

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

**Znečištění motorových olejů a jejich vliv  
na viskozitu**

Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Autor práce: Bc. Michael Šlechta

**PRAHA 2015**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra jakosti a spol. strojů

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Šlechta Michael

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

**Znečištění motorových olejů a jejich vliv na viskozitu**

Anglický název

**Contamination of engine oils and the effect on viscosity**

---

### Cíle práce

Cílem diplomové práce je rozdělit motorové oleje do příslušných viskozitních tříd a uvést možné druhy znečištění oleje, které mají vliv na jeho viskozitu. V praktické části diplomové práce bude stanoven vliv znečištění na viskozitu zvoleného motorového oleje.

### Metodika

- v první část diplomové práce budou na základě literárního rozboru popsány druhy olejů a jejich klasifikace a možné druhy znečištění se zaměřením na viskozitu,
- v praktické části bude provedeno dlouhodobé měření viskozity zvoleného motorového oleje,
- vliv znečištění na viskozitu motorového oleje bude popsán pomocí laboratorního znečišťování zvoleného motorového oleje,
- svázání a odevzdání práce.

### Osnova práce

- 1) Úvod
- 2) Klasifikace olejů a jejich znečištění
- 3) Cíl práce a metodika
- 4) Vliv znečištění na viskozitu oleje
- 5) Závěr

**Rozsah textové části**

50-60 stran

**Klíčová slova**

motorový olej, viskozita, znečištění

**Doporučené zdroje informací**

VLK, František. Paliva a maziva motorových vozidel. 1. vyd. Prof. Ing. František Vlk, DrSc, 2006. ISBN 80-239-6461-5

TŘEBICKÝ, Vladimír. Klasifikace a zkoušení maziv. Český normalizační institut, Praha 2006. ISBN 80-7283-222-0.

STACHOWIAK, G.W. Numerical characterization of wear particles morphology and angularity of particles and surfaces, Tribology International, January 1998, Volume 31, Issues 1-3, Pages 139-157, ISSN 0301-679X

Předpisy a periodika

**Vedoucí práce**

Pexa Martin, doc. Ing., Ph.D.

**Konzultant práce**

Ing. Kateřina Veselá

**Termín zadání**

listopad 2013

**Termín odevzdání**

duben 2015

**prof. Ing. Josef Pošta, CSc.**

Vedoucí katedry



**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan fakulty

V Praze dne 3.2.2014

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Martina Pexy, Ph.D. a použil jsem pouze pramenů citovaných v bibliografii.

V Praze dne 3. dubna 2015

.....

podpis

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Martinu Pexovi, Ph.D. za odborné vedení, za poskytnuté informace a za čas, který mi věnoval při konzultacích a dále konzultantce práce Ing. Kateřině Veselé za odbornou pomoc a zaškolení pro měření s viskozimetrem SVM 3000.

## **Abstrakt**

Práce obsahuje rozdělení motorových olejů do příslušných viskozitních tříd a popisuje možné druhy znečištění oleje, které mají vliv na jeho viskozitu.

V kapitole Cíl práce a metodika je popsán dlouhodobě sledovaný automobil, příprava vzorků, parametry a princip práce viskozimetru SVM 3000.

V kapitole Dlouhodobé měření jsou zobrazeny grafy kinematické viskozity, dynamické viskozity a hustoty znečištěného oleje v závislosti na počtu ujetých kilometrů. Následuje analýza grafů a vypovídací hodnota jednotlivých ukazatelů.

V kapitole Laboratorní znečišťování je ověřen vliv znečištění motorového oleje benzinem, motorovou naftou, vodou a chladicí kapalinou na kinematickou viskozitu.

**Klíčová slova:** motorový olej, viskozita, znečištění

## **Contamination of engine oils and the effect on viscosity**

### **Summary**

This thesis contains the distribution of engine oils into viscosity classes and describes possible means of oil contamination, which affect its viscosity.

The chapter „Objective and methodology“ covers description of a long-term observed car, sample preparation, parameters and principle of the viscosimeter SVM 3000.

The chapter „Long-term measurement“ shows graphs of kinematic viscosity, dynamic viscosity and density of contaminated oil depending on mileage. This is followed by graph analysis and meanings of these indicators.

The chapter „Laboratory contamination“ evaluates influence of gasoline, diesel, water and coolant in engine oil on kinematic viscosity.

**Key words:** engine oil, viscosity, contamination

## Obsah

1 Úvod.....	1
2 Klasifikace motorových olejů a jejich znečištění.....	2
2.1 Druhy motorových olejů a základní úkoly maziv.....	2
2.2 Klasifikace maziv.....	5
2.2.1 Viskozitní klasifikace olejů.....	5
2.2.2 Výkonnostní klasifikace olejů.....	8
2.3 Znečištění motorových olejů.....	13
2.3.1 Voda.....	13
2.3.2 Glykol .....	15
2.3.3 Palivo .....	15
2.3.4 Vzduch .....	16
2.3.5 Tvrdé nečistoty.....	17
2.3.6 Měkké nečistoty .....	21
2.4 Diagnostika olejů .....	23
3 Cíl práce a metodika.....	27
3.1 Metodika .....	27
3.2 Viskozimetr podle Stabingera.....	28
4 Vliv znečištění na viskozitu oleje .....	32
4.1 Dlouhodobé měření viskozity .....	32
4.1.1 Měření při teplotě 40°C .....	32
4.1.2 Měření při teplotě 100°C .....	36
4.2 Laboratorní znečišťování .....	41
4.3 Reprodukovatelnost měření .....	47
5 Závěr .....	50
Seznam použité literatury.....	52
Seznam zkratk .....	53
Seznam obrázků .....	54
Seznam tabulek .....	54
Seznam grafů.....	55
Seznam příloh.....	55

# 1 Úvod

Viskozita je pro motorové oleje velmi důležitá, je to asi nejznámější vlastnost olejů. Oleje s nižší viskozitou jsou tekutější a mají menší vnitřní odpor proti proudění, proti toku. Vyšší viskozita olejů naopak znamená větší odpor a tím také pomalejší tok.

Při provozu motorového oleje dochází k velkým změnám jeho viskozity. Za nárůst viskozity oleje při provozu zodpovídá zejména termická a oxidační degradace oleje a u vznětových motorů navíc ještě množství sazí v oleji. Naopak snížení viskozity způsobuje nadměrný obsah paliva v oleji. Další příčinou snižování viskozity je tzv. stříhová stabilita modifikátorů viskozity. To jsou polymerní látky, které upravují viskozitu motorových olejů a zvyšují jejich viskozitní index. Tyto polymerní látky jsou při provozu oleje stříhově namáhány, zejména v olejovém čerpadle. Dochází k jejich trhání na menší molekuly, což znamená snižování viskozity oleje.

Velký vliv na viskozitu motorového oleje má druh paliva a způsob provozování vozidla. Při jízdách na krátké vzdálenosti se viskozita motorového oleje mění jinak než při jízdách na vzdálenosti dlouhé. Je to způsobeno přítomností vody a především u zážehových motorů pak přítomností benzínu v oleji, které se při krátkých jízdách nestihnou odpařit. Jiná situace nastává při provozu vozidla na LPG (zkapalněný ropný plyn), tam se palivo z motorového oleje odpařuje rychle.

Dalším faktorem pak je klimatické období, při kterém je vozidlo provozováno. V zimním období trvá mnohem déle než se motor a tím i motorový olej dostanou na provozní teplotu, motor je více zatěžován a motorový olej je více namáhán.

Podstatný vliv na viskozitu motorového oleje má technický stav motoru, jeho případné opotřebení a také celkový technický stav vozidla. Například nevhodný, poškozený nebo z jiného důvodu nefunkční vzduchový filtr způsobí přítomnost prachových částic v motorovém oleji.

Důsledkem nadměrného snížení viskozity motorového oleje potom při vyšším zatížení může být porušení mazacího filmu a zvýšené opotřebení nebo i zadírání třecích dílů.



## 2 Klasifikace motorových olejů a jejich znečištění

Na následujících řádcích jsou popsány různé druhy motorových olejů, základní úkoly maziv, klasifikace viskozitní i výkonnostní. Správnou funkci maziva výrazným způsobem ovlivňuje také jeho znečištění.

### 2.1 Druhy motorových olejů a základní úkoly maziv

Motorové oleje se dělí podle způsobu výroby na minerální, syntetické, polosyntetické.

**Minerální oleje** se vyrábějí rafinací ropy. Destilací ropy vznikne tzv. minerální olej. Aby získal vlastnosti, které jsou požadovány a aby plnil funkci mazacího média, musí být dále doplněn o aditiva. Mezi hlavní přísady, které zlepšují vlastnosti oleje patří přísady zvyšující viskozitu, antioxidanty, detergenty, inhibitory, disperzanty, látky zabraňující korozivnímu působení oleje, přísady omezující pění oleje. [1]

**Syntetické oleje** se vyrábějí chemickou syntézou (chemickým slučováním) základních stavebních uhlovodíkových molekul. V několikastupňovém procesu se na sebe váží speciální uhlovodíkové molekuly, tedy jednotlivé komponenty, které musí obsahovat. Výhodou syntetické cesty je skutečnost, že maziva obsahují jen ty složky, které jsou nutné a vhodné. Ostatní složky, které tam být nemusí, a které zhoršují vlastnosti maziv, ale nelze je možné odstranit klasickou cestou, tam nejsou. Výsledkem jsou maziva s vynikajícími a stabilními vlastnostmi. [1]

**Polosyntetické oleje** jsou oleje, které vzniknou přimícháním syntetického oleje určitého složení do minerálního základu. Obsah syntetické složky nesmí být menší než 20 % objemu, špičkové polosyntetické oleje obsahují až 65 % syntetického oleje. Takto vyrobený základ se dále aditivuje pro dosažení potřebných parametrů. Polosyntetické oleje jsou kompromisem mezi oleji minerálními a plně syntetickými. Od každé skupiny mají určité dobré vlastnosti. [1]

Základním úkolem maziva je co možná nejvíce snižovat tření při dotyku dvou ploch během pohybu. Dále mazivo snižuje opotřebení, působí jako těsnící činitel, zbavuje třecí plochy nečistot, chrání plochy před korozi, odvádí teplo, přenáší sílu nebo snižuje hluk. Každé mazivo musí mít vhodné vlastnosti. Mezi přesně definované vlastnosti patří hustota, viskozita, stlačitelnost kapalných maziv, tepelná a elektrická vodivost, teplotní rozmezí využitelnosti, životnost, povrchové vlastnosti a v neposlední řadě také vliv na životní prostředí. [1]

**Tření** vzniká v místě dotyku dvou pohybujících se elementů. Projevuje se vznikem síly, která působí proti pohybu. Pokud se mezi dotykové body vloží látka, která nedovolí jejich bezprostřední styk, třecí síla se významně zmenší. V takovém případě se hovoří o tření při mazání. Vložená látka - mazivo musí velice dobře smáčet povrch a nesmí ho mechanicky ani chemicky poškozovat. Vkládání maziva mezi třecí plochy se nazývá mazání.

**Mazivost** je mazací schopnost kapaliny, uplatňující se v oblasti hydrodynamického mazání. Mazivo zajišťuje co možná nejmenší součinitel tření při optimální únosnosti mazacího filmu.

**Maznost** je mazací schopnost maziva v oblasti s omezenou mazací vrstvou. Tato vlastnost zajišťuje co největší únosnost mezní mazací vrstvy při optimálním koeficientu tření.

Pro výběr optimálního motorového oleje jsou důležité dvě základní specifikace, a to **viskozitní specifikace** a **výkonnostní specifikace**.

**Viskozita** je fyzikální veličina, která udává poměr mezi tečným napětím a změnou rychlosti v závislosti na vzdálenosti mezi sousedními vrstvami při proudění skutečné kapaliny. [1]

V případě maziv je to hlavní porovnávací veličina pro vyjádření mazací schopnosti maziva. Čím je viskozita vyšší, tím je větší únosnost mazací vrstvy. V případě vysoké viskozity však rostou energetické ztráty vynaložené na tření. Největší schopnost mazání má mazivo s optimální, nikoliv s nejvyšší viskozitou. [1]

Hodnota **kinematické viskozity**  $\nu$  ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ) se měří viskozimetrem relativní metodou. Taková metoda nedovede stanovit hodnotu hledané veličiny pouze měřením jí samotné, ale vždy udává jen kolikrát je hledaná veličina větší než určité známé množství veličiny téhož druhu. Při měření viskozimetrem protéká vzorek kapaliny skleněnou kapilárou a měří se čas potřebný k výtoku přesného množství kapaliny z nádoby. Při měření musí být udržována stálá teplota. Každý viskozimetr je od výrobce kalibrován, každý viskozimetr má vlastní konstantu, kterou se pak vynásobí naměřený čas. [1]

Hodnota **dynamické viskozity**  $\eta$  (Pa.s) se získá jako součin kinematické viskozity ( $\nu$ ) a hustoty ( $\rho$ ). Pro změření dynamické viskozity se používají rotační viskozimetry, kdy dynamická viskozita je určena z velikosti točivého momentu, který je měřen v ustáleném režimu otáčení vhodného hřídele v testovaném oleji. [1]

$$\eta = \nu \cdot \rho \quad (2-1)$$

kde:  $\eta$  - dynamická viskozita (Pa.s)

$\nu$  - kinematická viskozita ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )

$\rho$  - hustota ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )

Rozdíl mezi kinematickou a dynamickou viskozitou spočívá v tom, že kinematická viskozita je ovlivněna pouze silou gravitační. Měření se provádí vždy ve svislé poloze a kapalina vždy teče dolů. [1]

Viskozita maziva není stálá, ale je žádoucí, aby se pokud možno co nejméně měnila se změnou podmínek.

Se vzrůstající teplotou viskozita klesá. Pokles závisí na druhu maziva, každé mazivo má svoji tepelně-viskozitní charakteristiku. Je-li potřeba znát charakteristiku nějakého konkrétního maziva, musí být známy nejméně dvě hodnoty v závislosti na teplotě, např. 40/100°C nebo 20/40°C. Aby se urychlila orientace v obrovském sortimentu maziv, byl zaveden tzv. viskozitní index VI.

**Viskozitní index VI** je relativní číslo, které vyjadřuje vliv teploty na změnu viskozity maziva ve srovnání se dvěma standardními mazivy, která mají při teplotě 98.9°C stejnou viskozitu jako hodnocené mazivo. Čím vyšší je hodnota viskozitního indexu, tím méně se mění viskozita s teplotou. Viskozitní index závisí na použitém druhu základového oleje i na modifikátoru. [1], [2]

$$VI = [(L - U) / (L - H)] \cdot 100 \quad (2-2)$$

kde U je kinematická viskozita vzorku při 40 °C. ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ) Hodnoty údajů L a H se odečítají v tabulce. Tabulka hodnot L a H je k dispozici v normě ČSN ISO 2909. [18]

Hodnota viskozitního indexu se zaokrouhluje na celá čísla. Jestliže takto vypočítaný viskozitní index je vyšší než 100, je potřeba udělat výpočet znovu, ale podle jiného vzorce:

$$VI = [(10^N - 1) / 0.00715] + 100, \text{ kde } N = (\log H - \log U) / \log Y \quad (2-3)$$

kde: U je kinematická viskozita ropného produktu při teplotě 40°C ( $\text{mm}^2 \text{ s}^{-1}$ ),

Y je kinematická viskozita ropného produktu při teplotě 100°C ( $\text{mm}^2 \text{ s}^{-1}$ ),

H je kinematická viskozita ropného produktu při teplotě 40°C s viskozitním indexem 100, který má shodnou kinematickou viskozitu při teplotě 100°C jako vzorek ropného produktu, kterého se viskozitní index počítá. ( $\text{mm}^2 \text{ s}^{-1}$ ). [18]

Se vzrůstajícím tlakem hodnota viskozity roste. Zvýšení tlaku oleje o 2,5 MPa vyvolá stejnou změnu viskozity jako snížení teploty o 1°C.

## 2.2 Klasifikace maziv

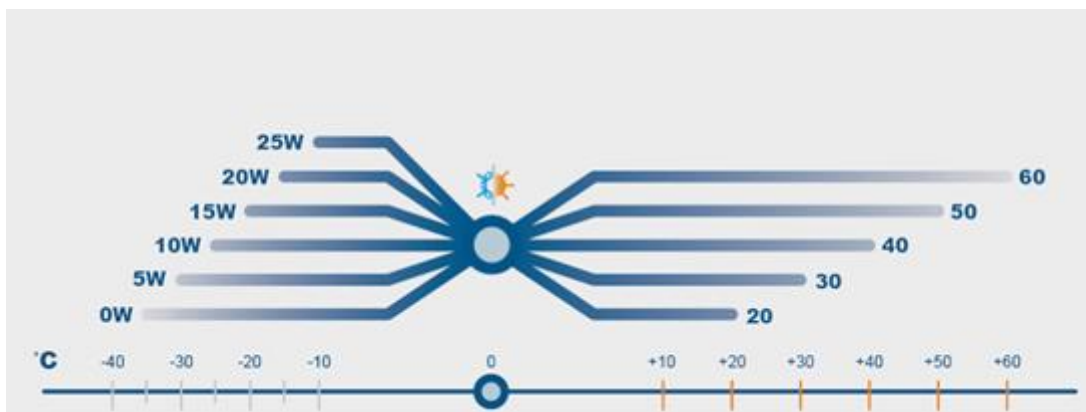
Motorový olej je po technologické stránce složitý produkt, jehož vlastnosti jsou hodnoceny celou řadou parametrů. Pro výběr vhodného motorového oleje z hlediska koncového uživatele jsou důležité především dva základní parametry, kterými jsou viskozita oleje a jeho výkonnostní kategorie.

### 2.2.1 Viskozitní klasifikace olejů

Pro charakteristiku viskozitních vlastností motorových olejů se používá specifikace podle SAE (Society of Automotive Engineers, USA). Pro klasifikaci olejů tato norma řadí oleje do šesti zimních tříd značených číslem a písmenem „W“ (z angl. Winter) a do pěti letních tříd značených číslem. [1]

**Zimní třídy: 0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W**

**Letní třídy: 20, 30, 40, 50, 60**



Obr. 1: Doporučené viskozitní třídy motorových olejů SAE v závislosti na venkovní teplotě

Zdroj: [www.pneu-asistent.cz/oleje](http://www.pneu-asistent.cz/oleje)

Viskozitní klasifikace má většinou tvar např. SAE 15W-40, SAE 5W-40, apod.

