dostala chladicí kapalina.



Obr. 35 Detail spekter vzorku 1 a nového oleje

V detailu spekter si lze povšimnout, že v oblasti cca 760 cm^{-1} se u vzorku opotřebeného oleje vyskytuje nevýrazný pás náležející motorové naftě. Průnik paliva do olejové náplně v objemu menším než 4 % hm. byl rovněž potvrzen zkouškou na stanovení bodu vzplanutí.

Ve spektru upotřebeného oleje se nevyskytuje pás karbonylové vazby C=O (přírůstek absorbance v oblasti okolo 1710 cm^{-1}), kde produkty těchto reakcí jsou estery, aldehydy, ketony, karboxylové kyseliny atd. Tyto produkty jsou příčinou měkkých a postupně i tvrdých kalů, laků atd. Nárůst absorbance mezi $1650\text{--}1580\text{ cm}^{-1}$ vypovídá o přítomnosti organických nitrosloučenin. Vzhledem k tomu, že v této oblasti se žádný pás neprojevil, písní skupina je v pořádku, nevyskytují se tam netěsnosti, kterými by se mohly spalné plyny dostat do olejové náplně.

Jak je patrné z obr. 35, tak vlivem vysokých teplot došlo ke značnému poklesu koncentrace antioxidační a protioděrové přísady ZnDDP (diethyldithiofosfát zinečnatý), jejímž projevem je oblast $1050\text{--}950\text{ cm}^{-1}$ a 650 cm^{-1} . Pokud poklesne hodnota této přísady pod hodnotu 20 % obsahu ZnDDP v novém oleji, doporučuje se výměna oleje [37].

➤ **Atomová emisní spektrometrie vzorku č. 1**

Tab. 11 Výsledky AES vzorku č. 1 [ppm]

Primární prvky	Fe 30,15	Cu 8,51	Al 9,32	Pb 0,00
Sekundární prvky	Mn 3,74	Mo 2,45	Sn 17,79	Ni 1,45

AES se zjistilo, že všechny kovové prvky jsou pod hranicí normálního opotřebení tab. 2 a tedy v normě až na cín (Sn). V tab. 11 dle tab. 2 limitních koncentrací kovů je více než nebezpečná koncentrace cínu ve vzorku č. 1. Běžná koncentrace cínu by měla být pod 5 ppm a naměřených 17.79 ppm je nad nebezpečnou hranicí, která je 12 ppm. Dle obr. 4 otěrové kovy v motorovém oleji, je cín z ložisek a bronzových dílů. Nicméně vzhledem k tomu, že jde o zvýšený obsah pouze jednoho prvku a ostatní prvky jsou v normě a cín sám o sobě není primární prvek, ale sekundární tab. 3 proto lze soudit, že se nejedná o zvýšené opotřebení oleje a olej lze dále používat.

2.4.2 Analýza vzorku motorového oleje číslo 2

Analýza vzorku označeného jako č. 2 byl odebrán z vozu č.2 a porovnán se vzorkem nového oleje SHELL RIMOLA R4L 15W-40.

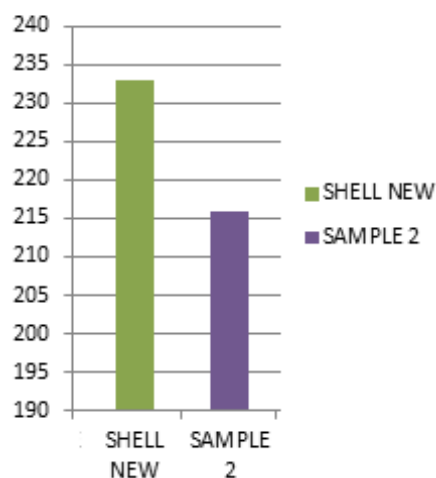
➤ **Měření bodu vzplanutí vzorku č. 2**

Tab. 12 Porovnání bodu vzplanutí vzorku 2 s novým olejem

Druh oleje	Shell new	Sample 2	Pokles v %
Bod vzplanutí	233°C	216°C	7.29

U naftových motorů nesmí bod vzplanutí klesnout pod hranici 180°-190°C viz kapitola 2.3.1. Dle tabulky č. 12 u vzorku č. 2 je bod vzplanutí 216°C. Porovnání s novým olejem graficky porovnáno na grafu 4. Na základě měření obsah paliva v oleji nepřekročil hranici 4 % a dle naměřeného bodu vzplanutí v teplotě 216° C lze vyhodnotit vzorek oleje č. 2 jako použitelný pro další používání.

Bod vzplanutí [°C]



Graf 4 Bod vzplanutí vzorku č. 2

➤ **Stanovení obsahu nečistot v oleji Denzimetrem REO 31 vzorku č. 2**

Procentuální obsah nečistot stanovený denzimetrem REO 31 ve vzorku nového i používaného oleje je uveden v tabulce č. 13. Z tabulky vyplývá, že obsah sazí a produktů chemických degradačních reakcí je u používaného oleje pouze na úrovni 0,7 % a nedošlo k překročení limitní hodnoty celkového znečištění 0,9 %. Hodnocený motorový olej je mírně znečištěný, což je v souladu s průběhem vozidla a z tohoto pohledu může být dále používán.

Tab. 13 Obsah nečistot ve vzorku č. 2

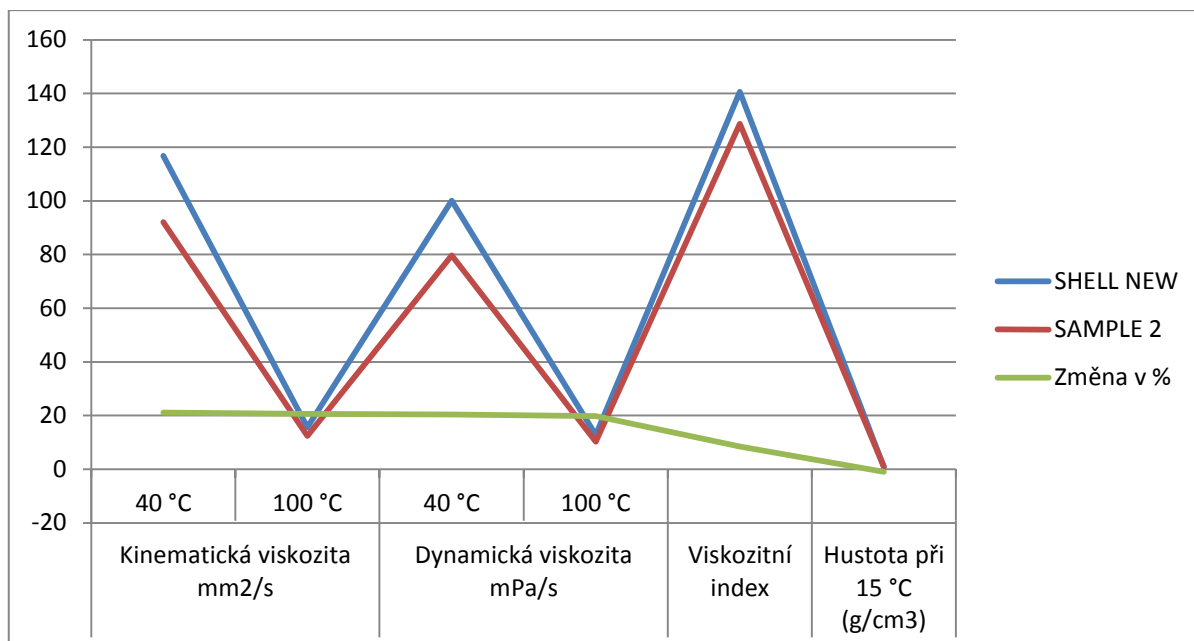
Druh oleje	Shell new	Sample 2
Pokus 1	0,07	0,69
Pokus 2	0,06	0,71
Průměr	0,065	0,70

➤ **Stanovení viskozity – Stabingerovým viskozimetrem, měření vzorku č. 2**

Tab. 14 Měření viskozity vzorku č. 2

		SHELL NEW	SAMPLE 2	Změna v %
Kinematická viskozita mm ² /s	40 °C	116,72	92,047	21,14
	100 °C	15,573	12,367	20,59
Dynamická viskozita mPa/s	40 °C	100,07	79,722	20,34
	100 °C	12,772	10,249	19,76
Viskozitní index		140,6	128,7	8,47
Hustota při 15 °C (g/cm ³)		0,8729	0,8817	-1,01

