

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ**  
**AGRONOMICKÁ FAKULTA**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**BRNO 2016**

**JAN BÍLÍK**

**Mendelova univerzita v Brně**  
**Agromická fakulta**  
**Ústav techniky a automobilové dopravy**

---



**Degradace motorového oleje ve vznětovém motoru  
užitkového automobilu**

Diplomová práce

*Vedoucí práce:*  
Ing. Vojtěch Kumbár, Ph.D.

*Vypracoval:*  
Bc. Jan Bílík

---

Brno 2016



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci: Degradace motorového oleje ve vznětovém motoru užitkového automobilu 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**

Na tomto místě bych si dovolil poděkovat panu Ing. Vojtěchu Kumbárovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, cenné rady a připomínky a pomoc při zpracování experimentální části.

Děkuji také panu Zdeňkovi Sklenskému ze společnosti REGNUM VINI za umožnění odebírání vzorků oleje z firemního vozidla.

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce pojednává o degradaci motorového oleje ve vznětovém motoru užitkového automobilu. První část přibližuje základní problematiku vědního oboru, který se zabývá zjišťování aktuálního stavu motoru pomocí informací získaných z analýzy maziva a základními vlastnostmi maziv. V další kapitole je nastíněno rozdělení olejů, jejich výroba a příčiny a způsoby samotné degradace. Samotná kapitola je věnována také mazací soustavě a její funkci.

Experimentální část se již zabývá samotným stanovením degradace motorového oleje. Je zde popsán postup odběru jednotlivých vzorků a metody pro stanovení zkoumaných veličin. Dále jsou zpracovány již samotné výsledky, které jsou vyobrazeny v přehledných grafech, kde byly hodnoty proloženy lineární regresní funkcí a stanoveny koeficienty determinace  $R^2$ . Na závěr je provedeno shrnutí a diskuze všech zjištěných výsledků.

**Klíčová slova:** motorový olej, degradace, tribotechnika, viskozita, hustota

## **ABSTRACT**

This thesis discusses the degradation of engine oil in a diesel engine of utility vehicle. The first part focuses on the fundamental issues of science discipline, which deals with identification of existing motor's current status using information obtained from the analysis of the lubricants and fundamental character of lubricants. The next chapter is to outline the division oil production and their causes and methods of actual degradation. The actual chapter is also devoted to the lubrication system and its function.

The experimental part deals with the actual provisions of the degradation of engine oil. There is a described process of taking individual samples and the methods for the determination of the examined physical quantity. Furthermore, the results themselves are processed and shown in the organized charts, where values were interleaved by linear regression and determination coefficients of  $R^2$  determination. In the end, conclusion of summary and discussion of the result are made.

**Key words:** engine oil, degradation, tribotechnics, viscosity, density

# OBSAH

ÚVOD.....	9
CÍLE PRÁCE.....	10
<b>1 ZÁKLADY TRIBOLOGIE A TRIBOTECHNIKY.....</b>	<b>11</b>
1.1 Tření.....	12
1.2 Opotřebení.....	13
1.3 Vlastnosti mazacích olejů .....	13
1.3.1 Viskozita .....	14
1.3.2 Mazivost.....	15
1.3.3 Maznost.....	16
<b>2 MOTOROVÉ OLEJE.....</b>	<b>16</b>
2.1 Rozdělení podle technologie výroby.....	18
2.1.1 Minerální oleje.....	18
2.1.2 Syntetické oleje.....	19
2.1.3 Polosyntetické oleje .....	19
2.2 Základové oleje .....	20
2.3 Aditiva.....	22
2.3.1 Druhy aditiv .....	22
2.4 Specifikace motorových olejů.....	25
2.4.1 Viskozitní specifikace motorových olejů .....	25
2.4.2 Výkonnostní specifikace motorových olejů .....	26
2.5 Otěrové kovy v oleji.....	28
2.5.1 Příčiny a zdroje .....	28
2.5.2 Charakteristické kovy .....	29
2.5.3 Analýza kovů .....	30
2.6 Mazací soustava .....	31
2.6.1 Tlakové mazání.....	31
2.6.2 Olejová čerpadla .....	33

<b>3</b>	<b>MATERIÁL A METODIKA.....</b>	<b>36</b>
3.1	Motorový olej.....	36
3.2	Sledované vozidlo .....	37
3.3	Měřicí přístroje.....	38
3.3.1	Atomový emisní spektrometr.....	38
3.3.2	Digitální hustoměr .....	39
3.3.3	Rotační viskozimetr .....	40
3.4	Odběr vzorku morového oleje.....	41
<b>4</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUZE .....</b>	<b>43</b>
4.1	Atomová emisní spektrometrie .....	43
4.2	Hustota oleje.....	47
4.3	Viskozita oleje.....	48
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>51</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>53</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>56</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>57</b>



## ÚVOD

Podle publikace (Hrdlička, 1996) jsou oleje tekuté organické sloučeniny mastné povahy. Jsou lehčí než voda, ve vodě jsou nerozpustné. Rozpouštějí se v éteru, benzinu a jiných organických rozpouštědlech. Podle původu se oleje obecně dělí na rostlinné, živočišné a dále pak na minerální (ropné) a syntetické.

Funkce motorového oleje:

- mazání (omezení styku) mezi hybnými součástkami,
- chlazení odvodem tepla vzniklého třením a hořením,
- udržování čistoty motoru zachycováním nečistot a dalších částic vznikajících při opotřebování motoru,
- ochrana kovové plochy před korozí,
- olejový film má mezi pístními kroužky a stěnou válce „dotěšňovací“ funkci, tzn. zvyšuje komprese a snižuje tlakové ztráty,
- zklidňuje chod motoru a tlumí hluk vzniklý pohybem součástek motoru.

Při vzájemném pohybu dvou částí vzniká třecí síla, ta způsobuje mechanické ztráty, které doprovází vznik tepla. Tento jev způsobuje nerovnost povrchů a snahou je tyto povrchy od sebe oddělit látkou s nižším vnitřním třením – olejem. K vytvoření kluzné vrstvy musí být olej k místu styku přiváděn s přetlakem. Pro motory jsou nevhodné časté starty, jelikož je nízká diference rychlostí vzájemně se pohybujících dílů kluzných ložisek (Jílek a Pokorný, 2013).

Motorový olej během své životnosti postupně ztrácí své vlastnosti. V případě kdy olej již neobsahuje žádná aditiva a obsahuje velké množství nečistot a ošetrových částí se stává pro motor nebezpečným a je potřeba ho vyměnit. V opačném případě hrozí poškození vnějších součástí motoru. Především je zde riziko poškození klikového mechanismu a dochází ke zvýšenému namáhání pístů. Zvýšené opotřebení hrozí také pístními kroužky a vložkami válců (Kumbár a Dostál, 2013).

Interval pro výměnu bývá stanoven výrobcem. Nejčastěji je udávána ujetá vzdálenost 15 000 km nebo rok provozu na jednu olejovou náplň. Tyto hodnoty jsou však pouze doporučeny a skutečnost bývá mnohdy jiná. Postupným odebíráním vzorků a jejich zkoumáním by se dalo zjistit, v jakém stavu se olej ve skutečnosti nachází. Přispělo by to k prodloužení výměnných intervalů, šetření finančních prostředků a bylo by to šetrnější také k životnímu prostředí.

## CÍLE PRÁCE

Diplomová práce se zabývá stanovením provozní degradace motorového oleje ve vznětovém motoru užitkového automobilu. Hlavním cílem práce je zjistit, jak se mění vlastnosti motorového oleje během jeho provozu a jakým způsobem dochází k jeho degradaci.

Cílem teoretické části práce je vytvořit základní literární přehled rozdělení a vlastností používaných motorových olejů. Dále věnovat pozornost mazacím systémům spalovacích motorů a vzniku otěrových částí a nečistot v olejové náplni.

V praktické části je vyhodnocení devíti vzorků motorového oleje, odebraných z užitkového automobilu Renault Trafic 2.0 dCi, kde byl použit motorový olej Castrol 5W-40 EDGE. U odebraných vzorků je nutno pomocí atomového emisního spektrometru Spectroil Q100 zjistit množství a chemické složení otěrových částí. Použitím digitálního hustoměru Densito 30 PX změřit a vyhodnotit výsledky naměřené hustoty. V neposlední řadě u všech vzorků určit pomocí rotačního viskozimetru Brookfield DV2T hodnoty dynamické viskozity. Všechny získané hodnoty budou vyjádřeny v grafech, kde bude pomocí vhodných regresních funkcí modelována jejich závislost na nájezdu. Na závěr bude provedeno vyhodnocení, diskuze a případné doporučení do budoucnosti.

# 1 ZÁKLADY TRIBOLOGIE A TRIBOTECHNIKY

Tribologie je věda a technologie zabývající se vzájemným působením povrchů při jejich relativním pohybu a s tím spojená praxe. Vzájemná interakce povrchů je doprovázena třením, jehož důsledkem je opotřebení. Tření a opotřebení je možné zmenšit mazáním, jehož úlohou je prostřednictvím maziva zabránit bezprostřednímu styku povrchů (Oleje.cz, 2013).

Tribotechnika je disciplína aplikující do praxe výsledky tribologie. Vzájemným působením povrchů v pohybu dochází k odporu proti pohybu – tření. To způsobuje opotřebení pohybujících se povrchů. Tření a opotřebení se dá minimalizovat mazáním. Do tribotechniky tedy patří:

- maziva a jejich zkoušení,
- materiály pro třecí dvojice,
- výpočet, konstrukce a optimalizace třecích dvojic,
- vědecké základy pro tření a opotřebení,
- měřicí a kontrolní metody pro tribotechnické pochody,
- způsob mazání a mazací zařízení,
- spolehlivost a diagnostika (tzv. tribodiagnostika) konstrukčních součástí a skupin,
- speciální technologické postupy vedoucí ke zvýšení odolnosti proti opotřebení,
- organizace techniky mazání v provozu (Tribotechnika.cz, 2014).

Správnou aplikací tribotechniky je možno dosáhnout významných úspor v řadě oblastí, např.:

- snížení spotřeby energie k pohonu strojů,
- zvýšení životnosti strojů a zařízení,
- snížení prostojů vzniklých v důsledku poruch a následných oprav,
- snížení nákladů na údržbu a opravy strojů,
- zvýšení výrobní přesnosti strojů,
- snížení investičních nákladů,
- snížení nákladů potřebných k zajištění vhodných maziv (jejich efektivní volbou a výběrem dodavatele) (Vlk, 2006).

## 1.1 Tření

Tření je proces, který se váže na vzájemný relativní pohyb dvou dotýkajících se prvků tribologického systému. V závislosti na hloubce zkoumání třecích procesů rozeznáváme výzkum na úrovni makromodelu a mikromodelu. Při zkoumání na úrovni mikromodelu se nahlíží na tření jako na elementární proces. Při sledování makromodelu zohledňujeme celý funkční projev sledovaného modelu. Makroskopický přístup lze také charakterizovat tím, že získáváme údaje z vnějších měřitelných veličin tribologického systému. Mezi tyto veličiny patří především měření velikosti třecích ploch při tangenciálním pohybu, třecího momentu při rotačním průběhu pohybu, popř. třecí práce (Helebrant a kol., 2001).

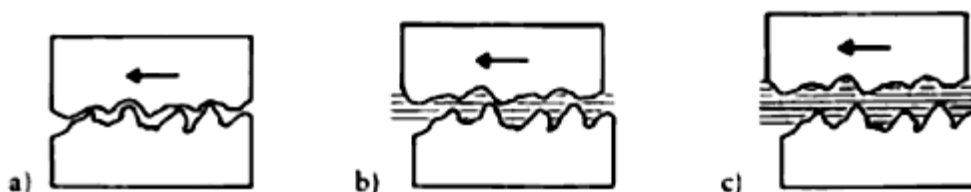
Pokud vycházíme ze základního tribologického systému, můžou nastat čtyři základní stavy tření:

1. Tření tuhých těles (suché tření), nastává tehdy, kdy se určující materiálová oblast nachází v tuhém stavu. Tento třecí stav se dále dělí na čisté tření tuhých těles (deformační tření) a na tření v adhezních vrstvách, stav čistého tření tuhých těles nastává především ve vakuu.
2. Tření kapalinové, charakterizuje ho stav, při kterém má vrstva materiálu, ve které probíhá tření, vlastnosti kapaliny.
3. Tření plynné, je obdobou kapalinového tření s rozdílem, že charakteristická vrstva má vlastnosti plynu.
4. Tření plazmatické, je stav, kdy charakteristická vrstva, ve které probíhá třecí proces, má vlastnosti plazmy.

Jednotlivé třecí stavy se v praxi vyskytují samostatně ve velmi omezené míře. Ve skutečnosti nastává často ke kombinaci jednotlivých druhů tření (Tul.cz, 2008).

Při mazání třecích ploch mohou nastat tři druhy tření:

- **Suché tření:** obě tělesa se dotýkají absolutně suchými povrchy. Dochází k silnému opotřebení a zvýšení teploty.
- **Smíšené tření (polosuché):** mezi oběma třecími plochami se nachází mazivo. Navzájem se mohou dotýkat už jen jednotlivé mikroskopické výčnělky na povrchu. Dochází pouze k malému ořezu.
- **Kapalinové tření (mokré):** obě tělesa jsou navzájem úplně oddělena kapalinou. K ořezu už prakticky nedochází a zvyšování teploty je minimální (Hromádko, 2011).



