

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Vliv kontaminantů na parametry motorového oleje

bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Vladimír Hönig, Ph.D.

Autor bakalářské práce: Jan Škoda

PRAHA 2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Autor práce: Jan Škoda
Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích
Obor: Silniční a městská automobilová doprava

Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Hönig, Ph.D.
Garantující pracoviště: Katedra chemie
Jazyk práce: Čeština

Název práce: **Vliv kontaminantů na parametry motorového oleje**
Název anglicky: **Effect of contaminants on the parameters of the engine oil**

Cíle práce: Cílem práce je stanovit opotřebením motorových olejů skupiny vozidel, experimentálně vyhodnotit jejich stav a navrhnout optimální interval výměny olejové náplně.

Metodika: - prostudovat základní literaturu, normy, internetové odkazy a další prameny
- provést literární rešerši v oblasti maziv
- kontaktovat dopravce a průběžně odebírat vzorky v rámci výměnných intervalů
- provést vlastní analýzu a uvést nové teoretické předpoklady a názory
- experimentálně vyhodnotit parametry motorových olejů

Hypotéza
Opotřebením oleje odpovídá převládajícímu typu provozu stroje.

Harmonogram
březen 2017 – květen 2017 – vyhledávání informací, literární rešerše, zpracování kapitol: Úvod, Rozdělení maziv a jejich výroba
červen 2017 – září 2017 – literární rešerše, zpracování kapitoly Požadavky na vlastnosti maziv, sběr vzorků
říjen 2017 – ověření vlastností shromážděných vzorků maziv
listopad 2017 – leden 2017 – zpracování výsledků měření v experimentální části práce, vyhodnocení a závěr.
únor 2018-březen 2018-dokončení BP a odevzdání

Doporučený rozsah práce: 30

Klíčová slova: motorový olej, spalovací motor, palivo, tribotechnická diagnostika, voda

Doporučené zdroje informací:

1. ALEŠ, Z., PEXA, M., PAVLŮ, J. (2012). Tribotechnical diagnostics of agricultural machines, Engineering for Rural Development conference Jelgava, 24.-25.05.2012, [online]. [cit.2014-05.01] Available at www: [http://www. http://tf.llu.lv](http://www.tf.llu.lv).
2. HÖNIG, V., HROMÁDKO, J. (2014). Possibilities of using vegetable oil to power diesel engines as well as their impact on engine oil, Agronomy Research Vol. 12, No. 8, pp. 323 – 332. Estonian Agricultural University. Estonia.
3. HÖNIG, V., MIHOLOVÁ, D., ORSÁK, M. (2014) Measurement of Wear Metals in Engine Oils by Atomic Absorption Spectrometry Method. Manufacturing Technology, Vol. 14, No. 3, PP. 317 – 322, J. E. Purkyne University in Ústí nad Labem nad Labem. Czech Republic.
4. HÖNIG, V. (2015) Morphological Classification of Nonferrous Wear Particles in Engine Oil Using Pherrographical Method. Manufacturing Technology, Vol. 15, No. 4, pp. 530 – 534, J. E. Purkyne University in Ústí nad Labem nad Labem. Czech Republic.
5. PAVLŮ, J., HÖNIG, V., ALEŠ, Z., CHOTĚBORSKÝ, R. (2016) Tribodiagnostic Analysis of Motor oil after Failure of Turbocharger of Combustion Engine, Manufacturing Technology, Vol. 16, No. 5, pp. 1115–1122, J. E. Purkyne University in Ústí nad Labem nad Labem. Czech Republic.
6. VESELÁ, K., PEXA, M., MAŘÍK, J. (2014) The effect of biofuels on the quality and purity of engine oil. Agronomy Research, Vol. 12, No. 2, pp. 425 – 430, Estonian Agricultural University. Estonia.

Předběžný termín obhajoby: 2017/18 LS-TF

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Vliv kontaminantů na parametry motorového oleje vypracoval samostatně a použil jsem jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze, dne 31.03.2018

.....
Jan Škoda

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Vladimíru Hönigovi, Ph.D., za vedení, cenné rady a veškerou pomoc při zpracování této bakalářské práce. Děkuji také všem majitelům vozidel, kteří poskytli vzorky olejů pro měření a v neposlední řadě děkuji zaměstnancům z autoopravny Guru Racing Garage za asistování při odběru vzorků oleje.

Abstrakt a klíčová slova

Abstrakt: Cílem této bakalářské práce je stanovení opotřebení motorových olejů skupiny vozidel a návrh optimálního intervalu výměny olejové náplně. V teoretické části je popisován vztah mezi třením a mazáním, výroba a typy maziv, rozdělení motorových olejů a popis kontaminantů majících vliv na úroveň degradace oleje. V experimentální části jsou provedeny laboratorní zkoušky na odebraných vzorcích olejů a je vyhodnocen jejich současný stav. Díky uměle kontaminovaným vzorkům lze odhadnout celkové množství znečišťujících látek v odebraných vzorcích. Pomocí tribotechnické diagnostiky je navržen optimální interval výměny motorového oleje a doporučení ke každému jednotlivému vozidlu je vysloveno v diskuzi.

Klíčová slova: motorový olej, spalovací motor, palivo, tribotechnická diagnostika

Effect of contaminants on the parameters of the engine oil

Summary: The aim of this bachelor thesis is to determine the wear of motor oils of the group of vehicles and to propose an optimal interval of oil change. The theoretical part describes the relationship between friction and lubrication, production and types of lubricants, engine oil distribution and description of contaminants affecting level of oil degradation. In the experimental part laboratory tests are carried out on samples of oils collected and their present state is evaluated. Thanks to artificially contaminated samples, it is possible to estimate the total amount of pollutants in the samples taken. Tribotechnical diagnostics suggests an optimal engine oil change interval and recommendations for each individual vehicle are spoken in the discussion.

Key words: engine oil, combustion engine, fuel, tribotechnical diagnostics

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Současný stav řešené problematiky.....	2
2.1	Maziva	2
2.1.1	Historie maziv	2
2.1.2	Tření	2
2.1.3	Opotřebení	4
2.1.4	Princip mazání	6
2.1.5	Mazací soustavy a typy mazání.....	8
2.1.6	Výroba automobilových olejů	9
2.1.7	Aditivace mazacích olejů.....	10
2.1.8	Typy automobilových olejů.....	11
2.2	Motorové oleje	12
2.2.1	Viskozitní specifikace.....	13
2.2.2	Viskozitní třídy SAE	14
2.2.3	Výkonová specifikace.....	15
2.2.4	Tovární specifikace.....	16
2.3	Opotřebení motorových olejů	17
2.3.1	Otěrové částice	17
2.3.2	Voda a olejový kal.....	18
2.3.3	Glykol	18
2.3.4	Palivo	19
2.3.5	Vysoká teplota	20
2.3.6	Nízká teplota.....	20
2.3.7	Nežádoucí prvky.....	21

2.3.8	Karbon	21
2.4	Tribotechnická diagnostika	21
3	Cíl bakalářské práce	22
4	Metodika bakalářské práce	23
4.1	Vzorky odebraných motorových olejů z automobilů	23
4.2	Vzorky čistých a uměle kontaminovaných motorových olejů.....	24
4.3	Stanovení kinematické viskozity při 40°C.....	24
4.4	Stanovení bodu vzplanutí v otevřeném kelímku.....	25
4.5	Stanovení režimu opotřebení	26
4.6	Stanovení celkových nečistot v motorovém oleji	27
4.7	Trendová analýza a normogram trendového opotřebení motorového oleje	28
5	Výsledky experimentů a diskuze.....	29
5.1	Kinematická viskozita při 40°C	29
5.2	Bod vzplanutí v otevřeném kelímku	30
5.3	Režim opotřebení	31
5.4	Celkové množství nečistot v motorovém oleji	32
5.5	Trendová analýza, normogram trendového opotřebení	32
5.6	Diskuze výsledků jednotlivých vzorků	33
6	Závěr.....	35
	Seznam použité literatury	37
	Seznam obrázků.....	40
	Seznam tabulek.....	41
	Seznam příloh.....	42

1 Úvod

Maziva prospívají lidstvu už tisíce let, jsou navržena a vyrobena k tomu snížit **tření** mezi součástmi, které se vůči sobě pohybují. Již naši předkové používali maziva ke snížení tření v různých pracovních podmínkách za účelem snížení potřebné práce ať už lidské nebo zvířecí. V dnešní době jsme schopni vyrobit maziva, která zajišťují takřka nulové **opotřebení** sousedních povrchů.

Disciplína zabývající se vztahem mezi třením, opotřebením a **mazáním** se nazývá **tribotechnika**. Je to obor, který zkoumá chování dotýkajících se povrchů při vzájemném pohybu. Takových vzájemně se pohybujících povrchů je v motoru velice mnoho a je třeba tyto povrchy chránit před nadměrným opotřebením. Tribotechnická diagnostika je v dnešní době nejefektivnějším nástrojem k určení úrovně opotřebení motorového oleje.

V motorech je nezbytným mazivem **motorový olej**, který zajišťuje mazání, chlazení a ochranu před korozi a oxidací. S rostoucím množstvím **kontaminantů** v mazivu, klesá jeho schopnost uchránit namáhané povrchy před opotřebením. Jako kontaminanty můžeme označit **abrazivní částice**, které obrušují pracovní povrchy nebo látky, které degradují motorový olej a snižují jeho **mazací schopnosti** (např. glykol nebo palivo).

Aby se předešlo nadměrné úrovni opotřebení motorového oleje, je nutné stanovit **optimální interval výměny** oleje. Ten se pohybuje obvykle od 10 000 km do 30 000 km a závisí hlavně na typu motorového oleje. Kilometrový nájezd ale není jediným parametrem, kterým bychom se měli řídit při určování optimálního intervalu výměny. Správným načasováním výměny oleje se prodlužuje **provozuschopnost a spolehlivost** stroje.

2 Současný stav řešení problematiky

2.1 Maziva

2.1.1 Historie maziv

Maziva člověk používá již tisíce let. Jak je zřejmé, výraz mazivo je odvozeno od slova **maz**. Mazivo se v dávných časech používalo (stejně jako dnes) ke **snížení tření** a potřebné síly k pohybu určitého předmětu. Jako první se využíval mazací účinek vody a to již 3500 let před n. l. v Číně. Následovalo použití zvířecího tuku na kola a hřídele vozů v Egyptě, 1400 let před n. l. Objevovali se i rostlinné oleje, smíchané s vápencovou moučkou. [1]

V dnešní době se jako maziva označují veškeré výrobky, které se používají k mazání kluzných a valivých součástí. Podíl maziv tvoří na celkové spotřebě minerálních olejů přibližně 1 %, ale ekonomický význam maziv je mnohem významnější. 30 % veškeré vyrobené energie na světě se spotřebuje na tření. Proto je vývoji a výrobě maziv potřeba věnovat velkou pozornost. [1]

2.1.2 Tření

Ke tření dochází při relativním pohybu těles, které se vzájemně dotýkají. Jedná se o fyzikální jev, při kterém vzniká třecí síla, která má opačný směr, než je vektor rychlosti pohybujících se těles. Tření je v motorovém prostoru **nežádoucí jev**, protože k překonání třecí síly musíme vynaložit dodatečnou práci a tím se snižuje celkový výkon motoru. Při tření totiž dochází k nevratné přeměně práce na teplo a dochází k němu prakticky u každé pohybující se části vozidla, resp. motoru. Tření lze obecně rozdělit na **smykové** a **valivé**. [2]

2.1.2.1 Smykové tření

Smykové tření vzniká při **smýkání** (posouvání) jednoho tělesa po povrchu druhého. Smyková síla (F_t) se vypočítá jako součin **normálové síly** (N) od podložky, která je kolmá k dotýkajícím se plochám a **koeficientu tření** (μ), který závisí na hrubosti povrchů a zda ke tření dochází za klidu (statický) nebo za pohybu (dynamický). Se zvyšující se hrubostí jednotlivých povrchů stoupá i koeficient smykového tření (viz tabulka 2-1). [2]

Tab. 2-1 Koeficienty smykového tření různých materiálů [2]

Materiály	μ_0 (statický)	μ (dynamický)
Ocel na ocel	0,15	0,10
Ocel na dřevo	0,55	0,35
Dřevo na dřevo	0,65	0,30
Pneumatika na náledí	0,1–0,2	-
Pneumatika na suchém asfaltu	0,55	-
Pneumatika na dlažbě (velké kostky)	0,6	-
Pneumatika na betonu	0,7–0,8	-

2.1.2.2 Valivé tření

Valivé tření vzniká při **valení tělesa**, kruhového průřezu, po podložce. Toto tření vzniká v důsledku **deformace** podložky nebo valícího se tělesa (např. pneumatiky). Velikost tohoto tření závisí na více faktorech než u smykového tření, např. na: [2] [4]

- velikosti valivého tělesa;
- materiálu a jeho vlastnostech (tvrdost, drsnost) tělesa a podložky;
- deformaci tělesa a podložky;
- typu styku tělesa a podložky (bodový, čárový, plošný).

