



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## TESTOVÁNÍ MOTOROVÝCH OLEJŮ

TESTING OF MOTOR OILS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

MARTIN ČTVERÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ MARŠÁLEK

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2011/12

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Martin Čtveráček

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Testování motorových olejů**

v anglickém jazyce:

### **Testing of motor oils**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vytvořit přehled a popis v současnosti dostupných metod testování olejů spalovacích motorů.

Cíle bakalářské práce:

- Úvodní vpravení do problematiky
- Mechanismy opotřebení spalovacího motoru
- Tribotechnická diagnostika
- Defektoskopické metody diagnostiky
- Intervaly výměny olejů
- Závěr

Seznam odborné literatury:

- [1] STRAKA, Bedřich. Motorové oleje a tribotechnická diagnostika naftových motorů. 1. vyd. Praha : Nakladatelství dopravy a strojů, 1986. 247 s.
- [2] Tribotechnika v teorii a praxi III. Tribotechnics in theory and practice III : VIII. International conference 21.-24.4. 1997 Skalský Dvůr. 1. vyd. Praha : Sekurkon, 1997. 68 s.
- [3] BOHÁČEK, František; DVOŘÁK, Karel. Části a mechanismy strojů II : Hřídele, tribologie, ložiska. 3. vyd. Brno : PC DIR, 1996. 215 s. ISBN 80-214-0829-4.
- [4] MAREK, Vladislav; NOVÁČEK, Vladimír. Tribotechnická diagnostika. Praha : Dům techniky ČSVTS, 1986. 1 nestránkovaný sv. s. ISBN X2-0912.051.
- [5] JETMAR, J. STODOLA, J. Tribologie a její aplikace v technické diagnostice automobilů. Skripta VA Brno. S-2067, 1991.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ondřej Maršálek

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 19.11.2011

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.  
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan



## ABSTRAKT

V této bakalářské práci je uveden přehled a popis testování olejů spalovacích motorů. V první kapitole se tato práce věnuje druhům opotřebení a jejich výskytu ve spalovacích motorech. Dále jsou zde rozebrány metody testování motorových olejů pomocí zkoušek tribotechnické diagnostiky. Následuje kapitola seznamující čtenáře s určováním stavu součástí pomocí defektoskopických metod. Poslední část této práce se věnuje intervalům výměn olejů.

## KLÍČOVÁ SLOVA

opotřebení, tribotechnická diagnostika, motorový olej, testování olejů, defektoskopické metody

## ABSTRACT

Summary and specification of testing combustion engines motor oils are mentioned in this bachelor's thesis. First chapter describes types of wear and its incidence in combustion engines. The main topic of this thesis is methods of testing motor oils by means of tribotechnical diagnostic tests. Next chapter is about defectoscopic methods and describes its use. The last part of this thesis deals with periods of oil change.

## KEYWORDS

wear, tribotechnical diagnostics, motor oil, testing of oils, defectoscopic methods



## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČTVERÁČEK, M. *Testování motorových olejů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 39 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ondřej Maršálek.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Ondřeje Maršálka a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 18. května 2012

.....

Martin Čtveráček



## PODĚKOVÁNÍ

Za cenné připomínky a rady při tvorbě bakalářské práce tímto děkuji vedoucímu práce panu Ing. Ondřeji Maršálkovi. Rovněž bych zde rád poděkoval své rodině za neocenitelnou podporu při studiu na vysoké škole.



## OBSAH

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| Úvod .....                                                      | 10 |
| 1 Mechanismy opotřebení spalovacího motoru .....                | 11 |
| 1.1 Základní druhy opotřebení .....                             | 11 |
| 1.1.1 Adhezivní opotřebení .....                                | 12 |
| 1.1.2 Abrazivní opotřebení .....                                | 12 |
| 1.1.3 Erozivní opotřebení .....                                 | 12 |
| 1.1.4 Kavitační opotřebení.....                                 | 13 |
| 1.1.5 Únavové opotřebení.....                                   | 13 |
| 1.1.6 Vibrační opotřebení .....                                 | 13 |
| 1.1.7 Korozivní opotřebení.....                                 | 13 |
| 1.2 Výskyt opotřebení ve spalovacích motorech .....             | 14 |
| 1.2.1 Ventilový rozvod .....                                    | 14 |
| 1.2.2 Kliková hřídel.....                                       | 15 |
| 1.2.3 Pístní skupina.....                                       | 15 |
| 2 Tribotechnická diagnostika.....                               | 16 |
| 2.1 Odběr vzorku oleje.....                                     | 17 |
| 2.2 Jednoduché provozní metody tribotechnické diagnostiky ..... | 18 |
| 2.2.1 Kinematická viskozita .....                               | 18 |
| 2.2.2 Bod vzplanutí.....                                        | 20 |
| 2.2.3 Obsah vody .....                                          | 21 |
| 2.2.4 Kapková zkouška.....                                      | 21 |
| 2.3 Standartní zkoušky tribotechnické diagnostiky .....         | 23 |
| 2.3.1 Číslo alkality (TBN) a kyselosti (TAN) .....              | 23 |
| 2.3.2 Karbonizační zbytek .....                                 | 23 |
| 2.3.3 Celkové znečištění.....                                   | 24 |
| 2.3.4 Obsah látek nerozpustných v heo .....                     | 25 |
| 2.3.5 Metoda RAMO .....                                         | 26 |
| 2.4 Speciální metody tribotechnické diagnostiky .....           | 27 |
| 2.4.1 Atomová absorpční spektrofotometrie (AAS).....            | 28 |
| 2.4.2 Atomová emisní spektrofotometrie (AES) .....              | 28 |
| 2.4.3 Ferografie.....                                           | 28 |
| 2.4.4 Spektrální analýza.....                                   | 29 |
| 2.4.5 Polarografie .....                                        | 30 |
| 2.4.6 Rentgenová fluorescenční analýza .....                    | 31 |
| 2.4.7 Sledování opotřebení pomocí radionuklidů.....             | 31 |



|     |                                                       |    |
|-----|-------------------------------------------------------|----|
| 3   | Defektoskopické metody diagnostiky .....              | 32 |
| 3.1 | Metody detekující povrchové a podpovrchové vady ..... | 32 |
| 3.2 | Metody zjišťující vnitřní vady .....                  | 32 |
| 4   | Intervaly výměny olejů .....                          | 33 |
|     | Závěr .....                                           | 35 |
|     | Seznam použitých zkratk a symbolů .....               | 38 |
|     | Seznam příloh .....                                   | 39 |

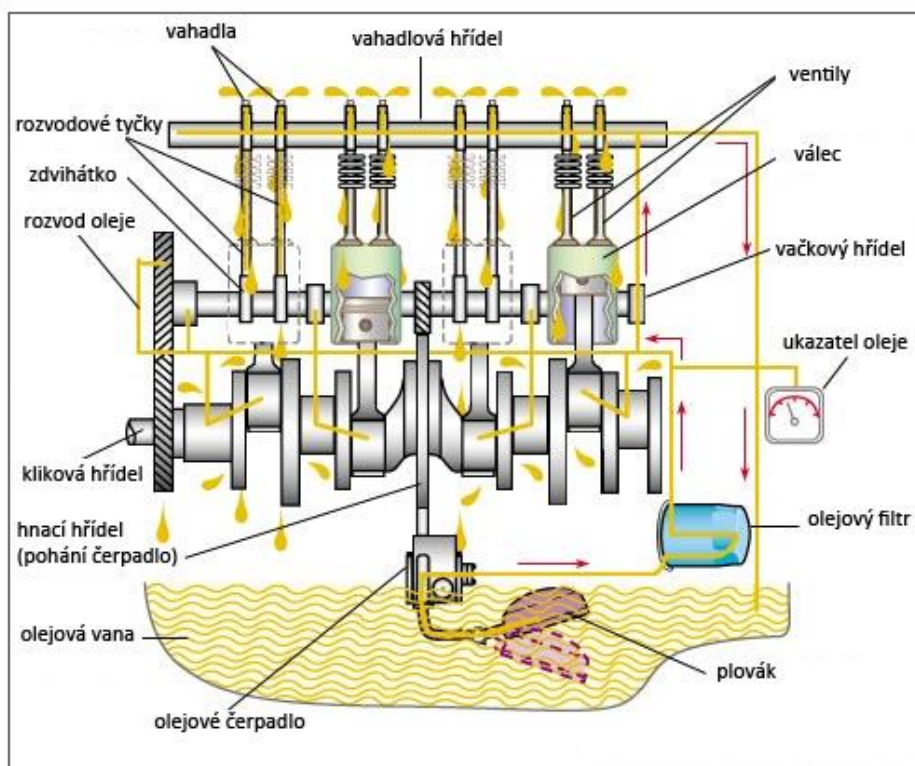


## ÚVOD

V dnešní vyspělé době je používáno spalovacích motorů především v každém transportním odvětví, jako je lodní, vlaková, automobilní a letecká doprava. Během života se každý člověk denně setkává se spalovacími motory a jejich nedílnou součástí je motorový olej, který slouží jako mazivo mezi jeho mechanickými částmi. Je důležité, aby při provozu spalovacího motoru byl motorový olej v dobrém stavu. Je-li ve špatném stavu, zvyšuje se opotřebení spalovacího motoru a dochází ke snížení jeho životnosti. K ověřování stavu motorového oleje existují různé zkoušky, kterými se tato práce zabývá.

Nejprve je však potřeba se seznámit se základními druhy opotřebení a jejich výskytu ve spalovacích motorech, čemuž se věnuje první kapitola této práce. Následně v druhé kapitole je výčet a popis zkoušek motorových olejů, jimiž se zabývá tribotechnická diagnostika, což je stěžejní téma této práce. K posouzení opotřebení a stavu mechanických částí spalovacího motoru se využívají nedestruktivní metody zvané defektoskopické, jimž se věnuje kapitola třetí. Poslední čtvrtá kapitola je věnována intervalům výměn olejů, v níž je ukázán praktický dopad správného využití motorových olejů.

*Obrázek 1 Schéma mazání benzinového spalovacího motoru[24]*



# 1 MECHANISMY OPOTŘEBENÍ SPALOVACÍHO MOTORU

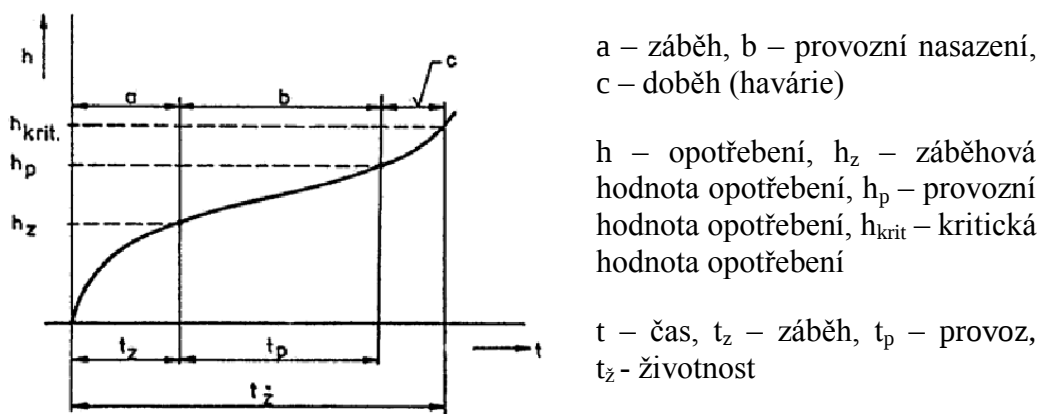
Opotřebení je dáno nežádoucí změnou povrchu nebo rozměru tuhých těles, způsobenou vzájemným působením funkčních povrchů nebo funkčního povrchu a média, které opotřebení vyvolá při jejich vzájemném pohybu. Jinak řečeno, je to úbytek materiálu z povrchů při jejich vzájemném pohybu nebo při pohybu média. [1],[5]

V následující podkapitole budou uvedeny základní druhy a mechanismy opotřebení a v další podkapitole pak bude popsán nejčastější výskyt opotřebení ve spalovacích motorech a jeho částech. Tyto znalosti jsou potřebné k určování tendence a velikosti opotřebení jednotlivých částí motoru pomocí některých zkoušek tribotechnické diagnostiky. Podle druhu opotřebení je dán následný tvar otěrové částice a podle materiálu je posouzeno, ze které součásti pochází.