**Obrázek 1:** Druhy tření (Hromádko, 2011)

a – suché tření, b – polosuché tření, c – kapalinové tření

## 1.2 Opotřebení

Opotřebení patří mezi změny povrchu, které jsou nežádoucí. Vzniká oddělováním částic, působením mechanických účinků, které může v některých případech doprovázet chemické, elektrochemické nebo elektrické působení cizích zdrojů. Jedná-li se pouze o mechanické procesy, užívá se pojem otěr.

Příčin, které vyvolávají opotřebení strojních součástí, je mnoho. Ze zjištění druhu opotřebení můžeme odstranit, nebo minimalizovat, jeho negativní následky. Pro tento účel je dobré znát základní druhy a charakteristiky opotřebení:

- Adhezní opotřebení: při těsném přiblížení povrchů, ulpívání a vytrhávání částic materiálu adhezními silami.
- Abrazivní: oddělování částic účinkem drsného povrchu jednoho tělesa.
- Erozivní opotřebení: oddělování částic a poškození povrchu dopadem třetí látky (nesené kapalinou nebo plynem).
- Kavitační opotřebení: oddělování částic kavitací v kapalinách.
- Únavové opotřebení: kumulace poruch v povrchové vrstvě při cyklickém namáhání – porušení molekulární vazby (soudržnosti materiálu) vznik trhlin, jamek.
- Vibrační opotřebení: oddělování částic vlivem vibrací v tečném směru za působení normálního zatížení (Vlk, 2006).

## 1.3 Vlastnosti mazacích olejů

Dle (Zehnálek, 2005) jsou z hlediska tribotechniky na oleje, zejména motorové, kladeny různorodé a často i protichůdné nároky.

**a) Oleje musí:**

- dobře lpět na mazaném povrchu při všech jeho provozních podmínkách, což udává jeho mazací schopnost,
- odolávat smykovým silovým polím,
- chránit železné i barevné kovy (např. ložiska) před korozí,
- co nejdéle a za všech podmínek odolávat stárnutí – oxidaci uhlovodíků, resp. základních složek oleje,
- napomáhat k těsnění pístů ve válci a to i za vysokých teplot,
- zabraňovat usazování a rozptylovat nečistoty, které vznikají,
- umožňovat provoz i při velkém rozsahu teplot – v mrazech (až -40 °C), ale i při vysokých teplotách (oblast 1. pístního kroužku až 270 °C).

**b) Oleje nesmí:**

- napadat a poškozovat těsnicí materiály,
- pěnit při chodu motoru,
- vykazovat vysoké karbonizační číslo a také nesmí být náchylné k tvorbě tzv. studených kalů.

**c) Olej má být:**

- málo odparný, což napomáhá ke snížení ztrát v provozu i za vysokých teplot,
- skladovatelný minimálně dva roky v temnu (plechová či polystyrenová obalář) v přiměřené teplotě,
- ekonomický při jeho provozu – souvislost s jeho cenou a užitnými vlastnostmi,
- mísitelný s jinými oleji téže viskózní skupiny a dle podmínek bez ohledu na firmní původ,
- vhodně zabalen – obal by měl obsahovat návod k použití a případná upozornění,
- účelně označen dle mezinárodních norem SAE a API tak, aby byla jasná jeho specifikace a použití.

### **1.3.1 Viskozita**

Viskozita (vazkost, vnitřní tření) je odpor, jímž tekutina působí proti silám, které se snaží posunout její nejmenší částice. Na stykové ploše dvou vrstev pohybujících se různou rychlostí se projevuje viskozita tečným napětím, jímž se snaží rychlejší vrstva urychlovat tu pomalejší, a ta naopak zadržovat vrstvu rychlejší. 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 (čerpatelnost charakterizuje chování za nízkých teplot a vyjadřuje schopnost být nasávaný do olejového čerpadla a vytlačovaný z něj). Vlivem působení tlaku a teploty se může viskozita oleje měnit. Tyto závislosti určují vlastnosti použitého oleje. Mírou závislosti je koeficient viskozity. V praxi je nejvíce uplatňován jako viskozitní index. Jedná se o bezrozměrnou veličinu, která udává vliv teploty na viskozitu oleje v porovnání s dvěma řadami standardních olejů (oleje z mexické a pensylvánské ropy), které mají při teplotě 98,9 °C (210 °F) stejnou viskozitu jako zkušební olej (Hrdlička, 1996).

Rozlišujeme viskozitu dynamickou a kinematickou:

**Dynamická viskozita  $[\eta]$**  – je poměr působícího tečného napětí  $\tau$  a gradientu rychlosti  $\frac{dv}{dz}$ .

V soustavě SI vyjadřuje sílu v newtonech, která je zapotřebí, aby se vrstva o ploše 1 m<sup>2</sup> posunula oproti stejné vrstvičce ve vzdálenosti 1 m o 1 m ve vodorovné rovině.

$$\eta = \frac{\tau}{\frac{dv}{dz}} \text{ [Pa} \cdot \text{s]},$$

kde  $\tau$  [Pa] je smykové (tečné) napětí paralelní s laminárním tokem,  $v$  [m.s<sup>-1</sup>] je rychlost ve směru osy x a  $z$  [m] je vzdálenost od rovnoběžné roviny x, y.

**Kinematická viskozita  $[\nu]$**  – je poměr dynamické viskozity kapaliny k její hustotě při téže teplotě. Je to míra odporu kapaliny k tečení působenému gravitační silou. V soustavě SI má kinematická viskozita rozměr [m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>], v praxi se používá dílčí jednotka mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup> = 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>, dříve cSt (centiStokes).

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

kde  $\rho$  [kg.m<sup>-3</sup>] je hustota (Vlk, 2006).

### 1.3.2 Mazivost

Mazivost je mazací schopnost kapaliny uplatňující se v oblasti hydrodynamického mazání, ve kterém dané mazivo zajišťuje nejmenší součinitel tření při optimální únosnosti kapaliné vrstvy. Tyto vlastnosti se však týkají pouze kapalných maziv. Vysokou mazi-  
vost vykazují právě rafinované oleje zbavené polárních látek (Zehnálek, 2005).

### 1.3.3 Maznost

Maznost je definována jako mazací schopnost maziva pro oblast mazání meznou mazací vrstvou. Maznost je tedy vlastnost maziva zajišťující co nejvyšší únosnost tzv. mazné vrstvičky při optimálním koeficientu tření. V zemědělství a dopravě má mazná složka maziva výjimečnou důležitost (Stodola a Novotný, 2015).

## 2 MOTOROVÉ OLEJE

Ze všech mazacích systémů kladou spalovací motory největší požadavky na mazací olej, přesto musí motorový olej plnit svoji funkci za všech provozních podmínek motoru. Za provozu motoru dochází mezi stykovými plochami buď ke tření kapalinnému, nebo tření polosuchému (Kumbár a Votava, 2014).

### Kapalinné (hydrodynamické) tření:

Probíhá s výjimkou rozběhu a zastavení u ložisek klikového a vačkového hřídele. Podmínkou pro vytvoření souvislé vrstvy olejového filmu je:

- 1 dostatečný přívod tlakového mazacího oleje mezi třecí plochy součástí,
- 2 určitá minimální rychlost vzájemného pohybu třecích ploch,
- 3 určitá vhodná úroveň soudržnosti a odporu molekul mazacího oleje proti vzájemnému pohybu (tj. viskozita oleje),
- 4 správná ložisková vůle a vhodné povrchy třecích ploch pro dobré lpění olejového filmu.

Při přívodu tlakového oleje (za optimálního tlaku 200 – 500 kPa) a při vzájemném pohybu třecích ploch součásti - např. čepu klikového hřídele v ložisku, se vytvoří v zatížené ploše ložiska olejový klín, který oddělí čep od ložiska vrstvou olejového filmu (Pekárek, 2015).



Obrázek 2: Kapalinné tření (Pekárek, 2015)



### Mezní, polosuché tření (tzv. smíšené):

Mezi třecími plochami motoru nastává, když nejsou zcela splněny podmínky pro hydrodynamické, tření kapalinné. Za jinak normálních podmínek je příčinou nedostatečná nebo až nulová rychlost vzájemného pohybu třecích ploch. K tomu dochází např. na třecích plochách válců v úvratích pístů, u ložisek pístních čepů a vždy při rozběhu a zastavení motoru i u ostatních kluzných ložisek. Také na ostatních třecích plochách motoru, které nejsou tlakově mazány (Vlk, 2006).

Více k němu dochází u zážehových motorů, zejména v oblasti tření pístních kroužků a pístu ve válci. Ve srovnání se vznětovými motory je to vlivem vyššího ředění oleje palivem na těchto třecích plochách a vyšší teploty oleje (250 – 280 °C) v oblasti drážky horního pístního kroužku. Smíšené tření tak může probíhat až na 40 % třecích ploch motoru. Je zajištěno polární přilnavostí molekul mazacího oleje k povrchům třecích ploch. Jedním polárním koncem molekuly přilnou ke kovovému povrchu a spolu s volnými molekulami vytvoří mezní vrstvu. Vyplní tak zcela prostor mezi drobnými nerovnostmi třecích ploch. Téměř na celém povrchu nerovností třecích ploch, díky protiotěrovým přísadám olejů - dithiofosfátům, se vytváří velmi hladká vrstvička, tzv. tribofilm. V nejzatíženějších místech dochází i k bodovému styku kovových povrchů. Opotřebení i třecí ztráty jsou v tomto případě podstatně větší než u tření kapalinného. Pro překonání krátkodobých stavů, např. při startu, kdy ještě není dostatečný tlak mazacího oleje v ložiskách, také slouží povrchové úpravy ložiskových pánví (Pekárek, 2015).



**Obrázek 3:** Polosuché tření (Pekárek, 2015)

## 2.1 Rozdělení podle technologie výroby

### 2.1.1 Minerální oleje

Vyrábějí se destilací z ropy, při níž se oddělují lehčí a těžší uhlovodíkové složky. Výsledný produkt se dále technologicky upravuje a aditivuje. Jako první se přidávají protipěnicí přísady, z důvodu zachování správné funkčnosti mazacího čerpadla. Později se začala přidávat antioxidanty a přísady pro zvýšení tlakového namáhání olejového filmu. Následně se začaly používat detergenty, které omezovaly tvorbu karbonu a neutralizovaly kyselé složky, vzniklé z působení spalin a vzdušné vlhkosti, dále protiotěrové přísady a přísady čistící. Většinou na jeden typ oleje připadá asi 8 – 12 druhů přísad. Z tohoto pohledu můžeme oleje rozdělit na oleje neaditivované, označované písmenem A (např. M6A) a aditivované, označované AD.

Aditivované oleje je označení pro oleje s aditivami omezujícími opotřebení a tvorbu karbonu, přísady jsou schopné také karbon rozpouštět.

Neaditivované oleje mají taky částečně aditiva, ale neomezují tvorbu karbonu. Tedy neaditivované oleje vytvářejí ve styku s benzinem nebo naftou vysoké množství karbonových úsad, které se usazují na stěnách motoru. Za určitý čas je těchto úsad velké množství, a pokud se použije aditivovaný olej, začnou se karbonové usazeniny silně rozpouštět. Může dojít k vytvoření mazlavé hmoty, která obtížně proudí mazacími kanály, ty se zanesou a pak není příslušná část motoru mazána. Hrozí zadření motoru. Z tohoto důvodu se nesmí používat aditivované oleje na motorech, které byly delší dobu provozovány na neaditivovaných olejích.

Minerální olej má sklon k tvorbě černých kalů, které vznikají vlivem působení vlhkosti. Kaly zůstávají na dně zásobníků oleje a znehodnocují novou olejovou náplň. Výměnná lhůta minerálních olejů není příliš dlouhá a je velmi závislá na režimech provozu motoru.

Minerální oleje vytvořené z olejových frakcí při primární destilaci ropy se dále dělí podle převládajícího typu uhlovodíků ve výchozí surovině na:

**Parafinické** – v jejichž základě převládají parafiny (alkany)  $C_nH_{2n+2}$ , tj. nasycené alifatické uhlovodíky s přímým nebo rozvětveným řetězcem atomů v molekulách. Charakteristickými vlastnostmi je nízký bod tuhnutí, nízký viskozitní index (VI) a špatná rozpustnost s HGU (halogenované uhlovodíky). Jsou méně často používány než naftenické, ale doporučují se např. pro turbokompresory.

**Naftenické** – v jejichž základě převládají alkeny – nenasycené uhlovodíky  $C_nH_{2n}$  s cyklickými metylenovými skupinami. Většina minerálních olejů je tohoto typu. Jejich charakteristickými vlastnostmi je dobrá rozpustnost s HGU a čpavkem.

**Aromatické** – v jejichž základě převládají alicyklické uhlovodíky  $C_nH_{2n-6}$  s jedním nebo více uzavřenými kruhy. Aromatické uhlovodíky mají obecný vzorec  $C_2H_{2n-6}$ . Jejich zá-  
stupcem je benzen  $C_6H_6$  (Vlk, 2006).

### 2.1.2 Syntetické oleje

Vyrábějí se velmi náročnou technologií, kdy se z ropného základu extrahují pouze ty složky, které jsou pro mazání vhodné. Nevhodné a nepotřebné složky, které nejdou normální destilací odstranit, v minerálním oleji zůstávají, zde nejsou přítomné a olejový základ neovlivňují. Takto získaný základový olej se aditivuje podobně jako oleje minerální.

Velkou výhodou syntetických olejů je snížená tvorba karbonu. Oxidace oleje je pomalejší, protože olej neobsahuje složky méně odolné oxidaci. Tvorbě černých kalů u syntetického oleje se nevyskytuje. Syntetický olej dobře snáší použití speciálních čistících aditiv, která fungují dlouhodobě, přičemž jejich účinnost klesá jen pozvolna. Jednou z velmi důležitých vlastností syntetických olejů je schopnost větší aditivace oleje, než je možné dosáhnout u minerálních olejů.

