

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

**Technické a chemické parametry
opotřebení motorového oleje**

diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Vladimír Hönig,
Ph.D. et Ph.D.

Autor diplomové práce: Bc. Jan Škoda

PRAHA 2020



Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta
ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Autor práce: Bc. 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. et Ph.D.
Garantující pracoviště: Katedra chemie
Jazyk práce: Čeština

Název práce:

Technické a chemické parametry opotřebení motorového oleje

Název anglicky:

Technical and chemical parameters of motor oil wear

Cíle práce:

Cílem práce je simulovat chování oleje v průběhu exploatace motorového oleje. Součástí je i predikce vývoje opotřebení motorového oleje.

Metodika:

- prostudovat základní literaturu, normy, internetové odkazy a další prameny
- provést literární rešerši v oblasti maziv
- provést vlastní analýzy a uvést nové případné teoretické předpoklady a názory
- experimentálně vyhodnotit parametry vzorků maziv
- na základě experimentů predikovat trend opotřebení motorové oleje

Hypotézy

1. Při oddestilování lehčích uhlovodíků automobilového benzínu v motorovém oleji dojde k nárůstu kinematické viskozity oleje.
2. Přítomnost glykolu v oleji nad 10 % obj. způsobí změnu skupenství výsledné směsi.

Harmonogram

LS 2019 - zpracování teoretických východisek
ZS 2019 - experimentální analýzy a zpracování praktické části diplomové práce
LS 2020 - odevzdání diplomové práce

Doporučený rozsah práce:

50

Klíčová slova:

mazivo, motorový olej, benzin, nafta, tribotechnická diagnostika

Doporučené zdroje informací:

1. A.Gregorio - T.Santos - R.Rossi - A.M.P.Jesus - J.C.Outeiro - P.A.R.Rosa, Tribology of metal cutting: newly formed underside of chip, Procedia CIRP, Volume 82, 2019, Pages 136-141
2. A.Keropyan - S.Gorbatyuk - A.Gerasimova, Tribotechnical Aspects of Wheel-Rail System Interaction, Procedia Engineering, Volume 206, 2017, Pages 564-569
3. Ankush Anand - MirIrfan Ul Haq - Ankush Raina - Karan Vohra - Rajiv Kumar - Sanjay Mohan Sharma, Natural Systems and Tribology- Analogies and Lessons, Materialstoday Proceedings, Volume 4, Issue 4, Part D, 2017, Pages 5228-5232
4. Ankush Anand - Mir Irfan Ul Haq - Karan Vohra - Ankush Raina - M.F.Wani, Role of Green Tribology in Sustainability of Mechanical Systems: A State of the Art Survey, Materialstoday Proceedings, Volume 4, Issue 2, Part A, 2017, Pages 3659-3665
5. Larisa Dyachkova -Andrey Leonov - Eugene Feldshtein, On the structure, thermal and tribotechnical properties of the antifriction infiltrated materials based on iron and copper, Metal Powder Report, Volume 73, Issue 1, January–February 2018, Pages 32-37
6. Petr Baron - Marek Kočiško - Jozef Dobránsky - Martin Pollák - Monika Telišková, Research and application of methods of technical diagnostics for the verification of the design node, Measurement, Volume 94, December 2016, Pages 245-253

Předběžný termín obhajoby: 2019/2020 LS - TF

Elektronicky schváleno: 20. 11. 2019

Ing. Matyáš Orsák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Technické a chemické parametry opotřebení motorového oleje vypracoval samostatně a požil jsem jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové 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 diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou 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 18.4.2020

.....

Jan Škoda

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing. Vladimíru Hönigovi Ph.D. et. Ph.D. za cenné rady a ochotnou pomoc při jakémkoli problému, se kterým jsem se během tvorby diplomové práce potýkal a rovněž děkuji za asistenci u složitějších zkoušek a měření vzorků motorových olejů.

Abstrakt a klíčová slova

Abstrakt: V této diplomové práci je popsána problematika opotřebení motorových olejů, působením různých kontaminantů v oleji obsažených. Jsou zde popsány různé typy tření, opotřebení a mazání a jednotlivé druhy maziv, jejich výroba a rozdělení. Další část je věnována motorovým olejům, jejich typům a normám. Rovněž jsou zde popsány jednotlivé kontaminanty, které mají vliv na celkovou kondici motorového oleje. V experimentální části je provedena tribotechnická analýza použitých vzorků olejů. Cílem je predikovat způsob použití vozidla v závislosti na naměřených parametrech motorového oleje při porovnání s uměle kontaminovanými vzorky oleje. Je změřeno množství kontaminantů v jednotlivých vzorcích a doporučena opatření pro zmírnění negativních vlivů kontaminantů na motorový olej. Poslední částí je experiment popisující nárůst kinematické viskozity a zhoršení mazacích schopností motorového oleje působením zvýšené koncentrace glykolu.

Klíčová slova: mazivo, motorový olej, benzin, nafta, tribotechnická diagnostika

Technical and chemical parameters of motor oil wear

Summary: This thesis describes the issue of engine oil wear caused by contaminants contained in the engine oil. There are described various types of friction, wear and lubrication and types of lubricants, their production and distribution. The next section is devoted to engine oils, their types and standards. It also describes the individual contaminants that have an effect on the overall condition of the engine oil. In the experimental part is performed tribotechnical analysis of used oil samples. The aim is to predict the type of usage the vehicle depending on the measured engine oil parameters and comparison with artificially contaminated oil samples. The amount of contaminants in each sample is measured and there are recommendations to mitigate the negative effects of contaminants on the engine oil. In the last part is an experiment describing an increase of kinematic viscosity and a deterioration in the lubricating capacity of the engine oil due to increased glycol concentration.

Key words: lubricant, motor oil, petrol, diesel, tribotechnical diagnostics

Obsah

1	Úvod	1
2	Současný stav řešené problematiky.....	2
2.1	Maziva obecně	2
2.1.1	Historie.....	2
2.1.2	Tření	2
2.1.3	Opotřebenění.....	4
2.1.4	Princip mazání.....	7
2.1.5	Typy mazání a mazací soustavy	9
2.2	Automobilové oleje.....	14
2.2.1	Výroba automobilových olejů.....	15
2.2.2	Typy automobilových olejů.....	15
2.2.3	Aditivace automobilových olejů	18
2.3	Motorové oleje	20
2.3.1	Viskozitní specifikace	20
2.3.2	Výkonové specifikace.....	23
2.3.3	Tovární specifikace.....	25
2.4	Kontaminanty v motorových olejích.....	26
2.4.1	Palivo.....	26
2.4.2	Otěrové částice	28
2.4.3	Nerozpustné úsady	29
2.4.4	Voda a olejový kal	29
2.4.5	Glykol	30
2.4.6	Vysoká a nízká teplota	30
2.4.7	Další nežádoucí prvky	31

3	Cíl diplomové práce.....	32
4	Metodika diplomové práce	33
4.1	Vzorky použitých motorových olejů	33
4.2	Uměle kontaminované vzorky oleje	33
4.3	Zkouška kinematické viskozity při 40 °C	34
4.4	Stanovení bodu vzplanutí	34
4.5	Množství celkových nečistot v motorovém oleji	35
4.6	Zkouška režimu opotřebení	36
4.7	Nomogram trendového opotřebení	37
4.8	Působení glykolu na motorový olej.....	38
5	Výsledky experimentů a diskuze.....	39
5.1	Kinematická viskozita při 40 °C	39
5.2	Bod vzplanutí.....	40
5.3	Celkové množství nečistot	40
5.4	Režim opotřebení.....	41
5.5	Nomogram trendového opotřebení	41
5.6	Působení glykolu na motorový olej.....	42
5.7	Diskuze	43
6	Závěr.....	47
	Seznam použité literatury	49
	Seznam obrázků.....	52
	Seznam tabulek	53
	Seznam příloh	54

1 Úvod

Motorový olej má ve spalovacím motoru jasně definovanou **funkci**. Oddělit od sebe tenkou mazací vrstvou dvě vůči sobě se pohybující a dotýkající se plochy. Pokud olej správně plní svou funkci, snižuje se **opotřebení** motoru a prodlužuje se jeho životnost. Absence motorového oleje způsobí extrémní opotřebení, končící nenávratným **poškozením** motoru. Nejedná se však pouze o motor, kde je potřeba mazat. Oleje a různé další druhy maziv se využívají ve všech odvětvích lidské činnosti. Maziva obecně totiž celkově snižují míru opotřebení součástí a prodlužují životnost.

Aby však olej mohl plnit svou funkci spolehlivě, je nezbytně nutné zvolit vhodný motorový olej podle typu a způsobu použití motoru. Na dnešním trhu existuje nepřehledné množství motorových olejů lišící se stovkami parametrů a vyznat se správně v dnešní nabídce není vůbec snadný úkol. Je nutné vzít v potaz typ motoru, teplotní rozpětí, způsob zatížení, viskozitu oleje, různé aditivační přísady a mnoho dalších parametrů. V každém případě však platí pravidlo, lepší nějaký olej než žádný olej. Musíme tedy pravidelně kontrolovat množství a kondici oleje v motoru. **Vhodnou volbou** oleje však rapidně prodloužíme celkovou životnost, jízdní projev a spolehlivost motoru.

Na motorový olej však v průběhu své životnosti působí mnoho negativních vlivů. Do oleje se během spalovacího procesu dostávají různé **kontaminanty** v podobě vody, paliv, otěrových částic a mnoho dalších. Správně zvolený olej je schopen odolávat těmto negativním vlivům lépe, než nevhodně zvolený olej. Nejlepší kondici motoru však zajistíme pouze **pravidelnou výměnou oleje**, protože motorový olej disponuje pouze omezenou dobou použití. Je nutné brát v potaz stáří oleje a kilometrový nájezd na olejovou náplň a rovněž je nutné přihlídnout ke způsobu použití vozidla. Podle těchto kritérií musíme flexibilně upravovat pravidelný interval výměny motorového oleje, aby **opotřebení** oleje nedosáhlo kritické úrovně, kdy budou sníženy jeho mazací schopnosti.