Třecí síla u valivého tření se vypočítá podle vztahu:

$$\text{třecí síla} \quad F_t = \xi \cdot \frac{N}{R} \quad [\text{N}] \quad (1)$$

kde:

- ξ součinitel valivého tření [m]
 N normálová síla od podložky [N]
 R poloměr valivého tělesa [m]

Součinitel valivého odporu se určuje experimentální metodou. Jeho hodnoty pro různé druhy materiálů lze najít v tabulce 2-2. [4]

Tab. 2-2 Součinitelé valivého tření pro různé materiály [2]

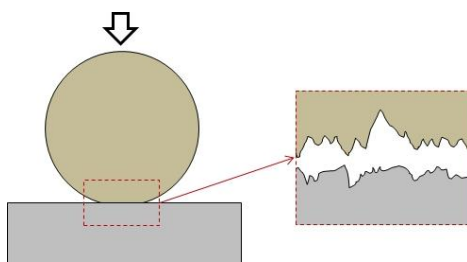
Materiály	ξ (mm)
Tvrdá ocel na tvrdé oceli	0,03
Tvrdé dřevo na tvrdém dřevu	0,8
Pneumatika na asfaltu	1,6
Pneumatika na kamenné dlažbě	2,5
Kolo na šterkové vozovce	15-60

2.1.3 Opotřebení

Jako opotřebení se označuje poškození, povětšinou strojní součásti, při kterém dochází k **úbytku materiálu** na povrchu součásti vlivem tření nebo působením okolního prostředí (např. koroze). Tento jev je nežádoucí, neboť snižuje mechanické vlastnosti strojní součásti a v konečném důsledku může dojít k jejímu trvalému poškození lomem. Pracovní povrchy strojních součástí nikdy nejsou dokonale hladké (viz. obrázek 2-1), proto dochází k opotřebení a je třeba ho zmírňovat **mazáním**, vhodnou povrchovou úpravou a správnou volbou materiálů. Opotřebení se dělí na následující druhy: [4] [2]

- abrazivní;
- adhezivní;
- erozivní;
- kavitační;
- vibrační;
- korozní;
- únavové.

V další části se budeme zabývat pouze **abrazivním** a **adhezivním** opotřebením, protože ta jsou pro nás z hlediska problematiky, popsané v této práci, nejdůležitější.



Obr. 2-1 Pracovní povrchy [5]

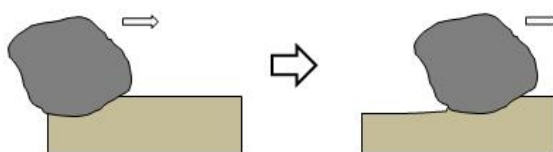
2.1.3.1 Abrazivní opotřebení

K abrazivnímu opotřebení dochází při styku dvou těles s rozdílnou tvrdostí povrchů nebo při působení abrazivních částic mezi povrchy oddělujících materiál jednoho či obou povrchů.

V prvním případě proniká tvrdý materiál do měkčího a mění tak jeho povrch, případně **odnáší část povrchu pryč**. Příkladem abrazivního působení dvou těles je pilník a obrobek. Na obrázku 2-2 můžeme vidět, jak tvrdší materiál (tmavší) proniká do měkčího materiálu a deformuje tak jeho povrch. [6]

V druhém případě dochází k opotřebení povrchů působením abrazivních částic, například v mazivu. Pokud toto působení uvedeme na příkladu motorového oleje, tak mikroskopické ošetrové částice v oleji **obrušují povrchy**, mezi kterými se olej nachází. [7]

Další důležitou proměnnou v opotřebení je tvrdost povrchu. Menší tvrdost povrchů snižuje abrazi při interakci dvou těles. Například radiální nebo kluzné ložisko vyrobené z měkčího materiálu klouže na tvrdším hřídeli s minimální nebo nulovou abrazí. Používání materiálů s podobnou tvrdostí se obecně nedoporučuje. [7]

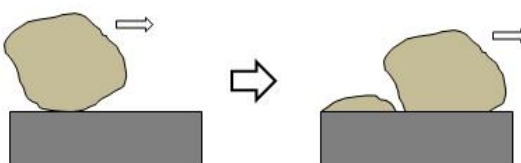


Obr. 2-2 Abrazivní opotřebení [5]

2.1.3.2 Adhezivní opotřebení

Při relativním pohybu součástí, které na sebe působí **velkými silami**, může vzniknout adhezivní opotřebení. Tento druh opotřebení je charakteristický přenosem materiálu mezi dvěma povrchy. Při působení velkých sil povrchy mezi sebou vytvářejí **mikrospojy** (miniaturní svary), které mají za následek plastické deformace materiálu a celkovou změnu funkčních povrchů. Na obrázku 2-3 je vyobrazená část materiálu, která se po vzájemném dotyku spojila s opačným povrchem. Tento jev je nežádoucí a jeho výskyt lze snížit následujícími způsoby: [6]

1. vhodnou volbou materiálů: materiály by se v sobě neměly rozpouštět a neměly by v daných pracovních podmínkách vytvářet slitiny, rozdílná tvrdost povrchů; [7]
2. použití maziva – při vytvoření dostatečně silné vrstvy maziva lze takřka eliminovat vznik adhezivního opotřebení, protože dostatečně silná vrstva maziva zamezí styku dvou povrchů a tím i vytváření mikrospojů. [8]



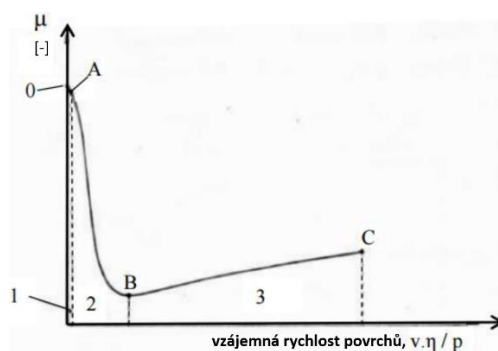
Obr. 2-3 Adhezivní opotřebení (5)

2.1.4 Princip mazání

Abychom zmírnili tření mezi třecími dvojicemi, nanášíme mezi pracovní povrchy **mazivo**. To má za následek snížení opotřebení strojních součástí a prodloužení jejich provozuschopnosti. Dalším pozitivním vlivem maziva na mazanou soustavu je

- odvod tepla a abrazivních částic;
- ochrana před korozí;
- snížení hluku a tlumení nárazů.

Třecí síla mezi povrchy je největší před začátkem pohybu. Se zvyšující se rychlostí ($v \cdot \eta / p$) dotýkajících se povrchů se zmenšuje **koeficient tření** (μ) a klesá třecí síla. Toto chování popisuje **Stribeckova křivka**, kterou si můžeme prohlédnout na obrázku 2-4. [6]



Obr. 2-4 Stribeckova křivka [9]

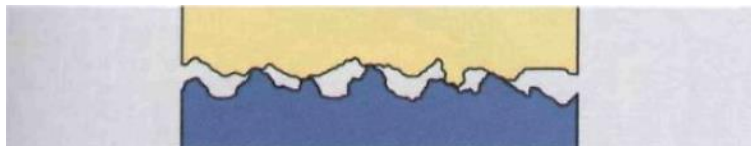
Oblasti, které popisuje Stribeckova křivka: [9]

0. klidové tření – před začátkem pohybu;
1. suché tření – malé rychlosti, velké opotřebení povrchů;
2. polosuché tření – střední rychlosti, dochází k opotřebení vrcholků nerovností povrchů;
3. kapalinové tření – vysoké rychlosti, téměř nulové opotřebení.

Na křivce se nachází místo, které je označeno písmenem B. Je to rychlost, při které se mezi pracovními povrchy vytvoří extrémně tenká vrstva maziva (několik molekul). Při této rychlosti je koeficient tření (μ) nejmenší a toto místo se nazývá oblast **mezího tření**. Při dalším zvyšování rychlosti se koeficient tření začíná zvyšovat, protože zvětšující se vrstva maziva mezi pracovními povrchy klade dodatečný odpor. Přesto je koeficient tření tak malý, že nedochází prakticky k žádnému opotřebení. [6] [8]

2.1.4.1 Suché tření

Sousedící povrchy nejsou odděleny souvislou vrstvou maziva a dotýkají se přímo (viz obrázek 2-5). Dochází k velkému opotřebení. Mnoho energie je spotřebováno na nevratnou přeměnu tepla a tento stav je ve spalovacím motoru velice nežádoucí. [10]



Obr. 2-5 Suché tření [10]

2.1.4.2 Polosuché tření

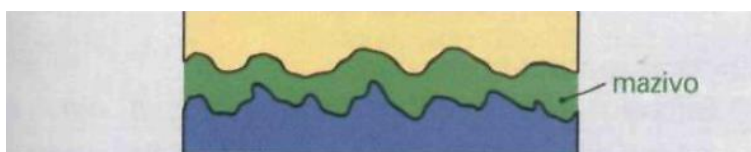
K polosuchému tření dochází v případě, že se mazivo nachází v prohlubních a sousední povrchy se dotýkají pouze vrcholky nerovností (viz obrázek 2-6). Opotřebení je menší než u suchého tření a koeficient tření rapidně klesá se zvyšující se rychlostí. [10] [9]



Obr. 2-6 Polosuché tření [10]

2.1.4.3 Kapalinové tření

V této oblasti se tvoří mezi pracovními povrchy souvislá vrstva maziva, která zcela odděluje obě součásti (viz obrázek 2-7). Dochází pouze k opotřebení vlivem abrazivních částic v mazivu. Tento stav je v motoru žádoucí. [9] [10]



Obr. 2-7 Kapalinové tření [10]

Je nutné navrhnout jednotlivé části motoru tak, aby pracovali v oblasti **kapalinového tření** a docházelo k co možná nejmenšímu opotřebení. Nelze ovšem zaručit tuto podmínku ve všech případech. Existují **výjimky**, kdy dochází v motoru k polosuchému nebo i suchému tření, a to hlavně při rozběhu a doběhu motoru nebo například v okamžiku dosažení horní úvrati pístu ve válci. [6] [8]

2.1.5 Mazací soustavy a typy mazání

2.1.5.1 Mazání tuhými mazivy

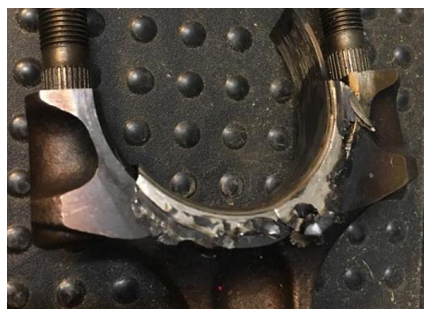
Nejjednodušším způsobem mazání je použití tzv. tuhých plastických maziv. Princip mazání je jednoduchý. Mezi kontaktní plochy je nanášeno mazivo, to se žádným způsobem nepřidává a neobměňuje, proto je nutné po čase obě stykové plochy očistit od starého maziva a nanést mazivo nové. Tento způsob mazání se používá například v kloubech poloos, kardanových hřídelích, ozubených převodech nebo v brzdových čepech. K tomuto použití se nejčastěji volí maziva s příměsí **grafitu**, protože lépe odolávají vysokým teplotám. [11]

2.1.5.2 Mazání tlakové s mokrou skříní

Olejevá vana, umístěná v dolní části motoru slouží jako zásobník a chladič motorového oleje. Olejovým čerpadlem se přes sací koš a filtr nasává olej do tlakového potrubí a je rozveden k součástem motoru, které je nezbytné neustále mazat. Jedná se především o mechanismus klikové a vačkové hřídele a písty ve válcích. Olej po promazání pohyblivých částí **stéká zpět** do olejové vany, kde se ochladí a celý cyklus se opakuje. [12] [13]

Hladinu olejové náplně je nutné kontrolovat pomocí olejové měrky. V olejové soustavě jsou zabudovány čidla, která hlídají tlak oleje. Pokud tlak oleje klesne pod určitou hodnotu, rozsvítí se na palubní desce kontrolka mazání. Je ale nutné tomuto stavu předcházet, neboť při rozsvícení kontrolky již **nedochází k aktivnímu mazání** pohyblivých součástí a zvyšuje se riziko poškození motoru. Dnešní automobily už jsou vybaveny automatickým snímačem hladiny motorového oleje, který neustále kontroluje správnou hladinu oleje a upozorní řidiče na nebezpečí poškození motoru s předstihem. [12]

Na obrázku 2-8 je kluzné ojnicí ložisko z motoru, které nebylo konstantně mazané olejem. Můžeme si všimnout, že ložisko se deformovalo (vytavilo) do bočního prostoru mezi klikovou hřídel a ojnicí a následně došlo k zadření motoru.



Obr. 2-8 Zadřené ojnicí ložisko [vlastní]

2.1.5.3 *Mazání tlakové se suchou skříní*

Mazací soustava je obdobná jako u tlakového mazání s mokrou skříní s tím rozdílem, že je v tomto případě použito **dvoustupňové olejové čerpadlo**. První stupeň klasicky rozvádí olej pod vysokým tlakem k mazaným součástem a druhý stupeň čerpadla odsává stékající olej do **samostatné olejové nádrže** mimo motor. Tento způsob mazání je využitý u terénních a závodních automobilů a traktorů. Při extrémní jízdě nebo náklonu vozidla se totiž olej přelévá v olejové vaně a může dojít k nasátí vzduchu olejovým čerpadlem i při dostatečně velké zásobě oleje. [12] [14] [13]

2.1.5.4 *Mazání mastnou směsí*

Mazivo se mísí přímo s palivem v poměru 1:20 až 1:50. Mastná směs je následně přiváděna do spalovacího prostoru a maže stěny válce a klikový mechanismus. Tento typ mazání se používal výhradně u dvoudobých motorů. Jedná se o **nejjednodušší způsob** mazání spalovacích motorů, avšak nese s sebou velkou nevýhodu. Při delším používání motoru bez přidání plynu se motor nemaže a vzniká riziko poškození motoru. [12] [13]