Syntetické oleje se obecně dělí do kategorií normální a Eco (ekonomické), což značí lehkoběžné oleje snižující odpory třením a tím i spotřebu paliva.

### 2.1.3 Polosyntetické oleje

Jedná se o skupinu olejů, které už nejsou minerální, ale zároveň nejsou plnohodnotnými oleji syntetickými. Polosyntetický olej se vyrábí z minerálního základu, který je vyroben syntetickou cestou a do něj se přimíchává syntetický olej určitého složení. Takto vyrobený základ se dále aditivuje pro dosažení potřebných parametrů. Polosyntetické oleje jsou jakýmsi kompromisem mezi oleji minerálními a plně syntetickými, přičemž od každé skupiny mají určité dobré vlastnosti. Nejsou sice jako celek lepší než oleje syntetické, ale jsou kvalitativně na vyšší úrovni než minerální (Jílek a Pokorný 2013).

Toto označení olejů se již dnes nevyužívá a oleje se dělí na minerální, syntetické a plně syntetické.

## 2.2 Základové oleje

Výroba základového oleje probíhá buďto z ropných destilačních frakcí, nebo z některých meziproductů zpracování ropy. Velmi kvalitní základové oleje lze vyrobit např. z destilačních zbytků po výrobě motorové nafty hydrokrakovou technologií (nafta se nezískává pouhou destilací ropy, ale musí se vyrábět i z těžších ropných surovin). Rafinací nebo jinou úpravou takových surovin je získáván základový olej. Pokud chceme vyrobit motorový olej, pak musíme z několika jednotlivých základových olejů připravit směs, která viskozitně a dalšími vlastnostmi vyhoví požadavkům na olej, který chceme vyrobit. Kromě viskozity jsou důležité zejména nízkoteplotní vlastnosti, složení oleje, těkavost a další (Vlk, 2006).

Výroba základového oleje vždy probíhá ve třech technologických krocích. Prvním krokem je rafinace ropné suroviny, druhým krokem je odparafinování oleje a třetím je dorafinování oleje tak, aby měl nejen dobré vlastnosti, ale působil důvěryhodně i na pohled. Měřítkem kvality základového oleje je především viskozitní index, obsah síry a obsah nasycených uhlovodíků. Čím je základový olej kvalitnější, tím má vyšší viskozitní index, větší obsah nasycených uhlovodíků a nižší obsah síry (Černý, 2011).

### Rafinace

Rafinace ropné suroviny je nejdůležitějším krokem, který většinou určuje kvalitu hotového oleje. Nejstarším a stále nejobvyklejším způsobem rafinace je extrakce ropné suroviny (vakuového destilátu) vhodným rozpouštědlem. Extrakční rozpouštědlo má takové vlastnosti, že je schopné z ropné suroviny odstranit většinu látek, které v olejích nepotřebujeme, a jsou zde nežádoucí. Cílem je odstranit hlavně pryskyřičnaté látky, které obsahují síru a dusík. Tyto látky by v oleji vytvářely nežádoucí úsady a kaly a na horkých dílech motoru by se vytvářely tvrdé lakovité nánosy. Olejům vyrobeným extrakční rafinací se říká rozpouštědlové rafináty. Těchto základových olejů se stále vyrábí největší množství a tvoří přibližně 65 % všech vyrobených olejů (Blažek a Rábl, 2006).

Dalším a modernějším způsobem rafinace je hydrokrakování. Jde o proces, který probíhá přibližně při teplotě 400 °C nebo i vyšší a při vysokém tlaku vodíku. Dochází při něm k přeorganizování ropných molekul. Přítomnost vodíku současně zabezpečuje, že všechny či alespoň většina nežádoucích sirných a dusíkatých látek je odstraněna. Produktem hydrokrakování jsou velmi kvalitní základové oleje s téměř nulovým obsahem síry a dusíku

a s velmi nízkým obsahem aromatických uhlovodíků. Často se pro výrobu hydrokrakových olejů používají zbytky z hydrokrakování vakuových ropných destilátů s cílem vyrobit palivo (Petroleum.cz, 2010).

### **Odparafinování**

Dalším stupněm výroby základových olejů je odparafinování. Každý ropný olej, který prošel pouze prvním stupněm výroby - rafinací - obsahuje poměrně velké množství parafinů, které způsobují, že olej je za normální teploty téměř tuhý. Takové oleje jsou v praxi nepoužitelné. Motor v automobilu naplněný takovým olejem bychom ani nenastartovali. Oleje se proto musí tuhých parafinů zbavit. To se dnes provádí dvěma způsoby (Černý, 2011).

Tradiční postup se nazývá "rozpouštědlové odparafinování". Při něm je rafinovaný olej smíchan s rozpouštědlem, podchlazen na nízkou teplotu a vyloučený parafin je od oleje odfiltrován. Rozpouštědlo je potom z oleje odstraněno. Kromě odparafinovaného oleje je produktem tohoto procesu tuhý parafin, který je využíván zejména v obalové technice. Druhým a velmi moderním postupem je hydroizomerace parafinů. Tento postup je velmi podobný hydrokrakovacímu procesu. Takto se vyrábějí zejména moderní a velmi kvalitní základové oleje, často naprosto bezbarvé (Blažek a Rábl, 2006).

### **Dorafinace**

Závěrečným stupněm výroby základových olejů je dorafinace. V tomto stupni dochází k odstranění zbytkových nečistot oleje a zlepšuje se i jeho barva. Čím je olej světlejší, tím je zákazník lépe akceptován, i když barva oleje nemusí korespondovat s kvalitou. Dorafinace může být prováděna buďto opět hydrogenačně nebo také extrakcí rozpouštědlem. Nejjednodušším způsobem dorafinace je adsorpce nečistot na aktivní hlince. Tomuto způsobu dorafinace se také říká "horký kontakt", protože proces spočívá v rozmíchání hlinky v teplém oleji a následném odfiltrování hlinky s adsorbovanými nečistotami (Maxa, 2012).

### **Destilace**

Během celé výroby základových olejů musí být do technologie zařazena také destilace. Při hydrogenační rafinaci se destilací odstraňují vznikající lehké a těkavé produkty hydrokrakování, a ty se míchají do motorových paliv. Vakuovou destilací vyrobených rafinovaných olejů se získávají různé destilační řezy základových olejů, z nichž se pak vyrábějí mazací oleje s různou viskozitou (Blažek a Rábl, 2006).

**Tabulka 1:** Rozdělení základových olejů podle API (Černý, 2011)

Skupina	Nasycené uhlov. (% hm.)	Síra (% hm.)	Viskozitní index	Typ oleje
I	pod 90	pod 0,03	80 – 120	rozpouštědlové rafináty
II	nad 90	pod 0,03	80 – 120	hydrokrakové oleje
III	nad 90	pod 0,03	nad 120	hydrokrakové oleje
IV	Polyalfaolefiny - PAO			
V	Ostatní syntetické oleje (estery, polyetery, polyglykoly a další)			

## 2.3 Aditiva

Aditiva jsou chemické přísady, které zlepšují vlastnosti olejů a plastických maziv. Druhy aditiv a jejich množství se liší podle způsobu užití maziva. Obsah aditiv v mazivu se pohybuje v rozsahu od 1 do 25 %. Druhy a množství aditiv stanovují výrobci na základě norem a praktických zkoušek (Hrdlička, 1996).

Z hlediska chemické struktury můžou být aditiva polární nebo nepolární:

### Polární aditiva

Jedná se o aditiva, která jsou povrchově aktivní - tzv. polární látky. Polární látky jsou chemické látky, jejichž molekuly jsou nesymetrické, a proto na jejich koncích vznikají elektrické náboje. Těmito náboji jsou molekuly přitahovány k povrchům, např. k povrchu pístu ve válci motoru. Polární aditiva utvoří na povrchu tenký film, který v závislosti na chemickém složení aditiva zvyšuje odolnost proti korozi, proti usazování nečistot, proti poškození vysokým tlakem apod.

### Nepolární aditiva

Nepolární aditiva nejsou povrchově aktivní (nejsou přitahována k povrchům), ale jsou rozptýlena v celém objemu maziva rovnoměrně. Přesto jsou tato aditiva velice významná - zlepšují viskozitu maziva, snižují bod tuhnutí maziva, chrání gumová těsnění proti poškození, apod. (Oleje.cz, 2012)

### 2.3.1 Druhy aditiv

#### a) Aditiva s povrchovým účinkem

#### ***Detergenty***

Zamezují usazování nečistot na površích a rozpouštějí případné již vytvořené nečistoty. Díky detergentům mazivo lépe přilne k mazaným plochám. Detergenty hrají významnou roli např. při ochraně pístu ve válci, kde vlivem vysokých teplot dochází k uvolňování uhlíku, který má tendenci se usazovat na pracovních plochách pístu. Vzniklé usazeniny způsobují vznik netěsností vlivem mechanického poškození (poškrábání) nebo změnou tvaru zapříčiněnou nánosem nečistot.

### ***Disperzanty***

Zabraňují tvorbě usazenin, které se tvoří především za vyšších provozních teplot. Disperzanty obalí mikroskopické mechanické nebo kapalné nečistoty a zamezí tak jejich koncentraci a usazování. Nečistoty se vlivem disperzantů vznášejí rovnoměrně v celém objemu maziva. Zamezí se tak zablokování olejových kanálů a filtrů.

### ***Zlepšující ochranu proti vysokému tlaku a opotřebení (EP, AW)***

Tato aditiva chrání před opotřebením ocelové části, které se o sebe třou pod vysokým tlakem (např. ozubená kola). Aditiva vytvoří chemickou reakci na povrchu kovu odolné vrstvy, které zamezí kontaktu kov na kov.

### ***Zvyšující ochranu proti korozi***

Tato aditiva vytváření na povrchu kovů ochranný film, který zabraňuje tvorbě koroze (brání oxidaci kovového povrchu). K oxidaci povrchu kovů může docházet například vlivem agresivních sloučenin vznikajících ve válci motoru při spalování palivové směsi.

### ***Upravující tření***

Tato aditiva upravují tření mezi třecími plochami na požadovanou hodnotu. Přesná hodnota tření ploch je požadována například v automatických převodovkách, retardérech (Znackoveoleje.cz, 2013).

## **b) Aditiva olej zlepšující**

### ***Zlepšující viskozitu***

Tato aditiva stabilizují viskozitu maziva, tzn. viskozita maziva je méně závislá na teplotě. Tím rozšiřují teplotní rozsah, v jakém je mazivo schopno plnit svou funkci. Se snižující se teplotou viskozita maziva stoupá a naopak, se zvyšující teplotou viskozita maziva klesá. Změny viskozity maziva mají dopad rovněž na tloušťku mazacího filmu a na ztráty energie, které vznikají překonáním odporu maziva.

### ***Snižující bod tuhnutí***

Tato aditiva snižují možnost shlukování parafinů v mazivu za nízkých teplot. Při nízkých teplotách dochází u minerálních olejů k vylučování a shlukování parafinů a tudíž ke zvyšování hustoty. Zvýšená hustota maziva a jeho nekonzistentnost zhoršuje kvalitu mazání a zvyšuje ztráty energie z důvodu překonávání odporu maziva.

### ***Chránící elastomery***

Tato aditiva zpomalují stárnutí gumových a umělohmotných částí, které jsou ve styku s mazivem (např. těsnění) tím, že zamezují vyplavení změkčovadel obsažených v gumových a plastových dílech. Elastomery zajišťují, aby gumové a plastové části byly stále elastické (Vlk, 2006).

### c) Aditiva olej chránící

#### ***Zpomalovače stárnutí***

Tato aditiva omezují chemickou degradaci maziva, ke které dochází především za vyšších teplot. Likvidací oxidačních činidel zamezují vzniku nežádoucích chemických sloučenin, které zkracují životnost maziva. Degradací mazivo tmavne a dochází ke zvyšování viskozity.

#### ***Deaktivátory kovu***

Tato aditiva zabraňují chemickým reakcím probíhajícím na povrchu mikroskopických kovových částíček přítomných v mazivu (ocel, měď). Kovové částičky, které vznikají třením kovu o kov, působí jako katalyzátor chemických degradačních procesů. Vytvořením ochranného filmu kolem částíček kovu je zamezeno katalytickým chemickým reakcím a je tudíž zpomaleno stárnutí maziva.

#### ***Snižující pěnovost***

Tato aditiva potlačují vznik olejové pěny. Intenzivním promícháváním motorového oleje se vzduchem dochází ke tvorbě pěny, která urychluje stárnutí maziva (usnadňuje oxidaci), zvyšuje stlačitelnost maziva (vznikají problémy u hydraulických soustav, motorů, kompresorů a převodovek) a může způsobit i únik maziva ze zařízení (Oleje.cz, 2012).

