

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

Vliv zbytkových biosložek z motorové nafty na vybrané vlastnosti  
motorových olejů

Jakub Capouch

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
**2012**

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

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub Capouch**  
Osobní číslo: **D09341**  
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**  
Studijní obor: **Provozní spolehlivost dopravních prostředků a infrastruktury:  
Ochrana životního prostředí v dopravě**  
Název tématu: **Vliv zbytkových biosložek z motorové nafty na vybrané vlast-  
nosti motorových olejů**  
Zadávající katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

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

- 1) Vypracujte přehled současného stavu poznatků o vlivu biosložek z motorové nafty na vybrané vlastnosti motorových olejů
- 2) Zabezpečte odběr olejů z různých druhů vozidel, připravte zkušební vzorky pro analýzy.
- 3) Seznamte se s principy a metodikou použitých experimentálních metod (stanovení teploty vzplanutí, FTIR spektrometrie)
- 4) Proveďte příslušné laboratorní zkoušky.
- 5) 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. INFRAČERVENÁ SPEKTROMETRIE A BIOSLOŽKY PALIV - Laboratorní cvičení.[online]. Dostupné na [www http://cesmina.vscht.cz/trp/images/Dokumenty/Navody-na-laboratore/Infracervena-spektrometrie-a-bioslozky-paliv.pdf](http://cesmina.vscht.cz/trp/images/Dokumenty/Navody-na-laboratore/Infracervena-spektrometrie-a-bioslozky-paliv.pdf)

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

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že předložená práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu informačních zdrojů

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 24. 5. 2012

Jakub Capouch

## **Poděkování**

Poděkování patří rodičům za podporu při studiu na Vysoké škole. Dále děkuji vedoucí bakalářské práce paní doc. RNDr. Jaroslavě Machalíkové, CSc, za odborné vedení, cenné rady a připomínky.

Jakub Capouch

## **Anotace**

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou zbytkové biosložky MEŘO v motorové naftě, a to zejména v souvislosti s procesy, ke kterým dochází při zahřívání motorových olejů.

Byly použity dvě experimentální metody – stanovení bodu vzplanutí oleje v otevřeném kelímku a infračervená spektrometrie s Fourierovou transformací. Kontaminací motorového oleje motorovou naftou s obsahem MEŘO se bod vzplanutí snižuje více než v případě kontaminace naftou bez přídavku biosložky. Zbytkové MEŘO je identifikovatelné FTIR spektrometrií. Při zahřívání motorového oleje dochází k významným změnám chemického složení, zejména k rozpadu aditiv a k oxidaci olejových uhlovodíků.

## **Klíčová slova**

motorový olej, biosložky, MEŘO, FTIR spektrometrie, bod vzplanutí

## **Title**

Effect of residual bio –components of diesel fuel on selected properties of motor oils

## **Annotation**

This bachelor thesis deals with the residual bio component MERO in diesel fuel, particularly in relation to the processes that occur during heating of motor oils.

We used two experimental methods - Determination of flash point of oil in the open cup and infrared spectrometry with Fourier transform. Contamination of engine oil with diesel fuel containing FAME reduces the flash point more than in the case of contamination without the addition of bio diesel. RME is an identifiable residual FTIR spectrometry. When the engine oil, there are significant changes in chemical composition, particularly the collapse of oil additives and oxidation of hydrocarbons.

## **Keywords**

motor oil, bio-components, RME, FTIR spectroscopy

# Obsah

1	Úvod .....	8
2	Teoretická část .....	9
2.1	Biosložky v motorové naftě .....	9
2.1.1	Legislativa biopaliv .....	11
2.1.2	Vlastnosti MEŘO .....	12
2.2	Motorové oleje .....	13
2.2.1	Opořebenění součástí motorů .....	13
2.2.2	Teplota varu MEŘO .....	13
2.2.3	Kontaminace a degradace olejových náplní .....	15
2.2.4	Zušlechťující přísady do motorového oleje .....	18
2.3	Použité experimentální metody .....	19
2.3.1	Bod vzplanutí .....	19
2.3.2	Infračervená spektroskopie .....	21
3	Experimentální část .....	26
3.1	Použité vzorky olejů .....	26
3.2	Experimentální podmínky .....	27
3.2.1	Stanovení teploty vzplanutí oleje v otevřeném kelímku .....	27
3.2.2	Infračervená spektrometrie .....	28
3.3	Výsledky, zpracování a vyhodnocení experimentálních dat .....	28
3.3.1	Teplota vzplanutí .....	28
3.3.2	Infračervená spektrometrie .....	30
4	Závěr .....	52
	Použité informační zdroje .....	54
	Seznam obrázků .....	56
	Seznam tabulek .....	58
	Přílohy .....	59

# 1 Úvod

Provoz silniční dopravy v České republice i ve světě neustále roste, nejvíce se používají motorová vozidla, u kterých se používá palivo převážně z ropných produktů, které jsou vyčerpitelné, proto se stále hledají alternativy, jak tyto zdroje nahradit formou biosložek, které jsou dnes v motorové naftě již známou záležitostí. Avšak používání biosložek v naftových motorech přináší sebou určité problémy, které mohou mít vliv na provozuschopnost vozidel.

Tato bakalářská práce navazuje na diplomovou práci Zdeňka Bíny „Ověření limitace provozních kapalin používaných v automobilech značky Volvo“, obhájenou na Dopravní fakultě Jana Pernera Univerzity Pardubice v červnu 2011); jeho práce byla zčásti zaměřena na ověření správnosti nastavení výměnných intervalů motorových olejů ve vznětových motorech, a to zejména v souvislosti s používáním paliva s příměsí biosložky a jeho případného pronikání do olejové náplně. Autor konstatoval, že by bylo vhodné se podrobněji zabývat procesy, ke kterým dochází při používání motorových olejů ve vznětových motorech: v provozu mohou být oleje kontaminovány palivem, které je v současné době aditivováno cca 5–7 % esterové biosložky. Vzhledem k vysokému bodu varu esterových podílů (kolem 358 °C) se v praxi vyskytují (především u vozidel splňujících limity EURO IV případně vyšší) problémy se sníženou viskozitou motorového oleje a s tvorbou sloučenin, které se pak usazují ve filtru pevných částic.

V experimentální části práce byly použity dvě metody – stanovení teploty vzplanutí motorového oleje v otevřeném kelímku a metoda infračervené spektrometrie s Fourierovou transformací.

Cílem této práce proto byla analýza změn, ke kterým dochází v motorovém oleji při zvyšování teploty. Na základě vypracovaného rešeršního souhrnu aktuálních poznatků publikovaných v této tématické oblasti byly zkoumány modelové vzorky obsahující naftu bez biosložky a vzorky s obsahem nafty s definovaným podílem metylesterů mastných kyselin řepkového oleje, dále vzorky odebrané z nákladních automobilů MAN L90 a MAN TGX. Experimentální výsledky byly doplněny několika infračervenými spektry motorových naft zakoupených na čerpacích stanicích.



## 2 Teoretická část

Podle názorů odborníků budou fosilní motorová paliva získávaná z ropy i v nejbližších letech dominantní, protože jejich rovnocenná náhrada zatím není reálně v dohledu. Alternativní zdroje energie velmi pravděpodobně do roku 2020 nedosáhnou plánovaného poddílu 20 %. Alternativní paliva bude nutné podrobit přísnému hodnocení především vzhledem k energetické náročnosti a ekologické přijatelnosti jejich výroby a celého životního cyklu. Úspora fosilních paliv bude vycházet především ze silných ekonomických (včetně daňových) tlaků na spotřebitele.

Problémy jsou velmi složité hlavně u motorové nafty – navrhované zvýšení obsahu FAME na 10 %obj. odmítají výrobci automobilů kvůli nutnosti úprav palivového systému a rizika nesplnění požadovaných emisních limitů pro EURO 5 a 6. Předpokládá se využití nepotravinářských zdrojů – alternativních zdrojů biomasy, např. mikrořas, tj. jednobuněčných organismů, jejichž fotosyntetický aparát je podobný vyšším rostlinám. Díky jednoduché buněčné struktuře a růstu ve vodním prostředí, kde mají optimální přístup k vodě, CO<sub>2</sub> a výživě efektivnější při přeměně sluneční energie na biomasu než vyšší rostliny. Mají také výhodu velmi rychlých reprodukčních cyklů, větší toleranci k vysoké ozářenosti a vyšší účinnost přeměny energie na biomasu díky malým nárokům na vedlejší metabolické funkce. Ve srovnání s „energetickými“ plodinami (např. řepka, čirok) jsou velkoobjemové kultury mikrořas výhledově schopné vysoké produkce biomasy na jednotku plochy. Mají univerzální použití pro výrobu etanolu i FAME, perspektivně i bio-LPG. Problémem jsou zatím vysoké výrobní náklady [1].

### 2.1 Biosložky v motorové naftě

Jedním z alternativních paliv pro vznětové motory jsou metylestery mastných kyselin (FAME – Fatty acid methyl esters). Jejich používání se rozšířilo počátkem 90. let v rámci tzv. Oleoprogramu [2]. Na počátku používání těchto paliv nebyly předepsány požadavky na kvalitu paliva, proto docházelo k mnoha problémům, především k tvoření úsad v palivovém systému a motorech, k problémům v kompatibilitě s těsnicími materiály a dalším. Se zavedením směrnice EU o používání biopaliv 2003/30/EC byl vytvořen i evropský jakostní standard EN 14214, který zpřísnil požadavky na kvalitu FAME. Vytvoření tohoto standardu bylo podmínkou pro souhlas výrobců automobilů pro maximálně 5% přírůstek FAME do motorové nafty. Palivo s tímto přírůstkem se považuje

za standardní palivo pro vznětové motory. Paliva na bázi FAME mají vysoké cetanové číslo a v množství do 5 %V/V působí jako mazivostní přísada v motorové naftě [3].

Kromě cca 5–7 % přídavku FAME (v ČR MEŘO – metylestery mastných kyselin řepkového oleje) do motorové nafty, který nemá zásadní vliv na složení emisí, jsou v ČR používány dva druhy paliv na bázi FAME: směsná motorová nafta (SMN) s obsahem MEŘO 30–36 % a palivo složené pouze z FAME (MEŘO). Při jejich používání je nezbytné dodržovat a důsledně kontrolovat jakostní standardy. Z hlediska jejich uplatnění v motorech moderních vozidel s vysokotlakými vstřikovacími systémy je jejich použití možné pouze se souhlasem výrobce automobilů.

Do roku 2020 jsou stanoveny v zemích Evropské unie indikativní cíle pro výrobce paliv, které souvisejí s požadavkem na snížení objemu emisí CO<sub>2</sub> o 6 % do roku 2020. V současnosti se jako palivo pro vznětové motory používá v ČR motorová nafta s přídavkem až 7 % MEŘO [6].

Pro použití SMN a čistého MEŘO je nutné schválení výrobcem vozidla. Před prvním použitím je důležité zkontrolovat odolnost pryžových součástí palivového systému s ohledem na vysoký obsah metylesterů mastných kyselin, které na ně působí odlišně ve srovnání s motorovou naftou.

U MEŘO a SMN definované podle ČSN EN 14214 je kladen důraz na oxidační stabilitu, již se dosahuje povinným přídavkem antioxidační přísady v doporučeném množství. Přidávají se rovněž přísady pro zlepšení nízkoteplotních vlastností. Jako pryžové součásti musejí být používány jen materiály kompatibilní s MEŘO. Dále je výrobcem vozidel homologovaných pro provoz s FAME doporučeno dodržovat kratší intervaly pro výměnu motorového oleje, protože dochází k ředění oleje při průniku paliva do olejové náplně a jeho nízké odparnosti v důsledku odlišného destilačního rozmezí ve srovnání s motorovou naftou. Pro speciálně upravené vznětové motory je možno použít paliva s obsahem etanolu se speciálním složením přísad (palivo E95). Tato paliva lze použít i u speciálně neupravených vznětových motorů a to smícháním s motorovou naftou. Obsahuje do 15 %<sub>obj.</sub> etanolu a může obsahovat až 15 %<sub>obj.</sub> vody, proto je potřeba v obou případech použít přísady. Používají se hlavně přísady pro zvýšení cetanového čísla. Proti rezivění se v palivu s obsahem etanolu do 15 %<sub>obj.</sub> musí použít i emulgátor pro dosažení homogenity palivové směsi [8].

Chemická úprava vlastností paliva spočívá v přeměně vhodného rostlinného oleje na metylester mastných kyselin, které jsou obsaženy v oleji. Účelem chemické přeměny na metylestery je dosáhnout u alternativního paliva podobných vlastností a parametrů jako má

klasická motorová nafta. Vzhledem ke klimatickým podmínkám a agrotechnickým možnostem se v ČR i EU se používá jako vhodný rostlinný olej nejčastěji olej řepkový, ale může být použit i olej slunečnicový. V USA se používá i olej sójový, v zemích tropického pásma olej kokosový apod. [9].

Pro paliva s obsahem MEŘO jsou důležité jejich vlastnosti, zejména obsah glycerolu, glyceridů, stopový obsah kovů, obsah fosforu a obsah nenasycených esterů masných kyselin.

Při přepravě, manipulaci a skladování je důležité věnovat pozornost hlavně obsahu vody a oxidační stabilitě. Oxidační stabilita je ovlivněna způsobem rafinace jak výchozího oleje, tak i vyrobeného metylesteru. Pokud nejsou dodrženy požadavky na čistotu produktu, dochází ke snížení jeho oxidační stability a ke tvorbě úsad při skladování i během provozu. U automobilu dochází v palivovém systému k ucpávání palivových filtrů [7].

### **2.1.1 Legislativa biopaliv**

Mezi nejdůležitější směrnice, zákony, nařízení vlády a vyhlášky patří:

- Nařízení vlády č. 598/2006 Sb., kterým se zrušuje nařízení vlády ČR č. 66/2005 Sb., o používání minimálního množství biopaliv nebo jiných paliv z obnovitelných zdrojů v sortimentu motorových benzinů a motorové nafty na trhu České republiky
- Nařízení vlády č. 337/2006 Sb., o stanovení některých podmínek provádění opatření společné organizace trhů v odvětví cukru, ve znění pozdějších předpisů
- Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší, novelizován jako č. 180/2007 Sb.
- Zákon č. 353/2003 Sb., novelizován jako č. 575/2006 Sb., o spotřební dani, kde je předmětem i daň z lihu, získaného kvašením, obsaženého v jakýchkoliv výrobcích, pokud jeho obsah činí min. 1,2 %<sub>obj.</sub> etanolu, sazbou daně 26 500 Kč/hl
- Zákon č. 353/2003 Sb., novelizován jako č. 311/2006 Sb. a č. 107/2007 Sb., o pohonných hmotách a čerpacích stanicích pohonných hmot. (zákon o pohonných hmotách)
- Vyhláška č. 229/2004 Sb., kterou se stanoví požadavky na pohonné hmoty pro provoz vozidel na pozemních komunikacích a způsob sledování a monitorování jejich jakosti
- Vyhláška č. 141/1997 Sb., novelizována jako č. 88/2007 Sb., o technických požadavcích na výrobu, skladování a zpracování lihu, ve znění pozdějších předpisů

- Směrnice 98/70/EC o přísadách do motorových paliv, novelizace 2003/17/EC a 2003/30/EC
- Směrnice 2003/96/EC, o použití biosložek do PH a o zdanění energetických výrobků.

Poslední změna národní legislativy je změna zákona č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší), ve znění pozdějších předpisů.

Od 1. června 2010 se v zákoně změnil obsah biopaliva v motorové naftě ve výši 6 %<sub>obj.</sub> z celkového množství motorové nafty distribuované v r. 2010; nesmí však překročit 7%<sub>obj.</sub> [10].

### **2.1.2 Vlastnosti MEŘO**

Výhodou MEŘO jako paliva vhodného pro vznětové motory je jeho nenáročná výroba lisováním olejových semen za studena. Pro bezporuchový provoz motoru je potřeba vysoká kvalita rostlinného oleje. Hlavní parametry, které by se měly sledovat a mají podstatný vliv na chod motoru, jsou:

- rozptýlení tuhých částic, které způsobují ucpávání palivového filtru a vstřikovací trysky
- číslo kyselosti – jeho vysoká hodnota může vést ke korozi a opotřebení části motoru a také k degradaci mazacího oleje

MEŘO má vliv na tvorbu nánosu ve spalovací komoře a následně ve výfukovém systému – zvláště DPF (Diesel Particulate Filter – filtr pevných částic). Dlouhodobá tvorba popela v systému DPF je proces nevratný, zatímco vznik nánosu ve spalovací komoře je proces částečně vratný. Maximální limitní hodnota pro látky způsobující tvorbu popela je určena kapacitou nasycení systému DPF popelem.

Problém použití MEŘO jako paliva je ve srovnání s klasickou motorovou naftou jeho vyšší viskozita a vysoká teplota varu složek MEŘO (kolem 358 °C), což vede k poruchám vstřikovacích a spalovacích komor a také k ucpávání filtrů výfukových plynů [12].

