

**Univerzita Pardubice**  
**Dopravní fakulta Jana Pernera**

Hodnocení znečištění motorových olejů  
Aleš Hamerský

**Bakalářská práce**  
**2012**

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

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Aleš Hamerský  
Osobní číslo: D09538  
Studijní program: B3709 Dopravní technologie a spoje  
Studijní obor: Provozní spolehlivost dopravních prostředků a infrastruktury:  
Ochrana životního prostředí v dopravě  
Název tématu: Hodnocení znečištění motorových olejů  
Zadávající katedra: Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

### Zásady pro vypracování:

- 1) Vypracujte přehled současného stavu poznatků o průběhu degradace motorových olejů v provozu a o metodách stanovení obsahu nečistot v tomto typu olejů.
- 2) Zabezpečte odběr olejů z vybraných vozidel, připravte zkušební vzorky pro analýzy.
- 3) Seznamte se s principy a metodikou použitých experimentálních metod (stanovení obsahu nečistot v oleji denzimetrickou metodou, FTIR spektrometrie). Proveďte příslušné laboratorní zkoušky. Ověřte metodiku jednoduchého kvantitativního hodnocení zbarvení zkušebního proužku. Experimentální výsledky srovnajte s výsledky klasických zkoušek. Výsledky experimentálních prací vyhodnoťte a interpretujte.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. VLK, F. Paliva a maziva motorových vozidel. Brno: Nakladatelství a vydavatelství, 2006. 376 s. ISBN 80-239-6461-5.
2. STODOLA, J. Diagnostika motorových vozidel. Brno: VUT 2003.
3. STODOLA, J., MACHALÍKOVÁ, J.: Spolehlivost a diagnostika BSV. Část: Provozní hmoty a materiály pro MVT. Skriptum. Brno: Vydavatelská skupina UO, Brno. Univerzita obrany. 2006. 132 stran. ISBN 80-7231-167-0.
4. ŠTĚPINA, V. a VESELÝ, V. Maziva v tribologii. Bratislava: Veda, 1985.
5. LAIFR, M. Metody stanovení znečištění motorových olejů. Bakalářská práce. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2011.

Vedoucí bakalářské práce:

**doc. RNDr. Jaroslava Machalíková, CSc.**  
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 vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/200 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 31.5.2012

Aleš Hamerský

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucí práce paní doc. RNDr. Jaroslavě Machalíkové, CSc, za vedení práce a odbornou pomoc.

Velký dík také patří paní Daniele Kubrtové za poskytnutí vzorků motorových olejů z Depa kolejových vozidel Česká Třebová.

## **Anotace**

V bakalářské práci byla zpracována rešerše shrnující současné poznatky o vlastnostech motorových olejů a o experimentálních metodách, které se používají k určování stupně znečištění olejů. Výsledky základních stanovení (obsahu mechanických nečistot, bodu vzplanutí a kinematické viskozity) provedených v Depu kolejových vozidel ČD v České Třebové byly doplněny o výsledky FTIR spektrometrie a srovnávány s vlastním denzimetrickým měřením na přístroji REO-31. Na souboru 99 vzorků byla ověřena možnost použití programu Pixie 4.1 pro stanovení celkového znečištění motorových olejů.

## **Klíčová slova**

motorový olej, znečištění olejů, tribotechnická diagnostika, infračervená spektrometrie, denzimetrie

## **Title**

Evaluation of Contamination Level of Motor Oils

## **Abstract**

In this bachelor thesis presents the current knowledge of the characteristics of motor oils and about the experimental methods used to determine the degree of contamination of oil. The results of basic assessments (volume of mechanical contaminants, flash point and kinematic viscosity), conducted in 'Depo kolejových vozidel ČD' in Česká Třebová, were supplemented by the results of FTIR spectrometry and compared with densimetric measurements on REO-31. The capabilities of using Pixie 4.1 program for determining the overall contamination of motor oils were tested on the set of 99 samples.

## **Keywords**

Motor Oil, Oil Contamination, Tribotechnical Diagnosis, Infrared Spectroscopy, Densimetry

# Obsah

1	Úvod.....	8
2	Teoretická část .....	10
2.1	Motorové oleje .....	10
2.2	Vlastnosti motorových olejů .....	13
2.3	Diagnostika motorových olejů .....	16
2.4	Kontaminace a degradace olejových náplní.....	18
2.5	Metody pro stanovení nečistot a dalších látek v oleji .....	23
2.6	Teoretické základy použitých experimentálních metod.....	25
3	Experimentální část.....	27
3.1	Charakteristika železničních motorových vozidel řady 810 a 814 .....	27
3.2	Měření celkového znečištění motorových olejů pomocí Denzimetru REO 31.....	33
3.3	Metoda stanovení znečištění programem Pixie 4.1.....	37
3.4	Infračervená spektrometrie.....	39
3.5	Vyhodnocení experimentální části.....	41
3.6	Měření celkového znečištění motorových olejů pomocí Denzimetru REO 31 a programem Pixie 4.1 .....	41
3.7	Porovnání metod analyzujících celkového znečištění motorových olejů .....	54
3.8	Vyhodnocení infračervené spektrometrie .....	56
4	Závěr .....	71
	Použitá literatura .....	73
	Seznam obrázků.....	76
	Seznam tabulek .....	78
	Seznam příloh .....	79

# 1 Úvod

Působení dopravy na životní prostředí úzce souvisí s technickým stavem dopravních prostředků. Z ekonomických důvodů jsou kladeny stále vyšší nároky na prodloužení jejich dobrého technického stavu, na zabezpečení vysoké provozní spolehlivosti, na snižování spotřeby paliv i dalších provozních hmot. Růst kvality a efektivnosti údržby pozitivně ovlivňuje tribotechnická diagnostika, která může při důsledném uplatňování přinést snižování nákladů a současně přispívat ke snižování škodlivých vlivů dopravy na složky životního prostředí.

V současné době se velmi intenzivně rozvíjejí fyzikální a fyzikálně-chemické instrumentální zkušební metody pro posuzování stupně opotřebení provozních kapalin, zejména olejů. Získané analytické údaje poskytují kromě diagnostické informace i informaci prognostickou, tj. dovolují předvídat případné havarijní situace a předcházet jim. Uplatňují se jak expresní metody jednoduché provozní diagnostiky, tak i standardní laboratorní zkoušky podle příslušných norem i jiných předpisů a náročné instrumentální metody.

Zkušenosti z provozu dokazují, že výměnné lhůty pro oleje i jiné provozní kapaliny v mnoha případech neodpovídají optimálním. Při striktním dodržování předepsaných lhůt může být vyměňovaný olej nadměrně opotřebovaný a svými vlastnostmi nesplňuje požadavky, které jsou kladeny na kvalitní mazivo; v jiném případě může být vyměňován olej, který ještě mohl plnit svou funkci a výměna je tedy nevýhodná zvláště z ekonomického hlediska – není-li provedena analýza, vyměňuje se olej, aniž jsou známy jeho momentální vlastnosti. Tyto problémy je možné účelně řešit právě využitím tribotechnické diagnostiky, která vychází z individuálního posouzení stupně degradace oleje v konkrétním motoru, převodovce či jiném mechanismu na základě analýzy použitého oleje. Využívá mazivo jako zdroj informací o dějích a změnách jak v technických systémech, v nichž jsou maziva aplikována, tak i v samotném mazivu. Vhodná interpretace výsledků rozborů umožňuje nejen včas upozornit na příznaky blížící se poruchy stroje, ale v řadě případů umožňuje i určení místa vzniku mechanické závady.

Nevýhodou instrumentálních metod je vysoká pořizovací cena laboratorního vybavení a požadavky na odbornou kvalifikaci obsluhy. Pro běžné uživatele nedisponující náročným instrumentálním vybavením se jedná v těchto případech spíše o předání vzorků olejů do specializovaných laboratoří, které za poplatek zajistí provedení požadovaných analýz.



Výsledkem analýz je záznam o aktuálním technickém stavu oleje nebo stroje s případným doporučením dalšího provozu nebo výměny.

Takto prováděné analýzy mají význam zejména v případech, kde uživatel provozuje stroje, které mají velké objemy mazacího média, nebo tam, kde případná havárie stroje způsobená selháním mazacího média by měla za následek vysoké náklady či ohrožení bezpečnosti osob nebo životního prostředí.

Jednoduché metody, které nevyžadují použití přístrojové techniky a dalšího laboratorního vybavení je možné realizovat v provozních podmínkách s minimálními náklady. Jednoduché provozní metody – tedy rychlé, ale pouze informativní zkoušky – je možno pro jejich cenovou nenáročnost využít pro průběžné sledování stavu olejové náplně a v případě podezření na zhoršení parametrů olejové náplně provést rozbor s využitím klasických zkoušek nebo pokročilých instrumentálních metod.

Cílem této práce proto bylo ověření metody pro hodnocení znečištění motorových olejů s využitím modifikovaného denzimetrického postupu, který kvantitativně hodnotí zbarvení zkušebního proužku na základě určení jeho barevného odstínu bez nutnosti použít speciální přístroj. Na souboru 99 vzorků z motorových vozů řad 810 a 814 provozovaných Českými drahami byla testována míra korelace hodnot zbarvení, výsledků denzimetrického měření a obsahu celkových nečistot. Součástí práce byla i analýza všech vzorků s využitím infračervené spektrometrie na FTIR spektrometru iS10.

## 2 Teoretická část

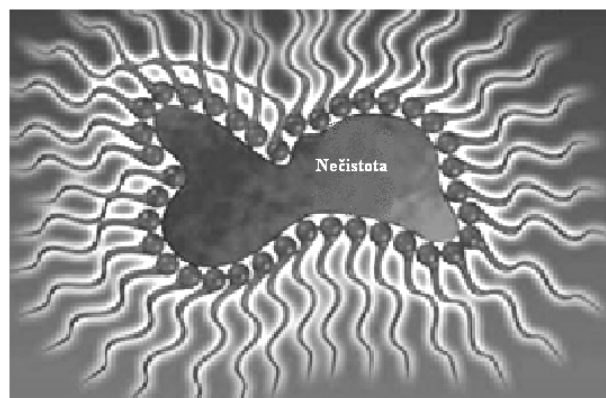
### 2.1 Motorové oleje

Motorový olej je nezbytná provozní náplň spalovacích motorů. Technologicky je nejsložitější olejářský výrobek. Rozpustný je v éteru, benzínu a dalších organických rozpouštědlech. Ve vodě je nerozpustný a při styku s ní tvoří bílou emulzi.

Motorový olej plní v motoru pět základních funkcí. Hlavní funkcí je zabezpečovat správné mazání, a omezovat tak tření mezi pohyblivými částmi. Další funkcí oleje je chlazení – olej odvádí teplo vzniklé při tření a hoření ve spalovacím prostoru. Olej také udržuje motor v čistotě; při průtoku oleje motorem se nečistoty, které vznikají opotřebením při chodu motoru, zachycují v olejovém filtru. Olej chrání kovové plochy před korozí. Olejový film, který vzniká mezi pístními kroužky a stěnou válce, má rovněž dotěšňovací schopnost. Motor, ve kterém je pravidelně měněn olej, má vyšší účinnost a je méně hlučný [1].

#### Výroba motorového oleje

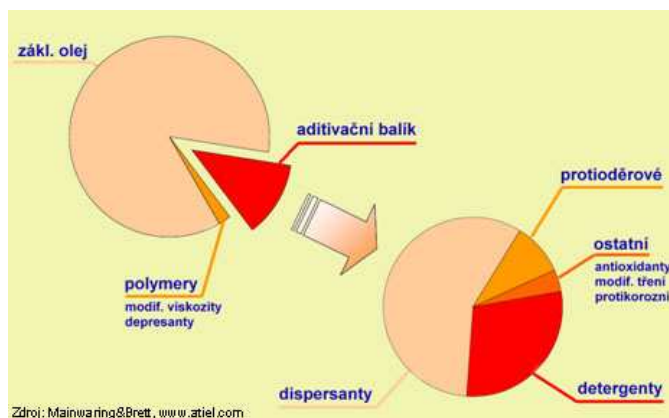
Motorové oleje se vyrábějí zpracováním ropy. Ropa je směsí přírodních látek, která vznikla fyzikálně chemickými procesy během mnoha milionů let. První motorové oleje byly vyráběny pouze rafinací základového oleje a neobsahovaly žádné přísady. Výměnné lhůty těchto olejů se pohybovaly v řádech stovek kilometrů. Později se do motorového oleje začaly přidávat antioxidanty, které olej chrání před nadměrnou oxidací a prodlužují výměnné lhůty olejové náplně. Prodloužení výměnných lhůt znamenalo problém s nečistotami, které se při delším provozu v oleji hromadí. Tento problém byl vyřešen přidáním detergentních a disperzantních přísad, které udržují motor v čistotě [1].



Obr. 1 Představa působení disperzantů [1]

Detergenty a disperzanty musejí být v motorovém oleji funkčně sladěny s dalšími přísadami. Proto jsou součástí tzv. aditivačního balíku, kterým se motorovému oleji dodávají jeho výkonové vlastnosti [1].

Na obrázku 2 je schematicky uvedeno složení motorových olejů a složení aditivačního balíku.



Obr. 2 Složení motorových olejů [1].

Motorové oleje se rozdělují na minerální, syntetické a polosyntetické.

### Minerální oleje

Minerální oleje se vyrábějí frakční destilací z ropy, jsou odděleny lehčí a těžší uhlovodíkové složky. Výsledný produkt se technologicky upravuje a aditivuje.

Jedná se o průhledný, bezbarvý olej složený především z alkanů (typicky s 15 až 40 atomy uhlíku v molekule) a cyklických parafinů. Má hustotu 0,8–0,9 g/cm<sup>3</sup>. Je dostupný jako lehký a těžký minerální olej [4].

### Syntetické motorové oleje

Syntetické oleje se vyrábějí velmi náročnou technologií. Z ropného základu se extrahují pouze ty složky, které jsou vhodné pro mazání; nepotřebné a nevhodné složky, které není možné normální destilací odstranit, zde nejsou přítomné a tedy olejový základ neovlivňují. Takto získaný základový olej se aditivuje podobně jako olej minerální, ovšem mnoho aditiv je odlišných a vhodných pouze do synteticky vyráběných olejů [2].

Syntetické oleje se často využívají namísto maziv získávaných rafinací ropy, protože obecně nabízejí lepší mechanické a chemické vlastnosti než tradiční minerální oleje [5].

Výroba syntetickou cestou má výhodu v tom, že olej obsahuje jen ty složky, které jsou nezbytně nutné a vhodné. Oproti minerálním olejům neobsahují žádné látky, které zhoršují

vlastnosti motorového oleje a nelze je klasickou cestou odstranit. Výroba syntetického oleje se provádí vhodnou úpravou chemických sloučenin (např. polyolefinů, aromatických sloučenin, esterů organických kyselin a alkoholů, polyglykolů, halogenových olejů a dalších). Tyto látky mají vlastnosti podobající se ropným mazivům. Oproti ropným olejům mají však vyšší mazivost, odolnost proti vysokým teplotám, vyšší tekutost při nižších teplotách, vyšší viskozitní index i další vlastnosti [6].

### **Polysyntetické oleje**

Polysyntetické oleje jsou motorové oleje, které vzniknou tak, že do minerálního základu se přimíchává syntetický olej určitého složení. Obsah syntetické složky nesmí být menší než 20 % objemu, špičkové polosyntetické oleje obsahují až 65 % syntetického oleje [6].

Takto vyrobený základ se dále aditivuje pro dosažení potřebných parametrů. Celkově jsou polosyntetické oleje svými vlastnostmi mezi minerálními a syntetickými oleji. Nejsou sice lepší než oleje syntetické, jsou však kvalitativně na vyšší úrovni, než oleje minerální a jejich životnost je také větší než u minerálních [6].

Tento jev se však dnes eliminoval vznikem nových technologií výroby minerálních olejů a rozdíl mezi kvalitou olejů se téměř vyrovnal. Dnes již v podstatě neexistují čisté minerální motorové oleje, ale oleje na minerální bázi, které jsou na požadované vlastnosti komponovány s četnou zušlechťující syntetickou složkou [6].

Podle chemického principu se syntetické báze (základové oleje) dělí na tzv. PAO (oleje vyvinuté na základě směsi polyalfaolefinového základového oleje) a estery. I tyto dva typy syntetických bází jsou však při komponování syntetického automobilového oleje v různém poměru míchány tak, aby konečný produkt využíval jejich kladných vlastností a záporné se vzájemně doplnily, nebo dokonce vyrušily. Jako příklad lze uvést, že syntetické oleje typu PAO při dlouhodobém styku s pryží způsobují její smršťování, což by v motoru způsobilo potíže zejména s různými těsněními. Naproti tomu syntetické oleje na bázi esterů způsobují bobtnání pryže.

Estery se však vyznačují jednou velmi důležitou kladnou vlastností, která je dána jejich molekulární stavbou a polaritou částic, a to je přilnavost ke kovovým materiálům, což způsobuje, že se po dlouhou dobu drží na kolmých plochách a nestékají, čímž jednak tyto plochy konzervují, neboť jsou na ně navázány antioxidační přísady, a navíc zabraňují nadměrnému opotřebení třecích ploch nad hladinou olejové lázně při nastartování motoru po delší odstávce. I když teoreticky lze konstatovat, že samotná olejová esterová báze má

lepší vlastnosti než čistá PAO báze, prakticky se rozdíl vyruší, s ohledem na skutečnost, že automobilové oleje jsou komplikované sloučeniny složené z mnoha komponent. Jako syntetické motorové oleje jsou dnes označovány pouze dva typy olejů a to oleje založené na skutečně syntetických základech (PAO a estery) a oleje v podstatě na minerální bázi, zušlechtěné technologií VHVI (z angl. Very High Viscosity Index), kterou se dosahuje vysokých hodnot viskozitního indexu [6].

## 2.2 Vlastnosti motorových olejů

Motorový olej má mít po celou dobu provozu tyto vlastnosti: dostatečná únosnost mazacího filmu, tekutost za nízkých teplot, dostatečná viskozita v celém rozsahu pracovních teplot, termooxidační stálost, schopnost odvádět teplo, schopnost neutralizovat kyselé produkty, schopnost udržovat motor čistý, malou odparnost, kompatibilitu s materiály těsnění, ochranu proti korozi [7]

Uvedené vlastnosti oleje jsou zajištěny pomocí přísad, jejichž podíl může být až 20 %. Během provozu tyto přísady degradují a olej ztrácí některé své důležité vlastnosti.

### Viskozita

Jedná se o fyzikální veličinu, která udává poměr mezi tečným napětím a změnou rychlosti v závislosti na vzdálenosti mezi sousedními vrstvami při proudění skutečné kapaliny [7].

Viskozita (míra vnitřního tření) není konstantní veličina, ale závisí na okolních podmínkách. Při činnosti motoru dochází ke změnám teploty a tlaku a je žádoucí, aby se viskozita oleje za těchto podmínek měnila co možná nejméně.

Viskozita je hlavní vlastností olejů, která zajišťuje ochranu před opotřebením, minimalizaci tření a odvod tepla z třecích kontaktů. Viskozita je měřítkem tekutosti kapalin. Údaje o viskozitě jsou u průmyslových olejů uváděny obvykle při 40 °C a jsou doplněny také závislostí viskozity na teplotu. Tato závislost je vyjádřena viskozitním indexem (VI), spočítaným z viskozit při teplotě 40 °C a 100 °C [7].

Čím vyšší je hodnota VI, tím méně se mění viskozita při změnách teploty v motoru.

Je-li viskozita vysoká, vznikají ztráty energie a odvod tepla není efektivní. Je-li naopak viskozita nízká, nevytvoří se mazací film. Motorové oleje se podle viskozity zařazují do viskozitních tříd podle klasifikace SAE. Tato norma používá pro klasifikaci olejů 6 zimních tříd označených číslem a písmenem "W" (Winter) a 5 letních tříd označených

číslem. Číslo je bezrozměrné a nevyjadřuje vztah k žádné fyzikální veličině. Přesto je jistou analogií k viskozitě. Čím je tedy jeho hodnota vyšší, tím je i takto označený olej za dané teploty viskóznější [3].

Tab. 1 Klasifikace SAE [3]

<b>Zimní třídy</b>	<b>0W</b>	<b>5W</b>	<b>10W</b>	<b>15W</b>	<b>20W</b>	<b>25W</b>
<b>Letní třídy</b>	20	30	40	50	60	

### **HTHS viskozita**

HTHS viskozita (High Temperature High Shear), jedná se o dynamickou viskozitu, která se definuje při 150 °C. Čím je HTHS viskozita vyšší, tím olej tvoří silnější mazací film. V případě nízké HTHS viskozity může dojít mezi dvěma třecími plochami k přetržení olejového filmu a tedy k nedostatečnému mazání. Většina motorových olejů musí mít HTHS viskozitu 3,5 mPa.s. Motorové oleje s normální HTHS nad 3,5 mPa.s. lze použít kdykoliv a nemohou uškodit žádnému motoru, oleje se sníženou HTHS viskozitou lze použít pouze u motorů, kde to výrobce povoluje. Snížené hodnoty HTHS viskozity způsobují vyšší spotřebu motorového oleje, ale také nižší spotřebu paliva.

### **Oxidace a nitrace oleje**

Oxidace je reakce mezi kyslíkem ze vzduchu a molekulami motorového oleje. Oxidace oleje je ovlivněna teplotou. Čím je teplota oleje vyšší, tím se olej rychleji oxiduje. Oxidaci většinou doprovází nitrace oleje. Nitrací je důsledkem působením oxidů dusíku na olej. Pro zpomalení oxidačních a nitračních procesů se do motorového oleje přidávají aditiva, tzv. antioxidanty [8].

### **Aditivace motorových olejů**

Základní skupiny aditiv jsou [16]:

- Antioxidanty (příspěvky působící proti oxidaci)
- Detergenty a disperzanty
- Protitěrové přísady
- Inhibitory koroze
- Modifikátory viskozity
- Příspěvky proti pění
- Depresanty (zlepšovače bodu tuhnutí)
- Modifikátory tření

### **Antioxidanty**

Motorové oleje jsou v provozu degradovány působením vysokých teplot, přítomností nečistot; otěrových kovů i účinkem kyslíku. To vše vytváří pomyslné podmínky pro oxidaci. Antioxidanty ukončují nežádoucí radikálové reakce nebo rozkládají jejich iniciační látky. Tato aditiva omezují vznik nežádoucích látek, zpomalují stárnutí oleje a zajišťují jeho oxidační stabilitu.

### **Detergenty a disperzanty**

Funkce detergentů a disperzantů spočívá v omezování tvorby úsad na kovových částech motorů a v rozptylování studených korozivních kalů, které se tvoří v oleji při činnosti motoru za relativně nízkých teplot.

### **Aditiva působící proti opotřebení**

Protiotěrové a také vysokotlaké přísady reagují s kovovým povrchem nebo se na něj adsorbují, a tím vytvoří ochrannou vrstvu, která při vysokých tlacích a teplotách zabrání přímému kontaktu třecích ploch. V případě setření z kovového povrchu se opět obnoví.

### **Inhibitory koroze**

Chrání kovové součásti motoru, které jsou v kontaktu s mazivou, před korozi. Polární molekuly aditiv vytvářejí na povrchové ploše kovu plošné ochranné filmy. Vzhledem ke své polární struktuře kolidují s aditivou proti opotřebení, tzn. mohou omezovat jejich účinek. Tyto přísady navíc neutralizují kyselé složky olejů a zmenšují tak korozivní opotřebení kovových ploch.