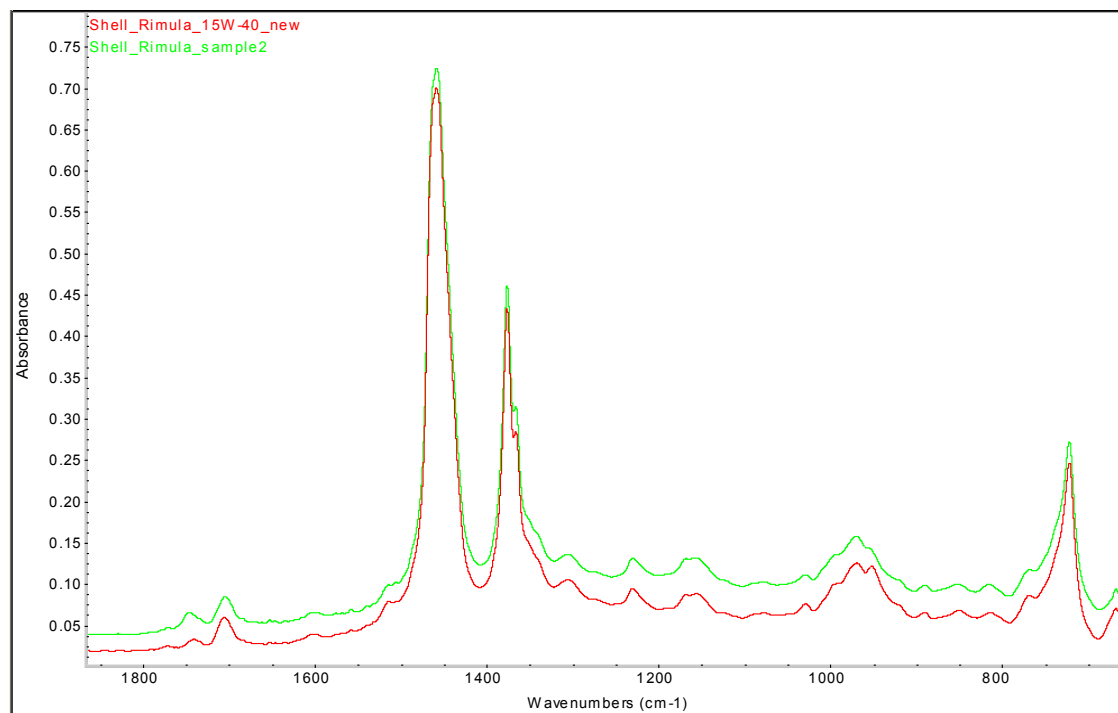
U vzorku č. 2 oproti novému vzorku je vidět změna viz tab. 14. Pokles kinematické viskozity při 40°C je o 21,14 a u 100°C o 20,59 %. U dynamické viskozity byl pokles při 40°C o 20,34 % a u 100°C o 19,76. Viskozitní index klesl oproti novému oleji o 8,47 % a hustota při 15°C stoupla o 1,01 %. Grafické zobrazení je vidět v grafu 5. Z výše uvedených výsledků a grafického zobrazení je patrné, že provozem motorového oleje došlo ke snížení kinematické i dynamické viskozity. Snížení viskozity vypovídá o možném průniku paliva z prostoru válce kolem pístních kroužků. Vzhledem k tomu, že snížení viskozity se pohybuje kolem 20 % je nutné další průběh oleje sledovat.



Graf 5 Změna vzorku č. 2 oproti novému oleji

➤ **FTIR spektrometrie vzorku č. 2**

Porovnáním spekter nového oleje Shell Rimula 15W-40 s olejovou náplní označenou jako sample 2 obr. 36 lze vysledovat, že došlo k posunu celého spektra k vyšším absorbancím; zjišťuje se v oblasti okolo 2000 až 1900 cm^{-1} . To je signálem, že v oleji jsou saze, které zvyšují viskozitu oleje a jeho čerpatelnost.



Obr. 36 Porovnání spekter vzorku 2 a nového oleje

Došlo k snížení koncentrace antioxidační a protioděrové přísady ZnDDP (primární pás s vrcholem cca 960 cm^{-1} a sekundární pás s vrcholem cca 650 cm^{-1}), tento pokles však ještě není takový, aby bylo třeba měnit olej.

➤ **Atomová emisní spektrometrie vzorku č. 2**

Tab. 15 Výsledky AES vzorku č. 2 [ppm]

Primární prvky	Fe 20,68	Cu 3,76	Al 2,36	Pb 0,00
Sekundární prvky	Mn 3,51	Mo 53,93	Sn 17,57	Ni 0,88

AES se zjistilo, že všechny kovové prvky jsou pod hranicí normálního opotřebení tab. 2 a tedy v normě až na cín (Sn). V tab. 16 a dle tab. 2 limitních koncentrací kovů je více než nebezpečná koncentrace cínu ve vzorku č. 1. Běžná koncentrace cínu by měla být pod 5 ppm a naměřených 17.57 ppm je nad nebezpečnou hranicí, která je 12 ppm. Dle obr. 4 otěrové kovy v motorovém oleji, je cín z ložisek a bronzových dílů. Nicméně vzhledem k tomu, že jde o zvýšený obsah pouze jednoho prvku a ostatní prvky jsou v normě a cín sám o sobě není primární prvek, ale sekundární tab. 3 proto lze soudit, že se nejedná o zvýšené opotřebení oleje a olej lze dále používat.

➤ **Laserová analýza částic**

Analyzátozem částic LNF bylo provedeno hodnocení režimu opotřebení nejvíce exponovaných třecích povrchů motoru nepřímo – detekcí počtu částic v 1 ml vzorku oleje. Analyzátozem jsou detegovány částice o velikosti od 5 až 100 μm . Podle morfologických charakteristik bylo nejvíce částic přiřazeno nekovovým (prach) a únavovým částicím (k únavovému opotřebení často dochází u zdvihátek ventilů). Výsledky naměřených částic a jejich klasifikační zařazení do velikostních tříd v tab. 17 a ukázka jednotlivých částic obr. 37.

Tab. 16 Klasifikace částic vzorku č. 2

Vzorek č. 2					
Druh částic	Částice v ml	Max. velikost (μm)			Průměr (μm)
Řezné částice	55,8	67,8			28,8
Otěrové částice	117,7	72,3			31,1
Únavové částice	195,4	93,7			34,8
Nekovové částice	237,3	94,5			36,7
Nezařazené částice	27,9	81,8			29,4
Vláčna	30				
Velikost částic	5 - 15 (μm)	15 - 25 (μm)	25 - 50 (μm)	>50 (μm)	Částic celkem
Počet částic	221969	2374	2596	1178	228117



Obr. 37 Naměřené částice LNF na vzorku č. 2

2.4.3 Analýza vzorku motorového oleje číslo 3

Analýza vzorku označeného jako č. 3 byl odebrán z vozu č.3 a porovnán se vzorkem nového oleje SHELL RIMOLA R4L 15W-40..

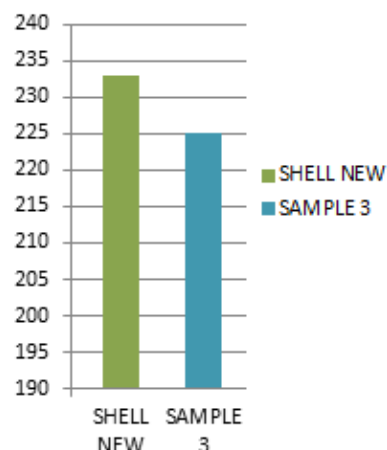
➤ Měření bodu vzplanutí vzorku č. 3

Tab. 17 Porovnání bodu vzplanutí vzorku 3 s novým olejem

Druh oleje	Shell new	Sample 3	Pokles v %
Bod vzplanutí	233°C	225°C	3,44

U naftových motorů nesmí bod vzplanutí klesnout pod hranici 180°-190°C viz kapitola 2.3.1. Dle tabulky č. 18 u vzorku č. 3 je bod vzplanutí 225°C. Porovnání s novým olejem graficky porovnáno na grafu 6. Na základě měření obsah paliva v oleji nepřekročil hranici 4 % a dle naměřeného bodu vzplanutí v teplotě 225° C lze vyhodnotit vzorek oleje č. 3 jako použitelný pro další používání.

Bod vzplanutí [°C]



Graf 6 Bod vzplanutí vzorku č. 3

➤ **Stanovení obsahu nečistot v oleji Denzimetrem REO 31 vzorku č. 3**

Procentuální obsah nečistot stanovený denzimetrem REO 31 ve vzorku nového i používaného oleje je uveden v tabulce č. 18. Z tabulky vyplývá, že obsah sazí a produktů chemických degradačních reakcí je u používaného oleje pouze na úrovni 0,7 % a nedošlo k překročení limitní hodnoty celkového znečištění 0,9 %. Hodnocený motorový olej je mírně znečištěný, což je v souladu s průběhem vozidla a z tohoto pohledu může být dále používán.

Tab. 18 Obsah nečistot ve vzorku č. 3

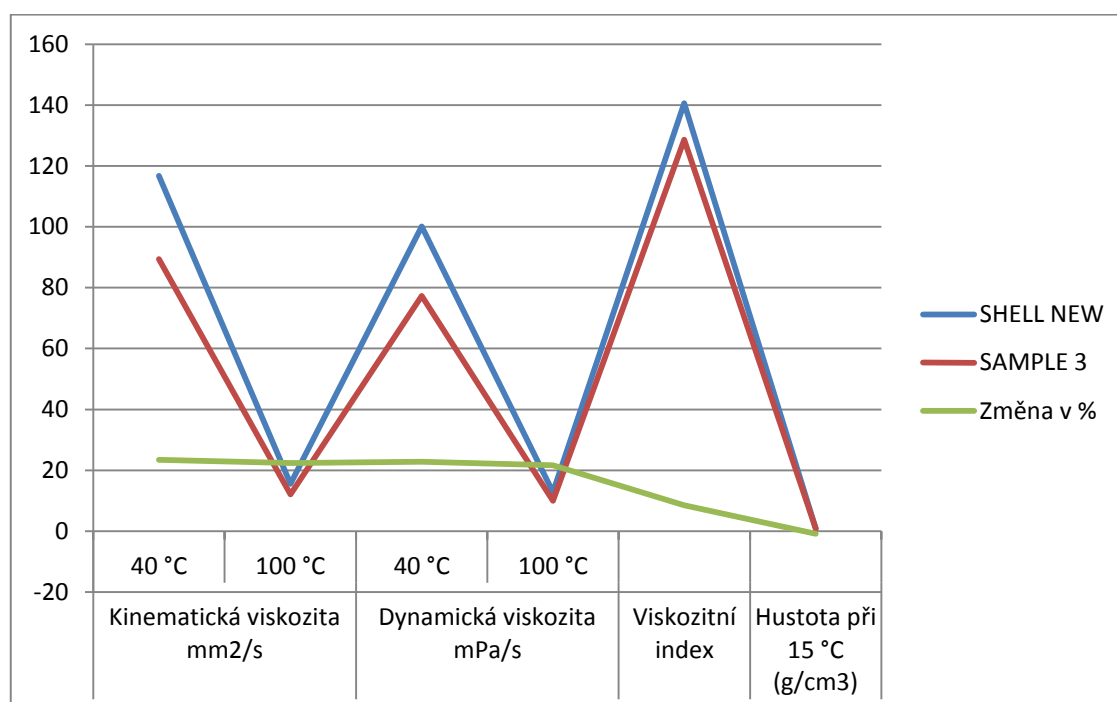
Druh oleje	Shell new	Sample 3
Pokus 1	0,07	0,68
Pokus 2	0,06	0,72
Průměr	0,065	0,70

