

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

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**BRNO 2016**

**MARTIN ORAL**

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

---



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

Diplomová práce

*Vedoucí diplomové práce:*

Ing. Vojtěch Kumbár, Ph.D.

*Vypracoval:*

Bc. Martin Oral

---

Brno 2016

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Degradace motorového oleje ve vznětovém motoru osobního 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**

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Vojtěchu Kumbárovi Ph.D. za odborné vedení, pomoc a rady při zpracování této práce.

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce je zaměřena na problematiku degradace motorových olejů stejné viskózní třídy 5W-30. První část je zaměřena na mazací systémy a jejich dílčí části. Dále se práce zaměřuje na rozdělení olejů do jednotlivých klasifikací a popis vlastností. Vzorky oleje pochází ze dvou osobních automobilů, které mají totožný vznětový motor, avšak jiný celkový nájezd kilometrů. Dále je věnována pozornost množství konstrukčních kovů, aditiv a kontaminantů v obou olejích, a to v průběhu celého servisního intervalu výměny olejů. Získané výsledky jsou interpretovány graficky a jednotlivé závislosti jsou modelovány pomocí vhodných regresních funkcí. Diplomová práce porovnává mechanické a fyzikální vlastnosti motorových olejů v závislosti na množství ujetých kilometrů. Závěr práce shrnuje vyhodnocení a získané výsledky.

### **Klíčová slova:**

Mazací systémy, degradace, hustota, viskozita, otěrové částice, kontaminanty, aditiva, motorový olej, spektrometr, výkonnostní klasifikace

## **ABSTRACT**

The thesis is focused on the problems of degradation of engine oils of the same viscosity class 5W-30. The first part of the thesis is describing lubricating systems and their component parts. The thesis also focuses on the division of oil in each classification and description of its properties. Samples of the oil have been taken from two cars with identical diesel engine, but with different total traveling distance. Attention is paid to the amount of structural metals, contaminants and additives in both oils, and throughout the oil usage interval. The results are interpreted graphically and various dependencies are modeled using appropriate regression functions. Thesis compares the mechanical and physical properties of engine oils, depending on mileage. The conclusion summarizes the evaluation and the results obtained.

### **Keywords:**

lubricating systems, degradation, density, engine oil, wear metal particles, contaminants, additives, spectrometer, performance classification.

## Obsah

ÚVOD .....	8
1 DRUHY MAZACÍCH SOUSTAV SPALOVACÍCH MOTORŮ .....	9
1.1 Mazání ztrátové .....	10
1.2 Mazání tlakové s mokrou klikovou skříní .....	11
1.3 Mazání tlakové se suchou klikovou skříní .....	12
2 ZÁKLADNÍ PRVKY MAZACÍ SOUSTAVY VZNĚTOVÝCH MOTORŮ .....	13
2.1 Olejové čerpadlo .....	14
2.2 Olejový filtr .....	15
2.3 Chladiče oleje .....	16
3 MOTOROVÉ OLEJE .....	18
3.1 Tribotechnika .....	19
3.2 Klasifikace motorových olejů .....	20
3.2.1 Viskozitní klasifikace SAE .....	20
3.2.2 Výkonnostní klasifikace .....	23
4 VLASTNOSTI MOTOROVÝCH OLEJŮ .....	27
4.1 Obecné vlastnosti motorových olejů .....	27
4.2 Viskozita motorových olejů .....	28
4.3 Aditivace motorových olejů .....	30
4.3.1 Aditiva pro ochranu povrchu .....	31
4.3.2 Aditiva pro ochranu oleje .....	32
4.3.3 Dodatečná aditiva do motorových olejů .....	33
5 DIAGNOSTIKA MOTOROVÝCH OLEJŮ .....	34
5.1 Stanovení množství nerozpustných látek (NRL) .....	34
5.2 Stanovení teploty vzplanutí v otevřeném kelímku .....	34
5.3 Stanovení čísla celkové alkality a kyselosti .....	35

5.4	Monitorování pevných částic .....	35
5.5	Atomová emisní spektrometrie (AES) .....	37
5.6	Pěnivost oleje .....	38
5.7	HTHS viskozita (High Temperature High Shear).....	38
6	CÍL PRÁCE .....	39
7	MATERIÁLY A METODIKA.....	40
7.1	Použitý motorový olej .....	40
7.2	Testovaná vozidla.....	40
7.3	Laboratorní přístroje.....	42
7.3.1	Viskozimetr digitální Brookfield DV2T.....	42
7.3.2	Hustoměr Densito 30 PX .....	43
7.3.3	Spektrometr Spectroil Q100 .....	44
7.4	Odběr vzorků.....	45
7.5	Postup měření.....	45
7.6	Informace o odebraných vzorcích oleje .....	47
8	VÝSLEDKY A DISKUZE .....	48
8.1	Měření viskozity a hustoty motorového oleje .....	48
8.2	Měření otěrových částic v motorovém oleji.....	51
	ZÁVĚR .....	62
	SEZNAM LITERATURY .....	64
	INTERNETOVÉ ZDROJE.....	64
	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	67
	SEZNAM TABULEK .....	68



## ÚVOD

Při chodu spalovacího motoru je nejen nutné zajistit kvalitní mazání jednotlivých částí motoru, ale také jeho utěsnění, čištění, ochranu proti korozi a chlazení. Tomu převážně napomáhá motorový olej, který souhrnným názvem označuje veškeré minerální oleje. Motorové oleje plní převážně funkci mazací, kdy vytváří tenkou vrstvu na stykové ploše dvou dílů a zamezují tak vzniku tření a s následným opotřebením součástí.

V dnešní době jsou standardní spalovací motory vybaveny několika typy mazacích soustav. Dle typu mazání se mazací soustavy dělí na mazání tlakové se suchou skříní, mazání tlakové s mokrou skříní, mazání čerstvým olejem či mastnou směsí. Dnešní osobní a nákladní automobily převážně využívají tlakové mazání s mokrou či suchou skříní.

Motorový olej dělíme podle způsobu výroby do dvou základních skupin, na ropné a syntetické. Postupem vývoje olejů vznikla ještě skupina polysyntetických olejů, což je směs předchozích dvou základních skupin olejů. Jejich výhodou je kompromis mezi vlastnostmi syntetických a ropných olejů.

Hlavním požadavkem motorového oleje je dlouhodobá životnost ve velmi náročném prostředí spalovacího motoru a zachování funkčnosti jednotlivých segmentů motoru. Proto se vyvíjejí oleje jen takové, které mají vyvážený poměr všech obsažených základních látek a přísad. Poměr je vždy volen tak, aby jedna specifikace oleje zásadně neovlivňovala či nepotlačovala specifikaci jinou.

Kvalita a výdrž motorových olejů je značně ovlivněna mnoha faktory, jako je druh paliva, nečistoty v oleji, kondenzáty vody, ale také provozními podmínkami, do kterých řadíme: teplotu motoru a množství spálené směsi.

Dnešní trend ve vývoji olejů směřuje k zvýšení účinnosti mazacích a chladících vlastností oleje a prodloužení životnosti. Avšak nelze zapomenout na dodržení ekologických problémů na životní prostředí.

# 1 DRUHY MAZACÍCH SOUSTAV SPALOVACÍCH MOTORŮ

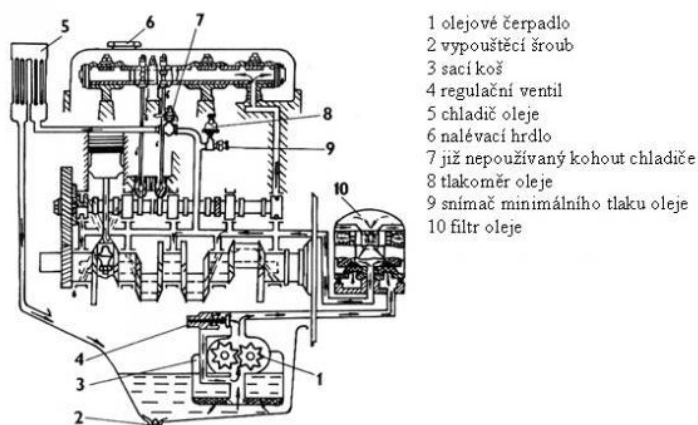
Spalovací motor obsahuje celou řadu pohybujících se součástí, které na sebe navzájem působí. V místech vzájemného kontaktu jednotlivých součástí dochází ke tření, které vede k nadměrnému opotřebení dílů motoru. Zvýšené tření negativně ovlivňuje chod motoru a snižuje jeho životnost. Proto veškeré spalovací motory jsou vybaveny mazacím systémem a soustavou mazacích kanálků.

Hlavní funkcí mazací soustavy je vytvořit kapalinné tření mezi stykovými plochami navzájem se pohybujících těles. V tomto případě jsou jednotlivé plochy od sebe odděleny tenkou vrstvou mazacího oleje, jež zamezuje vzniku nežádoucího tření. Tato tenké olejová vrstva je v praxi popisována jako „olejový film“. (RAUSCHER, 2005)

Mezi hlavní místa, pro mazání motorovým olejem, řadíme ložiska klikového hřídele, ložiska ojnicí a vačkového hřídele, rozvodový řetěz s napínákem, pracovní plochy válců a mnoho dalších. Tyto místa podléhají vysokému zatížení, a proto je nutné zajistit dostatečný přísun mazacího oleje. Mazací systémy v dnešní době řadíme do tří kategorií:

- Mazání ztrátové
- Mazání tlakové s mokrou skříní
- Mazání tlakové se suchou skříní

Během vývoje spalovacích motorů se současně kladl důraz a potřeba na modernizaci mazací soustavy. Ta prošla několika značnými změnami od mazání rozstříkem až po tlakové mazání, které se v dnešní době dělí na tlakové mazání se suchou a mokrou skříní.



Obrázek 1: Schéma tlakového mazání motoru (www.h-diag.cz, 2013)

## 1.1 Mazání ztrátové

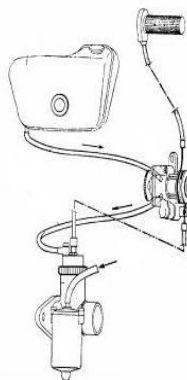
Hlavní využití ztrátového mazání je u dvoudobých rychloběžných motorů. V důsledku intenzivního víření směsi paliva se vzduchem se dostávají tyto kapičky do stykových ploch valivých ložisek uložení klikové hřídele, ojnice a pístního čepu a pokrývají stěny válce motoru. Zároveň určitý podíl oleje odchází při přepouštění stlačené palivové směsi do spalovacího prostoru válce motoru, kde ulpívá na stěnách válce a maže stykovou plochu s pístem a pístními kroužky. Při hoření paliva dochází ke spálení motorového oleje, a proto se tento způsob nazývá ztrátový. (RAUSCHER, 2005)

Dávkování olejových kapiček je zajišťováno:

- smísením paliva s motorovým olejem v palivové nádrži
- dávkovacím čerpadlem do proudu nasávané směsi paliva se vzduchem
- dávkovacím čerpadlem k mazaným místům

Mísením oleje s palivem v palivové nádrži se vytvoří velmi jemné kapičky, rovnoměrně rozmíchané v celém objemu nádrže. Dle konstrukce spalovacího motoru se poměr paliva s olejem volí od 1:30 až do 1:100. Mezi výhody tohoto systému patří spolehlivost, nízká cena a skutečnost, že množství oleje v klikové skříni je závislé na zatížení motoru. Hlavní nevýhodou je, že motor při nízkých otáčkách je nadměrně

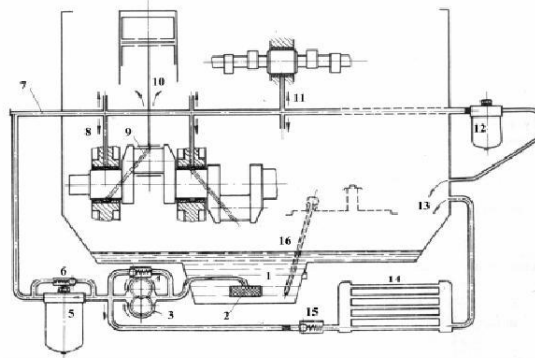
přemazáván. Přebytek oleje se usazuje v přepouštěcím kanálu a následně při zvýšení otáček je stržen do spalovací komory, kde je nedokonale spálen. Výsledkem je modrou kouř linoucí se z výfukového potrubí. Tento problém byl částečně vyřešen pomocí mazání dávkovacím čerpadlem. Olej z olejové nádržky je přiváděn do dávkovacího čerpadla. Poměr paliva a oleje je určován polohou rukojeti ovládací polohu šoupátka karburátoru. Dodávka oleje se mění progresivně, takže při nižších zatíženích již nedochází k přemazávání motoru. Na těchto režimech je mazací poměr až 1:200.(RAUSCHER, 2005)



Obrázek 2: Schéma ztrátového mazání s dávkovacím čerpadlem (DYK, 1973)

## 1.2 Mazání tlakové s mokrou klikovou skříní

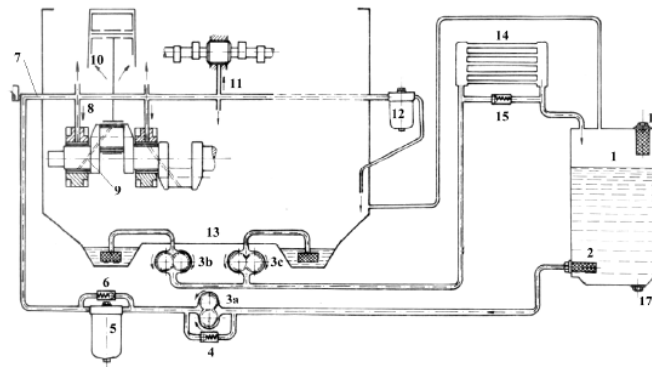
Současné vozidlové motory využívají kombinaci mazání tlakového a mazání rozstříkem. Systém s mokrou tlakovou skříní obsahuje zásobu oleje ve spodní části motoru, v tzv. „olejové vaně“.



Obrázek 3: Schéma mazání tlakového s mokrou skříní (RAUSCHER, 2005)

Dle obrázku 3. je olej nasáván pomocí tlakového čerpadla **3** přes sací potrubí a koš **2**. Na výstupní straně olejového čerpadla je umístěn přetlakový ventil **4** s nastaveným maximálním tlakem v okruhu. Olej je dále veden přes filtr **5** do hlavního mazacího kanálu **7**. Pokud systém obsahuje plnopřůtočný filtr, tak je soustava doplněna o obtokový ventil filtru **6**, který přepouští olej při ucpání filtru. Z hlavního kanálu je dále olej rozveden vrtanými kanálky k potřebným místům pro mazání. Chlazení mazací směsi je uskutečňováno stěnami olejové vany nebo při vyšší potřebě chlazení oleje se vkládá do okruhu přídatný olejový chladič **14**. Do okruhu je vložen pojistný ventil, který udržuje v systému nutný minimální tlak. Při jeho poklesu se chladičí okruh automaticky uzavře a olej je veden pouze hlavním mazacím kanálem. (RAUSCHER, 2005)

### 1.3 Mazání tlakové se suchou skříní



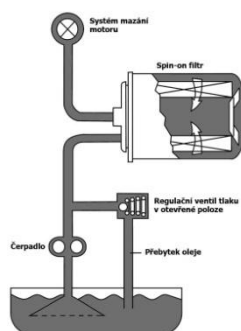
Obrázek 4: Schéma mazání tlakového se suchou skříní (RAUSCHER, 2005)

Hlavní mazání tlakového se suchou skříní od předchozího systému je ten, že olej je ze spodního víka motoru 13 odsáván pomocnými čerpadly 3b a 3c do zásobníkové nádrže oleje. Odtud je olej odváděn tlakovým mazacím čerpadlem 3a. Všechny tři čerpadla jsou označena pod jedním číslem, protože se většinou jedná o stejná zubová čerpadla poháněná přes jednu hřídel. Zásobník oleje je opatřen systémem odvětrávání spalin 16. Na rozdíl od mazání mokrou skříní je ventil 15, přemostující chladič oleje, určen k zabezpečení průtoku oleje do zásobníku v případě, že v důsledku nárůstu viskozity oleje při nízkých teplotách dojde k omezení průtoku oleje chladičem.(RAUSCHER, 2005)

Přednostně se mazání se suchou klikovou skříní využívá tam, kde je nebezpečí nasátí vzduchu do sacího potrubí v případě velkých náklonů nebo při vyšších odstředivých silách nebo náhlé deceleraci vozidla. Jedná se tedy o motory letadel, terénních vozidel, stavebních strojů a závodních či sportovních vozů.

