



Agronomická  
fakulta

Mendelova  
univerzita  
v Brně



# **Průběžné sledování degradace motorového oleje ve sklízecí mlátičce**

Diplomová práce

*Vedoucí práce:*

Ing. Vojtěch Kumbár, Ph.D.

*Vypracoval:*

Bc. Martin Dvořák



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Autor práce: Bc. Martin Dvořák  
Studijní program: Zemědělská specializace  
Obor: Provoz techniky  
Vedoucí práce: Ing. Vojtěch Kumbár, Ph.D.

Název práce: **Průběžné sledování degradace motorového oleje ve sklízecí mlátičce**

Zásady pro vypracování:

1. Na základě studia literárních zdrojů vytvořte teoretickou část práce, kde budou popsány jednotlivé funkce, vlastnosti a složení motorového oleje pro zemědělskou techniku.
2. Uveďte vybrané metody a přístroje používané pro posouzení stavu degradace motorového oleje.
3. Vyberte vhodnou sklízecí mlátičku, ze které budete průběžně ve stanovených intervalech odebírat vzorky upotřebeného motorového oleje, které budou následně porovnány s novým motorovým olejem téže specifikace.
4. U sesbíraných vzorků proveďte měření dynamické viskozity, smykového napětí a hustoty motorového oleje u jednotlivých vzorků. Stanovte množství vybraných kovů ve vzorcích upotřebeného motorového oleje.
5. Výsledky interpretejte graficky a proveďte diskuzi o stavu degradace motorového oleje ve zvolené sklízecí mlátičce.

Rozsah práce: 50-60 stran

Literatura:

1. KUMBÁR, V. -- DOSTÁL, P. Oilsdegradation in agricultural machinery. *Acta Universitatis agriculturae et silviculturae Mendeliana Brunensis = Acta of Mendel University of agriculture and forestry Brno = Acta Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně*. 2013. sv. 61, č. 5, s. 1297--1303. ISSN 1211-8516.
2. VLK, F. *Vozidlové spalovací motory*. Brno: Nakladatelství VLK, 2002. 580 s. ISBN 80-238-8756-4.
3. DRESEL, W. -- MANG, T. *Lubricants and Lubrication*. Weinheim: Wiley, 2007. 890 s. ISBN 978-3-527-31497-3.
4. KUMBÁR, V. -- VOTAVA, J. Differences in engine oil degradation in spark-ignition and compression-ignition engine. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability*. 2014. sv. 16, č. 4, s. 622--628. ISSN 1507-2711. URL: <http://www.ein.org.pl/sites/default/files/2014-04-18.pdf>
5. VLK, F. *Paliva a maziva motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: František Vlček, 2006. 376 s. ISBN 80-239-6461-5.
6. ZEHNÁLEK, J. *Chemie, paliva, maziva*. 2. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2005. 176 s. ISBN 80-7157-900-9.

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: **Průběžné sledování degradace motorového oleje ve sklízecí mlátičce** vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....  
podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat zejména svému vedoucímu práce Ing. Vojtěchu Kumbárovi, Ph.D za nachystání, zrealizování měření a následné konzultace a připomínky k psaní diplomové práce. Také děkuji Ing. Lukášovi Královi za umožnění provádění odběrů vzorků oleje, potřebných k této diplomové práci, na jeho sklízecí mlátičce využívané k poskytování zemědělských služeb. A v neposlední řadě děkuji rodině za podporu během mého studia na vysoké škole.

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá popisem degradace motorových olejů ve vznětovém motoru sklízecí mlátičky. První část popisuje základní vlastnosti motorových olejů a jejich výrobu. V dalších kapitolách je nastíněna klasifikace olejů a také problematika vzniku otěrových částic v motoru.

Praktická část je zaměřena na vyhodnocení motorového oleje ze sklízecí mlátičky Case IH 9120. Pro porovnání byl odebrán vzorek nového oleje a další vzorky byly průběžně odebírány během provozu stroje, a to po 50 Mh až do dovršení servisního intervalu 300 Mh. Dále je v práci popsána metodika a postup měření měřicími přístroji pro vyhodnocení obsahu otěrových částic, hustoty, dynamické a kinematické viskozity a také smykového napětí. Získané výsledky jsou přehledně zpracovány do grafů a ze získaných výsledků byl stanoven skutečný stav degradace daného motorového oleje.

**Klíčová slova:** degradace, motorový olej, fyzikální vlastnosti, viskozita, otěrové částice

## **ABSTRACT**

This thesis deals with description of engine oils in diesel combustion engine of combine harvester. First part contains basic properties of engine oils and their production. Other chapters include classification of oil and also the issue of abrasion particles in the engine.

Practical part contain summary of engine oil from combine harvester Case IH AFX 9120. For comparison was sampled new oil. Other samples were taken during machine operation every 50 Eh until of the service interval of 300 Eh. The thesis also describes the methodology of measurement process measuring device for evaluation of the content abrasion particles, density, dynamic and kinematic viscosity and skid tension. The results are processed into a graph and from the results obtained was determined actual state of degradation of engine oil.

**Key words:** degradation, engine oil, physical properties, viscosity, wear particles

# OBSAH

1	Úvod .....	7
2	Motorový olej ve spalovacím motoru.....	8
2.1	Základní funkce motorových olejů .....	8
2.2	Vlastnosti mazacích olejů .....	10
2.3	Mazací schopnost.....	11
3	Základy tribologie a tribotechniky .....	13
4	Složení motorových olejů.....	14
4.1	Technologie výroby základového oleje .....	16
4.1.1	Minerální olej .....	16
4.1.2	Syntetický olej .....	17
5	Specifikace motorových olejů .....	18
5.1	Viskozitní klasifikace .....	18
5.2	Výkonnostní klasifikace .....	20
5.3	Klasifikace výrobců automobilů .....	22
5.4	Klasifikace MIL .....	22
6	Kovy obsažené v oleji.....	23
6.1	Zdroje otěrových kovů.....	23
6.1.1	Specifické kovy obsažené v oleji.....	24
6.1.2	Analýza oleje .....	25
7	Cíl práce.....	27
8	Metodika a měření .....	28
8.1	Popis stroje.....	28
8.2	Motorový olej .....	29
8.3	Použité přístroje .....	31
8.3.1	Měření viskozity .....	31
8.3.2	Měření hustoty .....	33
8.3.3	Atomový emisní spektrometr .....	34

9	Výsledky a diskuze.....	35
9.1	Kovy a jiné prvky v oleji .....	35
9.1.1	Obsah otěrových kovů v motorovém oleji .....	35
9.1.2	Obsah kontaminujících prvků v oleji.....	37
9.1.3	Obsah hlavních aditivních přísad .....	39
9.2	Fyzikální vlastnosti .....	41
9.2.1	Hustota oleje .....	41
9.2.2	Vývoj dynamické viskozity .....	43
9.2.3	Kinematická viskozita .....	45
	Závěr.....	47
	Seznam použité literatury .....	49
	Seznam Obrázků.....	52
	Seznam tabulek.....	53
	Seznam použitých zkratk .....	54

# 1 ÚVOD

Pro správnou funkci a bezproblémový chod spalovacího motoru je důležité, aby motor byl mazán správným mazivem, které bude mít za úkol udržovat dostatečnou vrstvu mazacího filmu, udržovat motor v čistotě, zlepšovat jeho dotěsnění, snížit jeho hlučnost a v neposlední řadě také co nejméně způsobovat korozi celé spalovací soustavy. Důležitá je také následná neškodnost pro další součásti spalovacího motoru, zejména pro gumová těsnění a zařízení určené ke snižování škodlivých výfukových emisí vylučovaných spalovacím motorem do ovzduší. Těmito zařízeními jsou SCR katalyzátor a DPF filtr.

Jelikož motorový olej během své životnosti ztrácí své základní vlastnosti, je důležité jej ve správném čase vyměnit. Při nepřiměřeném prodloužení servisního intervalu může dojít až k situaci, kdy olej nebude obsahovat aditivní přísady, které zlepšují jeho vlastnosti. Olej bude obsahovat velké množství otěrových částí, které se budou podílet na navyšování opotřebení namáhaných částí motoru, jako je klikový a vačkový mechanismus, a také zanášení mazací soustavy motoru.

Doporučené intervaly výměny oleje stanovuje výrobce motoru. Ten však udává maximálně možný interval. Interval výměny je udáván v hodnotách specifických pro daný stroj. Nejčastěji to je ujetá vzdálenost pro nákladní a osobní automobily, počet odpracovaných hodin provozu stroje pro stavební a zemědělskou techniku nebo také množství spáleného paliva.

Pravidelným odebíráním a důkladným zkoumáním vzorků motorového oleje lze zjistit skutečný stav oleje a celé mazací soustavy motoru. Vyhodnocením kinematické viskozity zjistíme skutečné vlastnosti oleje (zda je olej schopen udržet mazací film) a spektrální analýzou lze zjistit obsah otěrových částic v oleji a tím analyzovat například zadírající se součásti motoru. Tímto se může předejít havarijním událostem a minimalizovat tak náklady na opravy motoru a stroje, a také snížit následky odstavení stroje, jenž slouží v podnikání za účelem zisku.



## 2 MOTOROVÝ OLEJ VE SPALOVACÍM MOTORU

Spalovací motor je základním pohonným prvkem všech sklízecích mlátiček, traktorů a ostatních zemědělských strojů. Většina těchto strojů je poháněna vznětovými motory, které fungují na principu přeměny energie z motorové nafty.

Motorový olej má ve spalovacím motoru primární funkci, a to snižovat tření při dotyku dvou navzájem se pohybujících těles. Následujícími požadavky jsou: odvod tepla, snižovat opotřebení, třecí plochy zbavovat všech vznikajících nečistot, a to vše za všech provozních podmínek spalovacího motoru. Skládá se ze dvou základních složek (základový olej a aditiva). Základové oleje se dále dělí na oleje vyrobené rafinací (minerální oleje) a oleje vyrobené syntézou ropy (syntetické oleje).

### 2.1 Základní funkce motorových olejů

#### Mazání

Jde o hlavní funkci motorového oleje. Mazání je proces, který umožňuje snižovat tření a opotřebení třecích ploch, jež jsou ve vzájemném pohybu. Tření se podle publikace (Vlk, 2003) dělí na:

**Kapalinové tření** – vznikne tehdy, když olejová vrstva oddělí např. ložisko od hřídele. Existuje tedy jen minimální vnitřní tření v kapalině. Opotřebení a zvýšení teploty je minimální. Pro zachování tohoto tření je nutná podmínka zachování minimální rychlosti vzájemně se pohybujících třecích ploch a dostatečného přívodu oleje. Jinak dojde ke vzniku „olejového klínu“, kde v nejužším místě dojde mezi ložiskem a hřídelí k nárůstu tlaku a přechodu na odlišný typ tření.

**Polosuché tření** – vzniká tehdy, jsou-li stykové plochy mazány a přesto dochází k příležitostným kontaktům, protože nelze vytvořit souvislou olejovou vrstvu. Toto tření vzniká v motoru u součástí, které nejsou tlakově mazány.

**Suché tření** – vzniká při přímém dotyku po sobě se pohybujících částí. Dochází k bodovému svařování a vzniku vysokého opotřebení a nárůstu teploty.

## **Chlazení**

Při vzniku tření dochází k nežádoucímu zahřívání třecích ploch. Toto odpadní teplo má olej za úkol odvést. Účinnost chlazení je závislý na viskozitě oleje. Pro vyšší efekt chlazení je vhodnější olej s nižší viskozitou (Hromádko, 2011).

## **Čištění**

Hlavními nečistotami v oleji jsou převážně saze, prachové částice z nasávaného vzduchu a produkty vzniklé při oxidační degradaci oleje. Olej tedy musí zajistit znemožnění usazování těchto nečistot nebo karbonových nánosů. K tomu slouží detergentní aditiva. Tyto aditiva udržují mazaný povrch v čistotě a uvolňují zachycené částičky na mazaném povrchu. Aby nedocházelo k usazování uvolněných částí na jiné místo v motoru, tak disperzantní přísady mají za úkol udržet veškeré nečistoty v pohybu (Hromádko, 2011).

## **Ochrana proti korozi**

Kyselé prostředí vzniklé po spalování paliva působí negativně na veškeré komponenty motoru a způsobují korozi. Tyto kyselé látky jsou poté částečně obsaženy i v oleji a způsobují zvyšování jeho kyselosti. Olej je před tímto jevem chráněn alkalickou rezervou, která je obsažena v detergentních přísadách (Hromádko, 2011).