## **2.2 Motorové oleje**

Spalovací motory kladou na motorové oleje nejvyšší požadavky, přesto musí být motorový olej schopen plnit svoji funkci za všech provozních podmínek.

Motorový olej musí zajistit dostačující mazací schopnost mezi styčnými plochami pohyblivých částí spalovacích motorů a minimalizovat tím tření i opotřebení na ekonomicky únosnou mez. Musí zajistit odvod tepla, které vzniká při chodu motoru, na chladicí plochy, což je chladič oleje a stěny olejové vany motoru. Motorový olej dále zajišťuje utěsnění prostoru mezi pístními kroužky a stěnou válce, aby docházelo kolem pístů k nejmenšímu průniku stlačených plynů. Neutralizuje kyselé korozivní zplodiny vznikající při spálení paliva a zabraňuje škodlivému účinků produktů termooxidačních reakcí mezi olejem, palivem a jinými nečistotami a jejich shromažďování na plochách omývaných olejem ve formě úsad, laků a karbonu. Konzervuje kovové plochy v době odstavení motoru.

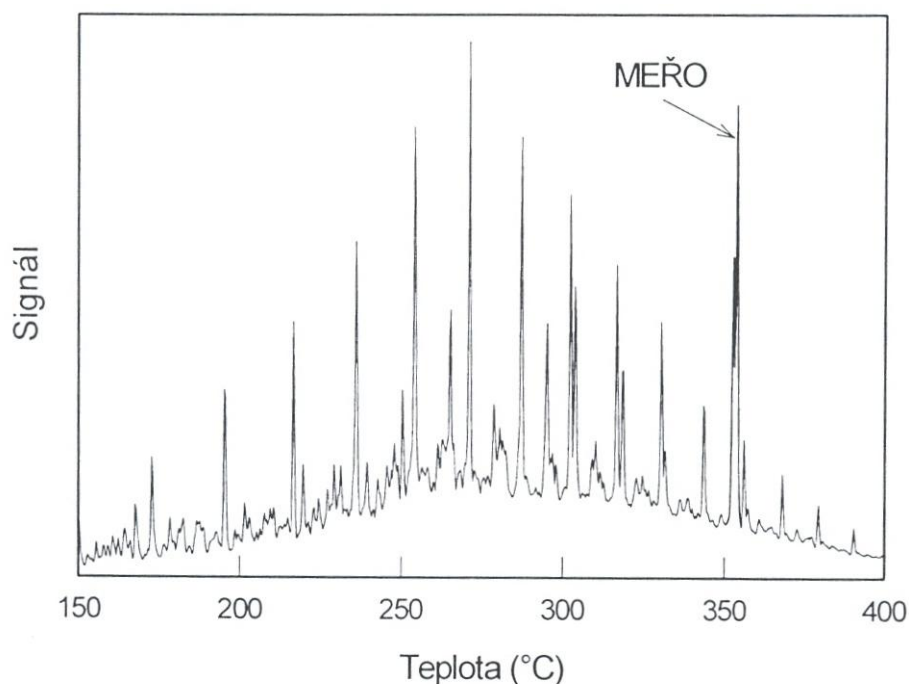
Od motorových olejů se dále vyžaduje, aby ztráty oleje během provozu byly co nejmenší a aby olej neměl nežádoucí účinky na těsnicí materiály. Požaduje se delší životnost a dlouhodobě splňování všech funkcí v motoru bez častějších výměn oleje včetně minimální tvorby zbytků při spalování v motoru [14].

### **2.2.1 Opotřebení součástí motorů**

Vlivem požadavků na vyšší výkon a nižší měrnou spotřebu má za následek vyšší teploty a vyšší tlaky ve spalovacím motoru, což má vliv na vyšší namáhání součástí použitých v motorech. Mezi nejzávažnější se řadí styk klikové hřídele v ložiscích, ve ventilových rozvodech a v okolí samotného činného pístu. 50 % mechanických ztrát je způsobena třením mezi pístem a válcem. Většina těchto ztrát je způsobena pístními kroužky [15].

### **2.2.2 Teplota varu MEŘO**

Bod varu MEŘO se pohybuje spíše v oblasti vyšších teplot oproti běžné naftě. Pozice bodu varu MEŘO je znázorněna na Obr. 1 a činí přibližně 355 °C.



Obr. 1 Destilační rozmezí nafty a těkavost [16]

Důsledkem vysokého bodu varu bionafty je horší odpařování nafty vstřikované do válce. Neodpařené kapky nafty se většinou dostávají na stěny válce a odtud mohou přes pístní kroužky proniknout do klikové skříně, kde naředí motorový olej a sníží jeho viskozitu. Pronikání nafty do motorového oleje je u diesellových motorů normální záležitost, která se prokazuje sníženým bodem vzplanutí nafty. Tato zkouška je obvyklá diagnostická metoda, která je určující pro rozhodnutí o výměně motorového oleje.

Ředění oleje bionaftou může vyvolat nebo zvýraznit další negativní vlastnosti bionafty, např. špatnou termooxidační stabilitou, která může způsobit tvorbu pryskyřičnatých úsad na pístu a váznutí pístních kroužků. Díky této závadě se pak zintenzivní zpětně i pronikání dalšího paliva a bionafty do oleje. Zvýšený obsah bionafty v motorovém oleji je tak prvotní příčinou problémů s používáním bionafty. Bionafta v oleji ovlivňuje výkonové vlastnosti oleje.

Jinou možností je zanesení vstřikovačů, což způsobí rozprašování paliva a tvorbu větších kapek, které jsou vstřikovány do válce. Větší kapky ve válci negativně ovlivňují pronikání paliv přes pístní kroužky do motorového oleje v klikové skříně.

U starších diesellových motorů, je problém ředění motorového oleje bionaftou zřetelnější, protože mají větší vůli mezi pláštěm pístu a pístními kroužky. Pro novější diesellové

motory jsou nebezpečné některé typy částicových filtrů. Jeden ze systémů využívá k regeneraci DPF filtrů dodatečný vstřík paliva do válce ve fázi výfuku. Palivo se pak před DPF filtrem spálí, zvýší teplotu na filtru a ten je pak regenerován díky spálení usazených sazí. Problémem je právě vstřík nafty do válce, přičemž ne všechna nafta je odvedena do výfukového traktu. Určitá část nafty tak skončí opět v motorovém oleji. Uvádí se, že v tomto množství je zakoncentrovaná spíše bionafta díky její menší těkavosti oproti uhlíkaté naftě. Tato kontaminace motorového oleje je již nebezpečná z hlediska správné funkce oleje. Velký vliv zde určitě bude hrát i formulace motorového oleje a přizpůsobení aditivace k neutralizaci některých negativních vlastností bionafty [16].

### **2.2.3 Kontaminace a degradace olejových náplní**

#### **Provozní opotřebení motorových olejů**

Mazací olej pro spalovací motory je během provozu podroben extrémnímu mechanickému a tepelnému namáhání, je vystaven vysokým teplotám na površích válcové jednotky, kde by měl vytvářet dostatečně viskózní a únosný mazací film s dobrými adhezivními vlastnostmi a neměl by se odpařovat ani shořet. Olej musí být dostatečně málo viskózní při nízkých teplotách, aby motor mohl být snadno nastartován. Po zastavení motoru musí být třecí plochy pokryty olejovým filmem, aby se zabránilo korozi a aby při opětovném startu nedošlo k opotřebení. Olejový film by měl odvádět teplo vznikající při tření a vytvořit korozně odolnou vrstvu na stěnách válců. Jestliže se mazivo během spalovacího procesu zapálí, mělo by shořet beze zbytku s malým obsahem popelovin a nevytvářet toxické spaliny. Produkty procesu stárnutí by neměly olej zahušťovat. Mělo by být samozřejmé použití jednoho typu oleje pro letní i zimní období, proto by měl být viskozitní index vysoký.

Motorový olej především odstraňuje nežádoucí následky tření (musí zmenšovat tření mezi navzájem se pohybujícími součástmi motoru a z jejich styku odvádět vzniklé teplo), zabezpečuje chlazení pístů a má v motoru i řadu dalších funkcí.

Pro motorové oleje jsou důležité zejména následující vlastnosti:

- vysoká odolnost proti oxidaci
- vysoký viskozitní index (tj. co nejmenší změna viskozity při změně teploty)

- tekutost za nízkých teplot
- dobré mazací schopnosti i při vysokých teplotách a velkých tlacích
- malá tvorba úsad
- odolnost proti pění
- zamezování koroze kovových částí
- těsnicí schopnosti.

Při dlouhodobém používání olejů dochází k chemickým změnám všeobecně nazývaným stárnutím (používá se i pojem degradace maziva, který vystihuje nejen chemické změny základního ropného oleje, ale i úbytek nebo rozklad přísad, projevující se snižováním až ztrátou vlastností docílených účinkem těchto aditiv).

Primární znečištění je tvořeno malými částicemi kovů, které se uvolňují v místech tření, a mazací olej je vyplavuje z třecích míst. Množství částic závisí na řadě faktorů:

- na množství oleje v systému
- na počáteční koncentraci kovových částic
- na způsobu a délce provozu
- na množství produktů opotřebení vstupujících do oleje
- na dokonalosti funkci olejových čističů
- na stavu motoru.

Sekundární znečištění způsobuje skutečnost, že kromě kovových částic opotřebení mohou být v oleji i různé jiné produkty (např. palivo, chladicí kapalina, prachové částice, kovové úlomky apod.), které zhoršují jeho kvalitu a tím negativně ovlivňují i chod motoru. Při vysokých teplotách, navíc v kontaktu se vzdušným kyslíkem a s kovovými plochami, které působí jako prooxidační katalyzátor, probíhá v oleji řada různých reakcí, které vlastnosti oleje dále zhoršují až do té míry, že není schopen splňovat provozní požadavky a musí být vyměněn.



## Kontaminace oleje

Palivo přítomné v oleji snižuje jeho viskozitu a v krajním případě může zmenšit tloušťku olejového mazacího filmu pod kritickou mez. Pomocí FTIR spektrometrie se monitorují olejové náplně také z hlediska přítomnosti paliva v oleji. Přítomnost paliva lze zjistit i v rámci měření jiných parametrů, především viskozity a bodu vzplanutí. Bod vzplanutí bývá považován za kritický, klesne-li pod hodnotu 180–190 °C.

Voda v motorovém oleji má korozivní účinky a může způsobit i zadření motoru. Kromě toho vyvolává také rozklad aditiv, neboť omezuje jejich rozpustnost v oleji a podporuje jejich vysrážení z olejové fáze. Obecně přijímanou hranicí, udávající maximální přípustný obsah vody, je 0,1 %<sub>obj.</sub>. Zjišťuje se více způsoby, např. titrací podle K. Fischera, destilací s toluenem a FTIR spektrometrií.

Průnik chladicí kapaliny do motorového oleje znamená velmi rychlou degradaci olejové náplně v důsledku tvorby úsad nerozpustných v oleji, v jejichž přítomnosti i samotný olej rychle stárne. Koncentrace chladicí kapaliny v oleji nesmí překročit 0,02 %<sub>obj.</sub>

Olej je během práce v motoru vystaven zejména silnému oxidačnímu působení kyslíku a intenzivnímu tepelnému namáhání. Provozní podmínky vyvolávají změny ve složení oleje, způsobují jeho stárnutí. Velikost středního tlaku na píst a počet otáček klikového hřídele tedy ovlivňují tepelný režim motoru a tím i oleje. Při trvalejším těžkém režimu motoru se teplota oleje ve vaně pohybuje až okolo 150 °C, v ojnicích ložiskách až 180 °C a na prvním pístním kroužku i 250 °C. U naftových motorů (zejména přeplňovaných) jsou v důsledku vyšších kompresních tlaků a vyšší teploty nasávaného vzduchu teplotní podmínky ještě náročnější.

Základem procesu stárnutí oleje je termooxidace, jejíž celkový mechanismus je velmi složitý. Oxidace je doprovázena termickým štěpením, odpařováním složek a polymerací. Termooxidační proces významně ovlivňují katalytické účinky kovů (Fe, Cu), účinek kyselých látek, vody, paliva a mechanických nečistot. Oxidace oleje je doprovázena jeho tmavnutím, nárůstem jeho kyselosti a viskozity, zápachem a vylučováním nerozpustných oxidačních zplodin. Oxidační zplodiny vedou k tvorbě úsad. Dále vznikají lepkavé kaly a laky, které narušují homogenitu oleje a také ucpávají filtrační vložky. Dnešní motorové oleje, vyráběné moderními technologiemi, jsou za běžných provozních podmínek v olejové vaně motoru oxidačně stabilní; k intenzivnímu termooxidačnímu působení dochází

zejména v pístové skupině, kde je slabá olejová vrstva vystavena vysokému oxidačnímu a tepelnému namáhání v přítomnosti jiných látek, které mohou oxidaci katalyticky ovlivnit.

Kromě vlastního chemického stárnutí se olej znehodnocuje zbytky nedokonale spáleného paliva, kondenzovanou vodou nebo chladicí kapalinou pronikající netěsnostmi, kovovými otěrovými částicemi součástí motoru, drobnými prachovými nečistotami nasávanými z okolního prostředí a sazemi u naftových motorů.

Výsledkem všech těchto vlivů jsou chemické změny oleje a mechanické nečistoty, které postupně vedou ke snížení parametrů oleje na takovou úroveň, že je nutná výměna olejové náplně [17].

#### **2.2.4 Zušlechťující přísady do motorového oleje**

Aby motorové oleje mohly pracovat v náročných podmínkách, přidávají se k základovému oleji aditiva – látky, které zlepšují provozní vlastnosti olejů. Celkový obsah aditiv se pohybuje v rozsahu 1–25 %.

#### **Druhy aditiv**

Aditiva se dělí podle různých funkcí, které musejí v motorovém oleji zabezpečovat.

*Antioxidanty* chrání olej před reakcí s kyslíkem (oxidací) a tím zajišťují jeho oxidační stálost. Nepřítomnost antioxidantů v oleji může být velmi často příčinou houstnutí oleje za vyšších teplot, tvorby karbonových usazenin a vzniku koroze.

*Antikorodanty* zabezpečují ochranu před korodujícími látkami, protože základový olej není schopen dostatečně chránit mazané součásti před korozí při styku s vodou, atmosférickým kyslíkem popřípadě kyselými sloučeninami. Tento nedostatek je napraven přidáním vhodných antikorodantů do základového oleje. Antikorodanty výrazně zlepšují ochranné schopnosti oleje. Za vhodné antikorodanty jsou považovány organické sloučeniny v oleji dokonale rozpustné a s dobrou přilnavostí ke kovovým povrchům.

*Detergenty* odstraňují z oleje produkty stárnutí, které se vylučují na stěnách pístu a válce. Po spálení by z nich vznikly uhlíkaté usazeniny a zhoršovaly by přestup tepla. Dále zabráňují usazování nečistot na površích součástí, popřípadě již usazené nečistoty

rozpouštějí. Vlivem detergentů dochází ke zlepšení přilnavosti maziva k mazaným plochám.

*Disperzanty* – jejich úkolem je obalit mikroskopické mechanické nebo kapalné částice a udělit jim stejný elektrický náboj. Tím je zabráněno jejich shlukování a usazování. Účinkem disperzantů jsou nečistoty rozptýleny rovnoměrně v celém objemu maziva a je tak zabráněno omezení průchodnosti mazacích kanálů a olejových filtrů. Podobně jako detergenty mohou také neutralizovat kyselé produkty spalování a zabraňovat tvorbě usazenin.

*Depresanty* – při nízkých teplotách dochází u minerálních olejů ke spojování krystalů parafinu, čímž dochází k růstu hustoty maziva. Vysoká hustota a nekonzistentnost maziva má za důsledek snížení kvality mazání. Zvýšení energetických ztrát je zapříčiněno překonáváním většího odporu maziva. Z tohoto důvodu se používají depresanty, které snižují bod tuhnutí oleje. Zamezují za velmi nízkých teplot spojování krystalů parafinu a olej zůstává tekutý i při velmi nízkých teplotách.

*Modifikátory viskozity* ovlivňují reologické vlastnosti oleje. Zlepšují viskozitně teplotní charakteristiku oleje, tzn., omezuje změnu viskozity oleje se změnou teploty, aniž by se měnily jeho ostatní vlastnosti.

*Protipěnovostní přísady* zabraňují pění oleje a rozpouštějí již vzniklou pěnu. Pěna obsahuje velké množství vzduchu, čímž jsou omezeny mazací a chladicí schopnosti oleje. Výrazně se zvyšuje hlučnost, opotřebení a spotřeba oleje.

*Protiotěrové přísady* vytváří s povrchy kovů chemickou reakci. V oblastech největšího opotřebení mohou prodloužit životnost mazané součásti.

V současnosti se v provozu dopravních prostředků používají motorové oleje pouze aditivované [8].

## **2.3 Použité experimentální metody**

### **2.3.1 Bod vzplanutí**

Bod vzplanutí (Flash Point) podle ČSN 65 6212 je nejnižší teplota, při které vzorek hořlavé kapaliny zahříváný v předepsaném přístroji za stanovených podmínek zkoušky

vyvine tolik par, že jejich směs se vzduchem, vytvářející se nad hladinou kapaliny, po přiblížení zkušebního plamínku vzplane a opět zhasne.