### **Modifikátory viskozity**

Zvyšovače viskozitního indexu umožňují výrobu vícerozsahových motorových olejů. Tato aditiva rozšiřují rozsah viskozity oleje a snižují tím závislost viskozity na teplotě. Jedná se o dlouhé řetězce molekul, které jsou ve studeném stavu v oleji svinuté a kladou pohybu molekul oleje relativně malý odpor. S rostoucí teplotou se řetězce molekul rozvinují, nabývají na objemu a vytvářejí síť ok, která zvolňuje pohyb molekul oleje a tím zpomalují příliš rychlé snížení viskozity oleje [16].

### **Přísady proti pění**

Přísady proti pění zamezují vytváření stabilní vrstvy pěny na povrchu oleje. Snižují povrchové napětí – dochází tedy k rychlejšímu odbourávání pěny. Tyto aditivní látky jsou založeny na bázi silikonu (polysiloxanů) a potlačují vznik olejové pěny. K tvorbě pěny

dochází vlivem intenzivního promíchávání motorového oleje se vzduchem. Pěnění oleje vede ke stárnutí oleje, ke zvýšení viskozity a stlačitelnosti.

### **Depresanty**

Za nízkých teplot by mohlo docházet u minerálních olejů k vylučování krystalů parafínů. Tato aditiva vytvářejí obal kolem malých krystalů parafínu, které se pak nemohou vzájemně spojovat a olej si zachovává tekutost déle.

### **Modifikátory tření**

Jedná se o aditiva upravující tření. Vytvářejí na kovovém povrchu ochrannou vrstvu na základě fyzikálních sil. Vzniklá vrstva zabraňuje přímému kontaktu třecích ploch, čímž se sníží úroveň tření na požadovanou hodnotu [16].

## **2.3 Diagnostika motorových olejů**

Diagnostika je obecně bezdemontážní, nedestruktivní metoda, která se zabývá zjišťováním poruch, popřípadě celkového technického stavu diagnostikovaného objektu.

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

Moderní oleje jsou poměrně drahé, komplikované směsi. Je to výsledek nákladného výzkumu, vývoje a snahy vyvinout takové olejové směsi, které budou maximálně plnit svoji úlohu a budou při pravidelných výměnách motor mimo jiné dobře mazat, chladit a čistit [6].

### **Tribotechnika a tribotechnická diagnostika**

Tribotechnika je disciplína zabývající se zkoumáním opotřebení, mazání a tření. Její aplikace v praxi umožňuje dosáhnout prodloužení životnosti strojů a jednodušší lokalizací poruch, tedy i snížení nákladů na údržbu a opravy.

Tribotechnická diagnostika je jednou z metod bezdemontážní technické diagnostiky využívající maziva jako media pro získání informací o dějích a mechanických změnách v technických systémech, u nichž jsou maziva aplikována. Jejím posláním je zjišťovat, vyhodnocovat a identifikovat výskyt cizích látek v mazivu, a to jak z hlediska kvantitativního, tak i kvalitativního. Vhodná interpretace výsledků z provedených zkoušek



umožňuje nejen včas upozornit na příznaky vznikající poruchy, ale v řadě případů umožní i lokalizaci místa vzniku mechanické závady [9].

Analýzy olejů se tedy nevyužívají především k vyhodnocení stavu samotného oleje, ale stále častěji se vzorky odebraných olejů využívají ke stanovení stavu strojů, ze kterých byly odebrány. Z výsledků analýz lze zjišťovat poruchy stroje v raném stádiu a zabránit tak haváriím a poškozením [9].

### **Metody tribotechnické diagnostiky**

Rozhodujícím faktorem tribotechnické diagnostiky je rychlost, přesnost a správnost provedeného rozboru. Pro vyhodnocení měřeného vzorku bylo vypracováno několik metod:

- a) jednoduché (často terénní) zkoušky pro provozní kontrolu maziv.
- b) standardní zkoušky maziv (převážně podle norem ČSN, EN, ISO).
- c) speciální metody pro celkovou diagnostiku maziv a strojního zařízení.

### **Odběr vzorku**

Vzorky se odebírají do čistých vzorkovnic v množství potřebném pro provedení všech požadovaných zkoušek. Strojní zařízení musí být před provedením odběru vzorku minimálně 20 minut v provozu z důvodu dokonalého promíchání a ohřátí oleje na provozní teplotu. Poté se po očištění odběrných míst do čisté vzorkovnice odebere vzorek. Odebraný vzorek je popsán a poté předán ke zkoušce. Popis vzorku musí být úplný, přesný a čitelný. Na odběru vzorku závisí výsledek následných analýz, a proto je mu nutné věnovat mimořádnou pozornost.

### **Hodnocení olejů**

Po odběru vzorku je provedena předběžná vizuální prohlídka oleje. Je posuzována barva oleje, viditelné mechanické nečistoty, přítomnost vody (emulze) a zápach oleje (zředění palivem, přepálený olej atp.). Vzorek oleje je následně podroben laboratorním testům.

Pro posouzení životnosti oleje je možné použít např. stanovení TBN, TAN (Total Basic Number, Total Acid Number), bodu vzplanutí, viskozity, obsahu vody i dalších parametrů. Otěrové částice, které při provozu stroje zůstávají v oleji, lze při měření separovat a následně vyhodnotit ferrograficky [9].

Tab. 2 Doporučené hodnoty dílčích parametrů pro jednotlivé oleje [9]

Motorové oleje		
	Benzinové motory	Naftové motory
Viskozita - zvýšení - snížení	max. o 20 % max. o 15 %	max. 25 % max. 20 %
Obsah paliva	max. 5 %	max. 5 % menší motory max. 7 % velké motory
Bod vzplanutí	min. 140 <sup>o</sup> C	min. 200 <sup>o</sup> C menší motory min. 170 <sup>o</sup> C velké motory
Karbonizační zbytek ( CCS )	max. 4 % hm.	max. 4% hm.
Látky nerozp. V HEO	max. 1,5 % hm.	max. 2,5 % hm.
Obsah vody	max. 0,2 % hm.	max. 0,2 % hm.
Obsah glykolu	negativní	negativní
TBN	min. 3 mg KOH/g	min. 2,5 mg KOH/g
Kapková zkouška		
Zbytkové prvky :		
Fe	max. 100 ppm	max. 100 ppm
Al	max. 40 ppm	max. 40 ppm
Cu	max. 40 ppm	max. 40 ppm
Pb	max. 40 ppm	max. 40 ppm
	( pro bezolov. benzin )	
Si	max. 20 ppm	max. 20 ppm

## 2.4 Kontaminace a degradace olejových náplní

### Nečistoty v motorovém oleji

Nečistoty v olejové náplni pocházejí z více zdrojů a během provozu se shromažďují v motorovém oleji. Jedná se o nečistoty mechanické (prach, otěr, saze) a o produkty chemické degradace samotného oleje. Nadměrné množství obsahu nečistot v olejové náplni vede ke zvýšenému opotřebení třecích ploch, k tvorbě úsad a kalů kumulujících se v celém olejovém systému, zejména pak v olejové skříni. V olejovém systému motoru je k zachycování nečistot z olejové náplně umístěn olejový filtr. Ve filtru se nečistoty vzniklé provozem systému zachytávají. V případě nadměrného množství nečistot v oleji může dojít k ucpání olejového filtru a k poruchám dodávky oleje do celého systému.

### Nečistoty z nasávaného vzduchu

Do spalovací části motoru je přes vzduchový filtr veden nasávaný vzduch, který není nikdy zcela čistý. Spolu se vzduchem do spalovací části motoru proudí i prachové částice, které přispívají k degradaci motorového oleje. Větší a střední prachové částice jsou zachycovány ve vzduchovém filtru. Menší prachové částice se dostávají do spalovací části motoru, kde jsou později z prostoru válce spláchnuty do olejové náplně (většinou se jedná o částice křemičitého prachu).

### **Palivo a nečistoty z paliva v motorovém oleji**

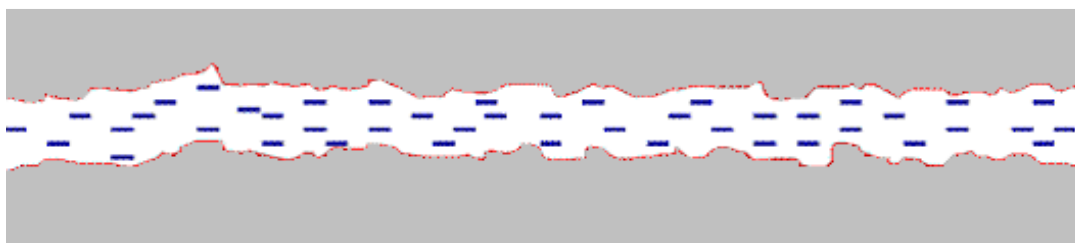
Palivo do oleje může proniknout buď spolu se spaliny z prostoru válce kolem pístních kroužků do klikové skříně, nebo při závadě na motoru. Obsah paliva v oleji se nejčastěji posuzuje podle bodu vzplanutí oleje. Pokles bodu vzplanutí pod 180 °C až 190 °C u vznětových motorů znamená, že v oleji je již maximální přípustná koncentrace nafty [17].

Zvýšeným obsahem paliva v oleji je snižována viskozita motorového oleje. Čím nižší je viskozita a čím vyšší je obsah paliva v oleji, tím má olej horší mazací schopnosti a zvyšuje se opotřebení motoru.

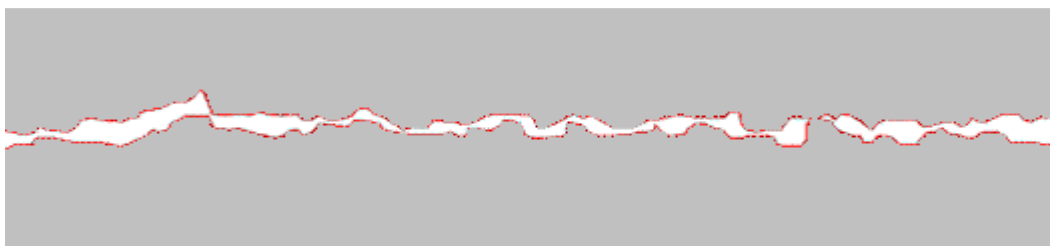
V palivu jsou obsaženy nečistoty, které vznikly již při distribuci paliva z rafinerie do čerpacích stanic. Jedná se o prach a různá vlákna z filtrů, které se do paliva v průběhu distribuce dostanou. Tyto nečistoty během průtoku paliva z palivové nádrže ke spalovacímu prostoru motoru zanášejí palivový filtr umístěný v palivové soustavě. Zanesení palivového filtru může vést až k jeho ucpání a následnému poškození. Filtrace paliva poté neprobíhá vůbec a nečistoty končí až ve spalovacím prostoru motoru, ze kterého se nečistoty přes válec dostávají do olejové náplně v motoru.

### **Otěrové částice**

Kovové otěrové částice jsou dalším typem nečistot v oleji. Vznikají při tření dvou povrchů i při správném mazání a normální úrovni tření a opotřebení. Rozměry takových běžných částic jsou od desetin mikrometru až po několik milimetrů. Tyto částice mohou mít velikost až tloušťky mazacího filmu a spolu s jinými mechanickými nečistotami iniciují další zvyšování tření a opotřebení. Při zvýšené úrovni tření mohou vznikat otěrové částice již o velikosti desítek a při havarijním opotřebení až stovek mikrometrů. Kvalitní olejové filtry mohou z oleje odstranit částice větší než 10 mikrometrů [10].



*Obr. 3 Mechanismus vzniku otěrových částic – Kovové plochy odděleny vrstvou oleje, normální stav, malý otěr [18]*



*Obr. 4 Mechanismus vzniku otěrových částic – Kovové plochy v těsném kontaktu, mezní tření, velké přítláčné tlaky, velký otěr [18]*

### **Saze v motorovém oleji**

Saze patří k mechanickým nečistotám, které vznikají až v samotném spalovacím prostoru při spalování nafty. Jde tedy o problém vznětových motorů, u zážehových motorů je tvorba sazí zanedbatelná. Saze jsou velmi sledovanou složkou emisí výfukových plynů a snaha o snížení jejich emisí je jedním z důvodů zavedení emisních limitů Euro IV [10].

Saze jsou produktem nedokonalého spalování nafty. Jejich tvorba je nepřímo spojená s tvorbou oxidů dusíku. Pokud je při konstrukci motoru omezena tvorba oxidů dusíku, roste většinou produkce sazí a naopak. Například opožděné vstřikování paliva vede ke snížení teploty spalování a k omezení tvorby oxidů dusíku, ale množství vznikajících sazí roste. U moderních automobilů je však nutno zabezpečit nízké emise jak oxidů dusíku, tak i sazí. Proto u posledních modelů osobních i nákladních automobilů rostou nároky na úpravu výfukových plynů. Systémů úpravy výfukových plynů, zejména pro vznětové motory, je známo několik typů a každý z nich je zaměřen pouze na některou složku emisí. Zvolený princip výfukového katalyzátoru, filtru či jiného zařízení je závislý na způsobu spalování paliva a na konstrukci vlastního motoru.

Většina sazí ze spalovacího prostoru opouští motor spolu s výfukovými plyny. Zbývající saze pronikají spolu s výfukovými plyny do klikové skříně. Saze se tak dostávají do motorového oleje. Tam se hromadí a ovlivňují kvalitu mazání motoru.

V případě, že je v motoru zabudován EGR (Exhaust Gas Recirculation) ventil, je část výfukových plynů spolu se sazemi vedena zpět do válce, kde se tím zvyšuje množství sazí ve spalovacím prostoru. Olejová náplň motoru je pak sazemi více znečišťována. Aplikace EGR ventilu vyžaduje splnění podmínky; použití bezpopelných olejů neobsahujících přísady na bázi fosforu.

Moderní motorové oleje pro prodloužené výměnné intervaly velkoobjemových vznětových motorů (až 150 tisíc km) jsou vyráběny z hydrokrakových základových olejů skupiny II nebo III a jsou zařazeny do viskozitních tříd SAE 10W-40 nebo SAE 5W-30.

Hydrokrakové oleje mohou vzhledem ke svému složení obsahovat více sazí bez výrazného vlivu na vlastnosti motorového oleje oproti klasickým rozpouštědlově rafinovaným základovým olejům skupiny I [10].

Tab. 3 Otěrové kovy v motorovém oleji a jejich zdroje [18]

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 – těsnící 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

### Voda v oleji

Styk motorového oleje s vodou je zcela běžný jev, kterému nelze zabránit. Jestliže je v motoru spálen jeden litr benzínu nebo nafty, vznikne přibližně jeden litr vody. Většina vody opustí motor ve formě páry spolu s výfukovými plyny do ovzduší. Část vodních par se spolu s dalšími spaliny dostává ze spalovacího prostoru motoru v okolí válce do prostoru klikové skříně. V klikové skříně dochází ke styku vody (ve formě horkých par) s olejem.

Je-li motor zahřátý, voda klikovou skříně opustí ve formě páry v důsledku nuceného odvětrávání klikové skříně.

V případě, že je motor studený, horká vodní pára se ve studené klikové skříně dostává do kontaktu se studeným motorovým olejem. Při tom dochází ke kondenzaci vodních par. Vzniklá voda se poté v klikové skříně motoru promíchává s motorovým olejem a vytváří emulze vody v oleji.

V případě delší cesty, při níž motor bude pracovat alespoň hodinu, se voda z oleje většinou sama odpaří. Kvalita oleje a jeho životnost se zkracuje, jestliže je vystaven častým účinkům vody při opakovaných studených startech motoru. Přítomnost vody v oleji zanechá i po odpaření stopy. Především může dojít k reakcím, které změní aditivaci oleje, např. k vysrážení aditiv ve formě úsad či kalu a tedy ke ztrátě jejich funkce.

## Glykol v oleji

Glykol je součástí všech nemrznoucích kapalin. Do motorového oleje se nemrznoucí kapalina může dostat poměrně lehce při závadě na hlavě válců, nebo drobnými 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 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 nemrznoucí kapaliny a glykolu, který se do olejové náplně dostane. Olej rychle zcela zčerná, ztrácí tekutost, objevují se v něm nerozpustné úsady a kaly (obr. 5), a pokud je i v tomto stavu dále provozován, nakonec téměř ztuhne a neodvratně dojde k zadření motoru [11].

Ztuhlý a hustý olej způsobuje potíže s nastartováním motoru. Tyto potíže předcházejí samotnému zadření motoru.

Nejjednodušší a nejrychlejší test na přítomnost vody v oleji je test na horké destičce. Při kápnutí oleje na rozpálenou plochu je možné slyšet prasknutí, což je signál, že se z oleje odpařila voda. Glykol se nejlépe prokazuje pomocí infračervené spektroskopie, kde má velmi specifické a prokazatelné dva píky kolem  $1\,040\text{ cm}^{-1}$  a  $1\,080\text{ cm}^{-1}$ . [11]



*Obr. 5 Glykol v motorovém oleji [11]*

## 2.5 Metody pro stanovení nečistot a dalších látek v oleji

### Metody pro stanovení nečistot v oleji

- a) **Filtrace** – metoda, která vyhodnocuje znečištění mikroporézního filtru s velikostí pórů 0,8  $\mu\text{m}$ . Při této metodě se snižuje viskozita oleje vhodným rozpouštědlem, např. hexanem nebo pentanem.
- b) **Odstředování** – metoda, při níž se mechanické nečistoty hromadí na dně zkumavky. Vzorek oleje je umístěn do kalibrované speciální zkumavky, a ta poté do výkonné odstředivky. Při odstředování se mechanické nečistoty hromadí na dně kalibrované zkumavky a množství nečistot se po odstředění odečte na ryskách [19].
- c) **odstředování se může provádět také v HEO směsi** – n-hexan, etanol a kyselina olejová. Tuto metodu lze použít u stanovení všech nečistot, které nejsou rozpustné ve směsi HEO. Tato zkouška je založena na principu ředění vzorku motorového oleje směsí HEO a separací nerozpustných látek odstředěním až do vyčiření roztoku. Vyčiřený roztok se slije a nerozpustný zbytek se vysuší a zváží. Výsledek stanovení se vyjádří v hmotnostních procentech.
- d) **Stanovení křemíku** – množství prachových nečistot z nasávaného vzduchu se určuje podle obsahu křemíku v oleji. Křemík se stanovuje spektrometricky současně s otěrovými kovy, podle jejichž množství se hodnotí intenzita opotřebení motoru [19]. Princip spektrometrie je popsán v kapitole 2.6 o metodách použitých v experimentální části.

### Metody pro stanovení obsahu paliva v oleji

Obsah paliva v oleji se stanovuje následujícími metodami

- a) **Plynová chromatografie** – metoda, která stanovuje množství paliva v motorovém oleji analýzou plynové chromatografie. Výsledkem analýzy je signál, který, je velmi dobře oddělen od signálu vlastního oleje, přičemž intenzita signálu je úměrná množství paliva. Podobně je možné analyzovat také naftu v oleji, i když situace je trochu komplikovanější. Pokud je k dispozici spolehlivá kalibrace, je z intenzity signálu možné zjistit i koncentraci paliva v procentech.
- b) **Stanovení bodu vzplanutí** – bod vzplanutí je nejnižší teplota, při které vzorek oleje za daných podmínek vyvine tolik par, že tyto páry při přiblížení plamínku vzplanou a zhasnou. Přítomnost paliva způsobuje snížení bodu vzplanutí.

Pokles bodu vzplanutí pod 180–190 °C u vznětových motorů znamená, že v oleji je již maximální přípustná koncentrace nafty.

- c) **Měření viskozity** – pokles viskozity poukazuje na kontaminaci motorového oleje palivem [17].

### **Metoda pro měření otěrových částic**

Otěrové částice z oleje lze izolovat další analytickou technikou – ferrografií. Tato metoda umožňuje pomocí silného magnetu ze vzorku protékajícího oleje oddělit ferromagnetické částice (slitiny železa) [18].

### **Metoda pro měření obsahu sazí**

Obsah sazí lze identifikovat jednoduchou kapkovou zkouškou, nebo pomocí složitějších instrumentálních metod (FTIR spektrometrie, laserová analýza na čítačích částic apod.).

Princip kapkové zkoušky je popsán v následující kapitole o metodách pro určení obsahu vody v oleji.

### **Metody pro měření vody v oleji**

Obsah vody v oleji se stanovuje následujícími metodami

- a) **Karl-Fischerova metoda** – tato metoda využívá chemické reakce vody, obsažené ve vzorku, se specifickými činidly. Je to téměř nejčastěji používaná metoda pro velké rozmezí stanovitelného obsahu vody ve vzorku, dostatečnou přesnost, selektivitu a rychlost stanovení.
- b) **Coulometrická metoda** – při coulometrické titraci se elektrický proud v systému udržuje na předem zvolené konstantní hodnotě. Stanovovaná látka reaguje s účinnou látkou generovanou na elektrodě elektrolýzou vhodného elektrolytu. Měří se náboj, který je nutný k úplné přeměně stanovované látky. Bod ekvivalence se indikuje instrumentálně biamperometricky. Touto metodou se měří velmi malé obsahy vlhkosti jak v pevných, tak v kapalných vzorcích [20].
- c) **Destilace** – principem této metody je vytvoření azeotropní směsi toluen-voda. Vzorek je vkládán do tohoto média a voda z něj pak oddestilována do kalibrovaného jímadla. Obsah vody je poté stanoven volumetricky. Podmínkou je ale dostatečně velký obsah vody a vysoký bod varu.
- d) **Prskací test** – jedná se o orientační metodu, kdy se na plochu zahřátou na 120 °C kápne jedna až dvě kapky oleje a je-li přítomna voda, dojde k vaření a tvorbě bublin. Tímto testem však není možné stanovit obsah vody [12].



- e) **Kapková zkouška** – jedná se o metodu, při které se na chromatografický papír nanese kapka motorového oleje. Kapka na chromatografickém papíře difunduje a vytváří souvislé kruhové vrstvy. V případě, že vzorek obsahuje vodu, vytvoří se na okraji skvrny téměř bezbarvé mezikruží.

### **Metody pro měření glykolu v oleji**

Glykol se projeví v infračerveném spektru dvěma typickými píky (cca  $1\,040\text{ cm}^{-1}$  a  $1\,080\text{ cm}^{-1}$ ). Při analýze vzorku oleje na infračerveném spektrometru se ale musí dodržovat určitá opatrnost. Ta pramení z toho, že při podezření na přítomnost glykolu v oleji je většinou v oleji současně i voda. A ta může způsobit i znehodnocení měřicí kyvety, pokud je vyrobena z tradičních materiálů pro infračervenou spektroskopii (bromid draselný, chlorid sodný). Pro takové vzorky je nejlepší volbou použít ATR techniku s krystalem z inertního, vodě odolného materiálu – nejčastěji ZnSe [11].

## **2.6 Teoretické základy použitých experimentálních metod**

### **Metody stanovení celkového znečištění motorového oleje**

Jedná se o základní diagnostický proces, při kterém lze rozhodnout o výměně motorového oleje.

#### **Metoda stanovení celkového znečištění přístrojem Densimetr REO 31**

Experimentální práce byly provedeny na přístroji Densimetr REO 31, který měří znečištění motorového oleje. Přístroj pozoruje intenzitu odraženého světla od vzorku oleje, který je nanesen na chromatografické folii.

Proužek chromatografické folie s měřeným vzorkem oleje je nutno vsunout do přístroje analyzovanou vrstvou směrem nahoru. Usměrněné světlo se odráží od vzorku na optický prvek. Elektronika tohoto přístroje převede intenzitu světla na stejnosměrné napětí. Znečištění oleje je poté zobrazeno na displeji přístroje v procentech. Čistému chromatografickému papíru odpovídá hodnota 0,00 procent.

