

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Optimalizace výměnných intervalů motorových olejů v autobusech DP
města Zlína

Ivana Hurtová

Bakalářská práce

2012

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ivana Hurtová**
Osobní číslo: **D09539**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Provozní spolehlivost dopravních prostředků a infrastruktury:
Ochrana životního prostředí v dopravě**
Název tématu: **Optimalizace výměnných intervalů motorových olejů v auto-
busech DP města Zlín**
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 :

Úvod

Na základě studia literatury a informačních zdrojů popište současný stav řešené problematiky
Seznamte se s principy a metodikou používaných experimentálních metod
Zabezpečte odběr zkušebních vzorků a připravte je k analýzám. Provedte příslušné laboratorní
zkoušky.
Výsledky provedených prací interpretujte, závěry zpracujte ve formě doporučení pro dopravní
podnik města Zlín

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Literatura: Firemní materiály NICOLET CZ, návod k obsluze přístroje iS-10.

Příručka operátora pro obsluhu a údržbu přístroje Spectro LNF Q 200.

Hrdlička, Z. Automobilové kapaliny. Praha: Grada Publishing, 1996. ISBN 80-7169-332-4.

STODOLA, J., MACHALÍKOVÁ, J. Spolehlivost a diagnostika BSV. Provozní hmoty a materiály MTV. Brno: Univerzita obrany v Brně, 2006. 134 s. ISBN 80-7231-167-0.

ČERNÝ, J. Mýtus devátý na téma kdy a proč vyměnit motorový olej.

Autoexpert, 2005, červenec-srpen, s. 28. ISSN 1211-2380.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Marie Sejkorová

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: **24. února 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31. května 2012**

prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.

doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 24. února 2012

Prohlašuji:

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

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 20. 5. 2012

Ivana Hurtová

Poděkování

Poděkovat bych chtěla především panu Antonínu Červenkoví, který mi umožnil provádět analýzy motorových olejů z autobusů v Dopravním podniku ve Zlíně a byl mi nápomocen svými cennými rady. Dík patří rovněž panu Leoši Zelinkovi, který celou dobu této práce vzorky zajišťoval.

Zvláštní poděkování patří vedoucí bakalářské práce paní Ing. Marii Sejkorové za odbornou pomoc. Poděkování patří také doc. RNDr. Machalíkové Jaroslavě, CSc, za poskytnuté materiály a panu Ing. Josefu Glosovi z Univerzity obrany v Brně za provedení analýz olejů na emisním spektrometru.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá optimalizací výměnných intervalů motorových olejů provozovaných v autobusech Dopravní společnosti Zlín-Otrokovice, s.r.o. (dále DSZO). Ke sledování a hodnocení aktuálního stavu olejových náplní po čas jejich proběhu byly použity metody tribotechnické diagnostiky (TTD). Základní analýzy motorových olejů, jako měření viskozity na viskozimetru RHEOTEST, měření obsahu vody v oleji, měření karbonizačního zbytku a měření počtu částic ferrografickou analýzou, byly provedeny v laboratoři DSZO. Tyto jednoduché analýzy hodnocení stavu motorových olejů byly doplněny o výsledky analýz, které byly uskutečněny na pokročilém instrumentálním přístrojovém vybavení tribotechnické laboratoře Dopravní fakulty Jana Pernera v Pardubicích. Na základě výsledků experimentálních prací bylo provedeno hodnocení motorových olejů a uděleno doporučení pro dopravce.

Klíčová slova

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

TITLE

Engine oils change intervals optimization in Zlin Transportation Company's buses

ANNOTATION

Bachelor thesis deals with optimization of engine oils change intervals used in buses of transportation company Zlin-Otrokovice, s.r.o. (furthermore TCZO). To observation a evaluation of oil fillings actual state during their usage were used methods of tribotechnical diagnostics (TTD). Engine oils basic analysis such as viscosity measurement on RHEOTEST viscometer, water content in oil measurement, carbonization residue measurement and measurement of particles amount by ferrographic analysis were analyzed at TCZO. These simple analyses of engine oil state evaluation were supplemented by analyses which were carried out on advanced instrumental device equipment of tribotechnical laboratory at Jan Perner's Faculty of Transportation in Pardubice. On basis of results of experimental work was engine oils evaluation performed and recommendation for the carrier given.

KEYWORDS

engine oil, engine oil's wear, tribotechnical diagnostics, infrared spectrometry, particle analysis

Obsah

1. Úvod	9
1.1 Cíl práce	10
2. Teoretická část	11
2.1 Současný stav poznatků v oblasti tribotechnické diagnostiky	11
2.1.1 Význam tribotechnické diagnostiky.....	11
2.1.2 Tření, opotřebení a mazání motorových součástí	11
2.2 Motorové oleje	13
2.2.1 Aditivace olejů	13
2.2.2 Základní vlastnosti motorových olejů	13
2.2.3 Základní funkce motorových olejů	20
2.3 Principy použitých experimentálních metod v Dopravní společnosti Zlín-Otrokovice	21
2.3.1 Viskozimetr RHEOTEST.....	21
2.3.2 Karbonizační zbytek.....	22
2.3.3 Měření obsahu vody v oleji.....	22
2.3.4 Ferrografická analýza.....	23
2.4 Principy použitých experimentálních metod v tribotechnické laboratoři DFJP	25
2.4.1 Analýza částic laserovým analyzátozem	25
2.4.2 Infračervená spektrometrie.....	28
2.4.3 Atomová emisní spektrometrie	31
2.4.4 Stanovení obsahu nečistot v oleji denzimetrem REO-31	34
3. Experimentální část	35
3.1 Technické údaje o vybraných autobusech	36
3.1.1 Autobus č. 659 Renault CityBus 12M	36
3.1.2 Autobus č. 667 IrisBus CityBus 12M	37
3.1.3 Autobus č. 673 IrisBus Citelis 12M.....	38
3.1.4 Autobus č. 702 SOR B 9,5	39
3.1.5 Autobus č. 822 IrisBus CityBus 18M	40
3.2 Metodika analýz motorových olejů prováděných v DSZO	41
3.2.1 Viskozimetr RHEOTEST.....	41
3.2.2 Měření obsahu vody v oleji.....	42
3.2.3 Měření karbonizačního zbytku.....	42
3.2.4 Ferrografická analýza.....	43
3.3 Metodika analýz motorových olejů prováděných v tribotechnické laboratoři DFJP	44
3.3.1 Analýza částic laserovým analyzátozem	44
3.3.2 Infračervená spektrometrie.....	46
3.3.3 Atomová emisní spektrometrie	48
3.3.4 Stanovení obsahu nečistot pomocí denzimetru REO 31	48

3.4	Výsledky měření a jejich interpretace	50
3.4.1	Autobus č. 659	50
3.4.2	Autobus č. 667	58
3.4.3	Autobus č. 673	66
3.4.4	Autobus č. 702	74
3.4.5	Autobus č. 822	83
3.5	Souhrn experimentálních výsledků a doporučení pro DSZO	92
4.	Závěr.....	95
	Použitá literatura	96
	Seznam použitých obrázků	98
	Seznam použitých tabulek.....	100

1. Úvod

Jedním ze základních článků modernizace silniční dopravy je její motorizace. Nejenže prudce roste počet silničních motorových vozidel, ale také roste i celková spotřeba a význam motorových olejů. Mezi hlavní úkoly každého provozovatele vozového parku patří zajištění bezporuchového provozu.

Motorové oleje pro dnešní naftové motory v silniční dopravě představují řadu problémů. Na prvním místě je zabezpečení bezporuchového chodu motoru za všech provozních podmínek. V neposlední řadě je kladen požadavek i na hospodárnost. Vzhledem k větší olejové náplni u autobusové dopravy, než u osobních vozidel, je snahou vyměňovat olej po co nejdelší době provozu. Tento fakt se však nesmí uplatňovat na úkor zvyšování opotřebením součástí motorů z důvodu prodlužování intervalu výměny oleje. Tento problém lze velmi účelně řešit využitím tribodiagnostiky.

Tribologie je věda a technologie, která se zabývá vzájemným působením povrchů ve vzájemném pohybu a nebo při pokusu o vzájemný pohyb.

Tribotechnickým rozbořem a posuzováním celkového stavu oleje lze v mnoha případech předcházet komplikovaným poruchám a neplánovaným odstávkám, které mají za následek vysoké investice, týkajících se nejen samotných oprav, ale i případných zbytečných ekonomických ztrát.

Náročné instrumentální metody vyžadují složité a finančně náročné měřicí přístroje a dále také odbornou kvalifikaci obsluhy. Jsou však i metody, které nejsou náročné na svoji prezentaci a svojí kvalitou mohou konkurovat přístrojům složitým na obsluhu.

Tato práce se proto zabývá porovnáváním různých metod analýz opotřebovaných motorových olejů na diagnostických přístrojích používaných v Dopravní společnosti Zlín-Otrokovice, s.r.o. (dále DSZO) a na Dopravní fakultě Jana Pernera Univerzity Pardubice. Odlišnost experimentu spočívá nejenom v různých metodách měření, ale také v odlišnosti pořízení těchto měřicích přístrojů. Vzorke olejů byly analyzovány

na moderních přístrojích v tribotechnické laboratoři DFJP a zároveň na starších přístrojích v DSZO Zlín.

Ve vozovém parku DSZO ve Zlíně, který provozuje celkem 91 vozů MHD, z toho 35 autobusů a 56 trolejbusů se s metodami tribotechnických analýz zabývají již 19 let a to s přístroji, které jsou v této práci prezentovány. Do této doby se výměny mazacího systému prováděly dle doporučení výrobce. Ročně autobusy najezdí kolem 55 tis. kilometrů a při najetých 5 tis. kilometrů se odebírají vzorky motorového oleje k tribotechnickým analýzám.

1.1 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce bylo:

- vypracovat přehled současného stavu poznatků o možnostech a uplatnění analýz při sledování degradace motorových olejů v provozu
- analyzovat vzorky odebraných olejů na přístrojích v DSZO
- analyzovat stejné vzorky odebraných olejů na přístrojích tribotechnické laboratoře Dopravní fakulty Jana Pernera, Univerzity Pardubice
- výsledky experimentální práce vyhodnotit a porovnat je
- zpracovat závěr s posouzením shodnosti výsledků a vypracovat doporučení pro DSZO

2. Teoretická část

2.1 Současný stav poznatků v oblasti tribotechnické diagnostiky

2.1.1 Význam tribotechnické diagnostiky

Tribotechnická diagnostika je metoda bezdemontážní a nedestruktivní, která využívá často mazivo jako médium pro získání informací o změnách v technických systémech. Jejím posláním je zjistit a především vyhodnotit výskyt cizích látek v mazivu a posoudit degradaci maziva jak z hlediska kvalitativního, tak kvantitativního. Na základě provedených analýz maziva je možné včas upozornit na příznaky vznikajících poruch a také lokalizovat místa vzniku mechanické závady. Tribodiagnostika se především zabývá sledováním technického stavu provozních náplní a samotné hodnocení opotřebení mazaných součástí částí strojů. Analýzou samotného oleje se dá zjistit opotřebení, porucha, netěsnosti apod. Přenosné jednoduché přístroje dokážou poměrně rychle odhalit např. přítomnost mechanických nečistot.

Uplatnění tribotechniky lze spatřovat ve zlepšení ekonomiky výrobku či stroje po celou dobu jeho životnosti. Z celospolečenského hlediska sem přistupuje také bezpečnost provozu a ekologická ohleduplnost k životnímu prostředí. Ekonomika výrobku je charakterizována poměrem jeho užitné hodnoty k vynaloženým nákladům na pořízení a provozování (včetně oprav atd.) [1].

Tribotechnika je dnes důležitou součástí údržby strojů. Cílem údržby by měla být ochrana strojů před problémy, ne jejich oprava. Měla by udržovat stroje tak, aby se jejich stav od doby uvedení do provozu neměnil. V praxi to znamená zajištění bezporuchového chodu strojů. K této cestě vede proaktivní údržba (PÚ), kterou zjednodušeně můžeme definovat: péče o olej (ošetřování) + jeho diagnostika (trvalé sledování stavu) = prevence (bezporuchový provoz) [2].

2.1.2 Tření, opotřebení a mazání motorových součástí

- a) Tření je odpor proti pohybu, který vzniká mezi dvěma tělesy v oblasti jejich

přímého dotyku.

Podle pohybu těles, či tvaru třecích ploch jsou známy tyto základní druhy:

- Smykové – dochází k relativnímu posouvání makroskopických dotykových ploch, když se po sobě tělesa smýkají na celé ploše, nebo v její části
- Valivé – dochází při odvalování rotačního tělesa po rovné nebo zakřivené ploše
- Klidové – je tření, vznikající mezi tělesy, která se vzhledem k sobě nepohybují - jsou v klidu

b) Opotřebení je nežádoucí trvalá změna tvaru, velikosti nebo také struktury materiálu na jeho povrchu. Jedná se o nevratný úbytek materiálu.

Mezi základní druhy opotřebení patří:

- Adhezivní – těsné přiblížení povrchů, které má za následek ulpívání a vytrhávání materiálu
- Abrazivní – oddělování částic z funkčního povrchu působením tvrdého a drsného povrchu druhého tělesa
- Erozivní – oddělování částic z povrchu materiálu částicemi nesenými v proudu vzduchu, nebo kapaliny
- Kavitační – oddělování částic vlivem kavitačních procesů
- Únavové – vzniká postupným narůstáním poruch v povrchové vrstvě materiálu vlivem opakovaných stykových napětí
- Vibrační – oddělování částic z povrchu vlivem vibrací

Při přibližování povrchů se porušuje celistvost adsorpční vrstvy i oxidové vrstvy a povrchy součástí přicházejí do přímého kovového kontaktu. To má za následek tvorbu mikrospojů. Při jejich následném rozrušování v důsledku relativního pohybu povrchů může docházet k oddělování kovových částic a přemísťování materiálu povrchů. Intenzita tohoto procesu závisí na řadě činitelů [3].

2.2 Motorové oleje

Motorové oleje jsou směsi uhlovodíků, které se získávají rafinací ropy. Základové oleje jsou dále aditivovány pro získání požadovaných vlastností. Základní vlastností motorového oleje je jeho viskozita, která ovlivňuje kvalitu mazání. Ta je závislá na teplotě oleje.

Pro dosažení požadovaných užitečných vlastností motorového oleje je nutné správně zvolit a sladit v optimální celek: vhodný základní olej, vyhovující druhy zušlechťujících přísad a jejich správnou dozaci [4].

2.2.1 Aditivace olejů

Mazací oleje pracují v náročných podmínkách, proto se jejich vlastnosti zlepšují přidáním látek, které výrazně zlepšují nejméně jednu užitečnou vlastnost oleje. Použijeme-li více přísad, může docházet i k jejich vzájemnému ovlivňování.

Aditiva jsou chemické přísady, které zlepšují vlastnosti olejů a plastických maziv. Druhy aditiv a jejich množství se liší podle způsobu užití maziv. Obsah aditiv v mazivu se pohybuje od 1 do 25 %. Druhy a množství aditiv stanovují výrobci na základě norem a praktických zkoušek. Aditiva do olejů se používají pro několik účinků např. čištění motorů, dotěsnění motorů, snížení tření, zlepšení studených startů. Jsou odlišné pro motorové, převodové i hydraulické oleje. Mohou být vyrobeny za použití cizorodých příměsí na bázi MoS, PTFE, kovů, chloru a síry. Druhá cesta je výroba na bázi ropných destilátů, fungující na principu permanentní difúze maziv do povrchu kovů. Výrobky na bázi ropných destilátů jsou více ekologické než výrobky na bázi chlórů a síry [5].

2.2.2 Základní vlastnosti motorových olejů

Základní vlastností a funkcí motorového oleje je, co nejlépe mazat a musí mít dobré mazací schopnosti. Je nutné říci, že mazivost je snad nejméně problematická vlastnost. Mazání za ztížených podmínek, např. mazání ventilové oblasti, je pak podpořeno protioděrovými přísadami. Mohlo by se zdát, že čím je v oleji více mazivostních přísad,

tím je lépe zabezpečena ochrana motoru. To nemusí být pravdivé, protože mazivostní přísady působí tak, že určitým způsobem reagují s povrchem mazaného kovu [6].

Sledované vlastnosti

1) Otěrové kovy

Třecí povrchy kovů, ani ty pečlivě vysoustružené, nejsou nikdy naprosto hladké. V normálním stavu jsou v motoru dva třecí povrchy odděleny vrstvičkou oleje. Viskóznější oleje vytvářejí při stejné teplotě silnější vrstvičku mazacího filmu než méně viskózní oleje. Povrchy tak nepřicházejí navzájem do kontaktu, nebo jen do minimálního díky některým větším nerovnostem na povrchu. Pokud ale na třecí plochy působí nějaká přítlačná síla, může být vrstvička oleje vytlačena a dva povrchy se do kontaktu dostanou [7].

Tab. 1. Otěrové kovy v motorovém oleji a jejich zdroje [7]

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

Jestliže se takové dva povrchy navzájem pohybují, dochází k vzájemnému odírání jejich nerovností a oddělování mikroskopických částic konstrukčního kovu. Tyto částice pak přecházejí do oleje. Následně je potom možné chemicky stanovit množství určitých prvků kovu v oleji (tab. 1) a na základě jeho množství také odhadnout významnost tření

v motoru. Touto diagnostikou lze předcházet velkým závadám a haváriím motorů mnohem dříve, než by se na závadu přišlo díky jejím dalším projevům (hluk nebo vibrace motoru, zvýšená teplota oleje apod.) [7].

2) Voda a glykol v oleji

Voda je běžným produktem spalování paliva. V ideálním stavu je produktem spalování benzínu nebo nafty pouze oxid uhličitý a voda. Tu lze zejména po startu v zimním období pozorovat jako bílý kouř nebo kapky vody jdoucí z výfuku. Jestliže v motoru spálíme jeden litr benzínu nebo nafty, vznikne přibližně jeden litr vody. Naprostá většina vody odchází ve formě páry do výfuku a dále do ovzduší. Část spalin se ale dostává z válce přes pístní kroužky do klikové skříně. A právě zde dochází ke styku horké vodní páry ve spalinách s motorovým olejem. Pokud jsou olej a celá kliková skříň vyhřáté na provozní teplotu (tj. někde kolem 80-100°C), pak je vše v pořádku a nic závažného se nemůže stát. Jiná situace nastává, pokud je motor studený. Jestliže horké spaliny s vodní párou přijdou ve studené klikové skříni do styku se studeným motorovým olejem, pak nutně dochází ke kondenzaci vodní páry. Kapalná voda se pak hromadí v motorovém oleji, který se intenzivně promíchává a vytvářejí se emulze vody v oleji [8].

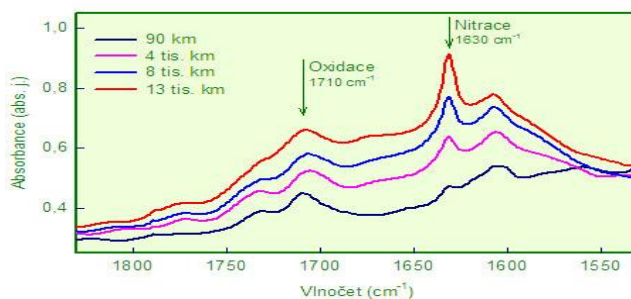
Glykol je součástí všech nemrznoucích kapalin buďto ve formě etylenglykolu nebo propylenglykolu. Do motorového oleje se nemrznoucí kapalina může dostat poměrně lehce při závadě na hlavě válců a nemusí ani jít o zřetelnou závadu (např. prasklá hlava válců), ale i o drobné průniky nemrznoucí kapaliny do motorového oleje. Nemrznoucí kapaliny jsou dnes navíc aditivovány především látkami, které zabraňují korozi chladicího systému. Glykoly a aditiva reagují s motorovým olejem více než pouhá voda, která se s nemrznoucí směsí dostává do oleje. Výsledkem pak je, že již při velmi nízkých koncentracích chladicí kapaliny v oleji dochází k nevratným a závažným změnám v motorovém oleji a ke zhroucení jeho funkce. Rychlost, s jakou dojde ke zničení oleje, závisí na množství proniklé nemrznoucí kapaliny a glykolu. Konec je však neodvratný [8].

3) Palivo v oleji

Výfukové plyny vždy obsahují nespálené palivo. Většina výfukových plynů odchází do výfukového traktu, kde si s nespáleným palivem poradí u zážehového motoru řízený katalyzátor, u vznětového motoru odchází nespálená nafta do ovzduší. Pokud ale projdou výfukové plyny do klikové skříně, dostanou se do styku s olejem. Potom už záleží na tom, jaká je teplota oleje a prostoru klikové skříně. U studených motorů dochází ke kondenzaci par paliva do oleje v mnohem větší míře než u motorů při provozní teplotě. Tímto přirozeným způsobem se může u osobních automobilů během výměnného intervalu dostat do oleje průměrně 1-2 % benzínu či nafty. U velkoobjemových vznětových motorů s delšími výměnnými intervaly pak i o něco více. Maximální přípustnou hranici udává většina výrobců motorů kolem 4 % paliva v oleji [9].

4) Oxidační stabilita

Důležitým kvalitativním ukazatelem u motorového oleje je odolnost vůči vysokým teplotám za přítomnosti spalin. Čím je teplota odolnosti vyšší a tato doba delší, tím je olej lepší. Tento jev se nazývá termo-oxidační stabilita. Na obr. 1 je příklad části infračerveného spektra motorového oleje, kde během provozu dochází k nárůstu množství oxidačních produktů, které se v infračerveném spektru projeví nárůstem signálu kolem 1710 cm^{-1} (oxidační produkty) a 1630 cm^{-1} (produkty nitrace).



Obr. 1 Signály oxidace a nitrace v infračervených spektrech [11]

Má-li olej malou termo-oxidační stabilitu nebo je tato dlouhodobým provozem vyčerpána, může docházet k zapékání pístních kroužků. Kroužky v drážkách pístů jsou tísněny úsadami kalů a později i karbonu. Čerpací a těsnicí schopnost kroužků se zhoršuje až k nule. Výkon motoru klesá, roste spotřeba oleje a dochází k profuku spalín do karteru motoru. Tento proces vede k výraznému poklesu parametrů motoru. Účinek je ale nebezpečný ve své plíživosti [10].

5) Nečistoty a saze v motorovém oleji

Mechanické nečistoty. Nejčastějším zdrojem cizích částic v motorovém oleji je nasávaný vzduch, který nikdy není absolutně čistý, ale spolu s ním se nasávají do spalovacího traktu i prachové částice. Velké a střední prachové částice jsou zachyceny na vzduchovém filtru, menší se dostávají do spalovacího prostoru a později jsou z prostoru válce motoru spláchnuty do motorového oleje. Tyto částice mají velikost až několik mikrometrů, jsou velmi tvrdé (jde většinou o částice křemičitého prachu) a tedy hodně abrazivní. Jejich povrch je velmi polární a může přispívat k degradaci olejových přísad [12].

Saze jsou tvořeny téměř čistým uhlíkem a jsou velmi tvrdé s ostrými hranami. Jejich rozměr není příliš velký. Velikost částic sazí je přibližně setina mikrometru, díky aglomeraci a shlukování částic se však jejich velikost zvětšuje na několik setin až jednu desetinu mikrometru. Částice kolem desetiny mikrometru jsou mnohem menší, než je velikost olejového mazacího filmu či velikost pórů olejového filtru. Saze se v motorovém oleji hromadí od počátku nasazení oleje v motoru. Už malé množství sazí v oleji, většinou už i saze ze zbytku staré náplně, způsobí zčernání oleje. Problémy se saze nastávají, pokud je jejich množství v oleji již velmi vysoké. Udává se, že limitní koncentrace sazí je přibližně 3 hmotnostní procenta [12].

6) Detergenty a disperzanty

Detergenty neustále čistí kovové povrchy motoru a uvolňují zárodky různých usazenin, kalů nebo karbonových povlaků z povrchu mazaných dílů. Uvolněné nečistoty však není dobré ponechat v oleji bez dozoru a bez kontroly. Důsledkem by bylo jejich

shlukování, zvětšování rozměrů jednotlivých částic (shluků) nečistot a jejich opětovné usazování v olejovém systému.

Disperzanty. Všechny uvolněné nečistoty od detergentů přebírají disperzanty, které každou částici nečistoty obalí a nepřipustí vzájemné spojování či shlukování částic a jejich následné usazování. Každá molekula disperzantů má jeden konec polární, a ten se přichytí na nečistotě, druhý konec molekuly je nepolární a dokonale rozpustný v oleji. Díky tomuto mechanismu jsou všechny malé částičky nečistot v oleji dobře dispergovány a nemohou se usadit. Rozměr většiny dispergovaných částiček nečistot je dostatečně malý, několik setin až maximálně desetin mikrometru. Je mnohem menší, než je tloušťka mazacího filmu a bez problému také prochází všemi filtry. Takto zajištěné nečistoty proto v oleji nepůsobí žádné podstatné problémy [13].