Výrobci investují do vývoje svých motorových olejů nemalé finanční prostředky, aby vyhověli všem zákazníkům a rovněž udrželi tempo s vývojem moderních motorů. Na trhu existuje velká **konkurence** a výrobci se snaží vysokou kvalitou svých motorových olejů přiklonit a udržet zákazníky a výrobce motorů na svou stranu. Proto se porozumění problematice motorových olejů a jejich správná volba opravdu vyplatí.

2 Současný stav řešené problematiky

Abychom správně pochopili funkci mazacích olejů, nejprve je nutné seznámit se s problematikou tření a opotřebení a obecně s mazivy, jejich výrobou a rozdělením.

2.1 Maziva obecně

Jako mazivo můžeme označit jakýkoli materiál, který se používá ke zmírnění tření mezi dvojicí povrchů. To má za následek snížení **opotřebení**, zmírnění zahřívání a odvod případných nečistot. Vývoj maziv je velice důležité odvětví a je nutné mu věnovat zvláštní pozornost, protože **30 % veškeré vyrobené energie** na světě se spotřebuje právě na tření a vlivem opotřebení vznikají každoročně obrovské finanční ztráty. Maziva se používají ve všech odvětvích lidské činnosti, avšak na celkové spotřebě minerálních olejů se maziva podílí přibližně z jednoho procenta. [1]

2.1.1 Historie

V lidské činnosti se maziva využívají již tisíce let. Mazivo je odvozeno od slova maz, jeho synonymem může být mast nebo také tuk. Hlavním úkolem maziv vždy bylo, je a bude **snížovat tření** a ostatní negativní vlivy, které třením vznikají. Při omezení tření se sníží síla, která je potřebná k rozpohybování sousedních povrchů a tím i snížení lidské nebo zvířecí práce. Dalším faktorem je i udržení úrovně opotřebení v rozumných mezích. Mazací účinek vody objevili Číňané již 3500 let před n. l. Římané a Egypťané používali rozpuštěný zvířecí tuk k mazání hřidelů na koňských povozech a objevovaly se i oleje extrahované z rostlin. [1]

2.1.2 Tření

Při relativním vzájemném pohybu dvou těles dochází ke tření v místě, kde se povrchy stýkají. Tření je fyzikální jev, při kterém vzniká síla, která má opačný směr než vektor pohybu jednotlivých těles. Jedná se tedy o **nevratnou přeměnu energie na teplo**. V důsledku toho dochází k zahřívání a opotřebení povrchů. Jedná se o nežádoucí jev, který můžeme ve strojních součástech zmírnit nebo dokonce eliminovat použitím vhodného maziva. Dalším negativním efektem při vzniku tření je potřeba vynaložení dodatečné síly (k překonání třecí síly), která zvyšuje celkovou spotřebu paliva, hlučnost, pracovní teplotu a opotřebení stroje. Tření se obvykle dělí na dva základní typy, tření smykové a valivé. [2]

2.1.2.1 Smykové tření

Smykové tření je jedním z **nejběžnějších** druhů tření. Dochází k němu při vzájemném relativním posuvu dvou sousedních povrchů (smýkání). Vypočítá se ze vztahu 1: [2]

$$F_{tS} = N \cdot \mu \quad [N] \quad (1)$$

kde:

N normálová síla od podložky [N]
 μ součinitel smykového tření [-]

Součinitel tření se mění v závislosti na **drsnosti** obou povrchů, jak můžeme vidět v tabulce 2-1. Třecí síla se rovněž mění v závislosti na **rychlosti** relativního pohybu obou součástí. [2]

Tab. 2-1 - součinitelé smykového tření v závislosti na dvojici povrchů [2]

Dvojice povrchů	μ_0 - statický	μ - dynamický
Pneumatika na suchém asfaltu	0,55	-
Pneumatika na betonu	0,75	-
Pneumatika na kamenné dlažbě	0,6	-
Pneumatika na náledí	0,15	-
Ocel na ocel	0,15	0,10
Dřevo na dřevo	0,65	0,30
Ocel na dřevo	0,55	0,35

2.1.2.2 Valivé tření

Při valení těla kruhového průřezu po podložce vzniká jev, který se nazývá valivé tření. Vzniká v důsledku **deformace** valivého elementu a podložky a jeho velikost závisí na více faktorech, než je tomu u smykového tření: [2] [3]

- materiál valivého elementu a podložky – tvrdost, drsnost, ...;
- deformace tělesa a podložky;
- velikost valivého elementu;
- typ styku elementu a podložky (plošný, bodový, čárový).

U valivého tření se třecí síla vypočítá ze vztahu 2: [3]

$$F_{tV} = \xi \cdot \frac{N}{r} \quad [N] \quad (2)$$

kde:

ξ součinitel valivého tření (rameno valivého odporu) [m]
 N normálová síla od podložky [N]
 r poloměr valivého tělesa [m]

Součinitel valivého tření se určuje **experimentální** metodou a jeho hodnoty jsou pro různé druhy materiálů odlišné. Příklady některých součinitelů valivého tření jsou uvedeny v tabulce 2-2. [2]

Tab. 2-2 - součinitelé valivého tření v závislosti na dvojici povrchů [2]

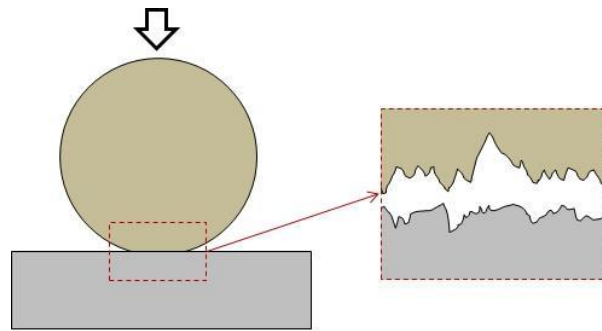
Dvojice povrchů	ξ [mm]
Pneumatika na suchém asfaltu	1,6
Pneumatika na kamenné dlažbě	2,5
Pneumatika na štěrkové vozovce	15 – 60
Ocel na ocel	0,03
Dřevo na dřevo	0,8

2.1.3 Opotřebení

K opotřebení dochází prakticky u všech strojních součástí. Jedná se o jev, při kterém dochází k **úbytku materiálu** na povrchu součásti. Jinak řečeno je to poškození povrchu vlivem okolního prostředí nebo tření. Jedná se o nežádoucí jev, který zhoršuje mechanické vlastnosti materiálu, a tudíž i vlastnosti celé strojní součásti. Dochází k **nevratnému** poškození, které může při nesprávné údržbě zapříčinit až havarijní stav stroje a poruchu. Opotřebení se může dělit na následující druhy: [2] [3]

- abrazivní;
- adhezivní;
- únavové;
- korozivní;
- vibrační;
- kavitační;
- erozivní;

Při styku dvou povrchů vždy dochází k určitému druhu opotřebení, protože dotýkající se povrchy nikdy nejsou **dokonale hladké** (viz obrázek 2-1). Dochází ke tření, zvyšování teploty, vzniku otěrových částic a vzniká opotřebení. Tento jev se dá zmírnit použitím vhodného maziva, povrchovou úpravou součástí nebo volbou vhodnějších materiálů pro styk. [3]

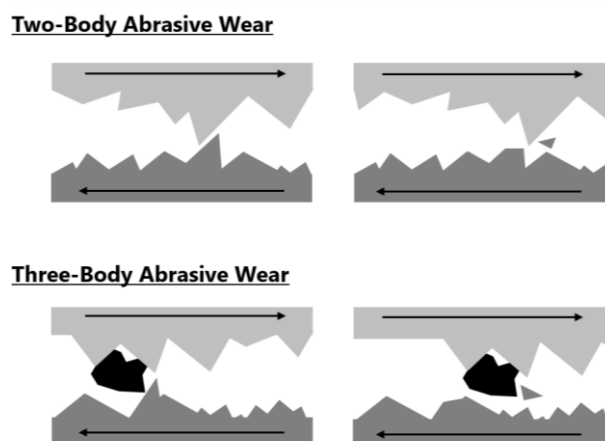


Obr. 2-1 - detail styku dvou povrchů [4]

2.1.3.1 Abrazivní opotřebení

Při abrazivní opotřebení dochází k **odnášení** částic povrchu materiálu buď působením abrazivních částic nebo z důvodu rozdílných tvrdostí povrchů. Na obrázku 2-2 v horní části je vidět, jak materiál s vyšší tvrdostí **odlamuje** části povrchu materiálu s nižší tvrdostí. Tento stav lze přirovnat k obrušování součásti pilníkem. V dolní části obrázku 2-2 je vidět působení abrazivní částice, která **obrušuje** povrch součásti. [5]

Abrazivní částice se běžně vyskytují mezi povrchy a jejich působení lze zmírnit použitím vhodného maziva, které odnáší abrazivní částice a může eliminovat jejich deformační účinek na povrchy materiálů. Abrazivní opotřebení lze rovněž snížit vhodnou volbou materiálů nebo povrchovou úpravou. Použití materiálů s **podobnou tvrdostí** povrchů zvyšuje abrazivní opotřebení, proto se doporučuje používat materiály s **rozdílnou tvrdostí**. Například kliková hřídel z tvrdého materiálu klouže po ložisku z měkčího materiálu s minimální abrazí. [6]

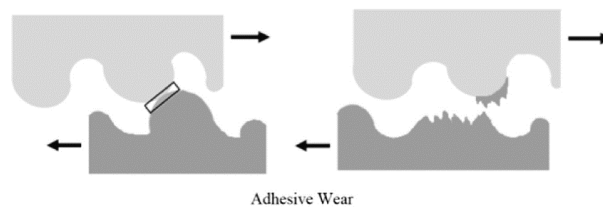


Obr. 2-2 - typy abrazivního opotřebení [7]

2.1.3.2 Adhezivní opotřebení

Jedná se o jev, který vzniká za působení **velkých tlaků** při relativním pohybu dvou součástí. V místě dotyku vznikají **mikroskopické spoje** (svary), které spojí část povrchu jednoho materiálu ke druhému a dochází k plastické deformaci a nevratné změně povrchů obou součástí. Na obrázku 2-3 je vidět, jak materiál měkčí součásti ulpívá na tvrdším povrchu druhé součásti. Adhezivní opotřebení lze omezit například: [5] [6] [8]

- použitím vhodného maziva – dostatečně silná vrstva maziva, která **oddělí** jednotlivé povrchy eliminuje vznik adhezivního opotřebení, protože se povrchy přestanou dotýkat a tím se zamezí vzniku mikrosvarů;
- volba vhodných materiálů – je vhodné zvolit takové materiály, které spolu **nevytvářejí slitiny**, nerozpouští se v sobě a mají rozdílnou tvrdost.