Je základním parametrem popisujícím náchylnost ropných produktů ke vznícení; je zároveň kritériem pro třídění látek podle třídy hořlavosti. Postup stanovení je normován (ASTM D56, ASTM D93, ISO-2719, ISO-2592, ČSN EN ISO 1523, ČSN EN ISO 3679). U olejů se stanovuje v otevřeném kelímku, u paliv v kelímku uzavřeném.

Zkouška v otevřeném kelímku (přístroj podle Clevelanda) je určena pro ropné produkty, které mají bod vzplanutí nad 79 °C. Výsledky se používají při kontrole, třídění a identifikaci olejů. Dále má hodnota bodu vzplanutí význam pro zařazení oleje do třídy hořlavosti kapalin.

Pokud se sníží hodnota bodu vzplanutí, je nejčastější příčinou zředění oleje palivem nebo degradací oleje spojená s uvolňováním nízkomolekulárních produktů. Tento jev může způsobovat vážná závada v těsnosti palivového systému, která má za následek ředění oleje těkavou frakcí.

Při dalším zahřívání oleje nad bod vzplanutí se dosáhne bodu hoření (Fire Point), tj. nejnižší teploty, při níž hodnocený vzorek po zažehnutí zkušebním plaménkem vzplane a hoří po dobu alespoň 5 s). Je vždy vyšší než bod vzplanutí. Postup stanovení je zakotven v normách (ASTM D92, ASTM D 1310, ISO 2592).



Obr. 2 Přístroj pro stanovení bodu vzplanutí v otevřeném kelímku

Přístroj pro stanovení bodu vzplanutí v otevřeném kelímku (Obr. 2) se skládá z kelímku, ohřívací desky, rtuťového teploměru (do 360 °C) nebo digitálního přístroje pro měření teploty s držákem a zkušebního hořáku s přívodem plynu.

Stanovení bodu vzplanutí se provádí v tmavém místě, dostatečně chráněném před průvanem. Kelímek se plní vzorkem tak, aby hladina zkoušeného oleje dosahovala úrovně rysky na vnitřní stěně kelímku. Je potřebné dbát, aby nedošlo k potřísnění kelímku zvenčí nebo na vnitřní stěně nad ryskou. Na hladině oleje nesmějí být bubliny.

Teploměr se upne do svorky tak, aby spodní okraj rtuťové nádoby byl ve výši 6 mm ode dna kelímku přibližně v jeho středu. Zahřívání se reguluje reostatem tak, aby ze začátku stoupala teplota vzorku rychlostí 15 °C za minutu.

Průměr zkušebního plamínku se nastaví na 4 mm (délka plamínku nepřesahuje 10 mm). Když je teplota vzorku cca 50 °C pod předpokládanou teplotou vzplanutí, zmírní se ohřev tak, aby minimálně posledních 30 °C stoupala teplota o 5 až 6 °C za minutu; asi 10 °C pod očekávanou teplotou vzplanutí se začne zkoušet zápalnost směsi par paliva se vzduchem nad hladinou vzorku. Zkušební plamen se vede vždy po každém zvýšení teploty o 2 °C v rovině horního okraje kelímku přes jeho střed rovnoměrným pohybem. Tento pohyb nad kelímkem trvá asi jednu sekundu. Je nepřípustné vést zkušební plamen v rovině vzdálené více než 2 mm nad horním okrajem kelímku nebo přecházet plamenem vícekrát po dobu jedné sekundy [17].

### **2.3.2 Infračervená spektroskopie**

Infračervená spektrometrie je metoda určená především pro identifikaci a strukturní charakterizaci organických sloučenin a pro stanovení anorganických látek.

Metoda infračervené spektrometrie může nahradit několik konvenčních metod sledování stavu motorových olejů v provozu. Výhodou je rychlost nesrovnatelná s jinými metodami a velmi malé potřebné množství vzorku (1 ml a méně).

Metoda je založena na měření absorpce infračerveného záření o různé vlnové délce analyzovaným materiálem. Infračerveným zářením je elektromagnetické záření s vlnovými délkami  $\lambda$  v rozsahu od 0,78–1000 mm, což odpovídá rozsahu vlnočtů  $1/\lambda$  12800–10  $\text{cm}^{-1}$ . Celá oblast bývá rozdělena na blízkou (13000–4000  $\text{cm}^{-1}$ ), střední (4000–200  $\text{cm}^{-1}$ ) a vzdálenou infračervenou oblast (200–10  $\text{cm}^{-1}$ ), přičemž nejpoužívanější je střední oblast.

Principem metody je absorpce infračerveného záření při průchodu vzorkem, při níž dochází ke změnám rotačně vibračních energetických stavů molekul v závislosti na změnách dipólového momentu molekuly. Analytickým výstupem je infračervené spektrum, které je grafickým zobrazením funkční závislosti energie, většinou vyjádřené v procentech transmitance (T) nebo jednotkách absorbance (A) na vlnové délce ( $\lambda$ ) dopadajícího záření. Transmitance (propustnost) je definována jako poměr intenzity záření, které prošlo vzorkem, k intenzitě záření vycházejícího ze zdroje.

$$T = \frac{I}{I_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

$$A = -\log \frac{I_0}{I} = \log (1 / T)$$

(kde  $I_0$  je původní – vstupující,  $I$  zeslabený – vystupující tok monochromatického záření).

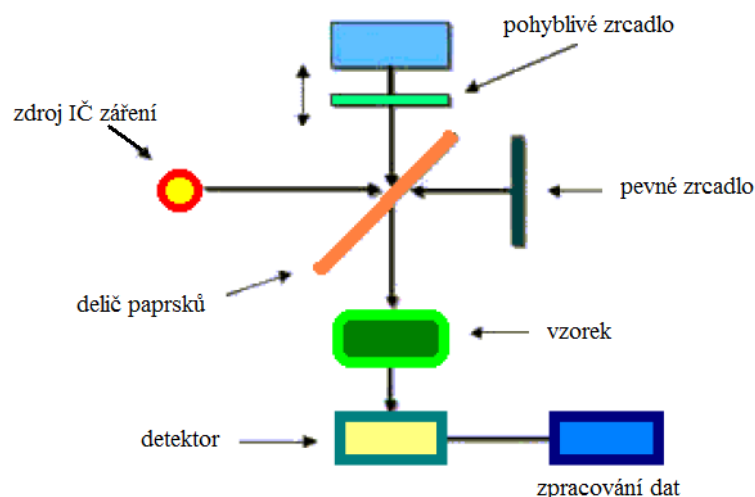
Tab. 1 Vlnočty charakteristických strukturních skupin [17].

<b>primární absorpce (<math>\text{cm}^{-1}</math>)</b>	<b>sekundární absorpce (<math>\text{cm}^{-1}</math>)</b>	<b>prvky vibrace</b>	<b>diagnostický význam</b>
3300 – 3500	1600	skupina -OH	voda
1700 – 1750	1100 – 1200	skupina =C=O	zvyšovače viskozitního indexu, oxidační produkty (důsledek stárnutí oleje)
1630	1270	skupina N=O	organické nitrosloučeniny
1100 – 1200		skupina $\text{SO}_3$ .	sulfátový detergent
1040, 1080	3300 – 3500	vazba C-O-	chladičí směs (glykol)

950 – 1050		P-O-C	aditiv ZnDDP
1900 – 2000		C	saze

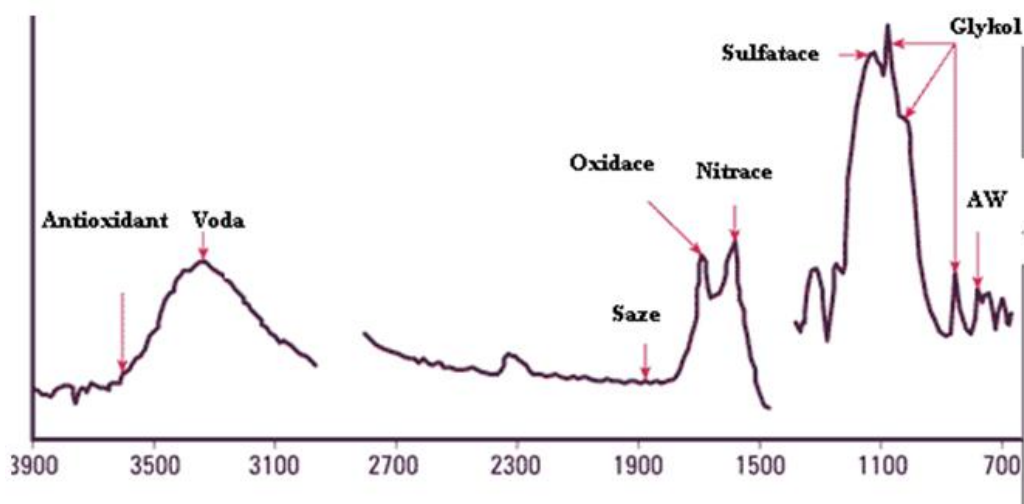
Absorpční pásy mající vrcholy v intervalu  $4000\text{--}1500\text{ cm}^{-1}$  jsou vhodné pro identifikaci funkčních skupin (např.  $\text{-OH}$ ,  $\text{C=O}$ ,  $\text{N-H}$ ,  $\text{CH}_3\text{-}$  aj.). Pásy v oblasti  $1500\text{--}400\text{ cm}^{-1}$  jsou nazývané oblastí „otisku palce“ (fingerprint region); tab. 1 specifikuje oblasti absorpce jednotlivých chemických vazeb a popisuje jejich diagnostický význam.

Pomocí speciálního softwaru a digitalizovaných knihoven infračervených spekter je možno identifikovat neznámou analyzovanou látku. Od 80. let 20. století se používají infračervené spektrometry s Fourierovou transformací (FTIR spektrometry – Obr. 3) [18].



Obr. 3 Princip FTIR spektrometru [20].

Při analýze spekter se vychází ze znalosti vlnových délek odpovídajících konkrétním sloučeninám nebo charakteristickým strukturním skupinám (Obr. 4).



Obr. 4 Typické pásy v FTIR spektru motorového oleje [19].

### Zeslabená úplná reflektance (ATR)

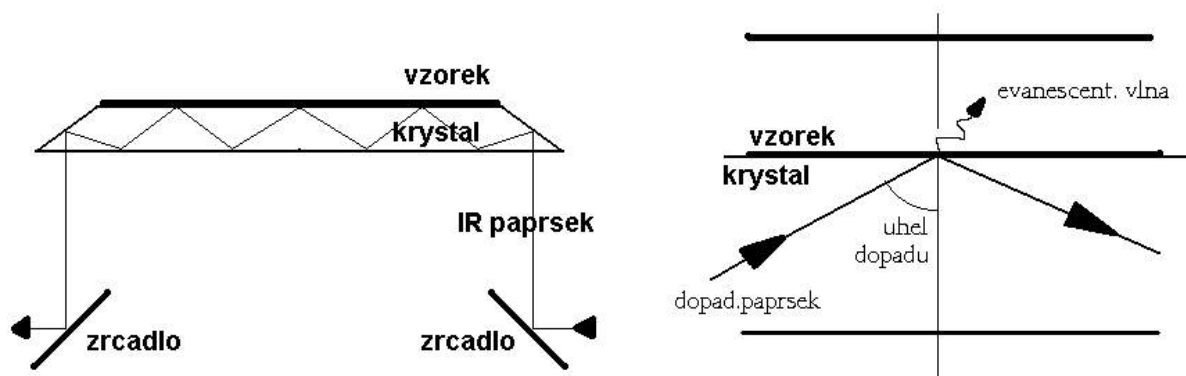
Pro vzorky silně absorbující infračervené záření je výhodné použít techniku zeslabené totální reflektance. Jedná se o rychlou a účinnou metodu vyžadující minimální přípravu vzorku pro analýzu. Může být automatizována a eliminuje použití toxických rozpouštědel.

Metoda je založena na principu násobného úplného odrazu záření na fázovém rozhraní měřeného vzorku a měřícího krystalu z materiálu, jenž má vysoký index lomu (Obr. 5).

Krystal je většinou planární, ve tvaru lichoběžníkového hranolu. Svazek paprsků je přiveden do krystalu soustavou zrcadel tak, aby úhel dopadu na fázové rozhraní vyhověl podmínce totálního odrazu. Měřený vzorek je v dokonalém kontaktu s ATR krystalem a záření proniká částečně do analyzovaného materiálu. Při totálním odrazu na rozhraní opticky hustšího prostředí (ATR krystal) s prostředím opticky řidším (zkoumaný vzorek) vzniká tzv. evanescentní vlna elektromagnetického záření v oblasti absorpce. Protože intenzita evanescentní vlny klesá exponenciálně se vzdáleností od rozhraní (řádově  $\mu\text{m}$ ), musí být dosaženo těsného kontaktu mezi vzorkem a krystalem. To lze zajistit u kapalných vzorků. Pokud měřený vzorek absorbuje záření o určité frekvenci, pak tato složka bude v totálně odraženém záření zeslabena. Takto získané spektrum se do značné míry podobá spektru změřenému v transmittančním režimu. Penetrační hloubka do povrchu vzorku je řádově v jednotkách  $\mu\text{m}$ , tzn. jsou charakterizovány pouze velmi tenké povrchové vrstvy. Vzhledem k násobnému odrazu na fázovém rozhraní je získané spektrum velmi kvalitní, ekvivalentní transmissnímu spektru měřenému při tloušťce vzorku řádově desítek  $\mu\text{m}$ .



V současné době jsou standardem převážně lichoběžníkové ZnSe krystaly v horizontálním uspořádání[19].



Obr. 5 Schéma metody zeslabené totální reflektance [19]

### 3 Experimentální část

Tato část práce se zabývá analýzou motorových olejů. Byly použity dvě experimentální metody:

- stanovení teploty vzplanutí v otevřeném kelímku
- infračervená spektrometrie s Fourierovou transformací.

Cílem experimentálních prací bylo zjistit body vzplanutí motorového oleje (u čistého oleje a u dvou skupin vzorků – jedna skupina vzorků obsahovala příměsi nafty s MEŘO, druhá skupina příměsí nafty bez MEŘO). V průběhu zahřívání z laboratorní teploty (cca 20 °C) na 330 resp. 360 °C, byly odebírány vzorky pro spektrometrická měření.

#### 3.1 Použité vzorky olejů

Byly připraveny vzorky motorového oleje s naftou obsahující 6 % MEŘO (obsah nafty s MEŘO v motorovém oleji 5 %, 10 %, 20 %) a vzorky neobsahující MEŘO v naftě (obsah nafty bez MEŘO v motorovém oleji 5 %, 10 %, 20 %). Pro vytvoření vzorků byl použit čistý motorový olej Panolin Universal, motorová nafta bez obsahu MEŘO z čerpací stanice Paramo a čisté MEŘO z výroby Paramo, a .s., Pardubice.

Tab. 2 Charakteristiky nákladních automobilů MAN L90 a MAN TGX

<b>Vozidlo</b>	<b>MAN L90</b>	<b>MAN TGX</b>
<b>Emisní třída</b>	EURO 3	EURO 4
<b>Viskozitní klasifikace</b>	SAE 10W - 40	SAE 10W - 40
<b>Výkon</b>	206 kW	324 kW
<b>Rok výroby</b>	2003	2009

Jako vzorky z provozu byly použity vzorky olejů odebraných z nákladních automobilů MAN L90 a MAN TGX (Servis MAN), u kterých se odebraly vzorky vyjetého oleje, které se porovnali se vzorky nového oleje. Charakteristiky vozidel jsou uvedeny v Tab. 2.

## 3.2 Experimentální podmínky

### 3.2.1 Stanovení teploty vzplanutí oleje v otevřeném kelímku

Pro zjištění teploty vzplanutí oleje byl použit přístroj na stanovení bodu vzplanutí v otevřeném kelímku typ OB – 306 (Obr. 1). Pro měření teploty byl použit digitální teploměr TESTO 735 (Obr. 6), který je vybaven násuvnou pornocnou sondou Pt100 a jehož technické parametry jsou:

- Systémová přesnost až 0,05 °C.
- Paměť přístroje až 10000 naměřených hodnot.
- PC-software pro archivaci, analýzu a dokumentaci naměřených dat (v rozsahu dodávky).
- Zobrazení, uložení a tisk delta T, min., max. a střední hodnoty.
- Akustický alarm při překročení hraniční hodnoty. Třída krytí IP54.
- Paměť přístroje pro 10000 naměřených hodnot (TESTO 735-2).
- PC-software pro archivaci a dokumentaci naměřených dat (TESTO 735-2).
- Volitelný cyklus ukládání od 1 sekundy až po 24 hodin.
- Přesnost v celém měřicím rozsahu díky kalibraci systému.

