

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra vozidel a pozemní dopravy**



**Mazání spalovacích motorů**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: Jan Blažek**

**Vedoucí práce: Ing. Jan Hromádko, Ph.D.**

**2015 Praha**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Blažek Jan

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

**Mazání spalovacích motorů**

Anglický název

**Internal Combustion Engines Lubrication**

### Cíle práce

Cílem práce je vytvořit literární rešerši s vlastními komentáři zabývající se mazáním spalovacích motorů.

### Metodika

- prostudovat základní literaturu v oblasti mazání spalovacích motorů
- kontaktovat významné organizace zabývající se danou problematikou
- provést globální literární rešerši v dané problematice
- vlastní rozbor problematiky mazání spalovacích motorů
- návrh doporučení a předpokládaný vývoj v oblasti mazání spalovacích motorů

### Osnova práce

1. Úvod
2. Charakteristika motorového oleje
3. Ztrátové mazání
4. Cirkulační mazání
5. Očekávaný vývoj v mazacích soustavách spalovacích motorů
6. Doporučení a závěr

**Rozsah textové části**

30 - 40 stran formátu A4

**Klíčová slova**

motorový olej, cirkulační mazání, ztrátové mazání, tribotechnika

**Doporučené zdroje informací**

1. Hromádko J., Hromádko J., Höning, V., Miler P.: Spalovací motory, Nakladatelství Grada, Praha, 2011, ISBN 978-80-247-3475-0
2. Rauscher, J.: Spalovací motory, Studijní opory, VUT FSI Brno, 2004
3. Macek, J.: Spalovací motory I, ČVUT Praha, 2007, ISBN 978-80-01-03618-1
4. Beroun, S.: Vozidlové motory. Studijní opory, TU Liberec
5. Scholz, C.: Konstrukce pístového spalovacího motoru. Skripta TU Liberec 2003, ISBN 80-7083-693-8

**Vedoucí práce**

Hromádko Jan, Ing., Ph.D.

**Termín zadání**

listopad 2012

**Termín odevzdání**

duben 2014

**doc. Ing. Boleslav Kadleček, CSc.**

Vedoucí katedry



**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan fakulty

V Praze dne 16.1.2014

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci "Mazání spalovacích motorů" samostatně vypracoval pod vedením Ing. Jana Hromádka, Ph.D. s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou uvedeny v seznamu literatury. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vypracováním neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 1. 4. 2015

.....

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Hromádkovi, Ph.D. za jeho vedení, cenné rady při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Vladimíru Hönigovi, Ph.D. za možnost použití laboratoře, připomínky a čas, který mi věnoval.

Velké poděkování mají moji rodiče, kteří mi umožnili studium na vysoké škole.

**Abstrakt:** Tato bakalářská práce je rešerší problematiky mazání spalovacích motorů a maziv k tomu určených. V první části naleznete obecné poznatky o charakteru motorových olejů. V další části popis ztrátového mazání a požadavků na oleje k tomu určené. Po této přichází kapitola cirkulačního mazání s popisem jednotlivých částí mazacího okruhu a laboratorním měřením. Poslední část pojednává o budoucích trendech v oblasti mazání spalovacích motorů a možných technických inovacích.

**Klíčová slova:** motorový olej, cirkulační mazání, ztrátové mazání, tribotechnika

## **Internal Combustion Engines Lubrication**

**Summary:** This thesis researches the issue of combustion engine lubrication and of lubricants assigned for this purpose. The first section contains general information about motor oil characteristics. The next section describes loss lubrication and requirements for oils assigned for this purpose, which is followed by the chapter about circulating lubrication with a description of each part of the lubrication circuit and laboratory measurements. The last section discusses the future trends in the field of lubrication of internal combustion engines and possible technical innovations.

**Key words:** engine oil, circulation lubrication, loss lubrication, tribotechnics

## Obsah

1	Úvod.....	1
2	Charakteristika mazacích olejů .....	2
2.1	Druhy olejů .....	2
2.1.1	Minerální oleje .....	2
2.1.2	Polosyntetické oleje .....	3
2.1.3	Syntetické oleje .....	3
2.1.4	Lehkoběžné oleje .....	3
2.1.5	Základové oleje .....	4
2.1.6	Rostlinné oleje.....	4
2.2	Olej musí.....	4
2.3	Olej nesmí.....	5
2.4	Olej má být.....	5
2.5	Klasifikace motorových olejů .....	6
2.5.1	Viskozitní klasifikace.....	6
2.5.2	Výkonnostní klasifikace.....	7
2.6	Aditiva .....	8
2.6.1	Polární aditiva .....	9
2.6.2	Nepolární aditiva.....	9
2.6.3	Dodatečná aditiva.....	10
2.7	Viskozita .....	11
2.7.1	Dynamická viskozita.....	12
2.7.2	Kinematická viskozita.....	12
2.7.3	Viskozitní index .....	12
2.7.4	Závislost viskozity na zvýšený tlak .....	13
3	Ztrátové mazání.....	14
3.1	Princip práce dvoudobého motoru .....	14
3.2	Mazání dvoudobých motorů .....	15
3.2.1	Rozptýlení oleje v palivové nádrži.....	15
3.2.2	Mazání dávkovacím čerpadlem do proudu směsi .....	16
3.2.3	Mazání dávkovacím čerpadlem k mazaným místům.....	16
3.2.4	Mísící poměr .....	17
3.2.5	Požadavky na oleje pro dvoudobé motory .....	17
4	Cirkulační mazání .....	19
4.1	Mazání s mokrou klikovou skříní .....	19
4.2	Mazání se suchou klikovou skříní .....	21

4.3	Prvky cirkulační mazací soustavy.....	21
4.3.1	Olejové čerpadlo .....	21
4.3.2	Přetlakový ventil .....	23
4.3.3	Čištění olejové náplně.....	23
4.3.4	Chlazení oleje.....	24
4.4	Tribotechnická diagnostika.....	24
4.4.1	Životnost maziva.....	24
4.4.2	Opotřebení.....	24
4.4.3	Optimální interval výměny maziva.....	24
4.4.4	Interval výměny olejové náplně.....	25
4.4.5	Tření.....	25
4.4.6	Druhy opotřebení třecích ploch.....	26
4.5	Praktické měření .....	28
4.5.1	Stanovení množství sazí a karbonových částic .....	28
4.5.2	Ferrografie.....	29
4.5.3	Stanovení bodu vzplanutí.....	30
4.5.4	Viskozita dle Fordova výtokového pohárku .....	30
4.5.5	Viskozita podle Ubbelohdeho.....	31
5	Očekávaný vývoj v mazacích soustavách spalovacích motorů.....	35
5.1	Nanotechnologie .....	35
5.1.1	Vlastnosti nových struktur maziv .....	35
5.2	Kluzné laky .....	36
5.2.1	Pozitivní vlastnosti.....	37
5.3	Nastávající trendy výroby oleje .....	38
6	Doporučení a závěr.....	39
	Seznam použité literatury .....	40
	Seznam obrázků.....	42
	Seznam tabulek.....	42
	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	43



# 1 Úvod

V době technické revoluce 18. a 19. století se nepřihlíželo k mazání s velkým důrazem. Problematika mazání byla spíše za druhotnou záležitost a kladl se u strojů spíše důraz na výkon, kterému se v té době moc nedostávalo. Postupem času, zlepšováním technologií, se začalo dbát na efektivnost, ekonomičnost a ekologii provozu strojů. Optimalizací se mimo jiné začalo se snižováním třecích odporů v kontaktních plochách a tím docíleno delší provozuschopnost strojů a snížení spotřeby paliva. Kladením složitějších nároků na maziva v petrochemickém průmyslu se stala výroba oleje nedílnou a velmi důležitou součástí zpracování ropy.

Práce shrnuje problematiku mazání spalovacích motorů dvoudobých a čtyřdobých, jejich možnosti použití a perspektivy v moderních vozidlech. V samostatné kapitole jsou zaznamenány druhy jednotlivých mazacích olejů, jejich výroba, klasifikace, rozdíly, používaná vhodná aditiva. Jsou jmenovány jednotlivé vlastnosti, které olej musí a nesmí bez jakýkoliv výjimek podmíněčně splňovat. Důležité hlavně pro zákazníka co by olej měl splňovat, myšleno jakým způsobem by měl být olej balen a jak označován. Dále je kapitola popisující druhy ztrátových mazání a jejich nevýhody, výhody, požadavky na olej a míšící poměr paliva s olejem. Cirkulačním mazáním a zmapováním celého mazacího okruhu je věnována další z kapitol. Jsou popsány hlavní rozdíly mazacího okruhu se suchou a s mokrou klikovou skříní, jejich požadavky na technickou vybavenost a v jakých kategoriích vozidel se konkrétní mazací okruh používá. Součástí kapitoly o cirkulačním mazání je laboratorní měření, které srovnává rozmanitý vozový park. Jsou provedena měření na nových olejích a na olejích znečištěných intervalem výměny olejové náplně. Je provedeno srovnání hodnot a v závislosti na nich vyhodnocení stavu použitých olejů. V poslední části této práce jsou naznačeny technologie a trendy, kterými se bude možná odvětví mazání spalovacích motorů vyvíjet do budoucna.

## 2 Charakteristika mazacích olejů

Motorové oleje jsou tekuté organické sloučeniny mastné povahy, které mají zásadní vliv na pracovní provoz motoru. Kromě hlavní mazací funkce je požadováno také chlazení, odstraňování nečistot, ochrana před korozi a tlumení hluku. Podle postupu výroby se oleje obvykle dělí na rostlinné, živočišné, minerální, syntetické a polosyntetické. Jedná se o výrobek z frakce ropy, která je rozpustná v organických rozpouštědlech, benzínu a éteru. V provozu motoru zajišťuje snižování třecích, energetických a ekonomických ztrát. [3],[6]

### 2.1 Druhy olejů

#### 2.1.1 Minerální oleje

Pro výrobu mazacích minerálních olejů je základním materiálem ropa. Ropa je směsí uhlovodíků s různě dlouhými řetězci atomů uhlíku, na které jsou vázány atomy vodíku. Rozdělení na jednotlivé složky podle délky řetězců uhlovodíku je docíleno rafinací ropy. Vlastnosti olejů závisí na počtu uhlíků v molekule, sířce a zastoupení uhlovodíkových skupin. Frakce s délkou řetězce  $C_{20}$ - $C_{35}$  je vhodná pro minerální oleje. Bývají přítomny rovnořetězové a rozvětvené alkany, alkylcykloalkany, alkylaromáty a z neuhlovodíkových látek v menší míře sloučeniny síry, kyslíku a dusíku. Takto se masově získá základový olej, který je vhodný pro další úpravu. Minerální oleje jsou hojně využívány pro mazání historických motorových vozidel, ale i u nových vozidel s nižším výkonem. V současné době není díky modernímu pokroku rafinace příliš velký rozdíl mezi oleji minerálními a syntetickými. [3],[10],[11]

Podle typu vazby uhlovodíků dělíme:

**a) parafíny** jako nasycené řetězcové uhlovodíky, používané pro turbokompresory. Charakterizuje je nízký bod tuhnutí a viskozitní index (VI).

**b) naftaleny** nebo cykloparafíny jako nasycené kruhové uhlovodíky. Zastupuje většinu minerálních olejů.

**c) aromáty** jako nenasycené kruhové uhlovodíky.

### **2.1.2 Polosyntetické oleje**

Název označuje skupiny olejů, které již nejsou minerální, ale ještě nejsou plnohodnotnými oleji syntetickými. Z minerálního základu, který je však vyroben syntetickou cestou, se přimíchává syntetický olej určitého složení. Obsah syntetické složky podle normy nesmí být menší než 20% celkového objemu polosyntetického oleje. Syntetického oleje zastupují u prvotřídních polosyntetických olejů až 65% celkového obsahu. Takto vyrobený základový olej se dále aditivuje pro dosažení potřebných konkrétních parametrů. Polosyntetické oleje přebírají z minerálních i syntetických olejů dobré vlastnosti a vytvářejí kompromis obojího. Jejich provozní vlastnosti jsou určeny do motorů s vyšším měrným výkonem. [3],[10]

### **2.1.3 Syntetické oleje**

Syntetické oleje jsou vyráběné stejně jako minerální oleje řetězením uhlovodíků. Tato úzká frakce uhlovodíků se vyrábí velmi náročnou technologií, kdy se z ropného základu extrahují pouze ty složky, které jsou pro mazání vhodné. Jedná se o chemické sloučeniny polyolefinů, aromatických sloučenin a esterů organických kyselin. Čisté sloučeniny bez síry jsou zpracovány syntézou. Umělá výroba oleje má nespornou výhodu, že složky oleje, které jsou v minerálních olejích nežádoucí a nejdou odstranit, se vůbec nepřidávají. Složení obsahuje jen komponenty, které oleje musí obsahovat a jsou pro něj vhodné. Použití je možné stejně jako u minerálních olejů a také tam, kde minerální oleje selhávají. Například v prostředích extrémně nízkých nebo vysokých teplot. Obecně mají vyšší tekutost při nižších teplotách, mazivost a viskozitní index. [3],[10]