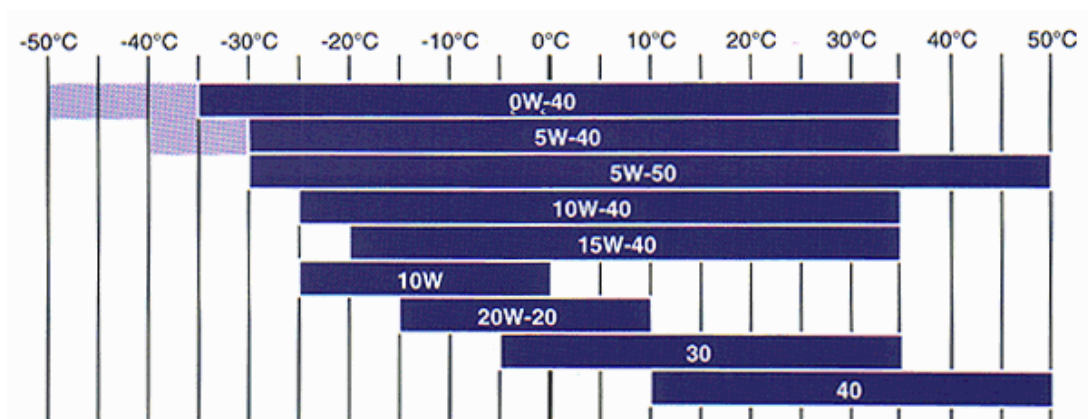


## 2.4 Specifikace motorových olejů

### 2.4.1 Viskozitní specifikace motorových olejů

Viskozita oleje má zásadní význam pro zabezpečení provozní spolehlivosti motoru. Aby výrobci motorů mohli jednoznačným způsobem předepisovat pro různé typy motorů a pro různé pracovní podmínky motorové oleje s potřebnou viskozitou, bylo vypracováno třídění motorových olejů podle viskozity (Zehnálek, 2005).

Současným trendem je používání celoročních olejů tzv. multigrade, tyto oleje se označují kombinovaným číselným označením (např. 5W-40). Třída označená písmenem W (winter) vyjadřuje vztah viskozity k zimním teplotám. Vztahuje se k měření dynamické viskozity oleje při teplotě dané stupnicí. Tato stupnice nemá žádnou logiku, ale když od označení W odečteme -35, dostaneme přibližně teplotu použitelnosti. Další číslo za písmenem W se vztahuje ke kinematické viskozitě při 100 °C a podle ní jsou oleje zařazeny do tříd označených číslicemi 20, 30, 40, 50, 60. Z výše uvedeného je patrné, že olej označený např. SAE 5W-50 má dobré viskozitní vlastnosti při velmi mrazivém počasí a je vhodný i při vyšším tepelném zatížení motorů, při jízdě v tropických vedrech či sportovním způsobu jízdy. Označení lehkoběžný olej se používá pro třídy SAE 10W, 5W, 0W-X. Starší olej označený např. SAE 30 je tzv. jednostupňový, v tomto případě letní. Teplotní rozsah použitelnosti těchto olejů je omezen mnohem užším rozmezím teplot, přesto je možno i tyto oleje s určitým omezením používat celoročně (Černý, 2005).



**Obrázek 4:** Doporučené Viskozitní třídy SAE motorových olejů podle vnějších teplot (Černý, 2005)

**Tabulka 2:** Viskozitní specifikace motorových olejů dle SAE J 300 (Pneu-asisten.cz, 2013)

	Nízké teploty			Vysoké teploty		
	Viskozitní třída SAE	Maximální dynamická viskozita v CCS při teplotě	Viskozita při mezní čerpatelnosti	Kinematická viskozita při 100 °C (mm <sup>2</sup> /s)		Dynamická viskozita při 150 °C a smykovém napětí 10 <sup>6</sup> s <sup>-1</sup>
		mPa.s při °C	mPa.s při °C	min.	max.	mPa.s
Zimní třídy	0W	6 200 při -35	60 000 při -40	3,8		
	5W	6 600 při -30	60 000 při -35	3,8		
	10W	7 000 při -25	60 000 při -30	4,1		
	15W	7 000 při -20	60 000 při -25	5,6		
	20W	9 500 při -15	60 000 při -20	5,6		
	25W	13 000 při -10	60 000 při -15	9,3		
Letní třídy	20			5,6	<9,3	2,6
	30			9,3	<12,5	2,9
	40			12,5	<16,3	2,9 (*)
	40			12,5	<16,3	3,7 (**)
	50			16,3	<21,9	3,7
	60			21,9	<26,1	3,7

(\*) pro 0W-40, 5W-40, 10W-40)

(\*\*) pro 15W-40, 20W-40, 25W-40

#### 2.4.2 Výkonnostní specifikace motorových olejů

Výkonnostní úroveň motorového oleje charakterizují výkonnostní mezinárodní klasifikace a specifikace. Tyto klasifikace a specifikace potom umožňují zvolit oleje v konkrétním typu motoru s konkrétním výměnným intervalem.

Běžně se pro výkonovou charakteristiku motorového oleje používají následující klasifikace a specifikace:

**API** – (American Petroleum Institute, USA)

**ACEA** – (Association des Constructeurs Européens d'Automobile, EU)

**CCMC** – (Comité des Constructeurs d'Automobile du Marché Commun, EU) dřívější označení

**MIL-L** – normy americké armády (používané i pro armády NATO)

**Jiné specifikace** – ILSAC – (International Lubricant Standardisation Advisory Committee)

**Normy výrobců automobilů a motorů** – např. MB , VW , MAN atd. (Pneu-asisten.cz, 2013).

### **Specifikace motorových olejů dle API**

Tato americká norma dělí motorové oleje podle typu motoru (S - benzínové, C - naftové) a dále podle výkonnostní úrovně daného oleje. Pro vyjádření výkonnostní úrovně se používají písmenka v sestupném abecedním pořadí, čím je písmeno dále v abecedě, tím je olej kvalitnější. Prioritu v použití motorového oleje určuje první uvedená specifikace (SG/CF-4: prioritně olej určen pro benzínové motory, použitelný i pro naftové). Vzhledem ke své přehlednosti je často používána i v Evropě, zejména u naftových motorů se však s evropskou normou rozchází. Kvůli obsahu popela nelze nejvýkonnější evropské oleje /odpovídající klasifikaci ACEA E3/ většinou zařadit dle API výše než do třídy CF. Americký olej označený CF a evropský olej označený stejně, tak mohou mít zcela odlišné výkonnostní parametry. Na základě provedených zkoušek a rozborů API uděluje výrobcům olejů licenci používat označení kvality dle API v kruhovém znaku. Číslo za základním označením (CF-4) značí: 4 - pro čtyřdobé, 2 – pro dvoudobé motory.

### **Specifikace motorových olejů dle ACEA**

Rozlišuje použití olejů pro benzínové motory, naftové motory pro osobní a dodávková vozidla, naftové motory pro nákladní automobily. Z těchto norem vychází i některé normy jednotlivých výrobců. Normy umožňují použití vyššího obsahu popela než API, proto oleje kategorie E3 nesplňují normy vyšších specifikací dle API. Označení může obsahovat rok novelizace (A2-96), mezi jednotlivými ročníky nejsou zásadní rozdíly (např. změněny zkušební metodiky) (Vlk, 2006).

### **Starší specifikace motorových olejů evropských výrobců automobilů CCMC**

Jako reakce evropských výrobců automobilů na ne zcela vyhovující klasifikaci API pro evropské typy motorů vzniklo v roce 1972 Sdružení konstruktérů automobilů - CCMC, které rozdělilo motorové oleje do tří skupin - oleje pro zážehové motory (označené písmenem "G" = Gasoline), oleje pro vznětové motory (označené "D" = Diesel) a oleje pro vznětové motory osobních automobilů (označené "PD" = Passenger Diesel). Výkonový stupeň je vyjádřen pro daný typ motoru číslem (od "1" výše). Čím je toto číslo vyšší, tím kvalitnější je olej. Klasifikace CCMC byla v roce 1996 zrušena a nahrazena klasifikací ACEA, přesto se můžeme setkat s takto označenými oleji vzniklými v době její platnosti (Helebrant a kol., 2001).

**Tabulka 3:** Porovnání ACEA a CCMC (Pneu-asisten.cz, 2013)

ACEA	CCMC	ACEA	CCMC	ACEA	CCMC
A1		B1		E1	
A2	G-4	B2	PD-2	E2	D-4
A3	G-5	B3		E3	D-5

### **Specifikace ILSAC**

International Lubricant Standardisation Advisory Committee - Mezinárodní poradní výbor pro standardizaci maziv. Specifikace ILSAC je odvozena a úzce spjata s klasifikačním systémem API ( resp. API přebírá některé formulace z ILSAC).

### **Specifikace MIL**

MIL je norma americké armády, používaná pro svůj rozsah zejména v 50. letech, aktuální se vstupem ČR do NATO.

### **Specifikace a schválení výrobců automobilů**

Někteří výrobci motorů mají speciální požadavky na motorové oleje, které nejsou zahrnuty v API nebo ACEA a schvalují oleje pro použití ve svých automobilech (motorech). Každá specifikace je určena pro dané typy motoru a výměnný interval motorového oleje. Mezi nejznámější patří zejména němečtí výrobci automobilů. U těchto specifikací je důležitý i datum vydání, který se ale často neuvádí (Pneu-asisten.cz, 2013).

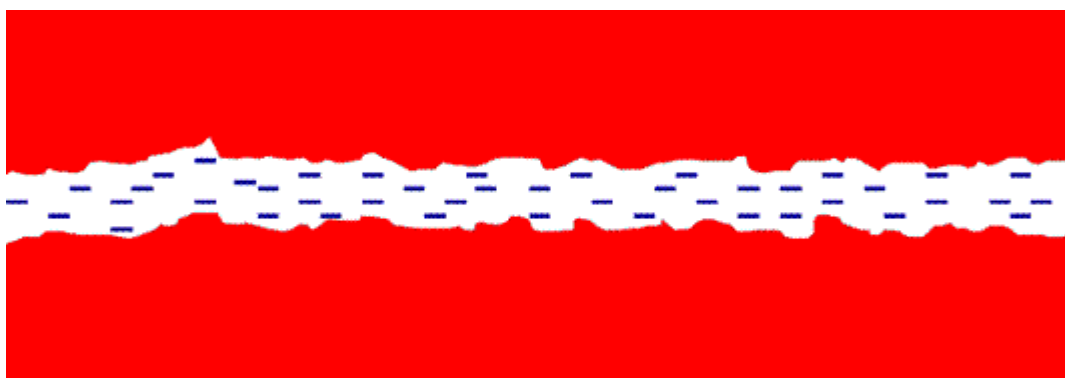
## **2.5 Otěrové kovy v oleji**

### **2.5.1 Příčiny a zdroje**

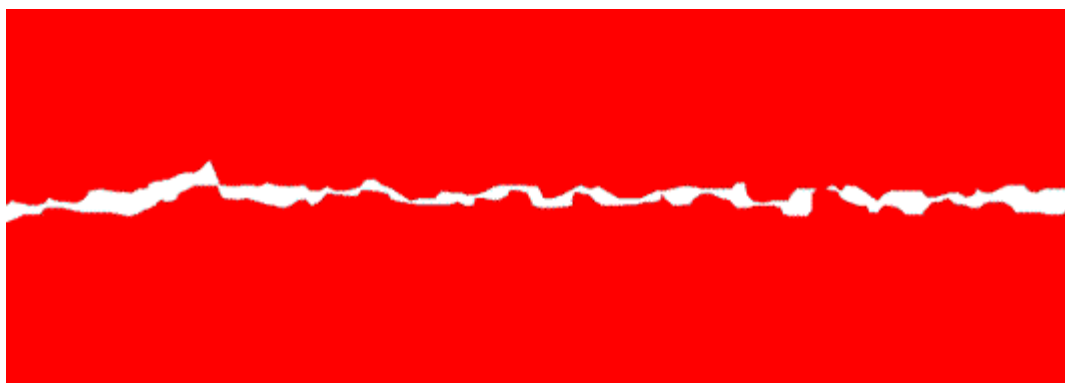
Motor a všechny jeho třecí části jsou vyrobeny z určitých kovových materiálů. Nejčastěji se jedná o železo, které je zušlechtěno přídavkem jiných kovů, nebo je určitý díl z důvodu zlepšení jeho vlastností potažen tenkou vrstvičkou jiného kovu. Díky těmto případům se v tribotechnické diagnostice musíme zajímat také o jiné kovy, např. hliník, měď, chrom, olovo, cín, nikl, stříbro apod. (Kumbár, 2011).

Třecí povrchy, ani ty pečlivě vysoustružené, nejsou nikdy dokonale hladké. Každý povrch má určitou morfologii, strukturu, kterou je možno znázornit jeho zubatou čárou. V normálním případě jsou dva třecí povrchy v motoru od sebe odděleny vrstvičkou oleje. Povrchy díky tomu nepřicházejí do kontaktu, nebo jen do minimálního díky některým větším nerovnostem na povrchu. Tato situace je vyobrazena na obrázku 5. Pokud ale na třecí povrchy začne působit přítláčná síla, může dojít k vytlačení vrstvičky oleje a oba

povrchy se dostanou do kontaktu. Mluvíme o tzv. mezním tření, kdy oba povrchy nejsou mazány vrstvou oleje, ale pouze jeho aditivy, která na povrchu ulpěla. Tato situace je vyobrazena na obrázku 6. Jestliže se takové dva povrchy navzájem pohybují, dochází k vzájemnému odírání nerovností na povrchu a oddělování mikroskopických částecek. Tyto částecčky pak přecházejí do oleje. Následně je možno chemicky stanovit množství určitého kovu v oleji a na jeho základě předpovědět počátek vznikající závady motoru (Černý, 2010)



**Obrázek 5:** Kovové plochy odděleny vrstvou oleje při normálním stavu (malý otěr)  
(Černý, 2010)



**Obrázek 6:** Kovové plochy v těsném kontaktu při velkém přítláčném tlaku (velký otěr)  
(Černý, 2010)

### 2.5.2 Charakteristické kovy

Díky tomu, že jsou na výrobu různých částí motoru využity specifické materiály, je z množství konkrétního kovu v oleji možné také odhalit pravděpodobné místo závady. Každý motor však má svoje specifika a stejný díl nemusí být vyroben z ocele stejného složení. Přesto však při výrobě motorových dílů převažují určité konstrukční kovy a na

tom je založen odhad lokalizace závady. Seznam nejčastěji používaných kovů v oleji a jejich původ je uveden v tabulce 4 (Stodola a Novotný, 2015).

