

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

Technická fakulta

# **Analýza upotřebených motorových olejů**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Zdeněk Aleš, Ph.D.

Diplomant: Bc. Jiří Sloup

PRAHA 2012

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra jakosti a spol. strojů

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Sloup Jiří

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

**Analýza upotřebených motorových olejů**

Anglický název

**Analyses of used motor oils**

### Cíle práce

Pomocí vybraných nástrojů tribotechnické diagnostiky analyzovat upotřebené motorové oleje.

### Metodika

Vyhledání, studium a rešerše literatury. Vypracovat metodiku odběru vzorků upotřebených motorových olejů. Provést tribotechnické analýzy odebraných vzorků upotřebených motorových olejů. V závěru práce vyhodnotit výsledky naměřených dat z analýz. Průběžné konzultace s vedoucím práce.

### Osnova práce

1. Úvod
2. Dotazníkové šetření a sběr vzorků upotřebených motorových olejů
3. Analýzy vzorků upotřebených motorových olejů
4. Stanovení korelační závislosti porovnaných metod
5. Závěr

## Rozsah textové části

40 - 60

## Klíčová slova

bod vzplanutí, tribotechnika, motorové oleje

## Doporučené zdroje informací

Buchtela, B.: O současné tribologii. Tribotechnické informace, číslo 1, ročník 2006, TES Praha a.s. & Česká strojnická společnost, Praha 2006, s. 2-3.

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

Marek, V.: Tribotechnická diagnostika. In: Tribotechnika v teorii a praxi III..VIII. Mezinárodní konference, Skalický dvůr 21.-24.4.1997, Sekuron, Praha 1997. s. 49-54.

Nováček, V.: Tribotechnická diagnostika. In: Odborná sekce tribotechnika – kurz: Základy tribotechniky, 31.10.-1.11.2006 Lázně Bohdaneč, Česká strojnická společnost, 2006, s. 60-63.

Třebický, V.: Klasifikace a zkoušení maziv. Český normalizační institut, Praha 2006, 20 s. ISBN 80-7283-222-0.

## Vedoucí práce

Aleš Zdeněk, Ing., Ph.D.

## Termín zadání

listopad 2010

## Termín odevzdání

duben 2012

**prof. Ing. Josef Pošta, CSc.**

Vedoucí katedry



**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan fakulty

V Praze dne 8.2.2011

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma „Analýza upotřebených motorových olejů“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Zdeňka Aleše, Ph.D. a použil výhradně pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury.

**V Praze, dne XX.X.2012**

.....

Bc. Jiří Sloup

## **Poděkování**

Rád bych tímto způsobem poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Zdeňkovi Alešovi, Ph.D., za odborné vedení při zpracování práce, poskytnutí cenných informací a rad.

Dále pak Ing. Vítu Černému, který byl poradcem a konzultantem při analytickém zpracování dat.

**Abstrakt:** Diplomová práce se zabývá analýzou upotřebených motorových olejů. Obsah práce je rozdělen do 5 kapitol (Úvod, Dotazníkové šetření a sběr vzorků upotřebených motorových olejů, Analýza vzorků upotřebených motorových olejů, Stanovení korelační závislosti porovnaných metod a Závěr). První kapitola popisuje problematiku týkající se obecně motorových olejů (rozdělení, klasifikace atd.) a možnosti analyzování upotřebených motorových olejů. V druhé kapitole je popsána problematika a metodika odběru vzorků upotřebených motorových olejů společně s dotazníkovým šetřením. Ve třetí kapitole jsou popsány metodiky vybraných analýz a uvedeny hodnoty naměřených parametrů a vyhodnocení stavu upotřebených motorových olejů. Čtvrtá kapitola je zaměřena na statistické zpracování dat (stanovení korelační závislosti). Poslední kapitola seznamuje s výsledky a z nich vyplývající poznatky.

**Klíčová slova:** upotřebený motorový olej, analýza motorových olejů, znehodnocení motorového oleje

**Abstract:** This thesis deals with the analysis of spent motor oils. The content of this work is divided into 5 chapters (Introduction, Questionnaire survey and collecting samples of spent motor oils, Samples of spent motor oils analysis, Determination of correlation dependence compared methods and Conclusion). The first chapter characterizes issues of motor oils in general (allocation, classification and so on) and the possibility of analyzing the spent motor oils. In the second chapter is depicted problems and methodology of sampling spent motor oils together with questionnaire survey. In the third chapter are described methodologies of selected analysis and there are mentioned the values of measured parameters and evaluation of the state spent motor oils. The fourth chapter is focused on the statistical data processing (determination of correlation dependency). The last chapter introduces the results and information arising from them.

**Keywords:** spent motor oil, analysis of motor oils, degradation of motor oil

## **OBSAH:**

<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1 Motorové oleje .....	2
1.1.1 Druhy motorových olejů .....	3
1.1.2 Aditiva.....	4
1.1.3 Produkce a vývoj motorových olejů.....	5
1.2 Klasifikace motorových olejů .....	6
1.2.1 Viskozitní klasifikace.....	6
1.2.2 Výkonnostní klasifikace.....	7
1.3 Znehodnocení motorového oleje .....	9
1.3.1 Znečištění motorového oleje .....	9
1.3.2 Vliv teploty na motorové oleje .....	10
1.4 Tribotechnická diagnostika .....	11
1.4.1 Sledované parametry motorových olejů.....	13
1.4.2 Fuell Sniffer – obsah paliva.....	19
1.4.3 Bod vzplanutí – v otevřeném kelímku dle Clevelanda .....	20
1.4.4 Kapková zkouška.....	21
1.4.5 Viskozimetr – měření viskozity.....	22
1.4.6 Ferrografická analýza – obsah otěrových částic.....	23
<b>2 DOTAZNÍKOVÉ ŠETŘENÍ A SBĚR VZORKŮ UPOTŘEBENÝCH MOTOROVÝCH OLEJŮ.....</b>	<b>24</b>
2.1 Odběr vzorku motorového oleje.....	24
2.2 Dotazníkové šetření .....	25
2.3 Vzorkovnice .....	27
2.4 Odběrová místa.....	28
<b>3 ANALÝZA VZORKŮ UPOTŘEBENÝCH MOTOROVÝCH OLEJŮ. 29</b>	<b>29</b>
3.1 Stanovení obsahu paliva – Fuell Sniffer.....	31
3.2 Stanovení bodu vzplanutí - v otevřeném kelímku dle Clevelanda.....	33
3.3 Stanovení obsahu sazí – Kapková zkouška.....	36
3.4 Stanovení viskozity - pomocí viskozimetru. ....	39
3.5 Stanovení obsahu otěrových částic - Ferrografická analýza .....	41
3.6 Celkové zhodnocení stavu upotřebených motorových olejů.....	44

<b>4</b>	<b>STANOVENÍ KORELAČNÍ ZÁVISLOSTI POROVNANÝCH METOD .....</b>	<b>46</b>
4.1	Regrese a korelace .....	46
4.2	Stanovení korelační závislosti .....	47
4.2.1	<i>Obsah paliva a bod vzplanutí .....</i>	<i>49</i>
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>52</b>
<b>6</b>	<b>LITERATURA.....</b>	<b>54</b>



# 1 ÚVOD

Automobilový průmysl je jedním z nejrychleji rozvíjejícím se průmyslem světa. Během relativně krátké doby prošel celou řadou změn a jsou na něj kladeny vysoké požadavky jak ekonomické, technické, tak především ekologické. Prioritou dnešní doby je produkce automobilů šetrnějších k životnímu prostředí.

Jedním z mnoha faktorů ovlivňujících dopad provozu automobilů na životní prostředí je bezesporu motorový olej. Nároky a trendy dnešní doby, ovlivňující vývoj motorových olejů, jsou především v prodlužování výměnných intervalů, snižování spotřeby paliva, snižování objemu olejových náplní (vyšší zátěž motorového oleje) a kompatibilita se systémy upravujícími čistotu výfukových plynů.

Motorové oleje jsou velice kvalitní produkty, které prošly dlouhým a nákladným vývojem. I přes své vysoké parametry není motorový olej schopen odolávat vlivům degradace, a dochází ke ztrátě funkčních vlastností. Je tedy nezbytné, aby docházelo k výměně znehodnoceného motorového oleje. Podstatným problémem se však stává stanovení okamžiku, kdy by k výměně mělo dojít. Výrobci automobilů stanovují intervaly výměn, které by měly zaručit dostatečnou únosnost motorového. Tyto limitní hodnoty jsou dosti obecné a nevystihují optimálně znehodnocení motorového oleje. Na degradaci, ztrátě schopností motorového oleje plnit zcela své funkce se podílí celá řada faktorů. Jak tedy objektivně stanovit okamžik výměny motorového oleje?

Optimální dobu výměny motorového oleje lze stanovit na základě tribotechnické diagnostiky, pomocí které jsme schopni určit stav motorového oleje, a tím rozhodnout o výměně. Další využití tribotechnické diagnostiky je diagnostikování technického stavu motoru bez nutnosti demontáže. Rozhodujícím kritériem pro využití této diagnostiky je především cena, která je u většiny analýz dosti vysoká. Z tohoto důvodu se s tímto druhem diagnostiky příliš často neseťkáváme u osobních automobilů, u kterých by využití nebylo ekonomické.

Využití najdeme především u velkoobjemových rozměrných motorů, pracujících s velkým objemem motorového oleje, u kterých náklady na výměnu motorového oleje několikanásobně přesahují náklady na provedení analýzy. Svě uplatnění našla také v oborech, kde si nemůžeme dovolit poruchu stroje.

## 1.1 Motorové oleje

Motorové oleje jsou tekuté organické sloučeniny mastné povahy. Jsou specificky lehčí než voda, ve vodě nerozpustné, ale rozpustné v éteru, benzínu a jiných organických rozpouštědlech. Podle původu se oleje obecně dělí na rostlinné, živočišné, minerální a syntetické. [1]

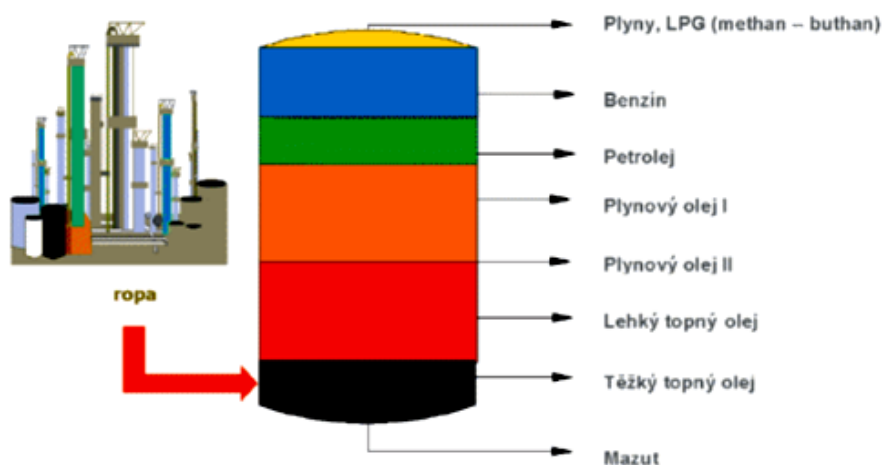
Motorové oleje jsou velmi složitým olejářským výrobkem, a to především z rozdílnosti a protichůdností požadavků, které jsou na ně kladeny. Kvalita motorového oleje je ovlivněna druhem přísad tzv. „aditiv“ či technologií výroby.

Dle technologie výroby se motorové oleje dělí:

- Minerální (ropné) oleje,
- Syntetické oleje,
- Polosyntetické oleje.

[1]

Výchozím produktem všech maziv bez ohledu zda se jedná o maziva na minerální či syntetické bázi je ropa. Ropa se ihned po vytěžení zbaví mechanických nečistot, vody a soli. Takto ošetřená ropa je dopravena do rafinérií, kde se přehřeje a vede do atmosférické destilační kolony, kde dojde k rozdělení do několika frakcí (Obrázek 1) na základě rozdílných teplot varu, které se využívají především na výrobu paliv. [2]



Obrázek 1 - Atmosférická destilace [2]

### 1.1.1 Druhy motorových olejů

#### Minerální základové oleje

Minerální oleje, někdy označované též jako ropné oleje, jsou v podstatě směsí vysokovroucích uhlovodíků a získávaných převážně z ropy (popř. živičné břidlice, hnědouhelného či černouhelného dehtu apod.). [1]

Výroba minerálního oleje pokračuje vakuovou destilací zbytku z destilace atmosférické mazutu. Důvodem využití vakuové destilace je snížení bodu varu. Díky tomu nedochází k velkému tepelnému namáhání a ke štěpení molekul. Pro výrobu základových olejů se používají olejové destiláty I – III. Ty je nejprve potřeba zbavit nežádoucích polárních sloučenin rozpouštědlovou extrakcí (způsobovaly by rychlé stárnutí oleje). Dále musí dojít k odparafinování tj. odfiltrování pevných parafinů. Po konečném dočišťovacím procesu tzv. „Hydrofinishing“ získáváme minerální základové oleje. [1,2]

#### Syntetické základové oleje

Syntetické oleje se vyrábějí chemickou cestou, vazbou speciálních uhlovodíkových molekul v průběhu několikastupňového procesu. Lze tak vyrobit produkt libovolné molekulární struktury a délky řetězce s vynikajícími a trvale rovnoměrnými a stálými vlastnostmi. Obecně nabízejí lepší mechanické a chemické vlastnosti než tradiční minerální oleje. [2]

Výroba syntetických olejů je velmi náročná, avšak má výhodu v tom, že umožňuje ovlivnit složení oleje. Syntetické oleje obsahují jen ty složky, které jsou nutné a vhodné. V porovnání s minerálními oleji neobsahují složky, které jsou nežádoucími a nelze je odstranit klasickým způsobem.

Tabulka 1 – Výhody syntetických základových olejů [2]

Vlastnosti	Účinky
vyšší únosnost mazacího filmu	lepší ochrana proti otěru
neobsahují nestabilní komponenty	vyšší oxidační a tepelná stabilita
vyšší viskozitní index	zlepšená stříhová vlastnost
nízká těkavost a nízké ztráty odpařením	snížená spotřeba paliva
velmi dobré teplotní vlastnosti	lepší studené starty
nižší viskozita - nižší spotřeba pohonných hmot	výrazné snížení tření
vysoká tepelná odolnost - méně nečistot	čistější motor

## Polosyntetické oleje

Jedná se o minerální oleje se syntetickými komponenty. Vyrábějí se tak, že se v jistém procentu přidávají do minerálního oleje syntetické složky. Zpravidla bývají syntetické komponenty zastoupeny v minerálním oleji měrou větší než polovina. V opačném případě by obsah syntetické složky neměl být menší nežli 20%. Velmi kvalitní polysyntetické oleje obsahují až 65% syntetického oleje. Polosyntetické oleje jsou kompromisem mezi oleji minerálními a syntetickými. Nejsou tak kvalitní jako oleje syntetické, avšak mají delší životnost oproti olejům minerálním. Jejich cena a výkonnostní parametry se odvíjí od obsahu syntetických složek. [1]

### 1.1.2 Aditiva

Aditiva jsou chemické látky, jež se přidávají do motorového oleje, aby vylepšily jeho funkční a provozní vlastnosti. Bez těchto vylepšujících přísad by motorový olej nebyl schopen plnit vysoké nároky, které jsou na něj kladeny. Obsah aditiv v motorových olejích se pohybuje mezi 1 až 30% objemu a rozhodujícím faktorem je především cena. Jde v podstatě o vylepšení nedostatků základních olejů. [1, 3]

Druhy základních aditiv:

- **detergenty a disperzanty** – jedná se o tzv. DD přísady. Omezující tvorbu úsad v motorovém oleji na kovových částech motoru (detergentní funkce) v rozptylování korozivních studených kalů (dispergační funkce) a neutralizují kyselé složky,
- **antioxidanty (přísady proti oxidaci)** – tyto aditiva omezují vznik nežádoucích látek, zpomalují stárnutí a zajišťují oxidační stabilitu motorového oleje,
- **inhibitory koroze** – chrání kovové součástky, které jsou v kontaktu s motorovým olejem před vznikem koroze,
- **přísady proti pění** – zamezují tvorbu stabilní pěny na povrchu motorového oleje,
- **modifikátory tření** – vytvářejí na kovových površích ochrannou vrstvu na základě fyzikálních sil, čímž dochází ke snížení tření,
- **zlepšovače bodu tuhnutí (depresanty)** - vytváření ochranný obal na povrchu parafinů (minerální oleje), který zamezuje vzájemnému shlukování a motorový olej si zachová tekutost,

- **modifikátory viskozity** – rozšiřují rozsah viskozity motorového oleje a snižují tím závislost viskozity na teplotě,
- **aditiva proti opotřebením** - poskytují účinnou ochranu povrchu třecích ploch zvýšením odolnosti mazacího filmu proti roztrhnutí při vysokých tlacích,
- **chránič elastomery** – jsou do motorových olejů přidávány z důvodu ochrany gumových částí, které přichází do styku s motorovým olejem.

[1, 4]

### 1.1.3 Produkce a vývoj motorových olejů

Vývoj a produkce motorových olejů souvisejí úzce s vývojem a produkcí automobilového průmyslu. S počtem vyrobených a provozovaných automobilů však koresponduje množství vyrobených motorových olejů pouze částečně. Vzhledem k prodlužujícím se výměnným intervalům a tendencí k menším olejovým náplním nesleduje množství motorových olejů počet provozovaných automobilů, ale stagnuje nebo dokonce klesá. [5]

Tlak ze strany státních orgánů, ekologických organizací a v neposlední řadě konečných spotřebitelů vedou výrobce automobilů ke stálému snižování spotřeby pohonných hmot. Snižováním spotřeby pohonných hmot přímo docílíme snížení produkce škodlivých emisí, tím pádem se provoz stává ekonomičtější.

Výsledkem snažení státních orgánů jsou dokumenty předepisující normy, kterým se výrobci automobilů musejí přizpůsobit při návrhu a samotné výrobě nových motorů. Tyto normy vedou, nebo by alespoň měly vést ke snížení spotřeby pohonných hmot. S tímto faktem však souvisejí i nové požadavky na výrobce motorových olejů, kteří by měli vyvíjet takové motorové oleje, které ke snížení spotřeby pohonných hmot budou významně přispívat. Z tohoto důvodu se dnes setkáváme s motorovými oleji s nižšími viskozitními třídami (SAE 5W30, 0W30), zavádění nových kategorií ACEA (A5/B5) či novými limity HTHS viskozity (A1-02). [5]

Včetně požadavků souvisejících se spotřebou pohonných hmot, jsou na motorové oleje kladeny ze strany výrobců automobilů další nároky, takové, aby motorové oleje byly schopny splňovat požadavky nových moderních motorů. Mezi takové požadavky patří např.:

- vlastnosti motorových olejů vedoucí k nižší spotřebě motorových olejů,
- dlouhé intervaly výměny motorových olejů,

- používání motorových olejů schválených výrobcí,
- vyšší namáhání motorových olejů dané menšími olejovými náplněmi,
- přizpůsobení aktivace motorových olejů nároků na účinnost a životnost katalytických systémů úpravy výfukových plynů.