### **2.1.4 Lehkoběžné oleje**

Novější generace plně syntetických olejů, které jsou přizpůsobeny v osobních automobilech ke kvalitním dokončovacím operacím povrchu součástí, např. superhonorování, mikrofinishování. Jde o olej s menší viskozitou, SAE rozmezí se dá definovat označením 0W-X nebo 5W-X, např. 0W-30, či pro sportovně-závodní vozidla dokonce SAE 5W-60. Výhodou je spolehlivé mazání ihned po nastartování i při teplotách hluboko pod bodem mrazu. Olej splňuje svou malou odparností podmínku prodloužení intervalu výměny olejové náplně. Nevýhody naproti tomu stejně jako u klasických motorových olejů, mají rovněž omezenou termickou a oxidační stabilitu, při prodloužených výměnných intervalech dochází

postupně k zahušťování a nárůst viskozity může být takový, že na konci výměnného intervalu zjišťujeme viskozity až o dvě, někdy i o tři třídy vyšší. [3],[10]

### **2.1.5 Základové oleje**

Výroba základových olejů se děje ve třech technologických krocích. Prvním krokem je rafinace ropné suroviny, druhým krokem je odparafinování oleje a třetím je dorafinování oleje. Měřítkem kvality základového oleje je především viskozitní index, obsah síry a obsah nasycených uhlovodíků. Kvalita je pro tento produkt velice důležitá, velmi ovlivňuje výslednou jakost mazacího oleje. Výroba základových olejů se děje jen v několika velkých rafinériích na celém světě. Tyto oleje se dováží prostřednictvím tankerů do mísíren, kde jsou do základových olejů míchány aditiva definovaných vlastností. Každý distributor musí mít svůj namíchaný olej schválen a certifikován. [3]

### **2.1.6 Rostlinné oleje**

Oleje se v České republice vyrábějí rafinací oleje z řepky olejné nebo ricinový olej ze semen skočce. Vyrábí se v celé řadě viskozit, mají výborné mazací účinky, ale špatnou tepelnou stabilitu. Tyto maziva se používají hlavně v oblastech, kde se musí dbát na přísné ekologické požadavky, v lesnictví, vodohospodářství, apod. Ricinový olej se dříve používal u dvoudobých motorů a cirkulačního mazání čtyřdobých motorů, bohužel trpěl na značné pění. Aditiva, která byla do oleje proti pění přidávána, značně zhoršovala jeho stabilitu a vlastnosti. U dvoudobých motorů byli jeho vlastnosti natolik uspokojivé, že se používal k mazání i závodních motorů. [3]

## **2.2 Olej musí**

- dobře lpět na mazaném povrchu při všech provozních podmínkách;
- odvádět teplo z tepelných uzlů motoru, kde není možné chladit jinak (písty, kroužky, kluzná uložení);
- konzervovat motor při delším odstavení vozidla z provozu;
- při spalování vytvářet co nejmenší množství popela;
- odolávat smykovým silovým polím u nejobtížněji mazatelné oblasti horní nebo dolní úvrti spalovacích motorů, kde je rychlost pístu rovna nule a je zde velké tepelné a tlakové namáhání;
- chránit železné a barevné kovy např. v ložiskách před korozi;

- odolávat oxidaci uhlovodíků co nejdéle i za nepříznivých pracovních podmínek;
- přispívat k dotěsnění pístů ve válci i za vysokých teplot, aby bylo zamezeno profukování plynu mezi stykovými plochami;
- umožňovat provoz i při hlubokých mrazech (-50 °C i více), ale při vysokých teplotách, jako např. jsou v oblasti 1. pístního kroužku (270 °C i více). [10]

### **2.3 Olej nesmí**

- napadat těsnící materiály, zejména pryž, použitou v těsnění nebo jako hadičky;
- pěnit při provozu v motoru;
- vykazovat vysoké karbonizační číslo a rovněž nesmí být náchylný k tvorbě tzv. studených kalů. [10]

### **2.4 Olej má být**

- málo odparný, to přináší malé ztráty v provozu i za vysokých teplotách a naopak;
- skladovatelný alespoň 2 roky ve vhodných a k tomu předepsaných obalech, vyvarovat se extrémně vysokých i nízkých teplot;
- ekonomický v provozu;
- mísitelný s jinými oleji téže skupiny SAE (dle viskozity);
- účelné balení i vzhledem k laickému používání, přehledně značený obal a upozornění na nebezpečí a správné použití;
- účelně značen dle mezinárodních norem SAE, ACEA, API, tak, aby byla jasná jeho specifikace a podmínky použití. [10]

## 2.5 Klasifikace motorových olejů

Pro volbu správného motorového oleje pro konkrétní spalovací motor jsou důležité dva parametry, které jsou viskozita oleje a výkonnostní kategorie. Klasifikují se na základě řady technických parametrů. Vzhledem ke složitému složení olejů a mnoha druhů distributorů bylo třeba vytvořit jednotnou identifikaci a značení pro potřeby univerzálního použití. [3]

### 2.5.1 Viskozitní klasifikace

Viskozitní klasifikace byla vypracována americkou společností automobilových inženýrů SAE počátkem 20. století. V současné době je její platnost globální a od doby zavedení nebylo třeba žádných významných změn. Principem je zařazení každého motorového oleje do viskozitní třídy, které existují ve dvou podobách, zimní třída označená písmenem W (Winter) a letní třída bez dalšího označení. Klasifikace ukazuje jednoznačně, zda se jedná o olej jednosezonní (monográdní) nebo celoroční (multigrádní). Kritérium je hodnota viskozitního indexu oleje, jehož hodnota u monográdních nepřekročí 90 a u multigrádních 200. [3],[10]

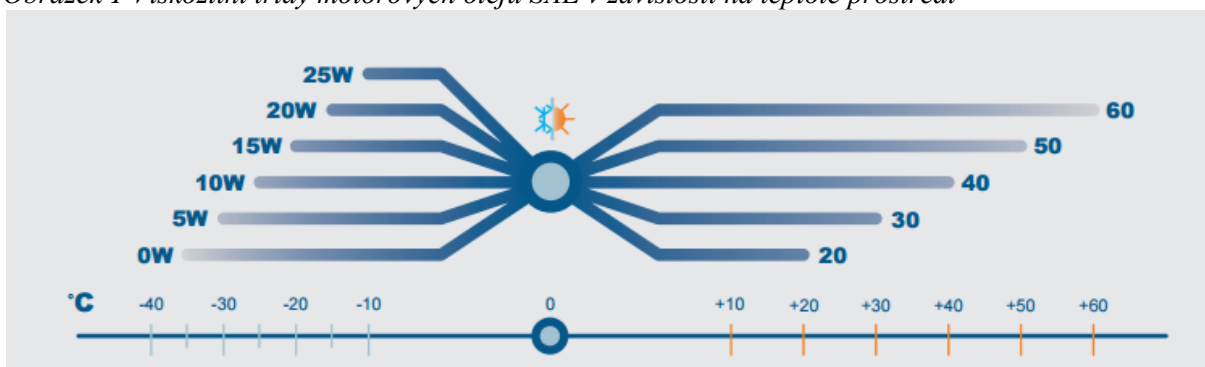
Jednosezonní oleje např. SAE 30 nebo SAE 25W jsou používány na základě teplot pracovního prostředí pohonné pracovní jednotky. V našich zeměpisných polohách je interval určen letním a zimním obdobím. Při používání těchto olejů se musí dbát na včasnou výměnu, aby se vždy zaručila např. dobrá startovatelnost. [10]

Celoroční oleje např. SAE 5W- 40 jsou v dnešní době praktičtější, jsou kombinací zimních i letních tříd. Umožňují zajistit správné mazání za rozmanitých teplotních podmínek, kterým je motor vystaven. Platí, že čím je rozdíl viskozitních indexů letního a zimního čísla větší, je změna viskozity málo závislá na změnu teploty. Má to však své hranice a vždy tomu tak není, že čím je tento rozdíl větší, tím je olej lepší. Při výrobě olejů je v takovém případě třeba většího množství polymerních modifikátorů, které v provozu nadměrně degradují olej. [10]

### 2.5.1.1 Označení

První znaky označení, číslo a písmeno W udávají vlastnost oleje při nízkých teplotách. Tento údaj udává vlastnosti čerpatelnost a startovatelnost. Je třeba, aby se olej i po studeném startu dostal do všech mazaných částí v co nejkratším čase a zabránil nadměrnému opotřebením stykových ploch. V praxi jsou u běžných vozidel používány oleje s nízkým zimním číslem např. 5W- 40. Obrázek 1 ukazuje závislost, že čím nižší je číslo, tím nižší může být okolní teplota, při které je zachována vhodná tekutost pro snadnou startovatelnost motoru. [10]

Obrázek 1 Viskozitní třídy motorových olejů SAE v závislosti na teplotě prostředí



Zdroj:[13]

Letní označení celoročního oleje informuje o viskozitě za vysokých teplot. Udává do jak velké teploty je olej schopen bezpečně zajistit dostatečné mazání a tvorbu neporušeného mazacího filmu na povrchu mazané součásti např. mazací film mezi válcem a pístními kroužky. [10]

### 2.5.2 Výkonnostní klasifikace

Klasifikace posuzuje mazací schopnosti a vlastnosti oleje jako celek, obsahuje vlastnosti motorových olejů okamžitých, dlouhodobých a při různých formách provozního zatížení. Vlastnosti ochrany proti korozi, otěru, oxidaci a tvorby úsad, stabilita, pění oleje atd. Klasifikační norma není jen jedna pro celý svět, ale je jich několik a splňují různé nároky dle kontinentu, armádní specifikace nebo jednotlivých výrobců automobilů. Klasifikace základní API a ACEA budou dále popsány. Jsou normy, kterým se tato práce dále věnovat nebude, jsou to MIL-L (norma americké armády) a normy pro jednotlivé výrobce vozů (VW, BMW adt.) [10],[18]

### 2.5.2.1 Klasifikace dle API

Výkonnostní klasifikace API byla vytvořena americkou American Petroleum Institute ve 40. letech 20. století. Stále se globálně používá, ale pro zážehové motory vyráběné v Evropě postupem času ztrácí na významu, její vývoj zaostává za evropským vývojem. Naopak pro vznětové motory jsou tato norma stále vhodné. Jak je naznačeno v předchozím, klasifikace vznětových, označení písmenem C, a zážehových motorů, označení písmenem S, se liší. Druhý znak v označení určuje vlastní výkonnost, např. A, B, C, atd. Čím je olej výkonnější, tím se nachází písmeno dál v abecedě, např. SC. Pokud je olej vhodný pro obě skupiny C a S, je označen kombinací např. SD/CC, s pravidlem, že vlevo je uvedena vždy vyšší klasifikace. [3],[10]

### 2.5.2.2 Klasifikace dle ACEA

Evropa má svoji normu a její používání je pro posuzování kvality olejů vhodnější. Výkonnostní specifikace ACEA vznikla roku 1996 jako nástupce specifikace CCMC z konce 70. let. Je označováno kombinací písmenem a číslicí.

Pro zážehové motory je určeno A, pro vznětové B a pro nákladní vozidla E. Za každý znak jsou číslice připisující samotnou výkonnost.

- 1 - lehkoběžné oleje
- 2 a 3 - výkonnostní stupně podobně jako API
- 4 - oleje vhodné pro vysokotlaký vstříkovací systém, např. Common Rail
- 5 - označuje olej s vlastnostmi, které platí pouze pro vznětové motory

Laboratorní zkoušky, které zařazují oleje do skupin, vyplývají z požadavků viskozitní klasifikace SAE. [3],[10]

## 2.6 Aditiva

Spalovací motory pracují v různorodých podmínkách, a proto není ekonomicky možné, aby se masová výroba maziv natolik přizpůsobila potřebě různorodých vlastností, které jsou žádány. Aby tomu mohlo tak být, je třeba zlepšovat vlastnosti základních olejů chemickou přídavnou látkou. Aditiva výrazně zlepšují jednu nebo více vlastností oleje. Je možné aditiv použít více, ale může docházet k vzájemnému ovlivnění. Za aditivovaný motorový olej se považuje tehdy, kdy obsah aditiv je 1% do 25%.