Obr. 2-3- adhezivní opotřebení [9]

2.1.3.3 Únavové opotřebení

Vlivem **periodického pohybu** na povrchu materiálu vznikají **mikrotrhliny**, které se postupně rozšiřují a spojují a v konečném stádiu vzniká **únavový lom**. U tvrdých materiálů může docházet ke křehkému lomu. Může vznikat například u ozubených kol nebo u zdvihátek ventilů ve spalovacích motorech. [10] [11]

2.1.3.4 Korozivní opotřebení

Může vznikat za **vysokých teplot** při působení kyselého prostředí, solí nebo vody. Tento jev obvykle pozorujeme ve spalovací komoře v případě, že stěny válce nejsou dostatečně chráněny pevným olejovým filmem. [6] [10]

2.1.3.5 Vibrační opotřebení

Vzniká zejména u pohyblivých součástí, do kterých se přenášejí **kmity**. Projevuje se nápadným **zbarvením povrchu** oxidy železa. Tento typ opotřebení se nejčastěji projevuje u nábojů kol, valivých ložisek, čepů, hřídelů, setrvačnicků, atd. [11] [12]

2.1.3.6 Kavitační opotřebení

Vlivem rozdílných podmínek proudění kapaliny a snížení tlaku se tvoří kavitační bubliny, které následně vytvářejí **rázy v kapalině**. Tyto rázy mají za následek oddělování částic a poškozování povrchů součástí (vznik povrchových trhlin). Může se vyskytovat u kluzných ložisek, v hydraulických systémech nebo na lopatkách vodního čerpadla. [10]

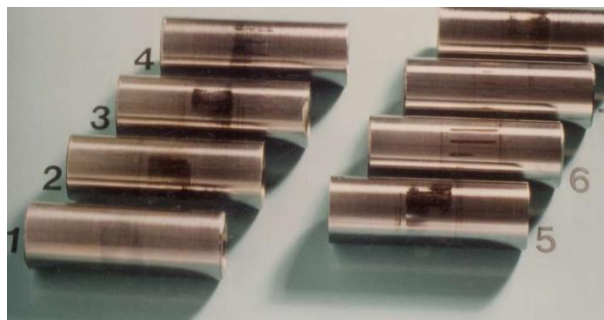
2.1.3.7 Erozivní opotřebení

Vzniká dopadem částic na povrch součásti unášenými proudem kapaliny nebo plynu. Opotřebení se projevuje **zvlněním povrchu**. Nejčastějším nosným médiem jsou kapky deště, dopadající například na půdu, ovšem můžeme se s tímto typem opotřebení setkat i u parních, plynových a vodních turbín, potrubí a čerpadel. [12]

2.1.4 Princip mazání

Pro zmírnění opotřebení sousedních povrchů vlivem tření nanášíme mezi povrchy mazivo. Volbou vhodného maziva můžeme prodloužit životnost povrchů a tím i celé strojní součásti. Na obrázku 2-4 můžeme vidět, jaký **rozdíl v opotřebení způsobí odlišné typy maziv** při stejných testovacích podmínkách. Mazivo má však další pozitivní účinky: [8] [13]

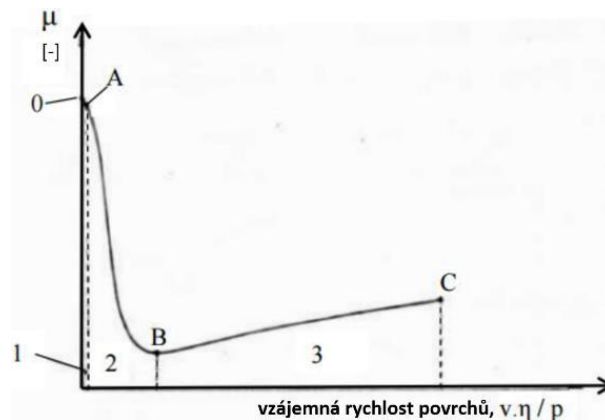
- odvod abrazivních částic vzniklých opotřebením a nedokonalým čištěním nasávaného vzduchu;
- vnitřní chlazení součástí – pokud nemůže být součást chlazená kapalinou nebo vzduchem (uplatnění zejména u vzduchem chlazených motorů);
- těsnění a vymezení vůlí – zejména mezi pístními kroužky, ložiskové vůle;
- útlum vibrací a hluku;
- konzervace a ochrana povrchů před korozi;
- odstraňování (rozpuštění) karbonových úsad;



Obr. 2-4 - rozdílné opotřebení z důvodu použití odlišných typů maziv [14]

Před začátkem pohybu je třecí síla největší, s rostoucí vzájemnou rychlostí povrchů se tření snižuje a součinitel tření μ klesá. Tento jev popisuje **Stribeckova křivka**, která je na obrázku 2-5. Graf je rozdělen na čtyři oblasti: [5] [15]

0. oblast klidového tření – začátek pohybu, nejvyšší součinitel tření;
1. oblast suchého tření – nízká rychlost, vysoké opotřebení;
2. oblast polosuchého tření – střední rychlost, součinitel tření rapidně klesá;
3. oblast kapalinového tření – vysoká rychlost, minimální opotřebení.

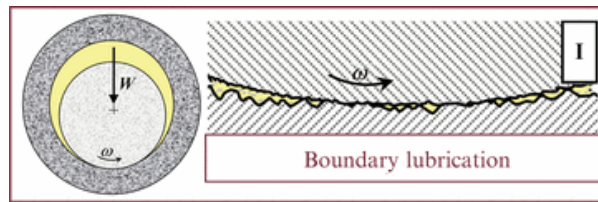


Obr. 2-5 - Stribeckova křivka [15]

V grafu je vyznačena písmenem B rychlost, která odpovídá nejnižšímu součiniteli tření. Toto místo se označuje jako **mezní tření**. Jedná se o rychlost, během které se mezi povrchy vytvoří velmi tenká vrstva maziva, takzvaný **mazací klín**. Pokud se rychlost dále zvyšuje, tloušťka mazacího klínu se rovněž zvyšuje a klade dodatečný odpor, a proto součinitel tření pozvolna roste. Jelikož se ale stále pohybujeme v oblasti kapalinového tření, **opotřebení povrchů je minimální**. Tohoto jevu se snažíme docílit například u kluzných ložisek na klikovém hřídeli motoru. Jednotlivé oblasti tření jsou popsány níže. [5] [8]

2.1.4.1 Suché tření

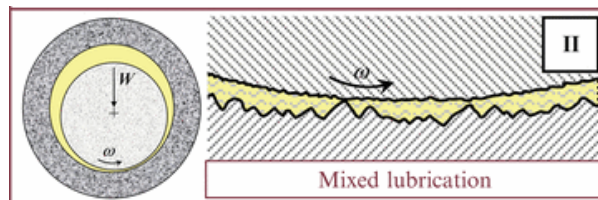
Vzniká při velice nízkých relativních rychlostech součástí, sousední povrchy se přímo dotýkají (viz obrázek 2-6) až z 90 %, a proto dochází k **velkému opotřebení**. Rovněž se označuje jako hraniční tření (anglicky boundary lubrication). Nedostatek maziva a vysoký koeficient tření způsobují nadměrné zahřívání a nevratnou deformaci povrchů, a to je ve spalovacím motoru nežádoucí jev. [16]



Obr. 2-6 - suché tření [16]

2.1.4.2 Polosuché tření

Rovněž někdy označováno jako smíšené tření. Oproti suchému tření dochází k menšímu opotřebení a s rostoucí relativní rychlostí součinitel tření klesá. Mazivo vyplňuje většinu prostoru mezi povrchy, které se dotýkají pouze **vrcholky nerovností** (viz obrázek 2-7). [15] [16]

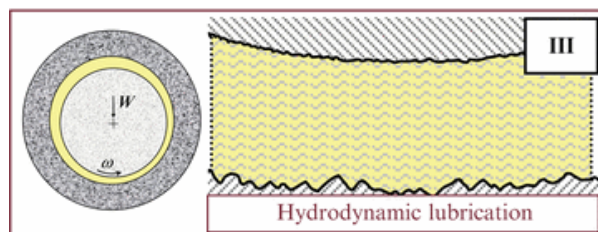


Obr. 2-7 - polosuché tření [16]

2.1.4.3 Kapalinové tření

Souvislá vrstva maziva odděluje oba povrchy (viz obrázek 2-8), k opotřebení může docházet pouze vlivem **abrazivních částic** obsažených v mazivu. Tento stav se rovněž nazývá jako hydrodynamické tření. [15] [16]

Tohoto stavu se snažíme dosáhnout například v motoru u kluzných ložisek. Ovšem toho **nelze v každém případě dosáhnout**, hlavně při dosažení horní a dolní úvratě pístu, kdy se píst na okamžik zastaví nebo rozběhu a doběhu motoru, kdy přecházíme přes oblast polosuchého i suchého tření. [5] [8]



Obr. 2-8 - kapalinové tření [16]