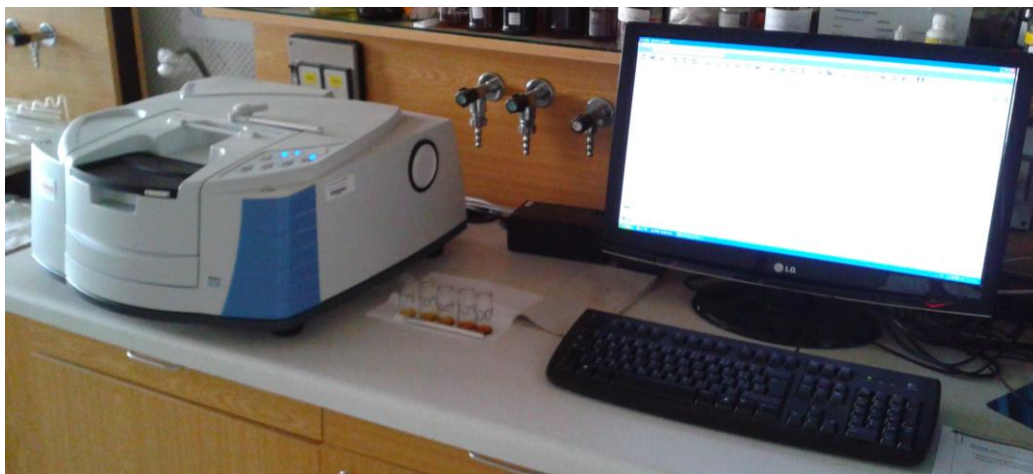


Obr. 6 Digitální teploměr TESTO 735

### 3.2.2 Infračervená spektrometrie

Analýza vzorků paliv byla provedena na spektrometru Nicolet iS10 (Obr. 7) který je určen pro střední infračervenou oblast  $7800\text{-}350\text{ cm}^{-1}$ . Přístroj je certifikován dle standardů ISO 9001. Základní technické parametry a nastavení spektrometru Nicolet iS10:

- spektrální rozlišení  $4\text{ cm}^{-1}$
- rychlost scanu 1 scan/s, počet scanů 64,
- řídicí a uživatelský software OMNIC
- ZnSe krystal ve vaničkovém uspořádání



Obr. 7 FTIR spektrometr Nicolet iS10

FTIR spektrometr Nicolet iS10 používá řídicí software OMNIC. Před vlastním měřením je vždy nutno očistit krystal n-hexanem  $\text{C}_6\text{H}_{14}$ . Po vyčištění se nástavec s krystalem vloží do spektrometru a pomocí příkazu Collect  $\rightarrow$  Collect background se zaznamená pozadí. Bezprostředně po změření pozadí se teflonovou špachtlí na krystal nanese souvislá vrstva vzorku. Při nanášení těkavých vzorků se krystal přiklápí teflonovou destičkou. Samotné měření spektra vzorku je spuštěno příkazem Collect  $\rightarrow$  Collect sample. Po provedení nastaveného počtu skenů je měření dokončeno a naměřené spektrum (po softwarovém odečtení pozadí) je zobrazeno na monitoru [21].

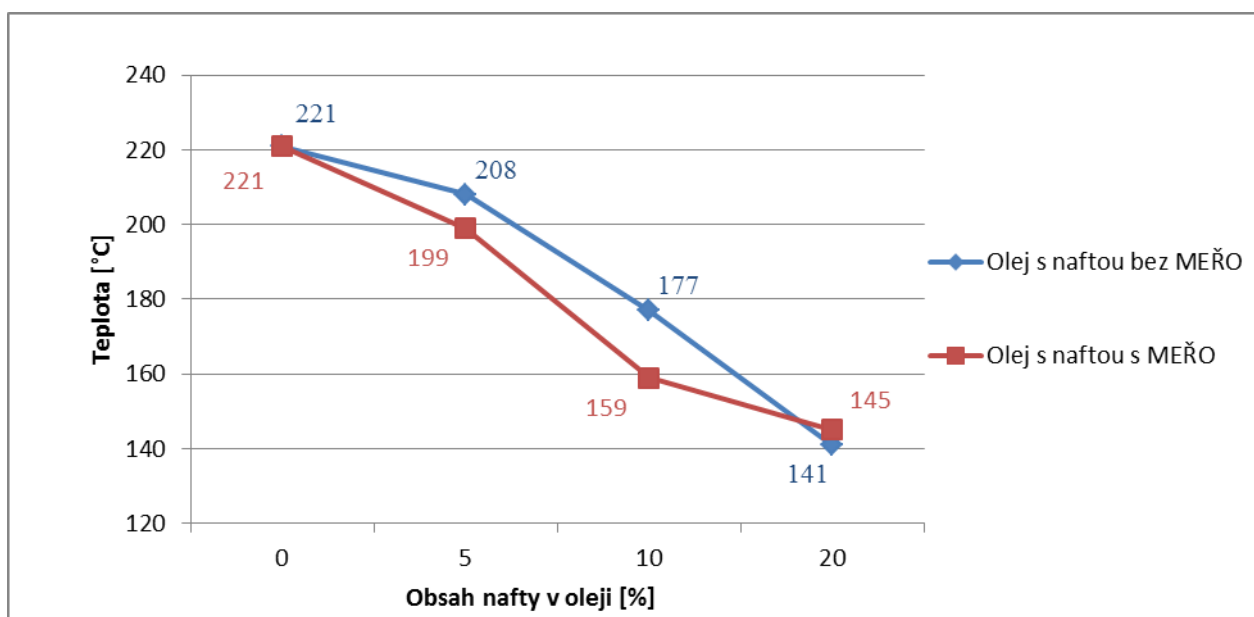
## 3.3 Výsledky, zpracování a vyhodnocení experimentálních dat

### 3.3.1 Teplota vzplanutí

V Tab. 3 jsou uvedeny experimentálně stanovené hodnoty teploty vzplanutí jednotlivých vzorků, popsanych v kapitole 3.1.

Tab. 3 Teploty vzplanutí vzorků oleje

Označení oleje	obsah nafty bez MEŘO (%)	Bod vzplanutí (°C)	Obsah nafty s MEŘO (%)	Bod vzplanutí (°C)
Panolin Universal 15W - 40	0	221	0	221
	5	208	5	199
	10	177	10	159
	20	141	20	145



Obr. 8 Srovnání motorových olejů

Tab. 4 Teploty vzplanutí olejů odebraných z vozidel MAN L90 a MAN TGX

Označení oleje	Ujetých kilometrů	Bod vzplanutí – opotřebovaný olej (°C)	bod vzplanutí – nový olej (°C)
Castrol Enduron 10W – 40 (Euro 3)	18 285 km	180	203
Castrol Enduron Low SAPS 10W – 40 (Euro 4)	18 440 km	200	227

## Dílčí závěr

Zvyšující množství nafty v oleji má významný vliv na teplotu vzplanutí oleje, která se z původních 221 °C u čistého oleje klesá na 141 resp. 145 °C u vzorků obsahujících 20 % nafty (Obr. 8)

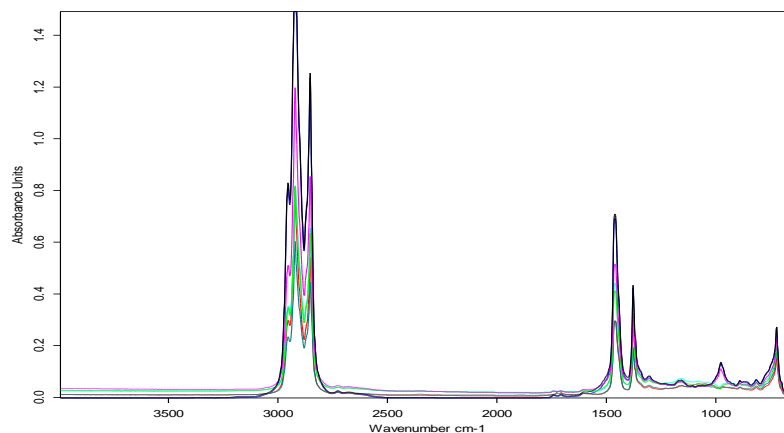
Byly odebrány dva vzorky olejů z nákladních automobilů MAN L90 a MAN TGX (Tab. 4), u vzorků byla zjištěna nižší teplota vzplanutí v době výměny. To má za následek snížení degradace motorového oleje.

### 3.3.2 Infračervená spektrometrie

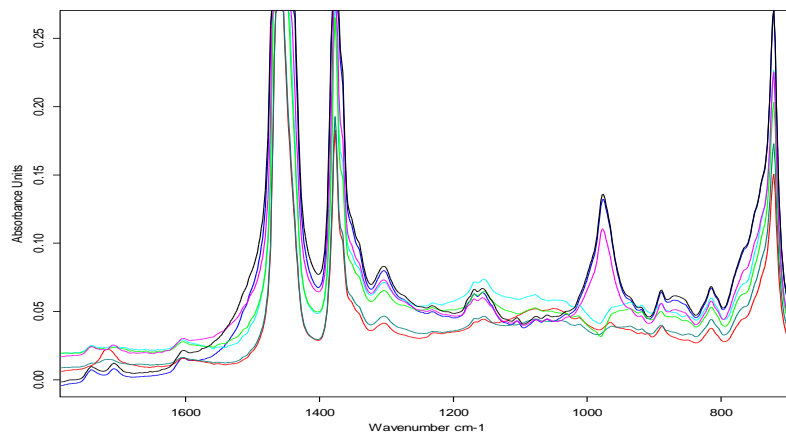
#### Experimentální výsledky – FTIR spektrometrie

#### Panolin Universal SD SF SAE 15W 40

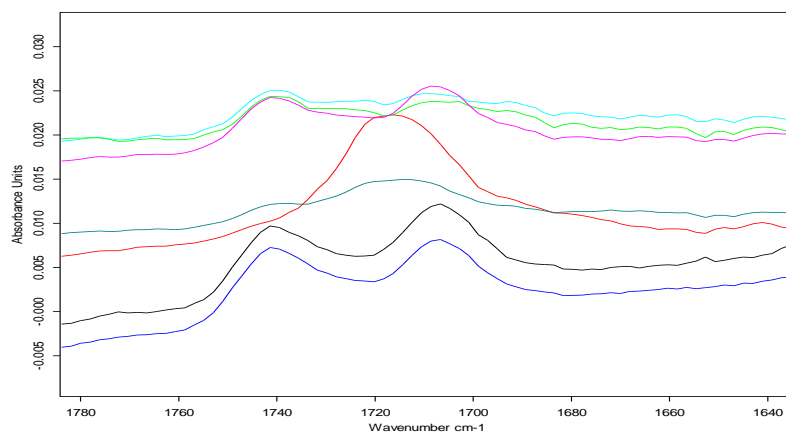
"Panolin Universal SD\_SF SAE 15W\_40 150 °C.dx" 1  
"Panolin Universal SD\_SF SAE 15W\_40 200 stup.dx" 1  
"Panolin Universal SD\_SF SAE 15W\_40 250 stup.dx" 1  
"Panolin Universal SD\_SF SAE 15W\_40 300 stup.asi.dx" 1  
"Panolin Universal SD\_SF SAE 15W\_40 330 stup.dx" 1  
"Panolin Universal SD\_SF SAE 15W\_40 360 stup.dx" 1  
"Panolin Universal SD\_SF SAE 15W\_40 bez ohřátí.dx" 1



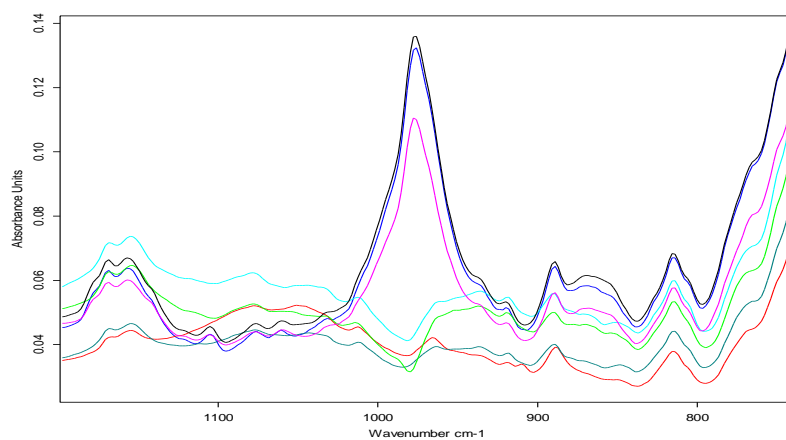
Obr. 9 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 (celý měřený rozsah)



Obr. 10 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 (detail spektra v oblasti 1800 až 700  $\text{cm}^{-1}$ )

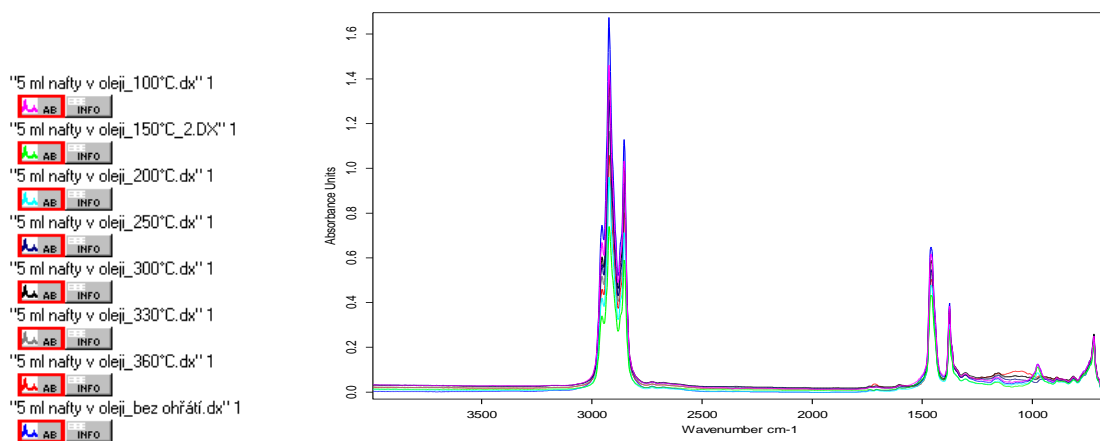


Obr. 11 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 (detail spektra v oblasti 1780 až 1640  $\text{cm}^{-1}$ )

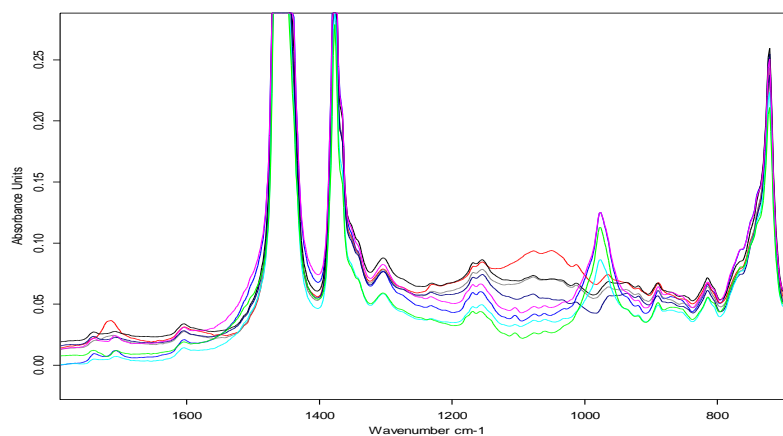


Obr. 12 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 (detail spektra v oblasti 1800 až 1600  $\text{cm}^{-1}$ )

## 5 %obj. nafty (bez MEŘO) v oleji

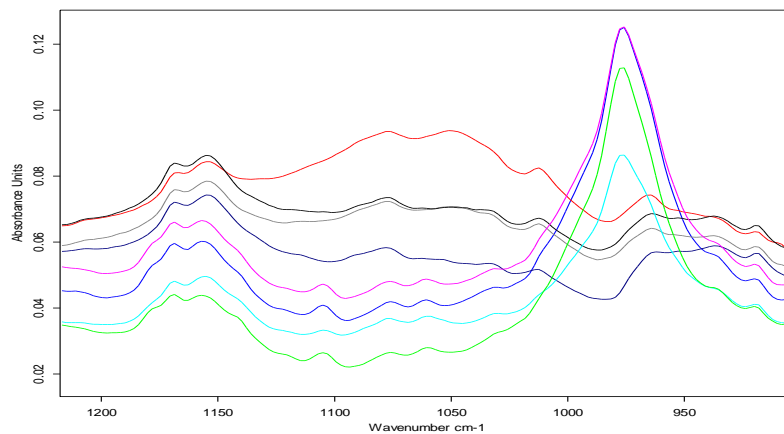


Obr. 13 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 5 %obj. nafty bez MEŘO (celý měřený rozsah)