Výroba aditiv je možná z ropných destilátů, které je na základě permanentní difuze maziva na povrch kovu nebo vyrobena z cizorodých směsí na bázi kovů, chloru a síry. Dle chemické struktury se dají aditiva dělit na polární a nepolární. [3],[17]

### **2.6.1 Polární aditiva**

Polární aditiva jsou povrchně aktivní látky. Jejich elektrický náboj přitahuje molekuly aditiva k povrchu a vytváří tenký mazací film. Ten zvyšuje odolnost proti opotřebení, vysokým tlakům, korozi, usazování nečistot a neutralizuje kyseliny. [3]

#### **2.6.1.1 Detergenty**

Zamezuje usazování nečistot na povrchu, případně je rozpouští. Například chrání stěny pístu a válce, kde uhlíkové usazeniny ze spáleného oleje. Bez působení detergentu by usazeniny zůstali přilnuté na stěně válce a zhoršovali přestup tepla nebo je mechanicky poškodili. [3]

#### **2.6.1.2 Disperzanty**

Zabraňují shlukování tuhých a kapalných nečistot. Nejjemnějším částicím udělí stejný elektrický náboj a mechanické nečistoty obalí, tímto záměrem nejsou částice nijak vázány a neshromažďují se. Nečistoty jsou rovnoměrně rozprostřené v celém objemu olejové náplně a nedochází k zablokování filtru, či olejových kanálků. [3]

#### **2.6.1.3 Ostatní**

Další neméně důležitá aditiva proti vysokému tlaku a opotřebení, korozi a upravující tření. Všechna zmíněná mají podobný způsob ochrany povrchu. Ten je chráněn na základě chemické reakce, která vytvoří na povrchu součásti vrstvičku nebo film, který je ochranný. [3]

### **2.6.2 Nepolární aditiva**

Nepolární aditiva ovlivňují pouze samotnou olejovou náplň. Jsou rozmíšena rovnoměrně v celém objemu a zlepšují viskozitu, snižují bod tuhnutí, atd. [3]

### **2.6.2.1 Modifikátor viskozity**

Polymer, který zvyšuje při vysokých teplotách viskozitu oleje a při nízkých teplotách vůbec neprojevuje svůj účinek. Tato přísada je klíčová k vytvoření oleje multigrárního. Aditivum zajišťuje, aby mazivo bylo méně závislé na teplotě. [3]

### **2.6.2.2 Snižování bodu tuhnutí**

Zajišťuje tekutost oleje při velmi nízkých teplotách, zamezí spojování krystalků parafinu v shlukování. Parafiny se tvoří u minerálních olejů za nízké teploty, parafiny zvyšují hustotu oleje a můžou ucpat mazací kanálky nebo olejový filtr a zamezí čerpatelnosti. [3]

### **2.6.2.3 Protipěnicí přísada**

Tato aditiva potlačují vznik pěny a zároveň urychluje rozklad pěny vzniklé. Pěnivost je vlastnost oleje, která je velmi nepříznivá ke správnému mazání spalovacích motorů. Vzniká nadměrným provzdušněním oleje. Příliš provzdušněný a napěněný olej zhoršuje čerpatelnost podávacích olejových čerpadel, snižuje viskozitu, klesá tepelná vodivost a hustota. [3]

### **2.6.2.4 Zpomalovač stárnutí**

Aditivum zabraňuje degradaci, ke které dochází především za vysokých teplot a má za následek zvýšení viskozity. Zamezuje tvorbu oxidačních činidel, které zkracují životnost. [3]

### **2.6.2.5 Deaktivátory kovů**

Aditivum zabraňuje chemickým reakcím na povrchu abrazivních nečistot v olejové náplni. Vytváří ochranný film a zamezuje katalytickým chemickým reakcím. [3]

## **2.6.3 Dodatečná aditiva**

Každý motorista si může do koupeného oleje dále přidat vlastní aditivum, které by mělo nějakým dalším způsobem zlepšovat vlastnosti oleje. Není to nutné, protože každý motorový olej, který se nabízí ke koupi je certifikovaný a schválený. Koupený nový olej splňuje, vše co by olej měl splňovat. Dodatečnými aditivami se doplňují látky, které v motorovém oleji nejsou nebo jsou účinnější ty v motorovém oleji. Tyto přísady však nejsou

vyráběny s ohledem na nízkou korozní odolnost motoru a tedy ji mohou výrazně zhoršit. Jedná se například o chlor ve vázané formě. [3]

## 2.7 Viskozita

Jedna ze základních vlastností, kterou je nutné zohledňovat je viskozita. Jedná se o fyzikální vlastnost oleje, která udává velikost vnitřního tření v kapalině. Viskozita kapaliny je odpor, opačně orientovaná síla proti silám působícím na kapalinu, které se snaží posunout i ty nejmenší částice. Proudící nebo pohybující se kapalina má na stykové ploše s hmotným tělesem nulovou rychlost. V dalších vrstvách kapaliny se rychlost zvyšuje vlivem tečných napětí, kde se rychlejší vrstva kapaliny snaží zvýšit rychlost vrstvě kapaliny s nižší rychlostí. Kapalina s nižší rychlostí se naopak snaží snížit rychlost vrstev rychlejších. [3], [7],[12]

Tento jev se dá představit na balíčku hracích karet. Osoba má na dlaní volně položené hrací karty, když se dlaní nakloní například v před, začnou karty po sobě postupně sklouzávat. Rychlost hracích karet je odlišná, karty v horní části kloužou z balíčku nejrychleji. Spodní karty balíčku se naopak posunou a sklouznou až při větším naklonění dlaně. Tedy vnitřní tření kapaliny se dá přestavit jako povrchové tření několika vrstev toho samého materiálu.

Viskozita ovlivňuje tokové vlastnosti látek, tvorbu, únosnost a setrvání mazacího filmu. Dále čerpatelnost, odpor pohybujících se látek a těsnící schopnost. Viskozita kapalin není trvalá a je ovlivněna degradací kapaliny (oleje), teplenou vodivostí, tlakem a teplotou. Poslední dva zmíněné faktory velmi ovlivňují vlastnosti použitého oleje v konkrétních motorech. Viskozita je fyzikální veličina, kterou lze naměřit a přímo použít do výpočtových řešení motoru. Pomáhá simulovat pracovní podmínky a určovat tlak, teplotu, otáčky, rozměry a vůle ložisek. Lze ji porovnávat s mazacími schopnostmi v daných podmínkách. [3],[7]

Viskozita vyjadřuje schopnosti maziva za daných podmínek. V praxi je hledána optimální viskozita na konkrétní použití nikoliv maximální viskozita. S velmi vysokou viskozitou je vysoké vnitřní tření a s tím rostou také energetické ztráty. Optimální viskozita dává největší mazací schopnost, v takové vrstvě maziva, kdy dostačuje mazací film k přenosu zatížení. [3],[7]

Viskozita je rozdělena na dynamickou a kinematickou. Rozdílem je zjištění různých fyzikálních vlastností oleje, vycházejících z podobných vstupních hodnot. Vycházejí

z Newtonova zákona o tření pro pohyb kapaliny s laminárním tokem. Zákon popisuje přímou úměru gradientu rychlosti se smykovým napětím paralelním s laminárním tokem. [3],[7]

### **2.7.1 Dynamická viskozita**

Vyjadřuje potřebnou sílu, která je nutná k posunutí vrstvy o ploše  $1\text{m}^2$  oproti stejné vrstvě o vzdálenosti 1 metr a 1 metr ve vodorovné rovině. Pracuje se smykovým napětím ve vrstvě kapaliny. Součinitel úměrnosti  $\eta$  se označuje jako dynamická viskozita, jeho hodnota je závislá na tečném napětí a gradientu rychlosti  $dv/dz$  příslušné kapaliny. [3]

### **2.7.2 Kinematická viskozita**

Vyjadřuje odpor k tečení, které je způsobeno gravitační silou. Ke zjištění kinematické viskozity je třeba viskozita dynamická a hustota oleje při stejné teplotě. V soustavě SI je udáván rozměrem  $[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$ . Jedná se však o jednotku příliš vysokou, v praxi je tato jednotka příliš vysoká, používá se vedlejší jednotka o 6 řádů menší  $[\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$ . Tento převod na nižší řád je totožný dříve používaným jednotkám, ve starší literatuře se můžeme setkat s jednotkou cSt (centiStokest). Platí:  $1\text{cSt} = 1\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . [3]

### **2.7.3 Viskozitní index**

Motorový olej pracuje v širokém rozsahu teplot, proto byl zaveden viskozitní index. Bezrozměrný index, který charakterizuje závislost viskozity motorového oleje na teplotě. U motorových olejů je požadována malá teplotní závislost, aby se usnadnilo spouštění při nízkých teplotách a mazací film zůstal při vysokých teplotách dostatečně stálý s vyhovující viskozitou. Viskozita ubývá exponenciálně s rostoucí teplotou. Tento průběh není vždy stejný, záleží na složení základového oleje. [7],[10]

Viskozitní index je určen porovnáním měřeného oleje s etanolem standardních porovnávacích olejů při teplotě  $98,89^\circ\text{C}$  ( $210^\circ\text{F}$ ). Porovnávací olej s indexem  $\text{VI} = 100$  je parafinický a s indexem  $\text{VI} = 0$  naftenický. Tyto oleje tvoří hypotetickou hranici, kde  $\text{VI} = 100$  zastupuje olej s malou změnou viskozity na teplotě. Vzorek  $\text{VI} = 0$  zastupuje oleje s velkou závislostí změny viskozity na teplotě. Ke zjištění VI je třeba kinematická viskozita při teplotách  $40^\circ\text{C}$  a  $100^\circ\text{C}$ . [7],[10]

#### 2.7.4 Závislost viskozity na zvýšený tlak

V rozsahu teplot 20°C -100°C dochází při zvyšování tlaku také zvyšování viskozity oleje viz tabulka 1. Dále platí pravidlo: Stejnou změnu viskozity vyvolá snížení teploty oleje o 1°C jako zvýšení tlaku oleje o 205MPa. [3]

*Tabulka 1 Závislost viskozity na tlaku*

Tlak (Mpa)	Růst viskozity (%)
7,0	20 – 25
15,0	35 – 40
40,0	120 – 160
60,0	250 – 350

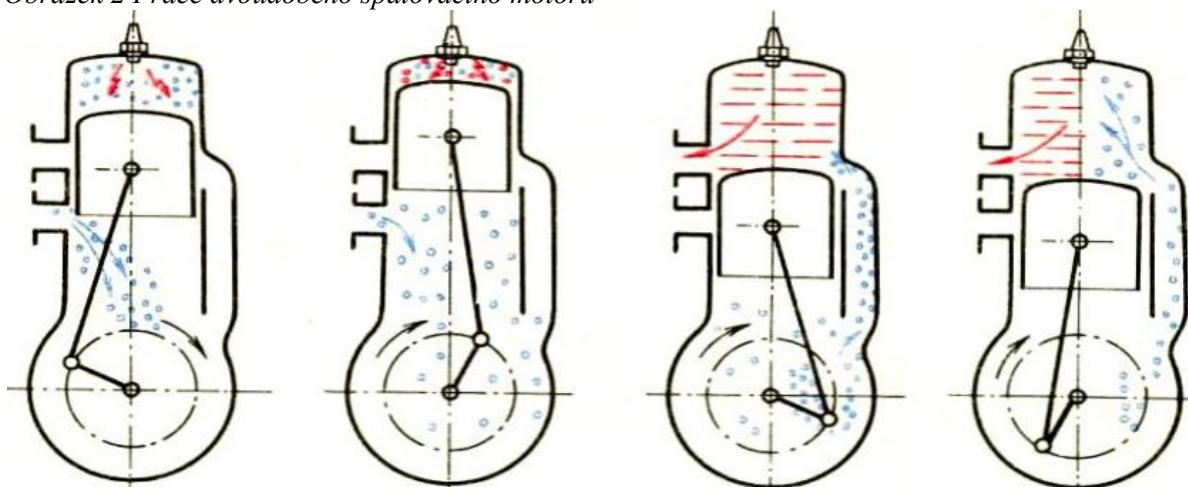
*Zdroj: [3]*

### 3 Ztrátové mazání

#### 3.1 Princip práce dvoudobého motoru

U dvoudobého spalovacího motoru se uskutečňují při každé otáčce klikového hřídele všechny čtyři pracovní cykly motoru, jak je znázorněno na obr. 2. Pracovními cykly jsou sání, komprese, expanze a výfuk. Je to tedy hlavní odlišnost od čtyřdobého spalovacího motoru, kdy k pracovnímu zdvihu dojde jednou za dvě otáčky klikové hřídele. [1]

Obrázek 2 Práce dvoudobého spalovacího motoru



Zdroj:[9]

Při pohybu pístu z dolní do horní úvratě se nejdříve pístem uzavře svým pláštěm přepouštěcí kanálky. Ventil uzavírá výfukový kanálek a nastává polytropická komprese. Otevřením sacího kanálu stoupajícím pístem začne být nasávána směs do spalovacího prostoru. Směs paliva je nasávána podtlakem, který vznikl v prostoru pod pístem, při cestě pístu do horní úvratě. Před dosažením horní úvratě pístu zapálí elektronická svíčka stlačenou směs paliva. Expanze začne působit po úplném vyhoření paliva při pohybu pístu z horní do dolní úvratě. Tlak spalin vykonává práci. Před dokončením cesty pístu do dolní úvratě otevírá hrana pístu výfukový kanál a spaliny výfukem opouštějí spalovací prostor motoru. Po snížení tlaku přepouštěcím kanálkem je vtačována do válce směs a vyplachuje spalovací prostor motoru. Je velmi důležité správně časování ventilů, aby čerstvá směs, která je přiváděna ve stejný moment jako je otevřený výfuk, neunikala výfukem a tím nezmenšovala účinnost motoru. Do válce se tedy musí přivádět čerstvá směs pod větším tlakem, než jsou spaliny výfukem odváděny, proto se dá označit každý dvoudobý motor jako přeplňovaný. [1],[9]

