

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2011

Martin Laifr

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Metody stanovení znečištění motorových olejů
Martin Laifr

Bakalářská práce

2011

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin LAIFR**
Osobní číslo: **D08328**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Provozní spolehlivost dopravních prostředků a infrastruktury-Ochrana životního prostředí v dopravě**
Název tématu: **Metody stanovení znečištění motorových olejů**
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

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

1. Úvod
2. Na základě studia literatury a informačních zdrojů shrňte současné poznatky o vlastnostech motorových olejů a o metodách sledování průběhu jejich znečištění.
3. Seznamte se s principy a metodikou použitých experimentálních metod.
4. Zabezpečte odběr vzorků a připravte zkušební vzorky pro analýzy. Proveďte příslušné laboratorní zkoušky.
5. Výsledky provedených prací vyhodnoťte a interpretujte.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:


- HRDLIČKA, Z. Automobilové kapaliny. Praha: Grada Publishing, 1996. 120 s. ISBN 80-7169-332-4.
- JETMAR, J. Tribotechnická diagnostika automobilů. Brno: VA Brno, 1993. 85 s.
- ŠTĚPINA, V. VESELÝ, V. Maziva v tribologii. Bratislava: Veda, 1985. 406 s.
- HRDLIČKA, Z. Automobilové kapaliny. Praha: Grada Publishing, 1996. 120 s. ISBN 80-7169-332-4.
- SEJKOROVÁ, M., SINGER, J., MACHALÍKOVÁ, J.: Analýza procesu provozního opotřebení olejů a součástí jimi mazaných. In časopis Technická diagnostika z1 ročník XVII/2008, str. 40. VŠB-TU Ostrava, ATD ČR Zlín.
- Sejkorová, M., Singer, J., Jakube, P.: Analýza procesů provozního opotřebení olejů pro vojenskou techniku se zaměřením na instrumentální metody. In Sborník přednášek IV. vědecké konference Dopravní fakulty Jana Pernera Nové výzvy pro dopravu a spoje. Pardubice: 14. - 15.září 2006. Univerzita Pardubice, díl III, str. 1135 - 1140. ISBN 80-7194-880-2.

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

Datum zadání bakalářské práce: 25. února 2011
Termín odevzdání bakalářské práce: 31. května 2011


prof. Ing. Bohumil Culek, CSC.
děkan

L.S.


Ing. Ivo Šeřtík, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 25. února 2011

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. 121/200 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 28. 11. 2011

Martin Laifr

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval zejména celé rodině za podporu po celou dobu studia a při psaní bakalářské práce.

Dále bych rád poděkoval vedoucí práce paní Ing. Marii Sejkorové za vedení práce a také paní doc. RNDr. Jaroslavě Machalíkové, CSc, za odbornou pomoc a přínosné podněty.

Velký dík také patří Depu kolejových vozidel Česká Třebová za poskytnuté vzorky motorových olejů a paní Daniele Kubrtové za poskytnuté informace.

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá zpracováním současných poznatků o vlastnostech motorových olejů, o jejich klasifikaci a zejména pak o experimentálních metodách, použitých ke zjišťování znečištění motorových olejů. Základní analýzy motorových olejů provedené v depu kolejových vozidel v České Třebové byly doplněny o náročnější instrumentální analýzy. Na jejich základě bylo provedeno hodnocení a doporučení pro uživatele. Cílem práce je rovněž návrh metodiky stanovení znečištění motorových olejů bez použití laboratorní techniky.

KLÍČOVÁ SLOVA

motorový olej, znečištění olejů, tribotechnická diagnostika, opotřebení motorových olejů, infračervená spektrometrie, částicová analýza

TITLE

Methods for Determination of Motor Oil Pollution

ANNOTATION

This bachelor thesis deals with the processing of current knowledge about the properties of motor oils, their classification and especially the experimental methods used to detect contamination of motor oil. Basic analysis of motor oils made in the paddock of the rail vehicles in the Česká Třebová were supplemented by demanding instrumental analysis. On the basis of these analysis was made an evaluation and recommendations for users. The aim is also to propose methodology for detection of pollution of motor oils without using laboratory techniques.

KEYWORDS

motor oil, oil pollution, tribotechnical diagnosis, degradation of engine oils, infrared spectrometry, particle analysis

OBSAH

| | |
|---|----|
| ÚVOD | 9 |
| 1. TEORETICKÁ ČÁST | 10 |
| 1.1. Motorové oleje | 10 |
| 1.1.1. Základní rozdělení olejů a jejich výroba..... | 10 |
| 1.1.2. Klasifikace motorových olejů..... | 11 |
| 1.1.3. Aditivace motorových olejů..... | 13 |
| 1.2. Diagnostika motorových olejů | 15 |
| 1.2.1. Vlastnosti motorových olejů a metody jejich sledování..... | 15 |
| 1.3. Metody stanovení znečištění motorových olejů použité v experimentální části | 24 |
| 1.4. Tření | 27 |
| 1.5. Opotřebení | 28 |
| 1.5.1. Otěrové částice – morfologická klasifikace a vztah k režimu opotřebení..... | 30 |
| 2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST | 34 |
| 2.1. Aplikace vybraných tribodiagnostických metod | 35 |
| 2.1.1. Měření celkového znečištění pomocí Denzimetru REO 31..... | 35 |
| 2.1.2. Infračervená spektrometrie..... | 38 |
| 2.1.3. Částicová analýza LNF..... | 40 |
| 2.2. Vyhodnocení experimentální části | 41 |
| 2.2.1. Stanovení celkového znečištění na denzimetru a určení jeho barevného odstínu..... | 41 |
| 2.2.2. Výsledky infračervené spektrometrie..... | 51 |
| 2.2.3. Výsledky částicové analýzy LNF..... | 63 |
| ZÁVĚR | 77 |
| POUŽITÉ ZDROJE | 78 |
| SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ | 81 |
| SEZNAM PŘÍLOH | 83 |

ÚVOD

V dnešní době plné automobilů, jsou jejich opravy a údržby na denním pořádku. Vzhledem ke stále se zvyšujícím cenám náhradních dílů a prostředků pro opravy, hledají výrobci, opravárenské a servisní firmy a provozovatelé dopravních prostředků možnosti, kde by se daly finanční prostředky ušetřit. Se zvyšujícím se počtem vozidel roste také množství spotřebovaných provozních kapalin, mezi které významně spadají i motorové oleje.

Důležitou součástí každého provozu vozidel je pravidelná výměna olejových náplní, zejména pak motorového oleje. V dnešní době se vzhledem ke zkvalitňování olejů prodlužují vlastní intervaly výměny motorového oleje. Každá výměna, která je provedena předčasně, znamená pro firmy velké ztráty, ať už jde o nevyužitou životnost oleje, tak i ztráty vzniklé vynaložením prostředků pro likvidaci použitých olejů. V případě používání motorového oleje po době jeho doporučené životnosti sice provozovatelé na jedné straně ušetří finanční prostředky, ale na straně druhé riskují zvýšené opotřebením motoru a v krajním případě i jeho havárii. Proto se pro stanovení stupně degradace oleje vyplatí použít metod tribotechnické diagnostiky.

Tribotechnická diagnostika zahrnuje veškeré zkoušky provozních náplní, od těch jednoduchých, které jsou prováděny přímo na vozidle, až po složité, prováděné ve specializovaných laboratořích. Pravidelné analytické kontroly maziv a sledování řady funkčních parametrů umožňuje nejen nastavit optimálně výměnný interval oleje, ale i včas diagnostikovat možnost blížící se poruchy, naplánovat opravu tak, aby nedošlo k nečekanému výpadku a přitom oprava nebyla předčasná či zbytečná. Lze zabránit poruchám, které by se mohly např. projevit v případě havárie negativními účinky na životní prostředí, zhoršením kvality výroby a výrobními ztrátami i náklady na likvidaci následků poruchy.

Problematika diagnostiky a nastavení doby optimální výměny zejména motorových, ale i převodových a hydraulických olejů jsou proto významné z hlediska jak technického, tak ekonomického a ekologického.

Náročné instrumentální metody však vyžadují složité a finančně náročné měřicí přístroje a dále odbornou kvalifikaci obsluhy, a proto jejich využití nachází své uplatnění zejména ve velkých firmách, které pracují s většími objemy olejových náplní.

V teoretické části bakalářské práce byly zpracovány současné poznatky o vlastnostech motorových olejů, o používaných klasifikacích, metodách sledování průběhu jejich znečištění a o problematice tření a opotřebením. V práci jsou dále zpracovány principy a metodiky použitých experimentálních metod.

V experimentální části byly použity vzorky motorových olejů z hnacích vozidel řady 810, dodaných Depem kolejových vozidel Česká Třebová (DKV ČT). Zkoušky olejů provedené v DKV ČT byly doplněny o další experimentální zkoušky provedené v laboratořích Univerzity Pardubice. Tyto zkoušky byly dále použity pro návrh metodiky stanovení znečištění motorových olejů bez použití laboratorní techniky.

Hlavním cílem této práce je návrh metodiky zjišťování znečištění motorových olejů bez použití drahých měřících přístrojů, tj. s použitím pouhého fotoaparátu nebo skeneru a následným vyhodnocením barevných spekter v počítači běžnými freewareovými programy. Tato velmi jednoduchá metoda by mohla pomoci zejména malým firmám, které nedisponují dostatkem finančních prostředků na nákup drahých měřících zařízení a zároveň potřebují monitorovat znečištění motorových olejů.

1. TEORETICKÁ ČÁST

1.1. Motorové oleje

Jedná se o tekuté organické sloučeniny, které mají mastnou povahu. Jsou lehčí než voda a ve vodě jsou nerozpustné. Rozpustitelné jsou v benzínu, éteru a jiných organických rozpouštědlech.

Hlavní funkcí motorového oleje je jeho mazací schopnost, kterou omezuje styk mezi hybnými součástmi. Další funkcí je chlazení, kdy olej odvádí teplo vzniklé při tření a hoření ve spalovacím prostoru. Motorový olej udržuje motor v čistotě zachycováním nečistot a dalších částic, které vznikají při chodu motoru opotřebením. Má schopnost chránit kovové plochy před korozi. Olejový film, který vzniká mezi pístními kroužky a stěnou válce má také dotěšňovací funkci. Tímto zvyšuje kompresi a snižuje tlakové ztráty. Mazaný motor má pak klidnější chod a je méně hlučný.

1.1.1. Základní rozdělení motorových olejů a jejich výroba

Motorové oleje se rozdělují dle technologie výroby na:

Minerální oleje

Často jsou označovány jako ropné oleje. Jedná se o směs výševroucích uhlovodíků a získávají se především z ropy, nebo z černouhelného a hnědouhelného dehtu, živičné břidlice apod.

Surová ropa se rozdestiluje v rafineriích na jednotlivé frakce. Frakce, které je vhodná pro výrobu olejů se upraví metodou rafinace, kdy se odstraní nestabilní látky. Získaný rafinát se odparafinuje, dočistí a odfiltruje od nečistot vzniklých při teplotním zpracování. Tímto se získají různé druhy olejů, které jsou následně použity jako základ pro výrobu různých druhů olejů.

Syntetické oleje

Výroba syntetickou cestou má výhodu v tom, že olej obsahuje jen ty složky, které jsou nezbytně nutné a vhodné. Oproti minerálním olejům neobsahují žádné látky, které zhoršují vlastnosti motorového oleje a nelze je klasickou cestou odstranit [2].

Jedná se o úzkou frakci uhlovodíků, která se však nezíská z ropy, ale syntézou uhlovodíků. Získáme je vhodnou úpravou chemické sloučeniny jsou např. polyolefiny, aromatické sloučeniny, estery organických kyselin a alkoholů, polyglykoly, halogenové oleje a další. Tyto látky mají vlastnosti podobající se ropným mazivům. Oproti ropným olejům mají však vyšší mazivost, odolnost proti vysokým teplotám, vyšší tekutost při nižších teplotách, vyšší viskozitní index a další lepší vlastnosti [2].

Proto jsou syntetické oleje nasazovány tam, kde běžné oleje selhávají, např. při extrémně nízkých teplotách.

Polosyntetické oleje

Jedná se o motorový olej, který vznikne tak, že do minerálního základu se přimíchává syntetický olej určitého složení. Obsah syntetické složky nesmí být menší než 20 % objemu, špičkové polosyntetické oleje obsahují až 65 % syntetického oleje [2].

Takto vyrobený základ se dále aditivuje pro dosažení potřebných parametrů. Celkově jsou polosyntetické oleje svými vlastnostmi mezi minerálními a syntetickými oleji. Nejsou sice lepší než oleje syntetické, jsou však kvalitativně na vyšší úrovni, než oleje minerální a jejich životnost je taktéž větší než u minerálních [2].

Tento jev se však dnes eliminoval vznikem nových technologií výroby minerálních olejů a rozdíl mezi kvalitou olejů se téměř vyrovnal. Dnes již v podstatě neexistují čisté minerální motorové oleje, ale oleje na minerální bázi, které jsou na požadované vlastnosti komponovány s velkou zušlechťující syntetickou složkou [2].

Podle chemického principu se syntetické báze (základové oleje) dělí na tzv. PAO (oleje vyvinuté na základě směsi polyalfaolefinového základového oleje) a estery. I tyto dva typy syntetických bází jsou však při komponování syntetického automobilového oleje v různém poměru míšeny, aby konečný produkt těžil z jejich kladných vlastností a záporné se vzájemně doplnily, nebo dokonce vyrušily. Jako příklad lze uvést, že syntetické oleje typu PAO při dlouhodobém styku s pryží způsobují její smršťování, což by v motoru způsobilo potíže zejména s různými těsněními. Naproti tomu syntetické oleje na bázi esterů způsobují bobtnání pryže. A tak se při komponování automobilových olejů využívá protichůdných vlastností a vhodným poměrem se jejich negativní vlastnosti vyruší. Estery mají jednu velmi důležitou kladnou vlastnost, která je dána jejich molekulární stavbou a polaritou částic a to je přilnavost ke kovovým materiálům, což způsobuje, že se po dlouhou dobu drží na kolmých plochách a nestékají, čímž jednak tyto plochy konzervují, neboť jsou na ně navázány antioxidační přísady, a navíc zabráňují nadměrnému opotřebení třecích ploch nad hladinou olejové lázně při nastartování motoru po delší odstávce. I když teoreticky lze říci, že samotná olejová esterová báze má lepší vlastnosti než čistá PAO báze, tak prakticky se rozdíly stírají, s ohledem na skutečnost, že automobilové oleje jsou komplikované sloučeniny složené z mnoha komponent [2].

Motorové oleje jako syntetické jsou dnes označovány pouze dva typy olejů a to oleje založené na skutečně syntetických základech (PAO a estery) a oleje v podstatě na minerální bázi, zušlechtěné technologií VHVI (z angl. Very High Viskosity Index), kterou se dosahuje vysokých hodnot viskozity [2].

1.1.2. Klasifikace motorových olejů

Klasifikace motorových olejů se rozděluje do následujících skupin:

Viskozitní klasifikace

Základní hodnotící vlastností při viskozitní klasifikaci je viskozitní index. Jedná se o bezrozměrnou veličinu, která udává vliv teploty na viskozitu oleje v porovnání se dvěma řadami standardních olejů, které mají při teplotě 98,89 °C stejnou viskozitu jako zkušební olej.

Rozdělení olejů do jednotlivých viskozitních tříd provedla Společnost amerických inženýrů – SAE.

Tato norma používá 6 zimních tříd 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 si olej zachovává dostatečnou viskozitu i při nízkých teplotách (např. 0W až do -50°C).

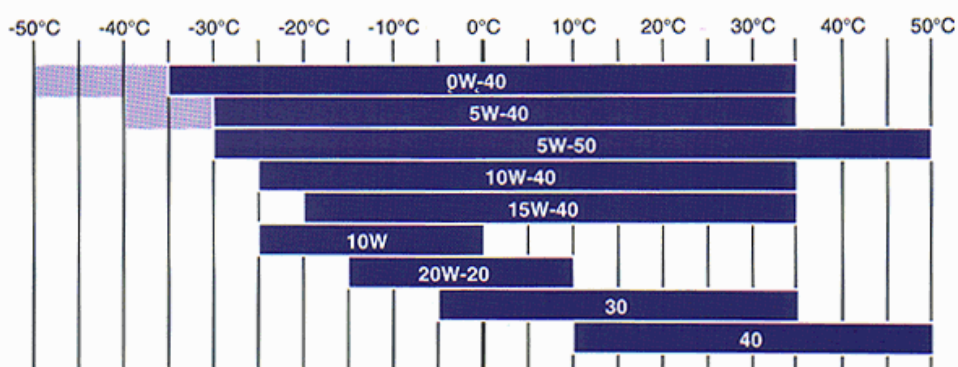
Letní třída naopak označuje dostatečnou viskozitu i při vysokých teplotách. Čím vyšší je číslo udávané letní třídy, tím může být olej použitý ve vyšších teplotách. Pro evropské klimatické podmínky jsou dostačující třídy 40 a 50. Třída 60 pak může způsobovat i snížení výkonu motoru.

V současné době se však využívají oleje celoroční (vícestupňové), které umožňují bezpečný celoroční provoz při různých klimatických podmínkách. Zde má

pak viskozitní třída má formát označení vždy ve tvaru XWY, kde X je číslo určující dynamickou viskozitu při teplotě -18°C , W znamená winter (zima) a číslo Y vyjadřuje kinematickou viskozitu při 100°C (ozn. např. SAE 10W-40). Na viskozitu těchto olejů má vliv také tlak a různé přísady přidávané do olejů pro zvýšení pevnosti ve stříhu.

Pevností oleje ve stříhu se rozumí vlastnost olejového filmu odolávat mechanickému (stříhovému) namáhání. Oleje se zkouší tlakovou zkouškou, při které ztrácí svoji viskozitu a hodnota, o kterou viskozita poklesne je mírou odolnosti oleje.

Doporučené viskozitní třídy dle vnějších teplot jsou uvedeny níže na obrázku 1.



Obr. 1: Doporučené viskozitní třídy SAE motorových olejů dle vnějších teplot [25]

Výkonnostní klasifikace motorových olejů dle API

API je zkratka pro Americké petrolejové instituty. Tato klasifikace rozděluje motorové oleje dle jejich provozních vlastností a také přihlíží ke konstrukčním požadavkům motorů. Proto se také rozděluje do třech skupin, označených písmeny:

- a) **S** – motorové oleje do benzinových motorů čtyřdobých (zastaralé třídy SA, SB, SC, SD, SE, SF, SG, SH a současné třídy SJ, SL, SM)
- b) **C** – motorové oleje do vznětových motorů čtyřdobých (zastaralé třídy CA, CB, CC, CD, CD-II, CE a současné třídy CF, CD-2, CF-4, CG-4, CH-4, CI-4)
- c) **T** – motorové oleje pro dvoudobé motory (TA, TB, TC, TD)

Jednotlivé skupiny jsou doplněny dalším písmenem v abecedním pořadí a číslem výkonnosti. Písmena na vyšší abecední úrovni pak označuje vhodnost oleje pro vyšší nároky. Tyto řady se postupně prodlužují dle vývoje motorových olejů.

Klasifikaci podobnou výkonnostní používají například výrobci automobilů Volkswagen, kde jsou rozeznávány tyto základní třídy olejů pro osobní automobily:

- a) **VW 500** – stejné požadavky jako u VW 501, s tím, že je zde upřednostňována viskozita SAE 10W-40 a SAE 5W-X, které vedou k úspoře paliva – lehkoběžné motorové oleje
- b) **VW 501** – pro automobily se zážehovým a nepřepřlňovaným vznětovým motorem (doporučená viskozita SAE 15W-40)
- c) **VW 502** – lehkoběžné oleje pro automobily se zážehovými motory
- d) **VW 503** – lehkoběžné i běžné motorové oleje s prodlouženým intervalem výměny
- e) **VW 505** – motorové oleje pro vznětové přepřlňované i nepřepřlňované motory. Je však možné je použít i v motorech zážehových. Doporučená viskozita SAE 15W-40

f) **VW 506** – lehkoběžné i běžné motorové oleje pro vznětové motory s velmi dlouhou dobou výměny

Podobné klasifikace pak používají i jiní výrobci automobilů a motorů, např. Volvo (VDS), Mercedes-Benz (MB), MAN, Tatra (TDS), případně se používá také americká vojenská klasifikace (MIL-L), která se používá i pro užitkové automobily.

Výkonnostní klasifikace motorových olejů dle ACEA

Zkratka ACEA vyjadřuje Asociaci evropských konstruktérů automobilů. Tato klasifikace rozděluje motorové oleje do čtyřech skupin:

a) **ACEA A1-A5** - oleje pro čtyřdobé zážehové motory

b) **ACEA B1-B5** – oleje pro vznětové motory osobních a lehkých nákladních automobilů

c) **ACEA C1-C4** – oleje pro motory zážehové i vznětové, osazené částicovými filtry

d) **ACEA E1-E7** – oleje pro vysoce výkonné, namáhané a těžké vznětové motory

1.1.3. Aditivace motorových olejů

Jedná se o přísady, které se přidávají do základových olejů v přesně daném poměru, aby se dosáhlo špičkových užitečných vlastností motorových olejů. Účinnost přísad závisí na jejich struktuře, na koncentraci a na složení oleje, do kterého se přidávají. Použijeme-li více přísad, může nastat vzájemné ovlivnění [2][3].

Druhy aditiv a jejich množství se liší dle způsobu užití maziva. Obsah v motorovém oleji se pohybuje v rozmezí od 1 % do 25 % aditiv. Druh a množství si stanovují výrobci na základě norem a praktických zkoušek.

Dle chemické struktury se aditiva dělí na polární a nepolární.

Polární – ve velkém množství se jedná o povrchově aktivní (polární) látky. Polární látky jsou chemické látky, jejichž molekuly jsou nesymetrické, a proto na jejich koncích vznikají elektrické náboje. Těmito náboji jsou pak molekuly přitahovány k povrchům, např. k povrchu pístu ve válci motoru. Tyto aditiva pak vytvářejí tenké filmy a dle složení zvyšují odolnost proti korozi, proti usazování nečistot, proti poškození vysokým tlakem, chrání před opotřebením a neutralizují kyseliny [2].

Nepolární – nejsou přitahovány vodou, kyselinami, částicemi sazí nebo kovy, nýbrž ovlivňují pouze samotný olej. Nejsou povrchově aktivní (nejsou přitahovány k povrchům), ale jsou rozptýleny v celém objemu motorového oleje rovnoměrně. Zlepšují viskozitu maziva, snižují bod tuhnutí maziva, chrání gumová těsnění proti poškození, apod. [2].

Podle toho, jakou vlastnost přísady ovlivňují, rozeznáváme tyto aditiva:

a) **Aditiva pro ochranu povrchu** – do této kategorie patří detergenty, disperzanty, antikoroční aditiva a třecí přísady.

Detergenty – odstraňují produkty stárnutí oleje, které se vylučují na stěnách pístu a válce. Potlačují tvorbu vysokoteplotních usazenin, které způsobují vznik netěsností vlivem mechanického poškození (poškrábání). Dále pak neutralizují kyselé produkty oxidace a hoření.

Disperzanty - zabraňují tvorbě kalů v oleji, které by mohli zamezit cirkulaci oleje v mazacím okruhu motoru. Dále zabraňují tvorbě usazenin v oblasti pístních kroužků. Podobně jako detergenty mohou neutralizovat kyselé produkty spalování. Disperzanty obalí mikroskopické mechanické nebo kapalné nečistoty a zamezí tak jejich koncentraci a usazování. Nečistoty se vlivem disperzantu vznášejí rovnoměrně v celém objemu motorového oleje.

Aditiva zlepšující ochranu proti vysokému tlaku a opotřebení – chrání před opotřebením ocelové části, které se o sebe třou pod vysokým tlakem. Aditiva vytvoří chemickou reakci na povrchu kovu odolné vrstvy, které zamezí kontaktu kov na kov.

Aditiva zvyšující ochranu proti korozi - tato aditiva vytvářejí na povrchu kovů ochranný film, který zabraňuje tvorbě koroze (brání oxidaci kovového povrchu). K oxidaci povrchů kovů může docházet například vlivem agresivních sloučenin vznikajících ve válci motoru při spalování palivové směsi.

Aditiva upravující tření - tato aditiva upravují tření mezi třecími plochami na požadovanou hodnotu [2][27].

b) Aditiva pro zlepšení jakosti olejů – jedná se o modifikátory viskozity, snižovače bodu tuhnutí a látky pro bobtnání elastomerů.

Aditiva zlepšující viskozitu – se nazývají modifikátory viskozity. Viskozita je závislá zejména na teplotě. Tyto aditiva rozšiřují teplotní rozsah, v jakém motorový olej může plnit svoji funkci. Jedná se o polymerní látky, které se při vysoké teplotě rozpouštějí a zvyšují tak viskozitu oleje, která vlivem zvyšující se teploty klesá. Díky těmto přísadám se může stejný olej použít v zimě i v létě.

Snižující bod tuhnutí (depresanty) - tato aditiva snižují možnost shlukování parafinů v mazivu za nízkých teplot. Při nízkých teplotách dochází u minerálních olejů k vylučování a shlukování parafinů a tudíž ke zvyšování hustoty. Zvýšená hustota maziva a jeho nekonzistentnost zhoršuje kvalitu mazání a zvyšuje ztráty energie z důvodu překonávání odporu maziva.

Chránící elastomery – tato aditiva zpomalují stárnutí gumových a umělohmotných částí, které jsou ve styku s mazivem tím, že zamezují vyplavení nebo chemické degradaci elastomerů obsažených v gumových a plastových dílech. Elastomery zajišťují, aby gumové a plastové části byly stále elastické [2][27].

c) Aditiva pro ochranu oleje – jedná se o aditiva pro ochranu proti stárnutí, deaktivátory kovů a látky proti pění oleje.

Zpomalovače stárnutí - tato aditiva omezují chemickou degradaci maziva, ke které dochází především za vyšších teplot. Likvidací oxidačních činidel zamezují vzniku nežádoucích chemických sloučenin, které zkracují životnost maziva. Degradací mazivo tmavne a dochází ke zvyšování viskozity.

Deaktivátory kovů – neutralizují ionty kovů v oleji a vytvářejí na kovových površích ochranný film, a tím zeslabují nebo ukončují katalyckou reakci. Zabraňují chemickým reakcím probíhajícím na povrchu mikroskopických kovových částic přítomných v mazivu. Kovové částičky vznikají při tření kovu o kov, čímž působí jako katalyzátor chemických degradačních procesů. Pomocí deaktivátorů kovů zabráníme těmto reakcím tím, že se v podstatě kolem částic vytvoří ochranný film, a tím dojde ke zpomalení stárnutí maziva.

Aditiva snižující pěnovost – urychlují rozklad vzniklé pěny, čímž se zlepšuje mazání a snižuje se stárnutí. Tyto aditivní látky jsou založeny na bázi silikonu a potlačují vznik olejové pěny. K tvorbě pěny dochází vlivem intenzivního promíchávání motorového oleje se vzduchem. To pak urychluje stárnutí oleje, zvyšuje stlačitelnost maziva a může způsobit i únik maziva ze zařízení. Pěnění oleje vede ke stárnutí, zvýšení viskozity a stlačitelnosti [2][27].

1.2. Diagnostika motorových olejů

Cílem diagnostiky je sledování kvality olejové náplně a určení optimálního okamžiku její výměny v závislosti na stupni znečištění a vyčerpání oleje a změnách fyzikálně chemických vlastností [2].

Moderní oleje jsou komplikované směsi, které vznikly jako výsledek nákladného vývoje a výzkumu. Proto jsou poměrně drahé a jejich výměna představuje významný provozní náklad. Důsledkem je snaha, aby každá olejová náplň byla pokud možno beze zbytku využita, ale zároveň aby byla vyměněna včas a nedošlo ke škodám na motoru z důvodů jeho mazání nadměrně opotřebovaným oleje.

Tribotechnická diagnostika má význam především u velkých motorů, kde náplň oleje je tak velká, že se náklady vynaložené na diagnostické testy vrátí snížením spotřeby oleje. U automobilů se pravděpodobně namísto výše uvedených tribodiagnostických testů prosazuje tzv. *elektronický systém sledování údržbových intervalů (WIV)* [4].

Důležité je provádět správným způsobem odběr vzorků oleje. Ten je nutné odebírat při pracovní teplotě motoru (min. 65 °C) a po jeho odebrání dbáme na to, aby se do něj nedostaly žádné příměsi. Olej musí být odebírán vždy ze stejného místa a okolí odběru musí být čisté.

1.2.1. Vlastnosti motorových olejů a metody jejich sledování

Při diagnostice motorových olejů sledujeme jednak jeho vlastnosti, resp. jejich změnu a dále pozorujeme opotřebení oleje v provozu - nečistoty, které se do motorového oleje během provozu dostaly.

a) sledované vlastnosti

Viskozita

Viskozita je odpor, jímž tekutina působí proti silám snažícím se posunout její nejmenší částice. Na stykové ploše dvou vrstev tekutiny pohybujících se různou rychlostí se projevuje viskozita tečným napětím, jímž se snaží rychlejší vrstva urychlovat pomalejší, a ta naopak zadržovat vrstvu rychlejší. Jedná se o nejdůležitější vlastnost, která ovlivňuje tokové vlastnosti látek.

Viskozita motorového oleje ovlivňuje:

- režim mazání, tvorbu a únosnost mazacího filmu
- velikost odporu pohyblivých částí
- těsnicí schopnosti
- čerpatelnost, zejména za nízkých teplot

Vlivy ovlivňující viskozitu motorového oleje:

Vliv teploty – čím je pracovní teplota vyšší, tím vyšší musí být viskozita použitého oleje.

Vliv zatížení – čím je zatížení vyšší, tím vyšší musí být viskozita použitého oleje.

Vliv rychlosti – při vysokých rychlostech se olej dostává do mazaných míst obtížněji a je rychleji vytlačován. Čím je tedy rychlost vzájemně se pohybujících částí vyšší, tím nižší musí být viskozita použitého oleje.

Druhy viskozity:

Kinematická viskozita, která definuje poměr dynamické viskozity a hustoty kapaliny.

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

Dynamická viskozita představuje vztah míry tření proudící kapaliny při rychlosti 1s^{-1} [Pa.s].

Relativní viskozita, která definuje poměr viskozity dané kapaliny a viskozity srovnávací při dohodnutých teplotách.

$$\eta_{\text{rel}} = \eta \cdot \eta_0^{-1}$$

Viskozitu měří přístroj zvaný viskozimetr. Sledujeme dobu, za kterou proteče přesně dané množství motorového oleje kapilárou, za přesně stanovené teploty. Mimo tento způsob je možné použít i jiné, např. měření doby pádu kuličky v oleji, nebo měření na základě přenosu rotačního momentu.

Viskozita stoupá tím, jak olej stárne. Nečistoty a saze jemně rozptýlené v oleji rovněž zvyšují jeho viskozitu. I při stejných pracovních podmínkách motoru, mají jednotlivé uhlovodíkové skupiny velmi odlišné viskozity.