➤ **Stanovení viskozity – Stabingerovým viskozimetrem, měření vzorku č. 3**

Tab. 19 Měření viskozita vzorku č. 3

		SHELL NEW	SAMPLE 3	Změna v %
Kinematická viskozita mm ² /s	40 °C	116,72	89,335	23,47
	100 °C	15,573	12,093	22,35
Dynamická viskozita mPa/s	40 °C	100,07	77,251	22,81
	100 °C	12,772	10,006	21,66
Viskozitní index		140,6	128,6	8,54
Hustota při 15 °C (g/cm ³)		0,8729	0,8803	-0,84

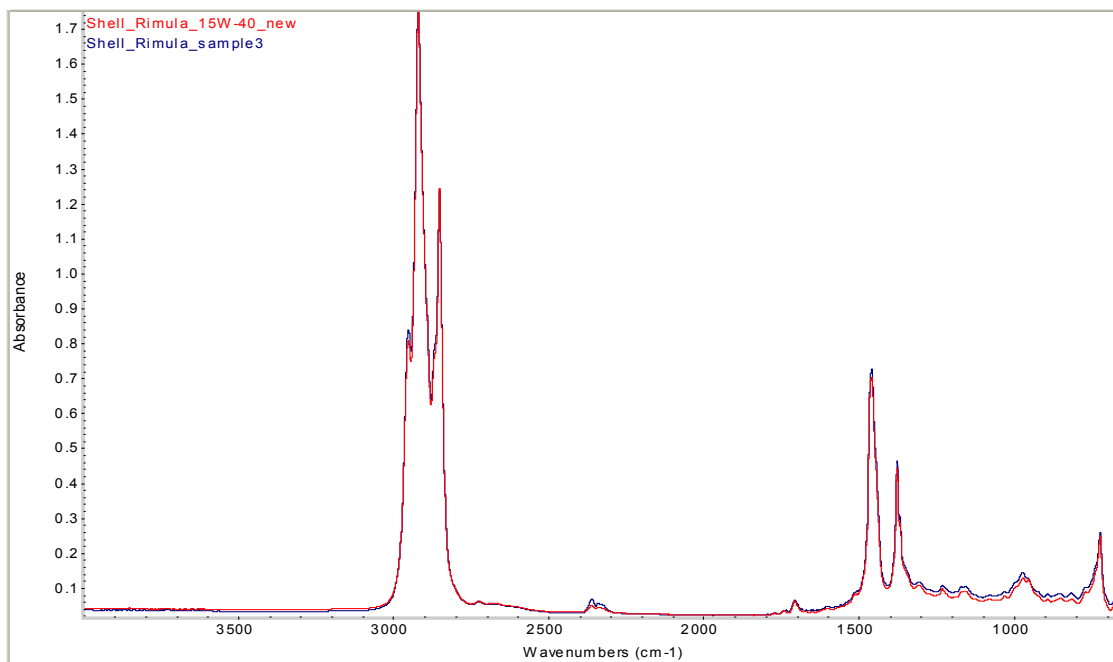
U vzorku č. 3 oproti novému vzorku je vidět změna viz tab. 19. Pokles kinematické viskozity při 40°C je o 23,47 a u 100°C o 22,35 %. U dynamické viskozity byl pokles při 40°C o 22,81 % a u 100°C o 21,66. Viskozitní index klesl oproti novému oleji o 8,54 % a hustota při 15°C stoupla o 0,84 %. Grafické zobrazení je vidět v grafu 7. Z výše uvedených výsledků a grafického zobrazení je patrné, že provozem motorového oleje došlo ke snížení kinematické i dynamické viskozity. Snížení viskozity vypovídá o možném průniku paliva z prostoru válce kolem pístních kroužků. Vzhledem k tomu, že snížení viskozity se pohybuje kolem 20 % je nutné další průběh oleje sledovat.



Graf 7 Změna vzorku č. 3 oproti novému oleji

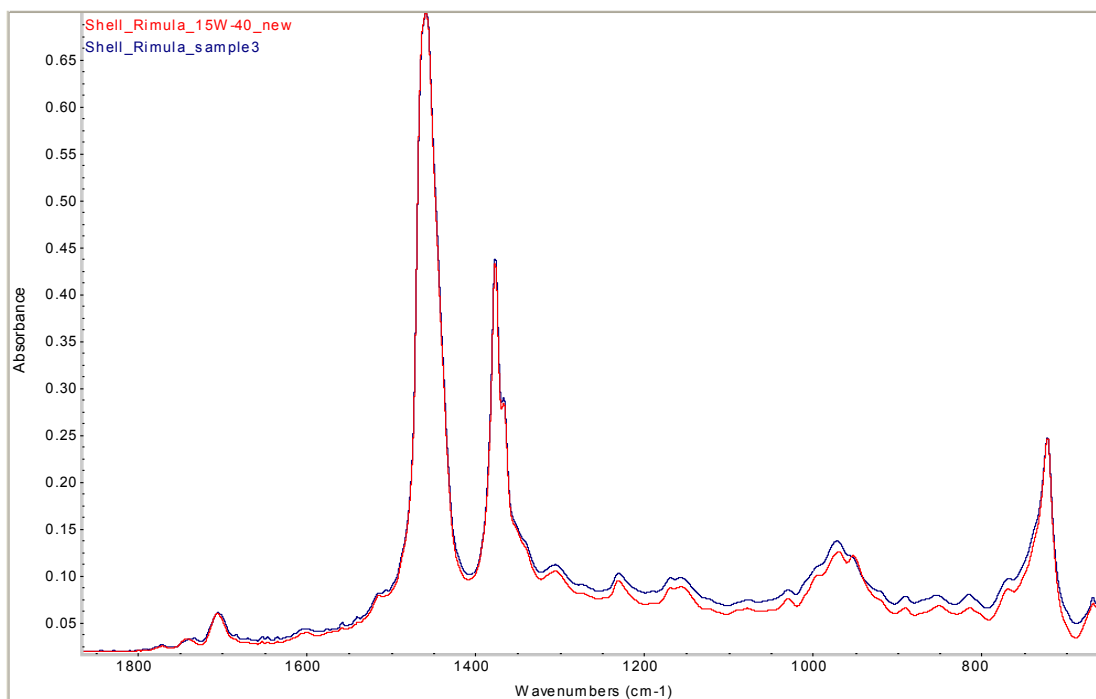
➤ **FTIR spektrometrie vzorku č. 3**

Na obr. 38 lze vidět porovnání spektra nového oleje Shell rimula 15W-40 se vzorkem oleje 3.



Obr. 38 Porovnání spekter vzorku 3 a nového oleje

V detailu spekter obr. 39 si lze povšimnout, že v oblasti cca 1050 - 950 cm^{-1} a 650 cm^{-1} dochází k úbytku absorbance, což je způsobeno vysokými teplotami oleje a dochází k vyčerpání základních protiotěrových a antioxidačních přísad ZnDDP.



Obr. 39 Detail spektra vzorku 3 a nového oleje

➤ **Atomová emisní spektrometrie vzorku č. 3**

Tab. 20 Výsledky AES vzorku č. 3 [ppm]

Primární prvky	Fe 17,14	Cu 1,9	Al 2,47	Pb 0
Sekundární prvky	Mn 3,97	Mo 46,25	Sn 18,97	Ni 1,8

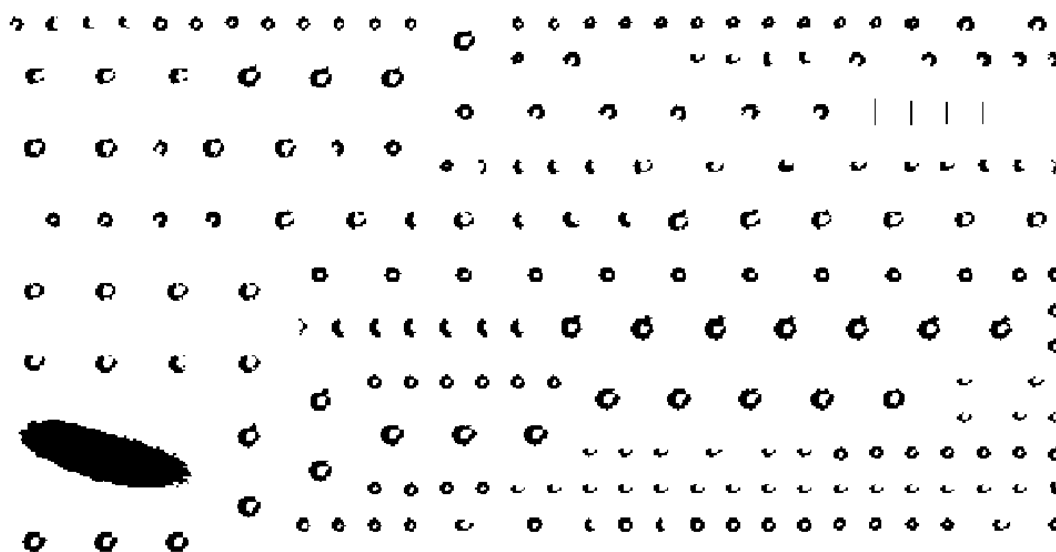
AES se zjistilo, že všechny kovové prvky jsou pod hranicí normálního opotřebení tab. 2 a tedy v normě až na cín (Sn). V tab. 20 dle tab. 2 limitních koncentrací kovů je více než nebezpečná koncentrace cínu ve vzorku č. 3. Běžná koncentrace cínu by měla být pod 5 ppm a naměřených 18.97 ppm je nad nebezpečnou hranicí, která je 12 ppm. Dle obr. 4 otěrové kovy v motorovém oleji, je cín z ložisek a bronzových dílů. Nicméně vzhledem k tomu, že jde o zvýšený obsah pouze jednoho prvku a ostatní prvky jsou v normě a cín sám o sobě není primární prvek, ale sekundární tab. 3 proto lze soudit, že se nejedná o zvýšené opotřebení oleje a olej lze dále používat.