**Tabulka 4:** Otěrové kovy v motorovém oleji a jejich zdroje (Černý, 2010)

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

V tabulce 4 je uveden také křemík. Ten s konstrukčními kovy nijak nesouvisí, ale jeho obsah je téměř vždy analyzován. Je totiž hlavní součástí prachových částic a jeho zvýšené množství v oleji signalizuje problém se vzduchovým filtrem. Ostatní kovy, které můžeme v motorovém oleji také v menším množství nalézt, pocházejí většinou z aditivace. Jedná se především o zinek, molybden, antimon, vápník, hořčík nebo baryum. Sodík a bor se nacházejí v nemrznoucích směsích, sodík je také častým kontaminantem motorového oleje díky zimním posypům vozovky solí (Černý, 2010).

### 2.5.3 Analýza kovů

Výsledkem laboratorní analýzy kovů v motorovém oleji je protokol, kde je uvedeno množství jednotlivých kovů v oleji. Koncentrace je zde uvedena v jednotkách ppm (part per milion). Jedno ppm je jedna miliontina celku. Jedná se o obdobu procent, kdy jedno procento (part per cent) je jedna setina celku. Pokud dáme tato dvě vyjádření dohromady, jedno ppm je jedna desetitisícina procenta (Stodola a Novotný, 2015).

Určitá hladina kovů v oleji je naprosto běžná a k jejímu výskytu dochází i při normálním a bezproblémovém provozu motoru. Tyto otěrové částice jsou velmi malé a je jich pouze nepatrné množství. Limitní koncentrace kovů v motorovém oleji je uvedena v tabulce 5. Při zvýšeném odírání některých dílů motoru dochází ke zvýšení opotřebení a

také nárůstu množství konkrétního kovu v oleji. Při závažnějších projevech zvýšeného tření, či dokonce zadíraní, může koncentrace kovů dosáhnout velmi vysokých hodnot – až několik stovek ppm (Černý, 2010).

**Tabulka 5:** Limitní koncentrace kovů v motorovém oleji (ppm) (Černý, 2010)

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

## 2.6 Mazací soustava

Hlavní funkcí mazací soustavy je vytvoření tenkého olejového filmu na třecích plochách. Dalšími úkoly je odvod tepla a nečistit, ochrana před korozi nebo zvyšování těsnosti pístní skupiny motoru. Nejdůležitější mazací místa, která musí být prostřednictvím mazací soustavy dostatečně zásobována olejem, jsou ložiska klikové skříně, ojnicí ložiska, zdvihátka, ložiska vačkového hřídele, vačky, ventilové páky a vahadla, rozvodový řetěz s napínákem, pracovní plochy válců a pohon příslušenství (Hromádko, 2011).

### 2.6.1 Tlakové mazání

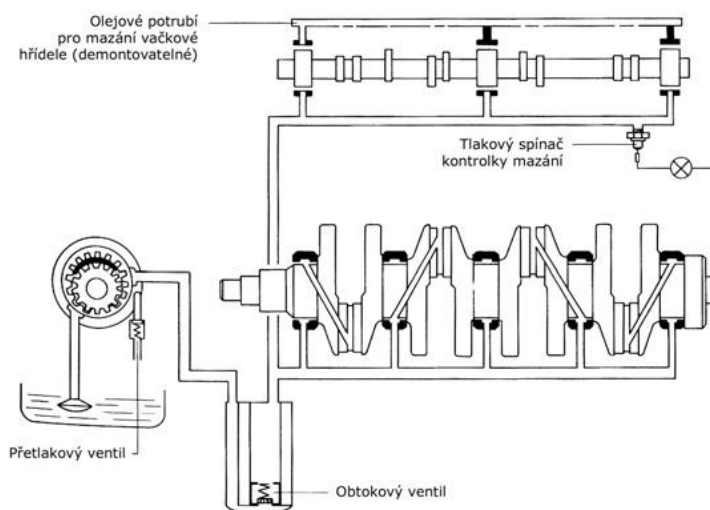
U dnešních vozidel se používá výhradně tlakové mazání. Mazací olej je na jednotlivá místa vytlačován olejovým čerpadlem a obíhá motorem (oběžné mazání). Sítem a filtrem vyčištěný olej je vytlačován potrubím k mazacím místům (Vlk, 2003).

#### Tlakové mazání s mokrou skříní

Olej, který je nasán z olejové vany pomocí sacího koše olejového čerpadla, protéká hlavním olejovým filtrem a dostává se do hlavního mazacího kanálu. Ten většinou prochází blokem motoru a je rovnoběžný s klikovým hřídelem. Vedlejší kanály vedou k hlavním ložiskům klikového hřídele. Klikové ojnicí čepy jsou zásobovány olejem

z hlavního ložiska, protože klikový hřídel je opatřen otvory a vrtáním. Část oleje odbočuje z hlavního mazacího kanálu a zabezpečuje mazání vačkového hřídele. Z této větve je část oleje přiváděna také k zdvihátkům a vahadlům. Mazání pístních čepů, resp. pístů a válců obstarává olej, který se při otáčení klikové hřídele odstředuje z mezery mezi okem ojnice pro klikový čep a ramenem kliky (Hromádko, 2011).

Z mazaných míst odkapává olej a odtéká zpět do olejové jímky ve spodním víku motoru. Množství oleje v jímce musí být možné kontrolovat, např. olejovou měrkou. Nová vozidla používají elektrický snímače pro měření dostatečného množství oleje, které přetlačují informace na přístrojovou desku (Vlk, 2003).

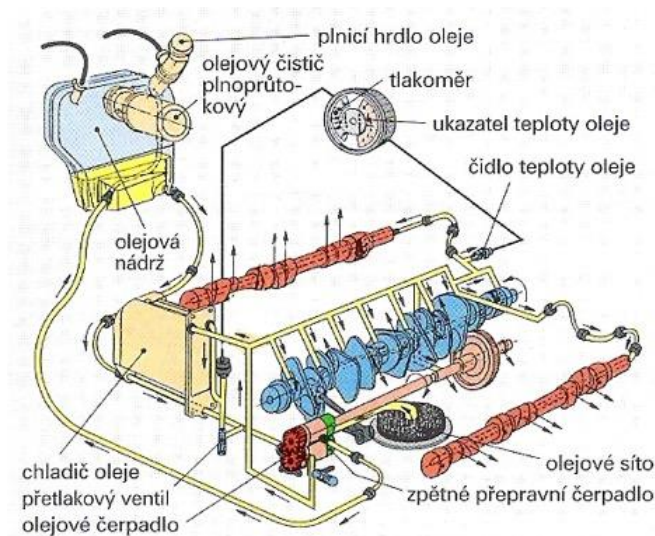


**Obrázek 7:** Tlakové mazání s mokrou skříní (Hromádko, 2011)

### **Tlakové mazání se suchou skříní**

Mazání probíhá z oddělené olejové nádrže a používá se u terénních a sportovních vozidel nebo traktorů. Zásoba oleje je mimo spodní víko motoru v samostatné nádrži. Ta je umístěna buď přímo na spodním víku, nebo je mimo motor, uložena v rámu nebo karoserii. Olejové čerpadlo je pak dvoustupňové, první stupeň odsává olej ze spodního víka motoru (vany) do olejové nádrže, druhý stupeň je tlakové čerpadlo pro mazací soustavu. Výhodou mazání se suchou klikovou skříní je uspořádání zásobní nádrže, které zajišťuje spolehlivé mazání všech míst také při extrémním náklonu vozidla nebo při rychlém projíždění zatáček (Vlk, 2003).





**Obrázek 8:** Tlakové mazání se suchou skříní (Pekárek, 2015)

### 2.6.2 Olejová čerpadla

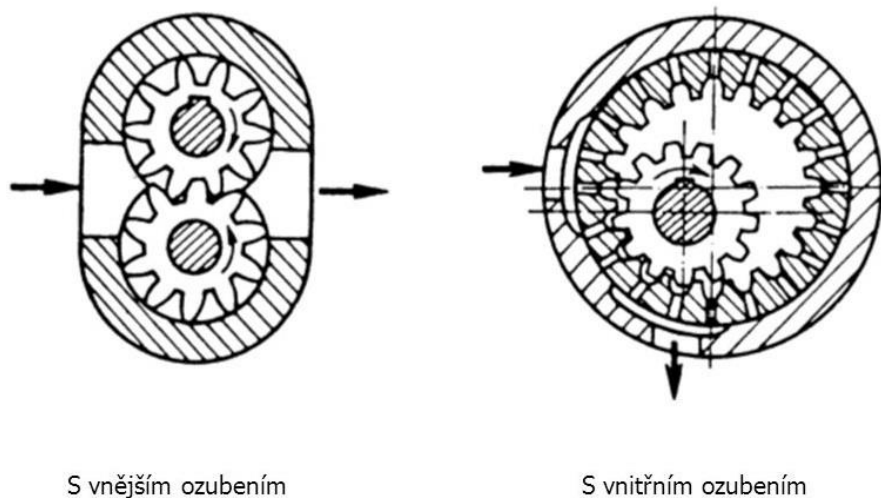
Olejová čerpadla jsou u motorů s rozvodem OHV nejčastěji poháněná od hřídele rozdělovače, který je v poměru 1:1 poháněn od vačkového hřídele.

U motorů s rozvodem OHC je pohon proveden obvykle ozubeným řemenem, řetězem nebo ozubeným soukolím přímo od klikového hřídele (Jan a Ždánský, 2008).

#### Zubová čerpadla

Otáčením obou zabírajících ozubených kol se na straně sání vytváří podtlak, který způsobuje odsávání oleje. Olej je pak unášen mezerami mezi zuby podél stěny pouzdra. Záběr zubů obou ozubených kol zabraňuje zpětnému toku oleje. Toto olejové čerpadlo tak působí jako kombinované sací a tlakové čerpadlo, které může nasávat samočinně. Aby se zvýšil účinek čerpadla, umísťuje se do co nejnižšího položeného místa, aby sací výška byla nejmenší. Používají se čerpadla s čelními ozubenými koly s přímým i šikmým ozubením (Vlk, 2003).

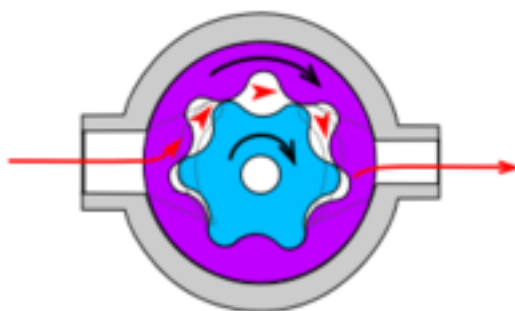
Modernějším typem zubového čerpadla je zubové čerpadlo s vnitřním ozubením. Ozubené kolo je většinou umístěno přímo na klikovém hřídeli. Vnější kolo s vnitřním ozubením je vzhledem k vnitřnímu kolu umístěno excentricky. Tímto uspořádáním vznikají sací a výtlačný prostor, které jsou od sebe odděleny tělesem ve tvaru srpku. Olej se dopravuje v mezerách mezi zuby podél obou stran srpku. Podstatnou výhodou srpkového čerpadla je oproti zubovému větší dopravní výkon, obzvláště pak při nízkých otáčkách motoru (Jan a Ždánský, 2008).



**Obrázek 9:** Druhy zubových olejových čerpadel (Pivoňka, 1987)

### Trochoidní čerpadlo

Jedná se opět o objemové čerpadlo s ozubeným vnitřním a vnějším rotorem. Vnitřní rotor má o jeden zub méně než vnější. Ozubení vnitřního rotoru je tvarováno tak, aby se dotýkalo každého zubu vnějšího rotoru a vzniklé prostory mezi rotory byly řádně utěsněny. Při otáčení rotorů se prostor na sací straně zvětšuje – čerpadlo nasává. Na výtlačné straně se prostor mezi rotory zmenšuje a olej je vytlačován do výtlačného potrubí. Trochoidní čerpadlo pracuje rovnoměrně a je jím možno dosáhnout vysokého výtlačného tlaku (Jan a Ždánský, 2008).



**Obrázek 10:** Trochoidní čerpadlo (Hromádko, 2011)

### **Rotační G čerpadlo**

Jedná se o zdokonalené trochoidní čerpadlo. Zdokonalení spočívá ve zvětšeném počtu zubů. Vnější rotor s vnitřním ozubením je poháněn excentricky umístěným vnitřním rotorem s vnějším ozubením. Dotykem zubů se stejně jako v předchozím případě utěsňuje tlakový prostor vůči prostoru nasávacímu. Toto rotační čerpadlo dokáže již při velmi nízkých otáčkách přepravovat podstatně větší množství oleje při větších tlacích (Hromádko, 2011).

### 3 MATERIÁL A METODIKA

V této kapitole jsou nastíněny základní metodiky použité při tvorbě praktické části diplomové práce. Je zde popsán zkoumaný olej a vozidlo a také podrobně uvedený postup, při odebrání vzorků. Dále také popis měřících zařízení a postup, kterými byly vzorky zpracovány.

#### 3.1 Motorový olej

Ve zkoumaném vozidle byl použit motorový olej Castrol 5W40 EDGE. Jedná se o syntetický olej vhodný pro použití v benzínových a diesellových motorech, kde výrobce doporučuje oleje specifikace API SM/CF, ACEA A3/B3, A3/B4, C3 nebo dřívější specifikace. Je formulován tak, aby byl kompatibilní s moderními systémy následné úpravy výfukových plynů a trojcestnými katalyzátory. Castrol EDGE 5W-40 A3/B4 je schválen širokou řadou výrobců automobilů.