Snížení viskozity může být projevem pronikání paliva do oleje, rozpadem aditiv, dlouhodobým mechanickým namáháním. Naopak zvýšení viskozity je projevem dlouhotrvajícího vysokoteplotního namáhání a vzniku oxidačních produktů. Jestliže se hodnota odchýlí o více než $\pm 20\%$ od původní hodnoty, je nutná okamžitá výměna oleje za nový a samozřejmostí je odstranění závad způsobující změnu viskozity oleje.

Nadměrný vzestup viskozity i její pokles je vždy nežádoucí. Pokud je viskozita příliš velká, pozorujeme horší startovatelnost motoru, větší spotřebu paliva a horší mazivost, kdy se olej pomaleji dostává do všech potřebných míst. Malá viskozita má za následek zvětšení opotřebení.

Viskozitu je možné zjišťovat orientačně porovnáním tekutosti zkoušeného a původního oleje. Pro přesnější určení je možné použít přístroj – **viskozimetr**.

Viskozimetry mají různou konstrukci a rozeznáváme 3 druhy:

Tělískové viskozimetry – zde se viskozita zjišťuje měřením rychlosti pohybu daného tělíška v motorovém oleji. Používají se vztahy pro pohyb tělesa v kapalině. Do této skupiny patří např. Höpplerův viskozimetr. Viskozimetr je tvořen válcovou trubicí, naplněnou kapalinou, ve které se pohybuje tělíško ve tvaru koule. Kolem toho válce je plášť, ve kterém proudí ohříváná voda, řízená termostatem na požadovanou teplotu. Nejběžnějším způsobem měření je pak zjišťování doby průchodu kuličky mezi dvěma krajními body. Z doby a dráhy je pak možné určit rychlost kuličky a danou viskozitu.

Výtokové viskozimetry – jsou založeny na vztahu mezi objemem procházejícím při daném přetlaku trubicí a viskozitou kapaliny. Při této metodě je nutné, aby byly splněny podmínky laminárního proudění. Do této skupiny patří např. kapilární viskozimetr dle Ubbelohdeho.

Rotační viskozimetry – viskozita je stanovena z velikosti točivého momentu, který je měřen v ustáleném režimu otáčení vhodné hřídele v testovaném oleji.

Při zkoušce viskozity je vždy nutné dodržet podmínky zkoušky, zejména pak teplotu, za které bude zkouška prováděna [3][27][40][43].

Teplota vzplanutí

Motorové oleje se vyznačují malou tenzí par, malou odparností a vyššími teplotami varu, teplotami vzplanutí a teplotami hoření [1].

Hodnota teploty vzplanutí souvisí s jeho chemickým a frakčním složením. Vyjadřuje nejnižší teplotu ve °C, při které se z motorového oleje uvolní páry, které se po přiblížení otevřeného plamene vznítí.

Bod vzplanutí (teplota vzplanutí) se snižuje přítomností paliva a vody v motorovém oleji. Přítomnost vody lze při zkoušce částečně zjistit tím, že při obsahu vody ve stopách pozorujeme tzv. „cinkání“ a při obsahu vyšším jak 2 % dochází při zkoušce k pění oleje. Při velkém množství vody se po zahřátí směs motorového oleje a vody začne vařit a to až do té doby, než se voda odstraní vypařením.

Pokud množství paliva v motorovém oleji nepřekročí 3 %, je tento stav zcela normální. U vznětových motorů by se měla hodnota teploty vzplanutí pohybovat v rozmezí 180 °C až 190 °C a u zážehových motorů pak v rozmezí hodnot 140 °C až 150 °C [27].

U zážehových motorů je možné palivo s vodou z motorového oleje oddestilovat ještě před zkouškou. U naftových motorů není ostré destilační rozmezí mezi těžkými složkami paliva a lehkými podíly oleje, proto zde není možné oddestilování provádět.

Laboratorní přístroj dle Clevelanda se skládá z otevřeného kelímku, ohřívací desky, teploměru s držákem, zkušebního plamínku, ohříváče a ochranného krytu. Princip zkoušky spočívá v nahřívání kelímku plamenem, přičemž se plamen nesmí dotýkat dna zkušebního kelímku. Provádíme zahřívání tak, aby zpočátku stoupala teplota přibližně o 15 °C za minutu. Po přiblížení k předpokládané teplotě vzplanutí, se sníží ohřev a nad okrajem kelímku přejíždíme v jeho rovině plamínkem o velikosti přibližně 4mm. Toto přejíždění provádíme pouze 1s, vždy po vzrůstu teploty o 2 °C. Teplota vzplanutí je pak teplota, kdy dojde ke vzplanutí na hladině. Stanovení teploty vzplanutí se provádí na tmavém místě, dostatečně chráněném před průvanem. Provádějí se vždy dvě měření a výsledná hodnota je pak aritmetický průměr obou naměřených hodnot [30].

Nejnižší teplotu vzplanutí mají oleje polycyklické, protože mají menší molekulu a větší odpornost, a nejvyšší oleje alkanické [1].

Odparnost motorového oleje je důležitým faktorem i z hlediska ztrát oleje při jeho použití. Motorové oleje pracují v tenkém filmu na tepelně vysoce exponovaných místech motorů, a v takových případech ztráty odparnosti mohou způsobit poruchy v mazání následkem nedostatku maziva, nebo zmenšením jeho mazivosti a kromě toho zvyšují spotřebu oleje na doplňování [1][2].

Teplota zákalu a teplota tuhnutí

Teplota tuhnutí je nejvyšší teplota, při které olej přestává volně téct. Charakterizuje schopnost oleje téct při nízkých teplotách [27].

Při ochlazování ropných olejů se při teplotě bodu zákalu začínají z oleje vylučovat krystaly tuhých uhlovodíků. Zákal oleje však může být vyvolán i vylučováním ledu z rozpouštěné vlhkosti. Dalším ochlazováním parafinových motorových olejů se vytvořená mřížka parafinů postupně zpevňuje, až zcela znemožní

pohyb oleje. To nazýváme pravou teplotou tuhnutí. U neparafinovaných olejů ochlazováním klesá tekutost oleje v důsledku vzrůstu jeho viskozity, která při určitém poklesu teploty dosáhne takové hodnoty, že olej přestává téci. To nazýváme nepravou teplotou tuhnutí.

Teplota tuhnutí se stanoví tak, že ohřátý olej se předepsaným způsobem ochlazuje ve zkumavce s přesně stanovenými rozměry. Teplota, při které se objeví první krystalky parafínu, je teplota zákalu. Teplota tuhnutí je pak teplota, při které déle ochlazovaný olej přestane téci.

Teplota zákalu je teplota, při které za postupného ochlazování oleje dojde k jeho zakalování nebo vylučování parafínů. Teplota tuhnutí je teplota, při které olej ztrácí tekutost [1].

Stanovení celkové alkality – číslo TBN

Vyjadřuje se jako číslo celkové alkality TBN (Total Base Number). Jedná se o schopnost oleje neutralizovat vznikající kyselá látky, které působí korozivně. Během provozu se tato schopnost snižuje a tím se snižuje i alkalická rezerva. Pokud TBN klesne na polovinu z původní hodnoty, je nutná výměna oleje [4].

Zkouškou alkalické rezervy motorového oleje stanovíme, jaké množství kyselin je olej schopen svou alkaliitou zneutralizovat.

TBN se zjišťuje v laboratořích – titrací kyseliny chloristé vyjádřené počtem mg KOH, které je potřebné pro neutralizaci všech zásaditých složek přítomných v 1g vzorku oleje do dobře definovaného inflexního bodu.

Obecně nemá mít olej nižší TBN než 1 až 2mg KOH/ml oleje. U čerstvého zušlechťeného oleje to bývá 8 až 15mg KOH/ml oleje [2].

Vzorek se rozpustí v podstatě bezvodné směsi chlorobenzenu a ledové kyseliny octové a titruje se standardním roztokem kyseliny chloristé v ledové kyselině octové za použití potenciometrického titračního přístroje. Pro indikaci inflexního bodu se používá skleněná indikační elektroda a kalomelová referenční elektroda. Kalomelová elektroda je propojena s roztokem zkušební vzorku tzv. solným můstkem. Odečty z přístroje se vynesou do grafu proti objemům titračního roztoku a bod ekvivalence se získá jako poslední inflexe na výsledné křivce [30].

Celková kyselost motorového oleje – číslo TAN

Jedná se o množství mg KOH, které je zapotřebí k neutralizaci volných anorganických a organických kyselin obsažených v 1g oleje. Hodnotu 0 dosahují čerstvé oleje, hodnot do 1,5 mg KOH/g pak čerstvě zušlechťené oleje [2].

TAN se stanovuje potenciometrickou neutralizační titrací (měří se potenciál na indikační elektrodě oproti referenční chloridostříbrné elektrodě), kde se jako titrační činidlo používá $0,1\text{mol}^{-1}$ KOH [30].

Pěnivost oleje

Pěnivost oleje je velmi nežádoucí jev, kdy dochází ke zmenšování pevnosti mazací vrstvy, zvětšuje se náchylnost oleje ke stárnutí, klesá jeho viskozita, hustota a tepelná vodivost, zmenšením výkonu olejového čerpadla a tím i množství cirkulace oleje, zvětšení ztrát oleje a další.

Při zkoušení motorového oleje se olej provzdušňuje proudem vzduchu a po stanovené době se proud vzduchu zastaví a změří se objem vzniklé pěny v ml. Dalším testem je pak zjištění stability pěny, která se vyjadřuje jako množství pěny v ml zbývající po určité době, obvykle po 10 minutách od zastavení provzdušňování.

Dle různých specifikací nemá pěnovitost přesahovat 150 ml, dle jiných ani 10 ml a stabilita pěny má být nulová. Zkouška se provádí 3x, při 25 °C, 95 °C a opět 25 °C, aby se zjistilo, zda při teplotě 95 °C nedošlo k oxidaci a ke zvětšení sklonu k oxidaci [30].

Karbonizační zbytek dle Conradsona - CCT

Zkouška karbonizačního zbytku se provádí s cílem posoudit sklon motorového oleje k tvorbě karbonu. Vzorek zkoušeného oleje se spaluje za předepsaných podmínek a stanoví se množství zbytku karbonu. Zkoumá se také mechanická vlastnost zbytku, z důvodů hodnocení motorového oleje [31].

Karbonizační zbytek je množství převážně uhlíkatého zbytku v % hm., který zůstane v motorovém oleji po pyrolýze a odpaření. Neaktivované ropné oleje obsahují převážně jen uhlík, a pokud jsou přítomny popelné aditivy, obsahuje i popelné produkty [30].

Od cyklanů k alkanům a aromátům roste množství karbonizačního zbytku. Naopak se stoupající rafinací množství klesá.

Jedná se o velmi rozšířenou zkoušku, kterou se stanovuje stupeň stárnutí motorového oleje.

Při zkoušce se zahřívá 10g vzorku v přístroji dle Conradsona pomocí Méckerova kahanu. Plamen je nutné při zkoušce seřizovat tak, aby se po době zahřívání (10 minut), mohly vznítit páry unikající ze vzorku. Po době žíhání (resp. po dalších 7 minutách zahřívání) se v tomto přístroji stanoví váhové množství karbonizačního zbytku [30].

Stanovení korozivnosti na měď

Touto zkouškou se zjišťuje korozivní působení sirných sloučenin na měď přítomných v motorovém oleji. Zkouška probíhá tak, že se na vyleštěný měděný pásek nanese olej a vystaví se zvýšené teplotě 100°C po dobu přibližně 3 hodiny. Po této době se vyhodnotí intenzita korozivního působení [30].

Nevyhovující je černý povrch, modré zabarvení je ještě únosné a za limitní stav se považuje vznik zelených míst.

Zbarvení měděného pásku se porovnává se standardní barevnou stupnicí.

Zkouška ochranné schopnosti proti rezivění

Zjišťuje se jako schopnost oleje chránit vyleštěný povrch zkušebního tělíška z oceli proti korozi, v přítomnosti vody a za mírně zvýšené teploty.

Stanovení odparnosti podle Noacka

Motorový olej se vystaví na dobu 60 minut teplotě 250 °C, při odhánění vznikajících par proudem horkého vzduchu. Vyjadřuje se jako ztráta oleje v % hmotnosti [30].

Tepelná stálost

Je závislá na složení oleje a na velikosti molekuly. Z hlediska velikosti molekuly je tepelná stálost viskóznějších olejů menší, ale v těžších frakcích zase vzrůstá obsah cykliancko-aromatických látek, které tepelnou stálost oleje zvětšují.

Tepelný rozklad motorových olejů lze pozorovat při normálním tlaku již při teplotách kolem 150 °C. Ke zřetelným rozkladům však dochází zejména při teplotách 250 °C až 300 °C a to zejména za dlouhodobého působení těchto teplot.

Tepelná stálost se zvyšuje přidáním detergentně disperzních přísad. Zjišťuje se analytickými metodami, nebo i přímým měřením závislosti vodivosti na teplotě roztoku zkoušené přísady. Teplota maximální změny elektrické vodivosti odpovídá teplotě maximální změny přísady.

Termooxidační stálost

Motorové oleje jsou při použití vystaveny intenzivnímu oxidačnímu působení při současném silném tepelném namáhání. Na olej zároveň katalycky působí celá řada kovů. Oxidační stálost proto patří k základní vlastnosti, dle které se hodnotí kvalita motorových olejů [1].

Při zkoušení se tak olej vystaví uměle vytvořeným podmínkám rychlejšího průběhu oxidace a sleduje se jeho stálost. Oxidace se uskutečňuje přebytkem vzduchu nebo kyslíku, za přítomnosti katalyzátoru Cu, přičemž se sleduje změna viskozity, čísla kyselosti a karbonizačního zbytku [1].

b) opotřebení oleje v provozu a kontaminanty

Obsah vody

Obsah vody je v oleji naprosto nežádoucí, jelikož způsobuje korozi, s kyselými složkami spalin vytváří kyseliny, ovlivňuje negativně rozpustnost některých aditiv, zrychluje tvorbu oxidačních produktů a vznik kalů a při vyšším obsahu ovlivňuje mazací schopnosti a může způsobit i zadření motoru.

Voda se do klikové skříně dostává buď jako produkt spalování benzínu nebo nafty, nebo jako kondenzát vzdušné vlhkosti změnou vnějších teplot (např. v zimním období).

Je-li motor ohřátý, voda klikovou skříní opustí ve formě páry díky nucenému odvětrávání. Problém však nastává, pokud je motor studený. Pak vodní pára kondenzuje, kapalná voda se hromadí v motorovém oleji, se kterým se intenzivně promíchává a vytváří se emulze vody v oleji.

Malé množství vody lze odpařit při delší jízdě se zahřátým motorem. Přijatelná hranice množství vody v motorovém oleji je do 0,1 % hm [30].

Obsah vody v motorovém oleji se stanovuje různými způsoby:

- a) **prskací test** – jedná se o orientační metodu, kdy se na plochu zahřátou na 120°C kápne jedna až dvě kapky oleje a je-li přítomna voda, dojde k vaření a tvorbě bublin. Tímto testem však není možné zjistit přesné množství vody [4].
- b) **kapková zkouška** – při této metodě se na speciální chromatografický papír nanese kapka motorového oleje, která difunduje a vytváří souvislé kruhové vrstvy. Obsah vody poznáme tak, že se na okraji vytvoří téměř bezbarvé mezikruží [30].
- c) **azeotropická destilace s benzinem nebo toluenem** - páry rozpouštědla strhávají při destilaci páry vody a v kalibrované části destilačního nástavce se kondenzát shromažďuje. Po skončení destilace a ustátí se vrstva vody oddělí a odečte se její celkový objem vyjádřený v % obsahu vody.
- d) **titrace podle Karl Fischera** – dříve se u této metody používal jód, oxid siřičitý, pyridin a methanol. Probíhala tak stechiometrická reakce, kdy jedna molekula vody odpovídala jedné molekule jódu.

Dnes se využívá metody coulometrické, kdy se využívají chemikálie s menší nebezpečností, a sleduje se změna vodivosti. Nová metoda je přesnější, kdy koncentrace ppm je možné stanovit až na desítky % a navíc je tato metoda rychlejší než původní.

- e) **FTIR spektrometrií** – zde se používají speciální přístroje a sleduje se absorpční pás v oblasti vlnočtu kolem $3\,400\text{ cm}^{-1}$.

Princip FTIR je popsán v následující kapitole o metodách použitých v experimentální části [30].

Obsah glykolu

Glykol je součástí všech nemrznoucích chladicích kapalin a to buď ve formě etylenglykolu, nebo propylenglykolu. Chladicí kapalina se může dostat do motorového oleje při závadě na hlavě válců. Chladicí kapaliny obsahují aditiva – látky zabraňující korozi chladicího systému. Tyto látky společně s glykolem reagují s motorovým olejem více než voda a již při velmi malé koncentraci dochází k nevratným a závažným změnám motorového oleje a k omezení jeho funkce.

V případě vniknutí glykolu do motorového oleje, olej velmi rychle zcela zčerná, ztrácí tekutost a objeví se v něm úsady a kaly. Vlivem dalšího provozování dojde k úplnému ztuhnutí motorového oleje a následnému zadření motoru [30].

Obsah glykolu můžeme stanovit tímto způsobem:

- a) **FTIR** – zde sledujeme dva specifické absorpční pásy v oblasti vlnočtu kolem 1040 cm^{-1} a 1080 cm^{-1}
- b) **atomová emisní spektrometrie (AES)** – pozorujeme nález sodíku a zvýšený obsah bóru [30].

Obsah paliva

Palivo v motorovém oleji nalezneme vždy, ať už jde o benzin nebo naftu. Do oleje se dostane buď společně se spalinami kolem pístních kroužků do klikové skříně, nebo díky závadě na motoru. Běžně se do motorového oleje dostane 1 – 2 % paliva. Maximální přípustná hranice je 4 % paliva v oleji.

Hlavním důsledkem obsahu paliva v oleji je snížení viskozity motorového oleje a tím se zvyšuje opotřebení motoru [30].

Obsah paliva je možné stanovit následujícími způsoby:

- a) **plynová chromatografie** – touto metodou je možné při dobré kalibraci zjistit přesnou koncentraci paliva v %, obsaženého v motorovém oleji, jelikož signál oleje je velmi dobře oddělen od signálu paliva.
- b) **stanovením bodu vzplanutí** – přítomnost paliva způsobuje snížení bodu vzplanutí. Tato problematika je popsána v předcházející kapitole.
- c) **měřením viskozity** – pokles viskozity vždy vede na podezření kontaminace motorového oleje palivem. Tato problematika je popsána v předcházející kapitole.
- d) **destilací** – motorový olej se destiluje, zkondenzované těkavé podíly se jímají do speciálního nástavce, kde se kontinuálně oddělují od vody. Obsah se vyjadřuje v objemových procentech. Benzin je možné vydestilovat téměř úplně, zatímco těžké frakce nafty jen částečně. Zároveň se ale mohou odpařit i nejlehčí frakce motorového oleje. Výsledky z destilační zkoušky jsou proto jen přibližné [30].

Celkový obsah nečistot

Celkový obsah nečistot je mírou znečištění oleje. V každém oleji jsou dnes disperzantní přísady, které brání shlukování a usazování nečistot. Ty jsou ovšem nečistotami spotřebovávány, a jestliže se překročí maximum pro daný olej, dojde k znečištění a je nutná jeho výměna.

Při zjišťování nečistot je možné zvláštním postupem odstranit tzv. měkké nečistoty (kaly, oxidační produkty). V oleji pak zbudou pouze tvrdé nečistoty (otěrové částice, tvrdý karbon, prach z ovzduší). Tvrdé nečistoty jsou považovány za jednu z příčin zrychleného opotřebení.

Disperzanty v dnešních olejích udržují částice nečistot oddělené, které se vznášejí a neusazují se. Větší částice se zachytí olejovým filtrem, menší obíhají s olejem v motoru. Olej po výměně je tedy velmi brzy tmavý, což ovšem neznamená, že by byl nadměrně znečištěný.

Existují různé metody pro stanovení nečistot:

- a) **filtraci** – u této metody probíhá filtrování motorového oleje přes mikroporézní filtr, s velikostí pórů 0,8 μm . Aby bylo možné olej filtrovat, je nutné snížit jeho viskozitu hexanem, nebo pentanem. Olej se pak vyhodnocuje podle znečištění filtru srovnáním se standardem. Navíc je možné zvážit množství nečistot zachycených filtrem a tím zjistit hmotnostní % nečistot v oleji.
- b) **odstředování** – vzorek motorového oleje se umístí do speciálního kelímku, který se vloží do výkonné odstředivky. Mechanické nečistoty se pak nahromadí na dně nádoby, která je označena ryskami, na kterých odečteme hodnotu množství nečistot
- c) **odstředění se může provádět i ve směsi HEO** – hexan, etanol a kyselina olejová. Jedná se o veškeré částice, které jsou nerozpustné ve směsi HEO. Tato zkouška je založena na principu ředění vzorku motorového oleje směsí HEO a separací nerozpustných látek odstředěním až do vyčeření roztoku. Vyčeřený roztok se slije a nerozpustný zbytek se vysuší, zváží a výsledek se vyjádří v hmotnostních procentech.
- d) **stanovení prachových částic** – tyto částice lze stanovit pomocí atomové emisní spektrometrie a to jako množství Si.

Celkovou hodnotu znečištění v % lze zjistit pomocí měřicího přístroje – **densimateru**. Princip densimetru je popsán v následující kapitole o metodách použitých v experimentální části.

Přístroje na měření znečištění využívají různých principů, nejčastěji fotometrický způsob, kdy se porovnává množství světla, které projde tenkou vrstvou znečištěného oleje a stejnou vrstvou nového oleje [30][4].

Stanovení obsahu popela

Obsah popela v ropných rafinátech bývá pod jednu tisícinu procenta. V motorových olejích se zdrojem popela stávají zejména detergenty. U opotřebovaných olejů je hodnota obsahu popela vyšší. To způsobuje otěr, znečištění a vznik látek, které se vytvořily chemickými reakcemi oleje s kovy v průběhu provozu.

Stanovení obsahu popela je bez větších technických potíží a stanovit jej lze s poměrně velkou přesností.

Při zkoušce se vzorek motorového oleje umístí do vhodné nádoby, kde se zapálí a hoří do té doby, než zůstane pouze uhlík a popel. Uhlíkatý zbytek je převeden v muflové peci žíháním na popel, při teplotě $775\text{ °C} \pm 25\text{ °C}$. Poté je chlazen a množství popela se zváží [30].

Obsah sazí

Saze vznikají pouze u vznětových motorů, vlivem nedokonalého spalování nafty. Saze tvoří z většiny pouze uhlík, jsou tvrdé a mají ostré hrany. I přes to, že jejich velikost je pouze několik μm , tak mají tendenci se shlukovat, čemuž mají zabránit aditiva zvaná disperzanty. Saze svým obsahem v motorovém oleji ovlivňují kvalitu mazání. Množství sazí v oleji by nemělo přesáhnout množství 3 % hm.

Vlivem sazí dochází k vyčerpání disperzních přísad a následnému ucpávání olejového filtru, zvyšuje se viskozita oleje a tím, že saze působí jako brusivo, dochází ke zvýšení opotřebení motoru.

Obsah sazí můžeme stanovit jednoduchou kapkovou zkouškou, nebo pomocí složitějších přístrojů přes FTIR v pásu při 2000 cm^{-1} [30].

Obsah částic

Slouží jako ukazatel stupně opotřebení motoru. Z opotřebovaných ploch se uvolňují částice, které se dostávají do oleje. Z pístních kroužků a vložek válců jsou to částice obsahující převážně železo, z kluzných ložisek se uvolňuje měď, cín, olovo a zinek, z pístů hliník a s prachem z ovzduší se do oleje dostává křemík. Přítomnost těchto prvků a jejich množství nepřímo ukazuje stupeň a místo opotřebení, popř. kvalitu filtrování nasávaného vzduchu.

Zjištění těchto prvků se provádí v laboratořích a používají se náročné a drahé přístroje. Proto se tato zkouška běžně v diagnostice neprovádí [30].

Poměr počtu velkých a malých otěrových částic

Tento parametr má význam spíše pro diagnostiku motoru, nikoliv pro výměnu oleje. V oleji pak můžeme nalézt malé a velké částice (malé do $15\ \mu\text{m}$ a velké nad $15\ \mu\text{m}$). Z poměru velkých a malých částic můžeme předpovídat například blížící se havárie. Otěrové kovy, které se mohou vyskytnout v motorovém oleji a jejich potencionální zdroje jsou uvedeny níže v tabulce 1.

Koncentrace kovů a aditiv zjistíme pomocí emisní spektrometrie. Tvar a morfologii otěrových částic ferrografií ve spojení optickou či elektronovou mikroskopií a analyzátory částic [4].

Tab. 1 - Otěrové kovy v motorovém oleji a jejich potenciální zdroje [30]

| Otěrový kov | Původ – motorový díl |
|-------------|---|
| železo | hlavní konstrukční kov – téměř vždy nejvyšší koncentrace |
| měď | ložiska, ventilová skupina, pouzdro pístního čepu, bronzové díly |
| chrom | chromované díly – těsnící kroužky, vložky |
| nikl | součást konstrukční oceli ložisek, hřídelí, ventilů |
| hliník | písty, válečková ložiska, určité typy pouzder |
| olovo | valivá ložiska, u starých zážehových motorů kontaminace z benzínu |
| cín | ložiska, bronzové díly |
| stříbro | postříbřená ložiska |
| křemík | indikátor prachu, špatný stav vzduchového filtru |

1.3. Metody stanovení znečištění motorových olejů použité v experimentální části

Stanovení celkového znečištění motorového oleje přístrojem Densimeter REO 31

Stanovení znečištění motorového oleje patří k základním diagnostickým úkonům, dle kterých rozhodujeme o případné výměně motorového oleje.

K experimentálnímu měření byl použitý přístroj Densimeter REO 31. Tento přístroj měří a zobrazuje znečištění motorového oleje. Pracuje na principu měření intenzity odraženého světla od vzorku oleje na chromatografické fólii.

Proužek chromatografické fólie s analyzovaným vzorkem motorového oleje zasuneme do přístroje aktivní vrstvou nahoru. Usměrněné světlo se odráží od vzorku na světlocitlivý prvek (optočidlo). Vstupní elektronika tuto intenzitu vyhodnotí a převede ji na úroveň stejnosměrného napětí a zobrazovací jednotka pak ukazuje znečištění oleje přímo v procentech. Čistému chromatografickému papíru odpovídá hodnota 0,00 %.

Koeficient korelace mezi metodou Conradsonova karbonizačního zbytku a metodou REO vychází v rozsahu 0,82 – 0,88. Druhé desetinné místo je proto u tohoto přístroje pouze orientační.

Způsob hodnocení je velice jednoduchý, rychlý a ekologický, oproti jiným metodám dle norem. Hodnocení motorových olejů pomocí densimeteru je plně dostačující v provozních podmínkách [24].

Infračervená spektrometrie

Infračervená spektrometrie jako optická nedestruktivní analytická metoda, patří do skupiny metod molekulové spektroskopie. Při interakci elektromagnetického záření s měřeným vzorkem dochází v důsledku excitace příslušných chemických skupin nebo vazeb v molekulách k pohlcení záření o určitých hodnotách energie. Tím vznikají charakteristická spektra složená z tzv. vibračních absorpčních pásů [32].

Výstupem infračervené spektrometrie je infračervené spektrum typické pro každou látku, které zobrazuje závislost změn energie procházejícího paprsku na vlnové délce nebo vlnočtu (převrácená hodnota vlnové délky). Změna energie se vyjadřuje v procentech transmitance – propustnosti (T) nebo v jednotkách absorpance (A) dopadajícího záření. Transmitance se vypočte dle vzorce: $T = \frac{I}{I_0} \cdot 100 [\%]$ a absorpance

podle vzorce $A = -\log \frac{I}{I_0} = \log \frac{1}{T} \cdot I_0$ je intenzita záření vycházející ze zdroje a I je intenzita záření, které prošlo vzorkem.

Starší přístroje neumožňují analyzovat silně absorbující látky. Dnešní technika již využívá infračervených spektrometrů, které pracují na principu interference záření a které pro získání klasického spektrálního záznamu vyžadují aplikaci Fourierovy transformace.

Základní prvky přístroje tvoří zdroj záření (keramická tyčinka temperovaná na 1000 °C, kyvetový prostor, interferometr (dělič paprsků, pohyblivé a pevné zrcadlo), nástavec v kyvetovém prostoru (nanášení vzorků) a detektor infračerveného záření.

Během měření jsou zesilovány a zeslabovány různé vlnové délky světelného paprsku, který prochází analyzovaným vzorkem a je snímán vyhodnocovacím zařízením. Takto je vytvořen interferogram vyjadřující závislost intenzity dopadajícího záření na čase a s využitím Fourierovy transformace je softwarově přepočítán na IČ spektrum. Takovéto uspořádání umožňuje měření silně absorbujících vzorků.

K měření kapalných vzorků, které silně absorbují infračervené záření, se používá technika zeslabené totální reflektance (ATR). Metoda pracuje na principu násobného úplného odrazu procházejícího paprsku na fázovém rozhraní měřeného vzorku a měřicího krystalu, který je z materiálu o vysokém indexu lomu.

Spektra získaná infračervenou spektrometrií lze rozdělit na oblast blízkou ($13000-4000\text{ cm}^{-1}$), střední ($4000-200\text{ cm}^{-1}$) a vzdálenou ($200-10\text{ cm}^{-1}$). Nejčastěji používaná je oblast střední. Vrcholy absorpčních pásů v intervalu $4000-1500\text{ cm}^{-1}$ jsou vhodné pro identifikaci funkčních skupin chemických látek a pásy v oblasti $1500-400\text{ cm}^{-1}$ jsou nazývané oblasti otisku palce, protože prakticky neexistují dvě rozdílné látky, které by měly stejné infračervené spektrum.

Během provozu zařízení pak dochází k degradaci oleje, která se projeví změnou hodnot absorbance. Proto je také nutné znát spektra nového nepoužitého oleje. Spotřeba aditiv se projevuje úbytkem absorbance a nárůst kontaminace a znečištění se naopak projevuje jako přírůstek absorbance v charakteristických oblastech. Při používání této metody může dojít ke vzniku tzv. nepravých pásů [7][13].

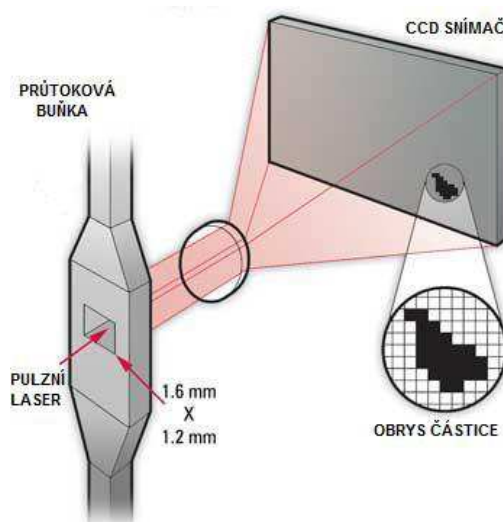
Přehled vlnočtů charakteristických sloučenin a strukturních skupin je v níže uvedené tabulce 2.