2.1.5.5 *Mazání čerstvým olejem*

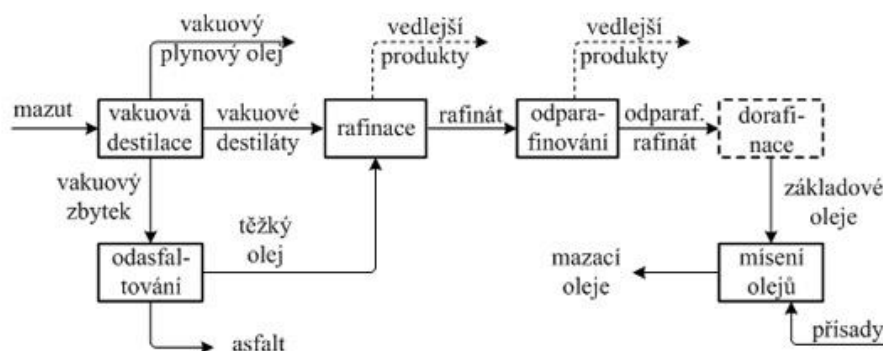
Motorový olej je umístěn ve speciálním **zásobníku** a je pomocí olejového čerpadla rozváděn po motoru. Olej je k mazaným místům přiváděn v množství nezbytně potřebném, podle zatížení a otáček motoru. Tento způsob nacházel uplatnění, podobně jako mazání mastnou směsí, u dvoudobých motorů motocyklů. Je nutné pravidelně kontrolovat a doplňovat hladinu oleje v zásobníku, aby se předešlo poškození motoru. Naopak tento způsob zajišťuje perfektní mazací schopnosti, neboť poskytuje **čerstvý olej** bez jakýchkoli kontaminantů. [14] [12]

2.1.6 *Výroba automobilových olejů*

Ropa je směs **uhlovodíků**. Jedná se o rozvětvený řetězec **uhlíku**, na které jsou navázány atomy **vodíku**. Automobilové oleje se vyrábí z mazutu, což je neodpařený zbytek ropy, který vzniká při atmosférické destilaci. Výroba **základového oleje** probíhá ve společných rafinériích, a to mnoha různými procesy, které jsou schematicky zobrazeny na obrázku 2-9. Prvním procesem je vakuová destilace. Ta má za úkol oddělení jednotlivých složek z ropy. Vakuum je využito z důvodu odloučení složek, které se při atmosférické destilaci špatně odpařují. V případě výroby velmi viskózních olejů se používá ještě odasfaltování. [14] [15]

Rafinace má za úkol zbavit produkt nežádoucích prvků, jako např. síry, zvýšit stabilitu stárnutí, ustanovit bod tuhnutí **odparafinováním** na -9°C až -15°C . Hlavním úkolem rafinace je ale připravit **základový olej** pro výrobu mazacích olejů. [10]

Základové oleje se mezi sebou dále mísí a přidávají se různá **aditiva**, až na konci výrobního procesu vznikne hotový mazací olej. [15]



Obr. 2-9 Blokové schéma výroby mazacích olejů [15]

2.1.7 Aditivace mazacích olejů

Základový olej udává celkové chemické vlastnosti hotového oleje a tvoří 90 % obsahu, zbylých 10 % tvoří aditiva. To jsou chemické přísady, které **zlepšují** celkové vlastnosti oleje.

Aditiva pro ochranu oleje: [14] [8]

- proti pění – zabraňují vzniku olejové pěny (nebezpečí nasátí vzduchu olejovým čerpadlem), větší podíl kyslíku v oleji urychluje jeho stárnutí;
- proti stárnutí – omezují reakci oleje s kyslíkem, tomuto procesu nelze úplně zabránit.

Aditiva s povrchovým účinkem: [14] [8]

- detergenty – neustále čistí mazaný povrch a zabraňují usazování větších nečistot;
- disperzanty – přebírají nečistoty od detergentů a zabraňují shlukování nečistot ve větší celky, zabraňují ucpání mazacích kanálů a filtrů;
- antikorozi – vytváří na povrchu ochranný povlak a konzervují povrch;
- vysokotlaké – reakcí s povrchem vzniká ochranná vrstva, nedochází ke přímému styku dvou povrchů, použití hlavně mezi ozubenými koly v převodovkách a diferenciálech.

Aditiva zlepšující olej: [14] [8]

- depresanty – snižují bod tuhnutí, udržuje homogenitu oleje při nízkých teplotách;
- ochranné elastomery – chrání gumové těsnění, které přichází do styku s olejem;
- viskozitní modifikátory – snižují závislost viskozity na teplotě, zvyšují teplotní rozsah.

2.1.8 Typy automobilových olejů

Minerální oleje se vyrábí rafinací z ropy, jak bylo popsáno výše. **Syntetické oleje** se nevyrábějí z ropy, ale jsou zhotoveny úpravou vhodné chemické sloučeniny (polyolefiny, alkybenzeny, estery organických kyselin, polyglykoly, atd.). Jedná se o látky, které vykazují podobné (někdy i lepší) vlastnosti jako ropná maziva. Jsou více odolné proti vysokým teplotám, mají menší viskozitu v nízkých teplotách, atd. Objevují se i **polosyntetické oleje**, v tomto případě se jedná o směs syntetického a minerálního oleje. [16] [14]

Abychom mohli mazací oleje použít v automobilovém průmyslu, musí splňovat mnoho přísných kritérií. **Oleje musí** [8]

- dobře lpět na mazaném povrchu ve všech provozních podmínkách;
- dobře odvádět třecí a provozní teplo;
- chránit železné a barevné kovy před korozivním opotřebením;
- odolávat co nejlépe stárnutí a oxidaci uhlovodíků;
- dobře utěsnit dosedací plochy pístních kroužků;
- umožnit použití v rozmezí teplot -40°C až 300°C ;
- zakonzervovat motor, při delším odstavení.

Na druhou stranu **oleje nesmí** [14]

- rozrušovat gumové a plastové materiály (hadice, těsnění, atp.);
- pění v motoru, zvyšuje se riziko nasátí vzduchu olejovým čerpadlem;
- vykazovat vysoké karbonizační číslo (náchylnost k tvorbě karbonových úsad).

Oleje by měly být [14]

- dobře skladovatelné, alespoň 2 roky v příznivých podmínkách;
- málo odparné (neodpařuje se při vysokých teplotách);
- s příznivou cenou;
- mísitelné s oleji jiných výrobců, ale stejné viskozitní třídy;
- přehledně označeny dle mezinárodních norem SAE, ACEA, API.

Oleje používané v automobilovém odvětví se dají dále rozdělit podle způsobu jejich použití.

2.1.8.1 Motorové oleje

Motorové oleje se používají jako náplň do spalovacích motorů, mají za úkol celou řadu funkcí od antikorozi ochrany, malé tvorby karbonových úsad, dobrých mazacích schopností, vysoké životnosti a dlouhých výměnných intervalů až po minimální negativní vliv na životní prostředí. Z výše uvedených požadavků se jedná o **nejsložitější olejářský výrobek** a na jeho vývoj a výrobu jsou kladeny nemalé finanční prostředky. Kvalita motorových olejů se odvíjí od dokonalosti technologie, kterou výrobce používá. V tomto odvětví se vede obrovský boj o zákazníka a při výběru motorového oleje musíme dbát hlavně na správnou volbu, podle požadavků motoru, ve kterém chceme olej používat. [14] [10]

2.1.8.2 Převodové oleje

Jsou výhradně používány k mazání ozubených kol a ložisek v převodovkách a diferenciálech. Mají za úkol ochránit ozubená soukolí před povrchovým opotřebením a následným lomem zubu. Od motorových olejů se liší vyšším obsahem **vysokotlakých aditiv** a neobsahují detergentní a disperzační přísady. Volba převodového oleje se odvíjí od provozní teploty a rychlosti, povrchové úpravy a materiály dosedacích ploch (některé převodovkové oleje mohou narušovat barevné kozy, ze kterých jsou vyrobeny například synchrony) a náročnosti provozu (přenášené síly). Nejčastěji se volí minerální oleje, použití syntetických olejů přichází na řadu, pokud vlastnosti minerálních olejů nedostačují. [17]

2.1.8.3 Hydraulické oleje

Tento typ olejů se používá především u vysokotlakých hydraulických soustav. Mají za úkol udržovat stabilní ochrannou vrstvu (ochrana proti korozi a oxidaci) a chránit před velkým opotřebením. Dalším důležitým faktorem je **minimální pěnivost**, protože vzduch je v hydraulických soustavách velmi nežádoucí. V automobilovém průmyslu se používají do hydraulických soustav nákladních automobilů, bagrů, zemědělských strojů, atp. [11] [17]

2.2 Motorové oleje

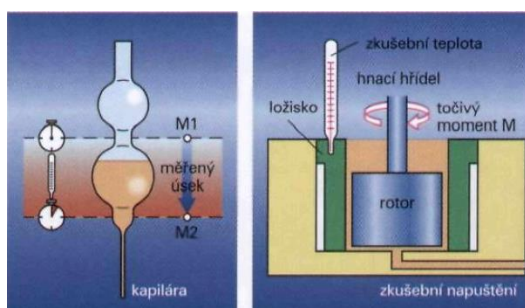
Aby bylo vůbec možné motorové oleje používat v automobilech, je nutné je označit. Označení existuje spousta a v dnešní době není vůbec jednoduché se orientovat v motorových olejích a správně zvolit nejvhodnější typ. Nejběžnějším označením je viskozitní specifikace. Tím ale výběr zdaleka nekončí, musíme ověřit zda motorový olej, který jsme vybrali podle viskozitní specifikace, vyhovuje požadované výkonové a tovární specifikaci. [10]

2.2.1 Viskozitní specifikace

Viskozita je veličina, která vyjadřuje **vnitřní tření** kapaliny. Čím vyšší má olej viskozitu, tím větší má odpor k tečení a je hustší. Oleje s nižší viskozitou jsou tekutější. Se stoupající teplotou viskozita klesá. Dělí se na kinematickou a dynamickou viskozitu. [10] [6]

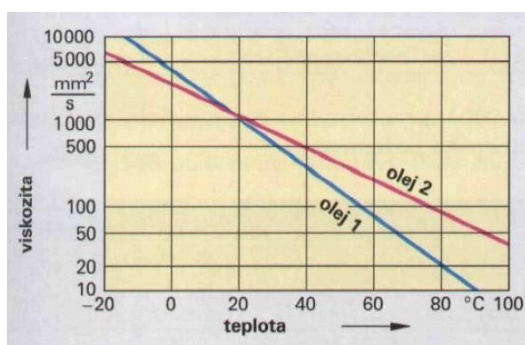
K měření **kinematické viskozity** se používá kapilární viskozimetr (obrázek 2-10 vlevo). Zjišťuje se doba, za kterou proteče určité množství oleje (při zkušební teplotě) skrz dlouhou tenkou trubičku (kapilára). Jednotkou kinematické viskozity je $\text{cm}^2/\text{s} = \text{Stokes (ST)}$ [8]

Dynamická viskozita se určuje na rotačním viskozimetru (obrázek 2-10 vpravo). Určuje se točivý moment, který je potřebný k otáčení válce s olejem při určité teplotě. Jednotkou dynamické viskozity je $\text{g}/\text{cm} \cdot \text{s} = \text{Poise (P)}$ [10]



Obr. 2-10 Kapilární a rotační viskozimetr [10]

Viskozitní index je dalším důležitým parametrem motorového oleje. Udává sklon přímky závislosti viskozity na teplotě. Pro motor je vhodné, aby motorový olej co nejméně se stoupající teplotou měnil svoji viskozitu. Jak je vidět na obrázku 2-11, olej 2 má vyšší VI (viskozitní index), protože jeho viskozita se nesnižuje tak rapidně, se stoupající teplotou, jako u oleje 1. Oleje s vyšším VI umožňují lepší studené starty a zároveň zajišťují pevné mazací filmy i při vysokých teplotách. Nejvyšší kvalita minerálních olejů dosahuje VI kolem 100. Syntetické oleje dosahují VI až 150 a jsou tedy vhodnější do výkonných motorů. [10] [14]

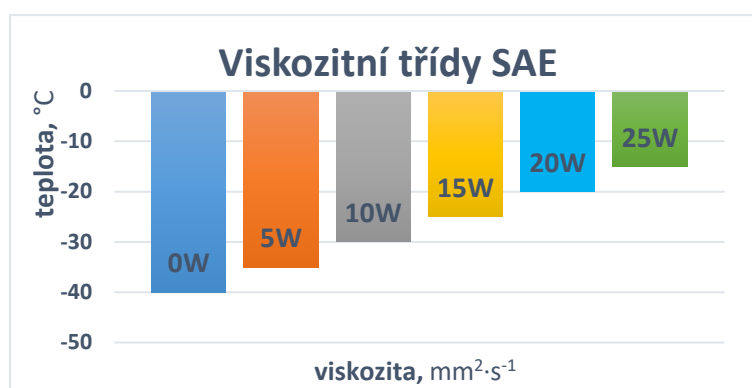


Obr. 2-11 Závislost viskozity na teplotě [8]

2.2.2 Viskozitní třídy SAE

Aby bylo možné jednoduše oleje označit podle viskozity (resp. rozsahu teplot, ve kterých jsou oleje schopny pracovat), byla zavedena klasifikace motorových olejů podle americké normy SAE J 300 (Society of Automotive Engineers). Podle normy SAE se oleje rozdělují na **jednostupňové** (monograde), jedná se o sezónní oleje a **vícetupňové** (multigrade). Toto označení se skládá ze dvou částí oddělených pomlčkou (např. 10W-40). [18]

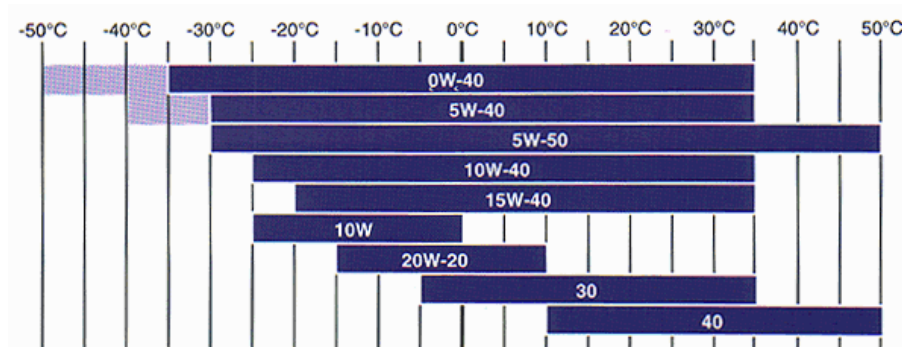
První část tzv. **zimní číslo** se skládá z čísla (0, 5, 10, 15, 20, 25) a písmena W (anglicky winter) a udává tekutost oleje při mrazech. Jak je vidět na obrázku 2-12: čím je číslo nižší, tím je olej tekutější při vysokých mrazech a tím pádem je zaručena i startovatelnost. [19]



Obr. 2-12 Závislost zimního čísla na teplotě [20]

Druhá část, tzv. **letní číslo** (20, 30, 40, 50, 60) informuje o viskozitě při teplotě 100°C, což odpovídá teplotě motorového oleje při zahřátém motoru. Čím je číslo vyšší, tím klade olej větší odpor proti vzájemnému pohybu třecích ploch. U motorů, které jsou více zatěžované a dosahují vyšších provozních teplot, je nutné použít motorový olej s vyšším letním číslem, aby byl zajištěn pevný mazací film i při vysokých teplotách. [19] [10]

Podle obrázku 2-13 lze jednoduše určit dle venkovní teploty, ve které má být automobil provozován, jaký typ motorového oleje podle klasifikace SAE zvolit.