7) Viskozita

Viskozitní údaje nemají nic společného s kvalitou či životností oleje, ani s kvalitou mazání, ani s tím, zda je olej syntetický či minerální. Viskozitní údaje podávají informaci o tom, jak lehce či obtížně lze olej dopravovat na potřebná místa, jak moc je olej tekutý, řídký či hustý. Tomu se odborně říká čerpatelnost a viskozita oleje. Čerpatelnost oleje se měří při záporných teplotách až $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$, viskozita se měří při $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ viskozimetrem, tedy přibližně při provozní teplotě oleje.

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. Viskozita je tedy jednou z nejdůležitějších vlastností, která ovlivňuje tokové vlastnosti látek. Určuje vlastně režim mazání, tvorbu a únosnost mazacího filmu, velikost odporu pohyblivých částí, těsnící schopnost a čerpatelnost. Vlivem tlaku a teploty se může viskozita oleje měnit. Tyto závislosti určují vlastnosti použitého oleje. Mírou závislosti je viskozitní index [5].

Dynamická viskozita η je veličina, jež charakterizuje míru tření a je konstantou úměrnosti ve vztahu vyjadřujícím přímou úměrnost mezi velikostí tečného napětí τ a rychlostním spádem dv/dz .

Dynamická viskozita se vypočte ze vztahu (1):

$$\tau = \eta \cdot \frac{dv}{dz} \quad (1)$$

kde τ – smykové napětí [Pa],

η – dynamická viskozita [Pa.s],

$\frac{dv}{dz}$ - rychlostní gradient [s^{-1}].

Kinematická viskozita je definována poměrem dynamické viskozity η a hustoty ρ dané kapaliny při téže teplotě a vypočítá se podle vztahu (2):

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (2)$$

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

η – dynamická viskozita [Pa s.],

ρ – hustota [$kg \cdot m^{-3}$].

Kinematická viskozita je ovlivněna zemskou přitažlivostí, proto se měření provádí ve svislé poloze, kdy kapalina teče dolů.

Viskozitní index oleje je bezrozměrná veličina udávající vliv teploty na viskozitu oleje v porovnání s dvěma řadami standardních olejů (oleje z mexické ropy a oleje z pensylvánské ropy), které mají při teplotě 98,89 °C (210 °F) stejnou viskozitu jako zkušební olej. Z toho vyplývá, že oleje s vyšším viskozitním indexem mají příznivější průběh viskozitně-teplotně závislosti než olej s nižším viskozitním indexem [5].

Viskozitní index se vypočte ze vztahu (3):

$$VI = \frac{L-U}{L-H} \cdot 100 = \frac{L-U}{D} \cdot 100 \quad (3)$$

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

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

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

D – (L-H) [5].

Pro velkoobjemové vznětové motory se v praxi většinou povoluje provoz motorového oleje v rozmezí viskozity max. $\pm 20 \%$.

2.2.3 Základní funkce motorových olejů

Mezi základní funkce motorového oleje patří:

- a) Mazání – je základní vlastností a funkcí motorového oleje, kde se požaduje o co nejlepší mazání a tím tak snižovat tření a opotřebení třecích povrchů
- b) Chlazení – zajištění odvodu třecího tepla kluzných párů v motoru a také odvod odpadního tepla
- c) Ochrana proti korozi – příčinou jsou kyselé produkty ze spalování paliva, které jsou obsaženy v oleji vždy a jsou nebezpečným zdrojem koroze, proto musí být chráněn tzv. alkalickou rezervou
- d) Utěsnění spalovacího prostoru – zajišťuje utěsnění pístních kroužků, a tím zabraňuje pronikání zplodin ze spalovacího prostoru
- e) Odplavování nečistot – zajišťuje odplavení i sebemenších nečistot z motorových částí.

2.3 Principy použitých experimentálních metod v Dopravní společnosti Zlín-Otrokovice

2.3.1 Viskozimetr RHEOTEST

K měření dynamické viskozity bylo použito rotačního viskozimetru RHEOTEST, který slouží k zjištění smykové viskozity. Princip rotačního viskozimetru spočívá v určení viskozity z krouticího momentu potřebného pro otáčení předmětu ve zkoumané kapalině. U tohoto viskozimetru (obr. 2) je využito typu geometrie dvou sousedních válců, kdy vnitřní válec se otáčí a vnější je pevný.

Vnitřní válec koná rotační pohyb, přičemž je spojen s měřicí hřídelí s válcovou šroubovitou pružinou, jejíž výchylka je mírou točivého momentu, působícího na vnitřní válec. Vychýlení pružinové článku je snímáno voltmetrem, na kterém je na displeji zobrazena hodnota výchylky.



Obr. 2 Viskozimetr RHEOTEST [foto autor]

2.3.2 Karbonizační zbytek

Metoda je určena ke stanovení obsahu mechanických nečistot z použitého motorového oleje, kde se zjišťuje znečištění oleje uhlíkovými produkty (karbonem).

Obsah karbonizačního zbytku se měří na přístroji TCM-U pomocí infračerveného světla.



Obr. 3 Přístroj TCM-U [foto autor]

Popis přístroje TCM-U:

Tímto přístrojem (obr. 3) se provádí dvě měření, a to měření karbonizačního zbytku a měření obsahu vody v oleji. V levé polovině se nachází čtyřmístný display, na kterém se zobrazují hodnoty naměřeného karbonizačního zbytku. Vlevo dole je podavač mikrokyvet vybavený clonkou, která je vyjímatelná. Vpravo nahoře je tlačítko pro uvedení přístroje v činnost a hned vedle další tlačítko „topení“, které slouží pro uvedení aplikátoru vody v činnost. Na pravé straně přístroje se dále nachází led dioda, která slouží k indikaci dosažení teploty aplikátoru vody.

2.3.3 Měření obsahu vody v oleji

Měření obsahu vody v oleji se v DSZO měří jednoduchou metodou kvalitativního ohodnocení, jakou je prskací metoda. Principem této metody je zahřátí malého množství oleje na rozpálené kovové plotýnce. Podle prskavého zvuku se usuzuje na přítomnost vody. Olej se na horké ploše rozptyluje do šířky a v případě, že vzorek neobsahuje ani

stopy vlhkosti zůstává povrch skvrny zcela stejnorodý bez vzniku jakýchkoliv bublinek. Spodní mezí rozlišitelnosti při této metodě je obsah vody 0,02 %, kdy se vytváří několik mikrobublinek s vířivým pohybem uvnitř skvrny. Při obsahu 0,1 % vznikají drobné bublinky (0,5 mm) po dobu 1 – 2 s., při obsahu 0,2 % drobné bublinky (1 mm) po dobu asi 3 s.

Obsah vody v motorovém oleji se měří na přístroji TCM-U. Na měřicím přístroji (obr. 4) na vrchní části je napevno přidělána kovová plotýnka, ve které se vzorek analyzuje.



Obr. 4 Plotýnka na měření obsahu vody v oleji [foto autor]

2.3.4 Ferrografická analýza

Ferrografie je tribodiagnostická metoda, založená na oddělení cizorodých částic, které jsou obsaženy v olejové náplni mazacích soustav. K této metodě se využívá sedimentace částic na speciální podložce při průtoku vzorku oleje v silném nehomogenním magnetickém poli.

Popisuje zachycené částice obíhající společně s olejem a přiřazuje je jednotlivým mechanismům opotřebení. Tato bezdemontážní diagnostická metoda umožňuje objektivně určit režim opotřebení mazaného stroje. Lze určit počet otěrových částic

a dále pak umožňuje odhalit blížící se poruchu stroje. V některých případech lze určit i místo vzniku otěrových částic, což má pro posuzování opotřebení strojního zařízení mimořádný význam.

Touto metodou byly na ferrografu PMA 90s (obr. 5), provedeny analýzy olejů vybraných autobusů. Částice se usazují podle své velikosti a dělí se pak do dvou skupin:

- „malé“ částice D_S – menší než $15\ \mu\text{m}$, odpovídají normálnímu adhezivnímu opotřebení

- „velké“ částice D_L – větší než $15\ \mu\text{m}$, nárůst četnosti jejich zachycení je varovným příznakem blížící se poruchy dílů, omývaných olejem

Na ferrografu jsou v přední části umístěny dva displeje, první pod označením D_L pro hodnoty velkých otěrových částic a vedle druhý displej označen D_S pro hodnoty malých otěrových částic.

WPC (celkový počet částic) je parametr, který udává intenzitu opotřebení, tedy stav motoru. Výsledkem WPC je součet malých a velkých otěrových částic.

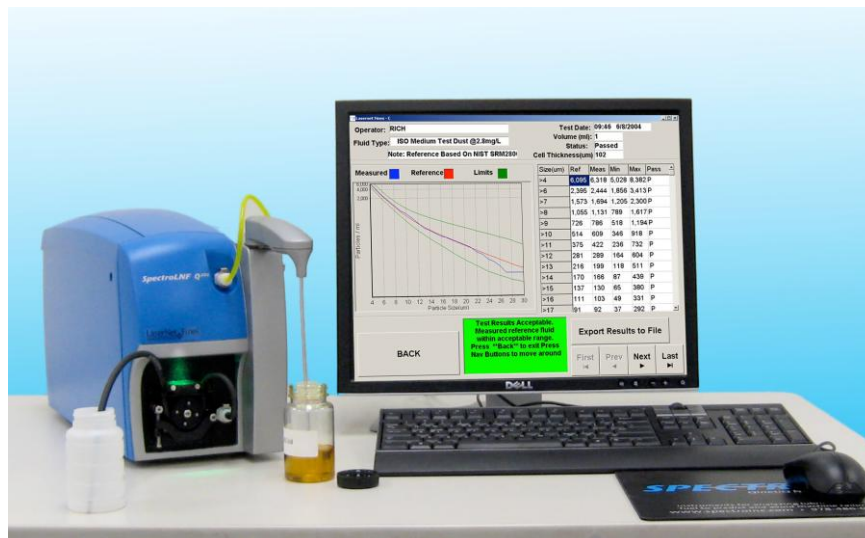


Obr. 5 Kapilárový ferrograf PMA 90s [foto autor]

2.4 Principy použitých experimentálních metod v tribotechnické laboratoři DFJP

2.4.1 Analýza částic laserovým analyzátořem

SpectroLNF Q200 viz obr. 6 je stolní přístroj pro rozборы vzorků hydraulických a mazacích olejů z nejrůznějších typů strojních zařízení, které jsou součástí programu sledování pracovních podmínek daného strojního vybavení. Sledování je založeno především na morfologické analýze ořetrových částic, pocházejících z vnitřních částí stroje. Druhou možností aplikace SpectroLNF Q200 je počítání částic. Lze tak získat hodnotící posudek o částicích nalezených ve vzorku kapaliny spolu s historickým přehledem předchozích výsledků ze zařízení.



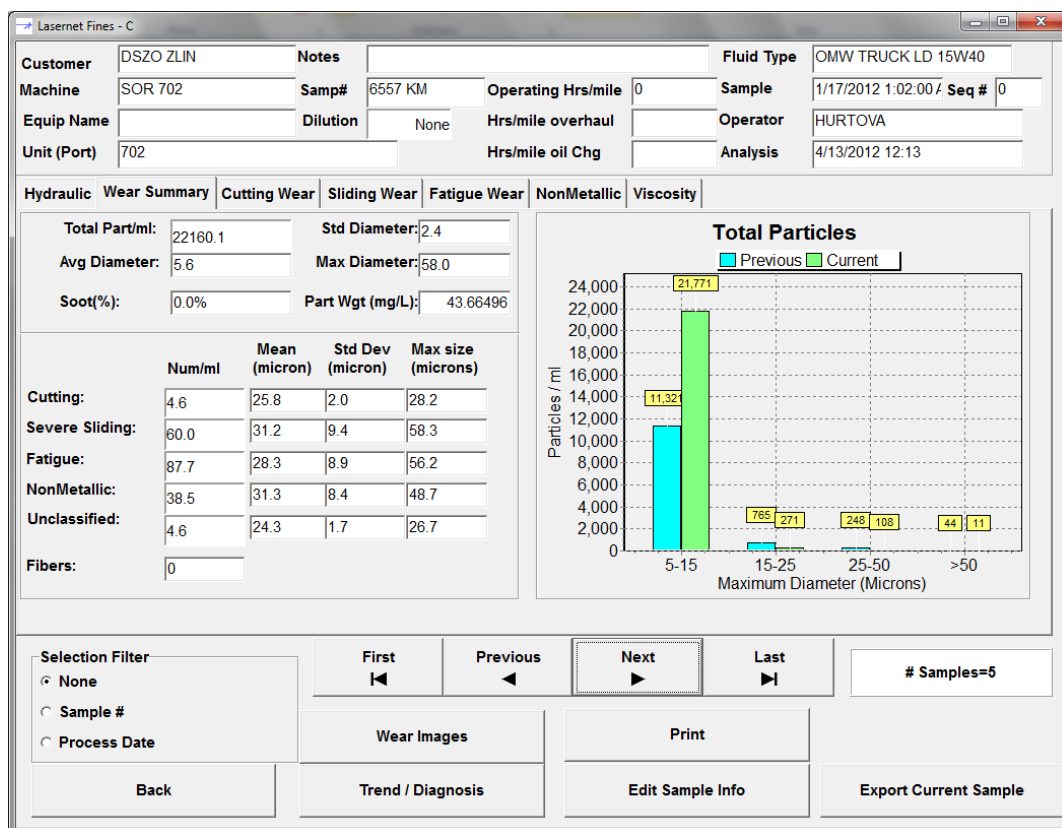
Obr. 6 SpectroLNF Q200 [20]

SpectroLNF Q200 kombinuje standardní techniky olejové analýzy – sčítání částic, klasifikace tvaru a měření viskozity pomocí jednoho jediného analytického přístroje. Systémy taktické obrany (Lockheed Martin Tactical Defense Systems) vyvinuly SpectroLNF Q200 ve spolupráci s Námořními výzkumnými laboratořemi pro Úřad námořního výzkumu. SpectroLNF Q200 je automatický mikroskop, který zachycuje siluetu obrazu částic v oleji, procházejícím přes celou širokou 100 µm. Pomocí

zvětšovací optiky, výkonného pulsního laseru a video kamery je zachycen obraz vzorku, který je dále uložen v paměti počítače. Objekty jsou analyzovány s hlediska maximální velikosti a několika charakteristických tvarů [20].

Klasifikace tvaru částic jsou optimálně zařazeny mezi dané třídy opotřebení: otěrů, únavy materiálu, hrubé skluzy, nekovy, volné vodní kapky a vlákna.

Vyhodnocení počtu částic provádí SpectroLNF Q200 ukládáním a zpracováváním tisíce obrazů. Je zachycen aktuální tvar každé částice, vypočítává se i kruhový průměr každé částice od 4 do >100 μm pro stanovení NAS, NAVAIR a ISO kódů čistoty. V tabulce „Souhrnu opotřebení“ (obr. 7), lze odečíst celkový počet částic na 1 ml a jejich statistické rozdělení podle velikosti, kde se měří maximální průměr. V tabulce „Total Particles“ je zobrazeno výsledné měření (zelená) a porovnáno s výsledky předchozího měření (modrá).



Obr. 7 Zobrazení výsledků LNF v tabulce „Souhrn opotřebení“

Všechny částice větší jak 20 μm jsou roztríděny podle jejich typického tvaru do tříd. Třídy zahrnují: únavové, abrazivní, kluzné a nekovové částice, vodní kapénky, bublinky vzduchu, vlákna a neidentifikovatelné částice. Každou částici je možno vybrat pro její zvětšení a zobrazit její rozměry.

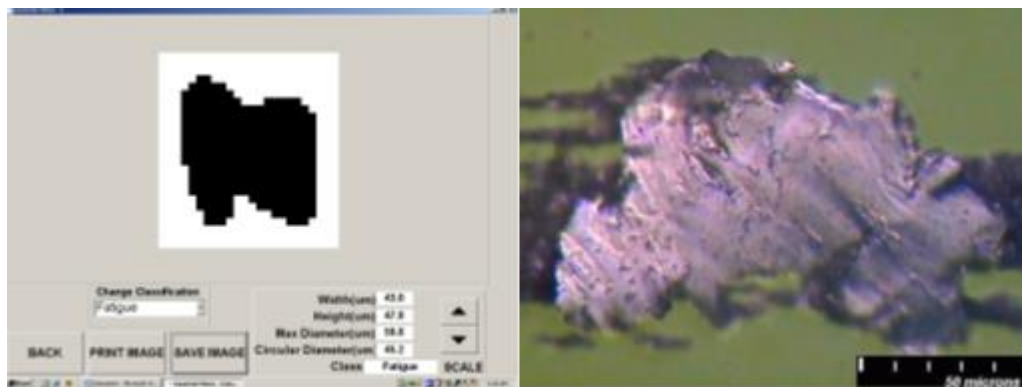
Viskozitu SpectroLNF Q200 umožňuje stanovit ze vzorku ve stejném čase, když se provádí jeho analýza velikosti a klasifikace částic. Teplota měřeného vzorku a tedy viskozita je udávána při 40 °C. Měření dynamické viskozity se udává v jednotkách Centipoise (cP).

Výhody měření SpectroLNF Q200:

- využití algoritmů pro analýzu tvarů opotřebených částic a posouzení stavu stroje
- obsahuje vestavěný datový základ pro stavení trendů stroje
- v továrně je již nastaven, proto kalibrace není nutná
- umí zpracovat koncentrace částic 5 000 000 částic/ml, a zahrnuje vestavěnou databázi pro sledování stavů strojů

Srovnání tvarů částic z ferrografie a charakterizace částic:

Na obr. 8 je uveden příklad porovnávání tvaru jedné a té samé částice.



Obr. 8 Únavové opotřebení [19]

2.4.2 Infračervená spektrometrie

Infračervená spektroskopie je analytická technika určená především pro identifikaci a strukturní charakterizaci organických sloučenin a také pro stanovení anorganických látek. Tato technika měří pohlcení infračerveného záření o různé vlnové délce analyzovaným materiálem. Infračerveným zářením je elektromagnetické záření v rozsahu vlnových délek 0.78 – 1000 mm, což odpovídá rozsahu vlnočtů 12800 – 10 cm^{-1} . Celá oblast bývá rozdělena na blízkou (13000 – 4000 cm^{-1}), střední (4000 – 200 cm^{-1}) a vzdálenou infračervenou oblast (200 – 10 cm^{-1}), přičemž nejpoužívanější je střední oblast [14]. V tabulce č. 2 jsou uvedeny vlnočty charakteristických sloučenin a funkčních skupin.

Tab. 2 Vlnočty charakteristických sloučenin a strukturních skupin [18]

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

V minulosti byla infračervená spektroskopie používána k identifikaci chemické struktury látek již od 30. let 20. století. Původní disperzní spektrometry pracující na principu rozkladu světla neumožňovaly analýzu silně absorbujících matric. Pevné vzorky byly omezeny na práškové materiály, které byly většinou smíchané se speciálním olejem (nujol).

V 80. letech 20. století dochází k rozšíření infračervených spektrometrů s Fourierovou transformací (FTIR). Tyto přístroje pracují na principu interferenci (vzájemné ovlivňování) spekter. Na rozdíl od disperzních přístrojů měří interferogram modulovaného svazku záření po průchodu vzorkem. Pro klasický spektrální záznam tyto přístroje vyžadují matematickou metodu Fourierovy transformace. Výhody tohoto měření spočívají v tom, že na detektor dopadá vždy celý svazek záření, který umožňuje měření i silně absorbujících vzorků. Pro analýzu pevných, nebo kapalných vzorků v odraženém světle lze měřit s nástavci, tzv. reflektanční infračervená spektroskopie.

U spektroskopických metod se studuje množství pohlceného záření v závislosti na jeho vlnové délce nebo vlnočtu, přičemž množství pohlceného světla se vyjadřuje buď transmitancí T , nebo absorbcí A . Zde platí, že transmitance je dána poměrem intenzit prošlého I a původního paprsku I_0 , který je dán vztahem (4):

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (4)$$

Absorbance je definována vztahem dekadického logaritmu $1/T$ a vyjádřen vztahem (5):

$$A = -\log T \quad (5)$$

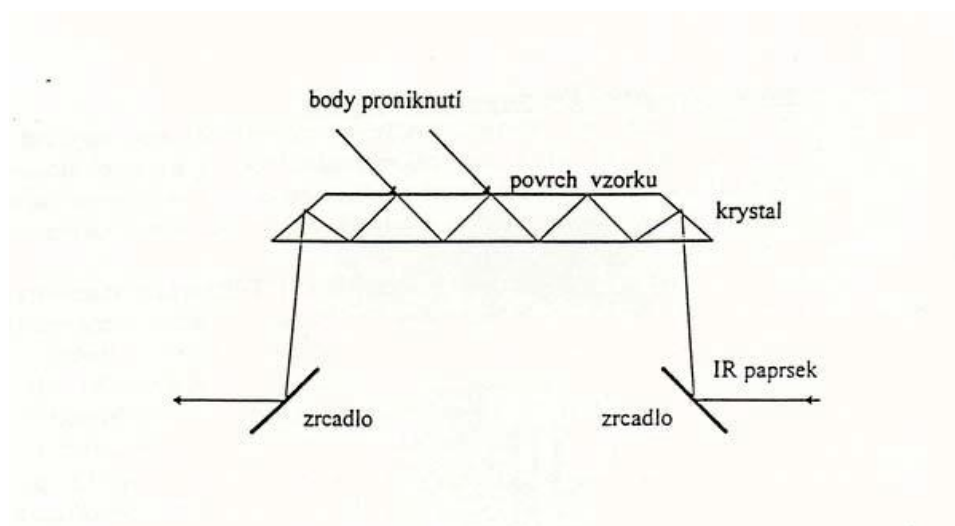
Měřicí technika ATR

K měření vzorků, které silně absorbují infračervené záření, je výhodná technika zeslabené totální reflektance (ATR – Attenuated Total Reflectance). Jedná se o účinnou rychlou metodu, která vyžaduje minimální přípravu vzorku pro analýzu. ATR analýza vzorků FTIR spektrometrií je rychlá, může být automatizována a eliminuje použití toxických rozpouštědel. Technika je založena na principu násobného úplného odrazu

záření na fázovém rozhraní měřeného vzorku a měřícího krystalu z materiálu o vysokém indexu lomu.

Krystal je zpravidla planární, ve tvaru lichoběžníkového hranolu. Svazek paprsků je přiveden do krystalu soustavou zrcadel tak, aby úhel dopadu na fázové rozhraní vyhověl podmínce totálního odrazu. Měřený vzorek je v dokonalém kontaktu s ATR krystalem a záření proniká částečně do analyzovaného materiálu. Pokud měřený vzorek absorbuje záření o určité frekvenci, pak tato složka je v totálně odraženém záření zeslabena. Takto získané spektrum se do značné míry podobá spektru změřenému v transmotačním režimu. Používají se krystaly např. ZnSe, AgCl, Si, Ge, safíru, KRS-5 (směs halogenidů thalných). Dnes se jako standardní měřicí technika používá převážně lichoběžníkového ZnSe krystalu v horizontálním uspořádání [17].

Princip zeslabené totální reflektance je uveden na obr. 9 [18].



Obr. 9 Víceodrazový ATR krystal [18]

ATR spektrum vzorku je ovlivněno vlnovou délkou infračerveného záření poměrem indexů lomu měřeného vzorku a ATR krystalu, efektivní dráhou záření, úhlem dopadu záření na fázové rozhraní a kontaktem mezi měřeným vzorkem a ATR krystalem.

Výsledná hloubka penetrace záření do vzorku je definována vztahem (6):

$$d_p = \frac{\lambda}{2\pi n_k \sqrt{\sin^2 \Theta - \left(\frac{n_v}{n_k}\right)^2}} \quad (6)$$

kde d – je hloubka průniku záření, λ je vlnová délka záření, Θ je úhel dopadu záření na fázové rozhraní a n jsou indexy lomu vzorku a krystalu. Aby došlo k úplnému vnitřnímu odrazu, musí být úhel dopadu větší, než kritický úhel, který je dán vztahem (7):

$$\sin \Theta_m = \frac{n_v}{n_k} \quad (7)$$

Z těchto uvedených výrazů je patrné, že penetrační hloubka infračerveného záření do vzorku závisí na vlnové délce záření. S vlnovou délkou záření se zvyšuje hloubka penetrace.

2.4.3 Atomová emisní spektrometrie

Při této metodě je vzorek oleje v jiskrovém nebo obloukovém zdroji přiveden do plynného stavu a atomizován. Elektrony jednotlivých atomů pohlcením kvanta energie nebo v důsledku srážek přecházejí od základního stavu do excitovaného stavu. Při zpětném přechodu do základního stavu vyzáří atomy energii, rovnou rozdílu příslušných energetických hladin ve formě světelné energie. Hodnota vlnové délky světla, je charakteristická pro každý prvek.