**Tabulka 6:** Zkoumaný motorový olej

Typ oleje	Viskozitní třída	Výkonnostní třída	Kinematická viskozita při 40 °C [mm <sup>2</sup> /s]	Hustota [kg/m <sup>3</sup> ]	Bod tuhnutí [°C]
Castrol 5W40 EDGE	SAE 5W-40	API SN/CF	75	850	-42

Olej byl odebírán z vozidla Renault Trafic 2.0 DCi. Vzorky byly odebírány přibližně každých 2 000 km. První vzorek oleje byl odebrán z motoru krátce po jeho výměně. Pro porovnání byly odebrány také dva vzorky nového oleje. Intervaly jednotlivých odběrů jsou zobrazeny v tabulce 7.

**Tabulka 7:** Odběry vzorků oleje

Datum odběru	Stav tachometru [km]	Interval odběru [km]	Celková ujetá vzdálenost na náplň [km]
26. 10. 2015	387 256	0	0
26. 10. 2015	387 275	19	19
05. 11. 2015	388 759	1 484	1 503
14. 11. 2015	390 726	1 967	3 470
03. 12. 2015	392 645	1 919	5 389
14. 12. 2015	394 543	1 898	7 287
29. 12. 2015	396 614	2 071	9 358
16. 01. 2016	398 720	2 106	11 464
07. 02. 2016	400 490	1 770	13 234

### 3.2 Sledované vozidlo

Motorový olej byl odebírán z užitkového automobilu Renault Trafic. Jedná se o druhou generaci modelu Trafic, která byla vyráběna v letech 2001 – 2014. Model byl také vyráběn jako Opel Vivaro, Vauxhall Vivaro a Nissan Primastar, protože Renault při vývoji spolupracoval s automobilkami Opel (Vauxhall) a Nissan. Vozidlo je používáno ve firmě zabývající se someliérstvím a prodejem vína a je využíváno hlavně na dlouhých trasách, především po dálnicích. Vůz je v provedení Passenger, kdy je kromě standardních 6 míst možno přidat ještě třetí řadu pro další tři cestující.



**Obrázek 11:** Sledované vozidlo - Renault Trafic

**Tabulka 8:** Základní parametry sledovaného vozidla

Značka	Model	Olejová náplň [l]	Počet válců [ks]	Objem válců [cm <sup>3</sup> ]	Výkon [kW]
Renault	Trafic	7,7	4	1 995	84

### 3.3 Měřicí přístroje

Pro zjištění stavu degradace motorového oleje byly použity tři měřicí přístroje. Zjišťování chemického složení oleje proběhlo na atomovém emisním spektrometru Spectroil Q100. Pro zjištění hustoty oleje byl použit přenosný digitální hustoměr Densito 30 PX od firmy Mettler Toledo a k zjištění dynamické viskozity oleje byl použit rotační viskozimetr Brookfield DV2T (LV).

#### 3.3.1 Atomový emisní spektrometr

Spectroil Q100 je kompletně polovodičový spektrometr, specificky navržen pro analýzu olejových vzorků. Měří stopové obsahy prvků rozpuštěných nebo nanesených jako jemné částice v minerálních nebo syntetických výrobcích na bázi ropy za použití dlouhodobě ověřené a spolehlivé techniky s rotační diskovou elektrodou. Dále přístroj splňuje požadavky standardní metody ASTM D6595 pro stanovení ořevových kovů a kontaminantů použitých v mazacích olejích nebo hydraulických směsích.



**Obrázek 12:** Atomový emisní spektrometr Spectroil Q100 (Spectro.cz, 2014)

### 3.3.2 Digitální hustoměr

Hustota (měrná hmotnost) byla měřena pomocí přenosného digitálního hustoměru Densito 30 PX od firmy Mettler Toledo. Přístroj je vybaven speciální stupnicí pro měření ropných produktů.

Tento přenosný hustoměr umožňuje během krátké doby zjistit hustotu vzorku. Přístroj používá metodu oscilující trubice v kombinaci s přesným měřením teploty. Vzorkovací hadička se ponoří do vzorku a po nasátí se automaticky spustí měření. Výsledek se zobrazí na displeji v několika sekundách. Hustoměr je vybaven pumpou s regulovatelnou rychlostí nasávání a speciálním otvorem pro možný vstřík vzorku externí stříkačkou (pro velmi viskózní vzorky). Přístroj má automatickou teplotní kompenzaci nebo 10 teplotních kompenzačních koeficientů. Kalibrace se provádí na vzduch nebo vodu. Do interní paměti lze uložit až 1100 výsledků vzorků a přenést do osobního počítače pomocí infračerveného rozhraní. Densito 30 PX se dodává v kufříku s kompletním vybavením, viz Obrázek 12.



**Obrázek 13:** Přenosný digitální hustoměr Densito 30 PX (Merci, 2013)

#### **Technické parametry přístroje Densito 30 PX:**

##### Měřící rozsah hustoty:

- 0 - 2 g/cm<sup>3</sup>

##### Měřící rozsah teploty:

- 0 - 60 °C

Rozlišení:

- 0,0001 g/cm<sup>3</sup>

Přesnost:

- 0,001 g/cm<sup>3</sup>

Jednotky měření:

- hustota, specifická hmotnost, Brix%, alkohol, °Baumé, °Plato, API, kyselina sýrová, koncentrace

Identifikace vzorku:

- datum, čas a identifikace přístroje

### **3.3.3 Rotační viskozimetr**

Jedná se o digitální programovatelný viskozimetr řady DV2T se speciálním softwarem Rheocalc.

#### **Technické parametry přístroje Brookfield DV2T:**

- zobrazují viskozitu, teplotu, smykovou rychlost, smykové napětí, rychlost otáčení, % torze a vřeten
- 5 palcový barevný dotykový displej
- nové uživatelské rozhraní, podpora více jazyků
- zvýšená bezpečnost (přístup chráněný heslem)
- zabudovaná RTD teplotní sonda
- přesnost měření: ±1,0 %
- opakovatelnost: ±0,2 %
- měřicí geometrie válec - válec nebo kužel - deska
- modely LV, RV, HA a HB pro různé rozsahy viskozit
- rozhraní USB pro připojení k PC





**Obrázek 14:** Rotační viskozimetr Brookfield DV2T (LV) (Verkon.cz, 2015)

### 3.4 Odběr vzorku motorového oleje

Odebírání vzorků prováděla pokaždé stejná osoba a byl při nich dodržen následující postup:

- olej byl odebírán při pracovní teplotě motoru (min. teplota oleje 65 °C), nejdéle 3 min. po zastavení motoru,
- odběr byl prováděn pomocí aparatury pro odběr vzorku z olejové nádrže otvorem pro kontrolní měрку,
- odsávání oleje bylo prováděno pomocí plastové odsávací stříkačky s nástavcem upraveným na potřebnou délku,
- odebrané vzorky se plnily do nových desinfikovaných plastových vzorkovnic o objemu 15 ml,
- bylo provedeno 8 odběrů oleje, při každém odběru bylo odsáto asi 15 ml motorového oleje,
- po odebrání vzorku byla vzorkovnice označena a zapsány na ni základní údaje (datum odběru a stav najetých kilometrů),

- aby se do vzorku nedostaly nežádoucí příměsi a nečistoty, bylo na začátku použito nové odsávací zařízení, které se poté používalo pouze pro odebrání vzorku ze zkoumaného stroje a odebrané vzorky se uchovávaly v nových, suchých a čistých vzorkovnicích, které byly po odběru pečlivě uzavřeny a uloženy při pokojové teplotě na stinném místě.

První odběr byl proveden po výměně olejové náplně a krátkém provozu. Interval pro další odběry byly určeny nájezdem 2 000 km. Tento interval však nebylo možno po každé přesně dodržet, protože vozidlo se pohybovalo po celé republice. Celkem bylo odebráno 8 vzorků oleje z motoru a 2 vzorkovnice nového oleje na porovnání.

## 4 VÝSLEDKY A DISKUZE

V této kapitole je provedeno vyhodnocení všech měření. Naměřené výsledky jsou uvedeny v tabulkách a k nim přiřazeny přehledné grafy. Součástí kapitoly je také diskuze k jednotlivým výsledkům.

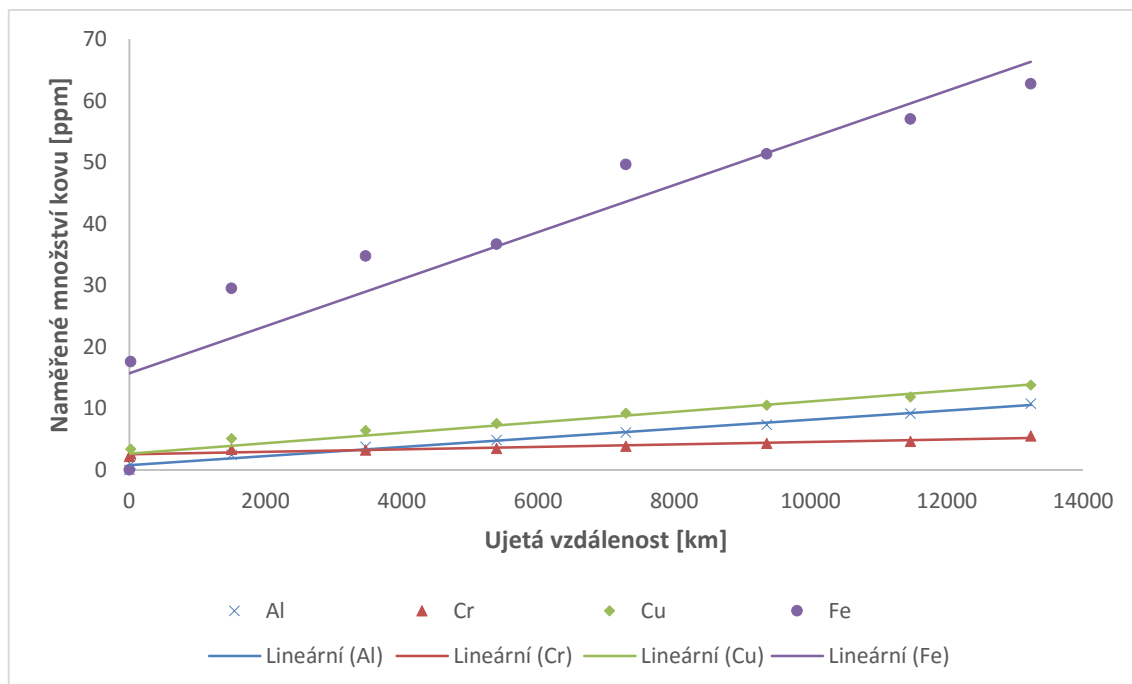
### 4.1 Atomová emisní spektrometrie

Při tomto měření byl zjišťován celkový obsah kovů, které se ve vzorcích vyskytoval. Jednotlivé částice kovů se do oleje dostávají během provozu motoru vlivem vzájemného tření jeho funkčních součástí. Výskyt určitého množství těchto kovů je tedy v oleji naprosto normálním jevem a jejich určité množství se objevuje již v novém oleji jako součást aditiv. Sledování celkového množství ošetrových částí je v tribodiagnostice důležitým faktorem. Příliš velký nárůst může signalizovat problém v mazací soustavě, nebo může značit nesprávné fungování motoru.

Tabulka 9 uvádí naměřené hodnoty hlavních konstrukčních kovů. Mezi ty patří železo (Fe), hliník (Al), chrom (Cr) a měď (Cu).

**Tabulka 9:** Naměřené množství hlavních konstrukčních kovů v oleji

Datum odběru	Najeto na olejovou náplň [km]	Fe [ppm]	Al [ppm]	Cr [ppm]	Cu [ppm]
26. 10. 2015	0	0	0	2,20	0,15
26. 10. 2015	19	17,57	0,86	2,66	3,36
05. 11. 2015	1 503	29,50	2,46	3,30	5,11
14. 11. 2015	3 470	34,77	3,76	3,21	6,39
03. 12. 2015	5 389	36,67	4,83	3,46	7,51
14. 12. 2015	7 287	49,62	6,10	3,86	9,21
29. 12. 2015	9 358	51,36	7,34	4,32	10,48
16. 01. 2016	11 464	56,99	9,17	4,62	11,86
07. 02. 2016	13 234	62,76	10,74	5,50	13,78



**Obrázek 15:** Graf naměřeného množství hlavních konstrukčních kovů v oleji

V tabulce 10 jsou uvedeny hodnoty z jednotlivých sledovaných hlavních konstrukčních kovů, získané prostřednictvím programu Excel a lineárního proložení grafu. Obecný tvar rovnice:  $y = ax + b$ . V tomto konkrétním případě se jedná o rovnici ve tvaru:  $\text{kov}[\text{ppm}] = a \cdot \text{nájezd}[\text{km}] + b$ .

**Tabulka 10:** Hodnoty koeficientů lineární funkce pro jednotlivé hlavní kovy

Kov	a [km <sup>-1</sup> ]	b [ppm]	R <sup>2</sup>
železo	0,0038	15,711	0,8750
hliník	0,0007	0,7754	0,9880
chrom	0,0002	2,5306	0,9353
měď	0,0008	2,6644	0,9375

Z grafu na obrázku 15 je zřejmé, že největší zastoupení ve zkoumaných vzorcích má jakožto hlavní konstrukční prvek železo. Také jeho nárůst je nejvíce výrazný. Graf byl proložený lineární funkcí. Autor (Černý, 2008) uvádí, že obsah železa v oleji pod 50 ppm je pro motor normální opotřebení, mezi hodnotami 50-75 ppm je opotřebení zvýšené a nad hranicí 75 ppm jde o opotřebení nebezpečné. Jelikož bylo při nájezdu 13 234 km

naměřen obsah železa 62,76 ppm a další výměna proběhne při 15 000 km je možno konstatovat, že motor je opotřebován zvýšeně. Z tohoto důvodu je nezbytné, aby interval pro výměnu olejové náplně v budoucnosti nepřesahoval předepsaných 15 000 km.