Koeficient korelace mezi touto metodou a stanovením Conradsonova karbonizačního zbytku vychází v rozsahu 0,82 – 0,88. Druhé desetinné místo je proto u tohoto přístroje pouze orientační. Způsob hodnocení je velice jednoduchý, rychlý a ekologický, oproti jiným metodám dle norem. Hodnocení motorových olejů pomocí densimetru je plně dostačující v provozních podmínkách [13].

## **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 – 1 000 mm, což odpovídá rozsahu vlnočtů 12 800 – 10  $\text{cm}^{-1}$ . Celá oblast bývá rozdělena na blízkou (13 000 – 4 000  $\text{cm}^{-1}$ ), střední (4 000 – 200  $\text{cm}^{-1}$ ) a vzdálenou infračervenou oblast (200 – 10  $\text{cm}^{-1}$ ), přičemž nejpoužívanější je střední oblast [14].

Použitím infračervené spektrometrie je možné pozorovat změny při degradaci oleje v motoru. Sledovat lze například průběh degradace aditiv a oxidace složek oleje, identifikovat kontaminaci palivem, vodou, glykolem nebo spalnými plyny aj.

Změny v oleji se nejdříve projeví jako úbytky základních protiotěrových a antioxidačních přísad (v oblasti 1 050 až 950  $\text{cm}^{-1}$ ). Poté přichází oxidační degradace, tuto je možné sledovat jako přírůstek absorbance (v oblasti okolo 1 710  $\text{cm}^{-1}$ ). Znečištěné spaliny obsahující saze, které ze spalovacího prostoru motoru proniknou do olejové náplně, vykazují přírůstek absorbance (měří se v oblasti kolem 2 000  $\text{cm}^{-1}$ ).

Součástí infračerveného spektrometru je zdroj infračerveného záření – keramická tyčinka. Při zahřátí této tyčinky na hodnotu 1 000 °C dojde k vyvolání záření v infračervené oblasti. Před měřením samotného vzorku se nejdříve měří spektrum pozadí, poté se umístí vzorek na měřicí krystal spektrometru a změří se jeho spektrum. Následně je spektrum vzorku softwarově zpracováno a vyhodnoceno v požadované veličině (transmitance, absorbance, apod.).

Metoda pracuje na principu násobného úplného odrazu procházejícího paprsku na fázovém rozhraní měřeného vzorku a měřicího krystalu, který je zhotoven z materiálu o vysokém indexu lomu [14].

## 3 Experimentální část

Experimentální část bakalářské práce se zabývá hodnocením olejů z motorových vozů řady 810 a 814. Po předchozí dohodě s Depem kolejových vozidel Česká Třebová bylo dodáno 99 vzorků motorových olejů odebraných v průběhu roku 2011.

Spolu se vzorky byl dodán popis olejových listů hnacích vozidel, ve kterém jsou uvedeny základní údaje o vozidlech a výsledcích laboratorních testů provedených v DKV Česká Třebová a byly dodány i vzorky nového motorového oleje.

V experimentální části bakalářské práce byly zkoušky provedené v DKV Česká Třebová rozšířeny o další experimenty provedené v laboratořích Univerzity Pardubice. Údaje byly zaznamenány do tab. 10.

Jedná se o tribodiagnostické metody zhodnocení celkového znečištění motorového oleje provedené na Denzimetru REO – 31 a programem Pixie 4.1. V další části práce je zpracována metoda infračervené spektrometrie.

### 3.1 Charakteristika železničních motorových vozidel řady 810 a 814

#### Motorové vozy řady 810

Jedná se o nejrozšířenější česká železniční motorová vozidla, jejichž řada navázala v roce 1988 na řadu M 152. Jsou využívány jako hnací vozy na regionálních tratích s menším počtem cestujících. V konstrukci vozů rady 810 je motor a převodovka, které bývají použity i při výrobě autobusů.

#### Konstrukce železničních motorových vozidel řady 810

Jedná se o samonosnou konstrukci vozidel, která je vyrobena z oceli. Vozová skříň je lehké stavby a je usazena na dvou jednonápravových podvozcích.

Vozy jsou poháněny hnacím soustrojím, které je umístěno pod podlahou vozu. Hnací soustrojí vozu je složeno ze vznětového motoru LIAZ ML 634, automatické hydromechanické převodovky Praga 2 M 70, kloubového hřídele a jedné nápravové reverzační převodovky. Motor LIAZ i automatická hydromechanická převodovka byly převzaty z tehdy vyráběných autobusů Karosa ŠM 11. Převodovka je složena ze vstupního hydrodynamického měniče, kde je možnost mechanického překlenutí a dvoustupňové

předlokové převodovky, která je upravena pro železniční provoz (zvětšením násobnosti hydrodynamického měniče, zablokováním ústrojí pro změnu směru jízdy v poloze vpřed, zesílením chlazení oleje, úpravou ovládání pro palubní napětí 48 V aj.). Změna směru jízdy se odehrává v nápravové reverzační převodovce.

Motorový vůz je ve vnitřní části rozdělen na dvě stanoviště strojvedoucího, mezi kterými je prostor určený pro cestující. Přístup do vozu umožňují dva nástupní prostory (na předním je WC, elektrický rozvaděč a zavazadlový kout s pěti sklopnými sedadly).

Prostor pro cestující poskytuje 50 míst k sezení v uspořádání 2+3. Pod střešou vozidla jsou umístěné příčné zavazadlové police. Vstupní dveře do vozu jsou ovládány pneumaticky (odblokování jedné či druhé strany s následným individuálním otevřením a centrální zavírání). Vytápění vozu je zajištěno teplovzdušně, přednostně odpadním teplem motoru (z chladicí vody) a může být spolu s chladicím okruhem motoru přehříván nezávislým naftovým generátorem [22].

Vozy jsou ve venkovní části vybaveny spojovací zásuvkou. Pomocí této zásuvky lze ovládat dveře soupravy z jednoho stanoviště a nabíjet baterie až dvou přívěsných vozů. Zásuvka však neslouží k mnohočlennému řízení (mj. proto, že ovládání motoru je čistě mechanické).



*Obr. 6 Motorový vůz 810 [22]*



*Obr. 7 Prostor pro cestující vozu řady 810 [22]*

### **Vývoj, výroba a provoz**

Jelikož se nezdařil projekt, který měl nahradit již nevyhovující motorové vozy značené M 131.1 řadou M 240.0 (dnes řada 820), byl vypracován projekt nového dvounápravového motorového vozu poháněného spolehlivým autobusovým motorem. Tento projekt byl v roce 1971 spolu s automatickou převodovkou zkušebně namontován do dvou vozů M 131.1, které byly přeznačeny na řadu M 131.3. Jelikož mělo řešení dobré výsledky, byly

v roce 1973 ve Vagónce Studénka vyrobeny dva prototypy nových vozů s těmito komponenty označené jako M 151.0. Jeden z nich byl podroben zkouškám, druhý byl již brzy po vyrobení nasazen do zkušebního provozu. Vzhledem k nedodržení hmotnosti při výrobě musely být oba vozy v roce 1974 přeznačeny na řadu M 152.0. Sériová výroba byla zahájena v roce 1975 [22].



Obr. 8 Motorový vůz řady M 152.0 [22]

Tab. 4 zobrazuje technické parametry vozu řady 810.

Tab. 4 Technické parametry vozu řady 810 [15]

<b>Výrobce</b>	<b>Vagonka Tatra Studénka [MSV Studénka]</b>
<b>Objem spalovacího motoru</b>	11,946 l
<b>Vrtání</b>	130 mm
<b>Zdvih</b>	150 mm
<b>Otáčky volnoběžné</b>	600 ot.min <sup>-1</sup>
<b>Otáčky jmenovité</b>	2 150 ot.min <sup>-1</sup>
<b>Pořadí vstříku</b>	1-5-3-6-2-4
<b>Zásoba paliva</b>	300 l
<b>Vodní hospodářství</b>	156 l
<b>Přenos výkonu</b>	hydromechanický
<b>Nápravový převod</b>	1:3,93
<b>Maximální tažná síla</b>	29 kN
<b>Trvalý výkon SM</b>	155 kW
<b>Typ spalovacího motoru</b>	LIAZ ML 634
<b>Rozchod</b>	1 435 / 1 520 mm
<b>Topení</b>	naftové teplovzdušné
<b>Rok výroby</b>	1973 / 1975-82 [1994-96]
<b>Míst k sezení</b>	55
<b>Míst k stání</b>	40
<b>Maximální rychlost</b>	80 km/h

Původní plán Českých drah byl odebrat 150 vozů řady M 152.0. Vozy měly sloužit na krátkých lokálních tratích s menšími počty přepravených cestujících. Z důvodu nezahájení sériové výroby motorových vozů série M 474.0 (dnes řada 860), jež měly zajistit místní dopravu na dlouhých regionálních drahách, byl počet vyrobených vozů M 152.0 zněkolikanásoben na počet 680 kusů. Sériová výroba těchto vozů probíhala v letech 1975 až 1982 v šesti výrobních sériích.

### **Motorové vozy řady 814**

Motorový vůz řady 814 je půdorysně složen ze stanoviště strojvedoucího, předního nástupního prostoru, velkoprostorového oddílu pro cestující a zadního nástupního prostoru. Mezi uvedeným nástupním prostorem a plochým čelem vozu je průchod, který vede k mezivozovému přechodu. Zde jsou umístěny bloky pneumatické a elektrické výzbroje motorového vozu. Stanoviště strojvedoucího je oproti vozům řady 810 prostornější, pohodlnější, ergonomičtější a je klimatizované.

Souprava řady 814 je tvořena ze dvou motorových vozů řady 814.2 a částečně nízkopodlažního vloženého vozu řady 010. Tyto soupravy jsou majetkem Českých drah známé pod obchodním názvem „Regionova“, trojdílné jednotky nesou název „Regionova Trio“.

Soupravy řady 814 vznikly modernizací motorových vozů řady 810 a přípojných vozů řady 010. Rekonstrukci těchto vozidel provádí od roku 2005 firma Pars Nova, a. s., Šumperk.

### **Modernizace a konstrukce soupravy řady 814**

Motorová jednotka řady 814 vznikla zásadní přestavbou původního motorového vozu řady 810a přípojného vozu řady 010. Modernizace byla realizována ve dvou variantách. Základní a rozšířenější verzí je dvouvozová jednotka, pro kterou je využit jeden původní motorový a jeden přípojný vůz, který je upraven do podoby částečně nízkopodlažního řídicího vozu. Trojvozová varianta je tvořena dvěma původními motorovými a jedním přípojným vozem, jenž je upraven na částečně nízkopodlažní vložený vůz. Motorový vůz je poháněn novým dieselovým motorem od firmy Tedom a převodovkou Voith [23].

Řídicí vůz řady 814 je použit pouze u dvouvozových jednotek a vznikl přestavbou přípojných vozů řady 010. Nově bylo na jedno čelo vozidla dosazeno stanoviště strojvedoucího (je shodné s motorovým vozem řady 814), za kterým se nachází oddíl pro cestující. Střední část vozu je koncipována jako nízkopodlažní (zvenčí je přístupná jedněmi dvoukřídlými dveřmi v každé bočnici); nachází se zde prostor pro kočárek, invalidní vozík

či jízdni kola a bezbariérově přístupná kabina WC. Do zadní části řídicího vozu vedou dva schody a je zde umístěn další velkoprostorový oddíl pro cestující, z kterého lze mezivozovým přechodem přejít do motorového vozu.

V jednotce Regionova Trio je použit i vložený vůz řady 014, který je vesměs shodný s řídicím vozem řady 914 ve dvouvozové jednotce. Výjimku tvoří přední čelo vozu, kde nebylo vytvořeno stanoviště strojvedoucího, ale zvětšený oddíl pro cestující se vstupem do mezivozového přechodu [23].

Varianty jednotek řady 814:

- ČD: dvouvozová jednotka „Regionova“ – motorový vůz ř. 814 + nízkopodlažní řídicí vůz ř. 914
- ČD: trojvozová jednotka „Regionova Trio“ – motorový vůz ř. 814.2 + nízkopodlažní vložený vůz ř. 014.2 + motorový vůz ř. 814.2
- Železnice Desná: dvouvozová jednotka „Desná“ – motorový vůz ř. 814.5 + nízkopodlažní řídicí vůz ř. 914.5 (téměř shodná s jednotkou ČD Regionova) [23].

Varianty zapojení jsou znázorněny na obrázcích 9, 10 a 11.



*Obr. 9 Řídicí vůz řady 914 jednotky Regionova [23]*



*Obr. 10 Jednotka Regionova Trio ve složení 814.240+014.020+814.239 [23]*



Obr. 11 Motorová jednotka 814.501+914.501 [23]      Obr. 12 Interiér motorového vozu řady 814 [23]

### Vývoj, výroba a provoz

České dráhy vyhlásily na podzim roku 2004 veřejnou soutěž na dodávku prototypu motorové jednotky pro regionální osobní dopravu s cílem využít 30 let starých motorových vozů řady 810 a přípojných vozů řady 010. Od provozu jednotky se očekávala především energetická úspora, kterou měl zajistit nový agregát s vyšším výkonem. Nová souprava měla také umožnit lepší využití maximálních traťových rychlostí a tím zkrácení jízdních intervalů na provozovaných trasách. Tuto zakázku získala se svou jednotkou 814 + 914 společnost Pars Nova Šumperk.

Tab. 5 zobrazuje technické parametry vozu řady 814.

Tab. 5 Technické parametry motorového vozu řady 814 (Regionova) [15]

Rekonstrukce	Pars nova
Rozchod	1 435 mm
Typ spalovacího motoru	LIAZ M 1.2C ML 640SE
Objem SM	SM11,946 l
Vrtání	11,946 l
Zdvih	130 mm
Jmenovité otáčky	1 950 ot.min <sup>-1</sup>
Přenos výkonu	hydromechanický
Maximální tažná síla	54 kN
Trvalý výkon SM	242 kW
Topení	teplovzdušné
Rok rekonstrukce	2001
Služební hmotnost	22 t
Maximální rychlost	90 km/h



Prototypová jednotka složená z vozů 814.001 + 914.001 byla dokončena koncem léta 2005. Následovaly prototypové zkoušky a prezentační jízdy po celé republice. Do provozu s cestujícími poprvé vyjela 23. listopadu 2005 [23].

### 3.2 Měření celkového znečištění motorových olejů pomocí Denzimetru REO 31

Metoda stanovení celkového znečištění přístrojem Denzimetr REO 31 je popsána v teoretické části bakalářské práce (kap. 2.6). Pro měření celkového znečištění motorového oleje z vozů řady 810 a 814 byl použit přístroj Denzimeter REO 31 (obr. 13), jehož technické parametry jsou uvedeny tab. 6.

Tab. 6 Technické parametry přístroje Denzimeter REO 31

Technické parametry přístroje Denzimeter REO 31	
Napájení	220 V/50 Hz 50 VA
Hmotnost	1,7 kg
Provozní teplota okolí	10 – 30 °C
Rozměry	280x280x110 mm
Měřicí rozsah	0,00 – 9,99 %
Stupeň krytí	IP 20



Obr. 13 REO 31 Denzimeter [vlastní foto]

## Postup měření

Před započítím měření je nutné zkalibrovat přístroj na čistý chromatografický proužek. Po zapnutí se denzimetr 60 minut stabilizuje, poté se podle pokynů výrobce kalibruje (čistým chromatografickým proužkem se zkontroluje nulová hodnota procenta znečištění zobrazená na displeji přístroje; v případě nenulové hodnoty se nula nastaví pootočením kalibračního šroubku označeného SET na předním panelu přístroje).

Postup měření lze shrnout do několika bodů:

- 1) Připraví se proužek chromatografického papíru (Silufol) o rozměrech 9 mm x 100 mm.
- 2) Ve zkumavce je 1 ml motorového oleje důkladně promíchá s 24 ml technického benzínu.
- 3) Proužek chromatografického papíru se ponoří do zkumavky na dobu 3 minut.
- 4) Po uplynutí této doby je proužek vytažen a opláchnut krátkým ponořením do zkumavky s technickým benzinem.
- 5) Proužek chromatografického papíru je následně ve svislé poloze usušen.
- 6) Po usušení je vzorek zasunut do přístroje, aktivní vrstvou nahoru, a vsunovací otvor se zvedne do horní krajní polohy.
- 7) Elektronika přístroje vyhodnotí intenzitu světla, převede ji na napětí a na displeji se zobrazí hodnota znečištění.

Na obr. 14 jsou vyfotografovány zkušební proužky připravené na denzimetrickou analýzu. Kompletní obrazová dokumentace naskenovaných zkušebních proužků je uvedena v příloze č. 2 na CD.



Obr. 14 Ukázka 33 připravených vybraných zkušebních proužků z testů motorového oleje vozů řady 810 [vlastní foto]

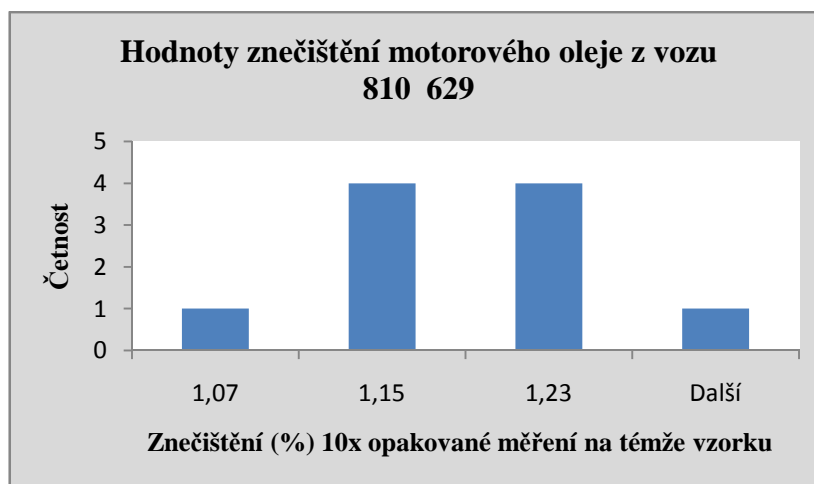
### Vyhodnocení chyby měřicího přístroje:

K vyhodnocení chyby měřicího přístroje byl použit vzorek oleje z motorového vozu řady 810 629. Vzorek byl desetkrát měřen stejným postupem (tab. 7) a analyzován programovým vybavením Microsoft Excel 2007. Byl sestaven histogram četností denzimetricky stanovených hodnot (obr. 15).

Tab. 7 Naměřené hodnoty vzorku motorového oleje vozu 810 629

Výstup z denzimeteru (v %) 10x opakované měření na témže vzorku	
1,07	1,2
1,1	1,31
1,1	1,12
1,18	1,13
1,18	1,21
Průměr hodnot	<b>1,16</b>
Směrodatná odchylka*)	<b>0,071</b>

$$*) s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} = 0,071$$



Obr. 15 Histogram četností hodnot znečištění

### Srovnání chyby dvou postupů měření

V úvodu experimentálních prací byla zjišťována systematická chyba, vznikající při nedodržení přesného postupu při přípravě vzorků, které jsou určeny pro následné vyhodnocení na přístroji Denzimetr REO 31.

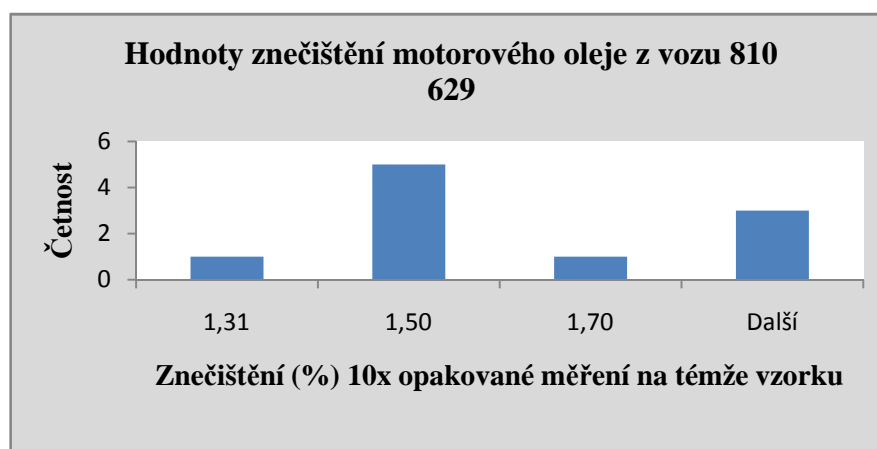
Postup přípravy vzorků pro měření na přístroji Denzimetr REO 31 je uveden v kap. 3.2.

V této části experimentálních prací byl vzorek motorového oleje z vozu řady 810 629 měřen desetkrát (tab. 8), ale mezi jednotlivými měřeními nebyla vyčištěna zkumavka, ve které bylo míchání motorového oleje a technického benzínu provedeno. Vzorek byl po vyhodnocení na proužku chromatografického papíru vlit do nádoby s odpadem a poté v této zkumavce bylo provedeno měření dalšího vzorku. Tímto způsobem bylo provedeno měření všech deseti vzorků. Následně byly vzorky analyzovány programovým vybavením. Microsoft Excel 2007. Hodnoty znečištění motorového oleje byly porovnány s četností jednotlivých hodnot a byl sestaven histogram uvedený na obr. 16.

Tab. 8 Naměřené hodnoty vzorku motorového oleje vozu 810 629

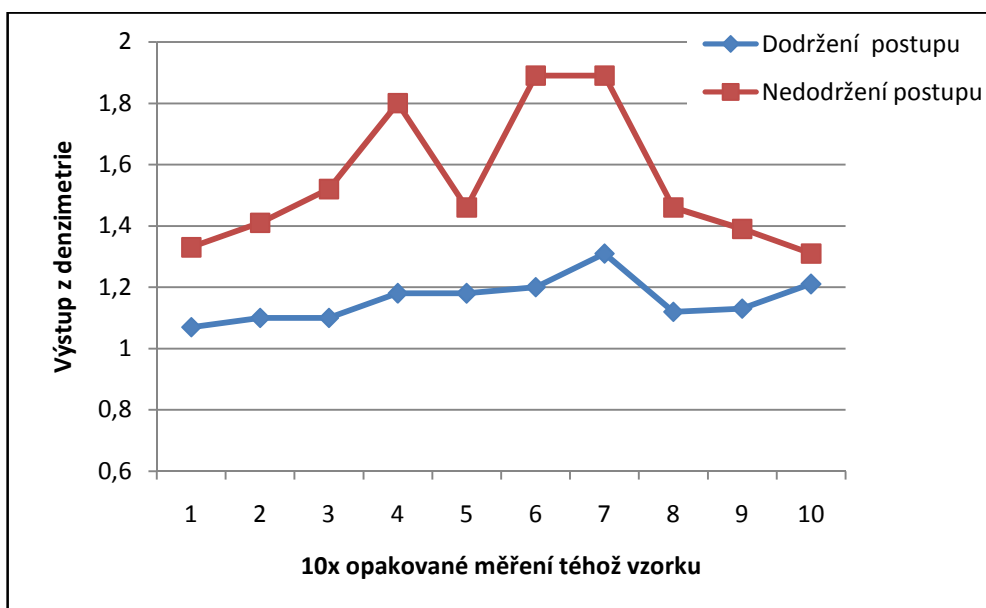
Výstup z denzimetru (v %) 10x opakované měření na témže vzorku	
1,33	1,89
1,41	1,89
1,52	1,46
1,8	1,39
1,46	1,31
Průměr hodnot	<b>1,546</b>
Směrodatná odchylka*)	<b>0,227</b>

$$*) s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} = 0,227$$



Obr. 16 Histogram četnostní naměřených hodnot znečištění

Následující graf sumarizuje rozdílné výsledky obou postupů a ukazuje jejich rozdílnosti.