## 3.2 Mazání dvoudobých motorů

Ztrátovým mazáním rozumíme ne opakované použité motorové olejové náplně. Není to z důvodu, že by se olej ihned degradoval na stupeň, který by znemožnil jeho znovupoužití, ale při tomto druhu mazání dochází ke spálení oleje ve válci motoru. Motorový olej je ve formě drobných kapiček přiváděn na stěny válce, do valivých ložisek klikového hřídele, ojnice a pístního čepu. Ke stykovým plochám dvou součástí motoru se kapičky maziva dostávají smíšením s palivem či pomocí dávkovacího čerpadla. Smíšením paliva s olejem dochází ulpívání zbytků maziva na stěně válce, které v průběhu pracovní fáze motoru hoření dochází k jeho spálení. Nedokonalé spalování motoru má negativní vliv na obsah škodlivin výfukových plynů a nelze použít katalyzátor výfukových plynů. Ztrátovým mazáním v dnešní době nejsou vybavena žádná moderní osobní vozidla. Je používám u dvoudobých rychloběžných motorů v malých pracovních strojích či v jednoduchých motocyklech. V některých konstrukčních řešení týkajících se například vozu Trabant, který využíval mísení paliva a oleje v palivové nádrži, odpadala nutnost dávkovacích čerpadel. U vozu Trabant se palivo dostávalo vedením paliva samospádem. Lze realizovat ztrátové mazání třemi způsoby. [1],[2]

### 3.2.1 Rozptýlení oleje v palivové nádrži

Jedním způsobem je rozptýlení oleje v palivové nádrži s palivem. Při tomto je samozřejmostí dbát na správný předepsaný poměr paliva a oleje. Směšovací poměr se pohybuje v rozmezí 1:20 až 1:100. Tedy jeden díl oleje na dvacet/sto dílů paliva. Při správném namísení paliva a oleje nemohlo dojít při jeho běhu k zadření motoru. Toto se dnes využívá jen u malých pracovních strojů, případně jednoduchých motocyklů. Výhodou smísením paliva a oleje v nádrži je z hlediska konstrukčního velmi výhodné, pro pracovní stroj odpadá nutnost být vybaven olejovou nádrží, palivovou nádrží a dávkovacím čerpadlem oleje. Klady jsou dále nízká cena a spolehlivost. Motor, kterému se nedostávají pohonné hmoty, není v chodu, a tedy se nemusí ani mazat. Nevýhodou tohoto řešení je závislost na zatížení motoru. Při jízdě vozidla například z kopce a tedy při nízkém zatížení motoru, dochází k jeho přemazávání. Tím dojde k vytvoření silné vrstvy olejového filmu na stěně válce. Tato olejová vrstva je po opětovném zvýšení otáček motoru stržena a přimíchána do spalovací směsi, to má za následek nedokonalé spálení směsi paliva a vzduchu. [1]

Palivo a olej musí tvořit homogenní směs. Palivo se nesmí oddělit od oleje v palivové nádrži. Naopak ve spalovacím prostoru je žadáný pravý opak. Ke správnému spalování a mazání je třeba, aby se ve spalovacím prostoru složky od sebe oddělily. To se nedaří zcela úplně, ale jen částečně pomocí působení tepla ve spalovacím prostoru. Při teplotě 100°C-150°C se odpaří 20-50% benzínu. Při nasátí směsi paliva a oleje do zahřátého válce motoru dochází k rychlému odpařování paliva. Samotný olej, který se za pracovních teplot odpařuje jen v malém množství, pak zajišťuje mazání. Vniká do ložisek a vytváří olejový film na povrchu válce. V případě studeného startu nedochází k odpaření paliva. Tím je narušeno mazání, kdy je olej velmi zředěn palivem. Pro tyto podmínky je tedy nutné, vytvořit rezervu v ohledu na nepříznivé podmínky mazání. [1],[8]

### **3.2.2 Mazání dávkovacím čerpadlem do proudu směsi**

Druhým způsobem je mazání dávkovacím čerpadlem do proudu nasávané směsi paliva se vzduchem. U tohoto systému již postačuje poměr paliva s olejem až 1:200. Zde je dávkování oleje řízeno podávacím čerpadlem. Čerstvý olej je přiváděn z olejové nádržky do palivové směsi v karburátoru. Regulace množství oleje je dána polohou ovládacího šoupátka karburátoru. Nedochází již tedy při nízkém zatížení motoru k jeho přemazávání. [1]

### **3.2.3 Mazání dávkovacím čerpadlem k mazaným místům**

Třetí způsob je ztrátové mazání dávkovacím čerpadlem k mazaným místům. K jednotlivým mazaným místům se podle zatížení a otáček motoru dostává pomocí regulovaného dávkovacího čerpadla dostatečné množství motorového oleje. Mazané stykové plochy jsou například valivá ložiska na dělené klikové hřídeli, ojnice a pístní čep. [1]

Ovládání olejového čerpadla je spřažení s ovládním plynového pedálu. Mazání motoru ve správné míře je ideální při všech provozních podmínkách. Tedy efektivní využití maziva a zamezuje přemazání či špatnému mazání motoru. Již není zajištěna úplná spolehlivost dodávky maziva k motoru, případně závady na přívodu oleje, například prasklé hadičce, oproti mísení oleje s palivem přímo v palivové nádrži. Tato závada by mohla způsobit zadření motoru. [3]



### 3.2.4 Mísící poměr

V závislosti na druhu paliva a oleje se při mísení používá poměr 1:20 až 1:100. Tyto poměry jsou doporučené hodnoty od výrobce motoru. Zohledňují se podmínky, při kterých bude motor pracovat, v závislosti na povětrnostních vlivech nebo použití. Špatně namíchaný poměr směsi se na první pohled může, ale i nemusí ihned projevit následky. V případě přemazání motoru je dopad na kvalitu spalování, po případě snížení výkonu motoru. Příliš bohatá směs také přinese vysokou kouřivost vozidla, obtížnou startovatelnost a zanášení kontaktů u zapalovacích svíček olejem. Opakovaným přemazáním se ve výfuku a motoru tvoří saze a karbonové usazeniny. Opakovaná chudá směs nám přináší daleko horší důsledky na mechanických částech motoru než přemazání. Vlivem nedostatečného mazání dochází k rychlému opotřebení pístních kroužků a poškození stěn válce. Toto se projeví snížením výkonu například z důvodu snížení komprese ve spalovacím prostoru. Další poškozená místa mohou být ojnicní ložiska a ložiska klikové hřídele. [4],[8]

V případě správného mísícího poměru mohou nastat situace, které ovlivní povaha terénu, na kterém vozidlo jede. Při jízdě z kopce, kdy motor pracuje v malém zatížení a vysokých otáčkách například brzděním motorem, nedochází k přísunu paliva a tedy i oleje. Klesá mazací účinek olejového filmu na povrchu válce a klesne přísun čerstvého oleje k dalším potřebným mazaným místům. Pro dlouhé sjezdy je vhodné mírné přidávání plynu, aby nedošlo k poškození motoru. Opačně, při dlouhém stoupání do kopce, při jízdě s plným zatížením může nastat přemazání. To vede ke snížení výkonu a nekvalitnímu spalování a tvoření karbonových usazenin. [4],[8]

### 3.2.5 Požadavky na oleje pro dvoudobé motory

Požadavky na oleje určené pro mazání dvoutaktních motorů či ztrátové mazání se mohou lišit od olejů pro cirkulační mazání.

- dostatečná viskozita pro zajištění mazání a těsnění;
- netvořil velké množství úsad (karbonu) ve spalovacím prostoru, aby tyto úsady byly kypřé a nekompaktní, snadno se odlučovaly a postupně byly vynášeny proudem plynů ze spalovacího prostoru a výfukového kanálu;
- netvořil laky a pryskyřičné úsady na pístu, hlavně v drážkách kroužků;
- nesnižoval oktanové číslo benzínu;

- byl snadno s benzínem mísitelný za všech teplot;
- olej chrání proti korozi valivá ložiska klikového hřídele v době mimo provoz, hlavně při delším odstavení;
- detergentní schopnost;
- modifikace tepelné (případně i elektrické) vodivosti úsad;
- olej nesmí obsahovat prvky, které tvoří po spálení popel s nízkým bodem tání, ale musí vyvářet s olovem z paliva sloučeniny s co nejvyšším bodem tání. [8]

## 4 Cirkulační mazání

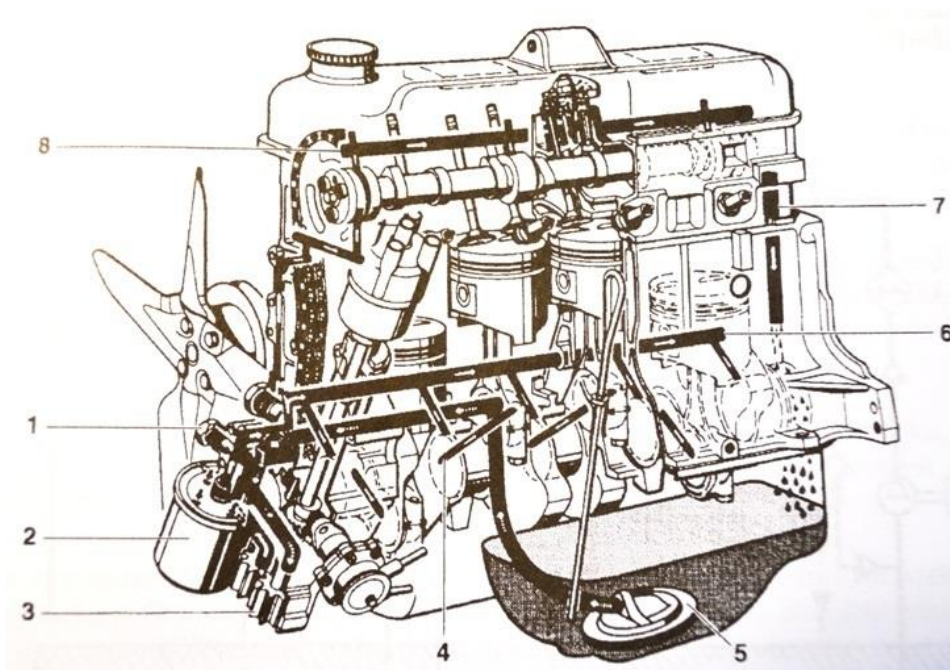
Hlavní funkcí mazací soustavy je vytvořit tenký olejový film na třecích plochách tak, aby se pohyb součástí uskutečnil jako kapalinné tření. Výsledkem je snížení míry opotřebení součástí. Míra tření je tak převáděna z polosuchého tření na tření kapalné. Zcela je nutné mazáním zamezit suchému tření součástí. Tím je dosaženo nejmenšího odporu proti pohybu součástí. Zároveň je úkolem mazání odvádět teplo, olej ochlazuje nejvíce tepelně namáhané součásti. Například podle míry poklesu tlaku v mazací soustavě je možné posuzovat míru opotřebení hlavních a ojnicích ložisek klikového hřídele motoru. Dalším úkolem mazání je chránit soustavu mazání a součásti mazané před korozi, odvádět nečistoty a zvyšovat těsnost pístní skupiny motoru. [6]

V současné době se u čtyřdobých motorů používá oběžné mazání. Jedná se o kombinaci mazání rozstříkem a mazání tlakové. Na jednotlivá mazaná místa je vytlačován olej pod tlakem z olejového zásobníku olejovým čerpadlem. Důležitým místům je třeba neustále dodávat olej, jsou to hlavní ojnicí čep, ložiska klikové hřídele, ložiska vačkové hřídele, uložení ventilových pák vahadel a pracovní plochy válců. Druhy mazacích okruhů podle umístění zásobníku olejové náplně rozdělujeme na mazání motoru s mokrou a suchou klikovou skříní. [1],[12]

### 4.1 Mazání s mokrou klikovou skříní

Mazání pomocí mokré klikové skříně je dnes nejrozšířenější systém mazání u osobních vozidel. Zásoba oleje v okruhu se nachází v olejové vaně, kam také stéká olej z mazaných částí motoru. Vana je opatřena žebrováním, které pomáhá odvádět teplo do proudícího vzduchu okolo a také zabraňuje velkému přelévání oleje např. při jízdě v zatáčce. Zásobu oleje je možné kontrolovat pomocí olejové měrky elektronicky. Elektronické čidlo posílá signál do řídicí jednotky, která umožňuje zobrazení aktuálního stavu množství oleje na displeji palubního počítače vozidla. [1],[5],[6]

Obrázek 3 Tlakové oběhové mazání s mokrou klikovou skříní



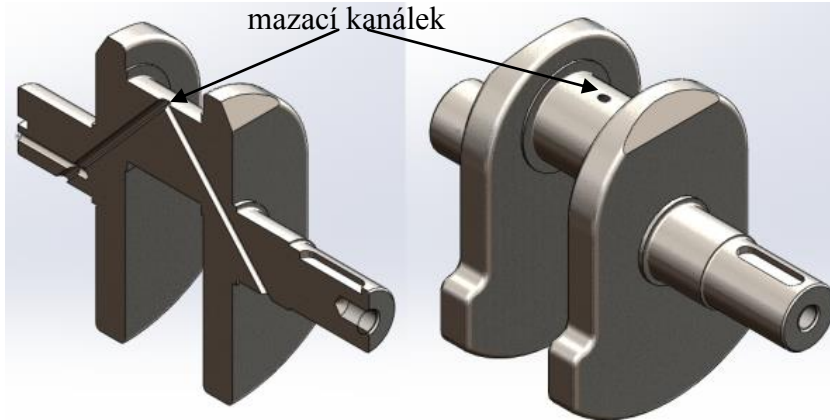
Zdroj:[3]