Chceme-li posoudit opotřebení, je nutné zahrnout následující dominantní faktory [1]:

- Druh, povrch a vlastnosti tuhých těles,
- vlastnosti média mezi styčnými povrchy (oleje),
- vzájemný relativní pohyb (směr, rychlost),
- zatížení (velikost působících sil a jejich proměnnost v čase),
- množství a vlastnosti dalších částic, přítomných v mazivu.

Obrázek 2 ukazuje velikost opotřebení v závislosti na čase v různých fázích technického života.

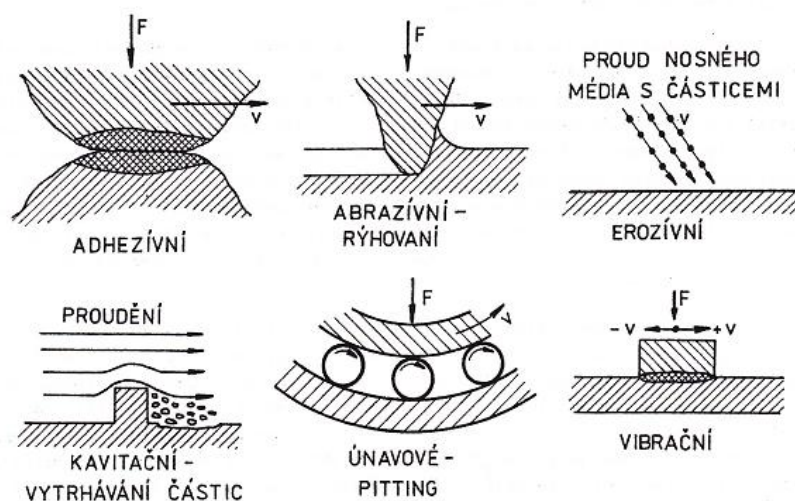


Obrázek 2 Časový průběh opotřebení [5]

## 1.1 ZÁKLADNÍ DRUHY OPOTŘEBENÍ

V současnosti se opotřebení dělí na šest základních druhů a v této práci k nim bude přiřazeno také opotřebení korozivní, protože například při delší odstávce motoru může nastat a znatelně ovlivnit chod motoru. V praxi se ovšem setkáváme s různou kombinací těchto opotřebení a jejich variant.[1],[3]

Na další stránce na obrázku Obrázek 3 je schematicky nakresleno a popsáno všech šest základních druhů opotřebení.



Obrázek 3 Základní druhy opotřebení [3]

### 1.1.1 ADHEZIVNÍ OPOTŘEBENÍ

Povrch částí tuhých těles, které jsou vzájemně ve styku, je závislý na technologii opracování a není nikdy dokonale hladký. Tudíž nedochází ke styku celých ploch, ale velkému počtu dotykových plošek, kde se tvoří mikrospoje. Dochází k jejich oddělování nebo přemísťování a tím ke vzniku adhezivního opotřebení.[1],[3],[5]

V praxi se můžeme setkat s mírným, až vysokým adhezivním opotřebením – zadíráním. Mazivem (olejem) můžeme částečně oddělit stykové plochy a tím zmenšit velikost a počet stykových ploch – mezní mazání.[1]

### 1.1.2 ABRAZIVNÍ OPOTŘEBENÍ

Projevuje se rýhováním povrchu a vzniká oddělováním částic z měkčího povrchu působením druhého tvrdšího a drsnějšího povrchu, nebo působením abrazivních částic.[1]

Například u lžíce bagru nastává abrazivní opotřebení vlivem tvrdých částí (kamenů) na funkčním povrchu stroje. Více zajímavé je ale opotřebení povrchů funkčních částí motoru přítomností mechanických nečistot v mazivu.[1]

### 1.1.3 EROZIVNÍ OPOTŘEBENÍ

Je způsobeno částicemi nesenými proudem kapaliny, plynu, páry nebo kapek. Částice dopadají na povrch tělesa a poškozují ho, zpravidla nerovnoměrně v závislosti na proudění nosného média. Nejčastěji se toto opotřebení projevuje zvlněním povrchu.[1],[3],[5]

Nejběžnějším nosným médiem jsou kapky deště. Nejčastěji je možné se s tímto opotřebením setkat u částí vodních, plynových a parních turbín, čerpadel a potrubí.[1]



#### 1.1.4 KAVITAČNÍ OPOTŘEBENÍ

V kapalině se vyskytují kavitační bubliny, které zanikají a při tom vyvolávají v kapalině rázy, které způsobují oddělování částic a poškozování povrchu součástí. Vznik kavitačních bublin je dán snížením tlaku vlivem rozdílných podmínek proudění kapaliny, na tlak nenasycených par za dané teploty. Projevuje se zmatněním materiálu a vznikem povrchových a podpovrchových trhlinek.[1],[3],[5]

V praxi se vykytuje u kluzných ložisek, v hydraulických systémech a na vnějších plochách vložek válců u spalovacích motorů.[1]

#### 1.1.5 ÚNAVOVÉ OPOTŘEBENÍ

Vlivem opakujícího se časově proměnného namáhání povrchové vrstvy materiálu vznikají zárodky a posléze trhliny, které se šíří a spojují, až dochází k uvolňování materiálu a k tzv. d'olíčkům. Časem dochází k únavovému lomu. U součástí z málo plastického (nehouževnatého) materiálu může dojít vlivem velkého smykového napětí ke křehkému lomu. U obou případů se většinou jedná o náhlý a havarijní stav stroje.[1],[3],[5]

Je možno se s ním setkat například u valivých ložisek, ozubených kol nebo zdvihátek ventilů.[1]

#### 1.1.6 VIBRAČNÍ OPOTŘEBENÍ

Dochází k němu u různých pohyblivých uložení (čepy, hřídele, valivá ložiska), do nich se přenášejí kmity. Projevuje se zabarvením opotřebovaného povrchu oxidy železa. Je způsobeno vzájemnými kmitavými tečnými pohyby funkčních povrchů při normálním zatížení. Pohyby jsou velmi malé a uvolněné částice většinou zůstávají v místě vibračního opotřebení.[1],[3],[5]

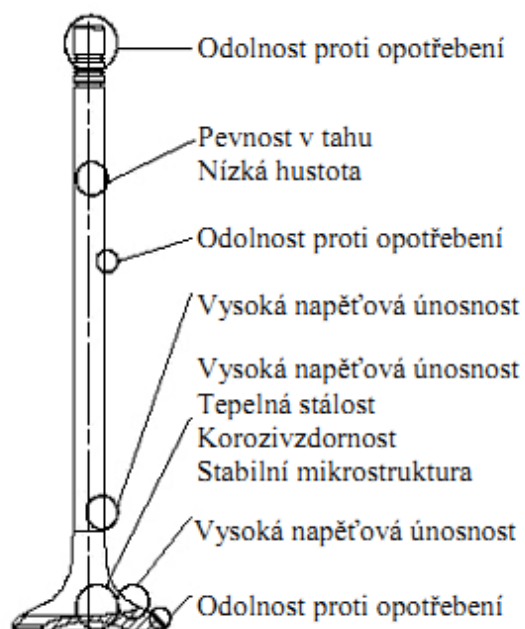
#### 1.1.7 KOROZIVNÍ OPOTŘEBENÍ

Vyskytuje se v aktivním prostředí při vniknutí kyslíku z okolí nebo při stárnutí maziva. Je způsobeno průběhem chemických reakcí na povrchu tělesa. Vyskytuje se například na povrchu válců u spalovacích motorů.[6],[5]



## 1.2 VÝSKYT OPOTŘEBENÍ VE SPALOVACÍCH MOTORECH

Opotřebení ve spalovacích motorech se vyskytuje na všech jeho částech, avšak nejvíce na styku povrchu čepů klikového hřídele s ojnicními ložisky, ve ventilových rozvodech a v soustavě okolo samotného pístu. Samotné opotřebení velmi souvisí s třením, a proto nejvíce náročná a mechanicky opotřebovávaná část motoru je právě pístní soustava.

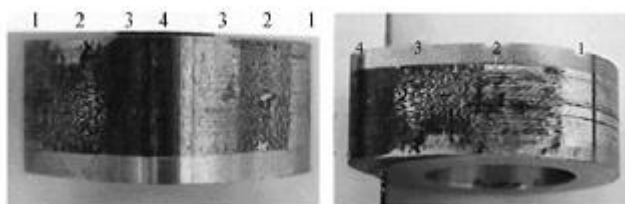


Obrázek 4 Konstrukční požadavky na ventil [7]

### 1.2.1 VENTILOVÝ ROZVOD

Ventilový rozvod je velmi náchylný na opotřebení. Hlavně výfukové ventily, protože pracují za vysokého tlaku a teploty okolo 800°C. Dochází u nich k velkému dynamickému zatížení, teplotnímu spádu po délce ventilu a jsou také vystaveny abrazivním a korozivním účinkům výfukových plynů. Na obrázku 4 jsou uvedena kritéria pro konstrukci ventilů. U některých motorů se využívá chlazení ventilů pomocí sodíku, který se vstříkne do sedla a dřívku ventilu, a tím zlepšuje odvod tepla a celkové chlazení ventilu a to cca. o 15 %. [6],[7]

U vačkové hřídele dochází k minimálnímu opotřebení v jejím uložení díky vyspělé technologii výroby ložisek. Budeme se tedy zabývat samotnou vačkou, kde je poškození nejviditelnější. Zde dochází především k adhezivnímu opotřebení ve styku vačky s ventilem. Na obrázku 5 je zobrazeno opotřebení vačky, vzniklé nedostatečným mazáním.[6],[7]



Obrázek 5 Opotřebení vačky bez použití mazání [7]



Dále se ventilový rozvod skládá ještě z mnoha dalších částí, jako jsou například ventilové pružiny, vahadla, zdvihátka a zvedací tyčky rozvodového ústrojí, atd. To závisí na typu ventilového rozvodu a jeho konstrukci, o níž se blíže dozvíme v literatuře [6]. Zde však nejsou opotřebení tak velká a podstatná, aby byly blíže vysvětleny v této práci.