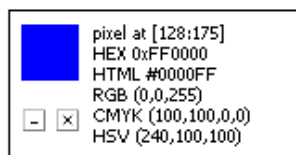
Obr. 17 Grafické znázornění rozdílů výsledků při dodržení a nedodržení správného postupu měření

### 3.3 Metoda stanovení znečištění programem Pixie 4.1

Pixie 4.1 je program vyvinutý společností Nattyware speciálně pro tvůrce webové grafiky [21].

Při najetí kurzoru na libovolnou část obrazovky monitoru lze pomocí programu Pixie 4.1 zobrazit přesný kód barvy v hodnotách RGB, HTML, CMYK a HSV. Program zobrazuje i souřadnice X a Y v místě zastaveného kurzoru na obrazovce monitoru. Program lze získat na webové stránce autora, program je kompatibilní s operačním systémem Windows a jeho používání i instalace je zdarma.

Při experimentálním měření byl program využit pro vyhodnocení barevného odstínu proužku chromatografické folie s měřeným vzorkem oleje.



Obr. 18 Dialogové okno programu Pixie 4.1.

RGB model (Red - červená, Green - zelená, Blue – modrá) – jedná se o aditivní způsob míchání barev, který se používá ve všech monitorech a projektorech.

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

- Hue – barevný tón, odstín (ten je obvykle označován jako název dané barvy);
- Saturation – sytost barvy (množství šedi v poměru k odstínu)
- Value – jas barvy (vyjadřuje množství světla, které barva odráží) [24].

Bakalářská práce Martina Laifra [24] se zabývala využitím programu Pixie 4.1 pro stanovení celkového znečištění motorového oleje. V této práci bylo experimentálním měřením zjištěno, že pro použití vyhodnocení měřených vzorků nejsou vhodné pouze modely H a S.

Modely RGB a V jsou pro měření vhodné díky své korelační závislosti vůči celkovému znečištění stanoveným pomocí denzimetrie.

### Postup měření

Postup získání vzorku znečištěného motorového oleje je stejný jako při použití denzimetrické metody, uvedené v kap. 3.2.

Jednotlivé vzorky byly naskenovány pomocí multifunkčního zařízení Generic 36C–15 Series PCL.

K určení odstínu byl použit již uvedený program Pixie 4.1 pomocí kterého byly určeny souřadnice RGB a V. Odstín byl měřen na koncové části proužku v oblasti čtverce o velikosti 5 mm x 5 mm, (obr. 19). Měření každého vzorku bylo provedeno 5x a z jednotlivých naměřených hodnot byla vypočtena průměrná hodnota, uvedená v tab. 10.

Hodnoty R-G-B se při měření lišily maximálně o  $\pm 5$  jednotek a hodnota V o  $\pm 3$  jednotky na konkrétním měřeném vzorku.



Obr. 19 Naskenovaný proužek chromatografické fólie se vzorkem znečištěného motorového oleje [vlastní obrázek]

### 3.4 Infračervená spektrometrie

Měření byla provedena na FT-IR spektrometru iS10 (Nicolet Thermo Scientific) – obr. 20 a následně vyhodnocena za použití řídicího programu OMNIC.

Tab. 9 Technické parametry přístroje iiS10

Technické parametry přístroje Nicolet sS 10	
ATR Krystal	Zn Se
Spektrální rozsah	650–4 000 $\text{cm}^{-1}$
Počet skenů	64
Rozlišení	4 $\text{cm}^{-1}$

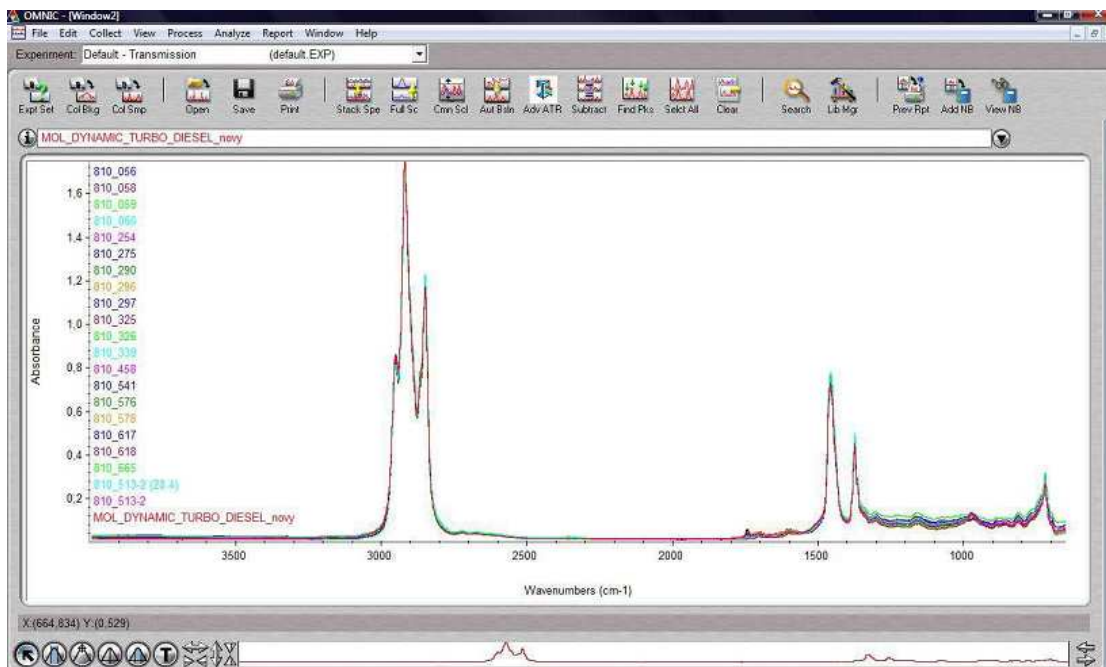


Obr. 20 Pracoviště pro metodu infračervené spektrometrie [vlastní foto]

## Postup měření

- 1) Před vlastním měřením je spuštěn software OMNIC 8. 1. 11 na řídicím PC.
- 2) Čistý krystal je vložen do přístroje a pomocí funkce COLLECT BACKGROUND (v programu OMNIC 8. 1. 11.) se změří pozadí, čímž se eliminuje vliv vnějších podmínek při měření spektra vzorku motorového oleje.
- 3) Na čistý krystal se nanese tenká souvislá vrstva zkoušeného vzorku oleje a vloží se do přístroje.
- 4) Volbou COLLECT SAMPLE v programu OMNIC 8. 1. 11. se spustí měření spekter vzorku oleje.
- 5) Po dokončení měření je na monitoru v dialogovém okně zobrazeno spektrum odpovídající danému motorovému oleji.
- 6) Naměřené spektrum se ukládá na disk.
- 7) Před každým měřením, musí být krystal ZnSe důkladně očištěn. Pro čištění krystalu je vhodné použít vatové tampóny k odstranění vzorku a k oplachu použít vatové tampóny a n-hexan  $C_6H_{14}$ .

Dialogové okno programu OMNIC je znázorněno na obr. 21.



Obr. 21 Dialogové okno programu OMNIC



### 3.5 Vyhodnocení experimentální části

Tato část bakalářské práce se zabývá vyhodnocením analýz motorových olejů z motorových vozů řad 810 a 814. Principy metod byly popsány v teoretické části (kap. 2.6).

### 3.6 Měření celkového znečištění motorových olejů pomocí Denzimetru REO 31 a programem Pixie 4.1

V tab. 10 je uvedeno označení jednotlivých motorových vozů s typem motorového oleje a dnem výměny náplně motorového oleje. Termíny odběrů vzorků motorových olejů, počet ujetých kilometrů od výměny oleje a obsahy mechanických nečistot byly dodány spolu se vzorky motorových olejů z DKV Česká Třebová. Měření celkového znečištění motorových olejů (denzimetrie v %) a vyhodnocení vzorků pomocí programu Pixie 4.1 (R, G, B, V) bylo provedeno v laboratořích Univerzity Pardubice.

Závislosti mezi jednotlivými hodnotami byly hledány pomocí korelačního koeficientu  $r$ , resp. použitím funkce CORREL, v programu Microsoft Excel 2007. Takto byl vyjádřen Pearsonův korelační koeficient „ $r$ “, který popisuje 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. Znaménko korelačního koeficientu určuje, zda má korelace kladný, nebo záporný směr.

Hodnoty korelačního koeficientu vyjadřují různý stupeň závislosti:

- 0, není mezi hodnotami žádná lineární závislost,
- nižší než 0,50, závislost je považována za bezvýznamnou,
- 0,50 – 0,79, ukazují středně silnou závislost,
- 0,80 – 0,94, dost silnou závislost a
- 0,95 – 1, velmi silnou závislost.

Korelační závislost a tedy vztah jednotlivých naměřených hodnot byl hledán mezi mechanickými nečistotami obsaženými v motorovém oleji (v % hm) a celkovým znečištěním motorového oleje analyzovaným denzimetrií (v %) a hodnotou R, G, B, V.

Další korelační závislost byla hledána mezi celkovým znečištěním motorového oleje analyzovaným denzimetrií (v %) a hodnotami R, G, B, V.

Z obou uvedených případů byla vypočtena celková korelační závislost (ze všech jednotlivých hodnot), uvedená na konci tab. 10.

Korelační vztah mezi ujetými kilometry od výměny motorového oleje jednotlivých vozů a experimentálními metodami nebyl hledán z důvodu malého počtu vstupních dat (podklady dodané z DKV obsahovaly počty ujetých kilometrů jen u vybraných vzorků).

Tab. 10 Naměřené hodnoty jednotlivých experimentálních metod, jejich korelační závislost a hodnoty uvedené DKV Česká Třebová [vlastní tabulka]

Vůz	Datum odběru	Km od výměny oleje	Mechanické nečistoty (% hm)	Denzimetrie (v %)	R	G	B	V
810 056 v.o. 29.06.2011 M7 ADS III	25.07.2011	neuveďeno	0,64	1,79	168	165	138	66
	03.08.2011	neuveďeno	neuveďeno	1,92	172	167	145	68
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	n	n	n	n	n
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	1	1	1	1
810 056 v.o. 17.08.2011 M7 ADS III	25.08.2011	neuveďeno	0,44	1,1	207	200	174	81
	18.09.2011	neuveďeno	0,7	1,65	180	178	153	71
	27.09.2011	15 423	1	1,39	188	181	154	74
	13.10.2011	neuveďeno	1,06	1,82	169	164	140	67
	21.10.2011	22 548	1	0,98	201	192	154	79
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	0,391	-0,61	-0,7	-0,88	-0,6
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	0,714	0,694	0,658	0,711
810 058 v.o. 17.05.2011, MOL DTD	20.07.2011	neuveďeno	1,64	3,02	128	131	122	52
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	n	n	n	n	n
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	n	n	n	n
810 058 v.o. 24.07.2011 M7 ADS III	02.08.2011	neuveďeno	1	1,27	180	180	167	71
	19.08.2011	neuveďeno	1,14	1,25	171	171	159	67
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	-1	-1	-1	-1	-1
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	1	1	1	1

Vůz	Datum odběru	Km od výměny oleje	Mechanické nečistoty (% hm)	Denzimetrie (v %)	R	G	B	V
810 058 v.o.+v.m. 18.8.2011 M7 ADS III	10.09.2011	1 500	1	1,33	173	168	141	68
	30.09.2011	6 948	1	1,03	190	186	159	74
	25.10.2011	neuveďeno	1,04	1,96	154	153	133	61
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	0,523	-0,37	-0,29	-0,13	-0,38
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	-0,99	-0,97	-0,91	-0,99
810 059 v.o. 23.1.2011 MOL DTD	28.01.2011	1 312	0,77	1,27	175	176	160	69
	10.02.2011	neuveďeno	neuveďeno	1,9	149	150	136	59
	20.2.2011	neuveďeno	1,41	2,46	138	141	125	56
	8.4.2011	neuveďeno	3,24	2,77	128	131	123	52
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	0,827	-0,83	-0,84	-0,73	-0,84
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	-0,99	-0,98	-0,97	-0,98
810 059 v.o. 17.4.2011 MOL DTD	27.4.2011	2 480	1,38	2,4	144	146	134	57
	19.5.2011	neuveďeno	2,01	3,6	118	121	112	48
	13.6.2011	15 621	neuveďeno	4,07	107	113	104	45
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	1	-1	-1	-1	-1
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	-1	-1	-1	-1
810 059 v.o. 14.6.2011 MOL DTD	23.6.2011	800	0,56	2,03	150	152	142	60
	3.7.2011	neuveďeno	1,3	2,36	138	140	132	56
	15.7.2011	neuveďeno	1,58	3,49	116	119	111	47
	16.8.2011	neuveďeno	2,86	3,78	109	114	108	45
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	0,885	-0,9	-0,89	-0,87	-0,89
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	-0,99	-0,99	-0,99	-1

Vůz	Datum odběru	Km od výměny oleje	Mechanické nečistoty (% hm)	Denzimetrie (v %)	R	G	B	V
810 059 v.o. 22.8.2011 M7 ADSIII	1.9.2011	2 053	1,02	0,74	203	202	194	80
	15.9.2011	neuveďeno	1,48	1,83	147	150	142	59
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	1	-1	-1	-1	-1
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	-1	-1	-1	-1
810 060 v.o. 20.2.2011 MOL DTD	12.7.2011	neuveďeno	0,8	1,12	193	181	130	76
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	n	n	n	n	n
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	n	n	n	n
810 060 v.o. 19.7.2011 M7 ADS III	26.7.2011	1 501	0,64	0,63	222	210	166	87
	13.8.2011	neuveďeno	0,37	0,76	214	204	162	84
	31.8.2011	neuveďeno	0,58	0,71	209	200	163	82
	20.9.2011	neuveďeno	0,32	0,84	205	198	158	81
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	-0,940	0,642	0,609	0,892	0,609
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	-0,86	-0,83	-0,99	-0,83
810 060 v.o. 26.9.2011 M7 ADS III	4.10.2011	1 080	0,33	0,46	217	219	191	89
	22.10.2011	neuveďeno	0,52	0,68	220	208	178	87
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	1	1	-1	-1	-1
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	1	-1	-1	-1
810 275 v.o. 12.7.2011 M7 ADS III	29.7.2011	2 979	0,32	0,5	231	217	178	91
	10.9.2011	neuveďeno	0,32	0,89	204	194	152	80
	24.9.2011	16 075	0,46	0,64	222	210	174	87
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	-0,161	0,189	0,22	0,371	0,156
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	-1	-1	-0,98	-1

Vůz	Datum odběru	Km od výměny oleje	Mechanické nečistoty (% hm)	Denzimetrie (v %)	R	G	B	V
810 290 v.o. 23.6.2011 MOL DTD	14.7.2011	2 962	0,45	0,65	220	212	182	86
	24.8.2011	11 148	0,76	1,08	197	191	162	77
	15.9.2011	17 229	0,82	1,12	198	191	163	78
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	0,997	-0,98	-0,99	-0,98	-0,97
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	-0,99	-1	-0,99	-0,98
810 290 v.o. 15.9.2011 M7 ADS III	5.10.2011	neuveďeno	0,36	0,8	210	202	178	82
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	n	n	n	n	n
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	n	n	n	n
810 325 v.o. 7.5.2011 M7 ADS III	2.6.2011	neuveďeno	0,85	0,28	249	243	218	98
	14.6.2011	1 399	0,67	0,28	247	241	211	97
	28.7.2011	10 340	0,56	0,95	206	197	161	81
	23.8.2011	16 568	0,98	0,86	212	200	151	83
	6.9.2011	neuveďeno	1,13	0,92	205	190	132	81
	30.9.2011	27 252	0,71	1,37	193	178	119	76
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	0,016	-0,1	-0,16	-0,27	-0,09
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	Nestanoveno	-0,98	-0,98	-0,96	-0,98
810 326 v.o. 20.5.2011 MOL DTD	10.7.2011	neuveďeno	0,81	2,42	143	144	131	57
	9.8.2011	neuveďeno	0,87	1,97	159	160	144	63
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	-1	1	1	1	1
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	-1	-1	-1	-1

Vůz	Datum odběru	Km od výměny oleje	Mechanické nečistoty (% hm)	Denzimetrie (v %)	R	G	B	V
810 458 v.o. 11.7.2011 M7 ADS III	9.8.2011	neuveďeno	0,49	0,38	223	214	188	87
	11.9.2011	17 785	0,37	1,06	198	191	156	78
	18.10.2011	neuveďeno	0,81	1,12	196	185	151	77
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	0,324	-0,32	-0,44	-0,37	-0,34
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	-1	-0,99	-1	-1
810 513 v.o. 2.6.2011 MOL DTD	5.8.2011	neuveďeno	0,72	1,7	168	162	133	66
	25.8.2011	neuveďeno	0,68	1,31	189	183	149	74
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	1	-1	-1	-1	-1
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	-1	-1	-1	-1
810 513 v.o. 25.8.2011 M7 ADS III	30.8.2011	572	0,97	1,81	171	167	139	67
	20.9.2011	5 197	0,97	1,5	177	172	141	70
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	n	n	n	n	n
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	-1	-1	-1	-1
810 541 v.o. 8.7.2011 M7 ADS III	27.7.2011	4 058	0,62	1,54	173	173	159	68
	27.8.2011	12 082	neuveďeno	2,34	147	149	137	59
	16.9.2011	17 208	1,65	2,93	134	135	124	53
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	1	-1	-1	-1	-1
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	-0,99	-1	-1	-1
810 541 v.o. 2011 M7 ADS III	25.9.2011	866	neuveďeno	0,89	209	205	189	82
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	n	n	n	n	n
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	n	n	n	n

Vůz	Datum odběru	Km od výměny oleje	Mechanické nečistoty (% hm)	Denzimetrie (v %)	R	G	B	V
810 576 v.o. 13.5.2011 MOL DTD	19.7.2011	15 566	0,71	1,9	167	163	135	66
	17.9.2011	neuveďeno	0,96	2,37	150	149	130	59
	15.10.2011	neuveďeno	0,92	2,39	156	155	133	61
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	0,983	-0,98	-0,96	-0,88	-0,99
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	-0,92	-0,89	-0,78	-0,95
810 576 v.o. 19.10.2011 M7 ADS III	25.10.2011	neuveďeno	0,34	1	209	204	181	82
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	n	n	n	n	n
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	n	n	n	n
810 578 v.o. 11.4.2011 M7 ADS III	21.7.2011	5 144	0,39	0,63	224	219	205	88
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	n	n	n	n	n
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	n	n	n	n
810 578 v.o. 21.7.2011 M7 ADS III	8.8.2011	3 483	neuveďeno	0,68	217	213	205	85
	3.9.2011	15 472	neuveďeno	1,18	193	194	181	76
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	n	n	n	n	n
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	-1	-1	-1	-1
810 578 v.o. 8.9.2011 M7 ADS V	13.9.2011	640	neuveďeno	0,41	224	221	209	88
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	n	n	n	n	n
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	n	n	n	n
810 617 v.o. 23.5.2011 MOL DTD	27.7.2011	13 421	1,7	2,93	127	130	120	51
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	n	n	n	n	n
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	n	n	n	n

Vůz	Datum odběru	Km od výměny oleje	Mechanické nečistoty (% hm)	Denzimetrie (v %)	R	G	B	V
810 617 v.o. 13.8.2011 M7 ADS III	18.8.2011	820	0,9	1,06	195	192	179	77
	7.10.2011	neuveďeno	1,73	2,73	137	140	131	55
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	1	-1	-1	-1	-1
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	-1	-1	-1	-1
810 618 v.o. 8.6.2011 M7 ADS V	17.6.2011	1 500	0,4	0,36	249	244	225	98
	29.6.2011	3 385	neuveďeno	0,35	250	245	223	98
	2.8.2011	neuveďeno	0,69	0,38	242	233	208	95
	29.8.2011	neuveďeno	1,17	0,39	246	233	190	96
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	0,946	-0,3	-0,79	-0,99	-0,54
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	-0,76	-0,96	-0,93	-0,85
810 618 v.o. 2.9.2011 M7 ADS V	14.9.2011	1 500	0,73	0,25	246	239	210	97
	2.10.2011	neuveďeno	0,41	0,45	243	231	198	95
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	-1	1	1	1	1
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	-1	-1	-1	-1
810 629 v.o. 20.5.2011 MOL DTD	6.7.2011	neuveďeno	0,57	1,23	192	182	144	75
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	n	n	n	n	n
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	n	n	n	n
810 629 v.o. 17.7.2011 M7 ADS III	24.7.2011	3 350	0,52	0,67	227	218	190	89
	24.8.2011	neuveďeno	0,96	1,38	177	174	153	70
	13.9.2011	neuveďeno	1,16	1,87	168	165	144	66
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	0,994	-0,99	-0,99	-0,99	-0,99
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	-0,96	-0,97	-0,97	-0,97



Vůz	Datum odběru	Km od výměny oleje	Mechanické nečistoty (% hm)	Denzimetrie (v %)	R	G	B	V
810 629 v.o. 23.9.2011 M7 ADS III	27.9.2011	823	0,63	0,93	210	205	184	83
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	n	n	n	n	n
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	n	n	n	n
810 629 v.o. 12.10.2011 M7 ADS III	25.10.2011	1 840	0,39	0,23	253	249	236	99
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	n	n	n	n	n
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	n	n	n	n
810 630 v.o. 15.5.2011 MOL DTD	15.7.2011	neuveďeno	0,55	0,84	203	194	149	80
	3.8.2011	neuveďeno	0,74	1,31	186	179	147	73
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	1	-1	-1	-1	-1
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	-1	-1	-1	-1
810 630 v.o. 9.8.2011 M7 ADS III	14.8.2011	910	0,24	0,41	240	233	212	94
	7.9.2011	neuveďeno	0,51	1,45	183	180	162	72
	19.10.2011	21 158	0,91	1,78	169	167	147	67
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	0,920	-0,9	-0,9	-0,92	-0,9
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	-1	-1	-1	-1
810 665 v.o. 11.4.2011 MOL DTD	20.5.2011	neuveďeno	neuveďeno	0,66	231	215	165	91
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	n	n	n	n	n
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	n	n	n	n

Vůz	Datum odběru	Km od výměny oleje	Mechanické nečistoty (% hm)	Denzimetrie (v %)	R	G	B	V
810 665 v.o. 25.5.2011 MOL DTD	6.6.2011	2 489	0,28	0,37	244	234	205	96
	17.6.2011	4 869	neuveďeno	0,9	210	202	170	83
	14.7.2011	11 240	0,45	0,52	226	215	184	89
	13.8.2011	neuveďeno	0,56	1,32	191	181	147	75
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	0,878	-0,95	-0,96	-0,96	-0,95
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	-0,98	-0,98	-0,98	-0,98
810 665 v.o. 23.8.2011 M7 ADS III	30.8.2011	1 200	0,25	0,37	243	238	222	95
	4.10.2011	10 725	0,77	1,98	163	164	151	65
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	1	-1	-1	-1	-1
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	-1	-1	-1	-1
814 030 v.o. 13.6.2011 M7 ADS IV	4.8.2011	neuveďeno	neuveďeno	1,27	190	190	178	75
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	n	n	n	n	n
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	n	n	n	n
814 031 v.o. 4.7.2011 M7 ADS V	7.9.2011	18 275	1,51	1,44	182	181	167	71
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	n	n	n	n	n
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	n	n	n	n
814 084 v.o. 27.5.2011 M7 ADS IV	21.7.2011	18 772	0,93	1,45	183	183	173	72
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	n	n	n	n	n
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	n	n	n	n

Vůz	Datum odběru	Km od výměny oleje	Mechanické nečistoty (% hm)	Denzimetrie (v %)	R	G	B	V
814 084 v.o. 21.7.2011 M7 ADS IV	20.9.2011	19 679	1,29	1,35	183	184	171	72
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	n	n	n	n	n
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	n	n	n	n
814 085 v.o. 4.6.2011 M7 ADS IV	1.8.2011	17 543	0,83	1,38	185	185	174	73
Korelační koeficient r (mechanické nečistoty)			nestanoveno	n	n	n	n	n
Korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	n	n	n	n
Celkový korelační koeficient r (mech. nečistoty)			nestanoveno	0,76	-0,71	-0,7	-0,58	-0,71
Celkový korelační koeficient r (denzimetrie)			nestanoveno	nestanoveno	-0,96	-0,96	-0,84	-0,96

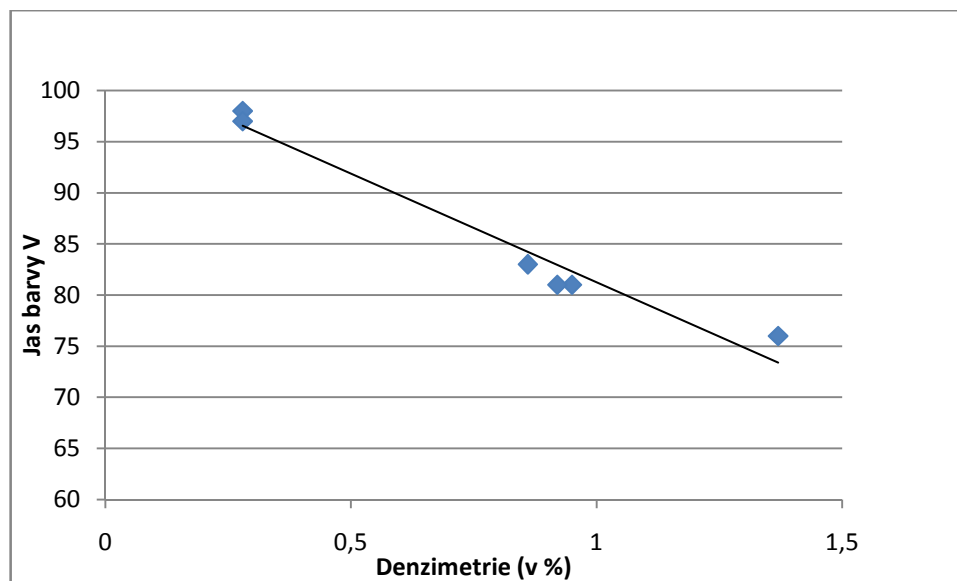
#### Pozn. k tabulce

Korelační závislosti pro soubory obsahující jeden nebo dva údaje nebyly zpracovávány (tyto soubory jsou označeny žlutou barvou).