**Popisek obrázku 3**

1 – přetlakový ventil; 2 – olejový filtr; 3 – olejové čerpadlo; 4 – kanálek v klikové hřídeli od hlavního ložiska k ojníčnímu ložisku; 5 – sací koš s hrubým sítím; 6 – hlavní mazací kanál vedený k ložisku klikové hřídele; 7 – zpětný tok oleje do olejové vany; 8 – mazací kanál k ložiskům vačkové hřídele

Olej je nasáván přes sací koš s hrubým sítím, které zachycuje hrubé mechanické nečistoty, olejovým čerpadlem viz obr. 3. Bezprostředně za čerpadlem se nachází přetlakový pojistný ventil, který v případě nutnosti zamezí vniknutí oleje příliš vysokého tlaku do mazacího systému. Ventil přepustí přebytečný olej zpět do zásobníku olejové náplně. Dále se nachází jemný olejový filtr, který má zamezit vzniklým nečistotám další postup k motoru. Za filtrem je olej již v mazacích kanálcích bloku motoru, kde se rozvětvenou sítí kanálků dostává do klikové hřídele a jejich ložisek. K ložiskům ojníčního čepu je olej přiveden vrtáním v klikové hřídeli obr. 4. Další část oleje je pomocí mazacích kanálků přivedena k ložiskům vačkového hřídele a vahadlům. Některé stykové plochy motoru jsou mazány ostříkem od míst, které jsou mazány tlakově, např. píst s válcem a vačka se zdvihátkem. Ze všech mazaných míst odtéká olej odtokovými olejovými kanálky zpět do olejové vany. U výkonnějších motorů je instalován za olejové čerpadlo do mazacího systému chladič, který zamezuje přehřátí olejové náplně. [1],[6]

Obrázek 4 Vrtání v klikové hřídeli  
mazací kanálek



Zdroj: [16]

## 4.2 Mazání se suchou klikovou skříní

Vozidlo je v tomto systému mazání vybaveno nádrží s olejovou náplní, která je umístěna mimo motor v rámu nebo karoserii vozidla. Kontrola množství oleje se měří v této nádrži stejnými způsoby jako u mazání s mokrou klikovou skříní. Systém využívá nejméně dvě olejová čerpadla, jedno odsávací a druhé tlakové. Z nádrže se pomocí tlakového čerpadla čerpá olej přes olejovou vanu dále do systému. Odsávací čerpadlo zamezuje hromadění oleje v olejové vaně a přečerpává olej zpět do olejové nádrže. Čerpací výkon tlakového čerpadla je záměrně menší než výkon odsávacího, aby se v olejové vaně nemohlo hromadit mazivo. Další části mazacího okruhu jsou totožné jako u předchozího systému mazání. [1],[5],[6]

Mazání se suchou klikovou skříní se používá u sportovních a terénních vozidel. Zaručuje spolehlivé mazání ve všech částech motoru při extrémních náklonech, prudkém zatáčení, akceleraci a deceleraci. [1]

## 4.3 Prvky cirkulační mazací soustavy

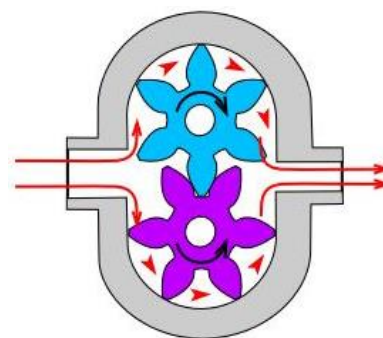
### 4.3.1 Olejové čerpadlo

Olejové čerpadlo zajišťuje dostatečný tlak oleje v mazací soustavě, který se pohybuje od 0,2MPa do 0,5MPa s průtokovým objemem 250-350 l.hod<sup>-1</sup>. Podle konstrukce rozvodů motoru je jeho pohon zajištěn ozubeným kolem nebo řetězem v poměru 1:1 od klikové hřídele nebo vačkové hřídele. U vozidel jsou používána čerpadla zubová, rotační, rotační G a s vnitřním ozubením. [1]

#### 4.3.1.1 Zubová čerpadla

Skládá se ze dvou stejných do sebe zabírajících ozubených kol, která jsou uzavřena v pouzdru s vstupním a výstupním otvorem viz obr. 5. Otáčením ozubených kol se v sacím prostoru vytváří podtlak, olej se nasává do mezer zubů a po obvodě kol je dopravován na výtlačnou stranu. Na této straně jsou zuby opět do záběru a tím je olej vytlačován do mazacího systému. [1],[6]

Obrázek 5 Zubové čerpadlo

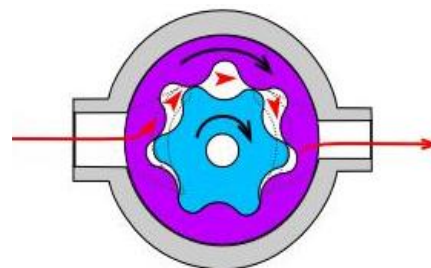


Zdroj: [19]

#### 4.3.1.2 Rotační (trochoidní) čerpadlo a G čerpadlo

Objemové čerpadlo je poháněno klikovou hřídelí a skládající se z vnějšího rotoru s vnitřním ozubením s malým počtem zubů a vnitřního rotoru s vnějším ozubením, které má o jeden zub méně viz obr. 6. Tvar ozubení plně utěsňuje vznikající prostor mezi rotory ve spodní části čerpadla. Prostor mezi zuby se zvětšuje u nasávacího prostoru, kde se pod tlakem nasaje olej.

Obrázek 6 Rotační čerpadlo



Zdroj: [19]

Na výtlačné straně se naopak prostor zmenšuje, tím se vytlačuje olej dále do systému. Čerpadlo jde použít jako tlakové nebo sací. Jeho práce je rovnoměrnější než u zubového čerpadla. [1],[6]

G čerpadlo je dokonalejší rotační čerpadlo poháněno excentricky s větším počtem zubů. Je schopno i při nižších otáčkách přepravit větší objem oleje při vyšších tlacích. [1]

#### 4.3.1.3 Čerpadlo s vnitřním ozubením

Modernější obnova rotačního zubového čerpadla, kde vnitřní ozubené kolo je přímo na klikové hřídeli. Sací a tlakový prostor jsou vzájemně odděleny tělesem ve tvaru srpku. Olej je přepravován podél dolní a horní hrany srpku. Výhoda je především velký výkon při nízkých otáčkách a levnější konstrukce způsobená absencí zvláštního pohonu od klikové hřídele. [1],[6]

### **4.3.2 Přetlakový ventil**

Ventil umístěný bezprostředně za olejovým čerpadlem. Pomáhá udržovat konstantní tlak motorového oleje v mazacím okruhu a jistí proti příliš vysokému tlaku oleje od 0,3MPa do 1MPa. [1]

### **4.3.3 Čištění olejové náplně**

Olejové filtry slouží k prodloužení intervalu výměny oleje, chrání ložiska a otěrové plochy před nečistotami a prodlužují tak jejich životnost. Nijak neovlivňují fyzikální nebo chemické vlastnosti oleje. Zachytávají pevné nečistoty velikosti menší 0,5 $\mu$ m. Nedovedou zastavit nečistoty, které jsou rozpuštěny v oleji, nebo nečistoty kapalné. [1],[6]

#### **4.3.3.1 Plnoprůtokové čištění oleje**

Tento okruh vyčistí vždy veškerý olej, který jsem k mazaným místům. Pro bezpečnost zásobování oleje mazaných míst při ucpání olejového filtru nečistotami je součástí okruhu obtokový ventil. Při nebezpečí, kdy olejový filtr nepropouští dostatek oleje do mazacího okruhu a před filtrem se vlivem jeho ucpávání zvýší tlak, otevře ventil a nefiltrovaný olej pokračuje mazacím okruhem dále. [1],[6]

#### **4.3.3.2 Obtokové čištění oleje**

Tento způsob filtruje při chodu motoru jen 5-10% z celkového množství oleje. Mazací okruh je vybaven jednou paralelní větví mazacích kanálků vedle olejového filtru. Pro zachování potřebného tlaku v mazacím okruhu je filtr opatřen škrťacím otvorem, díky němu se může přefiltrovaný olej vrátit do olejové vany. Tento systém má výhodu ve větší účinnosti čištění oleje, čistí vždy jen část objemu oleje, tu může filtrovat pomaleji a zároveň intenzivněji. [1],[6]

#### **4.3.3.3 Kombinované čištění**

Tento způsob využívá kombinaci obou předchozích. Kombinuje jejich výhody pro lepší vyčištění oleje a zároveň vždy zajišťuje stabilní tlak v mazacím okruhu. Je spojena vysoká ochrana před opotřebením motoru a zároveň intenzivní čištění oleje. [1],[6]

#### **4.3.4 Chlazení oleje**

Při nadměrném zatížení oleje vysokou teplotou mohou být ovlivněny vlastnosti oleje a tím k poškození motoru. Může docházet k narušení olejového filmu a klesnutí viskozity. Není třeba, aby chlazení pracovalo neustále i v nízkých teplotách oleje, proto je mazací okruh vybaven termostatem, který při překročení teploty 90°C otevře větev s chladičem. Chlazení oleje lze dosáhnout chladicí kapalinou nebo proudem vzduchu. [1]

### **4.4 Tribotechnická diagnostika**

Tribotechnická diagnostika aplikovaná do podmínek techniky, zabývající se výsledků tribologie v praxi, sleduje tři navzájem skloubené a nedělitelné cíle. Tribologie je nauka o vědeckém výzkumu a poznatků pro vědní obory tření, opotřebení a mazání. [3]

#### **4.4.1 Životnost maziva**

Určení životnosti maziva na základě zjištění stupně opotřebení či znehodnocení oleje nečistotami primárními, které vznikají tepelně-oxidačními procesy v samotném mazivu a nečistotami sekundárními, dostávající se do provozního maziva zvenčí např. oděrem strojních součástí nebo v podobě nasávaného křemičitého prachu. Životnost maziv se dá charakterizovat souborem objektivně stanovených kritérií realizovaných normovanými či uzančními analýzami maziva, ve výsledcích bývá udáván i stupeň dosaženého limitu opotřebení maziva a motoru. [3]

#### **4.4.2 Opotřebení**

Sledování opotřebení pohyblivých i nepohyblivých součástí. Důležité je i vyjádření trendu opotřebení, konkretizovaného ve formě sledování přírůstků otěrových kovů (Fe, Al, Cr, Pb, Sn aj.), což odpovídá sledování sekundárních nečistot. Sledování mechanického stavu motoru a jeho příslušenství, např. olejových a vzduchových filtrů. U nových motorů se též ověřuje vhodnost doporučeného maziva. [3],[10]

#### **4.4.3 Optimální interval výměny maziva**

Určení optimálního intervalu výměny maziva je přímo závislé na obou předchozích bodech. Dosud byly intervaly výměn olejů založeny u silničních vozidel na základě kilometrového kritéria nebo u užitkových motorů buď na základě sledování počtu motohodin,



nebo častěji byly určovány v závislosti na množství spotřebovaného paliva bez ohledu na vytížení motoru, na pracovní podmínky a stav motoru. [3],[10]

#### **4.4.4 Interval výměny olejové náplně**

Interval výměny oleje stanovuje výrobce motorů, udává maximální možnou ujetou vzdálenost nebo čas použití jedné olejové náplně. Nemělo by v žádném případě docházet k překročení tohoto intervalu. Snaha výrobců automobilů je co nejvíce prodlužovat interval výměny. V moderních automobilech se již používá syntetický olej s označením „Long Life“, který prodlužuje interval výměny oproti starším olejům o 100%. Dříve byl interval výměny 15 000km nebo 1rok. Long Life zaručuje výměnu po 30 000km nebo 2 letech provozu. U zážehových motorů dokonce výměna až po 50 000km. [12]

V praxi může být interval výměny oleje ovlivňován vlivy technického stavu motoru, režimem provozu a kvalitou filmování oleje a vzduchu. [12]

Ideální případ by bylo provádět výměnu oleje na základě měření a metod tribotechnické diagnostiky. Každý olej zvlášť by se individuálně hodnotil a upravoval čas výměny oleje. Toto není bohužel reálné z ekonomického hlediska. [12]

#### **4.4.5 Tření**

Spalovací motory jsou konstruovány, tak aby teplota, tření a opotřebením rotujících částí bylo velice nízké. Proto nedílnou součástí motoru jsou ložiska kluzná a ložiska valivá. V případě kluzného ložiska se můžeme setkat s třením suchým, mezním a kapalným. Na mazaných součástech zůstává adhezní vrstva oleje, nemělo by k suchému tření vůbec docházet. [5]

Úkolem mazání je výrazně zmenšit nebo úplně odstranit otěr mezi navzájem se pohybujícími plochami. Snížení zahřívání kluzných ploch, tření a opotřebením. [5]