Tato analytická metoda je založená na vybuzení, detekci a vyhodnocení emisního spektra vzorku. Prvním krokem této techniky je “rozbití” vzorku na atomy, jejich současná ionizace a excitace. Toho se dosahuje působením vysokých teplot (stovky až tisíce °C) na vzorek, například v plameni speciálního hořáku, v elektrickém oblouku, v silnoproudém výboji nebo pomocí laserového paprsku. Výsledkem je tzv. **plazma**, horká “směs” ionizovaných a excitovaných atomů. Celý děj probíhá v ochranném prostředí (nejčastěji v plynném argonu), aby se zabránilo reakcím mezi ionty a složkami atmosféry [15].

Excitace atomů spočívá v energetických přeskočích elektronů v atomových obalech. V důsledku dodání velkého množství tepelné energie elektronu v atomovém obalu dojde k jeho přeskoku na vyšší energetickou hladinu. Vzniklá “díra”, **vakance** je okamžitě obsazena jiným elektronem, který “seskočí” z vyšší energetické hladiny. Přitom se v důsledku zákona zachování energie uvolní energie ve formě fotonu (záření) o určité vlnové délce. Tento jev se nazývá **emise** a jeho výsledkem je **emisní spektrum** atomu. Emisní spektrum je pro každý prvek charakteristické [15].

Spectroil Q100 (obr. 10), kterým byly vzorky olejů analyzovány je kompletně polovodičový spektrometr, specificky navržen pro analýzu olejových vzorků. Měří obsah stopových prvků rozpuštěných nebo nanesených jako jemné částice v minerálních nebo syntetických výrobcích na bázi ropy za použití dlouhodobě ověřené a spolehlivé techniky s rotační diskovou elektrodou (RDE) [16].

Spectroil Q100 využívá jednoduchost pro analýzu olejů na celém světě. Jedná se o rychlou analýzu otěrových kovů, kontaminantů a aditiv v mazivech. Spectroil Q100 splňuje požadavky standardní metody ASTM D6595 pro stanovení otěrových kovů a kontaminantů v použitých mazacích olejích, nebo hydraulických směsí pomocí atomových emisních spektrometrů s rotační diskovou elektrodou [16].



Obr. 10 Spectroil Q100[16]

Vlastnosti tohoto přístroje jsou:

- Vyhovuje požadavkům ASTM standartní metody D6595
- Vzorke jsou použity bez předchozí složité přípravy
- Čas analýzy je kolem 30 sekund
- Je snadno transportovatelný
- Analýza až 32 prvků
- Jednoduchý provoz bez speciálních školení a znalostí
- Řízený externím počítačem s operačním systémem Windows [16].

Výsledkem měření je laboratorní protokol, kde jsou uvedeny koncentrace různých kovů v oleji. Koncentrace se uvádí v jednotkách ppm. Zkratka ppm znamená "part per milion", jedno ppm je tedy jedna miliontina celku. Je to obdoba procent, kdy jedno procento (part per cent) je jedna setina celku. Jestliže dáme tyto dvě vyjádření dohromady, jedno ppm je jedna desetitisícina procenta (0,0001 %) [7].

Tab. 3 Limitní koncentrace kovů v motorovém oleji [7]

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

V tabulce č. 3 jsou uvedeny hodnoty koncentrací konstrukčních kovů v motorovém oleji z velkého vznětového a zážehového motoru. Jsou zde uvedeny tři limity: oblast normálního provozu, oblast zvýšeného tření a opotřebení a oblast nebezpečného až havarijního opotřebení [7].

Je třeba říci, že tyto limitní hodnoty jsou specifické pro každou značku automobilu. Výrobci velkých vznětových motorů obvykle uvádějí pro všechny typy svých motorů jednotné limity koncentrací kovů. Avšak limity udávané různými výrobci mohou být odlišné [7].

2.4.4 Stanovení obsahu nečistot v oleji denzimetrem REO-31

Metoda je určena ke stanovení obsahu mechanických nečistot z použitého motorového oleje, který se znečišťuje uhlíkovými produkty (karbonem). Vstupní elektronika vyhodnocuje intenzitu a přeměňuje ji na úroveň stejnosměrného napětí tak, aby přístroj přímo zobrazoval znečištění v procentech.

Denzimetr umožňuje semikvantitativní stanovení celkového znečištění oleje. Pracuje na principu měření intenzity světla odraženého od vzorku oleje naneseného na speciální fólii (chromatografická folie Silufol). Příprava vzorku je velmi rychlá a spočívá v ponoření proužku folie do oleje naředěného technickým benzinem. Po vysušení se vzorek zasune do přístroje. Podle ztmavnutí se mění intenzita odraženého světla, která se snímá optočidlem, Výsledkem je přiřazení číselné hodnoty, která se zobrazí na displeji jako procento nečistot.

Způsob hodnocení je velmi jednoduchý, rychlý a ekologický oproti prováděnému stanovení podle základních norem. Metoda hodnocení je dostatečně přesná pro tribodiagnostiku motorových olejů v provozních podmínkách. Použitelnost výsledků pro provozní měření potvrzuje už téměř dvacetileté používání tohoto přístroje [21].

3. Experimentální část

Experimentální část této práce se zabývá analýzami a hodnocením motorových olejů vybraných autobusů, které byly provedeny v laboratoři DSZO a v tribotechnické laboratoři DFJP a jejich vzájemným porovnáním.

Výběr autobusů se prováděl na základě několika odlišností, jako např. rok výroby, typy vozů a v neposlední řadě byly vybrány autobusy s odlišnou emisní normou (EURO2 až EURO5). První vzorky olejů se odebraly v měsíci říjnu, kdy měly vybrané vozy půl roku před výměnou celé olejové náplně. I když nebude sledována celá historie olejové náplně každého autobusu, i tak bude patrné postupné degradování olejů, které proběhlo v období 6 měsíců.

Dalším výběrem byl autobus SOR B 9,5 č. 702, který se liší od ostatních vozů v intervalech výměny oleje. U všech autobusů vozového parku DSZO byly na základě dlouholetých provozních zkušeností, zkoumání a analýz prováděných v místní laboratoři výměnné intervaly olejové náplně prodlouženy, než udává výrobce. U autobusů značky SOR se však interval výměny oleje musel zkrátit, vzhledem k vysokému stupni degradace, opět na základě provedených laboratorních zkoušek.

Během doby, kdy byly odebírány vzorky, se podle potřeby doplňoval olej, což má vliv na jeho zkvalitnění a obnovení mazacích vlastností. Tento regenerační proces, jakým doplňování oleje bezesporu je, byl u jednotlivých autobusů zaznamenán a v práci uveden.

Stejně vzorky se podrobily analýzám v DSZO a to měření viskozity na viskozimetru RHEOTEST, určení karbonizačního zbytku na přístroji TCM-U a zjištění počtu otěrových částí na ferrografu PMA 90s. Výsledky z těchto analýz byly doplněny o analýzy, které byly provedeny na FTIR spektrometru, analyzátoru částic LNF Q200 a denzimetru REO 31 v laboratořích DFJP. Analýzy olejů atomovou emisní spektrometrií byly provedeny na Fakultě vojenských technologií Univerzity obrany v Brně.

3.1 Technické údaje o vybraných autobusech

3.1.1 Autobus č. 659 Renault CityBus 12M

Technické údaje autobusu:

Motor: Renault

Max. výkon: 186 kW při 2 100 ot/min

Zdvihový objem: 9 834 cm³

Počet válců: 6

Kroutící moment: 1 580 Nm

při 1 200ot/min

Vrtání/zdvih: 120/145 mm

Pořadí vstřiku: 1-5-3-6-2-4

Ostatní údaje:

Rok výroby: 2000

Hmotnost pohotovostní: 11 200 kg

Hmotnost celková: 18 000 kg

Objem olejové náplně: 25 l

Vým. oleje daná výrobcem: 40 000 km

Výměna oleje: 50 000 km

Emisní norma: EURO2

Použitý olej: OMW Truck LD SAE 15W40 je motorový olej pro vysoce namáhané přeplňované naftové motory, které svojí moderní aditivací a vysokou alkalickou rezervou umožňují použití pro dlouhé výměnné intervaly oleje při maximálním zatížení.



Obr. 11 Autobus č. 659 Renault CityBus [foto autor]

3.1.2 Autobus č. 667 IrisBus CityBus 12M

Technické údaje autobusu:

Motor: Iveco

Max. výkon: 180 kW při 2 050 ot/min

Zdvihový objem: 7 790 cm³

Počet válců: 6

Kroutící moment: 1 100 Nm

při 1 080-1 500 ot/min

Vrtání/zdvih: 115/125 mm

Pořadí vstříku: 1-4-2-6-3-5

Ostatní údaje:

Rok výroby: 2001

Hmotnost pohotovostní: 11 100 kg

Hmotnost celková: 18 000kg

Objem olejové náplně: 25 l

Vým. oleje daná výrobcem: 40 000 km

Výměna oleje: 50 000 km

Emisní norma: EURO3

Použitý olej: OMW Truck FE Plus SAE 10W40 je syntetický motorový olej UHPD (Ultra High Performance Dieselmotoroil) pro extrémně dlouhé intervaly výměny oleje, který disponuje výraznými lehkoběžnými vlastnostmi a redukuje spotřebu nafty ve všech vysokovýkonných dieselových motorech užitkových vozidel. Je složen z vysoce hodnotných komponent zajišťujících extrémně dlouhou životnost oleje, jeho minimální spotřebu a ekonomický provoz.



Obr. 12 Autobus č. 667 IrisBus CityBus [foto autor]

3.1.3 Autobus č. 673 IrisBus Citelis 12M

Technické údaje autobusu:

Motor: Iveco

Max. výkon: 180 kW při 1 850 ot/min

Zdvih objem: 7 790 cm³

Počet válců: 6

Kroutící moment: 1 100 Nm při

1 040 ot/min

Vrtání/zdvih: 115/125 mm

Pořadí vstříku: 1-4-2-6-3-5

Ostatní údaje:

Rok výroby: 2009

Hmotnost celková: 18 000 kg

Objem olejové náplně: 25 l

Vým. oleje daná výrobcem: 40 000 km

Výměna oleje: 40 000 km

Emisní norma: EURO4

System SCR

Olejová náplň: Urania FE 5W30 je plně syntetický olej, který snižuje spotřebu pohonných hmot až o 4 %, má absolutní ochranu motoru během výměnných intervalů a garantuje dobrý rozjezd za studena. Svou kvalitou a výkonností umožňuje překročit všechny mezinárodní specifikace, vystavené jednotlivými konstruktéry.



Obr. 13 Autobus č. 673 IrisBus Citelis [foto autor]

3.1.4 Autobus č. 702 SOR B 9,5

Technické údaje autobusu:

Motor: Iveco

Max. výkon: 152 kW při 2 700 ot/min

Zdvihový objem: 5 861 cm³

Počet válců: 6

Kroutící moment: 660 Nm při

1 400 ot/min

Vrtání/zdvih: 104/115 mm

Pořadí vstříku: 1-5-3-6-2-4

Ostatní údaje:

Rok výroby: 2000

Hmotnost pohotovostní: 7 300 kg

Hmotnost celková: 12 700 kg

Objem olejové náplně: 12 l

Vým. oleje daná výrobcem: 15 000 km

Výměna oleje: 14 000 km

Emisní norma: EURO2

Použitý olej: OMW Truck LD SAE 15W40 je motorový olej, pro vysoce namáhané přeplňované naftové motory, které svojí moderní aditivací a vysokou alkalickou rezervou umožňují použití pro dlouhé výměnné intervaly oleje při maximálním zatížení.



Obr. 14 Autobus č. 702 SOR B 9,5 [foto autor]

3.1.5 Autobus č. 822 IrisBus CityBus 18M

Technické údaje autobusu:

Motor: Iveco

Max. výkon: 213 kW při 2 050 ot/min

Zdvihový objem: 7 790 cm³

Počet válců: 6

Kroutící moment: 1 100Nm

při 1 080-1 500 ot/min

Vrtání/zdvih: 115/125 mm

Pořadí vstříku: 1-4-2-6-3-5

Ostatní údaje:

Rok výroby: 2002

Hmotnost pohotovostní: 17 300 kg

Hmotnost celková: 28 000 kg

Objem olejové náplně: 25 l

Vým. oleje daná výrobcem: 40 000 km

Výměna oleje: 50 000 km

Emisní norma: EURO3

Použitý olej: : OMW Truck FE Plus SAE 10W40 je syntetický motorový olej UHPD (Ultra High Performance Dieselmotoroil) pro extrémně dlouhé intervaly výměny oleje, který disponuje výraznými lehkoběžnými vlastnostmi a redukuje spotřebu nafty ve všech vysokovýkonných dieselových motorech užitkových vozidel. Je složen z vysoce hodnotných komponent zajišťujících extrémně dlouhou životnost oleje, jeho minimální spotřebu a ekonomický provoz.



Obr. 15 Autobus č. 822 IrisBus CityBus [foto autor]

3.2 Metodika analýz motorových olejů prováděných v DSZO

Správný odběr vzorků

- Nejdůležitějším předpokladem pro správnou diagnostiku stavu motoru je správný odběr vzorků motorového oleje. Při odběru vzorku musí být dodržena základní pravidla:
 - musí být zamezeno vniku různých nečistot do vzorku
 - olej v motoru musí být řádně promíchán, to je zajištěno odběrem za chodu motoru, nebo bezprostředně po jeho zastavení.
 - Vzorkovnicí by měla být nejlépe skleněná nádoba, která musí být náležitě popsána důležitými údaji – např. počet ujetých km, datum odběru, typ oleje, množství doplněného oleje atd.
- Vzorky musejí být odebírány vždy ze stejného místa olejové náplně motoru z důvodu odlišné koncentrace částic v různých místech soustavy.
- Vzorek se odebírá ze střední části nasávacím zařízením, což je hadička se stříkačkou, vše v bezvadné čistotě. Nikdy se olej neodebírá ze dna ani ne z hladiny.

3.2.1 Viskozimetr RHEOTEST

Postup měření:

- 1) Nejprve se připraví olej nový pro kalibraci a olej použitý. Oba sledované vzorky mají pokojovou teplotu cca 22 °C. Zapne se rotační viskozimetr a k němu připojený voltmetr.
- 2) Na vrchní část spodního válce vyjmutého z přístroje se nakape 5-7 kapek nového nepoužitého oleje a nasadí se zpět do držáku k vrchnímu válci viskozimetru.
- 3) Na stupnici mikrometru na spodním válci se hodnota nastaví na 40 j na voltmetru. Údaj se zaznamená.
- 4) Na stupnici mikrometru se vrátí hodnota zpět na nulu a spodní válec se vysune z držáku viskozimetru.
- 5) Odstraní se zbytky nového oleje z ploch obou válců měkkým savým materiálem.

- 6) Stejný postup opakujeme s použitým degradovaným olejem. Hodnota na voltmetru je však menší, než u oleje nového.
- 7) Hodnota viskozity se vyjadřuje jako poměr viskozity použitého oleje ku viskozitě nového oleje.

3.2.2 Měření obsahu vody v oleji

Postup měření:

- 1) Nejprve se zapne přístroj TCM-U v činnost tlačítkem ON. Po rozsvícení zelené kontrolky se zapne tlačítko topení, které signalizuje teplotu topení v podobě červené kontrolky.
- 2) Po jejím zhasnutí cca při teplotě 193 °C se nakapou na plotýnku 2 kapky měřeného použitého oleje.
- 3) Během několika vteřin se objeví reakce, která odhalí přítomnost vody v podobě např. bublinek, nebo pění.
- 4) Pokud vzorek zůstává beze změny, jen s lehkým dýmem nad olejem, je vzorek čistý, bez přítomnosti vody.

3.2.3 Měření karbonizačního zbytku

Postup měření:

- 1) Přístroj se zapne tlačítkem ON.
- 2) Odebraný vzorek se ve vodní lázni zahřeje na 60 °C.
- 3) Poté se intenzivně ručně protřepává.
- 4) Po homogenizaci se odebere 5 ml vzorku oleje do zkumavky a smíchá se s technickým benzínem stejného množství.
- 5) Protřepává se tak dlouho, až stěny zkumavky nevykazují známky nerozpuštěného oleje.
- 6) Injekční stříkačkou se ihned odeberou 2 ml rozředěného oleje a vpraví do kyvety o síle 2,2 mm, přičemž kyvetu držíme ve vodorovné poloze. Plní se jen do 4/5 délky kyvety.

- 7) Kyveta se pečlivě očistí na obou stranách a vloží se do zasouvacího otvoru pro kyvetu na přístroji. Na čtyřmístném displeji se ukáže hodnota měřeného vzorku, z čehož číslo je udáváno jako procento obsahu karbonu. Horní mezní hranice je 5 %.

3.2.4 Ferrografická analýza

Postup měření:

- 1) Nejdříve se zapne kapilárový ferrograf v činnost hlavním tlačítkem na přístroji.
- 2) Do zkumavky se odměří 1 ml vzorku použitého oleje se stejným množstvím technického benzínu a společně se protřepou, až vznikne homogenizovaná směs.
- 3) Do druhé zkumavky se nalije 6 ml nového nepoužitého oleje a stejné množství technického benzínu a spolu se protřepou.
- 4) Obě zkumavky se nasadí do držáku, který je pevně připevněn k přístroji.
- 5) Tenkou hadičku vložíme do zkumavky s novým olejem a nechá se protékat přes tenkostěnnou kapiláru zasazenou v magnetickém poli speciálního magnetu v podobě šikmé podložky, kde na jejím konci je odváděn pomocí odtokové trubičky do odpadní nádoby.
- 6) Hodnoty na obou displejích naskakují.
- 7) Zmáčkne se kalibrační tlačítko „call“ a po době asi 1 minuty se ozve pípnutí, čímž se stanoví kalibrační hodnota.
- 8) Hadička se přendá do zkumavky s použitým olejem a nechá se protékat přes kapiláru až do vyprázdnění zkumavky s tím, že se v hadičce ponechá malé množství zbývajícího oleje.
- 9) Poté se opět hadička přendá do zkumavky s novým olejem. Než začne natékat z hadičky čistý olej do kapiláry, zmáčkne se tlačítko „run“. Přístroj vyhodnocuje hodnoty částic z oleje použitého. Začnou naskakovat hodnoty použitého oleje na obou displejích. Počká se, až se ozve pípnutí.
- 10) Opět se zmáčkne tlačítko run a na displejích se objeví konečné hodnoty malých a velkých částic, které se zaznamenají.
- 11) Součet obou hodnot nám určí hodnotu celkového znečištění.

3.3 Metodika analýz motorových olejů prováděných v tribotechnické laboratoři DFJP

Vzorky olejů byly do laboratoře DFJP přepraveny ve skleněných nádobách o objemu 0,4 l. Před provedením analýz olejů je nejdříve vzorek homogenizován, neboť mezi dobou uchování a provádění analýzy mohlo dojít k sedimentaci částic na stěny, nebo dno nádoby.

3.3.1 Analýza částic laserovým analyzátozem

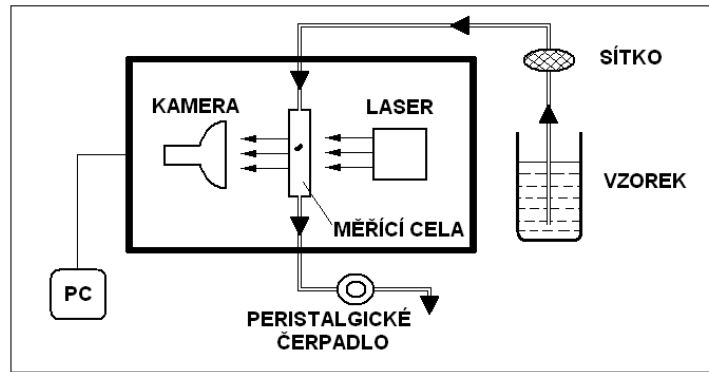
Princip měření:

Pro analýzu olejů byl použit laserový analyzátor částic LaserNet Fines – Q200 (obr. 17). Vzorek oleje je po přípravě vzorku (homogenizace a odstranění bublin) nasáván peristaltickým čerpadlem přes mikrotenové sítko do skleněné měřicí cely o tloušťce 100 μm (obr. 16). Celou prochází paprsky impulsového laseru, které dopadají na pozadí snímané CCD digitální kamerou, která zachytí siluetu obrazu částic vzorku oleje protékajícího buňkou.

V průběhu zpracování vzorku se analyzují snímky dat (obrázky průtočné cely) rychlostí asi 30 snímků za sekundu tj. asi 5400 záběrů na 1 ml oleje. Obraz je digitalizován, softwarově zpracován a převeden na obrazovku počítače, kde se zobrazují siluety částic.

Pro stanovení průběhu opotřebení lze zobrazit celkový počet částic na 1 ml a jejich statistické rozdělení podle velikosti. Všechny částice větší jak 20 μm jsou roztříděny podle jejich typického tvaru do kategorií (podle mechanismu vzniku): abrazivní, kluzné, únavové, nekovové a jsou statisticky vyhodnocovány. Vzduchové bubliny větší než 20 μm jsou ignorovány a laser je dostatečně silný, aby dokázal zpracovat i silně černé oleje.

Dále analyzátor poskytuje dynamickou viskozitu vzorku ve stejnou dobu, kdy vykonává klasifikaci a počet částic.



Obr. 16 schéma přístroje LNF [23]

Dynamická viskozita je uvedeny v centipoise (cP) při teplotě 40 °C. Viskozita je měřena pomocí průtoku a tlakové ztráty na průtoku unikátní buňky. Toto měření nevyžaduje kalibraci.



Obr. 17 Pracoviště analýzy LNF s ultrazvukovou lázní vpravo [foto autor]

Postup měření:

- 1) Před samotným měřením se vzorek musí dostatečně homogenizovat pomocí třepačky (obr. 18) po dobu 8 minut, aby se zajistilo rovnoměrného rozptýlení sedimentovaných částic v oleji.
- 2) Pomocí ultrazvukové lázně (obr. 17) po dobu 3 minut se z oleje odstraní vzduchové bubliny, které vznikly mícháním na třepačce.

- 3) Zapne se PC a v menu měřicího softwaru se zapíše parametry měřeného vozidla.
- 4) Průtoková měřicí cela se nejdříve propláchne rozpouštědlem, která celu vyčistí od zbývajícího neznámého oleje. Po vyhodnocení čisté cely se ozve pípnutí.
- 5) Vzorek oleje připravený po ultrazvukové lázni se ihned postaví k měřicí cele a nechá se nasávat pomocí hadičky. Spustí se vlastní měření.



Obr. 18 Třepačka [foto autor]

- 6) Po ukončení měření software přístroje automaticky vyhodnotí výsledky v podobě počtu a tvaru částic, vyhodnotí i dynamickou viskozitu.
- 7) Před každou novou analýzou je vstupní cela vymývána rozpouštědlem.

3.3.2 Infračervená spektrometrie

Princip měření:

K měření infračervené spektrometrie byl použitý FT-IR spektrometr Thermo Scientific Nicolet iS10, s programovým vybavením OMNIC.

Infračervený spektrometr (obr. 19) ovládaný pomocí spektroskopického softwaru Omnic umožňuje nejen nastavení vhodných parametrů spektrometru a řízení vlastního měření, ale jeho použitím lze naměřená spektra i vhodně upravit a podrobně analyzovat. Vzorky olejů byly analyzovány technikou úplné zeslabené reflektance (ATR).



Obr. 19 Pracoviště pro metodu FT-IR [foto autor]

Základní technické parametry přístroje Nicolet iS 10:

FTIR spektrometr pro střední IČ oblast

ATR krystal ZnSe

Spektrální rozsah: $650\text{--}4\,000\text{ cm}^{-1}$

Počet skenů: 64

Rozlišení: 4 cm^{-1}

Postup měření:

- 1) Nejdříve spustíme software OMNIC na PC, propojeném s měřícím zařízením Nicolet iS10.
- 2) Krystal vyjmeme z přístroje a řádně se vyčistí Hexanem C_6H_{14} za pomoci měkkého materiálu.
- 3) V programu OMNIC 8. 1. 11. se pomocí funkce COLLECT BACKGROUND změří pozadí, čímž se eliminuje vliv nečistot na povrchu krystalu při měření spektra vzorku motorového oleje.
- 4) Na čistý krystal se nanese speciální lžičkou (aby se nepoškrábal povrch krystalu) tenká souvislá vrstva vzorku oleje a vloží se do přístroje.

- 5) Volbou COLLECT SAMPLE v programu OMNIC 8. 1. 11. se spustí měření spekter vzorku oleje.
- 6) Po dokončení měření se v dialogovém okně na obrazovce objeví spektrum odpovídající danému motorovému oleji.
- 7) Naměřené spektrum v okně na obrazovce se uloží na disk k dalšímu použití.
- 8) Krystal se vyjme z přístroje a důkladně se očistí Hexanem C_6H_{14} , aby se mohl použít k analýze dalšího vzorku.