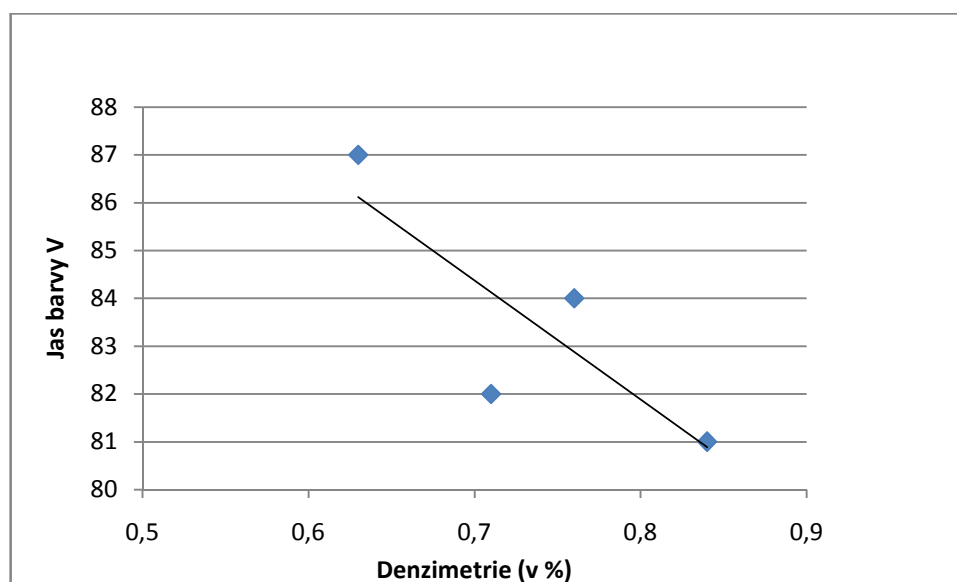
Z obou výše uvedených případů není tedy možné vyvodit relevantní závěry.

Všechny korelační údaje z tab. 10 byly zpracovány ve formě grafů a z těchto byly vybrány ukázky případu velmi silné závislosti, zástupce dost silné závislosti a ve třetím případě zástupce středně silné závislosti hodnot korelačního koeficientu r.

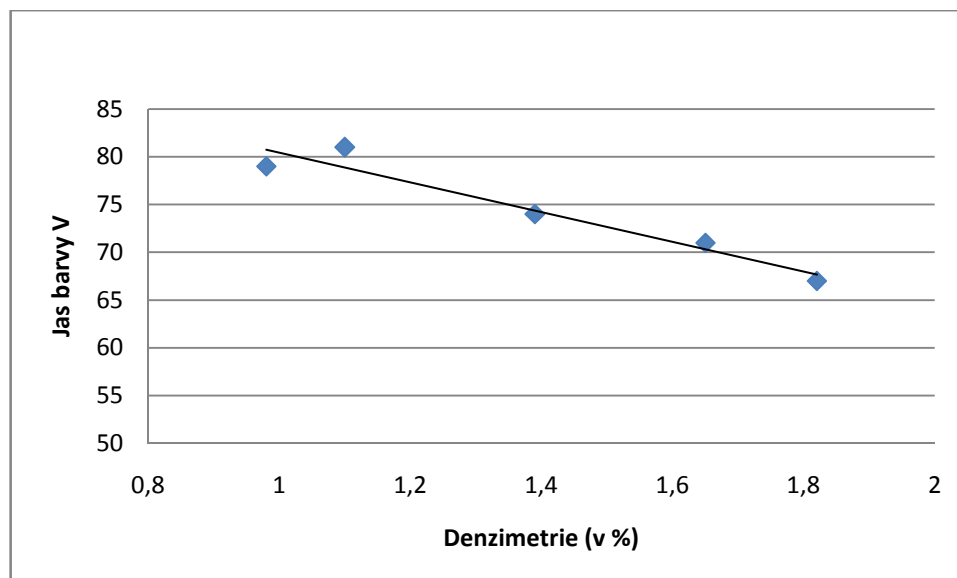
Tyto případy jsou uvedeny na obr. 22, 23 a 24, kde je korelační koeficient r stanoven mezi experimentálními metodami celkového znečištění motorového oleje analyzovaného denzimetrií a jasu barvy V měřeného pomocí programu Pixie 4.1.



Obr. 22 Zobrazení velmi silné korelační závislosti měřené na vzorcích znečištěného motorového oleje z motorového vozu 810 325 (korelační koeficient  $r = -0,98$ )

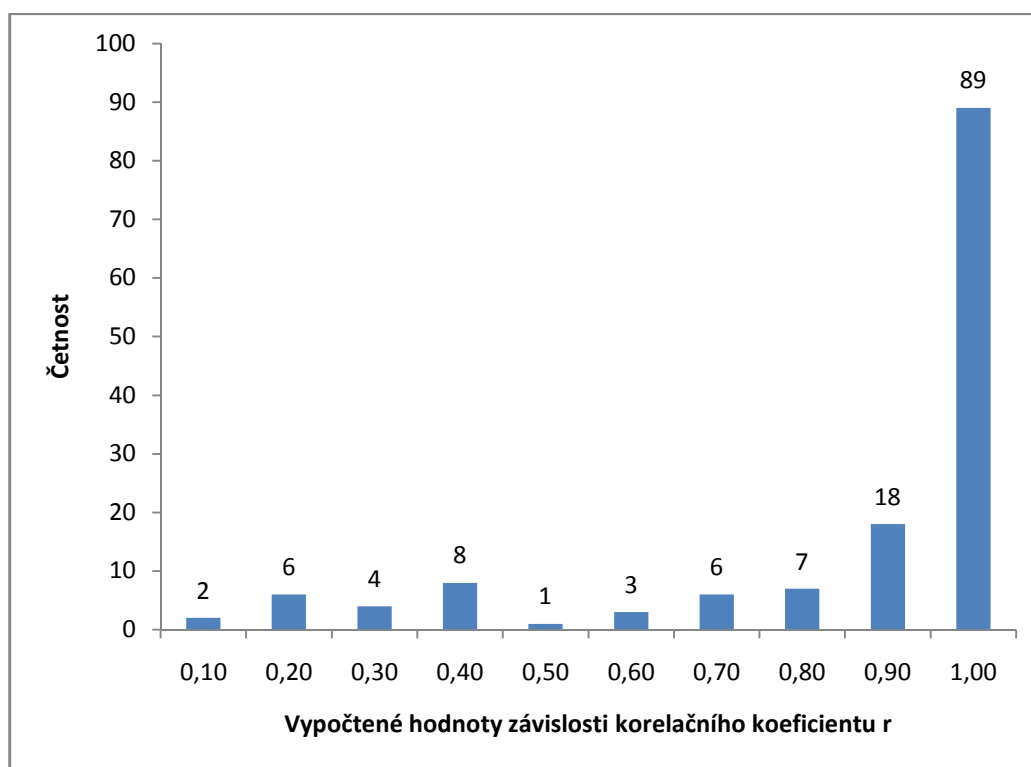


Obr. 23 Zobrazení dost silné korelační závislosti měřené na vzorcích znečištěného motorového oleje z motorového vozu 810 606 (korelační koeficient  $r = -0,83$ )



Obr. 24 Zobrazení středně silné korelační závislosti měřené na vzorcích znečištěného motorového oleje z motorového vozu 810 056 (korelační koeficient  $r = 0,71$ )

Hodnoty vypočtených korelačních koeficientů  $r$  (tab. 10) byly porovnány s četností jednotlivých hodnot a byl sestaven histogram uvedený na obr. 25.



Obr. 25 Histogram četností vypočtených korelačních koeficientů  $r$

### **3.7 Porovnání metod analyzujících celkového znečištění motorových olejů**

Tato kapitola bakalářské práce se zabývá porovnáním metod přípravy vzorků pro vyhodnocení celkového znečištění motorového oleje analyzovaného denzimetrií (v %).

Byla provedena příprava a měření jednotlivých vzorků metodou DKV Česká Třebová a metodou Univerzity Pardubice. Pro měření bylo vybráno pět vzorků motorových olejů z jednotlivých vozů a dva vzorky nového motorového oleje. Z naměřených hodnot byl vypočten korelační koeficient  $r$ . Výsledky měření jsou uvedeny v tab. 11 a znázorněny na obr. 26.

Postup měření jednotlivých vzorků metodou Univerzity Pardubice je uveden v kap. 3.2.

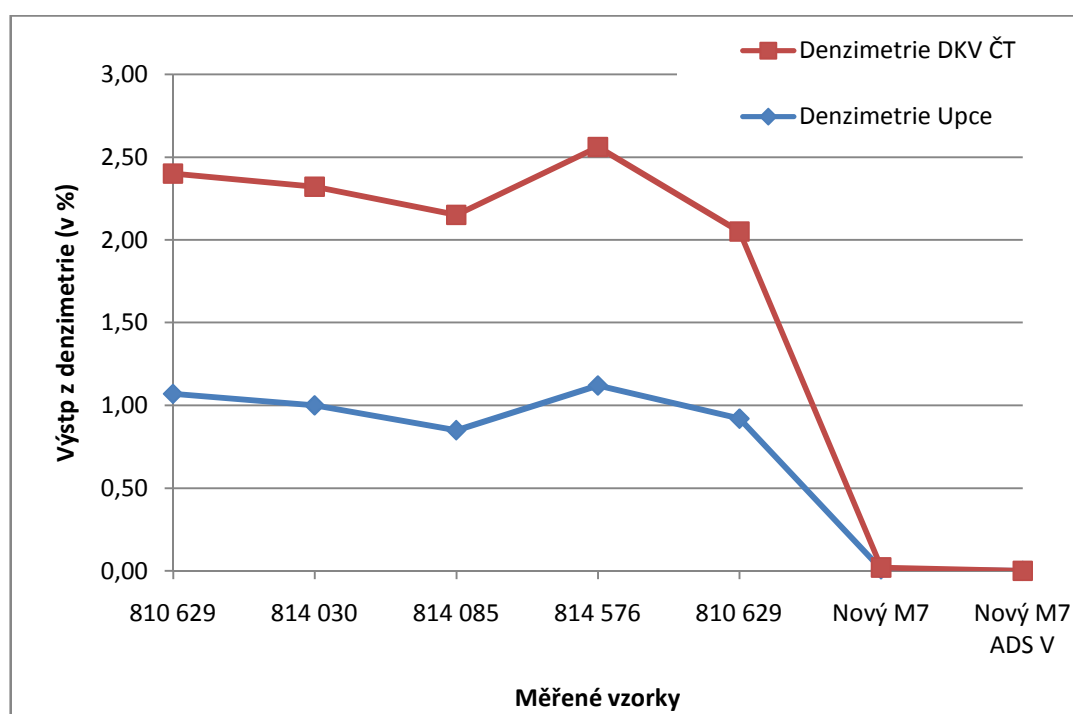
#### **Postup měření metodou DKV Česká Třebová**

- 1) Nejprve je nutno připravit proužek chromatografického papíru (Silufol) o rozměrech 9 mm x 100 mm.
- 2) Ve zkumavce je 1 ml motorového oleje důkladně promíchá s 19 ml technického benzínu.
- 3) Proužek chromatografického papíru se ponoří do zkumavky na dobu 3 minut.
- 4) Po uplynutí této doby je proužek vytažen a opláchnut krátkým ponořením do zkumavky s technickým benzinem.
- 5) Proužek chromatografického papíru je následně ve svislé poloze usušen.
- 6) Po uplynutí doby 20 min. od usušení je vzorek zasunut do přístroje, aktivní vrstvou nahoru, a vsunovací otvor se zvedne do horní krajní polohy.
- 7) Elektronika přístroje vyhodnotí intenzitu světla, převede ji na napětí a na displeji se zobrazí hodnota znečištění.

Rozdíl obou metod spočívá v množství technického benzínu, se kterým je vzorek znečištěného motorového oleje promíchán (DKV 19 ml, UP 24 ml).

Tab. 11 Výsledky porovnání metody DKV Česká Třebová a Univerzity Pardubice

Vzorky olejů z vozů a nových olejů	Denzimetrie UPce (v %)	Denzimetrie DKV ČT (v %)
810 629	1,07	1,33
814 030	1,00	1,32
814 085	0,85	1,30
814 576	1,12	1,44
810 629	0,92	1,13
Nový olej M7	0,01	0,01
Nový olej M7 ADS V	0,00	0,00
<b>Korelační koeficient r</b>		<b>0,99</b>



Obr. 26 Grafické porovnání metody DKV Česká Třebová a Univerzity Pardubice

### Dílčí závěr

Při porovnání uvedených metod je patrné, že hodnoty naměřené metodou Univerzity Pardubice jsou nižší, než hodnoty naměřené metodou DKV Česká Třebová. Tento rozdíl plyne z množství použitého technického benzínu při měření vzorku motorového oleje.

Korelační koeficient r dosáhl při tomto experimentálním měření hodnoty 0,99, z čehož lze vyvodit závěr, že obě metody jsou stejně průkazné.

## 3.8 Vyhodnocení infračervené spektrometrie

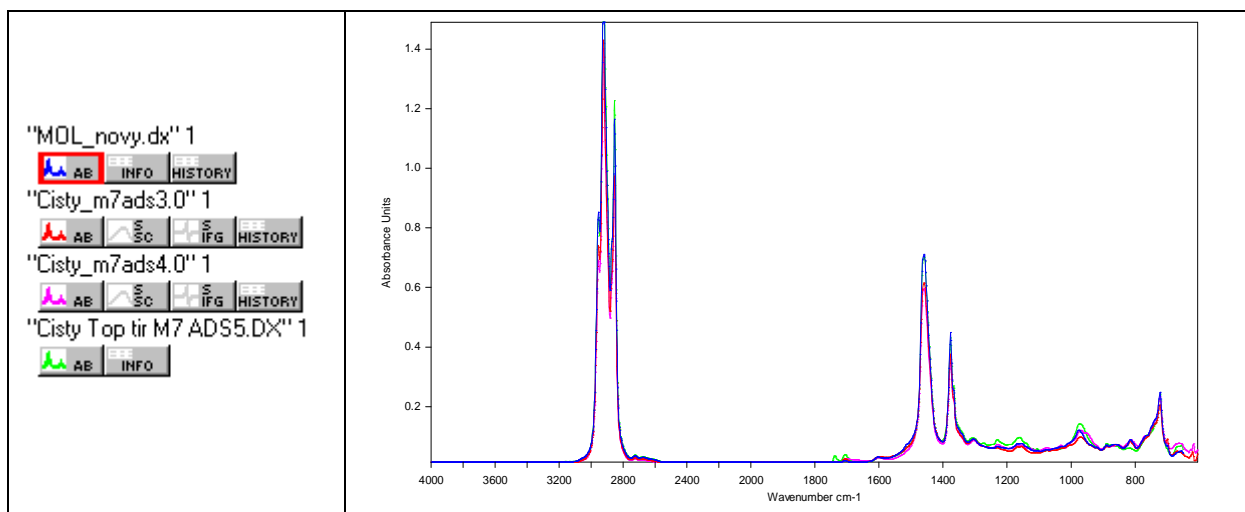
### Experimentální výsledky – FTIR spektrometrie

Kvůli přehlednosti byla spektra všech 99 vzorků olejů rozdělena do skupin podle čísla motorového vozu, podle druhu oleje (M7 ADS III, M7 ADS IV, M7 ADS V TopTir a MOL) a podle termínu odběru tak, aby v jednotlivých podskupinách byly zařazeny vzorky odebrané z téže olejové náplně mezi dvěma výměnami. Byly vzaty v úvahu i zásahy údržby a řešení havarijních stavů.

### Nové oleje

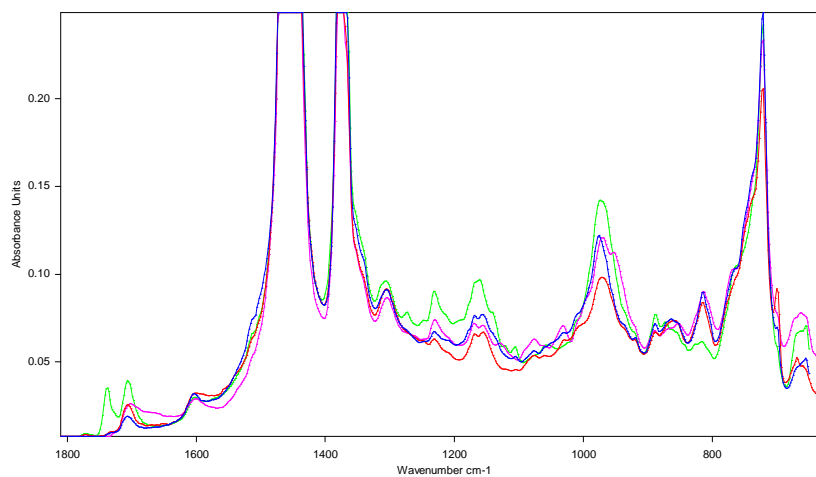
Na obr. 27 a 28 jsou uvedena spektra nových olejů. Liší se jen v detailech – lze proto konstatovat, že oleje jsou svým složením velmi podobné. Ze srovnání spekter výše uvedených olejů je zřejmá pouze mírně odlišná aditivace oleje M7 ADS V TopTir (vyšší koncentrace protiotěrových přísad obsahujících fosfor a síru – pás kolem  $970\text{ cm}^{-1}$ , jiný typ modifikátorů viskozity – píky v oblasti  $1\ 710\text{--}1\ 750\text{ cm}^{-1}$ ).

Podle bezpečnostních listů obsahují polyolefin, polyamin, succinimid, polyol (<2 %) a komplexní sulfonát vápenatý (<0,5 %); složení a koncentrace ostatních přísad nejsou veřejně dostupné [25].