První číslo (zimní značení) udává vlastnosti oleje při nízkých teplotách, tj. čerpatelnost oleje. Čím je toto číslo nižší, např. 5W nebo 0W, tím bude olej tekutější v zimních teplotách a tím lépe lze nastartovat studený motor a také se olej rychleji dostane na všechna potřebná mazaná místa (viz tabulka č. 1). U studeného motoru to

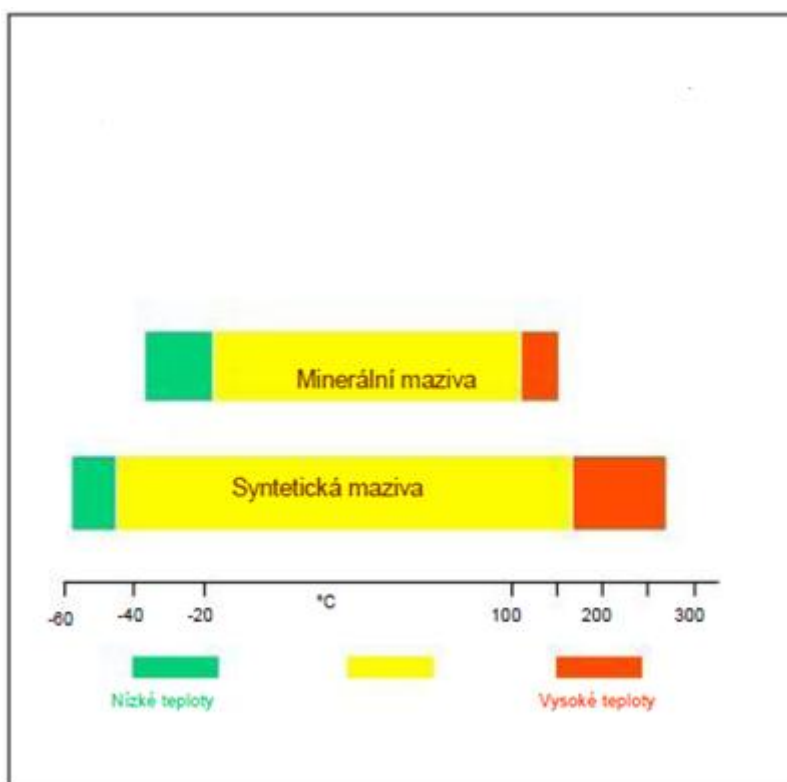
v zimě může u oleje SAE 15W-40 trvat až 20 sekund, zatímco u oleje SAE 0W-30 při stejných podmínkách pouze 1 sekundu. Dnes se stále častěji prosazují motorové oleje s co možná nejnižším zimním číslem. Důvodem je lepší ochrana motoru při studených startech, kdy na kritických místech motoru není ještě dostatečné množství oleje. Čím dříve se motor celý promaže, tím méně trpí a tím se zvyšuje jeho životnost. [1], [7]

Druhé číslo (letní značení) informuje o viskozitě oleje při přibližné provozní teplotě oleje. Čím je toto číslo vyšší, tím je olej při provozu motoru hustší a tím klade větší odpor proti vzájemnému pohybu třecích ploch. V dobách jednosezónních olejů se udávalo pouze toto číslo. Jestliže tedy jsou oleje SAE 15W-40, 10W-40 a 5W-40, při provozní teplotě budou mít všechny tyto oleje stejnou viskozitu a nebude mezi nimi v tomto směru žádný rozdíl. Rozdíl bude pouze v tekutosti a čerpatelnosti při nízkých teplotách. [1], [7]

Viskozitní třída SAE	Dynamická viskozita (mPa.s) v CCS při teplotě (°C) max.	Dynamická viskozita (mPa.s) - mezní hodnota čerpatelnosti - při teplotě (°C) max.	Kinematická viskozita (mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ) při teplotě 100°C		Dynamická viskozita (mPa.s) při teplotě 150°C a smykovém napětí 10 <sup>6</sup> s <sup>-1</sup> min.
			min.	max.	
0 W	3250 při -30	30000 při -35	3,8		
5 W	3500 při -25	30000 při -30	3,8		
10 W	3500 při -20	30000 při -25	4,1		
15 W	3500 při -15	30000 při -20	5,6		
20 W	4500 při -10	30000 při -15	5,6		
25 W	6000 při -5	30000 při -10	9,3		
20			5,6	9,3	2,6
30			9,3	12,5	2,9
40			12,5	16,3	2,9/3,7
50			16,3	21,9	3,7
60			21,9	26,1	3,7

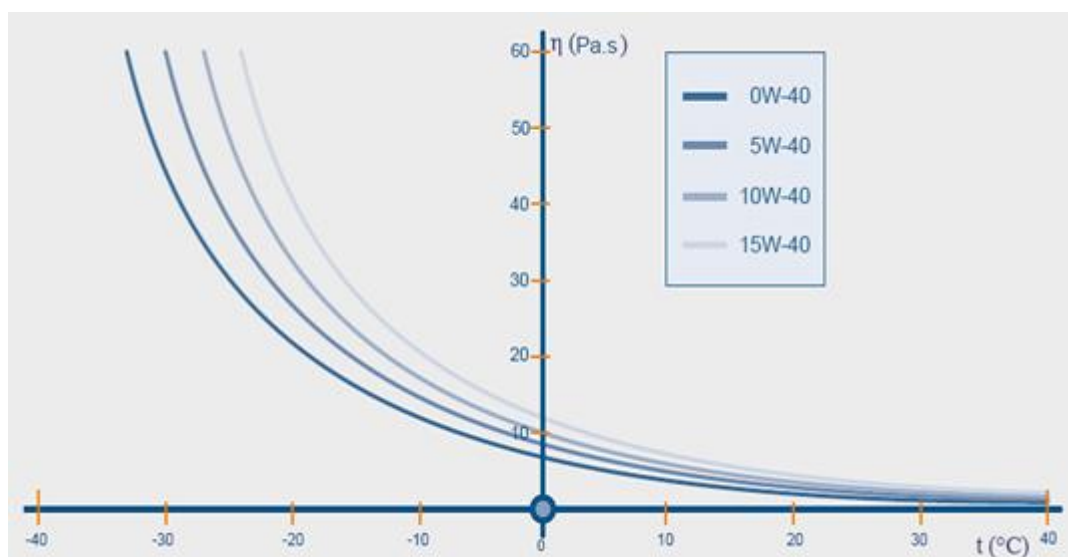
Tabulka 1: Viskozitní klasifikace SAE J300

Zdroj: Vlk F.: Paliva a maziva motorových vozidel, Brno 2006



Obr. 2: Rozsah provozních teplot minerálních a syntetických maziv

Zdroj: Stopka J.: Syntetická maziva, Tribotechnické informace 1/2010



Graf 1: Závislost změny dynamické viskozity  $\eta$  na teplotě oleje

Zdroj: [www.pneu-asistent.cz/oleje](http://www.pneu-asistent.cz/oleje)

### 2.2.2 Výkonnostní klasifikace olejů

Výkonnostní klasifikace charakterizuje okamžité i dlouhodobé vlastnosti motorového oleje při různých formách provozního zatížení. Hodnoceny jsou vlastnosti jako např. ochrana proti otěru, oxidaci a korozi stěn válců a ložisek, ochrana proti tvorbě úsad za vysokých teplot, oxidační stabilita, pění oleje, úspora paliva atd. Pro označení výkonnostní kategorie motorových olejů se používají následující normy: [5], [6], [8], [10]

- a) klasifikace API (American Petroleum Institute, USA),
- b) klasifikace ACEA (Association des Constructeurs Européens d'Automobile, EU),
- c) klasifikace CCMP (Comité des Constructeurs d'Automobile du Marché Commun, EU),
- d) klasifikace MIL-L (normy americké armády),
- e) firemní klasifikace výrobců motorů a vozidel (VW, MB, MAN atd.),
- f) jiné klasifikace (např. ILSAC). [1], [3], [11]

V současné době mají pro určení výkonnosti oleje dominantní význam klasifikace API, ACEA a firemní normy předních výrobců automobilů. Klasifikace CCMP je zastaralá a její uvádění je pouze dočasné. Klasifikace MIL-L se uplatňují v kategorii užitkových vozidel. [1], [11]

#### 2.2.2.1 Výkonnostní klasifikace API

Jednou ze starších, ale dosud používaných je klasifikace API (American Petroleum Institute). Klasifikace je specifikována zvláště pro motory zážehové a zvláště pro motory vznětové. Popisuje výkonnost motorových olejů symbolem složeným z písmen, případně číslic. Oleje označené prvním písmenem S jsou určeny pro zážehové motory, oleje označené prvním písmenem C jsou určeny pro vznětové motory. Druhé písmeno v označení určuje vlastní výkonnost oleje. Tato písmena jsou řazena abecedně, tj. A, B, C atd. V zásadě platí, že čím je toto písmeno dále v abecedě, tím má olej lepší vlastnosti. Je-li jako první uvedena specifikace "S", je olej prioritně určen pro zážehové motory, pokud "C", je určen pro vznětové motory. Klasifikace API odráží vývoj automobilových olejů na americkém kontinentu, proto u vyšších tříd plně nevyhovuje podmínkám pro evropské motory. [1], [8], [10], [11]

SA	Pro starší motory, bez nároku na výkon a ochranu. Lze použít pouze, je-li výslovně požadováno výrobcem.
SB	Pro starší motory vyžadující minimální ochranu aditiv. Lze použít pouze, je-li výslovně požadováno výrobcem
SC	Pro motory z roku 1964 - 1967. Obsahuje aditiva pro kontrolu tvorby usazenin za nízké i vysoké teploty, pro ochranu proti opotřebení a korozi.
SD	Pro motory z roku 1968 - 1970. Obsahuje aditiva pro kontrolu tvorby usazenin za nízké i vysoké teploty, pro ochranu proti opotřebení a korozi.
SE	Pro motory z roku 1971 - 1979. Obsahuje aditiva zabraňující oxidaci oleje, aditiva pro kontrolu tvorby usazenin za nízké i vysoké teploty, pro ochranu proti opotřebení a korozi.
SF	Pro motory z roku 1980 - 1989. Obsahuje aditiva pro zvýšení oxidační stability a aditiva proti opotřebení, aditiva pro kontrolu tvorby usazenin za nízké i vysoké teploty, pro ochranu proti opotřebení a korozi.
SG	Pro motory z roku 1989 - 1993. Olej obsahuje aditiva pro kontrolu deposit, pro snížení oxidace, snížení opotřebení a aditiva proti korozi.
SH	Pro motory z roku 1996 a starší. Olej obsahuje aditiva pro kontrolu deposit, pro snížení oxidace, snížení opotřebení a aditiva proti korozi.
SJ	Pro motory z roku 1996 a mladší.
SL	Pro všechny současné motory i starší motory. Kategorie zavedena roku 2001.
SM	Pro všechny současné motory. Kategorie zavedena 30. 11. 2004. Oleje klasifikace SM obsahují aditiva pro kontrolu deposit, pro snížení oxidace oleje, snížení opotřebení a aditiva zlepšující vlastnosti za nízkých teplot.
SN	Zavedená v říjnu 2010 pro motory vyrobené po roce 2011 a starší. Vhodná tam, kde je potřeba poskytnout vyšší ochranu pístů, při vyšších teplotách, kde je požadovaná přísnější kontrola kalu a kompatibility s těsněními. Klasifikace SN zaručuje vyšší ochranu turbodmychadla a motoru provozovaném na ethanol do E85. SN zároveň hovoří o vyšší kontrole emisí a nižší spotřebě paliva.

*Tabulka 2: Klasifikace API pro zážehové motory*

*Zdroj: <http://www.oleje.cz/clanek/Vykonnostni-tridy-automobilovych-motorovych-oleju>*



CA	Pro lehce zatížené motory z roku 1940 - 1950.
CB	Pro středně zatížené motory z roku 1949 až 1960.
CC	Pro motory z roku 1961.
CD	Zavedeno v roce 1955. Pro určité atmosféricky plněné motory a motory s turbodmychadlem.
CD-2	Zavedeno v roce 1987. Pro dvoudobé motory.
CE	Zavedeno v roce 1987. Pro vysokorychlostní, čtyřdobé, atmosférické motory a motory s turbodmychadlem. Může být použit místo CC a CD olejů.
CF	Zavedena v roce 1994. Pro off-road motory s nepřímým vstřikováním a motory používající palivo s hmotnostním objemem síry nad 0.5%. Může být použit místo CD olejů.
CF-2	Zavedena v roce 1994. Pro vysoce zatížené, dvoudobé motory. Může být použit místo CD-II olejů.
CF-4	Zavedena v roce 1990. Pro vysokorychlostní, čtyřdobé, atmosférické motory a motory s turbodmychadlem. Může být použit místo CE olejů.
CG-4	Zavedena v roce 1995. Pro vysoce zatížené, vysoko rychlostní, čtyřdobé motory užívající palivo s hmotnostním obsahem síry do 0.5%. CG-4 oleje jsou požadovány pro motory splňující emisní normy z roku 1994. Může být použit místo CD, CE a CF-4 olejů.
CH-4	Zavedena v roce 1998. Pro vysokorychlostní čtyřdobé motory, u kterých je vyžadováno splnění výfukových emisních norem z roku 1998. CH-4 oleje mají speciální složení pro užití s palivem s hmotnostním obsahem síry do 0.5%. Může být použit místo CD, CE, CF-4 a CG-4 olejů.
CI-4	Zavedena v září 2002. Pro vysokorychlostní čtyřdobé motory, u kterých je vyžadováno splnění výfukových emisních norem roku 2004 zavedených v roce 2002. CI-4 oleje mají speciální složení a trvanlivost pro užití v motorech s recirkulací výfukových zplodin (EGR). Jsou určeny pro použití v motorech, které používají palivo s hmotnostním obsahem síry do 0.5%. Může být použit místo CD, CE, CF-4, CG-4 a CH-4 olejů.

*Tabulka 3: Klasifikace API pro vznětové motory*

*Zdroj: <http://www.oleje.cz/clanek/Vykonnostni-tridy-automobilovych-motorovych-oleju>*

### 2.2.2.2 Výkonnostní klasifikace ACEA

Klasifikace ACEA (Association des Constructeurs Européens d'Automobile) vznikla v roce 1997 a nahradila dřívější klasifikaci CCMC. Dělí oleje do čtyř skupin: [1]

- písmeno A označuje oleje pro zážehové motory,
- písmeno B označuje oleje pro vznětové motory osobních a lehkých užitkových vozidel,
- písmeno E označuje oleje pro vznětové motory nákladních vozidel,
- písmeno C označuje oleje pro vznětové motory osazené částicovými filtry. [11]

A1	Vícestupňové oleje pro zážehové motory. Nízkoviskózní oleje s malým koeficientem tření zajišťující nízkou spotřebu paliva.
A2	Běžné vícestupňové oleje pro zážehové motory.
A3	Nízkoviskózní vícestupňové oleje udržující viskozitní třídu během provozu s nízkou odparností. Zajišťují lépe čistotu motoru a jsou odolnější proti zahušťování ve srovnání s oleji tříd A1 a A2.
A4	Rezervováno pro zážehové motory s přímým vstřikem paliva.
A5	Nízkoviskózní oleje s malým koeficientem tření, s vysokou výkonovou úrovní a s prodlouženým intervalem výměny.

Tabulka 4: Klasifikace ACEA pro zážehové motory

Zdroj: <http://www.oleje.cz/clanek/Vykonnostni-tridy-automobilovych-motorovych-oleju>

B1	Vícestupňové oleje pro vznětové motory osobních automobilů. Nízkoviskózní oleje s malým koeficientem tření zajišťující nízkou spotřebu paliva.
B2	Běžné vícestupňové oleje pro vznětové motory osobních automobilů.
B3	Nízkoviskózní vícestupňové oleje udržující viskozitní třídu během provozu s nízkou odparností. Lepší ochrana proti opotřebení, tvorbě úsad a „zacházení“ s karbonem ve srovnání s oleji tříd B1 a B2.
B4	Jako B3, ale pro motory s přímým vstřikem (od r. 1998)
B5	Vysoce výkonné motorové oleje pro vznětové motory s vynikající vysokoteplotní stříhovou stabilitou.

Tabulka 5: Klasifikace ACEA pro vznětové motory osobních vozidel

Zdroj: <http://www.oleje.cz/clanek/Vykonnostni-tridy-automobilovych-motorovych-oleju>

E1	Pro nepřepřlňované a mírně přepřlňované vznětové motory.
E2	Pro přepřlňované vznětové motory a běžné výměnné lhůty. Zlepšená ochrana proti opotřebení, leštění válců, tvorbě úsad a kalů ve srovnání s oleji třídy E1. Nižší spotřeba oleje ve srovnání s E1 oleji.
E3	Oleje udržující viskozitní třídu během provozu, pro náročný provoz a případně prodloužené výměnné lhůty. Zlepšená ochrana proti opotřebení, leštění válců, tvorbě úsad a kalů ve srovnání s oleji třídy E2. Nižší spotřeba oleje ve srovnání s E2 oleji. Lepší „zacházení“ s karbonem ve srovnání s E2 oleji.
E4	Nová kategorie zavedená od roku 1998. Zlepšené vlastnosti ve srovnání s E3 oleji. Doporučeny pro těžké podmínky, např. prodloužené výměnné intervaly. Vhodné pro velmi zatížené motory splňující emisní limity Euro 1, 2 a 3.
E5	Nová kategorie zavedená v září 1999. Pokus o globální specifikaci zahrnující požadavky Ameriky i Evropy. Překračují požadavky na E3 oleje a jsou vhodné pro vysoce zatížené motory splňující Euro 1, 2 a 3 a pracující v těžkých podmínkách, např. pro prodloužené výměnné intervaly.
E6	Vysoce stabilní oleje podporující čistotu pístů, snižující opotřebení (včetně působením sazí) a zajišťující stálé mazání. Olej je doporučován pro moderní, vysoce zatěžované vznětové motory, splňující emisní limity Euro 1-4. Umožňuje prodloužené výměnné intervaly dle doporučení výrobce. Je vhodný pro motory se systémy EGR (Exhaust Gas Recirculation), DPF (Diesel Particulate Filter) a SCR NOx (Selective Catalitic Reduction). Třída E6 je zvláště doporučována pro motory s DPF systémy, které spalují palivo s nízkým obsahem síry (50 ppm).
E7	Stabilní oleje zabráňující usazování nečistot na pístech a vzniku zrcadlových ploch na stěnách válců. Omezuje opotřebení (včetně působení sazí), vznik úsad v turbodmychadlu. Olej je doporučován pro moderní, vysoce zatěžované vznětové motory splňující emisní limity Euro 1-4. Umožňuje prodloužené výměnné intervaly dle doporučení výrobce. Je vhodný pro většinu motorů se systémy EGR (Exhaust Gas Recirculation) a SCR NOx (Selective Catalitic Reduction). Není vhodný pro systémy DPF (Diesel Particulate Filter).

*Tabulka 6: Klasifikace ACEA pro vznětové motory nákladních vozů*

*Zdroj: <http://www.oleje.cz/clanek/Vykonnostni-tridy-automobilovych-motorovych-oleju>*

C1	Stabilní olej kompatibilní s katalyzátorem pro vysoce výkonné zážehové i vznětové motory osobních a lehkých nákladních automobilů se systémy DPF (Diesel Particulate Filter) a TWC (Three Way Catalyst), které vyžadují nízkoviskózní oleje se sníženým obsahem SAPS (Sulfate Ash Phosphorus Sulfur - sulfátový popel, síra, fosfor) a HTHS vyšší než 2,9 mPa.s. Tyto oleje prodlužují životnost systémů DPF a TWC a snižují spotřebu paliva.
C2	Stabilní olej kompatibilní s katalyzátorem pro vysoce výkonné zážehové i vznětové motory osobních a lehkých nákladních automobilů se systémy DPF (Diesel Particulate Filter) a TWC (Three Way Catalyst), které vyžadují nízkoviskózní oleje s HTHS vyšší než 2,9 mPa.s. Tyto oleje prodlužují životnost systémů DPF a TWC a snižují spotřebu paliva.
C3	Stabilní olej kompatibilní s katalyzátorem pro automobily se systémy DPF (Diesel Particulate Filter) a TWC (Three Way Catalyst). Tyto oleje prodlužují životnost těchto systémů.
C4	Stabilní olej kompatibilní s katalyzátorem pro automobily se systémy DPF (Diesel Particulate Filter) a TWC (Three Way Catalyst). Tyto oleje prodlužují životnost těchto systémů. (platná od roku 2006)

*Tabulka 7: Klasifikace ACEA pro vznětové motory s částicovým filtrem*

*Zdroj: <http://www.oleje.cz/clanek/Vykonnostni-tridy-automobilovych-motorovych-oleju>*

## **2.3 Znečištění motorových olejů**

Rozlišuje se několik druhů znečištění olejů. Jsou to voda (volná, chemicky vázaná), palivo, vzduch, tvrdé znečištění (kov, prach, brusivo, saze) a měkké znečištění (oxidační produkty, produkty reakce aditiv).