## 2 ZÁKLADNÍ PRVKY MAZACÍ SOUSTAVY VZNĚTOVÝCH MOTORŮ

U spalovacích motorů se mazací soustava skládá z několika základních prvků jako je olejové čerpadlo, olejový filtr, kontrola funkce mazacího systému a odvětrávání klikové skříně.

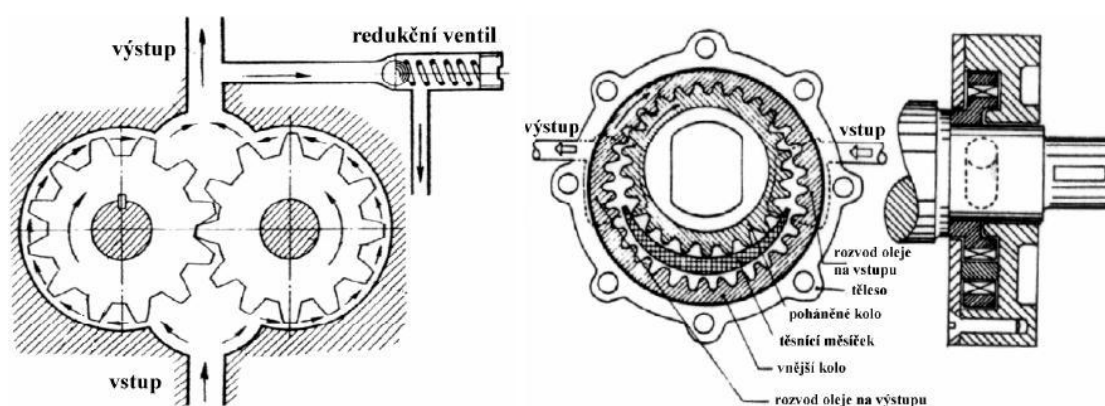


Obrázek 5: Mazací soustava motoru ([www.motofocus.cz](http://www.motofocus.cz))

## 2.1 Olejové čerpadlo

Většina výrobců motorových vozidel používá k rozvodu oleje zubové nebo rotační čerpadlo (trochoidní).

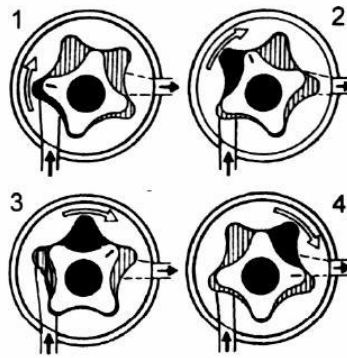
Konstrukce zubového čerpadla je velmi jednoduchá a vyznačuje se malou velikostí, nízkou hmotností a vysokou spolehlivostí. Schéma funkce klasického čerpadla je patrná z obrázku č. 6 vlevo a vpravo je zobrazeno čerpadlo s vnitřním ozubem. V obou případech je olej dopravován v mezerách zubů. (RAUSCHER, 2005)



Obrázek 6: Zubové čerpadlo s vnitřním a vnějším ozubem (RAUSCHER, 2011)

Zubové čerpadlo se nejčastěji umísťuje u předního víka motoru nebo bývá přímo jeho součástí. U systému se suchou olejovou skříní se často čerpadla vkládají vně klikové skříně, což umožňuje snadnější propojení s olejovou nádrží.

Vedle zubových čerpadel se často používají čerpadla trochoidní, kde rovněž jako u čerpadel zubových je olej dopravován v mezerách vytvořených mezi zuby obou rotorů.



Obrázek 7: Princip práce trochoidního čerpadla (RAUSCHER, 2005)

Princip práce je vysvětlen na obrázku č. 7. Vnitřní rotor má o jeden zub méně, než je výstupků na vnějším rotoru. Při otáčení vnitřního rotoru je vnější unášen, přičemž se postupně zvětšuje a zmenšuje uzavřený objem. V poloze 1 se označeným zubem čárkou zvětšuje objem, tím dochází ve vybrání v čelní ploše, k nasátí oleje. V poloze 2 je stále nasáván olej až do objemu v poloze 3. V poslední poloze dochází ke zmenšení objemu komory a následnému výtlačku oleje do potrubí. (RAUSCHER, 2005)

## 2.2 Olejový filtr

Olejové filtry slouží v systému k zachycení otěrových částic, jako jsou částičky karbonu, otěrové částice kovu a nečistoty, jež se dostaly do oleje z nasátého vzduchu.

Dle velikosti zachycených částic rozdělujeme olejové filtry do dvou skupin:

- Hrubé filtry: zachycují částice větší jak  $40\mu\text{m}$
- Jemné filtry: zachycují částice od 1 až  $2\mu\text{m}$

Podle zapojení filtrů v mazacím systému:

- Plnoprůtočné filtry: proudí jimi veškeré množství oleje podávané čerpadlem do mazacího systému
- Obtokové filtry: čistí pouze část oleje dodávaného čerpadlem, přičemž zfiltrovaný olej neproudí do mazacího systému, ale vrací se do olejové vany.



Při použití hrubého a jemného filtru v jednom mazacím systému je hrubý filtr zkonstruován jako plnoprůtočný a jemný plní funkci obtokového filtru.

Podle konstrukčního provedení dělíme olejové filtry:

- Štěrbínové filtry: velikosti zachycených částic jsou definovány velikostí štěrbin filtračních elementů
- Objemové filtry: částice jsou zachycovány v objemu filtrační vložky, tvořené například plstěným válečkem
- S papírovou filtrační vložkou: dnes jsou nejpoužívanější, tvořené papírovými filtry



Obrázek 8: Olejový papír s papírovou vložkou ([www.autovyfuky.cz](http://www.autovyfuky.cz))

- Odstředivé filtry: pracují na principu zachycování částic o vyšší hustotě, než má olej, působením odstředivé síly, na vnitřních stěnách rotujících těles.

### 2.3 Chladiče oleje

Motorový olej se důsledkem tření a odvodem tepla z rozehřátých dílů motoru zahřívá. Je tedy nutné jej chladit.

U osobních a lehkých nákladních vozidel postačuje jako chladič oleje spodní víko motoru, kdy teplo prostupuje stěnou víka do prostoru a je odváděno proudícím vzduchem pryč. Tyto motory často pracují v režimu částečného zatížení a při

maximálním zatížení, je rychlost vzduchu i tak dostačující k uchlazení motorového oleje.

U více namáhaných motorů je možné objevit přídavná trubková chladicí zařízení, která zvětšují chlazený povrch materiálu, jímž protéká ohřátý olej. Dnes se však více využívá chladiče olej-voda, který má hlavní výhodu, že nejen chladí olej, ale dokáže jej při studených startech naopak rychleji ohřívat. (VLK, 2003)

### 3 MOTOROVÉ OLEJE

Zásadní vliv na provoz motoru mají motorové oleje. Mezi jejich základní funkce řadíme mazání motorových segmentů a chlazení, kdy dochází k odvodu tepla vzniklého třením a hořením v bloku motoru. K vedlejším funkcím je možné zařadit odstraňování nečistot, ochrana před korozí a dotěsněním spalovacího prostoru, zejména v oblasti pístních kroužků a tlumení hluku. (www.pneu-asistent.cz, 2014)

Během chodu motoru vzniká na stykových plochách tření kapalinné nebo tření polosuché. U prvního typu tření vzniká tenká vrstvička oleje, která odděluje jednotlivé třecí plochy a zabraňuje tak nežádoucímu otěru jednotlivých částí. U polosuchého tření dochází k částečnému otěru mezi jednotlivými díly motoru. (VLK, 2006)

- **Kapalinné (hydraulické) tření** se vyskytuje u ložisek klikového a vačkového hřídele a je umožněno přívodem tlakového oleje do ložiska. Vedle dostatečného přívodu oleje je podmínkou vzniku hydraulického tření i určitá minimální rychlost vzájemného pohybu třecích ploch a vznik mazacího klínu na vstupu do zatížené části ložiska
- **Mezní, polosuché tření** je umožněno polárními molekulami minerálního oleje, které jedním svým koncem přilnou ke kovovému povrchu třecích ploch, pokryjí celou stykovou plochu a spolu s volnými molekulami oleje vytvoří mezní vrstvu. V této vrstvě dochází k nárazům molekul na sebe a v nejzatíženějších místech dochází i ke styku kovových povrchů. Opotřebením povrchů i třecí ztráty jsou v tomto případě podstatně vyšší než u tření kapalinného. Mezní tření se vyskytuje na všech třecích plochách motoru, které nejsou tlakově mazány. Ale i v případě tlakového mazání ložisek klikového hřídele existují provozní režimy motoru, kdy dochází k polosuchému tření. Jedná se o start a doběh motoru. V těchto případech olejové čerpadlo nedodává dostatečné množství oleje a vzájemné rychlosti mazaných povrchů jsou příliš malé. K překonání těchto krátkodobých stavů slouží vlastnosti ložiskových kovů a pánví, které jsou schopny zabezpečit pro

potřebnou dobu odvod zvýšeného tepla vznikajícího při mezním tření.(VLK, 2006)

Primární funkcí motorových olejů je promazávání jednotlivých dílů motoru. Toho můžeme docílit pouze hydraulickým třením, kdy vzniklý tenký olejový film oddělí třecí plochy těles a zamezí zvýšenému opotřebení povrchu.

Míra tření je tak převáděna z polosuchého tření na tření kapalinné. Dále je zcela nutné zamezit jakémukoli suchému tření, jež je nepřijatelné pro správný a dlouhodobý chod motoru. Těmito aspekty je dosaženo dlouhodobé životnosti a snížení odporu proti pohybu součástí. Stejně jako ostatní součásti motoru prošlo i mazání svým vlastním vývojem. U dnešních vozidlových motorů se používá převážně mazání tlakové, kdy motorový olej je dopravován k potřebným místům pomocí tlakového olejového čerpadla. (VLK, 2006)

### **3.1 Tribotechnika**

Tribotechnika je disciplína aplikující vědní výsledky z tribologie do praxe. Přitom tribologie je nauka, která se zabývá chováním dotýkajících se povrchů ve vzájemném pohybu nebo při pokusu o vzájemný pohyb. Jde tedy o tření, opotřebení a mazání. Při vzájemném působení povrchů v pohybu dochází k odporu proti pohybu (tření). Tření a opotřebení se zmenšuje mazáním, přitom mazivem může být látka jakéhokoliv skupenství. (www.tribotechnika.cz, 2015)

Do tribotechniky se zařazuje:

- maziva a jejich testování
- výběr a způsoby použití maziv
- technika a technologie mazání
- materiály pro třecí dvojice
- konstrukce a výpočty třecích dvojic
- měřicí a kontrolní metody
- spolehlivost a diagnostika

V praxi je tribotechnika nazývána jako tribodiagnostická analýza olejových náplní. Z této analýzy lze získat dva druhy informací o stavu součásti, a to aktuální stav zkoumaného strojního segmentu a aktuální stav oleje. Z těchto informací můžeme spolu s dalšími diagnostickými metodami jako vytvořit závěr o možných kvalitách a životnosti strojního zařízení.

Při rozhodování se vychází z doporučení mezních hodnot výrobců, z vlastních zkušeností a ze zkušeností jiných expertů v oboru. Jako největší úskalí při aplikaci tribodiagnostiky se jeví samotný odběr olejových vzorků pro analýzu. S tribodiagnostikou by se nemělo začínat před tím, než budou vytvořena vhodná odběrová místa. I proškolení pracovníci budou provádět odběry na různých místech, s odlišným postupem a s různou kvalitou. Nesprávnost odběru se projeví hlavně při stanovování nečistot a vody v oleji. (www.crc.cz, 2010)

Pro odběr vzorků je vhodné vytvořit vždy stejně definované podmínky v souladu se standardy následujících zkušebních metod. Mezi základní parametry při odběru vzorků se řadí: zahřátí oleje na provozní teplotu, dostatečné promísení oleje, vzorek by měl být odebrán z výtokového potrubí nebo před filtrem a jako poslední je zamezení dolévání nového oleje. Tím by se výsledky testů mohli velmi odchýlit od dosavadního charakteru kvality oleje.

## **3.2 Klasifikace motorových olejů**

Důvod vzniku klasifikačních tříd motorových olejů byl sjednocení a jednotné značení vlastností olejů. Motorový olej pro svou technickou náročnost je složitý produkt, který je hodnocen mnoha parametry. Pro volbu správného motorového oleje jsou převážně důležité dva hlavní parametry, a to viskozita oleje a jeho výkonnostní klasifikace. (VLK, 2006)

### **3.2.1 Viskozitní klasifikace SAE**

Klasifikace SAE J300 SEP 84 vznikla v americké společnosti automobilových inženýrů (Society of Automotive Engineers). Viskozitní třídy klasifikace SAE se zpravidla uvádí pomocí dvou číslic:

- **První číslo neboli zimní značení** vymezuje tzv. "startovatelnost" motoru při nízkých teplotách. Obecně platí, že čím nižší je číslo zimní třídy, tím nižší může být teplota okolí při zachování tekutosti oleje dostatečné pro snadné spuštění motoru a rychlý přesun oleje na potřebná místa, tzn.: olej není příliš viskózní ("hustý"). Motorové oleje 0W umožňují bezproblémové startování motoru i při teplotách pod  $-50^{\circ}\text{C}$ , oleje 5W při teplotách okolo  $-40^{\circ}\text{C}$  atd. (platí pouze orientačně, tento údaj závisí do značné míry také na typu a velikosti motoru). V dnešní době se více prosazují oleje s nižším zimním číslem. Je to pro kvalitnější ochranu u studených startů, kdy na namáhaných místech není dostatečné množství oleje. (www.oleje.cz, 2011)
- **Druhé číslo neboli letní značení** pojednává o viskozitě oleje za vysokých letních teplot a při provozních teplotách motoru. Základem vyšší hodnoty tohoto čísla je, že olej při provozu vozidla bude hustější a tím bude klást vyšší odpor proti pohybu třecích ploch jednotlivých segmentů. V praxi se ukázalo, že pro evropské klimatické podmínky jsou třídy 40, resp. 50 plně dostačující, oleje třídy 60 mohou zapříčinit mírné snížení výkonu motoru. (www.oleje.cz, 2011)

Tabulka 1: Vis. klasifikace SAE J300 (www.tribotechnika.cz)

Viskozitní třída SAE	Vlastnosti za nízkých teplot				Vlastnosti za vysokých teplot		
	Dynamická viskozita		Čerpatelnost		Kinematická viskozita při 100 °C		Viskozita *) min. mPa·s
	mPa·s	max. při °C	mPa·s	max. při °C	min. mm <sup>2</sup> /s	max. mm <sup>2</sup> /s	
0W	6200	-35	60.00	-40	3,8		
5W	6600	-30	60.00	-35	3,8		
10W	7000	-25	60.00	-30	4,1		
15W	7000	-20	60.00	-25	5,6		
20W	9500	-15	60.00	-20	5,6		
25W	13000	-10	60.00	-15	9,3		
16					6,1	<8,2	2,3
20					6,9	< 9,3	2,6
30					9,3	< 12,5	2,9
40 a					12,5	< 16,3	2,9
40 b					12,5	< 16,3	3,7
50					16,3	< 21,9	3,7
60					21,9	< 26,1	3,7

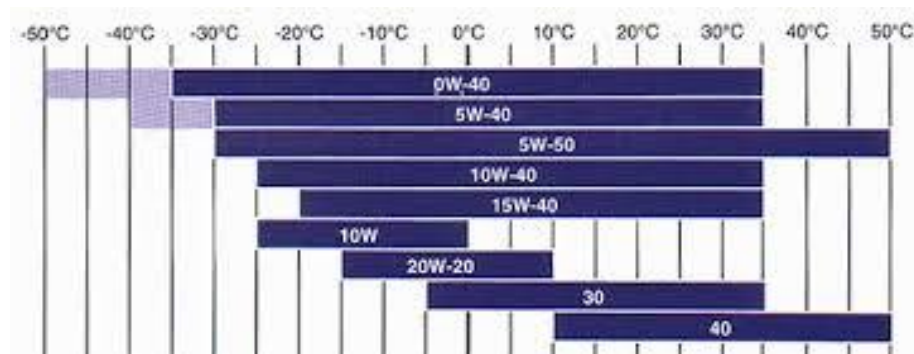
Parametr CCS (Cold Cranking Simulator) je parametr využívaný pro měření dynamické viskozity (jednotkou je Poise [P]). Tento parametr věrně napodobuje situaci při studených startech, za nízkých teplot a velkém smykovém pádu u kluzného ložiska smykového hřídele.