##### **4.4.5.1 Suché tření**

Plochy dotýkajících se součástí jsou téměř bez jakéhokoli mazání. Je to případ absolutně nepoužitelný a nežádoucí v motorových konstrukcích. Dochází zde k velkému opotřebením kluzných ploch, k jejich zahřívání a zadírání. [9],[20]

#### **4.4.5.2 Polosuché tření**

Mezi plochami je tenký olejový film, ale plochy se mohou vzájemně dotýkat mikroskopickými výčnělky. Stále tedy dochází ke kontaktu, ale jen k malému otěru a opotřebení kluzných ploch. Dochází ke kontaktu na nejvíce zatížených místech povrchů. Tření může nastat také u hydrodynamického mazání, kdy dochází k rozběhu stroje nebo při nízkých otáčkách. [9],[20]

#### **4.4.5.3 Kapalinové tření**

Mazací vrstva je mezi kluznými plochami dostatečně silná, aby se povrchy a jejich nerovnosti vzájemně nedotýkali. Souvislá vrstva úplně odděluje obě kluzné plochy. Kluzné plochy jsou při správné funkci systému prakticky opotřebitelné. [10],[20]

#### **Hydrostatické mazání**

Vlivem silného tlaku se mazivo přivádí mezi třecí plochy. Vytvoří se velmi pevná vrstva maziva mezi třecími plochami, tlak oleje obě plochy oddělí. Tento druh mazání nevyžaduje pohyb třecích ploch. [1],[10]

#### **Hydrodynamické mazání**

Hydrodynamické mazání probíhá prouděním maziva kolem třecích ploch mazaných součástí. Udržení pevné vrstvy maziva je závislé na vzájemné rychlosti třecích ploch, čím je vzájemná rychlost (otáčky) vyšší, tím lépe vniká do klínové vrstvy mazivo. Mazivo může přenášet zatížení způsobeným protitlakem vyvolaným dostatečnou vzájemnou rychlostí třecích ploch. [9],[10]

### **4.4.6 Druhy opotřebení třecích ploch**

#### **4.4.6.1 Adhézní**

Technologicky opracované povrchy těles mají svou danou drsnost, třecí plochy nejsou tedy dokonale hladké. Dochází ke styku velkého počtu výstupků. Opotřebení nastává při těsné kontaktu dotykových výstupků, ulpívá a vytrhává částice materiálu adhezními silami. [10]

#### **4.4.6.2 Abrazivní**

Dochází při penetraci měkčího materiálu tvrdším. Tímto účinkem jsou oddělovány částičky materiálu z jednoho z těles. Abrazivní opotřebení se na součástce projevuje například rýhou. [10]

#### **4.4.6.3 Erozivní**

Poškození povrchu dopadající třetí látky, která je nesena kapalinou či plynem. V praxi se můžeme setkat s vznikem Erozivním opotřebení vniknutím abrazivní nečistoty mezi třecí plochy. Abrazivní částice může být např. zrnko křemičitého písku. [10]

#### **4.4.6.4 Kavitační**

Nastává odtržení částic materiálu vlivem velkého snížení tlaku v kapalině. Vlivem rozdílného proudění kapaliny dochází ke vzniku kavitačních bublin. Při kavitaci dochází k varu kapaliny tzv. za studena, kdy teplotě je hluboko pod bodem varu za normálního atmosférického tlaku. [4]

#### **4.4.6.5 Únavové**

Vlivem cyklického proměnného namáhání povrchové vrstvy materiálu vznikají trhliny, které se šíří a spojují, až dochází k uvolňování materiálu. Při dosažení dostatečné hloubky, dochází u houževnatého materiálu k únavovému lomu, u nehouževnatého materiálu k lomu křehkému. [3]

#### **4.4.6.6 Vibrační**

Oddělují se částice přenášenými kmity namáhanou součástí za působením normálního zatížení. Vibrace působí v tečném směru funkčních ploch. [3]

#### **4.4.6.7 Korozivní**

Fyzikálně-chemický děj u dotkových ploch, které jsou v pohybu nebo v klidu. Nastává při oxidaci povrchu kyslíkem nebo stárnutím maziva, postihuje zejména železné kovy, ale nejsou výjimkou ani ostatní materiály. [3]

## 4.5 Praktické měření

Tato část práce je zaměřena na praktické měření a porovnávání nového oleje s olejem, který absolvoval doporučený interval výměny oleje. Jsou zde hodnoty, které je možné sledovat a hodnotit stav motorového oleje nebo motoru samotného. Na základě naměřených hodnot je hodnoceno, zda interval výměny oleje je pro jednotlivé vozidlo přiměřené nebo je třeba jeho změny. Změny intervalu výměny olejové náplně se mohou pohybovat pod, ale i nad doporučenou dobou výrobce vozidla. Hodnocení oleje se koná na základě množství otěrových částic, množství karbonu v obsahu oleje, změny bodu vzplanutí a viskozity. Pro měření byla použita vozidla osobní, motocykl a těžké pracovní stroje. Není možné tyto druhy vozidel porovnávat přímo v celé jedné skupině, ale jde názorně ukázat, jaké rozdíly jsou například v otěrových částicích u velkoobjemových motorů pracovního stroje a osobního vozidla.

Pro zpracování monogramu trendového opotřebení osobních vozidel jsou využity statistické hodnoty, které propůjčil Ing. Vladimír Hönig, Ph.D. Tento monogram bude základem pro hodnoty naměřených, lze pro případ této práce propůjčit na základě podobných parametrů hodnocených vozidel. Vozidla byla vyrobena společností koncern Volkswagen, mají podobný objem spalovacího motoru (1,9 litru až 2,0 litru) a spadají do podobné výkonové skupiny. Jediná výjimka je vozidlo Peugeot, který nespadá pod výrobce vozidel Volkswagen.

### 4.5.1 Stanovení množství sazí a karbonových částic

Přístroj stanovuje celkové nečistoty v olejové náplni, jedná se zejména o nečistoty karbonové a saze. Tyto nečistoty podporují vytváření mazlavých úsad, které následně mohou ucpat olejový filtr, což by mohl vést pro motor k těžkému poškození. [7]

Přístroj pracuje na principu světelné propustnosti olejového vzorku, který je v tomto případě roztok 1ml oleje a 1ml technického benzínu. Tímto roztokem je naplněna mikrokyveta. Po vložení vzorku do přístroje, dojde k rychlému vyhodnocení a výsledné hodnoty jsou k dispozici ihned na stupnici přístroje v % CN. [7]

## 4.5.2 Ferrografie

Přístroj je určen ke stanovení režimu opotřebení oleje, případně stroje, ve kterém měřený vzorek oleje byl používán. Přístroj separuje částice otěrové kovového charakteru v oleji od karbonových a jiných měkkých nečistot. Adhezivní částice jsou děleny na  $D_S$  a  $D_L$ .  $D_S$  jsou šupinky, které mají vliv na opotřebení velmi malé a jejich velikost je o maximální délce  $5\mu\text{m}$  a  $0,3\mu\text{m}$  tloušťky. Částice  $D_L$  (large) jsou již svou velikostí větší než  $150\mu\text{m}$  a mají velký vliv na možný havarijný stav motoru. [7]

Přístrojem PMA přímo zjistíme vstupní hodnoty  $D_S$  a  $D_L$ , z kterých se výpočtem stanoví režim opotřebení (PLP) podle vztahu (4) a hladina opotřebení (WPC) dle vztahů (1), (2), (3). [7]

$$D_{LN} = \frac{100 \cdot D_L}{R \cdot V} \quad (1)$$

Kde:  $D_L$ ..... velké otěrové částice [-]  
 $R$ ..... rozsah měření [-]  
 $V$ ..... množství vzorku pro analýzu [ml]

$$D_{SN} = \frac{100 \cdot D_S}{R \cdot V} \quad (2)$$

Kde:  $D_S$ ..... malé otěrové částice [-]

$$WPC = D_{LN} + D_{SN} \quad (3)$$

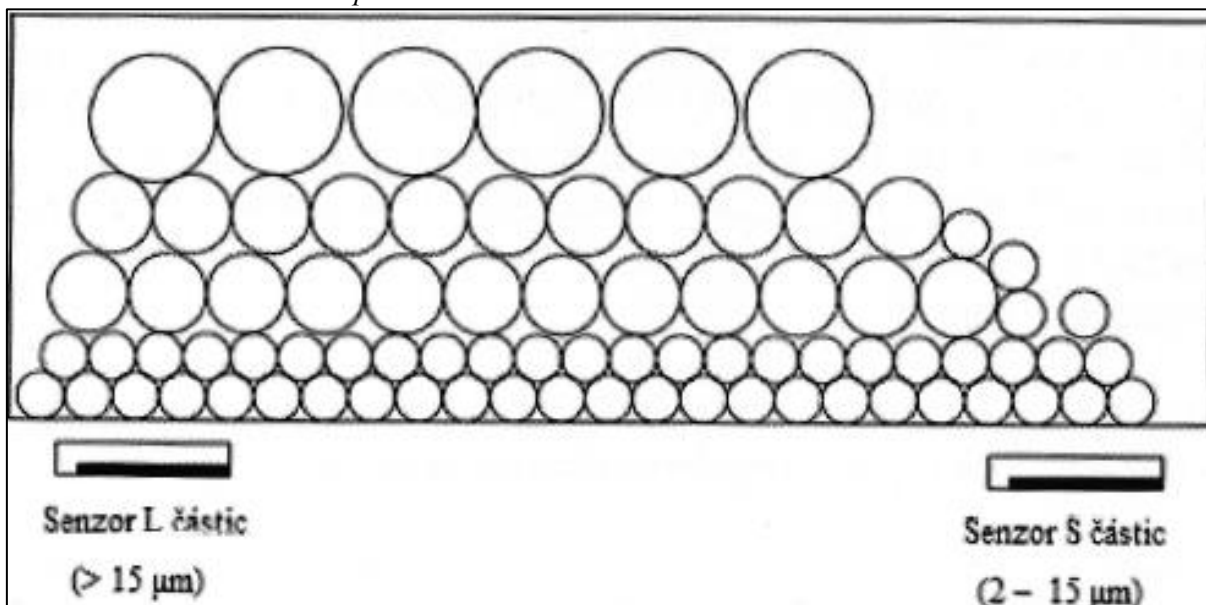
Kde:  $WPC$ ..... hladina opotřebení oleje [-]  
 $DSN$ ..... procentuální zastoupení  $DS$  v měřeném vzorku [%]  
 $DLN$ ..... procentuální zastoupení  $DL$  v měřeném vzorku [%]

$$PLP = \frac{D_L}{D_L + D_S} \cdot 100 \quad (4)$$

Kde:  $PLP$ ..... režim opotřebení oleje [%]

Přístroj pomocí silného magnetu zadržuje ve skleněné kapiláře kovové částice. Skleněnou kapilárou protéká samospádem vzorek 1ml oleje smísený s 1ml technického benzínu. Částice se ve skleněné kapiláře roztřídí podle magnetické susceptibility, jako je znázorněno na obr. 7. [7]

Obrázek 7 Uložení částic v kapiláře dle velikosti



Zdroj: [7]

### 4.5.3 Stanovení bodu vzplanutí

Bod vzplanutí nového motorového oleje se pohybuje mezi 200°C až 250°C. Teplota vzplanutí u oleje, který byl již použit je vždy nižší. Rozdíl teplot může poukazovat na možné nadměrné ředění oleje palivem nebo vlivem špatně pracujícího termostatu soustavné podchlazování olejové náplně. [7]

Mosazný kelímek je po rysku naplněn olejem, teplotu oleje měří vsazený teploměr, který je usazen tak, aby se nedotýkal dna kelímku. Plynovým kahanem je vzorek zahříván. Jakmile se na povrchu oleje začínají tvořit páry, začne se zkoušet, zda páry jdou zapálit plaménkem, kterým je přejížděno po horním okraji kelímku. Je zapsaná teplota vzplanutí, při které dojde k rychlému vzplanutí par nad celou plochou hladiny oleje. [7]

### 4.5.4 Viskozita dle Fordova výtokového pohárku

Pomocí Fordova pohárku je stanovena viskozita motorových olejů. Jedná se o velmi jednoduché měření, u kterého se výtok pohárku uzavře a pohárek je naplněn v celém objemu vzorkem oleje. Dále se měří čas, který je potřeba k vyprázdnění výtokovou tryskou. Měření doby výtoku je měřeno 3 krát, časové hodnoty by se neměly lišit více jako o 1s. Výchozí hodnota z tohoto měření je aritmetický průměr těchto hodnot. [7]

#### 4.5.5 Viskozita podle Ubbelohdeho

Tato metoda je pro určena pro měření kinematické viskozity. Měření je prováděno v předepsané poloze, každý viskozimetr je označen kalibrační konstantou K a korekční konstantou B. Je měřen čas, za který proteče určitý objem oleje mezi ryskami kapilárou za pomoci gravitační síly a za konstantní teploty. Každý vzorek oleje je měřen 3 krát, časové hodnoty by se neměli lišit více jako o 1s, aritmetický průměr viz vzorec (5) je jako výstupní veličina měření a je přepočítána pomocí vzorce (6). [7]

$$t = \frac{t_1+t_1+t_1}{3} \quad (5)$$

Kde:  $t_1$  ..... hodnota naměřeného času 1. měřen [s]  
 $t_2$  ..... hodnota naměřeného času 2. měření [s]  
 $t_3$  ..... hodnota naměřeného času 3. měření [s]  
 $t$  ..... aritmetický průměr naměřených časů 1-3 [s]

$$v = K \cdot t - \frac{B}{t} \quad (6)$$

Kde:  $v$  ..... viskozita [-]  
 $K$  ..... kalibrační konstanta [-]  
 $B$  ..... korekční konstanta [mm<sup>2</sup>.s-1]

Pro určení viskozity při 40°C v této práci je použito s ohledem na vybavení laboratoře přepočtu, tedy ne přímého měření. V případě měření na Ubbelohdeho viskozimetru je naměřen jen nový olej, použitý by pro svou znečištěnou pravděpodobně nešlo správně odečíst a také by mohl nenávratně poškodit viskozimetr samotný. U Fordova průtokového pohárku jsou měřeny vzorky nového oleje i oleje použitého. Proto je použit přepočet, který je na základě kombinace výsledků měření Fordova průtokového pohárku a Ubbelohdeho viskozimetru. Ubbelohdeho viskozimetrem byla určena viskozita, která tvořila základ pro tuto úvahu: viskozita platí pro nový olej, který proteče za určitý čas Fordovým pohárkem, je přímo úměrná času a viskozitě použitého oleje viz vzorec (7), (8).