➤ **Laserová analýza částic**

Analyzátozem částic LNF bylo provedeno hodnocení režimu opotřebení nejvíce exponovaných třecích povrchů motoru nepřímo – detekcí počtu částic v 1 ml vzorku oleje. Analyzátozem jsou detegovány částice o velikosti od 5 až 100 μm . Podle morfologických charakteristik bylo nejvíce částic přiřazeno nekovovým (prach) a řezným částicím. Výsledky naměřených částic a jejich klasifikační zařazení do velikostních tříd v tab. 21 a ukázka jednotlivých částic obr. 40.

Tab. 21 Klasifikace částic vzorku č. 3

Vzorek č. 3					
Druh částic	Částice v ml	Max. velikost (μm)	Průměr (μm)		
Řezné částice	251,6	34,4	24,6		
Otěrové částice	39,7	26,6	21,2		
Únavové částice	17,7	195,3	74,8		
Nekovové částice	297,9	37,0	27,7		
Nezařazené částice	6,6	247,4	99,8		
Vlákna	15				
Velikost částic	5 - 15 (μm)	15 - 25 (μm)	25 - 50 (μm)	>50 (μm)	Částic celkem
Počet částic	38444	3915	384	25	42769



Obr. 40 Naměřené částice LNF na vzorku č. 3

2.4.4 Analýza vzorku motorového oleje číslo 4

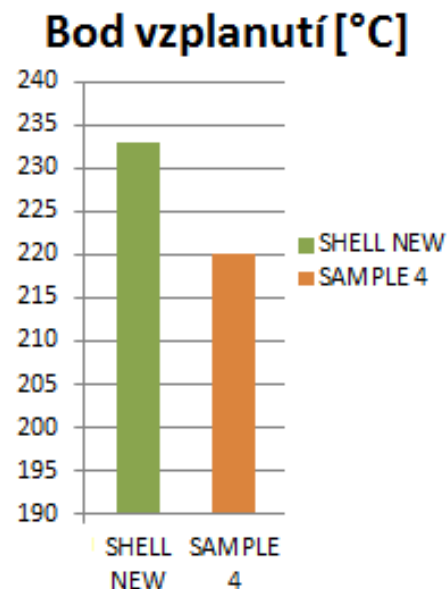
Analýza vzorku označeného jako č. 4 byl odebrán z vozu č.4 a porovnán se vzorkem nového oleje SHELL RIMOLA R4L 15W-40.

➤ Měření bodu vzplanutí vzorku č. 4

Tab. 22 Porovnání bodu vzplanutí vzorku 4 s novým olejem

Druh oleje	Shell new	Sample 4	Pokles v %
Bod vzplanutí	233°C	220°C	5.58

U naftových motorů nesmí bod vzplanutí klesnout pod hranici 180°-190°C viz kapitola 2.3.1. Dle tabulky č. 22 u vzorku č. 4 je bod vzplanutí 220°C. Porovnání s novým olejem graficky porovnáno na grafu 8. Na základě měření obsah paliva v oleji nepřekročil hranici 4 % a dle naměřeného bodu vzplanutí v teplotě 220° C lze vyhodnotit vzorek oleje č. 4 jako použitelný pro další používání.



Graf 8 Bod vzplanutí vzorku č. 4

➤ **Stanovení obsahu nečistot v oleji Denzimetrem REO 31 vzorku č. 4**

Procentuální obsah nečistot stanovený denzimetrem REO 31 ve vzorku nového i používaného oleje je uveden v tabulce č. 23. Z tabulky vyplývá, že obsah sazí a produktů chemických degradačních reakcí je u používaného oleje pouze na úrovni 0,39 % a nedošlo k překročení limitní hodnoty celkového znečištění 0,9 %. Hodnocený motorový olej je zanedbatelně znečištěný, což je v souladu s průběhem vozidla a z tohoto pohledu může být dále používán.

Tab. 23 Obsah nečistot ve vzorku č. 4

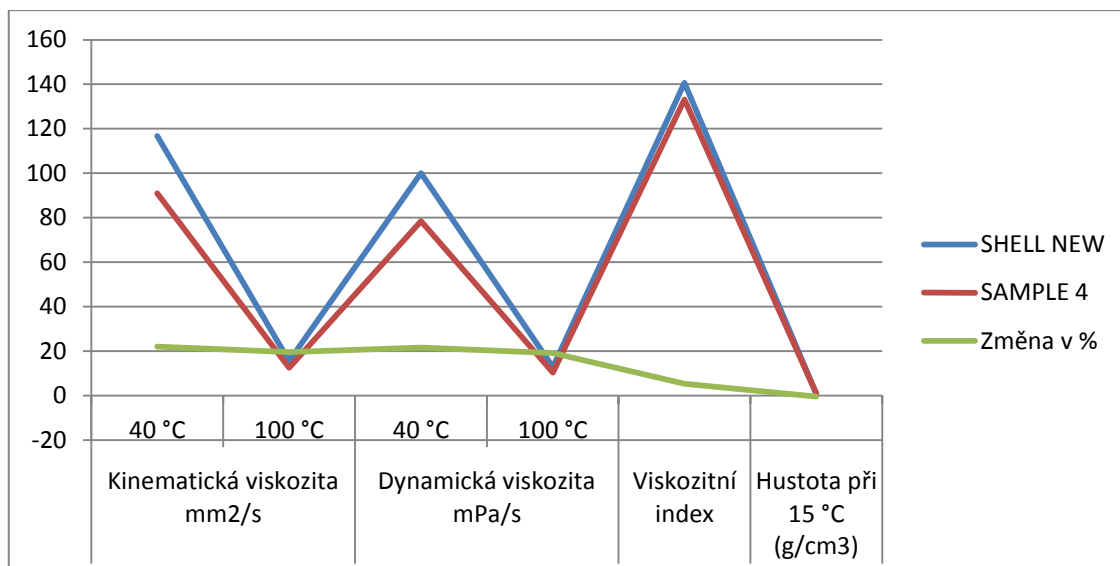
Druh oleje	Shell new	Sample 4
Pokus 1	0,07	0,34
Pokus 2	0,06	0,44
Průměr	0,065	0,39

➤ **Stanovení viskozity – Stabingerovým viskozimetrem, měření vzorku č. 4**

Tab. 24 Měření viskozity vzorku č. 4

		SHELL NEW	SAMPLE 4	Změna v %
Kinematická viskozita mm ² /s	40 °C	116,72	91,041	22,01
	100 °C	15,573	12,521	19,6
Dynamická viskozita mPa/s	40 °C	100,07	78,441	21,62
	100 °C	12,772	10,323	19,18
Viskozitní index		140,6	133,1	5,34
Hustota při 15 °C (g/cm ³)		0,8729	0,8771	-0,48

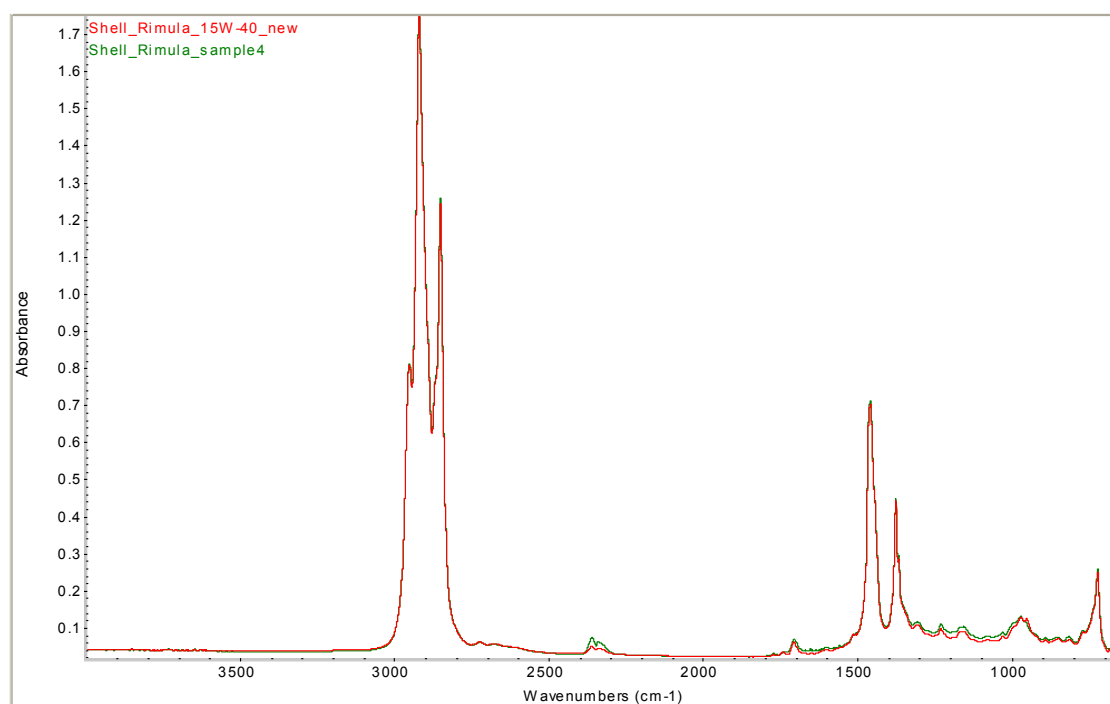
U vzorku č. 4 oproti novému vzorku je vidět změna viz tab. 24. Pokles kinematické viskozity při 40°C je o 22,01 a u 100°C o 19,60 %. U dynamické viskozity byl pokles při 40°C o 21,62 % a u 100°C o 19,18. Viskozitní index klesl oproti novému oleji o 5,34 % a hustota při 15°C stoupla o 0,48 %. Grafické zobrazení je vidět v grafu 9. Z výše uvedených výsledků a grafického zobrazení je patrné, že provozem motorového oleje došlo ke snížení kinematické i dynamické viskozity. Snížení viskozity vypovídá o možném průniku paliva z prostoru válce kolem pístních kroužků. Vzhledem k tomu, že snížení viskozity se pohybuje kolem 20 % je nutné další průběh oleje sledovat.