[5]

## 1.2 Klasifikace motorových olejů

S rychlým nástupem automobilového průmyslu v druhé polovině minulého století jsou nároky kladené na motorové oleje stále přísnější. Aby bylo možno sjednotit požadavky na vlastnosti motorových olejů, vznikly klasifikační systémy.

Cílem vytvoření klasifikačního systému bylo stanovení pravidel, které by zhodnotily užití vlastností motorových olejů, stanovily by oblast jejich aplikace a porovnaly výrobky jednotlivých výrobců.

### 1.2.1 Viskozitní klasifikace

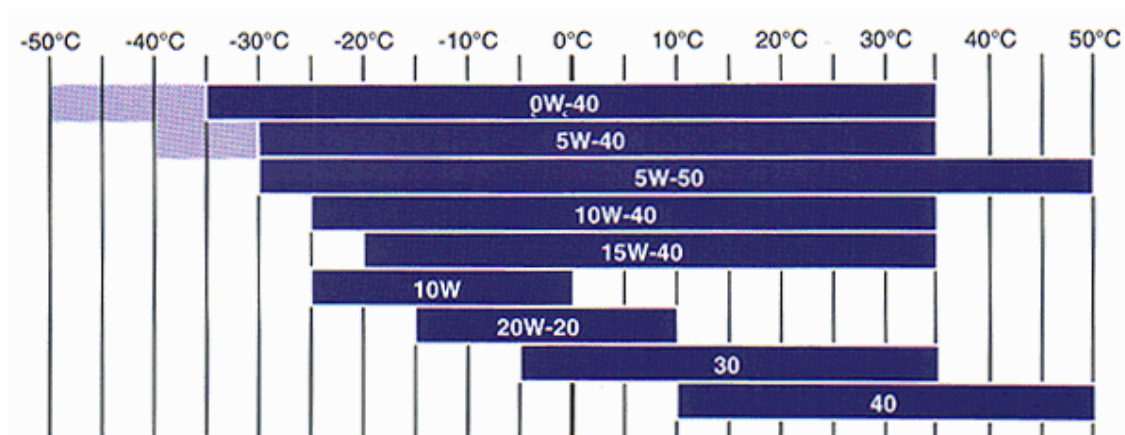
Viskozitní klasifikace charakterizuje vlastnosti motorového oleje v závislosti na měnící se teplotě. Základním ukazatelem viskozitní klasifikace je viskozitní index.

**Viskozitní index** (bezrozměrná veličina) – udává změnu viskozity v závislosti na měnící se teplotě. Motorové oleje s vyšším viskozitním indexem mají lepší průběh viskozitně teplotní závislosti, a naopak motorové oleje s nižším viskozitním indexem mají tento průběh horší. [6]

Norma je rozdělena do 5 letních tříd, které se značí pouze číslem (20, 30, 40, 50, 60) a 6 zimních tříd značených číslem a písmenem W (0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W). Rozdělení provedla instituce SAE (Společnost amerických inženýrů). [6]

Dříve se výhradně používaly motorové oleje tzv. „jednostupňovité“ (sezónní), které se vyznačovaly minimální odlišností provozní teploty motoru a teploty tzv. „studeného startu“. Dnes se již těchto motorových olejů téměř nevyužívá a byly nahrazeny motorovými oleji tzv. „vícestupňovými“ (celoročními). Jedná se o motorové oleje se širokým rozsahem teplotního použití (Obrázek 2). Značení se provádí kombinací zimní a letní třídy např.: 5W-40, 10W-40 a 15W-40. První dvojice čísla a písmenka W nám určuje zimní třídu

(hodnota dynamická viskozita při -18 °C) a zbylé číslo nám určuje letní třídu (hodnota kinematické viskozity při 100 °C). [6, 7]



Obrázek 2 - Teplotní rozsahy motorových olejů dle značení SAE [6]

### 1.2.2 Výkonnostní klasifikace

Viskozitní klasifikace necharakterizuje dostatečně požadavky na motorové oleje. Z tohoto důvodu byly zavedeny mechanické a motorické testy (výkonnostní klasifikace), pomocí kterých je možné testovat požadavky na výkon a kvalitu motorových olejů v podmínkách blížících se praktickému využití.

Výkonnostní klasifikace určuje jaké maximální zatížení je motorový olej schopen snést, aniž by výrazným způsobem došlo ke zhoršení jeho funkce. Vyhodnocují se vlastnosti jako např.: odpornost, oxidační stabilita, ochrana proti opotřebení, nebo ochrana proti korozi. [8,9]

Výkonnostní klasifikace pro motorové oleje:

- klasifikace API,
- klasifikace ACEA,
- klasifikace MIL-L,
- firemní specifikace.

#### Výkonnostní klasifikace API

Jedná se o americkou normu (American Petroleum Institute), která byla založena v 60. letech 20. Století. Třídí motorové oleje dle jejich provozních vlastností a dále přihlíží

k požadavkům na vlastnosti motorového oleje pro určité konstrukce a druhy motoru. Je nevhodná pro moderní evropské zážehové motory, protože její aktualizace zaostává za vývojem. Oproti tomu pro vznětové motory je velmi vhodná. [1]

Značení se provádí pomocí dvou písmen. První z dvojice udává pro jaký typ motoru je olej určen (S – zážehové motory, C – vznětové motory a T – dvoudobé motory). následující písmenko udává nároky kladené na motorový olej. Používají se písmenka v abecedním pořadí. Čím výše je písmenko v abecedě, tím kvalitnější je motorový olej. [1]

### **Výkonnostní klasifikace ACEA**

Jedná se o evropskou normu, která v roce 1991, nahradila normu CCMC. Je vhodnější pro posuzování motorových olejů určených pro evropské automobily (v EU náročnější požadavky na provoz vznětových motorů).

Dle klasifikace ACEA se motorové oleje dělí do tří skupin. Značení se provádí kombinací písmene a čísla. Jako první se v značení uvádí písmeno, které udává, o jaký typ motoru se jedná (A – zážehové motory, B – vznětové motory a E – vysoce výkonné motory). V značení následuje číslo, jež definuje výkonnostní stupeň a v zásadě platí, čím je číslo vyšší, tím je motorový olej kvalitnější. [1]

### **Výkonnostní klasifikace MIL-L**

Jedná se o americkou normu určenou pro použití v armádě USA. Motorové oleje označené pouze touto normou by neměly být používány v moderních evropských automobilech. V dnešní době tyto normy, jako jedna z mála firem, využívá firma Caterpillar.

### **Výkonnostní klasifikace firemní**

Požadavky kladené na motorové oleje často převyšují předešlé klasifikace. Z tohoto důvodu si mnozí výrobci automobilů stanovují své firemní klasifikace, pomocí kterých upřesňují požadavky na motorové oleje (zároveň bývají podmínkou záruční garance). Mezi takové výrobce patří např.: Volkswagen, BMW, Mercedes Benz atd.



## 1.3 Znehodnocení motorového oleje

Ke znehodnocování kvality motorového oleje dochází během provozu i v době nečinnosti. Vliv na kvalitu motorového oleje má celá řada faktorů. Jedná se například o mechanické nečistoty, vysoké teploty, průnik paliva atd. Dojde-li vlivem těchto faktorů k překročení mezních hodnot stanovených parametrů motorových olejů, stává se motorový olej nevyhovujícím a mělo by dojít k jeho výměně.

### 1.3.1 Znečištění motorového oleje

Během provozu dochází k znečišťování motorového oleje, které má velmi škodlivý vliv na opotřebení všech třecích uzlů, a může způsobit i neprůchodnost mazacího systému. Abychom tomuto problému předešli, je za potřeby motorový olej neustále zbavovat všech tuhých nečistot filtrací, kapalných nečistot odpařením, kyselých látek neutralizací a zajistit prevenci filtrací (nasávaného vzduchu a paliva). [10]

Pod pojmem nečistoty si můžeme představit jednak mechanické nečistoty (prach, saze, otěr) a jednak produkty chemické degradace. Základní rozdělení je na tvrdé (kov, prach, ostatní částice a brusivo) a měkké (oxidační produkty motorových olejů a aditiv). [10]

Druhy nečistot:

- **nečistoty a prach z atmosféry** – zdrojem těchto nečistot je nasávaný vzduch, který není absolutně čistý, který mimo jiné obsahuje prachové částice,
- **nečistoty a prach z paliva** – zdrojem je palivo, které obsahuje prachové částice a různá vlákna z filtrů (jimiž palivo prochází během výroby až do distribuce),
- **otěrové částice kovů** – vznikají při tření dvou kovových povrchů i při kvalitním mazání a normální úrovni tření. Společně s dalšími mechanickými částicemi zvyšují opotřebení,
- **karbon** – tvrdý olejový či měkký palivový, vzniká jako zbytek ze spáleného motorového oleje, nebo paliva,
- **saze** – zbytky z nedokonale spáleného paliva,
- **zbytky paliva** – uhlovodíky (ev. Alkoholy) a produkty jejich částečné chemické přeměny,
- **látky kyselého povahy** – mezi které patří především  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  a  $\text{NO}_x$ ,

- **voda** – zdrojem je kondenzace vodní páry ze spalin profukujících do klikové skříně, dýchání odstaveného motoru při změnách okolních teplot netěsnostmi,
- **glykoly** – zdrojem je nemrznoucí chladicí kapalina pronikající netěsnostmi do olejové náplně.

[10, 11]

### 1.3.2 Vliv teploty na motorové oleje

Motorové oleje jsou během provozu vystavovány především vysokým teplotám při přetížení a nízkým teplotám při tzv. „*studeném startu*“. V případě nízkých teplot jsou časy krátké, trvají pouze do okamžiku, kdy dojde k zahřátí olejové náplně motoru. Vysokým teplotám je motorový olej vystavován při nejvyšším zatížení, krátkodobě i po zastavení plně zatíženého motoru.

Motorový olej dosahuje velmi vysokých teplot v místech:

- v první pístní drážce a na koruně pístu,
- na vnitřním povrchu dna pístu,
- na talířcích ventilu,
- v ložiskách turbodmychadla.

[10]

Všechny mazací oleje reagují s kyslíkem při normálních teplotách velmi pomalu, ale při zvyšujících se teplotách rychlost reakcí rapidně roste (při zvýšení teploty o 10 °C se zvýší reakční rychlost asi na dvojnásobek).

Nevýhody vzniklé při vysokých teplotách jsou např.:

- zvýšení oxidace,
- hydrolýza,
- tvorba karbon,
- degradace aditiv,
- zvýšení koroze,
- odpařování motorového oleje.

[10]

Oproti tomu vysoká teplota s sebou nese i výhody, které se projeví jako:

- nižší sklon k pění,
- odpařování paliva a vody,
- lepší čištění motoru od mechanických nečistot. [10]

Z těchto důvodů je třeba, aby velmi tepelně exponovaná místa motoru, především horní část pístu (první pístní drážka) a ložisko turbodmychadla, byla i při plném zatížení udržována chlazením na teplotách nepřekračujících tepelnou odolnost motorového oleje. Kritický režim pro motorový olej nastává těsně po zastavení motoru před tím pracujícím na plný výkon a též po startu studeného motoru, kdy má motorový olej relativně velkou viskozitu. [10]

#### **1.4 Tribotechnická diagnostika**

Intenzivní výzkum tření a opotřebení se rozvíjí v druhé polovině dvacátého století. Vzniká interdisciplinární nauka o vzájemném působení povrchů při jejich vzájemném pohybu, která je nazývána tribologií. [12]

**Tribologie** je vědní obor, jenž se zabývá chováním dotýkajících se povrchů ve vzájemném pohybu nebo při pokusu o vzájemný pohyb. Tento pohyb může být obecně kluzný, valivý, nárazový nebo kmitavý. Ve skutečnosti se často uplatňují dva i více druhů pohybu současně. [13]

Mezi oblastmi základního výzkumu, jako jsou tribochemie, tribofyzika a další nauky, je velmi důležitý obor tribotechnika.

**Tribotechnika** je zaměřena na přípravu podkladů pro konstrukci, výrobu, montáž, provoz a údržbu třecích uzlů. Jedná o praktickou aplikaci tribologických poznatků. Tribotechnika je nejvíce propracovanou oblastí tribologie s nejdélší dobou využívání. [12]

Znalost tribologických principů je využívána při technické diagnostice. Projevy a účinky tření jsou snímány a registrovány a slouží ke sledování technického stavu zařízení. Tento způsob diagnostikování strojního zařízení nazýváme tribotechnickou diagnostikou.

**Tribotechnická diagnostika** je jednou z metod bez demontážní 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 oznamovat výskyt cizích látek v mazivu, a to jak z hlediska kvantitativního, tak i kvalitativního. Vhodná interpretace výsledků z provedených analýz umožňuje nejen včasné upozornit na příznaky vznikající poruchy, ale v řadě případů umožní i lokalizaci místa vzniku mechanické závady. Nedílnou složkou sledování maziv pro účely tribotechnické diagnostiky je i sledování projevů a následků procesu degradace maziv v průběhu jejich provozního nasazení. Oba uvedené cíle spolu úzce souvisejí a nemohou být proto posuzovány odděleně. [14]

Využití tribotechnické diagnostiky k analyzování upotřebených motorových olejů za účelem sledování stavu motorů jsou důležitým nástrojem proaktivní údržby. Využívají se především u cenných a rozměrných motorů, u kterých se nákladné analýzy vyplatí. S tímto typem nedestruktivní diagnostiky se setkáváme ve všech odvětví průmyslu. Stal se nepostradatelným nástrojem k odhalování a především předcházení poruch. Monitorování stavu motorového oleje nám přináší informace o stavu zařízení a opotřebení oleje. [15]

V praxi se setkáváme s celou řadou analýz, které se od sebe liší cenou, rychlostí a rozsahem vyhodnocení. Rozhodujícím faktorem ovlivňující výběr jsou především požadované parametry, rychlost a v neposlední řadě cena. Ve většině případů se jedná o dosti nákladné analýzy, které se využívají u rozměrných motorů.

Pro stanovení stavu motorového oleje, nebo stavu motoru bylo vypracováno mnoho metod s různým stupněm použitelnosti. V praxi se setkáváme se standardními zkouškami pro stanovení kvality motorového oleje či speciálními metodami, které slouží k celkové diagnostice upotřebeného motorového oleje a motoru. Vedle těchto rozsáhlých a nákladných metod se ke kontrole upotřebeného motorového oleje využívají i jednoduché metody, sloužící pouze k orientačnímu stanovení stavu upotřebeného motorového oleje. [14]

Jak již bylo řečeno k dispozici je celá řada analýz, mezi které patří např.: Infračervená spektrometrie (FTIR), Emisní spektrometrie s indukci vázaným plazmatem (ICP), Ferrografická analýza, LaserNet Fines (LNF), Atomová emisní spektrometrie (AES), Atomová absorpční spektrometrie (AAS), Conradsonův karbonizační zbytek (CCT), Prskací zkouška, Destilační metoda, Titrace dle Karla Fischera, Azeotropická destilace s benzínem a

toulenem, Stanovení bodu vzplanutí, Měření viskozity, Plynová chromatografie, Fuell Sniffer, Kapková zkouška atd.

V rámci diplomové práce bude popsáno 5 analýz, dle kterých se v praktické části budou analyzovat jednotlivé vzorky upotřebených motorových olejů.

Jedná se o tyto analýzy:

- Fuell Sniffer – obsah paliva,
- stanovení bodu vzplanutí v otevřeném kelímku dle Clevelanda
- kapková zkouška – obsah sazí,
- stanovení viskozity – viskozimetrem,
- ferrografická analýza – celkový počet otěrových částic.

#### **1.4.1 Sledované parametry motorových olejů**

Aby byl motorový olej schopen plnit své funkce, musí být jeho parametry v daných tolerančních mezích. Dojde-li k překročení mezních hodnot, stává se motorový olej nevyhovujícím a zároveň nebezpečným pro správný a bezkolizní chod motoru.

Motorový olej má za úkol zajistit dostatečnou únosnost mazacího filmu, snižovat tření a opotřebení styčných ploch, neutralizovat kyselé produkty, odvádět teplo, být kompatibilní s materiály těsnění, mít dostatečnou viskozitu v celém rozsahu pracovních teplot, chránit motor proti korozi, mít malou odparnost a termooxidační stálost, udržovat motor čistý a snižovat spotřebu paliva. [16]

##### **▪ Viskozita**

Viskozita je vlastnost kapaliny klást odpor proti své deformaci, neboli odpor, kterým tekutina působí proti silám snažícím se posunout její nejmenší částice. Projevuje se tečným napětím, kterým se rychlejší vrstva snaží urychlovat pomalejší vrstvu a naopak. Viskozita je mírou vazkosti motorového oleje. Rozlišujeme viskozitu kinematickou a dynamickou. [1, 8]

Kinematická viskozita je definována jako poměr dynamické viskozity a hustoty kapaliny, jednotka  $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . Dynamická viskozita představuje vztah míry tření proudící kapaliny při rychlosti  $1 \text{ s}^{-1}$ , jednotka Pa.s. [1]

Viskozita je tedy jednou z nejdůležitějších vlastností, která ovlivňuje tokové vlastnosti látek. Určuje režim mazání, tvorbu a únosnost mazacího filmu, velikost odporu pohyblivých částí, těsnicí schopnost a čerpatelnost. Motorové oleje s nižší viskozitou jsou tekutější a naopak. [1, 8]

Během provozu motoru dochází ke změně viskozity v závislosti na změnách teploty, tlaku a rychlosti. Je nezbytné, aby se hodnoty viskozity měnily co nejméně. S rostoucí teplotou a tlakem dochází ke snižování viskozity a se zvyšující rychlostí ke zvyšování viskozity. Z tohoto faktu vyplývá pravidlo, že čím vyšší pracovní teplota motoru, tím vyšší by měla být viskozita použitého motorového oleje, obdobně pro zatížení. Oproti tomu čím vyšší pracovní rychlosti motoru, tím nižší by měla být hodnota viskozity motorového oleje. [6]

- **HTHS viskozita**

Jedná se o tzv. vysokoteplotní HTHS viskozitu (High Temperature High Shear), která není příliš často uváděnou vlastností motorového oleje. Jde o jeden z konstrukčních prvků motoru, který je součástí všech výkonových specifikací. Je významným parametrem podílejícím se na spotřebě paliva. [17]

HTHS viskozita je dynamická viskozita měřená při vysoké teplotě 150 °C a velkém smykovém spádu  $10^6 \text{ s}^{-1}$ . Čím vyšší hodnotu HTHS viskozity motorové oleje mají, tím jsou schopni lépe tvořit silnější (tlustší, ne však ve smyslu pevnější) mazací film. V případě nízké hodnoty HTHS viskozity může dojít k přetržení olejového mazacího filmu mezi styčnými plochami a tím k porušení mazání. Motorové oleje s nižší hodnotou HTHS viskozity mají vyšší spotřebu motorového oleje, avšak nižší spotřebu paliva. Z tohoto důvodu se stále častěji tyto motorové oleje začínají využívat. [17]

- **Teplota vzplanutí**

Teplota vzplanutí neboli bod vzplanutí je nejnižší teplota, při které vzorek oleje za definovaných podmínek vyvine tolik par, že tyto páry při přiblížení zkušebního plamínku vzplanou a zhasnou. Teplota vzplanutí se vyjadřuje v °C. [18]

Zjištění bodu vzplanutí provádíme za účelem stanovení obsahu paliva proniklého do motorového oleje. Snižující se hodnoty bodu vzplanutí poukazují na obsah paliva v motorovém oleji.