### **2.3.1 Voda**

Voda a olej jsou dvě navzájem nemísitelné látky. Voda se v oleji rozpouští jen ve velmi malém, zanedbatelném množství. Když množství vody překročí tuto velmi nízkou koncentraci, vypadáva voda ve formě menších či větších kapek a usazuje se na dně olejové vany nebo na dně jakékoliv jiné nádoby. Ovšem při intenzivním promíchávání

oleje, což je právě případ motoru, jsou kapky vody velmi malé, neusazují se a v oleji se vytvoří emulze. Olej má pak světle hnědou až bělavou barvu. [12]

Kontakt motorového oleje s vodou je v každém motoru zcela normální jev a nelze mu zabránit, protože voda je běžným produktem spalování paliva. Jestliže se v motoru spálí jeden litr benzínu nebo nafty, vznikne přibližně jeden litr vody. Naprostá většina vody odchází ve formě páry do výfuku a dále do ovzduší. Část spalin se ale dostává z válce přes pístní kroužky do klikové skříně. A právě zde dochází ke styku horké vodní páry ve spalínách s motorovým olejem. Pokud jsou olej a celá kliková skříň vyhřáté na provozní teplotu (tj. někde kolem 80 - 100 °C), pak je vše v pořádku a nic závažného se nemůže stát. Voda ve formě vodní páry klikovou skříň zase opustí díky jejímu nucenému odvětrávání. Pokud je ale motor studený, pak dochází ke kondenzaci vodní páry. Kapalná voda se následně hromadí v motorovém oleji, který se intenzivně promíchává a vytváří se emulze vody v oleji. [12]

Kondenzace vodní páry v motorovém oleji není nevratný děj. Většinou stačí, když motor pracuje alespoň hodinu při provozní teplotě. Pak se voda z oleje sama odpaří díky tomu, že v motoru olej přichází do styku s teplotami mnohem vyššími, než jsou v klikové skříně. Tento problém se tedy týká především krátkých jízd na vzdálenosti menší než 10 km. To znamená, že studené starty a jízda se studeným motorem jsou při dnešní dopravě velmi závažným problémem, který ovlivňuje i stav motorového oleje. [12]

I po odpaření však voda v oleji zanechává určité stopy. Pokud je olej ve styku s vodou, může docházet k reakcím, které následně změny aditivaci oleje. Důsledkem může být např. vysrážení některých aditiv ve formě úsad či kalů, případně hydrolýza nebo znehodnocení detergentů. Vysrážené přísady se po odpaření vody mohou opět v oleji rozpustit, ale také nemusí. Pokud je motorový olej vystaven účinkům vody při častých studených startech, je pravděpodobné, že se tím postupně mění i kvalita oleje a podstatným způsobem se zkracuje jeho životnost.[12]

Rovněž zazimované nebo odstavené automobily jsou vystaveny změnám teplot, zejména v zimním období. Tyto změny teplot způsobují, že se do nádrže dostává vzdušná vlhkost, která potom v nádrži kondenzuje. V oleji i v palivu se tak může hromadit voda. Během zimního období se u odstaveného automobilu může dostat do olejové náplně i do paliva značné množství vody. [12]

### 2.3.2 Glykol

Glykol je hlavní součástí nemrznoucích kapalin, je v nich přítomen ve formě etylenglykolu nebo propylenglykolu. Do olejové náplně motoru se nemrznoucí kapalina snadno dostane i při drobné závadě na hlavě válců. Stačí třeba jen malá netěsnost nebo prasklinka. Glykoly a další aditiva v nemrznoucích kapalinách obsažené reagují s motorovým olejem více než voda. Již při velmi nízkých koncentracích glykolu v oleji dochází k nevratným a závažným změnám, které vedou ke zhroucení funkce motorového oleje. Rychlost, s jakou k tomu dojde, závisí na množství proniklé nemrznoucí kapaliny a glykolu. V oleji se objeví nerozpustné úsady a kaly, olej černá a ztrácí tekutost. Pokud je v tomto stavu i nadále provozován, nakonec téměř ztuhne a dojde k zadření motoru. Před úplným zadřením se ještě ohlásí problémy se startováním motoru díky hustému a ztuhlému oleji. [12]

Přítomnost glykolu v oleji je jednou z nejvíce nepříjemných závad, která se může vyskytnout. Pro další provoz motoru nestačí odstranit závadu, tedy netěsnost, kudy se nemrznoucí kapalina do oleje dostala. Dalším nezbytně nutným krokem je odstranění glykolu z celého olejového systému. Nikdy nestačí pouhá výměna olejové náplně. Část oleje totiž při výměně zůstává v motoru a glykol, obsažený v tomto zbytku dovede spolehlivě zničit i novou olejovou náplň. Vždy je potřeba důkladně vyčistit celý olejový systém. [12]

### 2.3.3 Palivo

Palivo je v oleji přítomné vždy, ať už jde o benzin nebo o naftu. Do oleje se palivo může dostat jednak přirozenou cestou, tj. spolu se spaliny z prostoru válce kolem pístních kroužků do klikové skříně, jednak díky závadě na motoru. Degradaci a životnost olejové náplně velmi ovlivňují netěsnosti kolem pístních kroužků. Výfukové plyny vždy obsahují nespálené palivo. Většina výfukových plynů odchází do výfukového traktu, kde si s nespáleným palivem poradí u zážehového motoru řízený katalyzátor, u vznětového motoru odchází nespálená nafta do ovzduší. Pokud ale projdou výfukové plyny do klikové skříně, dostanou se do styku s olejem. Potom už záleží na tom, jaká je teplota oleje a teplota prostoru klikové skříně. U studených motorů dochází ke kondenzaci par paliva do oleje v mnohem větší míře než u motorů při provozní teplotě. Tímto přirozeným způsobem se může u osobních automobilů během výměnného intervalu dostat do oleje průměrně 1-2 % benzínu či nafty.

U velkoobjemových vznětových motorů s dlouhými intervaly výměny pak ještě více. Většina výrobců motorů udává maximální přípustnou hranici paliva v oleji kolem 4%. Jestliže množství paliva v motorovém oleji překročí tuto mez, indikuje to ve většině případů závadu na motoru, nejčastěji na vstřikování paliva, například přicpané či zakarbonované vstřikovací trysky, nefunkční palivový filtr, nedokonalý rozptyl paliva, špatnou funkci vstřikovacího čerpadla, vadné těsnicí kroužky apod. V ojedinělých případech může být příčinou i horší kvalita paliva. Pokud benzin či nafta mají špatnou destilační křivku a obsahují více těžších látek než obvykle, potom tyto látky nejsou v motoru dokonale spáleny. Motor totiž není seřízen na spalování těžších podílů paliva, výfukové plyny budou proto obsahovat větší množství nespáleného paliva. [13]

Jediným, ale velice závažným důsledkem přítomnosti paliva v oleji je snížená viskozita motorového oleje, přičemž benzin má na viskozitu oleje větší vliv než nafta. Příliš nízká viskozita olejů znamená příliš tenký mazací film, který má malou únosnost. Celistvost mazacího filmu se pak lehce poruší. Výsledkem je, že se zvyšuje opotřebení motoru, které je tím větší, čím je vyšší obsah paliva v oleji a tím i nižší viskozita. U lehkoběžných olejů, které mají jako takové už nižší viskozitu, je nutné dávat větší pozor při zvýšeném obsahu paliva. Zvýšený obsah paliva v oleji je reálným nebezpečím u 5 - 7 % osobních automobilů se zážehovým motorem. Pro vznětové motory osobních automobilů spolehlivá data nebyla nalezena. [13]

### **2.3.4 Vzduch**

Vzduch se vyskytuje v oleji ve formě rozpuštěného vzduchu, bublin a pěny. Již čistý čerstvý olej sám o sobě obsahuje určité množství rozpuštěného vzduchu. Pokud je dále olej provzdušňován díky nevhodné konstrukci motoru nebo nádrže, přísávaním díky netěsnostem nebo kvůli rotaci mazaných elementů, může vzniklá směs vzduchových bublin a oleje způsobit velké problémy. Pokud vzduchová bublina prochází mazaným místem, dochází k okamžité ztrátě mazacího filmu. Velké množství vzduchu v oleji má za důsledek rozdílnou stlačitelnost a rozdílné tepelné vlastnosti oleje. V klikové skříni jsou vzduch a kyslík vždy přítomny, někdy i díky odvětrávání klikové skříně. Olej je v klikové skříni dobře promícháván, jsou jím pokryty stěny skříně i celá kliková hřídel. Olej má proto velký povrch ve styku s horkými spalinami a se vzduchem. Jsou zde ideální podmínky k oxidaci a také k nitraci oleje. Tyto jevy jsou popsány níže v kapitole č. 2.3.6 Měkké nečistoty. [16]

### 2.3.5 Tvrdé nečistoty

Největším zdrojem cizích částic v motorovém oleji je nasávaný vzduch, který není nikdy absolutně čistý. Spolu s ním se do spalovacího prostoru nasávají i prachové částice. Prachové částice velké a střední velikosti jsou zachyceny na vzduchovém filtru, ale menší částice se však do spalovacího prostoru dostávají. Ze spalovacího prostoru jsou později spláchnuty do motorového oleje. Jsou to částice velké až několik mikrometrů, jsou velmi tvrdé a tedy hodně abrazivní. Většinou se jedná o částice křemičitého prachu. Jejich povrch je polární a může přispívat k degradaci olejových aditiv. Dalším zdrojem cizích částic v motorovém oleji je palivo, se kterým přicházejí i prachové částice a vlákna z filtrů, jimiž palivo prochází během své cesty z rafinerie až k výdejnímu stojanu. Hromadění nečistot na palivovém filtru v automobilu může vést až k jeho ucpání, nefunkčnosti, případně destrukci. Palivo pak není filtrované, nečistoty končí ve spalovacím prostoru a poté v oleji. [14]

Dalšími častými nečistotami v motorovém oleji jsou otěrové částice kovů. Vznikají při tření dvou kovových povrchů, vznikají dokonce i při velmi kvalitním mazání a normální úrovni tření a opotřebení. Rozměry takových částic jsou od několika desetin až po několik mikrometrů. Otěrové částice mohou mít až velikost tloušťky mazacího filmu a spolu s dalšími mechanickými nečistotami iniciují zvyšování úrovně tření a opotřebení. Při vyšší úrovni tření vznikají otěrové částice o velikosti několika desítek a při havarijním opotřebení až několika stovek mikrometrů. Velice kvalitní olejové filtry však z oleje odstraní částice velikosti jen přibližně nad 10 mikrometrů. Dalším důležitým zdrojem nerozpustných částic v oleji je samotný motorový olej. Běžná termická a oxidační degradace motorového oleje vede většinou pouze k tvorbě rozpustných oxidačních produktů, ale další termické a oxidační namáhání oleje již může způsobit tvorbu nerozpustných úsad, kalů nebo karbonových povlaků. [9], [14]

Motor i všechny třecí povrchy jsou vyrobeny z kovových materiálů. Většinou jde o železo zušlechtěné přidávkem jiných kovů, o hliníkové či měděné součástky, nebo je určitý díl motoru potažen povrchovou vrstvičkou jiného kovu, např. s cílem zvýšit tvrdost povrchu, zlepšit kluzné vlastnosti, zlepšit protikorozní ochranu apod. Díky těmto případům se kromě železa samotného je nutné zajímat se i o další kovy, např. hliník, měď, chrom, olovo, cín, nikl, stříbro apod. Třecí povrchy kovů, ani ty pečlivě vysoustružené, nejsou nikdy naprosto hladké. V normálním stavu jsou v motoru dvě třecí plochy odděleny vrstvičkou oleje. Viskóznější oleje vytvářejí při stejné teplotě



silnější vrstvičku mazacího filmu než méně viskózní oleje. Povrchy tak nepřicházejí navzájem do kontaktu, nebo jen do minimálního, díky některým větším nerovnostem na povrchu. Pokud ale na třecí plochy působí nějaká přitlačná síla, může být vrstvička oleje vytlačena a dva povrchy se do kontaktu dostanou. Dochází k tzv. meznému tření, kdy oba povrchy nejsou mazány vrstvou oleje, ale pouze jeho mazivostními aditivy, která na povrchu kovu ulpěla. Jestliže se takové dva povrchy navzájem pohybují, dochází k vzájemnému odírání jejich nerovností a oddělování mikroskopických částic konstrukčního kovu. Tyto částičky pak přecházejí do oleje. [14]

### Charakteristické kovy

Na základě zjištěného množství konkrétního kovu v oleji je možné odhadnout pravděpodobné místo, kde k závadě dochází, protože při výrobě motorových dílů převažují určité konstrukční kovy a na tom je založen i odhad lokalizace závady. Seznam nejčastěji analyzovaných kovů v oleji a jejich původ je uveden v tabulce č. 8. [9], [14]

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

Tabulka 8: Otěrové kovy v motorovém oleji a jejich zdroje

Zdroj: <http://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Oterove-kovy>

V tabulce č. 8 je vedle běžných konstrukčních kovů uveden i křemík. Ten s konstrukčními kovy nesouvisí, ale je hlavní součástí prachových částic. Pokud se křemík dostává do motorového oleje ve zvýšeném množství, je většinou problém se vzduchovým filtrem a je třeba filtr vyměnit. Ostatní kovy, jejichž přítomnost je možné v motorovém či převodovém oleji nalézt, pocházejí většinou z aditivace oleje (zinek, molybden, antimon, vápník, hořčík, baryum) nebo z jiných kontaminujících zdrojů. Sodík a bor se nacházejí v nemrzoucích směsích, sodík je také častým kontaminantem motorových olejů díky zimním posypům vozovek solí. [14]

Určitá hladina koncentrace kovů v oleji je zcela běžná a normální. I při bezproblémové práci motoru dochází ke kontaktu mezi kovovými povrchy, zejména na velmi namáhaných partiích motoru (např. píst ve válci či ventilová zdvihátka). Normální otěrové částice jsou velmi malé a není jich mnoho. Při zvýšeném odírání některého dílu motoru potom dochází ke zvýšenému opotřebení a ke zvýšení koncentrace konkrétních kovů v oleji. Při závažnějších projevech zvýšeného tření či již přímo při zadírání pak koncentrace kovů může dosáhnout velmi vysokých hodnot - až ve stovkách ppm.

V tabulce č. 9 jsou uvedeny hodnoty koncentrací (ppm) konstrukčních kovů v motorovém oleji z velkého vznětového a zážehového motoru. Jsou zde uvedeny tři limity. Jsou to oblast normálního provozu, oblast zvýšeného tření a opotřebení a oblast nebezpečného až havarijního opotřebení. [9], [14]

Kov	Velké vznětové motory - opotřebení			Zážehové motory - opotřebení		
	Normální (ppm)	Zvýšené (ppm)	Nebezpečné (ppm)	Normální (ppm)	Zvýšené (ppm)	Nebezpečné (ppm)
železo	pod 50	50 - 75	nad 75	pod 120	120-150	nad 150
měď	pod 30	30 - 45	nad 45	pod 25	25 - 35	nad 35
chrom	pod 12	12 - 20	nad 20	0 - 17	17 - 25	nad 25
nikl	pod 25	25 - 40	nad 40	pod 25	25 - 40	nad 40
hliník	pod 25	25 - 35	nad 35	pod 35	35 - 50	nad 50
olovo	pod 25	25 - 40	nad 40	pod 25	25 - 40	nad 40
cín	pod 5	5 - 12	nad 12	pod 5	5 - 12	nad 12
křemík	pod 25	-	nad 25	pod 25	-	nad 25

Tabulka 9: Limitní koncentrace kovů v motorovém oleji

Zdroj: <http://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Oterove-kovy>

Tyto limitní hodnoty jsou specifické pro každou značku automobilu. Výrobci velkých vznětových motorů obvykle uvádějí pro všechny typy svých motorů jednotné limity koncentrací kovů. Limity udávané různými výrobci mohou být odlišné, v tabulce č. 9 jsou uvedeny hodnoty průměrné. Při opakovaném překročení varovných limitů pro zvýšené opotřebení je už potřeba najít závadu, která toto zvýšené opotřebení způsobila. Při překročení obsahu křemíku je potřeba vyměnit vzduchový filtr. [9], [14]

Podrobná analýza otěrových částic vyžaduje již zkušeného pracovníka, který vyhodnocení provádí. S využitím limitních hodnot je potom možné vyhodnotit i stav opotřebení motoru. [14]

K dalším mechanickým nečistotám v motorovém oleji patří saze. Vznikají při spalování nafty nebo benzínu až v samotném spalovacím prostoru. U vznětových motorů vzniká spalováním nafty více sazí, je to tedy problém především vznětových motorů, ale ani u zážehových motorů s přímým vstřikováním nelze tvorbu sazí a přítomnost sazí v olejové náplni podceňovat. Saze jsou složkou, která je sledována prostřednictvím emisí výfukových plynů, snaha o snížení jejich emisí je jedním z faktorů zavedení nových emisních limitů EURO. Saze jsou produktem nedokonalého spalování paliva. Jejich tvorba je nepřímou spojená s tvorbou oxidů dusíku. Pokud se konstruktér motoru snaží o minimalizaci tvorby oxidů dusíku, většinou roste produkce sazí a naopak. Například při opožděném vstřikování paliva dochází ke snížení teploty spalování a k omezení tvorby oxidů dusíku, ale množství vznikajících sazí se zvyšuje. U moderních automobilů je však nutné zabezpečit jak nízké emise oxidů dusíku, tak i nízký obsah sazí. Proto u nejnovějších modelů osobních i nákladních automobilů rostou nároky na úpravu vypouštěných výfukových plynů. Systémů úpravy výfukových plynů pro vznětové i zážehové motory je známo několik typů, ale každý z nich je zaměřen pouze na některou složku emisí. Buď na snížení koncentrace oxidů dusíku nebo na snížení obsahu sazí. Zvolený systém výfukového katalyzátoru, filtru či jiného zařízení je především závislý na způsobu spalování směsi ve spalovacím prostoru a konstrukci vlastního motoru. Naprostá většina sazí odchází ze spalovacího prostoru s výfukovými plyny, ale zbývající část spolu s výfukovými plyny proniká do klikové skříně a saze se tak dostávají do motorového oleje. V motorovém oleji se postupně hromadí a ovlivňují kvalitu mazání. Pokud je navíc v motoru zabudován EGR ventil, je část odcházejících spalin vedena zpět do válce, kde se tím zvyšuje množství sazí ve spalovacím prostoru. Také motorový olej je v tomto případě sazemi více zatěžován. [15]

Saze jsou tvořeny čistým uhlíkem, jsou velice tvrdé a mají velmi ostré hrany. Rozměr částic sazí není příliš velký, je to přibližně setina mikrometru. Díky shlukování částic se ale velikost zvětšuje na několik setin až jednu desetinu mikrometru. Saze se v motorovém oleji hromadí od samého počátku nasazení oleje v motoru. I nepatrné množství sazí v oleji, které mohlo v oleji zůstat ze zbytku staré náplně, způsobí zčernání oleje. Problémy se sazemi nastávají, pokud je jejich množství v oleji vysoké. Udává se, že limitní koncentrace sazí v motorovém oleji je přibližně 3 hmotnostní procenta. U některých moderních motorů a kvalitních olejů může být tato koncentrace i vyšší. Záleží však na kvalitě základového oleje i na použité aditivaci a účinnosti disperzantů. [15]

Velký obsah sazí v oleji způsobuje růst viskozity oleje. Příliš vysoká koncentrace sazí může mít také za důsledek vyčerpání disperzantních přísad, koagulaci sazí do větších shluků a postupné ucpávání olejového filtru. Přítomnost sazí byla jednou z hlavních příčin toho, že vznětové motory osobních automobilů mívaly dříve kratší interval výměny motorového oleje na rozdíl od zážehových motorů. Až růst kvality základových olejů a disperzantů způsobil, že intervaly výměny motorových olejů vznětových motorů byly prodlouženy na úroveň zážehových motorů. Vážným důsledkem vysokého obsahu sazí a dalších mechanických nečistot v motorovém oleji je zvýšené opotřebení motoru. Přestože jsou částice sazí velmi malé, ve větší koncentraci působí podobně jako jemná brusná pasta. Při čerpání takového oleje pak dochází díky proudění částic sazí k jejich nárazům na kovové povrchy a k abrazivnímu opotřebení. [15]

### **2.3.6 Měkké nečistoty**

Působením vzdušného kyslíku na molekuly motorového oleje dochází k oxidaci. Kyslík je při oxidaci zakomponován do molekuly oleje a mění tím jeho vlastnosti. Oxidace oleje závisí na teplotě. Čím je teplota oleje vyšší, tím rychleji olej oxiduje. Zvýšení teploty o 10° C přináší přibližně zdvojnásobení rychlosti oxidace. Vzhledem k tomu, že oxidace je podporována zvýšenou teplotou, hovoří se o termooxidačním stárnutí oleje, kdy olej kromě oxidace podléhá současně i termickým změnám. Protože však motorový olej přichází do styku i se spaliny, je oxidace motorového oleje doprovázena i jinými jevy, například nitrací. Při spalování paliva se část vzdušného dusíku přemění na oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>), ty pak přicházejí ve spalinách do

styku s motorovým olejem. Nitrace je následně důsledkem působení oxidů dusíku na olej, výsledným produktem jsou pak organické nitráty. U vznětových motorů byly donedávna velkým problémem oxidy síry, jejichž velké množství vznikalo při spalování sírné nafty. Oxidy síry dále reagovaly s motorovým olejem za vzniku organických sulfátů a dalších sloučenin. V dnešní době je však nafta natolik kvalitní a téměř bezsírná, že oxidy síry ve spalinách nepředstavují pro motorové oleje závažný problém. Naopak například u lodních motorů, které spalují topné oleje s často vysokým obsahem síry, představují saze v motorovém oleji vážný problém. Takové motory musí používat speciální motorové oleje s vysokou alkalickou rezervou. [16]

Pro maximální zpomalení oxidačních a nitračních reakcí se do motorových olejů přidávají aditiva, tzv. antioxidanty. Při teplotách přibližně do 120 až 150°C jsou účinné např. některé fenoly či aminy, při vyšších teplotách pak fungují spolehlivě např. dialkyldithiofosfáty zinku. Fenolů a aminů bývá v olejích několik desetin procenta, dialkyldithiofosfátů zinku bývá kolem jednoho hmotnostního procenta. Obsah dithiofosfátů je však limitován maximální povolenou koncentrací fosforu v oleji, která je součástí některých specifikací motorových olejů. V poslední době se tento limit soustavně snižuje. Antioxidanty nezamezí oxidaci oleje, ale významně ji zpomalí. Přitom se sami spotřebovávají, a pokud jejich množství v oleji klesne pod určitou hranici, dochází ke zdatnému urychlení oxidace oleje. [16]