3.3.3 Atomová emisní spektrometrie

Výsledky spektrometrické stopové analýzy obsahu prvků v opotřebených motorových olejích, které mohou jednak charakterizovat koncentraci otěrových konstrukčních kovů motoru, průnik kontaminantů do olejové náplně či změnu koncentrace aditiv ve srovnání s jejich koncentrací v novém oleji, byly provedeny na pracovišti Fakulty vojenských technologií Univerzity obrany.

3.3.4 Stanovení obsahu nečistot pomocí denzimetru REO 31

Princip měření:

Přístroj (obr. 20) měří znečištění motorového oleje a karbonizační zbytek na principu měření intenzity světla odraženého od vzorku oleje, který je nanesen na speciální chromatografické fólii. Procentický obsah nečistot se přímo zobrazuje na displeji, kde druhé desetinné místo je pouze orientační.

Základní technické parametry denzimetru REO 31 [22]:

Napájení:	110 V/ 60 Hz 50 VA,	rozměry:	280 x 220 x 280mm,
Hmotnost:	4,0 kg,	měřicí rozsah:	0 – 500 μ m,
provozní teplota okolí:	18 – 30 °C,	doba měření:	4 nebo 8 min.



Obr. 20 REO 31 Denzimeter [foto autor]

Koeficient korelace mezi metodou Conradsonova karbonizačního zbytku a metodou REO vychází v rozsahu 0,82 – 0,88.

Postup měření:

- 1) Přístroj je zapne a ponechá se 2 hod. na ustálení.
- 2) Mezi tím se chromatografické fólie nastříhá na proužky o velikosti 9 x 100 mm. Počet proužků závisí na počtu vzorků.
- 3) Proveďte se kalibrace přístroje pomocí čistého chromatografického proužku, který se zasune do otvoru a hodnota na displeji se vynuluje.
- 4) 1 ml zkoušeného oleje byl odměřen do zkumavky a k tomu přidáno 24 ml technického benzínu, a posléze následovalo důkladné protřepání směsi.
- 5) Do zkumavky se ponoří proužek chromatografické fólie. Po vytažení fólie ze zkumavky se krátce vloží do zkumavky s čistým technickým benzínem a následně se nechá usušit ve svislé poloze.
- 6) Takto připravený vzorek se zasune aktivní stranou do otvoru na přístroje.
- 7) Vsunovací otvor se zvednul do horní polohy. Následně byla na displeji zobrazena hodnota v % celkového znečištění.

3.4 Výsledky měření a jejich interpretace

3.4.1 Autobus č. 659

U autobusu č. 659 byl první vzorek odebrán při celkově najetých 457 653 km. Na olejovou náplň bylo najeto 20 936 km. Datum odběrů, najeté kilometry a dolévání oleje jsou uvedeny v tabulce č. 4a, b. Vzhledem k tomu, že měl autobus dopravní nehodu a byl odstaven k opravě, nebylo možné provést analýzy oleje až do výměny celé olejové náplně. Během prováděných analýz byl doléván olej, jak je dále uvedeno.

Tab. 4a Přehled o autobusu č. 659 (najeté km)

Autobus č. 659			
Číslo odběru	Datum odběru	Najeté km	Najeté km na olej
1	12. 10. 2011	457 653	20 936
2	14. 12. 2011	465 750	29 033
3	29. 2. 2012	471 521	34 804
4	4. 4. 2012	476 056	39 339

Tab. 4b Přehled o autobusu č. 659 (dolévání oleje)

Datum	Množství [l]	Datum	Množství [l]	Datum	Množství [l]
17. 3. 2011	25,1	6. 6. 2011	4,08	18. 7. 2011	8,09
23. 9. 2011	3,58	12. 10. 2011	0,24	31. 10. 2011	5,08
25. 11. 2011	6,17	10. 1. 2012	6,12	13. 3. 2012	5,7

Analýzy prováděné v laboratoři DSZO

Všechny analýzy olejů byly prováděny v laboratoři DSZO a naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 5. Jak je vidět z naměřených hodnot, lze usuzovat vliv dolévání oleje na celkový stav degradace oleje. U výsledků karbonizačního zbytku, kde mezní horní hranice je 5 %, se hodnoty výrazně nezhoršují, přesto lze konstatovat, že se k mezní hranici blíží.

Tab. 5 Analýzy s výsledky prováděné v DSZO

Číslo vozu 659	Analýzy					
Datum odběru oleje	DL	DS	WPC	CN (%)	V (%)	VS (%)
12. 10. 2011	72	49	121	4,27	0	84,6
14. 12. 2011	69	52	121	4,47	0	84,9
29. 2. 2012	58	50	108	4,52	0	84,7
4. 4. 2012	73	50	123	4,68	0	82,6

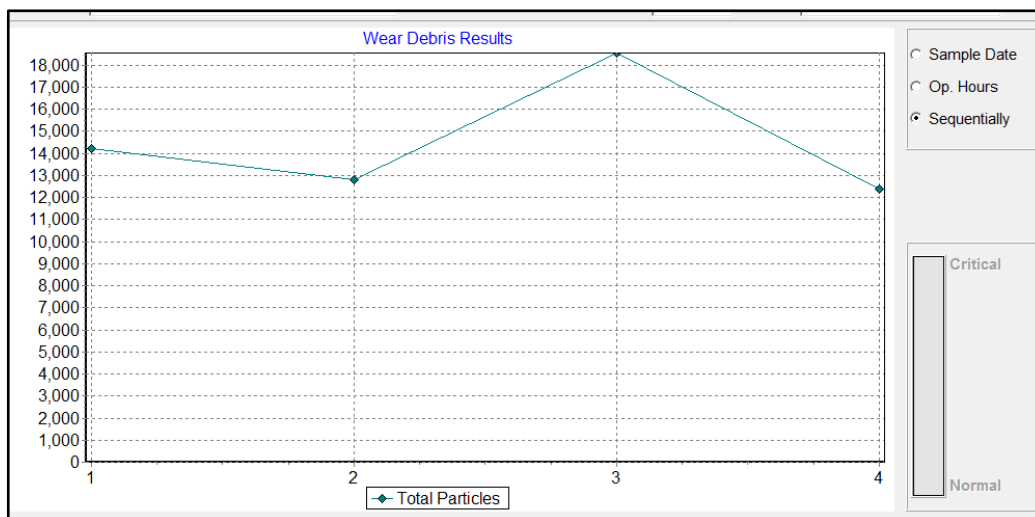
Vysvětlivky: DL-velké částice, DS-malé částice, WPC-celkové množství částic, CN-karbon. zbytek, V-obsah vody, VS-viskozita,

U výsledků ferrografie se hodnoty od sebe navzájem příliš neliší, lze je tedy považovat jako hodnoty přípustné. Přítomnost obsahu vody nebyla v olejové náplni prokázána. Průběžné hodnoty viskozity se sice snižují, ale přesto je můžeme pokládat za uspokojivé.

Analýzy prováděné v laboratořích DFJP

Analýzátor částic

Na přístroji LNF Q200 byl zaznamenán trend celkového znečištění (obr. 21), který vypovídá o nestejném obsahu částic všech velikostí v odebraných vzorcích. Pro lepší orientaci jsou v tabulce č. 6 pro jednotlivé odběry zaznamenány počty částic tak, jak byly klasifikovány do jednotlivých tříd, a na obrázku č. 22 je zobrazen trendový graf celkového znečištění jednotlivých odebraných vzorků olejů. Během provozu autobusu byl motorový olej doplňován (tab. 4b).

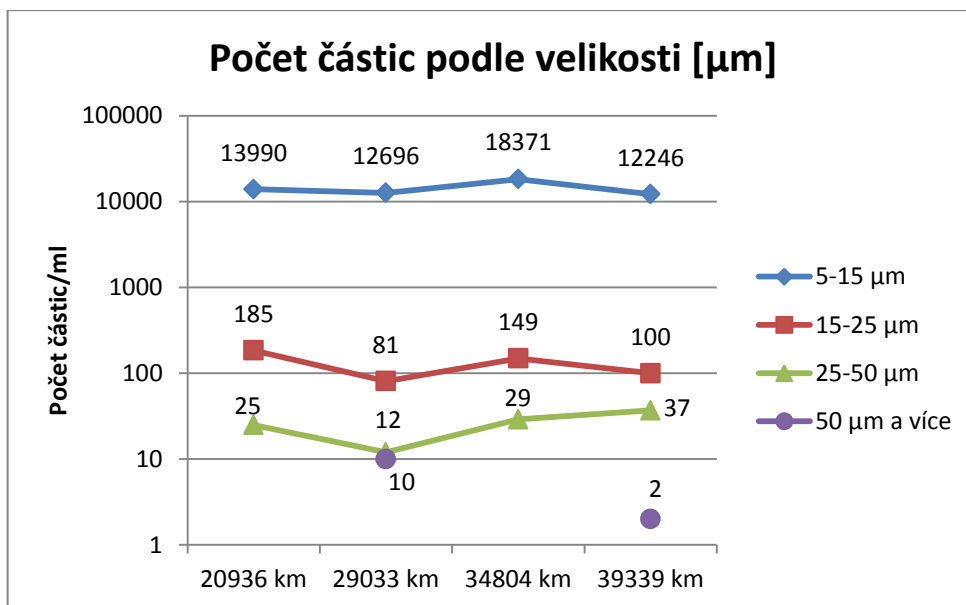


Obr. 21 Trend celkového znečištění

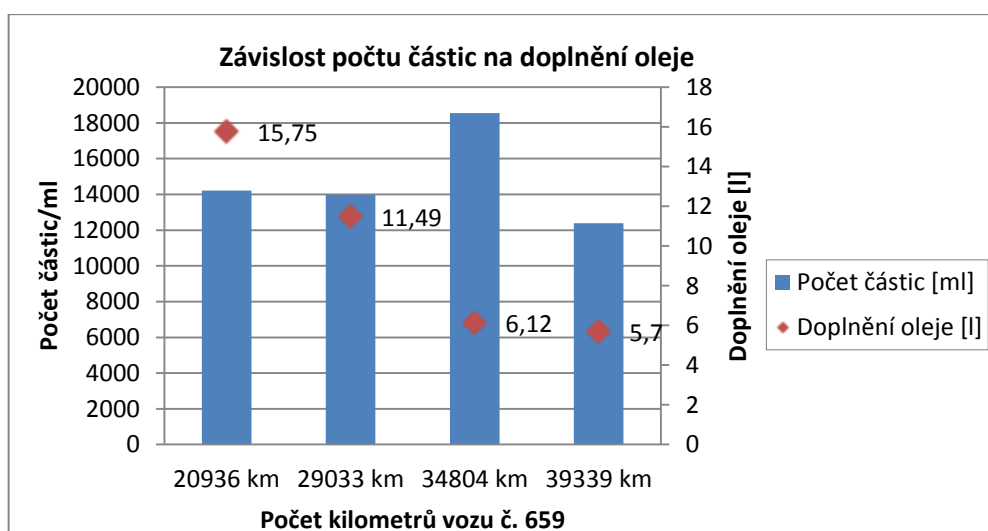
Tab. 6 Počty částic podle jejich velikosti

659	VELIKOSTI ČÁSTIC [μm]				Celkový počet částic
	Číslo měření	5 – 15	15 – 25	25 – 50	
1	13 990	185	25	-	14 210
2	12 696	81	12	10	13 987
3	18 371	149	29	-	18 549
4	12 246	100	37	2	12 385

Pro lepší přehlednost je na obrázku č. 23 pro jednotlivé odebrané vzorky olejových náplní zobrazen vliv doplnění nového oleje na celkový počet částic v 1 ml. Doplněný oleje mezi odebranými vzorky byl sečten a přímo vyneseno do grafu provedeného v EXCELU.



Obr. 22 Počet částic podle velikosti



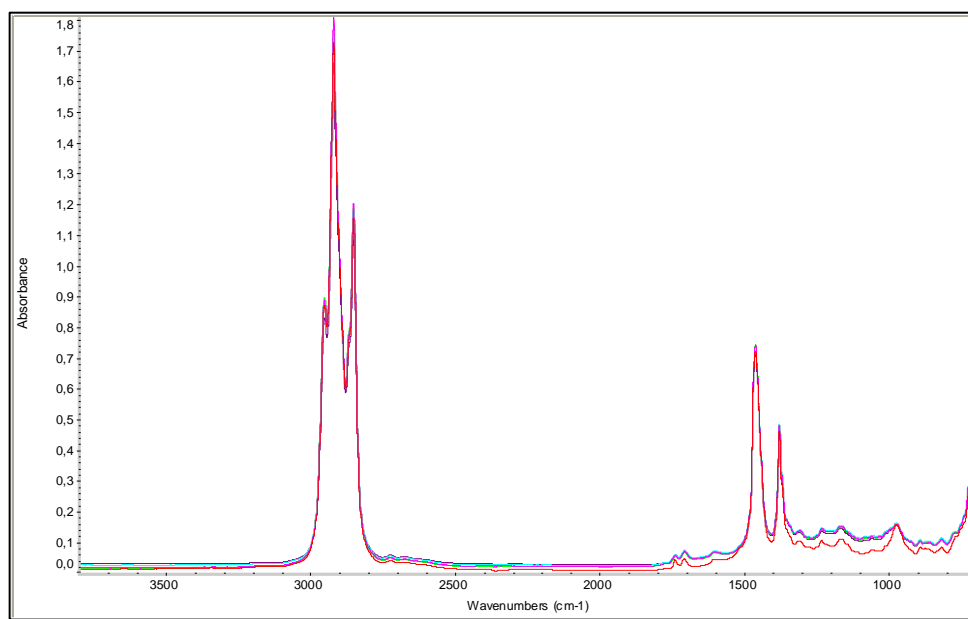
Obr. 23 Závislost počtu částic na doplnění oleje

FTIR spektrometrie

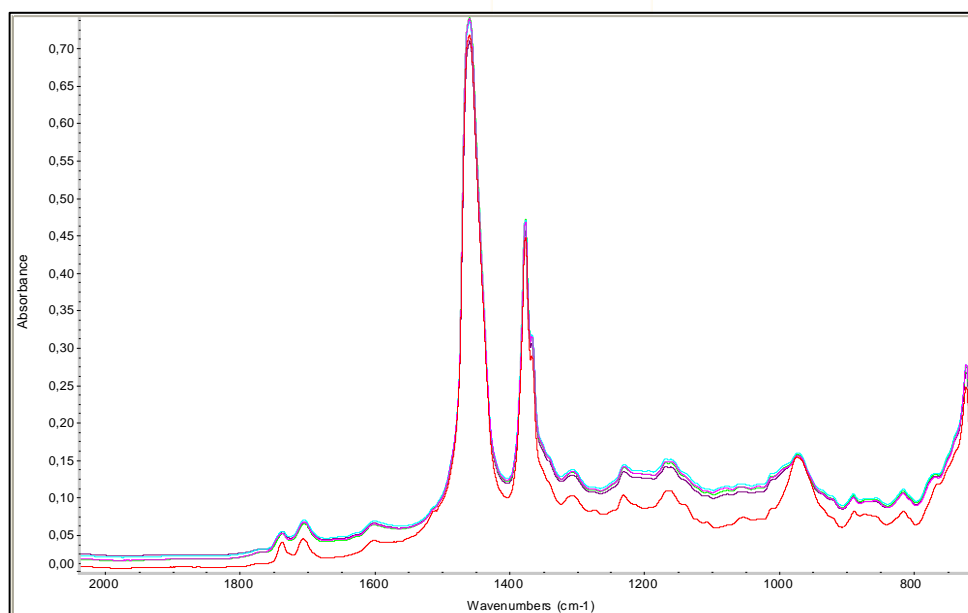
Na obrázku č. 24 je zobrazeno infračervené spektrum v měřeném rozsahu od $3800 - 800 \text{ cm}^{-1}$. Porovnáním nového motorového oleje (červená barva)

s opotřebeným olejem č. 659 lze konstatovat, že nedošlo k průnikům žádných kontaminantů do oleje (nevyskytly se žádné nové pásy v spektru opotřebeného oleje).

Kolem oblasti absorpance 950 cm^{-1} vykazuje olej úbytek aditiv, avšak rezerva pro další provoz je dostatečná. V oblasti absorpance $1050 - 960\text{ cm}^{-1}$ vykazuje olej úbytek protiotěrových přísad typu ZnDDP (diethyldithiofosfát zinečnatý). Tento úbytek není mimořádný a odpovídá proběhu stroje, přísady ještě nejsou zcela vyčerpány.



Obr. 24 Infračervené spektrum (celý měřený rozsah)



Obr. 25 Detail oblasti (rozsah 2000 – 800 cm^{-1})

V oblasti kolem 1720 cm^{-1} se neprojevilo zvýšení obsahu produktů oxidace uhlovodíků. Výskyt absorpčního pásu ve výše zmíněném vlnočtu by prokazovalo termicko-oxidační degradaci oleje, což je základní děj, který by následně ovlivnil změnu viskozity. Metodou FTIR nebyly analyzovány v oleji žádné vnější kontaminanty tj. palivo, voda a ani chladicí kapalina.

Atomová emisní spektrometrie

Metodou atomová emisní spektrometrie s rotační diskovou elektrodou byly zjištěny hodnoty koncentrace otěrových kovů, které jsou uvedeny v tabulce č. 7.

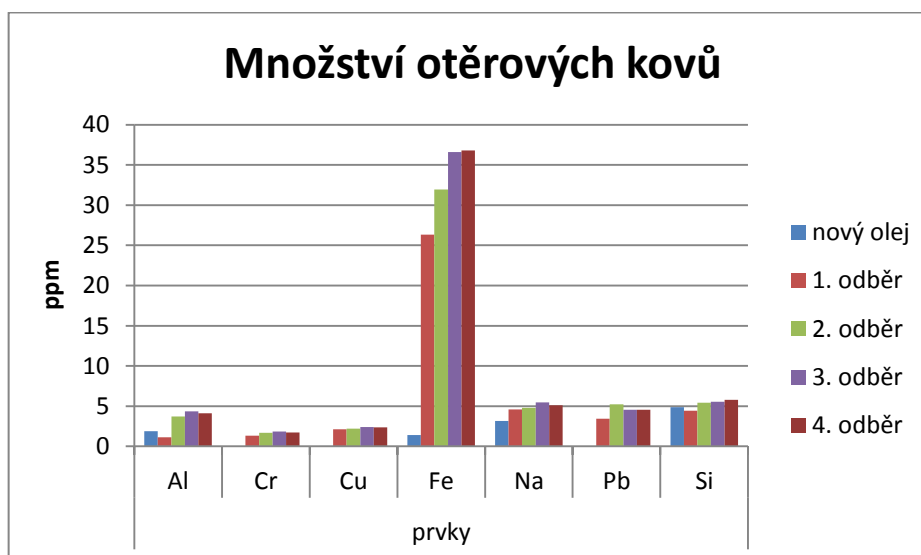
Křemík, který je v tabulce uveden, s konstrukčními kovy nesouvisí. Je však téměř vždy analyzován, neboť je hlavní součástí prachových částic. Při zjištění jeho obsahu ve zvýšeném množství je potřeba vyměnit vzduchový filtr. Sodík patří mezi další kontaminanty, které se mohou do olejové náplně dostat. Pokud dojde k současnému zvýšení koncentrace sodíku a boru, lze usuzovat, že se do olejové náplně mohla dostat chladicí kapalina, kde tetraboritany sodné se do ní přidávají jako inhibitory koroze.

Zvýšená koncentrace sodíku v zimním období by rovněž mohla být signálem průniku posypových solí do olejových náplní.

Tab. 7 Množství koncentrace kovů

659	Prvky						
	Al [ppm]	Cr [ppm]	Cu [ppm]	Fe [ppm]	Na [ppm]	Pb [ppm]	Si [ppm]
nový olej	1,87	0,00	0,03	1,40	3,18	0,00	4,88
1. odběr	1,13	1,32	2,14	26,33	4,58	3,42	4,45
2. odběr	3,70	1,68	2,21	31,95	4,81	5,23	5,41
3. odběr	4,34	1,86	2,40	36,61	5,46	4,55	5,54
4. odběr	4,11	1,71	2,38	36,82	5,10	4,54	5,79

Fe, které se vyskytlo ve větším množství oproti novému oleji s tendencí neustálého zvyšování, patří mezi hlavní konstrukční kovy. Jelikož jeho opotřebenění nevzrostlo nad limit uvedený v tabulce č. 3 lze usuzovat, že opotřebenění motoru je vzhledem k najetým kilometrům běžné. Vysoký nárůst Fe je také velmi dobře patrný z obrázku č. 26.



Obr. č. 26 Množství otěrových kovů

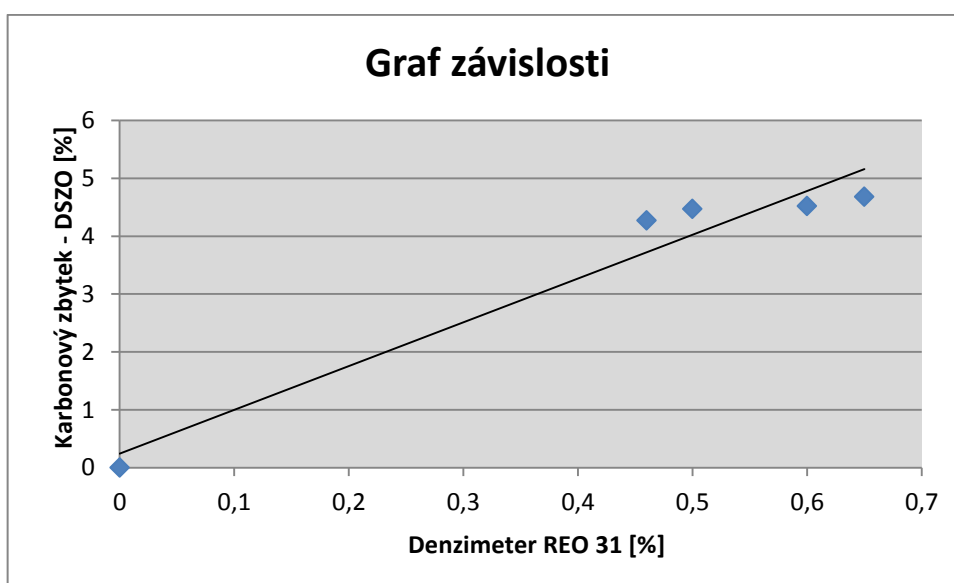
Celkové znečištění

Obsah nečistot měřený denzimetrem REO 31 je zaznamenán v tabulce č. 8. Znečištění oleje odpovídá kilometrovému proběhu na olejové náplně. Vyšší počet ujetých kilometrů znamená i vyšší obsah nečistot zjištěný ve vzorcích oleje.

Tab. 8 Přehled naměřených hodnot REO 31

Číslo odběru	Kilometrů na olej	REO 31 [%]
1	20 936	0,46
2	29 033	0,50
3	34 804	0,60
4	39 339	0,65

Závislost mezi celkovým znečištěním sledovaným v laboratořích DFJP přístrojem REO 31 a obsahem karbonizačního zbytku, který byl stanovován v laboratoři DSZO je u sledovaných vzorků velmi silná lineární závislost (obr. 27).



Obr. 27 Graf závislosti mezi hodnotami karbonizačního zbytku a celkového znečištění

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

$$y = 7,57x + 0,24$$

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

$$r = 0,95$$

Vyjádřením Pearsonova korelačního koeficientu „r“ byl vyjádřen vztah mezi dvěma veličinami. Mění-li se jedna veličina, pak se korelativně mění i druhá a naopak. 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. 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. V tomto případě se jedná o velmi silnou závislost.

3.4.2 Autobus č. 667

U autobusu č. 667 byl první vzorek odebrán při celkově najetých 470 387 km. Na olejovou náplň bylo najeto 21 371 km. Datum odběrů, najeté kilometry a dolévání oleje jsou uvedeny v tabulce č. 9a, b. V období odbíraných vzorků se neprováděla žádná oprava motorové části, byl pouze doléván olej, jak je dále uvedeno.

Tab. 9a Přehled o autobusu č. 667 (najeté km)

Autobus č. 667			
Číslo odběru	Datum odběru	Najeté km	Najeté km na olej
1	12. 10. 2011	470 387	21 371
2	14. 12. 2011	480 272	31 256
3	2. 3. 2012	492 036	43 020
4	27. 3. 2012	496 491	47 472

Tab. 9b Přehled o autobusu č. 667 (dolévání oleje)

Datum	Množství [l]	Datum	Množství [l]	Datum	Množství [l]
12. 4. 2011	25,0	1. 9. 2011	7,0	23. 11. 2011	6,0
24. 2. 2012	5,11	1. 3. 2012	1,05		

Pro vyšší obsah sazí a tedy příliš vysokou tmavost musely být vzorky č. 1 – 4 při analýze SpectroLNF Q200 zředěny novým olejem, jak bude dále uvedeno.