Obr. 2-13 Doporučené viskozitní třídy SAE motorových olejů podle vnějších teplot [20]

2.2.3 Výkonová specifikace

Výkonová specifikace motorových olejů byla zavedena z důvodu, že nestačí olej vybrat podle viskozitní specifikace SAE, ale je dále nutné určit v jakých provozních podmínkách a při jaké zátěži bude používán. Hodnotí se například ochrana proti korozi a otěru, oxidační stabilita, pěnění oleje, tvorba karbonových úsad při vysokých teplotách atd. Výkonová specifikace se dělí do podle: [14] [21]

- **API** (American Petroleum Institut);
- **CCMC** (Comité des Constructeurs d'Automobiles du Marché Commun, 1979-1990);
- **ACEA** (Association des Constructeurs Européens d'Automobiles, 1990-dodnes);
- **MIL-L**-vojenská specifikace (anglicky military);
- **ILSAC** (International Lubricant Standardization and Approval Committee), **JASO** (Japan Automobile Standards Organisation), **Global DHD** (spolupráce ACEA, EMA (Engine Manufacturers Association, USA) a JAMA (Japan Automobile Manufacturers Association, Inc.)), atd.

Jak je zřejmé skupin výkonových specifikací je mnoho, v dalším textu budou rozebrány pouze specifikace ACEA a API, protože jsou nejpoužívanější a nejdůležitější v komerčním automobilovém průmyslu.

2.2.3.1 Výkonnostní specifikace ACEA

Jedná se o asociaci evropských konstruktérů automobilů a sídlí v Bruselu. V roce 1990 nahradila dnes již zastaralou normu CCMC. Označení podle normy ACEA se skládá ze dvou částí. První částí je **písmeno**, které udává typ pohonné jednotky, ve které má být olej použit

- A – zážehové motory;
- B – vznětové motory;
- C – zážehové motory osazené částicovými filtry;
- E – vznětové motory velkých užitkových vozidel.

Druhou částí je **číslice** (1-7), která charakterizuje úroveň užitných vlastností oleje. Existují i kombinace těchto označení, které jsou vhodné jak pro vznětové, tak pro zážehové motory (např. ACEA A3/B4). V tabulce 2-3 jsou uvedeny některé příklady označení motorových olejů podle výkonnostní klasifikace ACEA. [18] [14]

Tab. 2-3 Označení motorových olejů podle normy ACEA a stručný popis [21]

A1/B1	Vznětové i zážehové motory, vícestupňové, nízkoviskózní, snižují spotřebu paliva
A3/B4	Vznětové motory s přímým vstřikováním a vysoce výkonné zážehové motory
C1	Pro motory se systémy DPF, TWC (filtr pevných částic, třístenný katalizátor), prodlužují životnost těchto systémů, snižují spotřebu paliva, nízkoviskózní
E2	Atmosféricky plněné motory i přeplňované motory, běžný interval výměny
E4	Vysoce stabilní oleje, pro motory splňující emisní limity Euro 1 – 4, umožňuje prodloužit interval výměny, nevhodný pro motory s DPF

2.2.3.2 Výkonnostní specifikace API

Jedná se o americkou normu značení motorových olejů, proto ne vždy plně vyhovuje evropským požadavkům (americké motory jsou konstrukčně odlišné od evropských, hlavně objemově a co se emisních norem týče). Označení se skládá z **písmene**, které charakterizuje, pro jaký typ motoru je olej určen [23]

- C – vznětové motory (anglicky commercial);
- S – zážehové motory (anglicky service);
- T – dvoudobé motory.

A úroveň užitných vlastností oleje vyjadřuje rovněž **písmeno** (A – výše). Obecně platí, že čím dále je písmeno v abecedě, tím kvalitnější olej je. V označení se mohou objevovat i číslice, které blíže charakterizují výkonnostní třídu. [24]

Podobně jako tomu bylo u normy ACEA i v normě API se objevují kombinace označení, která mohou být vhodná pro více pohonných jednotek (např. API SL/CF). V tabulce 2-4 jsou uvedeny některé příklady označení motorových olejů podle výkonnostní klasifikace API. [14]

Tab. 2-4 Označení motorových olejů podle normy API a stručný popis [23]

SJ	Zážehové motory, r.v. 1996 a mladší
SN	Zážehové motory, zavedena v roce 2010, vysoká ochrana při vysokých teplotách, zvyšuje životnost turbodmychadla, snižuje spotřebu paliva
CH-4	Vznětové motory, zavedena v roce 1998, pro vysokorychlostní čtyřdobé motory, pro přísné emisní limity
CK-4	Navržené pro standardy automobilů roku 2017 a mladších, vysoká ochrana proti degradaci a oxidaci oleje, ochrana DPF a TWC, atd.

2.2.4 Tovární specifikace

Celá řada výrobců požaduje, aby v jejich pohonných jednotkách byly používány pouze motorové oleje, které naprosto přesně vyhovují parametrům motoru. Někteří výrobci předepisují do svých motorů oleje dle norem ACEA nebo API, ale ve většině případů si

vytvářejí **vlastní normy** (Volkswagen, BMW, Volvo, Ford, MAN, ...). Výrobci motorových olejů na tyto tovární normy musí reagovat a uzpůsobit jim produkci svých olejů. Označení podle tovární specifikace nemá žádný ucelený formát a automobilky si jej volí podle sebe (Longlife-98 = BMW, WSS M2C913-B = Ford, atp.). Protože v Evropě je nejběžnější tovární specifikací motorových olejů koncernu Volkswagen, v tabulce 2-5 je uvedeno několik příkladů označení a jejich stručný popis. [24] [18]

Tab. 2-5 Označení motorových olejů podle tovární normy VW a stručný popis [25]

VW 500.00	Odpovídá vícestupňovým SAE 5W-*/10W-*, motory do roku 2000
VW 503.01	Pro modely Audi RS4, TT, S3, A8 6.0 V12 (více než 180 koňských sil), interval výměny oleje 30 000km nebo 2 roky
VW 506.01	Vznětové motory se systémem PD (německy Pumpe-Düse – vysokotlaké vstřikování pomocí naftového čerpadla), prodloužený interval výměny oleje 30 000 – 50 000 km nebo 2 roky.

2.3 Opotřebením motorových olejů

Kontaminace motorových olejů, různými způsoby je naprosto běžný jev a nedá se mu nijak zabránit. Znečištění se dělí na [14]

- **tvrdé** – je příčinou opotřebením komponentů systémů (otěrové částice);
- **měkké** – oxidační produkty oleje a produkty reakce aditiv, tvoří lepkavou hmotu, která se usazuje na kovový povrch a způsobuje zadírání, nelze ji odstranit filtrací.

2.3.1 Otěrové částice

Otěrové částice se do oleje dostanou vždy. Povrchy třecích dvojic nikdy nejsou dokonale hladké (viz obrázek 2-1) a v některých případech dochází k suchému nebo polosuchému tření. V tomto případě se oddělují mikroskopické částičky materiálu a mísí se s olejem. Takto obohacený olej má tendenci **obrušovat** pracovní povrchy, které nejsou v bezprostředním kontaktu. Nejedná se jen o železné částice. V motoru se nachází celá řada dalších kovů, které se postupně ve formě abrazivních částic dostávají do motorového oleje (např. měď, hliník, chróm, nik, ...). [26]

Dalším zdrojem otěrových částic v motorovém oleji jsou nečistoty a **prach** z nasávaného vzduchu. Ty jsou obvykle tvrdší než kovové částice a mají za následek velké abrazivní opotřebením. Pokud se v oleji nachází velké množství otěrových kovů a zároveň velké množství křemíku, jedná se průnik o prachu do oleje. Dalšími zdroji otěrových částic může být koroze, nečistoty z výroby nebo opravy, částice karbonu z nedokonalého spálení paliva, atp. [8] [26]

2.3.2 Voda a olejový kal

Voda přicházející do styku s olejem je zcela běžný jev ve spalovacím motoru a prakticky mu nelze zabránit. Když spálíme litr benzínu, chemickou přeměnou nám vznikne litr vodní páry. Ta se skrz netěsnosti dostává do prostoru klikového mechanismu. Pokud je motor ohřátý na provozní teplotu, vodní pára nestihne zkondenzovat a odchází odvětráním klikové skříně z motoru pryč. Problém ale nastává při častých studených startech a krátkých dojezdových vzdálenost, kdy se motor prakticky nedokáže ohřát na provozní teplotu. V takovém případě vodní pára v klikovém mechanismu **kondenzuje** a mísí se s motorovým olejem. Voda se v oleji rozpouští velmi špatně a pouze ve velmi malém množství. To má za následek tvorbu kalů a emulze, které postupně ucpávají olejové čerpadlo a mazací kanály. V konečném důsledku způsobí nečistoty ztrátu mazacích schopností motorového oleje a poškození motoru. Předcházet tomuto jevu lze podniknutím delší cesty s automobilem zahřátým na provozní teplotu, aby se veškerá voda mohla odpařit z motorového oleje. [27] [8]

2.3.3 Glykol

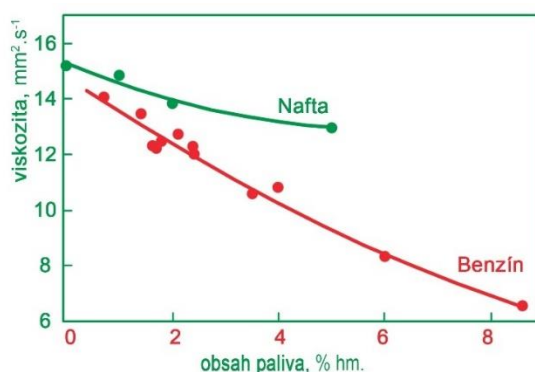
Chladicí kapalina, odolná proti mrazu vždy obsahuje glykol ve formě propylenglykolu nebo ethylenglykolu. Tyto kontaminanty reagují s motorovým olejem a dochází k jeho rapidní degradaci. Jedná se o jeden z nejhorších kontaminantů v motorovém oleji. Glykol do oleje proniká při závadě chladicího systému (prasklé těsnění pod hlavou válců, prasklá hlava válců, malé průsaky, atd.). Už při nízkých koncentracích dochází k závažným a **nevratným** změnám v oleji. Olej rychle ztrácí tekutost, objevují se v něm různé kaly a úsady až úplně ztuhne (viz obrázek 2-14 vlevo). To že glykol proniká do motorového oleje poznáme podle bílé pěny pod plnicím olejovým víčkem jako na obrázku 2-14 vpravo. Zamezit se tomu dá odstraněním závady na chladicím systému. Pokud dochází k pronikání chladicí kapaliny do oleje pouze v malém měřítku, lze se vyvarovat poškození motoru pravidelnou výměnou motorového oleje. [27] [8]



Obr. 2-14 Degradace motorového oleje glykolem a jeho přítomnost v oleji [26]

2.3.4 Palivo

Palivo se během procesu spalování vždy smísí s motorovým olejem. Děje se tak v důsledku nedokonalého utěsnění válců pístními kroužky. Horké spaliny pronikají do prostoru klikového mechanismu a tam degradují motorový olej. Ten se palivem **ředí** (snižuje se viskozita) a snižují se tak jeho mazací schopnosti. Zvyšuje se také spotřeba paliva a oleje a v konečném důsledku může dojít i k vážnému poškození motoru (vytavení ložisek, poškození pístů, zadření motoru). Jak si můžeme všimnout na obrázku 2-15, benzín má na viskozitu větší vliv než nafta. Maximální podíl paliva v motorovém oleji udávají výrobci kolem 4 %. Je nutné pravidelnou výměnou oleje zabránit nadbytečné koncentraci paliva v motorovém oleji. [28] [8]



Obr. 2-15 Vliv obsahu paliva na viskozitu motorového oleje [28]

2.3.4.1 Benzín

Benzín se začíná vařit při 40°C a začínají se odpařovat nejlehčí složky. Při 110°C se odpařují středně těžké složky benzínu a nejtěžší složky se odpařují až při 210°C. Z toho je zřejmé, že při běžné provozní teplotě automobilu (přibližně 100°C) se **destilují** z motorového oleje pouze lehké a středně těžké podíly. Takto se z oleje předestiluje přibližně **polovina** z celkového podílu benzínu. To však neplatí u automobilů, které jsou provozovány pouze na **krátké trasy**. Je nutné s automobilem občas podniknout delší cestu, aby lehké a středně těžké podíly benzínu měli dostatečný čas odpařit se z motorového oleje. [28] [14]

2.3.4.2 Nafta

Na rozdíl od benzínu, nafta se začíná vařit až při 180°C, střední bod varu leží kolem 270°C a končí na hranici 360°C. To znamená, že při běžné provozní teplotě se s naftou přimísenou do oleje nestane vůbec nic. Nafta se v motorovém oleji **hromadí** a snižuje postupně jeho mazací schopnosti. Musíme dbát na to, aby koncentrace nafty v motorovém oleji nepřesáhla kritickou hranici cca 4 % a olej do té doby vyměnit, v rámci pravidelného výměnného intervalu. [28] [8]

