



**Stanovení teplotní závislosti automobilových  
motorových olejů stejné viskozitní třídy**  
Diplomová práce

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

*Vypracoval:*  
Bc. Jiří Korbička



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem práci: *Stanovení teplotní závislosti automobilových motorových olejů stejné viskozitní třídy* 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 studenta

## **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 se zabývá motorovými oleji se stejnou viskozitní třídou 5W-30. Sledováno bylo pět vzorků nového oleje a dva vzorky upotřebeného motorového oleje stejné specifikace. Byly porovnávány jejich fyzikální a mechanické vlastnosti v závislosti na teplotě. V první části je popsána výroba motorových olejů a jejich klasifikace. V dalších kapitolách jsou popsány jejich funkce a vlastnosti. Poslední částí práce je potom popsání metodiky, samotné měření, grafické a statistické zpracování dat, porovnání výsledků a stanovení závěrů.

## **Klíčová slova**

Fyzikální vlastnosti, mechanické vlastnosti, motorový olej, viskozita, hustota, teplota, viskozitní třída, výkonnostní třída

## **Abstract**

The thesis deals with motor oil with the same viscosity class 5W-30. Five samples were monitored for new oil and two samples of the used motor oil of the same specification. Their physical and mechanical properties were compared depending on temperature. The first part is focused on the production of motor oils and their classification. In subsequent chapters their functions and features are described. The last part includes the description of methodology, the actual measurement, graphical and statistical processing of data, comparing results and conclusions.

## **Keywords**

Physical properties, mechanical properties, motor oil, viscosity, density, temperature, viscosity class, performance class

# OBSAH

1	ÚVOD.....	8
2	VÝROBA MOTOROVÝCH OLEJŮ .....	9
2.1	Jednotlivé složky mazacího motorového oleje .....	9
2.2	Základový olej .....	10
2.2.1	Minerální oleje.....	10
2.2.2	Syntetické oleje.....	12
2.2.3	Polosyntetické oleje.....	13
2.3	Aditivace.....	14
3	FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI MOTOROVÝCH OLEJŮ .....	17
3.1	Hustota.....	17
3.2	Viskozita.....	18
3.2.1	Tečné napětí .....	18
3.2.2	Dynamická viskozita $\eta$ .....	19
3.2.3	Kinematická viskozita $\nu$ .....	19
3.2.4	Viskozitní index VI.....	20
3.2.5	Pevnost oleje na stříh.....	21
3.2.6	Měření viskozity.....	21
4	KLASIFIKACE A ZNAČENÍ MOTOROVÝCH OLEJŮ .....	26
4.1	Viskózní klasifikace .....	26
4.2	Výkonnostní klasifikace .....	27
4.2.1	API (American Petroleum Institute).....	27
4.2.2	ACEA (Association des Constructeurs Européens d' Automobiles) .....	28
4.2.3	Klasifikace výrobců.....	29
4.2.4	Jiné výkonnostní klasifikace (MIL-L, ILSAC, Pro dvoutaktní motory) .....	30
5	ZVLÁŠTNÍ MOTOROVÉ OLEJE .....	32
5.1	Motocyklové oleje.....	32
5.2	Oleje pro zemědělskou techniku a stavební stroje .....	33
6	RECYKLACE UPOTŘEBENÝCH OLEJŮ .....	35

7	CÍL PRÁCE .....	36
8	METODIKA A MĚŘENÍ.....	37
8.1	Použité oleje.....	37
8.1.1	Nové motorové oleje .....	37
8.1.2	Použité motorové oleje .....	38
8.2	Použité přístroje .....	39
8.2.1	Měření viskozity.....	39
8.2.2	Měření hustoty .....	41
8.3	Postup měření.....	43
9	VÝSKLEDKY A DISKUZE .....	44
9.1	Hustota.....	44
9.2	Dynamická viskozita .....	46
9.3	Kinematická viskozita .....	48
9.4	Porovnání naměřených hodnot .....	50
10	ZÁVĚR.....	52
11	POUŽITÁ LITERATURA .....	53
12	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	57
13	SEZNAM TABULEK .....	58

# 1 ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá fyzikálními vlastnostmi motorových olejů v závislosti na teplotě. Vybrány byly vzorky olejů různých výrobců a značek, avšak se stejnou viskozitní třídou 5W-30. Toto téma bylo vybráno, protože je dnes na trhu nepřehledné množství výrobců, kteří tvrdí, že zrovna ten jejich olej patří k nejlepším. Pořízením vzorků a následným měřením získáme výsledky, které budeme moci mezi sebou porovnat a zjistit tak rozdíly u jednotlivých olejů. Jednat se bude hlavně o teplotní závislost fyzikálních vlastností.

Práce je rozdělena na dvě části. V první části (teoretické) je popsána výroba motorových olejů a jejich rozdělení dle použití a chemického hlediska. Dále se práce zabývá fyzikálními vlastnostmi motorových olejů a nakonec je probrána klasifikace a značení motorových olejů. Druhá část (praktická) se zabývá materiálem, metodikou a měřením samotných vzorků motorového oleje. Hlavním cílem je zpracování a porovnání výsledků mezi sebou. Vybrané vzorky jsou doplněny o vzorky vyjetého motorového oleje, který bude odebrán při předepsaném intervalu výměny.

Jedna z nejvýznamnějších vlastností motorových olejů je viskozita. V práci je zkoumána dynamická a kinematická viskozita v závislosti na teplotě, případně na míře upotřebení oleje. Znalost teplotní závislosti viskozit na míře degradace a upotřebení je velmi důležitá například i pro stanovení intervalu výměny. Pro měření a experiment jsou vybrány vzorky od známých a často používaných výrobců. Vzorky vyjetých motorových olejů jsou odebrány z automobilů BMW E60 530d 160kW verze s DPF po intervalu 15 000 km a Volkswagen Passat 1.9 TDI PD 96kW taktéž po 15 000 km.



## 2 VÝROBA MOTOROVÝCH OLEJŮ

Motorové oleje plní hned několik funkcí. Tou základní je snížení tření, tedy mazání, druhá funkce je odvod tepla, neboli chlazení a nakonec pomáhají i vynášet mechanické nečistoty, jako jsou otěrové a prachové částice. Surovinou, ze které se vyrábí oleje, je ropa. Je to směs uhlovodíků, což jsou látky, jejichž molekuly tvoří různě dlouhé řetězce atomů uhlíku C. Na tyto řetězce se pak váže vodík H a mohou být různě rozvětvené či cyklické. Pokud má řetězec uhlovodíku méně než pět atomů uhlíku ( $C_1 - C_4$ ), je v plynném stavu a v praxi je těžen jako zemní plyn. [1]

**Tabulka 1 Frakce a délka řetězce [1]**

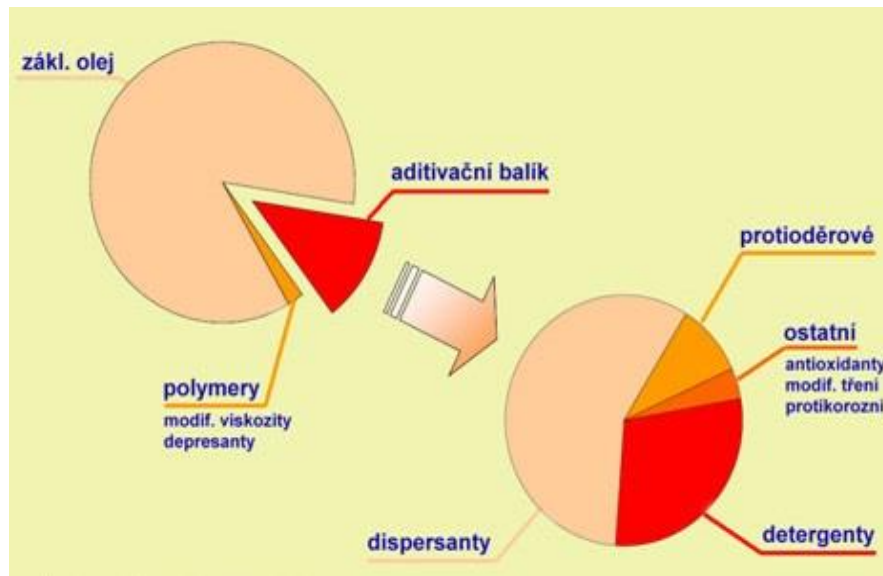
<b>Frakce</b>	<b>Délka řetězce</b>
Benzin	$C_5 - C_{12}$
Motorová nafta, lehký topný olej	$C_{10} - C_{20}$
Mazací olej	$C_{20} - C_{35}$
Těžké topné oleje	$C_{35} - C_{80}$
Asfalt	$C_{80}$ a výše
Umělé hmoty	$C_{100}$ a výše

Každý mazací olej je vyrobený z několika složek. Jako základ může být použita směs několika základových olejů. Proto se rozlišují mazací oleje minerální, polosyntetické a syntetické. [1]

### 2.1 Jednotlivé složky mazacího motorového oleje

Základem pro výrobu mazacího oleje je základový olej. Dále mazací olej obsahuje polymery, které slouží k úpravě viskozity oleje a nakonec různá aditiva, která mají za úkol zlepšit vlastnosti olejů. Základové oleje mohou být vyrobeny několika způsoby, které budou popsány dále. [1]

Motorové oleje se mezi sebou liší na základě poměru jednotlivých složek. Celkové složení motorového oleje potom vypadá zhruba tak, jako na následujícím obrázku.



**Obrázek 1 Složení motorového oleje [2]**

Na obrázku 1 lze vidět poměr jednotlivých složek v oleji a složení tzv. aditívniho balíčku. [2]

## 2.2 Základový olej

Základový olej může být buďto minerální, nebo syntetický, podle způsobu výroby. Všeobecně jsou oleje vyrobené z ropy označovány jako minerální, oproti olejům vyráběným synteticky. Dále existují i oleje rostlinné, ty se označují jako oleje biodegradabilní, jelikož jsou snadno rozložitelné mikroorganismy. Postupně se však od rostlinných olejů používaných k mazání motorů upustilo. Důvodem byla jejich rychlá degradace, rychlé stárnutí a některé nežádoucí vlastnosti. Například pro mazání dvoutaktů byl dlouho používán rostlinný olej ricinový, měl však značnou pěnovost a byl jedovatý. Kvalitu základového oleje pak určuje především viskozitní index, obsah nasycených uhlovodíků a co nejmenší obsah síry. Výroba probíhá ve třech krocích. První krok je **rafinace ropy**. Rafinací se ropa rozkládá na jednotlivé složky neboli frakce, viz tabulka 1. Jedna z frakcí jsou i základové oleje. [2]

### 2.2.1 Minerální oleje

Rafinací ropy vznikají tzv. rafinované minerální oleje. Tyto produkty vznikají zpracováním destilátů pomocí kyselin, louhů, nebo rozpouštědel.

## Rafinace

V první řadě je uskutečněna **destilace**. U ní se využívá rozdílné teploty vypařování jednotlivých frakcí a následného ochlazení. To se děje za atmosférického tlaku. Lze tak oddělit naftu, benzin a lehký topný olej. Zbytek frakcí, které mají delší řetězce, tímto způsobem oddělit nejde, a tak se využívá **vakuové destilace**. Způsob je shodný s předchozím, avšak za sníženého tlaku. Takto jsou získány oleje, které mají různou viskozitu. Zbytkem je asphalt, který může být upraven opětovnou destilací na topný mazut. [1]

Dalším krokem je **rafinování**, jež vede k zušlechtění olejů získaných v předchozích krocích. Dochází zde k odstranění nežádoucích příměsí, zejména u procesů probíhajících za použití kyselin či louhů. Při rafinaci kyselinou se používá koncentrovaná kyselina sírová. Od této metody se téměř upustilo, vedla k vzniku nežádoucích a těžko zlikvidovatelných odpadů. U rafinací louhem dochází k reakci louhu s tzv. naftenovými kyselinami. Ty přejdou po reakci na sodné soli neboli mýdla. Ty se používají na výrobu různých ochranných prostředků, ale například i na výrobu napalmu. U dalšího druhu rafinace se využívá rozpouštědel. Ty jsou jen omezeně mísitelné s oleji a vytvoří tak dvě kapalné fáze. Nežádoucí látky jsou poté obsaženy v rozpouštědle. Rovněž je upravena struktura molekul uhlovodíku. Takto upravené oleje patří mezi ty nejkvalitnější. [5]

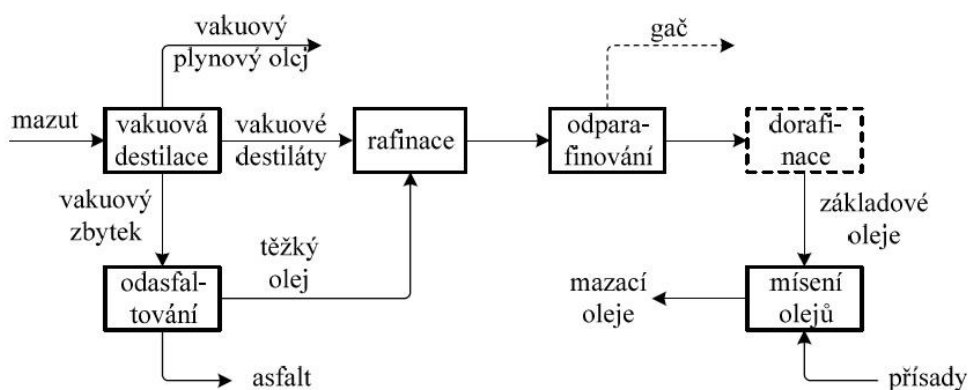
Další fází může být použití absorpční rafinace, kdy je využito nějakého absorbéru, který na sebe zachytává nežádoucí látky v oleji. Absorbent se poté z oleje odfiltruje. Nebo jiná varianta je přefiltrování oleje přes daný absorbér, který nežádoucí látky na sobě zachytí a poté jeho regenerace. [1], [5]

V poslední řadě dochází k odstraňování parafinů neboli **odparafinování**. Ty za nízkých teplot zhoršují kvalitu oleje. Nejznámějšími metodami jsou například zahřátí a následné ochlazování oleje, přičemž se odebírá vysrážený parafín, nebo ochlazování s rozpouštědlem, kdy rozpouštědlo snižuje rozpustnost vyšších parafinů. [1]

## Krakování

Principem krakování je snaha rozdělit dlouhé molekuly uhlovodíků frakcí, které vznikly při vakuové destilaci, na uhlovodíky s kratšími molekulami. Krakování se dělí na **termické, katalytické a hydrogenační (hydrokrakování)**. Oproti klasickým krokům rafinování pomocí kyselin, louhů či rozpouštědel (viz. rafinace) se čím dál tím více využívá **hydrokrakování**. Jedná se vlastně o spojení krakování s hydrogenací.