Tab. 2 – Vlnočty charakteristických sloučenin a strukturních skupin [33]

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

Laserová analýza částic LNF

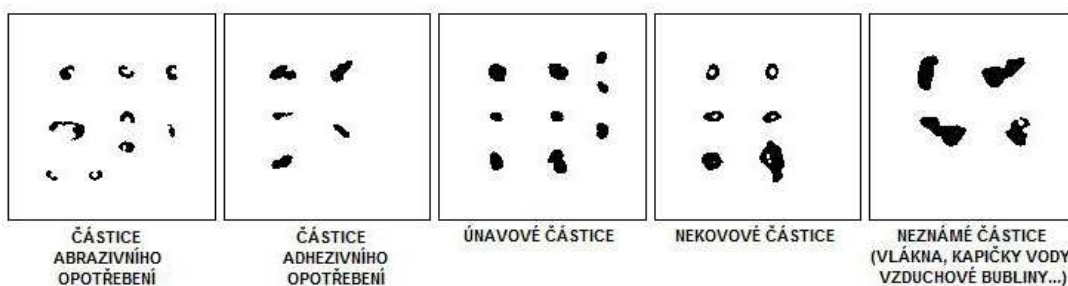
Pomocí analytického přístroje můžeme klasifikovat tvar a počet částic v motorovém oleji. Součástí přístroje je i softwarové vybavení, pomocí kterého můžeme výsledky vyhodnocovat. Analýzou LNF lze s vysokou přesností určit a analyzovat tvar částic a počet částic. Lze analyzovat částice o velikosti minimálně 4 μm a maximálně 200 μm . Vzduchové bubliny o velikosti větší než 20 μm jsou přístrojem ignorovány [7] [34].



Obr.2 – Princip laserové analýzy částic LNF [22]

Princip spočívá v průchodu vzorku motorového oleje přes průtokovou buňku, kde je prosvěcován pulsním laserem, a prošlé světlo je snímáno pomocí CCD snímače (z angl. Charge Coupled Device) – nábojově vázaný prvek. V místech, kde se vyskytují částice, světlo neprojde a na CCD snímač se promítne tvar částice.

Obrys částice větší než 20 μm je klasifikován do několika kategorií. Jedná se o řezné částice abrazivního opotřebení, částice adhezivního opotřebení, únavové částice, nekovové částice, vlákna, kapičky vody a vzduchové bubliny – viz obr. 3.



Obr. 3 – Kategorie částic analyzovaných LNF [vlastní obrázek]

Tyto přístroje analyzují nejen tvar a množství částic, ale pomocí nich je možné zjišťovat také množství % sazí, znečištění motorového oleje vodou a zejména také dynamickou viskozitu při teplotě 40 °C.

V experimentální části je pracováno rovněž s hodnotami stanovení obsahu mechanických nečistot, bodu vzplanutí, kinematické viskozity při 50°C a obsahu vody. Principy jednotlivých metod nejsou v práci uvedeny. Tyto zkoušky byly provedeny v laboratořích DKV Česká Třebová.

1.4. Tření

Tření nastává ve stykových místech dvou elementů (pevných, tepelných či plyných). Při každém tření (smykovém, kapalném, valivém) existuje třecí síla, které vždy působí proti pohybu [40].

Rozlišujeme 2 základní druhy tření:

- **smykové** – vzniká mezi plochami dvou těles, přičemž dochází ke styku na velké kluzné ploše
- **valivé** – vznikne při valení tělesa (rotačním pohybu) po ploše

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

- **tření suché** – bez přítomnosti maziva, třecí plochy jsou suché – čím je plocha drsnější, tím je třecí síla větší
- **tření za mazání** – mezi třecími plochami je mazivo, které zabraňuje přímému styku a zmenšuje třecí sílu

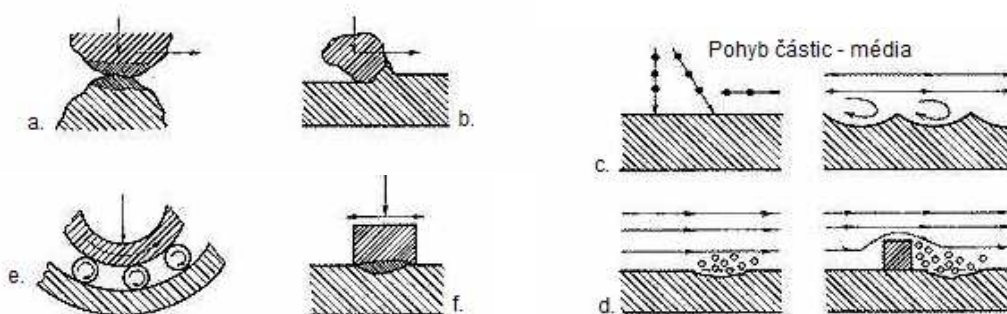
Při mazání třecích ploch mohou vzniknout tři druhy tření:

- **tření kapalinové** – jsou-li při tření povrchy těles vzájemně odděleny dokonale souvislou vrstvou maziva.
- **tření mezní** – vzniká, pokud je přívod maziva nedostatečný, nebo kapalná vrstva nedostatečně únosná. Dojde při tom k takovému přiblížení těles, že jejich vzájemnému styku brání jen mezní vrstva maziva.
- **tření smíšené** – je přechod mezi třením kapalinovým a třením mezním. Jedná se o velmi častý případ vyskytující se v praxi [2].

1.5. Opotřebení

Opotřebením rozumíme nežádoucí změnu povrchu, rozměrů, nebo vlastností tuhých těles. Opotřebení je způsobované vzájemným působením funkčních povrchů, nebo povrchu a média. Lze jej vyjádřit jako objem nebo hmotu odebraného materiálu z plochy. Základní druhy opotřebení rozdělujeme do 6 následujících skupin. V praxi se pak jednotlivé skupiny vzájemně kombinují, nebo přechází mezi sebou [21].

Na obrázku níže je uvedeno schematické znázornění druhů opotřebení a na dalších obrázcích jsou ukázky adhezivního opotřebení pístního čepu, abrazivního opotřebení pístu, vibračního opotřebení valivého ložiska a kavitačního opotřebení pouzdra válce.



Obr. 4 – Schematické znázornění druhů opotřebení [21]
[a. Adhezivní, b. Abrazivní, c. Erozivní, d. Kavitační, e. Únavové, f. Vibrační]



Obr. 5 – Adhezivní opotřebení pístního čepu (vlevo) a abrazivní opotřebení pístu (vpravo) [21]



Obr. 6 – Vibrační opotřebení valivého ložiska (vlevo) a kavitační opotřebení pouzdra válce (vpravo) [21]

Adhezivní opotřebení

K adhezivnímu opotřebení dochází při styku dvou ploch, kdy v důsledku relativního pohybu funkčních povrchů dochází k porušování povrchových vrstev materiálů [36].

Při styku dvou ploch dochází ke vzniku velkého množství kontaktních plošek a ve spolupráci s velkou silou vznikají plastické deformace a vytváří se mikrospoje. To způsobuje lokální nárůst teploty, čímž vzniká vhodné prostředí pro chemickou reakci kovu s okolním prostředím, což dále zvyšuje rychlost opotřebení [21].

Velikost opotřebení je závislé na zatížení kontaktní dvojice, materiálu dvojice, technologii výroby. Výrazné opotřebení lze snížit mazáním [21].

Abrazivní opotřebení

K němu dochází při působení tvrdého a drsného povrchu jednoho tělesa na těleso druhé. Tím vzniká charakteristické oddělování částic z funkčního povrchu. Typické pro abrazivní opotřebení jsou rýhy na povrchu funkčních ploch, které vzniknou vniknutím abrazivní částice mezi dvě pohyblivé tělesa [21].

U motorů se abrazivnímu opotřebení brání filtrací nasávaného vzduchu a filtrací motorového oleje.

Erozivní opotřebení

Tento druh opotřebení vzniká při dopadu částice, obsažené v motorovém oleji, na povrch funkční plochy. V určitém úhlu a při určité rychlosti může tato částice způsobit vytlačení, nebo oddělení materiálu z funkční plochy [21].

Intenzitu erozivního opotřebení určuje mnoho faktorů, jako například velikost, tvar a tvrdost částice, rychlost a úhel dopadu částice, chemické složení, apod.

Erozivní opotřebení může být využíváno i pozitivně, při cíleném dopadu částic pod malým úhlem, při otryskání ocelových konstrukcí kovovými broky.



Obr. 7 – Erozivní opotřebení ventilu a koule uzávěru [15]

Kavitační opotřebení

Charakteristické pro toto opotřebení je oddělování částic z povrchu funkční plochy v místech zániku kavitačních bublin, které vznikají v kapalině. Ke kavitaci v kapalině dochází v místech, kde se zvyšuje rychlost proudění a důsledkem toho se snižuje tlak kapaliny. Kavitační bubliny jsou vyplněné párou (plynem), které ulpí na povrchu kovu a zaniknout implozí. V okamžiku imploze bubliny dojde ke vzniku rázové vlny, která působí deformace na povrchu kovu [21].

Únavové opotřebení

V povrchové vrstvě funkčních ploch se po dobu užití kumulují poruchy. Postupem času zde pak vznikají mikrotrhliny, které se následně spojují a vznikají tak oblasti únavového poškození [21].

Únavové opotřebení by mělo být odhaleno již v počáteční fázi, jinak hrozí vznik lomu. Ke zjištění trhlin se používají metody defektoskopie.



Obr.8 – Únavové opotřebení kroužku ložiska (vlevo) a zdvihátka ventilu (vpravo). [14]

Vibrační opotřebení

Toto opotřebení vzniká při vzájemném kmitavém tangenciálním posunu funkčních ploch při spolupůsobení normálového zatížení. Vibrační opotřebení je doprovázeno vznikem oxidů železa s typickou hnědočervenou nebo hnědočernou barvou. Vibrace způsobuje vlastní práce stroje, ale může působit i vnější zdroj [21].

1.5.1. Otěrové částice – morfologická klasifikace a vztah k režimu opotřebení

Částice adhezivního opotřebení

Tyto částice pocházejí z Beilbyho vrstvičky, ze které se postupně odlupují a tak se dostávají do oleje. Tvarově připomínají šupinky vločkovitého tvaru, které jsou na povrchu vypuklé. Vytvářejí řetězce ve tvaru vánočky. Šířka a délka těchto částic se příliš neliší a pohybuje se v rozmezí hodnot 5 až 15 μm . Tloušťka je velmi malá pohybující se v rozmezí hodnot 0,25 až 0,75 μm . Při ferografické analýze je lze velmi dobře zachytit [14].

Pokud velikost částic šupinkového tvaru nepřesáhne 15 μm , je stav opotřebení uspokojivý. Při havarijním opotřebení chybí buď úplně, nebo jsou překryty velkým trojrozměrným otěrem oblakovitého, či hranolkovitého typu [1].

Na obrázku 9 je uveden jemný adhezivní otěr ve formě řetízku.



Obr. 9 – Jemný adhezivní otěr ve formě řetízku [35]

Částice abrazivního opotřebení

Abrazivní částice vznikají dvěma různými způsoby:

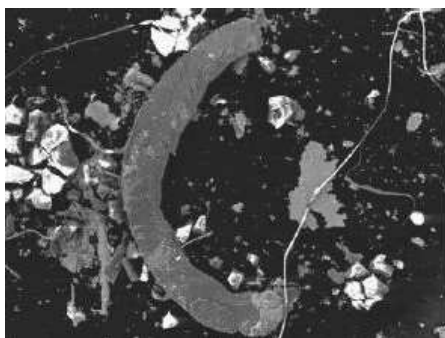
- tvrdší materiál třecí dvojice penetruje do měkčího protějšku** – zde vznikají částice mající morfologický tvar (mikrošpona – spirálka, či drátek stočený do spirálky)
- vnik cizorodé částice** – jedná se o vniknutí typického abraziva mezi třecí povrchy – opět i zde vznikají spirálky.

Abrazivní částice jsou obecně charakteristické jejich velkou délkou v desítkách až stovkách μm a minimální tloušťkou, pouze do $0,25 \mu\text{m}$.

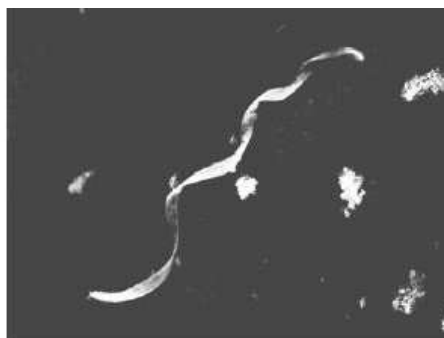
Výskyt těchto částic v motorovém oleji je vždy nenormální, vede na větší poruchu, nebo havárii, která dříve nebo později musí nastat.

Abrazivní částice se vyskytují i při záběhu stroje. Zde však mají jiný tvar a to: srpečkovitý, nebo mečovitý s ostrými výčnělky na konci. Ke konci záběhu jejich počet klesá, a pokud se již nevyskytují, je to známka dobře proběhlého záběhu.

Na obrázku 10 a je abrazivní částice ve tvaru srpečku a na obrázku 11 je částice abrazivního opotřebení ve tvaru mikrošpony.



Obr.10 Částice ve tvaru srpečku [35]



Obr. 11 Částice ve tvaru mikrošpony [35]

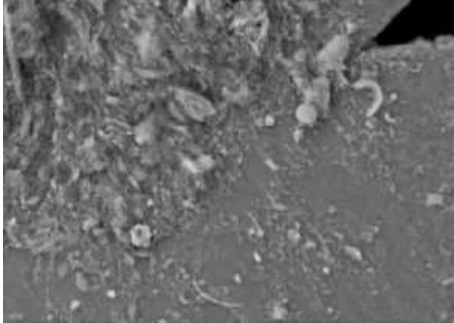
Částice sférické

Tento druh částic vzniká jako důsledek únavy Beilbyho vrstvičky na povrchu vnějšího, nebo vnitřního kroužku ve valivých ložiskách. Jev je doprovázen vznikem únavové mikrotrhlíčky, která obsahuje olej, nasátý vlivem kapilární síly. Neustálým přejezdem valivých elementů dochází k prudkému vystříknutí oleje z mikrotrhlíčky. To vyvolá vznik mikrošupinek.

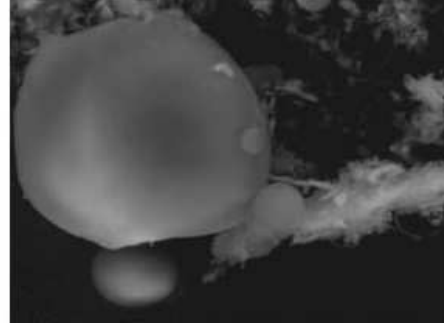
Velikost sférických útvarů je velmi malá v rozmezí hodnot 2 až $5 \mu\text{m}$. Při zvětšení je patrný vyleštěný povrch.

Výskyt těchto částic poukazuje na nastupující poruchu valivých ložisek a nadměrné zatížení mechanismu [1][14][36].

Níže jsou uvedeny obrázky částic, kde na obrázku 12 je podpovrchová mikrotrhlina a v její blízkosti se nacházející sférické částice a na obrázku 13 je detail podpovrchové sférické částice.



Obr.12 – Podpovrchová mikrotrhlina [35]



Obr. 13 – Detail podpovrchové sférické částice a sférické částice v jejím okolí [35]

Laminární částice

Jedná se o značně veliké částice o délce od 40 μm do 250 μm a šířce od 10 do 50 μm , vznikající zejména tam, kde dochází k sekundární tvorbě těchto částic. K tomu dochází například při průchodu únavových částic, mezi valivými elementy valivého ložiska [14].

V bichromatickém mikroskopu můžeme pozorovat zbarvení těchto částic do jasně červené, až tmavě červené, barvy s hladkým nepravidelným povrchem.

Pokud nalezneme v zorném poli ferroskopu více než 12 těchto částic, které se vyskytují navíc s větším počtem částic sférických, můžeme očekávat brzkou poruchu valivých ložisek [1].

Únavové částice

Částice vznikají z vytvořené mikrotrhlinky tak, že po dosažení určité hloubky mikrotrhlinky nastane proces vylamování částic. Částice mají typický trojrozměrný tvar – tzv. chunky type, který je charakterizován délkou, šířkou a hloubkou částic. Povrch není hladký, naopak vykazuje spoustu nerovností a rýhování.

Tyto částice o velikosti 100 μm se mohou vyskytnout i u valivých ložisek. Lavinovitý nárůst těchto částic má pak za následek blížící se poruchu ložiska.

Druhým typem částic jsou pak tzv. scuffingové částice, které vznikají na kořeni zubů, nebo na konci zubů, nebo na roztečné kružnici zubů. Vznikají vlivem kombinace valivého a kluzného tření [1][14].

Částice mezního opotřebení a katastrofické částice

Tyto částice vznikají při zadírání, nebo silné abrazi. Vlivem nadměrného zatížení dochází k narušení Beilbyho vrstvičky, kdy v místě kontaktu třecích ploch ztrácí vrstvička únosnost a je odírána. To se projeví i na hlučnosti stroje, jeho vibracemi, chvěním a dalšími charakteristikami.

Částice jsou třírozměrné, mají charakteristickou ostrou hranu a jejich velikost je v rozmezí hodnot 30 až 70 μm [1].

Neželezné částice

Neželezné částice vznikají v důsledku styku ocelí a slitin barevných kovů, při adhezivním režimu opotřebení. Vždy se odlišují zbarvením a magnetickými vlastnostmi. Morfologicky se částice nejlépe podobají adhezivní šupince a jejich průměr je 15 až 20 μm . Mohou se vyskytnout i jako trojrozměrné, což ale již poukazuje na havarijní případ [1][36].

Oxidy železa

Oxidy železa dělíme na dvě základní skupiny. A to na červené oxidy a černé oxidy.

Červené oxidy vznikají již při nižších teplotách a za přítomnosti vody, či vodních par. Tyto částice jsou typické pro projev a doklad rezavění stroje. Velikost částic je více jak 20 až 30 μm . Při větším počtu těchto částic, je nutné provádět zkoušku motorového oleje na přítomnost vody.

Černé oxidy se tvoří za vyšších tlaků a teplot, nebo při omezeném přívodu maziva. Velikost těchto částic se pohybuje kolem 5 μm a částice mají černý hladký povrch, oblázkového charakteru [1].

Nekovové částice

Nekovové částice existují buď jako polymerní částice, nebo jako křemičité částice.

Polymerní částice vznikají jako částice tribopolymerního charakteru. Jedná se o uplívající povlak, který se vytvoří z přísad obsažených v oleji. Při mezních tlacích a dalších faktorech dojde k potrhání souvislého filmu a tvorbě částic tribopolymerů. Morfologicky jsou tyto částice velice zajímavé a typické pro konkrétní aditiva. Částice jsou válečkové, sférické, nebo nejčastěji pentlové o velikost desítek až stovek μm . Sférické částice jsou zde větší než 5 μm , čímž se liší od sférických částic kovových. Částice jsou v bichromatickém ferroskopu nazelenalé, průsvitné ale neprůhledné a okraje částic jsou oblé.

Zelené částice mohou být však také silonová, nebo nylonová vlákna, původem z filtrační hmoty, nebo celulósová vlákna jako pozůstatky z čistící vlny.

Dalšími nekovovými částicemi mohou být křemičitany a křemičité částice, které se do motorového oleje dostanou nedokonalou filtrací vzduchu. Jedná se o částičky zeminy a jiných materiálů obsažených ve vzduchu. Větší počet těchto částic poukazuje na špatnou filtraci vzduchu u spalovacího motoru, nebo na vnik nečistoty do oleje [1][14].

2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část bakalářské práce se zabývá hodnocením motorových olejů z lokomotiv řady 810 uvedených na obrázku 14.

Po předchozí dohodě s Depem kolejových vozidel Česká Třebová bylo dodáno 21 vzorků motorových olejů odebíraných v průběhu roku 2010 a 2011. Spolu se vzorky byly dodány i základní údaje o vozidlech a výsledcích zkoušek provedených v laboratořích DKV. Součástí dodaných vzorků byly také vzorky nového motorového oleje a motorové nafty.

V experimentální části bakalářské práce byly zkoušky provedené v DKV Česká Třebová doplněny o další experimenty provedené v laboratořích Univerzity Pardubice. Údaje byly zaznamenány do tabulky, která je uvedena v příloze č.1. Dále byly vzorky rozděleny do třech podskupin dle problémů s těmito oleji, které byly zjištěny v DKV Česká Třebová. Rozdělení je uvedeno v příloze č.2.

V další části práce je zpracován návrh metody pro stanovení znečištění motorových olejů bez použití laboratorního vybavení.



Obr. 14 – Lokomotiva řady 810-293-1 [37]

2.1. Aplikace vybraných tribodiagnostických metod

Analýza vzorků provedená v DKV Česká Třebová byla doplněna v laboratořích Univerzity Pardubice o stanovení celkového znečištění pomocí přístroje Densimeter REO 31, FT-IR spektrometrii a částicovou analýzu na LNF.

2.1.1. Měření celkového znečištění pomocí Densimeteru REO 31

Pro měření celkového znečištění motorového oleje z lokomotiv byl použit přístroj Densimeter REO 31, uvedený na obrázku 15. Princip přístroje je popsán v teoretické části bakalářské práce. Na obrázku 16 je uvedena kompletní sestava přístroje REO 31 a pomůcek potřebných k měření.

Parametry přístroje Densimeter REO 31:

| | |
|-------------------------------|-------------------|
| Napájení | 220 V/50 Hz 50 VA |
| Hmotnost | 1,7 kg |
| Provozní teplota okolí | 10 – 30 °C |
| Rozměry | 280x280x110 mm |
| Měřicí rozsah | 0,00 – 9,99 % |
| Stupeň krytí | IP 20 |



Obr. 15 - REO 31 Densimeter [vlastní foto]



Obr. 16 - Kompletní sestava přístroje REO 31 a pomůcek potřebných k měření [vlastní foto]

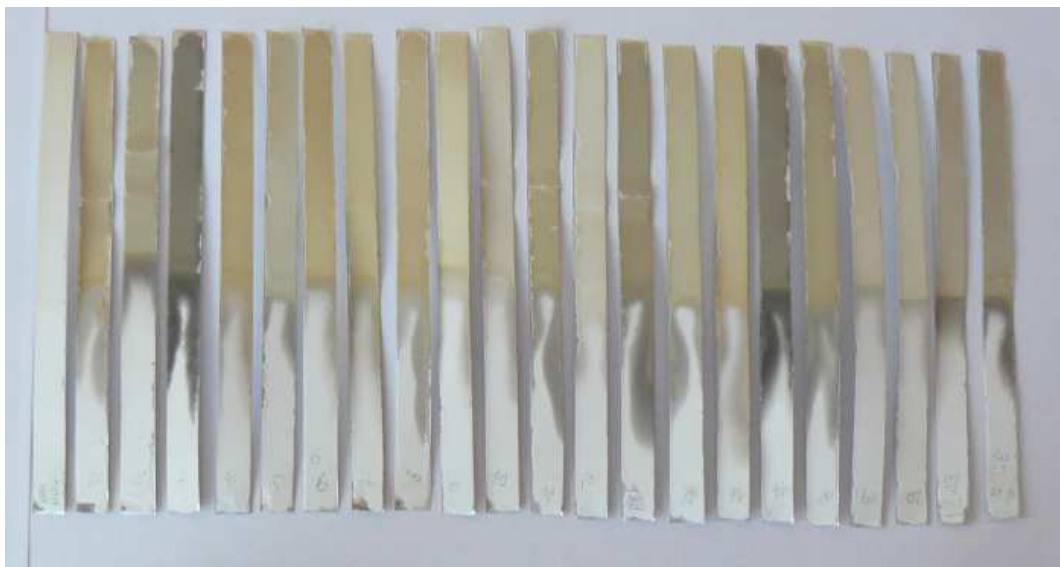
Postup měření

Pro bezchybné měření je nutné nejprve zkalibrovat přístroj na čistý chromatografický proužek. Nakalibrování se provede, dle pokynů dodavatele, zapnutím přístroje na dobu 60 minut a čistým chromatografickým proužkem se ověří nulová hodnota procenta znečištění. Výrazné odchylky upravíme změnou polohy šroubku, označeného SET, na předním panelu přístroje.

Postup měření lze shrnout do několika následujících bodů:

1. Připraví se proužek chromatografického papíru (Silufol) o rozměrech 9x100mm.
2. Ve zkumavce se 1ml motorového oleje důkladně promíchá s 24 ml technického benzínu.
3. Proužek chromatografického papíru se ponoří do zkumavky na dobu 3 minut.
4. Po uplynutí této doby se proužek vytáhne a opláchne se krátkým ponořením do zkumavky s technickým benzinem.
5. Proužek chromatografického papíru se následně ve svislé poloze usuší.
6. Po usušení se vzorek vloží do přístroje, aktivní vrstvou nahoru, a vsunovací otvor se zvedne do horní polohy.
7. Elektronika přístroje vyhodnotí intenzitu světla, převede ji na napětí a na displeji se zobrazí hodnota znečištění.

Na následujícím obrázku jsou uvedeny připravené vzorky motorového oleje lokomotiv řady 810.



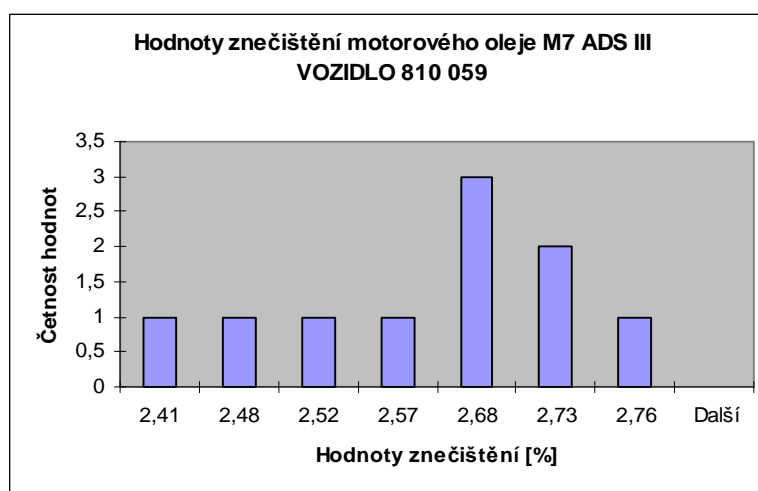
Obr. 17 – Připravené vzorky motorového oleje lokomotiv řady 810 k naměření

Vyhodnocení chyby měřícího přístroje:

K vyhodnocení chyby měřícího přístroje byl použit vzorek z hnacího vozu 810 059, který byl opakovaně změřen desetkrát a analyzován pomocí programového vybavení Microsoft Excel 2003. Hodnoty znečištění motorového oleje byly porovnány s četností jednotlivých hodnot a byl vytvořen histogram - obrázek 18.

Tab.3 – Naměřené hodnoty vzorku motorového oleje z vozu 810 059

| | | | | |
|------|------|------|------|------|
| 5,26 | 5,08 | 5,63 | 5,69 | 5,08 |
| 6,08 | 6,08 | 5,91 | 5,64 | 5,64 |



Obr. 18 – Histogram četnostní naměřených hodnot znečištění

Eliminujeme-li hrubé chyby měření a chyby systematické, bude výsledek zatížen pouze chybami náhodnými. Ty mají rozdělení blízké normálnímu (Gaussovu) rozdělení a nejpravděpodobnější hodnotu výsledku měření vypočítáme pomocí aritmetického průměru.

Předpokládáme tedy, že chyby přístroje Densimeter REO 31 vznikají naprosto náhodně a uvažujeme, že mají normální rozdělení. Za tohoto předpokladu můžeme vypočítat aritmetický průměr a chybu střední hodnoty [7][29].

Aritmetický průměr vypočítáme jako součet všech naměřených hodnot, dělených počtem těchto hodnot. V tomto případě je počet hodnot $n = 10$.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 5,61 \%$$

Nejistotu, s jakou jsme určili aritmetický průměr vyjadřuje hodnota chyby střední hodnoty:

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = 0,12 \%$$

Následně byl vypočten interval spolehlivosti pro průměrnou hodnotu měřené veličiny. K výpočtu byl použit kvantil Studentova rozdělení pravděpodobnosti $t_{1-\alpha/2}$ s $n-1$ stupni volnosti, kde α je hladina významnosti, kterou jsme zvolili 0,05 [7].

Poté tedy můžeme napsat následující kvantil:

$$t_{0,975} 9 = 2,26$$

Průměrná hodnota chyby měření se pohybovala v intervalu $\bar{x} \pm t_{1-\alpha/2} \cdot \bar{s}$, který po dosažení bude mít tuto hodnotu:

$$\bar{x} = 5,61 \pm 0,26 \%$$

Dále je možné určit tzv. pravděpodobnou chybu aritmetického průměru, která udává hodnotu chyby, při které je 50% pravděpodobnost, že se naměřená hodnota neliší od aritmetického průměru o více než tuto hodnotu. Ta je definována vztahem:

$$\bar{\sigma} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n(n-1)}} = 0,78$$

Na závěr lze vypočítat hodnotu krajní chyby měření, která udává rozmezí, ve kterém se nachází správná hodnota, s pravděpodobností 99,73%. Tuto hodnotu lze vyčíslit vztahem:

$$\bar{k} = 3 \cdot \bar{s} = 0,35$$

2.1.2. Infračervená spektrometrie

Pomocí této metody stanovíme látky, které znečišťují motorový olej, případně které degradují jeho vlastnosti. K měření byl použitý FT-IR spektrometr Thermo Scientific Nicolet iS10, uvedený na obrázku 19, s programovým vybavením OMNIC.