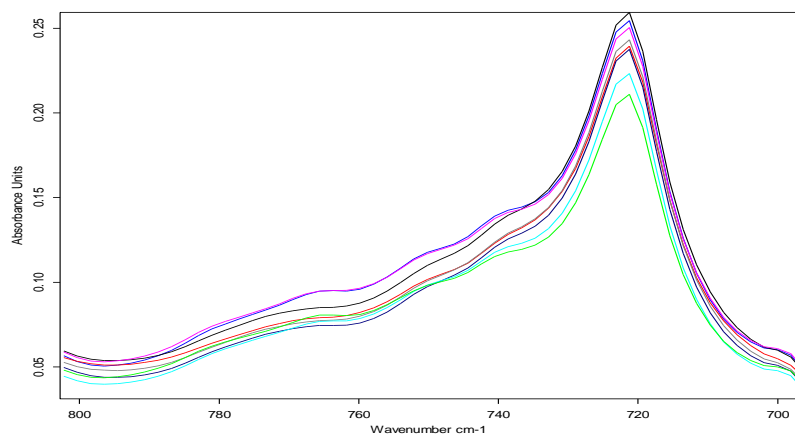


Obr. 14 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 5 %obj. nafty bez MEŘO (detail spektra v oblasti 1600 až 800 cm<sup>-1</sup>)



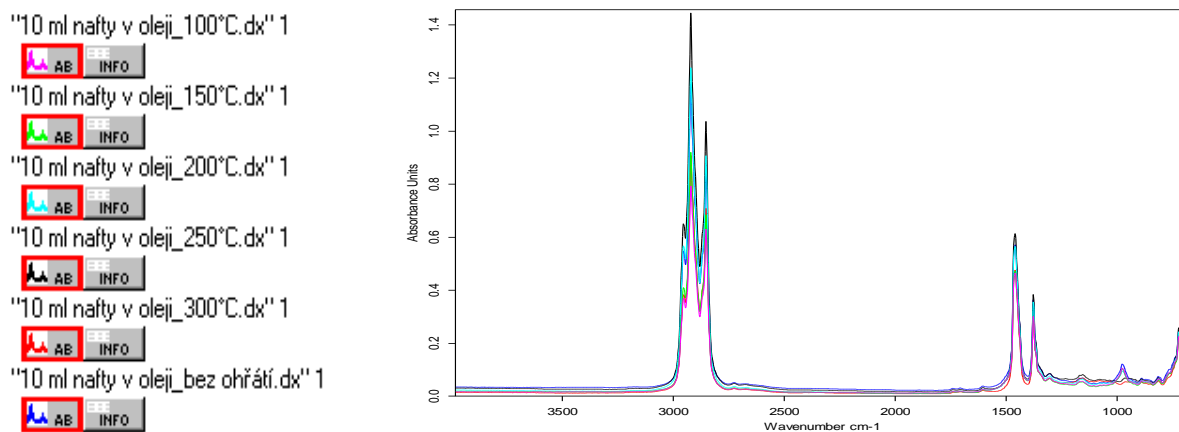


Obr. 15 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 5 %<sub>obj.</sub> nafty bez MEŘO (detail spektra v oblasti 1200 až 960  $\text{cm}^{-1}$ )

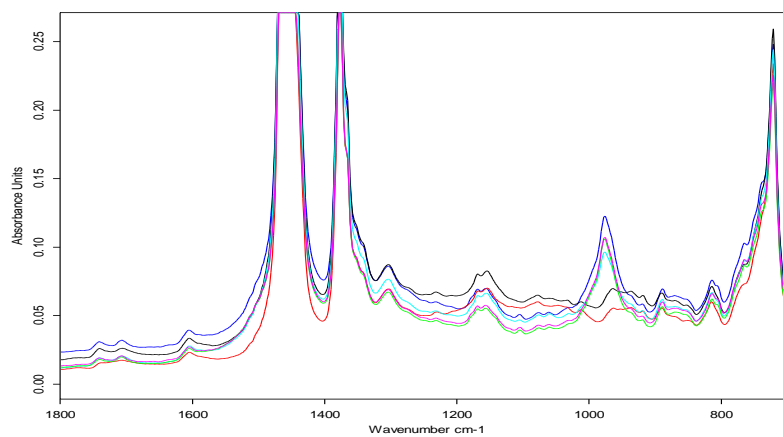


Obr. 16 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 5 %<sub>obj.</sub> nafty bez MEŘO (detail spektra v oblasti 800 až 700  $\text{cm}^{-1}$ )

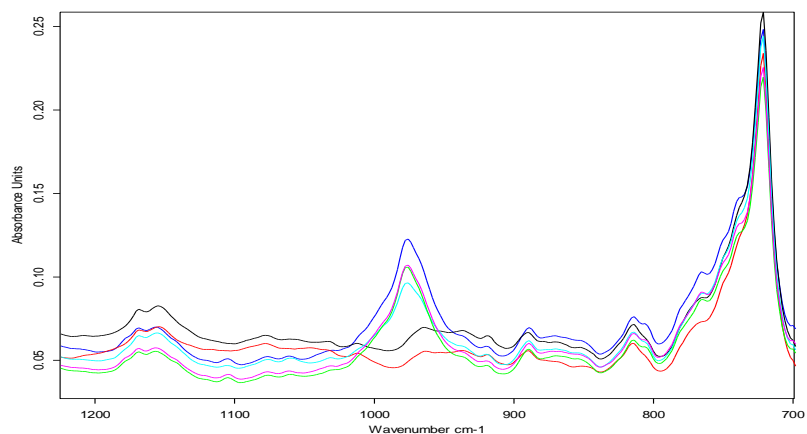
## 10 %obj. nafty (bez MEŘO) v oleji



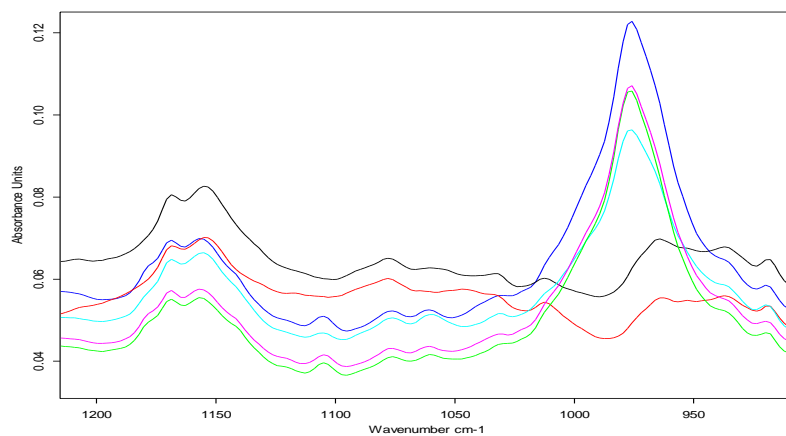
Obr. 17 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 10 %obj. nafty bez MEŘO (celý měřený rozsah)



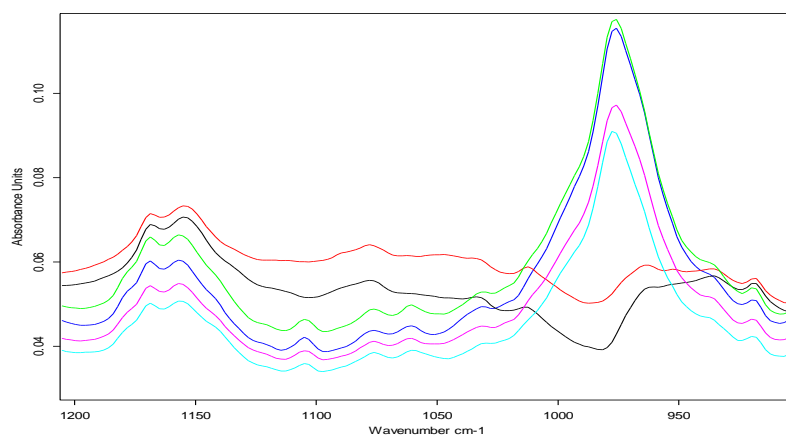
Obr. 18 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 10 %obj. nafty bez MEŘO (detail spektra v oblasti 1800 až 800  $\text{cm}^{-1}$ )



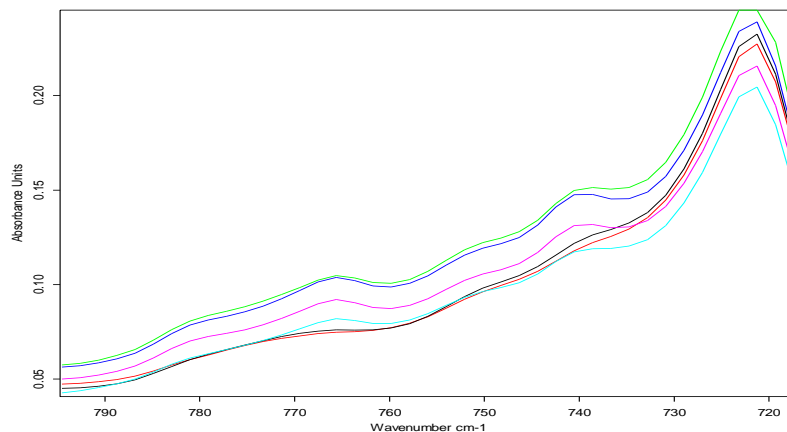
Obr. 19 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 10 %obj. nafty bez MEŘO (detail spektra v oblasti 1200 až 700  $\text{cm}^{-1}$ )



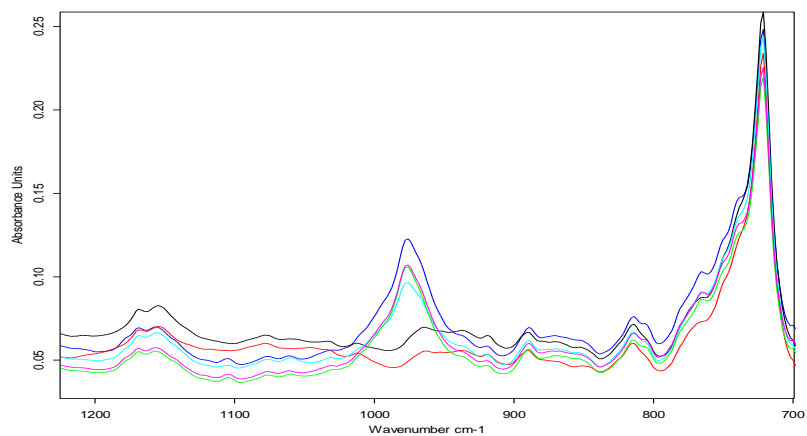
Obr. 20 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 10 %obj. nafty bez MEŘO (detail spektra v oblasti 1200 až 950  $\text{cm}^{-1}$ )



Obr. 21 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 10 %obj. nafty bez MEŘO (detail spektra v oblasti 1200 až 950  $\text{cm}^{-1}$ )



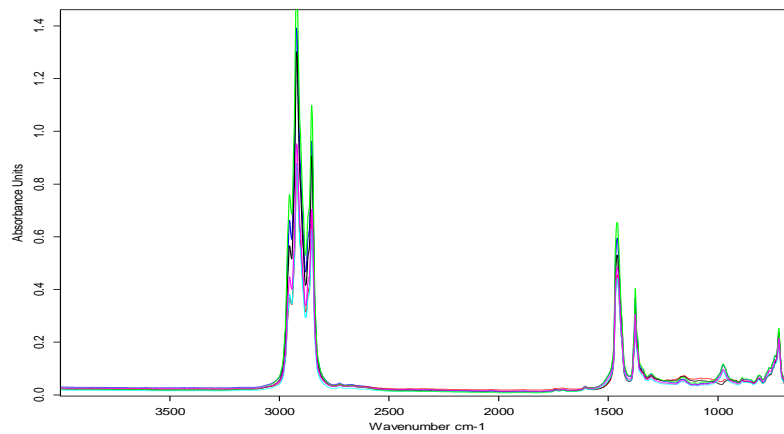
Obr. 22 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 10 %<sub>obj.</sub> nafty bez MEŘO  
(detail spektra v oblasti 790 až 720  $\text{cm}^{-1}$ )



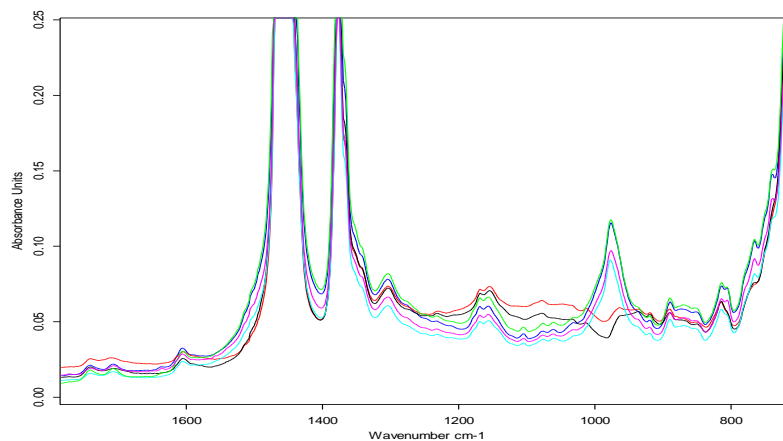
Obr. 23 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 10 %<sub>obj.</sub> nafty bez MEŘO  
(detail spektra v oblasti 1200 až 700  $\text{cm}^{-1}$ )

## 20 %obj. nafty (bez MEŘO) v oleji

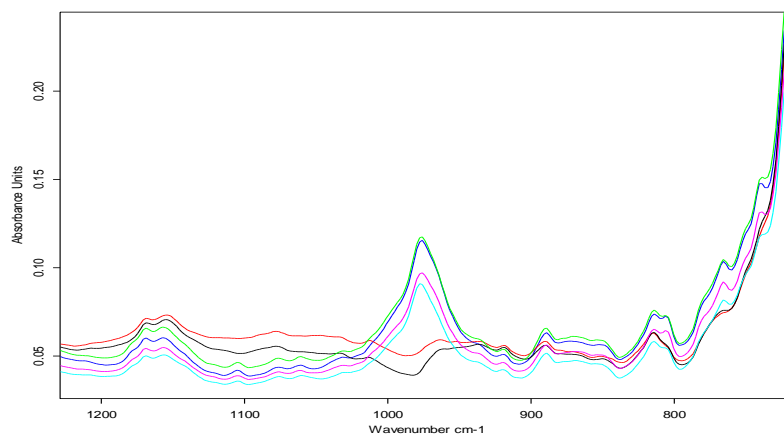
"20 ml nafty v oleji\_100°C.dx" 1  
"20 ml nafty v oleji\_150°C.dx" 1  
"20 ml nafty v oleji\_200°C.dx" 1  
"20 ml nafty v oleji\_250°C.dx" 1  
"20 ml nafty v oleji\_300°C.dx" 1  
"20 ml nafty v oleji\_bez ohřátí.dx" 1



Obr. 24 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 20 %obj. nafty bez MEŘO (celý měřený rozsah)



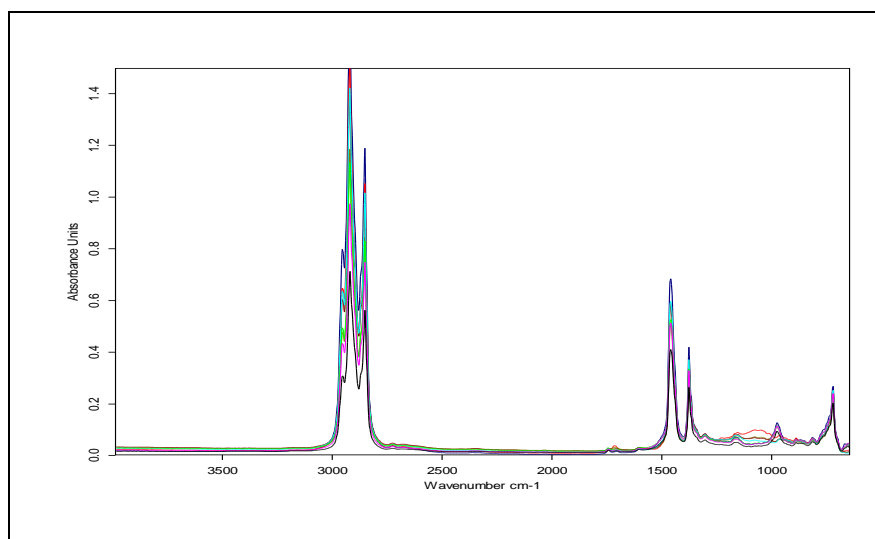
Obr. 25 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 20 %obj. nafty bez MEŘO (detail spektra v oblasti 1200 až 700 cm<sup>-1</sup>)



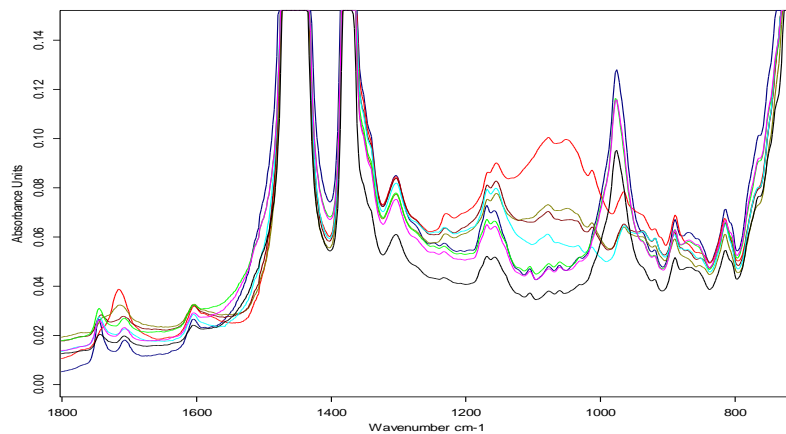
Obr. 26 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 20 %obj. nafty bez MEŘO (detail spektra v oblasti 1200 až 800  $\text{cm}^{-1}$ )