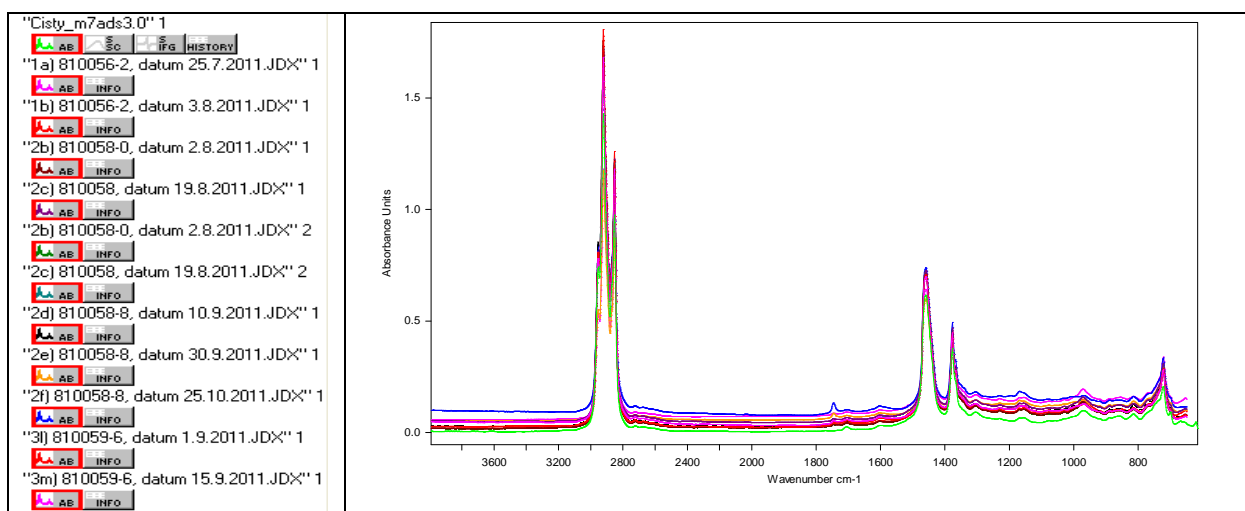
Obr. 27 Infračervená spektra nových olejů MOL DTD, M7 ADS III, M7 ADS IV a M7 ADS V (celý měřený rozsah)



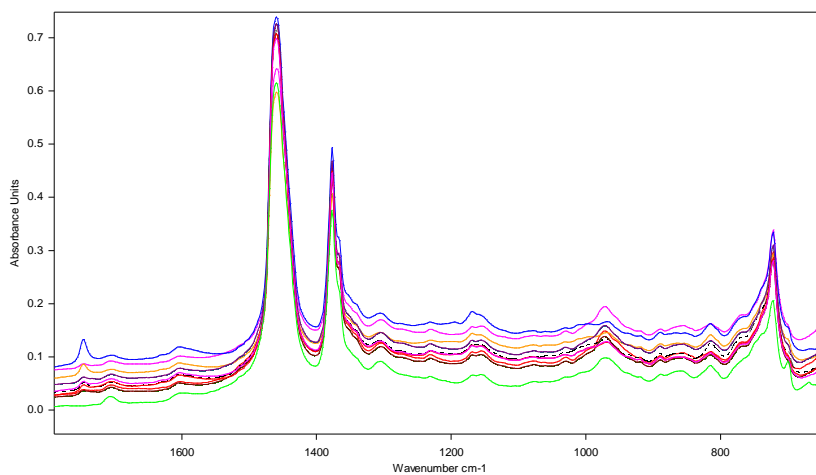


Obr. 28 Infračervená spektra nových olejů MOL DTD, M7 ADS III, M7 ADS IV a M7 ADS V (detail spektra v oblasti 1 800 až 600  $\text{cm}^{-1}$ )

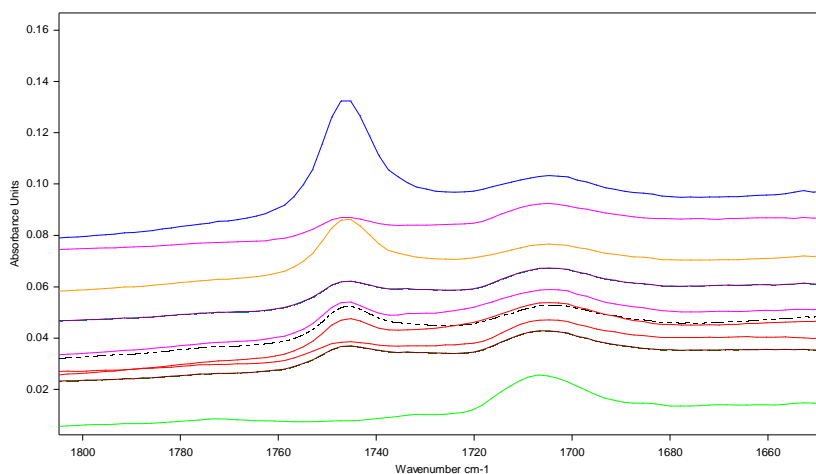
### Odběry 1, 2 a 3 (M7 ADS III)



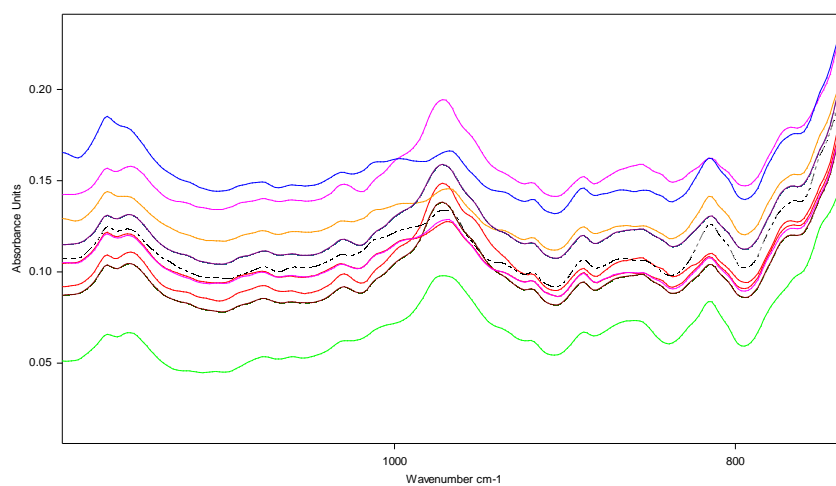
Obr. 29 Infračervená spektra olejů M7 ADS III; odběry – soubory 1, 2 a 3 (celý měřený rozsah)



Obr. 30 Infračervená spektra olejů M7 ADS III; odběry – soubory 1, 2 a 3 (detail spektra v oblasti 1 600 až 800  $\text{cm}^{-1}$ )

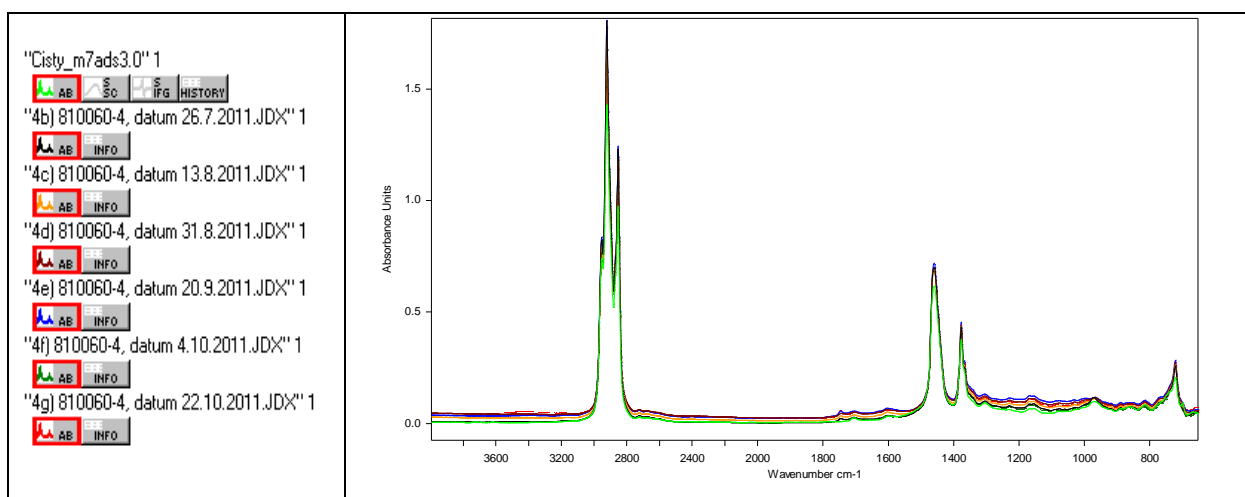


Obr. 31 Infračervená spektra olejů M7 ADS III; odběry – soubory 1, 2 a 3 (detail spektra v oblasti 1 800 až 1 650  $\text{cm}^{-1}$ )

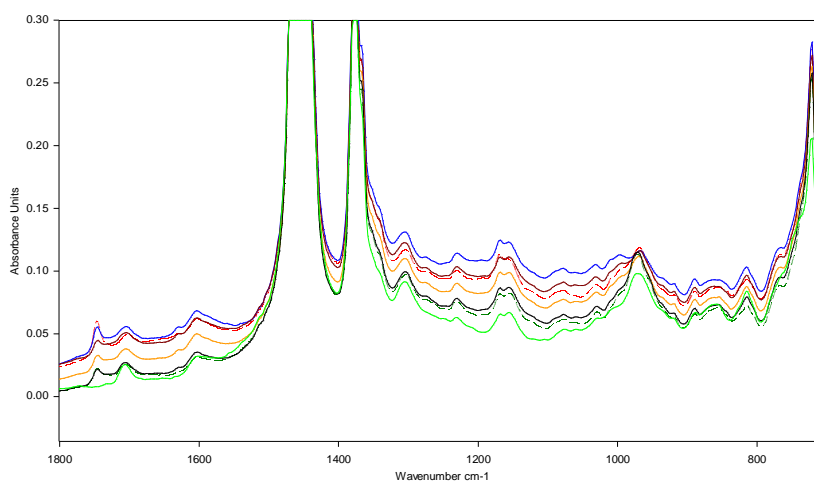


Obr. 32 Infračervená spektra olejů M7 ADS III; odběry – soubory 1, 2 a 3 (detail spektra v oblasti 1 000 až 800  $\text{cm}^{-1}$ )

## Odběr 4 (M7 ADS III)

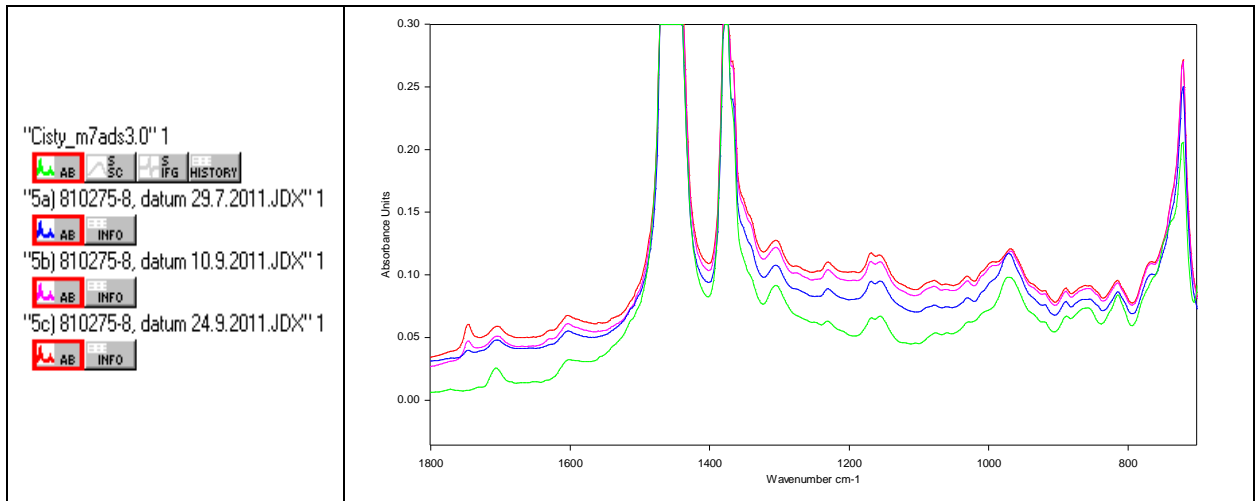


Obr. 33 Infračervená spektra olejů M7 ADS3; odběr – souboru 4 (celý měřený rozsah)



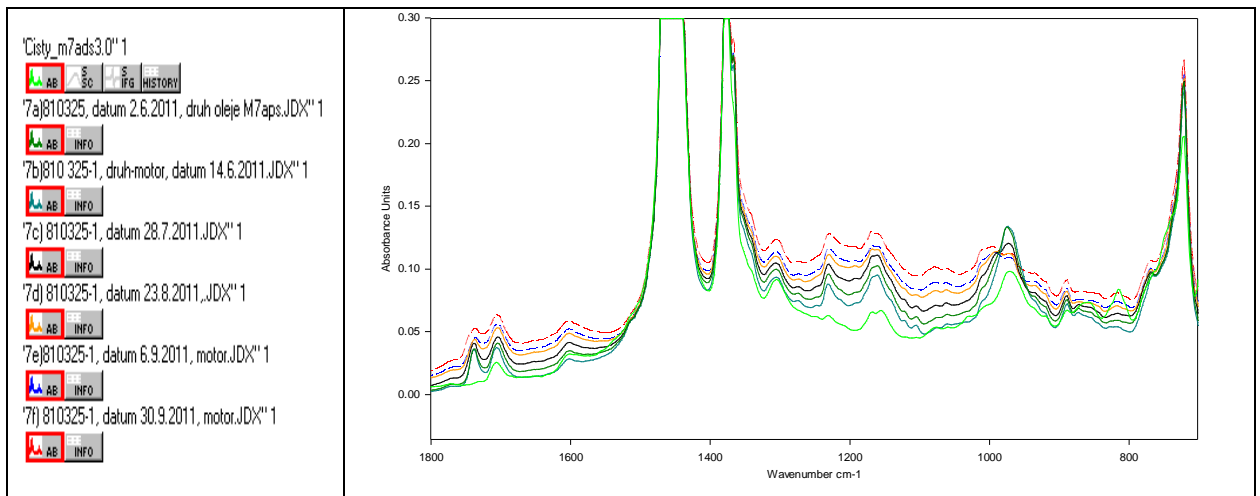
Obr. 34 Infračervená spektra olejů M7 ADS III; odběr – souboru 4 (detail spektra v oblasti 1 800 až 800 cm<sup>-1</sup>)

### Odběr 5 (M7 ADS III)



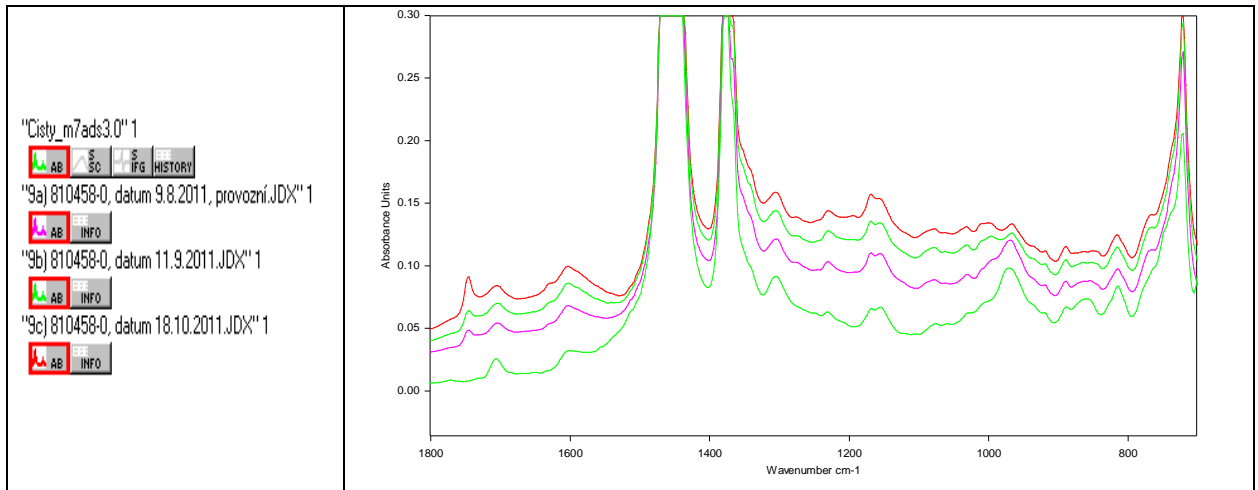
Obr. 35 Infračervená spektra olejů M7 ADS III; odběr – souboru 5 (celý měřený rozsah)

### Odběr 7 (M7 ADS III)



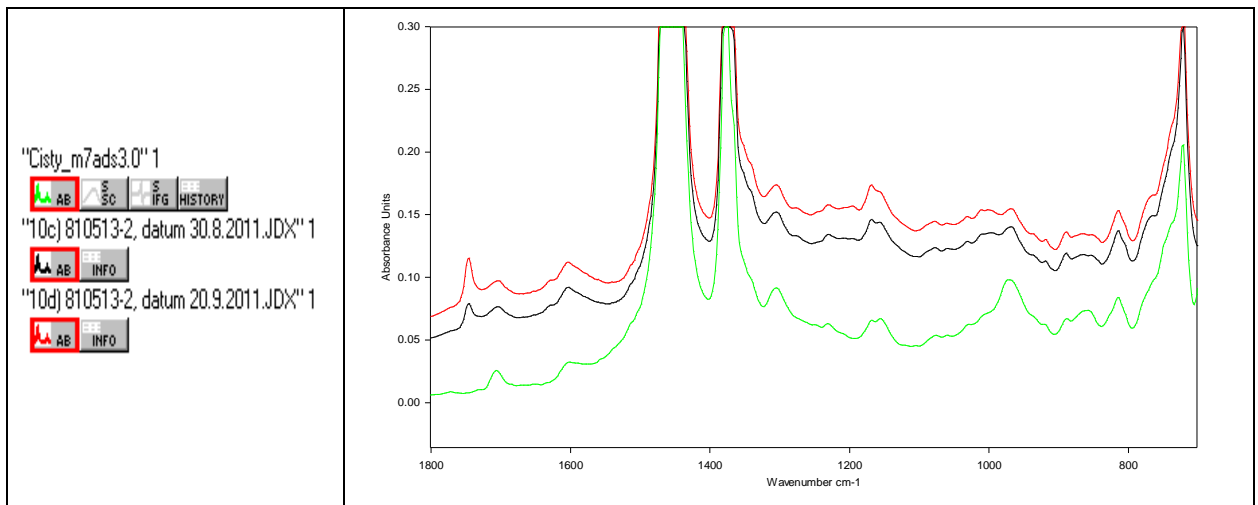
Obr. 36 Infračervená spektra olejů M7 ADS III; odběr – souboru 7 (celý měřený rozsah)

### Odběr 9 (M7 ADS III)



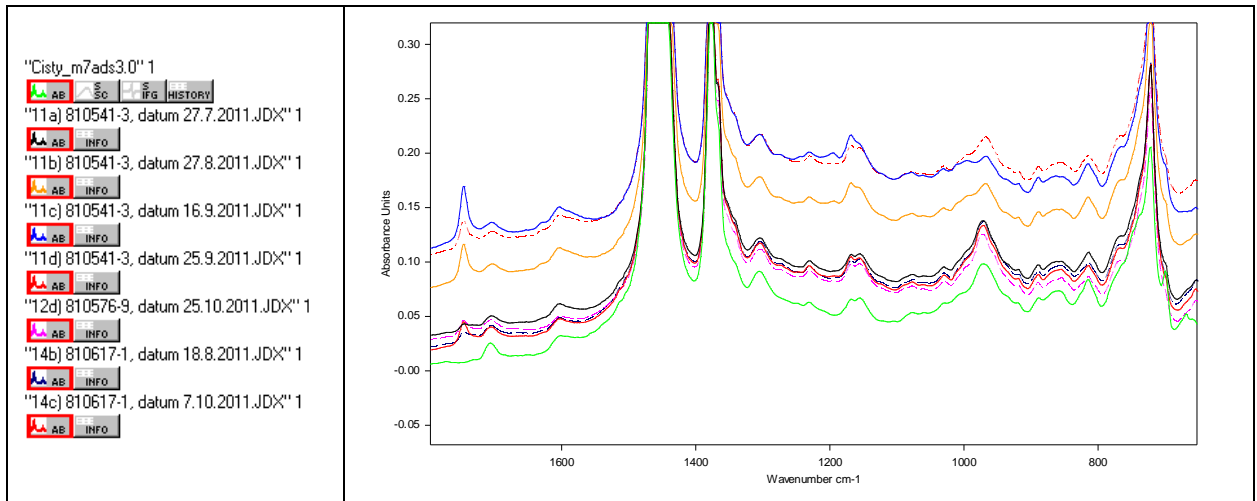
Obr. 37 Infračervená spektra olejů M7 ADS III; odběr – souboru 9  
(celý měřený rozsah)

### Odběr 10 (M7 ADS III)



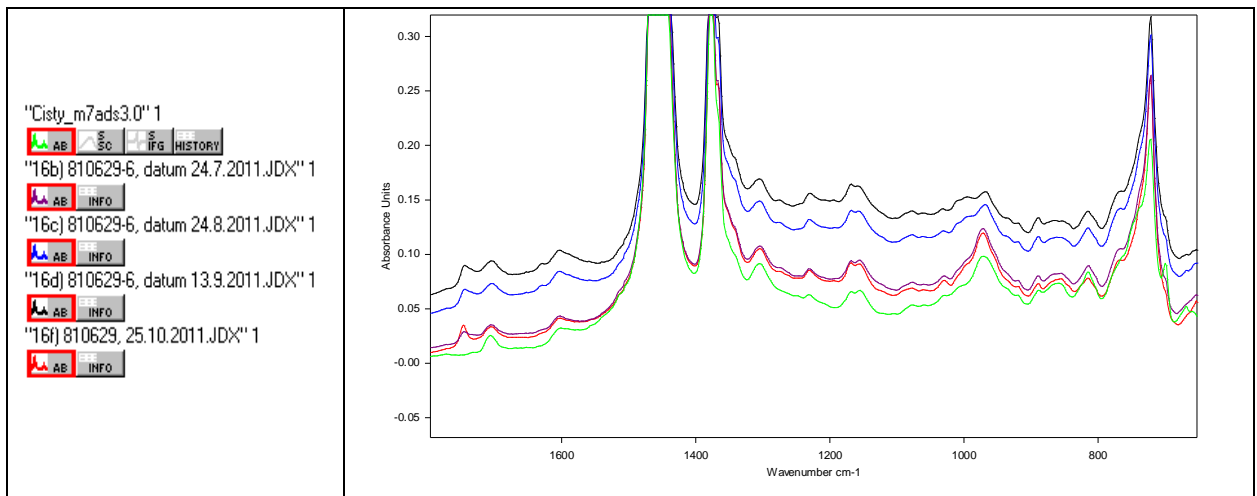
Obr. 38 Infračervená spektra olejů M7 ADS III; odběr – souboru 10  
(celý měřený rozsah)

## Odběry 11 až 14 (M7 ADS III)



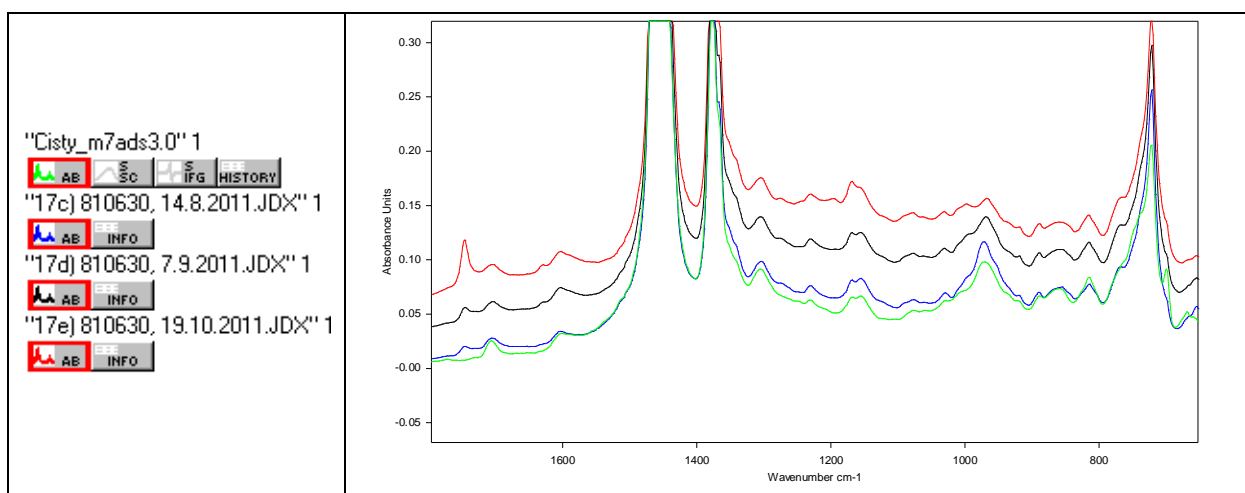
Obr. 39 Infračervená spektra olejů M7 ADS III; odběry – soubory 11 až 14 (celý měřený rozsah)

## Odběr 16 (M7 ADS III)



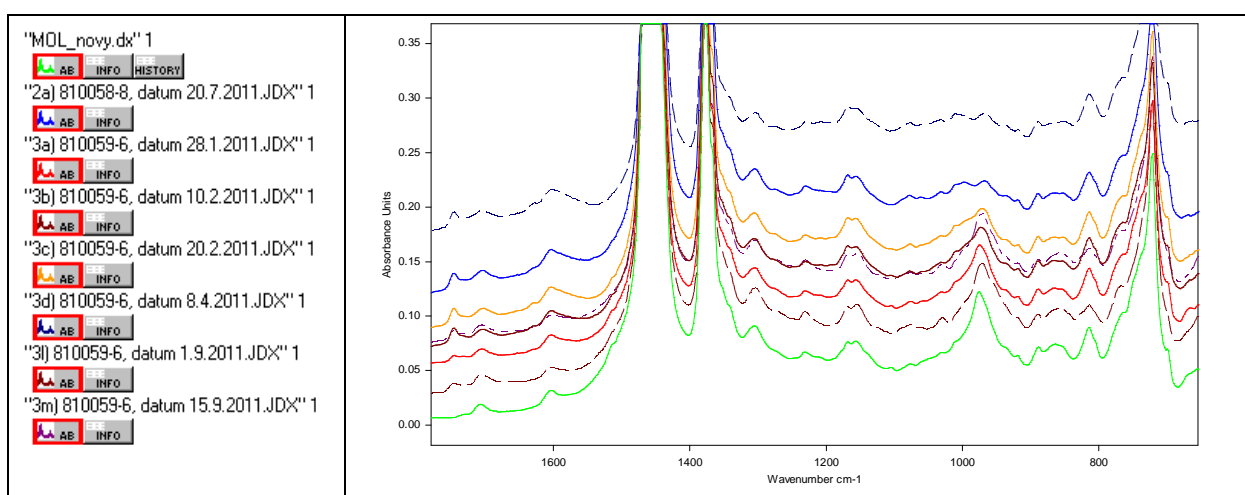
Obr. 40 Infračervená spektra olejů M7 ADS III; odběr – souboru 16 (celý měřený rozsah)