Dalšími konstrukčními kovy, které jsou v oleji obsaženy ve vyšší míře, patří hliník, chrom a měď. Nárůst těchto kovů je pozvolný a dobře zřetelný. Nejvyšších hodnot při měření dosáhla měď. Dle autora (Černý, 2010) však žádný z těchto kovů nepřekračuje udávanou hodnotu a jejich obsah lze označit za přípustný a pro funkci motoru bezpečný.

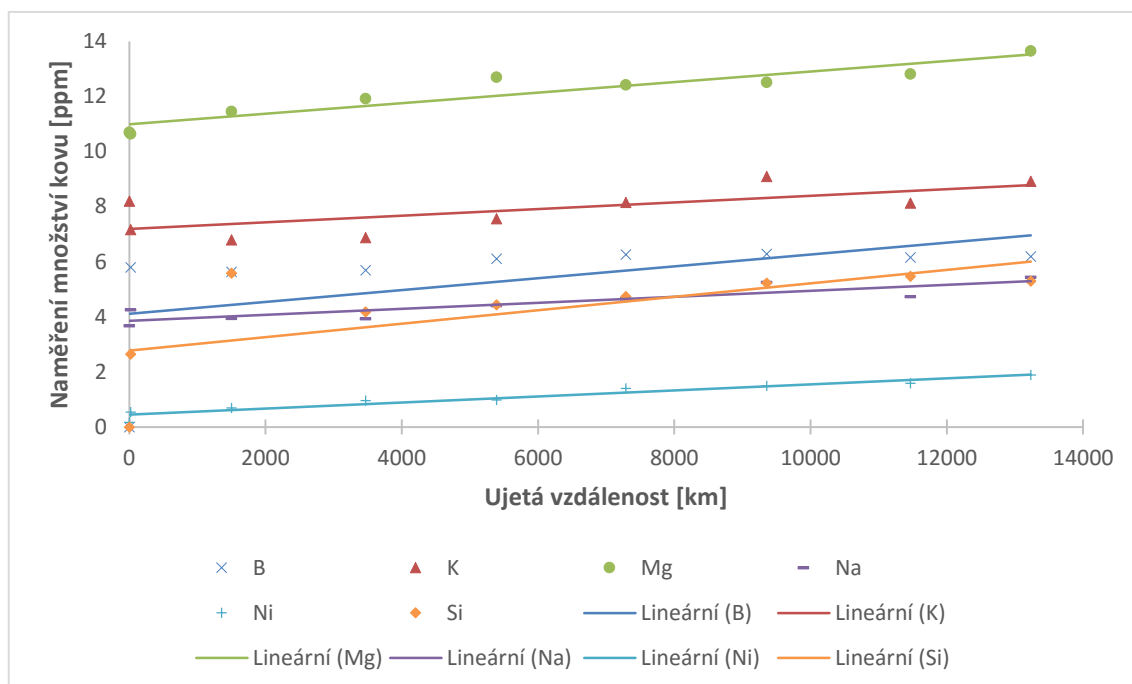
Tabulka 11 uvádí naměřené hodnoty dalších kovů, které byly při měření v oleji zjištěny. Mezi ty patří bor (B), draslík (K), hořčík (Mg), sodík (Na) a nikl (Ni). Při analýze bylo měřeno také množství křemíku (Si) (viz. kapitola 2.5 Otěrové kovy v oleji).

**Tabulka 11:** Naměřené množství ostatních kovů v oleji

Datum odběru	Najeto na olejovou náplň [km]	B [ppm]	K [ppm]	Mg [ppm]	Na [ppm]	Ni [ppm]	Si [ppm]
26. 10. 2015	0	0	8,20	10,70	3,68	0,17	2,65
26. 10. 2015	19	5,79	7,17	10,64	4,26	0,54	5,58
05. 11. 2015	1 503	5,63	6,79	11,45	3,95	0,69	4,18
14. 11. 2015	3 470	5,69	6,88	11,92	3,94	0,96	4,44
03. 12. 2015	5 389	6,11	7,56	12,70	4,41	0,98	4,74
14. 12. 2015	7 287	6,26	8,15	12,42	4,65	1,40	5,23
29. 12. 2015	9 358	6,28	9,10	12,51	5,26	1,50	5,47
16. 01. 2016	11 464	6,15	8,13	12,81	4,74	1,59	5,30
07. 02. 2016	13 234	6,19	8,92	13,65	5,44	1,89	6,66

Z grafu na obrázku 16 je patrné, že nejvyšších hodnot dosahuje hořčík. Jeho velké množství bylo již v novém oleji ve formě aditiv a během dalšího provozu vozidla se dostával do oleje také ve formě otěrových částí. Významných hodnot dosahuje také draslík, který se do oleje dostává jako kontaminant během výroby. Jeho velké množství může nepříznivě ovlivňovat životnost filtru pevných částic. Mezi kontaminanty se řadí také sodík. Ten je součástí nemrznoucích směsí a posypových solí a jeho růst může být především v zimním období vyšší. V tomto případě však nedosahuje vyšších hodnot. V nemrznoucích směsích se nachází také bor, jehož obsah je na začátku skokový, ale dále se je množství ustálí. Velmi malých hodnot dosahuje nikl, který patří mezi otěrové kovy. Jeho nárůst je pozvolný a dle autora (Černý, 2010) jeho maximální hodnoty neznají zvýšené opotřebování motoru.

Naměřeny byly i hodnoty křemíku, který se do oleje dostává ze vzduchu jako součást prachových částic. Jeho vysoké hodnoty můžou signalizovat poškození vzduchového filtru a způsobit škodu na funkci motoru. V tomto případě je však jeho množství v oleji naprosto v normě.



**Obrázek 16:** Graf naměřeného množství vybraných kovů v oleji

V tabulce 12 jsou uvedeny hodnoty z jednotlivých sledovaných ostatních kovů, získané prostřednictvím programu Excel a lineárního proložení grafu. Tvar rovnice:  $kov[ppm] = a \cdot nájezd[km] + b$ .

**Tabulka 12** Hodnoty koeficientů lineární funkce pro jednotlivé vybrané kovy

Kov	a [km <sup>-1</sup> ]	b [ppm]	R <sup>2</sup>
bor	0,0002	4,1073	0,2746
draslík	0,0001	7,1856	0,5005
hořčík	0,0002	10,9890	0,8762
sodík	0,0001	3,8534	0,7981
nikl	0,0001	0,4457	0,9400
křemík	0,0002	2,7744	0,4396

## 4.2 Hustota oleje

Hustota oleje patří mezi významné ukazatele a její hodnota signalizuje skutečný stav oleje, především pak jeho znečištění cizími látkami. Pokud jsou její hodnoty příliš vysoké, může dojít k zhoršení funkčnosti mazací soustavy.

Tabulka 13 obsahuje naměřené hodnoty na sledovaném vozidle. Hustota je uvedena v jednotkách  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ .

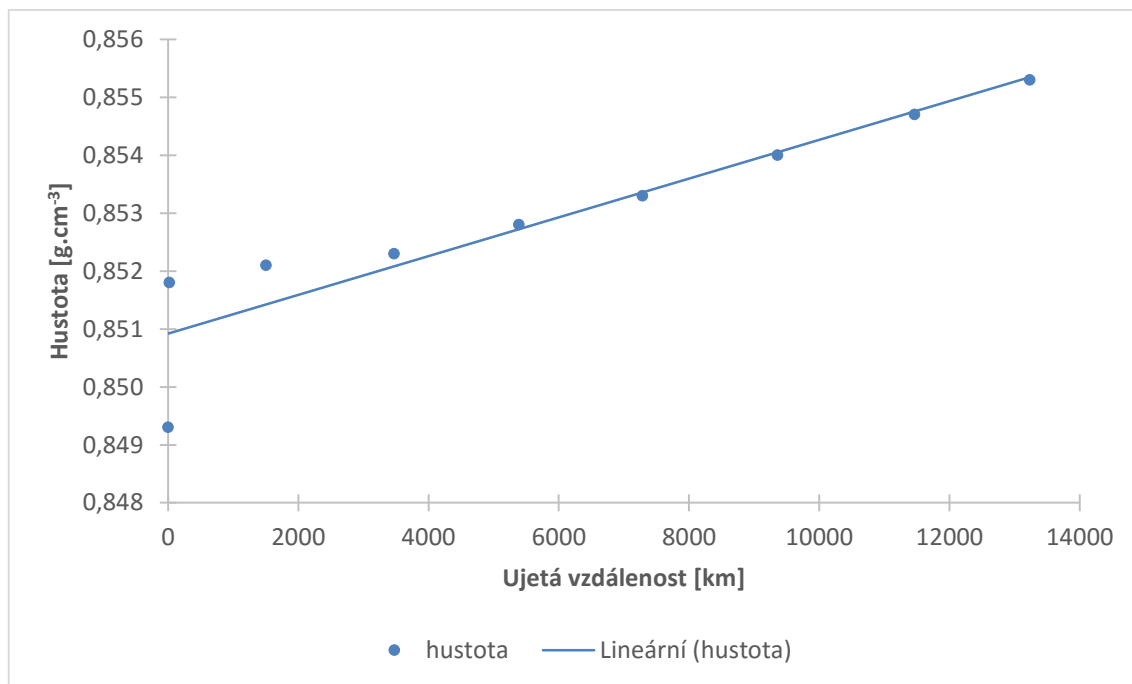
**Tabulka 13:** Naměřená hustota oleje

Datum odběru	Najeto na olejovou náplň [km]	Hustota [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]
26. 10. 2015	0	0,8493
26. 10. 2015	19	0,8518
05. 11. 2015	1 503	0,8521
14. 11. 2015	3 470	0,8523
03. 12. 2015	5 389	0,8528
14. 12. 2015	7 287	0,8533
29. 12. 2015	9 358	0,8540
16. 01. 2016	11 464	0,8547
07. 02. 2016	13 234	0,8553

Hustotu oleje neovlivňují pouze otěrové kovy, ale také nečistoty, které vlivem provozu vzniknou, nebo se dostanou do oleje z vnějšího prostředí. Naměřená hustota se používá při výpočtu dynamické viskozity a je tedy důležité sledovat také tyto hodnoty.

Z grafu na obrázku 17 je zřejmé, že hustota během prvních 4 000 km stoupala pozvolna. V dalším průběhu provozu je již nárůst zřetelnější, což způsobily především otěrové kovy v oleji. Je tedy velice důležité, aby byl při provozu dodržován předepsaný interval pro výměnu oleje a také olejového filtru.

Naměřené hodnoty hustoty u jednotlivých vzorků byly proloženy lineární funkcí. Její tvar je:  $\rho = 0,0000003 \cdot \text{nájezd}[km] + 0,8509$ . Koeficient determinace  $R^2 = 0,8467$ .



**Obrázek 17:** Graf průběhu hustoty

### 4.3 Viskozita oleje

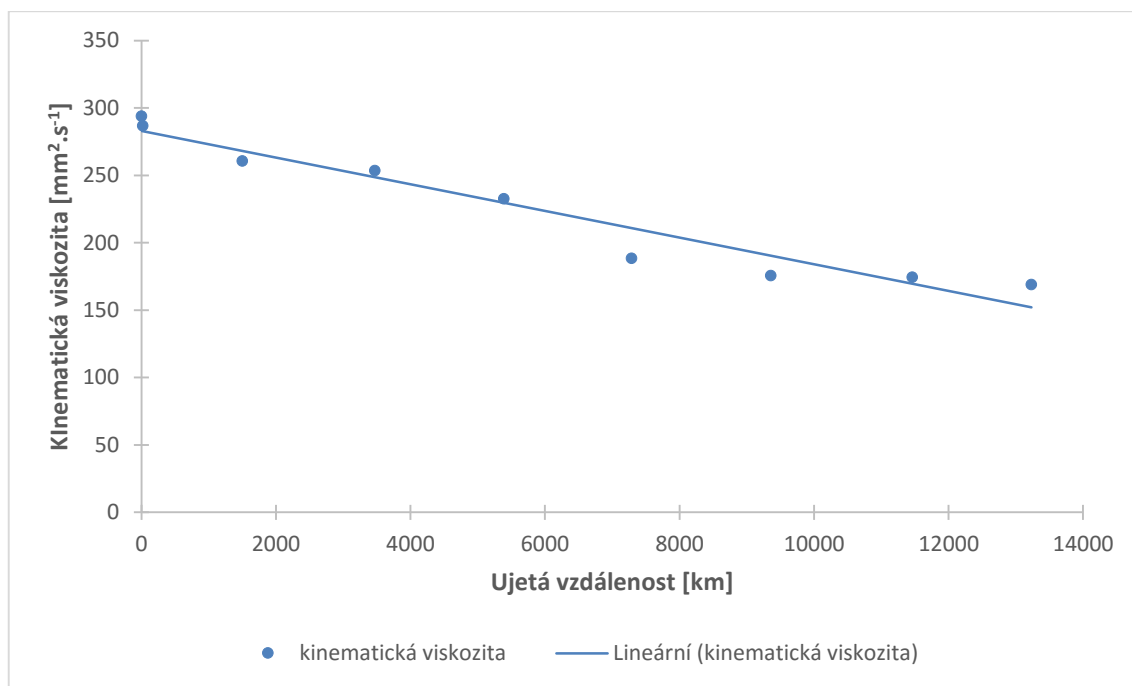
K určení kinematické viskozity bylo potřeba naměřit dynamickou viskozitu. Z jejích hodnot a dříve naměřené hustoty byl pomocí vzorce (viz. kapitola 1.3.1 Viskozita) proveden přepočítání na kinematickou viskozitu. Jak uvádí autor (Helebrant a kol., 2004) může kinematická viskozita během exploatace buďto růst, nebo klesat. Růst viskozity je způsoben meziproducty oxidační povahy, producty částečné oxidace oleje, vytvářením emulze těchto prvků s vodou a, případně znečišťováním kondenzačními producty. Snížení viskozity je způsobeno především tepelnou a mechanickou degradací aditiv, popřípadě změnou olejů, u motorových olejů vniknutím paliva do mazacího systému. Příliš nízká viskozita začne docházet k meznímu až suchému tření s důsledkem naměřeného opotřebení, popřípadě zadření třecích ploch. Pokud je viskozita příliš vysoká způsobuje ztráty energie vzhledem k velkému koeficientu tření.