2.1.5 Typy mazání a mazací soustavy

Nejdůležitější funkcí mazacích soustav je zajistit, aby mezi třecími plochami v motoru probíhalo **kapalinové tření**. To znamená dopravit do mazacího uzlu dostatečné množství

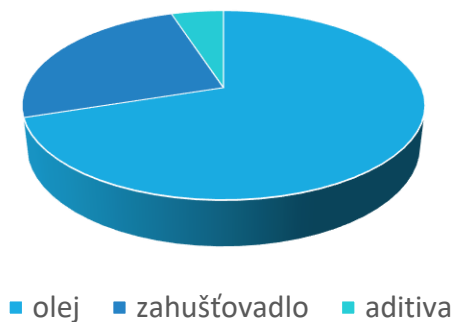
maziva, které oddělí povrchy tenkou vrstvou maziva (tzv. olejový film). Vždy je nutné zvolit nejvhodnější způsob mazání funkčních ploch z důvodu co nejefektivnějšího omezení tření a zároveň opotřebení. Nutné je rovněž zvolit **vhodný typ maziva**. Mazivo můžeme dopravovat mezi funkční povrchy několika způsoby. [13]

2.1.5.1 Mazání plastickými mazivy

Použití plastických maziv je nejjednodušším způsobem mazáním stykových ploch součástí. Plastické mazivo je směs oleje, **zahušťovadla** a aditiv (viz obrázek 2-9). Plastická maziva se používají například u mazání valivých ložisek. Z výroby je ložisko naplněno mazivem a zapouzdřeno. Je však nutné dle servisního manuálu provádět pravidelnou údržbu a doplňovat mazivo pomocí maznice na ložiskovém domku. **Neexistuje univerzální mazivo** pro všechny druhy použití, vždy je nutné při výběru brát v úvahu: [14] [17]

- rychlost otáčení;
- velikost zatížení;
- provozní a okolní teplota;
- přítomnost vody;
- otevřený/uzavřený systém.

Složení plastického maziva



Obr. 2-9 - složení plastického maziva [14]

Plastické mazivo funguje následujícím způsobem: [14]

- rozpočívání pohyblivých částí a následný ohřev součástí;
- provozní otáčky – mazivo měkne a dostává se mezi pohyblivé části;
- doběh –součást se ochlazuje a plastické mazivo tuhne.

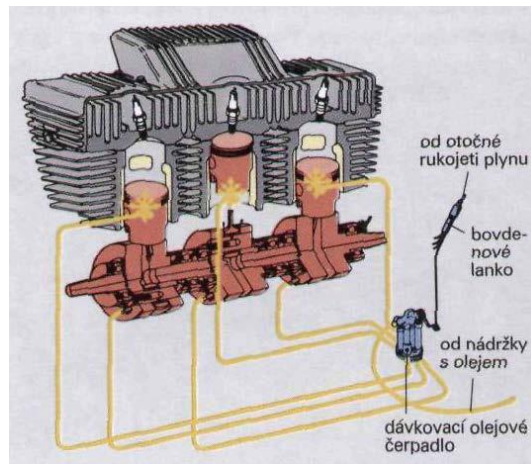
Příkladem užití může být například homokinetický kloub poloosy automobilu. Mazivo se natře mezi kontaktní plochy, zapouzdří se a celá součást se instaluje. Hlavní nevýhodou tohoto způsobu mazání je fakt, že pouzdro se může během provozu poškodit a do maziva vniknou **kontaminanty** jako je vlhkost a abrazivní částice obsažené ve vzduchu a půdě jako je křemík, hliník a železo. Může také dojít **ke stárnutí maziva** vlivem střídání vysokých a nízkých teplot, nedostatečnému mazání funkčních ploch a podobně. Všechny tyto faktory snižují životnost strojní součásti a obvykle dochází v konečné stádiu **opotřebení** k lomu nebo zadření a je nutné celou součást vyměnit.

2.1.5.2 *Mazání mastnou směsí*

Tento způsob mazání se využívá především u malých **dvoutaktních motorů**, kde se přivádí **směs paliva a oleje** skrze klikovou skříň do spalovacího prostoru, kde se vlivem vysoké teploty palivo ze směsi odpaří a olej tak cestou maže klikový mechanismus, ložiska a spalovací komoru. Jedná se o **ztrátový způsob mazání**, protože olej je spalován ve spalovací komoře, to má za následek zvýšenou tvorbu karbonových úsad ve spalovacím prostoru a ve výfukovém potrubí. Motorový olej se mísí s palivem v poměru 1:20 – 1:50 (je důležité dodržovat poměr mísení s palivem a typ oleje udávaný výrobcem motoru). Jedná se o velice **jednoduchý způsob mazání**, avšak nevýhodou je, že při delší **deceleraci** motorem se do oblasti spalovacího prostoru a klikové skříně nepřivádí mastná směs a může dojít k **zadření motoru**. [18] [19]

2.1.5.3 *Mazání dávkovacím čerpadlem*

Čistý motorový olej je ze **speciální nádrže** dopravován pomocí pístového čerpadla a olejové soustavy do motoru pouze v množství nezbytně nutném pro promazání důležitých styčných ploch. Na obrázku 2-10 je schéma mazání dávkovacím čerpadlem. Množství se určuje podle aktuálního zatížení a otáček motoru (pomocí otáčení čepu na pístovém čerpadle). Olej lze vstříkovat do sání nebo ho lze pomocí mazacích kanálů přivádět přímo do hlavních ložisek klikového hřídele. Tento systém je nezbytnou součástí **dvoudobých vznětových motorů**, ale využívá se i u dvoutaktních zážehových motorů a rovněž se jedná o **ztrátový systém**. Výhodou je naprosto **čistý olej**, bez otěrových částic a bez známek stárnutí. Naopak nevýhodou může být nutná častá kontrola zbývajících množství oleje ve speciální nádrži. [18] [20]

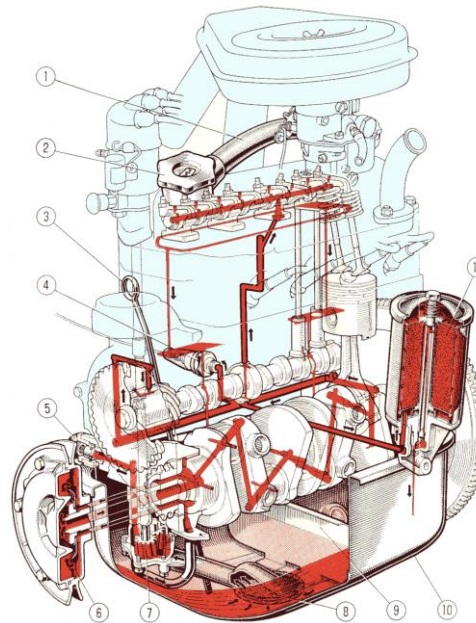


Obr. 2-10 – schéma mazání dávkovacím čerpadlem [18]

2.1.5.4 Tlakové mazání s mokrou klikovou skříní

Tento typ mazání nalezne uplatnění u drtivé většiny konvenčních automobilů, prohlédnou si jej můžeme na obrázku 2-11. **Olejová vana** (10) se nachází na spodku motoru, kam olej skapává z mazaných částí motoru a **ochlazuje se**. Přes sací koš (8) saje čerpadlo (7 - obvykle zubové) zchlazený olej a dopravuje ho skrze olejový filtr (11) pomocí mazacích kanálů do kritických mazacích uzlů. Odtamtud olej skapává zpět do olejové vany a celý proces se opakuje. Tímto způsobem olej odvádí teplo a abrazivní částice a další kontaminanty do olejové vany. Při studených startech nebo při velmi vysokých otáčkách, kdy má olej vyšší viskozitu a tím pádem vyšší tlak, olej protéká přes pojistný tlakový ventil (5). Tento ventil je umístěn za olejovým čerpadlem a udržuje v celém systému konstantní tlak. Jakmile se začne olej ohřívat, pojistný ventil se postupně uzavírá. [18] [19]

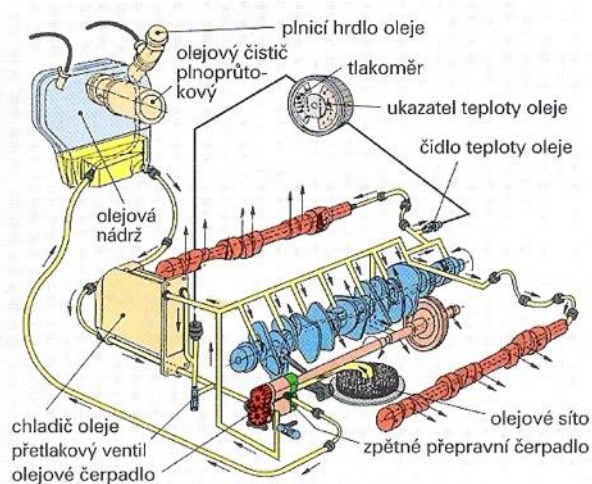
U starších typů vozidel je nezbytně nutné pravidelně **kontrolovat hladinu oleje** pomocí olejové měrky (3). Olej může unikat skrze netěsnosti v mazací soustavě nebo může být z důvodů netěsnosti pístních kroužků spalován ve válcích. Z těchto důvodů hladina oleje klesá a může dojít k situaci, kdy **olejové čerpadlo nasaje vzduch**, protože sací koš nebude dostatečně ponořen v oleji (například při intenzivním brždění nebo při průjezdu prudkou zatáčkou). To má za následek tvorbu vzduchových bublin a **ztrátu tlaku v mazacím okruhu**. Automobil na tuto skutečnost sice upozorní rozsvícením kontrolky mazání na palubní desce, ale již **nedochází k aktivnímu mazání** a může dojít k zadření motoru. Dalším faktorem může být skutečnost, že řidič problikávající kontrolku přehlédne nebo vůbec neví, co kontrolka signalizuje. Proto má již většina moderních automobilů zabudovanou kontrolu hladiny oleje, a tak na nízkou hladinu včas upozorní. [13]