Obsah paliva v motorovém oleji má zejména vliv na viskozitu, kterou snižuje. Při nárůstu paliva za mezní hranici (cca 5%) dochází k nedostatečné tvorbě mazacího filmu, který nemá požadovanou únosnost. Dochází k porušování celistvosti mazacího filmu a tím i ztráty mazání, což vede k opotřebením motoru. [19]

#### ▪ **Teplota tuhnutí**

Teplota tuhnutí neboli bod tuhnutí je teplota, při které se motorový olej stává tak viskózním, že se přestává pohybovat (cca 1 m<sup>2</sup>/s). Bod tuhnutí se vyjadřuje v °C. Charakterizuje stav motorového oleje při nízkých teplotách. V praxi je nejnižší teplota použitelnosti oleje odlišná od jeho bodu tuhnutí a může být o 10 až 15 °C vyšší. [20]

#### ▪ **Termooxidační stálost**

Termooxidační stálost (oxidační stálost) je vlastnost motorového oleje odolávat stárnutí vlivem působením účinku tepla, kyslíku, světla atd. Negativně se na vliv oxidace motorového oleje podílí také kovový ořez a voda. [21]

Vlivem působením uvedených faktorů se mění fyzikálně-chemické vlastnosti a složení motorového oleje a vznikají nežádoucí látky jako např.: olejový kal, mazlavé a lepkavé látky, látky kyselé povahy. Tyto látky jsou nežádoucí a mohou způsobovat zanášení filtrů, ventilů a rozvaděčů. K potlačení oxidace motorového oleje se používají antioxidanty, které zpomalují oxidační děje. [21]

#### ▪ **Kyselost a alkalita**

Kyselost a alkalita motorových olejů nejsou ve většině případech uváděné parametry, byť jsou dosti důležité. Hodnoty alkalické rezervy či kyselosti nenalezneme v katalogových listech či technické dokumentaci jednotlivých motorových olejů. Jsou to parametr určující odolnost motorového oleje. [22]

**Kyselost** neboli kyselé látky se v základovém oleji nevyskytují, základové oleje jsou vždy neutrální (ani kyselé či alkalické). Avšak určité množství kyselých látek se vyskytuje i v novém motorovém oleji. Tyto látky se do motorových olejů dostávají prostřednictvím aditiv (antioxidanty či mazivostní přísady), nebo během provozu. Během provozu se utváří vlivem spalování paliva či oxidační degradací. [22]

Kyselé látky v motorovém oleji jsou nežádoucí a v krajním případě mohou způsobit i závažnou korozi motoru. Z tohoto důvodu motorové oleje obsahují alkalické sloučeniny, které neutralizují působení kyselých látek. [22]

Alkalická rezerva motorového oleje, jenž se nazývají alkalické látky, se vyjadřuje pomocí hodnoty TBN (Total Base Number) a znamená celkové číslo alkality. Oproti tomu kyselost motorového oleje značíme pomocí hodnoty TAN (Total Acid Number) a vyjadřuje celkové číslo kyselosti. Jednotky hodnot TBN a TAN jsou shodné [mg KOH/g]. [22]

Motorový olej např. s hodnotou TAN = 6 mg KOH/g tak obsahuje v 1g tolik kyselých látek, které lze neutralizovat 6 mg hydroxidu draselného. [22]

Během provozu dochází vlivem výše uvedených faktorů k nárůstu hodnoty TAN (kyselosti) a současně k poklesu hodnoty TBN (alkality) motorového oleje.

#### ▪ **Pěnivost**

Pěnivost motorového oleje je velmi nežádoucím jevem, při kterém dochází k ovlivnění některých z funkčních vlastností motorového oleje. V důsledku pěnivosti dochází ke snižování únosnosti mazacího filmu, k poklesu viskozity, zvyšují se ztráty motorového oleje a motorový olej rychleji stárne.

Motorové oleje s vyšší viskozitou a oxidačně zastaralé mají silnější tendenci vytvářet pěnu. Přidáním protipěnivostních přísad dosáhneme snížení pěnivosti.



## ▪ **Detergenty a disperzanty**

Velmi důležitou a nepostradatelnou vlastností motorového oleje je schopnost udržovat motor v dokonalé čistotě. Tento úkol plní přísady nazývané se detergenty a disperzanty. Přísady se navzájem doplňují a jedna bez druhé by pozbývala významu.

**Detergenty** v motorovém oleji mají za úkol neustále čistit kovové povrchy motoru od různých usazenin, kalů či karbonových povlaků.

**Disperzanty** ovlivňují jednotlivé uvolněné nečistoty tak, aby nedocházelo k jejich vzájemnému spojování či shlukování a následnému usazování.

Rozměr většiny dispergovaných částic nečistot je dostatečně malý, několik setin až maximálně desetin mikrometru. Je mnohem menší, než je tloušťka mazacího filmu a bez problému také prochází všemi filtry. Takto zajištěné nečistoty nepůsobí žádné podstatné problémy. [23]

## ▪ **Obsah vody**

Voda je zcela nežádoucím prvkem v motorovém oleji a je jednou z příčin vzniku koroze. Negativně působí na aditiva, zapříčiňuje vznik kalů, společně s kyselými složkami spalin vytváří kyseliny a urychluje vznik produktů oxidace. Vysoký obsah vody může zapříčinit ztrátu mazací schopnosti motorového oleje a následné zadření motoru. [24]

Kontaminace motorového oleje vodou může nastat zkondenzováním vzdušné vlhkosti na základě změny vnější teploty, nebo jako produkt spalování paliva. Mezní hodnota obsahu vody v motorovém oleji se udává do 0,1 % hm. [24]

Dojde-li k zahřátí motorového oleje vlivem provozu na delší vzdálenost, dochází k odpaření menšího množství vody z motorového oleje. Voda opustí vnitřní prostory motoru ve formě páry prostřednictvím odvětrání klikové skříně.

### ▪ **Obsah glykolu**

Nemrznoucí kapaliny obsahují glykol, ať již jako etylenglykolu, nebo propylenglykolu. Proniknutí nemrznoucí kapaliny do motorového oleje způsobí nevratné a velmi závažné změny, které se negativně projeví na kvalitě a funkci motorového oleje. Vlivem těchto látek dojde poklesu tekutosti, změně zbarvení motorového oleje, tvorbě kalů a úsad. [24]

Kontaminace nastane, dojde-li k poruše na hlavě válců, ke které dojde pronikáním nemrznoucí směsi do mazacího systému (např. v důsledku poruchy těsnění hlavy válců). Nastane-li tato situace, mělo by dojít k okamžité výměně motorového oleje a opravě motoru.

### ▪ **Obsah paliva**

Palivo je nežádoucím prvkem v motorovém oleji, snižující bod vzplanutí a viskozitu motorového oleje. Palivo se do motorového oleje dostává netěsnostmi ve spalovacím prostoru či při poruše motoru. Problematikou obsahu paliva v motorovém oleji se podrobněji zabývá kapitola 1.4.3 (Fuell Sniffer)

### ▪ **Obsah částic**

V důsledku opotřebení vzájemně se dotýkajících ploch vznikají otěrové částice, které napomáhají k určení stavu opotřebení motoru. Identifikací materiálu vzniklých částic jsme schopni určit, z jaké oblasti otěry pocházejí a zpětně určit místo, kde k opotřebení došlo. Obsah otěrových částic v motorovém oleji slouží jako ukazatel opotřebení motoru. Podrobněji se tématikou otěrových částic zabývá kapitola 1.4.3 (ferrografická analýza).

### ▪ **Obsah sazí**

Saze jsou velmi tvrdé částice s ostrými hranami tvořeny téměř čistým uhlíkem. Velikost samotných částic sazí je okolo setiny mikrometru. Vlivem shlukování dochází k nárůstu rozměru až na několik setin či jednu desetinu mikrometru. Významné jsou především u vznětových motorů. Jedná se o tzv. „špinění motorového oleje“. [11]

Vliv obsahu sazí způsobuje především růst viskozity motorového oleje. Dále mohou saze způsobit při vysoké koncentraci vyčerpání disperzantních přísad motorového oleje a tím umožnit kolagulaci sazí do větších shluků, které mohou způsobit ucpání olejového filtru. [11]

### 1.4.2 Fuell Sniffer – obsah paliva

Přístroj Fuell Sniffer (Obrázek 3) byl vyvinut ve spolupráci s americkým námořnictvem za účelem rychlého a snadného analyzování upotřebeného motorového oleje na obsah paliva. Jedná se o přenosný přístroj, který lze využít k analyzování jak v terénu, tak v laboratoři. Obsluha je velice jednoduchá, rychlá, a lze provádět až 40 analýz do hodiny. [25]



Obrázek 3 – Fuell Sniffer (SpectrolFDM Q600) [25]

K rozpoznání obsahu paliva ve vzorku upotřebeného motorového oleje využívá Fuel Sniffer povrchovou akustickou vlnu (SAW). Přístroj nasává výpary ze vzorku a senzor vyhodnotí obsah uhlovodíků změnou frekvence povrchové akustické vlny. [25]

Tabulka 2 – Technické parametry Fuell Snifferu [25]

Technické parametry	
Rozsah měření	0 - 10 %
Přesnost měření	± 0,2 %
Interní paměť	5 000 měření
Čas jednoho měření	63 s
Zobrazovací panel	LCD s LED podsvícením
Externí napájení	110/220, 50/60 Hz
Rozměry	89x203x297 mm
Hmotnost	2,7 Kg

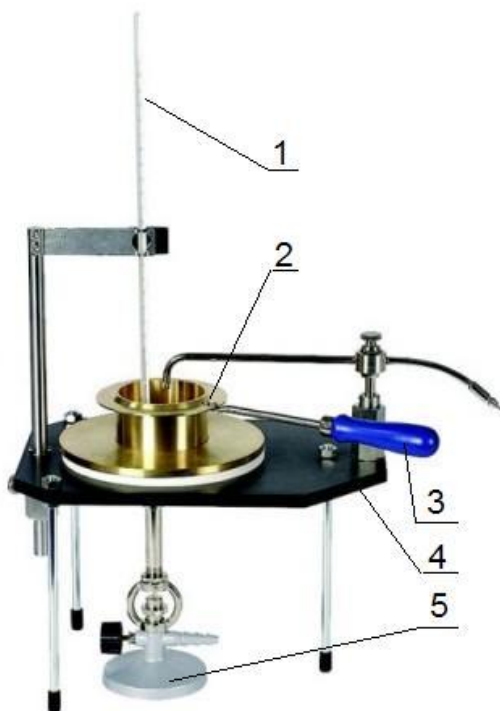
### 1.4.3 Bod vzplanutí – v otevřeném kelímku dle Clevelanda

Metoda stanovení bodu vzplanutí v otevřeném kelímku dle Clevelanda se používá ke stanovení obsahu hořlavých a zředujících látek v motorovém oleji (norma ČSN EN ISO 2592).

Hodnoty bodu vzplanutí dosahované u nových motorových olejů se pohybují nad hranicí 220 °C. V průběhu provozu se do motorového oleje dostává palivo, které negativně ovlivňuje funkci motorového oleje a snižuje bod vzplanutí.

Měření se provádí na zkušební přístroji dle Clevelanda s otevřeným kelímkem (Obrázek 4), teploměrem s držákem, zkušebním plamínkem, ohřivačem, ohřivací desky a ochranného krytu.

Analýza se provádí v dostatečně tmavé místnosti, aby byl patrný okamžik vzplanutí. Během zkoušky by nemělo docházet k průvanu, který by negativně ovlivňoval naměřené hodnoty bodu vzplanutí. [27]



Obrázek 4 – Zkušební přístroj pro metodu bodu vzplanutí v otevřeném kelímku [26]

1 – teploměr, 2 – zkušební kelímk, 3 – zkušebního plamínku, 4 – deska, 5 – plynový kahan

#### 1.4.4 Kapková zkouška

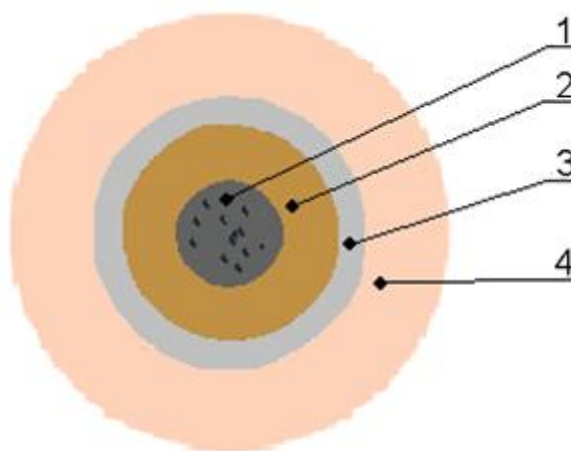
Kapková zkouška je orientační metoda ke zjištění stupně znečištění upotřebeného motorového oleje. Výsledky nejsou jednoznačné, ale devizou je rychlost a jednoduchost provedení. Pomocí této metody získáme orientační informace o znečištění motorového oleje (obsah sazí), přítomnosti vody a vlhkosti či disperzně – detergentních vlastnostech. [27]

V praxi se s provedením kapkové zkoušky setkáváme především ke zjištění orientačního stavu upotřebeného motorového oleje. Na jejím základě se dále rozhodujeme, jestli upotřebený motorový olej podrobit dalšímu analyzování.

Vyhodnocení vzniklé skvrny by měl provádět zkušený pracovník, který dle jednotlivých zón stanoví stav motorového oleje.

#### Vyhodnocení vzniklé skvrny

Utvoří-li se obrazec tvořen čtyřmi kruhově soustředěnými zónami (Obrázek 5) je patrná dobrá detergentní účinnost motorového oleje. [27]



Obrázek 5 – Rozložení zón kapky

1 – Centrální zóna, 2 – Okrajová zóna, 3 – Difuzní zóna, 4 – Průsvitná zóna

#### Zóna 1 – Centrální zóna

Centrální zóna ukazuje stupeň znečištění motorového oleje sazemi, prachem, kovovým otěrem atd. V závislosti na průsvitnosti je míra znečištění motorového oleje. Velikost skvrny je závislá na kvalitě spalování motoru a na kilometrůžce oleje. [28]

## Zóna 2 – Okrajová zóna

Jedná se o tenčí okrajovou zónu, která nám udává rozlohu kapky před vsáknutím. Tento úzký prstenec ohraničuje střední část a představuje nejzadnější vnější pásmo velkých karbonových částic. [27]

## Zóna 3 – Difúzní zóna

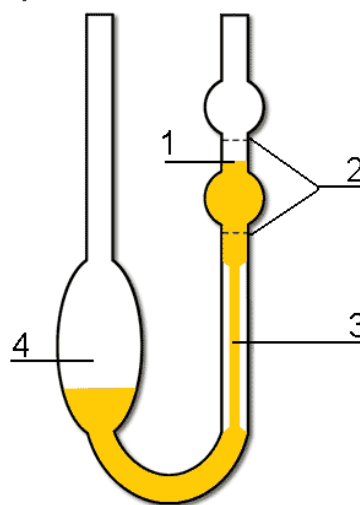
Různě tmavou difúzní zónu tvoří karbonové částice menší než  $0,5\mu$  a hodnotí se její disperzně-detergentní vlastnosti motorového oleje. Dojde-li ke ztrátě této zóny, dochází k nebezpečí tvorby karbonizačních úsad v motoru. [27]

## Zóna 4 – Průsvitná zóna

Poslední vnější průsvitná olejová zóna neobsahuje nečistoty a její obvykle nažloutlá zbarvení souvisí s prvotní barvou maziva, velikostí oxidačních změn oleje, nebo s přítomností oxidačně narušených frakcí paliva. [27]

### 1.4.5 Viskozimetr – měření viskozity

Viskozita se měří přístrojem zvaným viskozimetr (Obrázek 6). Stanovuje se dle doby průtoku daného množství motorového oleje kalibrovanou kapilárou za dané teploty, při které požadujeme zjištění hodnoty kinematické viskozity ( $40$  a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Čas potřebný k průtoku stanoveného množství motorového oleje vynásobíme konstantou viskozimetru a dostaneme hodnotu kinematické viskozity v  $[\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$ . [1]



Obrázek 6 – Kapilární viskozimetr [35]  
1 – výška hladiny, 2 – měřící rysky, 3 – měřící kapilára, 4 – zásobník oleje

### 1.4.6 Ferrografická analýza – obsah otěrových částic

Ferrografická analýza slouží ke stanovení stavu opotřebení motoru a identifikaci druhu poruchy. Jedná se o tribotechnickou diagnostiku založenou na separaci kovového otěru působením magnetického pole. U nás je známá od 80. let 20. st. [27]

Prostřednictvím ferrografické analýzy jsme schopni objektivně určit režim opotřebení a na základě počtu otěrových částic a morfologie předpovědět blížící se poruchu stroje (Tabulka 3). V určitých případech lze také velice přesně určit místo vzniku opotřebení. [29]

Každý třecí uzel je generátorem otěrových částic, které odrážejí režim opotřebení. Se stoupající intenzitou opotřebení se mění několik tribologických momentů, které nás informují o možném vzniku závady:

- velikost částic a poměr mezi velkými a malými částicemi,
- morfologie částic a výskyt takových částic, které při normálním opotřebení nenacházíme,
- chemické složení – oxidací vznikají různé stupně oxidů.

[27]

Tabulka 3 – Otěrové kovy a jejich původ [30]

Otěrové kovy	Původ - motorový díl
železo	vyskytuje se téměř vždy jako hlavní konstrukční kov
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

## 2 DOTAZNÍKOVÉ ŠETŘENÍ A SBĚR VZORKŮ UPOTŘEBENÝCH MOTOROVÝCH OLEJŮ

Do daného výzkumu bylo zahrnuto 50 osobních automobilů, z nichž byly odebrány vzorky upotřebených motorových olejů. Jednalo se o osobní automobily, které byly podrobeny výměně motorového oleje na základě překročení stanoveného intervalu výměny.

Odběry byly provedeny ve vybraných autoservisech, proškoleným technikem dle normy ČSN 65 6207. K odebraným vzorkům byl vyplněn dotazník upřesňující údaje o automobilu a jeho provozu.

### 2.1 Odběr vzorku motorového oleje

Odběr reprezentativního vzorku motorového oleje je velice podstatným a rozhodujícím faktorem pro objektivní vyhodnocení stavu upotřebeného motorového oleje. Je tedy velice důležité dodržení základních pravidel odběru.