Při procesu dochází k odstranění síry, dusíku a kyslíku, následně pak při štěpení dochází k nasycení vodíkem, respektive dochází k hydrogenaci. Pomocí hydrokrakování se z těžkých olejů a parafínů získávají mazací oleje. Tento proces v sobě zahrnuje několik kroků, kdy prvním je samotné **krakování a hydratace**. Zde dochází ke krakování dlouhých molekul na kratší. V místech rozštěpení pak molekuly navazují atomy vodíku, tato část se pak nazývá hydratace. Poté následuje **vakuová destilace a odparafinování**. Vakuová destilace je založena opět na stejném principu, jak bylo popsáno na předchozí straně. Výslednými produkty jsou základové oleje dobrých vlastností a různých viskozit. [1], [5]



Obrázek 2 Schéma výroby mazacích olejů [5]

### 2.2.2 Syntetické oleje

Olej vyrobený syntetickou cestou má výhodu, že v jeho obsahu jsou pouze látky, které jsou vhodné či nutné. Cena takovýchto olejů je často vyšší, než u klasických olejů. Poslední dobou se nahrazují těmi nejkvalitnějšími minerálními oleji, jež se ve vlastnostech tolik neodlišují.

U pravých syntetických olejů dochází k jejich výrobě syntézou etylenu (etylenu) nebo jinými syntézami. V dnešní době se slovem „syntetické“ označují dva druhy olejů. Prvním druhem jsou oleje založené skutečně na syntetické bázi, což jsou estery a PAO (Poly-alfa-Olefin). [1], [2]

Druhá část olejů jsou oleje minerální, které jsou zušlechtěny technologií VHVI (Very High Viskosity), což umožňuje dosáhnout vysoké hodnoty viskozity, jež bylo dříve možné pouze u syntetických olejů. Zjednodušeně řečeno jsou VHVI zušlechtěné minerální oleje. V dnešní době je význam slova syntetický chápán jako vysoce výkonný, není chápán, jako princip vzniku. Pravé syntetické oleje (PAO a estery) se zpravidla mísí mezi sebou, aby minimalizovaly nežádoucí účinky jednotlivých olejů. Příkladem může být například dlouhodobé působení olejů PAO s pryží, jež způsobuje její smršťování a na druhé straně působení esterů, při jejichž kontaktu s pryží dochází k jejímu bobtnání. Vhodným promícháním se tyto nežádoucí vlastnosti vyruší. Estery navíc oplývají důležitou vlastností, kterou je jejich dobrému přilnutí ke kovovým materiálům.

Syntetický olej je složený ze syntetických uhlovodíků. Ty jsou vyrobeny chemickým slučováním neboli syntézou. Při syntéze tak vznikají požadované molekuly, které jsou složeny ze základních stavebních uhlovodíků. První částí je samotné **krakování**. Při tomto procesu jsou molekuly benzínu rozděleny na krátké řetězce molekul plynů (etenu, nebo butenu). Druhou částí je samotná **syntéza**, při níž jsou molekuly plynů chemicky sloučeny do molekul PAO nebo PIB (Poly-iso-Butenu), což je proces hydrogenace. Následuje **vakuová destilace**, jejíž princip je pořád stejný, a která byla popsána na předchozí straně. Poslední částí je **hydratace**. Tento proces se týká pouze metody PAO. [1], [5]

### 2.2.3 Polosyntetické oleje

V dnešní době dělení olejů na syntetické a minerální již nemá moc veliký význam. Technologie již umožňují vyrábět vysoko viskózní oleje na minerální bázi (VHVI) a rozdíl tedy oproti syntetickým olejům již není tak značný. Proto se olejům na minerální bázi vyrobených technologií VHVI říká syntetické. Druhou skupinou syntetických olejů jsou oleje založené skutečně na syntetických základech (PAO a estery).

V první polovině minulého století nebyly technologie ještě tak vyspělé a míchání olejů nebylo možné, docházelo ke srážení či pění olejů. Zároveň výroba syntetických složek v té době znamenala veliký krok ve výkonových a viskózních vlastnostech.

Novější technologie podle [11] a [1] již umožňuje míchání obou typů olejů a tak vznikly polosyntetické oleje. Polosyntetický olej se vyrábí tak, že do minerálního základu se přidává olej syntetického složení, přičemž obsah syntetické složky nesmí být méně než 20 %. Ty nejlepší polosyntetické oleje obsahují až 65 % syntetické složky.

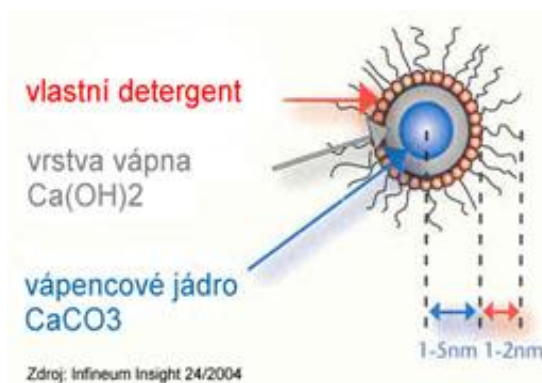
### 2.3 Aditivace

Aditiva jsou látky, které zlepšují vlastnosti olejů. Obsah těchto chemických přísad v olejích se pohybuje někde mezi 1 až 25 %. Použití druhu aditiv v mazivech se určuje podle praktických zkoušek či podle norem. Pro různé použití olejů se liší i aditiva. Aditiva mohou být vyrobena dvěma způsoby. Ten první je za použití cizorodých příměsí, jako například molybdenisulfidu (MoS<sub>2</sub>), grafitu (Uhlík C), teflonu (PTFE), různých kovů, síry a chlóru. Druhý způsob je výroba aditiv na bázi ropných destilátů. Tento způsob je i více ekologický.

Podle [1] a [5] můžeme aditiva rozdělit na tzv. **polární** a **nepolární**. **Polární** látky jsou povrchově aktivní, to znamená, že jsou přitahovány k jednotlivým povrchům, například na stěnu válce apod. Jejich molekuly jsou nesymetrické, a proto vznikají elektrické náboje na jejich koncích. Těmi jsou přitahovány k různým povrchům. Jsou schopny tak vytvořit tenký film. Oproti tomu **nepolární** aditiva nejsou ničím a k ničemu přitahována, ovlivnit mohou pouze samotný olej. Jejich význam je hlavně ve zlepšování viskozity maziv, snížení bodu tuhnutí, ochraně gumových částí proti poškození a podobně.

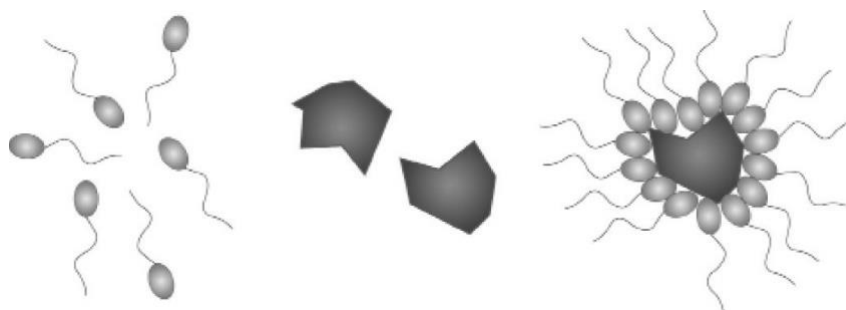
DD-aditiva, neboli **detergenty** a **disperzanty** tvoří skupinu aditiv na ochranu povrchů. **Detergenty** zamezují tomu, aby olej rychle stárl. Zamezují nečistotám, aby se usazovaly na stěnách válce a pístu, například uhlíku, který má při vyšších teplotách tendenci se usazovat a tím by mohlo docházet například i k zadření motoru.

Druhá jejich schopnost je tyto látky rozpouštět. Zároveň neutralizují kyselost, která je způsobena produkty vznikajícími při hoření a chrání motor proti korozi. [1], [2]



**Obrázek 3 Složení detergentu [2]**

**Disperzanty** na rozdíl od detergentů nečistoty nerozpouštějí, ale udělí jim stejný elektrický náboj a tím zabrání jejich shlukování. Mikroskopické nečistoty obalí, ať už mechanické nebo kapalné a mimo shlukování zabraňují i jejich usazování. Takto předělané částice se pak vznášejí na hladině oleje a zabraňují tak zacpání filtrů nebo mazacích kanálků. [1], [2]



**Obrázek 4 Působení disperzantů [4]**

Dalšími významnými aditivami, se kterými se můžeme setkat, jsou dle [1] a [5] například:

**Protipěnicí přísady:** Zamezují stárnutí oleje tím, že vzniklou pěnu pomáhají co nejrychleji rozložit. Rychleji dochází totiž k její oxidaci a zároveň se olej v takovémto případě stává více stlačitelným, což je další z nežádoucích jevů.

**Protikoroziční přísady:** Ty zamezují oxidaci povrchů tím, že na něm vytvoří ochranný film.

**Třecí přísady:** Upravují hodnotu koeficientu tření.

**Modifikátory viskozity:** Jsou to polymerní látky, které se projevují až ve vyšších teplotách, kdy se rozpouštějí a navyšují tak viskozitu oleje, jenž s vyšší teplotou za běžných okolností klesá. Díky nim je olej použitelný celoročně.

**Látky pro bobtnání elastomeru:** Zabraňují stárnutí pryží a jejich vysušení. Zajišťují jim, při styku s mazivy, neustálou elasticitu.

**Deaktivátory kovů:** Zabraňují chemickým reakcím mikroskopických částeczek kovů, které vznikly třením mechanických částí o sebe, aby způsobovaly rychlejší degradaci oleje. Tyto kovy by totiž v oleji působily jako katalyzátor, tomu je zabráněno jejich obalením.

**Aditiva proti vysokému tlaku a opotřebení:** Tato aditiva zamezují kontaktu kovových částí, které jsou namáhány (třeny) vysokým tlakem o sebe. Příkladem můžou být ozubená kola, kde olej chemickou reakcí vytvoří na jejich povrchu odolnou vrstvu.

**Snižovače bodu tuhnutí:** Tato aditiva se nazývají depresanty. Zamezují srážení parafinu v nízkých teplotách a tím zhoršující se tekutosti oleje, která vede ke ztrátě energií z důvodu překonávání většího odporu a horším vlastnostem maziv.



### 3 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI MOTOROVÝCH OLEJŮ

Skutečné tekutiny mají mnoho vlastností. K těm nejdůležitějším patří hustota, viskozita, neboli vazkost, objemová roztažnost, objemová stlačitelnost, povrchové napětí a absorpce plynů.

#### 3.1 Hustota

Hustota kapaliny  $\rho$  je fyzikální veličina. Někdy bývá označována i jako hustota hmotnosti nebo se používá zastaralý název měrná hmotnost. Vyjadřuje hmotnost objemové látky. Hustota se vypočítá ze vztahu:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [kg \cdot m^{-3}] \quad (3.1)$$

Kde  $\rho$  je hustota kapaliny,  $m$  je hmotnost kapaliny a  $V$  je její objem.

Hustota kapalin s rostoucí teplotou klesá a s rostoucím tlakem roste. Je to díky objemové roztažnosti. Se zahříváním kapaliny roste její objem a nepřímo úměrně klesá její hustota, což vyplývá z rovnice 3.1. V následující tabulce 2 je uvedena hustota některých kapalin.

**Tabulka 2 Hustota některých kapalin [14]**

Druh kapaliny	Hustota $\rho$ [ $kg \cdot m^{-3}$ ] při 20 °C
Voda	998,2
Benzín	700-750
Motorová nafta	800-880
Minerální a polosyntetické oleje	870-950
Syntetické oleje	950-1050 (při 15 °C)

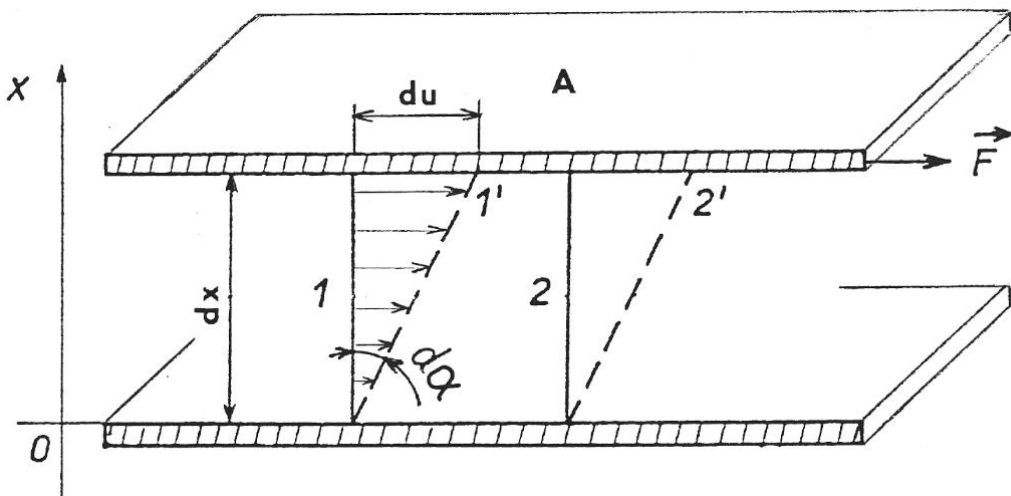
Hustotu kapalin lze měřit různými způsoby. Nejjednodušším způsobem je použití ponorného hustoměru, podle jeho ponoření se zjistí hustota kapaliny. Princip je takový, že se vyrovnává tíhová síla hustoměru a vztlaková síla kapaliny. Další způsob je použití Mohrových vážek nebo vztlakového hustoměru s elektrickým výstupem. [15], [16]

## 3.2 Viskozita

Viskozita je definována jako míra vnitřního tření tekutiny, které vzniká mezi dvěma vrstvami pohybujícími se různou rychlostí. Taktéž můžeme o viskozitě říci, že je to jakýsi odpor, kterým tekutina reaguje na síly, které se snaží posunout její nejmenší částice. Tato vlastnost tedy zásadně ovlivňuje tokové vlastnosti látek. Viskozitu rozeznáváme **dynamickou  $\eta$**  a **kinematickou  $\nu$** . U většiny tekutin je jak dynamická, tak kinematická viskozita závislá na teplotě a tlaku. Při stálém tlaku se s rostoucí teplotou viskozita snižuje z důvodů snižování přitažlivých sil mezi molekulami tekutiny. [15], [16]

### 3.2.1 Tečné napětí

Mezi jednotlivými vrstvami tekutiny, které se pohybují různou rychlostí, působí tzv. **tečné napětí  $\tau$** . To lze vysvětlit i tak, že díky tomuto napětí je pomalejší vrstva urychlována tou rychlejší a naopak.