Obr. 19 – Pracoviště pro metodu infračervené spektrometrie (vlevo Nicolet iS10)
[vlastní foto]

Parametry přístroje Nicolet iS10:

FTIR spektrometr pro střední IČ oblast

ATR krystal ZnSe

Spektrální rozsah 650–4 000 cm^{-1}

Počet skenů 64

Rozlišení 4 cm^{-1}

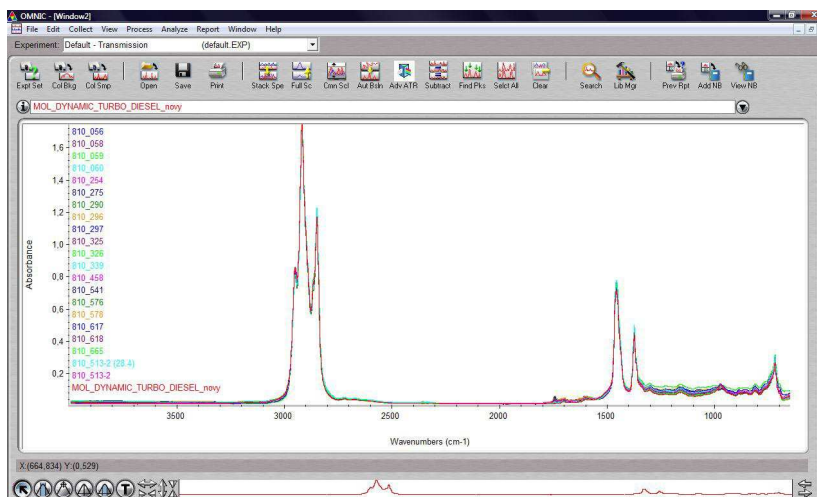
Postup měření:

K vlastnímu měření potřebujeme zejména měřicí přístroj a čisticí prostředky. Jako čisticí médium se zde používá Hexan čistý C_6H_{14} . ATR krystal ZnSe je nutné čistit po každém měření.

Postup měření je lze shrnout do následujících bodů:

1. Před vlastním měřením spustíme software OMNIC 8.1.11. na PC, propojeném s měřicím zařízením Nicolet iS10.
2. Čistý krystal se vloží do přístroje a pomocí funkce COLLECT BACKGROUND (v programu OMNIC 8. 1. 11.) se změří pozadí, čímž se eliminuje vliv nečistot na povrchu krystalu při měření spektra vzorku motorového oleje.
3. Na čistý krystal se nanese tenká souvislá vrstva zkoušeného vzorku oleje a vloží se do přístroje.
4. Volbou COLLECT SAMPLE v programu OMNIC 8. 1. 11. se spustí měření spekter vzorku oleje.
5. Po dokončení měření se v dialogovém okně na obrazovce objeví spektrum odpovídající danému motorovému oleji.
6. Naměřené spektrum lze následně uložit na disk, pro další využití.
7. Po každém měření, resp. před každým měřením, musí být krystal ZnSe důkladně vyčištěn. Ten se čistí vatovými polštářky a oplachuje Hexanem C_6H_{14} .

Na níže uvedeném obrázku je pracovní okno programu OMNIC se zobrazenými naměřenými spektry motorových olejů hnacích vozidel řady 810.



Obr. 20 – Zobrazení naměřených spekter v programu OMNIC 8. 1. 11. [vlastní obrázek]

2.1.3. Částicová analýza LNF

Touto metodou zjišťujeme dynamickou viskozitu oleje, provádíme morfologickou analýzu ořetových částic a měříme počet částic obsažených v daném množství vzorku použitého motorového oleje.

Z vybavení byl k tomuto experimentu použitý přístroj Spectro LaserNet Fines Q200 a ultrazvuková lázeň.

Parametry přístroje SpectroLNF Q²⁰⁰:

Zařízení se skládá ze stolního počítače, který přístroj řídí a analyzuje data a z vlastního stolního přístroje, který zpracovává vzorek motorového oleje. Obě jednotky jsou propojeny USB kabelem.

Napájení 115/230 V, 60/50 Hz

Příkon 30 W

Na níže uvedeném obrázku je vyobrazeno pracoviště částicové analýzy LNF, v laboratoři Univerzity Pardubice – stolní jednotka Spectro LNF Q200 a k ní příslušný počítač Lenovo.



Obr. 21 – Pracoviště částicové analýzy LNF [vlastní foto]

Postup měření:

K vlastnímu měření potřebujeme zejména měřicí přístroj s PC, ultrazvukovou lázeň s vodou a čisticí prostředek pro průplach přístroje, kterým je v tomto případě petrolej.

Několik vzorků bylo nutné naředit čistým olejem v určité koncentraci, aby se snížila jejich tmavost, a přístroj je mohl analyzovat. Z těchto důvodů bylo dále použito odměrných válců.

Vlastní postup je možné rozdělit do několika kroků:

1. Z důvodů rovnoměrného rozptýlení částic v motorovém oleji je nutné vzorek před měřením homogenizovat, důkladným promícháním po dobu alespoň 3 minut.
2. Mícháním vzniknou v motorovém oleji bubliny, které je nutné eliminovat pomocí ultrazvukové lázně.

3. Před vlastním měřením se do programu LaserNet se zapíše veškeré požadované údaje k motorovému oleji, zvolí se potřebné parametry motorového oleje, případně se zvolí i poměr ředění motorového oleje.
4. Vzorek motorového oleje ve vhodné nádobě připravíme pod nasávací hadičku.
5. Pomocí programového vybavení v PC se zvolí start testu a nástavec s nasávací hadičkou se 3 – 4x za sebou zvedne a opět spustí do vzorku motorového oleje, z důvodů eliminace bublin.
6. Pokud je vše v pořádku, zobrazí se na monitoru údaje o morfologii, množství částic a dynamické viskozitě. Tyto údaje je možné uložit a následně použít pro analýzu dat.
7. Po každém měření je nutné provést proplach přístroje. Ten se provádí petrolejem buď na žádost programu, případně i manuálně pomocí funkce FLUSH DISPLAY a to v obou směrech.

2.2. Vyhodnocení experimentální části

Tato část bakalářské práce se zabývá vyhodnocením analýzy motorových olejů z lokomotiv řady 810. Principy metod byly popsány v teoretické části bakalářské práce.

2.2.1. Stanovení celkového znečištění na densimetru a určení jeho barevného odstínu

Cílem této kapitoly je ověření možnosti stanovení znečištění motorového oleje a jeho následné vyhodnocení bez pomoci složitých a často příliš nákladných přístrojů, které si mnohé společnosti nemohou dovolit. K této metodě by měl napomoci bezplatný freewareový program Pixie 4.1. a základní pomůcky pro stanovení znečištění motorového oleje na densimetru.

V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty celkového znečištění naměřené na Densimetru REO-31.

Tab. 4 – Hodnoty celkového znečištění naměřené na Densimetru REO 31

| Číslo vozu | Celkové znečištění z Densimetru REO-31 [%] | Číslo vozu | Celkové znečištění z Densimetru REO-31 [%] | Číslo vozu | Celkové znečištění z Densimetru REO-31 [%] |
|------------|--|------------|--|------------|--|
| 810 056 | 0,57 | 325 | 0,23 | 665 | 0,15 |
| 810 058 | 0,92 | 326 | 0,09 | 513 2 | 0,74 |
| 810 059 | 2,62 | 339 | 0,73 | 513 2 | 0,91 |
| 810 060 | 0,26 | 458 | 0,03 | M7 ADS III | 0,01 |
| 810 254 | 0,21 | 541 | 1,25 | | |
| 810 275 | 0,25 | 576 | 0,53 | | |
| 810 290 | 0,29 | 578 | 0,41 | | |
| 810 296 | 0,52 | 617 | 2,11 | | |
| 810 297 | 0,12 | 618 | 0,98 | | |

Pro vyhodnocení barevného odstínu použijeme následující dva druhy modelu:

RGB model (Red - červená, Green - zelená, Blue – modrá) – jedná se o aditivní způsob míchání barev, který se používá ve všech monitorech a projektorech. Nepotřebuje vnější světlo, jelikož se jedná o míchání světla vnitřního [41].

HSV model (Hue, Saturation, Value) – je znám také jako HSB (Hue, Saturation, Brightness) a jedná se o barevný model odpovídající nejvíce lidskému vnímání barev. Podobně jako u RGB se i zde setkáváme se třemi složkami, avšak jedná se o HSV:

Hue – barevný tón, odstín – ten je obvykle označován jako název dané barvy

Saturation – sytost barvy – množství šedi v poměru k odstínu

Value – jas barvy, množství bílého světla – vyjadřuje množství světla, které barva odráží [42].

Popis programu Pixie 4.1.

Jedná se o program vyvinutý společností Nattyware speciálně pro tvůrce webových grafiky. Jednoduchým najetím kurzoru na libovolnou část obrazovky lze pomocí programu Pixie 4.1 zobrazit přesný kód barvy v hodnotách hex, RGB, HTML, CMYK, a HSV. Důležité je, že program umí zobrazit i souřadnice X a Y pozice kurzoru na obrazovce. Dialogové okno programu Pixie 4.1. je znázorněno na obrázku 22, uvedeném níže.

Tento velmi jednoduchý freewarový program lze dostat na webové stránce autora programu. Je kompatibilní se všemi verzemi operačního systému Windows a jeho instalace i používání je naprosto zdarma.



Obr. 22 – Dialogové okno programu Pixie 4.1. [vlastní obrázek]

Na následujícím obrázku je příklad odebrání souřadnic RGB a HSV odstínu naskenovaného proužku chromatografické fólie se vzorkem motorového oleje.



Obr. 23 – Naskenovaný proužek chromatografické fólie [vlastní obrázek]

Určení odstínu motorového oleje na chromatografickém papíru

Základem této metody je zajištění proužků chromatografického papíru, obarveného znečištěným motorovým olejem. Jednotlivé kroky (1–5), jak tyto vzorky získat, byly popsány v kapitole 2.1.1.

Jednotlivé vzorky byly naskenovány pomocí multifunkčního zařízení Hewlett Packard Photosmart C4680.

K určení odstínu byl použit již zmíněný program Pixie 4.1., pomocí kterého se určily souřadnice RGB a HSV. Odstín byl měřen na koncové části proužku v oblasti čtverce o velikosti 5 x 5 mm (obr. 23). Měření bylo provedeno 5x a z jednotlivých měření byla vypočtena průměrná hodnota uvedená v příloze 3 v tabulce 5.

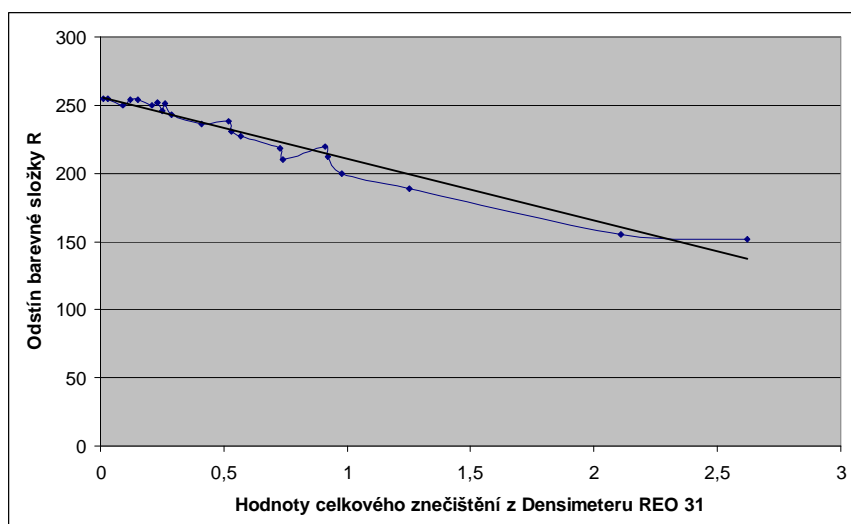
Hodnoty R-G-B se při měření lišili maximálně o ± 3 jednotky, H-S-V o ± 1 jednotku na konkrétním měřeném proužku.

Na následujících stránkách jsou sestaveny grafy závislostí R-G-B a H-S-V na celkovém znečištění. Z těchto grafů plyne, že po akceptování předpokladů korelace mezi barevností testovaného proužku a celkovým znečištěním stanoveným densimetricky jsou vhodné pouze hodnoty R-G-B a hodnota V. Hodnoty H a S nejsou pro vyhodnocení vhodné.

Vztah mezi celkovým znečištěním sledovaným v laboratořích Univerzity Pardubice přístrojem REO 31 a obsahem mechanických nečistot sledovaných DKV Česká Třebová pomocí HEO-směsi, je u sledovaných vzorků lineární, vykazuje však poměrně velký rozptyl.

a) Trendový graf pro barevnou složku R.

Graf závislosti odstínu barevné složky R a hodnot celkového znečištění naměřeném na densimetry byl proložen spojnicí trendu – lineární regresní přímkou.



Graf 1 – Trendový graf pro barevnou složku R

Hodnota rovnice regresní přímky je:

$$y = -45,34x + 255,89$$

Pro vyjádření hodnoty celkového znečištění densimetricky převedeme rovnici regresní přímky na následující vztah:

$$x = \frac{255,89 - y}{45,34}$$

V tomto tvaru lze do této rovnice dosadit hodnotu barevné složky R a výsledkem je hodnota celkového znečištění motorového oleje.

Použitím funkce CORREL, nebo PEARSON, v programu Microsoft Excel můžeme rovněž vyjádřit Pearsonův korelační koeficient „r“, který vyjadřuje vztah mezi dvěma procesy, nebo veličinami. Mění-li se jedna veličina, pak se korelativně mění i druhá a naopak. Pro tento případ je vhodnější interpretovat korelaci jako lineární vztah mezi veličinami x a y. Míru korelace vyjadřuje korelační koeficient, který nabývá hodnot od -1 do +1. V případě korelačního koeficientu o hodnotě 0, není mezi hodnotami žádná lineární závislost [38].

Závislost s korelačním koeficientem 0,95–0,99 se považuje za velmi silnou, s korelačním koeficientem 0,80–0,94 za dost silnou, a v rozmezí hodnot 0,50–0,79 za středně silnou závislost. Je-li hodnota korelačního koeficientu nižší než 0,50, je tato závislost považována za bezvýznamnou.

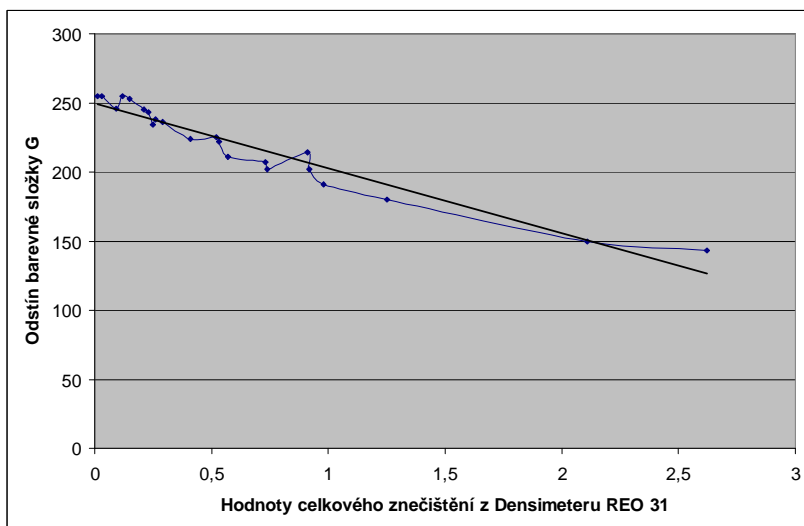
Po zaokrouhlení na dvě desetinná místa je Pearsonův korelační koeficient u tohoto grafu:

$$r = -0,98$$

Záporný korelační koeficient vyjadřuje závislost, kdy hodnoty odstínu barevné složky R klesají, zatímco hodnoty celkového znečištění stoupají. Tuto závislost lze samozřejmě interpretovat i opačně. Vzhledem k hodnotě korelačního koeficientu lze říci, že závislost mezi odstínem barevné složky R a hodnotami celkového znečištění z Densimateru REO 31 je velmi silná, nepřímá.

b) Trendový graf pro barevnou složku G

Na následujícím obrázku je uveden graf závislosti hodnoty odstínu barevné složky G na hodnotách celkového znečištění z densimateru (Graf 2).



Graf 2 – Trendový graf pro barevnou složku G

Graf byl proložen regresní přímkou a její rovnice má tento tvar:

$$y = -46,93x + 249,3$$

Tuto rovnici převedeme na tvar pro dosažení hodnoty barevné složky:

$$x = \frac{249,30 - y}{46,93}$$

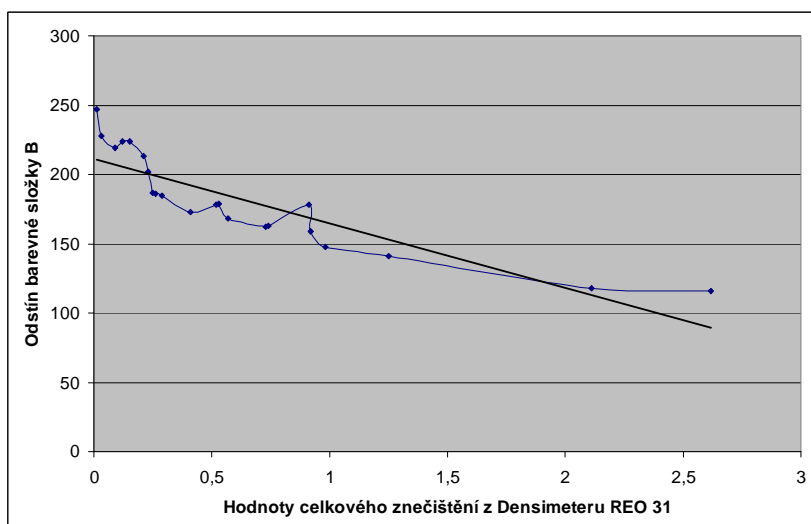
Pomocí funkce CORREL byl vyjádřen Pearsonův korelační koeficient, který po zaokrouhlení na dvě desetinná místa je u tohoto grafu:

$$r = -0,97$$

Vzhledem k hodnotě korelačního koeficientu lze říci, že závislost mezi odstínem barevné složky G a hodnotami celkového znečištění z Densimateru REO 31 je velmi silná, nepřímá.

c) Trendový graf pro barevnou složku B

Na obrázku níže je uvedena závislost hodnoty odstínu barevné složky B na hodnotách celkového znečištění z densimateru (Graf 3).



Graf 3 – Trendový graf pro barevnou složku B

Graf byl proložen regresní přímkou a její rovnice má tento tvar:

$$y = -46,49x + 211,16$$

Tuto rovnici převedeme na tvar pro dosažení hodnoty barevné složky:

$$x = \frac{211,16 - y}{46,49}$$

Pomocí funkce CORREL byl vyjádřen Pearsonův korelační koeficient, který po zaokrouhlení na dvě desetinná místa je u tohoto grafu:

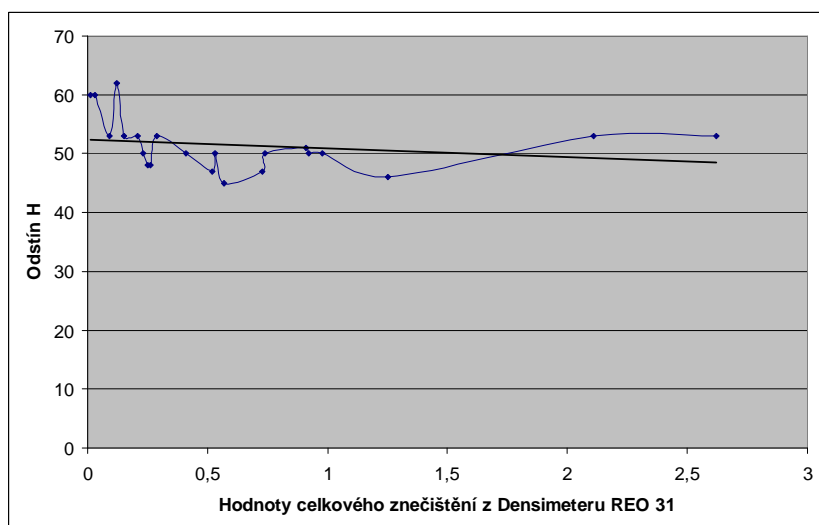
$$r = -0,88$$

Vzhledem k hodnotě korelačního koeficientu lze říci, že závislost mezi odstínem barevné složky B a hodnotami celkového znečištění z Densimateru REO 31 je dosti silná, nepřímá.

d) Trendový graf pro odstín barvy H

Na následujícím obrázku je uveden graf závislosti hodnot odstínu barvy H a hodnot celkového znečištění z densimateru (Graf 4).

Již z grafického vyjádření však vyplývá, že tato závislost není pro vyhodnocování vhodná.



Graf 4 – Trendový graf pro odstín barvy H

Graf byl proložen regresní přímkou a její rovnice má tento tvar:

$$y = -1,50x + 52,40$$

Tuto rovnici převedeme na tvar pro dosazení hodnoty barevné složky:

$$x = \frac{52,40 - y}{1,50}$$

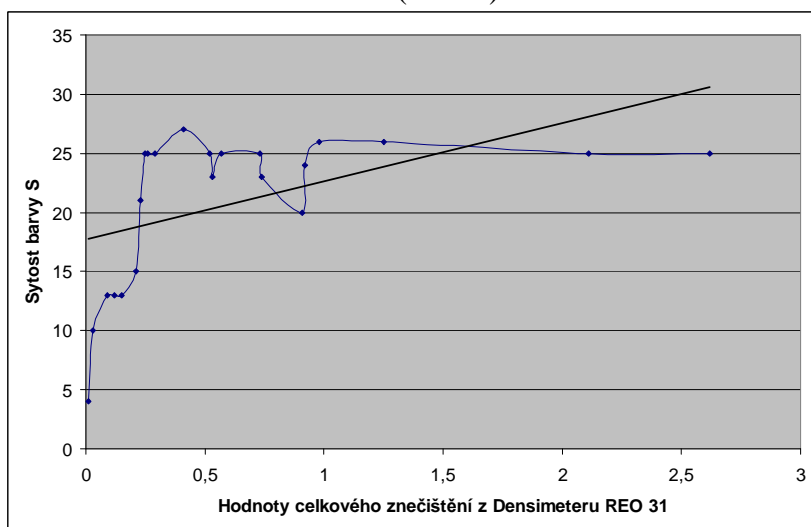
Pomocí funkce CORREL byl vyjádřen Pearsonův korelační koeficient, který po zaokrouhlení na dvě desetinná místa je u tohoto grafu:

$$r = -0,22$$

Vzhledem k hodnotě korelačního koeficientu lze říci, že závislost mezi odstínem barvy H a hodnotami celkového znečištění z Densimateru REO 31 je bezvýznamná, nepřímá, proto není vhodné odstín H k výpočtu celkového znečištění používat.

e) Trendový graf pro sytost barvy S

Na následujícím obrázku je uveden graf závislosti hodnot sytosti barvy S a hodnot celkového znečištění z densimetru (Graf 5).



Graf 5 – Trendový graf pro sytost barvy S

Graf byl proložen regresní přímkou a její rovnice má tento tvar:

$$y = 4,94x + 17,69$$

Tuto rovnici převedeme na tvar pro dosažení hodnoty barevné složky:

$$x = -\frac{17,69 - y}{4,94}$$

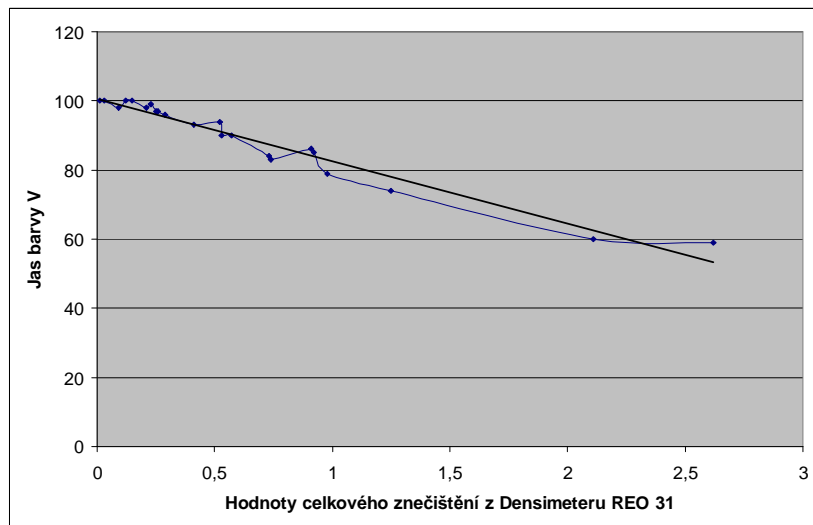
Pomocí funkce CORREL byl vyjádřen Pearsonův korelační koeficient, který po zaokrouhlení na dvě desetinná místa je u tohoto grafu:

$$r = 0,51$$

Vzhledem k hodnotě korelačního koeficientu lze říci, že závislost mezi sytostí barvy S a hodnotami celkového znečištění z Densimetru REO 31 je téměř bezvýznamná, přímá. Stoupají-li hodnoty sytosti barvy S, pak stoupají i hodnoty celkového znečištění z Densimetru REO 31. Tato závislost není pro další výpočet vhodná.

f) Trendový graf pro jas barvy V

Na následujícím obrázku je uveden graf závislosti hodnot jasu barvy S a hodnot celkového znečištění z densimetru (Graf 6).



Graf 6 – Trendový graf pro jas barvy V

Graf byl proložen regresní přímkou a její rovnice má tento tvar:

$$y = -18,04x + 100,60$$

Tuto rovnici převedeme na tvar pro dosazení hodnoty barevné složky:

$$x = \frac{100,60 - y}{18,04}$$

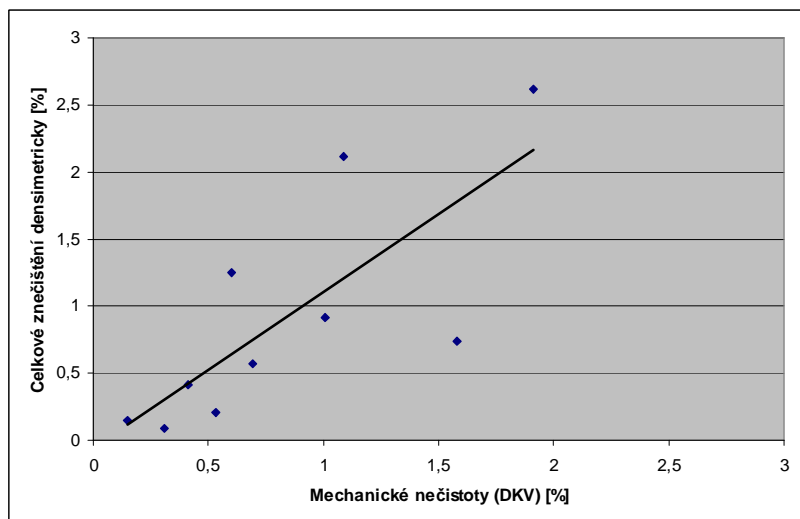
Pomocí funkce CORREL byl vyjádřen Pearsonův korelační koeficient, který po zaokrouhlení na dvě desetinná místa je u tohoto grafu:

$$r = -0,98$$

Vzhledem k hodnotě korelačního koeficientu lze říci, že závislost mezi jasnem barvy V a hodnotami celkového znečištění z Densimetru REO 31 je velmi silná, nepřímá.

g) Závislost celkového znečištění densimetricky (REO-31) na obsahu mechanických nečistot (DKV).

Na následujícím obrázku byla vytvořena závislost celkového znečištění naměřeného přístrojem Densimeter REO-31 v laboratořích Univerzity Pardubice a obsahu mechanických nečistot, které byly naměřeny v laboratořích DKV Česká Třebová (Graf 7).



Graf 7 – Graf závislosti celkového znečištění na obsahu mechanických nečistot

Graf byl proložen regresní přímkou a její rovnice má tento tvar:

$$y = 1,16x - 0,05$$

Pomocí funkce CORREL byl vypočítán Pearsonův korelační koeficient, který má, po zaokrouhlení na dvě desetinná místa, hodnotu:

$$r = 0,77$$

Z hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu vyplývá středně silná přímá závislost. Zvýší-li se hodnota mechanických nečistot (DKV), pak se zvýší i hodnota celkového znečištění densimetricky.

Dílčí závěr:

Jednotlivé grafy, mimo závislosti odstínu H a sytosti S, lze využít k výpočtu hodnoty celkového znečištění motorového oleje. Jednoduše lze dosadit pouze hodnotu barevné složky a výsledkem je hodnota celkového znečištění. Tato metoda nahrazuje měření na Densimeteru REO 31 a mohla by velice dobře sloužit zejména malým firmám, které si nemohou dovolit speciální laboratorní vybavení.

Metodu však nebylo možné důkladně ověřit, vzhledem k malému množství vzorků motorových olejů z hnacích vozů řady 810. Jistě by proto bylo vhodné, po další domluvě s DKV Česká Třebová, pokračovat v odběru vzorků a tuto metodu následně ověřit a dále ji rozvíjet.

Z posledního grafu vyplývá, že závislost, celkového znečištění naměřeného pomocí Densimeteru REO 31 a obsahu mechanických nečistot, je lineární. I zde by však bylo vhodné použít větší množství vzorků motorového oleje. Hodnoty ve velké vzdálenosti od lineární regresní přímky by pak mohly být způsobeny chybou měření.

V této části experimentální práce byly navíc sestaveny další závislosti barevných složek RGB a HSV na různých parametrech motorového oleje a také závislosti mezi jednotlivými parametry. Tyto závislosti nejsou v práci uvedeny, jelikož mezi nimi nebyla zjištěna žádná závislost. I zde bych však doporučil další ověření.

2.2.2. Výsledky infračervené spektrometrie

Pro analýzu pomocí infračervené spektrometrie byly vzorky motorového oleje z hnacích vozidel řady 810 rozděleny, dle níže popsaných problému vyskytujících se u jednotlivých skupin.

a) 1. skupina motorových olejů

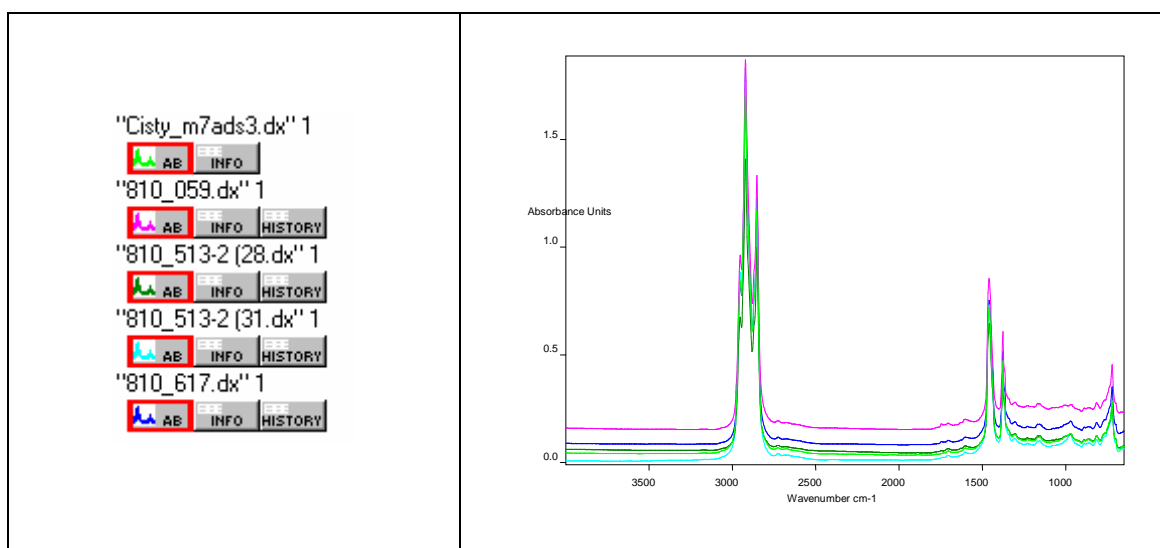
U této skupiny motorových olejů z hnacích vozů řady 810 byl při laboratorních zkouškách v DKV Česká Třebová zjištěn vysoký obsah mechanických nečistot.