Na základě normy byla vypracována metodika odběru, dle které se jednotlivé odběry prováděly.

**Dynamické vzorkování** – vzorkovaná kapalina musí být ohřátá na provozní teplotu. Pracovní tlak a průtok musí být rovněž dosažen ještě před začátkem odběru, aby došlo k rozptýlení usazených nečistot v celém systému. [31]

**Off – line** – vzorek oleje se odebírá vypouštěním olejové náplně. [32]

Odběr vzorku upotřebeného motorového oleje byl odebírán při vypouštění olejové náplně přímo z výpustního otvoru olejové vany spalovacího motoru. Pomocí nálevky byl vytékající motorový olej zachycen do vzorkovnice.



### **Metodika odběru vzorku upotřebeného motorového oleje:**

1. Před samotným odběrem vzorku motorového oleje zajistit zahřátí olejové náplně automobilu min. na teplotu 65 °C. Této minimální hodnoty dosáhneme, pokud byl motor automobilu v činnosti min. po dobu 20 minut.
2. K odběru vzorku motorového oleje musí dojít v časovém intervalu 15 minut, aby nedošlo k vychladnutí olejové náplně automobilu.
3. Zdvihnout automobil pomocí zvedáku do výšky cca 2 m.
4. Demontovat spodní kryt motoru, je-li jím automobil vybaven.
5. Očistit plochy v blízkosti výpustního šroubu, aby nedocházelo ke znečišťování vytékajícího motorového oleje.
6. Před demontáží výpustního šroubu připravit vzorkovnici s nálevkou (demontovat víčko vzorkovnice a vložit nálevku).
7. Demontovat výpustní šroub a motorový olej nechat vytékat do jímací nádrže.
8. Motorový olej nechat vytékat a cca po 3-4 s vložit do proudu vytékajícího motorového oleje vzorkovnici s nálevkou.
9. Vzorkovnici plnit do 3/4 objemu, z důvodů snadnější homogenizace.
10. Řádně naplněnou vzorkovnici uzavřít víčkem, aby nedocházelo ke kontaminaci nečistot z okolí.
11. Vyplnění dotazníku by mělo dojít před či po odběru vzorku, především s ohledem na přítomnost majitele automobilu, který zodpoví otázky týkající se provozu automobilu.

### **2.2 Dotazníkové šetření**

K odebraným vzorkům upotřebených motorových olejů bylo provedeno dotazníkové šetření upřesňující informace o technické specifikaci a provozních podmínkách automobilu a upotřebeného motorového oleje. Dotazník byl vyplněn technikem provádějícím odběr vzorku společně s majitelem automobilu.

Dotazník se skládá z 20 otázek obsahově rozdělené do 5 navazujících částí. Kde každá část byla zaměřena na jiný druh informací. V následujícím textu jsou jednotlivé části zobrazeny a popsány.

**Část A** – identifikační údaje vzorku odebraného upotřebeného motorového oleje.

Datum odběru .....	Číslo vzorku <input type="text"/>
--------------------	-----------------------------------

**Část B** – informace upřesňující technickou specifikaci automobilu

Značka a typ automobilu :	.....
Typ motoru :	<input type="checkbox"/> vznětový <input type="checkbox"/> zážehový
Obsah motoru :	..... cm <sup>3</sup> Přepínaný: <input type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne
Stav tachometru :	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> km
Rok výroby automobilu :	..... výkon: ..... kW
Oprava týkající se motoru :	<input type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne .....

**Část C** – informace o upotřebeném motorovém oleji a intervalu výměny

<b>Typ použitého motorového oleje - viskozitní klasifikace:</b>	
<input type="checkbox"/> 15W40	<input type="checkbox"/> 10W40 <input type="checkbox"/> 5W40 <input type="checkbox"/> jiný .....
<b>Typ použitého motorového oleje – výkonnostní klasifikace:</b>	
Dle:	<input type="checkbox"/> API <input type="checkbox"/> ACEA <input type="checkbox"/> TOVÁRNÍ .....
Výrobce motorové oleje :	.....
Předepsaný interval výměny oleje :	..... km ..... rok
<b>Reálný interval od minulé výměny motorového oleje:</b>	
..... km dne .....	
Předepsaný objem náplně motorového oleje :	..... l

## Část D – informace o způsobu provozování automobilu

<b>Vozidlo je využíváno jako</b>	:	<input type="checkbox"/> soukromé	<input type="checkbox"/> firemní	
<b>Druh provozu</b>	:	<input type="checkbox"/> městský	<input type="checkbox"/> mimo městský	<input type="checkbox"/> smíšený
<b>Využití vozidla k dopravě</b>	:	<input type="checkbox"/> 1-3 x denně	<input type="checkbox"/> 4 x a vícekrát denně	
		<input type="checkbox"/> 3 x za týden	<input type="checkbox"/> 5 x měsíčně	
		<input type="checkbox"/> .....		
<b>Průměrný počet ujetých kilometrů za jednu jízdu:</b>				
<input type="checkbox"/> 0 – 5 Km	<input type="checkbox"/> 5 – 15 Km	<input type="checkbox"/> 15 – 30 Km	<input type="checkbox"/> 30 a více	

### 2.3 Vzorkovnice

Objem odebraného množství upotřebeného motorového oleje je přímo závislý na počtu a druhu prováděných analýz. Je zcela nezbytné určit minimální objem odebíraného vzorku tak, aby nedošlo k nedostatku vzorku pro jednotlivé analýzy.

Pro uchování odebraného vzorku upotřebeného motorového oleje byly zvoleny plastové nádoby s uzavíratelným hrdlem o objemu 1l.



Obrázek 7 – Vzorkovnice

Vzorkovnice jsou zcela nové, čisté a nebyly použity pro jiné účely. Uzávěry jsou opatřeny kontrolními kroužky, které slouží jako identifikace uzavření po celou dobu skladování. Jsou opatřeny papírovým štítkem s identifikačním číslem, jež se vypisuje do přiloženého dotazníku. Tento způsob identifikace byl zvolen, aby nedocházelo k záměně informací.

Při odběru vzorku upotřebeného motorového oleje bude vzorkovnice plněna pouze do 3/4 objemu. To především z důvodu snadné homogenizace vzorku před jednotlivými analýzami. Ihned po odběru se vzorkovnice uzavře a společně s dotazníkem uskladní.

## 2.4 Odběrová místa

Jednotlivé vzorky upotřebených motorových olejů byly odebírány ve 4 autoservisech.. S ohledem na zvolený způsob odběru vzorků (kapitola 2.1), musely vybrané autoservisy splňovat daná kritéria:

- vybaveny sloupovým zvedákem či jiným zařízením umožňujícím zvednutí celého automobilu do výšky min. 2m,
- odběr upotřebeného motorového oleje prováděn prostřednictvím výpustního otvoru ve spodní části motoru (ne odsátím),
- souhlas vedení a techniků.

Na základě požadavků byly vybrány následující autoservisy:

- **AUTO BÍLEK**, s.r.o.  
Papírenská 411/2, 160 00 Praha – Bubeneč
- **IMMOCAR**  
Lidická 2240, 252 63 Roztoky
- **PROKOS**, s.r.o.  
Lidická 1348, 252 63 Roztoky
- **MH MOTOR**  
Lidická 1705, 252 63 Roztoky

### 3 ANALÝZA VZORKŮ UPOTŘEBENÝCH MOTOROVÝCH OLEJŮ

Jednotlivé analýzy byly provedeny na 50 vzorcích upotřebených motorových olejů z osobních automobilů. Na základě informací o automobilech, byly automobily rozděleny do čtyř kategorií dle různých parametrů (typ motoru, vlastnictví atd.). V tabulce 4 jsou uvedeny počty s procentuelním rozdělením automobilů dle jednotlivých kategorií.

Tabulka 4 – Přehled rozdělení automobilů

PARAMETR		Počet [ks]	Počet [%]
Typu motoru	vznětové	34	68
	zážehové	16	32
Vlastnictví vozidla	soukromé	30	60
	firemní	20	40
Druh provozu	městský	18	36
	mimo měst.	17	34
	smíšený	15	10
Celkové kilometry	skupina A	10	20
	skupina B	18	36
	skupina C	12	24
	skupina D	10	20
Celkový počet vzorků		50	100

Rozdělení automobilů do skupin dle celkového počtu ujetých kilometrů:

Tabulka 5 – Intervaly jednotlivých kategorií

	Počet ujetých kilometrů [km]
Skupina A	0 - 80 000
Skupina B	80 001 - 160 000
Skupina C	160 001 - 240 000
Skupina D	240 001 - 320 000

V rámci diplomové práce bylo vybráno 5 analýz, kterými se zkoumaly jednotlivé parametry odebraných upotřebených motorových olejů.

- Fuell Sniffer (stanovení obsahu paliva v upotřebeném motorovém oleji).
- Bod vzplanutí (stanovení bodu vzplanutí upotřebeného motorového oleje).
- Kapková zkouška (stanovení obsahu sazí).
- Stanovení viskozity (viskozimetrem).
- Ferrografická analýza (stanovení celkového počtu otěrových částic).

Porovnáním naměřených hodnot parametrů z jednotlivých analýz s mezními hodnotami (Tabulka 6), se stanovil stav upotřebeného motorového oleje.

Tabulka 6 – Mezní hodnoty jednotlivých parametrů [14,27]

Parametr		Typ motoru	
		Zážehové motory	Vznětové motory
Obsah paliva		max. 5 %	max. 5 %
Bod vzplanutí		min. 140 °C	min. 180 °C
Obsah sazí		max. 3 %	max. 5 %
Viskozita	zvýšení	max. o 20 %	max. o 25 %
	snížení	max. o 15 %	max. o 20 %
Celkový obsah prvků		max. 500 x.ml <sup>-1</sup>	max. 500 x.ml <sup>-1</sup>

Hodnoty parametrů získaných na základě provedených analýz společně s informacemi získaných z dotazníkového šetření byla zpracována v databázovém programu MS EXCEL. Soubor pod názvem „Data o upotřebených motorových olejích.xls“ je dostupný na datovém nosiči. (Příloha 3)

### 3.1 Stanovení obsahu paliva – Fuell Sniffer

#### Metodika provedení analýzy:

1. Před provedením analýzy řádným protřepáním vzorkovnice homogenizovat vzorek motorového oleje.
2. Část upotřebeného motorového oleje ze vzorkovnice nalít do zkušební lahvičky.
3. Zkušební lahvičku plnit maximálně do 3/4 výšky, aby nedošlo k nasátí analyzovaného motorového oleje do přístroje (poškození přístroje).
4. Umístit zkušební lahvičku se vzorkem motorového oleje do přístroje pod sací větev.
5. Pomocí horní páky zajistit dotyk sací větve přístroje s hrdlem zkušební lahvičky.
6. Prostřednictvím ovládacích tlačítek spustit měření.
7. Během měření nemanipulovat s přístrojem ani se zkušební lahvičkou.
8. Po ukončení analýzy zaznamenat naměřenou hodnotu z přístroje.

Naměřené hodnoty obsahu paliva pro jednotlivé vzorky upotřebených motorových olejů:

Tabulka 7 – Hodnoty obsahu paliva pro jednotlivé vzorky;

Číslo vzorku	Obsah paliva [%]	Stav motorového oleje	číslo vzorku	Obsah paliva [%]	Stav motorového oleje
1	5	vyhovuje	34	10	nevyhovuje
2	10	nevyhovuje	35	6,8	nevyhovuje
3	3,8	vyhovuje	40	3,3	vyhovuje
5	4,8	vyhovuje	41	1,8	vyhovuje
7	6,6	nevyhovuje	42	0,6	vyhovuje
8	7,6	nevyhovuje	43	3	vyhovuje
9	0,7	vyhovuje	44	4,5	vyhovuje
10	4,6	vyhovuje	45	10	nevyhovuje
11	3,3	vyhovuje	47	10	nevyhovuje
12	7,6	nevyhovuje	51	4	vyhovuje
13	2,2	vyhovuje	53	2,5	vyhovuje
14	1,5	vyhovuje	54	4,9	vyhovuje
15	10	nevyhovuje	56	5,8	nevyhovuje
17	5,2	nevyhovuje	57	2,2	vyhovuje
18	10	nevyhovuje	58	10	nevyhovuje
19	6,8	nevyhovuje	60	0	vyhovuje
20	4,1	vyhovuje	61	0,4	vyhovuje
21	7,4	nevyhovuje	67	1,5	vyhovuje
23	7	nevyhovuje	68	0,8	vyhovuje
24	2,2	vyhovuje	71	4,9	vyhovuje
26	5,1	nevyhovuje	73	6	nevyhovuje
29	2,5	vyhovuje	74	0	vyhovuje
30	6,8	nevyhovuje	79	1,5	vyhovuje
31	2,2	vyhovuje	98	3,5	vyhovuje
32	6,5	nevyhovuje	99	10	nevyhovuje

Naměřené hodnoty obsahu paliva pro jednotlivé vzorky upotřebených motorových olejů byly porovnány s mezními hodnotami obsahu paliva (Tabulka 6). V tabulce 8 jsou uvedeny počty automobilů, u kterých upotřebený motorový olej vyhověl či nevyhověl.

Tabulka 8 – Vyhodnocení jednotlivých kategorií v závislosti na obsahu paliva

PARAMETR		Vyhovuje [ks]	Nevyhovuje [ks]
Typu motoru	vznětové	25	9
	zážehové	4	12
Vlastnictví vozidla	soukromé	15	15
	firční	14	6
Druh provozu	městský	7	11
	mimo měst.	13	4
	smíšený	9	6
Ujeté kilometrů	skupina A	4	6
	skupina B	12	6
	skupina C	9	3
	skupina D	4	6
Z celkového počtu vzorků		29	21

### Vyhodnocení dat bylo dále provedeno v analytickém programu SAS:

Z celkového počtu 50 analyzovaných upotřebených motorových olejů na obsah paliva vyhovělo 58 % a nevyhovělo 42 %.

Podstatný rozdíl nastal mezi typem motoru, kde u vznětových motorů o celkovém počtu 34 automobilů bylo procento vyhovujících automobilů 73,5% a nevyhovujících pouhých 26,5 %. Oproti tomu u zážehových motorů o celkovém počtu 16 automobilů bylo rozdělení opačné. Vyhovujících bylo pouhých 25 % a nevyhovujících 75 %.

U zážehových motorů s výkonem motoru pod hodnotu 69,5 kW o celkovém počtu 8 automobilů vyhovělo pouhých 12,5 % a nevyhovělo 87,5 %. Oproti tomu u motorů s výkonem nad hodnotu 69,5 kW o celkovém počtu 8 automobilů vyhovělo 37,5 % a nevyhovělo 62,5 %.



Automobily vybaveny vznětovými motory do roku výroby 2006 z celkového počtu 22 vyhověly z 63,6 % a nevyhověly z 36,4 %. Automobily vyrobeny po roce 2006 a vybaveny vznětovými motory o celkovém počtu 12 automobilů vyhověly z 91,7 % a nevyhověly z 8,3 %.

Podrobné vyhodnocení dle výše uvedených hodnot bylo vygenerováno z analytického programu SAS a výstupní data jsou dostupná v příloze 1 (Obrázek A).

### **3.2 Stanovení bodu vzplanutí - v otevřeném kelímku dle Clevelanda**

#### **Metodika provedení analýzy:**

1. Před provedením analýzy řádným protřepáním vzorkovnice homogenizovat vzorek motorového oleje.
2. Část upotřebeného motorového oleje ze vzorkovnice nalít do zkušební kelímku a ten umístit na pracovní desku.
3. Umístit teploměr pomocí držáku tak, aby snímací hrot teploměru byl ve výšce 5 – 10 mm ode dna zkušební kelímku dále aby vzdálenost podélné osy teploměru ke stěně zkušební kelímku byla stejně veliká jako vzdálenost od středu zkušební kelímku k podélné ose teploměru.
4. Pod zkušební kelímek umístit ohřívač (plynový kahan) tak, aby se volný plamen nedotýkal kelímku a nezpůsobil místní ohřev.
5. Ohřev vzorku motorového oleje regulovat tak, aby teplota ohřevu stoupala rychlostí 15 °C/min.
6. Dosáhne-li teplota k předpokládanému bodu vzplanutí, rychlost ohřevu se sníží na 5-6 °C/min.
7. Pomocí zkušební plamínku o velikosti cca 4 mm ověřit zda nedojde ke vzplanutí.
8. Ověření provést zkušebním plamínkem, kterým po dobu 1 s přejíždět tangenciálně v rovině horního okraje zkušební kelímku.
9. Ověření, zdali nedojde ke vzplanutí provést, dojde-li k nárůstu teploty vzorku motorového oleje o 2 °C.
10. Dojde-li ke vzplanutí, zaznamenat teplotu vzorku motorového oleje z teploměru a ukončit ohřev.
11. Zkušební kelímek se vzorkem motorového oleje nechat vychladit. [27]

Naměřené hodnoty bodu vzplanutí pro jednotlivé vzorky upotřebených motorových olejů:

Tabulka 9 – Hodnoty bodu vzplanutí pro jednotlivé vzorky

Číslo vzorku	Bod vzplanutí [°C]	Stav motorového oleje	Číslo vzorku	Bod vzplanutí [°C]	Stav motorového oleje
1	192	vyhovuje	34	132	nevyhovuje
2	95	nevyhovuje	35	155	Vyhovuje
3	201	vyhovuje	40	200	vyhovuje
5	175	vyhovuje	41	207	vyhovuje
7	184	vyhovuje	42	212	vyhovuje
8	179	nevyhovuje	43	202	vyhovuje
9	212	vyhovuje	44	194	vyhovuje
10	151	vyhovuje	45	74	nevyhovuje
11	200	vyhovuje	47	80	nevyhovuje
12	179	nevyhovuje	51	195	vyhovuje
13	205	vyhovuje	53	204	vyhovuje
14	208	vyhovuje	54	180	vyhovuje
15	120	nevyhovuje	56	125	nevyhovuje
17	191	vyhovuje	57	205	vyhovuje
18	165	nevyhovuje	58	130	nevyhovuje
19	117	nevyhovuje	60	213	vyhovuje
20	195	vyhovuje	61	216	vyhovuje
21	180	nevyhovuje	67	208	vyhovuje
23	182	vyhovuje	68	211	vyhovuje
24	205	vyhovuje	71	165	vyhovuje
26	90	nevyhovuje	73	174	vyhovuje
29	204	vyhovuje	74	215	vyhovuje
30	183	vyhovuje	79	208	vyhovuje
31	205	vyhovuje	98	199	vyhovuje
32	184	vyhovuje	99	163	vyhovuje

Naměřené hodnoty bodu vzplanutí pro jednotlivé vzorky upotřebených motorových olejů, byly porovnány s mezními hodnotami bodu vzplanutí (Tabulka 6). V tabulce 10 jsou uvedeny počty automobilů, u kterých upotřebený motorový olej vyhověl či nevyhověl.