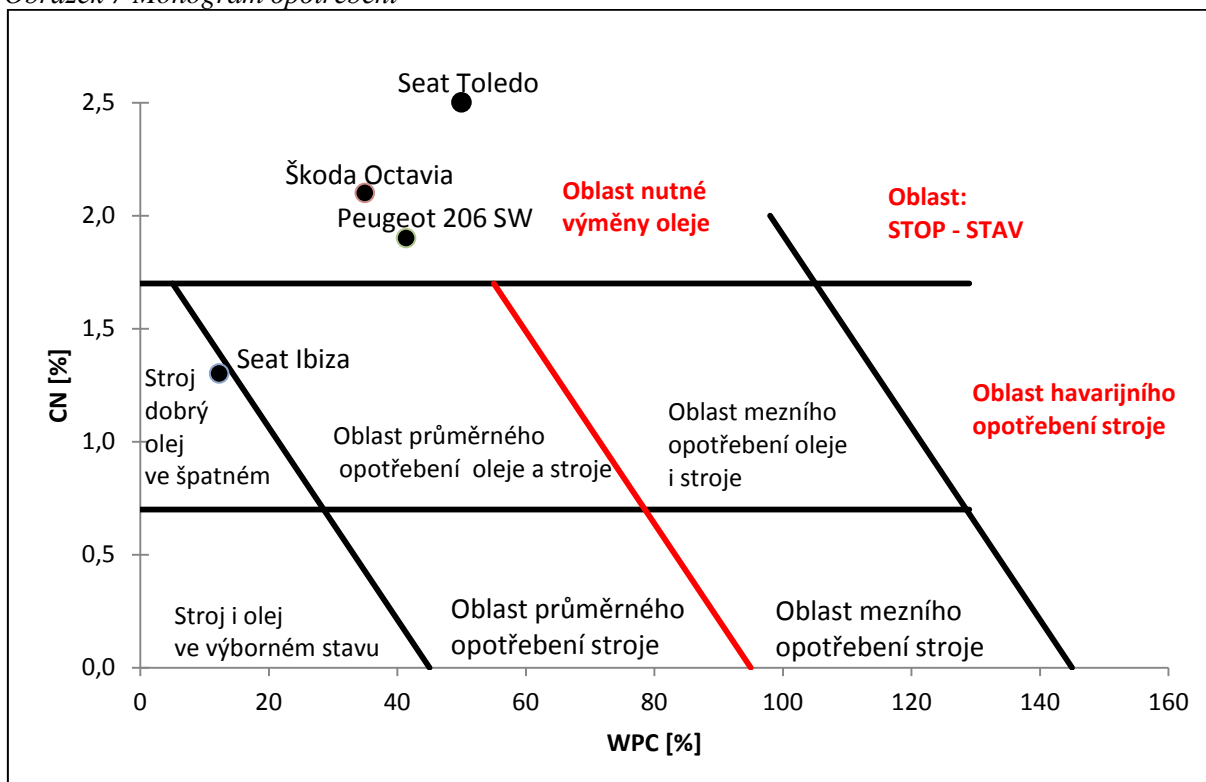
$$\frac{\text{viskozita při } 40^{\circ}\text{C} [\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}] \dots \dots \dots \text{Fordův pohárek, nový olej [s]}}{\text{viskozita použitého oleje} [\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}] \dots \dots \dots \text{Fordův pohárek, znečištěný olej [s]}} \quad (7)$$

viskozita použitého oleje  $[\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}] =$

$$= \frac{\text{Fordův pohárek, znečištěný olej [s]} \cdot \text{viskozita při } 40^{\circ}\text{C} [\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]}{\text{Fordův pohárek, nový olej [s]}}$$

(8)

Obrázek 7 Monogram opotřebení



Zdroj: Statistické údaje propůjčené od Ing. Vladimíra Höniga, Ph.D



Tabulka 2 Naměřené hodnoty I.

označení vozidla	Seat Leon	Seat Ibiza	Škoda Octavia	Peugeot 206 SW	Yamaha Virago XV750	Caterpillar - 428B	Caterpillar – M315C
rok výroby	2002	1996	2008	2004	1995	1995	2003
palivo	motorová nafta	motorová nafta	motorová nafta	motorová nafta	benzin	motorová nafta	motorová nafta
stav [km/mth]	360 000	180 000	168 000	144 000	60 000	18 300 mth	5 600 mth
interval výměny [km/mth]	15 000	15 000	5 000	2 500	7 500	500 mth	450 mth
označení maziva	5w-40	10w-40	5w-40	5w-40	20W-50	15W-40	15W-40
D <sub>L</sub> [-]	236	63	170	199	49	568	350
D <sub>S</sub> [-]	264	60	180	215	28	618	360
rozsah měření R	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
množství vzorku [ml]	1	1	1	1	1	1	1
D <sub>LN</sub> [%]	23,6	6,3	17,0	19,9	4,9	56,8	35,0
D <sub>NS</sub> [%]	26,4	6,0	18,0	21,5	2,8	61,8	36,0
WPC [%]	50,0	12,3	35,0	41,4	7,7	118,6	71,0
P.L.P [%]	47,2	51,2	48,6	48,1	63,6	47,9	49,3
CN [%]	2,5	1,3	2,1	1,9	0,8	< 3,1	3,0
Δ Dunif [-]	0,44985	0,80815	0,58602	0,5585	0,88104	-	0,26416

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 3 Naměřené hodnoty II.

označení vozidla	Seat Leon	Seat Ibiza	Škoda Octavia
rok výroby	2002	1996	2008
palivo	motorová nafta	motorová nafta	motorová nafta
stav [km]	360 000	180 000	168 000
interval výměny oleje [km]	15 000	15 000	5 000
označení maziva	5w-40	10w-40	5w-40
bod vzplanutí čistého oleje [°C]	229	238	229
bod vzplanutí [°C]	220	185	217
rozdíl teplot [°C]	9	53	12
viskozita Fordův pohárek, čistý olej, měření č.1 [s]	41,5	46,9	41,5
viskozita Fordův pohárek, čistý olej, měření č.2 [s]	41	47,1	41
viskozita Fordův pohárek, čistý olej, měření č.3 [s]	41,2	47	41,2
viskozita Fordův pohárek, čistý olej, průměr [s]	41,23	47	41,23
viskozita Fordův pohárek, znečištěný olej, měření č.1 [s]	36,7	29,7	29,2
viskozita Fordův pohárek, znečištěný olej, měření č.2 [s]	36,6	30,4	30,5
viskozita Fordův pohárek, znečištěný olej, měření č.3 [s]	36,9	30	29,5
viskozita Fordův pohárek, znečištěný olej, průměr [s]	36,73	30,03	29,73
kinematická viskozita, čistý olej - měření č.1 [s]	83,6	108,3	83,6
kinematická viskozita, čistý olej - měření č.2 [s]	83,9	106,4	83,9
kinematická viskozita, čistý olej - měření č.3 [s]	84	106,5	84
kinematická viskozita, čistý olej - průměr [s]	83,83	107,07	83,83
kalibrační viskozimetru K [-]	1,002	1,002	1,002
korekční konstanta B [-]	1,8	1,8	1,8
Kinematická viskozita, čistý olej, při 40°C [mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]	83,98	107,27	83,98
Viskozita měřených vzorků [mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]	74,81	68,54	60,56
Změna viskozity [%]	12,26	56,51	38,67

Zdroj: Vlastní zpracování

## 5 Očekávaný vývoj v mazacích soustavách spalovacích motorů

### 5.1 Nanotechnologie

Nanotechnologie je revoluční inovace při práci s materiály v rozměrech jednotek nanometrů. Spektrum této technologie je širokosáhlé použití vědních oborů metalurgie, elektroniky, zdravotnictví a tribologie. [14]

Nanočásticí je obecně považován pevný útvar o velikosti 1 až 100 nm, to alespoň v jednom třírozměrném prostoru. Její výroba jde metodou up-to-down (obrušováním vznikají amorfní částice) nebo bottom-up (pomocí pyrolýzy). Druhou jmenovanou metodou se vyrábějí nanotrubicice a fullereny. Vývojem a výzkumem se zjistilo, že fullereny existují i na jiném, než na uhlíkovém základě. Jsou to anorganické fullereny, které mají velmi dobré vlastnosti v působení oblasti mazání a tribotechniky. Technologie přispívá k velkému snížení tření použitím sférických nanočásticových struktur. Ty zaplňují nerovnosti na hrubém povrchu kovových součástí tvorbou specifického ultra hladkého mazacího filmu. Oproti nanotrubicím fullereny vytvářejí kulovité útvary viz obr. 8, které vykazují při velkém zatížení daleko lepší vlastnosti než používaná lamelární pevná maziva. Z těchto důvodů se fullereny začínají přidávat do kapalných maziv, suchých mazných laků nebo tuhých maziv. Technologie přispívá k velkému snížení tření použitím sférických nanočásticových struktur, ty zaplňují nerovnosti na hrubém povrchu kovových součástí tvorbou specifického ultra hladkého “tribofilmu”. [14]

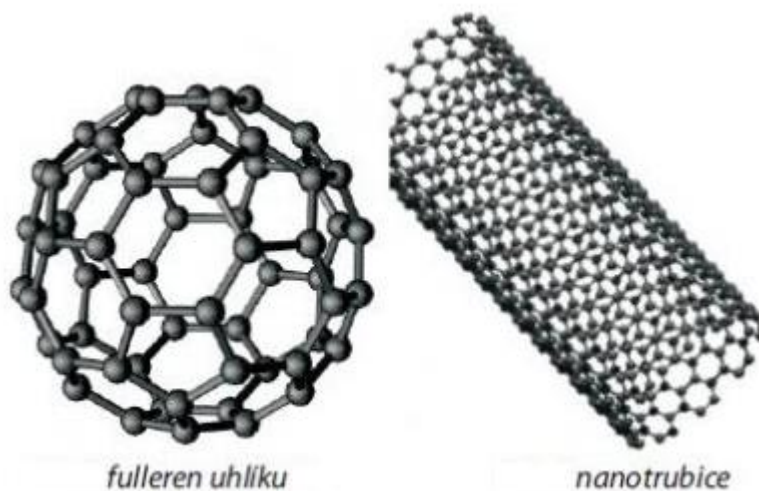
#### 5.1.1 Vlastnosti nových struktur maziv

Fullerenické struktury tuhých maziv mají oproti konvenčním tuhým mazivům výjimečné vlastnosti.

- velká funkční plocha na jednotku hmotnosti, oproti konvenčním tuhým mazivům až desetinásobně;
- vysokou pevnost a tlakovou odolnost, odolnost proti rázům;
- velmi nízký koeficient tření (šetří energii);
- snižují opotřebení (zvláště při vysoké zátěži);
- chemicky stabilní - chrání proti korozi (tribo-film).