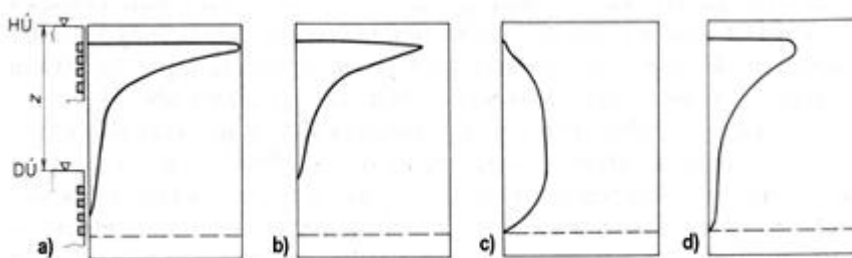
### 1.2.2 KLIKOVÁ HŘÍDEL

Kliková hřídel není tolik namáhaná na kontaktní opotřebení jako hřídel vačková (nedochází k vzájemnému pohybu ploch součástí vůči sobě, pouze v ložiskách), je tedy snahou zabezpečit co největší únavovou životnost. Ovšem čepy ložisek jsou také opotřebovávány. Velkou úlohu zde hraje správné vyvážení a přesné uložení hřídele, vzhledem k působení všech setrvačných sil a přenášených tlaků od pístů, které v něm vyvolávají pružné kmity. Snažíme se tedy zabránit vzniku vibračního opotřebení i jeho zdroje.[6],[7]

### 1.2.3 PÍSTNÍ SKUPINA

Jedná se o nejnáročnější oblast spalovacích motorů z hlediska zatížení a opotřebení. Mezi základní části pístní skupiny patří píst, pístní čep, pístní kroužky a stěna válce. Největší opotřebení nastává mezi pístním kroužkem a stěnou válce. Mění se zde teplota, tlak a mazací podmínky, proto se od pístních čepů očekává vysoká únavová životnost a od pístních kroužků teplená stálost. Nesmí se opomenout ani ojnice, u níž je kladen důraz na velkou únavovou životnost.[6],[7]

Na obrázku 6 bude ukázáno opotřebení stěny válce spalovacího motoru, kde 5a značí výsledný průběh opotřebení pracovní plochy válce motoru. Opotřebení válce se skládá hlavně z 5b – korozivního opotřebení (provoz studeného motoru), 5c – erozivního opotřebení a 5d – abrazivního opotřebení.[6]



Obrázek 6 Opatření válce motoru [6]

Opotřebení pístní skupiny je velmi závislé na použitém motorovém oleji, na tloušťce mazacího filmu, na filtraci částic přítomných v mazivu a dalších. Opotřebení se snižuje vhodnými povrchovými úpravami a výstelkami. Dále se bude tato práce zabývat motorovými oleji, jelikož mají velký podíl na snížení tření a opotřebení v motoru.[7]



## 2 TRIBOTECHNICKÁ DIAGNOSTIKA

Tribotechnická diagnostika (TTD) patří do skupiny bezdemontážních technických diagnostik. Využívá maziva jako prostředku k získání informací o dějích a mechanických změnách v technických systémech. Vhodným vyhodnocením získaných údajů může být nejen předcházeno poruchám, nýbrž je umožněno i sledovat funkčnost stroje. [4]

V případě spalovacího motoru je využíván motorový olej jako zdroj informací o průběhu opotřebení jednotlivých mechanických částí, jež jsou uvedeny v předchozí kapitole. K celkovému objektivnímu posouzení stavu spalovacího motoru je důležité sledovat nejen množství cizích částic v oleji, ale i samotnou degradaci oleje v průběhu jeho používání, jelikož i mírně degradovaný olej negativně ovlivňuje intenzitu opotřebovávání součástí. [5]

Význam TTD je tedy nejen ekonomický, ale i ekologický. Předcházením poruch jednotlivých částí je možno je zavčas vyměnit za jiné a nedochází k celkové poruše spalovacího motoru. Sníží se tedy počet velkých nebo generálních oprav, čímž dojde ke snížení nákladů – ušetření peněz. Zároveň se zvyšuje provozní spolehlivost a celková životnost motoru. Dochází i ke značné úspoře energie, pohonných hmot a maziv. [4],[10]

Tabulka 1 Schéma činnosti tribotechnické diagnostiky [1]

|                                                           |                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Předmět diagnostikování                                   | Motorový olej                                                                                                                       | Spalovací motor                                                                                                                                                                                                                                   |
| Diagnostický parametr                                     | Užitné vlastnosti motorového oleje                                                                                                  | Opotřebení součástí spalovacího motoru                                                                                                                                                                                                            |
| Pracovní postup při komplexní tribo-technické diagnostice | Systematický odběr vzorků použitého motorového oleje a úsad z čističe oleje.                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                                                           | Analýza vzorků oleje a úsad                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                                                           | Interpretace výsledků rozborů (tribotechnický význam rozborů a jejich využití).                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                                                           | Degradace oleje v motoru:                                                                                                           | Opotřebení spalovacího motoru:                                                                                                                                                                                                                    |
|                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Změny analytických hodnot oleje.</li> <li>- Intenzita degradace oleje v motoru.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Změna koncentrace otěrových částic.</li> <li>- Intenzita opotřebení motoru.</li> <li>- Rozdělení otěrových kovů v motoru.</li> <li>- Výsledek částicové analýzy a zjištění trendu opotřebení.</li> </ul> |
|                                                           | Přímé zabezpečení realizace tribotechnického diagnostického verdiktu.                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                                                           | Pokyn k provedení technické diagnostiky, případně odstavení či opravy stroje.                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                   |



Pro vyhodnocení degradace oleje a opotřebení motorových součástí se provádí různé zkoušky a metody, které jsou dále v této práci rozděleny do tří kategorií podle složitosti a účelu na jednoduché, standardní a speciální zkoušky. Přičemž jednoduché a standardní zkoušky se zabývají zkoumáním parametrů určujících degradaci oleje a speciální zkoušky mají za úkol zjistit množství, tvar a velikost cizích částic v oleji. Pomocí nich se dále určuje míra opotřebení součástí spalovacího motoru. Lze se ale setkat i s rozdělením zkoušek podle jejich podstaty a fyzikálních principů, například v literatuře [8].

Vyhodnocování jednotlivých zkoušek se provádí podle předem daných mezních parametrů, které jsou určované ze zkušeností tribotechnika nebo jsou dané od výrobce olejů či motorů. Mohou se u různých typů olejů a motorů lišit. Pro představu bude v následující tabulce uveden výčet mezních hodnot pro oleje do spalovacích motorů. [10]

Tabulka 2 Mezní hodnoty měřených parametrů u spalovacích motorů [10]

|                                  | Benzinové motory           | Naftové motory                                                              |
|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Viskozita - zvýšení<br>- snížení | max. o 20 %<br>max. o 15 % | max. 25 %<br>max. 20 %                                                      |
| Obsah paliva                     | max. 5 %                   | max. 5 % menší motory<br>max. 7 % velké motory                              |
| Bod vzplanutí                    | min. 140 <sup>o</sup> C    | min. 200 <sup>o</sup> C menší motory<br>min 170 <sup>o</sup> C velké motory |
| Karbonizační zbytek ( CCS )      | max. 4 % hm.               | max. 4% hm.                                                                 |
| Látky nerozp. V HEO              | max. 1,5 % hm.             | max. 2,5 % hm.                                                              |
| Obsah vody                       | max. 0,2 % hm.             | max. 0,2 % hm.                                                              |
| Obsah glykolu                    | negativní                  | negativní                                                                   |
| TBN                              | min. 3 mg KOH/g            | min. 2,5 mg KOH/g                                                           |
| Kapková zkouška                  |                            |                                                                             |

|                  |    |                         |              |
|------------------|----|-------------------------|--------------|
| Zbytkové prvky : | Fe | max. 100 ppm            | max. 100 ppm |
|                  | Al | max. 40 ppm             | max. 40 ppm  |
|                  | Cu | max. 40 ppm             | max. 40 ppm  |
|                  | Pb | max. 40 ppm             | max. 40 ppm  |
|                  |    | ( pro bezolov. benzin ) |              |
|                  | Si | max. 20 ppm             | max. 20 ppm  |

## 2.1 ODBĚR VZORKU OLEJE

Nejdůležitější úkol tribotechnické diagnostiky je správný a pravidelný odběr vzorku oleje, protože vzorek musí být reprezentativní pro celou olejovou soustavu a má zásadní vliv na výsledky analýz oleje. Proto je nutné dodržovat určité zásady a postupy odběru vzorku oleje, které jsou uvedeny v normách ČSN z nich nejpřesnější je ČSN 65 6207, u které se jedná převážně o odběry hydraulických kapalin. Pro případ odběru vzorků u spalovacích motorů budou uvedeny pouze některé nejdůležitější informace. [5]

Při odebírání vzorku oleje je důležité, aby zařízení (motor) byl minimálně 20 minut v provozu a byl tím zahřát na provozní teplotu. Poté se odpustí cca. 0,5 l oleje, aby bylo docíleno průplachu výpustních částí motoru a odměří se do vzorkovnice 200 až 250 ml oleje. Zbýlý olej se vrátí zpět do oběhu. Odebraný vzorek se srozumitelně popíše, přičemž se odebírá vždy stejným způsobem ze stejného místa v intervalu stanoveným tribologem. [5]



## 2.2 JEDNODUCHÉ PROVOZNÍ METODY TRIBOTECHNICKÉ DIAGNOSTIKY

Mezi jednoduché provozní metody tribotechnické diagnostiky jsou v této práci zařazeny takové zkoušky, které je možno provádět mimo laboratoře a nejsou náročné na drahou a speciální techniku.

Cílem je získat základní informace o stavu oleje a poté se rozhodnout pro použití dalších složitějších zkoušek, nebo případně vyměnit olej za nový. Zkušený technik dokáže základní stav oleje vizuálně posoudit podle barvy, přítomnosti volné či vázané vody, viditelných mechanických nečistot a zápachu. Zároveň je důležité, aby tyto zkoušky mohl provést i méně zkušený personál než je tribolog a to v podmínkách jako je servisní autodílna, k čemuž slouží různé tribotechnické soupravy jako je souprava vyobrazená na obrázku 7. [10]



Obrázek 7 Tribotechnická souprava [16]

### 2.2.1 KINEMATICKÁ VISKOZITA

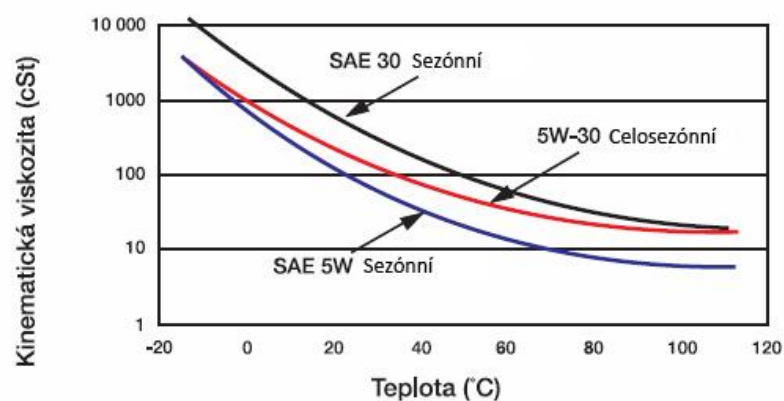
Kinematická viskozita je jedním ze základních ukazatelů při hodnocení vlastností olejů a slouží k výběru a třídění olejů (například viskozitní klasifikace SAE). Definice kinematické viskozity je [1],[4]:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad [\text{m}^2/\text{s}], \text{ často také v } [\text{mm}^2/\text{s}], \quad (1)$$

kde  $\mu$  je dynamická viskozita<sup>1</sup> v Pa.s nebo Kg/m.s,  
 $\rho$  je hustota kapaliny v Kg/m<sup>3</sup>.

Viskozita během exploatace (použití oleje v provozu) buď roste, nebo klesá. Její běžná závislost na teplotě je zobrazena na další straně na obr. 8 pro tři různé typy olejů. Při bezporuchovém provozu viskozita v motoru roste zahušťováním oleje nečistotami a oxidačními produkty. Klesá například proniknutím paliva nebo jiných zředujících látek do olejové soustavy.