Obrázek 5 Tečné napětí [19]

Podle Newtonova zákona pro proudění newtonské kapaliny s laminárním tokem je tečné napětí úměrné gradientu rychlosti se směrem kolmým na pohyb kapaliny a vypočítat ho lze podle vztahu:

$$\tau = \eta \cdot \frac{du}{dx} \quad [Pa] \quad (3.2)$$

Kde  $\tau$  je smykové napětí jednotky plochy  $[Pa]$ ,  $du/dx$  je smykový spád, neboli rychlostní gradient  $[s^{-1}]$  a  $\eta$  je dynamická viskozita  $[Pa \cdot s] = [kg \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}]$ , často označovaná jako koeficient vnitřního tření. [1]

### 3.2.2 Dynamická viskozita $\eta$

Dle vztahu 3.2 je **dynamická viskozita  $\eta$**  poměrem působení tečného napětí  $\tau$  a gradientu rychlosti  $dv/dz$ . Lze ji vypočítat podle následujícího vzorce:

$$\eta = \tau / \frac{du}{dx} \quad [N \cdot s \cdot m^{-2}] = [Pa \cdot s] \quad (3.3)$$

V jednotkách SI vyjadřuje sílu, které je zapotřebí k tomu, aby se vrstva o ploše  $1 m^2$  posunula oproti stejné vrstvě vzdálené 1m od sebe o 1 m ve vodorovné rovině. U dynamické viskozity se ještě můžeme setkat se zastaralým vyjádření v jednotkách poise, kde 1 poise  $[P] = 0,1 [N \cdot s \cdot m^{-2}]$ , dnes je ale již méně používána. [15], [16]

### 3.2.3 Kinematická viskozita $\nu$

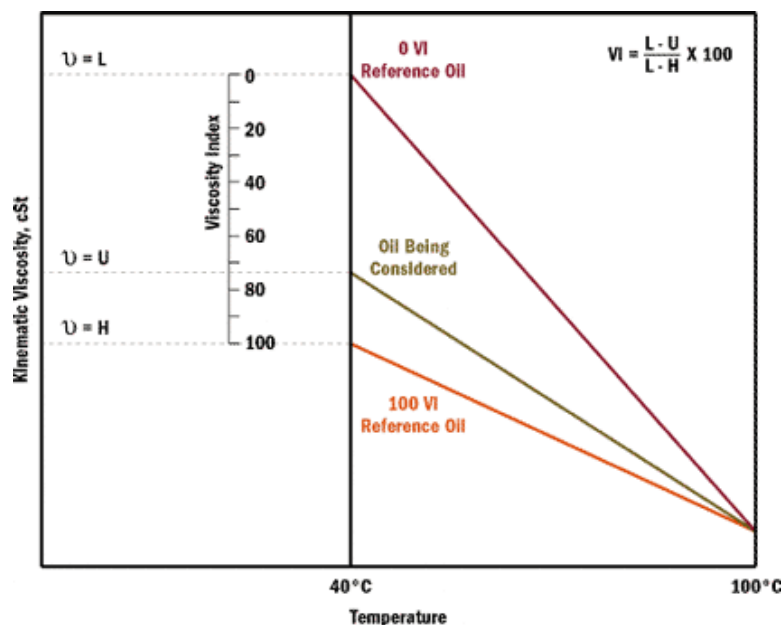
Kinematická viskozita  $\nu$  bývá definována jako míra odporu kapaliny k tečení, které je způsobeno gravitační silou. Je to poměr dynamické viskozity  $\eta$  a hustoty  $\rho$  při stejné teplotě. Kinematickou viskozitu  $\nu$  spočítáme pomocí vztahu:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad [m^2 \cdot s^{-1}] \quad (3.4)$$

Jelikož je tato jednotka dosti vysoká, využívá se i jednotky  $mm^2 \cdot s^{-1}$ . Někdy se však také ještě můžeme setkat ještě s jednotkami Stokes  $St$  nebo centi Stokes  $cSt$ .  $1 m^2 \cdot s^{-1} = 10^4 St = 10^6 cSt = 10^6 mm^2 \cdot s^{-1}$ . Po zavedení měrového systému SI bylo povoleno používat pouze odvozené jednotky  $mm^2 \cdot s^{-1}$ . Přesto se lze v některých případech s ostatními jednotkami setkat. [1], [16]

### 3.2.4 Viskozitní index VI

Viskozitní index vyjadřuje závislost kapaliny na teplotě. Je to bezrozměrné číslo, a čím je vyšší, tím má kapalina na teplotě nižší závislost, viskozitní křivka je plošší a lze ji použít pro větší rozmezí teplot. Viskozitní index se určuje dle normy ČSN ISO 2909 srovnáváním s viskozitou olejů o VI 0 a VI 100. Ke zjištění viskozitního indexu je potřeba znát kinematickou viskozitu oleje za teplot 40 °C a 100 °C. Následující obrázek 6 zobrazuje viskozitní index nějakého oleje v porovnání s referenčními oleji. Viskozitní index se zaokrouhluje a vždy to je celé číslo. [16]



Obrázek 6 Viskozitní index oleje [17]

Viskozitní index spočítáme dle následujícího vztahu 3.5. Hodnoty  $L$  a  $H$  odečteme z tabulek. Do vzorce dosazujeme všechny hodnoty v  $mm^2 \cdot s^{-1}$ . [16]

$$VI = \frac{L - U}{L - H} \cdot 100 \quad [-] \quad (3.5)$$

$L$  je viskozita oleje k porovnání s VI=0 při 40 °C, přičemž olej má při 100 °C stejnou viskozitu jako zkoušený olej.  $U$  je viskozita zkoušeného oleje při 40 °C a  $H$  je viskozita oleje k porovnání s VI=100 při 40 °C, jehož viskozita je při 100 °C stejná jako viskozita zkoušeného oleje při téže teplotě.

Viskozitní index je vždy zaokrouhlován na celé číslo. Pokud číslo vyjde vyšší než 100, pak je potřeba jej přepočítat podle následujícího vzorce 3.6. [16]

$$VI = \frac{10^N - 1}{0,00715} + 100 \quad [-] \quad (3.6)$$

$N$  je definováno jako  $N = \frac{\log H - \log U}{\log Y}$ , kde  $Y$  je kinematická viskozita měřeného oleje při 100 °C.

### 3.2.5 Pevnost oleje na stříh

Dle [8] je to vlastnost, kterou má olejový film, aby odolal stříhovému (mechanickému) namáhání. U takové zkoušky ztrácí olej viskozitu, míra poklesu značí odolnost oleje. Příkladem budiž olej, který patří do třídy SAE 30. Tento olej má kinematickou viskozitu při 100 °C mezi 9,3 a 12,5  $mm^2 \cdot s^{-1}$ . Při zkoušce, která se provádí v tzv. Boschově injektoru, poklesne tato viskozita z 12  $mm^2 \cdot s^{-1}$  na 10  $mm^2 \cdot s^{-1}$ , což dělá pokles o 16 %. Pokud by ale tato viskozita poklesla až na 8,9  $mm^2 \cdot s^{-1}$ , už by olej patřil do třídy SAE 20 a ztráta by byla 25 %. Takovýto olej by měl malou stříhovou stálost.

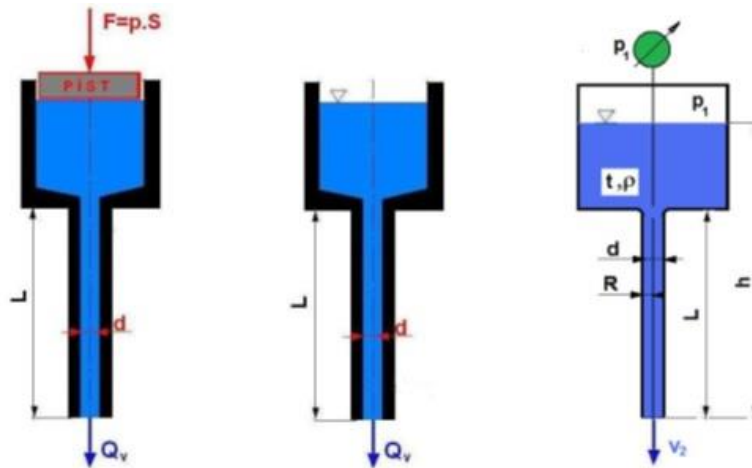
### 3.2.6 Měření viskozity

Viskozita se měří viskozimetry. Nejčastěji se používají viskozimetry průtokové neboli kapilární, dále výtokové, tělískové a rotační.

**Kapilárních** viskozimetrů existuje velké množství. Princip měření je u všech typů podobný a je založený na Hagen-Poiseuilově zákoně. Měří se průtok laminárního proudění kapaliny kapilárou o známé délce  $L$  a poloměru  $R$ . Dynamická viskozita  $\eta$  je úměrná tlakovému spádu  $p_z$  a lze vypočítat dle vztahu 3.7. [16]

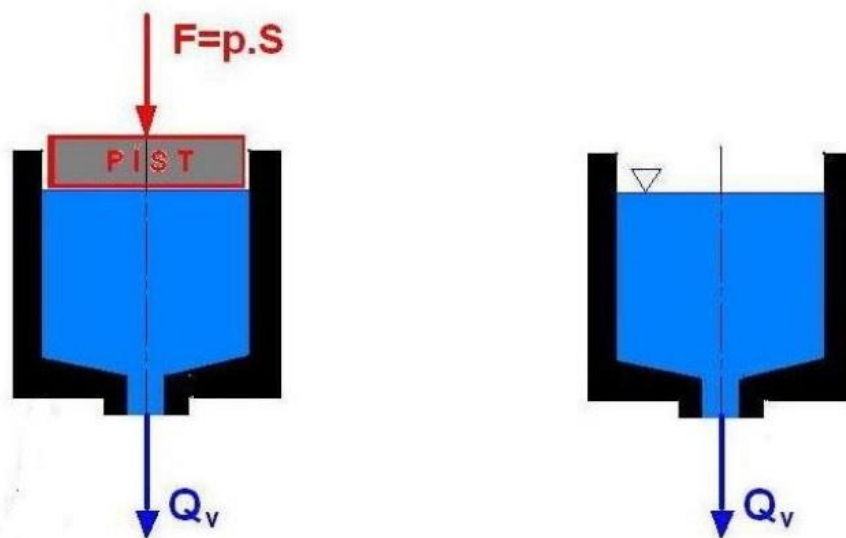
$$\eta = \frac{\pi \cdot p_z \cdot R^4}{8 \cdot Q \cdot L} \quad [Pa \cdot s] \quad (3.7)$$

Pro měření se využívá viskozimetrů, které mají konstantní tlakový spád. Toho se dosáhne buď tlakem inertního plynu, který je v nádobě nad hladinou zkoušené kapaliny, nebo se využívá složitějších provedení, kde je konstantní průtok zajištěn pomocí čerpadla.[16]



Obrázek 7 Kapilární viskozimetry (schéma) [20]

Jiným typem viskozimetrů jsou viskozimetry **výtokové**. Jejich princip je založený na vztahu, který je mezi viskozitou kapaliny a jejím objemem, u kterého se sleduje, za jak dlouho vyteče při určitém přetlaku přes kruhovou kapiláru za jednotku času. Viskozita je počítána jako poměrná veličina k viskozitě referenční kapaliny. Obě kapaliny jsou zjišťovány při určité teplotě.



Obrázek 8 Výtokové viskozimetry (schéma) [20]

Referenční kapalinou bývá většinou destilovaná voda, která má teplotu 20 °C. Jako zástupce může být jmenován například Englerův viskozimetr. U tohoto zařízení se viskozita měří v Englerových stupních [°E] a spočítá se dle vztahu 3.8 jako poměr doby výtoku měřené kapaliny  $\tau$  a doby výtoku referenční kapaliny  $\tau_v$ , při stejné teplotě (20 °C).

$$E = \frac{\tau}{\tau_v} \quad [^\circ E] \quad (3.8)$$

Přepočítání na kinematickou viskozitu se pak provede podle následujícího vztahu.