Obr. 2-11 - schéma mazání motoru s mokrou skříní [21]

2.1.5.5 Tlakové mazání se suchou klikovou skříní

Olej, který by běžně stékal do olejové vany je odčerpáván **dvoustupňovým čerpadlem** do speciální olejové nádrže. Odtud je podobně jako u tlakového mazání s mokrou skříní olej nasáván a odváděn pod vysokým tlakem k mazacím uzlům přes olejový filtr (viz obrázek 2-12). Tento způsob mazání se využívá u terénních a závodních automobilů a u některých traktorů. U těchto typů vozidel například při **velkém náklonu nebo prudké akceleraci může dojít k odlití oleje** od sacího koše i při normální hladině olejové náplně. Tento způsob mazání používají například motory Porsche, kde je do okruhu implementován navíc i olejový chladič, pro rychlejší a efektivnější chlazení oleje. Konstrukce motoru bez olejové vany rovněž sníží jeho výšku, což má za následek **snížení těžiště** celého vozu. [18] [19] [20]



Obr. 2-12 - schéma mazání motoru se suchou skříní [22]

2.2 Automobilové oleje

Minerální automobilové oleje se obvykle vyrábí z **ropy**. Ropa je tvořena směsí uhlovodíků, tedy dlouhými řetězci uhlíku, na který jsou navázány atomy vodíku. Ropa se nachází ve vrchních vrstvách zemské kůry a vzniká z odumřelých organismů mnoho milionů let. Jedná se o hnědou hořlavou kapalinu, která je **základem** pro výrobu paliv jako například benzín nebo nafta, olejů nebo plastů. Ropa je velice důležitým produktem, protože až pro 95 % veškerého vyrobeného zboží na planetě je potřeba přispění ropy ať již při dopravě, těžbě nebo při samotné výrobě. Automobilové oleje jsou nerozpustné ve vodě a mají menší hustotu než voda, jsou kluzké a hořlavé. Oleje používané v automobilech musí splňovat přísná kritéria jako například: [20]

Automobilový olej musí [8]

- udržet pevný mazací film na povrchu součástí v různých provozních podmínkách;
- odvádět teplo a otěrové částice ze styčných ploch;
- chránit kovové součásti před korozí;
- odolávat oxidaci uhlovodíků a stárnutí;
- konzervovat motor při odstavení vozidla;
- dotěsnit spalovací prostor;
- umožnit použití v rozmezí teplot od - 40 °C až 300 °C.

Automobilový olej nesmí [20]

- narušovat plastové a gumové materiály (především hadice a těsnění);
- být náchylný k tvorbě karbonových úsad (vysoké karbonizační číslo);
- tvořit vzduchové bubliny a pěny.

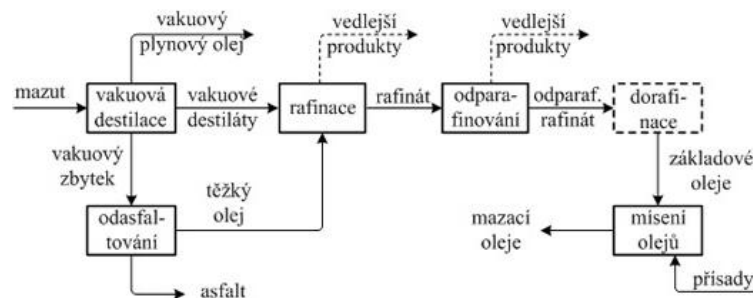
Automobilový olej by měl [19]

- mít adekvátní cenu;
- být alespoň 2 roky dobře skladovatelný;
- být mísitelný s jinými oleji stejné viskozitní třídy;
- být přehledně označen podle norem API, ACEA a SAE;
- být málo odparný při vysokých teplotách.

2.2.1 Výroba automobilových olejů

Mazut je základní surovinou pro výrobu většiny automobilových olejů. Jedná se o **neodpařený zbytek ropy** a je vedlejším produktem při atmosférické destilaci ropy. Většina automobilových olejů vychází ze **základových olejů**, ty se mezi sebou dále mísí a přidávají se různá **aditiva**. Ta obvykle určují výsledné vlastnosti automobilových olejů. Na obrázku 2-13 jsou vyobrazeny procesy, kterými prochází ropa při výrobě základového oleje [20] [23]

1. vakuová destilace – oddělení jednotlivých složek ropy, bez přístupu vzduchu, to zajistí odpaření podílů, které se za běžného atmosférického tlaku neodpaří;
2. odasfaltování – používá se v případě výroby olejů s vysokou viskozitou;
3. rafinace – výroba základového oleje, zbavení oleje nežádoucích prvků (např. síra), zvýšení stability základového oleje;
4. odparafinování – snižování bodu tuhnutí (-9 °C až -15 °C);
5. dorafinace – odstranění zbytků nežádoucích látek.



Obr. 2-13 - blokové schéma výroby základového oleje [23]

2.2.2 Typy automobilových olejů

Na trhu v dnešní době existuje nepřehledné množství typů motorových olejů. Oleje používané v automobilovém průmyslu lze rozdělit například podle způsobu výroby.

2.2.2.1 Minerální oleje

Minerální oleje jsou vyrobeny ropnou **rafinací**, jak bylo popsáno v kapitole 2.2.1. Jedná se o bezbarvé průhledné oleje a tvoří základ pro automobilové oleje. Používají se v místech, kde nejsou kladeny vysoké nároky na změny teplot. I přes velký rozvoj syntetických olejů jsou minerální oleje stále **nejpoužívanějším mazivem** v průmyslu. Minerální oleje se mohou dělit na: [24] [20]

- parafinické – nízký bod tuhnutí, vysoký viskozitní index;
- naftenické – velmi nízký bod tuhnutí, použití v nízkém rozmezí teplot;
- aromatické – pouze jako složky parafinických nebo naftenických olejů.

2.2.2.2 Syntetické oleje

Syntetické oleje **nejsou vyrobeny z ropy**, ale z vhodné chemické sloučeniny (polyglykoly, estery organických kyselin, alkylbenzeny, polyolefiny, atd.). Syntetické oleje mají obvykle stejné nebo **lepší vlastnosti** než minerální oleje. Mohou lépe odolávat vysokým teplotám a disponují menší závislostí viskozity na teplotě. Další výhodou je, že neobsahují žádnou síru. Nevýhodou může být **vyšší cena** než u minerálních olejů. [20] [8]

2.2.2.3 Polosyntetické oleje

Polosyntetické oleje jsou tvořeny směsí syntetického a minerálního oleje. Aby se olej dal označit za polosyntetický, musí směs obsahovat alespoň 20 % objemu syntetického oleje. Polosyntetické oleje jsou **kompromisem** mezi minerálními a syntetickými jak kvalitou, tak cenou. [20] [13]

Dělení olejů na syntetické a minerální je v dnešní době velice nepřesné. V 70. a 80. letech minulého století mělo toto dělení význam, dnes se již však jedná pouze o **reklamní tah**. Lidé věří tomu, že syntetické oleje jsou kvalitnější než oleje minerální. Avšak v dnešní době již většina olejů jak syntetických, tak minerálních dosahuje v podstatě **stejných výkonových vlastností** a všechny oleje rovněž obsahují podíl syntetické i minerální složky. Jejich výsledné vlastnosti pouze určuje množství a typ použitých **aditiv**. [20] [13]

Automobilové oleje lze dále rozdělit podle způsobu jejich použití.

2.2.2.4 Motorové oleje

Jedná se o **nejsložitější olejářské produkty**, neboť jsou na motorové oleje kladeny vysoké nároky. Oleje musí mimo skvělých mazacích vlastností disponovat i přijatelným dopadem na životní prostředí. Motorové oleje slouží k mazání, chlazení a odvodu nečistot ve spalovacích motorech. Olej proudí skrz motor, maže všechny důležité uzly a následně skapává do olejové vany nebo je odsáván do olejové nádrže. Tento cyklus se opakuje až do chvíle, kdy je v rámci **pravidelného výměnného intervalu** celá olejová náplň nahrazena novou. U automobilů to může být i 30 000 km nebo několik let, a proto je dlouhá životnost jedním ze základních kritérií při výrobě. Kvalita motorových olejů je závislá na použitých technologiích při výrobě a **aditivaci**. Přední výrobci vedou mezi sebou nelítostný boj o zákazníky a do vývoje svých motorových olejů vkládají nemalé finanční prostředky. Je nezbytně nutné zvolit vhodný motorový olej, který předepisuje výrobce motoru. [22] [20]

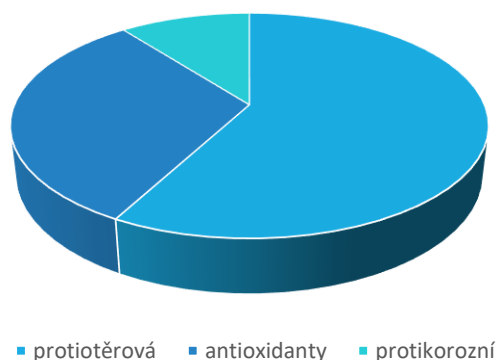
2.2.2.5 Převodové oleje

Používají se k mazání převodovek a diferenciálů a mají za úkol mazání a **ochranu ozubených soukolí** před opotřebením a lomem zubů. Na rozdíl od motorových olejů obsahují vysoký podíl vysokotlakých aditiv a neobsahují disperzační a detergentní přísady. Obvykle se používají **minerální oleje**. Syntetické převodové oleje se používají v případech, kde minerální oleje nedostačují svými vlastnostmi. Některé převodové oleje mají tendenci narušovat povrchy barevných kovů jako měď, ze kterých jsou vyrobeny součásti převodovek jako například synchrony. Proto musíme při volbě převodového oleje postupovat obezřetně a volit takové oleje, které předepisuje výrobce a které nebudou narušovat fungování převodovky. Při údržbě je rovněž nutné přihlídnout k faktu, že převodovky a rozvodovky **nemají filtraci**, a tak se v převodovém oleji nachází mnoho otěrových částic. Je tedy nutné zvolit optimální interval výměny oleje s přihlédnutím na úroveň opotřebením a množství otěrových částic. [23]