## **Dotěsnění**

Motorový olej má zajistit i částečně dotěsnění některých důležitých míst v motoru (například pístní kroužky a válec motoru). U starších motorových jednotek s opotřebovanou pístní skupinou se poté využívá viskóznější olej pro lepší dotěsnění. U moderních motorů nejsou kladeny tak vysoké nároky na dotěsnění, a to vlivem především přesnější technologie výroby těchto součástí (Hromádko, 2011).

## 2.2 Vlastnosti mazacích olejů

Aby olej splňoval všechny tyto funkce, jsou na něj kladeny často i protichůdné nároky. (Zehnálek, 2005)

Podle publikace (Vlk, 2006):

a) Olej musí:

- Umožňovat provoz za veškerých podmínek a při vysokém rozsahu teplot (-40 až 270 °C)
- Dostatečně mazat součásti s odlišným typem tření (kluzné, valivé a polosuché)
- Odolávat smykovým a třecím polím
- Chránit všechny typy kovů (železné i barevné) před jejich korozi
- Odvádět teplo
- Dovymezit provozní vůle například u pístu a válce motoru
- Mít co nejdélší životnost – udržet vlastní čistotu a čistotu všech částí motoru
- Nevytvářet pěnu

b) Olej nesmí:

- Napadat a rozrušovat těsnicí prvky
- Vytvářet pěnu při chodu spalovacího motoru
- Vykazovat vysoké karbonizační číslo a být náchylný k tvorbě tzv.: „studených kalů“

c) Olej má být:

- Mísitelný s jinými oleji s téže viskozitou (skupina SAE) a dle provozních podmínek (dělené dle API) a to bez ohledu na firemní původ oleje
- Málo odparný – snižování ztrát během provozu i za vysokých teplot
- Přijatelně ekonomický při jeho provozu (pořízení a délka použitelnosti)
- Skladovatelný minimálně po dobu dvou let v temnu a v přiměřené teplotě

## 2.3 Mazací schopnost

Jedná se o komplexní vlastnost, která zahrnuje hlavní dílčí vlastnosti:

- Viskozita
- Mazivost
- Maznost

**Viskozita** – je jednou z nejdůležitějších vlastností ovlivňující tekutost kapaliny. Pojednává o míře vnitřního tření kapaliny, způsobená odporem molekul při vzájemném pohybu. Na stykové ploše dvou vrstev tekutiny pohybujících se různou rychlostí se projevuje viskozita tečným napětím, jímž se snaží rychlejší vrstva urychlovat pomalejší, a ta naopak zdržovat vrstvu rychlejší. Jde tedy o základní parametr hodnocení oleje a určuje tedy režim mazání, tvorbu a únosnost mazacího filmu, těsnicí schopnost a čerpatelnost. Vysoce viskózní tekutiny jsou hůře čerpatelné (hrozí nedostatečné mazání), ale dobře udržují mazací film. Nízko viskózní kapaliny jsou naopak dobře čerpatelné, ale mazivo je vytlačováno z mazacích prostor a dochází tak ke zmenšování mazacího filmu a tedy může dojít k poškození mazacích ploch (Zehnálek, 2005).

Rozdělujeme dynamickou a kinematickou viskozitu.

### **Dynamická viskozita $[\eta]$**

Jedná se o poměr působícího tečného napětí  $[\tau]$  a gradientu rychlosti  $\frac{dv}{dz}$ .

Určí se ze vztahu:  $\eta = \frac{\tau}{\frac{dv}{dz}} [Pa \cdot s]$

**Kinematická viskozita [ $\nu$ ]**

Je poměr dynamické viskozity kapaliny a její hustoty při téže teplotě. Jedná se o míru odporu kapaliny k tečení při působení gravitační síly.

Určí se ze vztahu:  $\nu = \frac{\eta}{\rho} [m^2 \cdot s^{-1}]$

Kde  $\rho$  je hustota [ $kg \cdot m^{-3}$ ].

**Mazivost** – udává schopnost kapaliny uplatňující se v oblasti hydrodynamického mazání, ve kterém dané mazivo zajišťuje nejmenší součinitel tření při optimální únosnosti kapalinné vrstvy. Tyto vlastnosti se však týkají pouze kapalných maziv. Vysokou mazivost vykazují právě rafinované oleje zbavené polárních látek (Zehnálek, 2005).

**Maznost** – je mazací schopnost maziva pro oblast mazání mezní mazací vrstvou. Maznost je tedy vlastnost maziva zajišťující co největší únosnost tzv. mazné vrstvičky při optimálním koeficientu tření. V zemědělství a dopravě má mazná složka maziva výjimečnou důležitost (Zehnálek, 2005).

### 3 ZÁKLADY TRIBOLOGIE A TRIBOTECHNIKY

**Tribologie** – je nauka o vědeckém výzkumu a technickém použití zákonitostí a poznatků pro obory tření, opotřebení a mazání. Zabývá se určováním a změnou struktur a chováním se ve všech možných tribologických systémech. (Zehnálek, 2005)

**Tribotechnika** – prakticky aplikuje tribologické poznatky. Zabývá se pracovními postupy, které mají vliv na minimalizaci tření a opotřebení.

- zahrnuje techniku mazání, způsob vnášení maziva mezi třené součásti, techniku zabývající se ochranou proti opotřebování.

- obsahuje metody a prostředky ke zjištění skutečného stavu maziva a také třecích ploch (Zehnálek, 2005).

Tribotechnika podle literatury (Vlk, 2006) zahrnuje:

- Metodu výběru a způsob aplikace maziv
- Testování maziv
- Výběr kombinace materiálů pro třecí dvojice
- Konstrukce a matematické výpočty pro optimalizaci třecích dvojic
- Technické řešení určené pro distribuci maziva
- Vědecké základy pro tření a opotřebení
- Měřicí a kontrolní metody pro tribotechnické pochody
- Diagnostika konstrukčních částí a skupin techniky mazání
- Technologické postupy vedoucí ke zvýšení odolnosti proti korozi a opotřebení

Tribotechnika má i značný ekonomický význam:

Energetický - kde se snižuje podíl energie zmařené třením

Materiálový – snižuje se otěr třecích dvojic

Provozně ekonomický – zabraňuje prostojům a zbytečným opravám (Zehnálek, 2005)

## 4 SLOŽENÍ MOTOROVÝCH OLEJŮ

Motorový olej se skládá ze dvou základních částí: ze základového oleje a výkonnostní směsi přísad.

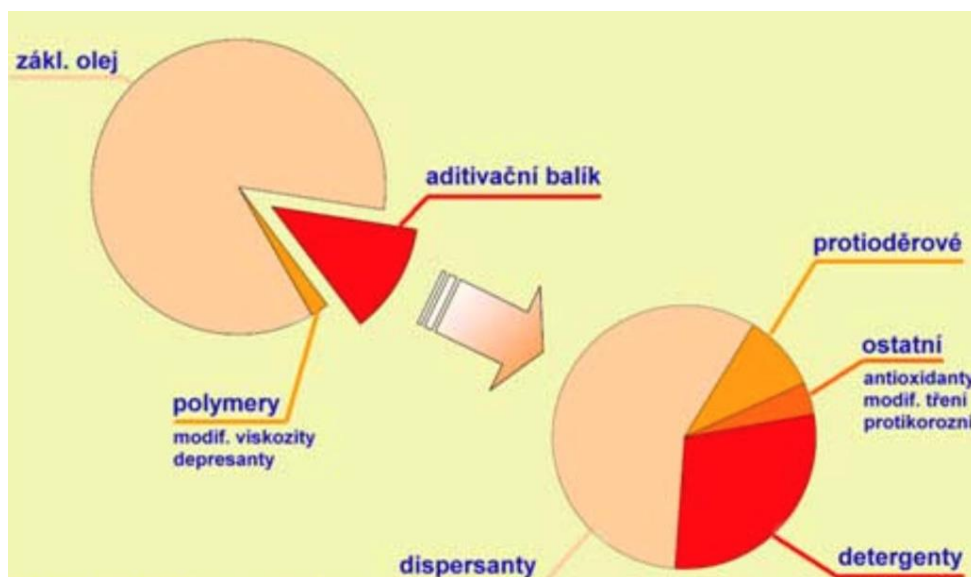
**Základový olej** – určuje, o jaký druh oleje se jedná (minerální, syntetický). Je to směs chemických látek o hustotě přibližně  $870 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  až  $890 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  s bodem tuhnutí od  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ , u hydrokrakových až  $-21 \text{ }^\circ\text{C}$ , u syntetických až  $-50 \text{ }^\circ\text{C}$  (Jan a Ždánský, 2008).

Základový olej nemá sám o sobě dostatečné mazací vlastnosti a je tedy nevyhovující. Jedná se tedy o nosnou kapalinu, která tvoří téměř 90 % objemu oleje a určuje tedy jeho hustotu (Černý, 2010a).

**Přísady (aditiva)** – vyrovnávají nedostatky základových olejů při jejich výrobě. Zlepšují tedy vlastnosti oleje a jsou přidávány v přesně daných poměrech do základového oleje. Dle publikace (Jan a Ždánský, 2008) se aditiva dělí do následujících skupin podle vlastností, které musejí v oleji zabezpečovat:

- *Protiotěrové přísady* – chemicky reagují s povrchy kovů. V oblastech zvýšeného opotřebení prodlužují životnost mazané součásti
- *Detergentně disperzní přísady* – detergenty pomáhají udržovat motor v čistotě. Neutralizují kyselé produkty oxidace a hoření, potlačují tvorbu vysokoteplotních usazenin tzv. karbonu. Díky detergentům mazivo lépe přilne na mazané plochy a chrání tedy před vznikem mechanického poškození součástí.
  - disperzanty brání tvorbě kalů, které by mohly zabránit cirkulaci oleje v mazací soustavě. Jejich hlavním úkolem je obalit ty nejjemnější tuhé a kapalné částice. Tímto jim udělí stejný elektrický potenciál a zabrání tím ve shlukování a usazování v mazací soustavě.
- *Protikoroziční přísady* – zabraňují vzniku koroze v celém mazacím systému.
- *Antioxidanty* – chrání olej před oxidací, tedy před reakcí s kyslíkem. Jejich absence způsobuje zahušťování oleje při vyšších provozních teplotách. Dále pomáhají k zabránění tvorbě usazenin karbonu a také ochraňují před vznikem koroze.

- *Zpomalovače stárnutí* – omezují chemickou degradaci. Zejména při vysokých teplotách. Následek stárnutí je tmavnutí oleje a zvyšování viskozity.
- *Protipěnivostní přísady* – zabraňují pění oleje. Pěna je kapalina, která je přesycená vzduchem, což značně omezuje čerpatelnost, mazací a chladicí vlastnosti oleje
- *Deaktivátory kovů* – zabraňují chemickým reakcím, které vznikají na povrchu mikroskopických částí kovů vzniklé třením kovu o kov. Tyto kovové části fungují jako katalyzátory chemicky degradačních procesů. Deaktivátory zamezí vzniku těchto reakcí a tím stárnutí oleje, vytvořením ochranného filmu kolem kovových částí (Vlk, 2006).
- *Snižovače bodu tuhnutí* – zlepšují tekutost oleje za nízkých teplot a zajišťují tak jeho cirkulaci v systému.
- *Modifikátory viskozity* – zlepšují viskozitně-teplotní charakteristiku oleje. Redukují změnu viskozity oleje se změnou teploty.
- *Vysokotlaké přísady* – zvyšují odolnost mazacího filmu proti jeho porušení při vysokých tlacích.
- *Aditiva chránící elastomery* – zpomalují stárnutí pryžových a plastových částí, které dotěšňují mazací soustavu (Vlk, 2006).



Obrázek 1 Složení motorového oleje (oleje.cz)



## **4.1 Technologie výroby základového oleje**

Základový olej se dělí dle technologie výroby na minerální a syntetický. Jeho kvalitu určuje obsah nasycených uhlovodíků, viskózní index a co nejmenší obsah síry. Výchozím produktem všech olejů (minerálních, syntetických) je ropa, která je zpracovávána do výsledných požadavků (petroleum.cz, 2010).

### **4.1.1 Minerální olej**

V rafinériích se ropa v atmosférické destilační koloně rozdělí do několika frakcí podle odlišných teplot varů. Tyto frakce se nejčastěji dále zpracovávají na výrobu paliv. Zbytková část, která se nazývá mazut, je poté dále vakuovou destilací rozložena na další složky dle teploty varu. Pro potřebu výroby základových olejů jsou využívány olejové destiláty, které jsou dále upravovány rafinačními pochody (Jan a Ždánský, 2008).