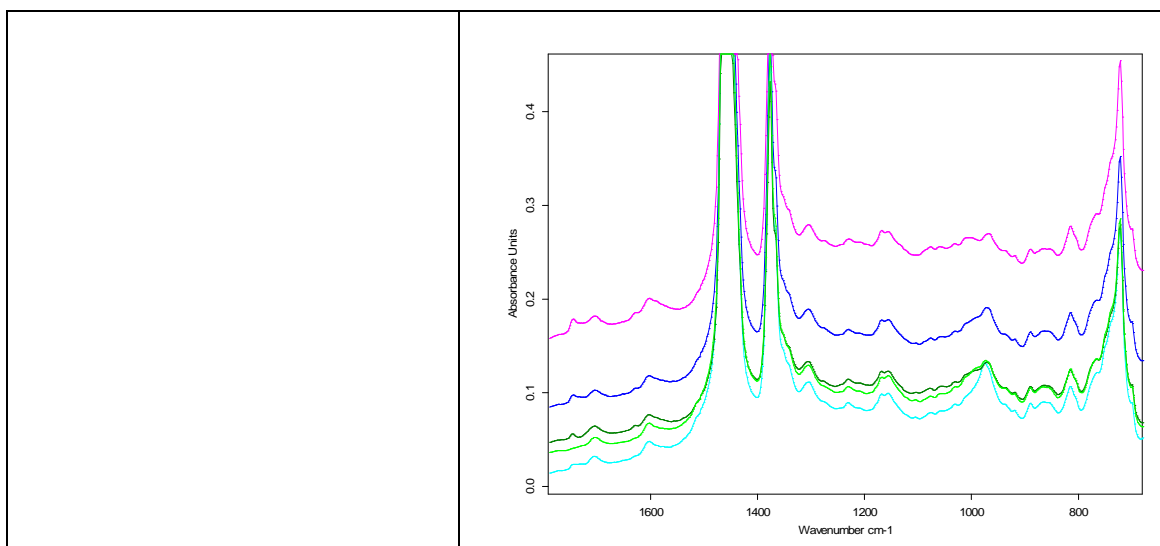
V následující tabulce jsou zaznamenány výsledky vybraných zkoušek, provedených v laboratořích Univerzity Pardubice a DKV Česká Třebová.

Tab. 5 – Výsledky vybraných zkoušek – skupina 1 (mot. olej M7 ADS III)

| Číslo vozu ř. 810 | Denzimetrie REO31 [%] | Obsah mechanických nečistot [% hm] DKV | Obsah sazí [%] LNF | Kinematická viskozita při 50 °C [mm ² .s ⁻¹] | Dynamická viskozita při 40 °C [mPa.s] | Bod vzplanutí [°C] | Celkový počet částic/ml LNF |
|--------------------|-----------------------|--|--------------------|---|---------------------------------------|--------------------|-----------------------------|
| 059 | 2,62 | 1.91 | 0.6 | 54,99 | 82,98 | 202 | 145 438 |
| 617 | 2,11 | 1.09 | 0.13 | nestanovena | 82,34 | 210 | 10 580 |
| 513 (odběr 28. 3.) | 0,74 | 1.58 | 0.06 | 64,42 | 85,69 | 210 | 16 258 |
| 513 (odběr 31. 3.) | 0,91 | 1.01 | 0.36 | nestanovena | nestanovena | 206 | 16 070 |

Na následujícím obrázku jsou vyobrazena naměřená infračervená spektra, barevně rozlišených, jednotlivých motorových olejů, včetně nového oleje M7 ADS III. Dílčí závěr k těmto IČ spektrům je uveden níže.





Obr. 24 – Infračervená spektra vzorků olejů – Skupina 1

Dílčí závěr:

Kolem oblasti absorpance 950 cm^{-1} vykazují oleje úbytek aditiv, avšak rezerva pro další provoz je dostatečná. U motorového oleje vozu 810 059 byl zjištěn významně zvýšený obsah sazí a u vozu 810 617 lehce zvýšený obsah sazí kolem oblasti absorpance 2000 cm^{-1} – u obou vozů došlo k posunu celého spektra směrem k vyšším hodnotám absorpance.

b) 2. skupina motorových olejů

U vzorků druhé skupiny bylo v laboratořích DKV Česká Třebová zjištěno snížení bodu vzplanutí a pokles viskozity.

V následující tabulce jsou zaznamenány výsledky vybraných zkoušek, provedených v laboratořích Univerzity Pardubice a DKV Česká Třebová.

Tab. 6 – Výsledky vybraných zkoušek – skupina 2 (mot. olej M7 ADS III)

| Číslo vozu ř. 810 | Denzimetrie REO31 [%] | Obsah mechanických nečistot DKV [% hm] | Obsah sazí LNF [%] | Kinematická viskozita při 50 °C [$\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$] | Dynamická viskozita při 40 °C [mPa.s] | Bod vzplanutí [°C] | Celkový počet částic/ml LNF |
|-------------------|-----------------------|--|--------------------|--|--|-------------------------------|-----------------------------|
| 058 | 0,92 | nestanoven | 0,35 | nestanovena | 79,73 | 212 | - |
| 325 | 0,23 | nestanoven | 0,14 | 57,90 | 75,99 | 210 | 5 534 |
| 326 | 0,09 | 0,31 | 0,12 | 60,61 | 80,37 | 210 | 13 153 |
| 339 | 0,73 | nestanoveno | 0,47 | 47,71 | 64,82 | 202 | - |
| 541 | 1,25 | 0,60 | 0,55 | 44,70 | 59,23 | 188 | - |
| 665 | 0,15 | 0,15 | 0,07 | 55,46 | 73,08 | 204 | 32 449 |

Na obrázcích uvedených níže jsou zaznamenána naměřená infračervená spektra vzorků motorových olejů a jejich detailní výřezy. Dále je na následujícím obrázku srovnávací spektrum čisté bioložky MEŘO. Dílčí závěr k těmto spektrům je uveden pod obrázky.

"810_058.dx" 1



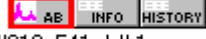
"810_325.dx" 1



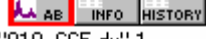
"810_326.dx" 1



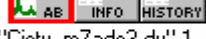
"810_339.dx" 1



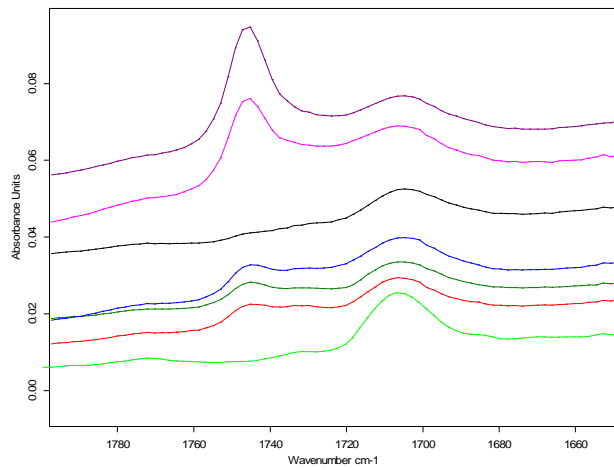
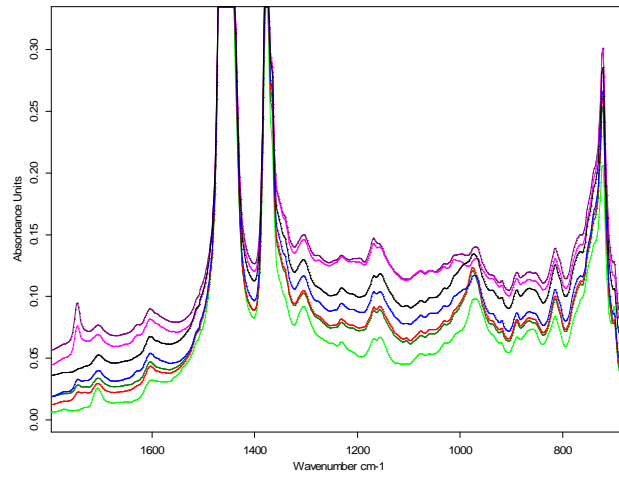
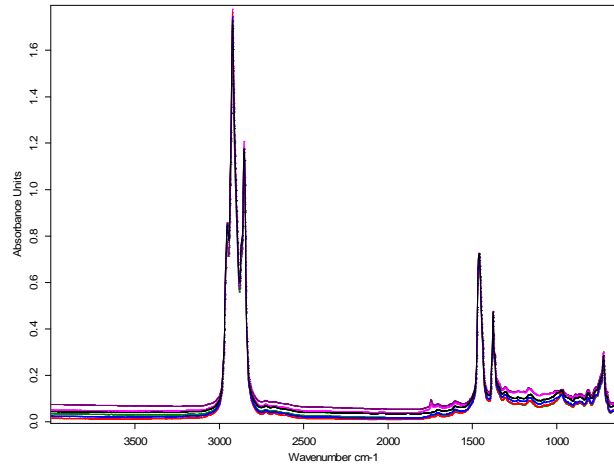
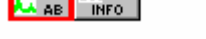
"810_541.dx" 1

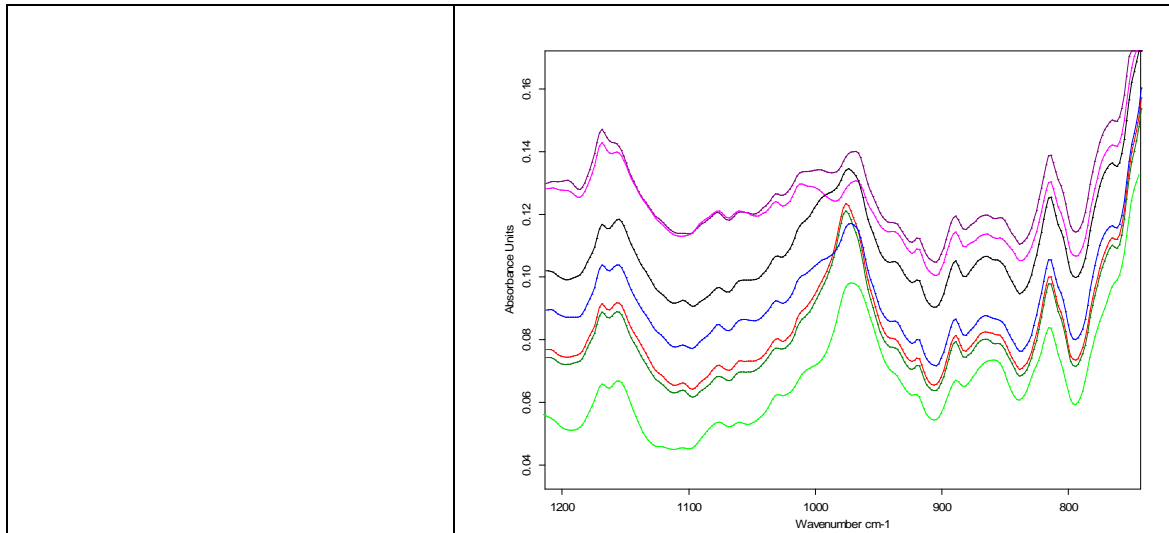


"810_665.dx" 1

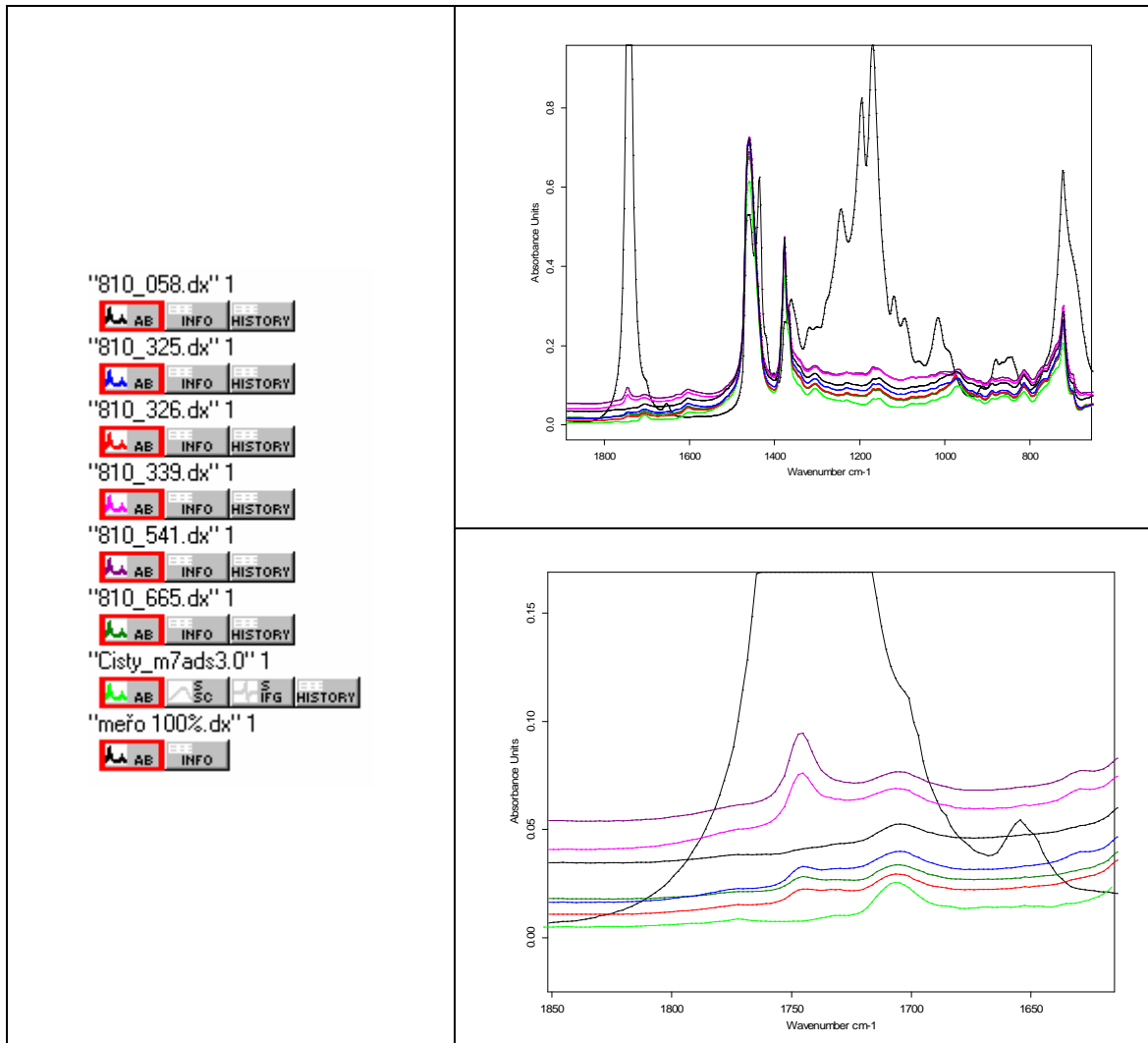


"Cisty_m7ads3.dx" 1





Obr. 25 – Infračervená spektra vzorků olejů – Skupina 2



Obr. 26 – Infračervená spektra vzorků olejů – Skupina 2 a srovnávací spektrum čisté bioložky MEŘO

Dílčí závěr:

U hnacích vozidel 810 058 a 810 325 vykazují motorové oleje mírný úbytek aditiv (tj. v oblasti kolem 950 cm^{-1}). Rezerva u těchto vozů je pro další provoz dostatečná. U olejů motorových vozů 810 339 a 810 541 je koncentrace aditiv snížena významně.

U všech vozidel je pak zřejmý výskyt nafty v motorovém oleji. Typický pro obsah nafty je výskyt píků ve spektru kolem 750 cm^{-1} . Je zřejmý i výskyt zbytkové bioložky MEŘO (kromě 810 058). Přítomnost MEŘO jednoznačně prokazuje srovnání těchto spekter čistého MEŘO v oblasti 1745 a 1168 cm^{-1} (zejména pak u 810 339 a 810 541 je zvýšený obsah paliva případně zbytkového MEŘO příčinou snížení bodu vzplanutí a poklesu kinematické viskozity).

U všech těchto vzorků nebyl upozorován významnější posun celého spektra směrem k vyšším hodnotám absorpance. Lze tedy říci, že nedošlo ke zvýšení obsahu sazí.

c) 3. skupina motorových olejů

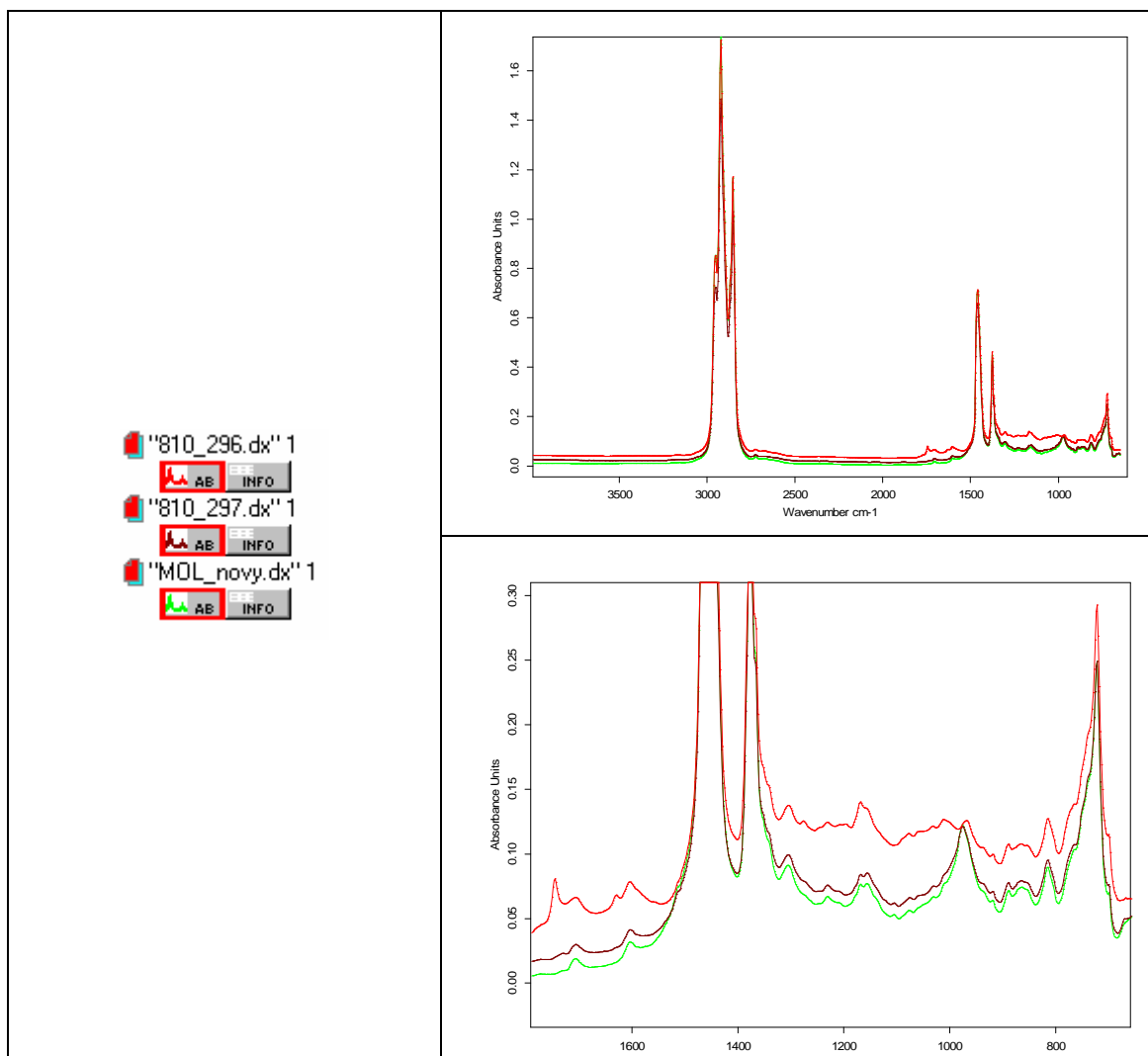
U této skupiny motorových olejů byly zjištěny stejné problémy jako u motorových olejů skupiny 2. I zde tedy došlo je snížení bodu vzplanutí a poklesu viskozity.

V následující tabulce jsou zaznamenány výsledky vybraných zkoušek, provedených v laboratořích Univerzity Pardubice a DKV Česká Třebová.

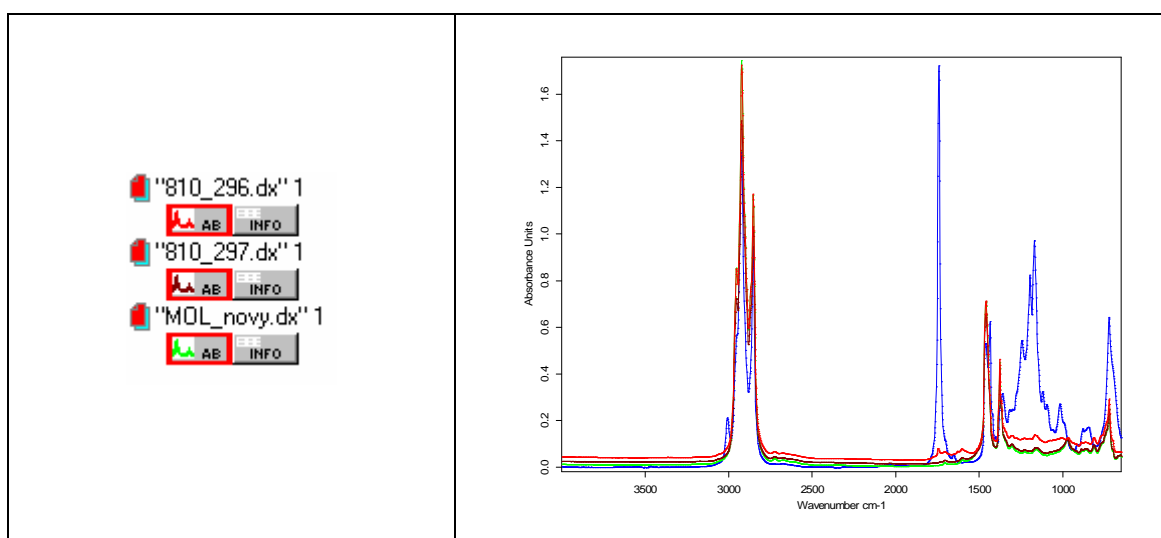
Tab. 7 – Výsledky vybraných zkoušek – skupina 3 (mot. olej M7 ADS III)

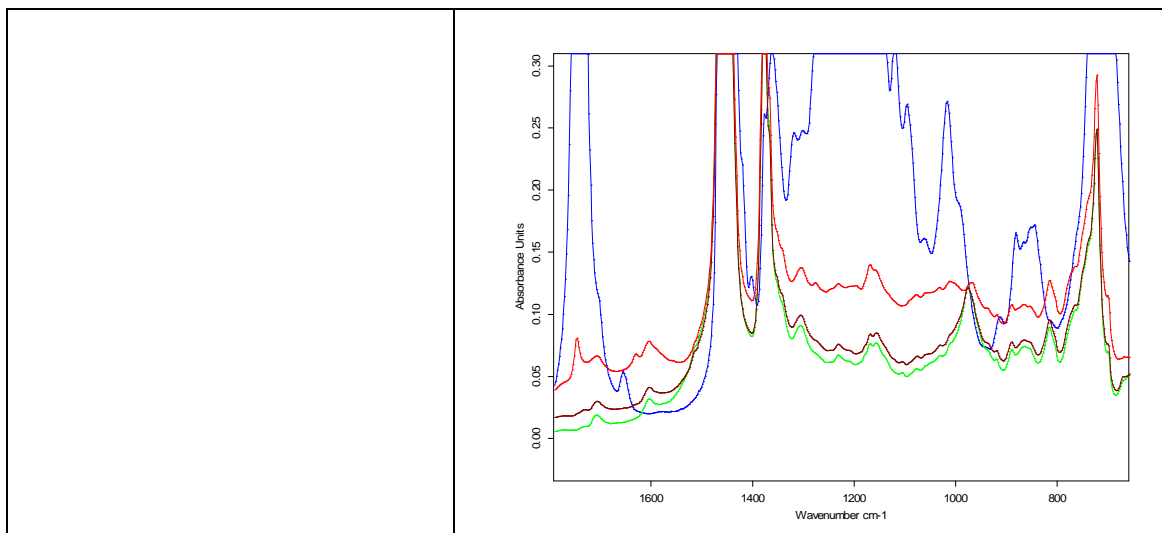
| Číslo vozu ř. 810 | Denzimetrie REO31 [%] | Obsah mechanických nečistot DKV [% hm] | Obsah sazí LNF [%] | Kinematická viskozita při $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ [$\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$] | Dynamická viskozita při $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ [mPa.s] | Bod vzplanutí [$^{\circ}\text{C}$] | Celkový počet částic/ml LNF |
|-------------------|-----------------------|--|--------------------|--|--|--------------------------------------|-----------------------------|
| 296 | 0,52 | nestanoveno | 0,28 | nestanovena | 55,39 | 196 | - |
| 297 | 0,12 | nestanoveno | 0,06 | nestanovena | 80,95 | nestanoven | 12 387 |

Na obrázcích uvedených níže jsou zaznamenána naměřená infračervená spektra vzorků motorových olejů. Dále je na následujícím obrázku srovnávací spektrum čisté bioložky MEŘO. Dílčí závěr k těmto spektrům je uveden pod obrázky.

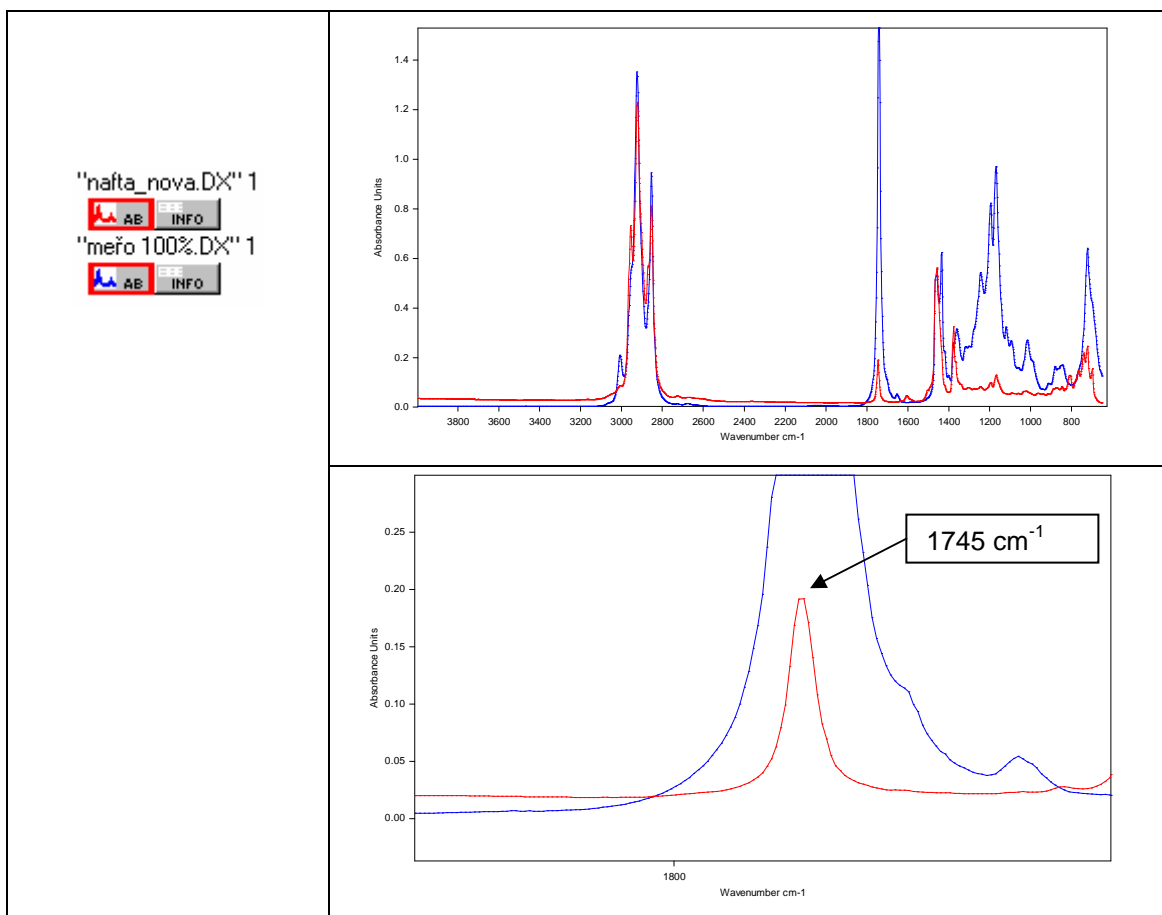


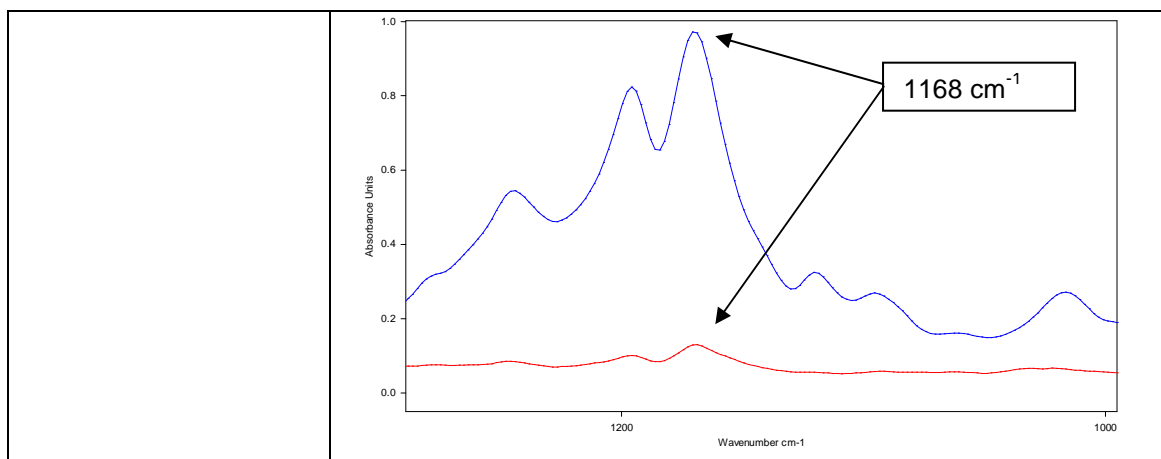
Obr. 27 – Infračervená spektra vzorků olejů – Skupina 3





Obr. 28 – Infračervená spektra vzorků olejů – Skupina 3 a srovnávací spektrum čisté bioložky MEŘO





Obr. 29 – Infráčervená spektra vzorků olejů – nová nafta a 100% MEŘO

Dílčí závěr:

U skupiny 3 je závěr naprosto stejný jako u skupiny 2. Je zde zřejmé snížení obsahu aditiv v oblasti kolem 950 cm^{-1} a přítomnost bioložky. Přítomnost methylesteru mastných kyselin řepkového oleje (MEŘO) v naftě je jednoznačně identifikovatelná píkem 1745 cm^{-1} (obvyklé koncentrace činí 5-8%).