2.3.4.3 Rostlinný olej

Jedná se o palivo s vysokým cetanovým číslem (udává kvalitu paliva z hlediska jeho vznětové charakteristiky), okolo 50 jednotek (podobně jako nafta), jemné a biologicky odbouratelné, což umožňuje jeho použití i v chráněných krajinných oblastech. Jeho hoření produkuje minimální emise a škodlivé látky. Viskozita řepkového oleje je ale výrazně vyšší než u motorové nafty. To způsobuje problémy při studených startech a je nutné využít duální palivové systémy. Řepkový olej má také nižší oxidační stabilitu, což způsobuje tvorbu kalů při jeho skladování. Při kontaminaci motorového oleje řepkovým olejem se zvyšuje množství kovových částic a mění se viskozita motorového oleje. To způsobuje jeho **degradaci** a zvýšené opotřebení mazaných částí. Je tedy nezbytné **zkrátit interval** výměny oleje. [29]

2.3.4.4 Ethanol E85

Používání ethanolu E85 snižuje viskozitu motorového oleje o více než **20 %** oproti hodnotám, které udává typový list výrobce. Benzín ve styku s motorovým olejem sice také snižuje jeho viskozitu, ale děje se tak v řádech setin procent. Menší viskozita při používání ethanolu snižuje mazací schopnosti oleje a rapidně zvyšuje riziko poškození motoru. Při použití ethanolu E85, musí být **zkrácen interval** pravidelné výměny oleje na **polovinu**. [30]

2.3.5 Vysoká teplota

Vysoká provozní teplota oleje urychluje jeho **stárnutí**. Má za následek oxidaci, tvoření karbonu, nižší viskozitu a tím pádem i ztenčení mazacího filmu na pohyblivých součástech. Na druhou stranu se ale z horkého oleje lépe odpařují některé složky benzínu, voda, má menší sklon k pění atd. Negativní dopady ovšem převažují nad pozitivními a tím pádem je lepší zvolit do výkonnějších motorů vysokoteplotní oleje. Jejichž pořizovací cena je ovšem vyšší než u obyčejných motorových olejů. [8] [13]

2.3.6 Nízká teplota

Podobně jako vysoká teplota motorového oleje urychluje jeho stárnutí a degradaci, tak i nízká provozní teplota má stejné následky. Při častých studených startech a krátkých dojezdových vzdálenostech se z oleje nestihnou vydestilovat, výše uvedené prvky (benzín, voda, ...). Musíme brát v úvahu také venkovní teplotu při studeném startu. Při venkovní teplotě může trvat oleji až **18 sekund**, než se dostane do všech mazacích uzlů. Tímto je nejvíce postižen sekundární mazací okruh. Je třeba proto zvolit správnou viskózní třídu v závislosti na venkovní teplotě, ve které má být automobil provozován. [8] [13]

2.3.7 Nežádoucí prvky

Složení motorového oleje se odráží na použití nových konstrukčních prvků. Výrobce paliv a motorových olejů jsou nuceni snižovat obsah nežádoucích prvků, jako jsou: [8] [31]

- **síra** – při vysokých teplotách napomáhá k tvorbě karbonu a olejových kalů;
- **fosfor** – působí proti otěru a oxidaci, ale snižuje životnost katalických systémů;
- **sodík** – značí průnik nemrznoucí směsi do oleje;
- **sulfátový popel** – zajišťuje čistotu oleje a prodlužuje jeho životnost, ale omezuje funkci filtru pevných částic (z toho důvodu jsou vyráběny bezpopelné oleje).

2.3.8 Karbon

Karbonové úsady se motoru tvoří vždy. Záleží jen na množství a kvalitě detergentů a dispersantů, které jsou v motorovém oleji obsaženy. Ty jsou schopny karbonové úsady ze stěn spalovací komory odstranit a rozpustit a zabránit tak tvorbě karbonových nánosů. Staré minerální oleje neměli dostatek detergentních a dispersantních látek, a tak se v motoru tvořilo velké množství karbonových nánosů. Po použití modernějšího syntetického nebo polosyntetického oleje s těmito aditivami se tyto úsady začaly rozpouštět a z oleje se stávala mastná, pryskyřičná hmota, která ucpávala olejové filtry a mazací kanály a nedokázala aktivně mazat všechna důležitá místa a docházelo k nevratnému poškození motoru. Dnešní motorové oleje, ať už minerální, polosyntetické nebo syntetické obsahují dostatek detergentních i dispersantních aditiv pro prevenci karbonových úsad. Nemusíme se tedy již bát záměny minerálních olejů za syntetické. Aby se snížila tvorba karbonových úsad, musíme snížit styk motorového oleje s palivem. [8] [32]

2.4 Tribotechnická diagnostika

Z analýzy olejů, použitých v mazací soustavě, sleduje tribotechnická diagnostika procesy strojních součástí, které přicházejí do styku třením a tím vyhodnocuje jejich technický stav. Cílem tribotechnické diagnostiky je [8] [6]

- 1) **určení životnosti maziv** – hodnotí se stupeň opotřebení či znehodnocení maziva a sekundární znečištění;
- 2) **sledování opotřebení pohyblivých i nepohyblivých součástí** – sledování přírůstku otěrových kovů, sledování mechanického stavu motoru, ověření vhodnosti doporučeného maziva u nových motorů;
- 3) **určení optimálního intervalu výměny maziva** – přímo závislé na bodu 1) a 2).

3 Cíl bakalářské práce

Cílem práce je stanovit vliv kontaminantů na parametry motorového oleje. V předchozích kapitolách bylo shrnuta problematika tření a mazání. Byly vysvětleny způsoby výroby a typy olejů a podrobně popsány jednotlivé typy kontaminantů, které mají na opotřebení oleje vliv.

Obsahem další části této práce je experimentální vyhodnocení stavu motorových olejů, které jsou odebrány z vozidel Mazda MX-5 a Volkswagen Golf. Oba typy automobilů disponují benzínovými agregáty o objemech 1.6 l a 1.8 l. Z toho důvodu je práce zaměřena především na vliv benzínu na kinematickou viskozitu a bod vzplanutí motorového oleje. Pro komparaci naměřených hodnot odebraných vzorků je nutné uměle kontaminovat čistý motorový olej benzínem.

Dalším způsobem určení úrovně degradace motorového oleje je sestavení normogramu trendového opotřebení, ze kterého lze následně usoudit v jakém stavu se nachází motor a jeho olejová náplň. K sestavení normogramu je nezbytné proměřit vzorky na obsah celkových nečistot (%CN) a určit celkové množství otěrových částic (WPC).

Po posouzení změny kinematické viskozity a bodu vzplanutí (oproti čistému oleji a uměle kontaminovaných vzorků) a zařazení vzorku do oblasti normogramu trendového opotřebení, lze odhadovat optimální interval výměny motorového oleje. Je ovšem nezbytně nutné přihlídnout na aktuální nájezd kilometrů na olejovou náplň v době odběru vzorku.

Majitelé všech vozidel, ze kterých byly odebrány vzorky pro měření si stanovili optimální interval výměny oleje na 10 000 km. Předpokládá se, že tento interval je stanoven s ohledem na degradaci motorového oleje a lze předpokládat, že měřené vzorky by neměly vykazovat nadměrně zvýšenou úroveň opotřebení.

4 Metodika bakalářské práce

Měření vzorků motorových olejů bylo prováděno v laboratoři katedry chemie na Fakultě agrobiologie, přírodních potravinových zdrojů, která je součástí České zemědělské univerzity v Praze. V laboratoři se nachází všechno nezbytné vybavení a měřicí přístroje určené k měření vzorků motorových olejů, které byly potřeba k vytvoření této bakalářské práce.

4.1 Vzorky odebraných motorových olejů z automobilů

Vzorky motorových olejů byly odebrány z benzínových automobilů továrních značek Mazda a Volkswagen. V prvním případě se jedná o vozidla Mazda MX-5 NA první a NB druhé generace. V obou z uvedených variant se nacházejí benzínové agregáty o objemech 1.6 l (81kW, 85kW) a 1.8 l (96kW, 103kW a 107kW). Vzorky motorových olejů byly odebírány z náhodných automobilů a při náhodném nájezdu kilometrů na motorový olej viz. tabulka 4-1. V těchto automobilech byly použity motorové oleje Valvoline VR1 Racing 10W60 a Shell Hellix HX6 10W40.

Tab. 4-1 Odebrané vzorky olejů z vozidel Mazda MX-5

OZNAČENÍ VZORKU	ZNAČKA	MODEL	MOTORIZACE	NÁJEZD V DOBĚ ODBĚRU [km]	TYP OLEJE	NÁJEZD NA VZOREK [km]
A	Mazda	MX-5 NA	1.6 85 kW	117 600	Shell 10W40	7000
B	Mazda	MX-5 NA	1.6 85 kW	250 000	VALVOLINE 10W60	9000
C	Mazda	MX-5 NB	1.6 81 kW	154 700	Shell 10W40	8500
D	Mazda	MX-5 NB	1.8 107 kW	287 000	VALVOLINE 10W60	9000
E	Mazda	MX-5 NA	1.6 85 kW	141 800	VALVOLINE 10W60	9300
F	Mazda	MX-5 NA	1.6 85 kW	151 300	VALVOLINE 10W60	5600
G	Mazda	MX-5 NB	1.8 103 kW	192 520	VALVOLINE 10W60	3520
H	Mazda	MX-5 NA	1.8 95 kW	180 000	Shell 10W40	3000

V druhém případě se jedná o osobní automobil Volkswagen Golf IV s motorem 1.6 l (74 kW). V automobilu byl použit motorový olej Shell Helix HX6 10W40. Motorový olej byl odebírán v nepravidelných intervalech po cca 1500 km (viz. tabulka 4-2) od nového oleje až do pravidelného intervalu výměny, který si určil sám majitel vozu na 10 000 km.

Tab. 4-2 Odebrané vzorky olejů z vozidla Volkswagen Golf IV

OZNAČENÍ VZORKU	NÁJEZD V DOBĚ ODBĚRU [km]	NÁJEZD NA VZOREK [km]
GOLF1	301 605	1 605
GOLF2	303 105	3 105
GOLF3	304 650	4 650
GOLF4	306 313	6 313
GOLF5	309 319	9 319

4.2 Vzorky čistých a uměle kontaminovaných motorových olejů

K porovnávání odebraných vzorků motorových olejů bylo nezbytně nutné zjistit hodnoty čistých olejů. Jejich katalogové hodnoty lze nalézt v tabulce 4-3.

Tab. 4-3 Katalogové hodnoty olejů Valvoline a Shell [33] [34]

TYP OLEJE	VISKOZITA PŘI 40°C [mm ² ·s ⁻¹]	VISKOZITA PŘI 100°C [mm ² ·s ⁻¹]	BOD VZPLANUTÍ [°C]
VALVOLINE 10W60 VR1	158	23	220
SHELL HELIX HX6 10W40	92,1	14,4	220

Čisté oleje obou typů byly uměle kontaminovány benzínem v koncentracích 1 %, 3 % a 5 %. Následně se prováděly zkoušky kinematické viskozity při 40°C a bod vzplanutí. Naměřené hodnoty uměle kontaminovaných vzorků olejů jsou zaneseny v tabulce 4-4 a byly použity jako komparační hodnoty se kterými se dále porovnávaly naměřené hodnoty odebraných vzorků motorových olejů.

Tab. 4-4 Naměřené hodnoty uměle kontaminovaných vzorků

OZNAČENÍ VZORKU	BOD VZPLANUTÍ [°C]	KINEMATICKÁ VISKOZITA PŘI 40°C [mm ² ·s ⁻¹]
VALVO1	215	122,45
VALVO3	175	98,75
VALVO5	155	80,58
SHELL1	222	78,37
SHELL3	183	65,44
SHELL5	160	53,32

4.3 Stanovení kinematické viskozity při 40°C

Během provozu vozidla se může kinematická viskozita vlivem kontaminantů obsažených v motorovém oleji měnit. Během této zkoušky byl kladen důraz na změnu kinematické viskozity motorového oleje z důvodu kontaminace palivem, v našem případě benzínem.

Měření probíhalo pomocí Fordova výtokového pohárku (viz obrázek 4-1), ten má přesně definovaný tvar, objem a rozměry otvoru pro výtok kapaliny. Zkušební kalíšek se naplní po okraj testovaným vzorkem oleje a měří se čas, za který vzorek proteče skrz. Měření se provádí dvakrát a dopočítá se průměrná doba průtoku v sekundách, která se zaznamená.



Obr. 4-1 Fordův výtokový pohárek [vlastní]

Následně je nutné dopočítat kinematickou viskozitu při 40°C, protože měření probíhá při teplotě okolí. Výpočet se provede dle následujícího vztahu:

$$\text{kinematická viskozita} \quad v = \frac{v_1}{t_1} \cdot t \quad [\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2)$$

kde:

- t čas výtoku testovaného vzorku z pohárku [s]
- v_1 kinematická viskozita čistého vzorku oleje při teplotě 40°C [mm²·s⁻¹]
- t_1 čas výtoku čistého oleje při teplotě okolí [s]

4.4 Stanovení bodu vzplanutí v otevřeném kelímku

Při měření bodu vzplanutí se vyhodnocuje množství paliva v motorovém oleji. Naměřené hodnoty použitých motorových olejů se porovnávají s uměle kontaminovanými vzorky. Zkouška začíná naplněním mosazného kelímku zkušebním vzorkem a jeho následným zahříváním nad otevřeným ohněm. Bod vzplanutí je taková teplota, kdy se při přiblížení zkušebního plamene vznítí celá plocha zkušebního kelímku a okamžitě samovolně zhasne. Tuto hodnotu odečteme a zaznamenáme.