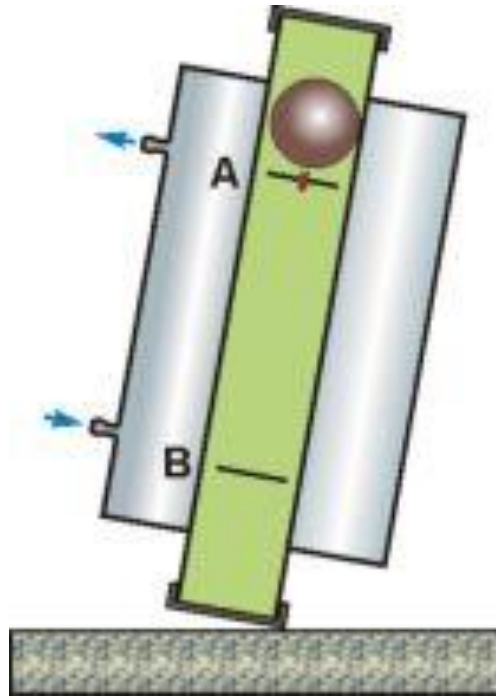
$$\nu = \left[ 7,31 \cdot E - \frac{6,31}{E} \right] \cdot 10^{-6} \quad [m^2 \cdot s^{-1}] \quad (3.9)$$

Třetí skupinou jsou viskozimetry **tělískové**. Jejich princip je založený na tom, že se sleduje pád nějakého tělíska ve zkoušeném médiu. Nejčastějším druhem tělíska je kulička. Pro výpočet viskozity u těchto viskozimetrů se používá upravený Stokesův vztah pro konstantní rovnoměrnou pádovou rychlost kuličky v kapalině. Viskozita u takového viskozimetru je pak dána následujícím vztahem 3.10.

$$\eta = \frac{2 \cdot r^2 \cdot g \cdot (\rho_k - \rho_m)}{9 \cdot L} \cdot \tau \quad [Pa \cdot s] \quad (3.10)$$

Kde hustota kuličky je označena  $\rho_k$  a hustotu zkoumané kapaliny značí  $\rho_m$ . Poloměr kuličky je označen  $r$ , její dráha  $L$ , která je měřena mezi dvěma ryskami. Doba, za kterou kulička tuto dráhu urazí, je označena  $\tau$ . U žádného měřicího přístroje ale nelze dosáhnout ideálních podmínek, proto je nutné ve výpočtech počítat s opravným koeficientem  $k$ . Tento opravný koeficient je určený kalibrací přístroje, která je provedena kapalinou o známé hodnotě.

Nejznámější zástupce této skupiny viskozimetrů je Höpplerův viskozimetr viz obrázek 9. Při měření na Höpplerově viskozimetru je vztah 3.10 násoben ještě cosinem úhlu sklonu trubice  $\cos\alpha$ , který je dán a má hodnotu 10°.



**Obrázek 9 Höpplerův viskozimetr (schéma) [18]**

Posledním typem viskozimetrů jsou viskozimetry **rotační**. Ty fungují na principu Couetteova proudění kapaliny v mezikruží dvou sousých válců, z nichž jeden rotuje. Měří se otáčky za čas, nebo úhlová rychlost a moment, který vzniká důsledkem odporu kapaliny. Na daném poloměru  $r$  se moment v libovolném místě mezery vypočítá dle vztahu 3.10.

$$M = 2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot \tau \quad [N \cdot m] \quad (3.11)$$

Kde  $\tau$  je tečné napětí,  $h$  je hloubka ponoření rotujícího válce v kapalině. Tečné napětí se vypočítá podle následujícího vzorce 3.11.

$$\tau = \eta \cdot \frac{r \cdot d\omega}{dr} \quad [Pa] \quad (3.12)$$

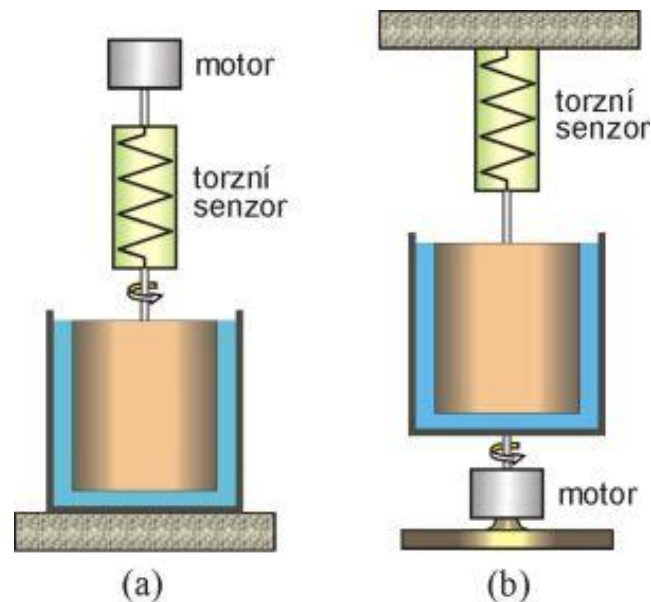
Po spojení obou rovnic vznikne vztah 3.12 pro výpočet dynamické viskozity, kde  $\omega$  značí úhlovou rychlost,  $R_1$  a  $R_2$  rozměry mezery mezi válci.

$$\eta = \frac{M}{4 \cdot \pi \cdot h \cdot \omega} \cdot \left[ \frac{1}{R_1^2} \cdot \frac{1}{R_2^2} \right] \quad [Pa \cdot s] \quad (3.13)$$



Varianta rotačních viskozimetrů existuje několik, těmi nejznámějšími jsou typy CS a CR. U typu CS se zajišťuje konstantní točivý moment a měří se otáčky. U druhého typu se zajišťují konstantní otáčky a měří se točivý moment. Navíc se tyto viskozimetry typu CR dělí dle toho, zda se otáčí vnitřní nebo vnější válec. Rotačním viskozimetrům se někdy také říká reometry. Je to proto, že s nimi lze měřit i viskozitu nelineárních kapalin. U nich se zjišťuje toková křivka neboli reogram. Neplatí pro ně Newtonův zákon viskozity a lze říci, že rychlost jejich deformace není úměrná napětí. [16], [18]

Názorně je rozdíl u obou viskozimetrů typu CR dobře vidět na následujícím obrázku.



**Obrázek 10 Rotační viskozimetry a) typu Searle a b) typu Couett [18]**

## 4 KLASIFIKACE A ZNAČENÍ MOTOROVÝCH OLEJŮ

Klasifikace motorových olejů probíhá podle dvou hlavních kritérií. Tím prvním je klasifikace viskozitní a tím druhým je klasifikace výkonnostní. Obě klasifikace jsou rozepsány v dalších podkapitolách. [21]

### 4.1 Viskózní klasifikace

Z důvodů změn provozních teplot motoru je snaha o to, aby se viskozita v závislosti na teplotě měnila co nejméně. Závislost viskozity na teplotě je určena VI, neboli viskozitním indexem, který je popsán v kapitole 3.2.4. Dle [6] a [21] se o rozdělení olejů do viskozitních tříd postarala SAE (Society of Automotive Engineers, USA) neboli Společnost amerických inženýrů. Pro klasifikaci olejů je použito šest zimních tříd s označením W (z anglického „Winter“, neboli zima) a pět letních tříd. Použitý je vzorec xW-y, kde x značí dynamickou viskozitu naměřenou při -18 °C a y je kinematická viskozita při 100 °C.

**Tabulka 3 Viskozitní klasifikace motorových olejů podle SAE 300 SEP 80 [6]**

Viskozitní třída SAE	Maximální dynamická viskozita při teplotě v °C (mPa·s)	Dynamická viskozita při - 8 °C (mPa·s) dle SAE J 300d	Kinematická viskozita při 100 °C (mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	
			Minimální	Maximální
0W	3250 při -30			
5W	3500 při -25	1480		
10W	3500 při -20	2700		
15W	3500 při -15	5000		
20W	4500 při -10	12000		
25W	6000 při -5	24500		
20			5,6	9,3
30			9,3	12,5
40			12,5	16,3
50			16,3	21,9
60			21,9	26,1

Dle viskozitního značení mohou být oleje tzv. monográdové, nebo multigrádové. U monográdového oleje je při značení použito pouze jedné viskozitní třídy a v praxi to znamená, že je olej určený buď pro letní, nebo zimní provoz. Dnes se ve valné většině případů používají oleje celoroční neboli multigrádové, u nichž je označena jak letní, tak zimní třída, například 10W-40. [21]

## 4.2 Výkonnostní klasifikace

Podle [1] a [22] výkonnostní klasifikace označuje jak dlouhodobé, tak okamžité vlastnosti motorových olejů v různých podobách zatížení. Hodnoceny jsou různé vlastnosti motorových olejů, jako je například ochrana proti oxidaci, proti otěru, proti korozi, proti tvorbě úsad ve vysokých teplotách, proti pění nebo úspora paliva.

### 4.2.1 API (American Petroleum Institute)

Tato klasifikace je starší, avšak doposud používaná. Její specifikace podle [1] je zvláště rozdělena pro motory vznětové, označeny na začátku písmenem **C** (Commerical), a motory zážehové, označené na začátku písmenem **S** (Service). Druhé písmeno v označení značí samotnou výkonnost oleje. Obecně platí, že čím je druhé písmeno alfabetycký výše, tím je olej kvalitnější. V současnosti jsou dříve používané třídy CA až CE a SA až SH překonané. Moderní oleje navíc již splňují požadavky na mazání jak vznětových, tak zážehových motorů. Označení takovýchto olejů vypadá například takto: API SJ/CE.

**Tabulka 4 Výkonnostní třídy olejů API používané v současnosti [22]**

Zážehové (benzinové) motory			Vznětové (dieselové) motory		
Skupina	Zavedení	Pro motory	Skupina	Zavedení	Nahrazují
SN	2010	od 2011	CJ-4	2006	CI-4
SM	2004	do 2010	CI-4	2002	CD až CH-4
SL	2001	do 2004	CH-4	1998	CD až CG-4
SJ	1997	do 2001			

**Tabulka 5 Výkonnostní třídy olejů API dnes již neužívané (vývojově opuštěné) [22]**

Zážehové (benzinové) motory			Vznětové (dieselové) motory		
Pro motory	Skupina	Pro motory	Skupina	Pro motory	Skupina
SH	1994	do 1996	CG-4	1995	CD až CF-4
SG	1989	do 1993	CF-4	1990	CD, CE
SF	1980	do 1988	CF-2 <sup>1)</sup>	1994	CD II
SE	1972	do 1979	CF	1994	CD
SD	1968	do 1971	CE	1985	
SC	1964	do 1967	CD-II <sup>1)</sup>	1985	
			CD	1955	
Vyšší skupiny zahrnují skupiny nižší			<sup>1)</sup> určeny jen pro dvoutaktní diesel motory		

#### 4.2.2 ACEA (Association des Constructeurs Européens d' Automobiles)

Tato výkonnostní klasifikace dle [1] nabyla platnosti roku 1997, byla náhradou za klasifikaci CCMC, která do té doby platila. Dělí se na čtyři skupiny. Skupina **A** označuje oleje určené pro zážehové motory, skupina **B** je určena pro vznětové motory osobních automobilů, skupina **E** pro vznětové motory nákladních vozů a skupina **C** je pro motory vybavené částicovými filtry. Výkonnost oleje je pak vyjádřena číslem, které udává, pro které motory je olej vhodný. Skupiny A, B a C jsou popsány v tabulkách 6 a 7.

**Tabulka 6 Výkonnostní třídy olejů ACEA třídy A a B [2]**

Třída ACEA	Použití oleje	HTHS [mPa·s]
A1, B1	Standardní olej, normální intervaly výměny	2,9 - 3,5
A2, B2	Standardní olej, normální intervaly výměny (Již neplatné)	> 3,5
A3, B3	Olej pro vysokou zátěž, možnost prodloužení intervalu výměny	> 3,5
B4	Jako B3 + možno použít pro dieselové motory s přímým vstřikováním	> 3,5
A4	Rezervováno pro oleje pro benzinové motory s přímým vstřikováním	-
A5, B5	Jako A3 / B4, avšak se sníženou viskozitou HTHS	2,9 - 3,5

**Tabulka 7 Výkonnostní třídy olejů ACEA třídy C [23] a [2]**

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

U stupnice E se dá se říct, že čím má číslo vyšší hodnotu, tím je olej kvalitnější. U stupnic písmen A a B neplatí, že číslo určuje výkonnost. Například ACEA A1/B1 a A5/B5 jsou oleje se sníženou **HTHS** (High Temperature High Shear) viskozitou [mPa · s] a nelze je použít do motorů, kde je doporučována jiná třída olejů. HTHS je viskozita měřená při 150 °C a vysokém smykovém spádu charakterizující sílu mazacího filmu (respektive jeho tloušťku).

#### **4.2.3 Klasifikace výrobců**

Někteří výrobci dle [1] požadují po motorových olejích dodatečné splnění požadavků, které nezahrnují předchozí klasifikace. Těmito požadavky může být například snášenlivost různými druhy těsnicích materiálů a podobně. U osobních automobilů jsou dodatečně uváděny normy například pro Porsche, BMW, AUDI/VW u nákladních automobilů je to Mercedes Benz, MAN a Volvo.

Některé italské (např.: Alfa Romeo, Fiat, Lancia) a francouzské firmy (Renault, Peugeot a Citroen) mají v manuálech uvedený přímo doporučovaný druh oleje. S tím je například spjata delší doba intervalu výměny motorového oleje za použití určité značky, jako uvádí například Peugeot, který konkrétně doporučuje použití olejů Esso, nebo Total. Italské značky zase doporučují Selenii.

**Tabulka 8 Příklad norem výrobce VW [2]**

<b>Norma</b>	<b>Popis normy</b>
VW 500.00	Odpovídá ACEA A3-96, oleje pro benzínové a nepřepřlňované, palivo šetřící naftové motory
VW 501.01	Odpovídá ACEA A2-96, oleje pro benzínové a nepřepřlňované naftové motory
VW 502.00	Lehko běžné oleje pro benzínové motory, výměnný interval 15.000 km
VW 503.00	Lehko běžné i běžné motorové oleje pro benzínové motory s velmi dlouhou dobou výměny, 30.000 km
VW 503.01	Benzínové motory Audi S3 a TT výměna 30.000 km
VW 504.00	Motorové oleje určeny pro <b>benzínové motory</b> a lze jimi nahradit oleje VW norem: VW 501 01, VW 502 00, VW 503 00, VW 503 01
VW 505.00	Odpovídá ACEA B2-96, oleje pro všechny typy naftových motorů, včetně přepřlňovaných, výměna 15.000 km
VW 505.01	Celoroční oleje pro přepřlňované i nepřepřlňované naftové motory osobních automobilů, včetně motorů čerpadlo-tryska, výměna 15.000 km
VW 506.00	Lehko běžné i běžné motorové oleje pro naftové motory, s velmi dlouhou dobou výměny, 30.000 km, přímý vstřík - klasické čerpadlo
VW 506.01	Naftové motory osobních vozů, přímý vstřík, čerpadlo-tryska, výměna 30.000 km
VW 507.00	Motorové oleje určeny pro <b>naftové motory</b> 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

#### **4.2.4 Jiné výkonnostní klasifikace (MIL-L, ILSAC, Pro dvoutaktní motory)**

Dříve bylo možné se setkat s výkonnostní klasifikací **MIL-L**, kterou pro své stroje používala americká armáda. Tyto normy splňovaly požadavky některých evropských motorů. Dnes to ale již neplatí a do motorů vyrobených v Evropě by se oleje s touto specifikací neměly používat. Některé specifikace se však mimo Evropu v civilní oblasti dodnes zřídka používají. [2]

Další méně známou výkonnostní klasifikací, viz [24] a [1], je **ILSAC** (International Lubricants Standardization and Approval Committee – Mezinárodní poradní výbor pro standardizaci maziv). Tato výkonnostní klasifikace byla uvedena v platnost roku 1990 asociací AAMA (American Automobile Manufacturers Association) a JAMA (Japan Automobile Manufacturers Association). V současné době existuje výkonnostních šest skupin.