U vzorku motorového oleje z hnacího vozu 810 296 se v oblasti 1610 cm^{-1} nachází ostrý pík, způsobený přítomností nitračních produktů, které do oleje pronikají se spalnými plyny (zpravidla se jedná o netěsnosti v pístové skupině motoru). Proto by bylo účelné při další údržbě provést detailní kontrolu zaměřenou na možnost proniknutí profuku spalin do motorového oleje.

d) 4. skupina motorových olejů

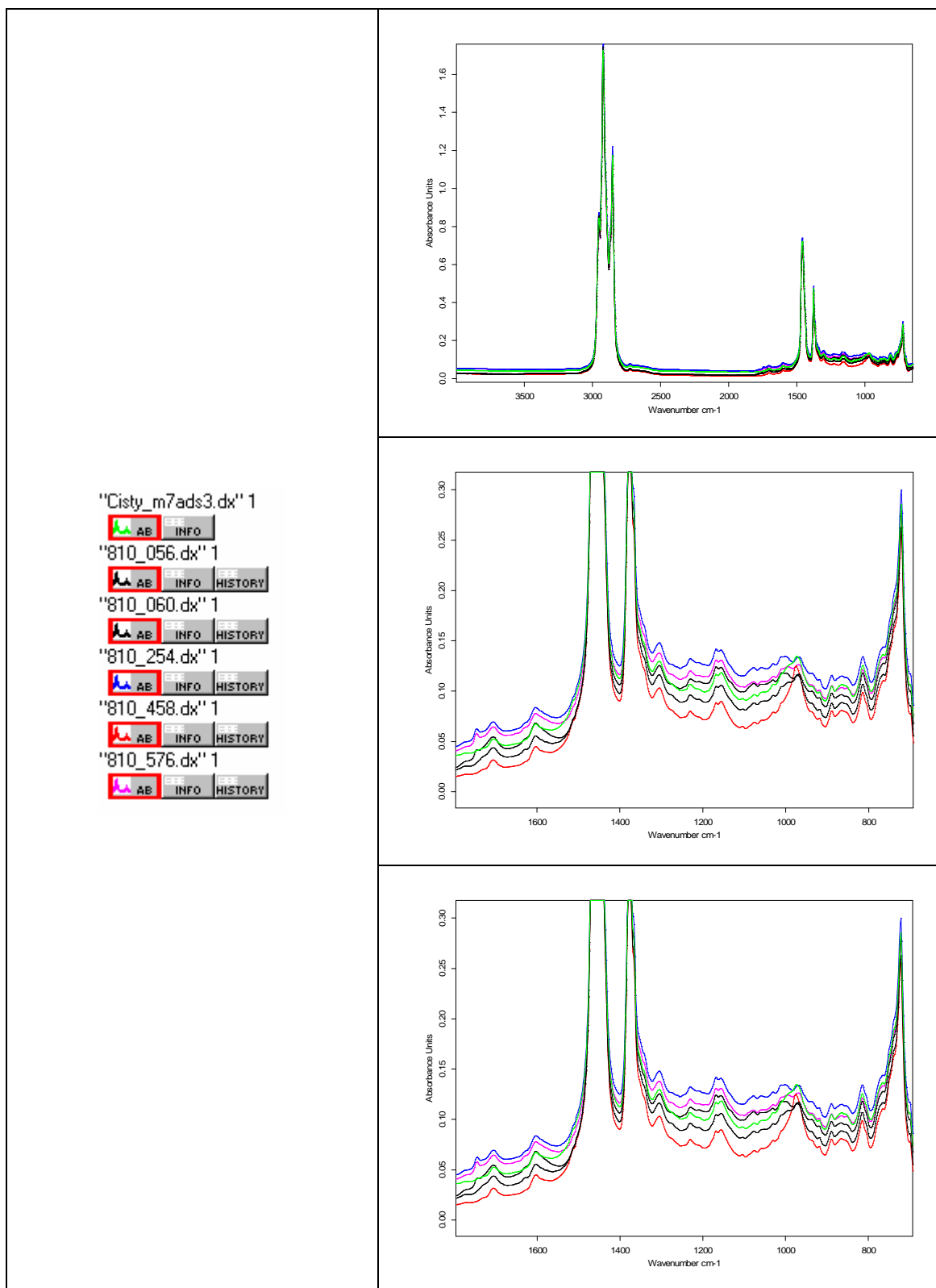
U této skupiny motorových olejů nebyly v laboratořích DKV Česká Třebová zjištěny žádné problémy.

V následující tabulce jsou zaznamenány výsledky vybraných zkoušek, provedených v laboratořích Univerzity Pardubice a DKV Česká Třebová.

Tab. 8 – Výsledky vybraných zkoušek – skupina 4 (mot. olej M7 ADS III)

| Číslo vozu ř. 810 | Denzimetrie REO31 [%] | Obsah mechanických nečistot DKV [% hm] | Obsah sazí LNF [%] | Kinematická viskozita při 50 °C [$\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$] | Dynamická viskozita při 40 °C [mPa.s] | Bod vzplanutí [$^{\circ}\text{C}$] | Celkový počet částic/ml LNF |
|-------------------|-----------------------|--|--------------------|--|--|--------------------------------------|-----------------------------|
| 056 | 0,57 | 0,69 | 0,23 | 57,80 | 76,12 | 198 | - |
| 060 | 0,26 | nestanoven | 0,13 | 57,68 | 78,05 | 204 | 31 161 |
| 254 | 0,21 | 0,53 | 0,47 | 57,45 | 77,23 | 208 | 37 805 |
| 458 | 0,03 | nestanoven | 0,06 | nestanovena | 79,52 | 214 | 27 600 |
| 576 | 0,53 | nestanoven | 0,39 | nestanovena | 77,02 | 206 | 15 811 |

Na následujícím obrázku jsou vyobrazena infračervená spektra motorových olejů z hnacích vozů řady 810. Dílčí závěr je uveden na následující stránce pod obrázkem.



Obr. 30 – Infračervená spektra vzorků olejů – skupina 4

Dílčí závěr:

Tyto oleje vykazují mírný úbytek aditiv v oblasti kolem 950 cm⁻¹, avšak rezerva pro další provoz je dostatečná.

e) 5. skupina motorových olejů

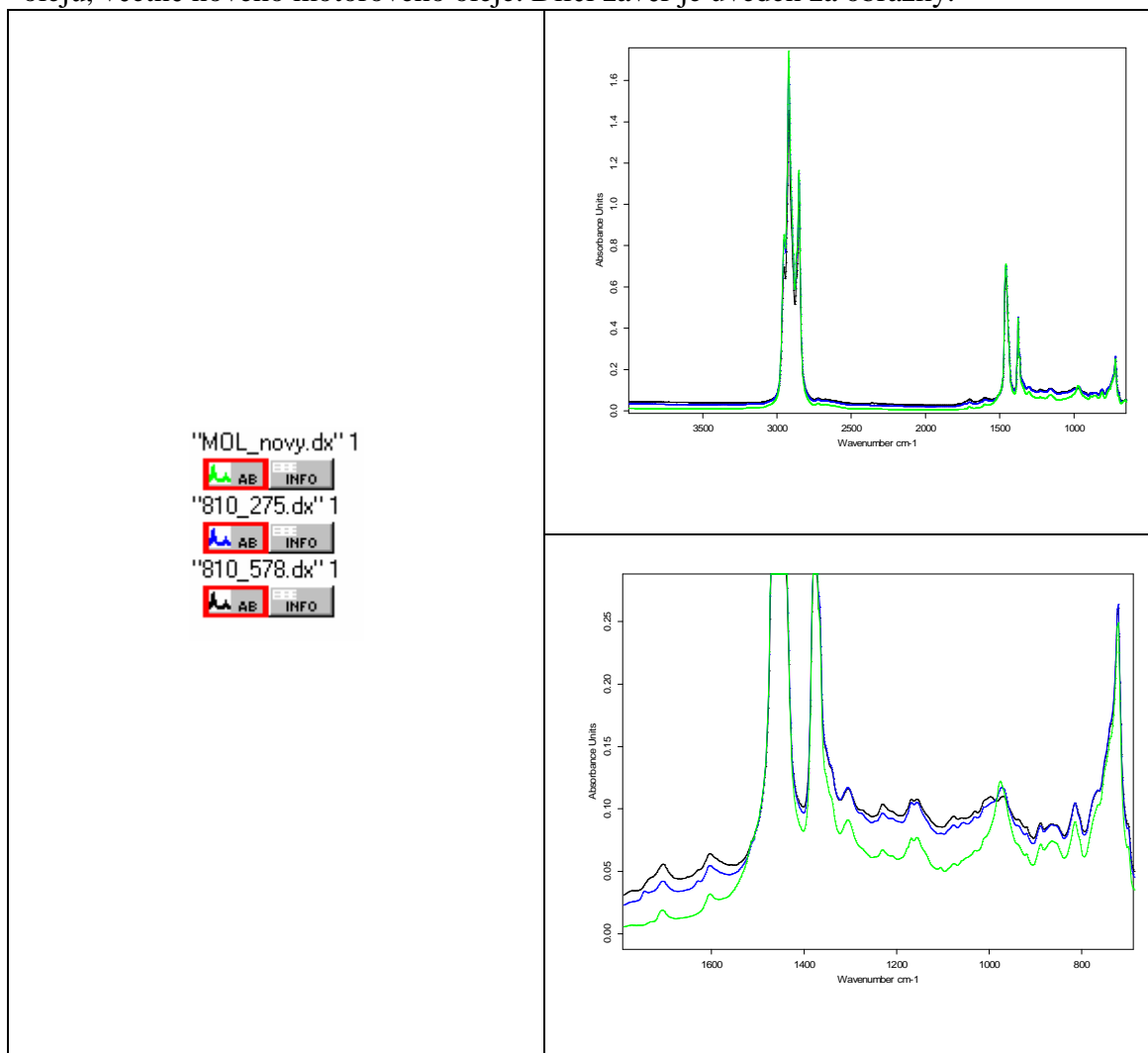
U této skupiny nebyl u motorového vozu 810 275 zjištěn žádný problém. Vůz 810 578 byl však na velké opravě.

V následující tabulce jsou zaznamenány výsledky vybraných zkoušek, provedených v laboratořích Univerzity Pardubice a DKV Česká Třebová.

Tab. 9 – Výsledky vybraných zkoušek – skupina 5 (mot. olej M7 ADS III)

| Číslo vozu ř. 810 | Denzimetrie REO31 [%] | Obsah mechanických nečistot DKV [% hm] | Obsah sazí LNF [%] | Kinematická viskozita při 50 °C [mm ² .s ⁻¹] | Dynamická viskozita při 40 °C [mPa.s] | Bod vzplanutí [°C] | Celkový počet částic/ml LNF |
|-------------------|-----------------------|--|--------------------|---|---------------------------------------|--------------------|-----------------------------|
| 275 | 0,25 | nestanoven | 0,14 | nestanovena | 80,04 | 204 | - |
| 578 vo | 0,41 | 0,41 | 0,16 | 52,99 | 73,49 | 200 | 10 414 |

Na následující stránce jsou uvedeny infračervená spektra obou motorových olejů, včetně nového motorového oleje. Dílčí závěr je uveden za obrázky.



Obr. 31 – Infračervená spektra vzorků olejů – skupina 5

Dílčí závěr:

Tato skupina olejů vykazuje mírný úbytek aditiv v oblasti kolem 950 cm^{-1} , avšak rezerva pro další provoz je dostatečná. Vůz 810 578 byl na velké opravě. Tato oprava však nesouvisela s jakýmkoliv znečištěním motorového oleje.

e) 6. skupina motorových olejů

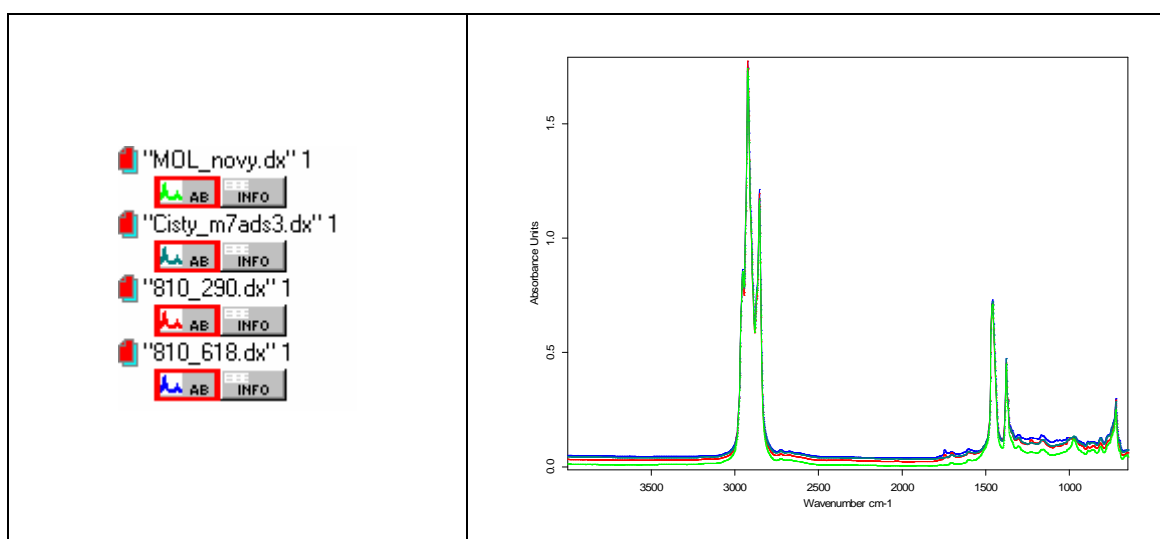
U této skupiny byl zjištěn v laboratořích DKV Česká Třebová snížený bod vzplanutí a pokles viskozity.

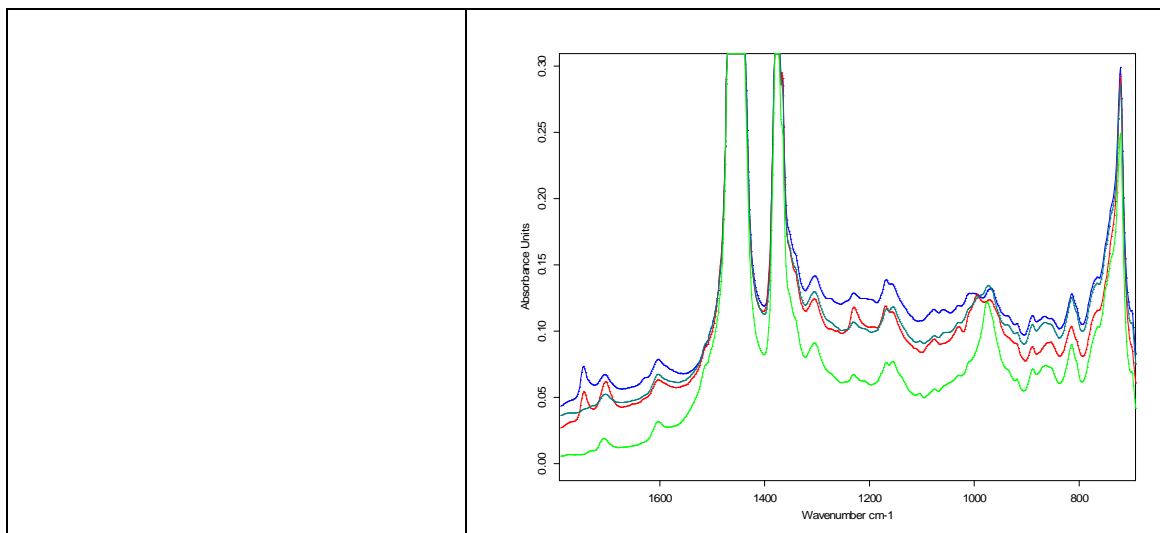
V následující tabulce jsou zaznamenány výsledky vybraných zkoušek, provedených v laboratořích Univerzity Pardubice a DKV Česká Třebová.

Tab. 10 – Výsledky vybraných zkoušek – skupina 6 (mot. olej M7 ADS III)

| Číslo vozu ř. 810 | Denzimetrie REO31 [%] | Obsah mechanických nečistot DKV [% hm] | Obsah sazí LNF [%] | Kinematická viskozita při 50 °C [$\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$] | Dynamická viskozita při 40 °C [mPa.s] | Bod vzplanutí [$^{\circ}\text{C}$] | Celkový počet částic/ml LNF |
|-------------------|-----------------------|--|--------------------|--|--|--------------------------------------|-----------------------------|
| 290 | 0,29 | nestanoven | 0,18 | 46,76 | 62,84 | 198 | 19 626 |
| 618 | 0,98 | nestanoven | 0,12 | 45,06 | 84,05 | 194 | 22 004 |

Na další stránce jsou uvedeny naměřená infračervená spektra motorových olejů z hnacích vozidel řady 810, v porovnání s novým motorovým olejem MOL a M7 ADS III. Dílčí závěr je uveden pod obrázkem.





Obr. 32 – Infračervená spektra vzorků olejů – skupina 6

Dílčí závěr:

Přítomnost MEŘO (pík 1745 cm^{-1}) vykazují oba dva vzorky motorového oleje. Hnací vůz 810 290 více a vůz 810 618 pak méně. Pokles viskozity a bodu vzplanutí u vzorku 810 290 je způsoben průnikem paliva do motorového oleje. Výsledek může být ovlivněn absencí srovnávacího vzorku nepoužitého oleje M7 ADS V (na obrázku 45 jsou zařazena spektra olejů M7 ADS III a MOL).

2.2.3. Výsledky částicové analýzy LNF

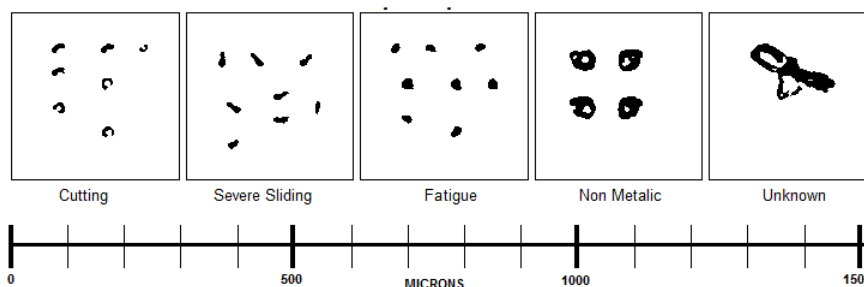
V této kapitole bakalářské práce jsou uvedeny výsledky částicové analýzy LNF. Množství částic je přehledně vyjádřeno v tabulce, včetně dynamické viskozity, doplněné o obrázek částic dle velikostí. Některé vzorky museli být při měření naředěny čistým motorovým olejem. Tyto vzorky jsou ve vyhodnocení řádně označeny. Naředění vzorků je možné zadat do programového vybavení, čímž jsou veškeré hodnoty včetně dynamické viskozity přepočítávány v daném poměru. Celkový závěr je uveden na konci této kapitoly.

a) motorový vůz 810-056-2

Vzorek motorového oleje hnacího vozu 810-056-2 byl naředěn čistým motorovým olejem v poměru 0,5 dílu použitého oleje : 1 dílu nového oleje.

Tab.11 - Hodnoty zaznamenané při částicové analýze na SpectroLNF Q^{200}

| 810-056-2 | Počet částic na 1 ml oleje | Maximální hodnota částice (μm) | Průměrná hodnota částice (μm) | 20 - 25 (μm) | 25 - 50 (μm) | 50 - 100 (μm) | větší než 100 (μm) |
|---------------------------------|----------------------------|---|--|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Abrazivní opotřebení | 11,5 | 28,8 | 26,5 | 1,6 | 9,9 | 0,0 | 0,0 |
| Adhezivní opotřebení | 62,5 | 39,9 | 27,2 | 26,3 | 36,2 | 0,0 | 0,0 |
| Únavové částice | 167,7 | 38,6 | 24,8 | 105,2 | 62,5 | 0,0 | 0,0 |
| Nekovové částice | 80,5 | 181,2 | 33,3 | 32,9 | 36,2 | 9,9 | 1,6 |
| Neznámé částice | 4,9 | 181,4 | 179,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 4,9 |
| CELKOVÝ POČET ČÁSTIC | 12 891,3 | | | | | | |
| DYNAMICKÁ VISKOZITA (cP) | 94,34 | | | | | | |



Obr. 33 - Částice analyzované přístrojem SpectroLNF Q^{200} společně s měřítkem

b) motorový vůz 810-058

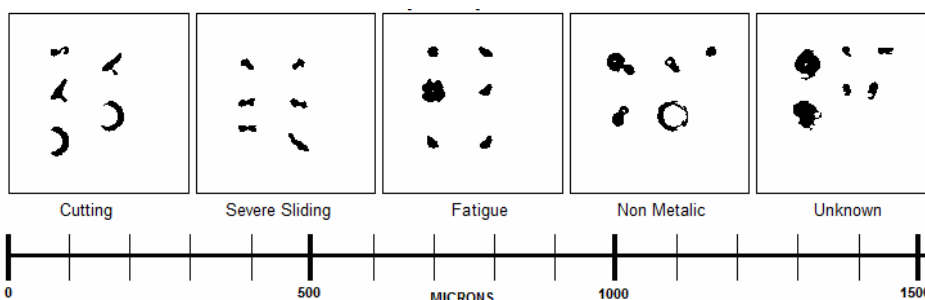
Vzorek motorového oleje vozu 810-058 nebylo možné změřit. Vzorek byl příliš černý a přístroj jej nedokázal vyhodnotit ani po naředění tohoto vzorku.

c) motorový vůz 810-059-6

Vzorek motorového oleje hnacího vozu 810-059-6 byl naředěn čistým motorovým olejem v poměru 0,5 dílu použitého oleje : 1 dílu nového oleje.

Tab.12 - Hodnoty zaznamenané při částicové analýze na SpectroLNF Q²⁰⁰

| 810-059-6 | Počet částic na 1 ml oleje | Maximální hodnota částice (μm) | Průměrná hodnota částice (μm) | 20 - 25 (μm) | 25 - 50 (μm) | 50 - 100 (μm) | větší než 100 (μm) |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------------|
| Abrazivní opotřebení | 17,7 | 56,2 | 38,7 | 1,8 | 12,4 | 3,5 | 0,0 |
| Adhezivní opotřebení | 70,9 | 87,3 | 37,4 | 3,5 | 63,8 | 3,5 | 0,0 |
| Únavové částice | 1 207,5 | 65,8 | 25,9 | 610,0 | 590,5 | 7,1 | 0,0 |
| Nekovové částice | 35,5 | 100,3 | 37,3 | 1,8 | 28,4 | 3,5 | 1,8 |
| Neznámé částice | 10,6 | 61,0 | 38,8 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 0,0 |
| CELKOVÝ POČET ČÁSTIC | 145 437,7 | | | | | | |
| DYNAMICKÁ VISKOZITA (cP) | 82,98 | | | | | | |

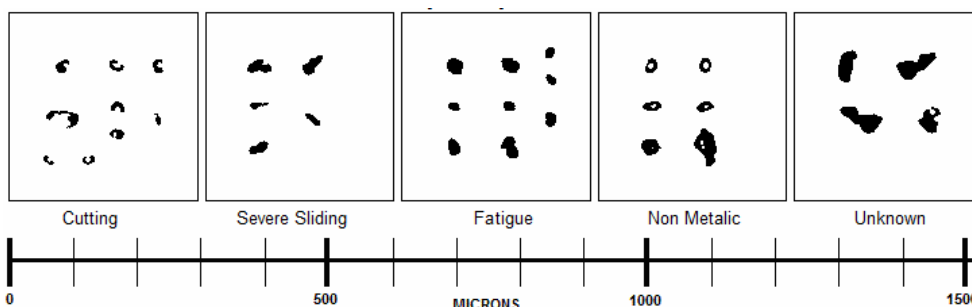


Obr. 34 - Částice analyzované přístrojem SpectroLNF Q²⁰⁰ společně s měřítkem

d) motorový vůz 810-060

Tab. 13 - Hodnoty zaznamenané při částicové analýze na SpectroLNF Q²⁰⁰

| 810-060 | Počet částic na 1 ml oleje | Maximální hodnota částice (μm) | Průměrná hodnota částice (μm) | 20 - 25 (μm) | 25 - 50 (μm) | 50 - 100 (μm) | větší než 100 (μm) |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------------|
| Abrazivní opotřebení | 62,0 | 60,6 | 30,3 | 13,1 | 47,3 | 1,6 | 0,0 |
| Adhezivní opotřebení | 155,0 | 97,4 | 40,8 | 19,6 | 106,0 | 29,4 | 0,0 |
| Únavové částice | 1 489,6 | 161,5 | 32,9 | 531,9 | 806,0 | 132,2 | 19,6 |
| Nekovové částice | 280,6 | 115,8 | 38,7 | 39,2 | 195,8 | 42,4 | 3,3 |
| Neznámé částice | 27,7 | 87,3 | 53,9 | 1,6 | 9,8 | 16,3 | 0,0 |
| CELKOVÝ POČET ČÁSTIC | 31 161,4 | | | | | | |
| DYNAMICKÁ VISKOZITA (cP) | 78,05 | | | | | | |

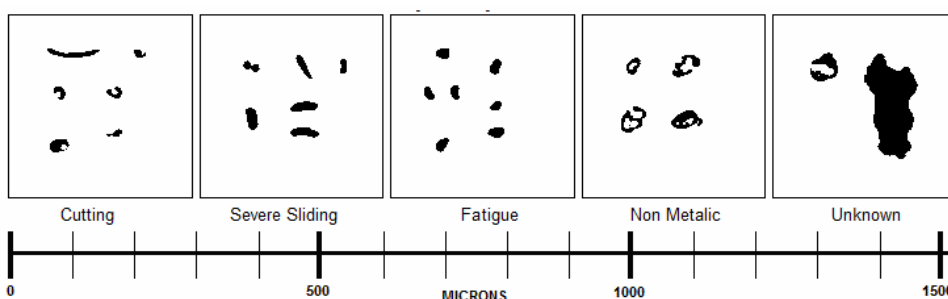


Obr. 35 - Částice analyzované přístrojem SpectroLNF Q²⁰⁰ společně s měřítkem

e) motorový vůz 810-254

Tab.14 - Hodnoty zaznamenané při částicové analýze na SpectroLNF Q²⁰⁰

| 810-254 | Počet částic na 1 ml oleje | Maximální hodnota částice (μm) | Průměrná hodnota částice (μm) | 20 - 25 (μm) | 25 - 50 (μm) | 50 - 100 (μm) | větší než 100 (μm) |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------------|
| Abrazivní opotřebení | 103,2 | 175,0 | 37,0 | 29,3 | 60,1 | 10,8 | 3,1 |
| Adhezivní opotřebení | 132,5 | 159,3 | 46,4 | 16,9 | 80,1 | 27,7 | 7,7 |
| Únavové částice | 1 757,8 | 199,1 | 32,8 | 627,0 | 945,9 | 177,2 | 7,7 |
| Nekovové částice | 610,1 | 123,1 | 37,8 | 106,3 | 406,7 | 90,9 | 6,2 |
| Neznámé částice | 20,0 | 203,7 | 58,9 | 4,6 | 7,7 | 6,2 | 1,5 |
| CELKOVÝ POČET ČÁSTIC | 37 161,4 | | | | | | |
| DYNAMICKÁ VISKOZITA (cP) | 77,23 | | | | | | |



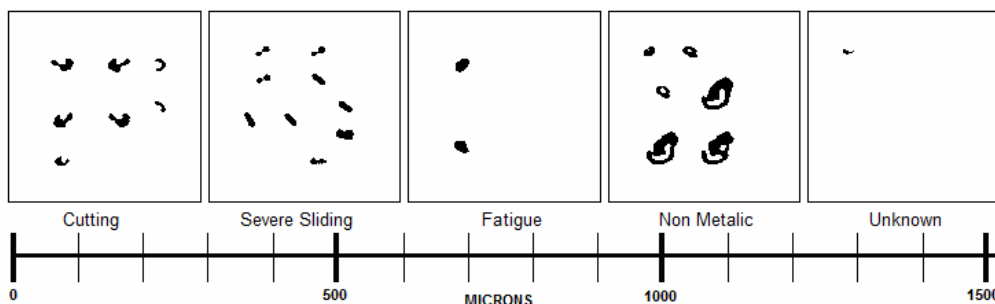
Obr. 36 - Částice analyzované přístrojem SpectroLNF Q²⁰⁰ společně s měřítkem

f) motorový vůz 810-275-8

Vzorek motorového oleje hnacího vozu 810-275-8 byl naředěn čistým motorovým olejem v poměru 0,5 dílu použitého oleje : 1 dílu nového oleje.