Bod vzplanutí není bod hoření, při dalším nadměrném zahřívání by olejové výpary po vzplanutí samovolně nezhasly a bylo by nutné je uhasit ručně. U zážehových motorů se teplota bodu vzplanutí pohybuje u čistého oleje kolem 220°C viz. tabulka 4-3. Snížení teploty bodu vzplanutí poukazuje na kontaminaci motorového oleje palivem.

4.5 Stanovení režimu opotřebení

Měření odebraných vzorků bylo provedeno na kapilárním ferrografu PMA-90, který je schopen pomocí dvou senzorů a elektromagnetu zjistit množství kovových otěrových částic v motorovém oleji a rozdělit je na malé a velké částice.

Před začátkem měření je nutné přístroj vyčistit a propláchnout technickým benzínem. Poté je zaveden do kapiláry promývací olej a je nutné přístroj nakalibrovat. Mezitím se smíchá 1 ml vzorku motorového oleje a 1 ml technického benzínu. Takto připravená směs se zavede do kapilárního ferrografu ve kterém proběhne nanesení kovových i nekovových částic na senzory. Druhou fází je opětovné zavedení promývacího oleje a odplavení nekovových částic. Díky elektromagnetu se v blízkosti senzorů usadí pouze kovové částice a přístroj vyhodnotí jejich množství. Na displeji se objeví dvě hodnoty D_L (velké otěrové částice) a D_S (malé otěrové částice). Tyto dvě hodnoty se zaznamenají a je s nimi dále počítáno dle následujících vztahů:

$$\text{Měrná koncentrace} \quad WPC = \frac{D_L}{10} + \frac{D_S}{10} \quad [\%/ml] \quad (3)$$

$$\text{Režim opotřebení} \quad P_{LP} = \frac{D_L}{D_L + D_S} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4)$$

kde:

D_L počet velkých částic [-]

D_S počet malých částice [-]

Měrná koncentrace WPC udává množství velkých a malých otěrových částic na jednotku objemu testovaného vzorku motorového oleje. Hodnota WPC odpovídá intenzitě opotřebení stroje. Intenzita opotřebení se v průběhu životnosti stroje mění. Při záběhu je hodnota WPC vysoká, postupem času klesá a začíná se opět zvyšovat s rostoucím opotřebením stroje.

Režim opotřebení P_{LP} udává poměr mezi velkými a malými (D_L a D_S) otěrovými částicemi. Pokud je motor v dobrém stavu, bude převládat velikost malých částic, se zvyšujícím se opotřebením motoru se poměr mezi malými a velkými otěrovými částicemi vyrovnává, až nakonec převládají velké otěrové částice a motor se blíží ke konci své životnosti.

Po vypočtení WPC a P_{LP} je nutné hodnoty upravit dle následujících vztahů:

$$\text{korigovaná měrná koncentrace } WPC_K = WPC \cdot K \quad [\%/ml] \quad (5)$$

$$\text{korelační koeficient } K = K_M \cdot K_{NM} \quad [-] \quad (6)$$

kde:

K korelační koeficient [-]

K_M korelační koeficient vztažený na spotřebu oleje [-]

K_{NM} korelační koeficient vztažený na spotřebu benzínu [-]

Korelační koeficienty se vypočítají podle vztahů:

$$K_M = \frac{\text{objem olejové náplně} + \text{olej doplněný během pravidelného intervalu výměny}}{\text{objem olejové náplně}} \quad (7)$$

$$K_{NM} = \frac{\text{normovaná spotřeba benzínu během pravidelného intervalu výměny oleje}}{\text{skutečná spotřeba benzínu během pravidelného intervalu výměny}} \quad (8)$$

Jelikož automobilka Mazda ani Volkswagen neuvádějí normovanou spotřebu benzínu během pravidelného intervalu výměny oleje, byla hodnota WPC korigována pouze korelačním koeficientem K_M . Posuzování získaných hodnot se dále provádí podle normogramu trendového opotřebení, který se stavuje v kapitole 5.5.

4.6 Stanovení celkových nečistot v motorovém oleji

Měření probíhá na fotometrickém přístroji TCM-H, který stanovuje celkové množství nerozpustných látek (%CN) v motorovém oleji. Množství těchto látek poukazuje na vnitřní čistotu motoru. Příliš vysoké množství nerozpustných látek může způsobit v konečném měřítku ucpaní mazacích kanálů a zapříčinit tak zadření motoru. Naměřené výsledky jsou rovněž zaneseny do normogramu trendového opotřebení, ze kterého se následně vyhodnocuje hranice, která udává hraniční množství celkových nečistot v motorovém oleji a nutnost výměny olejové náplně ve vozidle.

Před měřením je nutné přístroj nakalibrovat pomocí ethalonu v kalibrační kyvetě. Poté se smísí zkušební vzorek motorového oleje a technický benzín v poměru 1:1 a takto vytvořenou směsí se naplní zkušební kyveta. Očištěná zkušební kyveta se vloží do přístroje, který okamžitě vyobrazí výslednou hodnotu celkových nečistot (%CN), která se následně odečte a zaznamená.

4.7 Trendová analýza a normogram trendového opotřebení motorového oleje

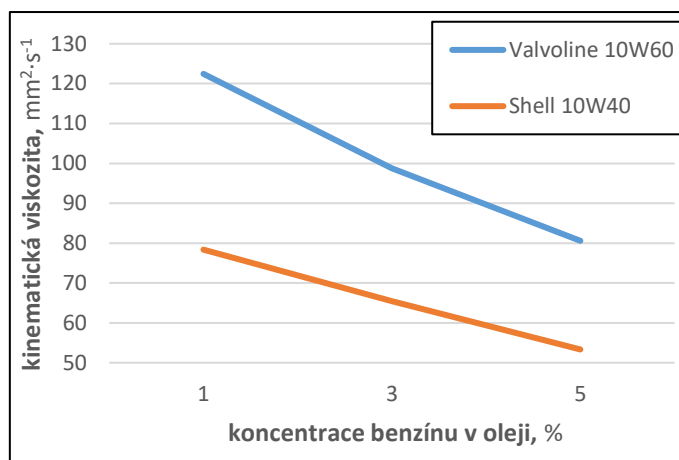
Pro posouzení aktuálního stavu stroje a olejové náplně v něm použité je nutné sestavit normogram trendového opotřebení motorového oleje. Sestavení normogramu je popsáno v kapitole 5.5, je zkonstruován pomocí matematicko-grafického postupu. Normogram je postaven na vzájemném stavu parametrů %CN a WPC. Někteří výrobci poskytují normogramy ke svým motorům, ale v drtivé většině případů je nutné si ho sestavit vlastnoručně pro aktuální typ motoru. Přímkami obsaženými v normogramu ho dělí na oblasti:

- stroj i olej ve výborném stavu;
- stroj v dobrém stavu, olej ve špatném stavu;
- průměrné opotřebení stroje;
- průměrné opotřebení stroje i oleje;
- mezní opotřebení stroje;
- mezní opotřebení stroje i oleje;
- havarijní opotřebení stroje;
- nutná výměna oleje;
- STOP-STAV.

5 Výsledky experimentů a diskuze

5.1 Kinematická viskozita při 40°C

Na uměle kontaminovaných vzorcích motorového oleje byly provedeny zkoušky kinematické viskozity při 40°C. Průběh změny kinematické viskozity vlivem kontaminace benzínem je zřejmý z obrázku 5-1. Jak můžeme vidět, s přibývajícím množstvím benzínu v motorovém oleji se kinematická viskozita rapidně snižuje a motorový olej ztrácí své mazací vlastnosti a schopnost udržet stálý mazací film na pracovním povrchu.



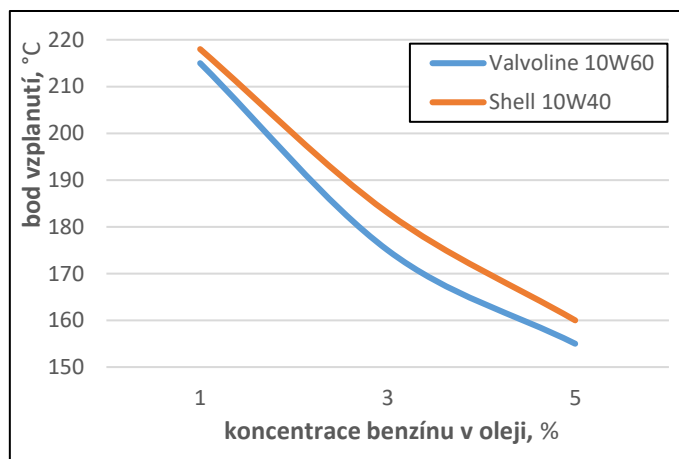
Obr. 5-1 Vliv benzínu na kinematickou viskozitu motorového oleje při 40°C [vlastní]

Výsledné hodnoty kinematické viskozity jsou k nalezení v příloze 1. Změnu viskozity vyšší než 20 % vykazují 3 zkušební vzorky z vozidel Mazda MX-5, což odpovídá koncentraci paliva v motorovém oleji více než 2 %. Všechny tři automobily mají nájezd v době odběru přes 9000 km na stávající olejovou náplň, což znamená, že jsou před pravidelnou výměnou motorového oleje. Důvodem snížení kinematické viskozity může být průsak paliva skrze pístní soustavu zejména při studených startech a krátkých dojezdových vzdálenostech. Setrváním provozu vozidel na tuto olejovou náplň se riskuje zvýšené opotřebení mechanických součástí z důvodu nestálosti mazacího filmu. U těchto automobilů se doporučuje vyměnit olejovou náplň a zkrátit pravidelný interval výměny oleje o 10 %. Dále se také doporučuje podnikat s vozidlem delší cesty, aby se z motorového oleje dokázalo vydestilovat palivo, které se během studených startů a krátkých dojezdových vzdálenostech hromadí v olejové náplni. Po dalších dvou intervalech znovu překontrolovat kinematickou viskozitu motorového oleje a při setrvání snížené viskozity provést další analýzy vedoucí k odhalení zdroje poklesu viskozity a kontaminace oleje palivem.

Co se týče obsahu paliva ve vozidle Volkswagen Golf, můžeme si všimnout, že koncentrace benzínu se zvyšovala s přibývajícím nájездem kilometrů a při posledním měření lehce poklesla. Tento stav může být způsoben dolitím čerstvého oleje do stávající olejové náplně. Tím dojde ke zředění kontaminovaného oleje a koncentrace benzínu poklesne. Dalším vysvětlením také může být, že majitel před odběrem podnikl delší cestu a benzín se z olejové náplně vydestiloval. Co se celkové změny kinematické viskozity oproti čistému oleji týče, pohybuje se okolo 15 %, což je únosná hodnota. Jelikož si sám majitel stanovil interval pravidelné výměny oleje na 10 000 km, lze s jistotou říci, že motor nevystavuje nebezpečí a je nepravděpodobné, že by nastala náhlá změna viskozity během posledních 700 km do pravidelné výměny olejové náplně.

5.2 Bod vzplanutí v otevřeném kelímku

Pokles bodu vzplanutí uměle kontaminovaných vzorků je zřejmý z obrázku 5-2. Jak si můžeme všimnout, s přibývajícím množstvím benzínu se bod vzplanutí rapidně snižuje a je tak zaručena snížená mazací schopnost motorového oleje a zvyšuje se riziko poškození mazaných částí motoru nebo jeho zadření. Kontaminace motorového oleje třemi procenty paliva snižuje jeho bod vzplanutí o 21 % v případě oleje Valvoline a o 17 % v případě oleje Shell. V případě kontaminace oleje pěti procenty paliva se bod vzplanutí sníží o skoro 30 % u obou typů olejů.

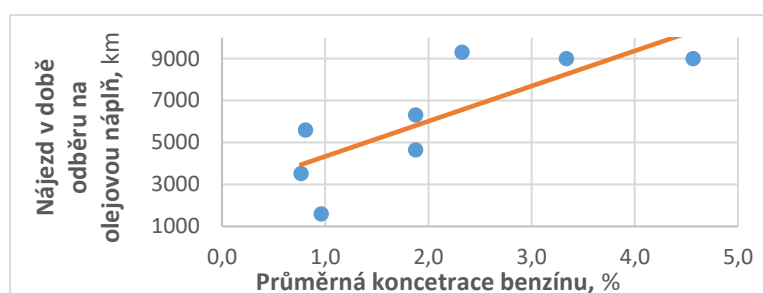


Obr. 5-2 Vliv benzínu na bod vzplanutí motorového oleje [vlastní]

U vozidel typu Mazda MX-5 je opět u třech stejných automobilů (jako u měření kinematické viskozity při 40°C) snížený bod vzplanutí o více než 15 % oproti čistému oleji, to opět poukazuje na kontaminaci motorového oleje palivem. Doporučení pro tato vozidla byla zmíněna v kapitole 5.1. Ostatní měřené vzorky nevykazují snížení bodu vzplanutí o více než 10 %, což lze považovat za uspokojivý výsledek.

Motorový olej odebraný z vozidla Volkswagen Golf vykazuje koncentraci benzínu okolo 2 %. Můžeme si všimnout, že bod vzplanutí se s přibývajícím nájездem kilometrů postupně snižuje. Pokud ale majitel dodrží pravidelný interval výměny 10 000 km, nemusí se obávat žádných závažných poruch motoru způsobených poklesem bodu vzplanutí motorového oleje.

Na obrázku 5-3 je vyobrazený graf, který udává závislost mezi průměrnou koncentrací benzínu v motorovém oleji (z obou předchozích měření) a kilometrovém nájězdu na olej v době odběru vzorků. Dle lineární spojnice trendu můžeme usoudit, že s přibývajícím počtem kilometrů se koncentrace benzínu v motorovém oleji zvyšuje a je třeba dodržovat pravidelné intervaly výměny olejové náplně, aby se předešlo ztrátě mazacích schopností oleje.