Oleje se podle viskozitní klasifikace dělí na jednostupňové a vícestupňové. Kriteériem tohoto dělení je hodnota viskozitního indexu oleje. Jednostupňové oleje mají viskozitní index nižší než 90, pokrývají tak rozsah pouze jedné viskozitní třídy a je možné je používat podle určení buď výhradně v letním, nebo v zimním období. Na rozdíl od více stupňových olejů, které mají hodnotu viskozitního indexu v mezích 130 až 200,

pokrývají více viskozitních tříd a je možné je tak využívat celoročně v provozu motoru. (VLK, 2006)

Dnes jsou nejvíce využívány oleje se značením: 0W-40, 5W-40 a 10W-40, které jsou vícestupňové a umožňují tak kvalitní mazání v širokém pásmu teplot.

**Tabulka 2: Doporučené viskozitní třídy SAE motorových olejů podle vnějších teplot (°C) (www.oleje.cz)**



### 3.2.2 Výkonnostní klasifikace

Tato klasifikace nám udává okamžitý a dlouhodobý přehled o vlastnostech motorového oleje při proměnných formách zatížení spalovacího motoru. Mezi charakteristické vlastnosti, které se převážně hodnotí u výkonnostní klasifikace, patří ochrana proti otěru, koroze stěn válců, oxidace, ochrana proti tvorbě usazenin, pění oleje úspora paliva, atd. Dnes existuje několik výkonnostních norem podle, kterých se hodnotí kvalita oleje:

- klasifikace API (American Petroleum Institute, USA)
- klasifikace CCMC (Comite des Constructeurs automobile du Marché Commun, EU)
- klasifikace ACEA (Association des Constructeurs Européenes automobile, EU)
- firemní normy společností vyrábějící vozidla (BMW, VW, MAN...)
- klasifikace MIL-L (norma americké armády)



- jiné klasifikace (např.: ILSAC)

V dnešní době jsou nejpreferovanější klasifikace dle normy API, ACEA a firemní normy společností vyrábějící vozidla. Norma CCMC je zastaralá a prakticky se skoro nepoužívá. Klasifikace MIL-L je převážně využívána americkou armádou a výrobce nákladních vozidel. (www.oleje.cz, 2011)

### 3.2.2.1 Výkonnostní klasifikace API

Jednou ze starších ale dosud používaných je klasifikace API. Norma je specifikována zvlášť pro motory benzínové a zvlášť pro motory naftové. Popisuje výkonnost motorových olejů symbolem složeným z písmen, případně číslic. Oleje označené na začátku písmenem S (Service) jsou určeny pro benzínové (zážehové) motory, oleje označené písmenem C (Commercial) jsou určeny pro diesellové (vznětové) motory. Druhé písmeno v označení určuje vlastní výkonnost (užitné vlastnosti) oleje, přičemž symboly jsou řazeny alfabetycky, tj. A, B, C atd. V zásadě platí, že čím je toto písmeno dále v abecedě, tím kvalitnější je olej. (VLK, 2006)

Norma API je tvořena pro americké vysoko-objemové motory, a proto úplně nevyhovuje požadavkům evropských motorů, které jsou konstrukčně a výkonově odlišné, což se odráží na požadavcích v obsahu přísad v olejích.

Skupina „C“ – naftové motory		
Třída API	Popis olejů	Platnost cca od r.v.
CA	Oleje pro málo zatěžované motory.	1940-60
CB	Oleje pro motory s nízkým až středním zatížením.	1949-64
CC	Oleje pro střední a těžké provozní podmínky (přepřihované motory).	1964-70
CD	Oleje pro zatěžované motory zejména přepřihované. V roce 1993 nahrazena třídou CF.	1970-79
CD-II	Stejně jako CD, navíc pro dvoudobé naftové motory. V r. 93 nahrazena CF-2.	1978
CE	Oleje pro těžce namáhané a rychloběžné motory zejména přepřihované.	1983
CF	Oleje pro namáhané motory zejména terénních vozidel. Nahrazuje třídu CD.	1994
CF-2	Stejně jako CF, navíc pro dvoudobé naftové motory. Málo používaná.	1994
CF-4	Oleje pro moderní čtyřdobé motory (těžké tahače v dálničním provozu).	1990
CG-4	Oleje pro moderní čtyřdobé motory (motory rychloběžné, splňující emisní limity).	1996
CH-4	Oleje pro vysokootáčkové čtyřdobé motory, vyžadující splnění emisních norem.	1998
CI-4	Oleje pro vysokootáčkové čtyřdobé motory, vyžadující splnění emisních norem (s EGR).	2002
CI-4 Plus	Plus Oleje pro vysokootáčkové čtyřdobé motory, vyžadující splnění emisních norem (s EGR).	2004

Obrázek 9: API klasifikace olejů pro diesellové motory (www.paramo.cz)

### 3.2.2.2 Výkonnostní klasifikace ACEA

Výkonnostní klasifikace ACEA je platnou normou od roku 1997, kdy nahradila starší klasifikaci CCMC. Norma ACEA se skládá ze čtyř částí:

- písmeno A označuje oleje pro benzínové motory
- písmeno B označuje oleje pro diesellové motory osobních vozidel
- písmeno C označuje oleje pro motory vybavené částicovými filtry vozidel
- písmeno E označuje oleje pro diesellové motory nákladních vozidel

Kvalita a výkonnost oleje je dále značena číslicí uváděnou za písmenem dané třídy. Číslice začínají od „1“ a v zásadě platí, čím je číslo vyšší tím je kvalita oleje lepší.

Například specifikace ACEA A5/B5 jsou určeny pro moderní a velmi výkonné oleje se sníženou HTHS viskozitou mezi 2,9 až 3,5mPa.s (u longlife olejů pro VW). Vzhledem ke snížené viskozitě tyto oleje nelze použít do motorů, kde jsou doporučeny A4/B3,B4. (VLK, 2006)

Skupina „E“ – oleje pro vznětové motory nákladních automobilů	
Třída ACEA	Poznámka
E1	Základní výkonová úroveň motorové oleje pro moderní naftové motory nákladních automobilů (již ne-platné).
E2	Standardní motorové oleje pro moderní naftové motory nákladních automobilů pro prodloužené intervaly výměn.
E3	Motorové oleje s vysokou výkonovou rezervou pro moderní naftové motory nákladních automobilů pro výrazně prodloužené intervaly výměn (již neplatné).
E4	Motorové oleje s velmi vysokou výkonovou rezervou pro extrémní prodloužení intervalu výměny.
E5	Motorové oleje s vysokou výkonovou rezervou určené zejména pro naftové motory nákladních automobilů s možností prodloužení intervalu výměny.
E6	Motorové oleje pro naftové motory nákladních automobilů pro extrémní prodloužené intervaly výměn s kontrolou obsahu sulfátového popela, síry a fosforu splňující emisní limity EURO I-V. Jsou vhodné pro motory se systémem EGR, DPF a SCR. Třída E6 je zvláště doporučována pro motory s DPF systémy, které spalují palivo s nízkým obsahem síry (50 ppm).
E7	Motorové oleje pro naftové motory nákladních automobilů pro prodloužené intervaly výměn s nízkým obsahem sulfátového popela, síry a fosforu splňující emisní limity EURO I-V. Jsou vhodné pro motory se systémem EGR nebo SCR, není vhodný pro systémy DPF.
E9	Motorové oleje pro naftové motory nákladních automobilů se zlepšenou ochranou proti opotřebení, úsadám a sazím se sníženým obsahem sulfátového popela, síry a fosforu splňující emisní limity EURO I-V včetně prodloužených intervalů výměny oleje. Jsou vhodné pro motory bez i s DPF a pro většinu motorů s EGR a SCR. Zvláště doporučeno pro nízkosírné palivo.

Obrázek 10:Klasifikace olejů ACEA pro diesellové motory nákladních vozidel (www.paramo.cz)

### 3.2.2.2.1 Výkonnostní klasifikace výrobců motorů a automobilů

Světoví výrobci automobilů často vyvíjejí pro své motory firemní předpisy, jejichž splnění vede ke kompatibilitě motorových olejů jednotlivých olejářských výrobců. Nejčastější firemní normy používané v Evropě jsou předpisy VW a MB. Dnes se s firemními předpisy na motorové oleje můžeme setkat de facto u všech světových výrobců automobilů, kdy někteří mají vlastní předpisy a výrobci olejů se přizpůsobují daným požadavkům nebo výrobci vozidel přímo doporučují určitý olej daného výrobce.

Schválení VW – (Volkswagen)	
Norma VW	Poznámka
500.00	Lehkoběžné oleje pro benzínové a nepřepřítňované naftové motory. Pouze pro oleje třídy SAE 5W-XX a 10W-XX.
501.00	Konvenční vícerozsahové motorové oleje bez lehkoběžného charakteru pro benzínové a nepřepřítňované naftové motory.
501.01	Konvenční vícerozsahové motorové oleje bez lehkoběžného charakteru pro benzínové a nepřepřítňované naftové motory.
502.00	Lehkoběžné oleje pro benzínové motory při ztížených podmínkách použití. Pro oleje třídy SAE 0W-XX, 5W-XX a 10W-XX.
503.00	Benzínové motory osobních vozidel s prodlouženými intervaly výměny oleje (WIV 30.000 km, 2 roky).
503.01	Přepřítňované benzínové motory osobních vozidel s prodlouženými intervaly výměny oleje (WIV 30.000 km, 2 roky).
505.00	Celoroční motorový olej pro přepřítňované i nepřepřítňované naftové motory.
505.01	Celoroční motorový olej speciálně pro naftové motory Pumpe-Düse (čerpadlo-tryska).
506.00	Oleje pro naftové motory s prodlouženým výměnným intervalem (WIV 30.000, 2 roky).
506.01	Oleje pro naftové motory Pumpe-Düse s prodlouženým výměnným intervalem (WIV 30.000, 2 roky).
504.00	Oleje s normou VW 504 00 jsou určeny pro benzínové motory a lze jimi nahradit oleje VW norem: VW 501 01, VW 502 00, VW 503 00, VW 503 01.
507.00	Oleje s normou VW 507 00 jsou určeny pro naftové motory a lze jimi nahradit oleje VW norem: VW 506 00 a VW 506 01, pro pevný interval výměny i 500 00, 505 00 a 505 01.

**Obrázek 11: Výkonnostní klasifikace výrobců motorů a automobilů (www.paramo.cz)**

## 4 VLASTNOSTI MOTOROVÝCH OLEJŮ

Pro splnění požadovaných funkcí oleje v motoru musím mít motorové oleje vhodné vlastnosti a vzhledem k požadovanému dlouhodobému zabezpečení plynulého a hospodárného provozu se po nich vyžaduje, aby si je po co nejdelší dobu zachovaly za všech provozních podmínek. Jednotlivé složky motorového oleje, to znamená jejich vzájemný poměr a množství musí být nastaveno tak, aby byla splněna podmínka určité rovnováhy vlastností. Nikdy nesmí být jedna vlastnost zvýrazněna oproti jiné vlastnosti motorového oleje. (STRAKA, 1986)

### 4.1 Obecné vlastnosti motorových olejů

Mezi základní vlastnost motorových olejů řadíme:

- **Teplná vodivost** olejů je nízká, což má za následek vzniku usazenin na teplejších plochách výměníku a zdatelně snižuje prostup tepla.
- **Hustota** polysyntetických a minerálních olejů leží mezi 870-950 kg/m<sup>3</sup> při teplotě okolí +20°C. U syntetických maziv je hustota o něco vyšší a leží na hranici mezi 950-1050 kg/m<sup>3</sup>
- **Teplota tuhnutí:** ochlazováním ropných olejů, za dané teploty, se začínají z oleje vylučovat krystaly tuhých uhlovodíků. Zákal parafinového oleje však může být vyvolán i vylučováním vody ve formě ledu z rozpuštěné vlhkosti. Následným ochlazováním motorových olejů se vytvořená mřížka parafinů postupně zpevňuje, až zcela znemožní pohyb oleje (pravá teplota tuhnutí). U neparafinovaných olejů při snížení teploty klesá tekutost oleje z důvodu zvyšující se viskozity. (STRAKA, 1986)
- **Dielektrická pevnost** je schopnost odolávat el. napětí a měří se napětím, při kterém přeskochí mezi póly, vzdálenými 2,54mm, ponořenými v měřeném palivu. Dielektrické odolnost je určena převážně druhem maziva, ale také může být oslabena nevhodnými příměsemi jako je voda a kyseliny.
- **Teplota vzplanutí a bod hoření:** Motorové oleje jsou význačné malým obsahem par, nízkou odporností a vysokými teplotami varu, vzplanutí

a hoření. Hlavním faktorem, ovlivňující teplotu vzplanutí, je frakční a chemické složení. Teplota vzplanutí je velmi citlivá na přítomnost lehkých prachových podílů v oleji. (STRAKA, 1986)

- **Kyselost maziva** je posuzována poměrem hydroxidu draselného nutného k neutralizaci oleje. Tato hodnota je známá jako neutralizační číslo nebo číslo kyselosti (Total acid number, TAM). Znalost kyselosti oleje je důležitá pro skutečnost, že velké množství kyselin obsažených v olejích rozrušuje materiály a zejména izolaci motoru.
- **Tepelná stálost** je vlastnost, při které nedochází ke změně hlavních požadavků na olej změnou teploty. Tepelná stálost je měřena pomocí zatavené trubice.

## 4.2 Viskozita motorových olejů

Viskozita se řadí mezi jednu z nejdůležitějších vlastností motorových olejů. Jednak určuje tvorbu kapalinného tření, únosnost mazacího filmu, těsnicí schopnost, čerpatelnost a sílu odporu oleje za studených startů.

Viskozita je mírou vnitřního tření v kapalině tj. odpor proti vzájemnému posunu molekul tekutin. U olejů je převážně sledována závislost viskozity oleje na teplotě, protože automobilové motory pracují v širokém teplotním rozhraní.

- **Dynamická viskozita:** Při laminárním proudění reálné tekutiny vzniká v důsledku mezimolekulárních sil ve stykové ploše dvou vrstev pohybujících se různou rychlostí  $v$  tečné napětí  $\tau$ , jímž se snaží rychlejší vrstva urychlovat vrstvu pomalejší a ta naopak zpomalovat vrstvu rychlejší. Podle Newtona je toto tečné napětí přímo úměrné gradientu rychlosti  $\frac{dv}{dy}$ , tj. přírůstku rychlosti  $dv$  mezi dvěma přiléhajícími vrstvami dělenému vzdáleností vrstev  $dy$ .