**Tabulka 9 Výkonnostní klasifikace ILSAC [24]**

<b>Třída ILSAC</b>	<b>Popis třídy</b>
GF-1	Vytvořena 1990 a upravena 1992, kladla požadavek na úsporu 2,7 % paliva, vytvořena pro americké a japonské automobily, téměř totožná s API SH
GF-2	Vystřídala GF-1 roku 1996, požadavek na zvýšenou úsporu paliva a nízký obsah fosforu (0,1 %). Olej musí splňovat normu API SJ
GF-3	Musí splňovat normu API SL, přísnější parametry pro dlouhodobý účinek na emisní systémy. Opět zvýšená úspora paliva, požadavek na viskózní stabilitu, snížení spotřeby oleje a menší degradaci aditiv
GF-4	Podobný, jako API SM, navíc ale tato norma vyžaduje test spotřeby paliva (VIB) dle (ASTM D6837)
GF-5	V platnosti od 2011, požadavek na větší úsporu paliva, lepší ochrana proti vysokoteplotním úsadám na pístech a v turbodmychadlech, lepší systém regulace emisí, kompatibilita s těsněními, lepší ochrana pro motory jezdící na etanol do E85
GF-6	V současné době se teprve vyvíjí, pravděpodobné rozdělení na GF6-A, která bude plně kompatibilní s GF-5, navíc bude nabízet lepší spotřebu paliva, lepší ochranu motoru a vyšší výkon a GF-6B, která bude podobná jako GF-6A, ale umožní nižší viskozitu oleje

I **oleje pro dvoutaktní motory** mají své výkonnostní klasifikace. Ty jsou dle **JASO** (Japan – America Society of Oregon) a **API** tří. První je **API TA/JASO FA** a je to klasifikace pro málo zatížené dvoudobé motory, druhou je **API TB/JASO FB** a platí pro středně objemové vysoce zatížené dvoudobé motory. Poslední je **API TC/JASO FC** a značí oleje pro vysokootáčkové, vysoce zatížené a vysokovýkonné dvoudobé motory.

## 5 ZVLÁŠTNÍ MOTOROVÉ OLEJE

Použití klasických motorových olejů, které se používají u běžných spalovacích automobilových motorů, není u ostatních strojů vždy vhodné. Existují oleje, které kromě mazání spalovacího motoru musí splňovat vícero funkcí, jako například společné mazání dohromady s převodovkou nebo použitelnost i do hydraulických systémů.

### 5.1 Motocyklové oleje

Některé oleje pro motocykly se dle [2] oproti olejům pro automobily mírně odlišují a proto použití automobilového oleje v motocyklu není ve většině případů vhodné. Existují však i případy, kdy je toto použití možné. Záleží však na konstrukčním řešení motoru. Převážná většina motocyklů má v dnešní době společnou náplň pro motor i převodovku a tím pádem oproti automobilu i mnoho odlišných konstrukčních prvků, jako je mokrá volnoběžka startéru, mokrá spojka a další. Tyto oleje musí splňovat naráz požadavky, které jsou proti sobě. Na jednu stranu musí snižovat tření, na stranu druhou musí být určitá hodnota tření v některých případech zachována. V praxi to znamená, že motocyklový olej musí splňovat dobrou odolnost vůči stříhovému namáhání, vysokou tepelnou stabilitu a velkou zatížitelnost. Odolnost proti stříhovému namáhání vyjadřuje, jakou má olej odolnost proti porušení olejového filmu, například na ozubených kolech převodovky. Vyjadřuje ho index stříhové stability, tzv. SSI (Shear Stability Index). Automobilový motorový olej má tuto hodnotu SSI mezi 30 až 50. Oproti tomu špičkový závodní motorový motocyklový olej má SSI 5. Hodnota SSI 20 značí vynikající stabilitu.

Pro motocykly s nižším výkonem a starším provedením motorů jsou dostačující minerální oleje. Avšak novější motocykly dosahují vyšších listrových výkonů a tím pádem kladou větší požadavky na mazání. I když bylo dosaženo značných zlepšení u minerálních olejů, pořád nemají taková úroveň ochrany, která je potřebná pro nejnovější motocyklové vysoko zatěžované spalovací motory, zde je potřeba použití syntetických olejů. V řadách motocyklových olejů existuje pro čtyřdobé motory řada syntetických olejů PAO, esterů i hydrokrakovaných minerálních olejů HC. [2]



Všechny výše uvedené druhy olejů, které jsou dále vylepšovány různými aditivami, mají výborné mazací vlastnosti, dlouhou životnost a zpravidla veliký teplotní rozsah, takže zajišťují dobrou ochranu při nízkých i vysokých teplotách. [2]

**Tabulka 10 Vlastnosti motocyklových olejů [2]**

<b>Vlastnost</b>	<b>Esterový</b>	<b>PAO</b>	<b>HC</b>	<b>Ropný</b>
Životnost oleje	velmi dobrá	velmi dobrá	velmi dobrá	průměrná
Tepelná stabilita	vynikající	velmi dobrá	velmi dobrá	dobrá
Nízkoteplotní vlastnosti	vynikající	vynikající	velmi dobré	dobré
Vysokoteplotní vlastnosti (bez zlepšovacích přísad)	dobré	dobré	dobré	průměrné
Vysokoteplotní vlastnosti (se zlepšovacími přísadami)	vynikající	velmi dobré	velmi dobré	dobré
Mazání / redukce tření	vynikající	dobré	velmi dobré	dobré

Nejvyšší výkonnostní klasifikace API, značící motorové oleje do automobilů je pro motocyklové oleje zcela nedostačující a neznačí použitelnost olejů u motocyklů. Jediná specifikace, která hodnotí motocyklové oleje, je specifikace JASO. Ta vznikla zásluhou velké čtyřky (Kawasaki, Honda, Yamaha, Suzuki). Platné jsou zatím dvě třídy, JASO MA a JASO MB. Jiná klasifikace pro motocyklové oleje není a jediná možnost je potom se spoléhat na informace výrobců. [2]

## **5.2 Oleje pro zemědělskou techniku a stavební stroje**

Pro zemědělskou, ale i lesní či stavební techniku se užívá tzv. univerzálních olejů. Tyto oleje mají velkou výhodu v tom, že je lze použít pro smíšený vozový park velkého rozsahu. A právě pro výše zmíněné odvětví je toto typické. Oleje lze použít jak pro starší, tak pro mladší motory. Je možné je nalít jak do zážehových, tak do vznětových agregátů, a to buď do přepřínovaných, nebo i do nepřepřínovaných. Zároveň lze oleje používat jak do osobních, tak do nákladních aut či zemědělských strojů.

Tyto oleje mají široký teplotní rozsah a lze je používat celoročně. Protože je zde kladen požadavek na univerzálnost a vysoké výkonnostní nároky, tak tyto oleje splňují více výkonnostních tříd. Někdy se označují i jako oleje vícerozsahové nebo vícestupňové.

Dále existují na trhu oleje tzv. víceúčelové. Takovéto oleje splňují většinou veškeré specifikace, takže je možné je použít nejen jako motorové oleje, ale i jako oleje hydraulické, převodové apod. U těchto olejů je výhoda, že není potřeba pro každý typ stroje jiného oleje a také nemůže dojít k poruše stroje záměnou oleje. Tento druh olejů se nazývá **STOU** (Super Tractor Oil Universal - (super) univerzální traktorový olej). K výrobě těchto olejů je použito pouze kvalitních surovin. Výhodu tento olej má v tom, že stačí jeden druh oleje místo tří. [12]

Dalším druhem olejů používaných v zemědělské technice jsou tzv. **UTTO** (Universal Tractor Transmission Oil/Fluid - univerzální převodový traktorový olej/kapalina). Tyto oleje lze použít buď jako náplně do převodovek, spojek, nebo hydraulického systému. [13]

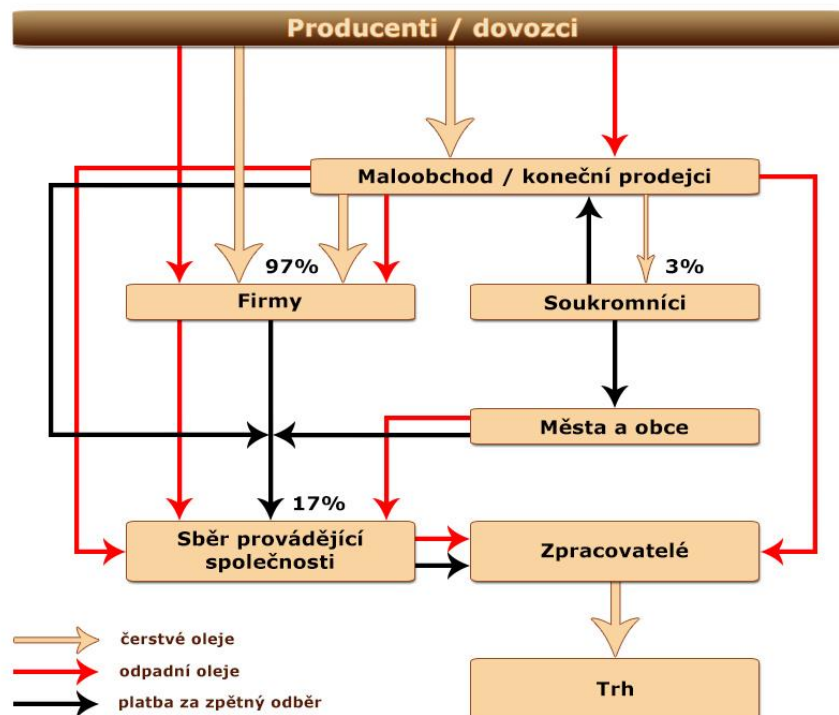
## 6 RECYKLACE UPOTŘEBENÝCH OLEJŮ

Mazací oleje dle [25] je možné zregenerovat do kvality, jakou mají některé základové oleje, ze kterých se pak vyrábějí oleje mazací. Nebo mohou některé oleje ve výjimečných případech obsahovat právě část těchto olejů regenerovaných. Celý proces je často nazýván jako „opětovná rafinace oleje“. V dnešní době existuje hodně licencovaných středisek, která se na získávání takovýchto regenerovaných olejů specializují.

Upotřebený olej většinou projde jednoduchým vyčištěním, kde se odstraní hrubé nečistoty, usazeniny a voda. Poté s upotřebeným olejem může být naloženo dvěma způsoby:

- Využití oleje jako pohonné látky (přímé spalování, např. cementářské pece)
- Opětovná rafinace, kde 50 % - 60 % může být využito jako základový olej

V současné době existují čtyři druhy procesů, při nakládání s odpadními oleji. Jsou to mísení, separace, chemické zpracování, destilace a krakování.



Obrázek 11 Systém zacházení s odpadními oleji [26]

## 7 CÍL PRÁCE

V této práci bude cílem vyhodnocení tokových vlastností sedmi vzorků motorových olejů o viskozitní třídě 5W-30. Tato viskozitní třída byla vybrána, protože se jedná zřejmě o nejrozšířenější používanou specifikaci motorových olejů do osobních automobilů v našich zeměpisných podmínkách. Vybráno bylo pět nových vzorků motorových olejů různých značek a dva vzorky vyjetého oleje od jedné ze značek, kde oba dva oleje byly odebrány po intervalu 15 000 km. U všech vzorků tedy bylo úkolem změřit v závislosti na jejich teplotě viskozitu, smykové napětí a hustotu. Měření proběhlo v rozmezí teplot od -10 °C do 80 °C po 5 °C. Měření viskozity a smykového napětí proběhlo na přístroji Brookfield DV2T, hustota byla změřena hustoměrem Densito 30 PX od firmy Mettler Toledo.

Další částí práce je pak vyhodnocení získaných dat, tedy sestavení matematických modelů závislosti viskozity na teplotě. Poté jsou výsledky vzorků všech značek mezi sebou srovnány a s nimi i vyjeté motorové oleje. Pro modelování závislosti byl použit program Microsoft Excel. U naměřených a vypočtených hodnot byly zjišťovány koeficienty determinace  $R^2$ . V poslední části této práce je popsána diskuze a vytvořeny závěry právě k naměřeným hodnotám.

## 8 METODIKA A MĚŘENÍ

Tato kapitola popisuje motorové oleje, které byly pro měření použity, dále použité přístroje a nakonec jednotlivá měření, jejich postup a vyhodnocení.

### 8.1 Použité oleje

K měření bylo použito celkem sedm vzorků, kde pět vzorků je nových a dva vzorky jsou vyjeté, odebrané v intervalu, který předepisuje výrobce.

#### 8.1.1 Nové motorové oleje

K měření bylo zakoupeno pět vzorků motorových olejů pro osobní automobily, každý od jiného výrobce. Oleje byly zakoupeny nové a nerozdělané, v litrových baleních. Tyto motorové oleje jsou běžně dostupné v prodejnách nebo internetových obchodech a jsou jak od známých výrobců, tak od těch méně známých, které automaticky bývají veřejností považovány za ty méně kvalitní. Záměrně byla vybrána pro naše zeměpisné podmínky zřejmě nejpoužívanější viskozitní třída 5W-30, a to u všech vzorků. Více lze vidět v následující tabulce 10.