### **Rafinování**

Jedná se o zušlechťování oleje vzniklého destilací, tedy zlepšení základních vlastností oleje. Během tohoto procesu jsou z oleje odstraňovány nežádoucí příměsi a jsou rovněž upraveny hlavní struktury molekul uhlovodíků, ze kterých je základový olej složen. Hlavní látky, které jsou v současnosti využívány během procesu rafinace, jsou louh a různá rozpouštědla (Vlk, 2006).

### **Odparafinování**

Parafíny jsou uhlovodíky se specifickou stavbou molekul. Tyto uhlovodíky zhoršují vlastnosti oleje zejména při nízkých teplotách. Procesem odparafinování jsou z oleje odstraněny a to zahřátím a následným ochlazením oleje, nebo ochlazením s rozpouštědlem, kde rozpouštědlo snižuje rozpustnost vyšších parafínů (Vlk, 2006).

### **Krakování**

Principem je snaha rozdělit dlouhé molekuly uhlovodíků, které vznikly při vakuové destilaci, na uhlovodíky s kratšími molekulami. Krakování se dělí na termické, katalytické a hydrogenační. Oproti klasickým krokům rafinace se čím dál více využívá

hydrokrakování. Jedná se o spojení krakování s hydrogenací (Jan a Ždánský, 2008; Vlk, 2006).

### **Hydrokrakové oleje**

Pomocí hydrokrakování se z těžkých olejů a parafínů získávají mazací oleje. Dochází ke krakování dlouhých molekul na kratší. V místech rozštěpení pak molekuly navazují atomy vodíku, tato část se pak nazývá hydratace. Na závěr následuje vakuová destilace a odparafinování. Výslednými produkty jsou základové oleje vysoké kvality a různých viskozit (Jan a Ždánský, 2008; Vlk, 2006).

#### **4.1.2 Syntetický olej**

Tyto oleje se vyrábí chemickou cestou, vazbou speciálních uhlovodíkových molekul v průběhu několikastupňového procesu. Hlavní výhodou takového oleje je, že obsahuje pouze takové látky, které jsou vhodné nebo nutné.

Syntetický olej je rozdělen na dva druhy, podle toho, jak vznikl. Olej vzniklý syntézou etylenu nebo jinými syntézami (PAO) a olej minerální zušlechťený technologií VHVI (Very high viscosity). Pomocí této metody je dosahováno vysoké hodnoty viskozity také u minerálních olejů (Jan a Ždánský, 2008; Vlk, 2006).

### **Polyalfaolefiny (PAO) a esterové oleje**

Mají velmi vysokou viskozitní stálost a výborné nízkoteplotní vlastnosti s bodem tuhnutí nižším než  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Také se vyznačují velmi dobrou odolností proti stárnutí. Nevýhoda polyalfaolefinových olejů spočívá v obtížné nerozpustnosti některých aditiv a reakcí s pryžovými materiály, kde dochází k jejich smršťování.

Esterové oleje mají výhodu dobré rozpustitelnosti aditiv a dobrou přilnavost ke kovovým materiálům. Jejich nevýhoda je také reakce s pryžovými materiály, kde dochází k jejich bobtnání.

Aby se dosáhlo ideálních požadavků a sloučily se výhody a odstranily se nevýhody těchto olejů, tak jsou tyto oleje mezi sebou míchány (Jan a Ždánský, 2008; Vlk, 2006).

## 5 SPECIFIKACE MOTOROVÝCH OLEJŮ

### 5.1 Viskozitní klasifikace

Nejrozšířenější a prakticky nejpoužívanější třídění olejů dle viskozity je podle americké normy SAE (Society of Automotive Engineers) a její poslední úpravy z roku 1993.

Podle této normy se viskozita rozdělila do 11 tříd. 6 tříd je určeno pro provoz v zimních podmínkách, které jsou označovány písmenem W (winter). Jedná se o třídy SAE 0W, 5W, 10W, 15W, 20W a 25W. Zbýlých 5 tříd jsou určeny pro provoz v letních podmínkách a to oleje SAE 20, 30, 40, 50, 60. (Jan a Ždánský, 2008)

Zařazení do třídy se děje podle viskozity za dané teploty. U zimních olejů je navíc udávána hraniční teplota, která je teplotou ještě zaručené čerpatelnosti a tedy i bezproblémového nastartování motoru. (Jan a Ždánský, 2008)

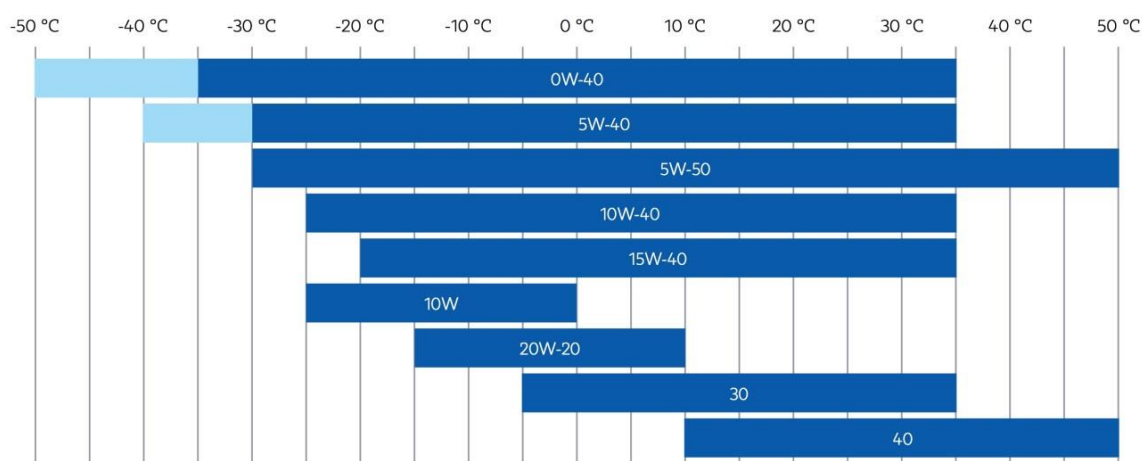
Oleje, které jsou vhodné pro používání v zimě nebo létě se nazývají jednostupňové (monograde). V současnosti se nejvíce používají oleje určené pro celoroční provoz, které jsou označovány jako oleje vícestupňové (multigrade). Tyto oleje splňují požadavky několika viskozitních tříd. Takové oleje jsou označovány kombinací příslušných klasifikačních viskozitních tříd, které vyjadřují pracovní rozsah správné funkčnosti daného oleje. Pro klimatické podmínky, které panují v oblastech, kde se nachází Česká republika, tak jsou nejčastěji doporučované oleje viskozitních tříd SAE 15W-40 a 10W-40 (Černý, 2005; Jan a Ždánský, 2008).

Celoročním olejům viskozitních tříd 5W a 0W se také říká, že se jedná o oleje lehkoběžné. Tyto oleje jsou vyrobené na syntetické bázi a jsou správně označovány jako EC nebo také EC-II (Energy Conserving). Takto označené oleje musí být podrobeny cyklickému testu, kde se porovnává spotřeba paliva s olejovou náplní zkoušeného motoru a motoru, který je naplněn referenčním olejem SAE 20W-30. Pokud se po ukončení testu prokazatelně prokáže úspora paliva alespoň 1,5 %, tak se takový olej může označovat EC. Nejčastěji se jedná o oleje SAE 5W-40 a 10W-40. Když rozdíl spotřeby přesáhne 2,7 %, označuje se takový olej jako EC-II. Oleje splňující toto kritérium jsou nejčastěji SAE 0W-30, 0W-40, 5W-20, 5W-30. Jelikož tyto oleje mají

nižší viskozitu, jsou tímto schopny zajistit lepší mazání studeného motoru (Jan a Ždánský, 2008).

Tabulka 1 Viskozitní klasifikace podle SAE 300 SEP 80 (Zehnálek,2005)

Viskozitní třída SAE	Dynamická viskozita při teplotě v °C max. (mPa·s)	Dynamická viskozita při -18 °C (mPa·s) podle SAE J 300d	Kinematická viskozita při 100 °C (mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	
			min.	max.
0W	3 250 při -30		3,8	-
5W	3 500 při -25	1 480	3,8	-
10W	3 500 při -20	2 700	4,1	-
15W	3 500 při -15	5 000	5,6	-
20W	4 500 při -10	12 000	5,6	-
25W	6 3,8000 při -5	24 500	9,3	-
20			5,6	9,3
30			9,3	12,5
40			12,5	16,3
50			16,3	21,9
60			21,9	26,1



Obrázek 2 Přehled viskozitní klasifikace SAE (oleje.cz)

## 5.2 Výkonnostní klasifikace

Výkonnostní klasifikace určuje, jaké zatížení je olej schopen snášet, aniž by výrazným způsobem došlo ke zhoršení jeho funkce.

Základní rozdělení klasifikací:

- API (American petroleum institute)
- ACEA (Association des constructeurs europeens d'automobiles)
- Klasifikace výrobců motorů
- MIL (normy americké armády a NATO)

### Klasifikace API

Tato norma klasifikuje motorové oleje podle motoru do tří skupin:

S (service) – oleje vhodné pro použití v zážehových motorech,

C (commercial) – oleje vhodné do vznětových motorů,

T – oleje určené pro použití v dvoudobých motorech.

Tyto skupiny se dále dělí do tříd, které se označují dalším písmenem podle zařazení ve skupině a to čím vyšší písmeno v abecedě, tím kvalitnější olej.

Ve skupině S se dnes používají už pouze oleje označené SJ, SL, SM a SN, kde olej označený SJ je pro motory od roku 1996 a nejnovější olej SN je pro motory, které jsou ve výrobě od roku 2011. Tyto oleje jsou vhodné pro motory, které obsahují turbodmychadla a splňují přísné emisní normy.

V současnosti používané oleje ze skupiny C jsou CH-4, CI-4, CJ-4 a CKL-4. Číslo za základním označením (Cx) značí: 4 – pro čtyřdobé, 2 – pro dvoudobé motory.

Tato norma však odráží vývoj pouze amerických motorů, proto se s evropskými požadavky na vlastnosti olejů, zejména u naftových motorů, rozchází. A to vlivem rozdílné konstrukce motorů (zdvihový objem). Americké motory pracují za vyšších teplot a tlaků. Jsou tedy náchylnější k tvorbě úsad, a proto vyžadují menší obsah popelovin v oleji (Jan a Ždánský, 2008).

Tabulka 2 Používané výkonnostní třídy API (oleje.cz)

Zážehové motory			Vznětové motory		
Skupina	Rok zavedení	Pro motory	Skupina	Rok zavedení	Nahrazují
SN	2010	Od 2011	CK-4	2016	CJ-4 až CH-4
SM	2004	do 2010	CJ-4	2006	CI-4
SL	2001	do 2004	CI-4	2002	CD až CH-4
SJ	1997	do 2001	CH-4	1998	CD až CG-4

### Klasifikace ACEA

Vznikla roku 1996 ze svého předchůdce normy CCMC (comité des constructeurs d'automobiles des marché commun). ACEA se dělí na 4 skupiny:

A - Benzínové motory

B - Diesellové motory osobních automobilů, dodávek a lehkých užitkových vozidel

E - Diesellové motory těžkých užitkových vozidel

C - Zážehové a vznětové motory osazené částicovými filtry

Výkonnost oleje je vyjádřena číslem, které uvádí, pro jaký motor je olej vhodný.

Tabulka 3 Používané výkonnostní třídy ACEA, třídy A,B (oleje.cz)

Třída ACEA	Použití oleje	HTHS [mPa·s]
A1, B1	Standardní olej, normální intervaly výměny	2,9 - 3,5
A2, B2	Standardní olej, normální intervaly výměny (Již neplatné)	> 3,5
A3, B3	Olej pro vysokou zátěž, možnost prodloužení intervalu výměny	> 3,5
B4	Jako B3 + možno použít pro diesellové motory s přímým vstřikováním	> 3,5
A4	Rezervováno pro oleje pro benzínové motory s přímým vstřikováním	-

Tabulka 4 Používané výkonnostní třídy ACEA, třída C (oleje.cz)

Třída ACEA	Použití oleje	HTHS [mPa.s]
<b>C1</b>	Motorové oleje s nízkou viskozitou a třením, s velmi nízkým obsahem sulfátového popelu, síry a fosforu (FORD).	>2,9
<b>C2</b>	Motorové oleje s nízkou viskozitou a třením, s nízkým obsahem sulfátového popela, síry a fosforu (PSA).	>2,9
<b>C3</b>	Motorové oleje s nízkým obsahem sulfátového popela, síry a fosforu (Renault, Hyundai, MB,...)	>3,5
<b>C4</b>	Motorové oleje kompatibilní s katalyzátory a s DPF (Diesel Particulate Filter) a TWC (Three Way Catalyst) tyto oleje prodlužují životnost těchto systémů (platné od r. 2006).	>3,5

### 5.3 Klasifikace výrobců automobilů

Všichni výrobci automobilů, popřípadě zemědělské techniky předepisují do svých motorových prostředků olej určité kvality. Může se jednat o použití a doporučení oleje jen podle klasifikace SAE, API a nebo ACEA. Často výrobci, zejména automobiloví, si vytvářejí vlastní hodnotící postupy a utvářejí si tedy vlastní klasifikace.