Platí: 
$$\tau = \eta * \frac{dv}{dy} \text{ [kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}\text{]}$$

Kde:  $\eta$ ...koeficient dynamické viskozity (dynamická viskozita), [N·s·m<sup>-2</sup>]

$\nu$ ... kinetická viskozita [m<sup>2</sup>·s<sup>-1</sup>]

$\rho$ ... hustota [kg·m<sup>-3</sup>]

$\tau$ ... smykové (tečné) napětí paralelní s laminárním tokem [Pa]

$v$  ... rychlost ve směru x [m·s<sup>-2</sup>]

kde konstanta  $\eta$  se nazývá dynamická viskozita. V soustavě SI vyjadřuje sílu v Newtonech, která je zapotřebí, aby se vrstva o ploše 1m<sup>2</sup> posunula oproti stejné vrstvičce ve vzdálenosti 1m o 1m ve vodorovné rovině. Hlavní jednotkou dynamické viskozity je N·s·m<sup>-2</sup>. (www.vscht.cz)

- **Viskozita kinetická:** Z praktického hlediska byla zavedena tzv. kinematická viskozita definovaná poměrem dynamické viskozity a hustoty dané látky. Kinetická viskozita se značí písmenem  $\nu$  a má jednotku m<sup>2</sup>/s. (www.vscht.cz)

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

Viskozita se řadí mezi jednu z měřitelných veličin, která se využívá pro výpočet tření a únosnosti olejového filmu při daných technických podmínkách. Znamená to, že viskozitu můžeme využít při porovnávání a vyjádření mazací schopnosti maziva v daných podmínkách. Čím je hodnota viskozity vyšší, tím je únosnost mazacího filmu větší, avšak tím roste také energetická náročnost vynaložená na překonání třecí síly.

Viskozitou lze stanovit tvorbu a únosnost mazacího filmu, sílu odporu pohybujících se částí a čerpatelnost, která udává chování motorového oleje za nízkých a charakterizuje schopnost průtoku olejovým čerpadlem.

Pro motorové oleje má mimořádný praktický význam závislost viskozity oleje na teplotě, protože motorové oleje pracují ve velmi širokém teplotním rozmezí. Pro charakterizaci závislosti viskozity motorového oleje na teplotě byl zaveden viskózní index (VI).

Teplotně viskózní závislost zkoušeného oleje se porovnává s olejem, u něhož se mění viskozita málo ( $VI=100$ ), a s olejem s velkou změnou viskozity ( $VI=0$ ). (STRAKA, 1986)

Viskozitní index se vypočte ze vztahu:

$$VI = \frac{L - U}{L - H} \times 100 = \frac{L - U}{D} \times 100$$

Kde: L... je viskozita [ $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ] oleje s  $VI=0$  při  $100^\circ\text{F}$  ( $37,78^\circ\text{C}$ ), jehož viskozita při  $210^\circ\text{F}$  ( $98,89^\circ\text{C}$ ) je stejná jako viskozita zkoušeného oleje při stejné teplotě.

U... je viskozita [ $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ] zkoušeného oleje při  $100^\circ\text{F}$

H... je viskozita [ $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ] oleje s  $VI=100$  při  $100^\circ\text{F}$ , jehož viskozita při  $210^\circ\text{F}$  je stejná jako viskozita zkoušeného oleje při stejné teplotě.

D... (H-L)

Hodnota pro L, H a D pro změřenou kinetickou viskozitu zkoušeného oleje při  $210^\circ\text{F}$  jsou uvedeny v tabulkách. Uvedený způsob výpočtu VI není vhodný pro oleje s velmi vysokými VI, jakými jsou některé motorové a syntetické oleje. Pro tento problém byly navrženy náhradní způsoby řešení. V souvislosti s přechodem na soustavu jednotek SI byl v ISO vypracován návrh metody pro výpočet VI z viskozit změřených při teplotách  $40^\circ\text{C}$  a  $100^\circ\text{C}$ . (STRAKA, 1986)

### 4.3 Aditivace motorových olejů

Motorové oleje jsou významné pro svou práci v náročných podmínkách. Aby však zde mohli pracovat, musí je upravit jejich vlastnosti přidáním látek, které zlepšují některé potřebné vlastnosti oleje. Aditiva jsou potřebná díky své chemické struktuře a koncentraci v motorovém oleji. Při použití vyššího množství přísad může docházet k vzájemnému ovlivnění přidaných aditiv.

Aditiva jsou chemické přísady, které zlepšují vlastnosti olejů a plastických maziv. Druhy aditiv a jejich množství se liší podle způsobů užití maziv. Obsah aditiv v olejích se pohybuje v rozsahu od 1 do 25%. Druhy a množství aditiv stanovují výrobci na základě norem a praktických zkoušek. Aditiva do olejů se používají pro několik účinků:

čištění motoru, dotěsnění motoru, snížení tření a zlepšení studených startů. Jsou odlišné pro motorové, převodové a hydraulické oleje. Mohou být vyrobeny za použití cizorodých příměsí na bázi PTEF, kovů, chloru a síry. Druhá cesta výroby je na bázi ropných destilátů, fungující na principu permanentní difuze maziv do povrchu kovů. Aditiva vyrobená na bázi ropných destilátů jsou více ekologická než aditiva na bázi chloru a síry. (VLK, 2006)

Aditiva je možné dle chemické struktury rozdělit do dvou skupin:

- **Polární aditiva:** Velké množství aditiv jsou tzv. povrchově aktivní - 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:** povrchově aktivní, tzn., že 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. (www.oleje.cz)

#### 4.3.1 Aditiva pro ochranu povrchu

- **Detergenty:** odstraňují produkty stárnutí oleje, které se vylučují na stěnách pístu a válce. Po vypálení by se tyto usazeniny staly uhlíkatými látkami, které by zhoršovaly přestup tepla. Zamezují usazování nečistot na povrchu, případně vytvořené nečistoty dále rozpouštějí. Detergenty zlepšují přilnavost maziva k povrchu jednotlivých segmentů motoru. Tyto aditiva dále hrají významnou roli v ochraně pístů ve válci, kde vlivem vysokých teplot dochází k uvolnění uhlíku, který má tendenci se usazovat na pracovních plochách pístu. Vytvořené usazeniny způsobují dva zásadní problémy a to poškrábání stěn válce nebo změnu jeho geometrického tvaru. (VLK, 2006)



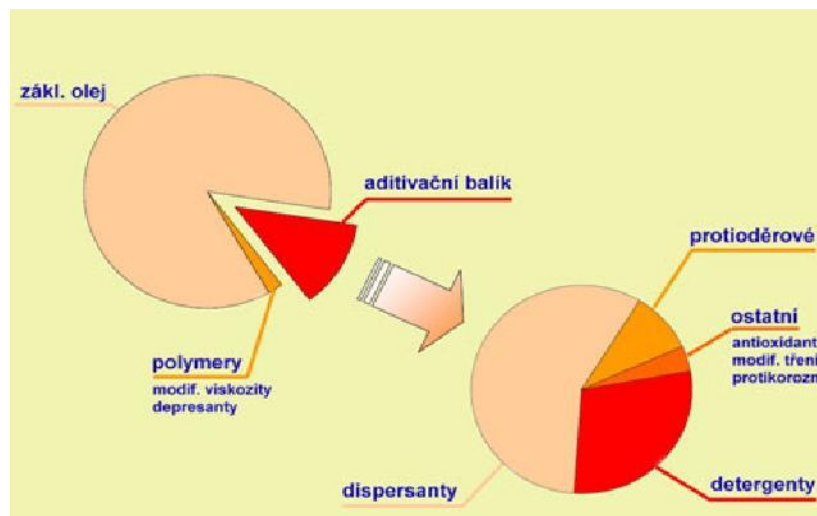
- **Disperzanty:** Zabraňují tvorbě usazenin, které se tvoří především za nižších provozních teplot. Disperzanty obalí mikroskopické mechanické nebo kapalné nečistoty a zamezí tak jejich koncentraci a usazování. Nečistoty se vlivem disperzantu vznášejí rovnoměrně v celém objemu maziva. Zamezí se tak zablokování olejových kanálů a filtrů. (www.oleje.cz)
- **Aditiva pro ochranu proti vysokému tlaku a opotřebení:** Hlavním vlastností je vytvořit pomocí chemické reakce odolnou vrstvu na stykové ploše dvou částí, kde dochází vzájemným působením částí ke vzniku nadměrného tlaku.
- **Aditiva pro ochranu proti korozi:** Tato aditiva vytvářejí na povrchu kovů ochranný film, který brání oxidaci kovového povrchu. K oxidaci povrchů kovů může docházet například vlivem agresivních sloučenin vznikajících ve válci motoru při spalování palivové směsi.(www.oleje.cz)
- **Aditiva upravující tření:** Aditiva snižují tření mezi třecími povrchy na technologicky požadovanou hodnotu.

Pro zlepšení jakosti olejů slouží modifikátory viskozity, snižovače bodu tuhnutí a látky bobtnání elastomerů. Elastomer je makromolekulární látka, která se rychle vrací do původních rozměrů, z nichž byla deformována malým napětím. (VLK, 2006)

#### 4.3.2 Aditiva pro ochranu oleje

- **Antioxidanty:** Zpomalení průběhu oxidace oleje.
- **Modifikátory viskozity:** Upravují viskozitu oleje- pro velmi nízké teploty je zapotřebí co nejtříšší olej, při vysokých teplotách je nutný dostatečný nosný film maziva, tedy hustý olej. 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 teplotou viskozita oleje stoupá a naopak, se zvyšující se teplotou viskozita oleje klesá. Změny viskozity oleje mají také vliv na tloušťku mazacího filmu a na ztráty energie, která vniká překonáváním maziva. Například látky pro zamezení bobtnání elastomerů zpomalují stárnutí gumových a plastových částí motoru, která jsou ve styku s mazivem. A dále zpomalovače stárnutí omezují chemickou degradaci oleje, ke které dochází především za vysokých teplot. Degradaci oleje tmavnou a dochází ke zvýšení viskozity. (VLK, 2006)

- **Třecí přísady:** Látky upravující koeficient tření na požadovanou hodnotu.
- **Protikorozní přísady (antikoroďanty):** eliminují vytváření korozivních kyselin a vytvářejí ochranný povlak na provozních částech motoru.
- **Protipěnicí přísady:** Jsou potřebným činitelem k urychlení rozpadu pěny, která má za následek snížení mazivosti a rychlejší opotřebení oleje. Intenzivním promícháním oleje se vzduchem dochází k tvorbě pěny, která zvyšuje stlačitelnost maziva a může způsobit únik oleje ze zařízení.
- **Deaktivátory kovů:** Aditiva, která neutralizují ionty kovů v oleji a vytváří na povrchu kovů ochranný film. Tato vrstva potom zeslabuje nebo úplně ukončuje katalytickou reakci. Kovové částičky, které vznikají třením kovu o kov, působí jako katalyzátor chemických degradačních olejů. Vznikem ochranného filmu okolo částic kovu je zamezeno průběhu katalytickým reakcím a tím je také zpomaleno stárnutí oleje.



Obrázek 12: Složení motorového oleje (www.oleje.cz)

#### 4.3.3 Dodatečná aditiva do motorových olejů

Dodatečná aditiva většinou jiné mazivostní látky, než jsou v motorovém oleji. Mazivostní přísady v dodatečných aditivech jsou většinou účinnější než ty, které jsou v motorovém oleji, a opravdu při jejich použití dochází k mírnému snížení tření. Kvalitní motorový olej má motor chránit proti korozi, a proto je vyroben tak, a proto je

vyroben tak, aby dobře mazal i při mezním či suchém tření a současně nezpůsobil korozi motoru. To u dodatečných mazivostních přísad neplatí. Každé zlepšení mazivosti je doprovázeno velkým nebezpečím korozivního působení, nebezpečné jsou zejména produkty rozkladu těchto dodatečných přísad. Mezi tyto přísady se řadí látky s obsahem chloru. (ČERNÝ, 2005)

## **5 DIAGNOSTIKA MOTOROVÝCH OLEJŮ**

Činnost Tribotechnické diagnostiky (TTD) vychází z poznání, že motorový olej po dané době práce v naftovém motoru odráží přesně jeho stav a podmínky motoru. Exploatovaný olej je kvalitním tribotechnickým informačním zdrojem o režimu opotřebení motoru. Práce TTD je založena na analýze exploatovaného motorového oleje, která je podle potřeby doplněna i rozborem úsad čistého oleje. (STRAKA, 1986)

TTD je založena na zkoumání a sledování průběhu degradace oleje v motoru a vychází z posouzení významu intenzity a stupně degradace oleje na změnu jeho užitečných vlastností a tím na jeho schopnost zabezpečit bezporuchový provoz naftového motoru. (STRAKA, 1986)

### **5.1 Stanovení množství nerozpustných látek (NRL)**

Tato zkouška je převážně určena pro kvantitativní stanovení množství nerozpustných látek v exploatovaných aktivovaných motorových olejích. Nerozpustné látky podle této zkoušky jsou všechny tuhé částice obsažené ve vzorku, které jsou nerozpustné ve směsi HEO (n-hexan, etanol a kyselina olejová). Základem zkoušky je řadění vzorku oleje směsí HEO a separaci NRL odstředěním až do vyčeření roztoku. Hodnota NRL se zjistí až po slití čirého roztoku, po vysušení a zvážení je nakonec vyjádřena ve hmotnostním procentu. (VLK, 2006)

### **5.2 Stanovení teploty vzplanutí v otevřeném kelímku**

Teplota vznícení je určena stavem, kdy kelímek naplněný hořlavou kapalinou je zahříván v předem definovaném přístroji za definovaných podmínek. Při těchto okolnostech dochází k uvolňování par a následnému mísení par s okolím vzduchem. Po

přibližení zkušebního plamene směs vzplane a opět zhasne. Teplota vzplanutí je vyjádřena stupněm Celsia. Stanovení teploty vzplanutí se provádí v tmavé místnosti, chráněné před průvanem.