K velkým oxidačním změnám v oleji dochází v oblasti pístu a ventilů a na turbodmychadle, tedy v místech s velmi vysokou teplotou. Například teplota spalin v turbodmychadle může dosáhnout až 1000°C. K oxidaci ale dochází i v klikové skříni díky přítomnosti horkých spalin, které sem pronikají z válců motoru. [16]

Při oxidaci oleje vzniká celá řada oxidačních produktů, např. aldehydy, ketony, kyseliny, estery a další. Díky nitraci se v oleji tvoří i organické nitráty. Všechny tyto látky mají polární charakter (oproti nepolárnímu charakteru oleje) a jako takové ovlivňují i vlastnosti motorového oleje. Polární oxidační produkty sice příznivě působí na pevnost mazacího filmu a mazivost oleje, ale v konečném důsledku se mazivost oleje po vyčerpání mazivostních a protiotěrových přísad zhoršuje, protože při provozu oleje dochází k úbytku syntetických mazivostních a protiotěrových přísad. [16]

Některá aditiva, jako například dialkyldithiofosfáty zinku se používají současně jako antioxidant i jako protiotěrová a mazivostní přísada. Jestliže je olej oxidací vyčerpán, jeho mazivostní vlastnosti se zhoršují. [16]

Další oxidační produkty, zejména kyseliny, přispívají ke zvýšení kyselosti oleje a ke stupňujícím se korozivním schopnostem oleje v motoru. [16]

Pokud je rozsah oxidace velký a oxidační produkty se v oleji nahromadí, zreagují mezi sebou a způsobí zvýšení viskozity oleje. Kromě obsahu sazí v oleji je tak množství oxidačních produktů dalším faktorem, který způsobuje zvyšování viskozity olejů. [16]

Vysoký obsah oxidačních produktů v oleji vede k nárůstu množství karbonizujících látek a karbonových úsad, které u velmi zoxidovaného oleje už detergenty nezvládnou. Nitráty, které vznikají současně s oxidačními produkty, mají stejně negativní vliv na vlastnosti oleje jako produkty oxidace oleje. [16]

Oxidace oleje je tím rychlejší a rozsáhlejší, čím vyšší je jeho teplota. Teplo vzniká při spalování paliva. Čím větší je spotřeba paliva na jednotkový objem válců, tím je více uvolněného tepla a tím vyšší teplota v motoru. Ke spotřebě paliva je také nutné ještě brát v úvahu nižší účinnost zážehového motoru oproti motoru vznětovému při převádění tepla na mechanickou energii. Z kombinace těchto dvou vlivů lze usoudit, že v zážehových motorech zůstává více odpadního tepla. Tyto motory jsou tepelně více zatíženy, a proto také motorové oleje bývají oxidačně mnohem více namáhány než v motorech vznětových. To lze také potvrdit analýzou vzorků motorových olejů ze zážehových a vznětových motorů osobních automobilů pro průměrné zážehové a vznětové motory. Samozřejmě, na rozsah oxidačního stárnutí motorových olejů má vliv konstrukce spalovacího motoru a systém jeho chlazení. [16]

## **2.4 Diagnostika olejů**

Nejstarší způsob odhadu množství nečistot v motorovém oleji je tzv. kapková zkouška. Tato zkouška je velmi jednoduchá, spočívá ve vyhodnocení vzhledu kapky oleje na filtračním papíru, viz obr. č. 4. Test je poměrně spolehlivý a zkušenému pracovníkovi o oleji řekne opravdu hodně. Nicméně v dnešní době je již pro moderní motorové oleje většinou tento test nepoužitelný. Důvodem jsou vynikající detergentní a disperzantní vlastnosti moderních motorových olejů, které nedovolí kapce oleje na filtračním papíru vytvářet takové útvary, které by pro správné vyhodnocení byly potřeba. [1], [14]



Obr. 3: Kapková zkouška a projevy znečištění motorových olejů

Zdroj:<http://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Necistoty-a-saze-v-motorovem-oleji>

Moderní diagnostika motorových olejů vychází z klasických analytických metod hodnocení stavu motorového oleje. Cílem veškerých těchto metod je sledování kvality olejové náplně a určení optimálního okamžiku její výměny v závislosti na stupni znečištění a vyčerpání oleje a změnách fyzikálně chemických vlastností. Optimální okamžik výměny olejové náplně se pro každý spalovací motor určuje individuálně. Odebíraný vzorek musí být reprezentativní pro celou olejovou náplň. Olej se odebírá při pracovní teplotě motoru, která musí být minimálně 65°C. Vzorek musí být odebrán před doplněním oleje do motoru maximálně 15 minut po zastavení spalovacího motoru a po jeho odebrání se do něj nesmí dostat žádné příměsi. Olej je třeba odebírat vždy ze stejného místa a stejným způsobem, neboť různá odběrová místa v olejovém okruhu motoru znamenají i jiné složení vzorku oleje. Při odběru je nutno dodržovat i čistotu okolí otvoru, ze kterého je olej odebírán. Na složení oleje v motoru působí řada faktorů, z nichž homogenitu oleje nejvíce ovlivňuje jemná filtrace oleje, oběhové číslo oleje, ale i chlazení pístu tlakovým olejem. [1], [6]

Velmi důležitým parametrem u posuzování stavu oleje je stanovení čísla alkality a čísla kyselosti. Tyto údaje vypovídají o obsahu chemických látek v oleji. Množství těchto látek v oleji je ovlivňováno režimem zařízení, kvalitou oleje a údržbou. Během degradace oleje vznikají nižší i vyšší organické kyseliny a minerální kyseliny jako výsledek procesu spalování. Přítomnost těchto látek je v oleji nežádoucí, neboť způsobují korozi. Vzhledem k tomu, že obsah výše zmíněných kyselin ovlivňuje viskozitu, dochází proto ke špatné funkci oleje jako maziva. Číslo celkové alkality se označuje zkratkou TBN a stanovuje se titračně. Toto číslo udává množství kyseliny chloristé, vyjádřené počtem miligramů hydroxidu draselného, které je třeba ke zneutralizování všech zásaditých složek obsažených v jednom gramu oleje. Ukazatel vyjadřuje celkovou alkalitu maziva, tedy obsah všech zásaditých látek organického i anorganického původu. V případě čistého oleje toto číslo udává velikost alkalické

rezervy, v případě použitých olejů vyjadřuje stupeň vyčerpání této rezervy. Hodnoty těchto čísel informují, zda olej ještě disponuje účinnými detergentně disperzními vlastnostmi, zda má ještě schopnost neutralizovat kyselé zplodiny, vznikající spalováním. Číslo celkové kyselosti se určuje jako množství hydroxidu draselného v miligramech spotřebované na neutralizaci všech kyselých složek obsažených v jednom gramu oleje. Kyselé složky v oleji jsou nebezpečné, mohou napadat citlivé ložiskové materiály. [1], [6], [16]

Provádějí se následující akreditované i neakreditované zkoušky: [1]

**Akreditované zkoušky dle ČSN:**

Stanovení TBM (celkové alkality) potenciometricky - ČSN 65 6069

Stanovení TAN (celkové kyselosti) potenciometricky - ČSN 65 6214

Stanovení bodu vzplanutí podle Penskyho-Martense - ČSN EN 22719

Stanovení bodu vzplanutí v otevřeném kelímku dle Clevelanda - ČSN 65 6212

Stanovení teploty bodu tuhnutí - ČSN 65 6072

Stanovení teploty vylučování parafinů - ČSN 32 015

Stanovení teploty tekutosti - ČSN 65 6078

Stanovení kinematické viskozity - ČSN ISO 3104

Výpočet viskozitního indexu - ČSN 65 6218

Stanovení Conradsonova karbonizačního zbytku - ČSN 65 6210

Stanovení demulgačního čísla - ČSN 65 6230

Stanovení pěnivosti - ČSN 65 6538

Stanovení popela - ČSN EN ISO 6245

Stanovení kyselosti a čísla kyselosti - ČSN 65 6070, ČSN ISO 660

Stanovení čísla zmýdelnění - ČSN ISO 6293, ČSN EN 58 8763

Stanovení korozivního působení ropných výrobků na kovy - ČSN ISO 2160

Stanovení obsahu vody dle Karl Fischera - ČSN 65 0330, ČSN EN ISO 12937

Stanovení odparku oleje dle Noacka - DIN 51 581

Stanovení protikorozních vlastností - ČSN 65 6249

Stanovení odlučivosti vzduchu - ČSN 656260

Stanovení vody destilačně - ČSN EN ISO 9029

Stanovení celkových mechanických nečistot a úsad po laboratorním stárnutí - ČSN 65 6080, ČSN 65 6220 [1]



**Neakreditované zkoušky:**

Stanovení obsahu těkavých látek

Stanovení obsahu nerozpustných látek v HEO (směs n-hexanu, etanolu a kyseliny olejové)

Mechanické nečistoty odstředováním

Stanovení mísitelnosti [1]

### 3 Cíl práce a metodika

Cílem diplomové práce je dlouhodobé měření viskozity zvoleného motorového oleje za provozu vozidla. Druhá část práce se zabývá laboratorním znečišťováním motorového oleje a zjištěním jeho vlivu na viskozitu.

#### 3.1 Metodika

Měření viskozity zvoleného motorového oleje musí probíhat za konkrétních podmínek. Je nezbytně nutné, aby všechna měření, odběr i skladování vzorku probíhalo podle správného postupu.

Typ motoru	zážehový čtyřdobý
Zdvihový objem	1289 cm <sup>3</sup>
Počet válců	4
Výkon	50 kW při 5000 ot./min.
Točivý moment	106 N.m při 2600 ot./min.
Palivo	LPG / benzin
Celková hmotnost	1460 kg
Max. rychlost	162 km/h
Objem olejové náplně	3,5 (min.) - 4,5 (max). l

Tabulka 10: Technické parametry vozu Škoda Felicia

Zdroj: <http://www.vozyskoda.wz.cz/felicia/techdata.htm>

Dlouhodobé měření viskozity motorového oleje probíhalo na motorovém oleji Mogul GX-FE 10W-40 z vozidla Škoda Felicia combi. Jde o celoroční polosyntetický motorový olej, který je vhodný k mazání jak zážehových, tak i vznětových motorů osobních i lehkých užitkových vozidel. Je vhodný rovněž pro motory využívající jako palivo LPG. [19] Interval výměny motorového oleje je na tomto vozidle 7 500 km. Vozidlo je po generální opravě spalovacího motoru ve zhruba 108 000 km. Vzorky motorového oleje jsou odebírány po 500 km. Odběr do skleněné lahvičky je prováděn vždy bezprostředně po jízdě, kdy má olej provozní teplotu. Odebírá se z olejové vany otvorem pro olejovou měrku, vždy nejméně 40 ml. Takto odebraný vzorek je následně

označen datem a počtem ujetých kilometrů. Současný stav tachometru je cca 182 000 km. Kinematická viskozita byla měřena pro každý vzorek při 40°C a pro každý vzorek odebraný při sudém tisícím kilometru i při 100°C. Z naměřených hodnot byl následně vypočítán viskozitní index oleje.

Ve druhé části práce byla provedena studie, kdy nový nepoužitý motorový olej Mogul GX-FE 10W-40 byl laboratorně znečišťován vybranými nečistotami. Motorový olej byl zvolen stejný jako v první části práce, jako nečistoty byly zvoleny voda, modrá chladicí kapalina na bázi monoethylglykolu (G11), benzin Natural 95 a motorová nafta. Následně byl sledován vliv těchto nečistot na viskozitu motorového oleje oproti novému neznečištěnému oleji. Z důvodu dostupných pomůcek (laboratorní váhy), bylo zvoleno stanovování nečistot v oleji vyjádřené v hmotnostních procentech. Toto měření probíhalo pouze při teplotě 40°C, což může velmi dobře simulovat jízdy na krátké vzdálenosti, při kterých se motor a tím ani motorový olej nestačí ohřát na provozní teplotu. Při městském provozu na krátké vzdálenosti to je nejčastější problém.

Nejprve byla změřena viskozita nepoužitého oleje, následně pak byly laboratorně připraveny vzorky s obsahem nečistot v rozsahu od 0,1 do 10 % hm. U všech těchto vzorků byla změřena kinematická viskozita, dynamická viskozita a hustota.

### **3.2 Viskozimetr podle Stabingera**

Pro měření viskozity motorového oleje je možné použít viskozimetr podle Stabingera SVM 3000. Je to rotační viskozimetr s cylindrickou geometrií založený na modifikovaném Couette principu s rychle rotující vnější trubicí a vnitřním měřicím plováčkem rotujícím pomaleji. Přístroj pojmenovaný po Dr. Hansi Stabingerovi, který jej vyvinul se svým týmem, je prvním přístrojem kombinujícím požadovanou přesnost podle ASTM D 7042 s měřením viskozitního indexu podle ASTM D 2270/ISO 2909 v kompaktním stabilním přístroji. SVM 3000 používá nový, patentovaný princip měření (EP 0 926 481 A2). Z objemu vzorku pouhých 2,5 ml stanoví dynamickou viskozitu, kinematickou viskozitu a hustotu například mazacích a transformátorových olejů, ropy, topného oleje nebo vazelíny. [17]

Rotační měření viskozity je založeno na měření torze a viskozity. Rotující magnet v SVM 3000 generuje vířivé elektrické pole s exaktní závislostí brzděné torze. Vířivé brzděné pole je měřeno s mimořádně vysokou přesností. V kombinaci s integrovaným termoelektrickým termostatem poskytuje velmi přesné výsledky. Rozlišení při měření

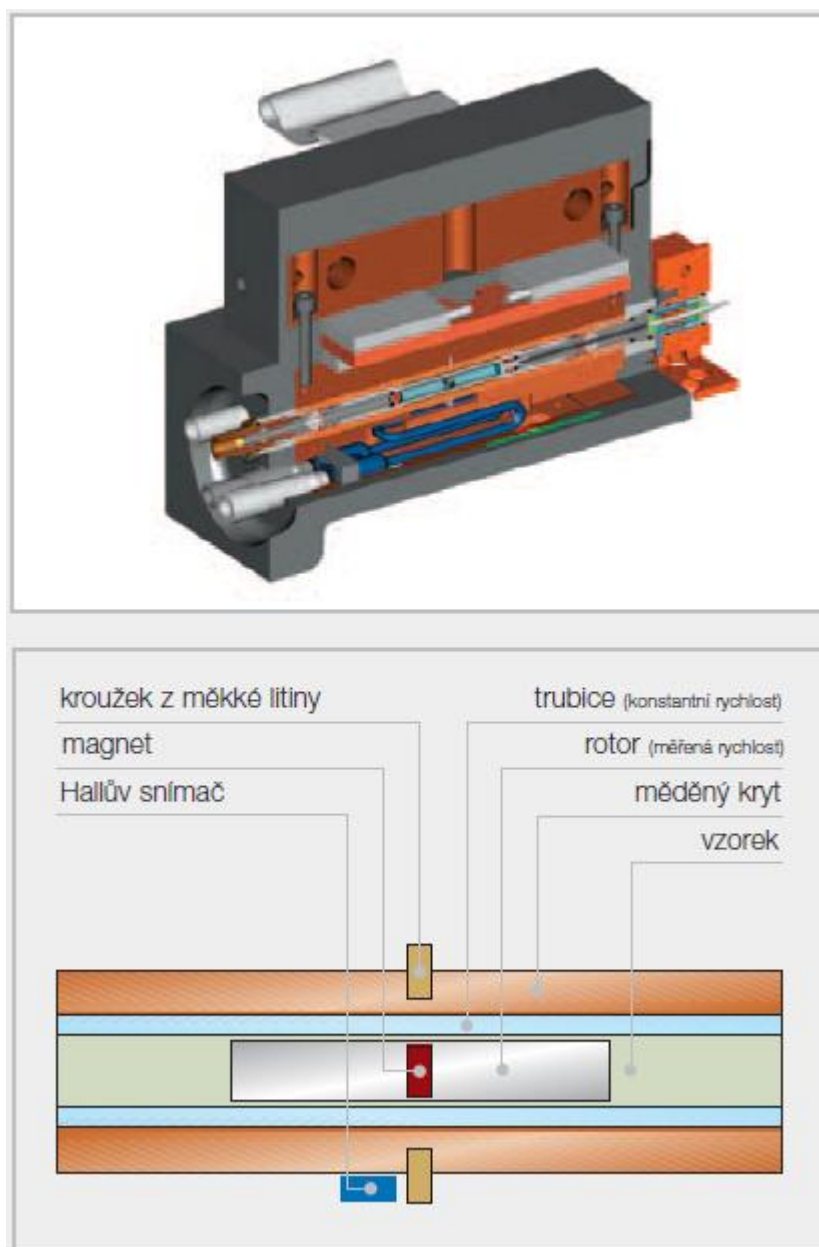
napětí je pouhých 50 pico-Nm. Proto je nezbytná velmi kompaktní měřící cela. Tato cela se skládá z trubice, která rotuje konstantní rychlostí. Trubice je naplněna vzorkem. Ve vzorku plave měřící rotor s integrovaným magnetem. Malá hustota rotoru umožňuje vycentrování odstředivou silou. Volně se vznášející rotor nevyžaduje žádné uložení do ložisek. Tento princip rovněž činí měření odolné vůči vibracím. Malý objem vzorku umožňuje extrémně rychlé teplotní změny díky Peltierovu článku a velmi krátké časy k dosažení rovnováhy. Prakticky okamžitě po spuštění měření dosáhne rotor stabilní rychlosti. Tento stav je určen jako rovnováha mezi brzdícím účinkem vířivého elektrického pole a smykovým napětím vznikajícím ve vzorku. Dynamická viskozita je vypočtena z rychlosti rotoru. [17]

Pro přepočítání hodnot dynamické viskozity na kinematickou viskozitu je nutné znát i příslušnou hodnotu hustoty. SVM 3000 je vybaven integrovanou hustotní celou pracující na ověřeném a přesném principu oscilující U-trubice. Obě cely jsou naplněny vzorkem v jednom cyklu měření a obě měření probíhají současně. SVM 3000 umožňuje měření od méně než 1 do 20000  $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . Při použití klasických kapilárních viskozimetrů je pro pokrytí stejného rozsahu zapotřebí 13 různých kapilár. [17]



Obr. 4: Viskozimetr SVM 3000

Zdroj: Autor



Obr. 5: Měřící trubice viskozimetru

Zdroj: <http://www.anton-paar.com/corp-en/products/details/kinematic-viscosity-svm-3000-stabinger-viscometer/viscometer/>

Před samotným měřením musí být vzorek motorového oleje důkladně promíchán například pomocí třepačky, aby se odstranily usazeniny na dně vzorku vzniklé při skladování. Poté je vzorek nabrán do injekční stříkačky a vpraven do příslušného otvoru viskozimetru SVM 3000 tak, aby byla zaplavena celá měřící cela. Poté lze zapnout měření, které trvá cca 5 minut. Po této době se na displeji zobrazí hodnoty dynamické

viskozity, kinematické viskozity a hustoty. Jakmile skončí měření, je nutné vzorek z měřicí cely vyfouknout prázdnou injekční stříkačkou a propláchnout technickým benzinem. Nakonec se zařízení vysuší stlačeným vzduchem. Po tomto kroku je možné započít měření dalšího vzorku. [17]

Požadovaný objem vzorku	2,5 ml
Minimální spotřeba rozpouštědla	2,5 ml
Typická spotřeba rozpouštědla	10 ml
Max. viskozita vzorku	2000 mPa.s
Rychlost měření motorového oleje	Až 18 vorků/hod.
Hmotnost netto/brutto	15/17 kg
Rozměry d x š x v	440 x 315 x 220 mm
Pracovní podmínky	15 - 35 °C, max 80 % relativní vlhkosti
Napájení	110 - 240 V AC, 50 - 60 HZ
Reprodukovatelnost viskozity	0,35 % v rozsahu nastavení
Reprodukovatelnost hustoty	0,0005 g/cm <sup>3</sup> od 0,65 do 1,5
Reprodukovatelnost teploty	0,02 °C

*Tabulka 11: Technické parametry viskozimetru SVM 3000*

*Zdroj: <http://www.anton-paar.com/corp-en/products/details/kinematic-viscosity-svm-3000-stabinger-viscometer/viscometer/>*

## 4 Vliv znečištění na viskozitu oleje

Na následujících řádcích jsou zaznamenány výsledky měření viskozimetrem SVM 3000 dle Stabingera a jejich interpretace. Na následujících grafech je zobrazen průběh kinematické viskozity, dynamické viskozity a hustoty v závislosti na počtu ujetých kilometrů.