**Tabulka 11 Nové motorové oleje 5W-30**

Číslo vzorku	Výrobce	Označení	Typ	Některé výkonnostní klasifikace
1	Mobil	Super 300 XE	Syntetický	ACEA C3, API SM/CF, VW 505.01, 502.00, 505.00
2	Trysk	Speed	Syntetický	ACEA A1/B1, API SM/CF/EC, VW 504.00/507.00
3	Shell	Helix HX7	Syntetický	ACEA A3/B3 A3/B4, API SL/CF, VW 502.00, 505.00 a 505.01
4	Eurol	Optence	Syntetický	ACEA A3/B4/C3, API SL/CF, VW 502.00, 505 01
5	Castrol	Edge FST	Syntetický	ACEA A3,B3,B4, API SN VW 504.00, 507.00

### 8.1.2 Použité motorové oleje

Vzorky použitých motorových olejů pro porovnání jsou dva, taktéž viskozitní klasifikace 5W-30 a oba značky Castrol Edge FST. Oba vzorky byly odebrány po ujetí výrobcem udávaného intervalu výměny motorového oleje, který činí 15 000 km. Oba oleje byly měněny na podzim roku 2015, přičemž olej ve VW byl předtím měněný na jaře téhož roku a olej v BMW byl v motoru téměř celý rok, tudíž i přes zimu. Více v tabulce 11.

**Tabulka 12 Upotřebené motorové oleje 5W-30**

Číslo vzorku	Výrobce	Označení	Typ	Označení automobilu	Nájezd [km]
6	Castrol	Edge FST	Syntetický	BMW E61 530d 160 kW	15000
7	Castrol	Edge FST	Syntetický	VW Passat 1.9 TDI PD 96 kW	15000

Vzorek číslo 6 je odebraný z osobního automobilu BMW modelové řady E61, který pohání diesellový přeplňovaný šestiválcový agregát o objemu 2993 cm<sup>3</sup> s přípravou směsi CR (Common Rail) 3. generace, DPF (filtrem pevných částic) a s výkonem 160 kW. Auto má automatickou převodovku a jezdilo spíše kratší trasy.



**Obrázek 12 BMW E61 530d 160kW**

Vzorek číslo 7 je z osobního automobilu VW (Volkswagen) Passat s motorizací TDi PD (Pumpe Düse – čerpadlo tryska). Jedná se o čtyřválcový přeplňovaný vznětový motor o objemu 1896 cm<sup>3</sup> s výkonem 96 kW. Na automobilu je provedený chiptuning na 120 kW a má manuální šestistupňovou převodovku. Využíván byl spíše na delší trasy.



**Obrázek 13 VW Passat 1.9 TDi PD 96kW**

## **8.2 Použité přístroje**

Pro měření viskozity a hustoty byly použity následující přístroje.

### **8.2.1 Měření viskozity**

K měření viskozity byl použit přístroj kanadského výrobce Brookfield DV2T. Tento přístroj na základě měření okamžitých hodnot vřetena, které rotuje a je ponořeno v kapalině, zobrazuje okamžitou hodnotu dynamické viskozity kapaliny  $\eta$  [ $mPa \cdot s$ ]. Tato viskozita je zobrazena na základě interních výpočtů přístroje. Další hodnoty, které přístroj zobrazuje, jsou teplota, smyková rychlost, smykové napětí, rychlost otáčení, % torze a druh vřetena. Pro měření různých materiálů je nutné zvolit vhodný druh vřetena a rychlost jeho otáčení. Geometrie vřeten může být válec - válec, nebo kužel - deska. Čím je vřeteno větší, tím jeho odpor proti otáčení roste. [27]

## Základní technické údaje přístroje Brookfield DV2T [27]

- Zabudovaná RTD teplotní sonda (princip měření teploty je založený na změně odporu sondy v závislosti na teplotě)
- Přesnost měření torze v celém rozsahu:  $\pm 1,0\%$
- Opakovatelnost:  $\pm 0,2\%$
- Rozhraní USB (připojení k PC)
- Měřicí geometrie
  - Válec - válec
  - Kužel – deska
- PG Flash Software – PC program na vytváření testů (až 25 opakování)

**Tabulka 13 Modely a jejich základní údaje [27]**

Model	Počet vřeten	Rozsah měření [mPa · s]	Moment při plném zatížení [ $mN \cdot m$ ]	Rychlosti otáčení vřetene [ot./min]
DV2TLV	4	1 až 6 000 000	0,0673	0,1 - 200
DV2TRV	6	100 až 40 000 000	0,7187	0,1 - 200
DV2THA	6	200 až 80 000 000	1,4374	0,1 - 200
DV2THB	6	800 až 320 000 000	5,7496	0,1 - 200

Pro měření byl použit model Brookfield - DV2TLV, který nejvíce vyhovuje pro měření viskozit u druhu kapalin, mezi něž patří i motorový olej. Dále byl použit teplotní senzor Pt 1000, který má následující technické parametry:

- Teplotní senzor Pt1000
  - Teplotní rozsah -50 až 125 °C
  - Připojení – mini USB
  - Přesnost měření 0,5 °C



Obrázek 14 zobrazuje Viskozimetr Brookfield DV2TLV, který byl použitý pro měření. Ne tomto viskozimetru bylo pro měřené typy motorových olejů použito vřeteno 18 (dle Brookfielda).



**Obrázek 14 Viskozimetr Brookfield DV2TLV [27]**

### **8.2.2 Měření hustoty**

Pro měření hustoty byl použit přístroj Mettler Toledo, Densito PX30. Tento hustoměr má speciální stupnici pro měření ropných produktů. Jedná se o přenosný hustoměr, který umožňuje okamžité zobrazení hustoty. Měření probíhá na principu oscilující trubice, kde současně je schopen měřit i okamžitou teplotu. Vzorek je nasát přes trubici do přístroje, který okamžitě zobrazí jeho hodnotu. Pro velmi viskózní vzorky je přístroj vybaven otvorem, do kterého lze vstříknout vzorek stříkačkou. Přístroj disponuje automatickým kompenzováním teploty. Kalibrace přístroje se provádí na vodu, nebo vzduch. [28]

**Technické údaje použitého přístroje Densito 30 PX:**

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

*Měřicí rozsah teploty:* 0 až +60 °C

*Rozlišení:* 0,1 kg·m<sup>-3</sup>

*Přesnost:* 1 kg·m<sup>-3</sup>

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

*Identifikace vzorku:* datum, čas a identifikace přístroje



**Obrázek 15 Densito 30 PX Mettler [28]**

### 8.3 Postup měření

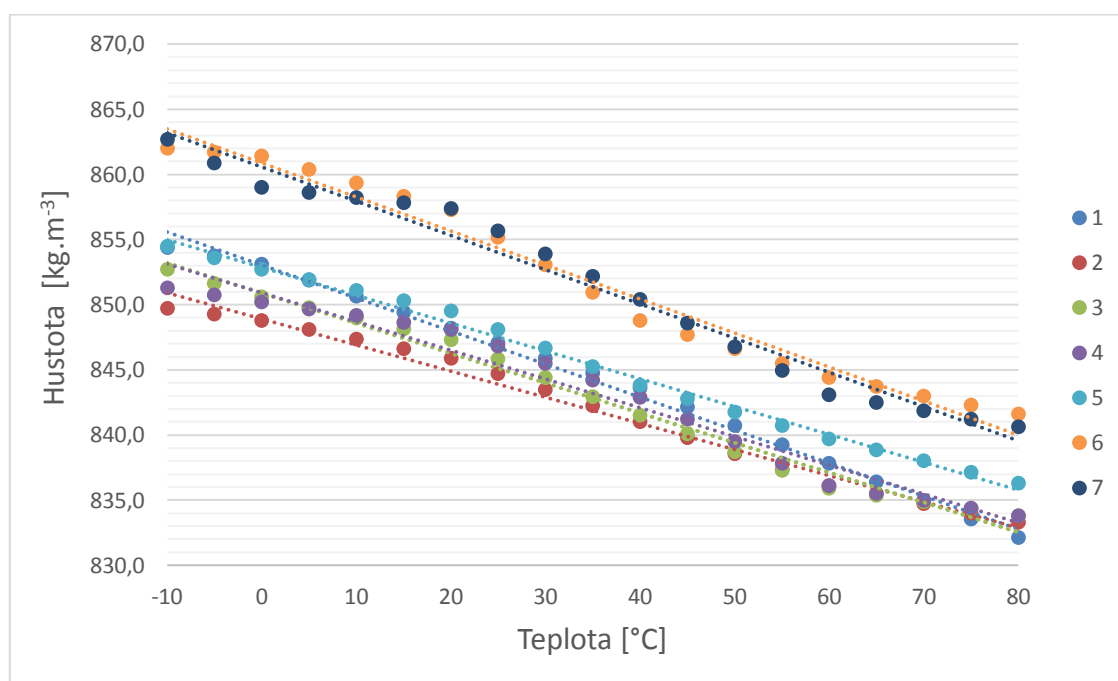
Ve standardizované kyvetě bylo odměřeno 15 ml vzorku motorového oleje určeného k měření. Vzorek i s kyvetou byl vložen do adaptéru a do přístroje. Na adaptér se napojilo termostátové zařízení, které hlídalo a upravovalo teplotu měřeného vzorku. Vzorek byl prvně zchlazen na  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  a poté byl pozvolna ohříván až na teplotu  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Na přístroj bylo nasazeno válcové vřeteno 18, standardizované dle Brookfielda. Na adaptér byl poté připojený kalibrovaný teplotní senzor Pt1000. Měření probíhalo na viskozimetru za konstantní smykové rychlosti  $20\text{ s}^{-1}$ . Měřena byla teplota, dynamická viskozita a smykové napětí zkoumaného vzorku. V průběhu celého měření byly také postupně odebírány vzorky na měření hustoty při určitých teplotách. Hodnoty naměřené viskozimetrem byly přímo zapsány do PC.

## 9 VÝSKLEDKY A DISKUZE

Tato kapitola obsahuje konečné naměřené a vypočítané hodnoty hustoty, dynamické a kinematické viskozity jednotlivých olejů. V následujících grafech jsou vyobrazeny naměřené hodnoty jednotlivých fyzikálních vlastností vzorků motorových olejů, které jsou popsány v tabulkách 11 a 12 v kapitole 8. Hodnoty fyzikálních veličin v grafech jsou proloženy funkcemi, jejich vhodnost je volena na základě koeficientu determinace  $R^2$ .

### 9.1 Hustota

V grafu na obr. 16 je uvedena závislost hustoty olejů na teplotě. Jak lze vidět z naměřených hodnot, s rostoucí teplotou hustota mírně klesá, což bylo možné podle [7] předpokládat, jelikož průběh měřených hustot je velice podobný.



Obrázek 16 Závislost hustoty na teplotě

Rozdíly v poklesu a velikosti hodnot naměřených hustot jednotlivých vzorků jsou způsobeny rozdílným složením olejů. Každý výrobce má specifické složení oleje – různý poměr aditiv a základového oleje. U vzorků 1 až 5 není rozdíl až tak patrný.

U vzorků použitých olejů 6 a 7 je hustota v celém rozsahu měření o poznání vyšší, to je způsobeno především vyšším obsahem otěrových částic.

Na proložení naměřených hodnot hustoty v grafu a její závislosti na teplotě bylo použito lineární funkce, jejíž obecný tvar je uveden jako vztah 9.1. Vhodnost použití této funkce potvrzují vysoké hodnoty koeficientů determinace  $R^2$ . Ten určuje, jako moc se použitý model shoduje s naměřenými daty. Čím blíže je hodnota koeficientu determinace číslu 1, tím méně chybné je použití daného tvaru rovnice pro proložení hodnot. Hodnoty koeficientů lineárních rovnic a hodnoty koeficientů determinace jsou uvedeny v tabulce 14.

$$y = ax + b \quad (9.1)$$

Tento vztah je pak upraven pro výpočet průběhu hustoty následovně:

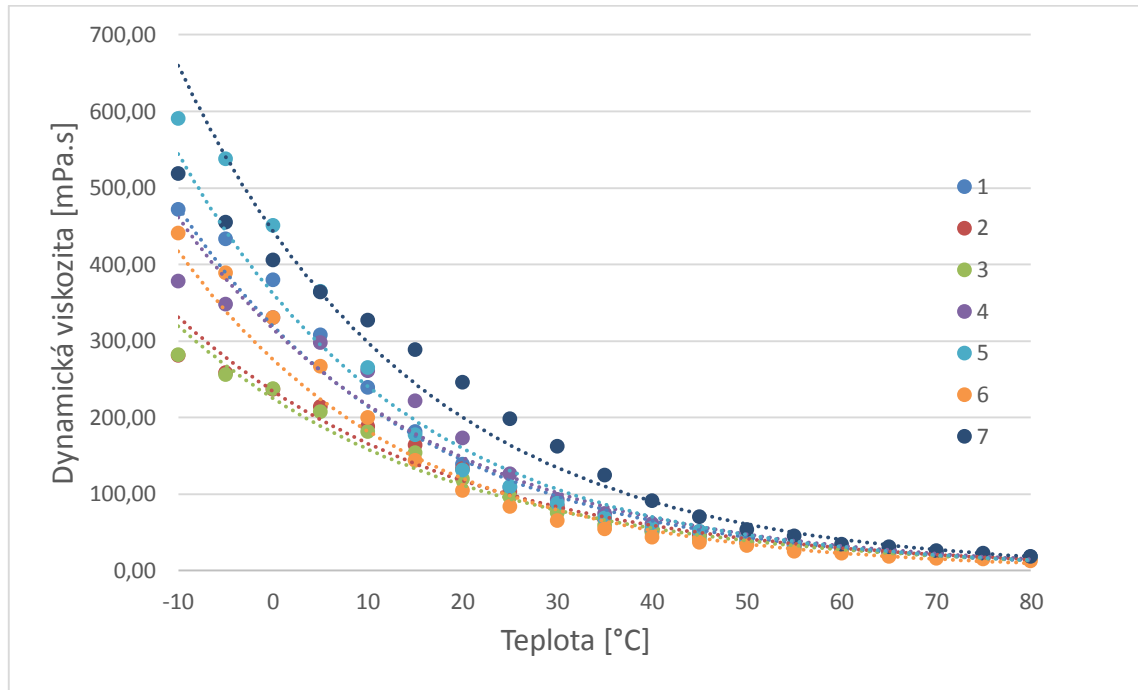
$$\rho = aT + b \quad (9.2)$$

**Tabulka 14 Koeficienty lineární funkce a koeficienty determinace  $R^2$**

Číslo vzorku	Hodnota koeficientu $a$ [ $kg \cdot m^{-3} \cdot ^\circ C^{-1}$ ]	Hodnota koeficientu $b$ [ $kg \cdot m^{-3}$ ]	Koeficient determinace $R^2$
1	-0,2534	853,05	0,9954
2	-0,2007	848,93	0,9893
3	-0,2295	850,88	0,9891
4	-0,2205	850,90	0,9725
5	-0,2135	852,87	0,9947
6	-0,2614	860,90	0,9778
7	-0,2629	860,58	0,9781

## 9.2 Dynamická viskozita

V následujícím grafu na obrázku 17 jsou vyneseny naměřené hodnoty dynamické viskozity.