Postup zkoušky probíhá tak, že se nejprve naplní kelímek vzorkem po značku. Teploměr se umístí tak, aby byl mezi stěnou a středem kelímku a 6mm ode dna nádoby. Pod středem kelímku je ohřívač, který nám zajišťuje vyhřívání oleje, zpočátku se stoupáním teploty o 15 °C za minutu. Od 56°C se rychlost vyhřívání sníží na 5-6 °C za minutu. V tuto chvíli se začne používat zkušební plamen ve frekvenci nárůstu teploty oleje o každé 2 °C. Jako teplota vzplanutí se zaznamenává ta teplota, kdy nastane vzplanutí v kterémkoli místě na hladině vzorku.(STRAKA, 1986)

### **5.3 Stanovení čísla celkové alkality a kyselosti**

**Zkouška alkality (TBN)** stanoví, jaké množství kyselin je olej schopen svou volnou alkalitou zneutralizovat. Zkouška je prováděna titrací kyselinou chloritou. Číslo celkové alkality TBN udává množství kyseliny chloristé vyjádřené počtem mg KOH, které je potřebné pro neutralizaci. Obecně by neměl mít olej nižší TBN než 1 až 2 mg KOH/g oleje. (VLK, 2006)

**Stanovení celkové kyselosti (TAN)** je udáváno v mg KOH, které je potřebné k neutralizaci volných anorganických a organických kyselin obsažených v jednom gramu oleje. U čistých neaktivovaných olejů má TAN nulovou hodnotu a u zušlechtěných olejů je hodnota mylná, skrz reakci KOH s aditivou. (VLK, 2006)

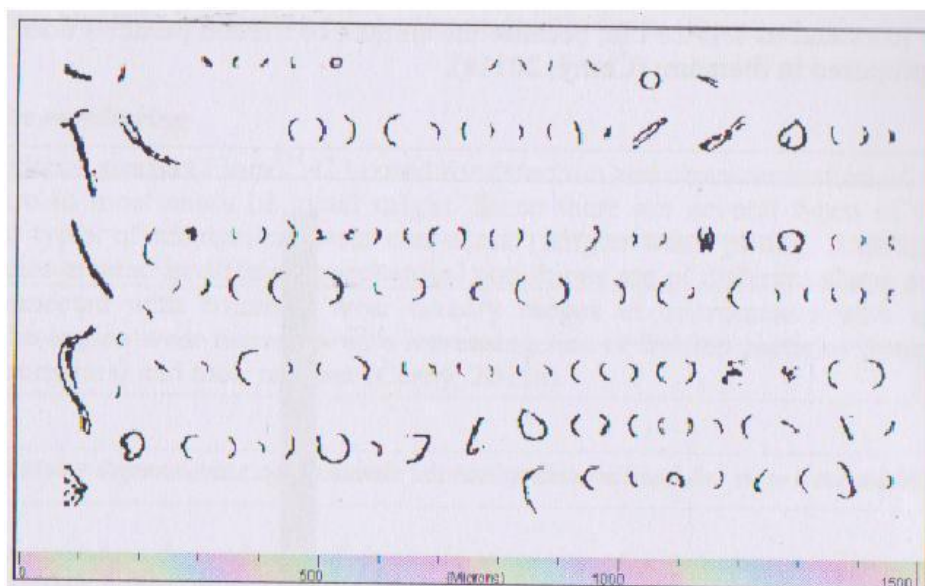
### **5.4 Monitorování pevných částic**

Zkouška je prováděna pomocí částicového analyzátoru **LaserNet Fines (LNF)**, který se využívá k detekování a charakterizaci otěrových částic. Tyto částice jsou většinou kovového původu, vzniklé třením jednotlivých elementů nebo mechanickým opotřebením. Částice, vytvořené v různých mechanických podmínkách jsou různého tvaru a velikosti. Velikost částic spojených s běžným opotřebením se obvykle pohybuje v mikrometrech s horní mezí do 5 mikrometrů. Dále je opotřebením motoru ovlivněn zvyšující se velikost třecích částic a jejich počtu. (SEVERA, 2012)

Vzhledem k existenci několika typů třecích prvků, existuje několik typů třecích opotřebení. Částice vznikající v různém prostředí s proměnlivým zatížením tření, kdy se následně jejich tvar vyznačuje různou velikostí a tvarem.

Tabulka 3: Nejfrekventovanější částice v použitém oleji (SEVERA, 2012)

Typy částic	Počet/ml	Minimální velikost[mikron]	Maximální velikost[mikron]
Odseknuté	87,4	30,6	65,0
Otěrové	10,8	52,0	158,2
Únavové	1,9	26,7	26,7
Nekovové	39,3	44,5	68,8
Nezařazené	21,2	25,6	29,6
Vlákna	80		



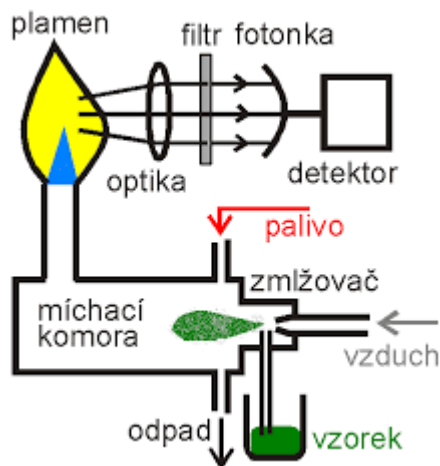
Obrázek 13: Detekované částice v použitém oleji (SEVERA, 2012)

Částice produkované při běžném provozu motoru nepřesahují velikosti 5 mikrometrů. Celkové množství částic u nového oleje se pohybuje okolo 39,500 v jednom ml oleje. V případě nových olejů tyto částice představují spíše mazací částice než třecí částice napomáhající opotřeбенí. U použitého oleje je celkové množství 98,600 částic a to opět

v 1 ml vzorku. Nejčastější částic a jejich průměrné a maximální rozměry jsou uvedeny v Tabulce 3. Výběr detekovaných částic, je znázorněno na Obrázku 9.(SEVERA, 2012)

## 5.5 Atomová emisní spektrometrie (AES)

AES, někdy také nazývána jako optická emisní spektrometrie, je založena na registrování fotonů vzniklých přechody valenčních elektronů z vyšších energetických stavů na nižší. Měří se záření emitované atomy nebo ionty v excitovaném stavu. Emisní spektrum má čárový charakter a počet čar ve spektru roste s počtem elektronů na valenčních hladinách. Abychom mohli zaznamenat atomové čárové spektrum, musí být prvky ve vzorku v atomární formě a musí být excitovány do vyšších energetických stavů. To se nejčastěji dosahuje termickým buzením – vzorek je v budícím zdroji zahříván na vysokou teplotu. (www.ach.upol.cz)



Obrázek 14: Atomová emisní spektrometrie (www.vscht.cz)

V diagnostice olejů se AES převážně používá pro stanovení koncentrace prvků v oleji, měřením intenzity jedné z emisních čar atomové páry prvku generované z látky. Stanovení se provádí při vlnové délce odpovídající této emisní čáře.

## 5.6 Pěnivost oleje

Pěnivost je velmi nežádoucí jev s nepříznivými důsledky projevující se snížením mazací vrstvy, nárůstem náchylnosti oleje ke stárnutí, snížením viskozity, hustoty a tepelné vodivosti. Zkoušku provádíme tak, že se vrstva oleje provzdušňuje proudem vzduchu. Za daný čas se proud vzduchu zastaví a okamžitě se změří výška vzniklé pěny. Zkouška dále pokračuje bez přívodu vzduchu zjištěním stability pěny. Stabilita je vyjádřena jako množství v ml zbývající po určitém čase (obvykle po 10 minutách), od zastavení provzdušňování. Pěnivost by neměla přesahovat 150 ml a stabilita pěny by měla být nulová, to znamená, že by veškerá pěna měla do 10 minut zmizet. Pěnivost je u vzorku testována 3x, a to při teplotě 25°C, 95 °C a opět 25°C, aby se zjistilo, zda při 95°C nedochází k oxidaci a ke zvýšení sklonu pěnivosti. (VLK, 2006)

## 5.7 HTHS viskozita (High Temperature High Shear)

HTHS viskozita je měřena ve speciálním Ravensfieldově viskozimetru při teplotě 150°C a vysokém smykovém spádu. Tato zkouška charakterizuje sílu mazacího filmu při vysokém tepelném zatížení a stříhu. HTHS viskozita udává přesné informace o tloušťce mazacího filmu při teplotě 150°C. Klasická HTHS viskozita má hodnoty vyšší než 3,5 mPa·s, některé moderní oleje, zejména Longlife, mají HTHS sniženou na rozmezí 2,9-3,5 mPa·s. Naproti tomu oleje typu SAE 0W-20 mají HTHS viskozitu ještě nižší, a to mezi 2,6-2,9 mPa·s. Hodnota HTHS nám udává výšku olejového filmu vzniklou na povrchu částí motoru. Každý výrobce vozidel si kromě výkonové úrovně oleje určuje také minimální hodnotu HTHS viskozity oleje. (VLK, 2006)

## 6 CÍL PRÁCE

Tato práce se věnuje popisu a zkoumání degradace motorového oleje u osobních automobilů. Cílem diplomové práce je shromáždit základní literární přehled o motorových olejích, jejich použití a způsobech mazání.

Práce si klade za hlavní cíl vyhodnotit a porovnat všech dvacet odebraných vzorků ze dvou vznětových motorů zkoumaných vozidel značky Škoda a Volkswagen. Tyto vozy měly stejný objem motorů, avšak rok výroby vozidel se lišil. U obou automobilů byl použit totožný olej značky Castrol Edge FST 5W-30. U všech sledovaných vzorků je hlavním úkolem určit pomocí atomové emisní spektrometrie (Spectroil Q100) počet otěrových částic v degradovaném oleji a následně tyto částice rozdělit do tří skupin tj. aditiv, kontaminantů a otěrových kovů. Dále u všech vzorků pomocí rotačního digitálního viskozimetru Brookfield DV2T určit kinematickou viskozitu v závislosti na ujetých kilometrech. Jako poslední měřené hodnoty u všech vzorků budou hodnoty hustoty získané pomocí hustoměru Densito 30 PX.

Veškeré naměřené hodnoty budou zpracovány do přehledných tabulek, prezentovány v přehledných grafech a závislosti modelovány pomocí vhodných regresních funkcí.



## 7 MATERIÁLY A METODIKA

Tato kapitola se věnuje podrobnému popisu použitých materiálů a způsobu měření na laboratorních přístrojích.

### 7.1 Použitý motorový olej

Pro měření byl použit motorový olej značky Castrol Edge Professional Longlive III s viskozitním indexem 5W-30. Tento motorový olej je plně syntetický, vytvořený pro motory koncernu VW, tak aby splňoval nejnáročnější testy motorových olejů v provozu pro koncern VW.

Mezi specifické vlastnosti oleje se řadí zvyšující ochrana kovových částí a maximální ochrana při studených startech.

Olej je zařazen do viskozitní třídy SAE 5W-30, výkonnostní třídy ACEA C3 a do tovární normy VW 504 00/ 507 00

### 7.2 Testovaná vozidla

Pro zkoušku motorového oleje byla vybrána vozidla značky Škoda a Volkswagen.

První vozidlo **Škoda Octavia** druhé generace byla vyrobena v roce 2009. Stav kilometrů, při výměně oleje za novou náplň, byl 103 000 km. Automobil byl využíván spíše na krátké až středně dlouhé trasy, a to o vzdálenosti mezi 10-30 kilometry po nastartování motoru.

Motor vozidla je provozován od začátku na olej Castrol Edge Professional 5W-30, proto výsledky měření by neměly být ovlivněny odlišným složením předchozího motorového oleje. Vozidlo bylo testováno v továrním nastavení motoru bez jakýchkoli úprav a změn.

## Parametry vozidla Škoda Octavia II:

Tabulka 4: Parametry vozidla Škoda Octavia II Facelift (www.auto.cz)

Motor	1,9 TDI PD
Zdvihový objem [cm <sup>3</sup> ]	1896
Válce/ ventily na válec	4/2
Nejvyšší výkon [kW/ot/min]	77/4000
Nejvyšší toč. Moment [Nm/ot/min]	250/1900
Max rychlost [km/h]	192 (189)
Max. zrychlení 0-100 km/h [s]	11,8 (12,2)
Komb. Spotřeba [l/100 km]	4,9



Obrázek 15: Škoda Octavia II (www.auto.cz)

Druhé testované vozidlo byl **Volkswagen Passat B5,5** s rokem výroby 2003. Stav kilometrů při výměně motorového oleje a následnému odebírání vzorků byl 252 500 km. Vozidlo bylo používáno na středně dlouhé až dlouhé trasy. Do paliva bylo přidáváno dodatečně aditivum VIF Super, pro zlepšení a udržení čistoty vstřikovačů.

Na motoru vozidla Passat byl proveden Chip motoru ze sériových 96 kW na 120 kW a točivým momentem 390Nm. Dále na motoru byl vyřazen z provozu EGR ventil.

## Parametry vozidla Volkswagen Passat B 5.5:

Tabulka 5: Parametry vozidla Volkswagen Passat B 5,5 (www.auto.cz)

Motor	1,9 TDI PD
Zdvihový objem [cm <sup>3</sup> ]	1896
Válce/ ventily na válec	4/2
Nejvyšší výkon [kW/ot/min]	96/4000
Nejvyšší toč. Moment [Nm/ot/min]	310/1900
Max rychlost [km/h]	208 (205)
Max. zrychlení 0-100 km/h [s]	9,9 (10,3)
Komb. Spotřeba [l/100 km]	5,2



Obrázek 16: Volkswagen passat B 5,5 (www.auro.cz)

### 7.3 Laboratorní přístroje

#### 7.3.1 Viskozimetr digitální Brookfield DV2T

Rotační viskozimetr digitálně programovatelný je laboratorní přístroj na měření viskozity, teploty, smykové rychlosti a napětí a otáček vřetene. Přístroj je vybaven 5 palcovým dotykovým displejem s možností volitelnosti mnoha jazyků. Přístroj má zabudovanou RTD teplotní sondu. Přesnost měření je  $\pm 1,0\%$ .

Tento přístroj měří krouticí moment rotujícího vřetene ponořeného do vzorku s. Odporová síla je přenášena na rotující válec nebo vřeteno, které jsou vzájemně propojeny přes pružinu s hřídelí motorku. Motorek se otáčí předem definovanou rychlostí, kde je snímána hodnota úhlu pootočení hřídele. Z naměřených hodnot přístroj

interně přepočítává hodnoty a následně zobrazuje dynamickou viskozitu v [mPa·s] s opakovatelností  $\pm 0,2\%$ . ([www.vercon.cz](http://www.vercon.cz))



Obrázek 17 : Viskozimetr Brookfield ([www.vercon.cz](http://www.vercon.cz))

### 7.3.2 Hustoměr Densito 30 PX

Na odebraných vzorcích byla měřena hustota pomocí hustoměru Densito 30 PX od firmy Mettler Toledo. Přenosný hustoměr během krátké doby umožňuje naměření hustoty vzorku. Přístroj používá metodu oscilující trubice v kombinaci s přesným měřením teploty.

Při ponoření vzorkovací hadice do vzorku materiálu a po nasátí se automaticky spustí měření. Výsledek se zobrazí na displeji v několika sekundách. Hustoměr obsahuje 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. (MERCİ, 2013)



Obrázek 18: Hustoměr Densito 30 PX ([www.swma.org](http://www.swma.org))

### **Parametry Densito 30 PX:**

- Měřící rozsah hustoty: 0 až  $2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$
- Měřící rozsah teploty: 0 až  $+60 \text{ }^\circ\text{C}$
- Rozlišení:  $0,0001 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$
- Přesnost:  $0,001 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$
- Jednotky měření: hustota, specifická hmotnost, Brix%, alkohol,  $^\circ\text{Baumé}$ ,  $^\circ\text{Plato}$ , API, kyselina sírová, koncentrace
- Identifikace vzorku: datum, čas a identifikace přístroje

### **7.3.3 Spektrometr Spectroil Q100**

Laboratorní 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 otěrových kovů a kontaminantů použitých v mazacích olejích nebo hydraulických směsích.

Přístroj umožňuje včasné stanovení nadměrné degradace motorového oleje bez nutné přípravy vzorku. Doba trvání vyhodnocení je 30 sekund, kdy při analýze dojde současně ke změření všech 22 prvků, které přístroj dokáže rozpoznat. (SPECTRO, 2016)



Obrázek 19: Spektrometr Spectroil Q100 (SPECTRO, 2016)

#### **Snímané prvky:**

- Otěrové kovy: Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Mg, Mn, Mo, Ni, Ag, Sn, Ti, V, Zn
- Kontaminanty: B, Ca, K, Si, Na
- Aditiva: Ba, B, Ca, Cr, Cu, Mg, Mo, P, Si, Z

#### **7.4 Odběr vzorků**

Původní motorový olej byl vypuštěn a nahrazen novou náplní. Tato náplň oleje byla odebírána do laboratorních zkumavek v 10 odběrech po ujetých 1500 km. Odběr byl prováděn přes kontrolní odměrku motorového oleje, pomocí hadičky s nasávacím zařízením. Každý odběr se prováděl při zahřátém motoru. Odebrané vzorky byly odsávacím zařízením odlity do zkumavek a následně identifikován datem a stavem ujetých kilometrů.

#### **7.5 Postup měření**

Hustota a viskozita je měřena na výše uvedených přístrojích, tak že se prve pomocí laboratorní kyvety odebral vzorek použitého motorového oleje určeného k měření. Naměřený objem vzorku byl vložen do adaptéru viskozimetru. K adaptéru se připojil termostátové zařízení, které nám hlídalo a udržovalo teplotu oleje na 20°C.