Obr. 5-3 Závislost koncentrace benzínu a kilometrovém nájězdu na olej [vlastní]

5.3 Režim opotřebení

Naměřené hodnoty velkých a malých částic D_L a D_S a ostatní dopočítané parametry jsou k nalezení v příloze 3. Hodnoty u vozidel Mazda MX-5 se pohybují v průměru okolo 50%. Hodnoty otěrových částic D_L a D_S jsou ve většině případů podobné, což značí o rovnoměrném opotřebení motoru. Pokud ale přihlídneme ke kilometrovému nájězdu na olejovou náplň, vzorek s označením H má při 3000 km nejvyšší hodnotu WPC ze všech odebraných vzorků. To může být způsobeno tím, že vozidlo bylo těsně před odběrem vystaveno vysokému zatížení na závodním okruhu. U tohoto vozidla se doporučuje výměna olejové náplně a další rozbor motorového oleje na konci dalšího výměnného intervalu. Další dvě vozidla (vzorky s označením B a D), které vykazují vyšší známky opotřebení jsou těsně před pravidelnou výměnou olejové náplně. Avšak setrváním vozidel v provozu na stávající olejovou náplň riskují majitelé zvýšení opotřebení motoru vlivem otěrových částic obsažených v olejové náplni.

U vzorků motorového oleje odebraných z automobilu Volkswagen Golf se neprojevuje výrazný nárůst opotřebení v průběhu odběrů. Hodnota velkých částic při 3 odběru mírně stoupla, což ale může být následkem zvýšené zátěže motoru. Při ostatních měřeních se režim

opotřebení pohyboval v průměru kolem 40 %, což lze považovat za dobrý výsledek. V motorovém oleji převažoval počet malých otěrových částic D_s , což poukazuje na fakt, že motor je v dobrém stavu a nedochází k výraznému opotřebení, což by mělo za následek zvýšení množství velkých otěrových částic D_L . Přihlédneme-li ke kilometrovému nájezdu motoru (cca 310 000 km), lze konstatovat, že motor je ve výborném stavu.

5.4 Celkové množství nečistot v motorovém oleji

Celkové množství nečistot u vozidel Mazda MX-5 nepřesáhlo hodnotu 0,2 %, až na dvě výjimky. V prvním případě se jedná o vzorek motorového oleje s označením D (1,25 %CN). Tento vzorek ovšem vykazuje vysoký kilometrový nájezd jak motoru, tak olejové náplně. Motor je navíc před generální opravou, a proto není nutné podnikat patřičná opatření ke snížení množství celkových nečistot. V druhém případě šlo opět o vzorek s označením H (0,8 %CN). Zvýšená hodnota může být způsobena krátkodobým přetížením motoru při jízdě na závodním okruhu, jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole.

Vzorky odebrané z automobilu Volkswagen Golf vykazují 0 %CN ve všech případech odběru, což vypovídá o perfektním stavu motoru vzhledem k jeho kilometrovému nájezdu. Veškeré naměřené hodnoty celkových nečistot jsou k nalezení na konci tabulky v příloze 3.

5.5 Trendová analýza, normogram trendového opotřebení

V normogramu trendové analýzy (viz příloha 4) lze nalézt oblasti popisující vzájemný vztah stavu motoru a jeho olejové náplně. Normogram je sestavený pouze na vozidla Mazda MX-5. Pro vozidlo Volkswagen Golf nelze normogram sestavit z toho důvodu, že naměřené vzorky vykazují ve všech případech 0 %CN.

Normogram trendového opotřebení se sestavuje z naměřených hodnot pro jednotlivé vzorky, na osu y se vynesou hodnoty celkových nečistot a na osu x hodnoty WPC_K . Určí se průměry hodnot naměřených vzorku, vzorků horších a vzorků lepších (seřazených podle WPC_K). Vynesou se jednotlivé kolmice na spojnici průměrů v bodech průměrů a určí se oblasti normogramu trendového opotřebení.

Po zhodnocení výsledků z normogramu dostáváme následující výsledek. Nejhůře hodnocené vzorky (označení D a H) se dostaly do oblasti STOP-STAV. Jak již bylo zmíněno v předchozích diskuzích, vzorek s označením D pochází z motoru těsně před generální opravou. Co se týče vzorku s označením H, je nezbytné vyměnit olejovou náplň a provést

další analýzy a rozbory motorového oleje. Dále je vhodné zvýšit přesnost normogramu trendového opotřebení, navýšením množství odebraných vzorků. Z normogramu také vyplývá, že je nutné upravit pravidelný interval výměny olejové náplně podle způsobu užívání automobilu. Vzorky ostatních automobilů jsou v oblastech mimo havarijní stav oleje a stroje.

5.6 Diskuze výsledků jednotlivých vzorků

Nejlepším měřeným vzorkem motorového oleje ve všech experimentech je vzorek s označením F. Vykazuje snížení bodu vzplanutí pouze o 2,3 % oproti čistému oleji, nejmenší hodnotu otěrových částic a průměrná koncentrace benzínu v olejové náplni se odhaduje na 0,8 %. Automobil má na současnou olejovou náplň najeto 5600 km. V normogramu se řadí do oblasti stroj i olej ve výborném stavu.

Vzorek s označením A vykazuje rovněž výborné výsledky u všech experimentů včetně normogramu trendového opotřebení, kde se také zařazuje do oblasti stroj i olej ve výborném stavu. Nevykazuje výrazný pokles viskozity ani bodu vzplanutí. Průměrná kontaminace motorového oleje benzínem se odhaduje na 0,8 %, což je velice dobrý výsledek vzhledem k nájezdu na olej, který činí 7000 km.

Dalším dobrým vzorkem, co se celkového množství otěrových částic týče, je vzorek s označením E. Vykazuje ovšem výrazný pokles bodu vzplanutí o 16 % a pokles kinematické viskozity o 30 % oproti čistému oleji. Vzorek je odebrán před pravidelnou výměnou olejové náplně s nájezdem na olej 9300 km.

Do oblasti průměrného opotřebení stroje i oleje spadají vzorky s označením C a G. Průměrná koncentrace benzínu u obou vzorků se ohybovala kolem 1 %. Rozdíl je ale v poklesu kinematické viskozity. Zatímco u vzorku C s nájezdem 8500 km v době odběru činil pokles kinematické viskozity pouze 11 % oproti čistému oleji, u vzorku G činil pokles viskozity skoro 20 % při nájezdu pouze 3250 km. V tomto případě by bylo vhodné se zaměřit na překontrolování výsledků z měření kinematické viskozity. Popřípadě provést měření na konci pravidelného intervalu výměny olejové náplně. Dalším důvodem, proč se liší pokles kinematické viskozity mezi vzorky o 10 %, může být celkový rozdíl nájezdu jednotlivých automobilů (cca 40 000 km).

Vzorek s označením B spadá do oblasti mezního opotřebení stroje i oleje. Automobil má najeto 250 000 km, což je druhá nejvyšší hodnota z automobilů Mazda MX-5. Na současnou olejovou náplň je najeto 9000 km a pravidelný interval výměny oleje je stanoven

na 10 000 km. Vzorek vykazuje výrazné snížení bodu vzplanutí i kinematické viskozity a průměrná koncentrace benzínu v oleji se odhaduje na 3,3 %. V tomto případě se doporučuje neprodleně vyměnit olejovou náplň a zkrátit interval výměny motorového oleje o 10% na 9000 km, aby koncentrace benzínu v oleji nepřesáhla 4 %.

Do oblasti STOP-STAV v harmonogramu se zařadily vzorky s označením D a H. V prvním případě se jedná o motor před generální opravou, vykazuje pokles kinematické viskozity o 42 % a pokles bodu vzplanutí o 29 % oproti čistému oleji. Koncentrace benzínu v oleji se odhaduje na 4,6 % což přesahuje maximální hranici koncentrace udávanou výrobcem automobilu. Olej ztrácí své mazací schopnosti a není schopen udržet konstantní mazací film na pracovním povrchu. V druhém případě se jedná o zatěžovaný motor na závodním okruhu. Vzorek oleje vykazuje minimální snížení kinematické viskozity, což poukazuje na nízkou koncentraci benzínu v motorovém oleji. Na druhou stranu vysoké hodnoty otěrových částic a celkových nečistot v olejové náplni poukazují na fakt, že tento typ motoru a oleje není stavěn na tak vysokou zátěž bez adekvátních úprav. Vysoká teplota oleje urychluje jeho stárnutí a tvorbu karbonových úsad, snižuje viskozitu oleje a vytváří tak riziko poškození mazacího filmu. V tomto případě se doporučuje výměna olejové náplně a změna typu oleje například na testovaný Valvoline VR1 Racing 10W60, který má vyšší viskozitu a lépe udržuje stálý mazací film i při vysokých teplotách a zátěžích.

Co se týče odebraných vzorků z vozidla Volkswagen Golf, vykazují nadprůměrné hodnoty vzhledem k nájezdu automobilu, který činí bezmála 310 000 km. Hodnota kinematické viskozity poklesla v průměru o 15 %. Bod vzplanutí poklesnul při posledním měření o 13 %, což odpovídá průměrné koncentraci benzínu v olejové náplni 2 %. To svědčí o dobré těsnosti palivové a pístní soustavy. Množství otěrových částic nevykazuje rapidní zvýšení v průběhu měření odebraných vzorků a přístroj pro měření celkových nečistot %CN vyhodnocoval 0 % po celou dobu měření. Všechny naměřené hodnoty poukazují na fakt, že majitel nevystavuje své vozidlo žádnému nebezpečí při dodržení pravidelného intervalu výměny olejové náplně. Dalo by se říci, že pravidelný interval by mohl majitel prodloužit na 15 000 km. Bylo by ovšem nutné ověřit pomocí tribotechnické diagnostiky, zda hodnoty změřené na konci prodlouženého intervalu výměny olejové náplně skutečně odpovídají předpokládaným hodnotám.

6 Závěr

Cílem práce bylo zjistit jaký vliv mají kontaminanty na degradaci motorového oleje a určení optimálního intervalu výměny olejové náplně. Na základě toho byla provedena tribotechnická diagnostika vzorků motorových olejů. Vzorky byly jednorázově odebrány z osmi vozidel Mazda MX-5 a v průběhu intervalu výměny oleje z vozidla Volkswagen Golf. V obou případech se jednalo o benzínové agregáty o obsahu 1.6 l a 1.8 l. Výměnný interval si všichni majitelé svých vozů stanovili na 10 000 km.

První částí této práce bylo zpracování informací z odborné literatury. Práce obsahuje souhrnné informace o problematice tření a maziv, výrobě a typů olejů a kontaminantů, které ovlivňují mazací schopnosti především motorových olejů. Druhá část práce se zabývá experimentálním rozbohem odebraných vzorků a jejich následným posouzením.

Tribotechnická diagnostika probíhala na katedře chemie FAPPZ ČZU, kde byly určeny čtyři hlavní typy měření, ze kterých se dále vyhodnocovaly výsledky. Kinematická viskozita při 40°C, bod vzplanutí v otevřeném kelímku, množství kovových otěrových částic a celkové množství nečistot. Ze získaných výsledků bylo možné posoudit aktuální stav měřeného oleje i odhadnout stav motoru, ze kterého byly vzorky odebrány.

Pro porovnání naměřených hodnot odebraných vzorků bylo nutné uměle kontaminovat čistý motorový olej benzínem v koncentracích 1 %, 3 % a 5 %. Následně se měřily zkoušky kinematické viskozity a bodu vzplanutí. Naměřené hodnoty odebraných vzorků se porovnávaly s hodnotami uměle kontaminovaných olejů a vyhodnocovala se průměrná koncentrace benzínu v oleji. Ta nepřesáhla ve většině případů 2 %, což lze považovat za velice uspokojivý výsledek. Pouze v jednom případě přesáhla koncentrace benzínu v oleji 4%, což je mezní hranice, kterou udává výrobce.

Z hlediska opotřebení motoru a olejové náplně bylo provedeno měření na kapilárním ferografu, kde se vyhodnocoval režim opotřebení (P_{LP}), který poukazuje na probíhající opotřebení třecích částí motoru a hladina opotřebení motoru (WPC), která poukazuje na celkové opotřebení motoru vztaženou na jednotku objemu testovaného vzorku oleje.

Dalším krokem bylo stanovení celkového obsahu nečistot v motorovém oleji (%CN) a sestavení normogramu trendového opotřebení motoru. Díky tomu bylo možné zařadit

jednotlivé vzorky do oblastí popisujících stav motoru a jeho olejové náplně. Většina vzorků odebraných z vozidel Mazda MX-5 spadaly do oblasti dobrého až průměrného opotřebení. Jeden vzorek odebraného oleje spadl do oblasti mezního opotřebení a byla doporučena výměna olejové náplně a další sledování pomocí tribotechnické diagnostiky. Dva vzorky spadaly do oblasti STOP-STAV. Jedním z vzorků byl olej odebraný z motoru těsně před generální opravou a druhým byl vzorek z automobilu, který byl zatěžován na závodním okruhu. V tomto případě byla doporučena změna typu oleje na olej s vyšší viskozitou, snížení intervalu pravidelné výměny oleje a zvážení dodatečných sportovních úprav vozidla.

U vzorků odebraných z vozidla Volkswagen Golf lze konstatovat, že vzhledem k nájezdu cca 310 000 km je motor po technické stránce ve výborném stavu. V tomto případě bylo doporučeno z hlediska ekonomických aspektů posunout interval výměny na 15 000 km. Na konci prodlouženého výměnného intervalu je nutné znovu provést tribotechnickou diagnostiku a přesněji určit optimální interval výměny olejové náplně.