2.2.2.6 Hydraulické oleje

Uplatnění naleznou u hydraulických soustav pracujících pod vysokým tlakem (stavební stroje). Jejich hlavním úkolem je **ochrana povrchů pístnic** před oxidací a korozí a **přenos vysokých tlaků** v hydraulické soustavě. Složení aditiv v hydraulickém oleji si můžeme prohlédnout na obrázku 2-14. Nejdůležitějšími aditivami u hydraulických olejů jsou aditiva proti otěrová a proti pění (antioxidanty) oleje, protože **vzduch** v hydraulické soustavě způsobuje **pokles tlaku a ztrátu funkčnosti**. [25] [17]

Podíl typů aditiv v hydraulickém oleji



Obr. 2-14 - podíl typů aditiv v hydraulickém oleji [26]

2.2.2.7 Kompresorové oleje

Kompresory se častou používají ke **stlačování různých plynů**, ve všech různých odvětvích průmyslu a je nutné je mazat speciálními oleji. Kompresorové oleje mají vysokou odolnost vůči oxidaci a tvorbě úsad. Nejčastěji se v automobilech používají šroubové kompresory (viz obrázek 2-15). Olej se **vstříkuje přímo mezi šroubovice** a je tedy nutné dokonalé **odloučení oleje od vzduchu**. Kompresory dosahují extrémně vysokých otáček, a tak se pro jejich mazání využívají pouze nejkvalitnější syntetické oleje. [25] [24]

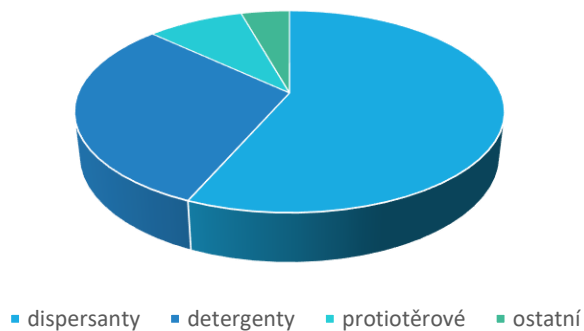


Obr. 2-15 - šroubový kompresor [27]

2.2.3 Aditivace automobilových olejů

Výsledný automobilový olej tvoří z 90% olej základový. Zbýlých 10 % obsahu tvoří aditiva. Aditiva jsou chemické látky, které **zlepšují výsledné vlastnosti** automobilového oleje. Podíl jednotlivých typů aditiv lze najít na obrázku 2-16. [28]

Podíl typů aditiv v motorovém oleji



Obr. 2-16 - podíl typů aditiv v motorovém oleji [28]

2.2.3.1 Aditiva zlepšující povrchový účinek

Do této kategorie se řadí aditiva, která mají vliv na **odvod nečistot a otěrových částic** a rovněž na ochranu povrchů před opotřebením. Jedná se o takzvaná polární aditiva, která mají **elektrický náboj**, a tak jsou přitahována na kovové povrchy na kterých ulpívají: [8] [20]

- detergenty – čistí povrch a zabraňují usazování nečistot;
- disperzanty – zabraňují nečistotám, které uvolnily detergenty, aby se shlukovali do větších celků a ucpávali tak olejové filtry a kanály;
- vysokotlaké – vytváří na povrchu ochrannou vrstvu, která zabraňuje přímému styku povrchů například u ozubených soukolí nebo řetězových převodů (použití například v převodovkách a diferenciálech);
- antikorozi – slouží ke konzervaci povrchu při delší odstávce a chrání proti působení kyselého prostředí a vysokých teplot například ve válcích motoru.

2.2.3.2 Aditiva zlepšující celkové vlastnosti oleje

Jedná se o takzvaná nepolární aditiva, která jsou rozptýlena rovnoměrně v celém objemu olejové náplně. **Nejsou povrchově aktivní** a nejsou přitahovány vodou ani kyselinami nebo částicemi kovů a sazí. Do této kategorie mohou patřit následující aditiva: [29]

- depresanty – používají se u zimních olejů, udržují homogenitu oleje v nízkých teplotách (snižují bod tuhnutí);
- viskózní modifikátory – omezují závislost viskozity na provozní teplotě oleje;
- ochranné elastomery – ochrana pryžových a plastových částí motoru (například hadice a těsnění).

2.2.3.3 Aditiva zvyšující ochranu oleje

Tato aditiva slouží pro vlastní ochranu oleje a prodlužují jeho životnost. **Redukují interakci oleje s kyslíkem** (antioxidanty). Ten je v oleji **nežádoucí**, protože **urychluje stárnutí** oleje. Tomuto procesu ovšem nelze úplně zabránit, lze jej pouze omezit nebo jej **zpomalit**. Oxidující olej tmavne a ztrácí viskozitu. Kyslík v oleji rovněž zvyšuje **pěnivost** oleje, což může mít za následek nasátí vzduchu olejovým čerpadlem a **ztrátu tlaku** v mazací soustavě. To může v konečném stádiu vést k nenávratnému poškození motoru. [20] [8]

2.3 Motorové oleje

Motorové oleje jsou nejsložitějším olejářským výrobkem, proto při výběru motorového oleje musíme být velice obezřetní. Výrobci vedou obrovský boj o zákazníka a vkládají do reklamy a propagace nemalé finanční prostředky. Při výběru se tedy nesmíme nechat oklamat mnohdy nepravdivými a nepodloženými informacemi. Hlavním vodítkem je předepsaný olej od výrobce motoru a pomoci nám může i rozdělení olejů podle viskozitních tříd a továrních a výkonových specifikací. [22]

2.3.1 Viskozitní specifikace

Viskozita vyjadřuje vnitřní tření kapaliny, jinak řečeno, čím má olej vyšší viskozitu, tím méně je **tekutější**. Viskozita je vždy **závislá na teplotě** (s rostoucí teplotou viskozita klesá). Olej s nižší viskozitou je obvykle tekutější než olej s viskozitou vyšší. Viskozita se dělí na dynamickou a kinematickou. [5] [22]

2.3.1.1 Kinematická viskozita

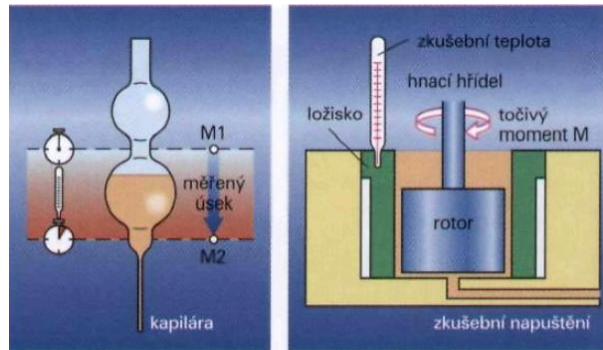
Pro měření kinematické viskozity se využívá **kapilární viskozimetr** (viz obrázek 2-18 vlevo) nebo **Fordův výtokový pohárek** s kalibrovanou tryskou (obrázek 2-17). Principem je zjištění **doby**, za kterou vyteče přesně stanovené množství kapaliny při určité teplotě. Kinematická viskozita se udává ve **Strokes** (ST) a má jednotku cm^2/s . Detailnějším popisem provedení měření se budeme zabývat v kapitole 4.3. [22]



Obr. 2-17 - Fordův výtokový pohárek [30]

2.3.1.2 Dynamická viskozita

Určuje se pomocí **rotačního viskozimetru** (viz obrázek 2-18 vpravo). Při této zkoušce se měří **točivý moment**, potřebný k roztočení válce naplněným olejem, při stanovené teplotě. Dynamická viskozita se určuje v **Poise (P)** a jednotkou je $\text{g/cm}\cdot\text{s}$. [22]

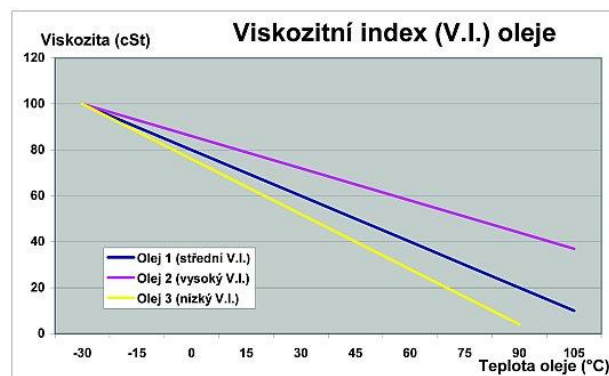


Obr. 2-18 - měření kinematické a dynamické viskozity [22]

2.3.1.3 Viskozitní index

Viskozitní index je jedním z nejdůležitějších parametrů motorového oleje. Udává **závislost viskozity oleje na teplotě oleje**. Sklonem přímky v grafu, který je na obrázku 2-19 lze vyjádřit viskozitní index. Olej 3 má nejnižší viskozitní index, protože jeho viskozita s rostoucí teplotou nejrychleji klesá. Naopak olej 2 má nejvyšší viskozitní index, protože s rostoucí teplotou klesá jeho viskozita nejméně. Nejvyšší viskozitní index mají syntetické oleje (kolem 150). Minerální oleje dosahují viskozitního indexu kolem 100. [22] [20]

Výrobce usilují o vytvoření oleje, jehož viskozita s rostoucí teplotou bude klesat co nejméně. Na olej jsou kladeny vysoké nároky, neboť je nutné, aby olej měl **nízkou viskozitu při startu**, když je olej studený, aby bylo zajištěno mazání i nejdálčenějších mazacích uzlů. Naopak v oblasti spalovacího prostoru je žádoucí olej s **vysokou viskozitou**, aby dokázal udržet **pevný mazací film** mezi válci a pístními kroužky. [31]