Při měření viskozity na přístroji Brookfield DV2T bylo nasazeno válcové vřeteno 18, standardizované dle Brookfielda, kalibrovaný teplotní senzor Pt 1000. Veškeré měření probíhalo za konstantní smykové rychlosti  $20 \text{ s}^{-1}$ . Hlavním parametrem měření byla dynamická viskozita a smykové napětí, ze kterých se pomocí výše uvedených vzorců dopočítala kinematičká viskozita.

U všech odebraných vzorků, při teplotě  $20^\circ\text{C}$ , byla zjišťována hustota pomocí přístroje Densito PX30, kde vzorek je nasát přes trubici do přístroje. Hustoměr okamžitě vyhodnotí hodnoty hustoty a teploty, které se zaznamenají do PC.

Měření otěrových kovů, kontaminantů a aditiv probíhá na přístroji Spectroil Q100. Je to kompletně polovodičový spektrometr, který obsahuje dvě rotační elektrody (tyčovou a diskovou), které se otáčejí a nanášejí na sebe vzorky oleje. Mezi těmito elektrodami dochází k výboji, jehož barvu sleduje speciální kamera. Přístroj podle snímané barvy stanoví přesné množství jednotlivých kovů ve vzorku a zaznamená je do PC.

## 7.6 Informace o odebraných vzorcích oleje

V následujících tabulkách 6 a7 jsou seřazeny a očíslovány odebrané vzorky oleje. Ke všem těmto vzorkům je přiřazen datum odběru a stav tachometru.

**Tabulka 6: Informace o vyjetém oleji Volkswagen Passat**

Číslo vzorku	Datum odběru	Stav tachometru (km)
1	3.3 2015	254000
2	10.4 2015	255500
3	14.5 2015	257000
4	3.6 2015	258500
5	20.6 2015	260000
6	21.7 2015	261500
7	16.8 2015	263000
8	22.9 2015	264500
9	8.10 2015	266000
10	1.11 2015	267500

**Tabulka 7: Informace o vyjetém oleji Volkswagen Passat**

Číslo vzorku	Datum odběru	Stav tachometru (km)
1	4.1 2015	104538
2	21.2 2015	106069
3	4.4 2015	107566
4	1.5 2015	109071
5	7.6 2015	110875
6	10.8 2015	112027
7	29.8 2015	113535
8	3.10 2015	115100
9	2.11 2015	116620
10	1.12 2015	118050



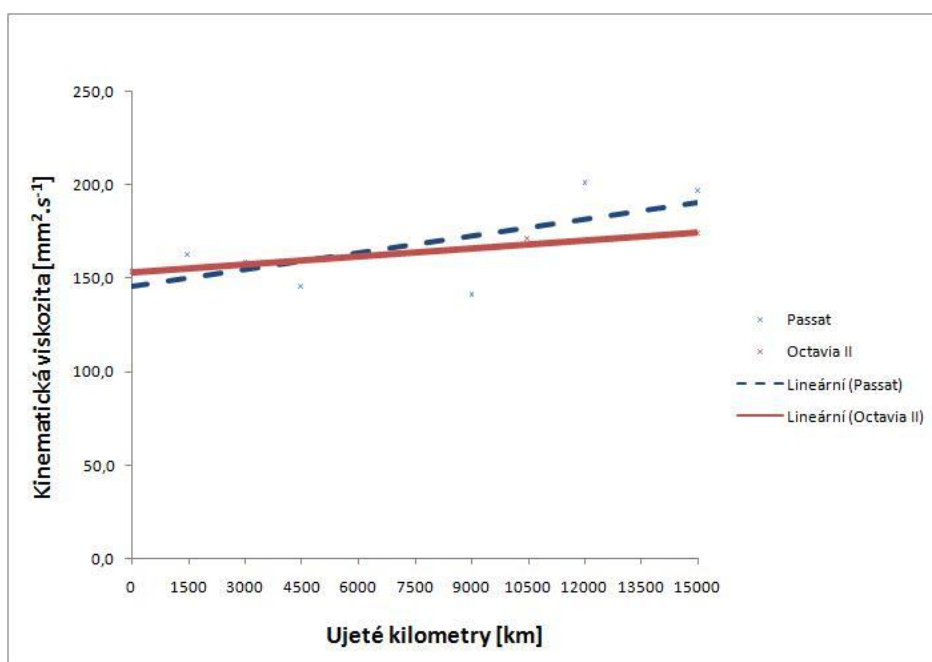
## 8 VÝSLEDKY A DISKUZE

Tato kapitola je zaměřena na výsledky měření, kde zjištěné hodnoty jsou přehledně seřazeny v tabulkách a grafech. Veškeré výsledky doplňuje diskuze o výsledku měření.

### 8.1 Měření viskozity a hustoty motorového oleje

Měření bylo prováděno u dvaceti vzorků odebraných z dvou osobních automobilů. Jelikož měření viskozity a hustoty probíhaly až po měření ořetrových částic, tak se z důvodu nedostatku oleje nepovedlo některé vzorky laboratorně otestovat.

Jako první byla měřena závislost kinematické viskozity na ujetých kilometrech. Výsledky z obou vozidel jsou srovnány v příloženém obr. 20.



Obrázek 20: Závislost kinematické viskozity na ujetých kilometrech

Z grafu je patrné, že kinematická viskozita narůstala rychleji u vozidla Volkswagen Passat, což může být způsobeno zejména termickou a oxidační degradací oleje (AUTOEXPERT, 2006). Nárůst viskozity také mírně ovlivňuje přibývající množství

sazí v motorovém oleji (AUTOEXPERT, 2006). U oleje z vozu Škoda je patrné, že strmost lineární přímky není tak význačná jako u předchozího vozidla.

Výsledné hodnoty v grafu byly proloženy lineární funkcí ve tvaru  $y = ax + b$ . koeficienty **a** a **b** jsou reálná čísla, kdy koeficient **a** určuje strmost přímky. Funkce je dostačující k popisu naměřených hodnot kinemtické viskozity a ujetých kilometrů. Jednotlivé reálná čísla lineární funkce a koeficienty determinantu  $R^2$  jsou uvedeny v následující tabulce 6.

Přesné hodnoty kinemtické viskozity závislé na ujetých kilometrech lze vypočítat z upravené lineární funkce.

$$\text{Platí: } \nu = a \cdot N + b \quad [\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$$

Kde::  $\nu$ ... kinemtická viskozita  $[\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$

$a$ ... koeficient  $[\text{km}^{-1}]$

$N$ ... počet ujetých kilometrů  $[\text{km}]$

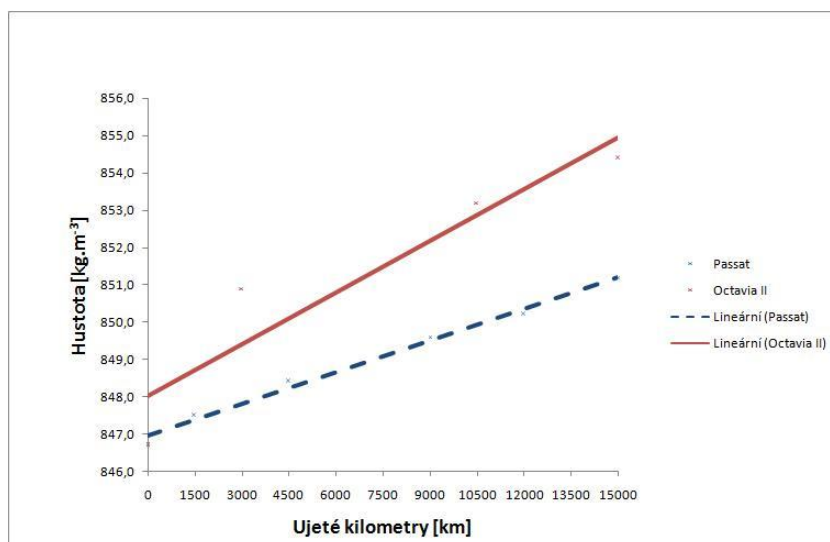
$b$ ... koeficient  $[\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$

V upravené lineární rovnici za koeficienty  $a$ ,  $b$  dosadíme hodnoty z tabulky 6, kde pro jednotlivá vozidla jsou předem stanovená reálná čísla. Proměnná hodnota je dosazována za písmeno  $N$ , za kterou se dosazuje určitý počet kilometrů pro výpočet reálná hodnoty viskozity.

**Tabulka 8: Lineární rovnice a koef. deteminace viskozity**

<b>Značka vozidla</b>	<b>a <math>[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{km}^{-1}]</math></b>	<b>b <math>[\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]</math></b>	<b>Koeficient determinace</b>
Škoda	0,001	153,7	$R^2 = 0,972$
Volkswagen	0,003	145,6	$R^2 = 0,472$

Na obr. 21 je znázorněn graf popisující změnu hustoty sledovaných vzorků obou vozidel. Podle zobrazených hodnot lze vidět postupný nárůst hustoty s přibývajícím počtem ujetých kilometrů.



Obrázek 21: Závislost hustoty na ujetých kilometrech

Nižší hustota oleje u Passatu, byla zřejmě způsobena vyšší oxidací oleje, kdy vzniká celá řada oxidačních produktů, jako jsou aldehydy, ketony a kyseliny. Tyto látky mají polární charakter a ovlivňují tak vlastnosti oleje. Polární oxidační látky příznivě působí na pevnost mazacího filmu (VLK, 2006). Tato vlastnost je však jen dočasná. Pokud je rozsah oxidace větší a oxidační produkty se v oleji nahromadí, tak dochází ke zvýšené kyselosti oleje, což má za následek zvýšení korozivních účinku oleje v motoru (AUTOEXPERT, 2006). Proto momentální vlastnosti oleje byly příznivější u vozidla Passat, kdy vznik otěrových částic byl potlačen vyšší oxidací oleje.

Jednotlivé naměřené hodnoty v grafu byly opět proloženy lineární funkcí s obecným tvarem  $y = ax + b$ , kdy složka  $y$  nahrazena hustotou  $\rho$  a složka  $x$  byla nahrazena proměnou hodnotou ujetých kilometrů.

$$\text{Platí: } \rho = a \cdot N + b \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$$

$$\text{Kde: } \rho \dots \text{ hustota } [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$$

$a \dots$  koeficient [ $\text{km}^{-1}$ ]

$N \dots$  počet ujetých kilometrů [km]

$b \dots$  koeficient [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

Tabulka 9: Závislost hustoty na ujetých kilometrech

Značka vozidla	$a$ [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{km}^{-1}$ ]	$b$ [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]	Koeficient determinace
Škoda	0,000001	848,0	$R^2 = 0,873$
Volkswagen	0,001	846,9	$R^2 = 0,990$

V tabulce 7 jsou zobrazené hodnoty koeficientu lineárních funkcí, podle kterých je možné dohledat danou hustotu oleje při určitém nájezdu kilometrů. Tato hodnota hustoty bude mít míru přesnosti podle přiloženého koeficientu determinace.

## 8.2 Měření otěrových částic v motorovém oleji

Hlavní měřením na odebraných vzorcích bylo měření otěrových částic, respektive otěrových kovů, kontaminantů a aditiv v oleji.

**Otěrové kovy** se měřily metodou **Atomové emisní spektrometrie**, při které byly zjištěny hodnoty jednotlivých prvků a poté přeneseny do PC. Tyto hodnoty u hlavních prvků jsou uvedeny v následující tabulce 8 pro vozidlo Volkswagen a v tabulce 9 pro vozidlo Škoda.

Tabulka 10: Naměřené hodnoty otěrových kovů vozidla Volkswagen

PASSAT		Typ otěrového kovu			
Číslo vzorku	Ujeté kilometry	Fe (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Al (ppm)
1	0	0,00	1,33	0,26	0,22
2	1500	7,64	0,37	1,36	0,96
3	3000	8,59	0,46	1,52	1,78

PASSAT		Typ otěrového kovu			
Číslo vzorku	Ujeté kilometry	Fe (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Al (ppm)
4	4500	13,44	0,50	2,10	3,38
5	6000	15,43	0,53	2,40	3,82
6	7500	14,61	0,55	2,30	2,16
7	9000	26,31	0,46	2,39	2,21
8	10500	19,93	0,68	2,86	3,45
9	12000	28,69	0,93	3,86	7,51
10	13500	28,48	0,87	3,93	7,62
11	15000	33,44	1,40	4,55	8,72

**Tabulka 11: Naměřené hodnoty otěrových kovů o vozidla Škoda**

OCTAVIA II		Typ otěrového kovu			
Číslo vzorku	Ujeté kilometry	Fe (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Al (ppm)
1	0	0,00	1,33	0,26	0,22
2	1500	13,35	2,47	2,35	2,43
3	3000	19,42	2,73	3,25	4,19
4	4500	21,80	2,79	3,78	3,75
5	6000	23,17	2,89	4,44	4,10
6	7500	27,89	3,50	5,24	5,23
7	9000	30,99	3,47	5,90	6,39
8	10500	33,02	3,69	6,28	5,52
9	12000	37,12	4,12	7,40	7,13
10	13500	43,97	4,62	7,93	8,17
11	15000	49,06	5,10	8,48	9,10

Jednotlivé kovy v motorovém prostoru představují konstrukční prvky dílů motoru. Tím je možné z naměřených hodnot odhadnout místo původu prvků a analyzovat možnou závadu na motoru ([www.oleje.cz](http://www.oleje.cz)). V tabulce 10 je základní výpis kovů, které se u sledovaných automobilů nachází. Mezi těmito kovy se nachází i křemík, který přímo nesouvisí s konstrukčními kovy, ale většinou jeho zvýšené hodnoty jsou zapříčiněny zaneseným vzduchovým filtrem.

Tabulka 12: Otěrové kovy a zdroje původu (www.oleje.cz)

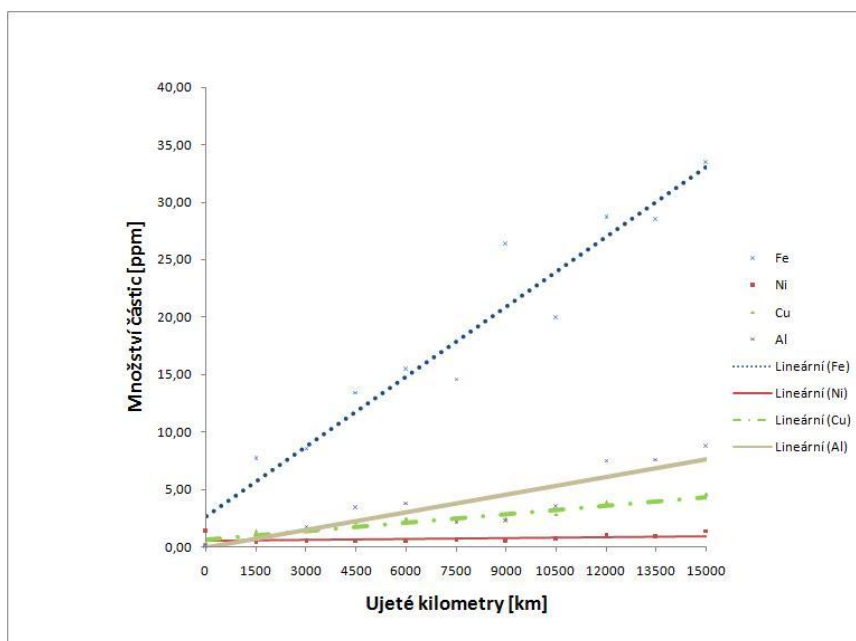
Otěrový kov	Původ kovu- materiálový díl
Železo	Téměř vždy je hlavním konstrukčním kovem, až na výjimky je jeho koncentrace nejvyšší
Měď	Ložiska, skupina součástí v oblasti ventilu, pouzdra pístního čepu
Chrom	Chromové díly- těsnící kroužky a vložky atd.
Nikl	Součást konstrukčních ložisek, ventilů a hřídelů
Hliník	Pouzdra čepů, písty a vačková ložiska
Olovo	Valivá ložiska, dříve u starých zážehových motorů kontaminace z benzínu
Cín	Díly ložisek a prvek obsažený v bronzu
Stříbro	Povrchová úprava ložisek
Křemík	Indikátor prachu, špatný stav vzduchového filtru

Naměřené hodnoty se vyhodnocují podle příložené tabulky 11, kde byl stanoven počet částic (Ppm) pro jednotlivé kovy. Tyto průměrné hodnoty jsou rozdělené do tří kategorií dle závažnosti opotřebení motoru. Tabulka 11 nese průměrné hodnoty jak pro vznětové, ale i zážehové motory.