Takové klasifikace jsou důležité, jelikož odráží vývoj motorových agregátů. Splňování těchto kritérií umožňuje výrobcí motorového oleje dodávat olej výrobcí vozidel.

Mezi známé klasifikace výrobců automobilů patří: MAN, Mercedes-Benz, VW, Volvo. Ze zemědělské techniky jsou to pak výrobci: Deutz, John Deere, Massey Ferguson.

### 5.4 Klasifikace MIL

Jedná se o výkonnostní klasifikaci oleje, kterou používá americká armáda. Jelikož v Americe mají jiné požadavky na oleje vlivem odlišné konstrukce a velikosti motorů, je tato klasifikace v Evropě nevhodná.

## 6 KOVY OBSAŽENÉ V OLEJI

Motor při své činnosti je opotřebováván. Vzniklé částice nebo sloučeniny jsou vyplavovány mazacím médiem z míst, kde probíhá opotřebení. Se stále se zvyšujícím opotřebením vzrůstá množství těchto prvků v mazacím médiu a pomáhá tím navyšovat opotřebení.

### 6.1 Zdroje otěrových kovů

Nově vyrobené díly motoru jsou vyrobeny z odlišných kovových materiálů. Základním prvkem pro výrobu těchto dílů je železo. Samotné železo nesplňuje technické požadavky, proto je zušlechtěno přidáním jiného kovu. Jedná se o kovy: hliník, měď, chrom, cín, nikl, stříbro, olovo, atd. Tyto prvky mají za následek změny vlastností vzniklé slitiny. Nebo se jiným kovem upraví pouze povrch součásti, které má zlepšit kluzné vlastnosti, nebo změnit tvrdost povrchu součásti. (Kumbár, 2011).

Každý obrobený povrch má určitou strukturu (morfologii), není tedy nikdy dokonale hladký. Takové otěrové plochy jsou v normálním stavu v motoru odděleny vrstvou oleje a nepřicházejí tedy do vzájemného kontaktu, jen v případech zaběhávání součástí. Při působení vnější síly na součást může dojít k situaci, že se vrstva oleje vytlačí a oba třecí povrchy se dostanou do kontaktu. Tento stav se nazývá mezní tření. Povrchy nejsou mazány permanentní vrstvou oleje, ale jen pouze aditivními přísadami zlepšující mazací vlastnosti obsažené v oleji, které ulpěly na povrchu součásti. Takto navzájem pohybující se povrchy jsou více opotřebovávány. Dochází ke vzájemnému odírání jejich povrchových nerovností a oddělování mikroskopických částí kovu, ze kterého je součást vyrobena. Tyto nečistoty jsou poté odplavovány olejem. Diagnostickou opotřebovaného oleje je možno určit množství určitého kovu. Při nadměrném obsahu určitého kovu se může určit a předpovědět budoucí vzniklá závada (Černý, 2010b).





Obrázek 3 Princip vzniku otěrových částí při mezním tření (Černý 2010b)



Obrázek 4 Kovové plochy oddělené vrstvou oleje (Černý, 2010b)

### 6.1.1 Specifické kovy obsažené v oleji

Při výrobě motorových dílů jsou zpravidla používány podobné konstrukční kovy. Z množství konkrétního kovu se dá přibližně, i přes odlišná specifika různých značek motorů, určit konkrétní součást, která je nadměrně opotřebovávána. Na tomto principu je založen odhad a případná lokalizace závady.

V tabulce č. 5 je uveden seznam kovů a jiných prvků nejčastěji obsažených v oleji a i jejich pravděpodobný původ.:

Tabulka 5 Otěrové kovy a jiné kontaminanty v motorovém oleji (Černý, 2010b)

Otěrový kov	Pravděpodobný původ
Železo	Hlavní konstrukční kov většiny součástí motoru
Měď	Součást převážně kluzných ložisek – zdvihátka, pouzdro pístního čepu, bronzové díly
Chrom	Těsnící kroužky, vložky, atd.
Nikl	Legující prvek při výrobě ložisek, ventilů, hřídelí
Hliník	Písty, pouzdra, blok motoru, chladič oleje, měnič točivého momentu, turbodmychadlo
Olovo	Povrchy kluzných ložisek, pájených spojů
Cín	Součást kluzných ložisek a bronzových dílů, pájený chladič oleje
Stříbro	Postříbřená ložiska, která jsou určena pro vysoké namáhání
Křemík	Kontaminující prvek ze vzduchu

V tabulce č. 5 je uveden kromě běžných konstrukčních kovů i křemík. Ten je vždy analyzován, jelikož je to hlavní součást prachových částic. Zvýšený podíl křemíku v oleji může napovídat poškození vzduchového filtru, nebo sací soustavy motoru. Další vzácnější kovy obsažené v motorovém oleji pocházejí z aditivních přísad. Jedná se nejčastěji o kovy: zinek, molybden, antimon, vápník, hořčík, baryum. Sodík a bor jsou prvky, které jsou obsaženy zejména v chladicí soustavě v nemrznoucí směsi (Černý, 2010b).

### **6.1.2 Analýza oleje**

U specifických motorů, kde je drahá výměna oleje z důvodu odstavení motoru (bioplynový kogenerační generátor) se běžně provádí analýza motorového oleje. Výsledkem laboratorní analýzy motorového oleje je protokol, ve kterém je uvedeno množství jednotlivých kovů v oleji. Množství je uváděno jako koncentrace v jednotkách ppm (part per milion). Jedno ppm je jedna miliontina celku. Obdobně jako procento jedna setina celku (Stodola a Novotný, 2015).

Při běžném provozu je určitá koncentrace kovů v oleji naprosto běžná a normální, jelikož i při normálním provozu dochází ke styku otěrových částí (píst a válec, atd.). Zvýší-li se namáhání některé součásti, zvýší se také její opotřebení a dojde též ke zvýšení koncentrace konkrétních prvků v oleji. Je-li součást nadměrně namáhána nebo se již zadírá, pak koncentrace daných prvků dosahuje velmi vysokých hodnot (stovky ppm) (Černý, 2010b).

V následující tabulce jsou uvedeny přibližné limitní hodnoty koncentrací konstrukčních prvků v použitém motorovém oleji z velkého vznětového motoru. Tyto limitní hodnoty se můžou lišit pro každou značku výrobce motorů. Proto v tabulce jsou uvedeny průměrné hodnoty (Černý, 2010b).

*Tabulka 6 Limitní koncentrace kovů a jiných prvků v motorovém oleji (ppm)  
(Černý, 2010b)*

Kov	Velké vznětové motory			Benzínové motory		
	Normální	Zvýšené	Nebezpečné	Normální	Zvýšené	Nebezpečné
Železo	pod 50	50 – 75	nad 75	pod 120	120 – 150	nad 150
Měď	pod 30	30 – 45	nad 45	pod 25	25 – 35	nad 35
Chrom	pod 12	12 – 20	nad 20	0 – 17	17 – 25	nad 25
Nikl	pod 25	25 – 40	nad 40	pod 25	25 – 40	nad 40
Hliník	pod 25	25 – 35	nad 35	pod 35	35 – 50	nad 50
Olovo	pod 25	25 – 40	nad 40	pod 25	25 – 40	nad 40
Cín	pod 5	5 – 12	nad 12	pod 5	5 – 12	nad 12
Křemík	pod 25	-	nad 25	pod 25	-	nad 25

## 7 CÍL PRÁCE

Cílem praktické části je popsat postup odebrání vzorků motorového oleje z motoru sklízecí mlátičky Case IH 9120. Bylo odebráno celkem sedm vzorků motorového oleje během provozu stroje. A k porovnání byl také odebrán jeden vzorek nového oleje. U všech odebraných vzorků bylo hlavním cílem zjistit pomocí atomového emisního spektrometru, množství a chemické složení otěrových částic. Dále u všech vzorků určit pomocí digitálního hustoměru Densito 30 PX hustotu a pomocí rotačního viskozimetru Anton Paar DV3-P určit závislost dynamické, následně kinematické viskozity a smykového napětí na odpracovaných motohodinách.

V další části jsou naměřené hodnoty zaneseny v tabulkách, vyhodnoceny a vyjádřeny v grafech. Pro modelování matematické závislosti a následného stanovení koeficientu determinace  $R^2$  je použit program Microsoft Excel. Na závěr praktické části diplomové práce je provedeno vyhodnocení skutečného stavu degradace daného motorového oleje, diskuze a návrh případného doporučení do budoucnosti.

## 8 METODIKA A MĚŘENÍ

V této kapitole je vypracován popis stroje, ze kterého byly vzorky oleje odebírány, popis použitého oleje, postup odebírání a konečné měření a vyhodnocení odebraných vzorků oleje.

### 8.1 Popis stroje

Odebírání vzorků bylo uskutečněno na sklízecí mlátičce CASE IH 9120 z firmy Král zemědělské služby, která měla na počátku měření odpracováno 1422 Mh. Kde Mh určuje veličinu motohodina, popisuje počet hodin práce motoru provozovaného při jmenovitých otáčkách motoru.

Sklízecí mlátička je vybavena axiálním typem výmlatu, který je oproti klasickému tangenciálnímu mechanismu, výkonnější, ale zároveň více energeticky náročnější na provoz. Tento model sklízecí mlátičky byl vyráběn v letech 2008 až 2011. Mlátička je poháněna agregátem značky FPT Cursor 13. Tento přeplňovaný šestiválcový motor má zdvihový objem 12,9 l, maximální výkon 390 kW při 1950 min<sup>-1</sup> a jmenovitý výkon 360 kW při 2100 min<sup>-1</sup>. Motor splňuje emisní normu Tier IIIb, kde emisní limity jsou plněny pomocí rekuperace výfukových spalin díky EGR ventilu. Objem olejové náplně v motoru činí 35 l včetně dvou olejových filtrů.



*Obrázek 5 Sklízecí mlátička Case IH 9120 použitá pro odběr oleje*

Ve firmě je sklízecí mlátička provozována od počátku července až do pozdního listopadu. Během této doby sklízecí mlátička odpracuje přibližně 600 Mh, kdy dosáhne dvou servisních intervalů výměny motorového oleje a sklídí téměř 1200 ha.

Během prvních 150 Mh provozu stroje, po výměně oleje, se mlátily traviny pro travní semínko, kterých se sklídilo 124 ha. Během této části byl motor sklízecí mlátičky zatěžován maximálně na 70 % jmenovitého výkonu motoru. Dále už probíhala sklizeň řepky olejné a pšenice, kde bylo využíváno jmenovitého výkonu motoru. Servisního intervalu 300 Mh bylo dovršeno 9. 8. 2016, kdy byl odebrán poslední vzorek oleje, a následující den byla vyměněna olejová náplň motoru sklízecí mlátičky.



*Obrázek 6 Motor FPT Cursor 13 (agrics.cz)*

## **8.2 Motorový olej**

Ve sledované sklízecí mlátičce byl použit olej Shell Rimula R4L. Který splňuje viskozitní klasifikaci SAE 15W-40. Jedná se o minerální olej, který má zlepšené vlastnosti proti otěru, proti tvorbě usazenin a zvýšenou odolnost proti změnám viskozity vlivem vzrůstající teploty.

**Olej splňuje specifikace dle – API: API CJ-4, CI-4+, CI-4, CH-4, CG-4, CF-4,**

**– ACEA: ACEA E7, E9,**

- Specifikace výrobců motorů: Caterpillar ECF-2, ECF-3, Cummins CES 20077, 81, DDC 93K218, Deutz DQC-III, MACK EO-O PP, MAN: M3275, MB 228.3, 228.31, MTU Category 2, Volvo VDS-4, VDS-3, Renault Trucks RLD-3.