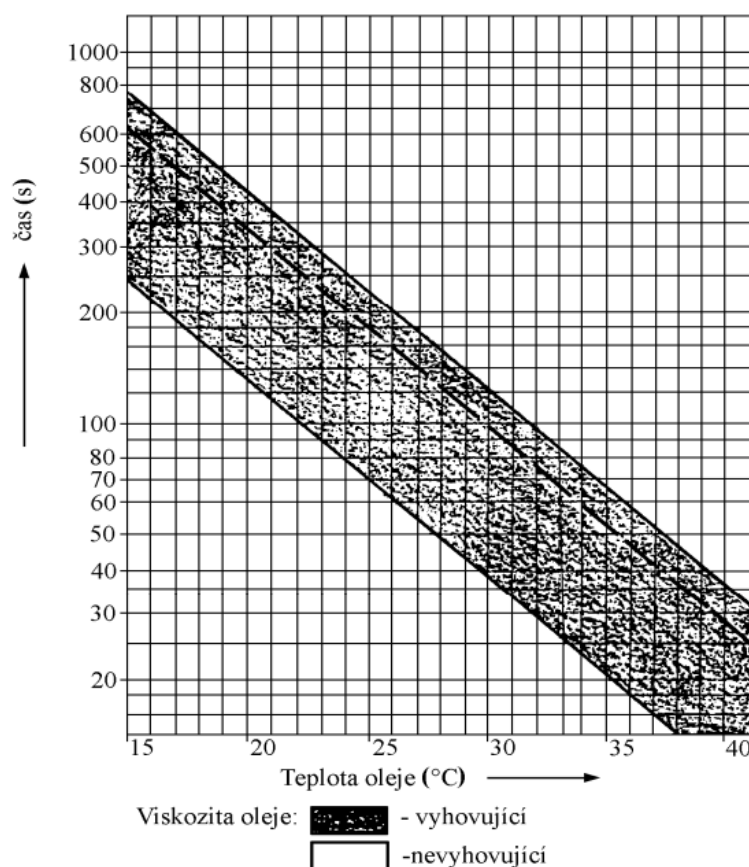
<sup>1</sup> Dynamická viskozita je definována jako poměr tečného napětí v kapalině  $\tau$  a rychlostního gradientu  $dv/dz$ . Vyjadřuje vnitřní odpor kapaliny proti jejímu tečení, nebo-li odpor molekul kapaliny vůči jejich vzájemnému pohybu.[1]



Obrázek 8 Závislost viskozity na teplotě[22]

Je-li viskozita příliš nízká, olej je řidší a více teče, čímž dochází k nedostatečnému mazání styčných ploch a k velkému opotřebení, v extrémních případech až k zadření. Když je viskozita příliš velká, je olej hustý a dochází k energetickým ztrátám při běhu motoru a k nedostatečnému chlazení vlivem horšího rozstřiku oleje. [5]

Rychlometoda měření viskozity (smluvní) je realizována viskozimetrem, který měří dobu průtoku stálého množství oleje kalibrovanou tryskou při známé teplotě. Tato hodnota je pouze orientační a odečte se z grafu na obr. Obrázek 9. [8]



Obrázek 9 Diagram ke stanovení smluvní viskozity[8]



Pro přesnější určení viskozity se používají laboratorní přístroje a měření je mírně náročnější na čas. Doporučená teplota měřeného oleje je 40 °C. K měření podle ČSN se používá několik druhů viskozimetrů kapilárního typu a kinematická viskozita se vypočítá podle vztahu [5]:

$$v = c \times \tau \quad [\text{mm}^2/\text{s}], \quad (2)$$

kde  $c$  je konstanta viskozimetru uváděná ve zkušebním listu v  $\text{mm}^2/\text{s}^2$ ,  
 $\tau$  je aritmetický průměr doby průtoku viskozimetru v sekundách.

Viskozimetry se mohou lišit rozsahem měřených viskozit, jak uvádí autor v literatuře [1]. Je zde i detailněji popsán celý postup zkoušky, včetně přípravy temperovací lázně, použitých měřicích přístrojů a jejich přesnosti měření. Tato práce pouze poukazuje na jednu z možností postupu měření viskozity, protože existuje mnoho typů viskozimetrů s odlišnými postupy měření. Mezní hodnota odchylky kinematické viskozity je uvedena výše v Tabulka 2.

### 2.2.2 BOD VZPLANUTÍ

Jako bod vzplanutí je brána taková teplota, při které u vzorku zahřívaného oleje dojde k odpaření takového množství par, že vzniklá směs se vzduchem po přiblížení zkušebního plaménku vzplane a poté zhasne. Tato teplota je vyjádřena ve stupních Celsia. [1]

Bod vzplanutí je u motorových olejů důležitý hlavně z hlediska, že nepřímo ukazuje množství paliva v olejové soustavě, což může být způsobeno například nadměrným opotřebením pístních kroužků. Obsah paliva v oleji by neměl překročit 5 % a mezní hodnota pro výměnu oleje je přibližně o 20 - 25°C nižší než hodnota u nového oleje. Rozmezí teplot je podrobněji výše v tabulce Tabulka 2. [5]



Obrázek 10 Měření bodu vzplanutí u motorového oleje[19]



Existuje více metod měření bodu vzplanutí, ale nejvíce používaná zkouška je podle ČSN 656212, neboli Clevlenda. Jedná se o měření bodu vzplanutí v otevřeném kelímku. Postupně se zahřívá vzorek oleje a přikládá se k němu zkušební plamének. Teplota, při které dojde ke vzplanutí v kterémkoliv místě kelímku, se uvádí jako bod vzplanutí. [1]

Další zkouškou je například určování bodu vzplanutí v uzavřeném kelímku Pensky-Martens. V dnešní době se častěji používají automatické způsoby měření, kde je celý postup automatizován. Pouze se odebere dané množství oleje a vloží do přístroje, který následně zobrazí na displeji výsledný bod vzplanutí. Tím je zabezpečena i homogenita měření. [5]

### 2.2.3 OBSAH VODY

Je to velmi důležitý ukazatel, udávající, zda nedošlo k poruše v chladicím okruhu. Provádí se spolu s testem na přítomnost glykolu, který je obsažen v chladicí kapalině. Nový a nepoužitý motorový olej by neměl obsahovat vůbec žádnou vodu, použitý olej pouze stopy a to maximálně do 0,2 hmotnostních %. Přítomnost vody v oleji snižuje jeho kvalitu a zvyšuje korozi mazaných částí motoru. [10],[5]

Nejpoužívanější rychlometodou ke stanovení přítomnosti vody v oleji je takzvaná „prskací“ zkouška, někdy slangově nazývaná „zkouška žehličkou“. Spočívá v nanesení kapky zkoušeného vzorku oleje na rozpálenou desku (žehličku). Je-li přítomna voda, ozve se třaskání nebo jsou vidět bublinky v oleji. Další rychlou metodou je pozorování protřepaného vzorku oleje, zda nedochází k jeho zakalení. Olej bez obsahu vody je čirý. [5],[4]

Pro přesné stanovení procenta obsažené vody se musí provádět destilace s rozpouštědlem, například s xylenem, dle ČSN 65 6062. Jedná se o destilační zkoušku, kde páry rozpouštědla ztrhávají vodu a ta poté kondenzuje do jímadla, kde se odečte procento obsažené vody. Stanovuje obsah vody od 0,02 hm. %. [4],[5]

Další možností stanovení obsahu vody je coulometrickou metodou, která probíhá podle postupu Karla Fishera a je definována v ČSN 65 0330. Jedná se o ampérometrickou titraci<sup>2</sup>, fungující na principu uvolňování jódu, který reaguje s vodou. Tato metoda je přesnější, než destilační. [4],[5]

### 2.2.4 KAPKOVÁ ZKOUŠKA

Kapková zkouška je orientační metodou k posouzení stupně znečištění oleje. Zkouška je rychlá a jednoduchá, a pokud je výsledek jednoznačně dobrý, není potřeba přistupovat ke stanovení látek nerozpustných v HEO a karbonizačního zbytku. Dokáže se podle ní orientačně určit vyčerpanost detergentů a disperzantů<sup>3</sup>, případně přítomnost vody. [4]

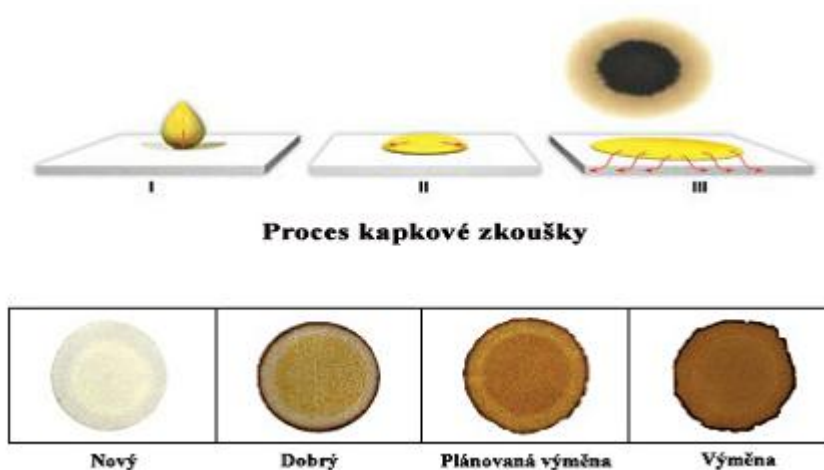
<sup>2</sup> *Titrace je běžná laboratorní metoda stanovující neznámou koncentraci známého objemu vzorku změřením objemu vzorku látky o známé koncentraci, který je spotřebován, aby látky beze zbytku zreagovaly.* [17]

<sup>3</sup> Detergenty a disperzanty (DD) jsou látky se smáčecími účinky a přidávají se do olejů kvůli zabránění oxidačním zplodinám v usazování, ve vytváření nežádoucích nánosů a úsad na plochách motoru a zároveň neutralizují kyselé složky oleje a zmenšují korozivní opotřebení součástí motorů. [1]



Samotný princip zkoušky spočívá v nanesení kapky oleje na filtrační nebo chromatografický papír (Whatman). Vyhodnocuje se tmavost a rozsah vsáknutí na porézním papíru. Teplota oleje by měla být 20 °C a vzorek by se měl nechat na papíře odstát minimálně 20 minut. Je důležité, aby byl olej homogenní, proto se před nanesením protřepe. [1]

Na obrázku 11 je zobrazena vzorová informativní stupnice k posouzení kapkové zkoušky. Takových stupnic existuje více a ke správnému vyhodnocení je potřeba dostatek zkušeností, avšak jako orientační a rychlá zkouška je tato metoda nenahraditelná.



Obrázek 11 Princip a vyhodnocení kapkové zkoušky[8]



## 2.3 STANDARTNÍ ZKOUŠKY TRIBOTECHNICKÉ DIAGNOSTIKY

Jedná se o složitější typy zkoušek, které nelze provádět přímo na pracovišti. K jejich vyhodnocení je potřeba laboratorních přístrojů a vyškolených techniků. Jejich provádění je jak časově, tak investičně náročnější, proto se běžně v praxi nepoužívá v malých či středních podnicích. Naopak uplatnění nacházejí tyto zkoušky u drahých a permanentně nasazených strojů, jako jsou například motorové lokomotivy, velká čerpadla nebo naftové generátory. Také u větších automobilových firem nacházejí uplatnění, zejména při vývoji motorových olejů. [1],[5]

Určují další fyzikálně chemické vlastnosti použitého oleje. K těmto složitějším metodám patří i určení přesných hodnot viskozity, obsahu vody a bodu vzplanutí, které jsou již popsány v jednoduchých metodách v kapitole 2.2. Také však metoda RAMO, která stanovuje množství některých kovů v oleji je zařazena v této kapitole.