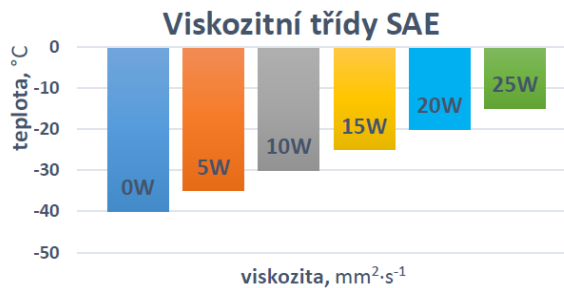


Obr. 2-19 - graf viskozitního indexu různých olejů [31]

2.3.1.4 Viskozitní třídy

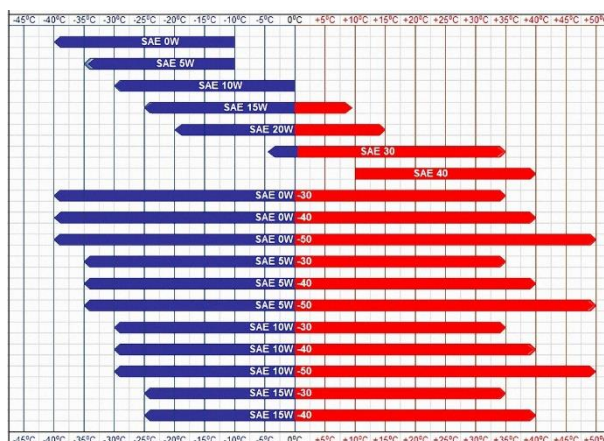
Pro jednodušší **označování olejů podle rozsahu teplot**, ve kterých pracují, byla zavedena klasifikace olejů podle normy SAE J 300 (zkratka z anglického Society of Automotive Engineers). Označení viskozity dle SAE se obvykle skládá ze dvou částí (například 5W-50). Toto označení je tzv. **vícetupňové** (anglicky multigrade, na obrázku 2-21 dole). Mohou se vyskytovat i oleje **jednotupňové** (anglicky monograde, na obrázku 2-21 nahoře), ty se označují jako sezónní a příliš často se nepoužívají. [32]

První částí u vícetupňových olejů je **zimní číslo** následované písmenem W (anglicky winter), které udává viskozitu oleje při teplotách pod bodem mrazu. Na obrázku 2-20 je vidět, jak oleje s nižším zimním číslem lépe odolávají nízkým teplotám. [33]



Obr. 2-20 - SAE zimní číslo v závislosti na teplotě [34]

Druhou částí označení je **letní číslo**, to označuje viskozitu oleje při zahřátém motoru (při 100 °C). U závodních nebo více zatěžovaných motorů je vhodné zvolit oleje s vyšším letním číslem. Tyto oleje zajistí pevný mazací film i při vysokém zatížení, kdy teploty oleje mohou dosahovat až 160 °C. Na obrázku 2-21 je vidět, v jakém rozmezí vnějších teplot mohou jednotlivé typy olejů pracovat. To ovšem nelze považovat za jediné kritérium při výběru motorového oleje, rovněž je nutné ověřit, zda daný olej vyhovuje výkonové a tovární specifikaci. [22] [33]



Obr. 2-21 - viskozitní tabulka dle SAE [35]

2.3.2 Výkonové specifikace

Označení olejů dle výkonové specifikace je důležité z důvodu zařazení motorového oleje do **spektra zátěže**, kterému bude olej za dobu své životnosti vystavován. Hodnotí se mnoho kritérií jako například oxidační stabilita, ochrana proti otěru a korozi, tvorba karbonových úsad atd. [20] [36]

Dalším důležitým parametrem při hodnocení výkonové specifikace je tzv. **HTHS viskozita**. Měří se při 150 °C a udává informace o tloušťce mazací vrstvy v této teplotě. Simulují se podmínky v motoru u velmi rychle se pohybujících součástí (například u pístní nebo ventilové skupiny, turbodmychadla, atd.). Čím je hodnota HTHS nižší, tím je olejový film tenčí a může dojít k jeho **protržení**. HTHS určuje použitelnost oleje v určitém motoru. [37]

Při hodnocení výkonových specifikací motorových olejů můžeme přihlídnout k mnoha normám: [36]

- API (American Petroleum Institut);
- ACEA (Association des Constructeurs Européens d'Automobiles);
- CCMC (Comité des Constructeurs d'Automobiles du Marché Commun);
- EMA (Engine Manufactures Association);
- MIL-L (Military) – pro vojenské účely;
- ILSAC (Internation Lubricant Standardization and Approval Comittee);
- JASO (Japan Automobile Standards Organisation);
- JAMA (Japan Automobile Manufacturers Association);
- Global DHD (spolupráce mezi ACEA,EMA).

Výše je uvedeno pouze několik norem, je zřejmé, že výkonových specifikací je celá řada, ovšem nejčastěji se používají výkonové specifikace ACEA a API.

2.3.2.1 Výkonové specifikace API

Zkratka API vznikla z anglického American Petroleum Institut. Jak již název vypovídá, jedná se o Americkou normu, z toho důvodu ne vždy vyhovuje **standardům evropské unie**, protože v Americe mají odlišnou konstrukci spalovacích motorů. Americké motory nemusí splňovat přísné emisní normy a jsou obvykle objemově mnohem větší. [38]

Označení dle specifikace API se obvykle skládá z dvou písmen a popřípadě číslice. První písmeno specifikuje, pro jaký **typ motoru** je olej určen například S (anglicky service), určený pro **zážehové motory** nebo C (anglicky commercial), určené pro **vznětové motory**. Mohou se objevit oleje, které vyhovují jak vznětovým, tak zážehovým motorům a ty se potom označují kombinací obou písmen (například SL/CF). V tabulce 2-3 můžeme najít několik označení a krátký popis dle normy API. [39]

Druhým písmenem je pak **úroveň užitných vlastností** oleje. Zjednodušeně lze říct, že čím dále je písmeno v abecedě, tím kvalitnější (novější) by olej měl být. V označení se může objevit i číslice, která blíže specifikuje danou oblast použití oleje. [39]

Tab. 2-3 - příklady označení tříd olejů dle API normy a jejich stručný popis [38]

SA	Zastaralý - neobsahuje žádná aditiva, v dnešní době nepoužitelný pro zážehové motory vyrobené po roce 1930. Použití u moderních zážehových motorů může způsobit nedostatečný výkon oleje nebo poškození mechanických součástí.
SN	Představen v říjnu 2010, navržený pro ochranu zážehových motorů při vysokých teplotách ve spalovacím prostoru a ochranu těsnění. Zvyšuje hospodárnost provozu, ochranu turbodmychadel, a je použitelný v motorech spalujících E85.
CA	Zastaralý – nevyhovuje použití ve vznětových motorech vyrobených po roce 1959.
CK-4	Určený pro moderní čtyřdobé vznětové motory, představený v roce 2017. Zvýšená ochrana proti oxidaci a následné degradaci oleje, ochrana DPF filtrů.

2.3.2.2 Výkonová specifikace ACEA

Asociace evropských konstruktérů automobilů nahrazuje dnes již zastaralou normu CCMC a sídlí v Bruselu. **ACEA vznikla jako reakce na normy API**, která nevyhovuje evropským standardům. Podobně jako u normy API se označení skládá z písmene označující **typ spalovacího motoru** (popř. způsob užití motoru) [32] [36]

- A – zážehové motory;
- B – vznětové motory;
- C – zážehové motory a lehké vznětové motory vybavené filtry pevných částic (tzv. DPF filtry a katalyzátory);
- D – vznětové motory pro velká užitková vozidla.

Další částí označení je číslice 1 – 7. Ta charakterizuje **úroveň užitných vlastností** oleje. Neznamená to ovšem, že čím nižší číslo, tím horší vlastnosti oleje (jako u normy API). Tato číslice pouze zařazuje olej do konkrétní **výkonnostní třídy**. V tabulce 2-4 můžeme najít příklady

označení olejů dle výkonnostní normy ACEA. Mohou se objevovat oleje s kombinací označení (například A5/B5), to znamená, že jsou vhodné jak pro vznětové, tak pro zážehové motory. [20] [36]

Tab. 2-4 - příklady označení tříd olejů dle ACEA normy a jejich stručný popis [36]

A1	Základní výkonová úroveň motorového oleje pro moderní benzínové motory.
B4	Motorové oleje s vysokou výkonovou rezervou určené pro naftové motory osobních automobilů s přímým stříkem paliva.
C3	Motorové oleje s nízkým obsahem sulfátového popela, síry a fosforu (preferuje například Renault, Hyundai, Mercedes Benz, atd.).
E7	Motorové oleje pro naftové motory nákladních automobilů pro prodloužené intervaly výměn s nízkým obsahem sulfátového popela, síry a fosforu.
A5/B5	Motorové oleje s nízkou viskozitou a třením, s vysokou výkonovou úrovní a s prodlouženým intervalem výměny.