Graf 9 Změna vzorku č. 4 oproti novému oleji

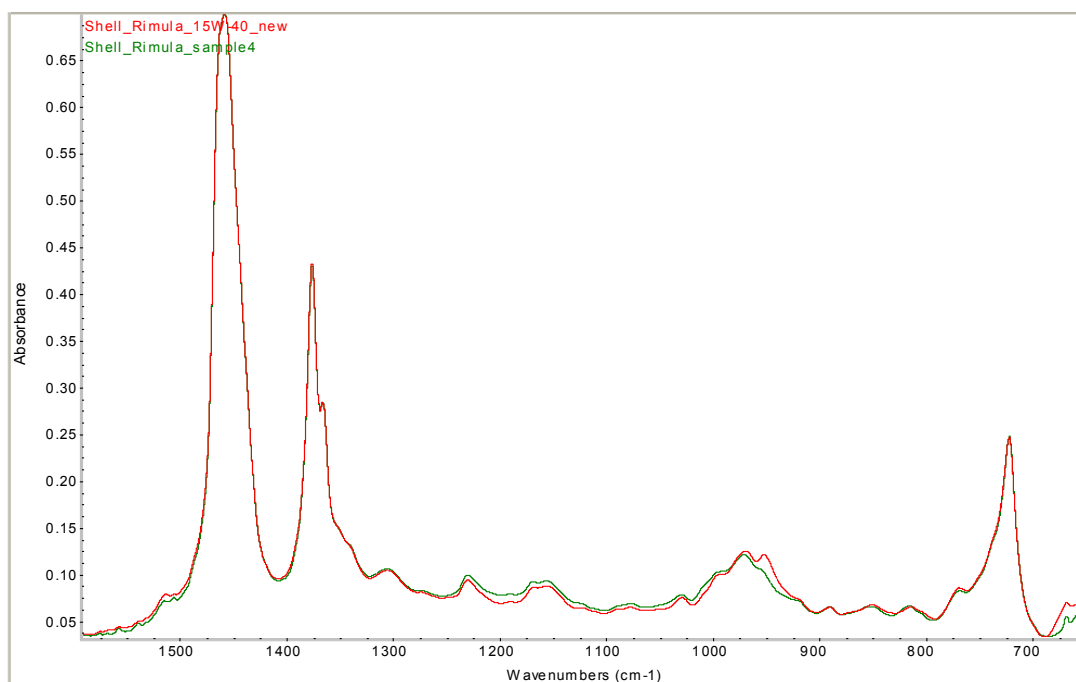
➤ **FTIR spektrometrie vzorku č. 4**

Porovnání celého spektra vzorku č. 4 s novým olejem v rozsahu 4000 – 650 cm⁻¹. Nový olej barvy červené a vzorek č. 4 barvy zelené viz obr. 41. Ze studia spekter není patrný v oblasti 2000 cm⁻¹ posun základní linie k vyšším hodnotám absorpance, tudíž nelze předpokládat, že se v oleji vyskytuje vyšší obsah sazí.



Obr. 41 Porovnání spekter vzorku 4 a nového oleje

V detailu spekter obr. 42 si lze povšimnout, že v oblasti cca 1050 - 950 cm^{-1} a 650 cm^{-1} dochází k úbytku absorbance, což je působeno vysokými teplotami oleje a dochází k vyčerpání základních protiotěrových a antioxidačních přísad ZnDDP.



Obr. 42 Detail spekter vzorku 4 a nového oleje

➤ Atomová emisní spektrometrie vzorku č. 4

Tab. 25 Výsledky AES vzorku č. 4 [ppm]

Primární prvky	Fe	Cu	Al	Pb
	15,81	4,21	1,12	0
Sekundární prvky	Mn	Mo	Sn	Ni
	3,95	56,55	19,67	1,14

AES se zjistilo, že všechny kovové prvky jsou pod hranicí normálního opotřebení tab. 2 a tedy v normě až na cín (Sn). V tab. 25 dle tab. 2 limitních koncentrací kovů je více než nebezpečná koncentrace cínu ve vzorku č. 4. Běžná koncentrace cínu by měla být pod 5 ppm a naměřených 19.67 ppm je nad nebezpečnou hranicí, která je 12 ppm. Dle obr. 4 otěrové kovy v motorovém oleji, je cín z ložisek a bronzových dílů. Nicméně vzhledem k tomu, že jde o zvýšený obsah pouze jednoho prvku a ostatní prvky jsou v normě a cín sám o sobě není primární prvek, ale sekundární tab. 3 proto lze soudit, že se nejedná o zvýšené opotřebení oleje a olej lze dále používat.

➤ **Laserová analýza částic**

Analyzátozem částic LNF bylo provedeno hodnocení režimu opotřebenění nejvíce exponovaných třecích povrchů motoru nepřímo – detekcí počtu částic v 1 ml vzorku oleje. Analyzátozem jsou detegovány částice o velikosti od 5 až 100 μm . Podle morfologických charakteristik bylo nejvíce částic přiřazeno nekovovým částicím (prach). Výsledky naměřených částic a jejich klasifikační zařazení do velikostních tříd v tab. 26 a ukázka jednotlivých částic obr. 43.

Tab. 26 Klasifikace částic vzorku č. 4

Vzorek č. 4					
Druh částic	Částice v ml	Max. velikost (μm)	Průměr (μm)		
Řezné částice	21,2	62,5	33,0		
Otěrové částice	25,0	52,3	32,0		
Únavové částice	53,9	44,5	31,1		
Nekovové částice	225,2	47,5	42,7		
Nezařazené částice	11,5	60,1	40,5		
Vlákna	2				
Velikost částic	5 - 15 (μm)	15 - 25 (μm)	25 - 50 (μm)	>50 (μm)	Částic celkem
Počet částic	65007	829	1098	386	67320



Obr. 43 Naměřené částice LNF na vzorku č. 4

2.4.5 Analýza vzorku motorového oleje číslo 5

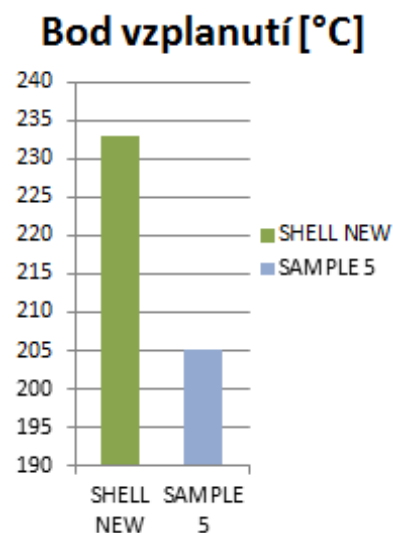
Analýza vzorku označeného jako č. 5 byl odebrán z vozu č.5 a porovnán se vzorkem nového oleje SHELL RIMOLA R4L 15W-40.

➤ Měření bodu vzplanutí vzorku č. 5

Tab. 27 Porovnání bodu vzplanutí vzorku 5 s novým olejem

Druh oleje	Shell new	Sample 5	Pokles v %
Bod vzplanutí	233°C	205°C	12.02

U naftových motorů nesmí bod vzplanutí klesnout pod hranici 180°-190°C viz kapitola 2.3.1. Dle tabulky č. 27 u vzorku č. 5 je bod vzplanutí 205°C. Porovnání s novým olejem graficky porovnáno na grafu 10. Na základě naměřeného poklesu bodu vzplanutí o 12,02 %, je doporučeno udělat další analýzy sledovaného oleje.



Graf 10 Bod vzplanutí vzorku č. 5

➤ Stanovení obsahu nečistot v oleji Denzimetrem REO 31 vzorku č. 5

Procentuální obsah nečistot stanovený denzimetrem REO 31 ve vzorku nového i používaného oleje je uveden v tabulce č. 28. Z tabulky vyplývá, že obsah sazí a produktů chemických degradačních reakcí je u používaného oleje pouze na úrovni 0,64 % a nedošlo k překročení limitní hodnoty celkového znečištění 0,9 %. Hodnocený motorový olej je mírně znečištěný, což je v souladu s průběhem vozidla a z tohoto pohledu může být dále používán.