Závěrem lze říci, že kontaminace motorového oleje byla u všech automobilů velice různorodá. Nelze nalézt přímou spojitost mezi počtem najetých kilometrů a úrovní degradace motorového oleje. Například olej, na který bylo ujeté pouze 3000 km, byl v mnohem horším stavu než olej, na který bylo najeto 9000 km. Z toho důvodu lze říct, že u stanovení optimálního intervalu výměny oleje není rozhodujícím faktorem počet ujetých kilometrů, ale spíše způsob zatěžování motoru. U více zatěžovaných motorů se doporučuje použití hustších olejů pro zajištění pevného mazacího filmu mezi třecími částmi motoru. Vysoká teplota oleje také zvyšuje množství celkových nečistot a urychluje degradaci motorového oleje, proto se doporučuje zkrátit interval pravidelné výměny oleje. Z ekonomického hlediska se také doporučuje pravidelně provádět tribotechnickou diagnostiku jako preventivní kontrolu před případným poškozením motoru.

Seznam použité literatury

- [1] Oleje.cz. *Základy o olejích*. [Online] [Citace: 15. listopad 2017.] <https://www.oleje-motorove.cz/www-oleje-motorove-cz/5-RADY-ODBORNIKA/8-ZAKLADY-O-OLEJICH>.
- [2] **Nachtikal, F.** *Technická fyzika*. 2. vydání. Praha : autor neznámý, 1937.
- [3] **RNDr. Jiří Mikulčák CSc., Doc. Ing. Dr. tech. Bohdan Klimeš CSc.**, *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. Praha:Státní pedagogické nakladatelství, 1989.
- [4] **S. Hosnedl, J. Krátký.** *Příručka strojního inženýra: obecná strojní část I*. Praha : Computer Press, 1999.
- [5] **Martini, Ashlie.** Martini Research Group. *Fundamental Tribology*. [Online] University of California Merced. [Citace: 16. listopad 2017.] <http://faculty2.ucmerced.edu/amartini/tribology.shtml>.
- [6] **Bečka, Jan.** *Tribologie*. Praha:České vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-010-1621-8.
- [7] **Kerns, Jeff.** What's the Difference Between Types of Wear? *Machine Design*. [Online] 14. leden 2016. [Citace: 16. listopad 2017.] <http://www.machinedesign.com/materials/what-s-difference-between-types-wear>.
- [8] **Hönig, V.** Paliva a Maziva - studijní materiály. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2017.
- [9] **Klimeš, Pavel.** *Části a mechanismy strojů II*. Brno : Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2003. ISBN 80-214-2422-2.
- [10] **Gscheidle, Rolf.** *Příručka pro automechanika*. Praha : Sobotáles, 2001. ISBN 80-85920-76-X.
- [11] **HAMROCK, Bernard J., Steven R. SCHMID a Bo O. JACOBSON.** *Fundamentals of fluid film lubrication*. 2. ed. New York : Mechanical engineering (Marcel Dekker, Inc.), 2004. ISBN 08-247-5371-2.

- [12] **Hošek, F.** *Mazací soustava PSM*. Brno, Univerzita Obrany v Brně : Fakulta vojenských technologií.
- [13] **Vlk, F.** *Vozidlové spalovací motory*. 1. vydání. Brno : Nakladatelství Vlk, 2003. ISBN 80-238-8756-4.
- [14] **Vlk, F.** *Paliva a maziva motorových vozidel*. 1. vydání. Brno : Nakladatelství Vlk, 2006. ISBN 80-239-6461-5.
- [15] Zpracování ropy. *Petroleum*. [Online] 2007. [Citace: 4. 10 2017.] <http://www.petroleum.cz/zpracovani/zpracovani-ropy-34.aspx>.
- [16] **STACHOWIAK, G. W. a A. W. BATCHELOR.** *Engineering tribology*. 3. ed. Boston : Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005. ISBN 07-506-7836-4..
- [17] **MORTIER, R. M., M. F. FOX a S. T. ORSZULIK.** *Chemistry and technology of lubricants*. 3. ed. New York : Springer, 2010. ISBN 9781402086625.
- [18] **Z. Jan, B. Ždánský.** *Automobily 3 - Motory*. Brno : AVID, 2007.
- [19] **CSC., ING. JAROSLAV ČERNÝ.** Mýtus šestý na téma - viskozitní vlastnosti motorových olejů. *Autoexpert*. Březen 2005, str. 26.
- [20] Oleje.cz - Svět maziv. *Viskozita automobilových motorových olejů*. [Online] Ekolube s.r.o., 2005. [Citace: 9. 10 2017.] <https://www.oleje.cz/clanek/Viskozita-automobilovych-motorovych-oleju>.
- [21] Oleje - svět maziv. *Výkonnové normy motorových olejů*. [Online] 6. 1 2009. [Citace: 10. 10 2017.] <https://www.oleje.cz/forum/vykonnove-normy-motorovych-oleju-t2680.html>.
- [22] Association, European Automobile Manufactures. *ACEA EUROPEAN OIL SEQUENCES*. [Online] 2016. [Citace: 10. 10 2017.] http://www.acea.be/uploads/news_documents/ACEA_European_oil_sequences_2016_update.pdf.

- [23] 2006., API Creative Services. API Engine Oil Guide. [Online] 2017. [Citace: 10. 10 2017.] http://www.api.org/~media/Files/Certification/Engine-Oil-Diesel/Publications/MOTOR_OIL_GUIDE_120116_FINAL_WEB.pdf.
- [24] Petroleum. *Specifikace motorových olejů*. [Online] [Citace: 11. 10 2017.] <http://www.petroleum.cz/vyroby/oleje-motorove-specifikace.aspx>.
- [25] Volkswagen Oil Specifications. *Oil Specifications*. [Online] 2017. [Citace: 10. 10 2017.] <https://www.oilspecifications.org/volkswagen.php>.
- [26] **Černý, Jaroslav**. Díl desátý – Otěrové kovy. *Autoexpert*. Prosinec 2006, str. 34.
- [27] **Černý, Jaroslav**. Díl devátý - Voda a glykol v oleji. *Autoexpert*. Listopad 2006, str. 54.
- [28] **Černý, Jaroslav**. Díl osmý – Palivo v oleji. *Autoexpert*. Říjen Říjen 2006, str. 42.
- [29] **Hönig, V., Hromádko, J.** *Possibilities of using vegetable oil to power diesel engines as well as their impact on engine oil*. No. 8. Estonia : Estonian Agricultural University, 2014. stránky pp. 323 – 332. Sv. Agronomy Research Vol. 12.
- [30] **VESELÁ, K., PEXA, M., MAŘÍK, J.** *The effect of biofuels on the quality and purity of engine oil*. Estonia : Estonian Agricultural University, 2014. Agronomy Research. stránky pp. 425 – 430.
- [31] **Černý, Jaroslav**. Mazivářské mýty, Mýtus druhý - kvalita základových mazacích olejů. *Autoexpert*. Říjen 2004.
- [32] **Černý, Jaroslav**. Mýtus sedmý na téma - náhrady motorových olejů. *Autoexpert*. Květen 2005, str. 28.
- [33] Valvoline. Product Information - VR1™ Racing Motor Oil SAE 10W-60. www.valvolineurope.com. [Online] 2016. [Citace: 27. únor 2018.] [https://www.valvolineurope.com/english/products/engine_oils/vr1_racing/cid\(7557\)/vr1_racing_10w-60](https://www.valvolineurope.com/english/products/engine_oils/vr1_racing/cid(7557)/vr1_racing_10w-60).
- [34] Shell. Technical Data Sheet - Shell Helix HX6 10W-40. *TDC*. [Online] 26. září 2012. [Citace: 27. únor 2018.] http://tdc.ge/wp-content/uploads/2014/03/HELIX_HX6_10W-40.pdf.

Seznam obrázků

Obr. 2-1 Pracovní povrchy	4
Obr. 2-2 Abrazivní opotřebení	5
Obr. 2-3 Adhezivní opotřebení.....	5
Obr. 2-4 Stribeckova křivka	6
Obr. 2-5 Suché tření	7
Obr. 2-6 Polosuché tření.....	7
Obr. 2-7 Kapalinové tření.....	7
Obr. 2-8 Zadřené ojnicí ložisko.....	8
Obr. 2-9 Blokované schéma výroby mazacích olejů	10
Obr. 2-10 Kapilární a rotační viskozimetr.....	13
Obr. 2-11 Závislost viskozity na teplotě.....	13
Obr. 2-12 Závislost zimního čísla na teplotě.....	14
Obr. 2-13 Doporučené viskozitní třídy SAE motorových olejů podle vnějších teplot	14
Obr. 2-14 Degradace motorového oleje glykolem a jeho přítomnost v oleji	18
Obr. 2-15 Vliv obsahu paliva na viskozitu motorového oleje.....	19
Obr. 4-1 Fordův výtokový pohárek	25
Obr. 5-1 Vliv benzínu na kinematickou viskozitu motorového oleje při 40°C.....	29
Obr. 5-2 Vliv benzínu na bod vzplanutí motorového oleje	30
Obr. 5-3 Závislost koncentrace benzínu a kilometrovém nájezdu na olej.....	31

Seznam tabulek

Tab. 2-1 Koeficienty smykového tření různých materiálů	3
Tab. 2-2 Součinitelé valivého tření pro různé materiály	3
Tab. 2-3 Označení motorových olejů podle normy ACEA a stručný popis.....	16
Tab. 2-4 Označení motorových olejů podle normy API a stručný popis	16
Tab. 2-5 Označení motorových olejů podle tovární normy VW a stručný popis.....	17
Tab. 4-1 Odebrané vzorky olejů z vozidel Mazda MX-5.....	23
Tab. 4-2 Odebrané vzorky olejů z vozidla Volkswagen Golf IV	24
Tab. 4-3 Katalogové hodnoty olejů Valvoline a Shell	24
Tab. 4-4 Naměřené hodnoty uměle kontaminovaných vzorků.....	24

Seznam příloh

Příloha 1 Výsledné hodnoty kinematické viskozity při 40°C

Příloha 2 Výsledné hodnoty bodu vzplanutí v otevřeném kelímku

Příloha 3 Výsledné hodnoty režimu opotřebení a celkových nečistot

Příloha 4 Normogram trendového opotřebení u vozidel Mazda MX-5

Příloha 1 Výsledné hodnoty kinematické viskozity při 40°C

Označení vzorku	1. doba průtoku při 22°C [s]	2. doba průtoku při 22°C [s]	Průměrná doba průtoku při 22°C [s]	Přepočtená kinematická viskozita při 40°C [mm ² *s ⁻¹]	Změna viskozity oproti čistému oleji [%]	Koncentrace benzínu [%]
A	51,00	50,00	50,50	81,60	11,4	0,76
B	68,00	67,00	67,50	106,65	32,5	2,60
C	50,00	51,00	50,50	81,60	11,4	0,76
D	58,00	58,00	58,00	91,64	42,0	4,29
E	72,00	70,00	71,00	112,18	29,0	2,32
F	85,00	87,00	86,00	135,88	14,0	0,62
G	80,00	81,00	80,50	127,19	19,5	0,87
H	60,00	58,00	59,00	95,33	3,5	0,24
GOLF 1	52,00	50,00	51,00	82,41	10,5	0,71
GOLF 2	48,00	48,00	48,00	77,56	15,8	1,64
GOLF 3	48,00	47,00	47,50	76,75	16,7	1,73
GOLF 4	47,00	48,00	47,50	76,75	16,7	1,73
GOLF 5	48,00	48,00	48,00	77,56	15,8	1,64
VALVO1	77,00	78,00	77,50	122,45	22,5	1,00
VALVO3	62,00	63,00	62,50	98,75	37,5	3,00
VALVO5	51,00	51,00	51,00	80,58	49,0	5,00
SHELL1	49,00	48,00	48,50	78,37	14,9	1,00
SHELL3	41,00	40,00	40,50	65,44	28,9	3,00
SHELL5	33,00	33,00	33,00	53,32	42,1	5,00

Příloha 2 Výsledné hodnoty bodu vzplanutí v otevřeném kelímku

Označení vzorku	Bod vzplanutí [°C]	Změna bodu vzplanutí oproti čistému oleji [°C]	Změna bodu vzplanutí oproti čistému oleji [%]	Koncentrace benzínu [%]
A	210	10	4,5	0,8
B	167	53	24,1	4,1
C	205	15	6,8	1,2
D	157	63	28,6	4,8
E	185	35	15,9	2,3
F	215	13	2,3	1,0
G	210	10	4,5	0,7
H	200	20	9,1	1,6
GOLF 1	205	15	6,8	1,2
GOLF 2	198	22	10,0	1,8
GOLF 3	195	25	11,4	2,0
GOLF 4	195	25	11,4	2,0
GOLF 5	192	28	12,7	2,3
VALVO1	215	5	2,3	1,0
VALVO3	175	45	20,5	3,0
VALVO5	155	73	29,5	5,0
SHELL1	218	2	0,9	1,0
SHELL3	183	37	16,8	3,0
SHELL5	160	60	27,3	5,0

Příloha 3 Výsledné hodnoty režimu opotřebení a celkových nečistot

Označení vzorku	DL	DS	P _{LP} [%]	WPC [%/ml]	WPC _K	%CN
A	48,00	49,00	49,48	9,70	10,43	0,05
B	117,00	110,00	51,54	22,70	24,40	0,1
C	72,00	86,00	45,57	15,80	16,99	0,2
D	113,00	123,00	47,88	23,60	25,37	1,25
E	54,00	52,50	50,70	10,65	11,45	0,1
F	32,00	37,00	46,38	6,90	7,42	0
G	74,00	87,00	45,96	16,10	17,31	0,2
H	127,00	117,00	52,05	24,40	26,23	0,8
GOLF 1	15,00	27,00	35,71	4,20	4,52	0
GOLF 2	23,00	28,00	45,10	5,10	5,48	0
GOLF 3	37,00	29,00	56,06	6,60	7,10	0
GOLF 4	30,00	38,00	44,12	6,80	7,31	0
GOLF 5	41,00	53,00	43,62	9,40	10,11	0
Korelační koeficient	1,08					

Příloha 4 Normogram trendového opotřebení u vozidel Mazda MX-5