Tab. 15 - Hodnoty zaznamenané při částicové analýze na SpectroLNF Q²⁰⁰

| 810-275-8 | Počet částic na 1 ml oleje | Maximální hodnota částice (μm) | Průměrná hodnota částice (μm) | 20 - 25 (μm) | 25 - 50 (μm) | 50 - 100 (μm) | větší než 100 (μm) |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------------|
| Abrazivní opotřebení | 12,2 | 38,4 | 32,5 | 1,7 | 10,4 | 0,0 | 0,0 |
| Adhezivní opotřebení | 43,5 | 29,8 | 25,0 | 20,9 | 22,6 | 0,0 | 0,0 |
| Únavové částice | 214,1 | 38,6 | 25,4 | 127,1 | 87,0 | 0,0 | 0,0 |
| Nekovové částice | 106,2 | 100,9 | 34,3 | 41,8 | 48,7 | 13,9 | 1,7 |
| Neznámé částice | 1,7 | 20,4 | 20,4 | 1,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CELKOVÝ POČET ČÁSTIC | 35 804,6 | | | | | | |
| DYNAMICKÁ VISKOZITA (cP) | 98,19 | | | | | | |

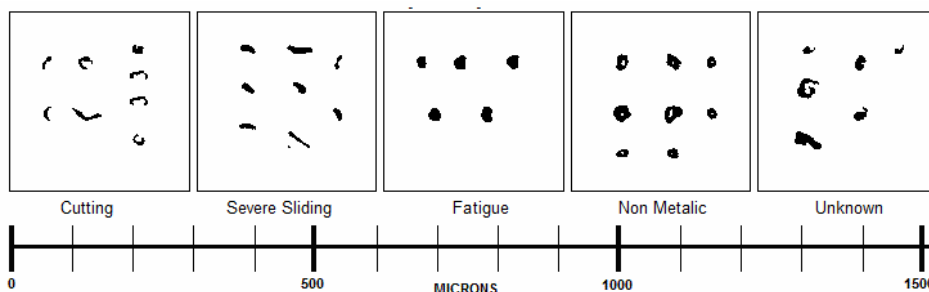


Obr. 37 - Částice analyzované přístrojem SpectroLNF Q^{200} společně s měřítkem

g) motorový vůz 810-290

Tab.16 - Hodnoty zaznamenané při částicové analýze na SpectroLNF Q^{200}

| 810-290 | Počet částic na 1 ml oleje | Maximální hodnota částice (μm) | Průměrná hodnota částice (μm) | 20 - 25 (μm) | 25 - 50 (μm) | 50 - 100 (μm) | větší než 100 (μm) |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------------|
| Abrazivní opotřebení | 44,8 | 57,0 | 29,0 | 13,3 | 28,2 | 3,3 | 0,0 |
| Adhezivní opotřebení | 101,1 | 128,7 | 35,5 | 23,2 | 69,6 | 5,0 | 3,3 |
| Únavové částice | 754,2 | 119,8 | 31,3 | 278,5 | 427,6 | 43,1 | 5,0 |
| Nekovové částice | 180,7 | 89,3 | 36,0 | 39,8 | 112,7 | 28,2 | 0,0 |
| Neznámé částice | 11,6 | 57,6 | 35,0 | 1,7 | 8,3 | 1,7 | 0,0 |
| CELKOVÝ POČET ČÁSTIC | 19 625,6 | | | | | | |
| DYNAMICKÁ VISKOZITA (cP) | 62,84 | | | | | | |



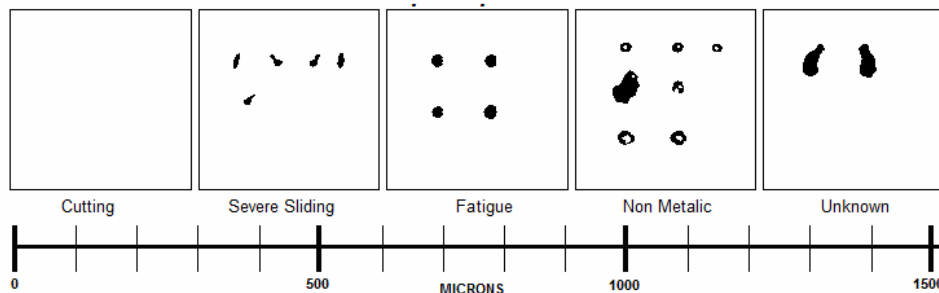
Obr. 38 - Částice analyzované přístrojem SpectroLNF Q^{200} společně s měřítkem

h) motorový vůz 810-296

Vzorek motorového oleje hnacího vozu 810-296 byl naředěn čistým motorovým olejem v poměru 0,5 dílu použitého oleje : 1 dílu nového oleje.

Tab. 17 - Hodnoty zaznamenané při částicové analýze na SpectroLNF Q²⁰⁰

| 810-296 | Počet částic na 1 ml oleje | Maximální hodnota částice (μm) | Průměrná hodnota částice (μm) | 20 - 25 (μm) | 25 - 50 (μm) | 50 - 100 (μm) | větší než 100 (μm) |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------------|
| Abrazivní opotřebení | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Adhezivní opotřebení | 9,0 | 32,1 | 29,9 | 0,0 | 9,0 | 0,0 | 0,0 |
| Únavové částice | 131,8 | 43,8 | 26,1 | 63,2 | 68,6 | 0,0 | 0,0 |
| Nekovové částice | 32,5 | 67,5 | 32,5 | 12,6 | 18,1 | 1,8 | 0,0 |
| Neznámé částice | 3,6 | 67,5 | 67,0 | 0,0 | 0,0 | 3,6 | 0,0 |
| CELKOVÝ POČET ČÁSTIC | 16 527,0 | | | | | | |
| DYNAMICKÁ VISKOZITA (cP) | 78,74 | | | | | | |

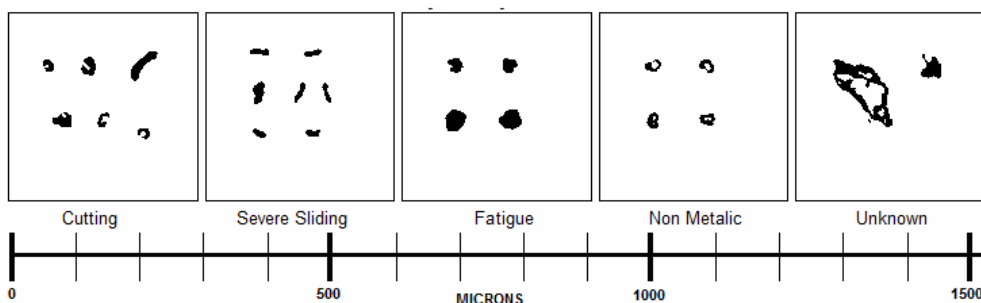


Obr. 39 - Částice analyzované přístrojem SpectroLNF Q²⁰⁰ společně s měřítkem

i) motorový vůz 810-297

Tab. 18 - Hodnoty zaznamenané při částicové analýze na SpectroLNF Q²⁰⁰

| 810-297 | Počet částic na 1 ml oleje | Maximální hodnota částice (μm) | Průměrná hodnota částice (μm) | 20 - 25 (μm) | 25 - 50 (μm) | 50 - 100 (μm) | větší než 100 (μm) |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------------|
| Abrazivní opotřebení | 26,2 | 68,7 | 32,1 | 9,3 | 13,9 | 3,1 | 0,0 |
| Adhezivní opotřebení | 87,9 | 191,5 | 45,7 | 9,3 | 60,1 | 12,3 | 6,2 |
| Únavové částice | 720,0 | 190,3 | 33,9 | 229,7 | 417,8 | 61,7 | 10,8 |
| Nekovové částice | 160,3 | 122,2 | 39,7 | 29,3 | 95,6 | 32,4 | 3,1 |
| Neznámé částice | 13,9 | 159,7 | 75,3 | 0,0 | 3,1 | 7,7 | 3,1 |
| CELKOVÝ POČET ČÁSTIC | 12 387,1 | | | | | | |
| DYNAMICKÁ VISKOZITA (cP) | 80,95 | | | | | | |

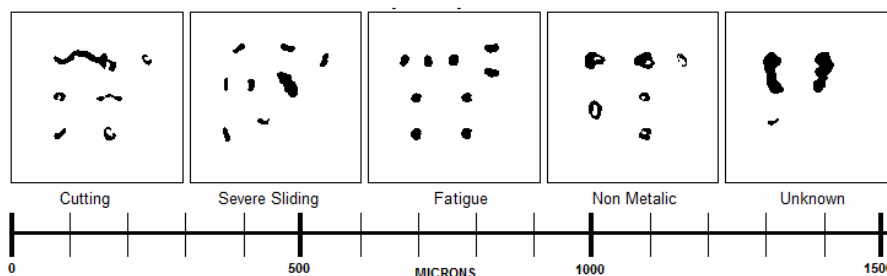


Obr. 40 - Částice analyzované přístrojem SpectroLNF Q²⁰⁰ společně s měřítkem

j) motorový vůz 810-325

Tab. 19 - Hodnoty zaznamenané při částicové analýze na SpectroLNF Q²⁰⁰

| 810-325 | Počet částic na 1 ml oleje | Maximální hodnota částice (μm) | Průměrná hodnota částice (μm) | 20 - 25 (μm) | 25 - 50 (μm) | 50 - 100 (μm) | větší než 100 (μm) |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------------|
| Abrazivní opotřebení | 15,6 | 121,6 | 41,4 | 3,1 | 9,4 | 1,6 | |
| Adhezivní opotřebení | 89,1 | 91,5 | 33,9 | 26,6 | 54,7 | 7,8 | 0,0 |
| Únavové částice | 292,4 | 96,5 | 32,0 | 115,7 | 145,4 | 31,3 | 0,0 |
| Nekovové částice | 98,5 | 95,0 | 37,1 | 9,4 | 75,1 | 14,1 | 0,0 |
| Neznámé částice | 4,7 | 86,3 | 65,9 | 0,0 | 1,6 | 3,1 | 0,0 |
| CELKOVÝ POČET ČÁSTIC | 5 534,3 | | | | | | |
| DYNAMICKÁ VISKOZITA (cP) | 75,99 | | | | | | |

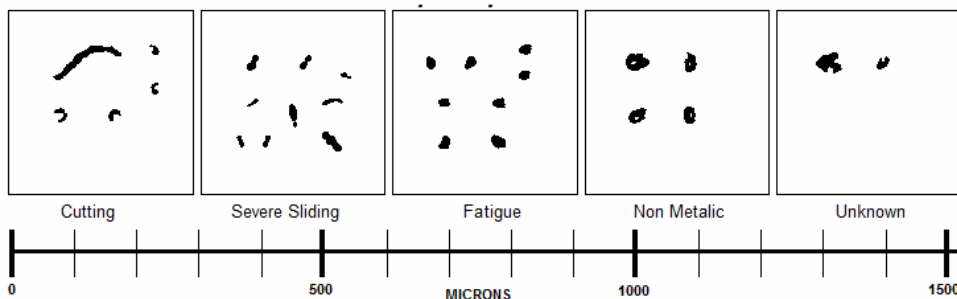


Obr. 41 - Částice analyzované přístrojem SpectroLNF Q²⁰⁰ společně s měřítkem

k) motorový vůz 810-326

Tab. 20 - Hodnoty zaznamenané při částicové analýze na SpectroLNF Q^{200}

| 810-326 | Počet částic na 1 ml oleje | Maximální hodnota částice (μm) | Průměrná hodnota částice (μm) | 20 - 25 (μm) | 25 - 50 (μm) | 50 - 100 (μm) | větší než 100 (μm) |
|---------------------------------|----------------------------|---|--|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Abrazivní opotřebení | 15,4 | 130,5 | 39,3 | 3,1 | 10,8 | 0,0 | |
| Adhezivní opotřebení | 27,7 | 50,9 | 34,4 | 6,2 | 20,0 | 1,5 | 0,0 |
| Únavové částice | 141,7 | 51,4 | 28,1 | 60,1 | 80,1 | 1,5 | 0,0 |
| Nekovové částice | 53,9 | 92,8 | 40,7 | 4,6 | 35,4 | 13,9 | 0,0 |
| Neznámé částice | 3,1 | 51,6 | 40,9 | 0,0 | 1,5 | 1,5 | 0,0 |
| CELKOVÝ POČET ČÁSTIC | 13 153,3 | | | | | | |
| DYNAMICKÁ VISKOZITA (cP) | 80,37 | | | | | | |



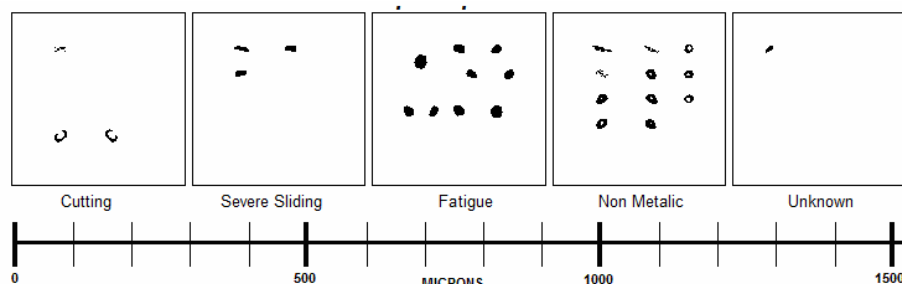
Obr. 42 - Částice analyzované přístrojem SpectroLNF Q^{200} společně s měřítkem

l) motorový vůz 810-339

Vzorek motorového oleje hnacího vozu 810-339 byl nařazen čistým motorovým olejem v poměru 0,5 dílu použitého oleje : 1 dílu nového oleje.

Tab. 21 - Hodnoty zaznamenané při částicové analýze na SpectroLNF Q^{200}

| 810-339 | Počet částic na 1 ml oleje | Maximální hodnota částice (μm) | Průměrná hodnota částice (μm) | 20 - 25 (μm) | 25 - 50 (μm) | 50 - 100 (μm) | větší než 100 (μm) |
|---------------------------------|----------------------------|---|--|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Abrazivní opotřebení | 4,9 | 30,2 | 26,8 | 1,6 | 3,3 | 0,0 | 0,0 |
| Adhezivní opotřebení | 4,9 | 31,2 | 27,0 | 1,6 | 3,3 | 0,0 | 0,0 |
| Únavové částice | 78,1 | 34,8 | 26,4 | 34,2 | 43,9 | 0,0 | 0,0 |
| Nekovové částice | 21,2 | 37,5 | 26,4 | 8,1 | 13,0 | 0,0 | 0,0 |
| Neznámé částice | 1,6 | 21,0 | 21,0 | 1,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CELKOVÝ POČET ČÁSTIC | 11 426,7 | | | | | | |
| DYNAMICKÁ VISKOZITA (cP) | 81,26 | | | | | | |

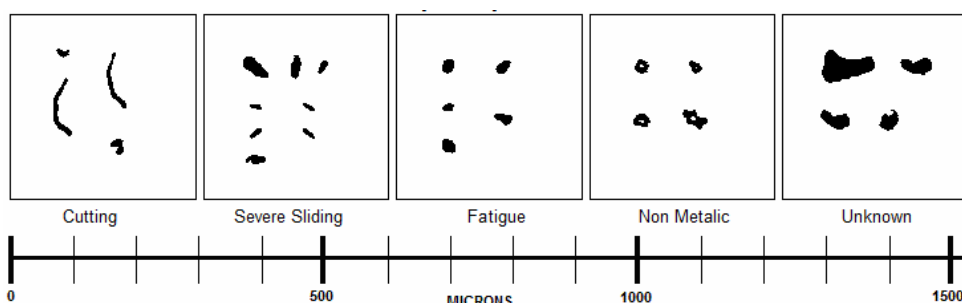


Obr. 43 - Částice analyzované přístrojem SpectroLNF Q²⁰⁰ společně s měřítkem

m) motorový vůz 810-458-0

Tab. 22 - Hodnoty zaznamenané při částicové analýze na SpectroLNF Q²⁰⁰

| 810-458-0 | Počet částic na 1 ml oleje | Maximální hodnota částice (μm) | Průměrná hodnota částice (μm) | 20 - 25 (μm) | 25 - 50 (μm) | 50 - 100 (μm) | větší než 100 (μm) |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------------|
| Abrazivní opotřebení | 84,3 | 114,3 | 38,8 | 24,3 | 42,2 | 11,3 | 6,5 |
| Adhezivní opotřebení | 228,6 | 98,0 | 36,9 | 43,8 | 145,9 | 38,9 | 0,0 |
| Únavové částice | 1960,0 | 177,0 | 35,6 | 559,3 | 1 117,0 | 249,7 | 34,0 |
| Nekovové částice | 541,5 | 140,4 | 38,6 | 77,8 | 374,5 | 84,3 | 4,9 |
| Neznámé částice | 22,7 | 97,9 | 49,7 | 1,6 | 9,7 | 11,3 | 0,0 |
| CELKOVÝ POČET ČÁSTIC | 27 599,9 | | | | | | |
| DYNAMICKÁ VISKOZITA (cP) | 79,52 | | | | | | |



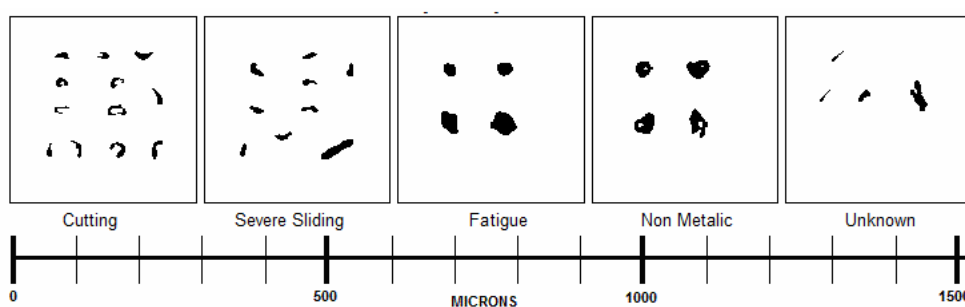
Obr. 44 - Částice analyzované přístrojem SpectroLNF Q²⁰⁰ společně s měřítkem

n) motorový vůz 810-513-2

Vzorek motorového oleje hnacího vozu 810-513 byl odebrán ve dvou termínech. Tento první byl odebrán 31.3.2011 a byl naředěn čistým motorovým olejem v poměru 0,5 dílu použitého oleje : 1 dílu nového oleje.

Tab. 23 - Hodnoty zaznamenané při částicové analýze na SpectroLNF Q²⁰⁰

| 810-513-2 | Počet částic na 1 ml oleje | Maximální hodnota částice (μm) | Průměrná hodnota částice (μm) | 20 - 25 (μm) | 25 - 50 (μm) | 50 - 100 (μm) | větší než 100 (μm) |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------------|
| Abrazivní opotřebení | 26,3 | 38,7 | 29,4 | 7,7 | 18,6 | 0,0 | 0,0 |
| Adhezivní opotřebení | 63,4 | 82,1 | 40,4 | 10,8 | 32,5 | 20,1 | 0,0 |
| Únavové částice | 400,4 | 125,0 | 32,3 | 180,9 | 177,8 | 34,0 | 7,7 |
| Nekovové částice | 116,0 | 143,4 | 38,1 | 27,8 | 69,6 | 15,5 | 3,1 |
| Neznámé částice | 6,2 | 59,4 | 36,8 | 0,0 | 4,6 | 1,5 | 0,0 |
| CELKOVÝ POČET ČÁSTIC | 16 069,8 | | | | | | |
| DYNAMICKÁ VISKOZITA (cP) | 85,69 | | | | | | |



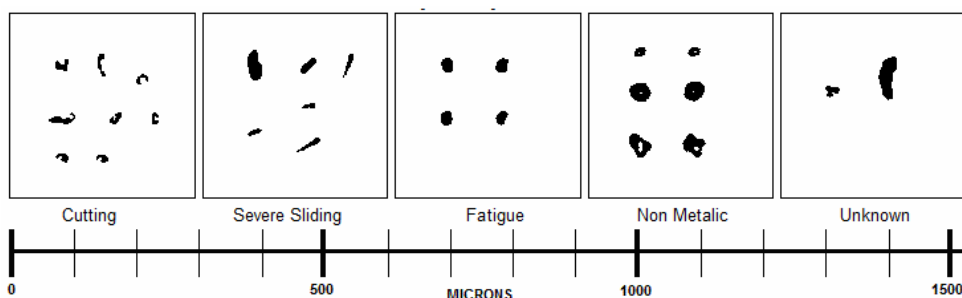
Obr. 45 - Částice analyzované přístrojem SpectroLNF Q²⁰⁰ společně s měřítkem

o) motorový vůz 810-513-2

Vzorek motorového oleje hnacího vozu 810-513 byl odebrán ve dvou termínech. Tento první byl odebrán 28.4.2011.

Tab. 24 - Hodnoty zaznamenané při částicové analýze na SpectroLNF Q²⁰⁰

| 810-513-2 | Počet částic na 1 ml oleje | Maximální hodnota částice (μm) | Průměrná hodnota částice (μm) | 20 - 25 (μm) | 25 - 50 (μm) | 50 - 100 (μm) | větší než 100 (μm) |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------------|
| Abrazivní opotřebení | 23,9 | 50,9 | 32,1 | 3,2 | 19,1 | 1,6 | 0,0 |
| Adhezivní opotřebení | 73,2 | 78,9 | 39,3 | 17,5 | 36,6 | 19,1 | 0,0 |
| Únavové částice | 410,8 | 91,4 | 34,0 | 109,9 | 245,2 | 55,7 | 0,0 |
| Nekovové částice | 132,2 | 101,2 | 40,3 | 27,1 | 74,8 | 28,7 | 1,6 |
| Neznámé částice | 15,9 | 159,3 | 59,0 | 4,8 | 1,6 | 8,0 | 1,6 |
| CELKOVÝ POČET ČÁSTIC | 16 528,1 | | | | | | |
| DYNAMICKÁ VISKOZITA (cP) | 82,34 | | | | | | |



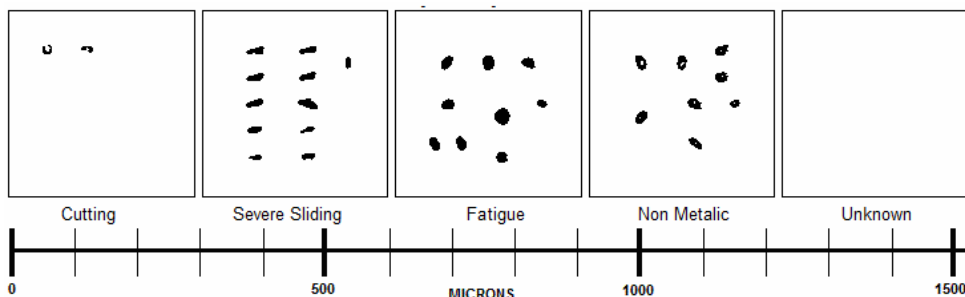
Obr. 46 - Částice analyzované přístrojem SpectroLNF Q^{200} společně s měřítkem

p) motorový vůz 810-541-3

Vzorek motorového oleje hnacího vozu 810-541-3 byl naředěn čistým motorovým olejem v poměru 0,5 dílu použitého oleje : 1 dílu nového oleje.

Tab. 25 - Hodnoty zaznamenané při částicové analýze na SpectroLNF Q^{200}

| 810-541-3 | Počet částic na 1 ml oleje | Maximální hodnota částice (μm) | Průměrná hodnota částice (μm) | 20 - 25 (μm) | 25 - 50 (μm) | 50 - 100 (μm) | větší než 100 (μm) |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------------|
| Abrazivní opotřebení | 3,1 | 23,4 | 22,3 | 3,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Adhezivní opotřebení | 17,2 | 39,9 | 29,8 | 1,6 | 15,7 | 0,0 | 0,0 |
| Únavové částice | 50,1 | 42,3 | 26,3 | 21,9 | 28,2 | 0,0 | 0,0 |
| Nekovové částice | 12,5 | 31,6 | 25,6 | 4,7 | 7,8 | 0,0 | 0,0 |
| Neznámé částice | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CELKOVÝ POČET ČÁSTIC | 8 964,1 | | | | | | |
| DYNAMICKÁ VISKOZITA (cP) | 80,99 | | | | | | |

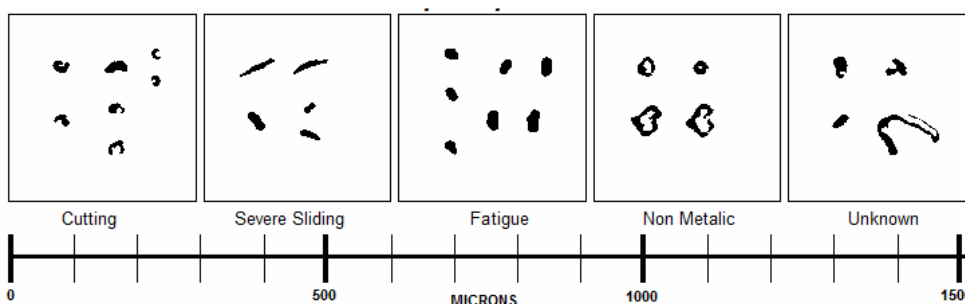


Obr. 47 - Částice analyzované přístrojem SpectroLNF Q^{200} společně s měřítkem

q) motorový vůz 810-576-9

Tab. 26 - Hodnoty zaznamenané při částicové analýze na SpectroLNF Q²⁰⁰

| 810-576-9 | Počet částic na 1 ml oleje | Maximální hodnota částice (μm) | Průměrná hodnota částice (μm) | 20 - 25 (μm) | 25 - 50 (μm) | 50 - 100 (μm) | větší než 100 (μm) |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------------|
| Abrazivní opotřebení | 29,5 | 100,8 | 32,1 | 7,8 | 20,2 | 0,0 | 1,6 |
| Adhezivní opotřebení | 71,3 | 67,9 | 35,6 | 15,5 | 49,6 | 6,2 | 0,0 |
| Únavové částice | 572,3 | 131,3 | 32,9 | 184,6 | 333,5 | 45,0 | 9,3 |
| Nekovové částice | 175,3 | 94,2 | 35,4 | 29,5 | 121,0 | 24,8 | 0,0 |
| Neznámé částice | 9,3 | 115,0 | 56,3 | 1,6 | 4,7 | 1,6 | 1,6 |
| CELKOVÝ POČET ČÁSTIC | 15 811,4 | | | | | | |
| DYNAMICKÁ VISKOZITA (cP) | 77,02 | | | | | | |

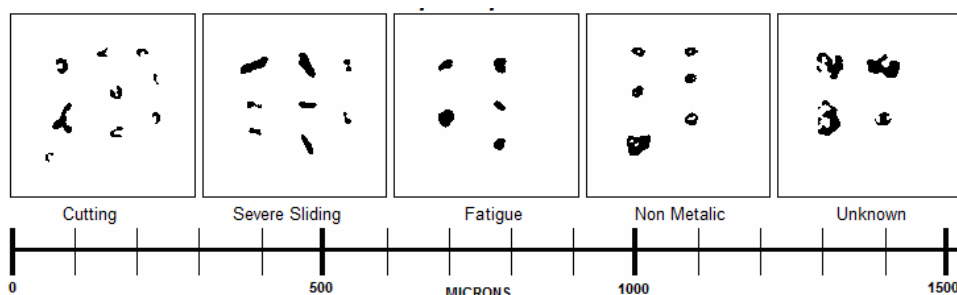


Obr. 48 - Částice analyzované přístrojem SpectroLNF Q²⁰⁰ společně s měřítkem

r) motorový vůz 810-578-5

Tab. 27 - Hodnoty zaznamenané při částicové analýze na SpectroLNF Q²⁰⁰

| 810-578-5 | Počet částic na 1 ml oleje | Maximální hodnota částice (μm) | Průměrná hodnota částice (μm) | 20 - 25 (μm) | 25 - 50 (μm) | 50 - 100 (μm) | větší než 100 (μm) |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------------|
| Abrazivní opotřebení | 13,9 | 58,9 | 28,3 | 7,7 | 4,6 | 1,5 | 0,0 |
| Adhezivní opotřebení | 44,7 | 76,3 | 36,6 | 12,3 | 24,7 | 7,7 | 0,0 |
| Únavové částice | 444,3 | 91,7 | 33,0 | 149,6 | 235,3 | 49,4 | 0,0 |
| Nekovové částice | 72,5 | 77,5 | 37,3 | 10,8 | 49,4 | 12,3 | 0,0 |
| Neznámé částice | 6,2 | 67,8 | 55,3 | 0,0 | 1,5 | 4,6 | 0,0 |
| CELKOVÝ POČET ČÁSTIC | 10 413,5 | | | | | | |
| DYNAMICKÁ VISKOZITA (cP) | 73,49 | | | | | | |



Obr. 49 - Částice analyzované přístrojem SpectroLNF Q²⁰⁰ společně s měřítkem

s) motorový vůz 810-617

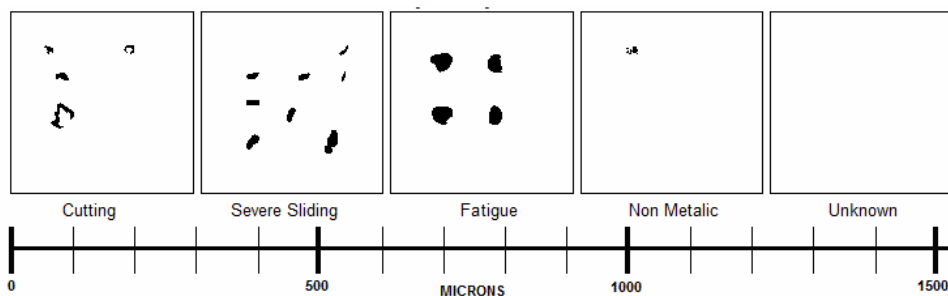
Vzorek motorového oleje hnacího vozu 810-617 byl naředěn čistým motorovým olejem v poměru 0,5 dílu použitého oleje : 1 dílu nového oleje.

Při měření tohoto vzorku však došlo k chybě přístroje a dynamická viskozita nebyla správně naměřena. Proto se hodnota dynamické viskozity od ostatních vzorků výrazně liší.

Vzhledem k nedostatečnému množství vzorku motorového oleje nebylo možné měření opakovat.

Tab. 28 - Hodnoty zaznamenané při částicové analýze na SpectroLNF Q²⁰⁰

| 810-617 | Počet částic na 1 ml oleje | Maximální hodnota částice (μm) | Průměrná hodnota částice (μm) | 20 - 25 (μm) | 25 - 50 (μm) | 50 - 100 (μm) | větší než 100 (μm) |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------------|
| Abrazivní opotřebení | 7,1 | 49,7 | 30,2 | 3,6 | 3,6 | 0,0 | 0,0 |
| Adhezivní opotřebení | 12,5 | 48,7 | 30,0 | 3,6 | 8,9 | 0,0 | 0,0 |
| Únavové částice | 105,2 | 55,7 | 26,4 | 60,6 | 42,8 | 1,8 | 0,0 |
| Nekovové částice | 32,1 | 48,5 | 27,7 | 12,5 | 19,6 | 0,0 | 0,0 |
| Neznámé částice | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CELKOVÝ POČET ČÁSTIC | 10 580,2 | | | | | | |
| DYNAMICKÁ VISKOZITA (cP) | 7,14 | | | | | | |



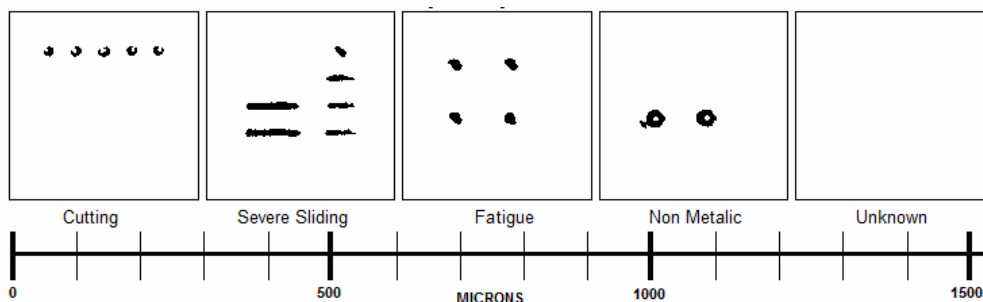
Obr. 50 - Částice analyzované přístrojem SpectroLNF Q²⁰⁰ společně s měřítkem

t) motorový vůz 810-618

Vzorek motorového oleje hnacího vozu 810-618 byl naředěn čistým motorovým olejem v poměru 0,5 dílu použitého oleje : 1 dílu nového oleje.