Analýzy prováděné v laboratoři DSZO

Pro všechny olejové náplně byly prováděny základní analýzy v laboratoři DSZO, naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 10. Jak je patrné z tabulky, na degradaci olejové náplně mělo pozitivní vliv dolévání nového oleje. Hodnoty karbonizačního zbytku se s průběhem olejové náplně výrazně nezvyšují.

Tab. 10 Analýzy s výsledky prováděné v DSZO

Číslo vozu 667	Analýzy						
	Datum odběru oleje	DL	DS	WPC	CN (%)	V (%)	VS (%)
	12. 10. 2011	42	51	93	3,19	0	93,9
	14. 12. 2011	60	54	114	3,34	0	88,3
	2. 3. 2012	60	52	112	3,58	0	88,2
	27. 3. 2012	63	51	114	3,75	0	88,3

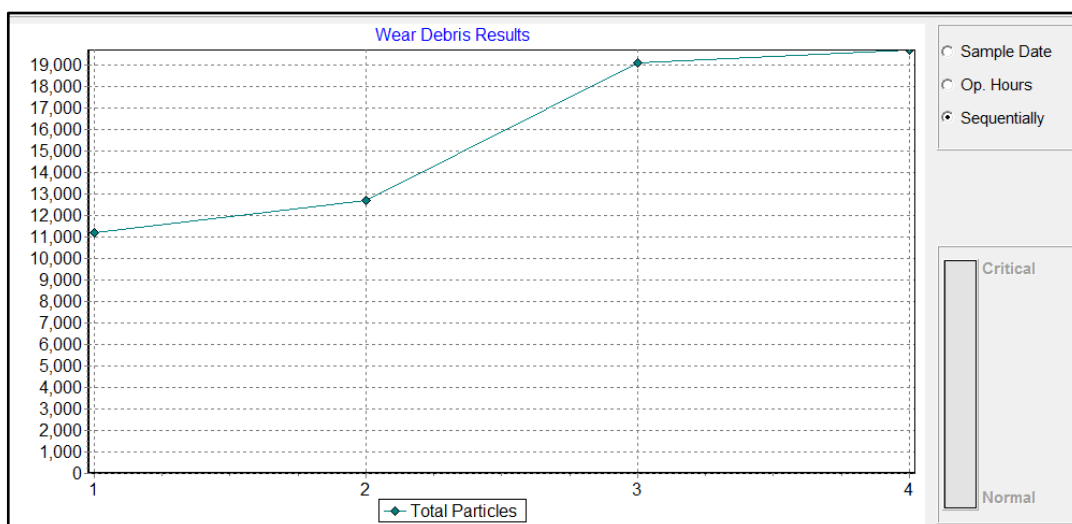
Vysvětlivky: DL-velké částice, DS-malé částice, WPC-celkové množství částic, CN-karbon. zbytek, V-obsah vody, VS-viskozita,

Z výsledků ferografie lze usuzovat, že na motoru nedochází k nežádoucím třecím poměrům, které by měly za následek tvorbu zvýšeného množství jak malého odhezního otěru, tak tvorbu velkých otěrových částic. Na dobré mazací poměry mělo vliv průběžné doplňování nového oleje do mazacího systému. V žádných vzorcích nebyla zaznamenána přítomnost vody, která by měla vliv na viskozitu oleje.

Analýzy prováděné v laboratořích DFJP

Analyzátor částic

Na přístroji LNF Q200 byl zaznamenán trend celkového znečištění (obr. 28), který vypovídá o stejnoměrném zvyšování obsahu částic všech velikostí. Přes doplňování mazací kapaliny došlo k výraznějšímu nárůstu počtu ošetrových částic po proběhu 43 020 km na olejovou náplň. Pro lepší orientaci je množství ošetrových částic podle velikosti znázorněno v tabulce č. 11 a na obrázku č. 29. Během odběru vzorků olejových náplní k analýzám, bylo dle potřeby nutno doplňovat olej, (tab. 9b). Pro lepší přehlednost je na obr. 30 zobrazen vliv doplnění olejové náplně na celkový počet ošetrových částic u jednotlivých průběžně odebíraných motorových olejů.



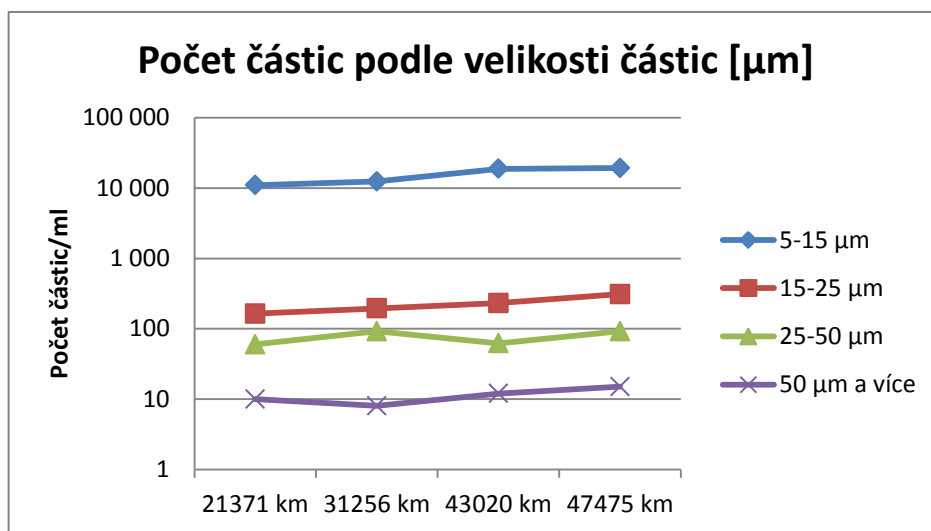
Obr. 28 Trend celkového znečištění

Vzorky s obsahem sazí nad 2 % jsou příliš tmavé a vyžadují zředění. Může k tomu být použit čistý základní olej, nebo heptan. Oleji je dáována přednost, protože nevede k dramatické změně viskozity vzorku. V tomto případě byl použit nový olej a výsledky byly korigovány vzhledem k ředění. První a druhý vzorek musel být naředěn v poměru 1 díl použitého oleje : 4 dílům nového oleje.

Tab. 11 Počty částic podle jejich velikosti

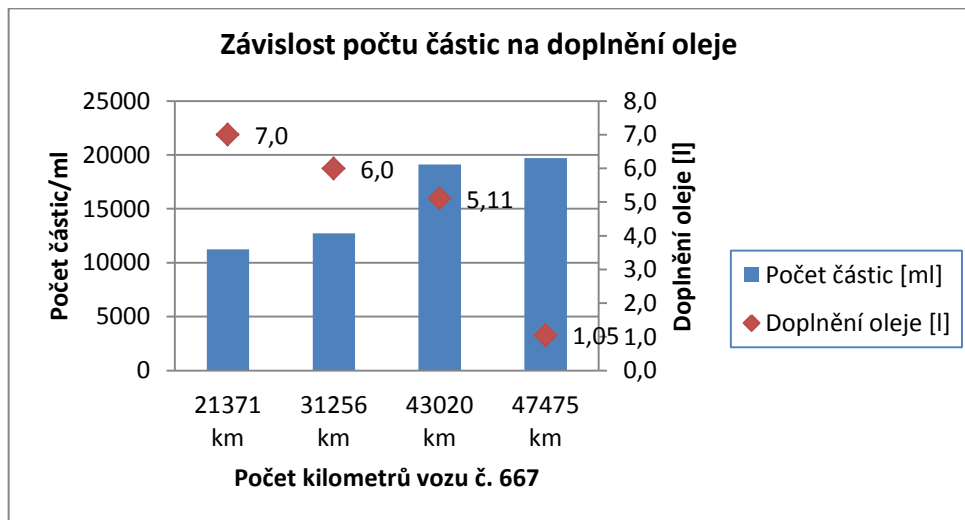
667	VELIKOSTI ČÁSTIC [μm]				Celkový počet částic
	5 – 15	15 – 25	25 – 50	50 a více	
1	10 998	164	60	10	11 232
2	12 418	195	92	8	12 713
3	18 799	232	62	12	19 105
4	19 294	311	92	15	19 712

Třetí vzorek byl naředěn v poměru 1 dílu použitého oleje : 3 dílům nového oleje. Poslední čtvrtý vzorek byl naředěn s novým olejem 1 : 1. Vzorek po zředění byl důkladně protřepán v třepačce po dobu 8 minut a následně zbaven vzduchových bublin v ultrazvukové lázni po dobu 3 minut.



Obr. 29 Počet částic podle velikosti

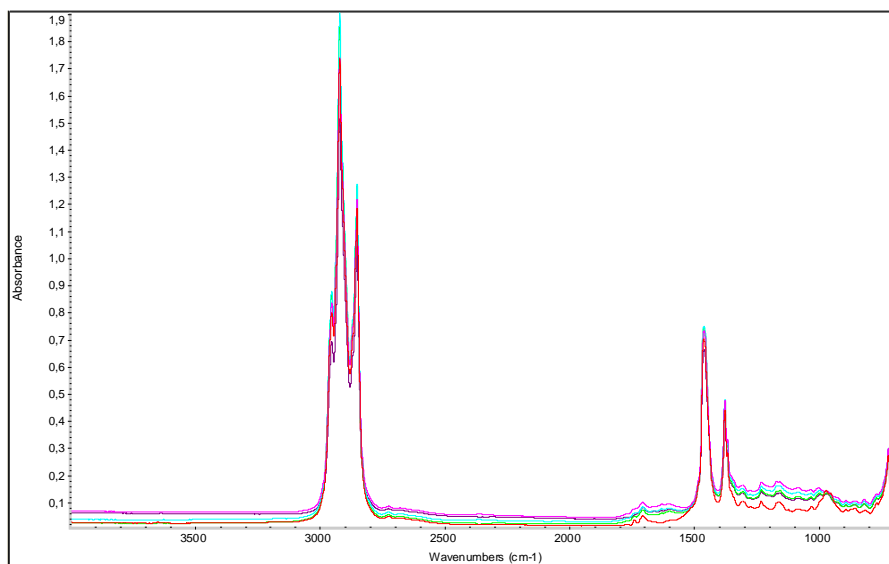
Na níže uvedeném obrázku je jasně patrný vliv doplňování oleje na zvýšeném počtu částic, kde při menším množství doplněného oleje se zvyšuje počet částic.



Obr. 30 Závislost počtu částic na doplnění oleje

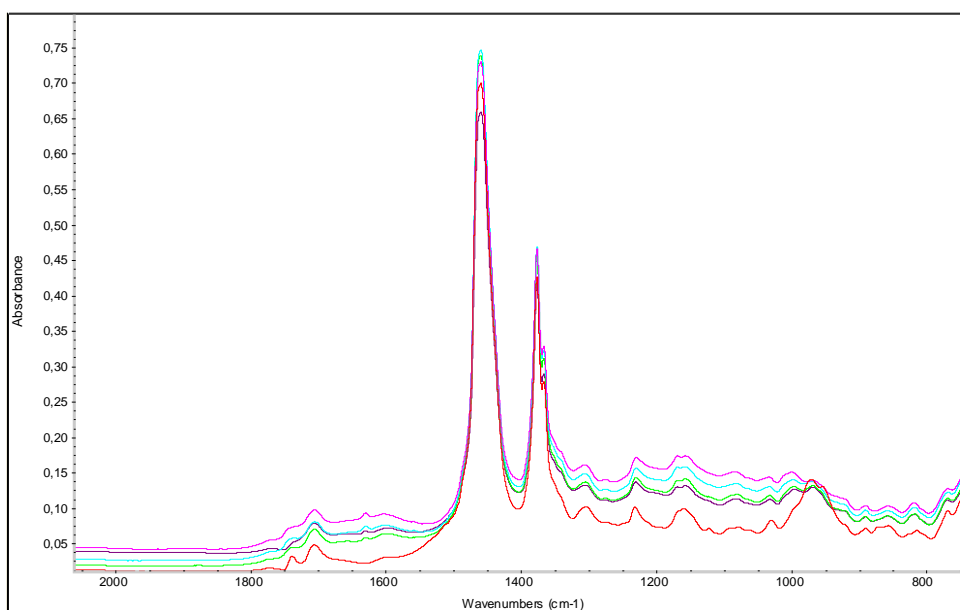
FTIR spektrometrie

U autobusu č. 667 (obr. 31) byly ve spektrálních záznamech jednotlivých motorových olejů shledány změny oproti spektru nového oleje (červená barva).



Obr. 31 Infračervené spektrum (celý měřený rozsah)

Zvýšená absorpce v oblasti 2000 cm^{-1} značí zvýšenou přítomnost sazí v oleji (obr. 32). U opotřebených olejů nejsou patrné absorpční pásy 1745 a 1170 cm^{-1} , které náleží funkčním skupinám C=O a C-O-C, jenž přísluší methylesteru mastných kyselin. V DSZO se používá nafta bez přídavku bioložky. Nebyla prokázána přítomnost kontaminace palivem s projevem nárůstu pásu v oblasti $800 - 750\text{ cm}^{-1}$. Nebyla zaznamenána kontaminace oleje chladicí kapalinou. Nepatrný pás v oblasti 1630 cm^{-1} reprezentuje nitrataci oleje, kterou způsobuje styk olejového filmu se spalinami. Pokles absorpce v okolí pásu 975 cm^{-1} značí téměř vyčerpání vysokoteplotních antioxidačních přísad a protiotěrových přísad, které se mohou projevit vznikem zvýšeného opotřebením motoru.



Obr. 32 Detail oblasti (rozsah $2000 - 700\text{ cm}^{-1}$)

Atomová emisní spektrometrie

Již z předešlých provedených analýz lze předpokládat zvýšení některých z prvků provedených atomovou emisní spektrometrií. Například produkty nedokonalého spalování - saze, které u FTIR byly identifikovány ve zvýšeném množství, se u této analýzy potvrdily ve zvyšujících hodnotách koncentrace železných částic. Zvýšená

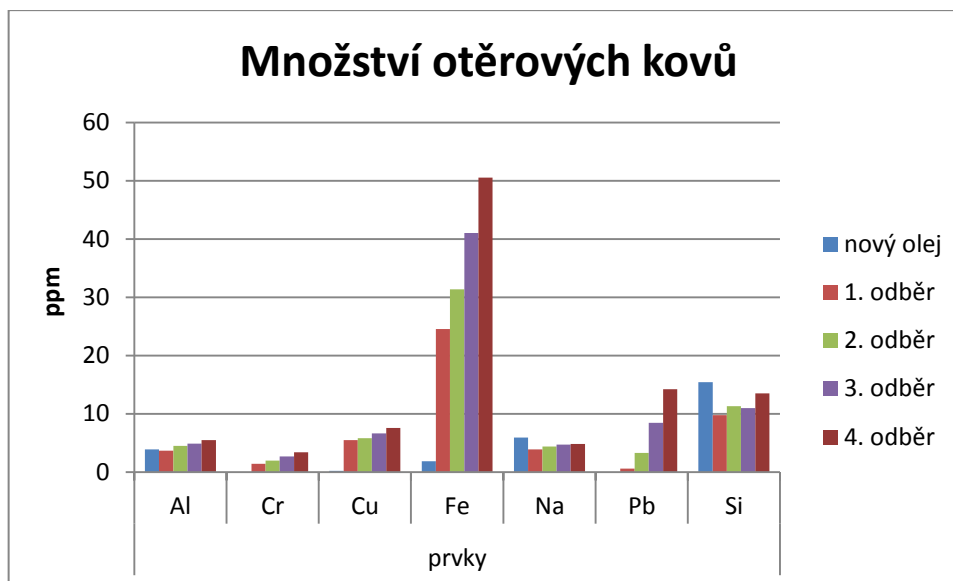
hodnota **Fe** je vyznačena červenou barvou (tab. 12). Je také důležité podotknout shodu u LNF Q200, kde se musel již první vzorek ředit novým olejem z důvodu více jak 2 % množstvím sazí.

Hodnota **Si** u nového oleje, která je zvýšená, poukazuje na nedostatečně očištěnou vzorkovnici, nebo vniknutí nečistot během plnění nového oleje.

Tab. 12 Množství koncentrace kovů

667	Prvky						
	Al [ppm]	Cr [ppm]	Cu [ppm]	Fe [ppm]	Na [ppm]	Pb [ppm]	Si [ppm]
nový olej	3,88	0,00	0,19	1,86	5,90	0,00	15,43
1. odběr	3,70	1,40	5,50	24,57	3,90	0,62	9,78
2. odběr	4,50	1,97	5,81	31,36	4,41	3,30	11,31
3. odběr	4,90	2,70	6,63	41,04	4,73	8,44	11,00
4. odběr	5,48	3,40	7,60	50,54	4,81	14,2	13,51

Na obrázku č. 33 je patrný značný nárůst koncentrace **Fe** u odběrů, které se blížily konci životnosti olejové náplně. Hodnoty koncentrace ostatních otěrových kovů nesignalizovaly, že by mohlo dojít k nějaké poruše na motoru.



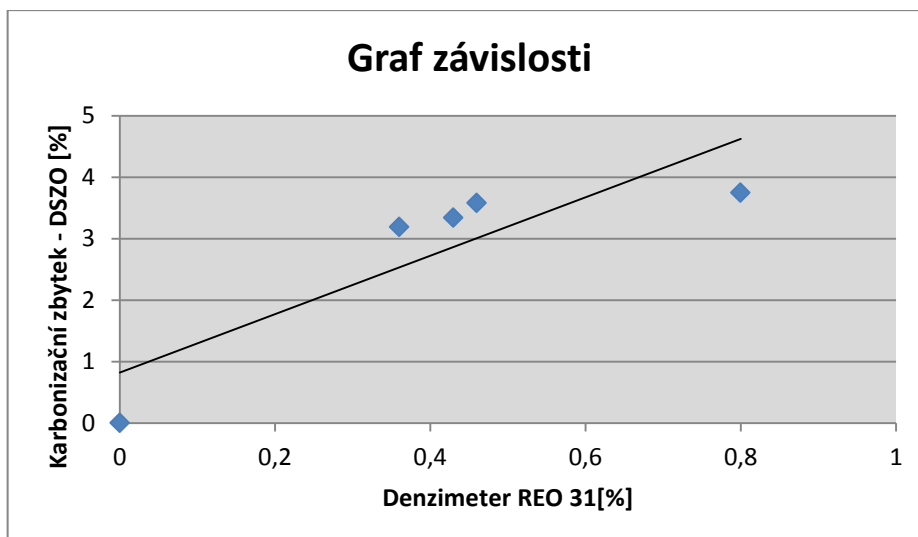
Obr. 33 Množství otěrových kovů

Celkové znečištění

V tabulce č. 13 je přehled hodnot znečištění měřených na denzimetru REO 31. U čtvrtého odběru se projevila zvýšená kontaminace oleje sazemi, což bylo potvrzeno výše uvedenými výsledky analýz, na hodnotě celkového znečištění udávaného přístrojem REO 31.

Tab. 13 Přehled naměřených hodnot REO 31

Číslo odběru	Kilometrů na olej	REO 31 [%]
1	21 371	0,36
2	31 256	0,44
3	43 020	0,46
4	47 475	0,80



Obr. 34 Graf závislosti mezi hodnotami karbonizačního zbytku a celkového znečištění

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

$$y = 4,76x + 0,82$$

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

$$r = 0,75$$

Závislost naměřených hodnot (obr. 34) karbonizačního zbytku v DSZO a hodnot naměřených v laboratoři DFJP lze považovat za středně silnou.

3.4.3 Autobus č. 673

První vzorek u autobusu č. 673 byl odebrán při celkově najetých 98 950 km. Na provozovanou olejovou náplň bylo najeto 18 518 km. Další odběry a najeté kilometry jsou uvedeny v tabulce č. 14a. V období odbíraných vzorků byl doplňován olej, jehož hodnoty jsou zaznamenány v tabulce č. 14b.

Tab. 14a Přehled o autobusu č. 673 (najaté km)

Autobus č. 673			
Číslo odběru	Datum odběru	Najaté km	Najaté km na olej
1	12. 10. 2011	98 950	18 518
2	15. 12. 2011	108 859	28 427
3	20. 2. 2012	120 675	40 243

Tab. 14b Přehled o autobusu č. 673 (dolévání oleje)

Datum	Množství [l]	Datum	Množství [l]	Datum	Množství [l]
6. 6. 2011	25,0	13. 10. 2011	5,0	1. 11. 2011	5,0
5. 1. 2012	5,0	2. 2. 2012	5,0		

Analýzy prováděné v laboratoři DSZO

Analýzy, které byly provedeny v laboratoři DSZO (obr. 15) s naměřenými hodnotami vypovídají o dobrém stavu oleje. U žádného ze vzorku nebyla zjištěna přítomnost vody. Také obsah karbonizačního zbytku je vzhledem k počtu najatých kilometrů v mezích normálního stavu. Pouze u posledního vzorku oleje byl zjištěn zvýšený počet částic.

Tab. 15 Analýzy s výsledky prováděných v DSZO

Číslo vozu 673	Analýzy						
	Datum odběru oleje	DL	DS	WPC	CN (%)	V (%)	VS (%)
	12. 10. 2011	22	49	71	3,05	0	98,0
	15. 12. 2011	29	52	81	3,57	0	97,7
	20. 2. 2012	51	51	102	3,69	0	95,4

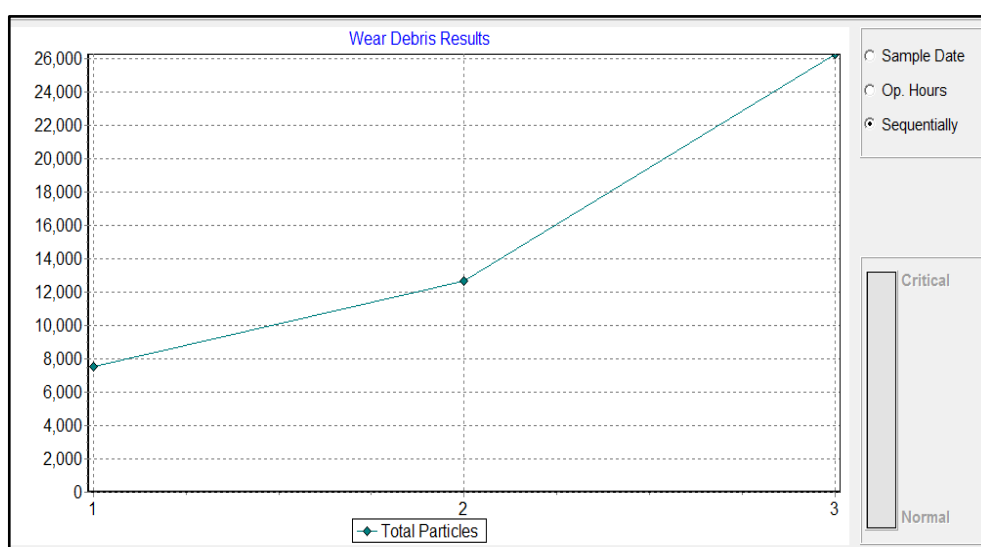
Vysvětlivky: DL-velké částice, DS-malé částice, WPC-celkové množství částic, CN-karbon. zbytek, V-obsah vody, VS-viskozita,

Tato zvýšená hodnota, jak bude dále uvedeno, je shodná s měřením v laboratořích DFJP.

Analýzy prováděné v laboratořích DFJP

Analýzátor částic

Sledovat nárůstu počtu částic opotřebení motoru v závislosti na proběhu olejové náplně lze z obrázku č. 35. Nejzřetelnější nárůst počtu částic se projevil u velikostní třídy 25 – 50 μm (obr. 36).