Tabulka 14 obsahuje naměřenou hustotu a dynamickou viskozitu a vypočtené hodnoty kinematické viskozity.



**Tabulka 14:** Vypočtená kinematická viskozita oleje

Datum odběru	Najeto na olejovou náplň [km]	Dynamická viskozita [mPa.s]	Hustota [g.cm <sup>-3</sup> ]	Kinematický viskozita [mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]
26. 10. 2015	0	249,7	0,8493	294,0
26. 10. 2015	19	244,2	0,8518	286,7
05. 11. 2015	1 503	222,0	0,8521	260,5
14. 11. 2015	3 470	216,0	0,8523	253,4
03. 12. 2015	5 389	198,4	0,8528	232,6
14. 12. 2015	7 287	160,7	0,8533	188,3
29. 12. 2015	9 358	149,9	0,8540	175,5
16. 01. 2016	11 464	149,1	0,8547	174,4
07. 02. 2016	13 234	144,5	0,8553	168,9



**Obrázek 18:** Graf průběhu kinematické viskozity

Z grafu na obrázku 18 je patrné, že nejvyšší pokles kinematické viskozity nastal v rozmezí 5 000 – 7 000 km. Dle autora (Helebrant a kol., 2004) by se viskozita oleje neměla během provozu změnit více než o  $\pm 20\%$ . V tomto případě se jedná o pokles o 42,6 %. Tabulková hodnota je však průměrná a její stanovení probíhalo během celoroč-

ního provozu. Vzorky ze sledovaného vozidla však byly odebírány během zimního období, kde dochází následkem studených startů ke značnějšímu poklesu kinematické viskozity.

Naměřené hodnoty kinematické viskozity u jednotlivých vzorků byly proloženy lineární funkcí. Její tvar je:  $\nu[mm^2 \cdot s^{-1}] = -0,0099 \cdot \text{nájezd}[km] + 282,89$ . Koeficient determinace  $R^2 = 0,9373$ .

## ZÁVĚR

Za účel vypracování této diplomové práce bylo odebráno celkem 8 vzorků oleje přímo z motoru a jeden vzorek nového oleje. Jako testované vozidlo sloužil užitkový automobil Renault Trafic 2.0 dCi. Použitý olej, Castrol 5W40 EDGE, je používán zejména v přeplňovaných vznětových motorech. Vůz je vlastněn soukromou osobou za účelem podnikání a je provozován jak na delší obchodní cesty, tak jako rodinný vůz na menší vzdálenosti. Výrobce udává interval pro výměnu olejové náplně je 15 000 km.

Pro zjištění celkové degradace oleje byla u odebraných vzorků zjišťována hustota, dynamická viskozita a pomocí atomové emisní spektrometrie i obsah otěrových kovů. Díky pravidelným odběrům bylo možno sledovat, jak se jednotlivé hodnoty mění.

Hustota oleje byla naměřena pomocí digitálního hustoměru. Po celou dobu sledování měla hustota rostoucí trend. To je způsobeno především rostoucím množstvím otěrových částí v oleji. Nejmarkantnější nárůst je zřetelný hned během prvního vzorku z motoru (po nájedu 20 km). To je způsobeno nedokonalým vypláchnutím mazací soustavy a nareďením s případnými zbytky starého oleje.

Jako další byla pomocí rotačního viskozimetru naměřena dynamická viskozita a pomocí vzorce (viz. kapitola 1.3.1 Viskozita) byla dopočítána kinematická viskozita. Kinematická viskozita měla naopak klesající charakter, což je možno připisovat vysokému tepelnému a mechanickému namáhání, jemuž je olej během provozu vystaven. Nejvyšší pokles je mezi 5 000 a 7 000 km. Důvodem je opět především vysoký nárůst otěrových kovů.

Poslední měření proběhlo na atomovém emisním spektrometru a určilo, jak velké množství otěrových a ostatních kovů se ve větší, nebo menší míře, během celé životnosti do oleje dostane. Mezi zjištěné prvky patří Al, Cr, B, Cu, Fe, K, Mg, Na, Ni, Mo, P, Sn, T, V, Zn a Si. Nejvyšší nárůst byl zaznamenán u hlavního konstrukčního kovu, jímž je železo. To je možno prisuzovat hlavně již značnému opotřebení motoru. Vozidlo mělo při odběru posledního vzorku najeto více než 400 000 km.

Všechna měření poskytla jasný důkaz postupné degradace motorového oleje. Z naměřených hodnot je jasně patrné, že by měl být dodržován stanovený interval pro výměnu oleje. Spolu s ním by mělo dojít také k výměně olejového filtru. Je také možno konstatovat, že v daném případě není potřeba pravidelná kontrola degradace oleje a během provozního intervalu by mělo docházet pouze k běžnému opotřebení.

Diplomová práce přibližuje problematiku degradace motorových olejů ve vznětových motorech. Zadání diplomové práce bylo dodrženo a získané výsledky bude možno použít při dalším výzkumu dané problematiky.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

BLAŽEK, Josef a Vratislav RÁBL. *Základy zpracování a využití ropy*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 254 s. ISBN 80-7080-619-2.

ČERNÝ, Jaroslav. *Bionafta a provoz motorů* [online]. 2010. [cit. 2016-13-03]. Dostupné na: <<http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-1-2009/bionafta-a-provoz-motoru.html>>

ČERNÝ, Jaroslav. *Když se řekne: základové oleje* [online]. [cit. 2015-15-12]. Dostupné na: <<https://www.oleje.cz/clanek/Kdyz-se-rekne--zakladove-oleje>>

ČERNÝ, Jaroslav. *Otěrové kovy* [online]. [cit. 2016-15-01]. Dostupné na: <<http://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Oterove-kovy>>

ČERNÝ, Jaroslav. *Viskozita automobilových motorových olejů* [online]. 2005 [cit. 2016-15-01]. Dostupné na: <<https://www.oleje.cz/clanek/Viskozita-automobilovych-motorovych-oleju>>

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.

HRDLIČKA, Zdeněk. *Automobilové kapaliny*. Vyd. 1. Praha: Grada, 1996, 119 s. ISBN 80-7169-332-4.

JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily*. 2., aktualiz. vyd. Brno: Avid, 2008, 179 s. ISBN 978-80-87143-06-3. JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily*. 2., aktualiz. vyd. Brno: Avid, 2008, 179 s. ISBN 978-80-87143-06-3.

JILEK, Petr a Jan POKORNÝ. *Úvod do spalovacích motorů*. Vyd. 1. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013, 200 s. ISBN 978-80-7395-743-8.

KUMBÁR, Vojtěch. *Lifetime extension of engine oil using additives* [online]. 2011 [cit. 2016-02-01]. Dostupné na: <[https://mnet.mendelu.cz/mendelnet2011/articles/29\\_kumbar\\_425.pdf](https://mnet.mendelu.cz/mendelnet2011/articles/29_kumbar_425.pdf)>

KUMBÁR, Vojtěch, Jiří VOTAVA. Differences in engine oil degradation in spark-ignition and compression-ignition engine. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability*. [online] 2014. sv. 16, č. 4, s. 622-628. ISSN 1507-2711. Dostupné na: <<http://www.ein.org.pl/sites/default/files/2014-04-18.pdf>>

KUMBÁR, Vojtěch, Petr DOSTÁL. Oils degradation in agricultural machinery. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. [online] 2013. sv. 61, č. 5, s. 1297-1303. ISSN 1211-8516. Dostupné na: <[http://acta.mendelu.cz/media/pdf/actaun\\_2013061051297.pdf](http://acta.mendelu.cz/media/pdf/actaun_2013061051297.pdf)>

MAXA, Daniel. *Základy výroby minerálních olejů* [online]. 2012 [cit. 2015-15-10]. Dostupné na: <<http://www.petroleum.cz/zpracovani/zpracovani-ropy-34.aspx>>

OLEJE.CZ. *Aditiva do maziv* [online]. 2012 [cit. 2015-05-10]. Dostupné na: <<https://www.oleje.cz/obsah/Aditiva>>

OLEJE.CZ. *Základy tribotechniky* [online]. 2013 [cit. 2015-03-10]. Dostupné na: <<https://www.oleje.cz/clanek/Zaklady-tribotechniky>>

PEKÁREK, Stanislav. *Technologie oprav I* [online]. 2015 [cit. 2015-15-10]. Dostupné na: <<https://publi.cz/books/160/13.html>>

PETROLEUM.CZ. *Paramo, a.s., výroba olejů* [online]. 2010 [cit. 2015-05-10]. Dostupné na: <http://www.petroleum.cz/rafinerie/paramo-vyroba-oleju.aspx>

PIVOŇKA, Josef. *Tekutinové mechanismy*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987, 623 s.

PNEU-ASISTENT.CZ. *Specifikace motorových olejů* [online]. 2013 [cit. 2016-05-01]. Dostupné na: <<http://www.pneu-asistent.cz/oleje/specifikaceOLEJU.pdf>>

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

TRIBOTECHNIKA.CZ. *Základy oboru* [online]. 2014 [cit. 2015-12-09]. Dostupné na: <<http://www.tribotechnika.cz/zaklady-oboru>>

TUL.CZ. *Tribologie* [online]. 2008 [cit. 2015-15-10]. Dostupné na: <[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)>

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

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

ZNACKOVEOLEJE.CZ. *Složky oleje* [online]. 2013 [cit. 2015-15-10]. Dostupné na: <<https://www.znackoveoleje.cz/znackoveoleje/5-ZAJIMAVOSTI/12-Slozky-oleje-adi-tiva>>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<b>Obrázek 1:</b> Druhy tření .....	13
<b>Obrázek 2:</b> Kapalinné tření .....	16
<b>Obrázek 3:</b> Polosuché tření .....	17
<b>Obrázek 4:</b> Doporučené Viskozitní třídy SAE motorových olejů podle vnějších teplot .....	25
<b>Obrázek 5:</b> Kovové plochy odděleny vrstvou oleje při normálním stavu (malý otěr) .	29
<b>Obrázek 6:</b> Kovové plochy v těsném kontaktu při velkém přitlačném tlaku (velký otěr) .....	29
<b>Obrázek 7:</b> Tlakové mazání s mokrou skříní .....	32
<b>Obrázek 8:</b> Tlakové mazání se suchou skříní .....	33
<b>Obrázek 9:</b> Druhy zubových olejových čerpadel .....	34
<b>Obrázek 10:</b> Trochoidní čerpadlo .....	34
<b>Obrázek 11:</b> Sledované vozidlo - Renault Trafic .....	37
<b>Obrázek 12:</b> Atomový emisní spektrometr Spectroil Q100 .....	38
<b>Obrázek 13:</b> Přenosný digitální hustoměr Densito 30 PX .....	39
<b>Obrázek 14:</b> Rotační viskozimetr Brookfield DV2T (LV) .....	41
<b>Obrázek 15:</b> Graf naměřeného množství hlavních konstrukčních kovů v oleji .....	44
<b>Obrázek 16:</b> Graf naměřeného množství vybraných kovů v oleji.....	46
<b>Obrázek 17:</b> Graf průběhu hustoty .....	48
<b>Obrázek 18:</b> Graf průběhu kinematické viskozity.....	49



## SEZNAM TABULEK

<b>Tabulka 1:</b> Rozdělení základových olejů podle API .....	22
<b>Tabulka 2:</b> Viskozitní specifikace motorových olejů dle SAE J 300 .....	26
<b>Tabulka 3:</b> Porovnání ACEA a CCMC .....	28
<b>Tabulka 4:</b> Otěrové kovy v motorovém oleji a jejich zdroje .....	30
<b>Tabulka 5:</b> Limitní koncentrace kovů v motorovém oleji (ppm) .....	31
<b>Tabulka 6:</b> Zkoumaný motorový olej.....	36
<b>Tabulka 7:</b> Odběry vzorků oleje.....	37
<b>Tabulka 8:</b> Základní parametry sledovaného vozidla .....	38
<b>Tabulka 9:</b> Naměřené množství hlavních konstrukčních kovů v oleji .....	43
<b>Tabulka 10:</b> Hodnoty lineární funkce pro jednotlivé hlavní kovy .....	44
<b>Tabulka 11:</b> Naměřené množství ostatních kovů v oleji .....	45
<b>Tabulka 12:</b> Hodnoty lineární funkce pro jednotlivé vybrané kovy .....	46
<b>Tabulka 13:</b> Naměřená hustota oleje .....	47
<b>Tabulka 14:</b> Vypočtená kinematická viskozita oleje.....	49