V dnešních dnech se na trhu vyskytují syntetické oleje low-friction s nanotechnologií. Nejde však o oleje, které by byli doporučeny automobilkami do běžných vozů, střední nebo vyšší třídy. Jedná se o oleje speciálně určené závodním vozům. Jsou to však dobré začátky, které by mohli vést k použití této technologie do budoucna i pro běžná osobní vozidla nebo alespoň jako doplnění jako vhodné aditivum do motorového oleje. [14]

Obrázek 8 Tvar fullerenu a nanotrubičky



Zdroj: [14]

## 5.2 Kluzné laky

Kluzný lak je povlak zlepšující kluzné vlastnosti dotykových ploch součástí. Tyto plochy pro správnou funkci kluzného laku nemusí být jen kov, ale i jiné materiály. Miniaturní pevné mazací částice organického nebo anorganického pojiva a nejčastěji sulfid molybdeničitý, grafit, teflon nebo syntetická částice tvoří na povrchu pevný mazací film. Z předešlých vyjmenovaných je sulfid molybdeničitý s nejlepšími mazacími vlastnostmi. Jeho vrstvená struktura tvořená soudečkovými krystaly se dokáže zalapovat do povrchu o drsnosti 3,2 až 1,6. Vrstvy se při plošném zatížení zalešťují a tím velmi významně ovlivňují koeficient tření na povrchu ošetřené součásti. Již toto plně postačuje ke správné funkci mazání a není třeba jiného maziva. [15]

### 5.2.1 Pozitivní vlastnosti

- výrazně zlepšují plošné tření, proto se používají nejen pro záběh ale i pro jednorázové a celoživotnostní mazání;
- umožňují přesné a rovnoměrné rozvrstvení v závislosti na drsnosti povrchu materiálu;
- po nanesení jsou nehořlavé, suché a nevážou na sebe prach a nečistoty;
- poskytují okamžitou a plnou účinnost i po dlouhotrvající odstavce;
- nevykazují žádné známky stárnutí, neodpařují se a neoxidují;
- odolávají extrémnímu tlaku, který přesahuje mez kluzu většiny kovů, a proto se také využívají při tváření za studena;
- poskytují nouzové mazání i ten sebelepší tuk nebo pasta se může jednou vymačkat;
- některé typy kluzných laků poskytují velmi dobrou ochranu proti korozi;
- často nahrazují, chromování, zinkování, černění nebo kadmiování;
- u šroubových spojů dovolují opětovné dosažení přesného utahovacího momentu;
- mohou vytěsňovat i vůle, ve výjimečných případech se nanášejí ve více vrstvách nebo se navzájem kombinují;
- snižují hlučnost, především u ozubených převodů;
- poskytují široký teplotní rozsah použití;
- umožňují úsporu v technologickém procesu, mohou nahradit např. broušení povrchu (po aplikaci kluzného laku může dojít ke snížení drsnosti Ra až o jeden stupeň);
- snadná aplikace sprejem;
- jsou vhodné i do prostředí vakua;
- odolávají různým typům záření;
- nemají bod skápnutí;
- nepodléhají změnám vlhkosti.

Hojně využívaný způsob mazání v leteckém průmyslu, kde se takto ošetřují letecké pístové motory. V automobilovém průmyslu se nejedná ještě tak o běžné použití. Kombinací s cirkulačním mazáním by se mohlo zlepšit průtok motorového oleje. Kdyby kluznými laky byly ošetřeny vnitřní povrch válců spalovacího motoru, mohlo by se snížit množství maziva přiváděného pod píst motoru. Snížením množství oleje by docházelo ke kvalitnějšímu spalování benzínu a nevznikaly by úsady na stěnách válců. [15]

### 5.3 Nastávající trendy výroby oleje

Cíle snižování emisí CO<sub>2</sub> je snah státních orgánů, jimž se přizpůsobují výrobci automobilů opatřeními při výrobě motorů, které vedou k nižší specifické spotřebě paliva. S tím ale souvisí nových požadavků pro výrobce olejů a aditiv na takové motorové oleje, které ke snížení spotřeby pohonných hmot mohou významně přispívat [21]

Kromě požadavků na vlastnosti motorových olejů, které umožňují redukci spotřeby pohonných hmot, stanovují výrobci automobilů řadu dalších nároků na motorové oleje tak, aby vyhovovaly moderním konstrukcím motorů.

- oleje s nízkým obsahem síranového popela, fosforu a síry;
- flexibilní, dlouhé intervaly výměny motorových olejů (osobní vozy až do 50 000 km/3 roky, těžká užitková vozidla až do 200 000 km/1 rok, indikace potřeby výměny olejů olejovými senzory);
- požadavky na aditivaci a zároveň zajistí odolnost olejů vůči vyššímu namáhání a dlouhou životnost. To se týká zejména aditiv proti tření a opotřebení;
- požadavky na viskozitní vlastnosti, které pozitivně ovlivňují spotřebu pohonných hmot a tím i emise CO<sub>2</sub>. [21]

Uvedeným trendům mohou jednoznačně vyhovět pouze produkty na syntetickém základě nebo produkty, jejichž základové složky budou vyrobeny novými technologiemi. Motorových olejů na minerálním základě bude stále ubývat. [21]

Složení motorových olejů stále více ovlivňují výrobci motorových vozidel. Lze očekávat postupné zavádění motorových olejů specifických pro jednotlivé automobilky. [21]

## 6 Doporučení a závěr

Pro dnešní moderní vozidla vybavena spalovacím motorem již není problém samotná jízda v běžném provozu. Jsou vybavena dostatkem výkonu a točivým momentem a jejich limity jsou spjata s oblastí ekonomiky a ekologii provozu. Pro dnešní a budoucí dobu je trendem snižování a neustálé zpřísňování emisních limitů. To znamená optimalizace spalovacích motorů, kvalita spalování pohonných hmot a stejně hodnotnou mírou snižování odporů mechanických dílů v motoru a dalších pohonných částech mechanického ústrojí vozidla.

Intervaly výměny olejové náplně, které mnohdy s několika desítkami tisíc najetých kilometrů stále připomínají, že pracovní vlastnosti oleje jsou omezené. Podle naměřených hodnot, které jsou v tabulce 2 a 3 je možné si udělat obrázek, jak se mění vlastnosti oleje při provozu vozidel. Kde v případě vozu Seat Ibiza se viskozita změnila o 56,51% a bod vzplanutí snížil o 53°C. Je zde možné předpokládat netěsnost ve spalovacím prostoru a znehodnocování olejové náplně palivem. S ohledem na stáří vozidla, které je s datem této práce 19let se jeví jako tento předpoklad pravděpodobný. Pro toto vozidlo je na místě doporučit kratší interval výměny olejové náplně nebo oprava/výměna dílčích dílů motoru.

Z hodnot v tabulce 2, jsou uvedené hodnoty kovových otěrových částic, jsou viditelné závislosti množství nečistot na objemu motoru vozidla a pracovním prostředím. Hladina opotřebení na osobním voze je  $WPC = 35$ , motocyklu  $WPC = 7,7$  a pracovním stroji Caterpillar  $WPC = 118,6$ .

Na monogramu opotřebení obr. 7, je znatelné, jak se liší teorie s praxí. U všech vozidel byla vyměněna olejová náplň vždy v intervalu, který stanovil výrobce. Nutno dodat, že všechna vozidla vlastní seriózní majitelé, kteří se o svá vozidla s rozmyslem starají a stejně tak řídí. Na základě monogramu a ostatních dat z tabulky 2 a 3 je u všech vozidel doporučeno zkrácení intervalu výměny olejové náplně.

## Seznam použité literatury

### Literatura:

- [1] Hromádko J., Hromádko J., Hönig V., Miler P., *Spalovací motory*, Grada Publishing a.s. 2011, 1. vydání, ISBN 978-80-247-3475-0
- [2] Mackerle J, *Motory závodních automobilů*, SNTL-nakladatelství technické literatury 1980, 1. vydání, typové označení L13-B3-IV-31/22645
- [3] Vlk F., *Paliva a maziva motorových vozidel*, Prof. Ing. František Vlk, DrSc. 2006, 1. vydání, ISBN 80-239-6461-5
- [4] Polák M. *Energetické stroje a zařízení*, podklady přednášek, 2013
- [5] Kovařík L, Ferencey V., Skalský R., Částek L., *Konstrukce vozidlových spalovacích motorů*, Naše vojsko 1992, 1.vydání, ISBN 80-206-0131-7
- [6] Vlk F., *Automobilová technická příručka*, Prof. Ing. František Vlk DrSc. 2006, 1. vydání, ISBN 80-238-9681-4
- [7] Hönig V., *Cvičení z paliv a maziv*, Česká zemědělská univerzita v Praze 2013, 1. vydání, ISBN 978-8-213-2384-1

### Internet:

- [8] Matějovský V., *Mazání dvoudobých motorů a olej M 2 T*, (15. 3. 2015)  
Dostupné < <http://www.trabant.cz/clanky/technika/sm-14-74-mazani-dvoudobych-motoru-a-olej-m2t> >
- [9] Plšek P., *Pístové stroje*, studijní texty (1. 3. 2015)  
Dostupné < [http://web.spssbrno.cz/web/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY\\_32\\_INOVACE\\_08-11.pdf](http://web.spssbrno.cz/web/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY_32_INOVACE_08-11.pdf) >
- [10] Hönig V. *Paliva a maziva*, studijní texty (9. 9. 2014)  
Dostupné < <http://oppa-smad.tf.czu.cz/?q=pm>>
- [11] Blažek J., Rábl V., *Základy zpracování a využití ropy*, studijní texty  
Dostupné < [http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_isbn-80-7080-619-2/pages-img/obsah.html](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-619-2/pages-img/obsah.html) >
- [12] Anonym, *Viskozita automobilových olejů*, (10. 1. 2014)  
Dostupné < <http://www.oleje.cz/clanek/Viskozita-automobilovych-motorovych-oleju> >
- [13] cinol.cz, (1 .2. 2014)  
Dostupné < [http://www.cinol.cz/userfiles/file/Informace\\_rady\\_tipy/OLEJE\\_specifikace.pdf](http://www.cinol.cz/userfiles/file/Informace_rady_tipy/OLEJE_specifikace.pdf)>



- [14] Tresner L., *Použití nových nanomateriálů v tribotechnice*, (1. 3. 2015)  
Dostupné < <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-32011/pouziti-novych-nanomaterialu-v-tribotechnice.html> >
- [15] Maršík D., *Princip kluzných laků a jejich využití v praxi*, Tribotechnické informace 2013/1  
Dostupné < <http://www.tribotechnika.cz/images/casopis/tribo1-tm1-112012.pdf> >
- [16] Anonym, (10. 1. 2014)  
Dostupné < <http://solidworks.caxmix.cz/klikovy-mechanismus-klikova-hridel/> >
- [17] Anonym, *Aditiva do maziv*, (10. 1. 2015)  
Dostupné < <http://www.oleje.cz/obsah/Aditiva> >
- [18] Anonym, *Výkonnostní třídy automobilových motorových olejů*, (10. 1. 2015)  
Dostupné < <http://www.oleje.cz/clanek/Vykonnostni-tridy-automobilovych-motorovych-oleju> >
- [19] Hromádka J., *Spalovací motory*, studijní texty (9. 9. 2014)  
Dostupné < <http://oppa-smad.tf.czu.cz/?q=sm> >
- [20] Herák D., Sedláček A., *Části strojů*, studijní texty, 2013  
Dostupné < <https://student.czu.cz/index.php> >
- [21] Kozár P., *Budoucnost trhu motorových olejů*, (2. 3. 2015)  
Dostupné < <http://old.cappo.cz/> >

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Viskozitní třídy motorových olejů SAE v závislosti na teplotě prostředí.....	7
Obrázek 2 Práce dvoudobého spalovacího motoru .....	14
Obrázek 3 Tlakové oběhové mazání s mokrou klikovou skříní .....	20
Obrázek 4 Vrtání v klikové hřídeli .....	21
Obrázek 5 Zubové čerpadlo.....	22
Obrázek 6 Rotační čerpadlo.....	22
Obrázek 7 Monogram opotřebení .....	32
Obrázek 8 Tvar fullerenu a nanotrubičky .....	36

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Závislost viskozity na tlaku .....	13
Tabulka 2 Naměřené hodnoty I. ....	33
Tabulka 3 Naměřené hodnoty II. ....	34

## Seznam použitých zkratk a symbolů

ACEA	[-]	Association des Constructeurs Européens d'Automobiles, Asociace evropských konstruktérů vozidel
API	[-]	American Petroleum Institut, Americký petrochemický institut
B	[-]	Korekční konstanta viskozimetru
C	[-]	Uhlík
CCMC	[-]	Sdružení evropských konstruktérů vozidel
CN	[%]	Světelná propustnost olejového vzorku
D <sub>L</sub>	[-]	Velká (large) otěrová částice kovového charakteru
D <sub>LN</sub>	[%]	Procentuální zastoupení D <sub>L</sub> v měřeném vzorku
D <sub>S</sub>	[-]	Malá (small) otěrová částice kovového charakteru
D <sub>SN</sub>	[%]	Procentuální zastoupení D <sub>S</sub> v měřeném vzorku
K	[-]	Kalibrační konstanta viskozimetru
MIL-L	[-]	Norma americké armády pro výkonnostní klasifikaci
PLP	[%]	Režim opotřebení oleje
PMA	[-]	Kapilární magnetický analyzátor částic v kapalinách
R	[-]	Rozsah měření
Ra	[μm]	Drsnost povrchu
SAE	[-]	Society of Automotive Engineers, Společnost automobilových inženýrů USA
SI	[-]	Le Système International d'Unités mezinárodně soustava jednotek fyzikálních veličin
t	[s]	Aritmetický průměr naměřených časů 1-3
t <sub>1</sub>	[s]	Hodnota naměřeného času 1. měření
t <sub>2</sub>	[s]	Hodnota naměřeného času 2. měření
t <sub>3</sub>	[s]	Hodnota naměřeného času 3. měření
V	[ml]	Množství vzorku pro analýzu
VI	[-]	Viskozitní index
WPC	[-]	Hladina opotřebení oleje
η	[kg.m <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> ]	Dynamická viskozita
ν	[mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]	Kinematická viskozita