### 2.3.1 ČÍSLO ALKALITY (TBN) A KYSELOSTI (TAN)

V každém motorovém oleji je obsaženo určité množství antioxidačních a DD přísad, jež je vyjádřeno číslem alkality (TBN – Total Base Number) a číslem kyselosti (TAN – Total Acid Number). Obě tyto čísla spolu úzce souvisí, proto jsou posuzovány společně. Poměr obou těchto čísel je závislý na složení oleje. Sledování obou čísel během provozu je důležité, protože v případě, že TAN nabude větší hodnoty než TBN, dochází ke koroznímu opotřebení ložisek i pístních kroužků, tvorbě úsad a ke vzrůstajícímu opotřebení částí ventilových rozvodů. [1]

Číslo kyselosti obecně informuje o nárůstu látek kyselého charakteru, obsažených v oleji, způsobujících korozi. Popisuje stárnutí oleje, ke kterému dochází převážně u průmyslových olejů, neobsahujících DD přísady. Podle ČSN 65 6070 se kyselost stanoví titrací na barevný indikátor. Výsledek je uváděn v miligramech hydroxidu draselného (KOH), potřebného k neutralizaci kyselých složek v 1 gramu oleje (mg KOH/g). [1],[4]

Číslo alkality je ukazatelem celkové alkality oleje, tedy schopností oleje neutralizovat kyselé zplodiny, pomocí látek zásadité povahy v něm obsažených (DD přísad). U nových olejů udává velikost alkalické rezervy a u použitých olejů stupeň jejího vyčerpání, tedy další životnost maziva. U spalovacích motorů je TBN ukazatel míry schopnosti udržet motorový olej v čistém stavu. Stanovuje se podle ČSN 65 6069 titrační metodou, podobně jako TAN a udává množství kyseliny chloristé (vyjádřené pomocí KOH), potřebné k neutralizaci všech zásaditých složek v 1 gramu oleje (mg KOH/g). [4],[5]

Stanovení TAN a TBN olejů lze také provádět moderní metodou pomocí infračervené spektroskopie ve střední infračervené oblasti. Tato metoda bude upřesněna ve speciálních metodách tribotechnické diagnostiky. [12]

### 2.3.2 KARBONIZAČNÍ ZBYTEK

Stanovením karbonizačního zbytku se posuzuje sklon oleje k tvorbě uhlíkatých úsad a zbytků při vysokých teplotách. Vysoký karbonizační zbytek se za provozu projeví například zanášením pístních kroužků, jak je patrné na obr. 12. U nových olejů se podle jeho hodnoty



posuzuje odolnost vůči vysokým teplotám, u použitých olejů vyjadřuje stárnutí oleje, množství karbonu a mechanických nečistot. Udává se v hmotnostních %. [1],[4]



*Obrázek 12 Zkarbonování pístu a pístních kroužků[21]*

Podstatou zkoušky stanovení karbonizačního zbytku (Conradsonovou metodou) je termický rozklad oleje bez přístupu vzduchu za předepsaných podmínek, stanovených ČSN 65 6210. Toto měření je časově náročné (cca. 1,5 h). Samotný karbonizační zbytek je pak hmotnostní podíl zbytku po termickém rozkladu, vyjádřený rovnicí[5]:

$$x = \frac{A_1}{A_2} \times 100 \quad [\%], \quad (3)$$

kde  $A_1$  je hmotnost karbonizačního zbytku v gramech,  
 $A_2$  je navážka vzorku (množství zkoušeného oleje) v gramech.

U aditivovaných olejů je hodnota karbonizačního zbytku vyšší o popel z aditivu, který se určí podle normy ČSN 65 6063 a jedná se o hmotnostní podíl, který vznikne termickým rozkladem za přístupu vzduchu (hořením). [5],[1]

### 2.3.3 CELKOVÉ ZNEČIŠTĚNÍ

Orientační míru celkového znečištění lze usoudit z kapkové zkoušky a nyní budou uvedeny přesnější způsoby zjištění nečistot v oleji. Nejdříve je však nutno si popsat a kategorizovat různé druhy a zdroje nečistot vyskytujících se v motorovém oleji[5]:

- nečistoty vniklé z okolí (písek, prach, vlákna, barvy, otřepy z montáží atd.)
- nečistoty vzniklé spalováním a reakcemi s olejem (různé shluky sloučenin, karbony)
- nečistoty vzniklé opotřebením – pevné částice (korozivní částice, částěčky kovů)

Z hlediska degradace olejů jsou nejvíce vypovídající nečistoty vzniklé spalováním a ostatními chemickými reakcemi s olejem, naopak jedná-li se o stanovení míry opotřebenění částí motoru, jsou nejvíce vypovídající pevné částice.



V praxi se provádí[5]:

- **stanovení mechanických nečistot** dvěma způsoby, rozlišenými podle předpokládaného obsahu miligramů ve 100 cm<sup>3</sup> oleje. Obě metody jsou založené na filtraci oleje a následném zvážení membránového filtru. Množství mechanických nečistot se stanoví z hmotnostního přírůstku filtru.
- **stanovení kódu čistoty**, což je měření množství a velikosti nečistot, a následnému přiřazení kódu čistoty dle normy ČSN 65 6206, podle stupně znečištění. Rozlišuje částice v řádech mikrometrů pomocí mikroskopu.
- **celkové znečištění**, jež patří ke smluvním zkouškám a jeho vyjádření je závislé na principu používané metody, například měření změn dielektrických vlastností oleje a fotometrii.



Obrázek 13 Filtrační zařízení pro membránovou filtraci [18]

Přístroje založené na principu fotometrickém jsou označovány TCM-H a měření pomocí nich je blíže zpracováno v literatuře [1].

#### 2.3.4 OBSAH LÁTEK NEROZPUSTNÝCH V HEO

Tato zkouška ukazuje celkové znečištění oleje, je tedy zařaditelná do kapitoly výše, vzhledem ale k jejímu jednoduššímu a častějšímu provádění se jí bude tato práce věnovat zvlášť. Provádí se při negativním výsledku kapkové zkoušky a stanovuje množství nerozpustných látek aditivovaných olejů. Nerozpustné látky jsou všechny tuhé částice obsažené ve vzorku, které se nerozpustí ve směsi HEO (97% n-hexan, 2% etanol, 1% kyselina olejová). [4]

Princip zkoušky spočívá v rozpouštění vzorku oleje ve směsi HEO a následném odstředění až do vyčerení roztoku. Nerozpustné látky (částice) se usadí, roztok se slije a zůstanou jen



nerozpustné látky, které se po vysušení zváží. Jejich obsah se pak uvádí v hmotnostních % a vypočte se podle vztahu[5]:

$$NRL = \frac{(b-a) \times 100}{A_2} \text{ [hm. \%]}, \quad (4)$$

kde  $a$  je hmotnost prázdné odstředivací nádoby v gramech,  
 $b$  je hmotnost odstředovaného vzorku v gramech,  
 $A_2$  je navážka roztoku (množství zkoušeného oleje) v gramech.

Z výsledku zkoušky lze usuzovat stupeň degradace oleje a možnost jeho dalšího používání.

### 2.3.5 METODA RAMO

Metoda RAMO (Rychlá Analýza Mazacích Olejů) popisuje způsob stanovení železa, mědi, hliníku a olova v motorovém oleji. Jedná se o soupravu chemikálií (kyselina chlorovodíková a dusičná, metylizobutylketon), ze kterých jsou pro každý kov stanoveny porovnávací vzorky, které mají různé barvy pro různé koncentrace uvedených kovů. [1]

Samotné měření pak spočívá v komparaci barvy testovacího vzorku s porovnávacími vzorky. Přesnost měření je cca.  $\pm 5$  ppm (parts per milion), což je dostatečné pro provozní nasazení. Podrobnější postup je popsán v literatuře [1].

Uváděnou výhodou je přenosnost zařízení a relativně nízká kvalifikovanost obsluhy zároveň s nízkou časovou náročností. [8]



## 2.4 SPECIÁLNÍ METODY TRIBOTECHNICKÉ DIAGNOSTIKY

Mezi speciální metody jsou v této práci zařazeny takové zkoušky, které se zakládají na obvykle složitých způsobech vyhodnocování a k jejichž popsání nepostačí znalosti pouze technické. Není tedy účelem této práce popisovat principy funkcí jednotlivých komplikovaných zařízení, nýbrž jen přiblížit způsoby jejich použití a poukázat na jejich uplatnění v praxi. K provedení zkoušek z této kapitoly je obvykle potřeba zkušený personál a velmi dobře vybavená tribologická laboratoř, což umožňuje nejpřesnější výsledky měřených hodnot.

Většina zde uvedených metod se zabývá určením velikosti a množství druhů kovů v oleji, aby se podle nich dal stanovit trend a místo opotřebení mazaných součástí. Jako příklad jsou v tabulce 3 uvedeny jednotlivé kovové prvky a na nich závislá pravděpodobná místa nadměrného opotřebení. Při vyhodnocování se klade velký důraz nejen na výši koncentrací jednotlivých prvků, ale i jejich tendenci výskytu. Přičemž nejpoužívanější metody stanovení jsou atomové spektrofotometrie a ferografie. [4]

Tabulka 3 Otěrové kovy v motorovém oleji a jejich zdroje[20]

| 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                                                     |

V tabulce 3 jsou uvedeny konstrukční kovy, až na křemík, který mezi ně nepatří, ale je také téměř vždy analyzován. Přítomnost křemíku v oleji totiž ukazuje na zvýšené množství prachových částic a s tím spojenou vadu vzduchového filtru. Ostatní kovy, které lze v oleji nalézt, jako zinek, molybden, antimon, vápník, hořčík a baryum, pochází z aditivace oleje či jiných zdrojů. Dále lze objevit v oleji přítomnost sodíku a bóru, původně z nemrznoucích směsí či zimním posypu silnic. [20]

### 2.4.1 ATOMOVÁ ABSORPČNÍ SPEKTROFOTOMETRIE (AAS)

Jedná se o dnes nejrozšířenější metodu stanovující přítomnost vybraných kovů a to především železa, olova, mědi, hliníku a zinku. Principem metody je měření zeslabení paprsku při průchodu analytickým prostředím (absorpce volných atomů). Pro stanovení atomových spekter je nutné měřený prvek převést do plynného stavu a to buď plamenem, nebo odpařováním vzorku z vyhřívané podložky. Podrobný rozbor zkoušky a postupu práce se zařízením je detailně popsán v literatuře [1]. [5]

Pomocí přímé metody, spočívající v naředění vzorku rozpouštědlem a přímé analýzy plamenem, lze získat výsledky velmi rychle. Výsledek se uvádí v ppm. V současné době se používají automatické spektrometry, například od firem Varian, Perkin-Elmer a Carl Zeiss. [4]

### 2.4.2 ATOMOVÁ EMISNÍ SPEKTROFOTOMETRIE (AES)

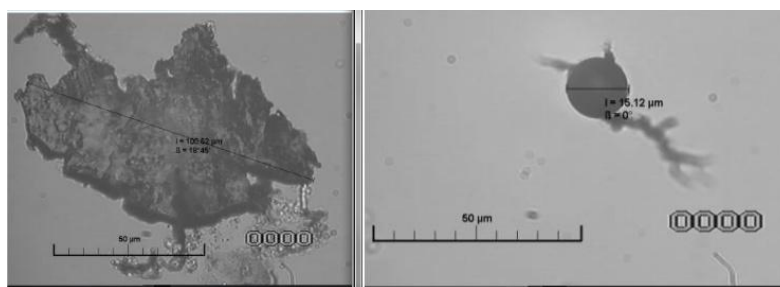
Úkolem AES je určit kvalitativní a kvantitativní složení zkoumaného vzorku z jeho spektra. Principem metody je dodání energie atomům analyzovaného oleje a následné zkoumání vyzařovaného spektra. Vlastní měřicí přístroje se skládají ze zdroje, spektrálního přístroje na oddělení frekvencí, soustav čoček a detektoru. Jako zdroj se používá plamen nebo elektrický impuls. [5]

Prováděné rozborů látek jsou stejné jako u AAS a měřicí metody se liší jen v principu funkčnosti.