### 5 %obj. nafty s MEŘO v oleji

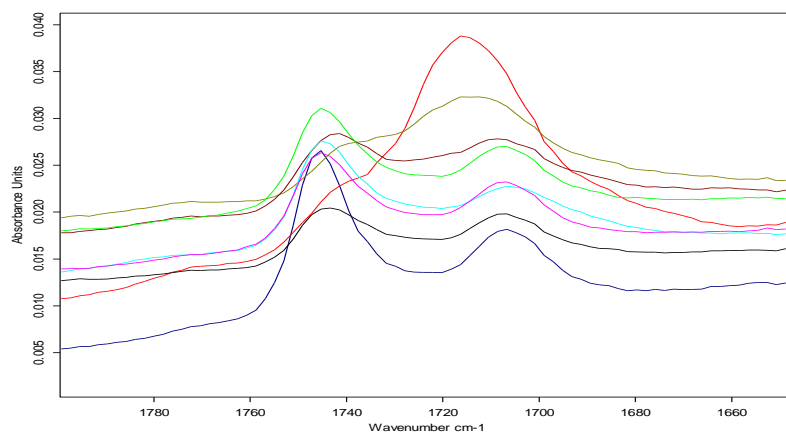
- "5 ml nafty s 6% MEŘO v oleji\_100°C.dx" 1
- "5 ml nafty s 6% MEŘO v oleji\_150°C.dx" 1
- "5 ml nafty s 6% MEŘO v oleji\_200°C.dx" 1
- "5 ml nafty s 6% MEŘO v oleji\_250°C.dx" 1
- "5 ml nafty s 6% MEŘO v oleji\_300°C.dx" 1
- "5 ml nafty s 6% MEŘO v oleji\_330°C.dx" 1
- "5 ml nafty s 6% MEŘO v oleji\_360°C.dx" 1
- "5 ml nafty s 6% MEŘO v oleji\_bez ohřátí.dx" 1



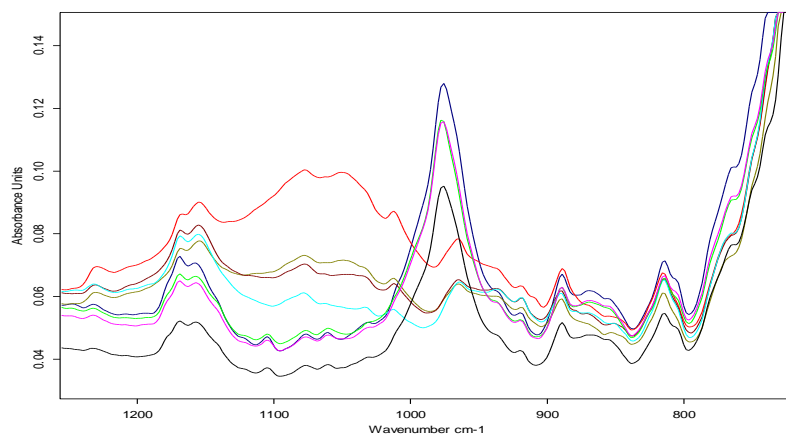
Obr. 27 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 5 %obj. nafty s MEŘO (celý měřený rozsah)



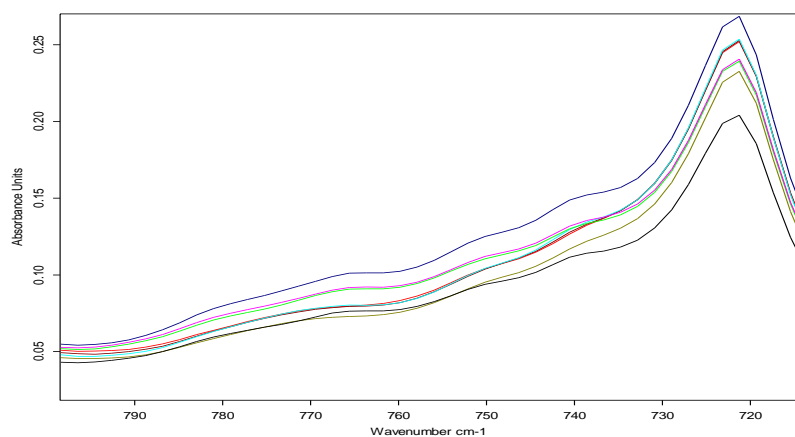
Obr. 28 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 5 %<sub>obj.</sub> nafty s MEĚO (detail spektra v oblasti 1800 až 800  $\text{cm}^{-1}$ )



Obr. 29 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 5 %<sub>obj.</sub> nafty s MEĚO (detail spektra v oblasti 1780 až 1660  $\text{cm}^{-1}$ )



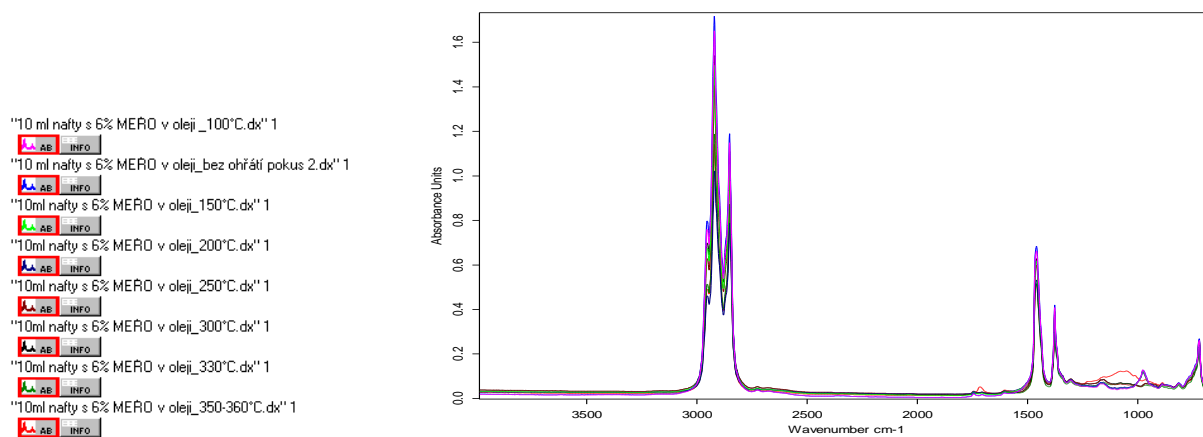
Obr. 30 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 5 %obj. nafty s MEĚO (detail spektra v oblasti 1200 až 800 cm<sup>-1</sup>)



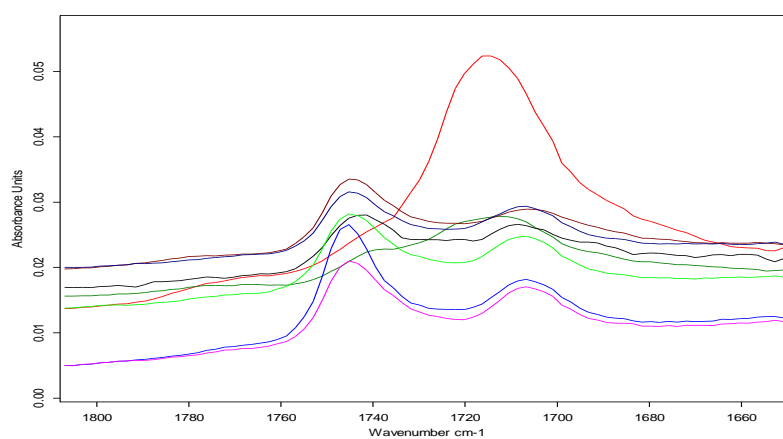
Obr. 31 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 5 %obj. nafty s MEĚO (detail spektra v oblasti 790 až 720 cm<sup>-1</sup>)



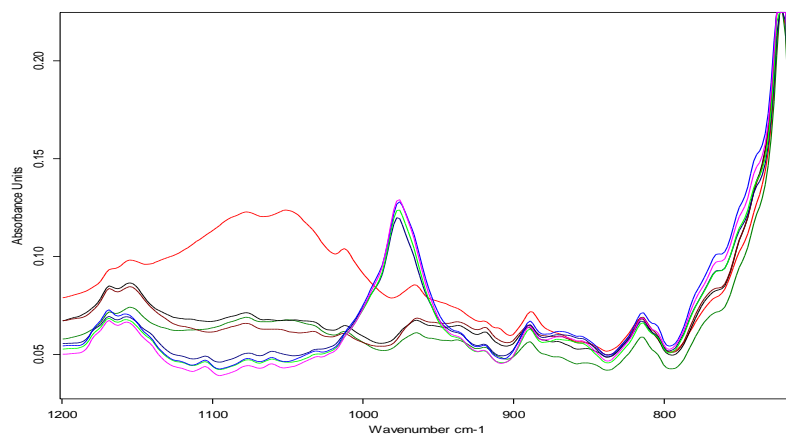
## 10 %obj. nafty s MEŘO v oleji



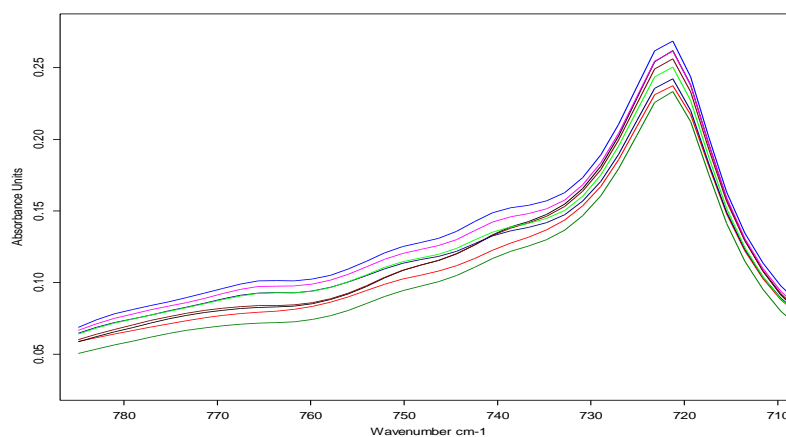
Obr. 32 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 10 %obj. nafty s MEŘO (celý měřený rozsah)



Obr. 33 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 10 %obj. nafty s MEŘO (detail spektra v oblasti 1800 až 1660 cm<sup>-1</sup>)

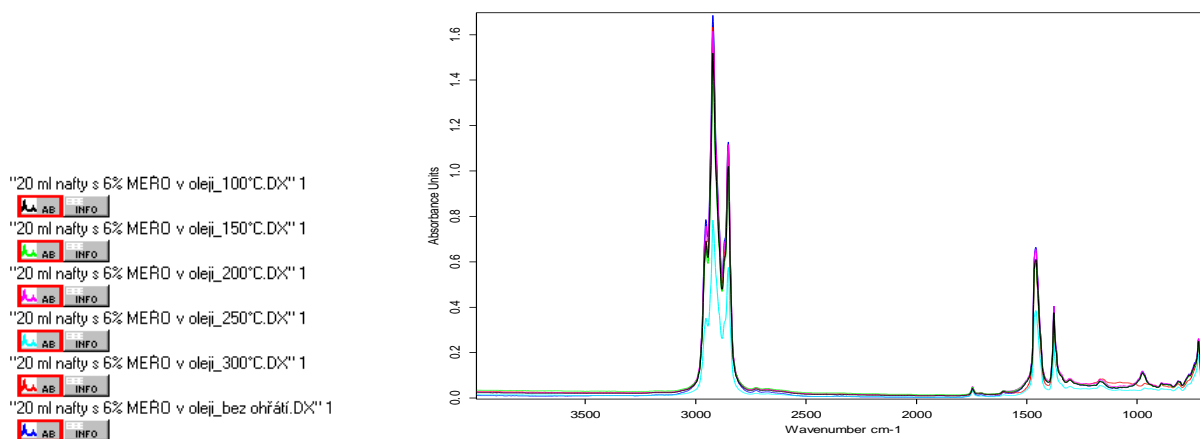


Obr. 34 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 10 %obj. nafty s MEŘO (detail spektra v oblasti 1200 až 800  $\text{cm}^{-1}$ )

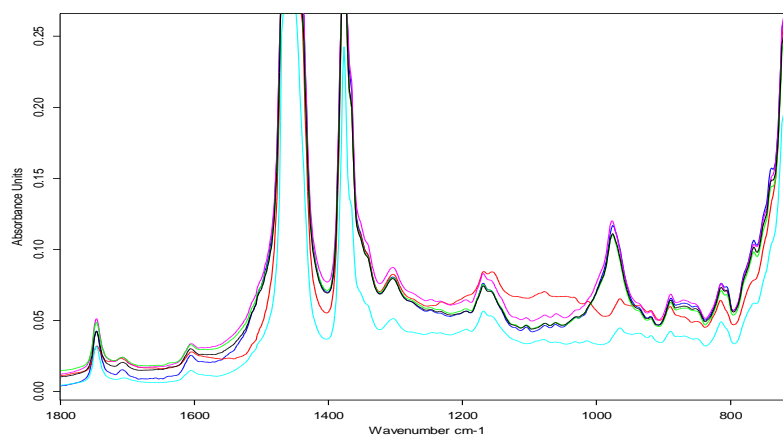


Obr. 35 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 10 %obj. nafty s MEŘO (detail spektra v oblasti 780 až 710  $\text{cm}^{-1}$ )

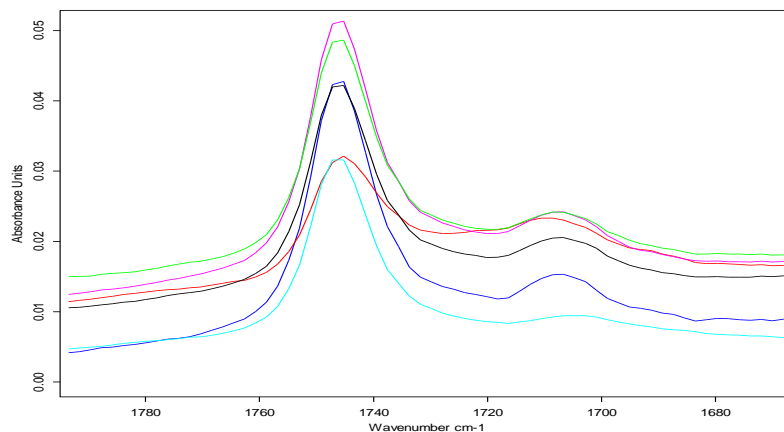
## 20 %obj. nafty s MEŘO v oleji



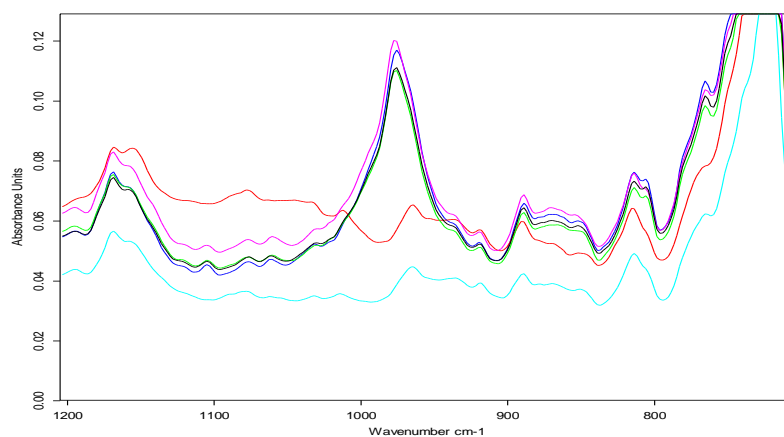
Obr. 36 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 20 %obj. nafty s MEŘO (celý měřený rozsah)



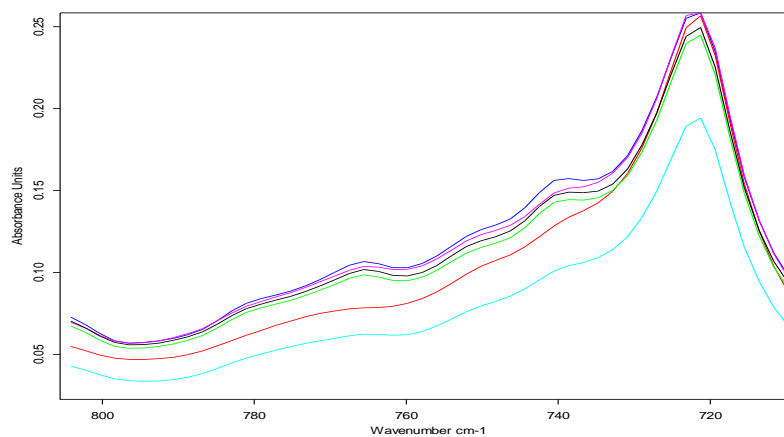
Obr. 37 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 20 %obj. nafty s MEŘO (detail spektra v oblasti 1800 až 800  $\text{cm}^{-1}$ )



Obr. 38 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 20 %obj. nafty s MEŘO (detail spektra v oblasti 1780 až 1680  $\text{cm}^{-1}$ )



Obr. 39 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 20 %obj. nafty s MEŘO (detail spektra v oblasti 1200 až 800  $\text{cm}^{-1}$ )



Obr. 40 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 20 %obj. nafty s MEŘO (detail spektra v oblasti 800 až 720  $\text{cm}^{-1}$ )

## Dílčí závěr

Z IČ spekter (Obr. 9 až Obr. 40) motorového oleje Panolin Universal SD SF SAE 15W - 40, který byl použit k přípravě modelových směsí s motorovou naftou obsahující/neobsahující MEŘO, jsou zřejmé následující skutečnosti:

- Při zahřívání oleje dochází k postupné oxidaci uhlovodíků, která se projevuje výrazným nárůstem píku  $1720\text{ cm}^{-1}$ .
- Zvyšování teploty je příčinou rozpadu aditiv (nizkoteplotních, ale i vysokoteplotních antioxidantů a protiotěrových přísad, zejména ZnDDF (dialkyldithiosofátů zinečnatých)) – pásy v oblasti  $1100\text{--}800\text{ cm}^{-1}$  se snižují až prakticky vymizí.
- Při  $330$  a  $360\text{ }^{\circ}\text{C}$  již dochází i k rozpadu modifikátorů viskozity (polymery – polyizobuten, polymetakryláty).