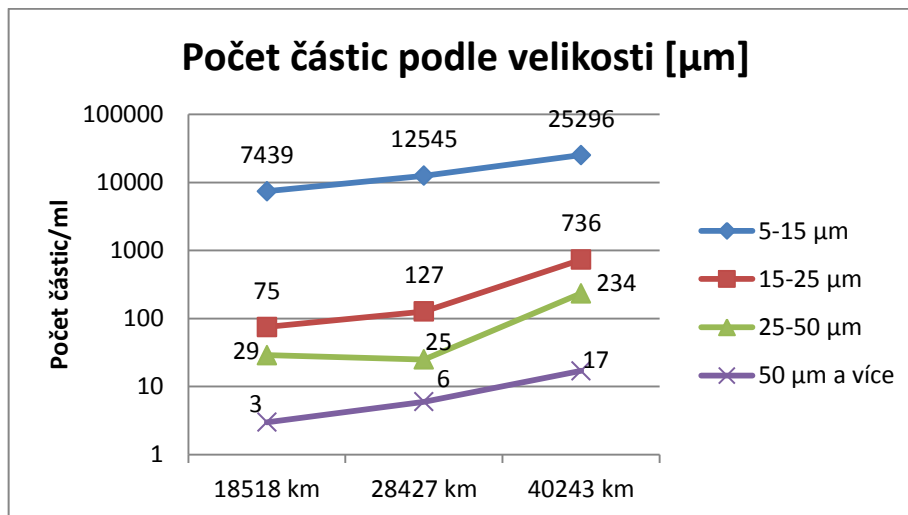


Obr. 35 Trend celkového znečištění

Tab. 16 Počty částic podle jejich velikosti

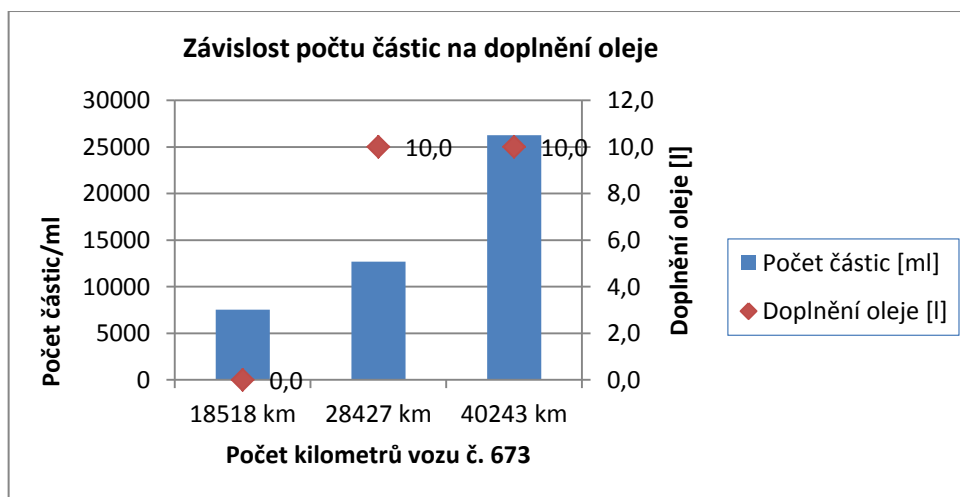
673	VELIKOSTI ČÁSTIC [μm]				Celkový počet částic
	5 – 15	15 – 25	25 – 50	50 a více	
Číslo měření					
1	7 439	75	29	3	7 546
2	12 545	127	25	6	12 703
3	25 296	736	234	17	26 283

Vysoká citlivost tohoto přístroje registruje veškeré částice do velikosti 100 μm . Jako částice jsou zachyceny i vzduchové bubliny, které ale programové vybavení automaticky vylučuje z výpočtu (ty, které jsou větší než 20 μm).



Obr. 36 Počet částic podle velikosti

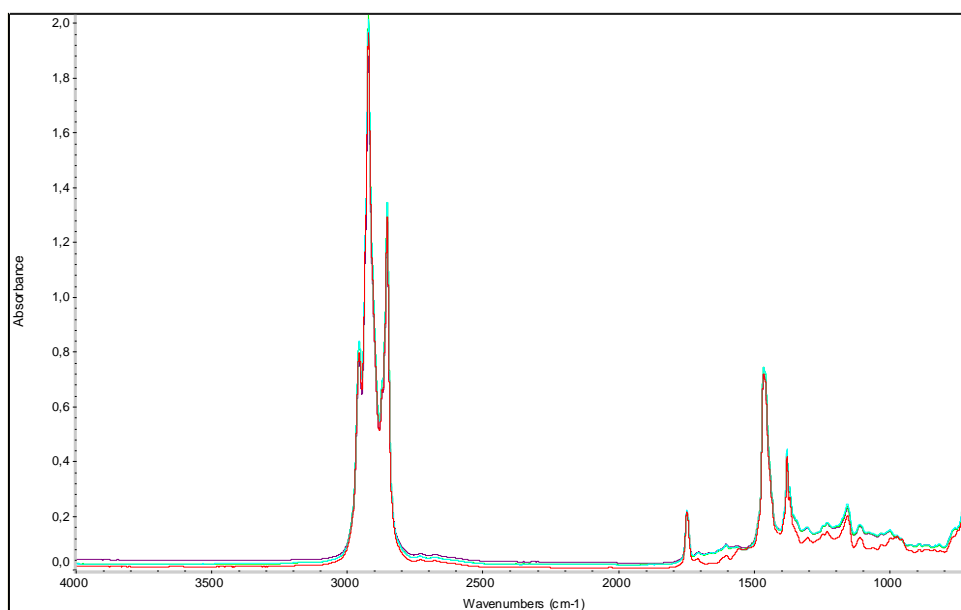
Vliv postupného doplňování oleje je patrný z obrázku č. 37. Nejvíce se toto doplnění promítlo do vzorku č. 2. Naopak u odebraného vzorku č. 3, kdy se výrazně zvýšil počet částic, koresponduje toto zvýšení s počtem otěrových Fe částic z AES, jak bude dále uvedeno.



Obr. 37 Závislost počtu částic na doplnění oleje

FTIR spektrometrie

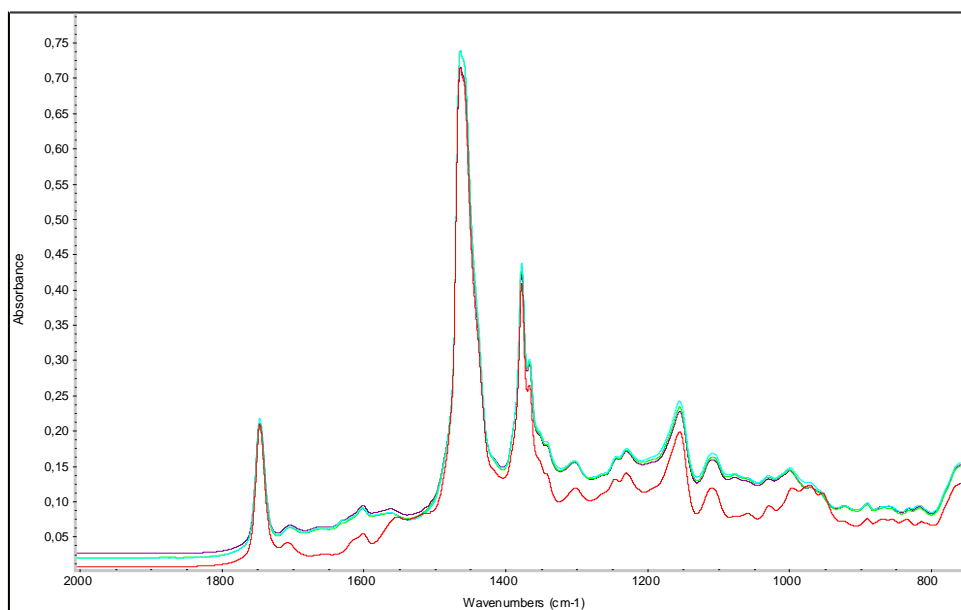
Po sejmutí infračerveného spektra motorového oleje provozovaného u autobusu č. 673 a jeho porovnání s novým olejem, nebyly zjištěny markantní změny v chemickém složení (obr. 38). S narůstajícím kilometrovým proběhem došlo k poklesu absorpance v oblasti $960 - 1050 \text{ cm}^{-1}$; byly téměř vyčerpány protiotěrové přísady typu ZnDDP (diethyldithiofosfát zinečnatý).



Obr. 38 Infračervené spektrum (celý měřený rozsah)

Pokud dojde v degradovaném oleji k poklesu ZnDDP pod hodnotu 20 %, doporučuje se výměna celé olejové náplně.

Na IČ spektru nebyl zaznamenán průnik paliva do oleje. Je nutné zdůraznit, že palivo je v oleji přítomné vždy, kdy se dostává do oleje přirozenou cestou, tj. spolu se spaliny z prostoru válce kolem pístních kroužků do klikové skříně. Další z možností průniku paliva do oleje je díky závadě na motoru. Maximální přípustnou hranici udává většina výrobců u naftových motorů kolem 4 % paliva.



Obr. 39 Detail oblasti (rozsah 2000 – 700 cm^{-1})

V oblasti 1750 – 1700 cm^{-1} a 1200 – 1100 cm^{-1} se vyskytují u tohoto typu oleje spektrální pásy náležející zvyšovači viskozitního indexu. Pokud by došlo k termicko-oxidační degradaci oleje, nastal by problém s identifikací oxidačních produktů v IČ spektru, neboť spektrální projev těchto produktů se překrývá se spektrálním pásem zvyšovače viskozitního indexu.

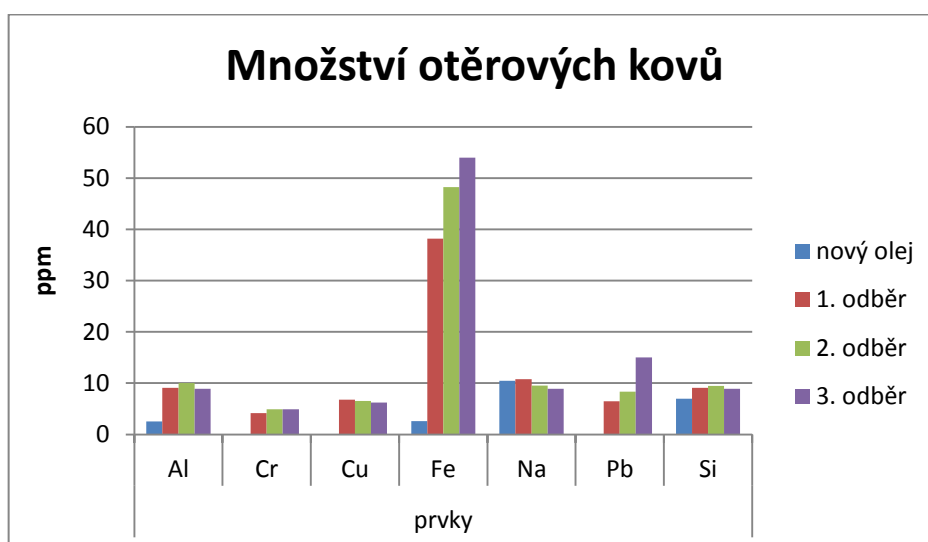
Atomová emisní spektrometrie

Analýzou AES bylo provedeno stanovení kvantitativního množství prvků, jejichž hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 17. Bylo zjištěné zvýšené množství **Fe** (červeně označené) a to u vzorku oleje s průběhem 40 243 km na olejovou náplň. Potenciálním zdrojem železa jsou obecné opotřebení, ložiska, podložky, zdvihátka a kroužky.

Dalším sledováním hodnot je potřeba upozornit na zvýšené množství **Al** a **Pb** (obr. 40). Dle údajů z literatury je však toto opotřebení zcela v normě. Možným zdrojem nárůstu koncentrace **Pb** je opotřebení ložisek a přítlačných podložek.

Tab. 17 Množství koncentrace kovů

673	Prvky						
	Al [ppm]	Cr [ppm]	Cu [ppm]	Fe [ppm]	Na [ppm]	Pb [ppm]	Si [ppm]
nový olej	2,51	0,00	0,05	2,57	10,44	0,00	6,95
1. odběr	9,12	4,17	6,80	38,20	10,77	6,49	9,11
2. odběr	10,00	4,88	6,55	48,26	9,50	8,32	9,45
3. odběr	8,93	4,89	6,20	54,01	8,93	15,00	8,92



Obr. 40 Množství otěrových kovů

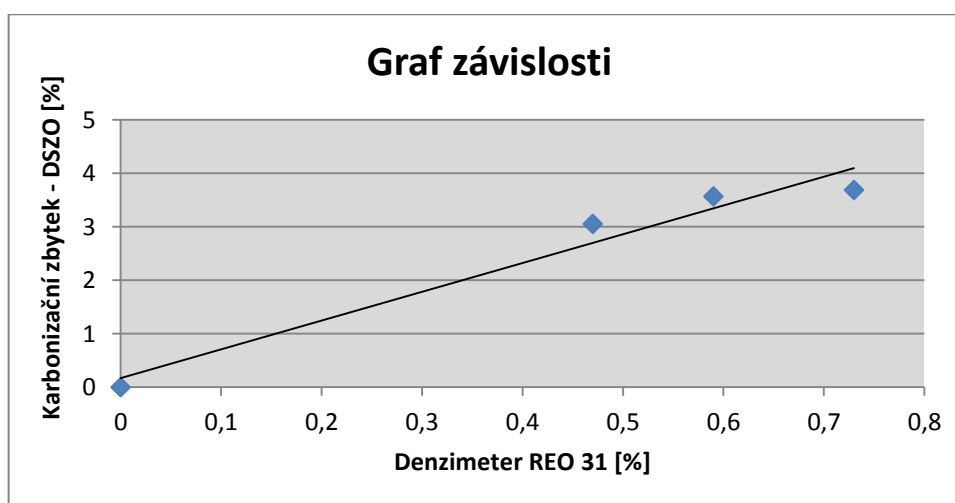
Celkové znečištění

Naměřená hodnota celkového znečištění (tab. 18) je u měřených vzorků nejvýše 0,73 %, což vypovídá o mírném znečištění oleje.

Tab. 18 Přehled naměřených hodnot REO 31

Číslo odběru	Kilometrů na olej	REO 31 [%]
1	18 518	0,47
2	28 427	0,59
3	40 243	0,73

Závislost mezi měřením provedeným v laboratořích DFJP denzimetrem REO 31 a měřením na přístroji TCM-U, kterou je vybavena laboratoř v DSZO, lze považovat za velmi silnou, jak vypovídá graf na obrázku č. 41.



Obr. 41 Graf závislosti mezi hodnotami karbonizačního zbytku a celkového znečištění

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

$$y = 5,38x + 0,17$$

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

$$r = 0,96$$

3.4.4 Autobus č. 702

Jak bylo uvedeno v kapitole č. 3 „Experimentální část“, vzorky olejů z autobusu SOR B 9,5 byly zahrnuty do předmětu zkoumání bakalářské práce až během již prováděných analýz olejů vybraných autobusů, a to z důvodu zkrácených výměnných intervalů olejové náplně než uvádí výrobce autobusů. Za zmínku stojí, že pokud se výměna olejové náplně provádí při 14 až 15 tis. najetých kilometrů a s nasazením autobusu do téměř každodenního provozu, bude zde možno pozorovat celý proběh náplně.

Je potřeba podotknout, že rozdíl intervalu výměny oleje spočívá nejen v rozdílu daném výrobcem autobusu (Iveco), ale také v odlišném výměnném intervalu, který je dán pro ostatní vozy, které jsou uvedeny v této práci.

Interval výměny oleje byl stanoven individuálně na základě tribodiagnostiky, protože náročné podmínky provozu zásadně mění dobu bezpečného provozu motoru. Na degradaci olejové náplně má vliv nejen konstrukce motoru, jako např. kvalita filtrace, objem náplně, dokonalost spalování, ale závisí také na tepelném režimu motoru: zdali je motor přehřátý a nebo naopak podchlazený.

Celkový přehled o provozu tohoto autobusu je zaznamenán v souhrnných tabulkách č. 19a, b. U posledního odebraného vzorku č. 5 byla celá olejová náplň vyměněna.

Tab. 19a Přehled o autobusu č. 702 (najaté km)

Autobus č. 702			
Číslo odběru	Datum odběru	Najaté km	Najaté km na olej
1	16. 12. 2011	633 133	2 338
2	17. 1. 2012	637 352	6 557
3	10. 2. 2012	640 166	9 371
4	6. 3. 2012	644 907	14 112
5	14. 3. 2012	646 630	15 835

Tab. 19b Přehled o autobusu č. 702 (dolévání oleje)

Datum	Množství [l]	Datum	Množství [l]	Datum	Množství [l]
28. 11. 2011	11,7	9. 1. 2012	3,07	22. 2. 2012	3,59

Analýzy prováděné v laboratoři DSZO

Z výsledků provedených v laboratoři DSZO je patrné zhoršení oleje degradací již v samotném počátku, jak vypovídají hodnoty z tabulky č. 20. Hodnoty z ferrografie vypovídají o produkci vysokého počtu částic opotřebení již při proběhu 2 338 km na olejovou náplň. Doplnění oleje se projevilo snížením počtu částic u druhého odebraného vzorku. Přesto lze konstatovat, že celkový počet částic během celého proběhu olejové náplně je velmi vysoký, tzn. na motoru jsou nepříznivé třecí poměry.

Karbonizační zbytek, u kterého se limitní hodnota pohybuje na hranici 5 %, je výrazně zvýšený již u prvního vzorku odebraného oleje. Také zde se projevilo doplnění oleje; kdy se hodnoty u druhého odebraného vzorku se snížily.

Tab. 20 Analýzy s výsledky prováděných v DSZO

Číslo vozu 702	Analýzy					
Datum odběru oleje	DL	DS	WPC	CN (%)	V (%)	VS (%)
16. 12.2011	131	50	181	4,72	0	98,6
17. 1. 2012	50	51	101	4,52	0	97,7
10. 2. 2012	80	50	130	4,76	0	95,7
6. 3. 2012	125	50	175	4,98	0	95,2
14. 3. 2012	138	49	187	5,0	0	96,3

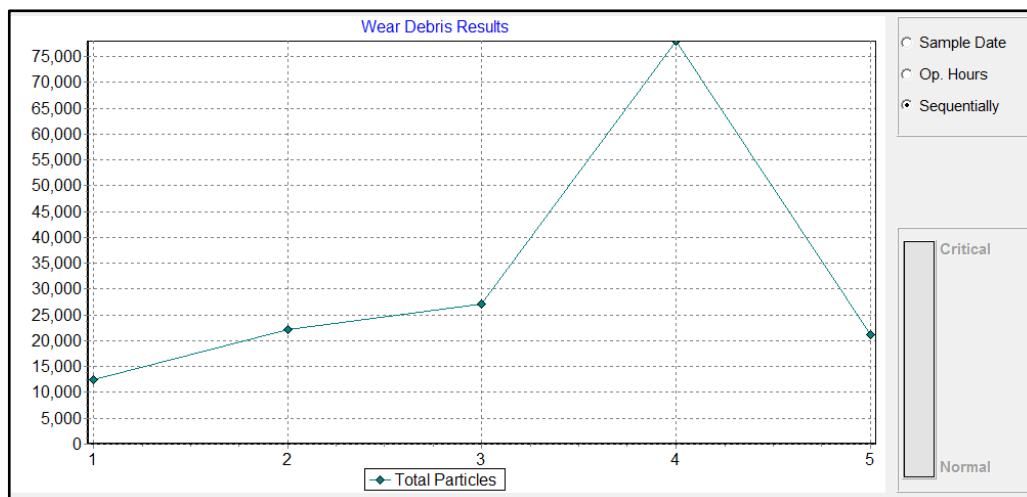
Vysvětlivky: DL-velké částice, DS-malé částice, WPC-celkové množství částic, CN-karbon. zbytek, V-obsah vody, VS-viskozita,

Produkce většího počtu částic a produktů znečištění se neprojevila na změně hodnot viskozity. Provedenými analýzami nebyla prokázána přítomnost vody v olejové náplni.

Analýzy prováděné v laboratořích DFJP

Analýzátor částic

Při prováděné analýze na SpectroLNF Q200 byly zjištěny výsledky produkce otěrových částic během celkového proběhu olejové náplně (obr. 42). U čtvrtého odběru byl zaznamenán výrazný nárůst celkového počtu částic a u 5. odběru opět jejich pokles. Jak je dále patrné z tabulky č. 21, tento fakt byl způsoben výrazným snížením částic o velikosti 5 – 15 µm, kdežto částice o velikosti 50 a více µm se naopak výrazně zvýšily.

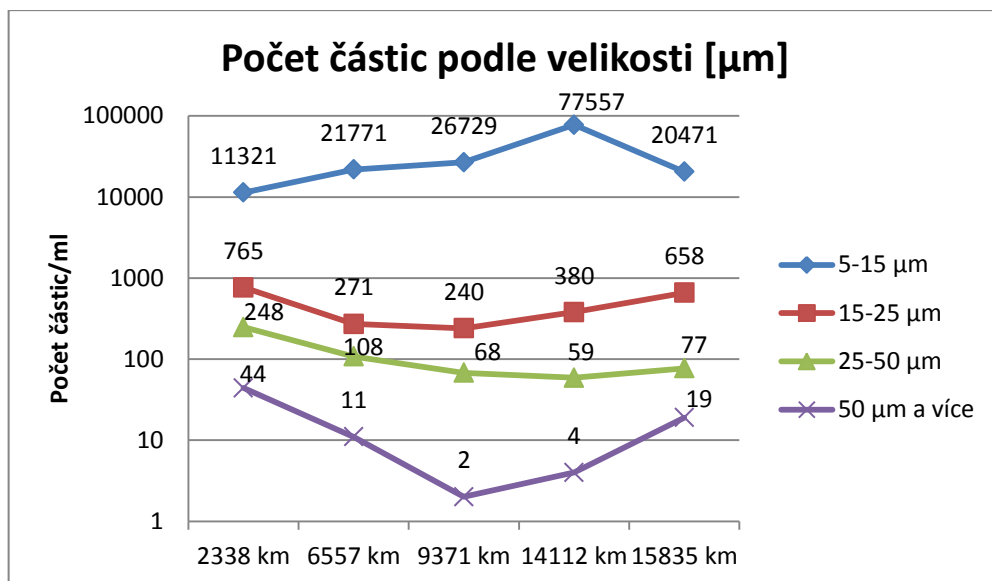


Obr. 42 Trend celkového znečištění

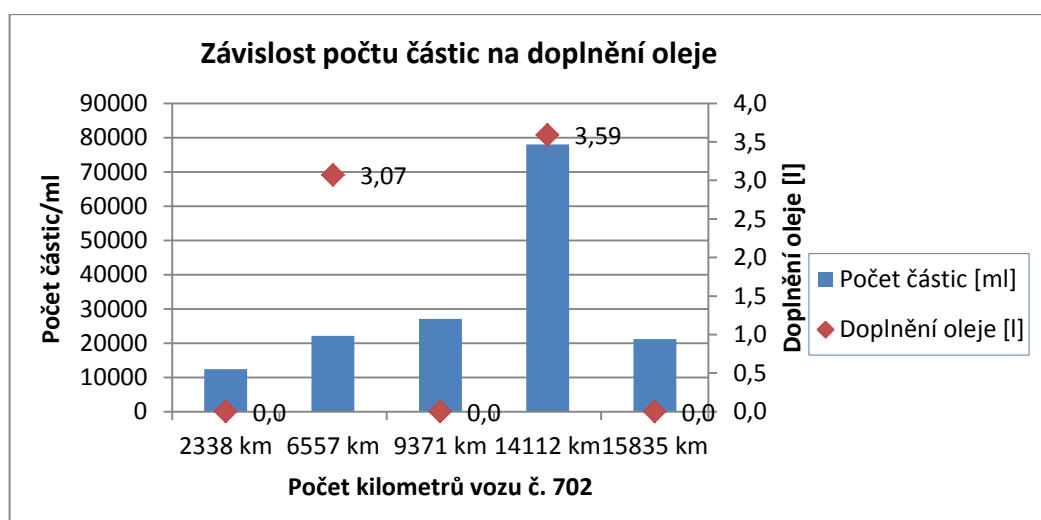
Tab. 21 Počty částic podle jejich velikosti

702	VELIKOSTI ČÁSTIC [μm]				Celkový počet částic
Číslo měření	5 – 15	15 – 25	25 – 50	50 a více	
1	11 321	765	248	44	12 378
2	21 771	271	108	11	22 161
3	26 729	240	68	2	27 039
4	77 557	380	59	4	78 000
5	20 471	658	77	19	21 225

Jak je patrné z obrázku č. 43, kdy kromě nejmenších částic (především u měření č. 4) byl obsah ostatních částic značně vysoký, lze konstatovat shodu mezi ferrografickou analýzou prováděnou v DSZO a metodou LNF, kde je zřetelný nárůst velkých částic hned u prvního vzorku.