### 2.4.3 FEROGRAFIE

Je to metoda částicové analýzy posuzující nejen množství přítomných částic v oleji, ale zkoumá i jejich velikost a tvar. Tato metoda je poměrně nová (konec 60. let) a hraje velký význam v posouzení opotřebení. Je založená na principu magnetického pole, pomocí kterého odděluje částice (kovy i nekovy) z opotřebovaného oleje. [5]

Princip zkoušky je lití oleje po nakloněném sklíčku, pod kterým je umístěn silný magnet, který postupně na sklíčku zachycuje částice podle velikosti a tvaru (v řádech mikrometrů). Utvoří se tím stopa, která se poté vyhodnocuje mikroskopem. Pomocí vhodného osvětlení je možno rozeznat kovy od oxidů. Rozlišení materiálu částic se provádí zahřátím vzorku. Tvar částic, charakterizující místo a způsob jejich vzniku, je analyzován elektronovým mikroskopem. Tento popis odpovídá analytickému ferogramu. [4]



Obrázek 14 Ukázka sférické (nalevo) a magnetické smykové částice [12]

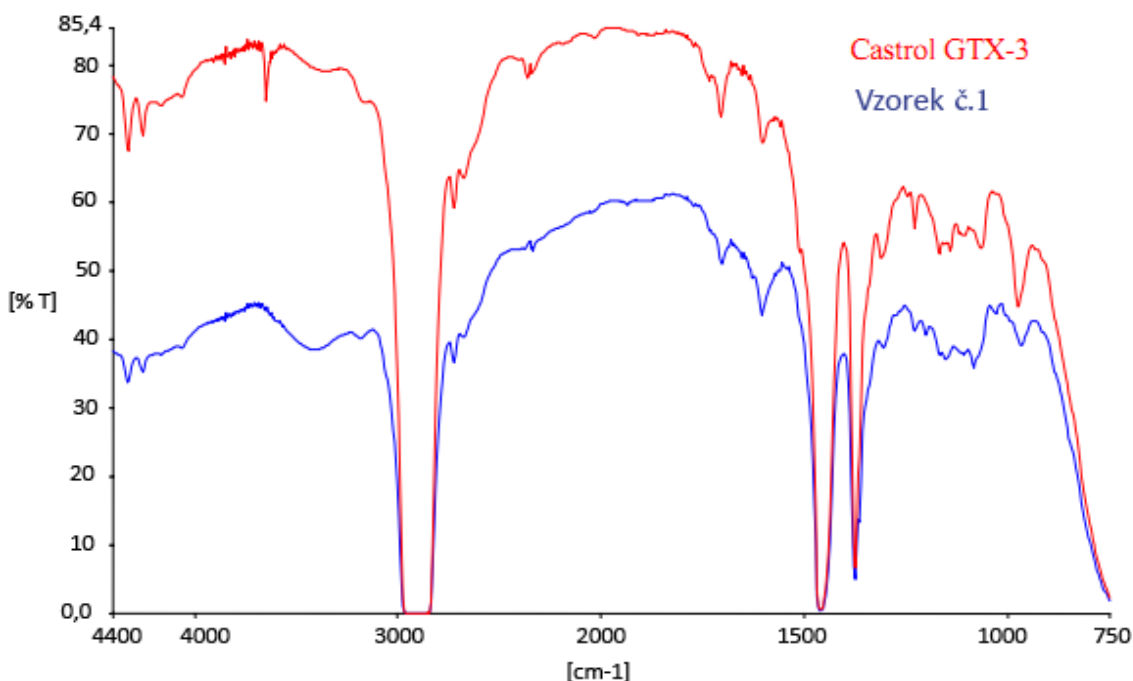
Pro rychlejší odečty hodnot byl vyvinut ferogram s přímým odečtem, u kterého vzorek oleje protéká trubicí, a částice se analyzují přímo v něm. V místech úsad částic jsou zabudované zdroje záření a čidla snímající úbytek intenzity záření vlivem usazení částic. [4]

Vhodným vyhodnocením ferografické zkoušky můžeme zjistit trend a způsob opotřebení z tvaru a velikosti částic[5]:

- Částice adhezivního oděru tvoří šupinky vločkovitého tvaru, a pokud pokrývají větší část ferogramu a jejich velikost nepřesahuje 15  $\mu\text{m}$  je opotřebení v pořádku.
- Částice abrazivního otěru mají velmi dlouhý lineární rozměr (desítky až stovky  $\mu\text{m}$ ) a malou tloušťku (desetiny  $\mu\text{m}$ ).
- Částice vzniklé únavovým opotřebením jsou typické především pro převodové systémy. Mají nerovnoměrný povrch a jsou trojrozměrné, přičemž se rozměry moc neliší.

#### 2.4.4 SPEKTRÁLNÍ ANALÝZA

Je to optická nedestruktivní metoda analýzy sloučenin v olejích a ke spektrální analýze se využívá infračervená (IČ) spektrometrie. Principem metody je interakce infračerveného záření s molekulami nebo jejich shluky. Nejvyužívanější oblastí je střední infračervené pásmo, často označované jako „oblast otisku prstů“, protože je to místo, kde se nejvíce projevují různé stopy molekul a to v podobě pásů. [5]



Obrázek 15 Porovnání infračerveného spektra vzorku a čistého oleje [13]

Na obrázku 15 je vidět výrazný pokles spektra vzorku způsobený přítomností vody, dále lze vyčíst úplnou spotřebovanost oxidační přísady na bázi fenolu. Podrobněji je proveden rozbor v literatuře [13].

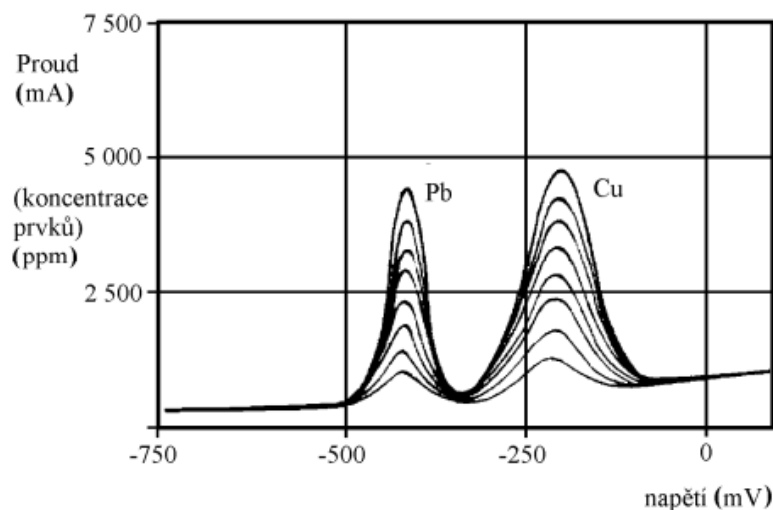
V současné době jsou nejvíce používány infračervené spektrometry s Fourierovou transformací (FTIR), které mají vyšší citlivost a o dva řády větší průchod energie spolu s nižším šumem. U moderních přístrojů se využívá také tlumené totální reflexe (ATR), pomocí které lze ze vzorku během velmi krátké doby (méně než minuta) stanovit například[5]:

- obsah vody a glykolu
- pokles bazické rezervy
- obsah paliva
- obsah karbonu
- úbytek DD přísad
- obsah různých oxidačních, nitračních a sulfidačních produktů

Tato metoda je rychlá, avšak náročná na přístrojovou techniku. Lze s ní snadno stanovit degradaci oleje.

#### 2.4.5 POLAROGRAFIE

Polarografie je vysoce citlivá elektrochemická metoda založená na principu elektrolýzy<sup>4</sup>. Podstatou této metody je zjišťování závislosti proudu na napětí. Výstupem je polarografická křivka (vlna), ze které usuzujeme například přítomnost daného otěrového prvku, protože každý prvek má svojí charakteristickou křivku. [5]



Obrázek 16 Polarografická křivka [8]

Na trhu je možné využít polarografické soupravy české výroby, která umožňuje určovat obsah složek oleje i jiných kapalin jen z velmi malého vzorku (0,005 ml). Zároveň umožňuje vysoce přesnou analýzu a to při velké rychlosti provedení. Novější metody polarografie se nazývají voltametrie. [8]

<sup>4</sup> Elektrolýza je fyzikálně-chemický jev, způsobený průchodem elektrického proudu kapalinou, při kterém dochází k chemickým změnám na elektrodách. [17]



#### 2.4.6 RENTGENOVÁ FLUORESCENČNÍ ANALÝZA

Principem této metody je měření energie fluorescenčního rentgenového záření, které vzniká jako druhotné při buzení prvku rentgenovým zářením určité délky. Každý prvek má svou charakteristickou energii fluorescenčního záření, podle které se určí, o jaký prvek jde. Tato metoda je velmi citlivá, umožňuje stanovit koncentrace mědi až pro 0,00001 % a pro železo, olovo, křemík, titan, mangan, molybden a cín až 0,001 %. [8]

#### 2.4.7 SLEDOVÁNÍ OPOTŘEBENÍ POMOCÍ RADIONUKLIDŮ

Jedná se o moderní metodu, založenou na vlastnostech radionuklidů<sup>5</sup>, především jejich dobré schopnosti být detekovány. Účinnost metody a citlivost detekce je tedy velmi vysoká. Aktivace sledovaných součástí se provádí v reaktoru, nebo povrchovou aktivací nabitými částicemi. Detekce se provádí různými způsoby, například Giger-Müllerovými trubicemi. [8]

---

<sup>5</sup> Radionuklid je nestabilní nuklid, podléhající radioaktivní přeměně. Nuklid je skupina atomů, které mají stejné protonové i neutronové číslo. [17]



### 3 DEFEKTOSKOPICKÉ METODY DIAGNOSTIKY

Úkolem defektoskopických metod je nedestruktivní zjišťování vad materiálu a to jak povrchových, tak vnitřních. Tyto metody se v automobilovém průmyslu využívají ke kontrole vyráběných dílů a při sledování opotřebení těchto dílů při provozních zkouškách. [11]

Největší výhodou těchto metod je tedy určení stavu součástí, aniž by se jakkoli poškodily. V této práci jsou tyto metody uvedeny, jelikož úzce souvisí s určováním opotřebení pomocí tribotechnické diagnostiky a to tak že:

- Ověřují správnost tribotechnické diagnostiky (stanovení opotřebení a jeho rozsahu),
- slouží jako další krok ke stanovení celkové diagnostiky a vyřčení verdiktu,
- pomáhají při upřesňování a zdokonalování tribotechnických metod.

V této práci bude uveden výčet defektoskopických metod založených na různých fyzikálních principech, rozdělených dle použití na metody detekující povrchové a podpovrchové vady a metody zjišťující vnitřní vady. V příloze P1 je pak obrázková dokumentace k vybraným defektoskopickým metodám, ukazující použití a principy některých metod. Bližší informace o jednotlivých metodách jsou například v literatuře [8] a [11].