V IČ spektrech motorového oleje Panolin Universal SD SF SAE 15W 40 byly připraveny dvě sady modelových vzorků obsahující 5, 10 a 20 %obj. motorové nafty; první sada s naftou neobsahující biosložku, druhá sada s naftou obsahující 6 %obj. MEŘO. Při zahřívání těchto vzorků z laboratorní teploty na  $360\text{ }^{\circ}\text{C}$  se projevují ve spektrech analogické změny jako ve výše uvedeném experimentu s čistým olejem (Obr. 9 až Obr. 12).

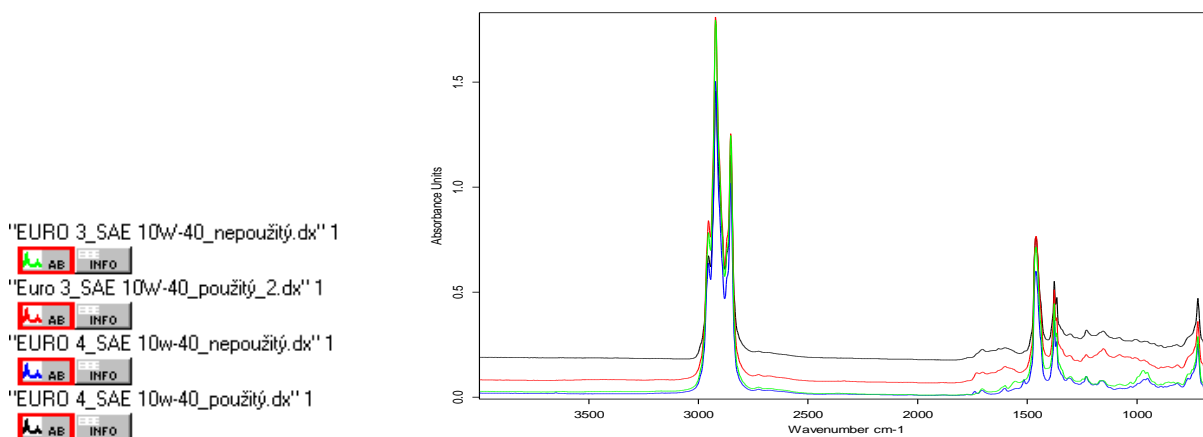
U modelového vzorku s naftou bez biosložky se postupně odpařují naftové uhlovodíky, což se projevuje poklesem absorbance pásů v oblasti  $780\text{--}720\text{ cm}^{-1}$ .

V modelovém vzorku obsahujícím naftu s biosložkou se přítomnost esterů projevuje zejména výrazným píkem; při analýzách je vhodné sledovat i pík  $1168\text{ cm}^{-1}$ . Ze spekter na Obr. 27 až Obr. 40 je zřejmé, že vzhledem k pouze nepatrně snížené absorbanci píku  $1745\text{ cm}^{-1}$  zůstává MEŘO, které má bod varu kolem  $358^{\circ}\text{C}$ , obsaženo v oleji. MEŘO se pak může v oleji hromadit a snižovat jeho mazací schopnost.

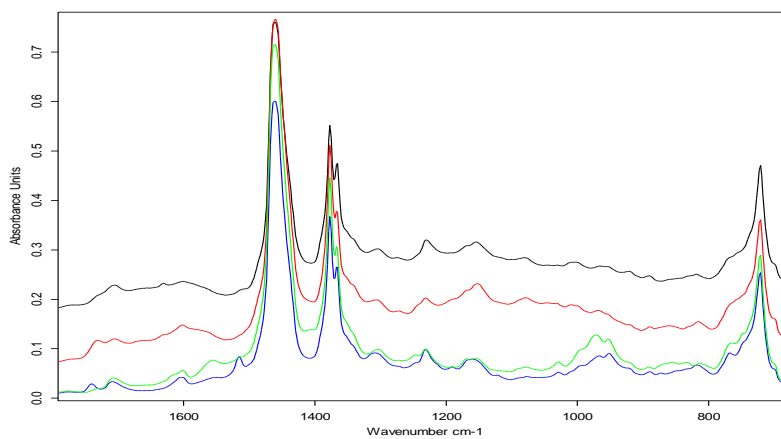
Tento problém se vyskytuje zejména u vznětových motorů splňujících předpis EURO 4. Příčinou kontaminace motorového oleje složkami MEŘO může být filtr na zachytávání pevných částic s regenerací, konkrétně načasování vstříku a množství vstříknutého paliva

do prostoru nad píst před otevřením výfukových ventilů. Vstříknuté palivo se má teoreticky vypařit a ve formě par proudit do filtru pevných částic, kde má začít hořet – takto zvýšená teplota má zajistit dostatečné spálení pevných částic. Vznětové motory vybavené filtrem pevných částic pak často vykazují silnou degradaci motorového oleje v důsledku kontaminace metylestery mastných kyselin řepkového oleje. V těchto případech je pak nutné řešit otázku vhodnosti intervalu výměny motorového oleje, který je v současnosti nejčastěji 30.000 km nebo 12 měsíců.

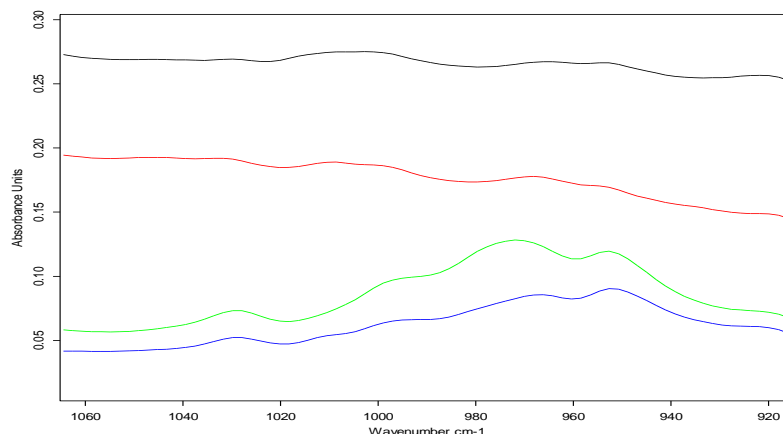
## Motorové oleje odebrané z nákladních automobilů MAN L90 a MAN TGX



Obr. 41 Infračervená spektra oleje odebrané z nákladních automobilů MAN L90 a MAN TGX (celý měřený rozsah)



Obr. 42 Infračervená spektra oleje odebrané z nákladních automobilů MAN L90 a MAN TGX (detail spektra v oblasti 1600 až 800 cm<sup>-1</sup>)



Obr. 43 Infračervená spektra oleje odebrané z nákladních automobilů  
MAN L90 a MAN TGX  
(detail spektra v oblasti 1060 až 920  $\text{cm}^{-1}$ )

Na základě analýzy infračervených spekter sledovaných vzorků olejů z nákladních automobilů MAN L90 a MAN TGX (Obr. 41 až Obr. 43) je možno konstatovat, že u odebraných vzorků nedošlo kromě snížení koncentrace protiotěrových aditiv k významnější degradaci.

U koncentrace protioděrových aditiv došlo k výraznému poklesu (hodnotí se v oblasti vlnočtu 960  $\text{cm}^{-1}$ ). Hrozí tedy riziko, že olej přestane plnit svou ochrannou funkci.

U analyzovaných vzorků nebyl prokázán průnik paliva do oleje, který by se projevil nárůstem píků v oblasti okolo 800  $\text{cm}^{-1}$ , ani přítomnost MEŘO.

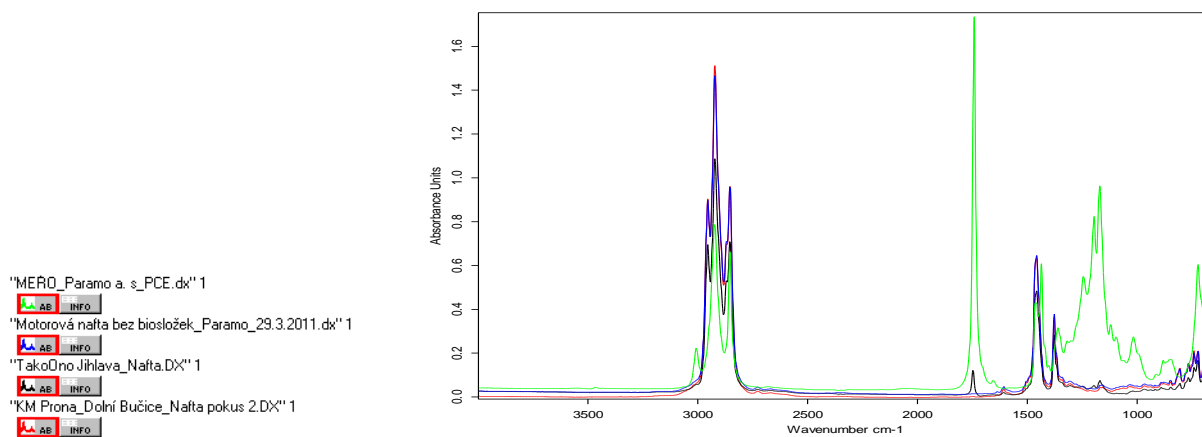
Nebyla identifikována nadměrná kontaminace sloučeninami dusíku, která by se projevila ostrým píkem na vlnočtu cca 1610  $\text{cm}^{-1}$  (způsobuje ji průnik spalin v důsledku nedostatečné těsnosti mezi pístem (pístními kroužky) a válcem; výsledkem je snížení komprese a následně dochází k nedostatečnému spalování paliva).

Ani u jednoho vzorku nebyl prokázán plochý pík v oblasti 3300–3600  $\text{cm}^{-1}$  ani trojice píků na vlnočtu 880, 1040 a 1080  $\text{cm}^{-1}$  signalizující průnik vody resp. chladicí kapaliny do oleje.

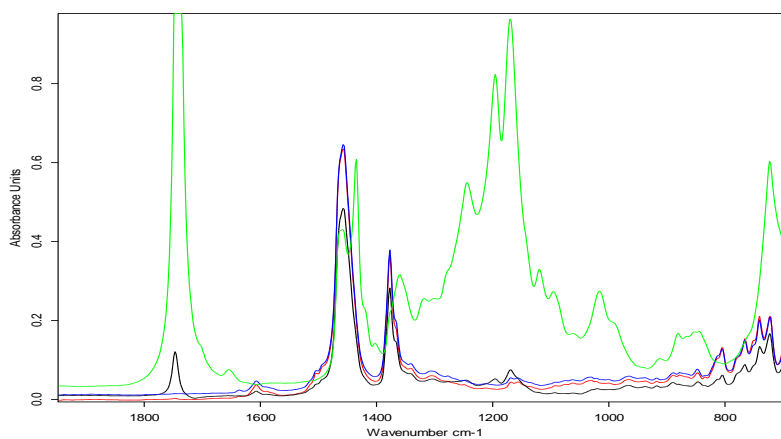
Posunem spekter k vyšším hodnotám absorpance (sleduje se v oblasti cca 2000  $\text{cm}^{-1}$ ) se projevilo se ztmavnutí olejů z provozu, způsobené termooxidačními procesy působícími na olej zejména v těžších podmínkách – při jízdě v terénu nebo s velkou zátěží, případně ke konci výměnné lhůty.



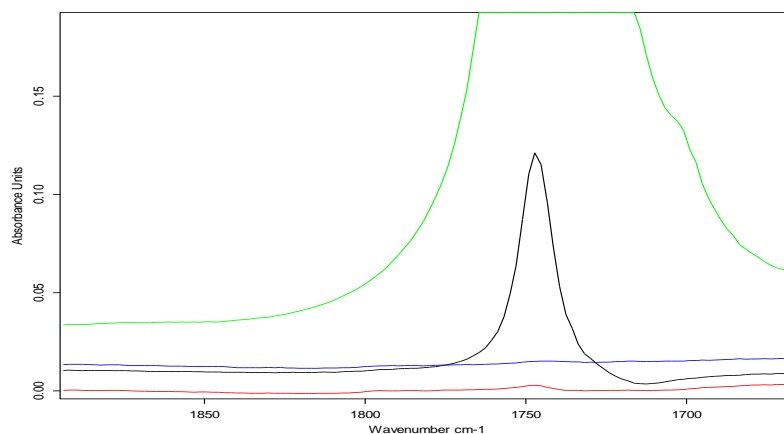
## Vzorky motorových naft odebrané z čerpacích stanic



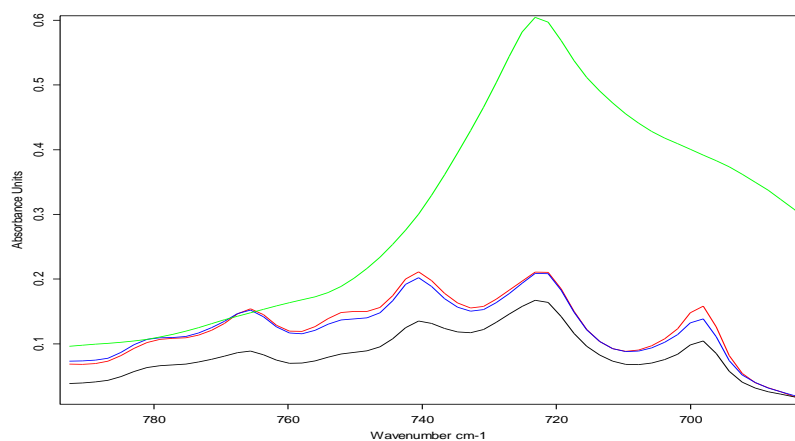
Obr. 44 Infračervená spektra motorových naft odebrané z čerpacích stanic (celý měřený rozsah)



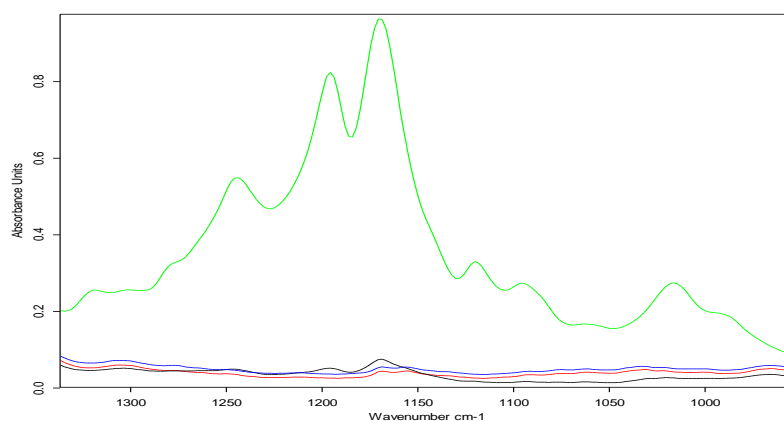
Obr. 45 Infračervená spektra motorových naft odebrané z čerpacích stanic (detail spektra v oblasti 1800 až 800 cm<sup>-1</sup>)



Obr. 46 Infračervená spektra motorových naft odebrané z čerpacích stanic (detail spektra v oblasti 1850 až 1700  $\text{cm}^{-1}$ )



Obr. 47 Infračervená spektra motorových naft odebrané z čerpacích stanic (detail spektra v oblasti 780 až 700  $\text{cm}^{-1}$ )



Obr. 48 Infračervená spektra motorových naft odebrané z čerpacích stanic (detail spektra v oblasti 1300 až 1000  $\text{cm}^{-1}$ )

V experimentální části práce byly analyzovány vzorky motorových naft odebraných z různých čerpacích stanic. Ve spektrech na Obr. 44 až Obr. 48 je pro srovnání zařazeno i spektrum čistého MEŘO.