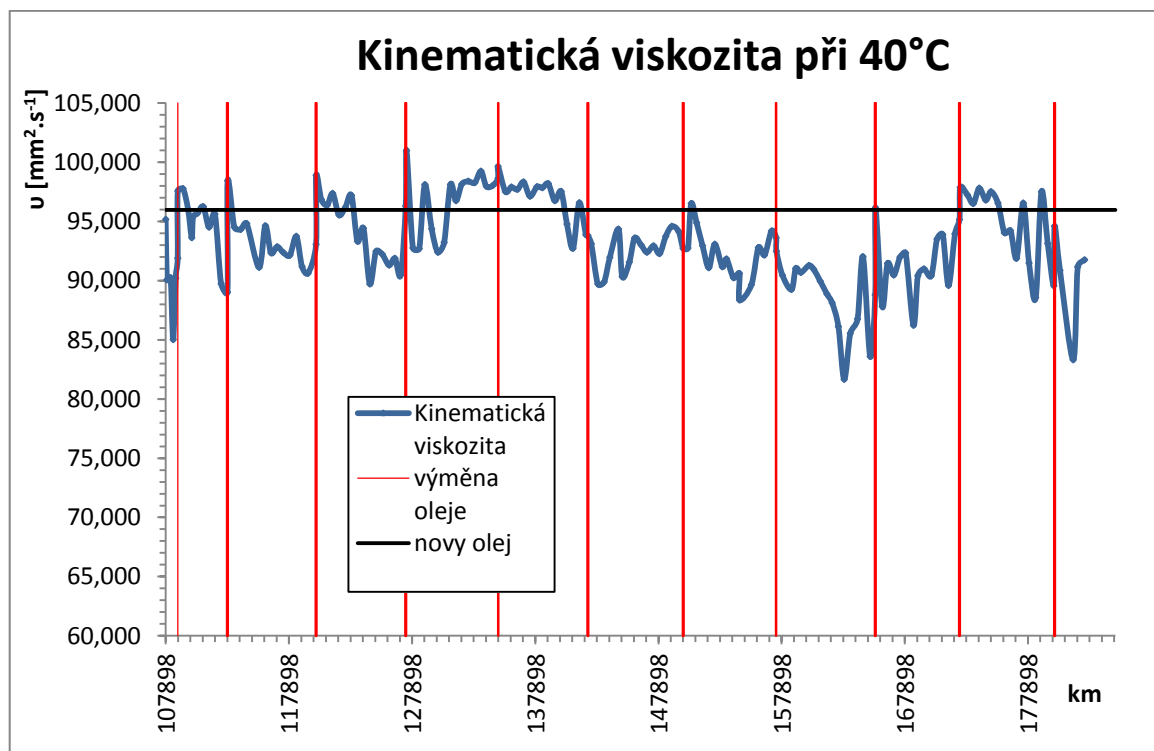
### 4.1 Dlouhodobé měření viskozity

V části dlouhodobého měření viskozity bylo změřeno 165 vzorků motorového oleje při teplotě 40°C a každý sudý tisíc kilometr také při teplotě 100°C. Dlouhodobé sledování bylo zahájeno okamžikem po generální opravě spalovacího motoru a zahrnovalo ujetou vzdálenost necelých 80 000 km. Olejová náplň byla za tu dobu vyměněna celkem jedenáctkrát, a to při počtu najetých kilometrů: 108 876 km, 112 914 km, 120 109 km, 127 387 km, 134 881 km, 142 174 km, 149 910 km, 157 457 km, 165 503 km, 172 342 km a 180 065 km. Teplota 40°C byla zvolena z toho důvodu, že nejlépe vystihuje jízdy na krátké vzdálenosti, kdy motor a tím i motorový olej nedosáhne provozní teploty. Teplota 100°C pak přibližně odpovídá provozní teplotě motorového oleje ve spalovacím motoru. Při této teplotě je rovněž uvedena katalogová kinematická viskozita nového motorového oleje. Pro výpočet viskozitního indexu je nutné znát kinematickou viskozitu při teplotě 40°C i 100°C. Viskozitní index byl tedy z naměřených hodnot spočítán pro každý sudý tisíc kilometr.

#### 4.1.1 Měření při teplotě 40°C

Průběh kinematické viskozity v závislosti na počtu ujetých kilometrů je zobrazen v grafu č. 2. Červeně jsou znázorněny okamžiky výměny olejové náplně motoru. Černě je vyznačená hodnota kinematické viskozity nového nepoužitého motorového oleje, která je 95,980 mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>. Tato hodnota kinematické viskozity byla zjištěna experimentálně, změřením vzorku nového nepoužitého oleje na viskozimetru. Z grafu je patrné, že hodnota kinematické viskozity motorového oleje v jednotlivých cyklech výměny oleje většinou postupně klesá. Největší změny vždy nastaly v průběhu prvních kilometrů po výměně olejové náplně, což může být způsobeno stříhovou stabilitou olejů. V průběhu každého intervalu pak došlo k drobnému snížení i zvýšení kinematické viskozity, což je způsobeno různým stylem jízdy vozidla během výměnného intervalu. Vozidlo využívá jako palivo LPG, při startech se však používá benzin. V zimním období

dochází k přepnutí na LPG po delší době než v letním období. Vliv benzínu v oleji je u tohoto vozu více patrný v zimním období. V grafu jsou 3 extrémy výrazně nízké kinematické viskozity. První extrém je v hodnotě 108 506 km těsně před první výměnou olejové náplně po generální opravě spalovacího motoru. Pokles kinematické viskozity činil 10,67 %. Autor se domnívá, že tento pokles byl způsoben provozem vozidla výhradně na benzin po dobu prvních 1000 km po generální opravě spalovacího motoru. Další extrém nastal při 162 982 km, kdy pokles kinematické viskozity činil 12,78 %. Autor se domnívá, že pokles byl způsoben tím, že vozidlo v tomto období bylo provozováno více na benzin než na LPG. Mohlo se jednat o jízdy na krátké vzdálenosti. Poslední extrém byl zaznamenán při hodnotě 181 577 km, kdy pokles kinematické viskozity činil 11,94 %. Toto bylo způsobeno jízdou na krátké vzdálenosti v zimním období výhradně na benzin, což následně potvrdil provozovatel vozidla. Nejvyšší naměřená hodnota kinematické viskozity motorového oleje byla  $101,00 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , to je o 5,2 % více než hodnota naměřená pro nový nepoužitý motorový olej. Nejnižší naměřená hodnota kinematické viskozity motorového oleje byla  $81,66 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , to je o 14,9 % méně než hodnota naměřená pro nový nepoužitý motorový olej.



Graf 2: Průběh kinematické viskozity na počtu ujetých kilometrů při teplotě 40°C

Zdroj: Autor



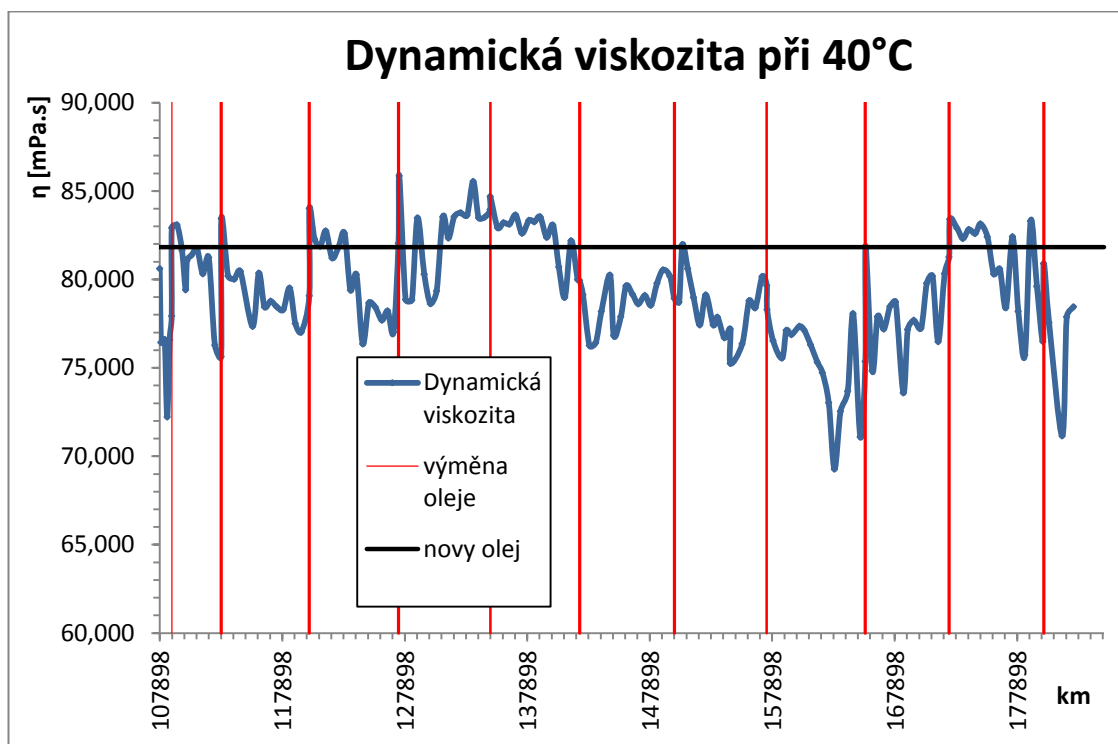
Změny kinematické viskozity motorového oleje v jednotlivých intervalech mezi výměnami jsou uvedeny v tabulce č. 12. Největší změny byly zaznamenány ve druhém intervalu, tj. 108 876 – 112 914 km, změna činila -8,77 %, dále v pátém intervalu, tj. 120 109 – 127 387 km, změna činila -8,50 % a konečně v jedenáctém intervalu, tj. 172 342 - 180 065 km, změna činila -8,48 %. Pravděpodobně se jednalo o období, kdy vozidlo jezdilo na krátké vzdálenosti převážně na benzinový pohon. V takovém případě se do olejové náplně dostává určité množství benzínu, které se během krátkých jízd nestihne odpařit. Ve všech intervalech kromě jediného došlo k poklesu kinematické viskozity motorového oleje. Poklesy zaznamenané v těchto intervalech jsou sice vyšší než v intervalech ostatních, ale pokles kinematické viskozity motorového oleje není tak výrazný, aby to pro konkrétní spalovací motor představovalo riziko. Jediný interval, kdy viskozita nepatrně vzrostla o 0,93 %, je osmý interval, tj. 149 910 – 157 457 km. Jednalo se o interval, který zahrnoval i zimní období. Nepatrné zvýšení bylo pravděpodobně způsobeno přítomností malého množství sazí nebo zkondenzované vody v olejové náplni.

Interval výměny (km)	Procentuální změna kinematické viskozity oleje při 40 °C (%)
107 898 - 108 876	- 3,44
108 876 – 112 914	- 8,77
112 914 – 120 109	- 5,46
120 109 – 127 387	- 8,50
127 387 – 134 881	- 2,32
134 881 – 142 174	- 5,86
142 174 – 149 910	- 1,16
149 910 – 157 457	+ 0,93
157 457 – 165 503	- 3,98
165 503 – 172 342	- 1,47
172 342 – 180 065	- 8,48
180 065 – 182 504 (poslední vzorek)	-3,01

*Tabulka 12: Procentuální změna viskozity v jednotlivých intervalech výměny*

*Zdroj: Autor*

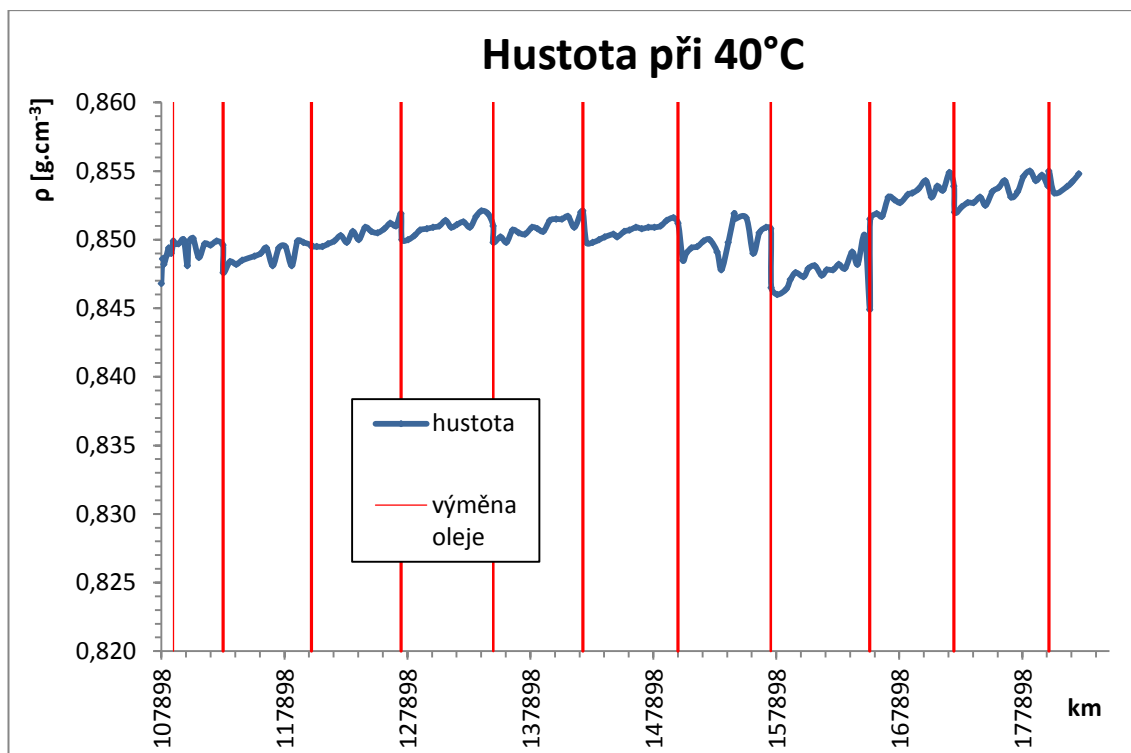
Graf č. 3 znázorňuje průběh dynamické viskozity motorového oleje v závislosti na počtu ujetých kilometrů. Průběh dynamické viskozity je podobný jako průběh kinematické viskozity. Extrémy jsou ve stejných bodech. Dynamická viskozita je přímo úměrná kinematické viskozitě, získá se jen výpočtem, vynásobením hustotou, viz kapitola 2.1, vztah 2-1.



Graf 3: Průběh dynamické viskozity na počtu ujetých kilometrů při teplotě 40°C

Zdroj: Autor

Graf č. 4 znázorňuje průběh hustoty motorového oleje v závislosti na počtu ujetých kilometrů. Z grafu závislosti hustoty je vidět, že se hustota motorového oleje mezi jednotlivými výměnami nepatrně zvyšuje. Zvýšení hustoty v jednotlivých intervalech nebylo vyšší než 0,5 %, pouze v intervalu od 165 553 km do 172 342 km činil nárůst 1,17 %. Nepatrné zvýšení hustoty motorového oleje v intervalech od výměny k výměně může být způsobeno přítomností pevných mikročástic nebo menšího množství sazí. Výrazně nízká hodnota hustoty motorového oleje při počtu ujetých kilometrů 165 503 km vybočuje z jinak souvislé řady hodnot. Autor se domnívá, že v tomto případě se mohlo jednat o chybu měření nebo o chybu odběru vzorku, případně o chybu při přípravě vzorku. Vyšší hodnoty hustoty v posledních dvou intervalech mohly být způsobeny vyšší hustotou oleje již z výroby.



Graf 4: Průběh hustoty na počtu ujetých kilometrů při teplotě 40°C

Zdroj: Autor

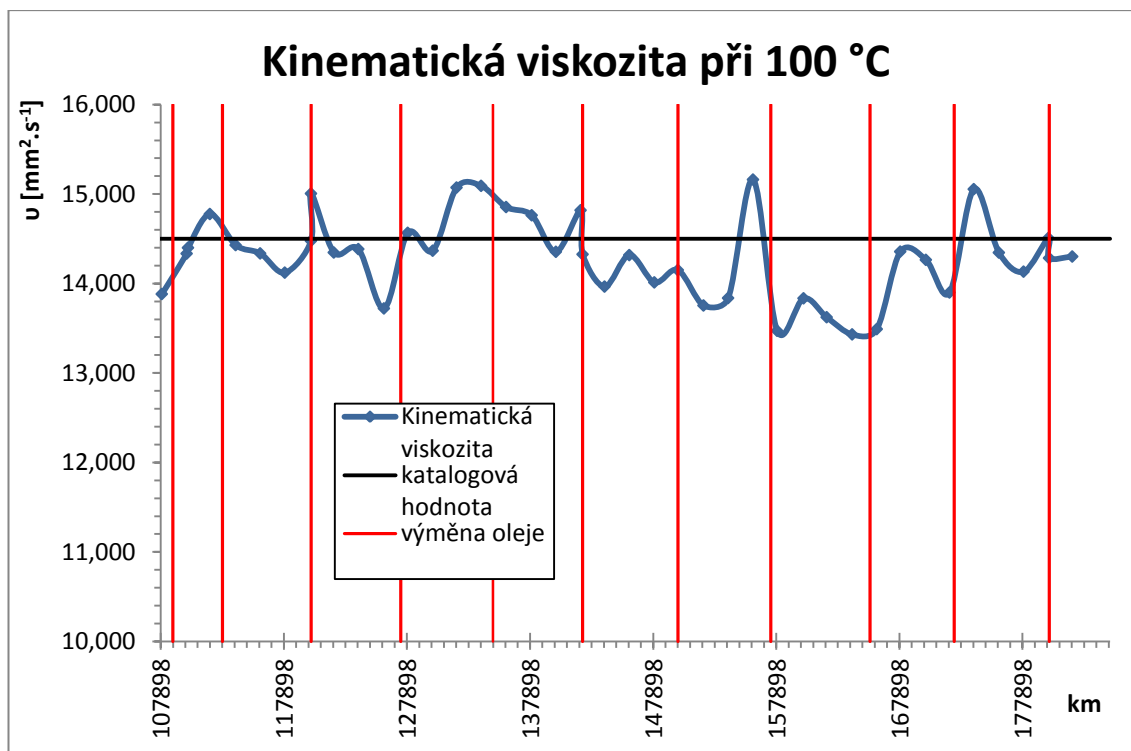
#### 4.1.2 Měření při teplotě 100°C

Průběh kinematické viskozity v závislosti na počtu ujetých kilometrů je zobrazen v grafu č. 5. Červeně jsou znázorněny okamžiky výměny olejové náplně motoru. Černě je vyznačena katalogová hodnota kinematické viskozity nového nepoužitého motorového oleje, která je  $14,5 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . [19] Katalogová hodnota kinematické viskozity oleje při teplotě 100°C byla ověřena měřením. Byla naměřena hodnota  $14,454 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . Rozdíl oproti katalogové hodnotě činí pouze 0,32 %, což je akceptovatelné v rámci přesnosti použité metody a použitého viskozimetru. Přesnost a reprodukovatelnost měření je blíže diskutována v samostatné kapitole č. 4.3.

Teplota 100°C více odpovídá provozní teplotě motorového oleje. Přítomný benzin v oleji se při této teplotě z velké části odpaří, proto v tomto grafu nejsou tolik patrné nízké extrémy kinematické viskozity, jak tomu bylo v grafu č. 2 při teplotě 40°C. Naopak z tohoto grafu je možné vyčíst několik extrémů vyšší hodnoty kinematické viskozity. V případě prvního extrému při najetých kilometrech 120 109 km se jednalo o první vzorek po výměně motorového oleje. Z toho je patrné, že nový motorový olej měl vyšší hodnotu kinematické viskozity o 3,37 %, než se uvádí pro tento motorový olej

v katalogu. V případě druhého extrému při ujetých kilometrech 133 930 km a v případě třetího extrému při ujetých kilometrech 156 015 km se jednalo o vzorky odebrané ke konci výměnného intervalu olejové náplně. Autor se domnívá, že zvýšení hodnot kinematické viskozity u těchto vzorků bylo způsobeno přítomností drobných mechanických mikročástic nebo menšího množství sazí oleji. Třetí extrém při ujetých kilometrech 156 015 km je nejvýraznější, navýšení hodnoty kinematické viskozity činí 6,66 % oproti hodnotě kinematické viskozity této konkrétní náplně na počátku cyklu. V případě dalšího extrému při ujetých kilometrech 173 949 km se jedná o vzorek z období, kdy vozidlo jezdilo převážně na kratší vzdálenosti. Zvýšení kinematické viskozity je způsobeno přítomností malého množství sazí nebo vody v motorovém oleji.