## Odběr 17 (M7 ADS III)



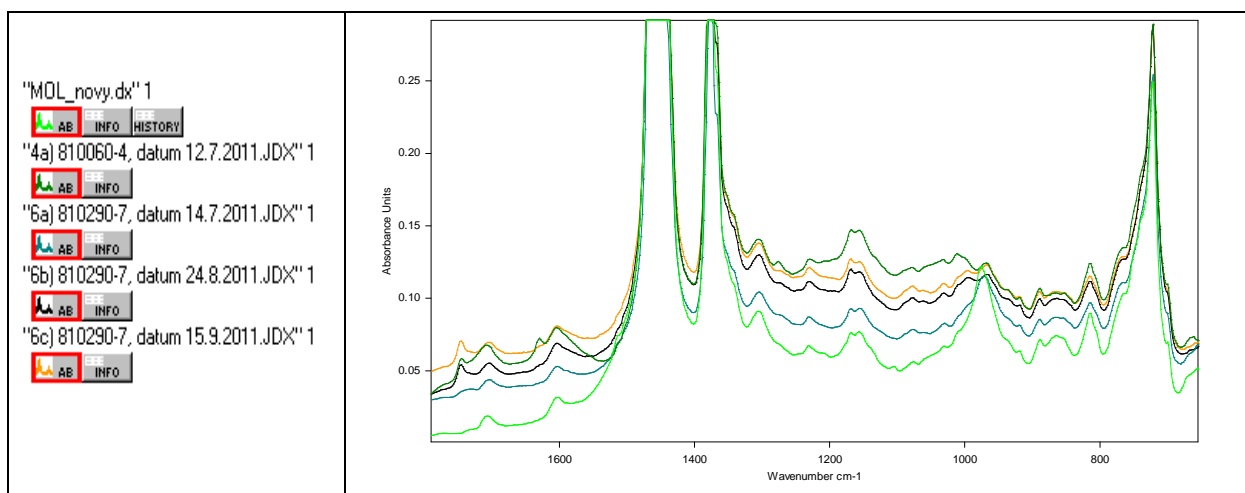
Obr. 41 Infračervená spektra olejů M7 ADS III; odběr – souboru 17  
(celý měřený rozsah)

## Odběry 2, 3 (MOL)



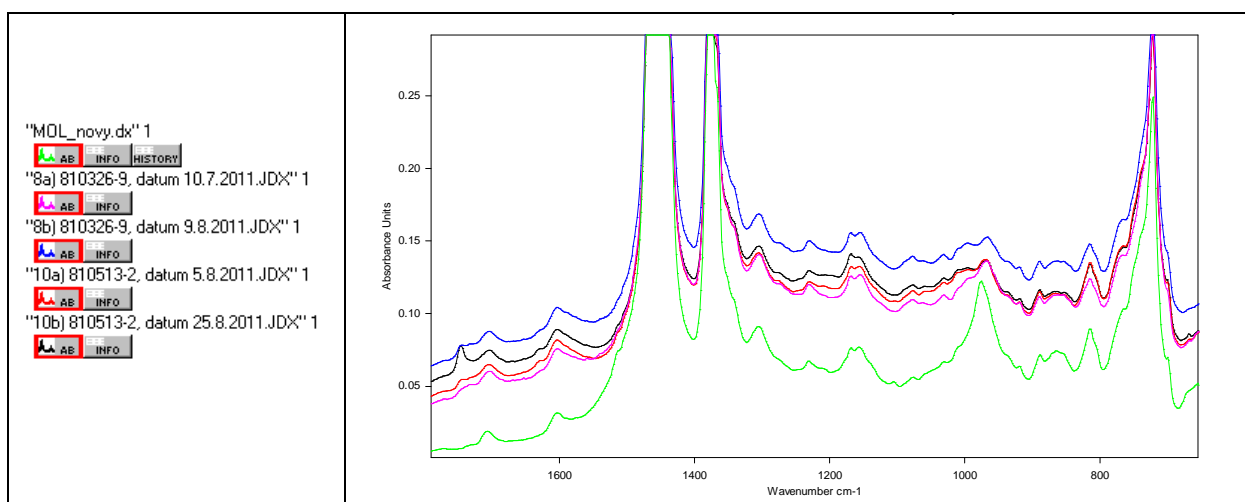
Obr. 42 Infračervená spektra olejů MOL; odběry – soubory 2 a 3  
(celý měřený rozsah)

## Odběry 4, 6 (MOL)



Obr. 43 Infračervená spektra olejů MOL; odběry – soubory 4 a 6  
(celý měřený rozsah)

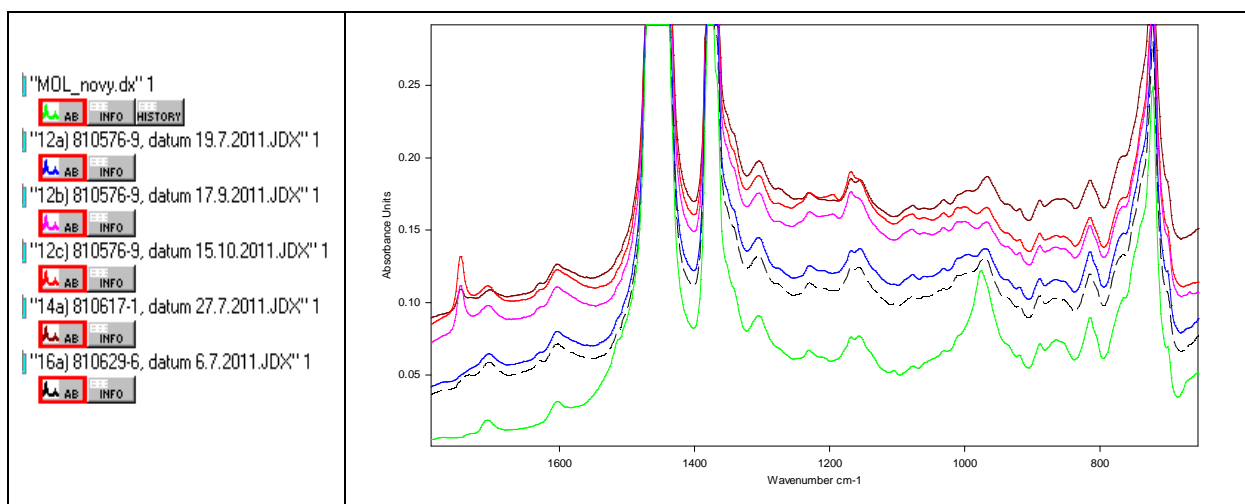
## Odběry 8, 10 (MOL)



Obr. 44 Infračervená spektra olejů MOL; odběry – soubory 8 a 10  
(celý měřený rozsah)

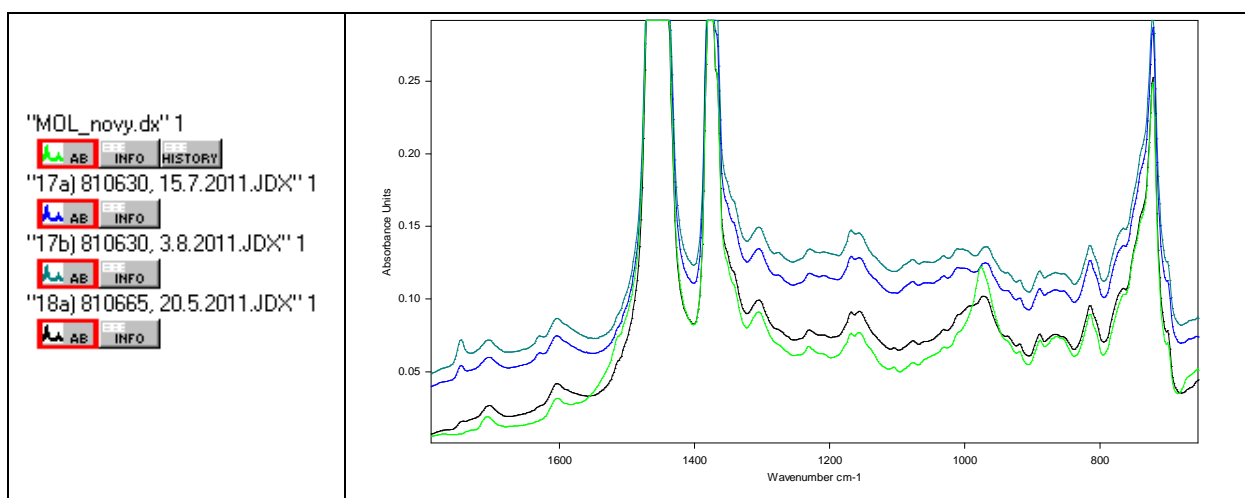


## Odběry 12, 14, 16 (MOL)



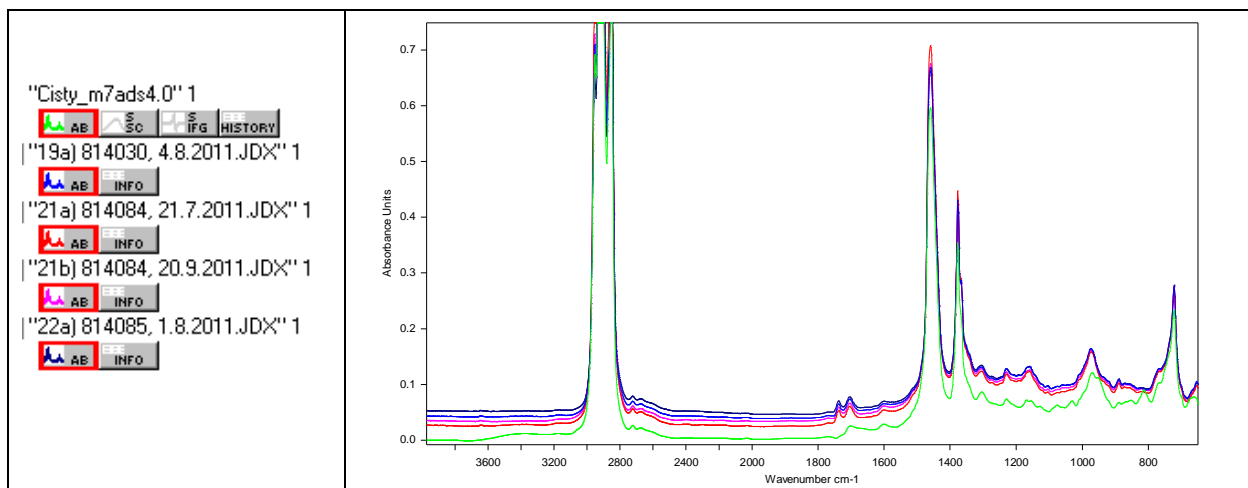
Obr. 45 Infračervená spektra olejů MOL; odběry – soubory 12, 14 a 16 (celý měřený rozsah)

## Odběry 17, 18 (MOL)

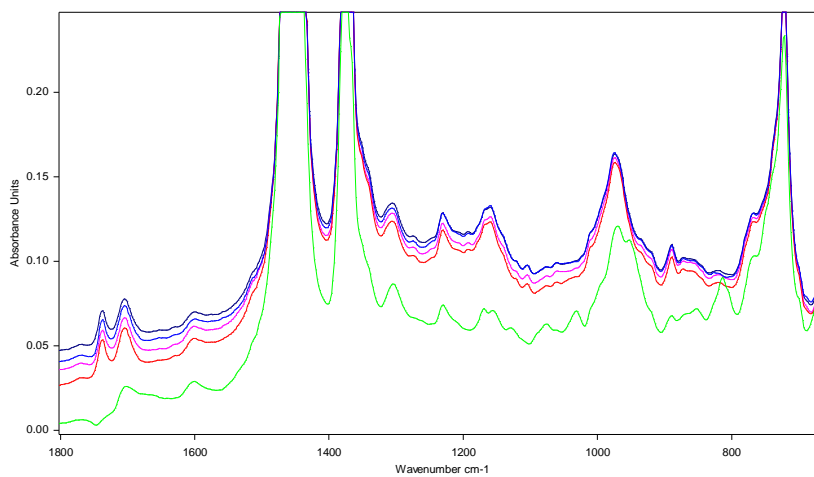


Obr. 46 Infračervená spektra olejů MOL; odběry – soubory 17 a 18 (celý měřený rozsah)

## Odběry 19, 21, 22(M7 ADS IV)

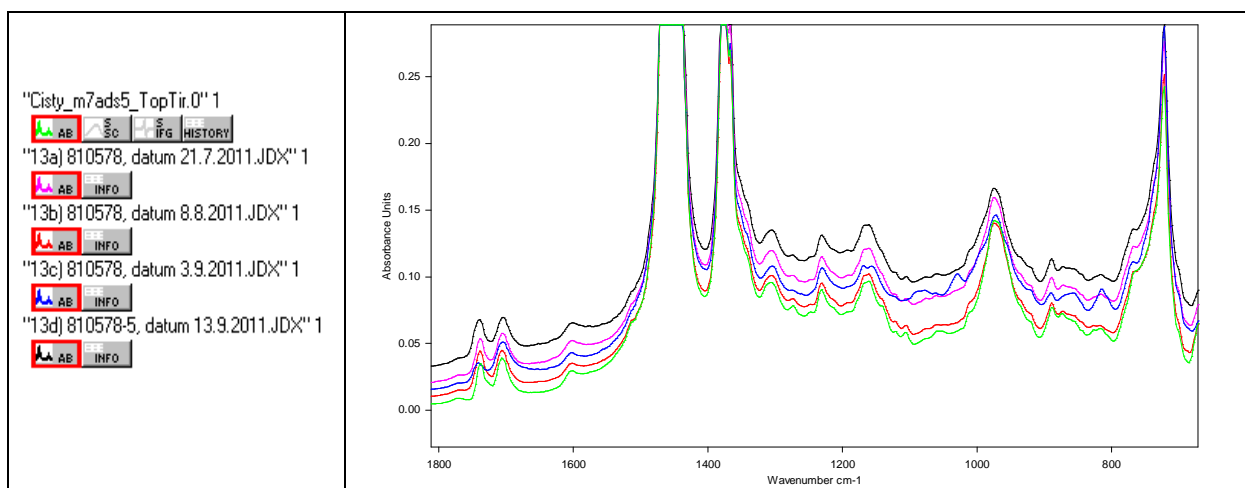


Obr. 47 Infráčervená spektra olejů M7 ADS IV; odběry – soubory 19, 21 a 22 (celý měřený rozsah)



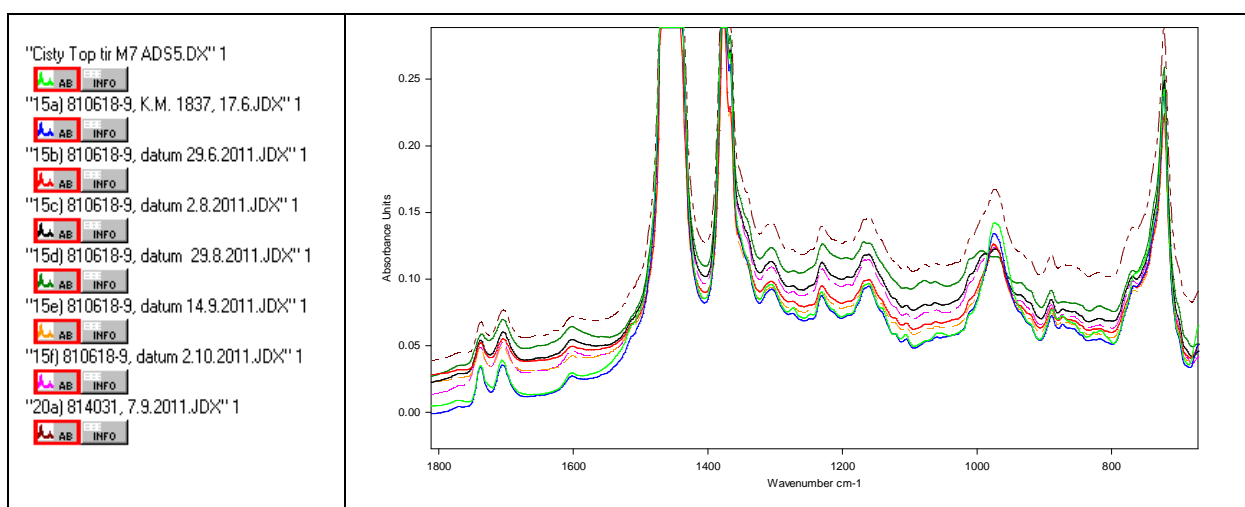
Obr. 48 Infráčervená spektra olejů M7 ADS IV; odběry – soubory 19, 21 a 22 (detail spektra v oblasti 1 800 až 800  $\text{cm}^{-1}$ )

## Odběr 13 (M7 ADS V TopTir)



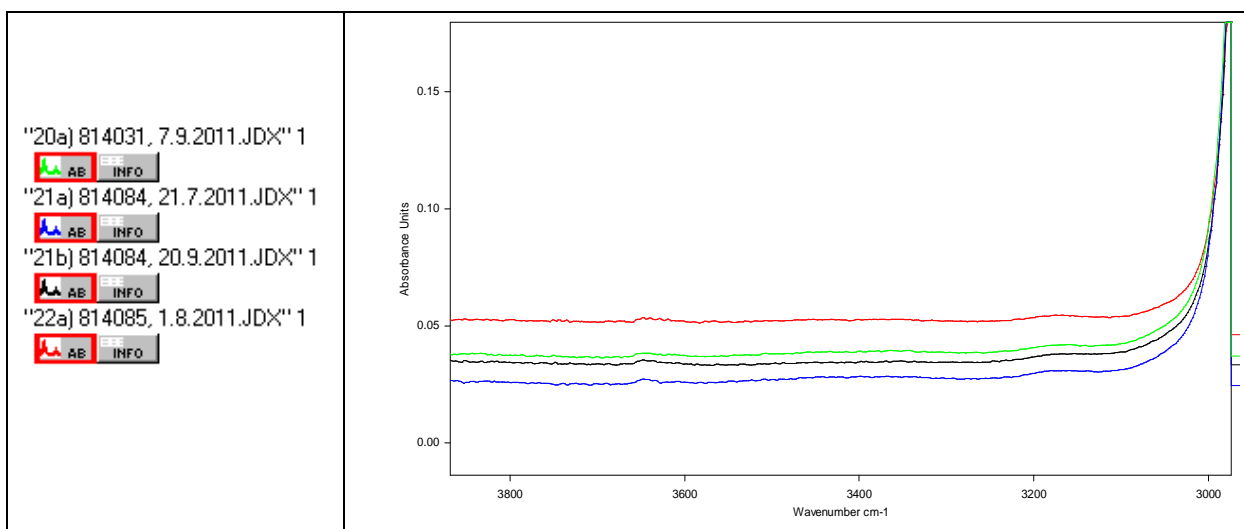
Obr. 49 Infračervená spektra olejů M7 ADS V; odběr – souboru 13  
(celý měřený rozsah)

## Odběry 15, 20 (M7 ADS V TopTir)



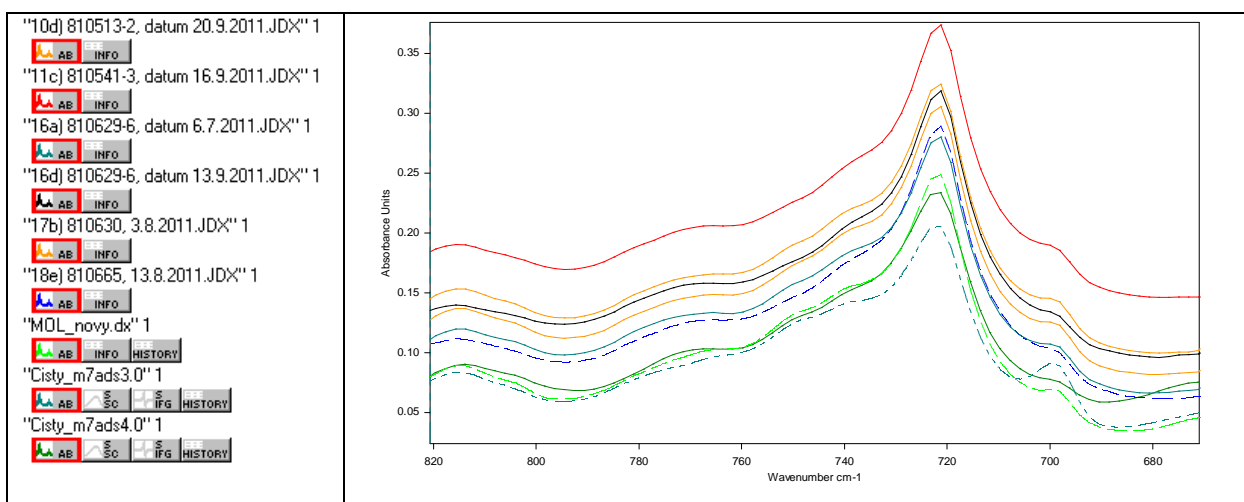
Obr. 50 Infračervená spektra olejů M7 ADS V; odběry – soubory 15 a 20  
(celý měřený rozsah)

## Vzorky klasifikované jako „možný obsah vody“



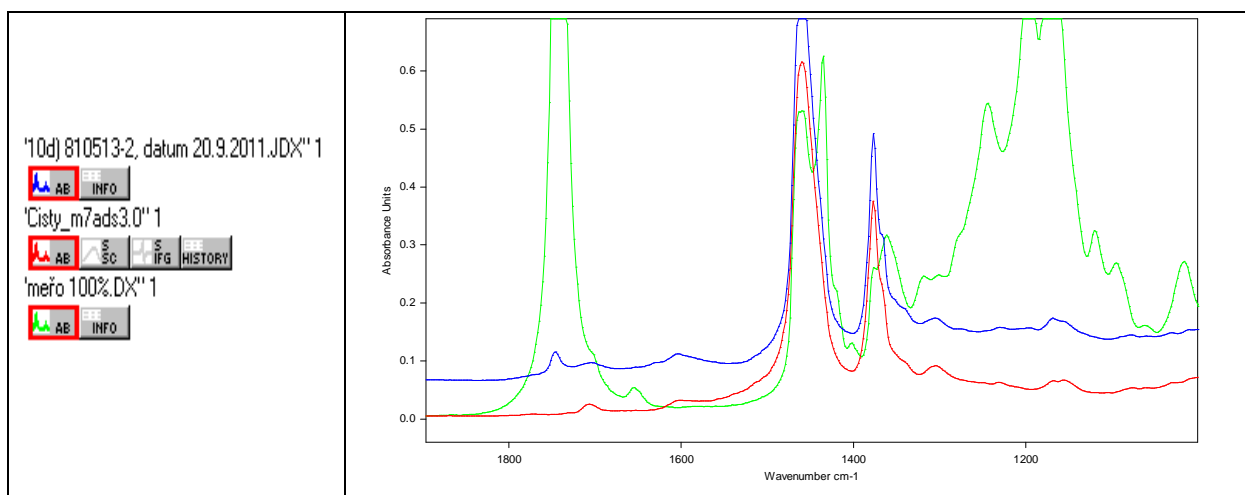
Obr. 51 Infračervená spektra vzorků klasifikovaných jako možný obsah vody (detail spektra v oblasti 3 800 až 3 000  $\text{cm}^{-1}$ )

## Vzorky s bodem vzplanutí 194 – 198 °C



Obr. 52 Infračervená spektra vzorků s bodem vzplanutí 194 až 198 °C (detail spektra v oblasti 820 až 680  $\text{cm}^{-1}$ )

## Vzorky klasifikované jako „možný obsah meřa“



Obr. 53 Infračervená spektra vzorků klasifikovaných jako možný obsah meřa (detail spektra v oblasti 1 800 až 1 200  $\text{cm}^{-1}$ )

### Dílčí závěr

U sledovaných vzorků motorových olejů z provozu (obr. 27 až 50) bylo ve všech případech subjektivně zjištěno jejich ztmavnutí, které se ve spektru projevuje celkovým posunem celého spektra opotřebovaného oleje ve srovnání s olejem novým. Tmavnutí souvisí s tvorbou polymerních resp. polykondenzačních produktů za zvýšených teplot a s přítomností nečistot (zejména karbonu – sazí). Tento jev u olejů pro vznětové motory zpravidla doprovází běžný provoz a pokud není doprovázen dalšími změnami složení oleje, nemá havarijní charakter.