Tabulka 7 Hodnoty udávané výrobcem (shell-livedocs.com)

Typ oleje	Viskozitní třída	Kinematická viskozita při 40 °C [mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	Hustota Při 40 °C [kg·m <sup>-3</sup> ]	Bod tuhnutí [°C]	Bod vzplanutí [°C]
Shell Rimula R4-L	SAE 15W-40	115	863	-33	230

Vzorky oleje byly odebrány vždy po 50 Mh až do výrobcem uváděného servisního intervalu 300 Mh, kde došlo k celkové výměně olejové náplně podle servisního plánu dané sklízecí mlátičky. Pro porovnání byl odebrán vzorek nového oleje a také vzorku oleje po prvním ohřátí motoru sklízecí mlátičky na provozní teplotu.

Odběr oleje probíhal vždy až po ohřátí chladicí kapaliny a motorového oleje na provozní teploty a to 80 °C. Olej byl odebrán otvorem pro kontrolu hladiny oleje v motoru. Pro odsávání oleje bylo použito odsávací zařízení s prodlouženým násadcem a vždy bylo použito nové, aby nedošlo k nechtěné kontaminaci a tím k znehodnocení vzorků. Olej byl následně dávkován do připravených nádob, jak pro měření obsahu kovů, tak pro měření fyzikálních vlastností, pro dané vzorky. Celkově o objemu 200 ml. Tyto nádoby poté byly skladovány v temném prostředí až do doby jejich změření a vyhodnocení.

Tabulka 8 Přehled odběrů vzorků olejů

Datum odběru	Interval odběru [Mh]	Stav počítadla motohodin
<b>4. 6. 2016</b>	Čistý olej	1422
<b>4. 6. 2016</b>	0	1422
<b>7. 7. 2016</b>	50	1471
<b>13. 7. 2016</b>	100	1522
<b>21. 7. 2016</b>	150	1571
<b>27. 7. 2016</b>	200	1621
<b>3. 8. 2016</b>	250	1672
<b>10. 8. 2016</b>	300	1723



*Obrázek 7 Odebírání vzorku oleje z motoru sklízecí mlátičky*

### **8.3 Použité přístroje**

Pro změření a následné vyhodnocení stavu daného oleje byly použity následující přístroje. Standardizovaná referenční teplota měření vzorků olejů byla 40 °C a měření probíhalo podle současné normy ISO 8217, která je určená pro predestilované ropné produkty.

#### **8.3.1 Měření viskozity**

Pro vyhodnocení viskozity odebraných vzorků byl použit přístroj rakouské společnosti Anton Paar DV-3P s adaptérem pro měření malých vzorků a se standardizovaným vřetenem TR8 s otáčkami 186 s<sup>-1</sup>.

Nejprve bylo zapotřebí nastavit na předem změřenou hustotu měřeného odebraného vzorku. Po nastavení potřebných otáček 186 s<sup>-1</sup> a vzorkovací frekvence 2 s se do adaptéru pro měření malých vzorků vkládala kyveta s 15 ml měřeného vzorku. Kyveta se vložila do měřícího prostoru rotačního viskozimetru. Dalším krokem bylo vložení měřícího vřetene a spuštění samotného měření dynamické viskozity.

Hodnota kinematické viskozity se zjistí přepočtem podle vzorce:

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

Kde  $\rho$  je hustota [kg·m<sup>-3</sup>] a  $\eta$  je dynamická viskozita [Pa·s]



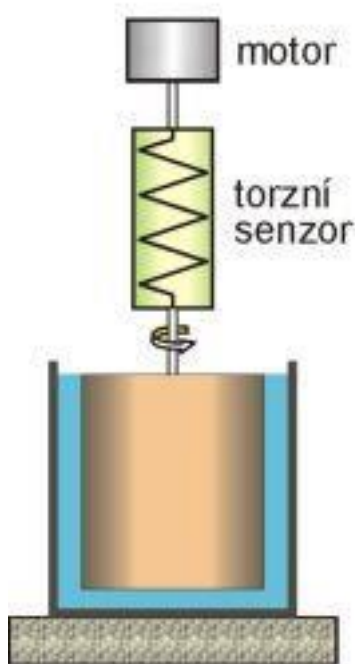
### Princip měření rotačním viskozimetrem:

Rotační viskozimetr funguje na principu Couettova proudění kapaliny v mezikruží dvou sousých válců, kde jeden z nich rotuje. Měří se tedy moment síly, který musí rotační těleso ponořené do kapaliny překonat (Bartovská, Šišková; 2005).

Dynamická viskozita pomocí rotačního viskozimetru se určí ze vztahu:

$$\eta = \frac{M}{4 \cdot \pi \cdot h \cdot \omega} \cdot \left( \frac{1}{R_1^2} \cdot \frac{1}{R_2^2} \right) [Pa \cdot s]$$

Kde  $h$  je hloubka ponoření měřícího vřetene,  $\omega$  je úhlová rychlost, rozměry  $R_1$  a  $R_2$  jsou rozměry mezi válci.



Obrázek 8 Schéma rotačního viskozimetru Anto Paar DV-3P (Bartovská, Šišková; 2005)

### 8.3.2 Měření hustoty

Pro změření hustoty byl použit přenosný digitální hustoměr Densito 30PX od americké společnosti Mettler Toledo. Tento měřicí přístroj disponuje také stupnicí pro měření ropných produktů.

Jeho přenosnost a kompaktnost umožňuje rychle změřit hustotu odebíraného vzorku. Tento přístroj pracuje na principu oscilující trubice v kombinaci s přesným měřením teploty vzorku a její kompenzací (ilabo.cz)



*Obrázek 9 Používaný hustoměr Densito 30PX (ilabo.cz)*

Základní technická specifikace:

Měřicí rozsah hustoty: 0 až 2000 kg·m<sup>-3</sup>

Měřicí rozsah teploty: 0 až +60 °C

Rozlišení: 0,1 kg·m<sup>-3</sup>

Přesnost: 1 kg·m<sup>-3</sup>

Jednotky měření: hustota, specifická hmotnost, Brix %, alkohol, °Baumé, °Plato, API, kyselina sírová, koncentrace.

### 8.3.3 Atomový emisní spektrometr

Pro zjištění obsahu kovů v odebraných vzorcích byl použit atomový emisní spektrometr Spectroil Q100, který je v provozu na Univerzitě obrany v Brně. Tento přístroj je určen pro fyzickou analýzu olejových vzorků. Přístroj využívá rotační diskovou elektrodu, pomocí které je schopen změřit i stopové obsahy prvků rozpuštěných nebo nanesených jako jemné částice v minerálních nebo syntetických výrobcích z ropy.



*Obrázek 10 Atomový emisní spektrometr Spectroil Q100 (Spectro.cz)*

## 9 VÝSLEDKY A DISKUZE

V kapitole jsou uvedeny tabulky naměřených výsledků odebraných vzorků oleje. Tyto výsledky jsou interpretovány do grafů pro lepší názornost a doplněny doprovodným textem.

### 9.1 Kovy a jiné prvky v oleji

#### 9.1.1 Obsah otěrových kovů v motorovém oleji

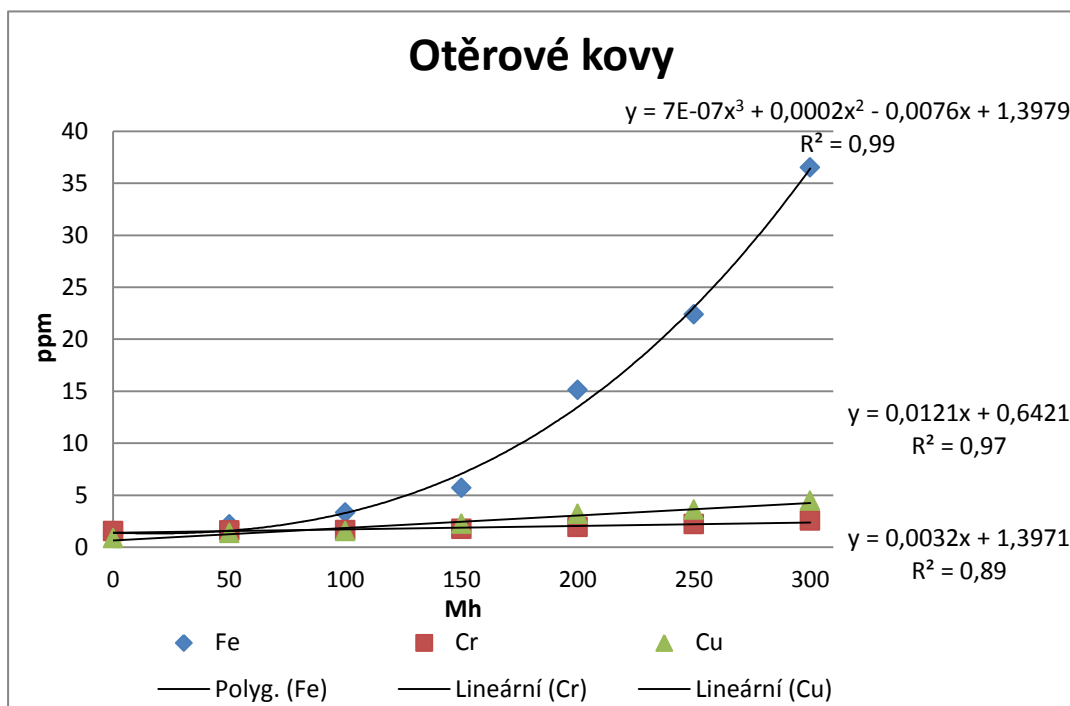
Pomocí atomové emisní spektrometrie byl zjištěn celkový obsah kovů a jiných prvků obsažených v odebraných vzorcích olejů. Naměřené částice se do oleje dostávají průběžným opotřebením strojních skupin v motoru, kontaminací z vnějšího prostředí, nebo jsou již součástí použitého oleje a to jako přísady zlepšující vlastnosti daného oleje.

Stanovením obsahu částic v mazací soustavě je důležitým faktorem při stanovení celkového stavu spalovacího motoru. Vysoký výskyt některého z prvků může poukazovat na vznikající budoucí havárii motoru.

V tabulce č. 9 je uveden seznam kovů, které jsou hlavními konstrukčními kovy součástí motoru.

*Tabulka 9 Obsah otěrových kovů v oleji*

Datum odběru	Počet Mh na olejovou náplň	Fe [ppm]	Cr [ppm]	Cu [ppm]
4. 6. 2016	Čistý	0,00	1,53	0,41
4. 6. 2016	0	1,17	1,55	0,86
7. 7. 2016	50	2,18	1,60	1,33
13. 7. 2016	100	3,30	1,62	1,54
21. 7. 2016	150	5,69	1,75	2,22
27. 7. 2016	200	15,10	1,94	3,20
3. 8. 2016	250	22,38	2,20	3,58
10. 8. 2016	300	36,51	2,53	4,44



*Obrázek 11 Graf znázorňující výskyt otěrových kovů*

Z tabulky a grafu je patrné, že hlavním otěrovým kovem v motoru je železo, jehož nárůst zejména po překročení hranice 150 Mh je znatelný. V první polovině servisního intervalu je znát lineární nárůst obsahu železa v oleji, avšak v druhé polovině dochází k zrychlenému nárůstu obsahu železa. Koeficient determinace  $R^2$  dokazuje vhodnost použití polynomu třetího stupně pro popsání křivky vývoje výskytu železa v oleji.

Z výkazu práce sklízecí mlátičky bylo zjištěno, že prvních 150 Mh byla mlátička nasazena ke sklizni travního semínka. Při sklizni travního semínka není využíván plný potenciál výkonu motoru sklízecí mlátičky, jelikož je limitovaná technickým provedením sběracího adaptéru. Motor dle palubního systému byl využíván na 70 % svého jmenovitého výkonu. V druhé polovině však již byla zahájena sklizeň řepky olejné. Při sklizni této plodiny už je použit adaptér pro sklizeň obilovin a je tedy umožněno využívat jmenovitý výkon motoru. Při navržení intervalu 300 Mh dosahoval obsah železa hodnot 36,5 ppm. Dle publikace (Černý, 2010b) je limitní hodnota pro normální opotřebení vznětového motoru, 50 ppm. Motor tedy nevykazuje zvýšené opotřebení základních konstrukčních součástí motoru.

Lze předpokládat, že kdyby docházelo k prodlužování termínu výměny motorového oleje, dosáhlo by množství železa v oleji limitních hodnot a tím docházelo ke zvýšenému opotřebením všech součástí, které jsou v kontaktu s mazacím médiem.