Tabulka 13: Limitní koncentrace kovů v motorovém oleji [ppm] (www.oleje.cz)

Otěrový kov	Vznětové motory- opotřebení		
	Normální [ppm]	Zvýšené [ppm]	Nebezpečné [ppm]
Železo	Pod 120	120-150	Nad 150
Měď	Pod 25	25-35	Nad 35
Chrom	0-17	17-25	Nad 25
Nikl	Pod 25	25-40	Nad 40
Hliník	Pod 35	35-50	Nad 50
Olovo	Pod 25	25-40	Nad 40
Cín	Pod 5	5-12	Nad 12
Křemík	Pod 25	-	Nad 25

Vyhodnocené údaje pro automobil Volkswagen Passat jsou uvedeny v grafu na obr 22, kde lze vidět nejvyšší nárůst u železa. V druhém měřeném vzorku železa je hodnota 13,35 ppm. Tato hodnota je vyšší z důvodu zůstatku původního degradovaného oleje, který se nepodařilo úplně odstranit z motorového prostoru. Ostatní kovy jsou v porovnání se železem v minimálním obsazení.



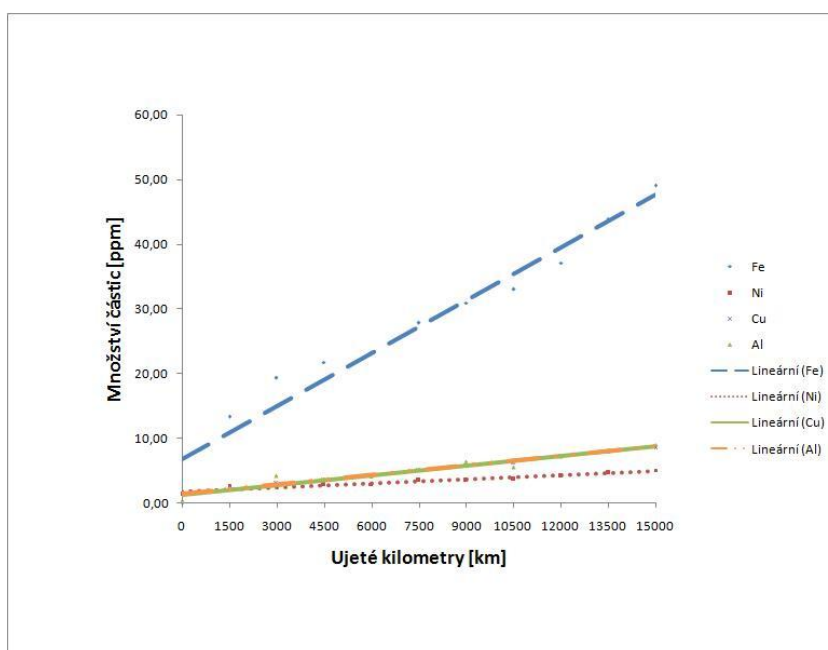
Obrázek 22: Otěrové kovy Volkswagen Passat

Jednotlivé koeficienty lineárních rovnic pro otěrové kovy Volkswagnu jsou uvedeny v tabulce 12.

Tabulka 14: Koeficienty lineárních rovnic Volkswagen

Otěrový kov	a [ppm·km <sup>-1</sup> ]	b [ppm]	Koeficient determinace
Železo (Fe)	0,002	2,654	R <sup>2</sup> = 0,931
Nikl (Ni)	0,000001	0,55	R <sup>2</sup> = 0,12
Měď (Cu)	0,000001	0,672	R <sup>2</sup> = 0,937
Hliník (Al)	0,000001	0,054	R <sup>2</sup> = 0,788

Grafické zobrazení otěrových kovů vozidla Škoda Octavia II jsou vyobrazeny na obr. 23, kde opět lze vidět nejvyšší hodnoty u železa. Ve srovnání s předešlým vozidlem jsou veškeré měřené hodnoty mírně vyšší. Tento fakt je způsoben nižší viskozitou oleje u vozidla Škoda, což má za následek vytvoření slabší mazací vrstvy oleje a následně zvýšení třecích sil a opotřebení motoru.



Obrázek 23: Otěrové kovy vozidla Škoda Octavia II

Výsledné hodnoty reálných čísel a koeficienty determinace pro vozidlo Škoda Octavia jsou opět uvedeny v tabulce 13.

Tabulka 15: Koeficienty lineárních rovnic Škoda

Otěrový kov	a [ppm·km <sup>-1</sup> ]	b [ppm]	Koeficient determinace
Železo (Fe)	0,002	6,747	R <sup>2</sup> = 0,951



Otěrový kov	a [ppm·km <sup>-1</sup> ]	b [ppm]	Koeficient determinace
Nikl (Ni)	0,000001	1,791	R <sup>2</sup> = 0,939
Měď (Cu)	0,000001	0,740	R <sup>2</sup> = 0,902
Hliník (Al)	0,000001	1,384	R <sup>2</sup> = 0,926

Jednotlivé odebrané vzorky byly proloženy lineární rovnicí. Po úpravě rovnice lze zjistit počet otěrových kovů při daném počtu kilometrů s určitým reálným číslem kovu z tabulky 12 pro vozidlo Volkswagen a z tabulky 13 pro vozidlo Škoda.

Platí:  $X = a \cdot N + b$  [ppm]

Kde:  $X$ ...otěrový kov [ppm]

$a$ ... koeficient[km<sup>-1</sup>]

$N$ ... počet ujetých kilometrů [km]

$b$ ... koeficient [ppm]

**Aditiva a kontaminanty** jsou dalším druhem částic, které se vyskytují v motorovém oleji. Aditiva mají kladný vliv na funkci motoru a stav oleje. U kontaminantů je to pravý opak, tyto látky zhoršují vlastnosti oleje a jsou proto nežádoucím prvkem v motorovém oleji.

V následujících tabulkách je výpis sledovaných aditiv a kontaminantů vozidel Škoda a Volkswagen. Tyto prvky jsou v tabulce dále doplněny o naměřené hodnoty, které jsou uváděny v jednotkách ppm (part per milion) a vztaženy k počtu ujetých kilometrů.

**Tabulka 16: Naměřené hodnoty aditiv a kontaminantů Volkswagen**

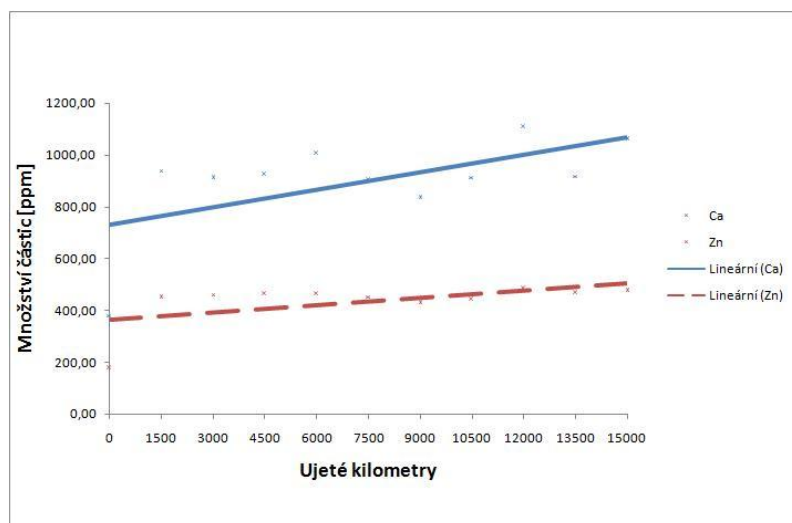
PASSAT		Aditiva		Kontaminanty		
Číslo vzorku	Ujeté kilometry	Ca	Zn	K	Na	Si
1	0	380,29	176,30	5,10	3,17	2,33

PASSAT		Aditiva		Kontaminanty		
Číslo vzorku	Ujeté kilometry	Ca	Zn	K	Na	Si
2	1500	939,99	451,93	6,15	4,45	1,79
3	3000	912,76	460,88	6,21	4,51	2,35
4	4500	925,19	463,72	6,33	3,71	3,48
5	6000	1007,00	462,55	6,41	3,96	3,23
6	7500	903,70	452,68	6,00	3,57	3,30
7	9000	836,15	430,54	5,95	3,71	3,10
8	10500	913,63	441,71	6,43	3,72	3,57
9	12000	1109,00	486,15	6,97	4,37	5,81
10	13500	918,86	467,31	6,24	3,97	4,86
11	15000	1062,00	477,27	7,72	4,75	5,69

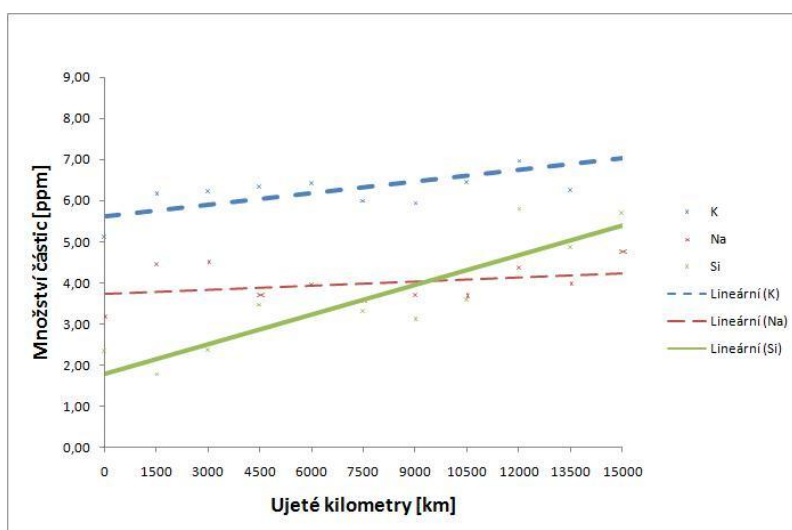
**Tabulka 17: Naměřené hodnoty aditiv a kontaminantů Škoda**

OCTAVIA II		Aditiva		Kontaminanty		
Číslo vzorku	Ujeté kilometry	Ca	Zn	K	Na	Si
1	0	380,29	176,30	5,10	3,17	2,33
2	1500	884,70	244,35	4,43	3,74	12,18
3	3000	1031,00	213,11	5,60	4,57	122,53
4	4500	1175,00	375,08	5,53	4,26	173,14
5	6000	1071,00	459,60	5,84	4,30	28,13
6	7500	1171,00	578,54	6,35	4,43	7,58
7	9000	1181,00	568,58	5,81	4,34	24,89
8	10500	1236,00	562,28	6,83	4,87	80,99
9	12000	1260,00	577,36	6,62	4,78	34,08
10	13500	1324,00	564,86	7,34	5,40	87,07
11	15000	1302,00	630,13	7,38	5,24	76,87

Z hodnot zobrazených v tabulkách 14 a 15 jsou vytvořené následující grafy a tabulky koeficientů, kde je možné sledovat nárůst počtu částic s přibývajícím počtem ujetých kilometrů. U vozidla Volkswagen jsou naměřené hodnoty nižší ve srovnání s Octavií. Při měření nových vzorků číslo 1 lze vidět, že olej již obsahoval tyto látky a s přibývajícím počtem kilometrů hodnoty dále rostly.



Obrázek 24: Aditiva vozidla Volkswagen Passat

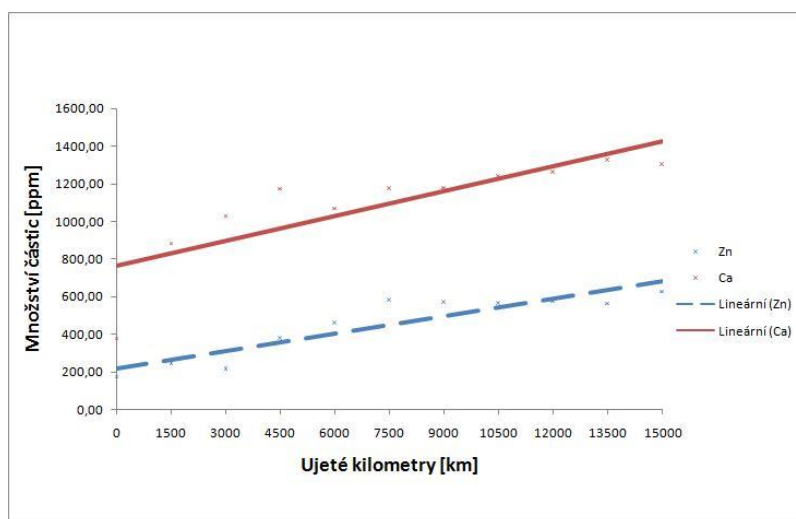


Obrázek 25: Kontaminanty vozidla Volkswagen Passat

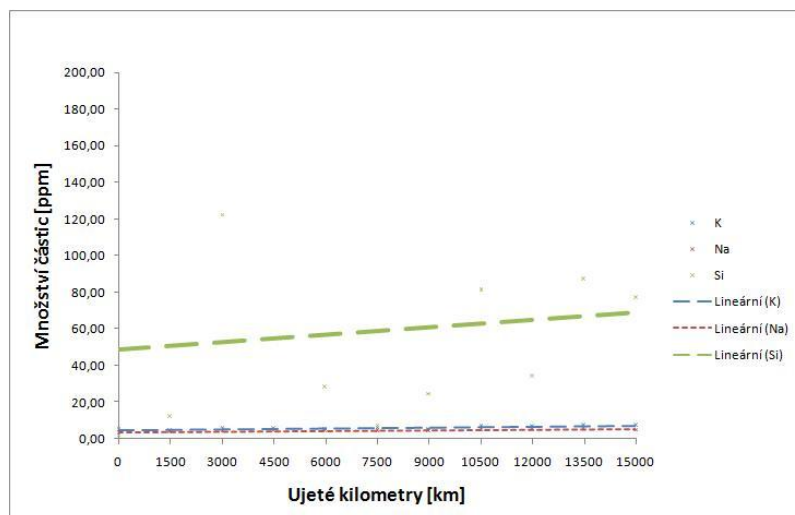
Tabulka 18: Aditiva a kontaminanty Volkswagen Passat

Otěrový kov	a [ppm·km <sup>-1</sup> ]	b [ppm]	Koeficient determinace
Zinek (Zn)	0,009	3,625	R <sup>2</sup> = 0,296

Otěrový kov	a [ppm·km <sup>-1</sup> ]	b [ppm]	Koeficient determinace
Vápník (Ca)	0,022	7,317	R <sup>2</sup> = 0,350
Draslík (K)	0,001	5,62	R <sup>2</sup> = 0,520
Sodík (Na)	0,001	3,75	R <sup>2</sup> = 0,110
Křemík (Si)	0,001	1,517	R <sup>2</sup> = 0,732



Obrázek 26: Aditiva vozidla Škoda Octavia II



Obrázek 27: Kontaminanty vozidla Škoda Octavia II

Tabulka 19: Aditiva a kontaminanty Škoda Octavia

Otěrový kov	a [ $\text{ppm} \cdot \text{km}^{-1}$ ]	b [ppm]	Koeficient determinace
Zinek (Zn)	0,031	216,9	$R^2 = 0,841$
Vápník (Ca)	0,044	761,2	$R^2 = 0,668$
Draslík (K)	0,001	3,408	$R^2 = 0,448$
Sodík (Na)	0,001	1,384	$R^2 = 0,926$
Křemík (Si)	0,001	3,605	$R^2 = 0,802$

Dle výše uvedených grafů a tabulek lze vidět, že byly sledovány vedlejší kovy, jako je zinek (Zn), vápník (Ca), draslík (K), sodík (Na) a křemík (Si). Tyto prvky se již neřadí do konstrukčních kovů, ale jejich obsah v oleji nelze přehlédnout.