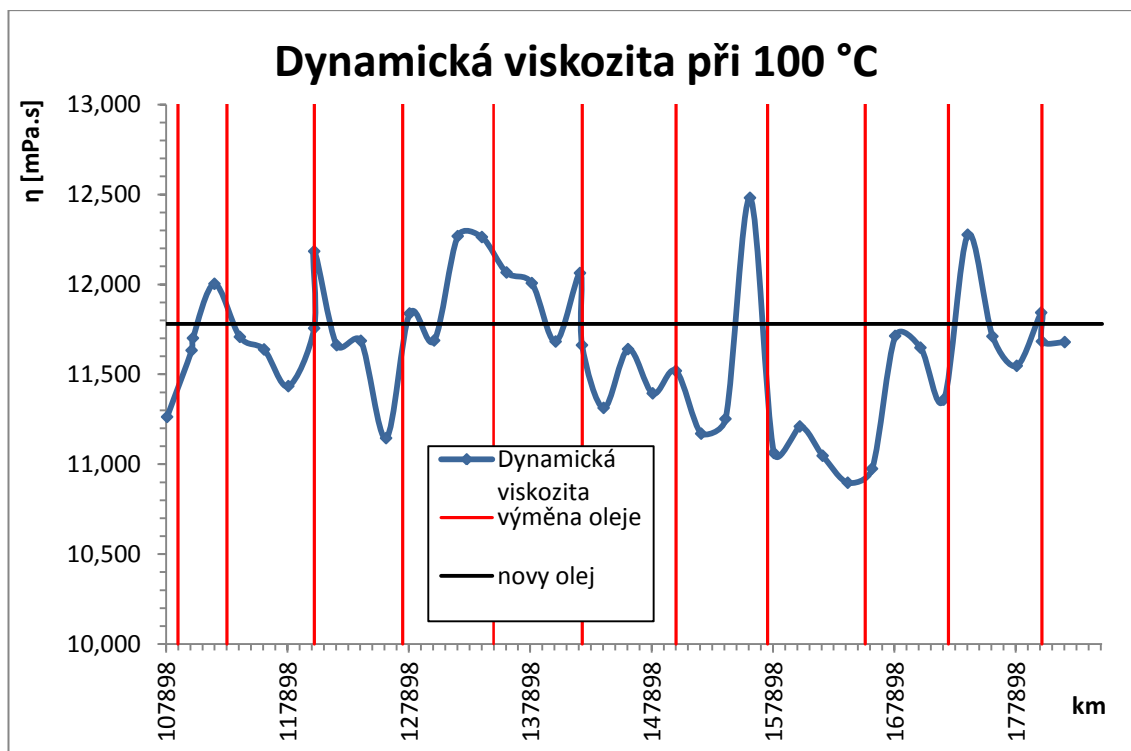
Z grafu jsou patrné také 3 extrémy nízkých hodnot kinematické viskozity. V případě prvního extrému při ujetých kilometrech 126 037 km se jednalo o vzorek ze zimního období, kdy vozidlo jezdilo pravděpodobně více na benzin než na LPG. Vzorek proto mohl obsahovat malé množství benzínu. V případě druhého extrému při ujetých kilometrech 157 973 km a v případě třetího extrému při ujeté vzdálenosti 166 068 km se jedná o vzorky odebrané brzy po výměně olejové náplně. Je tedy možné, že nový olej mohl mít nižší viskozitu než je uvedena v katalogu. Nejvyšší naměřená hodnota kinematické viskozity motorového oleje byla  $15,16 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , to je o 4,9 % více než hodnota naměřená pro nový nepoužitý motorový olej. Nejnižší naměřená hodnota kinematické viskozity motorového oleje byla  $13,43 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , to je o 7,1 % méně než hodnota naměřená pro nový nepoužitý motorový olej.



Graf 5: Průběh kinematické viskozity na počtu ujetých kilometrů při teplotě 100°C

Zdroj: Autor

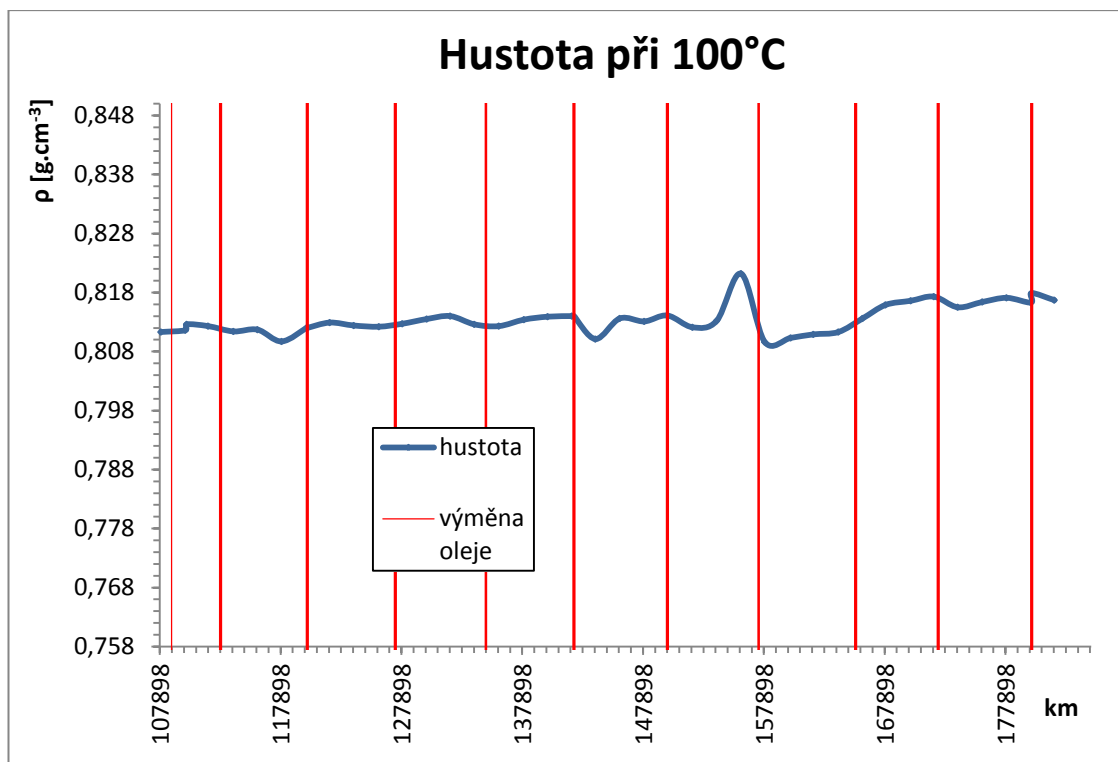
Graf č. 6 znázorňuje průběh dynamické viskozity motorového oleje při 100°C v závislosti na počtu ujetých kilometrů. Průběh dynamické viskozity je podobný jako průběh kinematické viskozity. Extrémy jsou ve stejných bodech. Dynamická viskozita je přímo úměrná kinematické viskozitě, získá se jen výpočtem, vynásobením hustotou, viz kapitola 2.1, vztah 2-1.



Graf 6: Průběh dynamické viskozity na počtu ujetých kilometrů při teplotě 100°C

Zdroj: Autor

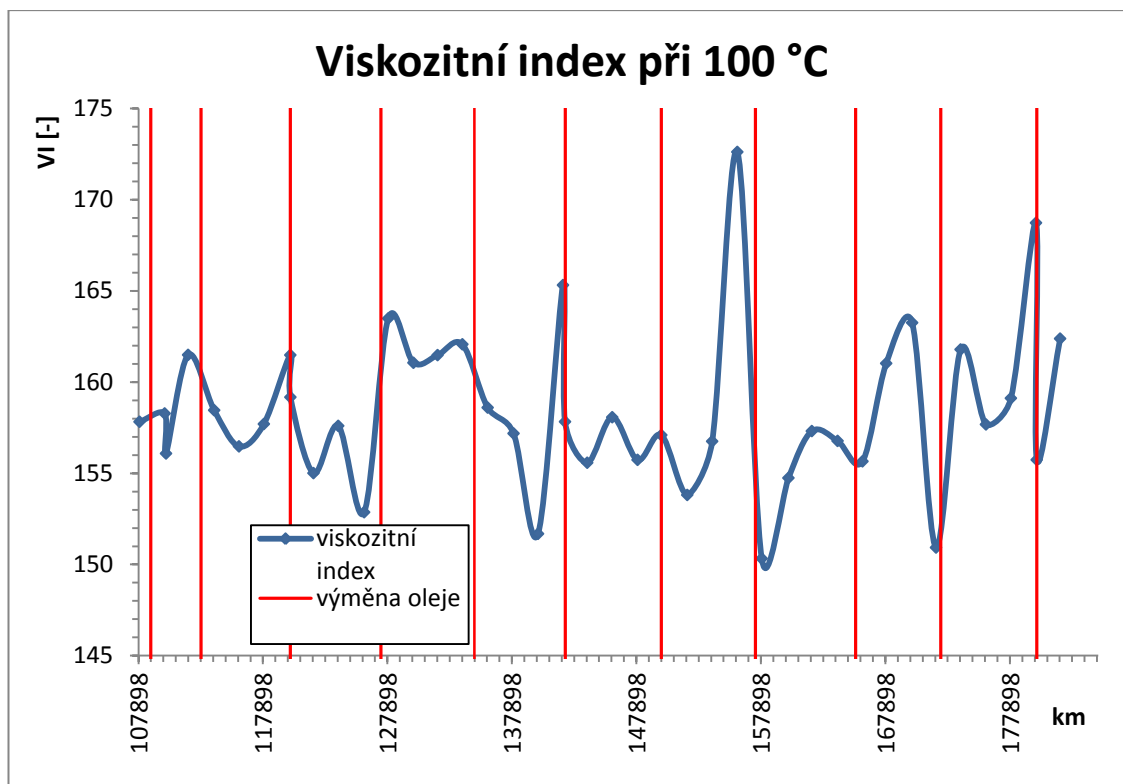
Graf č. 7 znázorňuje průběh hustoty motorového oleje při 100°C v závislosti na počtu ujetých kilometrů. Z grafu je vidět, že se hustota motorového oleje mezi jednotlivými výměnami nepatrně zvyšuje. Zvýšení hustoty v jednotlivých intervalech nebylo vyšší než 0,5 %. Výraznější rozdíl byl zaznamenán při ujeté vzdálenosti 155 015 km, kdy hodnota hustoty vykazuje maximum. Jde o stejnou ujetou vzdálenost, jako v případě průběhu kinematické viskozity. Jednalo se o vzorek odebraný ke konci výměnného intervalu olejové náplně. Autor se domnívá, že zvýšení hodnot hustoty u těchto vzorků bylo způsobeno přítomností drobných mikročástic nebo vlivem špatné alkality oleje. Vyšší hodnoty hustoty v posledních dvou intervalech mohly být způsobeny vyšší hustotou oleje již z výroby.



Graf 7: Průběh hustoty na počtu ujetých kilometrů při teplotě 100°C

Zdroj: Autor

Z naměřených hodnot kinematické viskozity motorového oleje při teplotách 40°C a 100°C byl vypočítán viskozitní index podle platné normy [18]. Je to relativní číslo, které vyjadřuje vliv teploty na změnu viskozity oleje. Průměrná hodnota viskozitního indexu zjištěná ze všech měření je 158,5, což je hodnota o 8,5 % vyšší než udává výrobce v katalogu pro tento typ motorového oleje. Katalogová hodnota pro tento typ oleje je 145. Je vidět, že po celé sledované období hodnota viskozitního indexu oleje neklesla pod katalogovou hodnotu udávanou výrobcem. Vypočtené hodnoty se pohybují v intervalu od 150 do 172. Drobné znečištění motorového oleje v průběhu cyklů tedy nepůsobilo pokles viskozitního indexu.



Graf 8: Průběh viskozitního indexu v závislosti na ujetých kilometrech

Zdroj: Autor

V průběhu dlouhodobého měření došlo v naprosté většině intervalů výměn olejové náplně ke snížení kinematické viskozity i dynamické viskozity motorového oleje. Potvrdil se tak předpoklad, že u zážehového motoru dochází ke snížení viskozity v závislosti na počtu najetých kilometrů. V případě hustoty naopak došlo k jejímu zvýšení ve všech intervalech. Zvýšení hustoty se očekávalo, je to běžný jev.

Viskozitní index sice v průběhu dlouhodobého měření mírně kolísal, ale výrazně se nezvýšil ani nesnížil. Důležité je, že po celou dobu dlouhodobého měření se hodnota viskozitního indexu pohybovala nad katalogovou hodnotou.

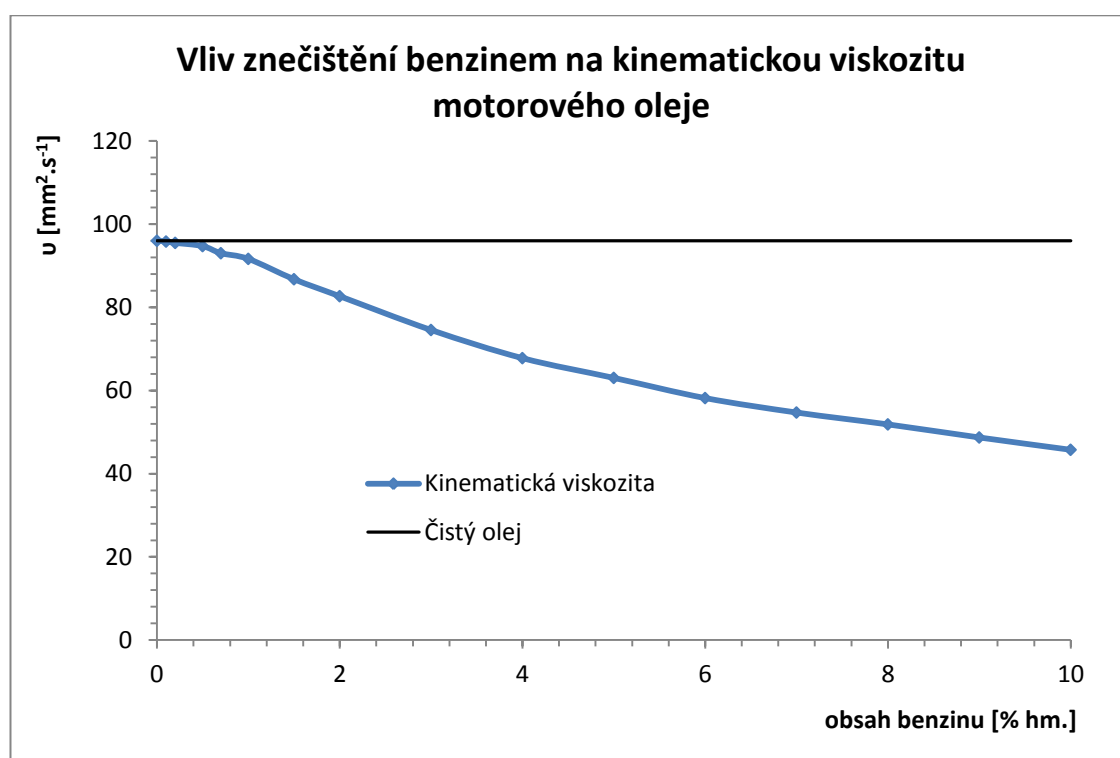
Kompletní souhrn naměřených hodnot je uveden v příloze č. 1 této práce.

## 4.2 Laboratorní znečišťování

Vliv znečištění motorového oleje benzinem je znázorněn v grafu č. 9. Znečištění motorového oleje benzinem způsobí pokles kinematické viskozity, který činí až 52 % při obsahu této nečistoty 10 % hm. v motorovém oleji. Kinematická viskozita nejprve klesá pozvolna, ale od obsahu 1 % hm. klesá rychleji až do obsahu přibližně 6 % hm.



Od 6 % hm. do 10 % hm. klesá pomaleji, téměř lineárně. V praxi se malé množství benzínu v motorovém oleji u zážehových motorů vyskytuje téměř vždy. Záleží však, zda je vozidlo používáno na krátké, či delší vzdálenosti. Při delší jízdě dochází k odpaření benzínu z motorového oleje vlivem dosažení provozní teploty motoru a tím i motorového oleje. Benzin se však z motorového oleje neodpaří všechno, odpaří se jen lehčí benzinové frakce, které tvoří přibližně 50 % benzínu. Naopak při opakovaných krátkých jízdách dochází ke zvyšování obsahu benzínu v motorovém oleji, v extrémním případě může dojít až k zadření motoru. Olej, který obsahoval až 10 % hm. benzínu, nevykazoval žádnou změnu barvy, proto by se na první pohled mohlo zdát, že je v pořádku.

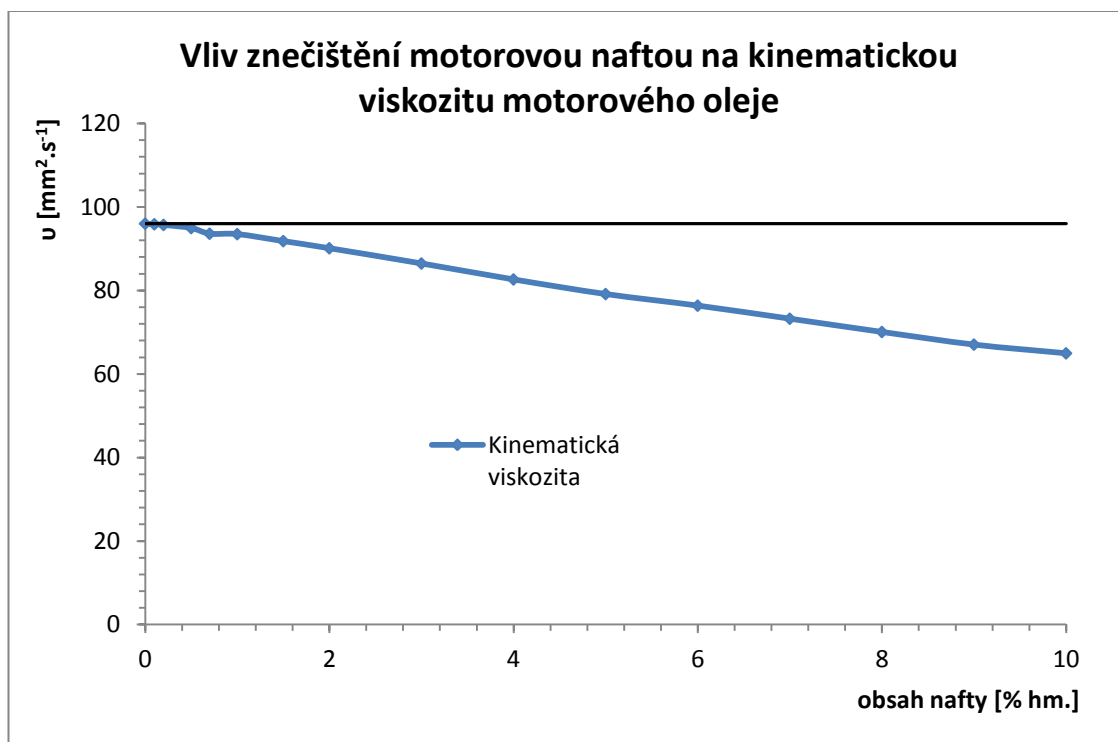


Graf 9: Vliv znečištění benzinem na kinematickou viskozitu motorového oleje

Zdroj: Autor

Vliv znečištění motorového oleje motorovou naftou je znázorněn v grafu č. 10. Znečištění motorového oleje motorovou naftou způsobí pokles kinematické viskozity, který činí až 32 % při obsahu této nečistoty 10 % hm. v motorovém oleji. Kinematická viskozita klesá téměř lineárně až do 9 % hm. Po dosažení 9 % hm. začíná klesat pomaleji. Menší pokles oproti benzinu je způsoben tím, že motorová nafta má částečné mazací účinky a má hustotu podobnou motorovému oleji. Na rozdíl od zážehových motorů se při delší jízdě nafta z motorového oleje neodpaří, a to z důvodu vyšší teploty

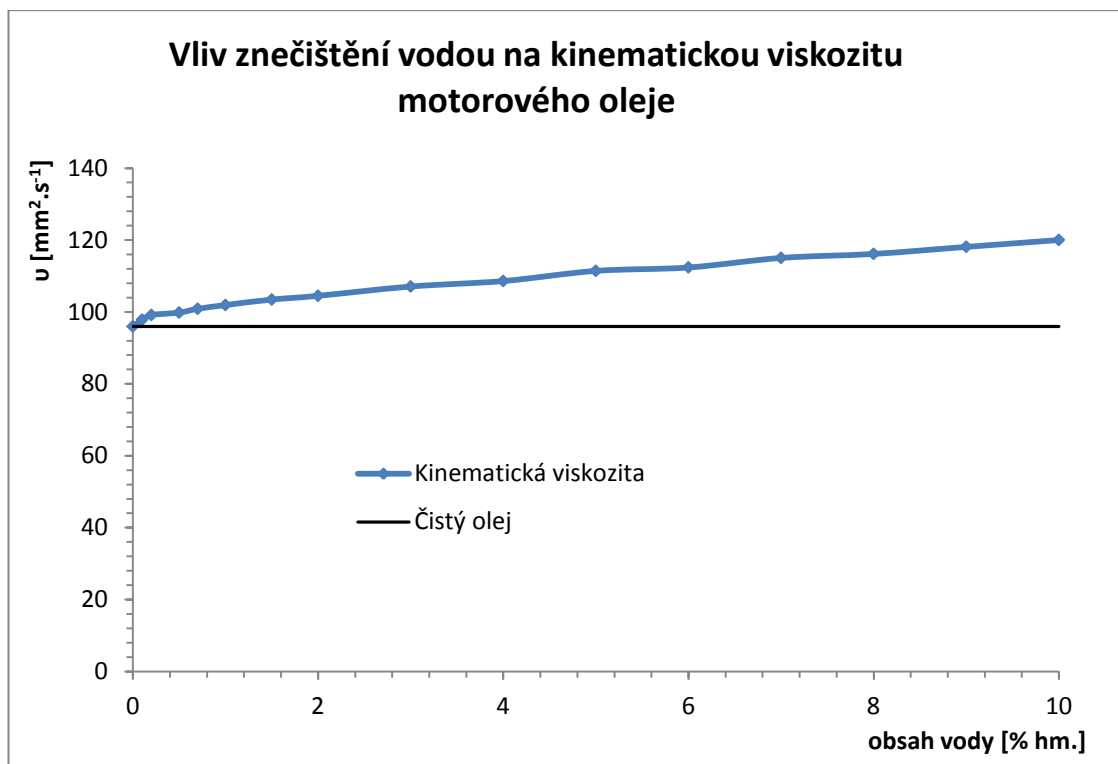
varu motorové nafty, která začíná přibližně na 180°C. Olej, který obsahoval až 10 % hm. motorové nafty nevykazoval žádnou změnu barvy, proto by se na první pohled mohlo zdát, že je v pořádku.