Obr. 43 Počet částic podle velikosti



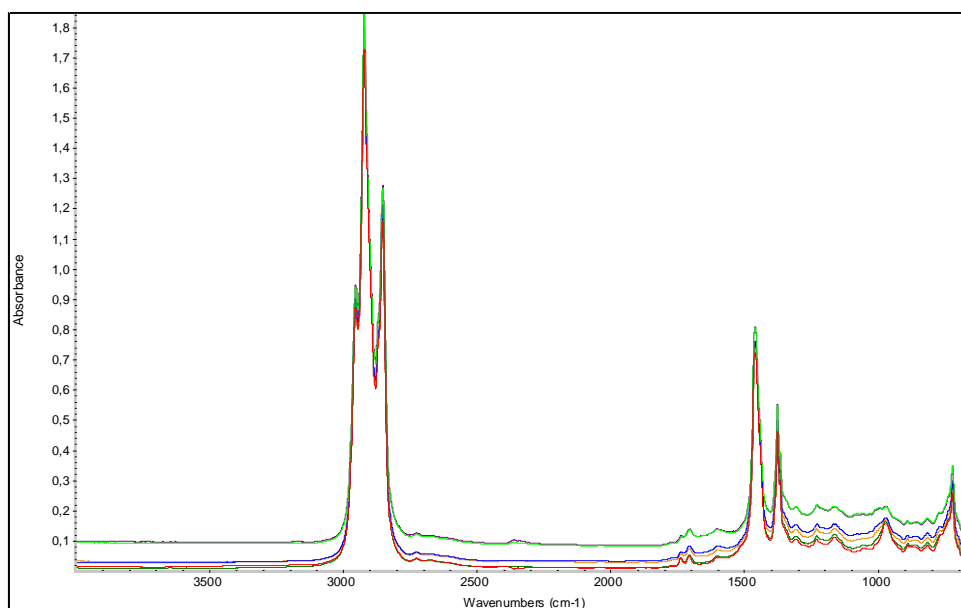
Obr. 44 Závislost počtu částic na doplnění oleje

Na obrázku č. 44 je ukázka nestejnoměrného vzniku částic opotřebením, na jejichž počet má i vliv doplňování oleje.

FTIR spektrometrie

Pomocí metody infračervené spektrometrie byl porovnáván nový olej (červená barva) s opotřebovaným olejem ze všech odebraných vzorků. Největší změna degradovaného

oleje se vyskytla u vzorků č. 4 (barva fialová) a u vzorku č. 5 (barva zelená), jak je patrné z obrázku č. 45.

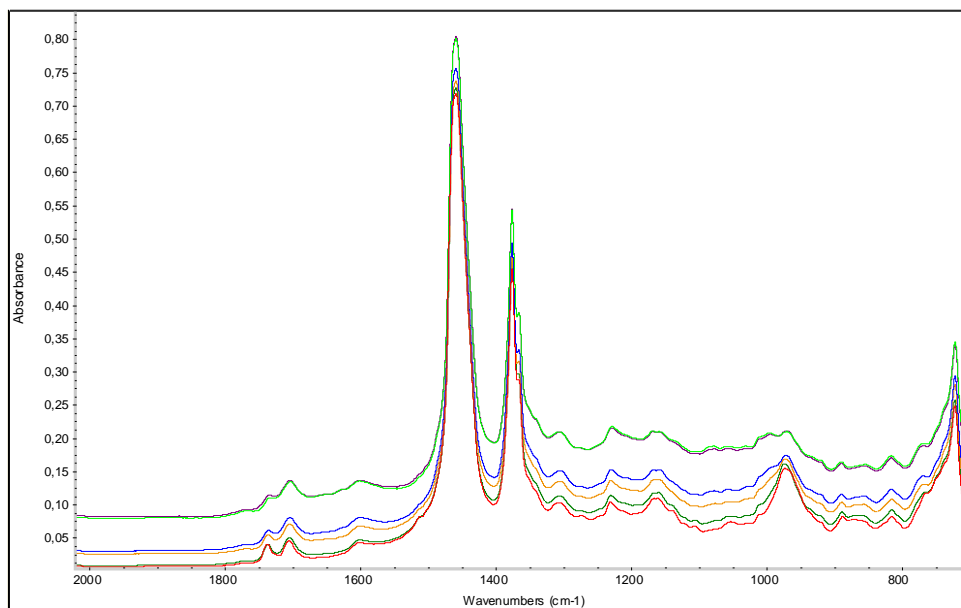


Obr. 45 Infračervené spektrum (celý měřený rozsah)

Podrobnější zobrazení je vyobrazeno na detailu spektra v oblasti $2000 - 600 \text{ cm}^{-1}$ (obr. 46), kde je v oblasti $1050 - 960 \text{ cm}^{-1}$ zřetelný úbytek protiotěrových přísad typu ZnDDP. Výrazný úbytek tohoto typu aditiva byl zaznamenán u odběru č. 4 a 5. Byl také zjištěn vyšší obsah sazí, který se projevil zvýšením základní linie v oblasti 2000 cm^{-1} . Lze usuzovat, že došlo k snížení obsahu disperzních přísad, které mají udržovat saze ve vznosu a nedovolit jejich shlukování.

Olej vykazuje vynikající oxidační stálost, protože v oblasti $1710 - 1730 \text{ cm}^{-1}$ nedošlo prakticky k žádným změnám, souvisejícím s oxidací uhlovodíků, tj. k nárůstu obsahu oxidačních produktů obsahujících vazbu $\text{C}=\text{O}$.

V žádném ze vzorků se nevyskytuje úzký pás v oblasti 1610 cm^{-1} , který by svědčil o profuku spalných plynů obsahujících oxidy dusíku, které jsou důležitým ukazatelem nadměrného opotřebení pístní skupiny.



Obr. 46 Detail oblasti (rozsah 2000 – 700 cm^{-1})

Hodnocené vzorky neobsahují vodu (široký pás 3600 – 3300 cm^{-1}), glykol (dvojice pásů 1040 – 1080 cm^{-1}) ani palivo (800 – 750 cm^{-1}).

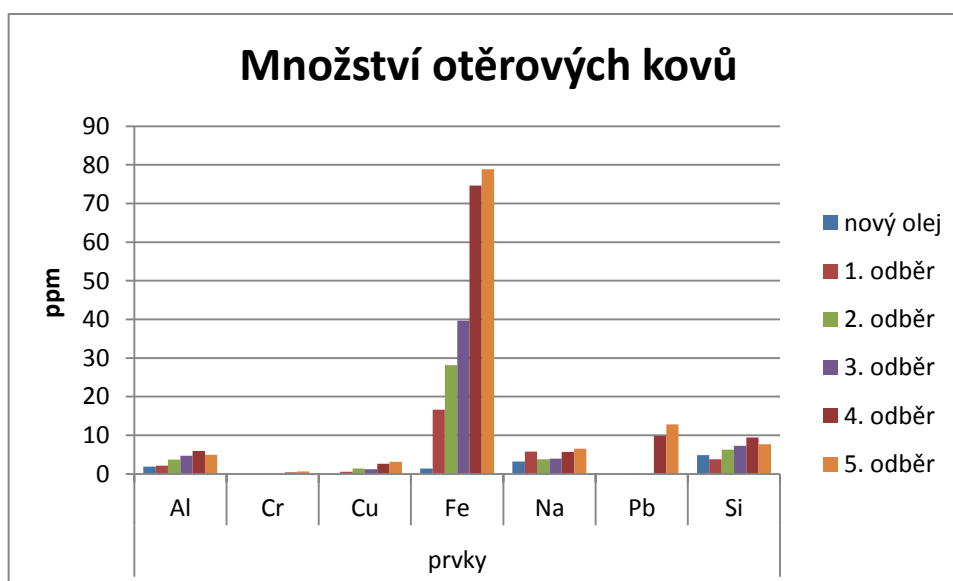
Atomová emisní spektrometrie

Na základě předchozích metod měření, lze předpokládat nárůst některých ořevových kovů. Podle níže uvedené tabulky č. 22, je velmi nebezpečně zvýšený obsah **Fe**, kde jeho koncentrace u posledních dvou odběrů dosáhla hodnoty 74,44 a 78,86 ppm (označené červenou barvou).

Tento nárůst **Fe** je velmi zřetelně vyznačen na obrázku č. 47, kde lze pozorovat výrazný nárůst mezi třetím a čtvrtým vzorkem oleje. Náhlá změna trendu obsahu **Fe** a **Pb** svědčí o zvýšeném opotřebení třecích ploch.

Tab. 22 Množství koncentrace kovů

702	Prvky						
	Al [ppm]	Cr [ppm]	Cu [ppm]	Fe [ppm]	Na [ppm]	Pb [ppm]	Si [ppm]
nový olej	1,87	0,00	0,03	1,40	3,18	0,00	4,88
1. odběr	2,10	0,00	0,56	16,59	5,79	0,00	3,79
2. odběr	3,70	0,00	1,36	28,18	3,82	0,21	6,30
3. odběr	4,70	0,00	1,18	39,69	3,96	0,00	7,26
4. odběr	5,97	0,36	2,66	74,66	5,72	9,86	9,43
5. odběr	4,91	0,64	3,14	78,86	6,49	12,80	7,66



Obr. 47 Množství otěrových kovů

Mírný nárůst koncentrace obsahu **Na** vypovídá o provozu v zimním období, kdy mohla olejovou náplň kontaminovat sůl z posypu vozovek.

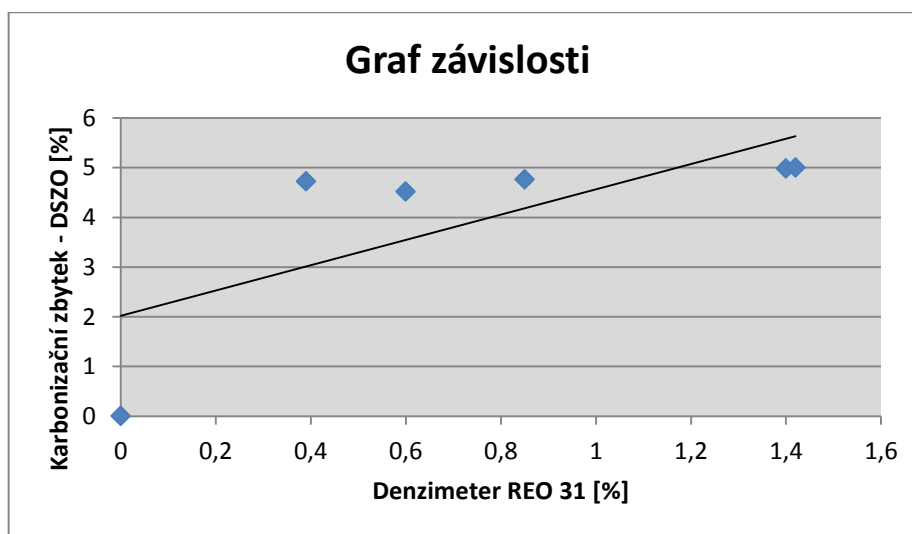
Celkové znečištění

Hodnoty zjištěné stanovením obsahu nečistot v oleji denzimetrem REO 31 jsou podle níže uvedené tabulky č. 23 považovány za střední znečištění.

Tab. 23 Přehled naměřených hodnot REO 31

Číslo odběru	Kilometrů na olej	REO 31 [%]
1	2 338	0,39
2	6 557	0,60
3	9 371	0,85
4	14 112	1,40
5	15 835	1,42

Údaje naměřené v laboratoři DSZO a v laboratořích DFJP se považují podle výpočtu korelačního koeficientu (obr. 48) za středně silnou závislost.



Obr. 48 Graf závislosti mezi hodnotami karbonizačního zbytku a celkového znečištění

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

$$y = 2,54x + 2,02$$

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

$$r = 0,53$$

3.4.5 Autobus č. 822

U autobusu č. 822 byl první vzorek odebrán při celkově najetých 423 963 km z toho najetých na olej 23 828 km. Během prováděných analýz (tab. 24a) motorového oleje byl doplňován olej, jak je uvedeno v tabulce č. 24b. Tento kloubový autobus jezdí linky příměstských tras. Do provozu je nasazován denně, výjimečně ve dnech pracovního volna.

Tab. 24a Přehled o autobusu č. 822 (najeté km)

Autobus č. 882			
Číslo odběru	Datum odběru	Najeté km	Najeté km na olej
1	12. 10. 2011	423 963	23 828
2	15. 12. 2011	433 353	33 218
3	29. 2. 2012	443 178	43 043
4	3. 4. 2012	447 669	47 534

Tab. 24b Přehled o autobusu č. 822 (doplňování oleje)

Datum	Množství [l]	Datum	Množství [l]	Datum	Množství [l]
21. 4. 2011	25,0	12. 10. 2011	5,0	9. 1. 2012	5,4
23. 3. 2012	4,28				

Analýzy prováděné v laboratoři DSZO

Při porovnávání naměřených hodnot mezi odebranými vzorky (tab. 25) lze konstatovat stejnoměrné zvyšování hodnot u výsledků jednotlivých měření, které odpovídají narůstajícímu proběhu. Pouze hodnoty karbonizačního zbytku se blíží k horní hranici, která s obsahem 5 % se považuje za kritickou, až nebezpečnou.

Tab. 25 Analýzy s výsledky prováděných v DSZO

Číslo vozu 822	Analýzy					
Datum odběru oleje	DL	DS	WPC	CN (%)	V (%)	VS (%)
12. 10. 2011	61	50	111	4,45	0	90,9
15. 12. 2011	69	51	120	4,51	0	86,6
29. 2. 2012	77	51	128	4,65	0	84,8
3. 4. 2012	75	51	126	4,58	0	91,9

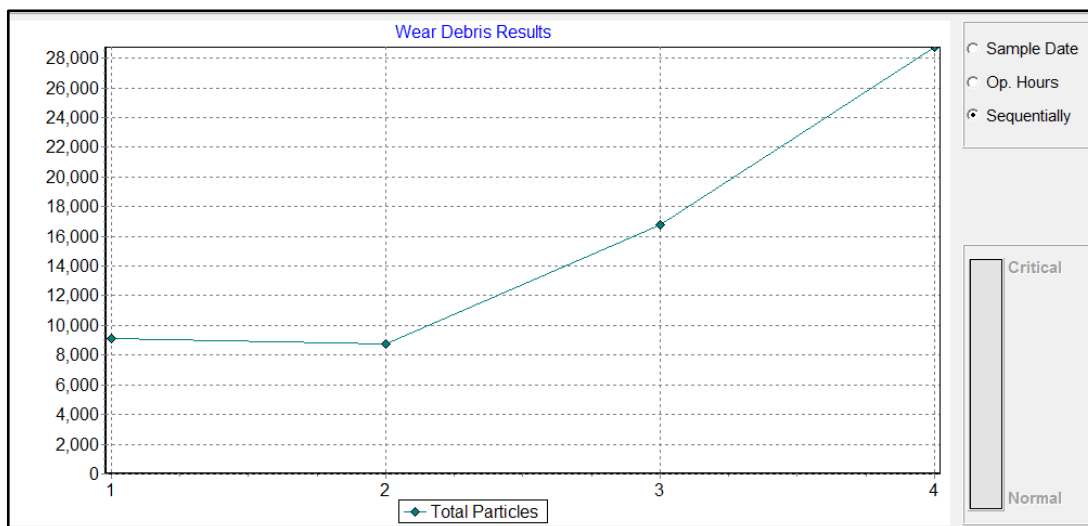
Vysvětlivky: DL-velké částice, DS-malé částice, WPC-celkové množství částic, CN-karbon. zbytek, V-obsah vody, VS-viskozita,

Hodnoty viskozity lze označit za velmi dobré. Přítomnost obsahu vody v olejové náplni nebyla zjištěna.

Analýzy prováděné v laboratořích DFJP

Analýzátor částic

Při sledování vývoje počtu částic metodou LNF byl zaznamenán nejvyšší nárůst u posledního odebraného vzorku.

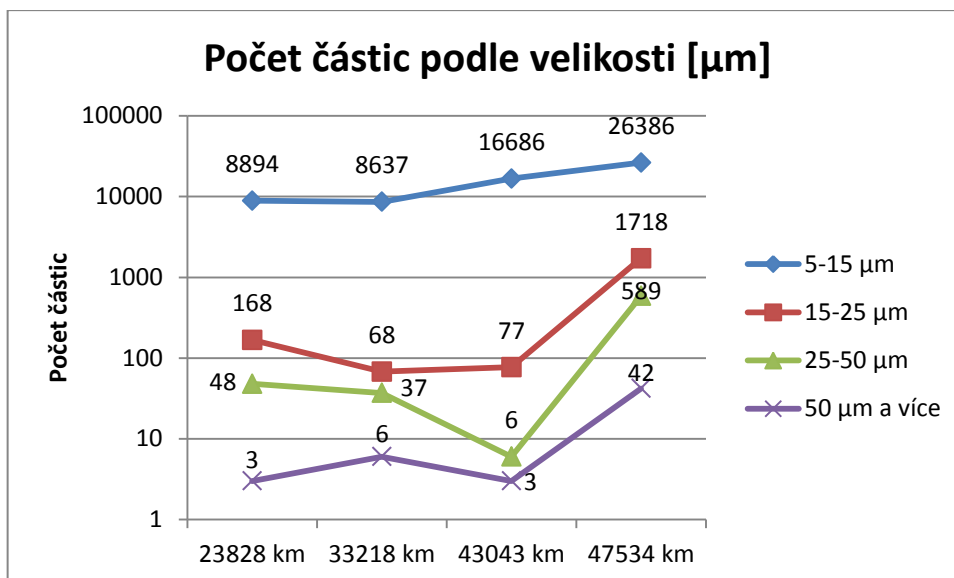


Obr. 49 Trend celkového znečištění

Tab. 26 Počty částic podle jejich velikosti

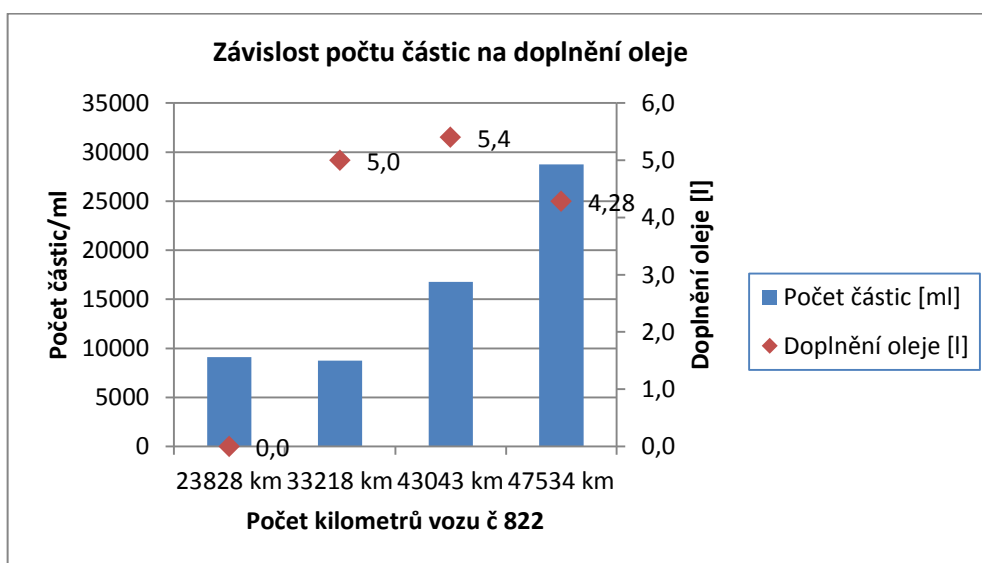
822	VELIKOSTI ČÁSTIC [μm]				Celkový počet částic
	5 – 15	15 – 25	25 – 50	50 a více	
Číslo měření					
1	8 894	168	48	3	9 113
2	8 637	68	37	6	8 748
3	16 686	77	6	3	16 772
4	26 386	1 718	589	42	28 735

Na počet částic má nemalý vliv doplňování oleje, které vede k ředění degradovaného oleje a tím v celkové zlepšení vlastností motorového oleje. Tento stav je zřetelný na obrázku č. 51, především u odebraného vzorku č. 2. a 3.



Obr. 50 Počet částic podle velikosti

Dále vývoj zvyšování počtu částic se jeví stejnoměrně, jak je podrobně uvedeno v tabulce č. 26 a graficky znázorněno na obrázku č. 50.

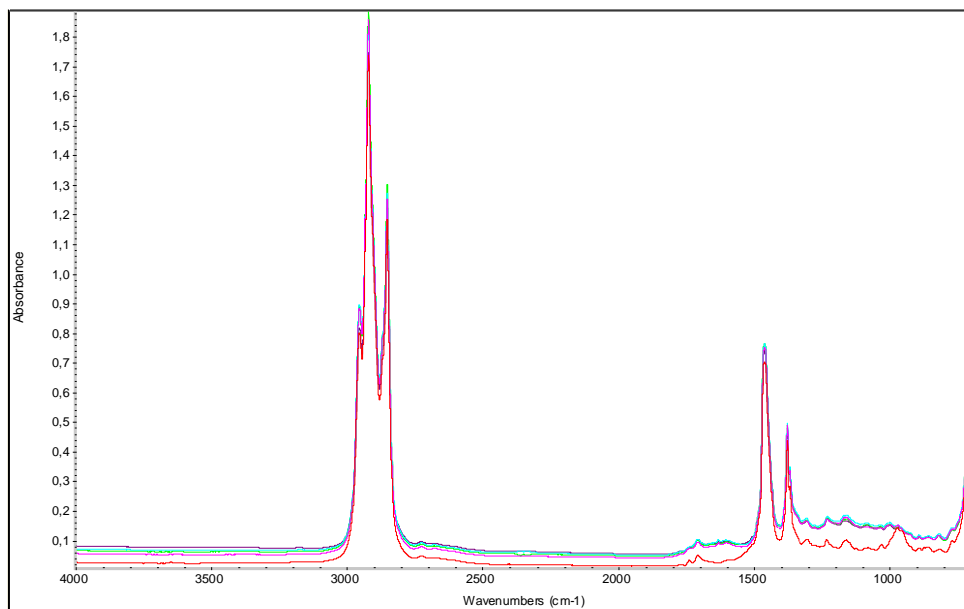


Obr. 51 Závislost počtu částic na doplnění oleje

FTIR spektrometrie

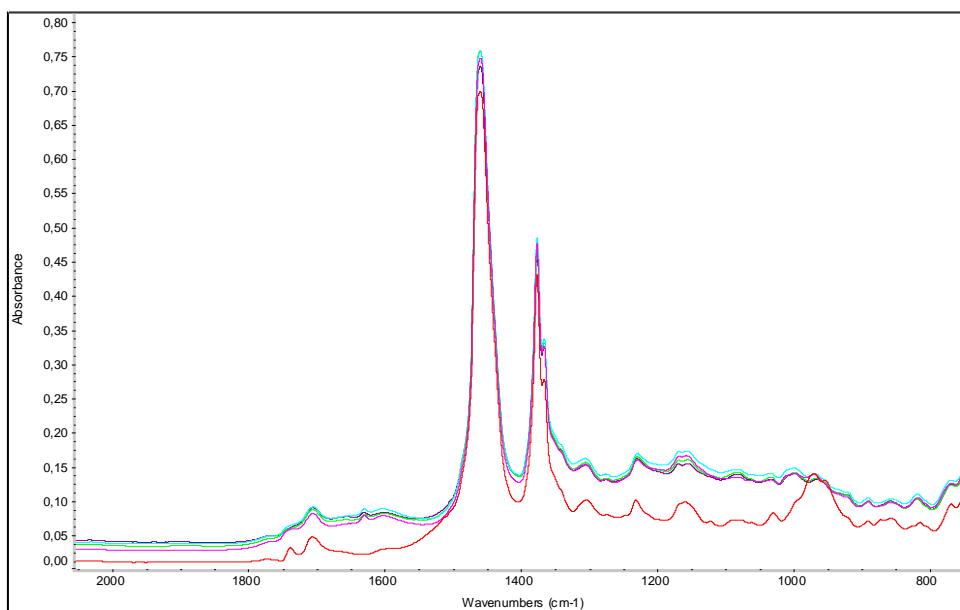
Při porovnávání metody FTIR analýzou (obr. 52) nového oleje (červená barva) a použitých olejů, lze konstatovat, že došlo k úplnému vyčerpání protiotěrové přísady ještě dříve, než proběhne plánovaná výměna oleje. Vyčerpání těchto otěrových přísad může mít značný vliv na vznik zvýšeného opotřebení součástí motoru.

Z detailu na obrázku č. 53 byl zaznamenán mírný nárůst absorpance v oblasti 2000 cm^{-1} , který tak charakterizuje přítomnost obsahu sazí v oleji nebo jiných mechanických nečistot. Nárůstem obsahu sazí se zanáší mazací systém, což indikuje na nesprávný způsob spalování, nebo nevhodný interval výměny oleje.



Obr. 52 Infračervené spektrum (celý měřený rozsah)

Dále byl zjištěn výrazný pokles absorpance v oblasti kolem 980 cm^{-1} (pás P–O–C z mazivostních a antioxidačních přísad).



Obr. 53 Detail oblasti (rozsah 2000 – 800 cm^{-1})

Olej vykazuje velmi dobrou oxidační stálost, protože v oblasti kolem 1710 cm^{-1} nedošlo k nárůstu absorbance, souvisejícímu s oxidací uhlovodíků, tj. k nárůstu obsahu oxidačních produktů obsahujících vazbu $\text{C}=\text{O}$.

Ve vzorcích se vyskytuje nevýrazný úzký pás v oblasti $1610 - 1630 \text{ cm}^{-1}$, související s nitrací oleje, k níž dochází v důsledku reakce oleje s oxidy dusíku ze spalných plynů. Tento pás je důležitým ukazatelem nadměrného opotřebení pístní skupiny, zejména netěsností pístních kroužků, může být způsoben nevhodným poměrem směsi palivo/vzduch ve spalovacím prostoru.