Obrázek 17 Závislost dynamické viskozity na teplotě

Na proložení naměřených hodnot dynamické viskozity bylo použito funkce exponenciální. Její obecný tvar je uveden v následujícím vzorci 9.3. Vhodnost použití této funkce k proložení naměřených hodnot dokazují vysoké hodnoty koeficientů determinace  $R^2$ , které jsou spolu s hodnotami koeficientů exponenciální funkce uvedeny v tabulce 15.

$$y = a \cdot e^{bx} \quad (9.3)$$

Tento vztah je pak upraven pro výpočet průběhu dynamické viskozity následovně:

$$\eta = a \cdot e^{bT} \quad (9.4)$$

U exponenciální rovnice hodnota koeficientu  $a$  určuje, v jaké hodnotě protíná exponenciální funkce osu  $y$ . Neboli je to funkční hodnota při  $x = 0$ . Hodnota koeficientu  $b$  pak značí, zda bude funkce rostoucí, nebo klesající. Pokud je  $b > 0$ , pak je funkce rostoucí, v opačném případě, kde  $b < 0$ , je funkce klesající. Čím menší je absolutní hodnota tohoto koeficientu, tím více se funkce otevírá.

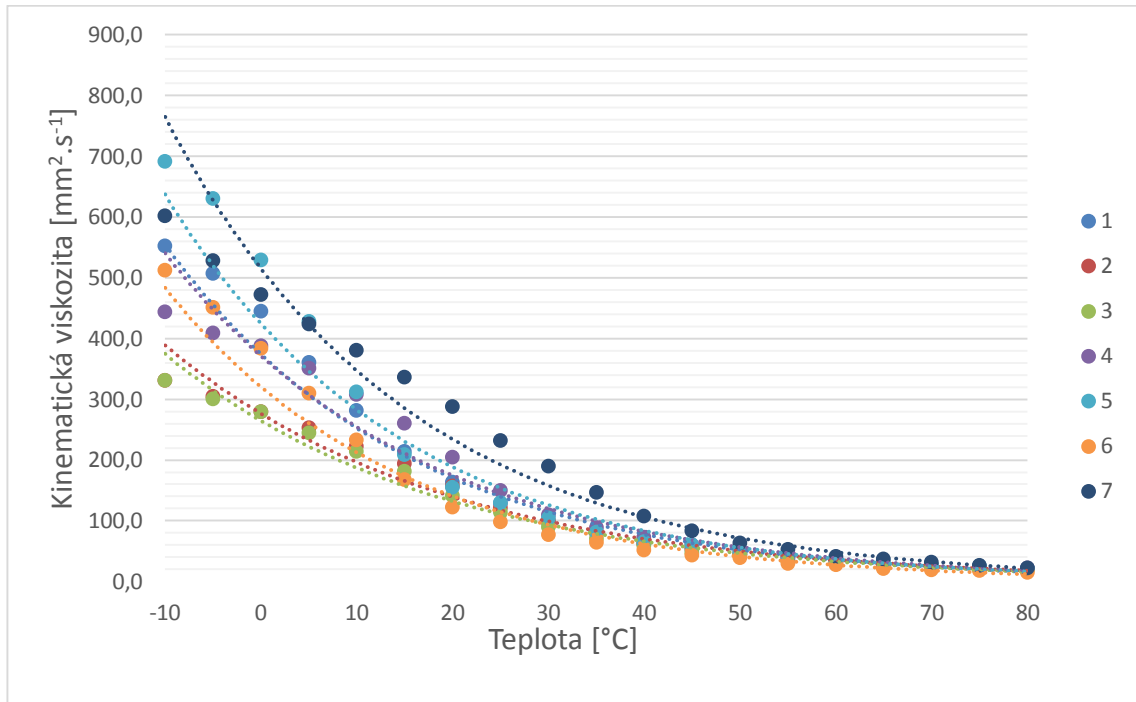
**Tabulka 15 Koeficienty exponenciální funkce a koeficienty determinace  $R^2$**

Číslo vzorku	Hodnota koeficientu $a$ [ $mPa \cdot s$ ]	Hodnota koeficientu $b$ [ $^{\circ}C^{-1}$ ]	Koeficient determinace $R^2$
1	319,33	-0,040	0,9820
2	234,66	-0,034	0,9898
3	225,16	-0,035	0,9893
4	315,80	-0,038	0,9845
5	362,10	-0,041	0,9773
6	275,97	-0,041	0,9843
7	443,63	-0,040	0,9859

Jelikož se pro prezentaci viskozitních vlastností motorových olejů spíše používá viskozity kinematické, byly naměřené hodnoty přepočítány dle vzorce 3.4, který je uveden v kapitole 3.2.3. Tyto hodnoty jsou pak prezentovány v následující kapitole 9.3.

### 9.3 Kinematická viskozita

Pro lepší názornost byly naměřené a přepočtené hodnoty kinematické viskozity taktéž vneseny do grafu a proloženy vhodnou funkcí.



**Obrázek 18** Závislost kinematické viskozity na teplotě

Kinematická viskozita, jak je patrné z obrázku 18, má na teplotě velmi silnou závislost, což bylo popsáno i v publikaci [9], kde měla tato viskozita i velmi podobný průběh. Při nižších teplotách měřených vzorků je rozdíl kinematické viskozity poměrně značný. Nejnižší hodnoty kinematické viskozity vykazují vzorky 2 a 3. Nejvyšší hodnotu v těchto teplotách naopak vykazuje vzorek 5 Castrol Egge FST, jenž byl měřen i v upotřebeném stavu. Hodnota kinematické viskozity se s používáním oleje v provozu mění. Běžné je, že s jeho stářím a opotřebením jeho viskozita klesá, jak lze vidět u vzorku 6. To může být způsobeno podle [29] například tepelným a mechanickým namáháním polymerních modifikátorů viskozity a zkracováním polymerních řetězců. Vzorek 6 má dokonce i na konci svého cyklu v nižších teplotách pořád vyšší viskozitu než některé nové vzorky olejů jiných značek. Při studených startech a nižších teplotách tedy bude dle [10] a [29] stále schopen udržet dobře olejový film na stěnách válců.



Jiný případ může být zvýšení viskozity upotřebeného motorového oleje, to je částečně patrné u vzorku 7. Způsobeno to může být přítomností sazí v oleji nebo oxidací a termickou degradací oleje. Některé výchyly v naměřených hodnotách u vzorku 7 může způsobovat nedokonalé rozmíchání motorového oleje před odebráním vzorků z olejové náplně motoru. Dále je z grafu jasně vidět, že u všech vzorků se s rostoucí teplotou hodnoty kinematické viskozity sbíhají dohromady. Ve vyšších teplotách tedy budou mít tyto oleje podobné viskozitní vlastnosti, zásadní rozdíl bude při teplotách nižších.

K proložení jednotlivých naměřených hodnot byly použity modely exponenciální funkce. Tato funkce je popsána vztahem 9.3 a dostatečně popisuje průběh hodnot i kinematické viskozity v závislosti na teplotě. Důkazem toho je opět vysoký koeficient determinace  $R^2$ . Jednotlivé hodnoty koeficientů použitých exponenciálních funkcí a hodnota koeficientu determinace jsou uvedeny v tabulce 16.

Vzorec exponenciální funkce je pak upraven pro výpočet průběhu kinematické viskozity následovně:

$$v = a \cdot e^{bT} \quad (9.5)$$

**Tabulka 16 Koeficienty exponenciální funkce a koeficienty determinace  $R^2$**

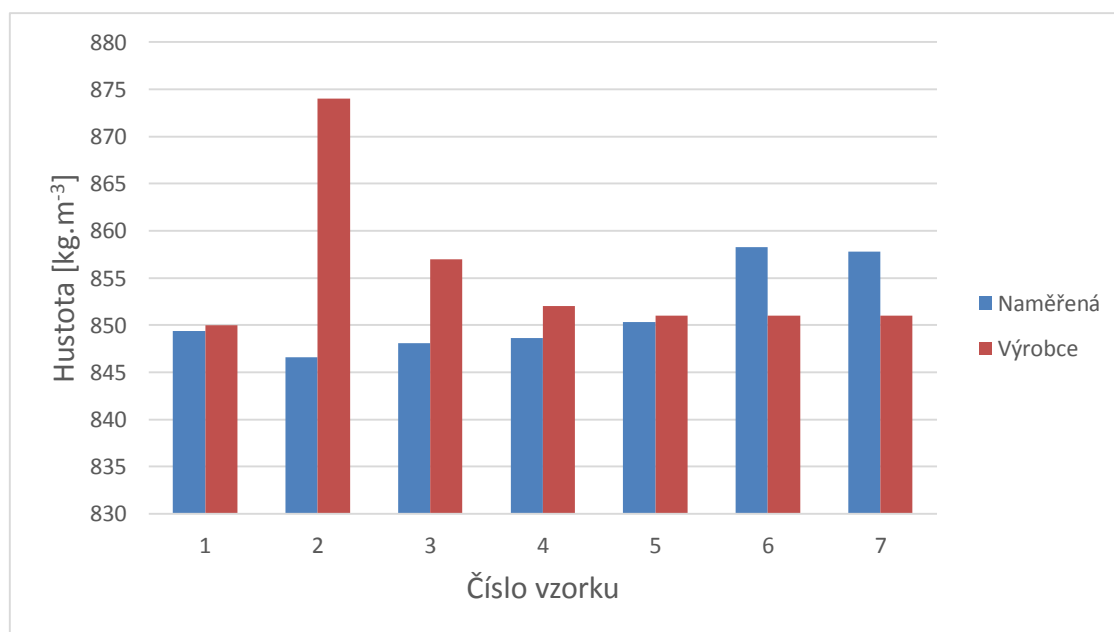
Číslo vzorku	Hodnota koeficientu a [ $mm^2 \cdot s^{-1}$ ]	Hodnota koeficientu b [ $^{\circ}C^{-1}$ ]	Koeficient determinace $R^2$
1	374,33	-0,039	0,9816
2	276,41	-0,034	0,9898
3	264,62	-0,035	0,9892
4	371,13	-0,038	0,9844
5	424,55	-0,041	0,9771
6	320,55	-0,041	0,9842
7	515,49	-0,039	0,9860

## 9.4 Porovnání naměřených hodnot

V této části jsou porovnávány naměřené hodnoty s hodnotami udávanými výrobcí. Tyto hodnoty, které udávají výrobci, jsou měřeny většinou metodou ASTM D 445. Teploty pro měření viskozit stanovuje norma ISO 8217, ty jsou 40 °C a 100 °C. Pro naše porovnání poslouží hodnoty při 40 °C. Pro hustotu je pak srovnávací teplota 15 °C.

Číslo vzorku	$\rho$ (naměřená) [kg · m <sup>3</sup> ]	$\rho$ (výrobce) [kg · m <sup>3</sup> ]	$\nu$ (naměřená) [mm <sup>2</sup> · s <sup>-1</sup> ]	$\nu$ (výrobce) [mm <sup>2</sup> · s <sup>-1</sup> ]
1	849,4	850	62,1	68
2	846,6	874	62,1	Neudává
3	848,1	857	59,4	57,4
4	848,6	852	73,0	70,3
5	850,3	851	66,1	66
6	858,3	-	51,7	-
7	857,8	-	108,0	-

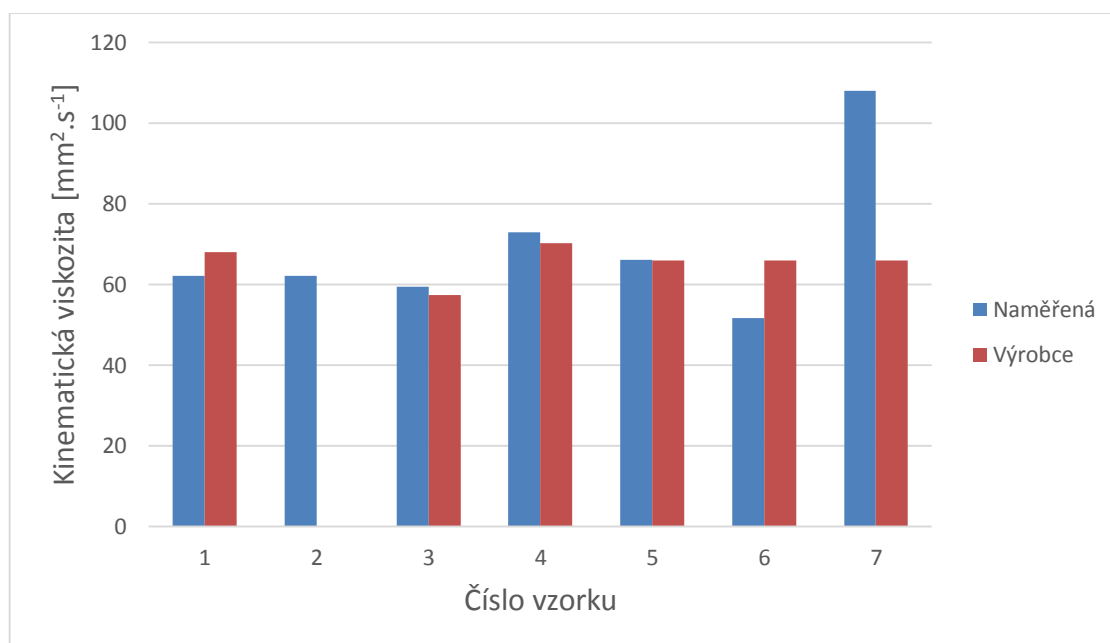
Pro lepší přehlednost byly tyto hodnoty vloženy do grafu. Na obrázku 19 je vyobrazeno porovnání hustoty. Pro vzorky použitých olejů 6 a 7 bylo použito porovnání s hustotou, kterou výrobce udává u nového oleje.