Je zřejmé, že nafta Paramo a nafta z čerpací stanice KM Prona Dolní Bučice (deklarovaná jako nafta bez biosložky) neobsahují MEŘO, zatímco nafty odebrané na čerpací stanici Tank Ono Jihlava obsahují podíl MEŘO.

## 4 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou biosložek přidávaných do motorové nafty. Zaměřila se zejména na posouzení možnosti kumulace MEŘO v motorovém oleji. Tento problém nabývá na významu zejména u motorů splňujících limity EURO 4 a vyšší.

V teoretické části byl zpracován přehled současných poznatků o vlivu biosložek na vlastnosti klasických motorových paliv a byl vypracován seznam nejdůležitějších legislativních předpisů, které se týkají této problematiky. Dále jsou v této části práce uvedeny základní informace o motorových olejích a o průběhu procesů, které způsobují jejich degradaci v provozu. Poslední kapitolou teoretické části práce je popis použitých experimentálních metod – stanovení bodu vzplanutí olejů v otevřeném kelímku a infračervené spektrometrie s Fourierovou transformací.

Experimentální část bakalářské práce je věnována analýze infračervených spekter modelových vzorků motorového oleje čistého a oleje obsahujícího 5, 10 a 20 % nafty. Ke zkouškám byla použita jednak klasická nafta neobsahující MEŘO, jednak motorová nafta s obsahem 6 % MEŘO. Dále byly posuzovány vzorky olejů odebraných z nákladních automobilů MAN L90 a MAN TGX názvy a vzorky motorových naft z různých čerpacích stanic.

Změny, ke kterým dochází při zahřívání oleje v rozmezí od laboratorní teploty do 360 °C, byly zjišťovány z infračervených spekter vzorků z odběrů provedených v průběhu ohřevu. Byl zaznamenán bod vzplanutí u každého z modelových i reálných vzorků. Experimentální výsledky potvrdily předpoklad významného vlivu kontaminace motorového oleje naftou na pokles bodu vzplanutí. Dokumentována jsou jednotlivá spektra, změřená při různých teplotách během ohřevu oleje – jedná se především o oxidační děje a o termický rozklad aditiv. Ze spekter je zřejmé rovněž to, že MEŘO v důsledku vysokého bodu varu tohoto typu esterů zůstává v oleji i při vysokých teplotách. Dílčí závěry jsou uvedeny v každé skupině hodnocených vzorků.

Pro identifikaci MEŘO v motorové naftě je vhodný pík 1745  $\text{cm}^{-1}$ . Přítomnost resp. nepřítomnost MEŘO je metodou FTIR spektrometrie jednoznačně prokazatelná.

Výsledky této bakalářské práce prokázaly, že obě použité metody, tj. FTIR spektrometrie a stanovení bodu vzplanutí, mohou přispět k rozšíření možností tribotechnické diagnostiky

v oblasti hodnocení provozního opotřebení motorových olejů pro dopravní prostředky, zejména ve vztahu k hodnocení vlivu zbytkového MEŘO.

## Použité informační zdroje

- [1] TŘEBICKÝ, V. Paliva a biopaliva – možnosti a rizika. Sborník mezinárodní konference Reotrib 2012. Velké Losiny 23. –25. 5. 2012, str. 15 – 17, ISBN 978-80-7080-812-2.
- [2] TŘEBICKÝ, V. Využití biopaliv v praxi. *Sborník mezinárodní konference Reotrib 2007*. Velké Losiny 30. 5. – 1. 6. 2007, str. 11 – 17, ISBN 978-80-7080-011-9.
- [3] HÁJEK, Martin. *Biosložky v motorových palivech*. Pardubice, 2011. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice. VLK, František. *Paliva a maziva motorových vozidel*. 1. vyd. Brno, 2006, 376 s. ISBN 80-239-6461-5.
- [4] *Biomasa, biopaliva, bioplyn, pelety, kompostování a jejich využití*. [online]. [cit.2012-05-02]. Dostupné z <<http://www.biom.cz/cz/-obnovitelne-zdroje-energie>>.
- [5] TŘEBICKÝ, V. Paliva s vysokým obsahem biosložky. Sborník mezinárodní konference Reotrib 2010. Velké Losiny 26. 5. – 28. 5. 2010, str. 24 – 26, ISBN 978-80-7080-748-.
- [6] indikativní cíle <<http://www.petroleum.cz/odborne-clanky-konference.aspx?pid=9>>.
- [7] TŘEBICKÝ, V. Paliva pro moderní motory. *Sborník mezinárodní konference Reotrib 2011*. Velké Losiny 25. 5. – 27. 5. 2011, str. 13 – 15, ISBN 978-80-7080-776-7.
- [8] TŘEBICKÝ, V. Paliva s vysokým obsahem biosložky. *Sborník mezinárodní konference Reotrib 2010*. Velké Losiny 26. 5. –28. 5. 2008, str. 24 - 25, ISBN 978-80-7080-748-4.
- [9] VLK, František. *Paliva a maziva motorových vozidel*. 1. vyd. Brno, 2006, 376 s. ISBN 80-239-6461-5.
- [10] KIZLINK, Juraj: Biopaliva pro motorová vozidla: produkce, cena, legislativa. Biom.cz [online]. 2009-06-22 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biopaliva-pro-motorova-vozidla-produkce-cena-legislativa>>. ISSN: 1801-2655.
- [11] Sbíрка zákonů. Sagit [online]. 01-06-2010 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <<http://www.sagit.cz/pages/sbirkatxt.asp?zdroj=sb10172&cd=76&typ=r>>.
- [12] BÍNA, Zdeněk. *Ověření limitace provozních kapalin používaných v automobilech značky Volvo*. Pardubice, 2011. Diplomová práce. Univerzita Pardubice.

- [13] JORÍKOVÁ, Ľudmila, CHOVANCOVÁ Iveta. Hodnotenie vlastnosti rastlinného oleja ako paliva pre dieselové motory. Sborník Velké Losiny: mezinárodní konference Reotrib 2009, 27. - 29. 2009, str. 33 – 38.
- [14] STRAKA, Bedřich. Motorové oleje a tribotechnická diagnostika naftových motorů. Praha : Nakladatelství dopravy a spojů, 1986. 248 s.
- [15] PEŠEK, M. Snižování tření a opotřebení u spalovacích motorů. 2007, 11 s. Dostupné z: [http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz\\_soubor.php?id=525](http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=525)[cit. 2012-05-22].
- [16] ČERNÝ, J. Provozní vliv bionafty na motorové oleje motory. *Sborník mezinárodní konference Reotrib 2008*. Velké Losiny 28. 5. –30. 5. 2008, str. 73 - 78, ISBN 978-80-7080-679-1.
- [17] STODOLA, Jiří a MACHALÍKOVÁ, Jaroslava. *Spolehlivost a diagnostika BSV*. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2006, 132 s. ISBN 80-723-1167-0.
- [18] STODOLA, J. Diagnostika motorových vozidel. Sylaby k přednáškám. Brno: VUT, 2003.
- [19] BAŽANT, L. Diplomová práce – Aplikace vybraných experimentálních metod při optimalizaci výměnných lhůt maziv pro dopravní prostředky, Univerzita Pardubice 2009.
- [20] MATĚJKA, M. Infračervená spektrometrie. [online].[cit. 6. května 2012]. Dostupné na WWW: <<http://www.kubusz.net/anala/matejka-prednasky/ach08ir.pdf>>.
- [21] HÁJEK, M. Bakalářská práce – Biosložky v motorových palivech, Univerzita Pardubice 2011.

## Seznam obrázků

Obr. 1 Destilační rozmezí nafty a těkavost [16].....	14
Obr. 2 Přístroj pro stanovení bodu vzplanutí v otevřeném kelímku.....	20
Obr. 3 Princip FTIR spektrometru [20].....	23
Obr. 4 Typické pásy v FTIR spektru motorového oleje [19]. ....	24
Obr. 5 Schéma metody zeslabené totální reflektance [19] .....	25
Obr. 6 Digitální teploměr TESTO 735 .....	27
Obr. 7 FTIR spektrometr Nicolet iS10 .....	28
Obr. 8 Srovnání motorových olejů .....	29
Obr. 9 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 (celý měřený rozsah) .....	30
Obr. 10 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 (detail spektra v oblasti 1800 až 700 $\text{cm}^{-1}$ ) .....	31
Obr. 11 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 (detail spektra v oblasti 1780 až 1640 $\text{cm}^{-1}$ ) .....	31
Obr. 12 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 (detail spektra v oblasti 1800 až 1600 $\text{cm}^{-1}$ ) .....	31
Obr. 13 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 5 % <sub>obj.</sub> nafty bez MEŘO (celý měřený rozsah) .....	32
Obr. 14 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 5 % <sub>obj.</sub> nafty bez MEŘO (detail spektra v oblasti 1600 až 800 $\text{cm}^{-1}$ ).....	32
Obr. 15 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 5 % <sub>obj.</sub> nafty bez MEŘO (detail spektra v oblasti 1200 až 960 $\text{cm}^{-1}$ ).....	33
Obr. 16 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 5 % <sub>obj.</sub> nafty bez MEŘO (detail spektra v oblasti 800 až 700 $\text{cm}^{-1}$ ).....	33
Obr. 17 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 10 % <sub>obj.</sub> nafty bez MEŘO (celý měřený rozsah) .....	34
Obr. 18 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 10 % <sub>obj.</sub> nafty bez MEŘO (detail spektra v oblasti 1800 až 800 $\text{cm}^{-1}$ ).....	34
Obr. 19 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 10 % <sub>obj.</sub> nafty bez MEŘO (detail spektra v oblasti 1200 až 700 $\text{cm}^{-1}$ ).....	35



Obr. 20 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 10 % <sub>obj.</sub> nafty bez MEŘO (detail spektra v oblasti 1200 až 950 cm <sup>-1</sup> ).....	35
Obr. 21 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 10 % <sub>obj.</sub> nafty bez MEŘO (detail spektra v oblasti 1200 až 950 cm <sup>-1</sup> ).....	35
Obr. 22 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 10 % <sub>obj.</sub> nafty bez MEŘO (detail spektra v oblasti 790 až 720 cm <sup>-1</sup> ).....	36
Obr. 23 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 10 % <sub>obj.</sub> nafty bez MEŘO (detail spektra v oblasti 1200 až 700 cm <sup>-1</sup> ).....	36
Obr. 24 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 20 % <sub>obj.</sub> nafty bez MEŘO (celý měřený rozsah) .....	37
Obr. 25 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 20 % <sub>obj.</sub> nafty bez MEŘO (detail spektra v oblasti 1200 až 700 cm <sup>-1</sup> ).....	37
Obr. 26 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 20 % <sub>obj.</sub> nafty bez MEŘO (detail spektra v oblasti 1200 až 800 cm <sup>-1</sup> ).....	38
Obr. 27 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 5 % <sub>obj.</sub> nafty s MEŘO (celý měřený rozsah) .....	38
Obr. 28 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 5 % <sub>obj.</sub> nafty s MEŘO (detail spektra v oblasti 1800 až 800 cm <sup>-1</sup> ).....	39
Obr. 29 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 5 % <sub>obj.</sub> nafty s MEŘO (detail spektra v oblasti 1780 až 1660 cm <sup>-1</sup> ).....	39
Obr. 30 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 5 % <sub>obj.</sub> nafty s MEŘO (detail spektra v oblasti 1200 až 800 cm <sup>-1</sup> ).....	40
Obr. 31 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 5 % <sub>obj.</sub> nafty s MEŘO (detail spektra v oblasti 790 až 720 cm <sup>-1</sup> ).....	40
Obr. 32 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 10 % <sub>obj.</sub> nafty s MEŘO (celý měřený rozsah) .....	41
Obr. 33 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 10 % <sub>obj.</sub> nafty s MEŘO (detail spektra v oblasti 1800 až 1660 cm <sup>-1</sup> ).....	41
Obr. 34 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 10 % <sub>obj.</sub> nafty s MEŘO (detail spektra v oblasti 1200 až 800 cm <sup>-1</sup> ).....	42
Obr. 35 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 10 % <sub>obj.</sub> nafty s MEŘO (detail spektra v oblasti 780 až 710 cm <sup>-1</sup> ).....	42
Obr. 36 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 20 % <sub>obj.</sub> nafty s MEŘO (celý měřený rozsah) .....	43

Obr. 37 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 20 %obj. nafty s MEŘO (detail spektra v oblasti 1800 až 800 $\text{cm}^{-1}$ ).....	43
Obr. 38 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 20 %obj. nafty s MEŘO (detail spektra v oblasti 1780 až 1680 $\text{cm}^{-1}$ ).....	44
Obr. 39 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 20 %obj. nafty s MEŘO (detail spektra v oblasti 1200 až 800 $\text{cm}^{-1}$ ).....	44
Obr. 40 Infračervená spektra oleje Panolin Universal 15W 40 s 20 %obj. nafty s MEŘO (detail spektra v oblasti 800 až 720 $\text{cm}^{-1}$ ).....	44
Obr. 41 Infračervená spektra oleje odebrané z nákladních automobilů MAN L90 a MAN TGX (celý měřený rozsah) .....	47
Obr. 42 Infračervená spektra oleje odebrané z nákladních automobilů MAN L90 a MAN TGX (detail spektra v oblasti 1600 až 800 $\text{cm}^{-1}$ ).....	47
Obr. 43 Infračervená spektra oleje odebrané z nákladních automobilů MAN L90 a MAN TGX (detail spektra v oblasti 1060 až 920 $\text{cm}^{-1}$ ).....	48
Obr. 44 Infračervená spektra motorových naft odebrané z čerpacích stanic (celý měřený rozsah) .....	49
Obr. 45 Infračervená spektra motorových naft odebrané z čerpacích stanic (detail spektra v oblasti 1800 až 800 $\text{cm}^{-1}$ ) .....	49
Obr. 46 Infračervená spektra motorových naft odebrané z čerpacích stanic (detail spektra v oblasti 1850 až 1700 $\text{cm}^{-1}$ ) .....	50
Obr. 47 Infračervená spektra motorových naft odebrané z čerpacích stanic (detail spektra v oblasti 780 až 700 $\text{cm}^{-1}$ ).....	50
Obr. 48 Infračervená spektra motorových naft odebrané z čerpacích stanic (detail spektra v oblasti 1300 až 1000 $\text{cm}^{-1}$ ) .....	50

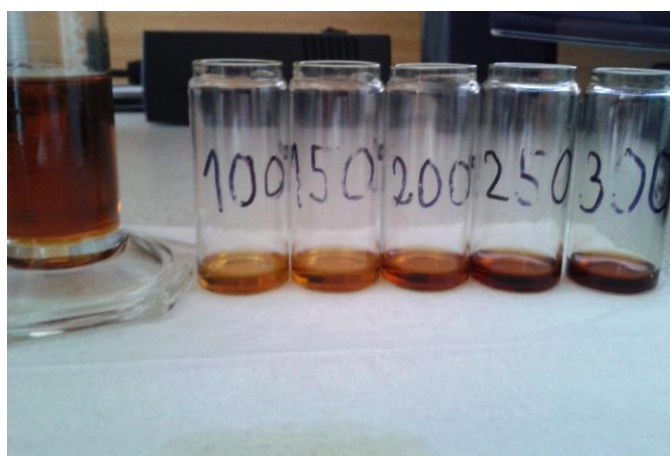
## Seznam tabulek

Tab. 1 Vlnočty charakteristických strukturních skupin [17]. .....	22
Tab. 2 Charakteristiky nákladních automobilů MAN L90 a MAN TGX .....	26
Tab. 3 Teploty vzplanutí vzorků oleje.....	29
Tab. 4 Teploty vzplanutí olejů odebraných z vozidel MAN L90 a MAN TGX .....	29

## Přílohy



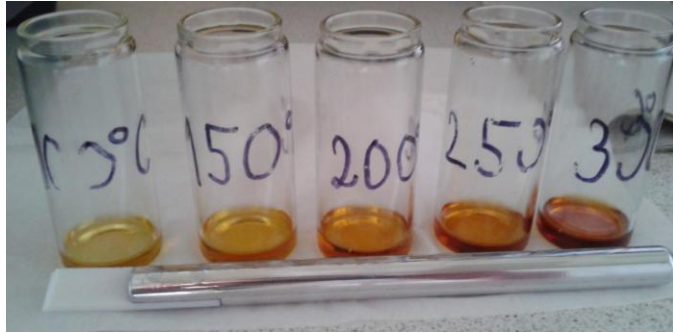
P1 Vzorek oleje při teplotě 240,8 °C



P2 Vzorky olejů s 5 %obj. nafty bez MEŘO



P3 Vzorky olejů s 5 %obj. nafty s MEŘO



P4 Vzorok s 20 %<sub>obj.</sub> nafty s MEĚO