Hodnoty aditiv zinku a vápníku u obou vozidel jsou skoro na stejné úrovni a průběh nárůstu počtu částic není nijak navzájem odlišný. Již od prvních měřených vzorků se aditiva v oleji vyskytovala ve vysokém počtu a v průběhu degradace oleje se jejich počet dále zvyšoval.

U kontaminantů a v porovnání obou automobilů je možné sledovat velké rozdíly u křemíku (Si). Tento prvek není konstrukčním kovem, avšak do oleje se dostává ze vzduchu. Křemík je hlavním prvkem prachových částic. Nadměrné hodnoty křemíku, dle tabulky 11- hodnoty nad 25 ppm, v motorovém oleji jsou indikátorem opotřebení vzduchového filtru. Tento filtr nevyhovuje svým stavem pro provoz vozidla a měl by se ihned vyměnit za nový ([www.oleje.cz](http://www.oleje.cz)).

Hodnoty křemíku u automobilu Passat byly v limitu dle tabulky 11 v průběhu celého sledovaného nájezdu kilometrů. U vozidla Škoda se limit částic zvýšil nad nebezpečnou hodnotu 25 ppm hned u vzorku č. 3. V průběhu dalších měření se hodnoty zvyšovaly nebo mírně klesaly, avšak vždy byly nadlimitní a pro provoz vozidla nepřijatelné.

Sodík je také řazen do kontaminantů a v motorovém oleji se objevuje z chladicí kapaliny. Zvýšený počet částic sodíky je výsledkem netěsnosti chladicí soustavy a následnému prosakování do motorového oleje ([www.oleje.cz](http://www.oleje.cz)). U obou vozidel hodnoty v průběhu měření se nijak zásadně neměnily, proto těsnost mezi chladicí soustavou a olejem je v pořádku.

Naměřené hodnoty aditiv a kontaminantů byly opět modelovány pomocí lineární funkce. Po úpravě obecného tvaru  $y=a \cdot x+b$  vznikl matematický model, podle kterého lze určit hodnoty jednotlivých otěrových kovů v daném počtu kilometrů. Pro výpočet určitého kovu je nutné dosadit do rovnice koeficienty z tabulky 16 pro Volkswagen a z tabulky 17 pro vozidlo Škoda.

Upravený matematický model má tvar, jako tomu bylo u otěrových kovů,  $\mathbf{X}=\mathbf{a} \cdot \mathbf{N}+\mathbf{b}$ .

## ZÁVĚR

Pro správný chod spalovacích motorů patří beze sporu i motorový olej. Hlavním významem motorového oleje v prostoru klikové skříně je mazání jednotlivých dílů. Mezi další podstatné úkoly oleje je udržet vnitřní část motoru bez koroze, čistit a strhávat otěrové části z dílů motoru a v neposlední řadě ochlazovat jednotlivé zatěžované části motoru. Tyto a jiné úkoly ovlivňují vlastnosti oleje, které pak mohou mít negativní vliv na správný chod motoru. S postupným nájездem kilometrů nebo uplynulou dobou používání motorového oleje dochází k snižování obsahu aditiv v oleji, což má za následek snížení viskozity mazivosti a zvýšení negativních vlastností oleje. Dále je olej znehodnocován přibývajícímí otěrovými částicemi, palivem a chladicí kapalinou.

V dnešní době výrobci vozidel stanovují přesné intervaly pro výměnu motorového oleje, která je dána počtem ujetých kilometrů, časovým intervalem nebo u zemědělských

a nákladních vozidel počtem motohodin. U osobních vozidel se většinou udává interval pro výměnu oleje 15000 km nebo jeden rok od výměny oleje.

Tato diplomová práce byla zaměřena na stav motorového oleje odebíraného ze dvou vozidel značky Škoda Octavia II a Volkswagen Passat. Olej byl odebrán v deseti intervalech po 1500 km. V obou vozech byl použit totožný olej Castrol Edge FST 5W-30, který se řadí do skupiny Longlife olejů, jež mají vyšší životnost v porovnání s běžnými oleji. Testovaný olej je přímo doporučován výrobcem a příslušnou normou motoru.

Hlavní měření motorového oleje obou vozidel probíhalo pomocí atomové emisní spektrometrie, kde bylo zjištěno množství otěrových kovů, aditiv a kontaminantů. Do vyhodnocení výsledků byly zaneseny jen ty nejpodstatnější kovy. Oba vozy měly v oleji jako hlavní konstrukční kov železo, nikl, měď a hliník. Z těchto kovů bylo nejvíce zastoupeno železo v oleji. V porovnání vozidel byl počet otěrových částic vyšší u vozidla Škoda Octavia, což bylo způsobeno nižší viskozitou oleje. Po porovnání naměřených hodnot s limitními hodnotami z tabulky č. 11 je jasné, že veškeré otěrové

kovy z kategorie konstrukčních kovů jsou v normálních hodnotách, a proto nedochází k nebezpečnému opotřebení obou motorů vozidel.

Z vedlejších kovů, které tvoří skupinu aditiv a kontaminantů, byly vybrány prvky, jako je vápník, draslík, sodík, zinek a křemík. Opět zmíněné hodnoty prvků byly vyšší u vozidla Škoda Octavia, kde u křemíků tohoto vozu byly naměřeny vysoké hodnoty částic v motorovém oleji. Křemík se v oleji zvyšoval s počtem ujetých kilometrů a na konci měření se hodnoty zastavily na 76,87 ppm. Doporučené limitní množství částic u křemíku je do 25 ppm. Zvýšený počet částic křemíku byl způsoben vzduchovým filtrem, který neplnil správnou funkci. Vozidlo Volkswagen Passat mělo opět všechny měřené kontaminanty a aditiva v doporučeném limitu.

Z měření hustoty oleje je opět patrný nárůst hodnot s přibývajícím počtem ojetých kilometrů. Tento fakt je způsoben narůstajícím počtem otěrových částí v oleji. Srovnáním vozidel je hustota vyšší u vozu Škoda Octavia. Důvodem je vyšší počet otěrových částic v oleji.

U obou vozidel naměřená kinematičká viskozita mírně stoupala, což je způsobeno především termickou a oxidační degradací. Kinematičká viskozita byla nepatrně vyšší u oleje z automobilu Volkswagen.

Na základě zjištěných údajů je možné konstatovat, že při dodržení servisního intervalu výměny oleje, stanovené výrobcem vozidla, by při správném chodu motoru nemělo docházet k nepřiměřené degradaci olej a zvýšenému opotřebení motoru.



## SEZNAM LITERATURY

DYK, Antonín. *Paliva a maziva pro automobily*. Praha, 1973.

STRAKA, Bedřich. *Motorové oleje a tribotechnická diagnostika naftových motorů*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1986, 247 s.

Příručka pro automechaniky. 2., dopl. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1972, 629 s., obr. příl.

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

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

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

BOŽÍKOVÁ, Monika (ed.). *Applications of Physical Research in Engineering*. Slovak University of Agriculture in Nitra. 2012. ISBN 978-80-552-0839-8.

RAUSCHER, Jaroslav. *Spalovací motory*. 1. vyd. Brno: Jaroslav Rauscher 2011

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

SEVERA, L. -- KUMBÁR, V. -- BUCHAR, J. -- ČORŇÁK, Š. -- GLOS, J. -- HLAVÁČ, P. -- ČUPERA, J. On the Engineering Flow Properties of Used and New Engine Oils. In: *Applications of Physical Research in Engineering*. 1. vyd. Nitra: Slovak University of Agriculture in Nitra, 2012. s. 97--112. ISBN 978-80-552-0839-8.

## INTERNETOVÉ ZDROJE

Pneu-asistent.cz [online] 2009 [cit. 2016-02-09] dostupné z: <http://www.pneu-asistent.cz/oleje/specifikaceOLEJU.pdf>

Crc.cz [online] 2010 [cit. 2016-02-10] dostupné z: <http://www.crc.cz/data/publications/tribotechnika.pdf3,1>

Oleje.cz [online] 2011 [cit. 2016-02-10] dostupné z:<https://www.oleje.cz/clanek/Viskozita-automobilovych-motorovych-oleju>

Paramo.cz [online] 2015 [cit. 2016-02-10] dostupné z:<tps://eshop.paramo.cz/rady-odbornika/vykonove-klasifikace.aspx>

Old.vscht.cz [online] 2014 [cit. 2016-03-04] dostupné z:[http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res\\_stanoveni\\_viskozity\\_roztoku/teorie.htm](http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_stanoveni_viskozity_roztoku/teorie.htm)

Upol.cz [online] 2005 [cit. 2016-03-04] dostupné z:<http://ach.upol.cz/user-files/intranet/05-asx-oes-1321623178.pdf>

Motofocus.cz [online] 2005 [cit. 2016-02-11] dostupné z:<http://www.motofocus.cz/technika/2996,tlak-oleje-jako-pricina-poskozeni-filtru-spinon>

autovyfuky.cz [online] 2010 [cit. 2016-02-12] dostupné z:<http://www.autovyfuky.cz/detail-novinky/items/champion-filtrace.html>

Auto.cz [online] 2015 [cit. 2016-02-09] dostupné z:<http://www.auto.cz/ojeta-skoda-octavia-ii-hitceskych-autobazaru-87055>

Auto.cz [online] 2015 [cit. 2016-02-09] dostupné z:<http://www.auto.cz/vw-passat-w8-osm-a-neni-to-moc-05-2002-227>

Verkon.cz [online] 2015 [cit. 2016-03-19] dostupné z:<http://www.verkon.cz/viskozimetr-digitalni-dv2t-brookfield>

Verkon.cz [online] 2015 [cit. 2016-03-19] dostupné z:<http://www.verkon.cz/viskozimetr-digitalni-dv2t-brookfield>

Merci.cz [online] 2015 [cit. 2016-03-22] dostupné z:<http://www.merci.cz/zbozi/z1388051324450/>

oleje.cz [online] 2014 [cit. 2016-03-22] dostupné z:<http://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Oterove-kovy>

oleje.cz [online] 2014 [cit. 2016-03-22] dostupné z:<http://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Oterove-kovy>

AUTOEXPERT 2007: Detergenty a disperzanty, *Vlastnosti motorových olejů*. [on-line], [cit. 2016-3-11]. Dostupné na:

<http://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Detergenty-a-disperzanty>

AUTOEXPERT 2009: Když se řekne: základové oleje. *Vlastnosti motorových olejů*. [on-line], [cit. 2016-3-11]. Dostupné na: <http://www.oleje.cz/clanek/Kdyz-se-rekne--zakladove-oleje>

AUTOEXPERT 2008: Otěrové kovy, *Vlastnosti motorových olejů*. [on-line],

[cit.2016-3-11].

Dostupné

[http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky\\_vlastnosti\\_oleju10](http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju10)

na:

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Schéma tlakového mazání motoru ( <a href="http://www.h-diag.cz">www.h-diag.cz</a> , 2013) .....	10
Obrázek 2: Schéma ztrátového mazání s dávkovacím čerpadlem (DYK, 1973).....	11
Obrázek 3: Schéma mazání tlakového s mokrou skříní (RAUSCHER, 2005).....	12
Obrázek 4: Schéma mazání tlakového se suchou skříní (RAUSCHER, 2005) .....	12
Obrázek 5: Mazací soustava motoru ( <a href="http://www.motofocus.cz">www.motofocus.cz</a> ) .....	13
Obrázek 6: Zubové čerpadlo s vnitřním a vnějším ozubem (RAUSCHER, 2011) .....	14
Obrázek 7: Princip práce trochoidního čerpadla (RAUSCHER, 2005).....	15
Obrázek 8: Olejový papír s papírovou vložkou ( <a href="http://www.autovyfuky.cz">www.autovyfuky.cz</a> ) .....	16
Obrázek 9: API klasifikace olejů pro diesellové motory ( <a href="http://www.paramo.cz">www.paramo.cz</a> ) .....	24
Obrázek 10: Klasifikace olejů ACEA pro diesellové motory nákladních vozidel ( <a href="http://www.paramo.cz">www.paramo.cz</a> ).....	25
Obrázek 11: Výkonnostní klasifikace výrobců motorů a automobilů ( <a href="http://www.paramo.cz">www.paramo.cz</a> )	26
Obrázek 12: Složení motorového oleje ( <a href="http://www.oleje.cz">www.oleje.cz</a> ) .....	33
Obrázek 13: Detekované částice v použitém oleji (SEVERA, 2012).....	36
Obrázek 14: Atomová emisní spektrometrie ( <a href="http://www.vscht.cz">www.vscht.cz</a> ) .....	37
Obrázek 15: Škoda Octavia II ( <a href="http://www.auto.cz">www.auto.cz</a> ) .....	41
Obrázek 16: Volkswagen passat B 5,5 ( <a href="http://www.auro.cz">www.auro.cz</a> ) .....	42
Obrázek 17 : Viskozimetr Brookfield ( <a href="http://www.verco.cz">www.verco.cz</a> ) .....	43
Obrázek 18: Hustoměr Densito 30 PX ( <a href="http://www.swma.org">www.swma.org</a> ) .....	44
Obrázek 19: Spektrometr Spectroil Q100 (SPECTRO, 2016) .....	45
Obrázek 20: Závislost kinematické viskozity na ujetých kilometrech .....	48
Obrázek 21: Závislost hustoty na ujetých kilometrech.....	50
Obrázek 22: Otěrové kovy Volkswagen Passat .....	54
Obrázek 23: Otěrové kovy vozidla Škoda Octavia II .....	55

Obrázek 24: Aditiva vozidla Volkswagen Passat .....	58
Obrázek 25: Kontaminanty vozidla Volkswagen Passat .....	58
Obrázek 26: Aditiva vozidla Škoda Octavia II .....	59
Obrázek 27: Kontaminanty vozidla Škoda Octavia II .....	60

## **SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1: Vis. klasifikace SAE J300 (www.tribotechnika.cz) .....	22
Tabulka 2: Doporučené viskozitní třídy SAE motorových olejů podle vnějších teplot (°C) (www.oleje.cz).....	23
Tabulka 3: Nejfrekventovanější částice v použitém oleji (SEVERA, 2012).....	36
Tabulka 4: Parametry vozidla Škoda Octavia II Facelift (www.auto.cz).....	41
Tabulka 5: Parametry vozidla Volkswagen Passat B 5,5 (www.auto.cz).....	42
Tabulka 6: Informace o vyjetém oleji Volkswagen Passat.....	47
Tabulka 7: Informace o vyjetém oleji Volkswagen Passat.....	47
Tabulka 8: Lineární rovnice a koef. deteminace viskozity .....	49
Tabulka 9: Závislost hustoty na ujetých kilometrech .....	51
Tabulka 10: Naměřené hodnoty otěrových kovů vozidla Volkswagen.....	51
Tabulka 11: Naměřené hodnoty otěrových kovů o vozidla Škoda.....	52
Tabulka 12: Otěrové kovy a zdroje původu (www.oleje.cz).....	53
Tabulka 13: Limitní koncentrace kovů v motorovém oleji [ppm] (www.oleje.cz).....	53
Tabulka 14: Koeficienty lineárních rovnic Volkswagen .....	54
Tabulka 15: Koeficienty lineárních rovnic Škoda .....	55
Tabulka 16: Naměřené hodnoty aditiv a kontaminantů Volkswagen.....	56
Tabulka 17: Naměřené hodnoty aditiv a kontaminantů Škoda.....	57

Tabulka 18: Aditiva a kontaminanty Volkswagen Passat .....	58
Tabulka 19: Aditiva a kontaminanty Škoda Octavia .....	60