Graf 10: Vliv znečištění motorovou naftou na kinematickou viskozitu motorového oleje

Zdroj: Autor

Vliv znečištění motorového oleje vodou je znázorněn v grafu č. 11. Znečištění motorového oleje vodou způsobí zvýšení kinematické viskozity, které činí až 25 % při obsahu této nečistoty 10 % hm. v motorovém oleji. Kinematická viskozita se nejprve zvyšuje strmě a přibližně od obsahu znečištění 0,2 % hm. roste pomaleji a téměř lineárně. Při delší jízdě dochází k odpaření vody z motorového oleje vlivem dosažení provozní teploty motoru a tím i motorového oleje. Olej, který obsahuje vodu, tvoří emulzi, která se přibližně od 2-3 % hm. barví do běla. Již na první pohled je znát, že olej není v pořádku, že obsahuje nějakou nežádoucí nečistotu. Na obrázku č. 6 je vidět bílá emulze, která vznikla přidáním 10 % hm. vody do oleje.



*Graf 11: Vliv znečištění vodou na kinematickou viskozitu motorového oleje*

*Zdroj: Autor*



*Obr. 6: Vzorek oleje o obsahem vody 10 % hm.*

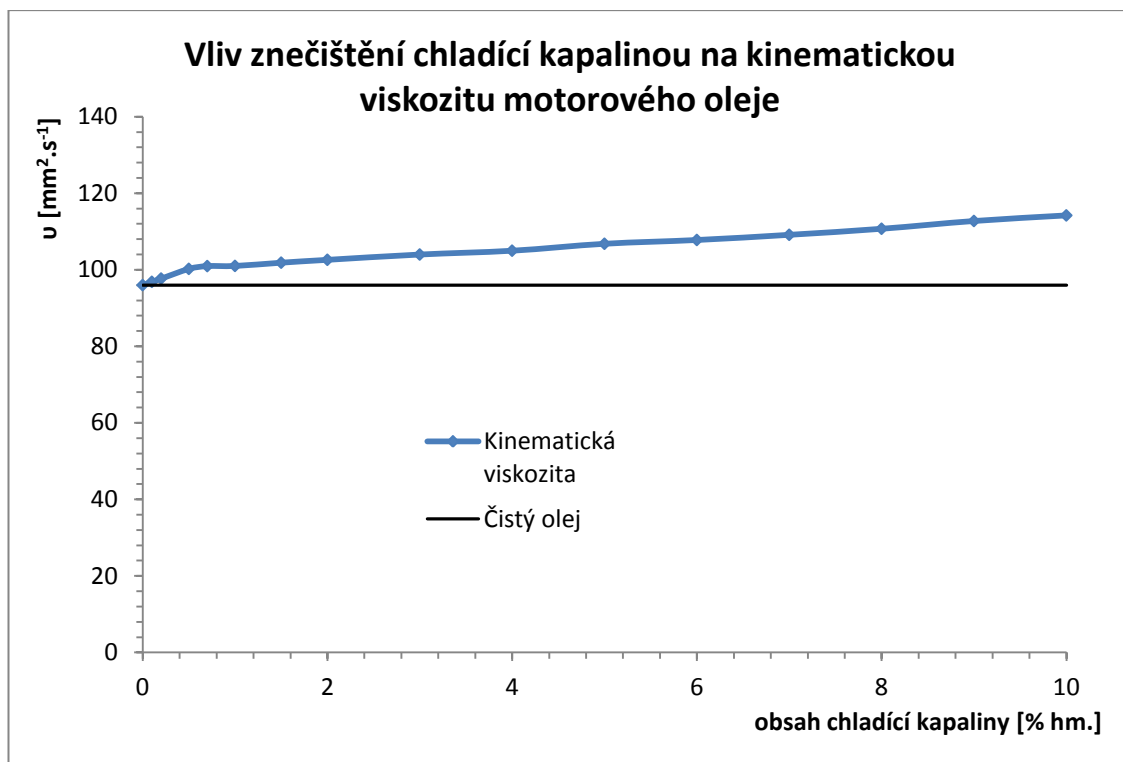
*Zdroj: Autor*

Vliv znečištění motorového oleje chladicí kapalinou je znázorněn v grafu č. 12. Znečištění motorového oleje chladicí kapalinou způsobí zvýšení kinematické viskozity, které činí až 19 % při obsahu této nečistoty 10 % hm. v motorovém oleji. Kinematická viskozita se nejprve zvyšuje strmě a přibližně od obsahu znečištění 1 % hm. roste pomaleji a téměř lineárně. Vzhledem k tomu, že chladicí kapalina rychle reaguje s přísadami v oleji za vzniku kalu a usazenin, nikdy se chladicí kapalina zcela neodpaří při delší jízdě a při dosažení provozní teploty motoru a tím i teploty motorového oleje. Olej, který obsahuje modrou chladicí kapalinu na bázi monoethylenglykolu (G11), tvoří emulzi, která se přibližně od 2-3 % hm. barví do zelena a začínají vznikat kaly a usazeniny. Již na první pohled je znát, že olej není v pořádku, že obsahuje nějakou nežádoucí nečistotu. Na obrázku č. 7 je vidět zeleně zbarvený olej po přidání 10 % hm. chladicí kapaliny G11 do oleje.



*Obr. 7: Vzorek oleje s obsahem chladicí kapaliny G11 10 % hm.*

*Zdroj: Autor*



Graf 12: Vliv znečištění chladicí kapalinou na kinematickou viskozitu motorového oleje

Zdroj: Autor

% hm. nečistot	Benzin	Motorová nafta	Voda	Chladicí kapalina
0,1	- 0,19 %	- 0,15 %	+ 1,96 %	+ 0,89 %
0,2	- 0,53 %	- 0,31 %	+ 3,32 %	+ 1,78 %
0,5	- 1,33 %	- 1,09 %	+ 4,03 %	+ 4,43 %
0,7	- 3,12 %	- 2,50 %	+ 5,12 %	+ 5,18 %
1	- 4,53 %	- 2,61 %	+ 6,21 %	+ 5,23 %
1,5	- 9,63 %	- 4,36 %	+ 7,80 %	+ 6,12 %
2	- 13,88 %	- 6,14 %	+ 8,89 %	+ 6,90 %
3	- 22,35 %	- 9,94 %	+ 11,59 %	+ 8,34 %
4	- 29,40 %	- 13,92 %	+ 13,17 %	+ 9,38 %
5	- 34,35 %	- 17,56 %	+ 16,12 %	+ 11,26 %
6	- 39,40 %	- 20,45 %	+ 17,11 %	+ 12,29 %
7	- 43,02 %	- 23,72 %	+ 19,88 %	+ 13,70 %
8	- 45,99 %	- 27,02 %	+ 21,04 %	+ 15,35 %
9	- 49,27 %	- 30,18 %	+ 23,08 %	+ 17,46 %
10	- 52,36 %	- 32,35 %	+ 25,07 %	+ 18,98 %

Tabulka 13: Procentuální změna kinematické viskozity vzhledem k obsahu nečistot

Zdroj: Autor

Procentuální změna kinematické viskozity vzhledem k obsahu zvolených nečistot naměřená pro všechny laboratorně znečištěné vzorky je uvedena v tabulce č. 13, kompletní výsledky pak jsou uvedeny v příloze č. 2 této práce.

Ve druhé praktické části práce, která se zabývala laboratorním znečišťováním motorového oleje, bylo ověřeno, že přítomnost benzínu a motorové nafty v motorovém oleji jeho viskozitu snižuje, přičemž benzin má na snížení viskozity větší vliv.

Naopak v případě vody a chladicí kapaliny bylo ověřeno, že přítomnost těchto látek v motorovém oleji jeho viskozitu zvyšuje, větší vliv na zvýšení viskozity má voda.

Vliv sazí, prachu a jiných pevných částic nebyl sledován, protože v daných laboratorních podmínkách nebylo možné toto znečištění simulovat.

### 4.3 Reprodukovatelnost měření

Reprodukovatelnost měření byla ověřována pomocí nezávislého kontrolního vzorku, který byl při měření kinematické viskozity zařazován do série vzorků vždy jako každý dvacátý vzorek. Za kontrolní vzorek byl zvolen vzorek nepoužitého motorového oleje Havoline Ultra 5W-40. Veškeré naměřené hodnoty kontrolního vzorku jsou uvedeny v tabulce č. 14 a znázorněny v grafu č. 13 včetně spojnice trendu a regresní rovnice ve tvaru  $y = ax + b$ .

Kontrolní vzorek č.	Kinematická viskozita při 40°C (mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )
1	79,688
2	79,661
3	79,635
4	79,658
5	79,628
6	79,649
7	79,621
8	79,680
9	79,648
10	79,631
11	79,631

Tabulka 14: Hodnoty kinematické viskozity kontrolních vzorků

Zdroj: Autor

Z naměřených hodnot kontrolního vzorku byla pomocí programu Microsoft Excel vypočítána průměrná hodnota, minimální hodnota, maximální hodnota, medián, směrodatná odchylka, směrodatná odchylka výběrová, odchylka od průměru a reprodukovatelnost. Příslušné statistické vzorce jsou uvedeny v příloze č 3 této práce.

Průměr:  $79,653 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

Minimum:  $79,621 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

Maximum:  $79,649 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

Medián:  $79,649 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

Směrodatná odchylka: 0,022

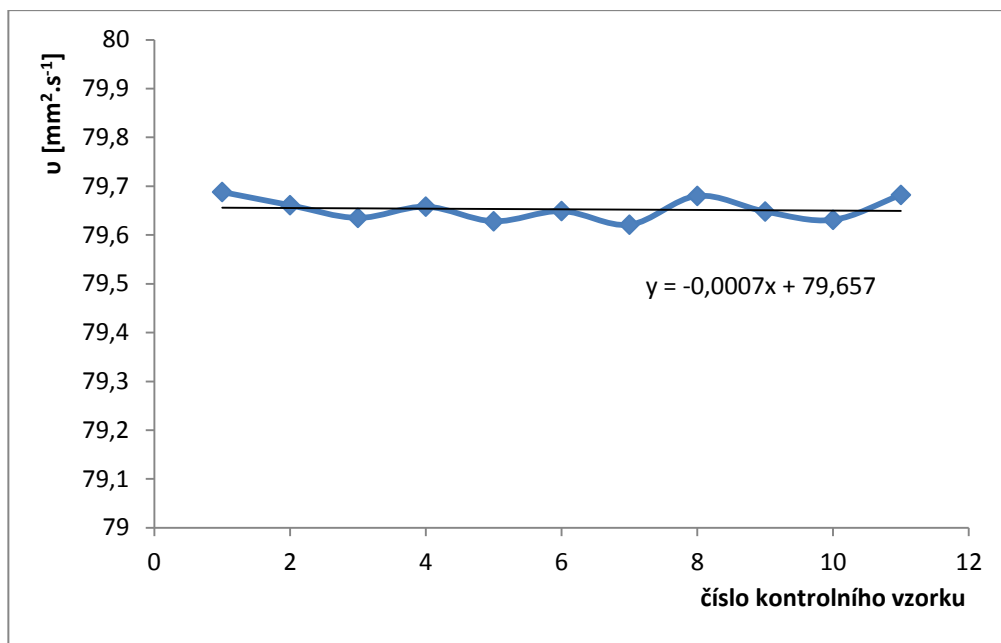
Směrodatná odchylka výběrová: 0,023

Odchylka od průměru: 0,019

**Reprodukovatelnost: 0,029 %**

Tato zjištěná hodnota reprodukovatelnosti byla porovnána s hodnotou reprodukovatelnosti, kterou výrobce viskozimetru uvádí jako 0,35%. [17] Z výsledků měření kontrolního vzorku je vidět, že použitý viskozimetr pracuje přesně. Zjištěná reprodukovatelnost je o řád menší než reprodukovatelnost, uváděná výrobcem. Graf naměřených hodnot kontrolního vzorku je téměř lineární, nevykazuje výrazné extrémy, nemá klesající ani rostoucí tendenci. Parametr  $a$  v regresní rovnici se blíží nule, spojnice trendu je téměř rovnoběžná s osou  $x$ .

Rovněž správná kalibrace viskozimetru byla ověřena pomocí vzorku nového nepoužitého oleje Mogul GX-FE 10W-40. Katalogová hodnota kinematické viskozity tohoto oleje při teplotě  $100^\circ\text{C}$  je  $14,5 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . [19] Byla naměřena hodnota  $14,454 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . Rozdíl oproti katalogové hodnotě činí pouze 0,32 %, což je méně než reprodukovatelnost 0,35%, udávaná výrobcem viskozimetru. [17]



*Graf 13: Grafické znázornění kontrolních vzorků*

*Zdroj: Autor*



## 5 Závěr

Při provozu motorového vozidla bude vždy docházet ke změnám viskozity i ke změnám hustoty motorového oleje.

Viskozita motorového oleje se může vlivem přítomnosti nečistot snižovat, ale také zvyšovat. Kinematická viskozita motorového oleje by se během provozu spalovacího motoru neměla měnit o více než 20 % u vznětových motorů. Pro zážehové motory lze připustit větší odchylku směrem k nižším hodnotám, odhadem až do 30 %. Z naměřených hodnot a následně vypracovaných grafů, prezentovaných a diskutovaných v kapitole Vliv znečištění na viskozitu oleje, lze vyvodit více závěrů jak o stavu motoru, tak i o způsobu provozu vozidla.

Během dlouhodobého sledování motorového oleje po dobu ujeté vzdálenosti 74 606 km byly naměřené změny kinematické viskozity maximálně 5,2 % směrem k vyšším hodnotám a maximálně 14,9 % směrem k nižším hodnotám. Z toho vyplývá, že zjištěné změny kinematické viskozity motorového oleje jsou v toleranci povolených 20 %, resp. 30 % směrem k nižším hodnotám. Je to důsledkem pravidelných výměn motorového oleje v relativně krátkých intervalech 7 500 km, dále provozem vozidla převážně na LPG, při kterém nedochází k ředění motorového oleje benzinem. Na základě relativně malých změn kinematické viskozity motorového oleje v průběhu všech intervalů je možné usoudit, že motor je v dobré kondici. Nedochází k velkému pronikání vody, chladicí kapaliny ani benzínu do olejové náplně. Pro zachování dobré funkce motoru i nadále autor doporučuje zachovat současný interval výměny olejové náplně 7 500 km. Během dalšího provozu vozidla autor doporučuje i nadále sledovat kinematickou viskozitu motorového oleje a v případě větších výkyvů včas odhalit příčinu. V případě výrazného zvýšení kinematické viskozity motorového oleje autor doporučuje provést zkoušku na přítomnost vody nebo chladicí kapaliny v motorovém oleji a dále provést stanovení pevných částic v motorovém oleji. Naopak v případě velmi nízkých hodnot kinematické viskozity motorového oleje autor doporučuje provést některou ze zkoušek na zjištění obsahu benzínu v oleji, např. stanovení bodu vzplanutí.

Při laboratorním znečišťování motorového oleje až do výše obsahu 10 % hm. nečistot byly zjištěny odlišné změny kinematické viskozity podle druhu přidávané nečistoty. V případě přítomnosti benzínu v motorovém oleji tolerovanému poklesu viskozity o 30 % odpovídá obsah 4 % hm. benzínu v motorovém oleji. Překročení této hodnoty má za následek snížené mazací schopnosti oleje, což vede ke zvýšenému

opotřebení spalovacího motoru. Přítomnost nafty v motorovém oleji má menší vliv na kinematickou viskozitu a tolerovaný pokles o 20 % odpovídá obsahu necelých 6 % hm. nafty v motorovém oleji. U vznětových motorů se kromě nafty dostávají do motorového oleje ve větší míře i saze. Přítomnost sazí v motorovém oleji kinematickou viskozitu naopak zvyšuje a zdálo by se, že se tím kompenzuje pokles kinematické viskozity způsobený naftou. Není to ale pravda, protože nadměrné množství sazí v motorovém oleji působí abrazivně, saze jsou pevné částice. Oba tyto druhy nečistot jsou nežádoucí a zvyšují opotřebení motoru.

Je-li v motorovém oleji voda, tolerovanému nárůstu kinematické viskozity o 20 % by odpovídal obsah vody 7 % hm. Voda však má korozivní účinky, pěnění a má snahu vytvářet emulzi. Z těchto důvodů a na základě dlouhodobých zkušeností se toleruje obsah vody v motorovém oleji pouze do hodnoty 0,2 %, což odpovídá nárůstu kinematické viskozity o 3,32 %. Obsah vody v motorovém oleji se dá ovlivnit jízdou na delší vzdálenost, kdy se motor a tím i motorový olej ohřejí na provozní teplotu a voda se částečně odpaří.

Přítomnost chladicí kapaliny v motorovém oleji způsobí jen malou změnu viskozity, tolerovanému nárůstu 20 % by odpovídal obsah 10 % hm. Chladicí kapalina ale v oleji reaguje za vzniku suspenze a nerozpustných kalů. I nepatrné množství chladicí kapaliny v motorovém oleji je proto velmi nebezpečné a způsobí rychlé zničení motoru.

Krátké jízdy na vzdálenosti do 5, případně do 10 km, zejména v zimním období mají na změnu viskozity motorového oleje podstatný vliv. Při tak krátké ujeté vzdálenosti se motor a tím i motorový olej nestačí ohřát na provozní teplotu. V oleji se vysráží voda a do oleje se dostane palivo, které se při nedostatečné teplotě motorového oleje neodpaří. Pokud je vozidlo často provozováno pouze na krátké vzdálenosti, je proto vhodné čas od času s vozidlem ujet delší trasu tak, aby se motor i motorový olej ohřál na provozní teplotu, a tím se z olejové náplně odpařily nežádoucí příměsi, jako je benzin nebo zkondenzovaná voda. Benzin se však neodpaří všechno, ale pouze jeho lehčí frakce. Pokud je vozidlo dlouhodobě provozováno pouze na krátké vzdálenosti bez občasných delších jízd, autor doporučuje výrazně snížit interval výměny olejové náplně.