Obrázek 19 Naměřená hustota vs. hustota udávaná výrobcem

Největší rozdíly mezi hodnotami hustoty udávanými výrobcem a skutečnými, naměřenými hodnotami olejů jsou u vzorků olejů 2 a 3, tedy Trysk Speed a Shell Helix HX7. Přesnější hodnoty jsou pak naměřeny u výrobců olejů 1 a 5, tedy Mobil Super 300 XE a Castrol Edge FST

Na obrázku 20 je porovnání kinematické viskozity s hodnotami, které udává výrobce. U vzorku 2 je pak zobrazena hodnota pouze naměřená. Výrobce uvádí pouze kinematickou viskozitu při 100 °C.



**Obrázek 20 Naměřená kinematická viskozita vs. kin. viskozita udávaná výrobcem**

Jak lze vidět z grafu na obr. 20, tak nejpřesnější naměřené údaje o viskozitě byly naměřeny u vzorku 5, Castrolu Edge FST.

## 10 ZÁVĚR

Správná volba motorového oleje je pro motor velmi důležitá. Kromě mazání většiny vnitřních součástí motoru olej zachytává i nečistoty, dotěšňuje a vymezuje vůle například v ložiskách či mezi pístními kroužky a stěnami válců, dále odvádí část tepla a chrání jednotlivé součásti motoru proti korozi. Tato práce se zabývala sledováním teplotní závislosti viskozity olejů o stejné viskozitní třídě 5W-30. Vybráno bylo pět vzorků motorového oleje různých značek a výrobců, dále pak dva vzorky vyjetého motorové oleje.

Hustota vyšla u všech vzorků nového motorového oleje dosti podobně a měla i podobný průběh. Hodnoty hustot u nových vzorků se pohybovaly při teplotě 15 °C mezi 848,1 kg·m<sup>3</sup> a 850,3 kg·m<sup>3</sup>. Při teplotě 80 °C byly hodnoty nových vzorků pak mezi 832,1 kg·m<sup>3</sup> a 836,3 kg·m<sup>3</sup>. Hustota tedy s rostoucí teplotou mírně klesala. U použitých olejů pak byl průběh hustoty stejný jako u olejů nových, avšak hodnoty byly v celém rozsahu zhruba o 7 kg·m<sup>3</sup> vyšší. Pro modelování průběhu byl použit model lineární funkce, která je pro modelování průběhu změny hustoty v závislosti na teplotě nejvíce vhodná. Důkazem toho jsou vysoké koeficienty determinace R<sup>2</sup>, které se zde pohybují od 0,973 do 0,995. Mírně vyšší hustotou vyčnívá motorový olej Castrol Edge FST. Je také dobře vidět značný rozdíl v hustotách vyjetých motorových olejů, které jsou oproti novým motorovým olejům o poznání vyšší.

Měřená viskozita olejů vykazovala značnou teplotní závislost. Pro modelování průběhu viskozity v závislosti na teplotě bylo použito funkce exponenciální, která je pro tento model plně dostačující. Důkazem jsou i zde vysoké koeficienty determinace R<sup>2</sup>, jejichž průměrná hodnota byla kolem 0,98. Oleje měly největší rozdíl ve viskozitě při nižších teplotách. Při teplotě -10 °C vykazovaly nejnižší hodnoty kinematické viskozity oleje značek Shell Helix HX7 a Trysk Speed, což byly hodnoty 330,9 [mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>] a 331,3 [mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>]. Naopak nejvyšší hodnoty pak vykázal olej Castrol Edge FST s hodnotou 691,6 [mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>]. Při vyšších teplotách nebyl rozdíl tak patrný a při teplotách nad 70 °C se pak všechny hodnoty již téměř shodovaly. U vyjetého motorového oleje byl patrný úbytek viskozity v celém rozsahu měření u vzorku odebraného z BMW E60 530D. U vzorku motorového oleje odebraného z Passata jsou výsledky viskozity zkeslené, chyba je patrně v odebrání vzorku, kdy olej nebyl dostatečně promísen.

## 11 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] VLK, F., 2006: *Paliva a maziva motorových vozidel*. 1. vyd. Brno. 376 s. ISBN: 80-239-6461-5
- [2] ČERNÝ, J., *Oleje.cz - Informace ze světa maziv* [on-line]. [cit. 11. listopad 2015]. Dostupné na WWW: <http://www.oleje.cz>
- [3] *Jak na to: Olej Dolej* [on-line]. [cit. 15. listopad 2015]. Dostupné na WWW: <http://www.motorkari.cz/clanky/jak-na-to/olej-dolej-1-oleje-pro-ctyrtakty-31047.html>
- [4] *Prolube* [on-line]. [cit. 16. listopad 2015]. Dostupné na WWW: <http://prolubecaribbean.com/about/faqs/>
- [5] BLAŽEK, J., RÁBL V., 2006: *Základy zpracování a využití ropy* [on-line]. 1. vyd. Praha. 254 s. ISBN: 80-7080-473-4. [cit. 16. listopad 2015]. Dostupné na WWW: [http://147.33.74.135/knihy/uid\\_isbn-80-7080-619-2/pages-img/003.html](http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-619-2/pages-img/003.html)
- [6] ZEHNÁLEK, J. *Chemie, paliva, maziva*. 2. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2005. 176 s. ISBN 80-7157-900-9.
- [7] KUMBÁR, V., ČUPERA, J., HAVLÍČEK, M., BUCHAR, J., 2012: Modelování teplotních závislostí vybraných fyzikálních vlastností směsí nového a upotřebeného motorového oleje. *Technická diagnostika*. sv. XXI, č. z1, s. 124--133. ISSN 1210-311X.
- [8] HRDLIČKA, Z., 1996: *Automobilové kapaliny*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 119 s. ISBN 80-7169-332-4.

- [9] SEVERA, L., HAVLÍČEK, M., KUMBÁR, V., 2009: Temperature dependent kinematic viscosity of different types of engine oils. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. sv. LVII, č. 4, s. 95--102. ISSN 1211-8516.
- [10] DRESEL, W., MANG, T., 2007: *Lubricants and Lubrication*. Weinheim: Wiley, 890 s. ISBN 978-3-527-31497-3.
- [11] ČADA, J., *Motorkari.cz* [on-line].  
[cit. 25. leden 2016]. Dostupné na WWW: <http://www.motorkari.cz/clanky/>
- [12] KRŽAN, B., VIŤINTIN, J., 2003, 36, (11): Tribological properties of an environmentally adopted uni-versal tractor transmission oil based on vegetable oil. *Tribology International*, s. 827-833.
- [13] KUNZ, A., 2006, 37, (2): Development of a universal tractor transmission oil (UTTO) based on rene-wable raw materials. *Materialwissenschaft Und Werkstofftechnik*, s. 191-201.
- [14] *Converter* [on-line]. [cit. 26. leden 2016]. Dostupné na WWW:  
<http://www.converter.cz/tabulky/hustota-kapalin.htm>
- [15] GRODA, B., VÍTĚZ, T., 2009: *Mechanika tekutin I.*, 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. 211 s. ISBN 978-80-7375-283-5.
- [16] DVOŘÁK, L., 2009: *Vlastnosti tekutin* [on-line]. [cit. 27. leden 2016]. 62s.  
Dostupné na WWW: <http://www.338.vsb.cz/studium9.htm>
- [17] *Oil Viscosity* [on-line]. [cit. 8. únor 2016]. Dostupné na WWW:  
<http://www.machinerylubrication.com/Read/411/oil-viscosity>
- [18] BARTOVSKÁ, L., ŠIŠKOVÁ, M., 2005: Co je co v povrchové a koloidní chemii [on-line]. [cit. 15. unor 2016]. VŠCHT Praha. Dostupné na WWW:  
[http://147.33.74.135/knihy/uid\\_es-001/hesla/mereni\\_viskozity.html](http://147.33.74.135/knihy/uid_es-001/hesla/mereni_viskozity.html)

- [19] *Základy reologie a reometrie kapalin* [on-line]. [cit. 17. únor 2016]. Dostupné na WWW: <http://www.kf.upce.cz/Reologie%20a%20reometrie%20kapalin.doc>
- [20] JANALÍK, J., 2010: *Viskozita tekutin a její měření* [on-line]. [cit. 17. únor 2016]. Vysoká škola Báňská. Dostupné na WWW: <http://http://www.338.vsb.cz/PDF/TEXTviskozitaPDF.pdf>
- [21] *Specifikace motorových olejů* [on-line]. [cit. 20. únor 2016]. Dostupné na WWW: <http://www.petroleum.cz/vyroby/oleje-motorove-specifikace.aspx>
- [22] *Zajímavosti pro tribotechniky* [on-line]. [cit. 21. únor 2016]. Dostupné na WWW: <http://www.tribotechnika.cz/zajimavosti>
- [23] *Výkonnostní klasifikace* [on-line]. [cit. 22. únor 2016]. Dostupné na WWW: <https://eshop.paramo.cz/rady-odbornika/vykonove-klasifikace.aspx>
- [24] *ILSAC oil specification* [on-line]. [cit. 24. únor 2016]. Dostupné na WWW: <http://www.oilspecifications.org/ilsac.php>
- [25] *Zpracování odpadů* [on-line]. [cit. 27. únor 2016]. Dostupné na WWW: <http://www.ippc.cz/obsah/CF0207>
- [26] *Česká informační agentura životního prostředí* [on-line]. [cit. 27. únor 2016]. Dostupné na WWW: <http://www1.cenia.cz/www/>
- [27] *Viskozimetry Brookfield* [on-line]. [cit. 5. březen 2016]. Dostupné na WWW: <http://www.brookfieldengineering.com/products/viscometers/laboratory-dv-ii.asp>
- [28] *Hustoměr Densito 30PX* [on-line]. [cit. 7. březen 2016]. Dostupné na WWW: <http://www.ilabo.cz/produkty/laboratorni-pristroje-opticke/mereni-hustoty/densito-30px/>

- [29] Výzkum vlivu kvality a opotřebení motorových olejů na množství a složení emisí škodlivin ve výfukových plynech z hlediska schvalování vozidel a jejich technického stavu v provozu [on-line]. [cit. 16. březen 2016]. Dostupné na WWW: [www.dekra-automobil.cz/doc/Dilci\\_zprava\\_za\\_rok\\_2004.doc](http://www.dekra-automobil.cz/doc/Dilci_zprava_za_rok_2004.doc)



## 12 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Složení motorového oleje [2].....	10
Obrázek 2 Schéma výroby mazacích olejů [5] .....	12
Obrázek 3 Složení detergentu [2].....	15
Obrázek 4 Působení disperzantů [4].....	15
Obrázek 5 Tečné napětí [19].....	18
Obrázek 6 Viskozitní index oleje [17] .....	20
Obrázek 7 Kapilární viskozimetry (schéma) [20].....	22
Obrázek 8 Výtokové viskozimetry (schéma) [20] .....	22
Obrázek 9 Höpplerův viskozimetr (schéma) [18].....	24
Obrázek 10 Rotační viskozimetry a) typu Searle a b) typu Couett [18] .....	25
Obrázek 11 Systém zacházení s odpadními oleji [26] .....	35
Obrázek 12 BMW E61 530d 160kW .....	38
Obrázek 13 VW Passat 1.9 TDi PD 96kW .....	39
Obrázek 14 Viskozimetr Brookfield DV2TLV [27].....	41
Obrázek 15 Densito 30 PX Mettler [28].....	42
Obrázek 16 Závislost hustoty na teplotě .....	44
Obrázek 17 Závislost dynamické viskozity na teplotě.....	46
Obrázek 18 Závislost kinematické viskozity na teplotě .....	48
Obrázek 19 Naměřená hustota vs. hustota udávaná výrobcem.....	50
Obrázek 20 Naměřená kinematická viskozita vs. kin. viskozita udávaná výrobcem .....	51

## 13 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Frakce a délka řetězce [1].....	9
Tabulka 2 Hustota některých kapalin [14].....	17
Tabulka 3 Viskozitní klasifikace motorových olejů podle SAE 300 SEP 80 [6] .....	26
Tabulka 4 Výkonnostní třídy olejů API používané v současnosti [22].....	27
Tabulka 5 Výkonnostní třídy olejů API dnes již neužívané (vývojově opuštěné) [22] ..	28
Tabulka 6 Výkonnostní třídy olejů ACEA třídy A a B [2] .....	28
Tabulka 7 Výkonnostní třídy olejů ACEA třídy C [23] a [2].....	29
Tabulka 8 Příklad norem výrobce VW [2] .....	30
Tabulka 9 Výkonnostní klasifikace ILSAC [24] .....	31
Tabulka 10 Vlastnosti motocyklových olejů [2].....	33
Tabulka 11 Nové motorové oleje 5W-30 .....	37
Tabulka 12 Upotřebené motorové oleje 5W-30.....	38
Tabulka 13 Modely a jejich základní údaje [27].....	40
Tabulka 14 Koeficienty lineární funkce a koeficienty determinace $R^2$ .....	45
Tabulka 15 Koeficienty exponenciální funkce a koeficienty determinace $R^2$ .....	47
Tabulka 16 Koeficienty exponenciální funkce a koeficienty determinace $R^2$ .....	49