Hodnocené vzorky neobsahují vodu (široký pás $3600 - 3300 \text{ cm}^{-1}$) ani mrazuvzdornou přísadu na bázi glykol (dvojice pásů $1040 - 1080 \text{ cm}^{-1}$).

Atomová emisní spektrometrie

Při sledování hodnot odebraných vzorků metodou AES/RDE byly zaznamenány výraznější odchylky od deklarovaných hodnot. Byl indikován zvýšený nárůst otěrových kovů **Fe** a **Pb**, což je v souladu s výsledky FTIR analýzy, kde bylo zjištěno vyčerpání

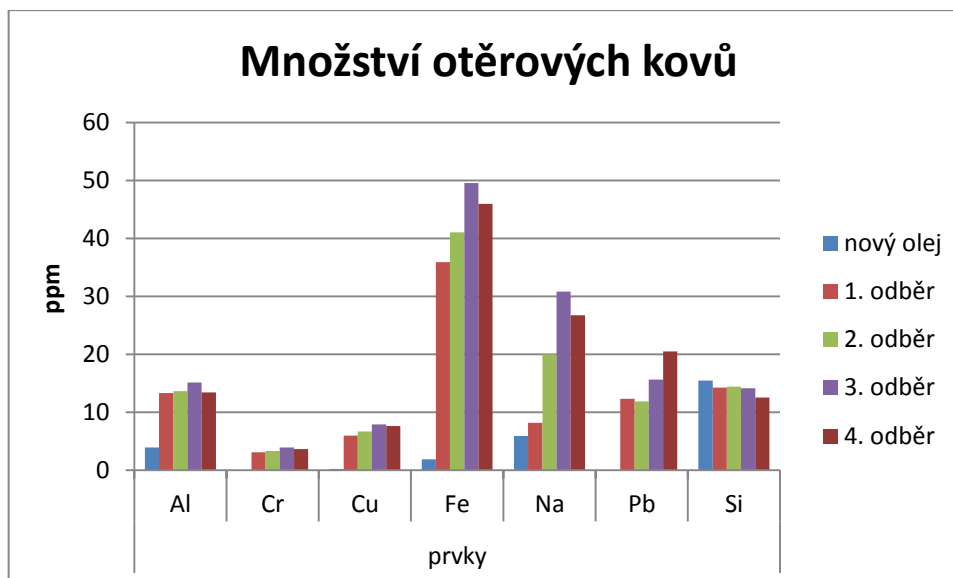
protiotěrové přísady. Lze tedy předpokládat snížení mazacího filmu, který může signalizovat počátky závady, jako např. zvýšené opotřebení, či dokonce zadíraní.

Tab. 27 Množství koncentrace kovů

822	Prvky						
	Al [ppm]	Cr [ppm]	Cu [ppm]	Fe [ppm]	Na [ppm]	Pb [ppm]	Si [ppm]
nový olej	3,88	0,00	0,19	1,86	5,90	0,00	15,43
1. odběr	13,31	3,10	5,97	35,87	8,14	12,32	14,24
2. odběr	13,60	3,29	6,68	41,03	19,98	11,84	14,38
3. odběr	15,12	3,88	7,89	49,52	30,79	15,62	14,11
4. odběr	13,43	3,62	7,63	45,96	26,72	20,50	12,52

Pro lepší přehled množství otěrových kovů je níže uvedena tabulka č. 54, která zobrazuje jen ty nejdůležitější zástupce konstrukčních kovů, mimo křemíku, který je součástí prachových částic a sodíku, jež může mít původ v chladicí kapalině, neboť chladiwa obsahují jako inhibitor koroze různé sodné soli včetně tetraboritanu sodného, či se může do olejové náplně dostat v zimním období z posypových solí [7]. Vzhledem k tomu, že odběry vzorků olejů byly provedeny v zimních obdobích, lze se domnívat, že zvýšené množství **Na** pochází právě z vozovek ošetřených posypovou solí.

Dále byla sledována hodnota obsahu dalších konstrukčních otěrových kovů, a to především **Cu**, která může signalizovat opotřebení ložisek. V tomto případě se jedná o nejvýše naměřenou hodnotu 7,63 ppm, což však stále odpovídá normálnímu opotřebení.



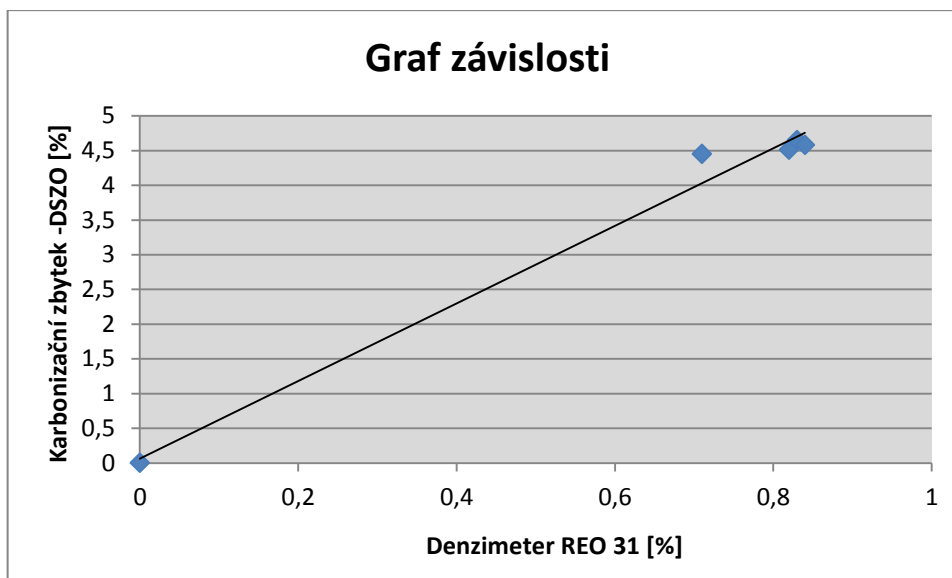
Obr. 54 Množství otěrových kovů

Celkové znečištění

Z tabulky číslo 27 lze vyčíst hodnoty naměřené na denzimetru REO 31, které vypovídají o mírném stupni znečištění. Počet ujetých kilometrů je v souladu s hodnotami zjištěných stanovením obsahu nečistot v oleji. Vyšší počet ujetých kilometrů znamená i vyšší obsah nečistot zjištěných ve vzorcích.

Tab. 27 Přehled naměřených hodnot REO 31

Číslo odběru	Kilometrů na olej	REO 31 [%]
1	23 828	0,71
2	33 218	0,82
3	43 043	0,83
4	47 534	0,84



Obr. 55 Graf závislosti mezi hodnotami karbonizačního zbytku a celkového znečištění

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

$$y = 5,59x + 0,06$$

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

$$r = 0,99$$

Po provedení grafu na výsledek korelačního koeficientu lze konstatovat velmi silnou závislost, jak je uvedeno na obrázku č. 55.

3.5 Souhrn experimentálních výsledků a doporučení pro DSZO

V kapitole 3.4 jsou uvedeny výsledky analýz vzorků oleje, které byly postupně odebírány z pěti autobusů v období X/2011 – IV/2012. Výsledky použitých metod s doporučením pro provozovatele jsou shrnuty v této kapitole. Všechny autobusy uvedené v této práci jsou podle pevně stanoveného plánu podrobeny pravidelným servisním prohlídkám. Výjimku tvoří pouze menší údržbové práce, či prohlídky, které vznikly běžným provozem.

Autobus č. 659

Autobus 659 je nasazovaný převážně na dělené služby s nižším denním пробěhem kilometrů. Na základě tohoto teplotního režimu motoru lze tedy usuzovat důvod snížené viskozity a vyššího karbonizačního zbytku. Přesto u tohoto autobusu s nejnižším evidenčním číslem a také nejnižším rokem výroby lze konstatovat, že technický stav podle provedených analýz motorového oleje je velmi dobrý. Nebyly shledány žádné překročené hodnoty jak u otěrových prvků, tak i u množství částic. Pouze na FTIR analýze se projevil pokles protiotěrových přísad, které však nebyly zcela vyčerpány.

Doporučení: stávající systém údržby a výměnný interval olejové náplně je vyhovující

Autobus č. 667

Autobus při analýze LNF Q200 vykazoval silnou tmavost vzorků od proběhu 31 256 km a musel být ředěn až do poměru 1 : 1 s novým olejem u posledního odebraného vzorku. Tento stav byl způsoben vysokým obsahem sazí. Byl zde také zaznamenán zvýšený obsah železa provedený analýzou AES, který koresponduje se značným úbytkem protiotěrové přísady TCP, zjištěný FTIR analýzou. S největší pravděpodobností dochází ke sníženému kontaktu třecích ploch.

Doporučení: nepřekračovat výměnné lhůty a zaměřit údržbu na celkovou kontrolu motorové části.

Autobus č. 673

Analýzou AES byly u autobusu naměřeny vyšší hodnoty **Fe**, kde se hodnota posledního vzorku dostala až na mez zvýšeného opotřebení. Jedním z důvodů této zvýšené hodnoty celkového opotřebení může být výrazný úbytek protiotěrových přísad typu ZnDDP – to se potvrdilo na základě měření FTIR analýzou. Porovnáním výsledků hodnot stanovení znečištění na přístroji REO 31 a přístrojem TCM-U, který se používá v laboratoři DSZO, bylo zjištěno, že mezi výsledky je velmi silná závislost.

Doporučení: nepřekračovat výměnné lhůty a zaměřit údržbu na celkovou kontrolu motorové části.

Autobus č. 702

Hodnoty měřené v laboratoři DSZO se velmi výrazně shodují s výsledky hodnot měřených v laboratořích DFJP. Analýzou AES byl zjištěn nebezpečný nárůst **Fe**, kde důvodem mohlo být vyčerpání protiotěrových a vysokotlakých aditiv. Tyto přísady se liší v hloubce, do které reagují s povrchem součástí. Běžná aditiva obsahují dialkyldithiofosfát zinečnatý (ZnDDP), trikresylfosfát (TCP).

Degradace olejové náplně je také způsobena větším obsahem sazí a karbonových úsad, které byly zjištěny na základě provedené analýzy LNF Q200. Z výsledků měřených po celou dobu provozu olejové náplně lze konstatovat, že zkrácený interval výměny oleje je správně nastaven, vzhledem k silné degradaci oleje ihned od počátku provozu olejové náplně.

Naměřené hodnoty jsou charakteristické pro všechna vozidla SOR, která provozuje DSZO. Lze se tedy domnívat, že se nejedná o blížící se závadu jednotlivého motoru, nýbrž o konstrukci vozidla. Především teplotní režim motoru v městském provozu je pro motor (a tím i pro olej) velmi nevýhodný. Motor se v provozu dostává do optimálního teplotního režimu pouze při jízdě z kopce při brzdění hydrodynamickým retardérem, který ohřeje ideálně chladicí kapalinu přes výměník.

Doporučení: nepřekračovat v žádném případě výměnné lhůty (doporučení mírné zkrácení výměnné lhůty), podrobit vozidlo důkladné kontrole

Autobus č. 822

U tohoto autobusu byl zaznamenán FTIR analýzou profuk spalných plynů dusíku do prostoru klikové skříně motoru. To svědčí o netěsnostech pístních kroužků a netěsnostech mezi pístem a válcem. Došlo k vyčerpání protiotěrové přísady typu TCP. Na kontaminaci oleje se kromě částic opotřebení (**Fe**, **Pb** a **Al**) podílela zřejmě i posypová sůl, kde nárůst sodíku byl zaznamenán metodou AES. Potenciálním zdrojem nárůstu **Fe** jsou obecné opotřebení, ložiska, podložky, zdvihátka a kroužky. Nárůst **Pb** může být také signálem opotřebení valivých ložisek. Zvýšená koncentrace **Al** svědčí o možném opotřebení pístů, válečkových ložisek a určitých typů pouzder.

Doporučení: údržbu zaměřit na kontrolu těsnosti spalovacího prostoru, zejména pístních kroužků, nepřekračovat výměnné lhůty

4. Závěr

V bakalářské práci jsou shrnuty současné poznatky z oblasti tribotechnické diagnostiky (TTD). Je zde popsán princip experimentálních metod, kterými byly v laboratoři Dopravní společnosti Zlín-Otrokovice, s.r.o. (DSZO) a v tribotechnické laboratoři Dopravní fakulty Jana Pernera (DFJP) analyzovány vzorky motorových olejů průběžně odebíraných z vybraných autobusů. Těmito metodami TTD, které jsou založené na chemické analýze, nebo měření určitých vlastností a charakteristik olejů, lze bezdemontážně diagnostikovat stav motoru, určit jeho případnou generální opravu, ale také určit, zda je pro daný typ vozidla vhodný dosud používaný druh oleje.

Ve firmě DSZO se provádějí výměny olejových náplní na základě vlastních analýz, kde v některých případech byl výměnný interval prodloužen a naopak se vyskytly i případy, kdy musel být výměnný interval zkrácen, než jak doporučoval výrobce. K analýzám v dopravní společnosti využívají jednoduché, téměř 19 let staré přístrojové vybavení.

Cílem bakalářské práce bylo posoudit, zdali se výsledky jednoduchých analýz prováděných v laboratoři DSZO shodují se závěry z analýz prováděných na poměrně nákladném instrumentálním vybavení tribotechnické laboratoře DFJP. Na základě souhrnných experimentálních výsledků navrhnout případnou optimalizaci výměnných intervalů.

Na základě provedených analýz a vyhodnocení lze konstatovat, že průběžné monitorování stavu olejové náplně v DSZO splňuje svůj účel – výměnné intervaly u sledovaných autobusů jsou nastaveny tak, aby nebyl vyměňován olej, který mohl v motoru ještě plnit svoji funkci a zároveň aby byla dodržena provozní spolehlivost motoru. Aplikací metod TTD je kromě ekonomických úspor zaveden i pořádek do mazacích služeb a snižuje se poruchovost. Efektivní hospodaření s mazivou má i pozitivní vliv na životní prostředí.

Použitá literatura

- [1] *Tribotechnika – tribotechnické informace*. [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné na WWW: <<http://www.tribotechnika.cz>>.
- [2] *Tribologie a tribotechnika*. [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné na WWW: <<http://www.strojarstvo.sk/inc/casopis/032006/6-7.pdf>>.
- [3] *Degradace strojních součástí*. [online]. [cit. 2012/04/15]. Dostupné na WWW. <http://degradace.tf.czu.cz/Dgrd_txt/Mngr_ram_txt2.htm>.
- [4] STRAKA, B. *Motorové oleje a tribotechnická diagnostika naftových motorů*. Praha: NADAS, 1986.
- [5] VLK, F. *Paliva a maziva motorových vozidel*. Brno: nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2006. 375 s. ISBN 80-239-6461-5.
- [6] *Vlastnosti motorových olejů – Základní funkce olejů*. [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné na WWW: <http://www.znalec.tym.cz/01_zakl.pdf>.
- [7] *Otěrové kovy*. [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné na WWW: <http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju10>.
- [8] *Voda a glykol v oleji*. [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné na WWW: <http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju9>.
- [9] *Palivo v oleji*. [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné na WWW: <http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju8>.
- [10] *Co udělá špatný nebo starý olej s motorem?* [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné na WWW: <<http://www.oleje-cz.cz/co-udela-stary-olej-s-motorem.html>>.
- [11] *Oxidační stabilita, nitrace oleje*. [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné na WWW: <http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju7> .
- [12] *Nečistoty a saze v motorovém oleji*. [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné na WWW: <http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju6>.
- [13] *Detergenty a disperzanty*. [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné na WWW: <http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju5>.
- [14] *Infračervená spektroskopie*. [online]. [cit. 2012-04-25]. Dostupné na WWW: <<http://lms.vscht.cz/Zverze/Infrared.htm>>.

- [15] *Atomová emisní spektrometrie*. [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné na WWW: <http://www.museum.mineral.cz/minerality/ucebnice/obecna_min/o_66.php>.
- [16] *Prediktivní údržba pomocí analýzy olejů*. [online]. [cit. 2012-04-25]. Dostupné na WWW: <<http://www.spectro.cz/store/spectroil-q100-cz.pdf>>.
- [17] STODOLA, J. *Diagnostika motorových vozidel*. Brno: Skripta VUT Brno, 2003.
- [18] *Infračervená spektroskopie*. [online]. [cit. 2012-04-26]. Dostupné na WWW: <<http://web.natur.cuni.cz/analchem/pprakt/ftir.pdf>>.
- [19] *Kontrola stavu provozních kapalin*. [online]. [cit. 2012-04-26]. Dostupné na WWW: <http://www.cahp.cz/wp-content/2012/03/05_ALS_Kontrola_stavu_kapalin.pdf>
- [20] *Spektro LNF Q200*. [online]. [cit. 2012-04-26]. Dostupné na WWW: <<http://www.spectro.cz/store/spectroInf-q200-cze.pdf>>.
- [21] *Měření obsahu nečistot v použitých motorových olejích*. [online]. [cit. 2012-04-26]. Dostupné na WWW: <<http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-1-2009/mereni-obsahu-necistot-v-pouzitych-motorovych-olejich.html>>.
- [22] REO – 31 Denzimeter ReoTrade. s.r.o., Technické podmínky, návod k obsluze.
- [23] GLOS, J.: *Moderní metody analýzy opotřebení strojních součástí*. In Sborník mezinárodní konference „Transfer 2009“. Trenčín, Trenčianska univerzita A. Dubčeka, 2008, s. 138-142. ISBN 978-80-8075-414-3.

Seznam použitých obrázků

- Obr. 1 Signály oxidace a nitrace v infračervených spektrech [11]
- Obr. 2 Viskozimetr RHEOTEST [foto autor]
- Obr. 3 Přístroj TCM-U [foto autor]
- Obr. 4 Plotýnka na měření obsahu vody v oleji [foto autor]
- Obr. 5 Kapilárový ferrograf PMA 90s [foto autor]
- Obr. 6 Spectro LNF Q200 [20]
- Obr. 7 Zobrazení výsledků LNF v tabulce „Souhrn opotřebení“
- Obr. 8 Únavové opotřebení [19]
- Obr. 9 Víceodrazový ATR krystal [18]
- Obr. 10 Spectroil Q 100 [16]
- Obr. 11 Autobus č. 659 Renault CityBus [foto autor]
- Obr. 12 Autobus č. 667 IrisBus CityBus [foto autor]
- Obr. 13 Autobus č. 673 IrisBus Citelis [foto autor]
- Obr. 14 Autobus č. 702 SOR B 9,5 [foto autor]
- Obr. 15 Autobus č. 822 IrisBus CityBus [foto autor]
- Obr. 16 Schéma přístroje LNF [23]
- Obr. 17 Pracoviště analýzy LNF s ultrazvukovou lázní vpravo [foto autor]
- Obr. 18 Třepačka [foto autor]
- Obr. 19 Pracoviště pro metodu FT-IR [foto autor]
- Obr. 20 REO 31 Denzimeter [foto autor]
- Obr. 21 Trend celkového znečištění (autobus č. 659)
- Obr. 22 Počet částic podle velikosti (autobus č. 659)
- Obr. 23 Závislost počtu částic na doplnění oleje (autobus č. 659)
- Obr. 25 Infračervené spektrum (měřený celý rozsah) (autobus č. 659)
- Obr. 25 Detail oblasti (rozsah $2000 - 800 \text{ cm}^{-1}$) (autobus č. 659)
- Obr. 26 Množství otěrových kovů (autobus č. 659)
- Obr. 27 Graf závislosti mezi hodnotami karbonizačního zbytku a celkového znečištění (autobus č. 659)
- Obr. 28 Trend celkového znečištění (autobus č. 667)

- Obr. 29 Počet částic podle velikosti (autobus č. 667)
- Obr. 30 Závislost počtu částic na doplnění oleje (autobus č. 667)
- Obr. 31 Infračervené spektrum (celý měřený rozsah) (autobus č. 667)
- Obr. 32 Detail oblasti (rozsah 2000 – 700 cm^{-1}) (autobus č. 667)
- Obr. 33 Množství otěrových kovů (autobus č. 667)
- Obr. 34 Graf závislosti mezi hodnotami karbonizačního zbytku a celkového znečištění (autobus č. 667)
- Obr. 35 Trend celkového znečištění (autobus č. 673)
- Obr. 36 Počet částic podle velikosti (autobus č. 673)
- Obr. 37 Závislost počtu částic na doplnění oleje (autobus č. 673)
- Obr. 38 Infračervené spektrum (celý měřený rozsah) (autobus č. 673)
- Obr. 39 Detail oblasti (rozsah 2000 – 700 cm^{-1}) (autobus č. 673)
- Obr. 40 Množství otěrových kovů (autobus č. 673)
- Obr. 41 Graf závislosti mezi hodnotami karbonizačního zbytku a celkového znečištění (autobus č. 673)
- Obr. 42 Trend celkového znečištění (autobus č. 702)
- Obr. 43 Počet částic podle velikosti (autobus č. 702)
- Obr. 44 Závislost počtu částic na doplnění oleje (autobus č. 702)
- Obr. 45 Infračervené spektrum (celý měřený rozsah) (autobus č. 702)
- Obr. 46 Detail oblasti (rozsah 2000 – 700 cm^{-1}) (autobus č. 702)
- Obr. 47 Množství otěrových kovů (autobus č. 702)
- Obr. 48 Graf závislosti mezi hodnotami karbonizačního zbytku a celkového znečištění (autobus č. 702)
- Obr. 49 Trend celkového znečištění (autobus č. 822)
- Obr. 50 Počet částic podle velikosti (autobus č. 822)
- Obr. 51 Závislost počtu částic na doplnění oleje (autobus č. 822)
- Obr. 52 Infračervené spektrum (celý měřený rozsah) (autobus č. 822)
- Obr. 53 Detail oblasti (rozsah 2000 – 800 cm^{-1}) (autobus č. 822)
- Obr. 54 Množství otěrových kovů (autobus č. 822)
- Obr. 55 Graf závislosti mezi hodnotami karbonizačního zbytku a celkového znečištění (autobus č. 822)

Seznam použitých tabulek

- Tab. 1. Otěrové kovy v motorovém oleji a jejich zdroje [7]
- Tab. 2 Vlnočty charakteristických sloučenin a strukturních skupin [18]
- Tab. 3 Limitní koncentrace kovů v motorovém oleji [7]
- Tab. 4a Přehled o autobusu č. 659 (najaté km)
- Tab. 4b Přehled o autobusu č. 659 (dolévání oleje)
- Tab. 5 Analýzy s výsledky prováděné v DSZO (autobus č. 659)
- Tab. 6 Počty částic podle jejich velikosti (autobus č. 659)
- Tab. 7 Množství koncentrace kovů (autobus č. 659)
- Tab. 8 Přehled naměřených hodnot REO 31 (autobus č. 659)
- Tab. 9a Přehled o autobusu č. 667 (najaté km)
- Tab. 9b Přehled o autobusu č. 667 (dolévání oleje)
- Tab. 10 Analýzy s výsledky prováděné v DSZO (autobus č. 667)
- Tab. 11 Počty částic podle jejich velikosti (autobus č. 667)
- Tab. 12 Množství koncentrace kovů (autobus č. 667)
- Tab. 13 Přehled naměřených hodnot REO 31 (autobus č. 667)
- Tab. 14a Přehled o autobusu č. 673 (najaté km)
- Tab. 14b Přehled o autobusu č. 673 (dolévání oleje)
- Tab. 15 Analýzy s výsledky prováděných v DSZO (autobus č. 673)
- Tab. 16 Počty částic podle jejich velikosti (autobus č. 673)
- Tab. 17 Množství koncentrace kovů (autobus č. 673)
- Tab. 18 Přehled naměřených hodnot REO 31 (autobus č. 673)
- Tab. 19a Přehled o autobusu č. 702 (najaté km)
- Tab. 19b Přehled o autobusu č. 702 (dolévání oleje)
- Tab. 20 Analýzy s výsledky prováděných v DSZO (autobus č. 702)
- Tab. 21 Počty částic podle jejich velikosti (autobus č. 702)
- Tab. 22 Množství koncentrace kovů (autobus č. 702)
- Tab. 23 Přehled naměřených hodnot REO 31 (autobus č. 702)
- Tab. 24a Přehled o autobusu č. 822 (najaté km)
- Tab. 24b Přehled o autobusu č. 822 (dolévání oleje)

Tab. 25 Analýzy s výsledky prováděných v DSZO (autobus č. 822)

Tab. 26 Počty částic podle jejich velikosti (autobus č. 822)

Tab. 27 Množství koncentrace kovů (autobus č. 822)

Tab. 28 Přehled naměřených hodnot REO 31 (autobus č. 822)