Tabulka 10 – Vyhodnocení jednotlivých kategorií v závislosti na bodu vzplanutí

PARAMETR		Vyhovuje [ks]	Nevyhovuje [ks]
Typu motoru	vznětové	30	4
	zážehové	7	9
Vlastnictví vozidla	soukromé	18	12
	firemní	19	1
Druh provozu	městský	11	7
	mimo měst.	15	2
	smíšený	11	4
Ujeté kilometrů	skupina A	8	2
	skupina B	12	6
	skupina C	11	1
	skupina D	6	4
Z celkového počtu vzorků		37	13

#### Vyhodnocení dat bylo dále provedeno v analytickém programu SAS:

Z celkového počtu 50 analyzovaných vzorků upotřebených motorových olejů na bod vzplanutí vyhovělo 74 % a nevyhovělo 26 %.

Rozdíl nastal mezi typem motoru, kde u vznětových motorů o celkovém počtu 34 automobilů bylo procento vyhovujících vzorků 88,2% a nevyhovujících pouhých 11,8 %. Oproti tomu u zážehových motorů o celkovém počtu 16 automobilů bylo rozdělení opačné, vyhovujících bylo pouhých 43 % a nevyhovujících 56 %. Tyto hodnoty potvrdily výsledky výše uvedené analýzy na obsah paliva.

U zážehových motorů s objemem olejové náplně pod hodnotu 4,1 l o celkovém počtu 10 automobilů vyhovělo pouhých 30 % a nevyhovělo 70 %. Oproti tomu u zážehových motorů s objemem olejové náplně nad hodnotu 4,1 l o celkovém počtu 6 automobilů vyhovělo 66,7 % a nevyhovělo 33,3 %.

Vznětové motory se zdvihovým obsahem motoru pod hodnotu 1950 cm<sup>3</sup> o celkovém počtu 24 automobilů vyhověly z 95,8 % a nevyhověly ze 4,2 %. Oproti tomu vznětové motory se zdvihovým obsahem motoru nad hodnotu 1950 cm<sup>3</sup> o celkovém počtu 10 automobilů vyhověly z 70 % a nevyhověly z 30 %.

Podrobné vyhodnocení dle výše uvedených hodnot bylo vygenerováno z analytického programu SAS a výstupní data jsou dostupná v příloze 1 (Obrázek B).

### **3.3 Stanovení obsahu sazí – Kapková zkouška**

#### **Metodika provedení analýzy:**

1. Před provedením analýzy řádným protřepáním vzorkovnice homogenizovat vzorek motorového oleje.
2. Teplota vzorku motorového oleje by měla být cca 20 °C.
3. Zkušební folii (silufol či alufol) umístit na vodorovnou desku, aby docházelo k pravidelnému rozprostření skvrny v kruhové ploše.
4. Pomocí tenké tyčinky nanést kapku motorového oleje na zkušební folii. Kapka by neměla spadnout z výšky větší než 5 mm, aby nedošlo k rozstříku při dopadu.
5. Vyčkat minimálně po dobu 20 minut, kdy dojde k potřebnému vsáknutí motorového oleje. (dokonalá stabilizace nastává až po několika hodinách)
6. Vyhodnocení vzniklého obrazce.

Vyhodnocení kapkové zkoušky bylo prováděno empiricky na základě zkušeností a praxe v oboru kvalifikovaným pracovníkem. V příloze 2 (Obrázek G) jsou uvedeny jednotlivé druhy vzniklých kapek s rozsahem hodnocení.

Empiricky stanovené hodnoty obsahu sazí v upotřebeném motorovém oleji:

Tabulka 11 – Hodnoty obsahu sazí pro jednotlivé vzorky

Číslo vzorku	Obsah sazí [°C]	Stav motorového oleje	číslo vzorku	Obsah sazí [°C]	Stav motorového oleje
1	5,2	nevyhovuje	34	2,4	vyhovuje
2	2,7	vyhovuje	35	3,5	nevyhovuje
3	4,4	vyhovuje	40	4,9	vyhovuje
5	4	nevyhovuje	41	4,8	vyhovuje
7	3,2	vyhovuje	42	4,5	vyhovuje
8	3,1	vyhovuje	43	4	vyhovuje
9	4,9	vyhovuje	44	2,9	vyhovuje
10	3	vyhovuje	45	2,7	vyhovuje
11	5	vyhovuje	47	2,6	vyhovuje
12	4,2	vyhovuje	51	4,1	vyhovuje
13	3,2	vyhovuje	53	3,8	vyhovuje
14	3,9	vyhovuje	54	4,7	nevyhovuje
15	1,6	vyhovuje	56	4,1	nevyhovuje
17	5,1	nevyhovuje	57	3,1	vyhovuje
18	5	vyhovuje	58	4,9	nevyhovuje
19	2,7	vyhovuje	60	2,9	vyhovuje
20	2,6	vyhovuje	61	5	vyhovuje
21	4,2	vyhovuje	67	4,6	vyhovuje
23	4,4	vyhovuje	68	5,2	nevyhovuje
24	2,3	vyhovuje	71	2,8	vyhovuje
26	4,1	nevyhovuje	73	5	nevyhovuje
29	4,5	vyhovuje	74	5,1	nevyhovuje
30	4,7	vyhovuje	79	5	vyhovuje
31	4,5	vyhovuje	98	4,9	vyhovuje
32	3,9	vyhovuje	99	1,7	vyhovuje

Empiricky stanovené hodnoty obsahu sazí pro jednotlivé vzorky upotřebených motorových olejů byly porovnány s mezními hodnotami (Tabulka 6). V tabulce 12 jsou uvedeny počty automobilů, u kterých upotřebený motorový olej vyhověl či nevyhověl.

Tabulka 12 – Vyhodnocení jednotlivých kategorií v závislosti na obsahu sazí

PARAMETR		Vyhovuje [ks]	Nevyhovuje [ks]
Typu motoru	vznětové	30	4
	zážehové	9	7
Vlastnictví vozidla	soukromé	23	7
	firční	16	4
Druh provozu	městský	15	3
	mimo měst.	14	3
	smíšený	10	5
Ujeté kilometrů	skupina A	8	2
	skupina B	14	4
	skupina C	8	4
	skupina D	9	1
Z celkového počtu vzorků		39	11

### Vyhodnocení dat bylo dále provedeno v analytickém programu SAS:

Z celkového počtu 50 analyzovaných vzorků upotřebených motorových olejů na obsah sazí vyhovělo 78 % a nevyhovělo 22 %.

U vznětových motorů o celkovém počtu 34 automobilů vyhovělo 88,2 % a nevyhovělo 11,8 %, kde se výraznou mírou na obsahu sazí podílel i obsah motoru. U vznětových motorů se zdvihovým obsahem nad hodnotu 1850 cm<sup>3</sup> o celkovém počtu 26 automobilů vyhovělo 96,2 % a nevyhovělo 3,8 %. U automobilů se zdvihovým obsahem pod hodnotu 1850 cm<sup>3</sup> o celkovém počtu 8 vyhovělo 62,5 % a nevyhovělo 37,5%.

Z celkového počtu 39 automobilů, které vyhověly ve skupině dle typu motoru, bylo pouhých 23 % zážehových a 77 % vznětových.

Podrobné vyhodnocení dle výše uvedených hodnot bylo vygenerováno z analytického programu SAS a výstupní data jsou dostupná v příloze 1 (Obrázek C).

### 3.4 Stanovení viskozity - pomocí viskozimetru.

#### Metodika provedení zkoušky:

1. Vzorek motorového oleje důkladně prohřejeme na teplotu 40 °C a důkladným protřepáním zajistíme homogenitu. Ohřev vzorku se provádí ve vodní lázni.
2. Potřebný objem vzorku nalijeme do kapiláry a necháme temperovat po dobu 15 min. na teplotu 40 °C v lázni viskozimetru. Potřebný objem vzorku je dán přepadovou hranou.
3. Otevřením kohoutu zahájíme průtok vzorku motorového oleje kapilárou.
4. Měříme čas potřebný k naplnění kapiláry mezi dvěma ryskami.
5. Výsledný čas průtoku vynásobíme konstantou kapiláry (u použitého viskozimetru je konstanta kapiláry 0,450) a tím dostaneme hodnotu viskozity vzorku motorového oleje v  $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ .
6. Po ukončení měření zbylý obsah vzorku motorového oleje vypustit spodním kohoutem a kapiláru propláchnout technickým benzínem, aby došlo k úplnému vyčištění.

Abychom byli schopni určit, zdali naměřená hodnota viskozity odpovídá stanoveným mezním hodnotám, musíme znát původní hodnotu viskozity nového motorového oleje. Tento údaj je uváděn výrobcem například v technickém listě daného typu motorového oleje.

Tabulka 13 – Hodnoty viskozity při 40 °C nového motorového oleje [33, 34, 35]

Motorový olej		Viskozita při 40 °C [ $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ]
77	5W - 30	69
	5W - 40	86
	10W - 40	97
CASTROL	5W - 30	73,4
	5W - 40	85,3
	10W - 60	174
SHELL	5W - 30	68,2
	5W - 40	82,5
	10W - 40	95

Naměřené hodnoty kinematické viskozity společně s procentuelní změnou vůči původní hodnotě pro jednotlivé vzorky upotřebených motorových olejů:

Tabulka 14 – Hodnoty viskozity pro jednotlivé vzorky

Číslo vzorku	Viskozita při 40 °C [mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]	Změna viskozity [%]	Stav motorového oleje	Číslo vzorku	Viskozita při 40 °C [mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]	Změna viskozity [%]	Stav motorového oleje
1	63,73	-13,2	vyhovuje	34	82,12	-0,5	vyhovuje
2	88,52	29,8	nevyhovuje	35	71,11	-13,8	vyhovuje
3	71,94	-16,3	vyhovuje	40	69,66	2,1	vyhovuje
5	64,66	-21,6	nevyhovuje	41	81,08	18,9	vyhovuje
7	66,08	-10,0	vyhovuje	42	49,85	-26,9	nevyhovuje
8	87,24	2,3	vyhovuje	43	97,3	0,3	vyhovuje
9	110,18	13,6	vyhovuje	44	143,74	-17,4	vyhovuje
10	92,09	-3,1	vyhovuje	45	56,24	-40,8	nevyhovuje
11	57,36	-16,9	vyhovuje	47	77,38	-20,2	nevyhovuje
12	72,52	-1,2	vyhovuje	51	87,43	-8,0	vyhovuje
13	57,02	-17,4	vyhovuje	53	49,16	-33,0	nevyhovuje
14	70,74	3,7	vyhovuje	54	107,36	10,7	vyhovuje
15	69,6	-19,1	nevyhovuje	56	70,62	-17,9	nevyhovuje
17	93,12	12,9	vyhovuje	57	87,78	2,1	vyhovuje
18	50,21	-27,2	nevyhovuje	58	52,56	-45,8	nevyhovuje
19	126,41	33,1	nevyhovuje	60	81,23	10,7	vyhovuje
20	70,66	3,6	vyhovuje	61	90,81	-6,4	vyhovuje
21	60,89	-17,0	vyhovuje	67	90,45	31,1	nevyhovuje
23	48,46	-34,0	nevyhovuje	68	69,49	-18,5	vyhovuje
24	79,8	8,7	vyhovuje	71	78,45	-8,8	vyhovuje
26	75,98	-7,9	vyhovuje	73	70,26	-4,3	vyhovuje
29	83,56	22,5	vyhovuje	74	65,28	-5,4	vyhovuje
30	66,69	-21,8	nevyhovuje	79	57,74	-16,3	vyhovuje
31	69,48	0,7	vyhovuje	98	78,61	-7,8	vyhovuje
32	61,81	-25,1	nevyhovuje	99	44,15	-54,5	nevyhovuje

Naměřené hodnoty viskozity pro jednotlivé vzorky upotřebených motorových olejů byly přepočítány na procentuelní rozdíl naměřené hodnoty vůči hodnotě nového motorového oleje. Vypočtené hodnoty (procentuelní rozdíl) byly porovnány s mezními hodnotami viskozity (Tabulka 6). V tabulce 15 jsou uvedeny počty automobilů, u kterých upotřebený motorový olej vyhověl či nevyhověl.



Tabulka 15 – Vyhodnocení jednotlivých kategorií v závislosti na změně viskozity

PARAMETR		Vyhovuje [ks]	Nevyhovuje [ks]
Typu motoru	vznětové	27	7
	zážehové	7	9
Vlastnictví vozidla	soukromé	19	11
	firémní	15	5
Druh provozu	městský	10	8
	mimo měst.	15	2
	smíšený	9	6
Ujeté kilometrů	kategorie A	5	5
	kategorie B	13	5
	kategorie C	10	2
	kategorie D	6	4
Z celkového počtu vzorků		34	1

### Vyhodnocení dat bylo dále provedeno v analytickém programu SAS:

Z celkového počtu 50 analyzovaných vzorků upotřebených motorových olejů v závislosti na změně viskozity vyhovělo 68 % a nevyhovělo 32 %.

U automobilů osazených vznětovými motory s celkovým počtem 34 vyhovělo 79,4 % a nevyhovělo 20,6 %. Automobily osazené zážehovými motory o celkovém počtu 16 automobilů vyhovělo 43,8 % a nevyhovělo 56,2 %.

Podrobné vyhodnocení dle výše uvedených hodnot bylo vygenerováno z analytického programu SAS a výstupní data jsou dostupná v příloze 1 (Obrázek D).

### 3.5 Stanovení obsahu otěrových částic - Ferrografická analýza

#### Metodika provedení analýzy:

1. Před provedením analýzy řádným protřepáním vzorkovnice homogenizovat vzorek motorového oleje.
2. Do připravené zkumavky, která je zavěšena cca 20 cm nad přístrojem a opatřena výtokovou trubicí nalijeme 5 ml vzorku motorového oleje.

3. Vzorek motorového oleje se nechá stékat po skleněné destičce která je umístěna, nad nehomogenním magnetickém poli.
4. Při průtoku vzorku přes silné nehomogenní magnetické pole dochází k sedimentaci částic na skleněné podložce.
5. Dojde-li k průtoku 5 ml vzorku, vyjmeme skleněnou destičku a vložíme ji pod mikroskop.
6. Pomocí bichromatického mikroskopu a zobrazovacího zařízení vyhodnotíme stav upotřebeného motorového oleje.

Vyhodnocení vzniklé stopy a stanovení počtu celkového obsahu ořetrových částic prováděl kvalifikovaný pracovník. Na datovém nosiči jsou k dispozici 4 videozáznamy vzniklé stopy, jež se vyhodnocují na zobrazovacím zařízení. Videozáznamy jsou uloženy ve složce „Záznam ferrografické stopy“.

Naměřené hodnoty celkového počtu ořetrových částic pro jednotlivé vzorky upotřebených motorových olejů:

Tabulka 16 – Hodnoty celkových počtů ořetrových částic pro jednotlivé vzorky

Číslo vzorku	Celkový obsah prvků [ $x.ml^{-1}$ ]	Stav motorového oleje	Číslo vzorku	Celkový obsah prvků [ $x.ml^{-1}$ ]	Stav motorového oleje
1	333	vyhovuje	34	542	nevyhovuje
2	536	nevyhovuje	35	185	vyhovuje
3	244	vyhovuje	40	520	nevyhovuje
5	70	vyhovuje	41	216	vyhovuje
7	530	nevyhovuje	42	113	vyhovuje
8	528	nevyhovuje	43	319	vyhovuje
9	531	nevyhovuje	44	539	nevyhovuje
10	65	vyhovuje	45	534	nevyhovuje
11	522	nevyhovuje	47	519	nevyhovuje
12	161	vyhovuje	51	231	vyhovuje
13	419	vyhovuje	53	178	vyhovuje
14	108	vyhovuje	54	526	nevyhovuje
15	172	vyhovuje	56	528	nevyhovuje
17	376	vyhovuje	57	109	vyhovuje
18	320	vyhovuje	58	418	vyhovuje
19	526	nevyhovuje	60	82	vyhovuje
20	112	vyhovuje	61	174	vyhovuje
21	400	vyhovuje	67	137	vyhovuje
23	427	vyhovuje	68	531	nevyhovuje
24	73	vyhovuje	71	286	vyhovuje
26	537	nevyhovuje	73	526	nevyhovuje
29	273	vyhovuje	74	328	vyhovuje
30	517	nevyhovuje	79	245	vyhovuje
31	224	vyhovuje	98	206	vyhovuje
32	177	vyhovuje	99	105	vyhovuje

Stanovené hodnoty celkového obsahu otěrových částic v upotřebeném motorovém oleji byly porovnány s mezními hodnotami (Tabulka 6). Na základě tohoto kroku byl stanoven stav motorového oleje. V tabulce 17 jsou uvedeny počty automobilů, u kterých upotřebený motorový olej vyhověl, či nevyhověl.

*Tabulka 17 Vyhodnocení jednotlivých kategorií v závislosti na celkovém počtu otěrových částic*

PARAMETR		Vyhovuje [ks]	Nevyhovuje [ks]
Typu motoru	vznětové	26	8
	zážehové	7	9
Vlastnictví vozidla	soukromé	16	14
	firmitní	17	3
Druh provozu	městský	10	8
	mimo měst.	14	3
	smíšený	9	6
Ujeté kilometrů	kategorie A	6	4
	kategorie B	14	4
	kategorie C	10	2
	kategorie D	3	7
Z celkového počtu vzorků		33	17

#### **Vyhodnocení dat bylo dále provedeno v analytickém programu SAS:**

Z celkového počtu 50 analyzovaných vzorků upotřebených motorových olejů na celkový obsah otěrových částic vyhovělo 66 % a nevyhovělo 34 %.

Rozdíl nastal mezi upotřebenými motorovými oleji pocházejících z automobilů, u nichž celkový počet kilometrů přesáhl hranici 262 200 km. U automobilu s hodnotou ujetých kilometrů pod hranici 262 200 km, kterých bylo celkem 43 vyhovělo 74,4 % a nevyhovělo pouhých 25,6 %. Oproti tomu automobily s celkovým počtem kilometrů přesahující hranici 262 200 o celkovém počtu 7 automobilů z 14,3 % vyhověly a z 35,7 % nevyhověly.

Podrobné vyhodnocení dle výše uvedených hodnot bylo vyhodnoceno pomocí analytického programu SAS a výstupní data jsou dostupná v příloze 1 (Obrázek E).

### 3.6 Celkové zhodnocení stavu upotřebených motorových olejů

K vyhodnocení celkového stavu upotřebeného motorového oleje, byla v rámci práce stanovena podmínka. Nevyhoví-li vzorek upotřebeného motorového oleje minimálně v jedné z 5 provedených analýz, stává se nevyhovujícím. Na druhé straně vzorek vyhovující ve všech provedených analýzách se stává vyhovujícím.

V tabulce 18 jsou uvedeny výsledky jednotlivých analýz s celkovým vyhodnocením stavu upotřebeného motorového oleje. Analýzy jsou uvedeny pod čísly, které odpovídají pořadí, v jakém jsou uvedeny v kapitole 3.