Podle některé literatury<sup>6</sup> patří mezi defektoskopické metody i tribotechnická diagnostika.

#### 3.1 METODY DETEKUJÍCÍ POVRCHOVÉ A PODPOVRCHOVÉ VADY

Povrchovými a podpovrchovými vadami jsou myšleny trhliny, korozní poškození a porušení celistvosti. Metody ke zjišťování takovýchto vad na povrchu nebo v jeho blízkosti se dělí podle fyzikálních principů na [11]:

- Kapilární metody
- odporové metody
- magnetické a elektromagnetické metody
- tepelné (IČ) metody
- optické metody.

#### 3.2 METODY ZJIŠŤUJÍCÍ VNITŘNÍ VADY

Tyto metody zjišťují přítomnost trhlín a jiných vad uvnitř materiálu a dělí se podle fyzikálních principů na metody ultrazvukové a metody prozařovací. Metody prozařovací se dále dělí podle typu záření na [11]:

- Radioskopii,
- roentgenovo záření,
- tomografii,
- gamma záření,
- tok neutronů.

<sup>6</sup> STODOLA, Jiří. Provozní spolehlivost a diagnostika: vysokoškolská učebnice. 2., přeprac. vyd. Brno: Vojenská akademie, 2002, 321 s. ISBN 80-859-6043-5.



## 4 INTERVALY VÝMĚNY OLEJŮ

Na úvod je potřeba říci, že intervaly výměny olejů u spalovacích motorů určuje výrobce motorů, nikoli výrobce olejů. Tyto intervaly jsou stanovovány jako maximální, takže by nemělo dojít k jejich překročení.

Současní výrobci automobilů se snaží intervaly výměn olejů co nejvíce prodloužit. K tomuto účelu vyvíjejí nové oleje, s označením „Long Life“. Dochází k tomu například u koncernu Volkswagen, pod který spadá i česká Škoda auto, přičemž prodlouženými intervaly výměn se podle literatury [2] Škoda zabývá už od roku 1997. Intervaly výměn u těchto výrobců automobilů jsou[23]:

- Běžně u všech vozidel po ujetí 15 000 km nebo po 1 roce,
- při použití LongLife olejů po ujetí 30 000 km nebo 2 letech.

Intervaly výměn olejů však v praxi při provozu mohou být ovlivňovány různými aspekty, jako jsou[23]:

- **Technický stav motoru**, kde vlivem špatného stavu může dojít například k pronikání paliva do oleje,
- **filtrace vzduchu a oleje**, na nichž závisí množství a velikosti cizích částic v oleji,
- **režim provozu**, kde provoz na krátké vzdálenosti je mnohem náročnější, než provoz na dlouhé vzdálenosti, a to vlivem častých studených startů.

V současné době je snaha používat oleje s nižší viskozitou, jelikož se rychleji promaže motor a snižuje se spotřeba paliva. Uplatnění těchto olejů se projeví hlavně u vozidel s častými starty a krátkým režimem provozu. V tabulce 4 je porovnání závislosti různých typů motorových olejů<sup>7</sup> na době promazání motoru.[23]

Tabulka 4 Doba promazání motoru v závislosti na typu použitého oleje[23]

| specifikace oleje | doba promazání celého motoru [s] |
|-------------------|----------------------------------|
| SAE 15W - 40      | 18                               |
| SAE 10W - 40      | 10                               |
| SAE 5W - 40       | 4                                |
| SAE 0W - 40       | 1                                |

Všechny výše uvedené aspekty mohou snižovat interval výměny olejů u konkrétního motoru, proto by bylo ideální provádět pravidelné zkoušky a testování motorových olejů pomocí metod tribotechnické diagnostiky. Následně by bylo možné jednoznačně rozhodnout o možnosti dalšího použití oleje a tím docílit ideálních či prodloužených intervalů výměn oleje.

<sup>7</sup> Motorové oleje se nejčastěji specifikují podle viskozitní klasifikace SAE, jež je uvedena v příloze P2.



V armádě ČR je takovýto diagnostický systém zaveden a sleduje se degradace oleje v používaných vozidlech. Využívá se zde systému dvoustupňové tribotechnické diagnostiky, přičemž první stupeň stanovuje celkové znečištění a bod vzplanutí, na jehož základě se provede posouzení o dalším provozu. Je-li použitý olej posouzen jako nevyhovující, provede se diagnostika druhého stupně, která využívá dalších metod tribotechnické diagnostiky ke stanovení příčiny poruchy. Díky takovýmto opatřením se povedlo stanovit prodloužené a přesné intervaly výměn olejů pro jednotlivá vozidla, zobrazená v tabulce 5. [9]

Tabulka 5 Maximální přípustné intervaly výměn olejů u jednotlivých typů vozidel[9]

| Typ vozidla   | Druh oleje | Maximální přípustná doba výměny [l] <sup>8</sup> |
|---------------|------------|--------------------------------------------------|
| Škoda Felicie | OA RXT     | 15 000 km                                        |
| Škoda Octavie | OA RXT     | 15 000 km                                        |
| Land Rover    | MHX 55     | 10 000 km                                        |
| UAZ 469       | M6 AD      | 2 280 ± 20                                       |
|               | M7 ADX     | 3 420 ± 20                                       |
| P V3S<br>M2   | M6 AD      | 2 880 ± 40                                       |
|               | M6 ADS II  | 4 000 ± 40                                       |
|               | M7 ADX     | 4 100 ± 40                                       |
| T 148 VN      | M6 AD      | 4 240 ± 50                                       |
|               | M6 ADS II  | 12 720 ± 50                                      |
|               | M7 ADX     | 7 950 ± 50                                       |
| T 815 4x4     | M7 ADX     | 6 450 ± 120                                      |
|               | M6 ADS II  | 10 320 ± 90                                      |
| T 815 8x8     | M6 ADS II  | 13 500 ± 75                                      |

Rovněž České dráhy provádějí pravidelné zkoušky olejů a podle jejich výsledků přizpůsobují intervaly výměn olejů. O podrobnějším rozboru zkoušek a jejich závěrech se lze dočíst v literatuře [1], kde se autor jejich rozbořem zabývá.

Prodloužením intervalů výměn olejů ve spalovacích motorech je možno docílit hospodárnějšího využití olejů, což by mělo být v plánu každé větší firmy vlastníci početnější vozový park.

<sup>8</sup> Není-li uvedeno jinak, jsou intervaly výměn přepočtené na spotřebu paliva v litrech.



## ZÁVĚR

Tato bakalářská práce byla vypracována za účelem shrnutí současných poznatků o testování motorových olejů do spalovacích motorů. Přičemž testování motorových olejů se provádí především zjišťováním stavu oleje pomocí metod tribotechnické diagnostiky, ale i různými provozními zkouškami, u kterých se sleduje opotřebení součástí motoru, jež lze určovat pomocí defektoskopických metod. Zároveň jsou tyto metody úzce propojeny a lze odhadovat míru opotřebení podle různých zkoušek motorových olejů.

Cílem testování motorových olejů je především stanovit stav oleje, rozhodnout o jeho dalším použití a tím umožnit jeho ekologičtější využívání. Přínos je ale i ekonomický, kdy pomocí metod testování olejů lze určovat i tendence opotřebení spalovacích motorů a předcházet tak poruchám. U větších firem se zavádějí pravidelné zkoušky olejů a existují i počítačové programy proaktivní údržby olejů. V nových automobilech se používají počítačové jednotky, které vyhodnocují stav oleje na základě otáček motoru a teploty oleje.

S rozvojem výpočetní techniky a průmyslových technologií se vyvíjejí dokonalejší přístroje, které umožňují rychlejší a přesnější provádění zkoušek oleje. Proto dle mého názoru je budoucnost testování olejů v rozšíření takovýchto přístrojů, například do každého servisu či autodílny. V současné době je testování olejů na dobré úrovni a lze si objednat zkoušení oleje u různých firem, které často spolupracují s velkými korporacemi vlastníci početný vozový park.

K dalšímu pokračování této práce je možné zvolit testování různých vzorků prodávaných olejů a jejich následné statistické porovnání a interpretování výsledků. Také by bylo vhodné provést pravidelné zkoušky olejů u různých provozovaných vozidel a následně zpracovat naměřené výsledky. Nabytých informací lze využít například při dalším studiu, nebo u různých firem zabývajících se oleji či jejich filtrací.



## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] STRAKA, Bedřich. *Motorové oleje a tribotechnická diagnostika naftových motorů*. 1.vyd. Praha : Nakladatelství dopravy a strojů, 1986. 247 s.
- [2] *Tribotechnika v teorii a praxi III*. Tribotechnics in theory and practice III : VIII. International conference 21.-24.4.1997 Skalský dvůr. 1. vyd. Praha : Sekuron, 1997. 68 s.
- [3] BOHÁČEK, František; DVOŘÁK, Karel. *Části a mechanismy strojů II : Hřídele, tribologie, ložiska*. 3.vyd. Brno : PC DIR, 1996. 215 s. ISBN 80-214-0829-4.
- [4] MAREK, Vladislav; NOVÁČEK, Vladimír. *Tribotechnická diagnostika*. Praha : Dům techniky ČSVTS, 1986. 1 nestránkovaný sv. s. ISBN X2-0912.051.
- [5] HELEBRANT, František. *Technická diagnostika a spolehlivost. I. Tribodiagnostika / František Helebrant, Jiří Ziegler, Daniela Marasová*. 1.vyd. Ostrava : Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava, 2000. 155 s. ISBN 80-7078-883-6
- [6] RAUSCHER, Jaroslav. *Vozidlové motory: studijní opory*. VUT FSI Brno, 2004. 156 s.
- [7] PEŠEK, M. *Snižování tření a opotřebení u spalovacích motorů*. VUT FSI Brno. [online] 14.2.2012 [cit.2012-2-14] Dostupný z WWW: <[http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz\\_soubor.php?id=525](http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=525)>
- [8] STODOLA, Jiří. *Diagnostika motorových vozidel: studijní opora*. Druhé, upravené vydání. FSI VUT Brno, 2010. 268 s.
- [9] STODOLA, Jiří. *Provozní spolehlivost a diagnostika: vysokoškolská učebnice*. 2., přeprac. vyd. Brno: Vojenská akademie, 2002, 321 s. ISBN 80-859-6043-5
- [10] MAREK, Vladislav. *Tribotechnická diagnostika motorových olejů*. [online]. [cit. 2012-03-22]. Dostupné z: <http://www.cmms.cz/mazani/205-tribotechnicka-diagnostika-motovych-oleju.html>
- [11] ČUPERA, Jiří; ŠTĚRBA, Pavel. *Automobily: Diagnostika motorových vozidel I*. 1. vyd. Brno: Avid, 2007, 195 s. ISBN 978-80-903671-9-7.
- [12] MIHALČOVÁ Janka, HAKIM Al Hekmat. *Tribotechnická diagnostika v prevádzke použitých olejov I. Metódy hodnotenia častíc opotrebovania v olejoch*. Chem. Listy 102, 2008. s. (358 - 362).
- [13] ILENIOVÁ Jana, KOŠTÁLIKOVÁ Danko. *Hodnotenie stavu olejov osobných automobilov. Oil state valuation of passenger cars*. Chem. Listy 102, 2008. s. (35 - 37).
- [14] *Tribotechnické informace*. Praha: TES, roč. 2010, č. 1. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.cz/>
- [15] *Tribotechnické informace*. Praha: TES, roč. 2011, č. 2. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.cz/>