Tab. 28 Obsah nečistot ve vzorku č. 5

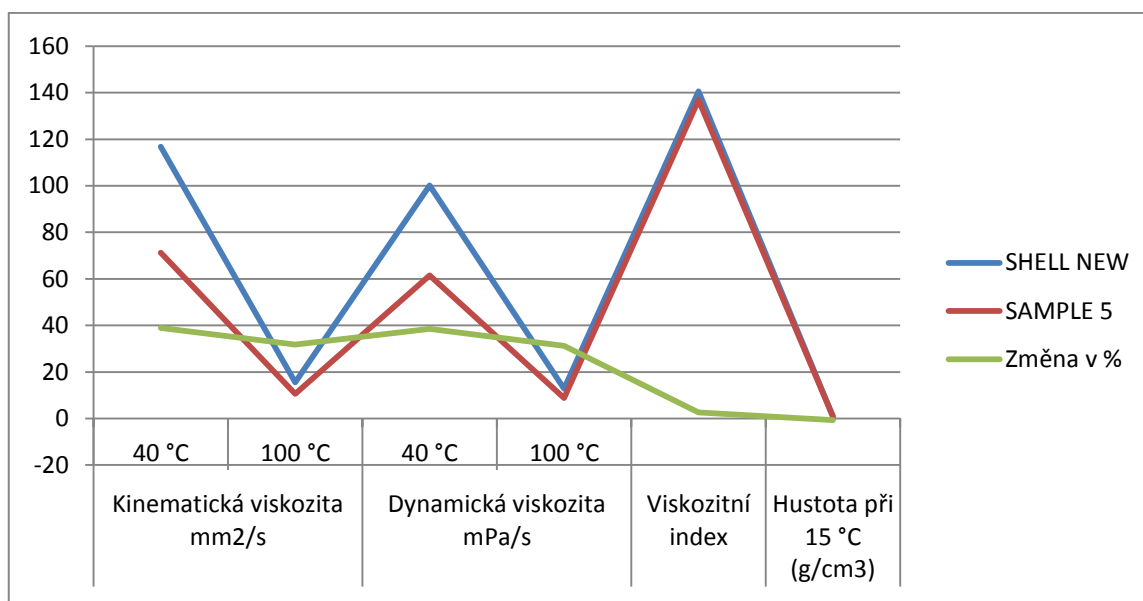
Druh oleje	Shell new	Sample 5
Pokus 1	0,07	0,62
Pokus 2	0,06	0,66
Průměr	0,065	0,64

➤ **Stanovení viskozity – Stabingerovým viskozimetrem, měření vzorku č. 5**

Tab. 29 Měření viskozity vzorku č. 5

		SHELL NEW	SAMPLE 5	Změna v %
Kinematická viskozita mm ² /s	40 °C	116,72	71,237	38,97
	100 °C	15,573	10,635	31,71
Dynamická viskozita mPa/s	40 °C	100,07	61,507	38,54
	100 °C	12,772	8,783	31,24
Viskozitní index		140,6	136,9	2,64
Hustota při 15 °C (g/cm ³)		0,8729	0,879	-0,7

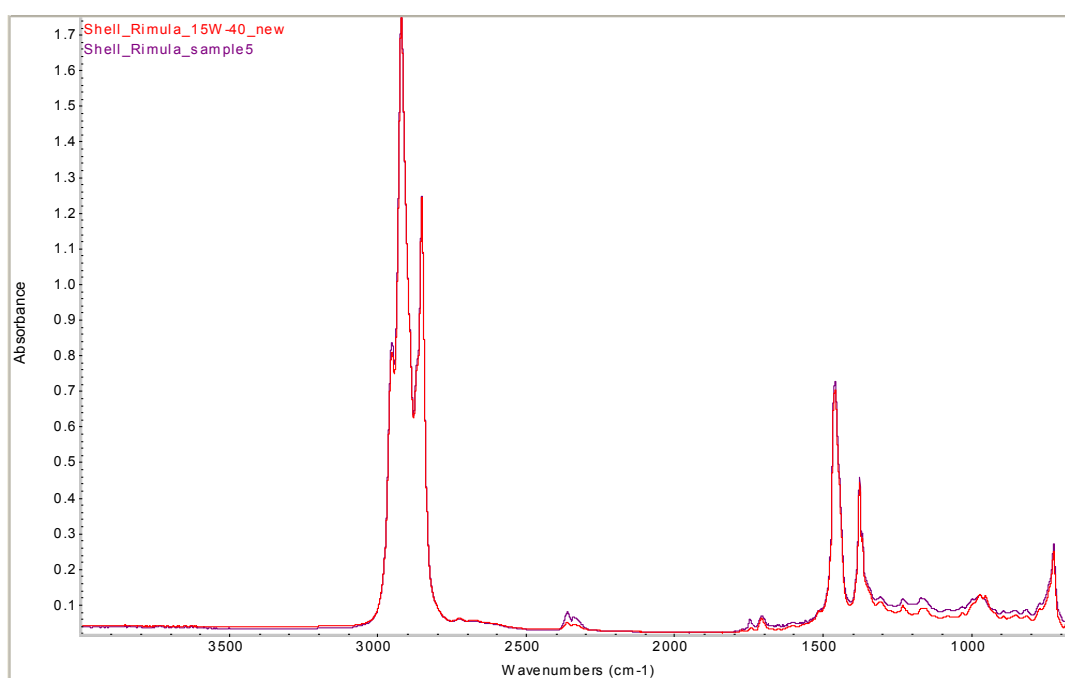
U vzorku č. 5 oproti novému vzorku je vidět změna viz tab. 29. Pokles kinematické viskozity při 40°C je o 38,97 a u 100°C o 31,71 %. U dynamické viskozity byl pokles při 40°C o 38,54 % a u 100°C o 31,24. Viskozitní index klesl oproti novému oleji o 2,64 % a hustota při 15°C stoupla o 0,70 %. Grafické zobrazení je vidět v grafu 11. Z výše uvedených výsledků a grafického zobrazení je patrné, že provozem motorového oleje došlo k výraznému snížení kinematické i dynamické viskozity. Snížení viskozity vypovídá o možném průniku paliva z prostoru válce kolem pístních kroužků. Vzhledem k tomu, že snížení viskozity se pohybuje kolem 40 %, mohlo by to znamenat závadu na vstřikovacích tryskách nebo větší než přípustnou vůli mezi pístem a válcem. Pro další provoz je doporučena výměna oleje za nový a sledování jeho parametrů.



Graf 11 Změna vzorku č. 5 oproti novému oleji

➤ FTIR spektrometrie vzorku č. 5

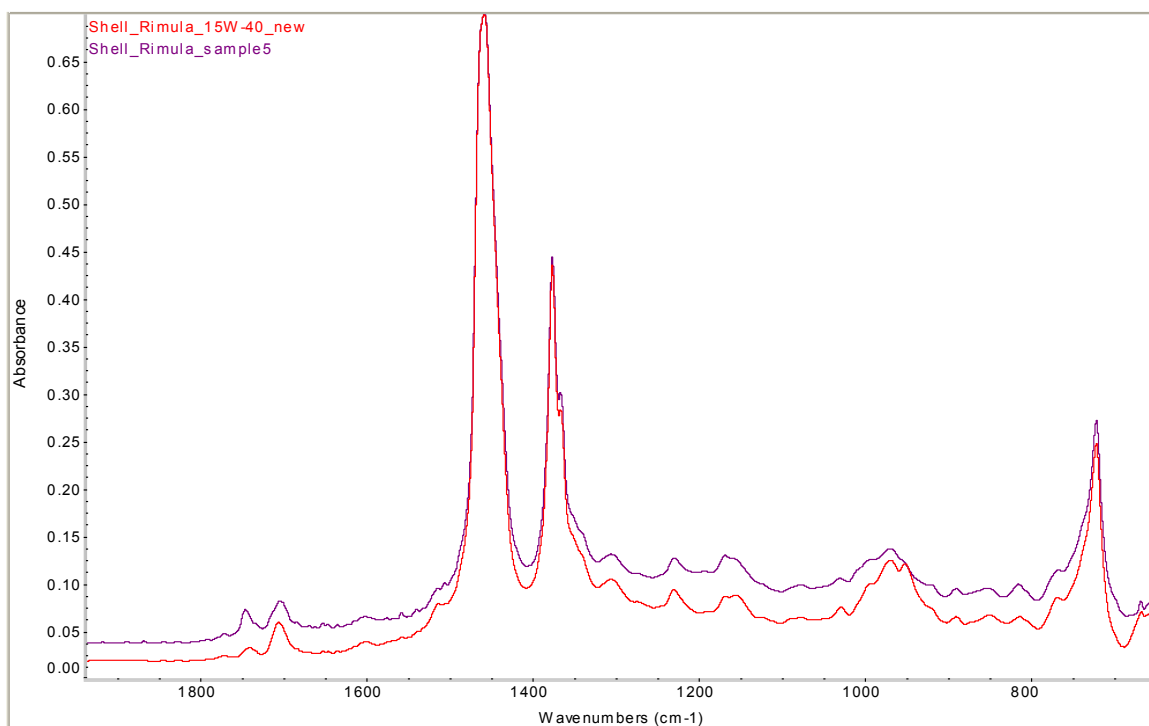
Na níže uvedeném obrázku obr. 44 jsou zobrazena spektra nového oleje a oleje odebraného z údržbového vozu č. 5 (vzorek oleje označen jako sample 5). Jak je patrné ze spektrálního záznamu, tak do olejové vany nepronikly kontaminanty jako je chladicí kapalina a palivo. Voda, která je součástí chladicí kapaliny, by se ve spektru projevila širokým pásem v oblasti $3600\text{--}3300\text{ cm}^{-1}$, etylenglykol dvojicí pátů s vrcholy kolem $1080, 1040\text{ cm}^{-1}$ a průnik paliva do oleje by způsobil nárůst absorpance v oblasti 815 až 800 resp. 750 cm^{-1} [38]. Vzhledem k absenci paliva v motorovém oleji, nedochází k jeho ředění, snížení viskozity a mazací schopnosti.