Tabulka 18 – Celkové vyhodnocení stavu jednotlivých vzorků

Č. vzorku	Vyhodnocení analýz					Celkové vyhodnocení motorového oleje	Č. vzorku	Vyhodnocení analýz					Celkové vyhodnocení motorového oleje
	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5	
1	0	0	1	0	0	nevyhovuje	34	1	1	0	0	1	nevyhovuje
2	1	1	0	1	1	nevyhovuje	35	1	0	1	0	0	nevyhovuje
3	0	0	0	0	0	vyhovuje	40	0	0	0	0	1	nevyhovuje
5	0	0	1	1	0	nevyhovuje	41	0	0	0	0	0	vyhovuje
7	1	0	0	0	1	nevyhovuje	42	0	0	0	1	0	nevyhovuje
8	1	1	0	0	1	nevyhovuje	43	0	0	0	0	0	vyhovuje
9	0	0	0	0	1	nevyhovuje	44	0	0	0	0	1	nevyhovuje
10	0	0	0	0	0	vyhovuje	45	1	1	0	1	1	nevyhovuje
11	0	0	0	0	1	nevyhovuje	47	1	1	0	1	1	nevyhovuje
12	1	1	0	0	0	nevyhovuje	51	0	0	0	0	0	vyhovuje
13	0	0	0	0	0	vyhovuje	53	0	0	0	1	0	nevyhovuje
14	0	0	0	0	0	vyhovuje	54	0	0	1	0	1	nevyhovuje
15	1	1	0	1	0	nevyhovuje	56	1	1	1	1	1	nevyhovuje
17	1	0	1	0	0	nevyhovuje	57	0	0	0	0	0	vyhovuje
18	1	1	0	1	0	nevyhovuje	58	1	1	1	1	0	nevyhovuje
19	1	1	0	1	1	nevyhovuje	60	0	0	0	0	0	vyhovuje
20	0	0	0	0	0	vyhovuje	61	0	0	0	0	0	vyhovuje
21	1	1	0	0	0	nevyhovuje	67	0	0	0	1	0	nevyhovuje
23	1	0	0	1	0	nevyhovuje	68	0	0	1	0	1	nevyhovuje
24	0	0	0	0	0	vyhovuje	71	0	0	0	0	0	vyhovuje
26	1	1	1	0	1	nevyhovuje	73	1	0	1	0	1	nevyhovuje
29	0	0	0	0	0	vyhovuje	74	0	0	1	0	0	nevyhovuje
30	1	0	0	1	1	nevyhovuje	79	0	0	0	0	0	vyhovuje
31	0	0	0	0	0	vyhovuje	98	0	0	0	0	0	vyhovuje
32	1	0	0	1	0	nevyhovuje	99	1	0	0	1	0	nevyhovuje

0 – vyhověl, 1 – nevyhověl

Na základě výše stanovené limitní podmínky byly stanoveny počty vyhovujících a nevyhovujících upotřebených motorových olejů. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 19.

Tabulka 19 – Vyhodnocení jednotlivých kategorií na v závislosti na stanovené podmínce

PARAMETR		Vyhovuje [ks]	Nevyhovuje [ks]
Typu motoru	vznětové	15	19
	zážehové	2	14
Vlastnictví vozidla	soukromé	8	22
	firemní	9	11
Druh provozu	městský	5	13
	mimo měst.	8	9
	smíšený	4	11
Ujeté kilometrů	kategorie A	2	8
	kategorie B	8	10
	kategorie C	5	7
	kategorie D	2	8
Z celkového počtu vzorků		17	33

#### Vyhodnocení dat bylo dále provedeno v analytickém programu SAS:

Z celkového počtu 50 analyzovaných vzorků upotřebených motorových olejů posuzovaných na základě výše stanovené podmínky, vyhovělo pouhých 34 % a nevyhovělo 66%.

Z pravidla hůře jsou na tom automobily osazené zážehovými motory, které z celkového počtu 17 automobilů vyhověly z 12% a nevyhověly z 88 %. Oproti tomu automobily osazené vznětovými motory o celkovém počtu 33 automobilů vyhověly z 55 % a nevyhověly z 45%.

Velmi dobře si stály automobily značky Škoda, kde u této značky vznětové motory o celkovém počtu 12 automobilů vyhověly z 66 % a nevyhověly z 34 %.

Podrobné vyhodnocení dle výše uvedených hodnot bylo vygenerováno z analytického programu SAS a výstupní data jsou dostupná v příloze 1 (Obrázek F).

## 4 STANOVENÍ KORELAČNÍ ZÁVISLOSTI POROVNANÝCH METOD

Posouzení možné korelační závislosti se provádělo mezi parametry upotřebených motorových olejů, které byly stanovovány na základě provedených analýz.

- Fuell Sniffer (stanovení obsahu paliva v upotřebeném motorovém oleji).
- Bod vzplanutí (stanovení bodu vzplanutí pro upotřebené motorové oleje).
- Kapková zkouška (stanovení obsahu sazí).
- Stanovení viskozity (viskozimetrem).
- Ferrografická analýza (stanovení celkového počtu otěrových částic).

Zpracování výstupních hodnot jednotlivých parametrů proběhlo v databázovém programu MS EXCEL, pomocí kterého byla provedena korelační analýza. Stanovení korelační závislosti se provádělo za účelem zjištění možné závislosti vybraných parametrů upotřebených motorových olejů.

### 4.1 Regrese a korelace

Při studiu vícerozměrných statistických souborů a určení jejich závislosti musíme jednotlivé soubory posuzovat vzájemně. Určovali bychom možnou závislost izolovaně, došlo by ke zkreslení informací o typu a stupni jejich vzájemné závislosti. [36]

Není jevu, který by vznikl či probíhal libovolně. Vždy je ovlivňován vztahem k jiným jevům a nemůže být pochopen správně, je-li z těchto vztahů a souvislostí vytržen. Metody a postupy řešící tuto problematiku se nazývají regresivní a korelační analýza. Určují závislost mezi jednotlivými veličinami, ale neurčují příčinu ani následek. [36]

**Regresivní analýza** nám pomáhá určit formu závislosti a vyjádřit ji pomocí matematické funkce. Analýzu provádíme především ze dvou hlavních důvodů:

1. Kvantitativní popis závislosti mezi proměnnými umožní určit, zda mezi sledovanými znaky existuje reálná příčinná souvislost
2. Známe-li regresní funkci, můžeme provádět tzv. regresní odhad. [36]

**Korelační analýzy** nám určuje stupeň síly, s jakou se daná závislost projevuje uprostřed rušících vedlejších faktorů. Dle korelační analýzy stanovíme těsnost závislosti mezi náhodnými veličinami. Oproti regresivní analýze, která se zaměřuje na formu vztahu mezi sledovanými veličinami, se korelační analýza zabývá otázkou významnosti vzájemné závislosti. Vypovídací hodnotou o síle závislosti je korelační koeficient  $r$ , který udává, s jakou mírou jsou veličiny na sobě závislé. [36]

## 4.2 Stanovení korelační závislosti

Stanovení síly korelační závislosti bylo provedeno pomocí analytických nástrojů databázového programu MS EXCEL. Výstupní hodnoty byly zpracovány do korelační matice (tabulka 20), kde jsou uvedeny hodnoty korelačního koeficientu  $r$ , jenž prokazuje, s jakou silou nastala korelační závislost mezi jednotlivými dvojicemi parametrů upotřebených motorových olejů.

Tabulka 20 – Korelační matice

	Obsah paliva	Bod vzplanutí	Viskozita	Obsah sazí	Obsah částic
Obsah paliva	1				
Bod vzplanutí	-0,783	1			
Viskozita	-0,351	0,174	1		
Obsah sazí	-0,420	0,465	0,036	1	
Obsah částic	0,345	-0,403	0,003	0,135	1

Z korelační matice je dle hodnoty korelačního koeficientu ( $r$ ) zřejmá síla jednotlivých analýz. Pro účely této práce byla stanovena hranice korelačního koeficientu  $r = 0,2$ .

Dle této podmínky nevyhověly 4 dvojice parametrů označených červeně (Tabulka 20). Splnění podmínky vyhovělo 6 dvojic parametrů, které jsou označeny zeleně (Tabulka 20).

Práce se dále zaměřuje na rozbor jednotlivých dvojic, u kterých byla překročena stanovená hranice korelačního koeficientu. Vybrané dvojice parametrů byly dále podrobeny zpracování a výstupní hodnoty jsou uvedeny v tabulce 21. Dvojice jsou seřazeny dle síly vzájemné závislosti parametrů.

Tabulka 21 – Statistické hodnoty jednotlivých dvojic parametrů

	Regressivní rovnice	Korelační koeficient	Spolehlivost	Statistická významnost
<b>Obsah paliva X Bod vzplanutí</b>	$y = -9,564 \cdot x + 223,57$	$r = -0,783$	$R = 0,613$	statisticky významný
<b>Bod vzplanutí X Obsah sazí</b>	$y = 0,0124x + 1,7132$	$r = 0,465$	$R = 0,2165$	statisticky významný
<b>Obsah paliva X Obsah sazí</b>	$y = -0,1367x + 4,5724$	$r = -0,420$	$R = 0,1767$	statisticky významný
<b>Bod vzplanutí X Obsah částic</b>	$y = -1,8394x + 651,83$	$r = -0,403$	$R = 0,162$	statisticky významný
<b>Obsah paliva X Viskozita</b>	$y = -2,1348x + 2,4844$	$r = -0,351$	$R = 0,1232$	statisticky významný
<b>Obsah paliva X Obsah částic</b>	$y = 19,235x + 232,66$	$r = 0,345$	$R = 0,119$	statisticky významný

Nejsilnější závislost nastala mezi parametry obsahu paliva a bodem vzplanutí. Podrobnější popis této dvojice parametrů je rozebrán v kapitole 4.2.1.

Dále byla prokázána závislost bodu vzplanutí na obsahu sazí, kdy zvyšující se obsah sazí v motorovém oleji ovlivňuje hodnotu bodu vzplanutí (zvyšuje ji). Tento fakt byl nepřímo potvrzen u dvojice parametrů obsahu paliva a obsahu sazí.

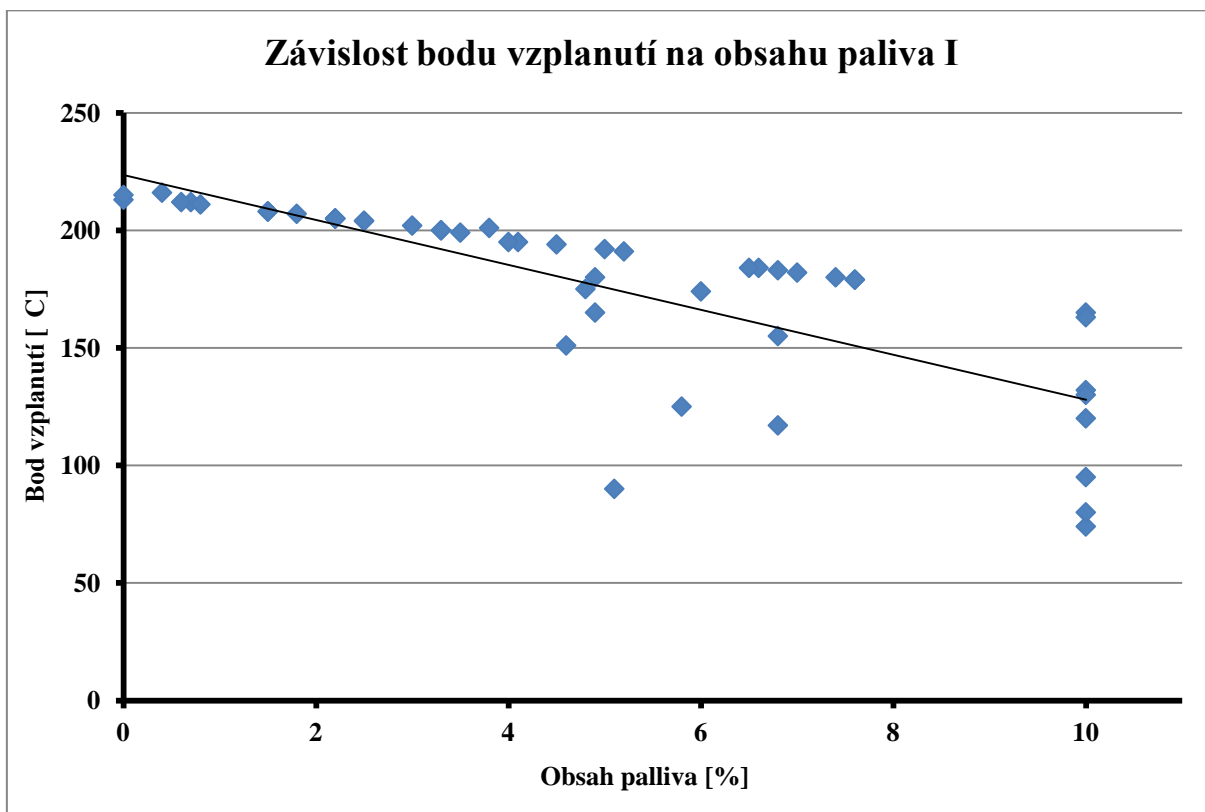
K závislosti parametrů došlo i mezi parametry bodu vzplanutí na celkovém obsahu otěrových částic. S rostoucím počtem otěrových částic docházelo ke snižování bodu vzplanutí. Opět došlo k potvrzení této závislosti druhou dvojicí parametrů obsahu paliva a celkovým obsahem otěrových částic.

K předpokládané závislosti parametrů došlo i mezi viskozitou a obsahem paliva, kdy s rostoucím obsahem paliva v upotřebeném motorovém oleji dochází ke snižování viskozity.



#### 4.2.1 Obsah paliva a bod vzplanutí

Dle očekávání nastala nejvýznamnější korelační závislost mezi parametry obsahu paliva a bodem vzplanutí upotřebeného motorového oleje (Graf 1), kde obsah paliva je příčinou a důsledkem je bod vzplanutí.



◆ Jednotlivé vzorky upotřebených motorových olejů

Graf 1 – Závislost bodu vzplanutí na obsahu paliva I

Regresivní rovnice:  $y = -9,564 \cdot x + 223,57$

Korelační koeficient:  $r = -0,783$

Hodnota spolehlivosti:  $R = 0,613$

Test hypotézy  $H_0: \beta=0$ :  $r_{0,05(48)}=0,279$  [37]

$|r| > r_{0,05(48)}$  [36]  $0,783 > 0,279$

Zamítáme  $H_0$ , tzn. Korelační koeficient  $r = 0,783$  je statisticky významný.

Z grafu 1 je patrná závislost bodu vzplanutí na obsahu paliva v motorovém oleji. Se vzrůstajícím obsahem paliva dochází ke snižování bodu vzplanutí motorového oleje. Příčinou tohoto faktu je nižší hodnota bodu vzplanutí paliva, které zředí motorový olej, a tím snižuje jeho hodnotu bodu vzplanutí.

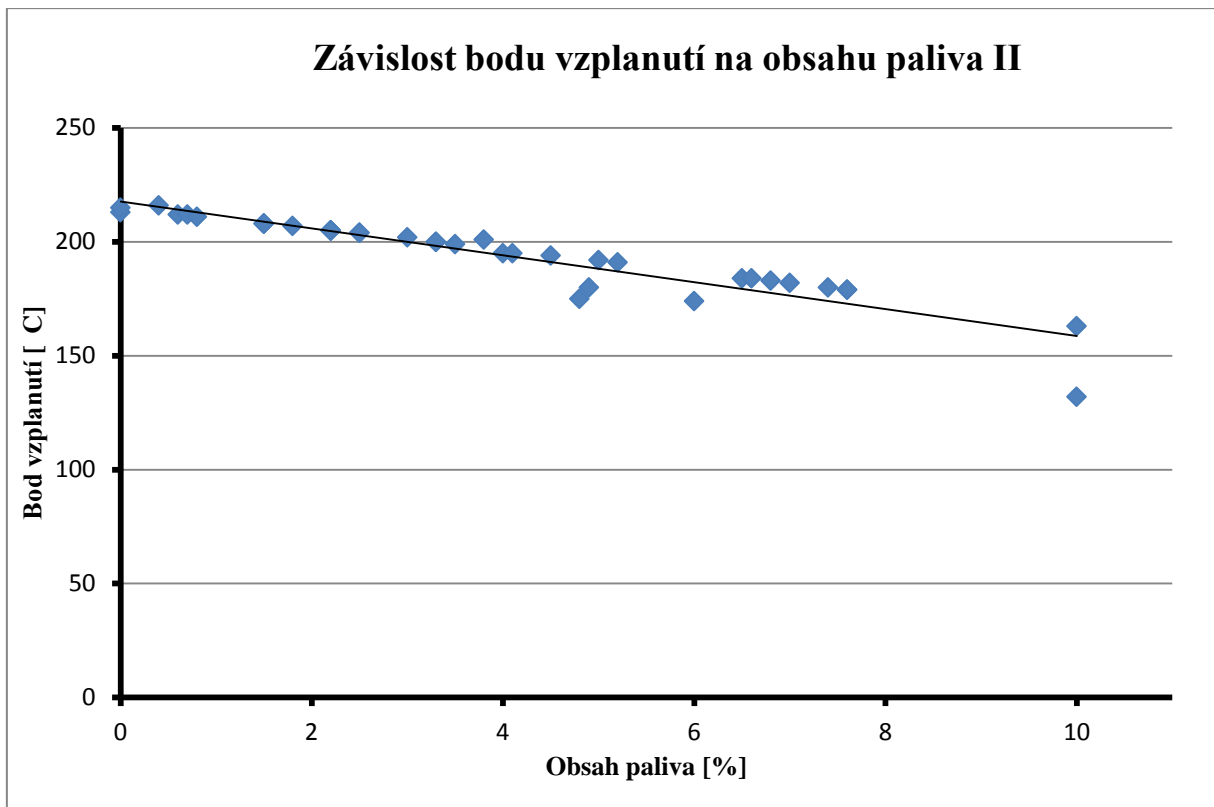
Ke kontaminaci motorového oleje palivem dochází vlivem průniku nespáleného paliva z prostoru válce (netěsnost pístních kroužků) do klikové skříně. Nebo jako důsledek poruchy např.: vstříkovače.

Na výše uvedeném grafu 1, jsou patrné vzorky upotřebených motorových olejů, které svými hodnotami ovlivňují výslednou sílu korelační závislosti. Na základě rozhodnutí dojde k vyloučení vybraných vzorků, které svou naměřenou hodnotou nejspíše neodpovídají skutečnosti.

V první řadě se jedná o vzorky upotřebených motorových olejů, u nichž byla pomocí přístroje Fuell Sniffer naměřena hodnota obsahu paliva rovna 10 % a hodnota bodu vzplanutí vykazovala velmi nízké hodnoty. Přístroj Fuell Sniffer je limitován rozsahem měření (max. 10%). Z tohoto důvodu by se dalo předpokládat, že tyto vzorky mají vyšší obsah paliva a hodnota 10 % neodpovídá skutečnosti. Na základě tohoto faktu dojde k vyloučení vzorků: 2, 15, 18, 45, 47 a 58.