Obsah částí mědi a chromu vykazuje lineární nárůst až do nejvyšších hodnot 2,53 ppm pro chrom a 4,44 ppm pro měď. Tyto hodnoty nejsou výrazné a podle literatury (Černý, 2010b), která uvádí hranici normálního opotřebením 30 ppm pro měď a 12 ppm pro chrom, jsou v naprostém pořádku a nenaznačují budoucí problémy motoru.

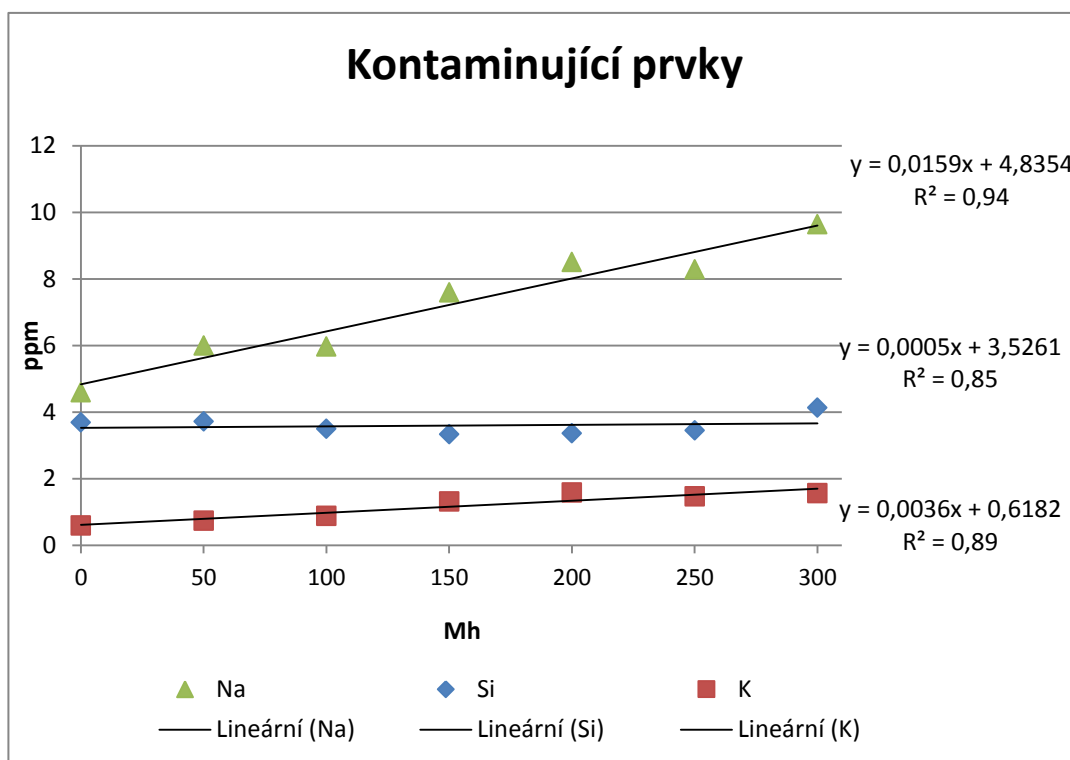
### 9.1.2 Obsah kontaminujících prvků v oleji

Během opotřebování motorového oleje se do oleje dostávají kromě otěrových kovů, také prvky, které jsou součástí jiných medií nebo součástí prachových částic.

V oleji byly změřeny hodnoty sodíku, křemíku a draslíku, které jsou uvedeny v následující tabulce:

*Tabulka 10 Množství kontaminujících prvků v odebraném oleji*

Datum odběru	Počet Mh na olejovou náplň	Na [ppm]	Si [ppm]	K [ppm]
4. 6. 2016	Čistý	4,46	3,48	0,72
4. 6. 2016	0	4,59	3,69	0,59
7. 7. 2016	50	5,99	3,72	0,74
13. 7. 2016	100	5,96	3,49	0,88
21. 7. 2016	150	7,59	3,33	1,31
27. 7. 2016	200	8,50	3,36	1,58
3. 8. 2016	250	8,28	3,45	1,47
10. 8. 2016	300	9,64	4,13	1,56



Obrázek 12 Graf znázorňující vývoj obsahu kontaminujících prvků

Z grafu a tabulky lze vyčíst, že dvojnásobné změny od počátečního stavu dosahuje sodík a to nejvyšší hodnoty 9,64 ppm. Sodík je použit jako aditivum v nemrznoucích směsích chladicí kapaliny. Z tabulky lze však vyčíst, že je již součástí nového oleje. Je tedy i aditivní přísadou, která slouží jako náhrada pro sloučeniny vápníku nebo hořčíku (oelcheck.de, 2010).

Dalším prvkem, který zvýšil svůj podíl je draslík. Draslík je taktéž součástí aditiv nemrznoucích chladicích kapalin a byl již obsažen v novém oleji. V oleji je také obsažen i křemík (viz kapitola 6.1 Zdroje otěrových kovů)

Vhodnost použití lineární funkce k popsání zvýšení výskytu kontaminujících prvků popisují vysoké hodnoty koeficientu determinace  $R^2$ .

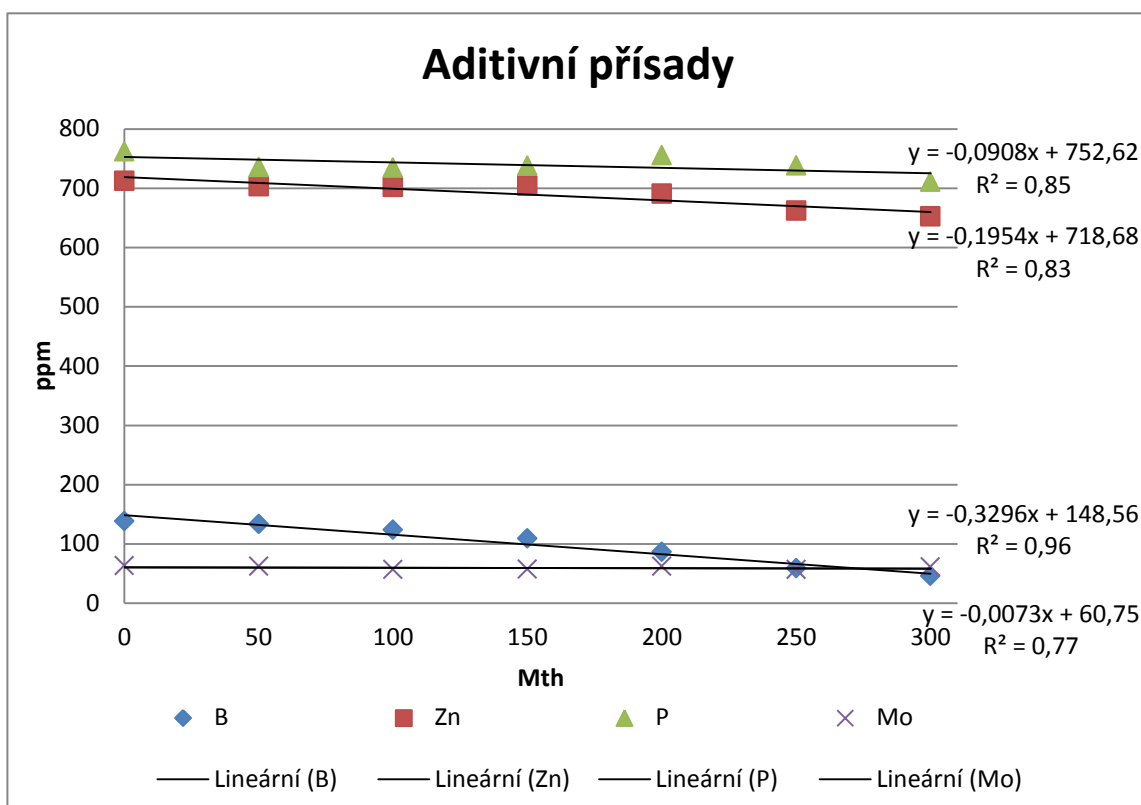
### 9.1.3 Obsah hlavních aditivních přísad

Během degradace motorového oleje dochází k úbytku chemických prvků a rozkladu jejich sloučenin, které slouží jako aditivní přísady oleje. Tyto chemické prvky zlepšují jeho vlastnosti. Základními prvky používané jako aditiva jsou bor, zinek, molybden a fosfor. Bor má za úkol čištění olejové soustavy, zinek a fosfor jsou součástí zinkdialkyl-dithiofosfátů (ZDDP). Jedná se o účinné látky, které působí proti opotřebení na třecích plochách, protože obsahují síru a fosfor (-thio- je chemický výraz pro síru). Jsou ideální pro velmi horké oblasti, jako jsou např. pístní kroužky. Také působí antioxidantně, chrání základový olej proti degradaci kyslíkem, jejímž důsledkem je vznik kyselých kalů, které zvyšují korozi součástí v olejové soustavě motoru. Molybden je hlavní součástí aditiv zlepšujících antioxidantní a viskozitní vlastnosti motorového oleje (Brož, 2014; oelcheck.de, 2010).

*Tabulka 11 Obsah aditivních přísad v oleji*

<b>Datum odběru</b>	<b>Počet Mh na olejovou náplň</b>	<b>Mo [ppm]</b>	<b>B [ppm]</b>	<b>Zn [ppm]</b>	<b>P [ppm]</b>
<b>4. 6. 2016</b>	<b>Čistý</b>	64,89	148,36	696,43	807,21
<b>4. 6. 2016</b>	<b>0</b>	62,79	137,79	712,16	761,68
<b>7. 7. 2016</b>	<b>50</b>	61,76	133,09	703,14	735,24
<b>13. 7. 2016</b>	<b>100</b>	56,52	123,31	701,89	734,37
<b>21. 7. 2016</b>	<b>150</b>	56,92	108,75	703,84	737,74
<b>27. 7. 2016</b>	<b>200</b>	62,01	86,30	690,43	755,48
<b>3. 8. 2016</b>	<b>250</b>	56,62	58,77	661,84	738,11
<b>10. 8. 2016</b>	<b>300</b>	60,99	45,87	652,35	710,36





*Obrázek 13 Vývoj obsahu aditivních přísad v oleji*

Z tabulky a grafu lze vyčíst, že dochází k lineárnímu úbytku těchto aditivních přísad, zejména boru, který snížil své zastoupení v oleji na třetinu své původní hodnoty. Při prodloužení intervalu výměny by mohlo dojít k takovému úbytku boru, že by došlo ke zvýšenému usazování nečistot v mazací soustavě motoru.

## 9.2 Fyzikální vlastnosti

Během degradace dochází také k fyzikálním změnám, které mají zásadní vliv na dodržování základních vlastností motorového oleje (viz kapitola 2.1 Základní funkce motorových olejů).

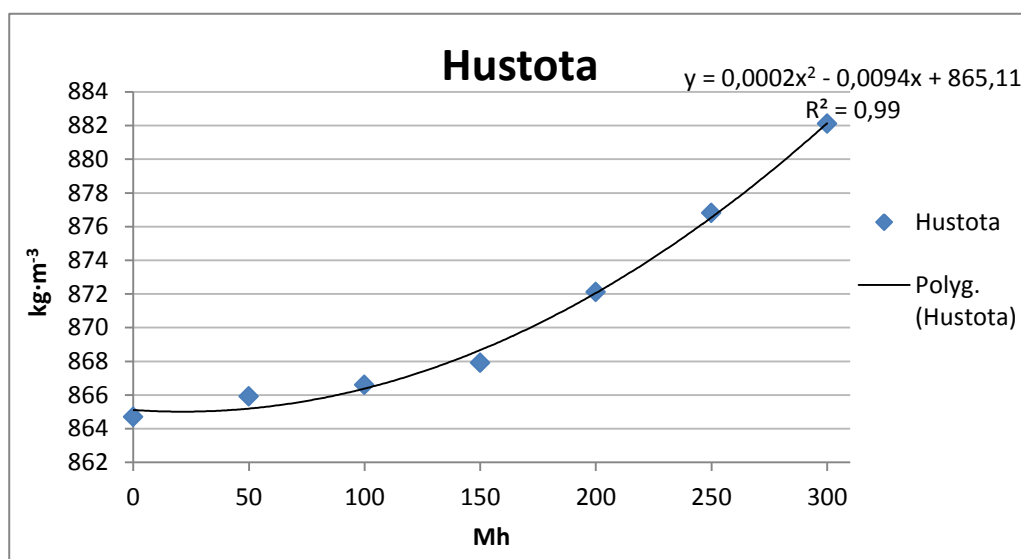
### 9.2.1 Hustota oleje

Hustota je jeden ze základních ukazatelů skutečného stavu oleje. Je ovlivněna znečištěním cizími látkami. Při její vysoké hodnotě může dojít ke zhoršení fungování celé mazací soustavy motoru, zejména ke zhoršení její čerpatelnosti oleje.