- [16] *Souprava CMMS Tribo. CONDITION MONITORING AND MAINTENAINCE SYSTEMS.* [online]. [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: [http://www.cmms.cz/e-shop.html?page=shop.browse&category\\_id=114](http://www.cmms.cz/e-shop.html?page=shop.browse&category_id=114)
- [17] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/>
- [18] *Vlastnosti motorových olejů: Díl šestý - Nečistoty a saze v motorovém oleji.* ČERNÝ, Jaroslav. Oleje.cz: informace ze světa maziv [online]. [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: [http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky\\_vlastnosti\\_oleju6#zacatek](http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju6#zacatek)
- [19] *Vlastnosti motorových olejů: Díl osmý - Palivo v oleji.* ČERNÝ, Jaroslav. Oleje.cz: informace ze světa maziv [online]. [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: [http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky\\_vlastnosti\\_oleju8](http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju8)
- [20] *Vlastnosti motorových olejů: Díl desátý - Otěrové kovy.* ČERNÝ, Jaroslav. Oleje.cz: informace ze světa maziv [online]. [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: [http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky\\_vlastnosti\\_oleju10](http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju10)
- [21] *Motorový paragliding: Oleje.* TOMAN, Gabriel. [online]. [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: <http://g-fly.webnode.cz/news/>
- [22] Castrol ČR. *Viskozitní klasifikace SAE* [online]. [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.castrol.com/castrol/sectiongenericarticle.do?categoryId=9011986&contentId=7023155>
- [23] *Prodloužené intervaly výměny olejů v provozu osobních automobilů.* MAREK, Vladislav a Ladislav HRABEC. Oleje.cz: Informace ze světa maziv [online]. [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: [http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky\\_5](http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_5)
- [24] *Oil pump: typical gasoline engine lubrication system.* ©2012 ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA, Inc. [online]. [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: <http://www.britannica.com/EBchecked/media/93029/Typical-gasoline-engine-lubrication-system>



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

|                |                                    |                                                                     |
|----------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| $\mu$          | [Pa.s]                             | dynamická viskozita                                                 |
| a              | [g]                                | hmotnost prázdné odstřed'ovací nádoby                               |
| A <sub>1</sub> | [g]                                | hmotnost karbonizačního zbytku                                      |
| A <sub>2</sub> | [g]                                | navážka vzorku oleje                                                |
| AAS            | [-]                                | atomová absorpční spektrofotometrie                                 |
| AES            | [-]                                | atomová emisní spektrofotometrie                                    |
| ATR            | [-]                                | tlumená totální reflexe                                             |
| b              | [g]                                | hmotnost odstřed'ovaného vzorku                                     |
| c              | [mm <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ] | aritmetický průměr doby průtoku viskozimetru                        |
| DD             | [-]                                | detergenty a disperzanty                                            |
| FTIR           | [-]                                | infračervené spektrometry s fourierovou transformací                |
| HEO            | [-]                                | směs 97% n-hexanu, 2% etanolu, 1% kyseliny olejové                  |
| KOH            | [-]                                | hydroxid draselný                                                   |
| NRL            | [hm. %]                            | množství nerozpustných látek v HEO                                  |
| RAMO           | [-]                                | rychlá analýza motorových olejů                                     |
| SAE            | [-]                                | Society of Automotive Engineers – společnost automobilních inženýrů |
| TAN            | [-]                                | Total Acid Number - číslo kyselosti                                 |
| TBN            | [-]                                | Total Base Number - číslo alkality                                  |
| TTD            | [-]                                | tribotechnická diagnostika                                          |
| x              | [%]                                | hmotnostní podíl karbonizačního zbytku                              |
| $\rho$         | [Kg/m <sup>3</sup> ]               | hustota kapaliny                                                    |
| $\tau$         | [s]                                | resonanční otáčky 1. tvaru kmitání                                  |
| $\nu$          | [mm <sup>2</sup> /s]               | kinematická viskozita                                               |



## SEZNAM PŘÍLOH

|            |                                                           |
|------------|-----------------------------------------------------------|
| Příloha P1 | Obrázková příloha k defektoskopickým metodám <sup>9</sup> |
| Příloha P2 | Viskozitní klasifikace SAE <sup>10</sup>                  |

---

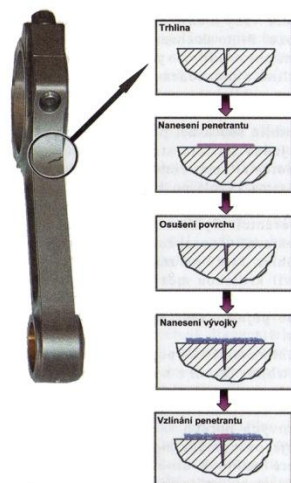
<sup>9</sup> ČUPERA, Jiří; ŠTĚRBA, Pavel. *Automobily: Diagnostika motorových vozidel I.* 1. vyd. Brno: Avid, 2007, 195 s. ISBN 978-80-903671-9-7.

<sup>10</sup> *Tribotechnika* [online]. [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.cz/>

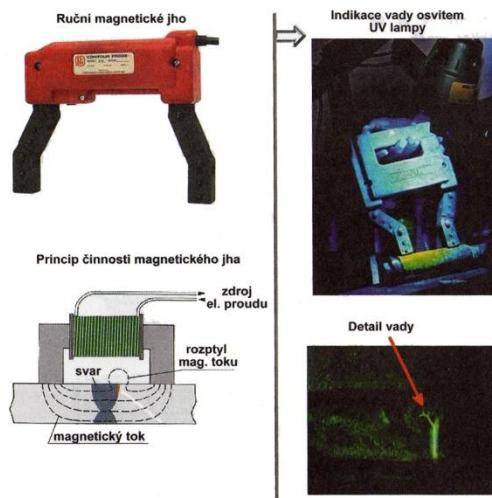


## OBRÁZKOVÁ PŘÍLOHA K DEFEKTOSKOPICKÝM METODÁM

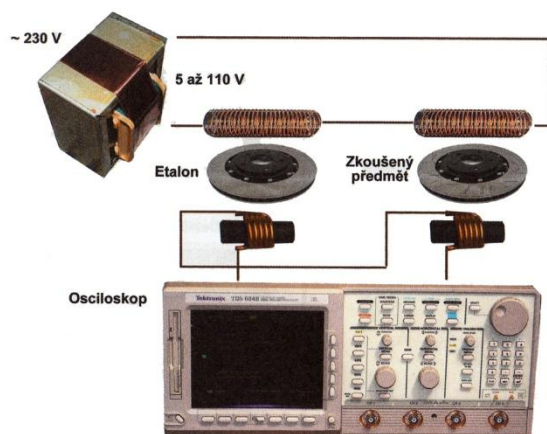
Kapilární zkouška



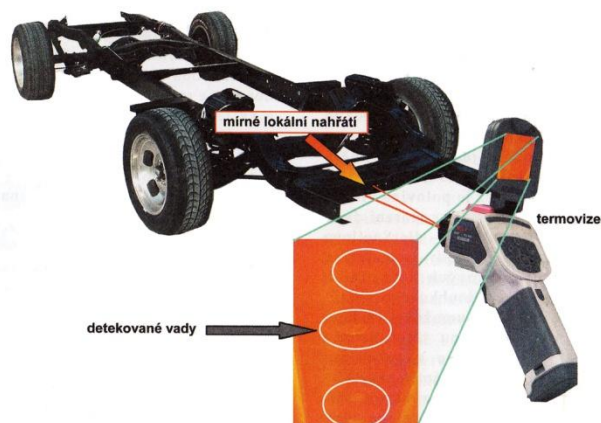
Magnetická metoda



Elektromagnetická metoda



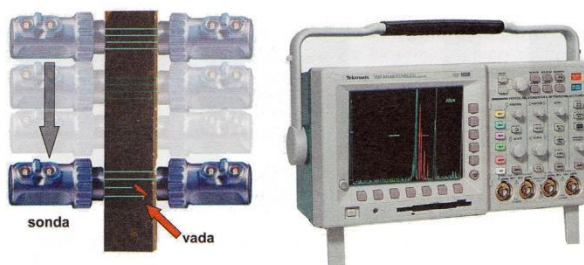
Termovize



Současná rentgenová laboratoř



Průchodový ultrazvuk





## VISKOZITNÍ KLASIFIKACE SAE

Klasifikace SAE obsahuje pět tříd „letních“ olejů – 20, 30, 40, 50 a 60. Tříd „zimních“ olejů je šest – 0W, 5W, 10W, 15W, 20W a 25W. Motorové oleje, které jsou označeny jako „celoroční“ nebo „vícestupňové“, splňují požadavky více tříd současně. Jsou pak označeny krajními třídami, které také splňují, např. 5W-40, nebo 10W-30.

Tabulka – Viskozitní klasifikace SAE J300

| viskozitní třída<br>SAE | dynamická<br>viskozita<br>(mPa.s)<br>v CCS při<br>teplotě (°C),<br>max. | dynamická<br>viskozita<br>(mPa.s)–mez<br>čerpateľnosti-při<br>teplotě (°C),<br>max. | kinematická<br>viskozita<br>(mm <sup>2</sup> /s) při<br>100°C |             | dynamická viskozita<br>(mPa.s) při teplotě<br>150°C a smykovém<br>napětí 10 <sup>6</sup> s <sup>-1</sup> ,<br>min. |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         |                                                                         |                                                                                     | min.                                                          | max.        |                                                                                                                    |
| <b>0W</b>               | <b>3250 při -30</b>                                                     | <b>30000 při -35</b>                                                                | <b>3,8</b>                                                    | -           | ---                                                                                                                |
| <b>5W</b>               | <b>3500 při -25</b>                                                     | <b>30000 při -30</b>                                                                | <b>3,8</b>                                                    | -           | ---                                                                                                                |
| <b>10W</b>              | <b>3500 při -20</b>                                                     | <b>30000 při -25</b>                                                                | <b>4,1</b>                                                    | -           | ---                                                                                                                |
| <b>15W</b>              | <b>3500 při -15</b>                                                     | <b>30000 při -20</b>                                                                | <b>5,6</b>                                                    | -           | ---                                                                                                                |
| <b>20W</b>              | <b>4500 při -10</b>                                                     | <b>30000 při -15</b>                                                                | <b>5,6</b>                                                    | -           | ---                                                                                                                |
| <b>25W</b>              | <b>6000 při -5</b>                                                      | <b>30000 při -10</b>                                                                | <b>9,3</b>                                                    | -           | ---                                                                                                                |
| <b>20</b>               | ---                                                                     | ---                                                                                 | <b>5,6</b>                                                    | <b>9,3</b>  | <b>2,6</b>                                                                                                         |
| <b>30</b>               | ---                                                                     | ---                                                                                 | <b>9,3</b>                                                    | <b>12,5</b> | <b>2,9</b>                                                                                                         |
| <b>40</b>               | ---                                                                     | ---                                                                                 | <b>12,5</b>                                                   | <b>16,3</b> | <b>2,9/3,7*</b>                                                                                                    |
| <b>50</b>               | ---                                                                     | ---                                                                                 | <b>16,3</b>                                                   | <b>21,9</b> | <b>3,7</b>                                                                                                         |
| <b>60</b>               | ---                                                                     | ---                                                                                 | <b>21,9</b>                                                   | <b>26,1</b> | <b>3,7</b>                                                                                                         |

\* - hodnota 2,9 mPa.s platí pro třídy 0W, 5W a 10W; hodnota 3,7 mPa.s platí pro třídy 15W, 20W, 25W a 40