## Seznam použité literatury

- [1] VLK, František. Paliva a maziva motorových vozidel. 1. vyd. Prof. Ing. František Vlk, DrSc, 2006. ISBN 80-239-6461-5.
- [2] PAVLŮ, Jindřich. Současný sortiment biologicky odbouratelných maziv v České republice. Praha, 2009. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- [3] KUKAČKA, Jan. *Současný sortiment automobilových olejů v České republice* Praha, 2009. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- [4] STOPKA, Jozef. Syntetické mazivá. *Tribotechnické informace*. Praha: TES, 2010, č. 1. ISSN 1212-0081.
- [5] ČERNÝ, Jaroslav a VÁCLAVÍČKOVÁ Ivana. Viskozitní a mazivostní vlastnosti motorových olejů. In: *Mazání v moderním průmyslovém podniku*. Praha: Česká strojnická společnost, 2008, s. 13-17. ISBN 978-80-02-02041-7.
- [6] TŘEBICKÝ, Václav. Výroba, vlastnosti, zkoušení a sortimentní skupiny maziv. In: *Základy tribotechniky*. Lázně Bohdaneč: Česká strojnická společnost, 2006, s. 18-30.
- [7] TŘEBICKÝ, Vladimír. Klasifikace a zkoušení maziv. Český normalizační institut, Praha 2006. ISBN 80-7283-222-0
- [8] MEČÍŘ, Jan. Rozdělení a klasifikace olejů osobních automobilů. Praha, 2008. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- [9] STACHOWIAK, G. W. Numerical characterization of wear particles morphology and angularity of particles and surfaces, *Tribology International*, January 1998, Volume 31, Issues 1-3, Pages 139-157, ISSN 0301-679X
- [10] Specifikace motorových olejů. In: *Petroleum* [online]. 2007 [cit. 2013-03-01]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/vyrobky/oleje-motorove-specifikace.aspx>
- [11] Výkonnostní třídy automobilových motorových olejů [online]. 2008 [cit. 2015-03-09]. Dostupné z: <http://www.oleje.cz/clanek/Vykonnostni-tridy-automobilovych-motorovych-oleju>
- [12] Černý, Jaroslav. Vlastnosti motorových olejů - Voda a glykol v oleji [online]. 2008 [cit. 2015-03-09]. Dostupné z: <http://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Voda-a-glykol-v-oleji/>
- [13] Černý, Jaroslav. Vlastnosti motorových olejů - Palivo v oleji [online]. 2008 [cit. 2015-03-09]. Dostupné z: <http://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Palivo-v-oleji/>

- [14] Černý, Jaroslav. Vlastnosti motorových olejů - Otěrové kovy [online]. 2008 [cit. 2015-03-09]. Dostupné z: <http://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Oterove-kovy/>
- [15] Černý, Jaroslav. Vlastnosti motorových olejů - Nečistoty a saze v motorovém oleji [online]. 2007 [cit. 2015-03-09]. Dostupné z: <http://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Necistoty-a-saze-v-motorovem-oleji>
- [16] Černý, Jaroslav. Vlastnosti motorových olejů - Oxidační stabilita, nitrace oleje [online]. 2007 [cit. 2015-03-09]. Dostupné z: <http://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Oxidacni-stabilita--nitrace-oleje>
- [17] Anton-Paar Stabinger Viscometer SVM 3000 [online]. 2015 [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: <http://www.anton-paar.com/corp-en/products/details/kinematic-viscosity-svm-3000-stabinger-viscometer/viscometer/>
- [18] ČSN ISO 2909. Ropné výrobky - Výpočet viskozitního indexu z kinematické viskozity. Praha, 2002.
- [19] Paramo, Mogul GX-FE 10W-40 [online]. 2015 [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: [https://eshop.paramo.cz/data/VyrobkovaDokumentace/ti\\_mogul\\_gxfe\\_z4.pdf/](https://eshop.paramo.cz/data/VyrobkovaDokumentace/ti_mogul_gxfe_z4.pdf/)

## Seznam zkratk

ACEA	Association des Constructeurs Européens d' Automobiles - Asociace evropských výrobců automobilů
API	American Petroleum Institut - Americký ropný institut
CCMC	Comité des Constructeurs d' Automobile du Marché Commun - Společnost výrobců motorů v Evropském společenství
ČSN	Česká státní norma
DPF	Diesel Particulate Filter - Filtr pevných částic
EGR	Exhaust Gas Recirculation - Recirkulace výfukových spalin
ILSAC	International Lubricant Standartisation Advisory Committee - Mezinárodní poradní výbor pro standardizaci maziv
LPG	Liquefied Petroleum Gas - Zkapalněný ropný plyn
MB	Mercedes Benz
MIL-L	Armádní klasifikace USA pro motorové oleje

SAE	Society of Automotive Engineers - Asociace inženýrů automobilového průmyslu
SCR	Selective Catalytic Reduction - Selektivní katalytická redukce
TWC	Three Way Catalyst - Třícestný katalyzátor
VI	Viskozitní index
VŠCHT	Vysoká škola chemicko-technologická
VW	Volkswagen

## Seznam obrázků

- Obr.1: Doporučené viskozitní třídy motorových olejů SAE v závislosti na venkovní teplotě
- Obr. 2: Rozsah provozních teplot minerálních a syntetických maziv
- Obr. 3: Kapková zkouška a projevy znečištění motorových olejů
- Obr. 4: Viskozimetr SVM 3000
- Obr. 5: Měřicí trubice viskozimetru
- Obr. 6: Vzorek oleje s obsahem vody 10 % hm.
- Obr. 7: Vzorek oleje s obsahem chladicí kapaliny 10 % hm.

## Seznam tabulek

- Tabulka 1: Viskozitní klasifikace SAE J300
- Tabulka 2: Klasifikace API pro zážehové motory
- Tabulka 3: Klasifikace API pro vznětové motory
- Tabulka 4: Klasifikace ACEA pro zážehové motory
- Tabulka 5: Klasifikace ACEA pro vznětové motory osobních vozidel.
- Tabulka 6: Klasifikace ACEA pro vznětové motory nákladních vozů
- Tabulka 7: Klasifikace ACEA pro vznětové motory s částicovým filtrem
- Tabulka 8: Otěrové kovy v motorovém oleji a jejich zdroje
- Tabulka 9: Limitní koncentrace kovů v motorovém oleji
- Tabulka 10: Technické parametry vozu Škoda Felicia
- Tabulka 11: Technické parametry viskozimetru SVM 3000
- Tabulka 12: Procentuální změna viskozity v jednotlivých intervalech výměny
- Tabulka 13: Procentuální změna kinematické viskozity vzhledem k obsahu nečistot
- Tabulka 14: Hodnoty kinematické viskozity kontrolních vzorků

## **Seznam grafů**

Graf 1: Závislost změny dynamické viskozity na teplotě oleje

Graf 2: Průběh kinematické viskozity na počtu ujetých kilometrů při teplotě 40°C

Graf 3: Průběh dynamické viskozity na počtu ujetých kilometrů při teplotě 40°C

Graf 4: Průběh hustoty na počtu ujetých kilometrů při teplotě 40°C

Graf 5: Průběh kinematické viskozity na počtu ujetých kilometrů při teplotě 100°C

Graf 6: Průběh dynamické viskozity na počtu ujetých kilometrů při teplotě 100°C

Graf 7: Průběh hustoty na počtu ujetých kilometrů při teplotě 100°C

Graf 8: Průběh viskozitního indexu v závislosti na ujetých kilometrech

Graf 9: Vliv znečištění benzinem na kinematickou viskozitu motorového oleje

Graf 10: Vliv znečištění motorovou naftou na kinematickou viskozitu motorového oleje

Graf 11: Vliv znečištění vodou na kinematickou viskozitu motorového oleje

Graf 12: Vliv znečištění chladicí kapalinou na kinematickou viskozitu motorového oleje

Graf 13: Grafické znázornění kontrolních vzorků

## **Seznam příloh**

Příloha 1: Tabulka naměřených hodnot dlouhodobého sledování oleje

Příloha 2: Tabulky naměřených hodnot laboratorního znečišťování oleje

Příloha 3: Statistické vzorce

### Příloha 1: Tabulka naměřených hodnot dlouhodobého sledování oleje

km	40 °C			100 °C			VI (-)
	$\eta$ (mPa.s)	$\nu$ (mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )	$\rho$ (g.cm <sup>-3</sup> )	$\eta$ (mPa.s)	$\nu$ (mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )	$\rho$ (g.cm <sup>-3</sup> )	
107898	80,605	95,182	0,8468				
107996	76,437	90,074	0,8486	11,263	13,882	0,8113	157,825
108104	76,442	90,119	0,8482				
108305	76,602	90,252	0,8488				
108506	72,219	85,024	0,8494				
108705	76,583	90,206	0,8490				
108876	77,930	91,905	0,8499				
108882	82,913	97,585	0,8497				
109306	83,084	97,784	0,8497				
109718	81,637	96,046	0,8500				
110015	79,410	93,634	0,8481	11,633	14,334	0,8116	158,279
110124	81,066	95,400	0,8498	11,701	14,399	0,8126	156,085
110481	81,355	95,704	0,8501				
110949	81,697	96,262	0,8487				
111420	80,314	94,522	0,8497				
111897	81,239	95,623	0,8496	12,003	14,776	0,8123	161,492
112399	76,278	89,746	0,8499				
112914	75,634	89,028	0,8496				
112929	83,441	98,447	0,8476				
113474	80,201	94,532	0,8484				
113993	80,010	94,331	0,8482	11,708	14,429	0,8114	158,456
114479	80,462	94,826	0,8485				
115480	77,341	91,123	0,8488				
115985	80,355	94,647	0,8490	11,638	14,336	0,8117	156,474
116445	78,446	92,358	0,8494				
116951	78,770	92,878	0,8481				
117449	78,454	92,386	0,8494				
117983	78,286	92,157	0,8495	11,434	14,121	0,8097	157,702
118507	79,511	93,751	0,8481				
118969	77,501	91,194	0,8499				
119458	77,019	90,632	0,8498				
120109	79,073	93,072	0,8496	11,756	14,476	0,8121	161,483
120114	84,014	98,901	0,8495	12,184	15,005	0,8120	159,174
120537	82,283	96,856	0,8495				
121005	81,877	96,378	0,8495				
121458	82,740	97,381	0,8497				
121966	81,215	95,556	0,8499	11,662	14,346	0,8129	155,009
122485	81,807	96,206	0,8503				
122984	82,601	97,205	0,8498				
123466	79,401	93,342	0,8506				

123957	80,264	94,427	0,8500	11,686	14,384	0,8124	157,6
124473	76,350	89,725	0,8509				
124973	78,666	92,478	0,8506				
125488	78,438	92,226	0,8505				
126037	77,691	91,313	0,8508	11,145	13,721	0,8122	152,864
126510	78,217	91,892	0,8512				
126985	77,015	90,496	0,8510				
127387	82,050	96,316	0,8519				
127454	85,854	101,000	0,8500				
127970	78,862	92,773	0,8500	11,838	14,566	0,8127	163,488
128483	78,832	92,711	0,8503				
128937	83,477	98,123	0,8507				
129494	80,291	94,373	0,8508				
129997	78,620	92,399	0,8509	11,688	14,366	0,8135	161,06
130507	79,348	93,237	0,8510				
131012	83,537	98,121	0,8514				
131467	82,334	96,760	0,8509				
131937	83,543	98,156	0,8511	12,268	15,072	0,8140	161,479
132465	83,770	98,406	0,8513				
132992	83,625	98,282	0,8509				
133492	85,540	99,257	0,8517				
133930	83,488	97,982	0,8521	12,263	15,091	0,8126	162,071
134450	83,528	98,048	0,8519				
134881	83,952	98,656	0,8510				
134885	84,679	99,650	0,8498				
135477	82,925	97,535	0,8502				
135961	83,206	97,917	0,8498	12,066	14,854	0,8123	158,601
136456	83,124	97,715	0,8507				
136954	83,645	98,347	0,8505				
137474	82,605	97,134	0,8504				
138041	83,340	97,946	0,8509	12,007	14,762	0,8134	157,184
138484	83,256	97,857	0,8508				
138960	83,538	98,211	0,8506				
139489	82,375	96,757	0,8514				
140006	83,063	97,549	0,8515	11,682	14,354	0,8139	151,682
140480	80,700	94,779	0,8515				
140972	78,985	92,739	0,8517				
141478	82,185	96,591	0,8509				
142011	79,992	93,887	0,8520	12,063	14,818	0,8140	165,319
142174	79,942	93,814	0,8521	11,662	14,326	0,8140	157,827
142450	79,133	93,123	0,8498				
142980	76,260	89,735	0,8498				
143494	76,418	89,900	0,8500				
143958	78,191	91,971	0,8502	11,313	13,965	0,8101	155,578
144663	80,242	94,359	0,8504				



144961	76,821	90,355	0,8502				
145541	77,889	91,571	0,8506				
145967	79,630	93,604	0,8507	11,640	14,317	0,8136	158,073
146494	79,158	93,029	0,8509				
146967	78,612	92,401	0,8508				
147507	79,092	92,949	0,8509				
148000	78,532	92,289	0,8509	11,394	14,012	0,8131	155,736
148497	79,781	93,751	0,8510				
148990	80,539	94,601	0,8514				
149550	80,183	94,161	0,8516				
149910	78,928	92,729	0,8512	11,519	14,150	0,8141	157,095
150298	78,717	92,769	0,8485				
150564	81,955	96,527	0,8490				
151006	80,602	94,898	0,8494				
151483	78,974	92,963	0,8495				
151993	77,421	91,094	0,8499	11,170	13,754	0,8121	153,81
152479	79,125	93,089	0,8500				
153089	77,422	91,179	0,8491				
153432	77,865	91,841	0,8478				
153994	76,697	90,252	0,8498	11,252	13,837	0,8132	156,752
154481	77,192	90,614	0,8519				
154485	75,247	88,370	0,8515				
155448	76,352	89,655	0,8516				
156015	78,789	92,800	0,8490	12,481	15,161	0,8212	172,62
156515	78,386	92,168	0,8505				
157077	80,155	94,196	0,8509				
157457	79,661	93,630	0,8508				
157486	78,290	92,492	0,8465				
157973	76,530	90,456	0,8460	11,063	13,471	0,8096	150,324
158708	75,548	89,258	0,8464				
159049	77,116	91,040	0,8471				
159472	76,873	90,695	0,8476				
160120	77,348	91,290	0,8473	11,210	13,834	0,8103	154,743
160504	77,139	90,973	0,8479				
161038	76,299	89,966	0,8481				
161587	75,314	88,872	0,8474				
162000	74,724	88,139	0,8478	11,047	13,623	0,8109	157,314
162515	73,022	86,128	0,8478				
162982	69,269	81,663	0,8482				
163479	72,540	85,551	0,8479				
164069	73,680	86,769	0,8491	10,897	13,431	0,8113	156,774
164510	78,057	92,029	0,8482				
165092	71,089	83,605	0,8503				
165503	75,360	88,809	0,8449				
165526	81,890	96,175	0,8515				

166068	74,832	87,840	0,8519	10,975	13,490	0,8136	155,654
166501	77,895	91,458	0,8517				
167011	77,190	90,478	0,8531				
167515	78,463	91,992	0,8529				
167974	78,730	92,335	0,8527	11,713	14,356	0,8159	161,026
168607	73,583	86,237	0,8533				
168966	77,169	90,425	0,8534				
169465	77,688	91,003	0,8537				
170057	77,245	90,421	0,8543	11,648	14,264	0,8166	163,256
170520	79,784	93,521	0,8531				
170988	80,179	93,893	0,8539				
171453	76,476	89,594	0,8536				
171975	80,320	93,955	0,8549	11,359	13,899	0,8173	150,928
172342	81,259	95,162	0,8539				
172405	83,401	97,885	0,8520				
172983	82,903	97,262	0,8524				
173468	82,309	96,523	0,8527				
173949	82,822	97,822	0,8527	12,276	15,054	0,8155	161,788
174478	82,593	96,810	0,8531				
174905	83,141	97,530	0,8525				
175468	82,409	96,560	0,8535				
175987	80,307	94,055	0,8538	11,711	14,345	0,8164	157,679
176483	80,587	94,237	0,8543				
176982	78,394	91,896	0,8531				
177523	82,418	96,569	0,8535				
177991	78,194	91,496	0,8546	11,547	14,132	0,8171	159,116
178532	75,731	88,578	0,8550				
178998	83,304	97,514	0,8543				
179508	79,608	93,146	0,8547				
180006	76,493	89,581	0,8539	11,843	14,508	0,8163	168,732
180065	80,895	94,615	0,8550	11,683	14,284	0,8179	155,738
180502	77,552	90,870	0,8534				
181577	71,150	83,319	0,8539				
181944	77,878	91,172	0,8542	11,679	14,301	0,8167	162,383
182504	78,446	91,766	0,8548				

## **Příloha 2: Tabulky naměřených hodnot laboratorního znečišťování oleje**

### **znečišťování oleje benzinem**

<b>% hm.</b>	<b><math>\eta</math> (mPa.s)</b>	<b><math>\nu</math> (mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>)</b>	<b><math>\rho</math> (g.cm<sup>-3</sup>)</b>
0,0	81,819	95,980	0,8542
0,1	81,528	95,793	0,8521
0,2	81,212	95,473	0,8506
0,5	80,315	94,704	0,8481
0,7	78,917	92,989	0,8487
1,0	77,532	91,628	0,8462
1,5	73,518	86,737	0,8462
2,0	70,050	82,657	0,8475
3,0	63,677	74,531	0,8463
4,0	57,288	67,763	0,8454
5,0	53,099	63,013	0,8427
6,0	48,936	58,163	0,8414
7,0	46,001	54,688	0,8412
8,0	43,521	51,834	0,8396
9,0	40,906	48,691	0,8401
10,0	38,375	45,728	0,8392

### **znečišťování oleje motorovou naftou**

<b>% hm.</b>	<b><math>\eta</math> (mPa.s)</b>	<b><math>\nu</math> (mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>)</b>	<b><math>\rho</math> (g.cm<sup>-3</sup>)</b>
0,0	81,819	95,980	0,8542
0,1	81,658	95,836	0,8531
0,2	81,475	95,685	0,8515
0,5	80,754	94,931	0,8507
0,7	79,567	93,577	0,8503
1,0	79,521	93,476	0,8489
1,5	77,795	91,797	0,8475
2,0	76,301	90,090	0,8469
3,0	73,149	86,441	0,8462
4,0	69,981	82,618	0,8470
5,0	66,931	79,123	0,8459
6,0	64,608	76,350	0,8462
7,0	61,918	73,218	0,8457
8,0	59,293	70,046	0,8465
9,0	56,795	67,018	0,8474
10,0	54,971	64,933	0,8466

**znečišťování oleje vodou**

% hm.	$\eta$ (mPa.s)	$\nu$ (mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )	$\rho$ (g.cm <sup>-3</sup> )
0,0	81,819	95,980	0,8542
0,1	83,241	97,856	0,8507
0,2	84,098	99,162	0,8481
0,5	84,586	99,847	0,8472
0,7	85,648	100,890	0,8489
1,0	86,131	101,940	0,8449
1,5	87,445	103,470	0,8451
2,0	88,455	104,510	0,8463
3,0	90,710	107,100	0,8469
4,0	92,097	108,620	0,8479
5,0	94,679	111,450	0,8495
6,0	95,704	112,400	0,8515
7,0	98,255	115,060	0,8531
8,0	99,122	116,170	0,8533
9,0	101,170	118,130	0,8564
10,0	102,780	120,040	0,8562

**znečišťování oleje chladicí kapalinou G11**

% hm.	$\eta$ (mPa.s)	$\nu$ (mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )	$\rho$ (g.cm <sup>-3</sup> )
0,0	81,819	95,980	0,8542
0,1	82,476	96,837	0,8524
0,2	83,131	97,687	0,8510
0,5	85,051	100,230	0,8485
0,7	85,580	100,950	0,8478
1,0	85,742	101,000	0,8489
1,5	86,521	101,850	0,8495
2,0	87,315	102,600	0,8511
3,0	88,764	103,980	0,8537
4,0	89,879	104,980	0,8561
5,0	91,477	106,790	0,8566
6,0	92,696	107,780	0,8600
7,0	94,116	109,130	0,8624
8,0	95,750	110,710	0,8649
9,0	97,640	112,740	0,8661
10,0	98,968	114,200	0,8666

### Příloha 3: Statistické vzorce

Stanovení systematické odchylky:

Průměr:

$$X_p = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n X_i$$

kde: n - počet měření

$X_i$  - naměřená hodnota

$X_p$  - průměr

Směrodatná odchylka:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_p)^2}{n}}$$

kde: n - počet měření

$X_i$  - naměřená hodnota

$X_p$  - průměrná hodnota

SD - Směrodatná odchylka

Odchylka od průměru:

$$u_{xp} = \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

kde: n - počet měření

SD - směrodatná odchylka

$u_{xp}$  - odchylka od průměru

Stanovení reprodukovatelnosti (vnitrolaboratorní dlouhodobé přesnosti):

Směrodatná odchylka výběrová:

$$SD_{repro} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_p)^2}{n - 1}}$$

kde:  $n$  - počet měření

$X_i$  - naměřená hodnota

$X_p$  - průměrná hodnota

$SD_{repro}$  - Směrodatná odchylka výběrová

Reprodukovatelnost:

$$CV_{repro} = u_{r,repro} = \frac{SD_{repro}}{X_p} * 100 (\%)$$

kde:  $CV_{repro}$  - reprodukovatelnost

$X_p$  - průměrná hodnota

$SD_{repro}$  - Směrodatná odchylka výběrová