Hustota je používána k vypočítání kinematické viskozity, je tedy důležité tuto hodnotu změřit. Její hodnota je ovlivněna obsahem ošetrových částí a i kontaminujících prvků (viz kapitola 9.1 Kovy a jiné prvky v oleji).

*Tabulka 12 Naměřená hustota motorového oleje*

<b>Datum odběru</b>	<b>Počet Mh na olejovou náplň</b>	<b>Hustota [kg.m<sup>-3</sup>]</b>
<b>4. 6. 2016</b>	<b>Čistý</b>	863,3
<b>4. 6. 2016</b>	<b>0</b>	864,7
<b>7. 7. 2016</b>	<b>50</b>	865,9
<b>13. 7. 2016</b>	<b>100</b>	866,6
<b>21. 7. 2016</b>	<b>150</b>	867,9
<b>27. 7. 2016</b>	<b>200</b>	872,1
<b>3. 8. 2016</b>	<b>250</b>	876,8
<b>10. 8. 2016</b>	<b>300</b>	882,1



Obrázek 14 Graf naměřených hodnot hustoty

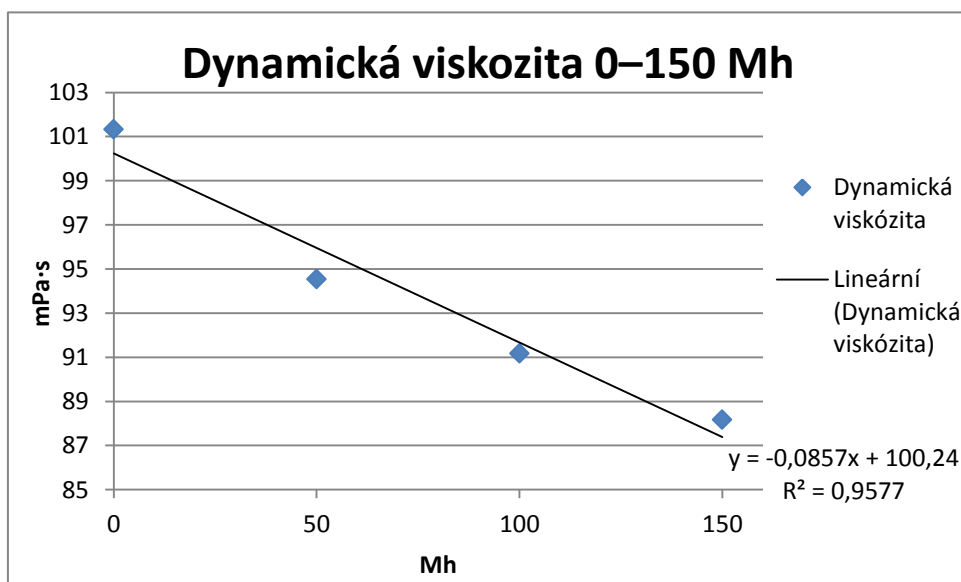
Z grafu lze vyčíst, že vývoj hustoty úzce souvisí s vývojem otěrových kovů obsažených v oleji. A to, že prvních 150 Mh je nárůst hodnot hustoty pozvolnější vlivem přirozenou degradací motorového oleje a mírným přírůstkem otěrových částic. V druhé polovině dochází ke zvýšenému nárůstu hustoty oleje a dle obrázku č.: 11, také ke zvýšení hodnot množství železa obsaženého v oleji, jelikož došlo ke zvýšení využití zatížení motoru a tedy také ke zvýšení opotřebení motoru.

Vhodnost použití polynomu druhého stupně dokazuje vysoká hodnota koeficientu determinace  $R^2$ .

## 9.2.2 Vývoj dynamické viskozity

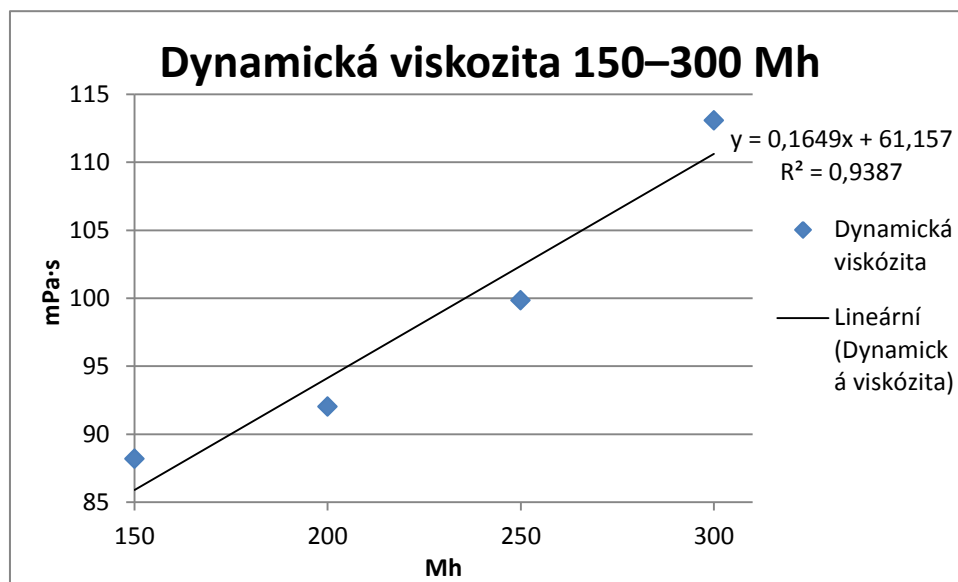
Tabulka 13 Naměřené hodnoty dynamické viskozity

Datum odběru	Počet Mh na olejovou náplň	Dynamická viskozita [mPa·s]
4. 6. 2016	Čistý	99,752
4. 6. 2016	0	101,336
7. 7. 2016	50	94,545
13. 7. 2016	100	91,176
21. 7. 2016	150	88,174
27. 7. 2016	200	92,001
3. 8. 2016	250	99,821
10. 8. 2016	300	113,053



Obrázek 15 Vývoj dynamické viskozity 0–150 Mh

První polovinu motorový olej vykazoval lineární pokles dynamické viskozity, která byla způsobena přirozeným stárnutím a degradací motorového oleje v nenáročných podmínkách provozu motoru. Dále také docházelo k přirozenému úbytku aditivních přísad.



Obrázek 16 Vývoj dynamické viskozity 150–300 Mh

Ve druhé polovině olej lineárně zvýšil hodnotu své dynamické viskozity vlivem zvýšení otěrových částic v oleji. Tento jev je následkem zvýšeného mechanického namáhání motoru vlivem využití plného výkonu v náročnějších podmínkách sklizně.

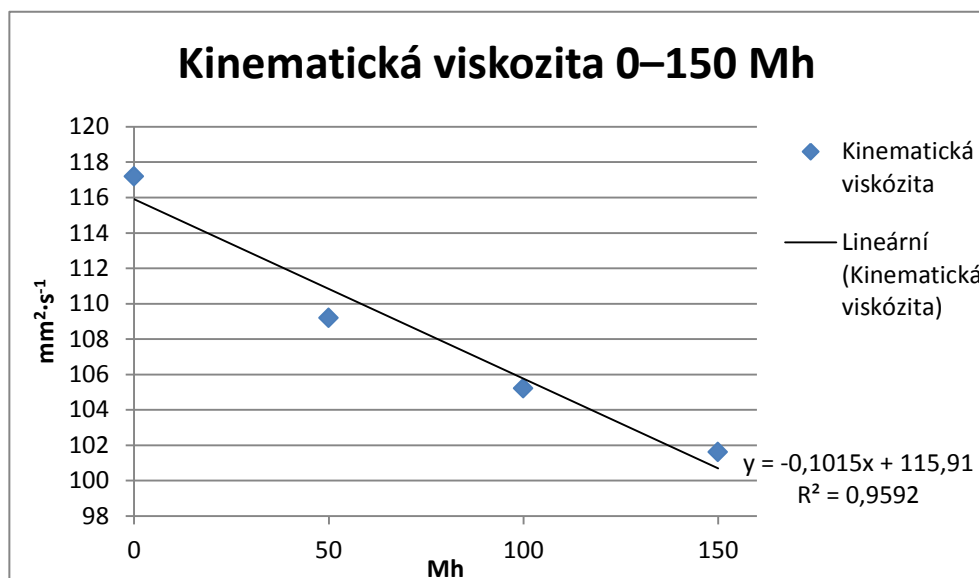
Změna hodnoty dynamické viskozity z počátečního stavu ke konečnému činí 12 %.

### 9.2.3 Kinematická viskozita

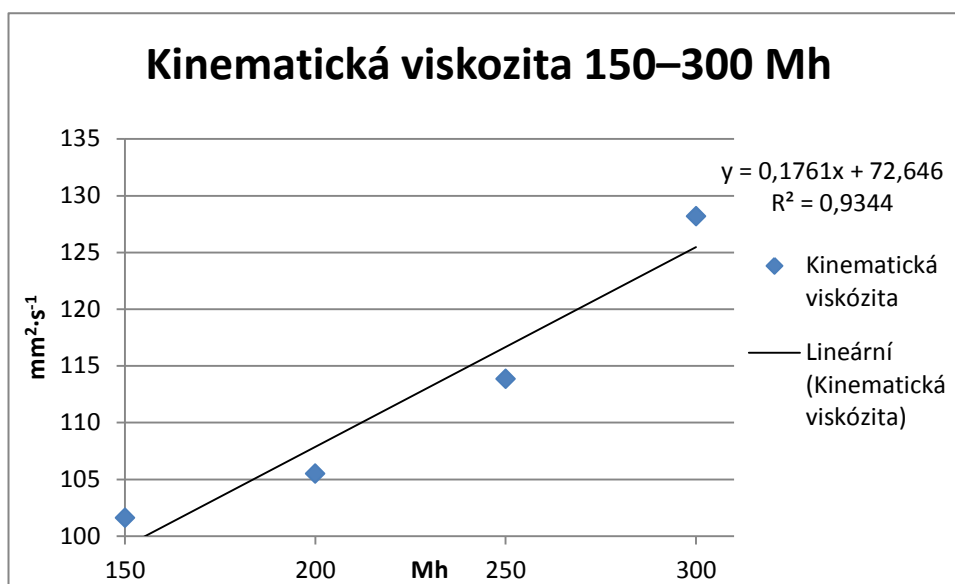
Jelikož se při prezentaci viskozitních vlastností olejů používá především kinematická viskozita, byla dynamická viskozita podle vzorce uvedeným v kapitole 8.3.1 přepočítána. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 10.

Tabulka 14 Vypočítané hodnoty kinematické viskozity

Datum odběru	Počet Mh na olejovou náplň	Kinematická viskozita [mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
4. 6. 2016	Čistý	115,548
4. 6. 2016	0	117,192
7. 7. 2016	50	109,187
13. 7. 2016	100	105,211
21. 7. 2016	150	101,594
27. 7. 2016	200	105,494
3. 8. 2016	250	113,847
10. 8. 2016	300	128,164



Obrázek 17 Vývoj kinematické viskozity 0–150 Mh



Obrázek 18 Vývoj kinematické viskozity 150–300 Mh

Kinematická viskozita je závislá na hustotě a dynamické viskozitě. Grafy Kinematické viskozity se tedy vyvíjejí obdobně jako grafy dynamické viskozity. První polovina servisního intervalu kinematická viskozita lineárně klesá vlivem přirozené degradace motorového oleje. Ve druhé polovině servisního intervalu kinematická viskozita lineárně vzrůstá následkem zvýšením hustoty oleje díky navýšení otěrových částic v oleji. Změna hodnoty kinematické viskozity od počátečního stavu činí 10 %. Podle publikace (Helebrant a kol., 2004) by se viskozita oleje neměla během provozu změnit o více než  $\pm 20$  %.