Zvýšení absorbance, kterým se projevuje ztmavnutí oleje, je však v řadě případů (např. obr. 28) spojeno s výskytem píku v oblasti kolem 1 710 – 1 750  $\text{cm}^{-1}$  (oxidační produkty s vazbou C=O) a snížením obsahu vysokoteplotních antioxidantů (1 180 – 1 120  $\text{cm}^{-1}$ ).

Významný nárůst absorbance na vlnočtu 1 745  $\text{cm}^{-1}$ , který svědčí o přítomnosti oxidačních produktů uhlovodíků, byl pozorován u vzorků.

- M7 ADS III – odběry č. 1, 4, 5, 7, 9 – 14, 16, 17 (zejména 17 e), (obr. 29 – 41)
- MOL – odběry č. 2, 3, 4, 6, 10 (zejména 10b), velmi výrazný nárůst u vzorku 12b a 12c (obr. 42 – 45)
- M7 ADS IV – odběry 19, 21, 22 (obr. 47).

Bez závažných změn je tato oblast u vzorků oleje M7 ADS V TopTir (obr. 49 – 50). To svědčí o jeho vysoké odolnosti proti oxidaci (případně méně náročné provozní

podmínky ve srovnání s výše uvedenými vzorky). Výskyt píků v oblasti  $1\ 710 - 1\ 750\ \text{cm}^{-1}$  je přitom vždy nutno posuzovat s ohledem na složení nepoužitého čistého oleje, protože modifikátory viskozity jsou často sloučeniny obsahující vazbu  $\text{C}=\text{O}$  (polymetakryláty).

Ve většině vzorků se nevyskytují píky typické pro obsah nafty (zde se projevuje jako rameno píku v oblasti kolem  $750\ \text{cm}^{-1}$ ).

Byly zjištěny pouze u vzorků 10d a 16a, u nichž byl rovněž stanoven snížený bod vzplanutí ( $194\ ^\circ\text{C}$ ). V těchto vzorcích se pravděpodobně jedná o obsah zbytkové biosložky MEŘO, přítomnost MEŘO prokazuje srovnání těchto spekter se spektrem čistého MEŘO (obr. 53) v oblasti  $1\ 745$  a  $1\ 168\ \text{cm}^{-1}$  – zvýšený obsah zbytkového může být MEŘO příčinou snížení nejen bodu vzplanutí, ale i kinematické viskozity ( $40,71\ \text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

Na základě hodnocení charakteristických oblastí spekter analyzovaných vzorků je možno dále konstatovat následující závěry.

- U všech vzorků se projevil postupný pokles koncentrace protioděrových aditiv v provozu (hodnotí se v oblasti vlnočtu kolem  $950\ \text{cm}^{-1}$ ). Ve vzorcích odebraných při výměně již může hrozit nebezpečí, že olej přestane plnit svoji základní ochrannou funkci, tj. chránit mazané plochy před opotřebením, spojeným se zvýšením drsnosti a ztrátou materiálu třecích povrchů s nebezpečím poškození či zadření. V posledních letech však byly publikovány informace, podle nichž mají moderní motorové oleje velmi dobrou mazivost, kterou si udržují po celou dobu životnosti. K dostatečné mazivosti zřejmě přispívají polární produkty oxidačních reakcí (autoři experimentálně ověřili, že motorové oleje měly na konci doby životnosti lepší mazivostní charakteristiky než oleje nové, a konstatují, že mazivost a protioděrové schopnosti nejsou faktory, který by limitovaly životnost motorových olejů) [26].
- Žádný ze vzorků nevykazuje nadměrnou kontaminaci sloučeninami dusíku (projevila by se ostrým píkem na vlnočtu cca  $1\ 630\ \text{cm}^{-1}$ ), která může být způsobena profukem spalných plynů do prostoru klikové skříně netěsnostmi mezi pístem a válcem.
- Nebyl prokázán nález plochého píku v oblasti  $3\ 300 - 3\ 600\ \text{cm}^{-1}$  ani trojice píků na vlnočtu  $880$ ,  $1\ 040$  a  $1\ 080\ \text{cm}^{-1}$  signalizující průnik vody resp. chladicí kapaliny na bázi glykolů do mazacího systému (i když byl u vzorků 20a, 21a, 21b, 22a stanoven obsah vody v rozmezí  $0,83$  až  $1,51\ \%$ , neprojevila se přítomnost vody ve spektrech).

## 4 Závěr

V bakalářské práci byl v teoretické části zpracován přehled současných poznatků o vlastnostech motorových olejů a o experimentálních metodách, které se používají k určování stupně znečištění olejů. Výsledky základních stanovení (obsahu mechanických nečistot, bodu vzplanutí a kinematické viskozity) provedených v Depu kolejových vozidel ČD v České Třebové byly v experimentální části doplněny o výsledky FTIR spektrometrie a srovnávány s vlastním denzimetrickým měřením na přístroji REO-31.

Cílem této práce bylo ověření metody pro hodnocení celkového znečištění motorových olejů v návaznosti na návrh této metodiky v bakalářské práci M. Laifra z r. 2011 [24]. Byl využit modifikovaný denzimetrický postup, který kvantitativně hodnotí zbarvení zkušebního proužku na základě určení jeho barevného odstínu bez nutnosti použít speciální přístroj – denzimetr (např. REO-31).

Na souboru 99 vzorků z motorových vozů řad 810 a 814 provozovaných Českými drahami byla testována míra korelace hodnot zbarvení, výsledků denzimetrického měření a celkového obsahu nečistot. Byl sestaven histogram četností korelačních koeficientů jednotlivých experimentálních závislostí (obr. 25), z něhož je zřejmá velmi silná korelace (do intervalu 0,9 – 1,0 přísluší 61,81 % korelačních koeficientů, přičemž 88,76 % jich nabývá hodnot větších než 0,95).

Součástí práce byla i analýza všech vzorků s využitím infračervené spektrometrie na FTIR spektrometru iS10. U sledovaných vzorků motorových olejů z provozu bylo zjištěno jejich ztmavnutí, které se projevuje celkovým posunem celého spektra opotřebeného oleje ve srovnání s olejem novým. Zvýšení absorbance je však v řadě případů spojeno s přítomností oxidačních produktů. Podrobná interpretace výsledků FTIR spektrometrie je uvedena jako dílčí závěr v kap. 3.8.

Použití jednoduchých provozních metod nemůže nahradit výsledky laboratorních instrumentálních metod, ale díky své nízké ekonomické náročnosti může být efektivním nástrojem pro pravidelné sledování stavu motorových olejů v dopravních prostředcích.

Přínosem práce je ověření možnosti použití jednoduché semikvantitativní provozní zkoušky pro hodnocení celkového obsahu mechanických nečistot.

Na základě poznatků zjištěných v této práci je možno doporučit

- a) používat zavedený způsob pravidelné kontroly stavu olejů v chemických laboratořích v DKV Českých drah, a. s.,
- b) podle možnosti doplnit tyto pravidelné kontroly levnou a časově nenáročnou kapkovou zkouškou, která by prokázala pokles koncentrace detergentně-disperzantních přísad, případně nenáročnou provozní variantou ferrografické kontroly kovového otěru [27].

Výsledky této práce budou předány paní Daně Kubrtové z laboratoře Depa kolejových vozidel Českých drah, která poskytla vzorky olejů pro zpracování této bakalářské práce.

Poznámka: Kompletní dokumentace k experimentální části práce (včetně výsledků všech měření) je uvedena na přiloženém CD.



## Použitá literatura

- [1] ČERNÝ, Jaroslav. Oleje.cz: Informace ze světa maziv. [online]. [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <[http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky\\_vlastnosti\\_oleju5](http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju5)>.
- [2] ČECH, Jiří. Oleje. Autodíly MJauto [online]. 2004 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <[http://www.mjauto.cz/newdocs/oleje.htm#Syntetick%C3%A9\\_oleje](http://www.mjauto.cz/newdocs/oleje.htm#Syntetick%C3%A9_oleje)>.
- [3] ČERNÝ, Jaroslav. Viskozita olejů. Oleje.cz: Informace ze světa maziv [online]. 2005 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <[http://oleje.cz/index.php?left=main&page=mot\\_visko](http://oleje.cz/index.php?left=main&page=mot_visko)>.
- [4] Wikipedie: Otevřená encyklopedie. [online]. 10. 2. 2012 [cit. 2012-03-12]. Dostupné z: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Miner%C3%A1ln%C3%AD\\_oleje](http://cs.wikipedia.org/wiki/Miner%C3%A1ln%C3%AD_oleje)>.
- [5] Wikipedie: Otevřená encyklopedie. [online]. 23. 12. 2010 [cit. 2012-03-12]. Dostupné z: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Miner%C3%A1ln%C3%AD\\_oleje](http://cs.wikipedia.org/wiki/Miner%C3%A1ln%C3%AD_oleje)>.
- [6] VLK, František. Paliva a maziva motorových vozidel. 1. vydání. Brno: František Vlk, 2006. 375 s. ISBN 80-239-6461-5.
- [7] TURAN T., NOVÁČEK V. Analýza oleje – prostředek pro sledování stavu strojů, NOVÁČEK V. Analýza motorových olejů a nemrznoucích kapalin z naftových motorů [online]. [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: <<http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-42010/als.html>>.
- [8] ČERNÝ, Jaroslav. Vlastnosti motorových olejů: Díl sedmý - Oxidační stabilita, nitrace oleje. Oleje.cz: Informace ze světa maziv [online]. 2005 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <[http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky\\_vlastnosti\\_oleju7](http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju7)>.
- [9] CMMS: prediktivní údržba a technická diagnostika. MAREK, Vladislav. [online]. [cit. 2012-03-18]. Dostupné z: <<http://www.cmms.cz/mazani/205-tribotechnicka-diagnostika-motovych-oleju.html>>.
- [10] ČERNÝ, Jaroslav. Nečistoty a saze v motorovém oleji. In: PEMA: oleje-pema.cz [online]. [cit. 2012-03-17]. Dostupné z: <<http://www.oleje-pema.cz/cs/necistoty-a-saze-v-motorovem-oleji.html>>.
- [11] ČERNÝ, Jaroslav. Vlastnosti motorových olejů: Díl devátý - Voda a glykol v oleji. In: Oleje.cz: Informace ze světa maziv [online]. [cit. 2012-03-20]. Dostupné z: <[http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky\\_vlastnosti\\_oleju9](http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju9)>.

- [12] POŠTA, Josef, et al. Opravárenství a diagnostika III. Vyd. 1. Praha : Informatorium, 2003. 186 s. ISBN 80-7333-017-2.
- [13] HŘIVNÁČ, Jiří. Měření obsahu nečistot v použitých motorových olejích. Tribotechnika. 2009, 1. číslo, s. 24-25. Dostupný také z: WWW: <<http://reotrade.cz/data/REO31clanek2009.pdf>>.
- [14] Infračervená spektroskopie. In: *Stránky Laboratoře molekulární spektroskopie - VŠCHT* [online]. [cit. 2012-03-20]. Dostupné z: <<http://lms.vscht.cz/Zverze/Infrared.htm#Techniky>>.
- [15] ŠVESTKA, David. 810, 809 | M 152.0. *Atlas lokomotiv* [online]. 2010 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <<http://www.atlaslokomotiv.net/loko-810.html%20U%20tabulky%20%C4%8D.%201>>.
- [16] Složky oleje. Oleje-motorove.cz: Značkové motorové oleje [online]. 2005 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <<http://www.oleje-motorove.cz/www-oleje-motorove-cz/5-RADY-ODBORNKA/9-DAL-I-SLOZKY-OLEJE>>.
- [17] ČERNÝ, Jaroslav. Vlastnosti motorových olejů: Díl osmý - Palivo v oleji. Oleje.cz: Informace ze světa maziv [online]. 2005 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <[http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky\\_vlastnosti\\_oleju8](http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju8)>.
- [18] ČERNÝ, Jaroslav. Vlastnosti motorových olejů: Díl desátý - Otěrové kovy. Oleje.cz: Informace ze světa maziv [online]. 2005 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <[http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky\\_vlastnosti\\_oleju10](http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju10)>.
- [19] ČERNÝ, Jaroslav. Vlastnosti motorových olejů: Díl šestý - Nečistoty a saze v motorovém oleji. Oleje.cz: Informace ze světa maziv [online]. 2005 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <[http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky\\_vlastnosti\\_oleju6](http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju6)>.
- [20] VÁCLAVÍČKOVÁ, Ivana. Voda v oleji. Tribotechnika: časopis o tření, opotřebení a mazání [online]. 2008 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <<http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-22011/voda.html>>.
- [21] Pixie 4.1 Downloading Page. NATTYWARE. FamousWhy [online]. 2010 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <<http://download.famouswhy.com/pixie/>>.
- [22] Wikipedie: Otevřená encyklopedie. [online]. 22.03.2011 [cit. 2012-03-09]. Dostupné z: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Motorov%C3%BD\\_v%C5%AFz\\_810](http://cs.wikipedia.org/wiki/Motorov%C3%BD_v%C5%AFz_810)>.

- [23] Wikipedie: Otevřená encyklopedie. [online]. 22.03.2011 [cit. 2012-03-09]. Dostupné z: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Motorov%C3%A1\\_jednotka\\_814](http://cs.wikipedia.org/wiki/Motorov%C3%A1_jednotka_814)>.
- [24] LAIFR, Martin. Metody stanovení znečištění motorových olejů. Pardubice, 2011. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice.
- [25] VICHOVÁ, Ladislava. Bezpečnostní list podle Vyhlášky č. 27/1999 Sb.: Motorové oleje TRYSK Top Tir M7ADS V, TRYSK Top Tir FE M7ADS V. 2002. vyd. 1999, 5 s.
- [26] ČERNÝ, Jaroslav, Ladislav BUČKO a Ivana VÁCLAVÍČKOVÁ. Mazivostní a protioděrové vlastnosti motorových olejů. Odpadové fórum [online]. 2007, roč. 2007 [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: <[http://www.petroleum.cz/upload/aprochem2007\\_169.pdf](http://www.petroleum.cz/upload/aprochem2007_169.pdf)>.
- [27] KOCOUREK, Lukáš. *Analýza mazacích olejů*. Pardubice, 2010. Diplomová práce. Univerzita Pardubice.

## Seznam obrázků

Obr. 1 Představa působení disperzantů [1] .....	10
Obr. 2 Složení motorových olejů [1]. .....	11
Obr. 3 Mechanismus vzniku otěrových částic – Kovové plochy odděleny vrstvou oleje, normální stav, malý otěr [18].....	19
Obr. 4 Mechanismus vzniku otěrových částic – Kovové plochy v těsném kontaktu, mezní tření, velké přítláčné tlaky, velký otěr [18].....	20
Obr. 5 Glykol v motorovém oleji [11].....	22
Obr. 6 Motorový vůz 810 [22].....	28
Obr. 7 Prostor pro cestující vozu řady 810 [22] .....	28
Obr. 8 Motorový vůz řady M 152.0 [22] .....	29
Obr. 9 Řídicí vůz řady 914 jednotky Regionova [23].....	31
Obr. 10 Jednotka Regionova Trio ve složení 814.240+014.020+814.239 [23].....	31
Obr. 11 Motorová jednotka 814.501+914.501 [23].....	32
Obr. 12 Interiér motorového vozu řady 814 [23].....	32
Obr. 13 REO 31 Denzimeter [vlastní foto].....	33
Obr. 14 Ukázka 33 připravených vybraných zkušebních proužků z testů motorového oleje vozů řady 810 [vlastní foto].....	34
Obr. 15 Histogram četností hodnot znečištění.....	35
Obr. 16 Histogram četností naměřených hodnot znečištění .....	36
Obr. 17 Grafické znázornění rozdílů výsledků při dodržení a nedodržení správného postupu měření.....	37
Obr. 18 Dialogové okno programu Pixie 4.1.....	37
Obr. 19 Naskenovaný proužek chromatografické fólie se vzorkem znečištěného motorového oleje [vlastní obrázek] .....	38
Obr. 20 Pracoviště pro metodu infračervené spektrometrie [vlastní foto] .....	39
Obr. 21 Dialogové okno programu OMNIC.....	40
Obr. 22 Zobrazení velmi silné korelační závislosti měřené na vzorcích znečištěného motorového oleje z motorového vozu 810 325 (korelační koeficient $r = - 0,98$ ).....	52
Obr. 23 Zobrazení dost silné korelační závislosti měřené na vzorcích znečištěného motorového oleje z motorového vozu 810 606 (korelační koeficient $r = - 0,83$ ).....	52

Obr. 24 Zobrazení středně silné korelační závislost měřené na vzorcích znečištěného motorového oleje z motorového vozu 810 056 (korelační koeficient $r = 0,71$ ).....	53
Obr. 25 Histogram četností vypočtených korelačních koeficientů $r$ .....	53
Obr. 26 Grafické porovnání metody DKV Česká Třebová a Univerzity Pardubice .....	55
Obr. 27 Infračervená spektra nových olejů MOL DTD, M7 ADS III, M7 ADS IV a M7 ADS V (celý měřený rozsah).....	56
Obr. 28 Infračervená spektra nových olejů MOL DTD, M7 ADS III, M7 ADS IV a M7 ADS V (detail spektra v oblasti $1\ 800$ až $600\text{ cm}^{-1}$ ) .....	57
Obr. 29 Infračervená spektra olejů M7 ADS III; odběry – soubory 1, 2 a 3 (celý měřený rozsah).....	57
Obr. 30 Infračervená spektra olejů M7 ADS III; odběry – soubory 1, 2 a 3 (detail spektra v oblasti $1\ 600$ až $800\text{ cm}^{-1}$ ).....	58
Obr. 31 Infračervená spektra olejů M7 ADS III; odběry – soubory 1, 2 a 3 (detail spektra v oblasti $1\ 800$ až $1\ 650\text{ cm}^{-1}$ ).....	58
Obr. 32 Infračervená spektra olejů M7 ADS III; odběry – soubory 1, 2 a 3 (detail spektra v oblasti $1\ 000$ až $800\text{ cm}^{-1}$ ).....	58
Obr. 33 Infračervená spektra olejů M7 ADS3; odběr – souboru 4 (celý měřený rozsah) ...	59
Obr. 34 Infračervená spektra olejů M7 ADS III; odběr – souboru 4 (detail spektra v oblasti $1\ 800$ až $800\text{ cm}^{-1}$ ) .....	59
Obr. 35 Infračervená spektra olejů M7 ADS III; odběr – souboru 5 (celý měřený rozsah)	60
Obr. 36 Infračervená spektra olejů M7 ADS III; odběr – souboru 7 (celý měřený rozsah)	60
Obr. 37 Infračervená spektra olejů M7 ADS III; odběr – souboru 9 (celý měřený rozsah)	61
Obr. 38 Infračervená spektra olejů M7 ADS III; odběr – souboru 10 (celý měřený rozsah) .....	61
Obr. 39 Infračervená spektra olejů M7 ADS III; odběry – soubory 11 až 14 (celý měřený rozsah).....	62
Obr. 40 Infračervená spektra olejů M7 ADS III; odběr – souboru 16 (celý měřený rozsah) .....	62
Obr. 41 Infračervená spektra olejů M7 ADS III; odběr – souboru 17 (celý měřený rozsah) .....	63
Obr. 42 Infračervená spektra olejů MOL; odběry – soubory 2 a 3 (celý měřený rozsah) ...	63
Obr. 43 Infračervená spektra olejů MOL; odběry – soubory 4 a 6 (celý měřený rozsah) ...	64
Obr. 44 Infračervená spektra olejů MOL; odběry – soubory 8 a 10 (celý měřený rozsah) .	64

Obr. 45 Infračervená spektra olejů MOL; odběry – soubory 12, 14 a 16 (celý měřený rozsah).....	65
Obr. 46 Infračervená spektra olejů MOL; odběry – soubory 17 a 18 (celý měřený rozsah) .....	65
Obr. 47 Infračervená spektra olejů M7 ADS IV; odběry – soubory 19, 21 a 22 (celý měřený rozsah).....	66
Obr. 48 Infračervená spektra olejů M7 ADS IV; odběry – soubory 19, 21 a 22 (detail spektra v oblasti 1 800 až 800 $\text{cm}^{-1}$ ) .....	66
Obr. 49 Infračervená spektra olejů M7 ADS V; odběr – souboru 13 (celý měřený rozsah)	67
Obr. 50 Infračervená spektra olejů M7 ADS V; odběry – soubory 15 a 20 (celý měřený rozsah).....	67
Obr. 51 Infračervená spektra vzorků klasifikovaných jako možný obsah vody (detail spektra v oblasti 3 800 až 3 000 $\text{cm}^{-1}$ ) .....	68
Obr. 52 Infračervená spektra vzorků s bodem vzplanutí 194 až 198 °C (detail spektra v oblasti 820 až 680 $\text{cm}^{-1}$ ).....	68
Obr. 53 Infračervená spektra vzorků klasifikovaných jako možný obsah meřa (detail spektra v oblasti 1 800 až 1 200 $\text{cm}^{-1}$ ) .....	69

## Seznam tabulek

Tab. 1 Klasifikace SAE [3].....	14
Tab. 2 Doporučené hodnoty dílčích parametrů pro jednotlivé oleje [9].....	18
Tab. 3 Otěrové kovy v motorovém oleji a jejich zdroje [18] .....	21
Tab. 4 Technické parametry vozu řady 810 [15].....	29
Tab. 5 Technické parametry motorového vozu řady 814 (Regionova) [15] .....	32
Tab. 6 Technické parametry přístroje Denzimeter REO 31 .....	33
Tab. 7 Naměřené hodnoty vzorku motorového oleje vozu 810 629.....	35
Tab. 8 Naměřené hodnoty vzorku motorového oleje vozu 810 629.....	36
Tab. 9 Technické parametry přístroje iiS10.....	39
Tab. 10 Naměřené hodnoty jednotlivých experimentálních metod, jejich korelační závislost a hodnoty uvedené DKV Česká Třebová [vlastní tabulka] .....	42
Tab. 11 Výsledky porovnání metody DKV Česká Třebová a Univerzity Pardubice .....	55

## **Seznam příloh**

- 1) Úplný přehled naměřených spekter.
- 2) Kompletní obrazová dokumentace naskenovaných zkušebních proužků chromatografického papíru.