Obr. 44 Porovnání spekter vzorku 5 a nového oleje

V detailu spektra na níže uvedeném obrázku obr. 45 lze v oblasti s vrcholem kolem 960 cm^{-1} a 650 cm^{-1} zaznamenat pouze zanedbatelný úbytek přísady ZnDDP, která má za úkol bránit oxidaci oleje a opotřebení spolupůsobících povrchů motoru.

Nevýrazný pás v oblasti 1240 cm^{-1} náleží detergentní přísadě. Detergentně-disperzantní přísady mají důležitou úlohu v neutralizaci kyselých zplodin spalování paliva, které se dostanou do oleje, nebo kyselých produktů oxidační degradace oleje [38]. Vzhledem k tomu, že v oblasti 1240 cm^{-1} nedošlo k snížení absorpance detergentní přísady u upotřebeného oleje a ani k významnějšímu snížení koncentrace přísady ZnDDP, nelze předpokládat pokles TBN motorového oleje [39, 40].



Obr. 45 Detail spekter vzorku 5 a nového oleje

Z porovnání spekter nového a upotřebeného oleje nevyplývá nárůst absorbance v oblasti okolo 1710 cm^{-1} , což by bylo projevem oxidace uhlovodíků a ani nárůst absorbance mezi $1650\text{--}1580\text{ cm}^{-1}$, který by vypovídal o přítomnosti organických nitrosloúčenin, které by se mohly dostat do olejové náplně spalnými plyny netěsnostmi v okolí pístní skupiny.

O tom, že v oleji nevznikají kyselé produkty degradačních produktů a nedostaly se tam kyselé spaliny, svědčí absence pásu v oblasti $1180\text{--}1120\text{ cm}^{-1}$, který by náležel sulfatačním produktům.

V oblasti kolem 2000 cm^{-1} lze vysledovat celkový posun spektra použitého oleje k vyšším absorbancím, což je signálem znečištění oleje sazemi.

➤ Atomová emisní spektrometrie vzorku č. 5

Tab. 30 Výsledky AES vzorku č. 5 [ppm]

Primární prvky	Fe 19,61	Cu 7,2	Al 0,65	Pb 0
Sekundární prvky	Mn 4,9	Mo 39,96	Sn 19,1	Ni 1,31

AES se zjistilo, že všechny kovové prvky jsou pod hranicí normálního opotřebení tab. 2 a tedy v normě až na cín (Sn). V tab. 30 dle tab. 2 limitních koncentrací kovů je více než nebezpečná koncentrace cínu ve vzorku č. 5. Běžná koncentrace cínu by měla být pod 5 ppm a naměřených 19.1 ppm je nad nebezpečnou hranicí, která je 12 ppm. Dle obr. 4 otěrové kovy v motorovém oleji, je cín z ložisek a bronzových dílů. Nicméně vzhledem k tomu, že jde o zvýšený obsah pouze jednoho prvku a ostatní prvky jsou v normě a cín sám o sobě není primární prvek, ale sekundární tab. 3 proto lze soudit, že se nejedná o zvýšené opotřebení oleje a olej lze dále používat.

➤ Laserová analýza částic

Analyzátozem částic LNF bylo provedeno hodnocení režimu opotřebení nejvíce exponovaných třecích povrchů motoru nepřímo – detekcí počtu částic v 1 ml vzorku oleje. Analyzátozem jsou detegovány částice o velikosti od 5 až 100 μm . Výsledky naměřených částic a jejich klasifikační zařazení do velikostních tříd v tab. 31 a ukázka jednotlivých částic obr. 46.

Tab. 31 Klasifikace částic vzorku č. 5

Vzorek č. 5					
Druh částic	Částice v ml	Max. velikost (μm)		Průměr (μm)	
Řezné částice	49,8	32,1		25,2	
Otěrové částice	44,5	74,5		28,5	
Únavové částice	10,5	154,6		54,1	
Nekovové částice	47,1	33,0		26,8	
Nezařazené částice	2,6	20,4		20,4	
Vlákna	5				
Velikost částic	5 - 15 (μm)	15 - 25 (μm)	25 - 50 (μm)	>50 (μm)	Částic celkem
Počet částic	12267	1375	146	29	13817



Obr. 46 Naměřené částice LNF na vzorku č. 5

2.5 Dílčí závěr

Z výsledků analýz provedených v laboratoři Dopravní fakulty Jana Pernera Univerzity Pardubice a částečně v laboratoři na Univerzitě obrany v Brně, nebyly zaznamenány výraznější změny parametrů diagnostikovaných olejů. Průběžné vyhodnocení je na konci každé měřené analýzy. Celkově se dá stav olejů a motorů vyhodnotit jako odpovídající k proběhu kilometrů a s výjimkou vzorku č. 5 se všechny oleje doporučují nadále používat a sledovat. U vzorku č. 5 byla naměřena snížená viskozita.

Snížení viskozity vypovídá o možném průniku paliva z prostoru válce kolem pístních kroužků. Vzhledem k tomu, že snížení viskozity se pohybuje kolem 40 %, mohlo by to znamenat závadu na vstřikovacích tryskách nebo větší než přípustnou vůli mezi pístem a válcem.

Pro další provoz je doporučena výměna oleje za nový a sledování jeho parametrů.

3 ZÁVĚR

Stále rostoucí nároky na prodlužování dobrého technického stavu dopravních prostředků souvisí s pravidelnými prohlídkami a kontrolami jejich technického stavu a stavu provozních kapalin. Všeobecně platí, že by se měly respektovat doporučení výrobců motorů dopravních prostředků ohledně minimální kvality použité olejové náplně a jejího výměnného intervalu. Výrobce je doporučen maximální limit, avšak ten nemusí vždy vyhovovat provozu konkrétního dopravního prostředku, neboť velkou roli zde má i způsob provozu vozidla. Z tohoto důvodu může nastat případ, kdy je vyměněn motorový olej, který ještě mohl v motoru plnit veškeré funkce, tj. jeho výměna je nevýhodná nejen z ekonomického, ale i environmentálního hlediska. Naopak při striktním dodržování výměnných lhůt může být používán olej nadměrně opotřebený, který svými vlastnostmi nesplňuje požadavky na něj kladené a dochází tak k poškození motoru.

Jedním z předpokladů zabezpečení optimálních výměnných lhůt je zjištění stavu maziva a strojního zařízení, z něhož bylo mazivo odebráno jako reprezentativní vzorek. K tomuto účelu se využívají laboratorní metody tribotechnické diagnostiky s různým stupněm použitelnosti, díky kterým lze optimalizovat výměnné intervaly olejových náplní podle jejich skutečného stavu a také získat informaci o stavu olejem mazaného motoru.

Cílem diplomové práce bylo popsat současný stav poznatků v oblasti TTD a provést analýzu a vyhodnocení odebraných vzorků motorových olejů z údržbových vozidel KSÚSV, a tak nepřímo zhodnotit stav motorů, které byly olejem omývány.

V teoretické části diplomové práce jsou uvedeny současné poznatky týkající se motorových olejů, jejich složení, vlastností a klasifikací. Jsou zde také uvedeny principy metod TTD, kterými se vlastnosti olejových náplní sledují. Vzhledem k tomu, že během provozu motoru dochází na interagujících plochách k procesu opotřebením, a tak vnášení částic kovů a jiných prvků do mazacího oleje, jsou v práci rovněž uvedeny poznatky týkající se této problematiky.

V experimentální části práce jsou uvedeny technické specifikace jednotlivých údržbových vozů, z kterých byly vzorky olejů odebírány. Vzorky opotřebených i nových olejových náplní byly hodnoceny na základě výsledků aplikace šesti metod tribotechnické diagnostiky.

Tyto výsledky jsou uvedeny v kapitolách 2.4.1. – 2.4.5. u jednotlivých metod a v dílčím závěru. Na základě výsledků analýz motorových olejů byl nepřímě hodnocen stav motorů diagnostikovaných údržbových vozů.

Celkově se však dá shrnout, že oleje a motory jsou v odpovídajícím stavu k najetým kilometrům a u žádného vzorku oleje nebyly naměřeny neodpovídající hodnoty až na vzorek č. 5, kde se doporučuje výměna oleje vzhledem ke snížené viskozitě. Analyzátozem částic LNF bylo provedeno hodnocení režimu opotřebení nejvíce exponovaných třecích povrchů motorů všech údržbových vozidel a u motoru vozidla č. 5 bylo naměřeno zanedbatelné množství částic. Stav motoru je odpovídající jeho proběhu.

Další nestandardní hodnota, které se projevila u všech vzorků olejů, byla hodnota cínu (Sn – sekundární prvek). Vzhledem k tomu, že jde o zvýšený obsah pouze jednoho neprimárního kovového prvku a ostatní prvky jsou v normě, nedochází k žádné degradující činnosti a olej lze dále používat. Zvýšený obsah cínu může být způsoben např. tmelící pastou nebo neodbornou manipulací při výměně či doplňování oleje.