Příliš nízká viskozita nasvědčuje většinou závadě na vstřikování a nadbytku paliva v oleji a může vést k příliš tenkému mazacímu filmu. Důsledkem potom při vyšším zatížení může být i porušení mazacího filmu a zvýšené opotřebení nebo i zadírání třecích dílů. Příliš vysoký nárůst viskozity, zejména ke konci servisního intervalu, může nasvědčovat příliš vysoké oxidační degradaci. Takové oleje obsahují velmi mnoho korozivních kyselých produktů oxidace. U vznětových motorů nárůst viskozity může být také způsoben nadměrnému zvýšení obsahu sazí v motorovém oleji, které pak působí abrazivně na třecí povrchy, a tím se zvyšuje jejich opotřebení. Další možnou příčinou nárůstu viskozity může být přítomnost chladicí kapaliny v motorovém oleji, tento jev se však nepotvrdil vzhledem k nevýraznému nárůstu chemických prvků, které jsou obsaženy v aditivech nemrznoucích směsí chladicí soustavy (Černý, 2005).

## ZÁVĚR

Pro vypracování této diplomové práce byla využita sklízecí mlátička CASE IH 9120, která měla na počátku měření odpracováno 1422 Mh. Výrobce této sklízecí mlátičky doporučuje používat motorový olej Shell Rimula R4L splňující viskozitní klasifikaci SAE 15W-40, který je doporučován pro naftové motory používané především v zemědělství a stavebnictví. Servisní interval výměny motorového oleje výrobce mlátičky doporučuje na hodnotu 300 Mh. Sklízecí mlátička je provozována soukromým poskytovatelem zemědělských služeb a to od počátku července až do konce listopadu. Během této doby motor sklízecí mlátičky dosáhne minimálně dvou servisních intervalů a je provozován v různorodých podmínkách, jak tepelných, tak i ve využití potenciálu výkonu motoru. Mlátička začíná mlácením travního semínka, při kterém motor není plně zatěžován, pokračuje na výkon motoru náročnou hlavní žňovou sezónou a končí sklizní sóji a kukuřice, která probíhá v chladnějších podmínkách a s nižší náročností na výkon motoru.

Pro potřeby zjištění celkové degradace motorového oleje a vypracování diplomové práce bylo odebráno celkem 7 vzorků oleje přímo z olejové vany a jeden vzorek nového oleje sloužícího pro porovnání. U odebraného oleje byla pomocí přenosného hustoměru Densito 30PX zjištěna skutečná hustota, rotačním viskozimetrem Anton Paar DV-3P dynamická viskozita a pomocí přístroje Spectroil Q100 atomová emisní spektrometrie pro potřeby určení obsahů otěrových a jiných částic v oleji.

Emisní atomovou spektrometrií zjištěnými prvky jsou Al, Cr, B, Cu, Fe, K, Mg, Na, Ni, Mo, P, Sn, T, Vi, Zn a Si. Významným naměřeným otěrovým kovem je železo, které je hlavním konstrukčním kovem součástí motoru. Měřením byla ověřena výrobcem doporučená maximální délka servisního intervalu 300 Mh. Při překročení tohoto intervalu by docházelo k nadměrnému opotřebením motoru způsobeným nadměrným výskytem železa. Ostatní kovy a kontaminující prvky nevykázaly nadměrné zvýšení obsahu v oleji a tím případnou vznikající budoucí havárii motoru. Výskyt všech hlavních aditivních přísad lineárně klesá během stárnutí motorového oleje.

Hustota během zkoumaného období má exponenciální nárůst, který je přesvědčivě ovlivněn zvyšujícím se obsahem otěrových kovů v oleji.

Pomocí vzorce (viz kapitola 8.3.1) byla dynamická viskozita přepočítána na kinematickou viskozitu. Kinematická viskozita do 150 Mh vykazovala lineární pokles, tento jev odpovídá přirozenému stárnutí oleje vlivem tepelného a mechanického



namáhání, avšak od 150 Mh do 300 Mh naopak lineární nárůst vlivem nárůstu otěrových kovů a jiných kontaminujících prvků v oleji.

Pro všechny naměřené výsledky je klíčový interval odebrání oleje 150 Mh. Během této doby byla sklízecí mlátička využita pro mlácení travního semínka a zatížení motoru dosahovalo, dle palubního systému mlátičky, maximálně 70 % jmenovitého výkonu motoru. V druhé polovině servisního intervalu došlo k výměně sběracího adaptéru, na adaptér pro sečení obilnin, a také ke změně pracovního zaměření sklízecí mlátičky na náročnější pracovní podmínky. Mlátička byla využita pro sklizeň řepky olejné. Během sklizně je motor maximálně využíván a pracuje tedy při jmenovitém výkonu. Tato změna má za následek zvýšení otěrových kovů a tím i nárůst opotřebení motoru. Vlivem zvýšeného nárůstu otěrových kovů se zvyšuje hustota a také kinematická viskozita motorového oleje.

Ze všech měření tedy vyplývá, že je důležité dodržovat doporučenou maximální délku servisního intervalu 300 Mh pro výměnu motorového oleje. Během servisního intervalu, při správné činnosti motoru, docházelo k běžné degradaci motorového oleje a běžnému opotřebení motoru.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ČERNÝ J. *Bionafta a provoz motorů* [online]. 2010c [cit. 2017-13-02]. Dostupné na: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-1-2009/bionafta-a-provoz-motoru.html>

ČERNÝ J. *Když se řekne: základové oleje* [online]. 2010a [cit. 2017-15-02]. Dostupné na: <https://www.oleje.cz/clanek/Kdyz-se-rekne--zakladove-oleje>

ČERNÝ J. *Otěrové kovy* [online]. 2010b [cit. 2017-15-01]. Dostupné na: <http://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Oterove-kovy>

ČERNÝ J. *Viskozita automobilových motorových olejů* [online]. 2005 [cit. 2017-15-01]. Dostupné na: <https://www.oleje.cz/clanek/Viskozita-automobilovych-motorovych-oleju>

DRESEL W. – MANG T. *Lubricants and Lubrication*. Weinheim: Wiley, 2007. 890 s. ISBN 978-3-527-31497-3.

BROŽ P. *Zinkdialkyl-dithiofosfáty v motorových olejích* [online]. 2014 [cit. 2017-05-3]. Dostupné na: <https://www.fuchs-oil.cz/index.php/automotive/zinkdialkyl-dithiofosfaty-v-motorovych-olejich.html>

HELEBRANT, František, Jiří ZIEGLER a Daniela MARASOVÁ. *Technická diagnostika a spolehlivost*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2004, 155 s. ISBN 80-7078-883-6.

HROMÁDKO J. *Spalovací motory: Komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011, 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0.

JAN Z. – BRONISLAV Ž. *Automobily*. 2., aktualiz. vyd. Brno: Avid, 2008, 179 s. ISBN 978-80-87143-06-3.

KUMBÁR V. – DOSTÁL P. *Oilsdegradation in agriculturalmachinery*. Acta Universitatisagriculturae et silviculturaeMendelianaeBrunensis. 2013. sv. 61, č. 5, s. 1297--1303. ISSN 1211-8516.

KUMBÁR V. – VOTAVAJ. *Differences in engineoildegradation in spark-ignition and compression-ignitionengine*. Eksploatacja i Niezawodnosc - Maintenance and Reliability. 2014. sv. 16, č. 4, s. 622--628. ISSN 1507-2711.

URL: <http://www.ein.org.pl/sites/default/files/2014-04-18.pdf>

Materiály firmy Agrics a.s.

OELCHECK GmbH : *Limit values for diesel engines*. [online]. 2010 [cit. 2017-20-3].

Dostupné na:

<https://www.oelcheck.de/en/knowledge-from-a-z/summaries-and-tables/limit-values/limit-values-for-diesel-engines.html>

OLEJE.CZ. *Aditiva do maziv* [online]. 2012 [cit. 2017-05-3]. Dostupné na:

<https://www.oleje.cz/obsah/Aditiva>

OLEJE.CZ. *Základy tribotechniky* [online]. 2013 [cit. 2017-03-4]. Dostupné na:

<https://www.oleje.cz/clanek/Zaklady-tribotechniky>

PETROLEUM.CZ. *Paramo, a.s., výroba olejů* [online]. 2010 [cit. 2016-02-1].

Dostupné na: <http://www.petroleum.cz/rafinerie/paramo-vyroba-oleju.aspx>

SHELL-LIVEDOCS.COM. *Shell Rimula R4 L 15W-40* [online]. 2016 [cit. 2017-05-3].

Dostupné na: <http://www.shell-livedocs.com/data/published/en-AU/8c4f0209-0a04-46e5-8b86-3fd19427fd4d.pdf>

STODOLA J. – NOVOTNÝ P. *Tribodiagnostika BSV*. Vydání první. Brno: Univerzita obrany, 2015, 100 stran. ISBN 978-80-7231-984-8.

TRIBOTECHNIKA.CZ. *Základy oboru* [online]. 2014 [cit. 2017-12-01]. Dostupné na:  
<http://www.tribotechnika.cz/zaklady-oboru>

VLK F. *Paliva a maziva motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2006, 376 s.  
ISBN 80-239-6461-5.

VLK F. *Vozidlové spalovací motory*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2003, 580 s.  
ISBN 80-238-8756-4.

ZEHNÁLEK J. *Chemie, paliva, maziva*. 2. vyd. Brno: Mendelova zemědělská  
a lesnická univerzita, 2005, 176 s. ISBN 80-7157-900-9.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Složení motorového oleje.....	15
Obrázek 2 Přehled viskozitní klasifikace SAE .....	19
Obrázek 3 Princip vzniku otěrových částí při mezním tření .....	24
Obrázek 4 Kovové plochy oddělené vrstvou oleje .....	24
Obrázek 5 Sklízecí mlátička Case IH 9120 použitá pro odběr oleje .....	28
Obrázek 6 Motor FPT Cursor 13 .....	29
Obrázek 7 Odebírání vzorku oleje z motoru sklízecí mlátičky .....	31
Obrázek 8 Schéma rotačního viskozimetru Anto Paar DV-3P.....	32
Obrázek 9 Používaný hustoměr Densito 30PX.....	33
Obrázek 10 Atomový emisní spektrometr Spectroil Q100.....	34
Obrázek 11 Graf znázorňující výskyt otěrových kovů .....	36
Obrázek 12 Graf znázorňující vývoj obsahu kontaminujících prvků .....	38
Obrázek 13 Vývoj obsahu aditivních přísad v oleji.....	40
Obrázek 14 Graf naměřených hodnot hustoty .....	42
Obrázek 15 Vývoj dynamické viskozity 0–150 Mh .....	43
Obrázek 16 Vývoj dynamické viskozity 150–300 Mh .....	44
Obrázek 17 Vývoj kinematické viskozity 0–150 Mh .....	45
Obrázek 18 Vývoj kinematické viskozity 150–300 Mh .....	46

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1	Viskozitní klasifikace podle SAE 300 SEP 80 .....	19
Tabulka 2	Používané výkonnostní třídy API .....	21
Tabulka 3	Používané výkonnostní třídy ACEA, třídy A,B .....	21
Tabulka 4	Používané výkonnostní třídy ACEA, třída C .....	22
Tabulka 5	Otěrové kovy a jiné kontaminanty v motorovém oleji .....	24
Tabulka 6	Limitní koncentrace kovů a jiných prvků v motorovém oleji .....	26
Tabulka 7	Hodnoty udávané výrobcem .....	30
Tabulka 8	Přehled odběrů vzorků olejů .....	30
Tabulka 9	Obsah otěrových kovů v oleji .....	35
Tabulka 10	Množství kontaminujících prvků v odebraném oleji .....	37
Tabulka 11	Obsah aditivních přísad v oleji .....	39
Tabulka 12	Naměřená hustota motorového oleje .....	41
Tabulka 13	Naměřené hodnoty dynamické viskozity .....	43
Tabulka 14	Vypočítané hodnoty kinematické viskozity .....	45

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

<b>ACEA</b>	Association des Constructeurs Européens d'Automobiles
<b>API</b>	American Petroleum Institut
<b>CCMC</b>	Comité des constructeurs d'automobiles des marché commun
<b>DPF</b>	Diesel Particulate Filter
<b>EC</b>	Energy Conserving
<b>EGR</b>	Exhaust Gas Recirculation
<b>Mh</b>	Motohodina
<b>MIL</b>	Military Specification
<b>PAO</b>	Polyalfaolefin
<b>ppm</b>	Parts per milion
<b>SAE</b>	Society of Autotmotive Engineers
<b>SCR</b>	Selective Catalytic Reduction
<b>VHVI</b>	Very high viskosity
<b>ZDDP</b>	Zinkdialkyl-dithiofosfát