Dále dojde k vyloučení vzorků upotřebených motorových olejů, které dosahovaly nahodilých extrémů, které poukazovaly na ovlivnění hodnot měření. Jednalo se o vzorky upotřebených motorových olejů s čísly: 10, 19, 26, 35, 56 a 71.

Zbýlých 38 vzorků upotřebených motorových olejů byly znovu podrobeny korelační analýze. Vlivem vynechání daných vzorků, došlo ke zvýšení hodnoty korelačního koeficientu a s ním souvisejícími hodnotami závislosti.



◆ *Jednotlivé vzorky upotřebených motorových olejů*

*Graf 2 – Závislost bodu vzplanutí na obsahu paliva II*

Regresivní rovnice:  **$y = -5,8916 \cdot x + 217,66$**

Korelační koeficient:  **$r = -0,931$**

Hodnota spolehlivosti:  **$R = 0,866$**

Test hypotézy  $H_0: \beta=0$ :  **$r_{0,05(48)}=0,279$**  [37]

**$|r| > r_{0,05(48)}$**  [36]       **$0,931 > 0,279$**

Zamítáme  $H_0$ , tzn. Korelační koeficient  $r = 0,931$  je statisticky významný.

## 5 ZÁVĚR

Požadavky kladené na motorové oleje jsou dosti vysoké a měly by být plněny po celou dobu stanoveného intervalu výměny. Avšak během doby použití dochází vlivem různých faktorů ke ztrátě funkčních vlastností motorového oleje. Cílem této diplomové práce bylo analyzovat stav upotřebených motorových olejů a stanovení možné korelační závislosti mezi jednotlivými provedenými analýzami.

V první části byly odebrány vzorky upotřebených motorových olejů z 50 osobních automobilů. Z důvodu významnosti odběru reprezentativního vzorku byla sestavena metodika odběru, dle které se vzorky odebíraly. Součástí odběru bylo dotazníkové šetření upřesňující informace o automobilech, ze kterých vzorky pocházely. Odebrané vzorky upotřebených motorových olejů byly podrobeny vybraným analýzám: Fuell Snifferu, bodu vzplanutí, stanovení viskozity, kapkové zkoušce a ferrografické analýze. Postupy jednotlivých analýz společně s naměřenými výslednými hodnotami jsou uvedeny v kapitole 3. Souhrnné informace jednotlivých vzorků upotřebených motorových olejů společně s informacemi týkajícími se automobilů jsou k dispozici na datovém nosiči. V poslední etapě byla data vyhodnocena a hledala se možná korelační závislost mezi jednotlivými analýzami, respektive korelační závislost jednotlivých stanovených parametrů upotřebených motorových olejů.

Dle očekávání nastala nejvýznamnější korelační závislost mezi parametry obsahu paliva v upotřebeném motorovém oleji a bodem vzplanutím upotřebeného motorového oleje, kde hodnota spolehlivosti dosahovala 86%. Korelační závislost byla potvrzena u dalších pěti dvojic parametrů, kde však hodnoty spolehlivosti nedosahovaly takové významné síly.

Vyhodnocením celkového stavu upotřebených motorových olejů, byly stanoveny faktory nejvíce se podílející na výši znehodnocení (degradaci) motorového oleje. Jednalo se o faktory: typ motoru, druh provozu a vlastnictví (soukromé či firemní). Z naměřených výsledků je patrné, že nejhůře dopadly automobily osazené zážehovými motory, provozované v městském provozu v soukromém vlastnictví. Oproti tomu velice dobře dopadly automobily osazené vznětovými motory, provozované v mimoměstském provozu k firemním účelům.

Z těchto skutečností lze vyslovit hypotézu, že u automobilů osazenými zážehovými motory, jež jsou provozované v městském provozu v soukromém vlastnictví, by mělo dojít ke zkrácení intervalu výměny o 20 %, aby nedocházelo k překračování únosnosti motorového

oleje. Naopak u automobilů osazených vznětovými motory provozovaných v mimoměstském provozu, by mohlo dojít k navýšení intervalu výměny o 15 %, což by přispělo ke snížení nákladů na provoz automobilu. Stanovené změny intervalu jsou orientační a vycházejí z naměřených výsledných hodnot této práce. K upřesnění velikosti změny intervalu výměny motorových olejů, je za potřebí provedení rozsáhlejší analýzy.

## 6 LITERATURA

- [1] Hrdlička, Z.: Automobilové kapaliny, Praha: vydavatelství Grada Publishing s.r.o., 1996, 128s, ISBN 80-7169-332-4
- [2] Základy o olejích, [online], [cit. 20. 3. 2012], dostupný z WWW  
<<http://www.castrol.com/castrol/sectiongenericarticle.do?contentId=7023153&categoryId=9011984>>
- [3] Další složky oleje, [online], [cit. 20. 3. 2012], dostupný z WWW  
<<http://www.castrol.com/castrol/sectiongenericarticle.do?categoryId=9011985&contentId=7023154>>
- [4] Aditiva přísady do olejů, [online], [cit. 23. 12. 2011], dostupný z WWW:  
<[http://oleje.cz/index.php?left=main&page=uzitecne\\_aditiva](http://oleje.cz/index.php?left=main&page=uzitecne_aditiva)>
- [5] Budoucnost trhu motorových olejů, [online], [cit. 25. 12. 2011], dostupný z WWW:  
<<http://old.cappo.cz/veletrh2003/kozak.html>>
- [6] Viskozita olejů, [online], [cit. 22. 12. 2011], dostupný z WWW:  
<[http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=mot\\_visko](http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=mot_visko)>
- [7] Viskozitní klasifikace, [online], [cit. 23. 12. 2011], dostupný z WWW:  
<<http://eshop.paramo.cz/rady-odbornika/viskozitni-klasifikace.aspx>>
- [8] AUTOEXPERT. Praktická dílna, červenec - srpen 2009, Praha: Autopress s.r.o., ISSN 1211-2380
- [9] Třebický, V.: Klasifikace a zkoušení maziv, Český normalizační institut, 20 s
- [10] Matějovský, V.: Spalovací motory III, Praha: vydavatelství ČVUT, 1994, 155s, ISBN 80-01-00250-0
- [11] Vlastnosti motorových olejů, [online], [cit. 23. 12. 2011], dostupný z WWW:  
<[http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky\\_vlastnosti\\_oleju6](http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju6)>
- [12] Bečka, J.: Tribologie, Praha: vydavatelství ČVUT, 1997, 212s, ISBN 80-01-01621-8
- [13] Tribologie, [online], [cit. 10. 1. 2012], dostupný z WWW:  
<[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/ttv/tribologie.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/ttv/tribologie.pdf)>

- [14] Tribotechnická diagnostika motorových olejů, [online], [cit. 2. 2. 2012], dostupný z WWW: <<http://cmms.cz/mazani/205-tribotechnicka-diagnostika-motovych-oleju.html>>
- [15] Tribotechnické informace, číslo 1. TES Praha a.s. a Česká strojírenská společnost, 2007. 28 s.
- [16] Tesař, M.: Konstrukce vozidlových spalovacích motorů, Pardubice: vydavatelství Univerzita Pardubice, 2003, 172s, ISBN 80-7194-550-1
- [17] Vlastnosti motorových olejů – HTHS viskozita a lehkoběžné oleje, [online], [cit. 30. 1. 2012], dostupný z WWW: <[http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky\\_vlastnosti\\_oleju3](http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju3)>
- [18] Bod vzplanutí, [online], [cit. 4. 2. 2012], dostupný z WWW: <<http://www.oleje-mpa.cz/bod-vzplanuti>>
- [19] Vlastnosti motorových olejů – Palivo v oleji, [online], [cit. 1. 2. 2012], dostupný z WWW: <[http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky\\_vlastnosti\\_oleju8](http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju8)>
- [20] Tribotechnické mýty, [online], [cit. 15. 2. 2012], dostupný z WW: <[http://oleje.cz/index.php?left=main&page=zajimavosti\\_myty](http://oleje.cz/index.php?left=main&page=zajimavosti_myty)>
- [21] Vlastnosti motorových olejů – Oxidační stabilita, nitrace oleje [online], [cit. 10. 2. 2012], dostupný z WWW: <[http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky\\_vlastnosti\\_oleju7](http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju7)>
- [22] Vlastnosti motorových olejů – Kyselost a alkalita olejů, [online], [cit. 17. 2. 2012], dostupný z WWW: <[http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky\\_vlastnosti\\_oleju4](http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju4)>
- [23] Vlastnosti motorových olejů – Detergenty a disperzaty, [online], [cit. 7. 2. 2012], dostupný z WWW: <[http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky\\_vlastnosti\\_oleju5](http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju5)>
- [24] Vlastnosti motorových olejů – Voda a glycol v oleji, [online], [cit. 7. 2. 2012], dostupný z WWW: <[http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky\\_vlastnosti\\_oleju9](http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju9)>

- [25] SpectroFDM Q<sup>600</sup>, [online], [cit. 12. 12. 2011], dostupný z WWW:  
<<http://www.spectroinc.com/Collateral/Documents/English-US/FDM%20Q600%20Brochure.pdf> >
- [26] Analyzátor bodu vzplanutí, [online], [cit. 21. 2. 2012], dostupný z WWW:  
<<http://www.verkon.cz/analyzatory-bodu-vzplanuti-cleveland/> >
- [27] Koběrská, Z. Příručka kvality. vydání 3. dne 13. 5. 2011, Petřvald u Karviné, 24 s
- [28] Kapková zkouška – vyhodnocení, [online], [cit. 17. 1. 2012], dostupný z WWW:  
< <http://www.oleje.cz/eshop/img/MOTORcheckUPvyhodnoceniCZ.pdf> >
- [29] Tribotechnická aplikace vybraných instrumentálních metod, [online], [cit. 29. 1. 2012], dostupný z WWW:  
<<http://www.cd rail.cz/vts/CLANKY/vts21/2112.pdf> >
- [30] Vlastnosti motorových olejů – Otěrové kovy, [online], [cit. 9. 2. 2012], dostupný z WWW: <[http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky\\_vlastnosti\\_oleju10](http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju10)>
- [31] ČSN 65 6207. Odběr vzorků pro stanovení obsahu mechanických nečistot Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1986. 22s
- [32] Tribotechnické informace, číslo 2. TES Praha a.s. a Česká strojírenská společnost, 2010. 23 s.
- [35] Stanovení viskozity, [online], [cit. 10. 2. 2012], dostupný z WWW:  
<[http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res\\_stanoveni\\_viskozity\\_roztoku/teorie.htm](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_stanoveni_viskozity_roztoku/teorie.htm)>
- [33] Produkty společnosti 77, [online], [cit. 15. 3. 2012], dostupný z WWW:  
<<http://www.77lubricants.cz/77-lubricants/3-PRODUKTY/3-MOTOR-OLEJE-OSOBNI-VOZY>>
- [34] Bezpečnostní listy společnosti SHELL, [online], [cit. 16. 3. 2012], dostupný z WWW:  
<[http://www.shell.cz/home/content/cze/products\\_services/solutions\\_for\\_businesses/oil\\_s\\_lubricants/technical\\_services/datasheets/](http://www.shell.cz/home/content/cze/products_services/solutions_for_businesses/oil_s_lubricants/technical_services/datasheets/) >
- [35] Produkty společnosti CASTROL, [online], [cit. 15. 3. 2012], dostupný z WWW:  
<<http://www.olej spol.cz/kategorie/automobilove-oleje/oleje-castrol>>



- [36] Svatošová, L.: Statistické metody I, Praha, vydavatelství České zemědělské univerzity v Praze Provozně ekonomická fakulta, 2007, 132s, ISBN 978-80-213-1672-0
- [37] Prášilová, M: Cvičení ze statistiky, Praha, vydavatelství České zemědělské univerzity v Praze Provozně ekonomická fakulta, 2004, 192s, ISBN 80-213-0712-9

## **Seznam grafů:**

Graf 1 – Závislost bodu vzplanutí na obsahu paliva I .....	49
Graf 2 – Závislost bodu vzplanutí na obsahu paliva II.....	51

## Seznam obrázků:

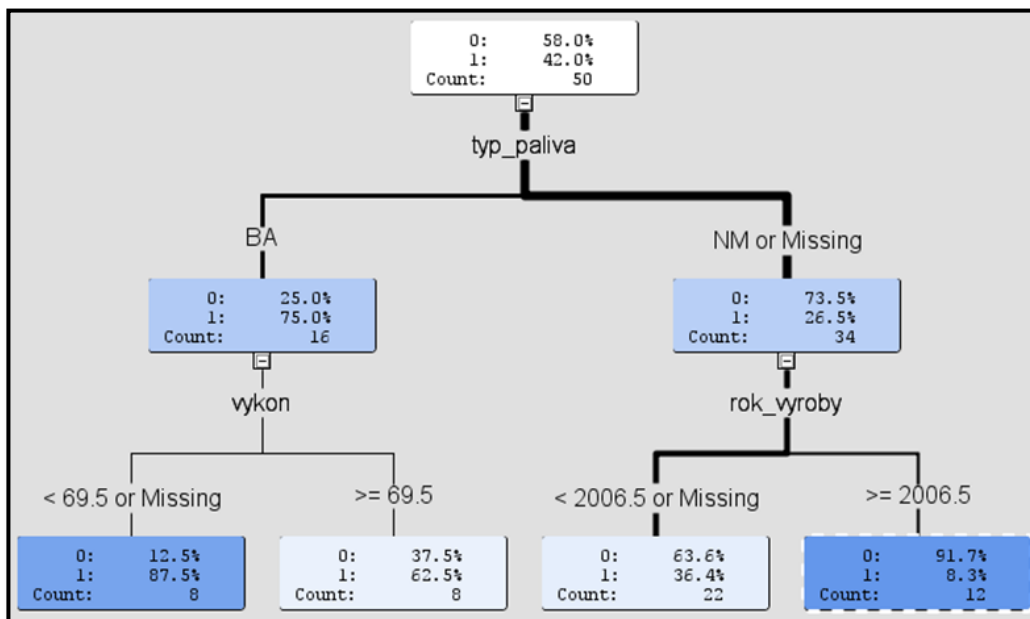
Obrázek 1 - Atmosférická destilace [2] .....	2
Obrázek 2 - Teplotní rozsahy motorových olejů dle značení SAE [6].....	7
Obrázek 3 – Fuell Sniffer (SpectrolFDM Q600) [25] .....	19
Obrázek 4 – Zkušební přístroj pro metodu bodu vzplanutí v otevřeném kelímku [26] .....	20
Obrázek 5 – Rozložení zón kapky .....	21
Obrázek 6 – Kapilární viskozimetr [35] .....	22
Obrázek 7 – Vzorkovnice .....	27

## Seznam tabulek

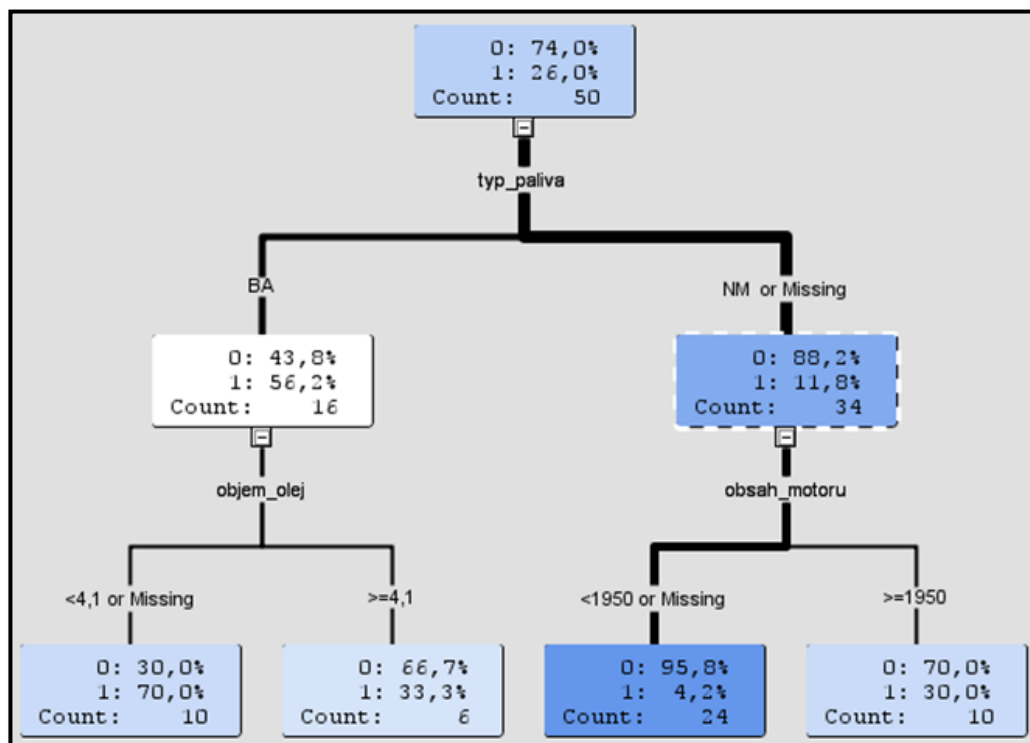
Tabulka 1 – Výhody syntetických základových olejů [2] .....	3
Tabulka 2 – Technické parametry Fuell Snifferu [25] .....	19
Tabulka 3 – Otěrové kovy a jejich původ [30] .....	23
Tabulka 4 – Přehled rozdělení automobilů .....	29
Tabulka 5 – Intervaly jednotlivých kategorií .....	29
Tabulka 6 – Mezní hodnoty jednotlivých parametrů [14,27] .....	30
Tabulka 7 – Hodnoty obsahu paliva pro jednotlivé vzorky; .....	31
Tabulka 8 – Vyhodnocení jednotlivých kategorií v závislosti na obsahu paliva .....	32
Tabulka 9 – Hodnoty bodu vzplanutí pro jednotlivé vzorky .....	34
Tabulka 10 – Vyhodnocení jednotlivých kategorií v závislosti na bodu vzplanutí .....	35
Tabulka 11 – Hodnoty obsahu sazí pro jednotlivé vzorky .....	37
Tabulka 12 – Vyhodnocení jednotlivých kategorií v závislosti na obsahu sazí .....	38
Tabulka 13 – Hodnoty viskozity při 40 °C nového motorového oleje [33, 34, 35] .....	39
Tabulka 14 – Hodnoty viskozity pro jednotlivé vzorky .....	40
Tabulka 15 – Vyhodnocení jednotlivých kategorií v závislosti na změně viskozity .....	41
Tabulka 16 – Hodnoty celkových počtů otěrových částic pro jednotlivé vzorky .....	42
Tabulka 17 Vyhodnocení jednotlivých kategorií v závislosti na celkovém počtu otěrových částic .....	43
Tabulka 18 – Celkové vyhodnocení stavu jednotlivých vzorků .....	44