Tab. 29 - Hodnoty zaznamenané při částicové analýze na SpectroLNF Q²⁰⁰

| 810-618 | Počet částic na 1 ml oleje | Maximální hodnota částice (μm) | Průměrná hodnota částice (μm) | 20 - 25 (μm) | 25 - 50 (μm) | 50 - 100 (μm) | větší než 100 (μm) |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------------|
| Abrazivní opotřebení | 7,7 | 22,1 | 21,6 | 7,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Adhezivní opotřebení | 52,7 | 97,5 | 33,1 | 17,0 | 31,0 | 4,6 | 0,0 |
| Únavové částice | 137,8 | 45,5 | 26,1 | 74,3 | 63,5 | 0,0 | 0,0 |
| Nekovové částice | 55,8 | 54,7 | 30,4 | 13,9 | 38,7 | 3,1 | 0,0 |
| Neznámé částice | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CELKOVÝ POČET ČÁSTIC | 22 003,6 | | | | | | |
| DYNAMICKÁ VISKOZITA (cP) | 84,05 | | | | | | |

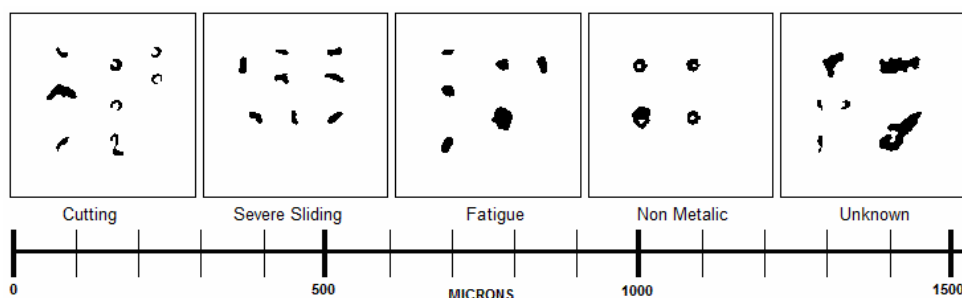


Obr. 51 - Částice analyzované přístrojem SpectroLNF Q²⁰⁰ společně s měřítkem

u) motorový vůz 810-665

Tab. 30 - Hodnoty zaznamenané při částicové analýze na SpectroLNF Q²⁰⁰

| 810-665 | Počet částic na 1 ml oleje | Maximální hodnota částice (μm) | Průměrná hodnota částice (μm) | 20 - 25 (μm) | 25 - 50 (μm) | 50 - 100 (μm) | větší než 100 (μm) |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------------|
| Abrazivní opotřebení | 89,9 | 118,6 | 36,1 | 59,3 | 18,0 | 3,6 | 9,0 |
| Adhezivní opotřebení | 138,4 | 131,7 | 37,0 | 39,6 | 73,7 | 21,6 | 3,6 |
| Únavové částice | 704,8 | 156,6 | 33,4 | 278,7 | 334,4 | 82,7 | 9,0 |
| Nekovové částice | 124,1 | 101,7 | 32,3 | 66,5 | 43,2 | 12,6 | 1,8 |
| Neznámé částice | 12,6 | 103,4 | 46,8 | 5,4 | 3,6 | 1,8 | 1,8 |
| CELKOVÝ POČET ČÁSTIC | 32 448,5 | | | | | | |
| DYNAMICKÁ VISKOZITA (cP) | 73,07 | | | | | | |

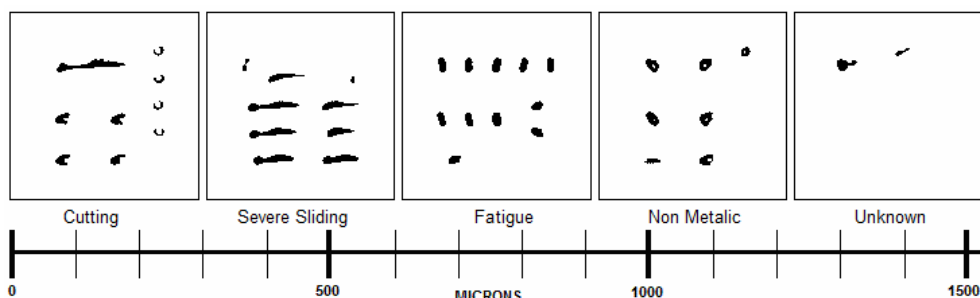


Obr. 52 - Částice analyzované přístrojem SpectroLNF Q²⁰⁰ společně s měřítkem

v) nový motorový olej

Tab. 31 - Hodnoty zaznamenané při částicové analýze na SpectroLNF Q²⁰⁰

| M7 ADS III | Počet částic na 1 ml oleje | Maximální hodnota částice (μm) | Průměrná hodnota částice (μm) | 20 - 25 (μm) | 25 - 50 (μm) | 50 - 100 (μm) | větší než 100 (μm) |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------------|
| Abrazivní opotřebení | 14,2 | 120,2 | 36,6 | 6,3 | 6,3 | 0,0 | 1,6 |
| Adhezivní opotřebení | 48,9 | 90,5 | 40,7 | 17,4 | 18,9 | 12,6 | 0,0 |
| Únavové částice | 86,8 | 38,7 | 25,1 | 48,9 | 37,9 | 0,0 | 0,0 |
| Nekovové částice | 11,0 | 30,9 | 26,8 | 1,6 | 9,5 | 0,0 | 0,0 |
| Neznámé částice | 3,2 | 34,4 | 32,1 | 0,0 | 3,2 | 0,0 | 0,0 |
| CELKOVÝ POČET ČÁSTIC | 12 151,8 | | | | | | |
| DYNAMICKÁ VISKOZITA (cP) | 95,95 | | | | | | |



Obr. 53 - Částice analyzované přístrojem SpectroLNF Q²⁰⁰ společně s měřítkem

Dílčí závěr:

Naměřené hodnoty byly ovlivněny nehomogenitou ručně promíchávaných vzorků. Při nutnosti ředění vzorků motorových olejů se navíc tato chyba měření zvyšuje z důvodů odměření v odměrném válci a následném přelévání vzorku z válce do nádoby. Pro přesnější hodnoty by bylo vhodné použít například strojní promíchávačku.

Při promíchávání motorového oleje vznikne ve vzorku velké množství bublin. Ty je nutné eliminovat vložením do ultrazvukové lázně. Po tuto dobu však mohou částice klesat na dno nádoby a výsledek tak může být rovněž zkreslený.

Vyhodnocení částicové analýzy LNF by mělo větší význam při dlouhodobějším sledování jednotlivých vozů. Podobně jako v části infračervené spektrometrie, i zde by bylo vhodné pokračovat v odběru vzorků jednotlivých vozů z DKV Česká Třebová a provádět další vyhodnocení, pro určení dílčích závěrů.

ZÁVĚR

V bakalářské práci byly shrnuty současné poznatky o klasifikaci motorových olejů, o jejich opotřebení a metodách zjišťování stavu motorového oleje.

Cílem práce bylo analyzovat vzorky motorových olejů dodaných Depem kolejových vozidel Česká Třebová, a navrhnout jednoduchou metodu pro hodnocení znečištění motorového oleje bez použití přístrojového vybavení.

V experimentální části byla provedena analýza vzorků motorových olejů dodaných DKV Česká Třebová. Hodnoty z DKV byly doplněny o stanovení celkového znečištění na Densimeteru REO 31, analýzu olejů infračervenou spektrometrií a částicovou analýzu LNF. Byly uvedeny závěry a doporučení pro provozovatele.

Zkoušky provedené na Densimeteru REO 31 byly následně využity pro návrh metody hodnocení znečištění motorového oleje bez použití přístrojového vybavení. Principem navrhované metodiky je neskenování požitých proužků chromatografické fólie, které byly vloženy za definovaných podmínek do roztoku použitého motorového oleje a technického benzínu a určení jejich barevné složky programem pixie. Dále byla hodnocena závislost mezi barevnými složkami a hodnotami znečištění z Densimeteru REO 31. Mimo hodnoty odstínu H a sytosti S bylo možné tyto závislosti využít. Závislost byla vyjádřena rovnicí lineární regresní přímky a doplněna hodnotou Pearsonova korelačního koeficientu.

Část práce se věnuje také částicové analýze LNF, provedené v laboratořích Univerzity Pardubice. Seriózní závěry by však bylo možno vyslovit až při dlouhodobějším monitorování a dopracování metodiky tak, aby byla zajištěna homogenita vzorku po celý průběh analýzy.

Po dohodě s DKV Česká Třebová by bylo vhodné pokračovat v odebrání vzorků z jednotlivých motorových vozů řady 810 a rozvíjet tak navrhnutou metodu hodnocení znečištění motorového oleje bez použití přístrojového vybavení. Rovněž by bylo účelné sledovat vývoj počtu částic metodou LNF a u jednotlivých hnacích vozů tyto výsledky dlouhodobě sledovat a porovnávat.

Dílejší výsledky bakalářská práce jsou přínosem pro oblast ochrany životního prostředí. V souvislosti se snižováním negativních účinků dopravy na životní prostředí i s minimalizací provozních nákladů je žádoucí dosáhnout co nejvyšších úspor ropných produktů. Zavádění tribotechnické diagnostiky je významným přínosem v oblasti energetických úspor, přispívá k šetření ropnou surovinou, pohonnými hmotami, mazivy i při prevenci havarijních stavů a v tom lze spatřovat její příspěvek ke snižování zátěže životního prostředí.

POUŽITÉ ZDROJE

- [1] STRAKA, Bedřich. *Motorové oleje a tribotechnická diagnostika naftových motorů*. Vyd. 1. Praha : NADAS - Nakladatelství dopravy a spojů, 1986. 248 s.
- [2] VLK, František. *Paliva a maziva motorových vozidel*. 1. vydání. Brno : František Vlček, 2006. 375 s. ISBN 80-239-6461-5.
- [3] HRDLIČKA, Zdeněk. *Automobilové kapaliny*. Vydání 1. Praha 1 : Grada Publishing, s.r.o., 1996. 128 s. ISBN 80-7169-332-4.
- [4] POŠTA, Josef, et al. *Oprávenství a diagnostika III*. Vyd. 1. Praha : Informatorium, 2003. 186 s. ISBN 80-7333-017-2.
- [5] BRENDEL, Horst, et al. *Tribotechnika*. Vyd. 1. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984. 300 s.
- [6] JAN, Zdeněk; ŽDÁNSKÝ, Bronislav. *Automobily 3 : Motory*. 3. vydání. Brno : Avid. s.r.o., 2006. 165 s. ISBN 80-903671-1-9.
- [7] KOCOUREK, Lukáš. *Analýza mazacích olejů*. Pardubice, 2010. 88 s. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera.
- [8] DVOŘÁK, Radim. *Hodnocení technického stavu vozového parku aplikací tribotechnické diagnostiky*. Pardubice, 2010. 96 s. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera.
- [9] KAMENICKÝ, Martin. *Kapková zkouška motorových olejů*. Pardubice, 2008. 34 s. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera.
- [10] Denzimeter ReoTrade. s.r.o., Technické podmínky, návod k obsluze.
- [11] Firemní materiály Spectro INC., Příručka operátora pro obsluhu a údržbu přístroje SpectroLNF Q²⁰⁰.
- [12] Firemní materiály spektroskopického softwaru Omnic 8, návod k obsluze softwaru Omnic 8.
- [13] Česká strojnická společnost. *Konference Mazání v moderním průmyslovém podniku : Sborník referátů*. 1. vydání. Praha : Česká strojnická společnost, 2008. 71 s. ISBN 978-80-02-02041-7.
- [14] ČERNÝ, Jaroslav. *REOTRIB 2001 : Kvalita paliv a maziv*. Ostrava : REO TRADE, s.r.o., 2001. 153 s. Sborník přednášek 7. ročníku semináře. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Ústav technologie ropy a petrochemie. ISBN 80-7080-426-2.
- [15] POŠTA, Josef; VESELÝ, Petr; DVOŘÁK, Milan. *Degradace strojních součástí* [online]. 2003 [cit. 2011-05-22]. Opatření únavové. Dostupné z WWW: <<http://degradace.tf.czu.cz/>>.
- [16] POŠTA, Josef; VESELÝ, Petr; DVOŘÁK, Milan. *Degradace strojních součástí* [online]. 2003 [cit. 2011-05-22]. Opatření erozivní. Dostupné z WWW: <<http://degradace.tf.czu.cz/>>.

- [17] POŠTA, Josef; VESELÝ, Petr; DVOŘÁK, Milan. *Degradace strojních součástí* [online]. 1. vydání. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2002 [cit. 2011-05-22]. Dostupné z WWW: <http://degradace.tf.czu.cz/Mngr_ram.htm>. ISBN 80-213-0967-9.
- [18] KESNER, František; NOVÁČEK, Vladimír. Analýza motorových olejů pomocí infračervené spektroskopie. *Tribotechnické informace* [online]. 2009, 1. číslo, s. 4-5, [cit. 2011-05-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.tribotechnika.cz/>>.
- [19] KESNER, František. Analýza paliv a maziv pomocí infračervené spektroskopie. *Tribotechnické informace* [online]. 2008, 2. číslo, s. 28-29, [cit. 2011-05-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.tribotechnika.cz/>>.
- [20] Teorie opotřebení. *Povrcháři : Občasník* [online]. Duben 2008, 4. číslo, s. 2-6, [cit. 2011-05-22]. Dostupný z WWW: <http://www.povrchari.cz/kestazeni/200804_povrchari.pdf>.
- [21] *Opotřebenění strojních soustav a vznik poruch* [online]. [cit. 2010-01-05] Dostupné z : <<http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/TU/TU/4kapitola.pdf>>.
- [22] *LaserNet Fines - A New Tool for the Oil Analysis Toolbox : Oil Analysis* [online]. 2002 [cit. 2011-05-22]. Machinery Lubrication. Dostupné z WWW: <<http://www.machinerylubrication.com/Read/383/lasernet-fines-oil-analysis>>.
- [23] ZLINSKÝ, Zbyněk. *VLAKY.NET* [online]. 25. 11. 2007 [cit. 2011-05-22]. Malý atlas železničních vozidel. Dostupné z WWW: <<http://www.vlaky.net/zeleznice/spravy/002160-Motorove-vozy-na-nasich-kolejich-rada-810.asp?lang=1>>.
- [24] HŘIVNÁČ, Jiří. Měření obsahu nečistot v použitých motorových olejích. *Tribotechnika*. 2009, 1. číslo, s. 24-25. Dostupný také z WWW: <<http://reotrade.cz/data/REO31clanek2009.pdf>>.
- [25] *Oleje.cz : Informace ze světa maziv* [online]. 2005 [cit. 2011-05-22]. Viskozitní klasifikace. Dostupné z WWW: <http://oleje.cz/index.php?left=main&page=mot_visko>.
- [26] *Oleje.cz : Informace ze světa maziv* [online]. 2005 [cit. 2011-05-22]. Výkonová klasifikace. Dostupné z WWW: <http://oleje.cz/index.php?left=dvoudobe_vykon&page=mot_vykon>.
- [27] ČERNÝ, Jaroslav. *Oleje.cz : Informace ze světa maziv* [online]. 2005 [cit. 2011-05-22]. Komentáře odborníků . Dostupné z WWW: <http://oleje.cz/index.php?left=main&page=zajimavosti_komentare>.
- [28] Vysoká škola chemicko technologická v Praze, Ústav technologie ropy a petrochemie. *Oleje.cz : Informace ze světa maziv* [online]. 2005 [cit. 2011-05-22]. Vlastnosti motorových olejů - ořetové kovy. Dostupné z WWW: <http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju10>.
- [29] *Laboratorní cvičení z fyziky* [online]. [cit. 2011-11-05]. Chyby měření. Dostupné z WWW: <<http://herodes.feld.cvut.cz/mereni/chyby/chyby.php>>.
- [30] SEJKOROVÁ, Marie. *Diagnostika a kontrola jakosti provozních hmot*. Pardubice, 2010. 13 s. Přednáška. Univerzita Pardubice - Dopravní fakulta Jana Pernera.

- [31] ČSN ISO 6615. *Ropné výrobky : Stanovení karbonizačního zbytku - Conradsonova metoda*. Praha : Český normalizační institut, 2006. 16 s.
- [32] KESNER, František, et al. Analýza motorových olejů pomocí infračervené spektrometrie. *Tribotechnické informace*. 2009, 1, s. 4-5.
- [33] STODOLA, J. *Diagnostika motorových vozidel*. Brno: Skripta VUT Brno, 2003. 286 s.]
- [34] *Spectro Inc.* [online]. [cit. 2011-11-07]. LaseNet Fines Q200. Dostupné z WWW: <<http://www.spectroinc.com/products-lasernet-fines.htm>>.
- [35] SEJKOROVÁ, Marie. *ANALÝZA PROCESU PROVOZNÍHO OPOTŘEBENÍ OLEJŮ A SOUČÁSTÍ JIMI MAZANÝCH*. Pardubice, 2007. 8 s. Referát. Univerzita Pardubice - Dopravní fakulta Jana Pernera.
- [36] SEJKOROVÁ, Marie. *Diagnostika a kontrola jakosti provozních hmot*. Pardubice, 2011. 11 s. Přednáška. Univerzita Pardubice - Dopravní fakulta Jana Pernera.
- [37] *Vlaky.net* [online]. 2006 [cit. 2011-11-07]. Dieselový motorový vozeň rady 810 "Autobus". Dostupné z WWW: <<http://www.vlaky.net/servis/galeria.asp?page=3&id=21>>.
- [38] Korelační koeficient. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 1.10.2006, last modified on 19.10.2011 [cit. 2011-11-07]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/korelace>>.
- [39] *Nattyware* [online]. 1999, 2011 [cit. 2011-11-08]. Pixie. Dostupné z WWW: <<http://www.nattyware.com/pixie.php>>.
- [40] MACHALÍKOVÁ, J. *Provozní hmoty automobilové dopravy*. Bratislava: Alfa, 1987. 150 s.
- [41] RGB. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 7.12.2004, last modified on 16.8.2011 [cit. 2011-11-19]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/RGB>>.
- [42] HSV. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 1.10.2006, last modified on 19.7.2011 [cit. 2011-11-19]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/HSV>>.
- [43] MACHALÍKOVÁ, J. *Provozní hmoty pro dopravní prostředky*. Pardubice, 2009/2010. 63 s. Přednáška 9 - Životní prostředí a doprava. Univerzita Pardubice - Dopravní fakulta Jana Pernera.

SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ

Obrázky

1. Doporučené viskozitní třídy SAE motorových olejů dle vnějších teplot
2. Princip laserové analýzy částic LNF
3. Kategorie částic analyzovaných LNF
4. Schematické znázornění druhů opotřebení
5. Adhezivní opotřebení pístního čepu a abrazivní opotřebení pístu
6. Vibrační opotřebení valivého ložiska a kavitační opotřebení pouzdra válce
7. Erozivní opotřebení ventilu a koule uzávěru
8. Únavové opotřebení kroužku ložiska a zdvihátka ventilu
9. Jemný adhezivní otěr ve formě řetízků
10. Částice ve tvaru srpečku
11. Částice ve tvaru mikrošpony
12. Podpovrchová mikrotrhlina
13. Detail podpovrchové sférické částice a sférické částice v jejím okolí
14. Lokomotiva řady 810-293-1
15. REO 31 Densimeter
16. Kompletní sestava přístroje REO 31 a pomůcek potřebných k měření
17. Připravené vzorky motorového oleje lokomotiv řady 810 k naměření
18. Histogram četnostní naměřených hodnot znečištění
19. Pracoviště pro metodu FT-IR
20. Zobrazení naměřených spekter v programu OMNIC 8. 1. 11.
21. Pracoviště částicové analýzy LNF – na obrázku stolní jednotka SpectroLNF Q200 a k ní příslušný počítač Lenovo.
22. Dialogové okno programu Pixie 4.1.
23. Naskenovaný proužek chromatografické fólie
24. Infračervená spektra vzorků olejů – Skupina 1
25. Infračervená spektra vzorků olejů – Skupina 2
26. Infračervená spektra vzorků olejů – Skupina 2 a srovnávací spektrum čisté bioložky MEŘO
27. Infračervená spektra vzorků olejů – Skupina 3
28. Infračervená spektra vzorků olejů – Skupina 3 a srovnávací spektrum čisté bioložky MEŘO
29. Infračervená spektra vzorků olejů – nová nafta a 100% MEŘO
30. Infračervená spektra vzorků olejů – skupina 4
31. Infračervená spektra vzorků olejů – skupina 5
32. Infračervená spektra vzorků olejů – skupina 6
33. – 53. Částice analyzované přístrojem SpectroLNF Q²⁰⁰ společně s měřítkem

Grafy

1. Trendový graf pro barevnou složku R
2. Trendový graf pro barevnou složku G
3. Trendový graf pro barevnou složku B
4. Trendový graf pro odstín barvy H
5. Trendový graf pro sytost barvy S
6. Trendový graf pro jas barvy V
7. Graf závislosti celkového znečištění na obsahu mechanických nečistot

Tabulky

1. Otěrové kovy v motorovém oleji a jejich potenciální zdroje
2. Vlnočty charakteristických sloučenin a strukturních skupin
3. Naměřené hodnoty vzorku motorového oleje z vozu 810 059
4. Hodnoty celkového znečištění naměřené na Densimeteru REO 31
5. Výsledky vybraných zkoušek – skupina 1 (mot. olej M7 ADS III)
6. Výsledky vybraných zkoušek – skupina 2 (mot. olej M7 ADS III)
7. Výsledky vybraných zkoušek – skupina 3 (mot. olej M7 ADS III)
8. Výsledky vybraných zkoušek – skupina 4 (mot. olej M7 ADS III)
9. Výsledky vybraných zkoušek – skupina 5 (mot. olej M7 ADS III)
10. Výsledky vybraných zkoušek – skupina 6 (mot. olej M7 ADS III)
11. – 31. Hodnoty zaznamenané při částicové analýze na SpectroLNF Q²⁰⁰

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Seznam vzorků motorových olejů z lokomotiv s naměřenými hodnotami

Příloha 2: Vzorky motorových olejů rozdělené dle problematiky určené v DKV

Příloha 3: Fotodokumentace zbarvených proužků a hodnoty jejich barevných složek

Příloha 4: Protokoly jednotlivých vozidel z částicové analýzy LNF

Příloha 1: Seznam vzorků motorových olejů z lokomotiv s naměřenými hodnotami

Tabulka 1 – Seznam vzorků motorových olejů z lokomotiv s experimentálně naměřenými hodnotami – část 1 (některé údaje nebyly v zaznamenány)

| Motorový olej – spalovacího motoru | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|---------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|--------------------|---|-------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| Číslo | Vozidlo | Druh oleje | Počet km od výměny oleje | Počet km od prohlídky M | Obsah mech. Nečistot [% hm] | Bod vzplanutí [°C] | Kinematická viskozita 50°C [mm ² /s] | Obsah vody [% hm] | Celkové znečištění Z Densimateru [%] | Celkový obsah částic z LNF |
| 1 | 810 056 | M7ADS III | - | 1500 | 0,69 | 198 | 57,80 | 0 | 0,57 | 12 891,3 |
| 2 | 810 058 | M7ADS III | 12 568 | 5490 | - | 212 | - | 0 | 0,92 | nebylo možné změřit |
| 3 | 810 059 | M7ADS III | | 14 229 | 1,91 | 202 | 54,99 | 0 | 2,62 | 145 437,7 |
| 4 | 810 060 | M7ADS III | | 6891 | | 204 | 57,68 | 0 | 0,26 | 31 161,4 |
| 5 | 810 254 | M7ADS III | 29 852 | 9793 | 0,53 | 208 | 57,45 | 0 | 0,21 | 37 804,6 |
| 6 | 810 275 | MOL Dynamic Turbo Diesel | - | - | - | 204 | - | 0 | 0,25 | 35 488,0 |
| 7 | 810 290 | M7ADS V | 11 346 | 11 346 | | 198 | 46,76 | 0 | 0,29 | 19 625,6 |
| 8 | 810 296 | MOL Dynamic Turbo Diesel | - | 15 204 | - | 196 | - | 0 | 0,52 | 16 527,0 |
| 9 | 810 297 | MOL Dynamic Turbo Diesel | - | - | - | - | - | - | 0,12 | 12 387,1 |
| 10 | 810 325 | M7ADS III | | 7650 | | 210 | 57,90 | 0 | 0,23 | 5 534,3 |

Tabulka 1 – Seznam vzorků motorových olejů z lokomotiv s experimentálně naměřenými hodnotami – část 2 (některé údaje nebyly zaznamenány)

| | | | | | | | | | | |
|-----------|----------------------|-----------------------------------|--------|--------|------|-----|-------|---|-------------|-----------------|
| 11 | 810 326 | M7ADS III | 1710 | 1710 | 0,31 | 210 | 60,61 | 0 | 0,09 | 13 153,3 |
| 12 | 810 339 | M7ADS III | - | 15 298 | - | 202 | 47,71 | 0 | 0,73 | 11 426,7 |
| 13 | 810 458 | M7ADS III | - | 8298 | - | 214 | - | 0 | 0,03 | 27 599,9 |
| 14 | 810 541 | M7ADS III | - | 11 572 | 0,60 | 188 | 44,70 | 0 | 1,25 | 8 964,1 |
| 15 | 810 576 | M7ADS III | - | 3886 | - | 206 | - | 0 | 0,53 | 15 811,4 |
| 16 | 810 578 | MOL Dynamic Turbo Diesel | 13 617 | 13 617 | 0,41 | 200 | 52,99 | 0 | 0,41 | 10 413,5 |
| 17 | 810 617 | M7 ADS III | 8821 | 8821 | 1,09 | 210 | | 0 | 2,11 | 10 580,2 |
| 18 | 810 618 | M7 ADS V | | 15 115 | | 194 | 45,06 | 0 | 0,98 | 22 003,6 |
| 19 | 810 665 | M7 ADS III | 1300 | 1300 | 0,15 | 204 | 55,43 | 0 | 0,15 | 32 448,5 |
| 20 | 810 513 2 | M7 ADS III | 1320 | 1320 | 1,58 | 210 | 64,42 | 0 | 0,74 | 16 528,1 |
| 21 | 810 513 2 | M7 ADS III | 7200 | 7200 | 1,01 | 206 | - | 0 | 0,91 | 16 069,8 |
| 22 | Nový olej M7 ADS III | | | | | | | | 0,01 | - |

Příloha 2: Vzorčky motorových olejů rozdělené dle problematiky určené v DKV

Tab. 2 - Vzorčky motorových olejů z hnacích vozidel řady 810 – skupina vozidel č.1

| | | |
|--|---------|---------|
| Skupina č.1 – vzorky, u kterých byl analyzován v laboratořích DKV vysoký obsah mechanických nečistot. | | |
| 810 059 | 810 513 | 810 617 |

Tab. 3 - Vzorčky motorových olejů z hnacích vozidel řady 810 – skupina vozidel č.2

| | | |
|---|---------|---------|
| Skupina č.2 – vzorky, u kterých byl analyzován v laboratořích DKV snížený bod vzplanutí a pokles viskozity | | |
| 810 058 | 810 297 | 810 339 |
| 810 665 | 810 290 | 810 325 |
| 810 541 | 810 296 | 810 326 |
| 841 618 | | |




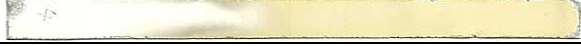






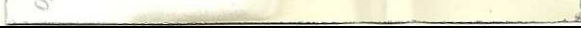
Tab.4 - Vzorčky motorových olejů z hnacích vozidel řady 810 – skupina vozidel č.3

| | | |
|--|---------|---------|
| Skupina č.3 – vzorky, u kterých byly analyzovány v laboratořích DKV nežádoucí změny | | |
| 810 056 | 810 275 | 810 060 |
| 810 458 | 810 254 | 810 576 |


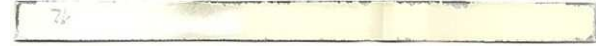


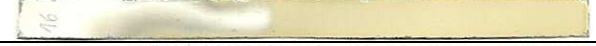




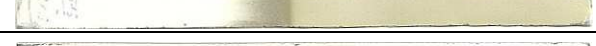

*Pozn. Vůz 810 578 na velké opravě.

Příloha 3: Fotodokumentace zbarvených proužků a hodnoty jejich barevných složek

Tab.5 – Fotodokumentace zbarvených proužků a hodnot barevných složek – část 1

| č. | Vůz 810 | Proužek chromatografické fólie | R | G | B | H | S | V |
|----|---------|--|-----|-----|-----|----|----|-----|
| 1 | 056 |  | 227 | 211 | 168 | 45 | 25 | 90 |
| 2 | 058 |  | 212 | 202 | 159 | 50 | 24 | 85 |
| 3 | 059 |  | 152 | 143 | 116 | 53 | 25 | 59 |
| 4 | 060 |  | 251 | 238 | 186 | 48 | 25 | 97 |
| 5 | 254 |  | 250 | 245 | 213 | 53 | 15 | 98 |
| 6 | 275 |  | 246 | 234 | 187 | 48 | 25 | 97 |
| 7 | 290 |  | 243 | 236 | 185 | 53 | 25 | 96 |
| 8 | 296 |  | 238 | 225 | 178 | 47 | 25 | 94 |
| 9 | 297 |  | 254 | 255 | 224 | 62 | 13 | 100 |
| 10 | 325 |  | 252 | 243 | 202 | 50 | 21 | 99 |
| 11 | 326 |  | 250 | 246 | 219 | 53 | 13 | 98 |

Tab.5 – Fotodokumentace zbarvených proužků a hodnot barevných složek – část 2

| č. | Vůz 810 | Proužek chromatografického papíru | R | G | B | H | S | V |
|----|-----------|--|-----|-----|-----|----|----|-----|
| 12 | 339 |  | 218 | 207 | 162 | 47 | 25 | 84 |
| 13 | 458 |  | 255 | 255 | 228 | 60 | 10 | 100 |
| 14 | 541 |  | 189 | 180 | 141 | 46 | 26 | 74 |
| 15 | 576 |  | 231 | 222 | 179 | 50 | 23 | 90 |
| 16 | 578 |  | 236 | 224 | 173 | 50 | 27 | 93 |
| 17 | 617 |  | 155 | 150 | 118 | 53 | 25 | 60 |
| 18 | 618 |  | 200 | 191 | 148 | 50 | 26 | 79 |
| 19 | 665 |  | 254 | 253 | 224 | 53 | 13 | 100 |
| 20 | 513 28. |  | 210 | 202 | 163 | 50 | 23 | 83 |
| 21 | 513 31. |  | 220 | 214 | 178 | 51 | 20 | 86 |
| 22 | nový olej |  | 255 | 255 | 247 | 60 | 4 | 100 |

Příloha 4: Protokoly jednotlivých vozidel z částicové analýzy LNF

Protokoly částicové analýzy LNF jsou uvedeny v elektronické podobě na CD, které je součástí bakalářské práce.