4 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] VLK, F. *Paliva a maziva motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2006, vii, 376 s. ISBN 80-239-6461-5.
- [2] 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
- [3] MAREK, V. HRABEC, L. *Tribotechnická diagnostika* [online]. Ostrava, 2013 [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://udrzbaopodniku.cz/hlavni-menu/artikuly/artikuly/article/tribotechnicka-diagnostika/>
- [4] ČERNÝ, J. Detergenty a disperzanty: Aditivace olejů. *Oleje-Pema* [online]. [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: <http://www.oleje-pema.cz/cs/detergenty-a-disperzanty.html>
- [5] *Popis automobilových maziv: Motorové oleje* [online]. Brno [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: http://www.oleje.cz/obsah/automobilova_maziva
- [6] ŘÍHA, P., ŠEBOR, G. *VÝZKUM VLIVU KVALITY A OPOTŘEBENÍ MOTOROVÝCH OLEJŮ NA MNOŽSTVÍ A SLOŽENÍ EMISÍ ŠKODLIVIN VE VÝFUKOVÝCH PLYNECH Z HLEDISKA SCHVALOVÁNÍ VOZIDEL A JEJICH TECHNICKÉHO STAVU V PROVOZU*. 1. vyd. Praha: Ústav silniční a městské dopravy a.s. 2004, 48s. Dostupné z: http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&ved=0ahUKEwjXv9DV55nKAhUmjnIKHX_SDBoQFghaMAG&url=http%3A%2F%2Fwww.dekra-automobil.cz%2Fdoc%2FDilci_zprava_za_rok_2004.doc&usg=AFQjCNFkOSmT4SUppzqoqhP8D8-EIfverw
- [7] ČERNÝ, J. *Mazivářské mýty, Mýtus třetí: minerál, polosyntetika, syntetika* [online]. Praha, 2004 [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: http://www.oleje.cz/obsah/automobilova_maziva
- [8] ČERNÝ, J. *Minerální, polosyntetický, či syntetický motorový olej?* [online]. Praha, 2002 [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://mechanizaceweb.cz/mineralni-polosynteticky-ci-synteticky-motorovy-olej>
- [9] *Stručně o olejích: Minerální a syntetické oleje* [online]. [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://www.oleje-pema.cz/cs/o-olejich.html#.VvArGuLhDIX>
- [10] MAXA, D. *Specifikace motorových olejů* [online]. Praha [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/vyroby/oleje-motorove-specifikace.aspx>
- [11] MACHALÍKOVÁ, J., SEJKOROVÁ, M. *Diagnostika a kontrola jakosti provozních hmot*. Učební opora na CD. Univerzita Pardubice, 2013. ISBN 978-80-7395-620-2

- [12] *Porovnání klasifikací automobilových motorových olejů* [online]. Brno, 2010 [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://www.oleje.cz/clanek/Porovnaní-klasifikací-automobilových-motorových-oleju>
- [13] *Detergents* [online]. San Ramon, USA, 2015 [cit. 2016-01-28]. Dostupné z: <https://www.oronite.com/products/detergents.asp>
- [14] *Automobilová maziva: Motorové oleje* [online]. 2016 [cit. 2016-01-25]. Dostupné z: <http://www.oleje.cz/clanek/Viskozita-automobilovych-motorovych-oleju>
- [15] SIMON C., TUNG and GEORGE E. TOTTEN (editors). *Automotive Lubricants and testing*. Published by SAE International and ASTM with a Product Code of R-428. Eagan, 2012. ISBN 978-0-7680-7889-3.
- [16] MAREK, V. *Tribotechnická diagnostika motorových olejů* [online]. [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://www.cmms.cz/mazani/205-tribotechnicka-diagnostika-motovych-oleju.html>
- [17] ČERNÝ, J. *Vlastnosti motorových olejů: Oxidační stabilita, nitrace olejů* [online]. 2006 [cit. 2016-01-31]. Dostupné z: http://www.znalec.tym.cz/09_oxid.pdf
- [18] BETNER, M. *What's the difference between TBN and TAN in an oil analysis*. Heavy Duty Lubricants: Truckinginfo [online]. 17.3.2014 [cit. 2016-01-28]. Dostupné z: <http://www.truckinginfo.com/blog/lubricants/story/2014/03/q-what-s-the-difference-between-tbn-and-tan-in-an-oil-analysis.aspx>
- [19] *Tribotechnická diagnostika: Technický stav oleje, otěry strojních částí* [online]. [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://tf.czu.cz/~pexa/Budejovice/Prednasky/P-Tribo.pdf>
- [20] ČERNÝ, J. *Vlastnosti motorových olejů: Nečistoty a saze v motorovém oleji* [online]. Praha [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Necistoty-a-saze-v-motorovem-oleji>
- [21] ČERNÝ, J. *Vlastnosti motorových olejů: Voda a glykol v oleji* [online]. Praha [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Voda-a-glykol-v-oleji>

- [22] *Metodika měření zkoušky tlakem kovových materiálů* [online]. Pardubice, 2010 [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: <http://dspace.upce.cz/handle/10195/36513>. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice. Dopravní fakulta Jana Pernera.
- [23] POŠTA, J. *Degradace strojních součástí* [online]. 2003 [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: <http://degradace.tf.czu.cz/>
- [24] KUČERA, M, Z ALEŠ a M ČERNEYOVÁ. *MOŽNOSTI VYUŽITIA LASEROVÉHO ANALYZÁTORA LASERNET FINES-C V TRIBOTECHNICKEJ DIAGNOSTIKE MAZÍV* [online]. Slovakia, 2011 [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: http://www.tuzvo.sk/files/FEVT/fakulta_fevt/kucera-ales-pexa-cerneyova.pdf
- [25] HELEBRANT, F. ZIEGLER, J. MARASOVÁ, D. *Technická diagnostika a spoľehlivosť*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2001, 155 s. ISBN 80-7078-883-6.
- [26] SEJKOROVÁ, M. *Metody tribotechnické diagnostiky*. Pardubice, 2014. Dostupné také z: <http://www.vvvd.cz/m21-metody-tribologicke-diagnostiky-36.html>. UPCE.
- [27] KOLEČKÁŘ, P. *Analýza pevných částic v olejích, srovnání optického a laserového způsobu měření těchto částic*. [online]. In: . Žilina, 2013, s. 32 [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: http://www.spla.sk/uploads/TRIBOTECHNIKA/Prednasky_2013/Koleckar,%20P._SPECTRO%20APS.p
- [28] STODOLA, J. *Diagnostika motorových vozidel*. Brno: Skripta VUT Brno, 2004.
- [29] HONNER, M. *Infračervená spektrometrie* [online]. Plzeň, 2007 [cit. 2016-02-29]. Laboratorní projekt. ZČU. Vedoucí práce Doc. Ing. Milan Honner, Ph.D. Dostupné z: https://ftp.zcu.cz/www/files/projects/frvs3892007/skripta_kap3_irspektrometrie.pdf.
- [30] LUCAS, M. ANDERSON, D.: *Metody laboratorních rozboru olejů. Příručka mazání a tření*. SPECTRO Inc., Littleton, Massachusetts, U.S.A. 1997.
- [31] ANDERSON, D.P. *Spectroil Q100 , the Latest in a Nearly 30 Year Evolution of Oil Analysis Spectrometers: Oil Analysis* [online]. North America, Littleton [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: http://www.crealt.co.nz/wp-content/uploads/2013/08/WP_Spectro_Q100.pdf
- [32] ČERNÝ, J.: *Palivo v oleji*, časopis Autoexpert 7-8/2006, ISSN 1211-2380

- [33] TOMS, L. A.: *Machinery oil analysis: methods, automation and benefits : a guide for maintenance managers, supervisors & technicians*. 3. udg. Park Ridge, Ill: Society of Tribologists and Lubrication Engineers, 2008. ISBN 9780981751207.
- [34] MERMET, J.M. *Analytica chimica acta: Use of magnesium as a test element for inductively coupled plasma atomic emission spectrometry diagnostics*. 1991. ISSN 0003-2670.
- [35] SCHLAGER, K. J. BERGRSTROM C. J.: *Atomic emission spectrometry*. USA, FL. US5278629 A. Jul. 12, 1991. <https://www.google.com/patents/US5278629>
- [36] HURTOVÁ, I. *Optimalizace výměnných intervalů motorových olejů v autobusech DP města Zlín*, Pardubice, 2012 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://dspace.upce.cz/handle/10195/45470>. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice. Dopravní fakulta Jana Pernera.
- [37] SEJKOROVÁ, M. *Analýza motorových olejů pro dopravní prostředky instrumentálními metodami*. Pardubice, 2014. 150 s. Vedoucí disertační práce doc. RNDr. Jaroslava Machalíková, CSc., Univerzita Pardubice.
- [38] MACHALÍKOVÁ, J., SEJKOROVÁ, M., LIVOROVÁ, M. *Aplikace instrumentálních metod v analýze provozních hmot pro dopravní prostředky*. In. Scientific Papers of the University of Pardubice, Series B, The Jan Perner Transport Fakulty 18 (2012), s. 33- 54. ISBN 978-80-7395-684-4. ISSN 1211-6610.
- [39] KASTELIK, M., ŻÓLTOWSKI, B. *Application of spectroscopic research methods for motor oil condition and quality evaluation*. Journal of POLISH SIMAC [online]. 2010 [cit. 24. 03. 2013] Dostupné z: <http://polishcimac.pl/Papers1/2010/024.pdf>
- [40] KASTELIK, M., ŻÓLTOWSKI, B. *FT-IR method used for evaluation of motor oil condition and quality*. Journal of POLISH SIMAC [online]. 2010. [cit. 24. 03. 2013] Dostupné z: <http://polishcimac.pl/Papers1/2010/025.pdf>