Tabulka 19 – Vyhodnocení jednotlivých kategorií na v závislosti na stanovené podmínce .....	45
Tabulka 20 – Korelační matice.....	47
Tabulka 21 – Statistické hodnoty jednotlivých dvojic parametrů .....	48

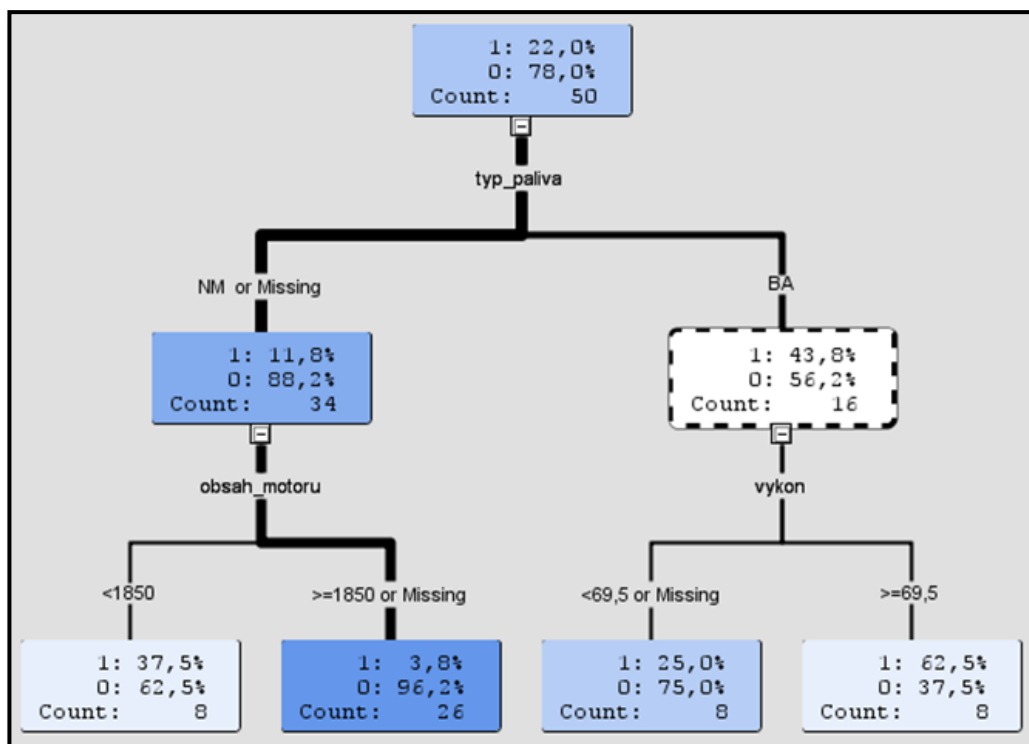
## Příloha 1 – Výstupní diagramy z programu SAS



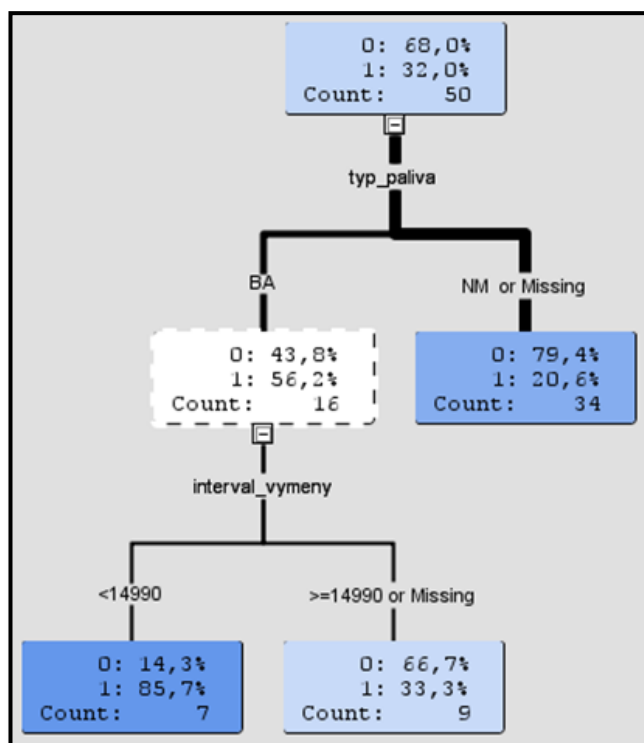
Obrázek A – Stromový diagram analýzy parametru obsahu paliva dle programu SAS



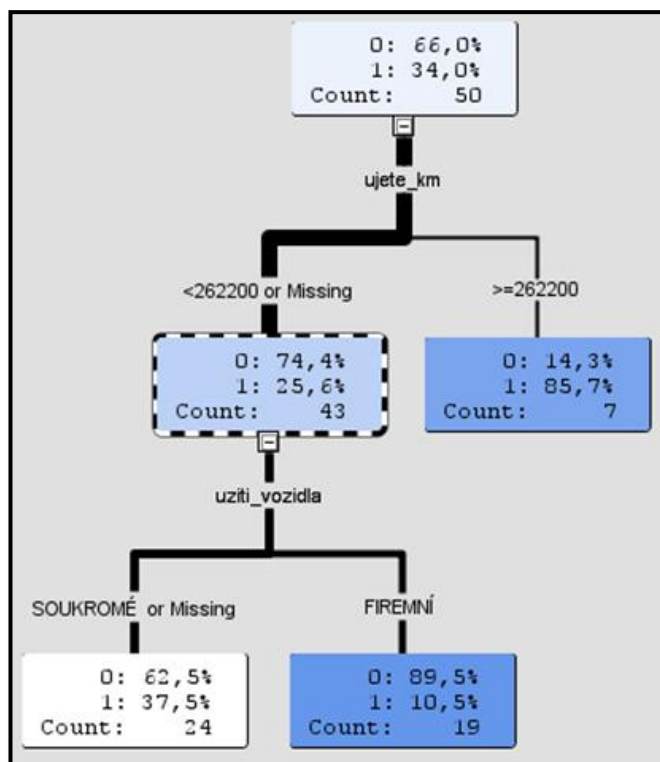
Obrázek B – Stromový diagram analýzy parametru bodu vzplanutí dle programu SAS



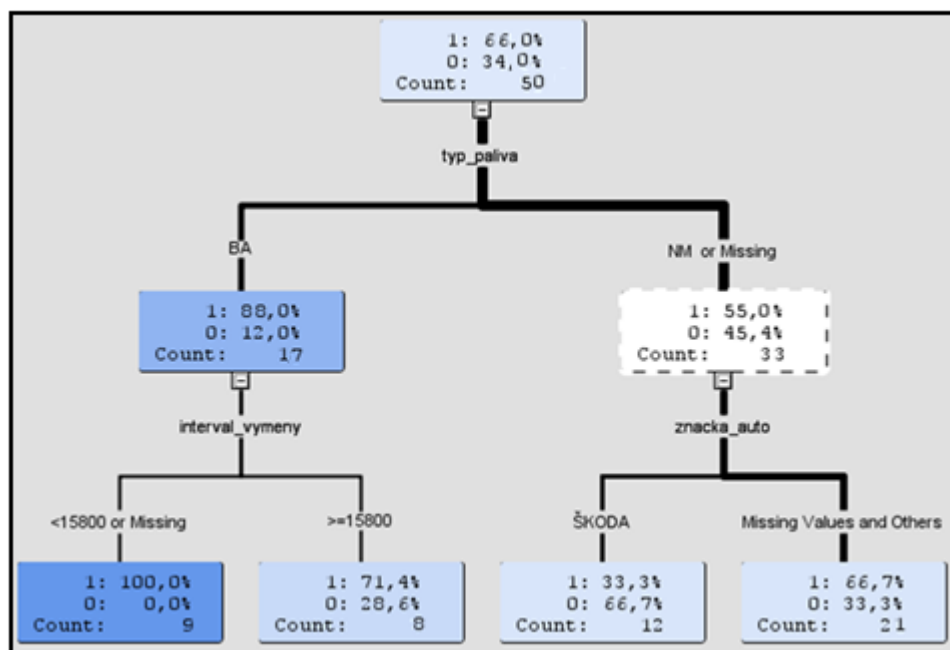
Obrázek C – Stromový diagram analýzy parametru obsahu sazí dle programu SAS



Obrázek D – Stromový diagram analýzy parametru hodnoty viskozity dle programu SAS



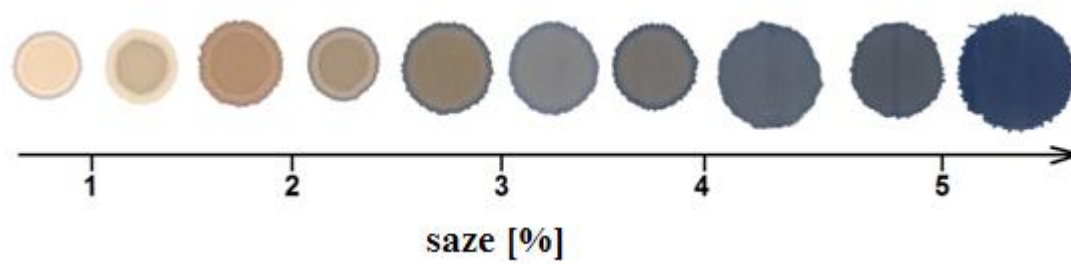
Obrázek E – Stromový diagram analýzy parametru otěrových částic dle programu SAS



Obrázek F – Stromový diagram celkového vyhodnocení stavu upotřebeného motorového oleje dle programu SAS



## Příloha 2



Obrázek G – Orientačně znázorněný rozsah obsahu sazí dle barvy vzniklé kapky

# Příloha 3 – Částečné zobrazení dat

Identifikační údaje vzorku		Technické parametry automobilu ze kterého vzorek upotřeběného motorového oleje pochází										Informace o upotřeběném motorovém oleji					
Průběžné číslo vzorku	Datum odběru vzorku	Značka automobilu	Typ automobilu	Typ motoru	Typ paliva	Objem motoru [cm <sup>3</sup> ]	Práglivovací	Podélná vzdálenost [mm]	Rok výroby	Výkon [kW]	Oprava motoru	Vlastní třída	Výkonová třída	Značka motorového oleje	Doporučený interval [km]	Doporučený interval [hod]	Rozsah intervalu [km]
1	20.2.2012	Ford	Focus	zabíjevo	NL	1800	ano	183800	2003	74	ne	5W30	CF B1	Castrol	15000	1	14350
2	20.2.2012	Opel	Astra	zabíjevo	BA	1400	ne	4234*	2006	66	ne	5W30	SJ A3	Shell	15000	1	13200
3	23.2.2012	Mercedes	220	zabíjevo	NL	2200	ano	215000	2002	102	ne	5W40	SM CF	77	15000	1	10000
4	23.2.2012	Honda	CRV	zabíjevo	BA	2000	ne	81300	2009	110	ne	5W40	SJ A3	Shell	15000	1	13600
5	23.2.2012	Renault	Scenic	zabíjevo	NL	1900	ano	272400	2006	83	ne	5W30	CF B4	Castrol	15000	1	15100
6	19.2.2012	Renault	Mégane	zabíjevo	NL	1500	ano	101000	2005	74	ne	5W40	CF B4	Castrol	20000	2	15000
7	23.2.2012	Peugeot	406	zabíjevo	NL	1900	ano	182000	1999	68	ne	10W40	A3 B3	77	15000	1	17500
8	29.2.2012	Renault	Clio	zabíjevo	BA	1200	ne	87555	2000	47	ne	10W40	SJ A1	Shell	15000	1	16000
9	29.2.2012	Renault	Clio	zabíjevo	NL	1600	ano	179500	2004	67	ne	5W30	CF B3	77	15000	1	11800
10	29.2.2012	Renault	Clio	zabíjevo	NL	1600	ano	182000	2005	100	ne	5W30	CF B3	Castrol	15000	1	11800
11	23.2.2012	Skoda	Primaq	zabíjevo	NL	2200	ano	245600	2005	102	ne	5W30	A1 B1	77	20000	2	21200
12	13.3.2012	Skoda	Superb	zabíjevo	NL	2000	ano	246600	2009	122	ne	5W30	507 00	Shell	16000	1	14800
13	15.3.2012	Hundai	Lantra	zabíjevo	BA	1600	ne	128700	1999	66	ne	5W40	A3 B3	77	15000	1	24200
14	17.3.2012	Citroen	Partner	zabíjevo	NL	1600	ano	160100	2006	55	ne	5W40	A3 B4	Shell	20000	1	20200
15	18.3.2012	Toyota	Avenis	zabíjevo	NL	2000	ano	254600	2002	81	ne	5W30	CF B3	77	15000	1	18000
16	19.3.2012	VW	Transporter	zabíjevo	BA	2500	ne	292100	1998	85	ne	10W40	A3 B4	Shell	10000	1	10500
17	20.3.2012	Skoda	Octavia	zabíjevo	NL	1900	ano	132500	2005	77	ne	5W30	CF B3	Shell	15000	1	14010
18	21.3.2012	Skoda	Octavia	zabíjevo	NL	2000	ano	152000	2004	103	ne	5W30	CF B3	Castrol	20000	2	21500
19	24.2.2012	Skoda	Octavia	zabíjevo	NL	1900	ano	78000	2008	77	ne	5W30	CF B3	Castrol	20000	2	24500
20	24.2.2012	Vaux	SGS	zabíjevo	NL	2500	ano	153000	2008	120	ne	5W30	CF B4	Castrol	20000	1	18200
21	23.2.2012	Skoda	Fabia	zabíjevo	BA	1600	ne	199800	2005	53	ne	5W40	A3 B3	Shell	15000	1	14400

Obrázek H – Zpracovaná data VÝŘEZ I

Datum předchozí výměny	Odhad objemů odpadů	Způsob provozování				Naměřené parametry jednotných analýz						Vyhodnocení stavu upotřeběného					
		Vlastníci vozidla	Druh provozu	Využití vozidla	Průměrný počet km za jízdu	Obtíž paliva [kg]	Bod vplávaní [°C]	Viskozita při 40 °C [mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	Procento (množ) naměřené hodnoty v tabulce oporní úrovně	Obtíž saz [g]	Saz [kg·m <sup>-3</sup> ]	Lehký saz [kg·m <sup>-3</sup> ]	Katodní karbonizace [sazdy [kg·m <sup>-3</sup> ]	Obtíž paliva	Bod vplávaní	Obtíž saz	Obtíž prátek
21.12.2010	3,6	souběžně	minimální	1-3 k	5-15	1,6	152	49,73	-13,2	4,2	305	10	23	0	0	0	0
21.2.2011	3,6	souběžně	minimální	3 x 3 k	15-30	3,8	201	82,62	-29,2	4,4	500	5	26	0	0	0	0
10.8.2010	5,5	souběžně	minimální	3 x 3 k	15-30	3,8	201	71,84	-49,3	4,4	200	5	39	0	0	0	0
12.1.2011	4,2	souběžně	minimální	1-3 k	5-15	4,8	175	84,68	-21,8	4	60	0	10	0	0	0	0
10.2.2011	4,8	souběžně	minimální	1-3 k	184	6,6	184	66,08	-10,0	3,2	500	5	25	1	0	0	0
20.11.2010	5,0	souběžně	minimální	3 x 3 k	5-15	7,6	179	87,24	2,3	3,1	500	8	20	1	0	0	0
8.8.2010	6,1	souběžně	minimální	1-3 k	5-15	0,7	212	110,18	13,6	4,9	500	9	22	0	0	0	0
3.1.2010	3,5	souběžně	minimální	3 x 3 k	5-15	4,6	151	94,09	-3,1	3	50	0	15	0	0	0	0
17.9.2010	4,5	šermit	minimální	4 x 4 více	5-15	3,3	200	57,36	-16,9	5	500	6	16	0	0	0	0
1.11.2010	8,2	souběžně	minimální	3 x 3 k	15-30	7,6	179	75,22	-1,2	4,2	140	4	17	1	0	0	0
18.3.2011	6,0	souběžně	minimální	1-3 k	30	2,2	205	57,02	-1,4	3,2	400	0	19	0	0	0	0
14.4.2011	4,5	šermit	minimální	1-3 k	30	1,5	208	70,74	3,7	3,9	90	3	15	0	0	0	0
8.6.2009	4,0	souběžně	minimální	1-3 k	5-15	10	120	69,6	-19,1	1,6	60	0	12	0	0	0	0
12.1.2011	4,4	souběžně	minimální	1-3 k	15-30	4,0	145	52,12	-2,2	4,1	300	0	20	1	0	0	0
12.8.2011	5,5	souběžně	minimální	4 x 4 více	15-30	7,0	145	52,12	-2,2	4,1	300	0	20	1	0	0	0
11.8.2011	4,3	šermit	minimální	1-3 k	30	6,8	117	128,41	33,1	2,7	500	0	26	1	0	0	0
10.1.2010	4,0	šermit	minimální	3 x 3 k	15-30	4,1	182	70,66	3,6	2,6	100	0	12	0	0	0	0
30.9.2010	4,3	šermit	minimální	4 x 4 více	30	7,4	180	60,89	-17,0	4,2	370	0	30	1	0	0	0
12.1.2011	6,5	souběžně	minimální	3 x 3 k	30	7	182	48,46	-24,0	4,4	400	0	27	1	0	0	0
29.6.2010	3,2	souběžně	minimální	1-3 k	15-30	2,2	202	78,8	8,7	2,3	60	0	13	0	0	0	0
						5,1	90	74,98	-7,9	4,1	500	11	26	1	1	1	1

Obrázek CH – Zpracovaná data VÝREZ II

Vyhodnocení stavu upotřebeného motorového oleje						Celkové zhodnocení stavu motorového oleje	
Obsah paliva	Bod vplávaní	Obsah sazí	Obsah prvků	Viskozita	Celkové vyhodnocení	Celkové zhodnocení stavu motorového oleje	
0	0	1	0	0	1	Olej savčičková	
1	1	0	0	1	1	Olej savčičková	
0	0	0	0	0	0	Olej vyčistěná	
0	0	1	0	1	1	Olej savčičková	
1	1	0	1	0	1	Olej savčičková	
1	1	0	1	0	1	Olej savčičková	
0	0	0	0	0	0	Olej savčičková	
0	0	0	0	0	0	Olej vyčistěná	
0	0	0	0	0	0	Olej savčičková	
0	0	0	0	0	0	Olej savčičková	
0	0	0	0	0	0	Olej savčičková	
0	0	0	0	0	0	Olej savčičková	
0	0	0	0	0	0	Olej savčičková	
1	1	0	0	1	1	Olej savčičková	
1	1	0	0	1	1	Olej savčičková	
1	1	0	1	1	1	Olej savčičková	
0	0	0	0	0	0	Olej vyčistěná	
1	1	0	0	0	1	Olej savčičková	
1	1	0	0	0	1	Olej savčičková	
0	0	0	0	0	0	Olej vyčistěná	
1	1	1	1	1	1	Olej savčičková	

Obrázek 1 – Zpracované data VÝŘEZ III