2.3.3 Tovární specifikace

Výrobci do svých motorů obvykle předepisují oleje, dle vlastních **továrních norem**, které si každý výrobce specifikuje sám. Může se stát, že výrobce předepisuje i oleje dle ACEA nebo API, ale obvykle požadují oleje splňující vlastní tovární normu. Automobilky testují vliv konkrétních olejů na konkrétní typy motorů. Z toho vyplývá, že **nejdůležitější normou** při volbě motorového oleje pro moderní spalovací motory je právě tovární specifikace. Výrobci olejů musí přizpůsobit produkci vlastních olejů podle těchto továrních norem. V Evropě vlastní nejsilnější skupinu továrních norem koncern Volkswagen. Jelikož si automobilky vytvářejí tovární normy sami, neexistuje žádný ucelený způsob označování motorových olejů dle továrních norem. Některé příklady označení můžeme najít v tabulce 2-5. [36] [32]

Tab. 2-5 – příklady označení tříd olejů dle tovární normy a jejich stručný popis [36]

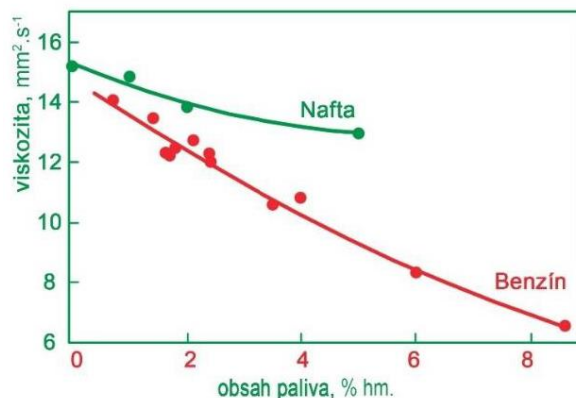
Volkswagen 503.01/00	Benzínové motory AUDI, speciální požadavky, Audi A3 r.v. 98, prodloužený interval výměny.
Daimler – Chrysler MB 228.0/1	Nákladní automobily a autobusy, odpovídá přibližně ACEA E2-96.
BMW Longlife-01 FE	Odpovídá přibližně ACEA A3/B3/B4 a další požadavky, SAE 5W-30.
MAN 270	Monográdní oleje pro nákladní automobily, požadavky podobné jako ACEA E2-96.
FORD WSS M2C934-A	Benzínové a naftové motory, SAE 5W-30, ACEA C1-04.

2.4 Kontaminanty v motorových olejích

Oleje se v průběhu používání vždy **opotřebují**. V jaké míře a jakým způsobem záleží na způsobu použití a na kondici stroje, ve kterém je olej používán. Opotřebení olejů je **nevratný jev**, kterému zatím nelze žádným způsobem zabránit. Do oleje pronikají částice paliva nebo otěrové částice z povrchů, které olej poškozují. Tyto částice lze rozdělit na **tvrdé** (lze odstranit filtrací, například otěrové částice) nebo **měkké** (reakce různých složek olejů, kontaminace z paliv a podobně, nelze odstranit filtrací). Proto je nutné stanovit **pravidelný interval výměny oleje**, který je nutné dodržovat a v případě nutnosti tento interval **zkracovat**, například při častých studených startech nebo krátkých dojezdových vzdálenostech. [20]

2.4.1 Palivo

Ve spalovacím motoru olej chrání pístní skupinu před opotřebením. Palivo se mísí se vzduchem a je vstřikováno do pístu kde se tato směs dále mísí s olejem na stěnách válce. Při hoření paliva navíc horké spaliny pronikají do oblasti bloku motoru, kde kondenzují a mísí se s olejem. Díky tomuto procesu se snižuje viskozita motorového oleje, protože **palivo olej ředí**. To má za následek zvýšenou spotřebu paliva a opotřebení. Olej s příliš nízkou viskozitou nedokáže udržet pevný mazací film na kontaktních plochách a v konečném stádiu může dojít až k zadření motoru. **Maximální množství paliva v oleji udávají výrobci motorů obvykle kolem 4 %**. Je ovšem nutné přihlídnout k typu paliva, které motor spaluje. Na obrázku 2-22 je znázorněno, jak benzín se zvyšující se koncentrací v motorovém oleje snižuje viskozitu více než motorová nafta. [8] [40]



Obr. 2-22 - porovnání vlivu benzínu a motorové nafty na viskozitu motorového oleje [40]

2.4.1.1 Benzín

Jak již bylo zmíněno výše, benzín má na viskozitu větší vliv než motorová nafta. Benzín má ale na rozdíl od nafty **nižší bod varu**. To znamená, že nejlehčí složky benzínu se z motorového oleje začínají destilovat již při 40 °C. Při provozní teplotě oleje zážehové motoru (zhruba 90 – 110 °C) se z motorového oleje destilují lehké a středně těžké složky benzínu. Při častých studených startech se do oleje dostává větší množství benzínu, protože řídicí jednotka zvyšuje množství paliva, a to kondenzuje na stěnách válců. Jakmile se teplota motoru ustálí na provozní teplotě (obvykle se hodnota získává z teploty chladící kapaliny), jednotka upraví dávku paliva na normální hodnotu. Při **krátkých dojezdových vzdálenostech**, kdy se olej dostatečně neprohřeje se do oleje dostává větší množství benzínu. Proto je nutné **zkrátit** pravidelný interval výměny motorového oleje nebo s automobilem podniknout delší jízdu, aby se z motorového oleje odpařily lehčí a středně těžké složky benzínu. Nejtěžší složky se destilují až při 210 °C, takže v oleji zůstávají a degradují ho. [40] [20]

2.4.1.2 Motorová nafta

Jednotlivé složky motorové nafty se začínají destilovat při teplotě:

- 180 °C – lehké složky motorové nafty;
- 270 °C – středně těžké složky motorové nafty (střední bod varu);
- 360 °C – těžké složky motorové nafty.

Olej ve vznětovém motoru nikdy nedosáhne tak vysokých teplot, a proto se nafta **nedestiluje**, ale pouze hromadí během běžného provozu v motorovém oleji. Nafta ovšem nesnižuje viskozitu v tak velké míře jako benzín, jak je vidět na obrázku 2-22. Koncentrace paliva by ovšem neměla přesáhnout hodnotu 4 %. Nejjednodušším způsobem, jak zjistit množství paliva v motorovém oleji, je **stanovení bodu vzplanutí**, který činí u nových olejů asi 220 °C. Bod vzplanutí u použitých olejů by neměl klesnout pod 180 °C. Pokles bodu vzplanutí pod tuto hranici nasvědčuje **nadlimitní koncentraci** motorové nafty v oleji a je nutné přistoupit k výměně celé olejové náplně. [20] [40]

2.4.1.3 Ethanol E85

Používání ethanolu v zážehovém motoru razantně **snižuje viskozitu** motorového oleje. Při používání ethanolu se doporučuje **zkrátit** pravidelný interval výměny motorového oleje na **polovinu**. Benzín snižuje viskozitu oleje v řádech setin procent, ovšem ethanol snižuje viskozitu oleje o **více než 20 %**. To má za následek drastické snížení mazacích schopností. Olej s nízkou viskozitou neudrží pevný mazací film a dochází k rychlému opotřebení třecích ploch a komponent motoru. Může dojít ke zvýšení lokální teploty a **vytavení ložisek** a zadření celého spalovacího motoru. [41]

2.4.1.4 Rostlinný olej

Podobně jako motorová nafta má rostlinný olej vysoké **cetanové číslo** (hodnota kvality paliva pro vznětové motory) okolo 50 jednotek. Při smísení motorové oleje s rostlinným olejem se snižuje viskozita motorového oleje podobně jako u nafty. Dochází k rychlejšímu **stárnutí** motorového oleje a snižuje se jeho viskozita. To má za následek vyšší koncentraci otěrových částic z důvodu zvýšeného opotřebením třecích ploch. Je nutné **zkrátit** interval výměny motorového oleje. Výhodou použití rostlinného oleje ve vznětových motorech je jeho **biologická odbouratelnost** a téměř **minimální škodlivé emise**. To umožňuje používání motorů například v chráněných krajinných oblastech. Nevýhodou je nutnost použití duálního palivového systému v kombinaci s motorovou naftou (start a ohřev na motorovou naftu, provoz na rostlinný olej). Rostlinný olej má totiž vysokou viskozitu při nízkých teplotách, a to zapříčiňuje špatnou čerpatelnost při studených startech. Rostlinný olej má rovněž nízkou oxidační stabilitu. To způsobuje tvorbu olejových kalů během jeho skladování. [42]

2.4.2 Otěrové částice

Jak můžeme vidět na obrázku 2-1, kontaktní plochy nikdy nejsou **dokonale hladké**. Při rozběhu a doběhu navíc dochází v některých částech motoru k **polosuchému a suchému tření**, jak bylo popsáno v kapitole 2.1.4. Tyto faktory mají za následek vznik otěrových částic, které pronikají do oleje. Jedná se o takzvané **tvrdé částice**. Vznikají otíráním pracovních povrchů, v případě že je nechrání pevný olejový film. Tento efekt je umocněn opotřebením motorového oleje, který ztrácí svou viskozitu. Částice v oleji **abrazivně obrušují** další povrchy, a proto je důležité, aby olej dobře odváděl otěrové částice do olejové vany, kde ulpívají na dně, popřípadě jsou zachyceny v **olejovém filtru**. Otěrové částice se mohou v olejové náplni objevovat i v důsledku koroze, zbytků nečistot z výroby nebo oprav a podobně. V každém

případě je nutné dodržovat pravidelný interval výměny oleje, aby olej neobsahoval nadlimitní množství otěrových částic. [43]

Otěrové částice se do oleje nemusí dostávat pouze v důsledku opotřebení komponentů stroje. Ve spalovacích motorech, kompresorech a strojích podobného typu, kde je nasáván vzduch a dostává se do kontaktu s olejem, může olej kontaminovat **poletavý prach**. Pokud je nefunkční **vzduchový filtr** nebo se v sacím potrubí objeví netěsnost, můžeme v motorovém oleji nalézt tvrdé kovy jako je železo, křemík, hliník a podobně. Tyto částice způsobují obvykle větší opotřebení než otěrové částice původem z motoru. Proto je nutné pravidelně měnit vzduchový filtr a kontrolovat sací soustavu stroje. [8]

2.4.3 Nerozpustné úsady

Při spalování paliva vznikají nerozpustné **karbonové úsady** a tomuto jevu nelze zabránit. Tyto karbonové úsady lze v jisté míře odstranit z oblasti pístní soustavy, pokud olej obsahuje dostatek detergentních a dispersačních přísad (bližší popis aditiv nalezneme v kapitole 2.2.3). Pokud olej neobsahuje dostatek těchto aditiv, mohou v motoru vznikat karbonové nánosy, které způsobují takzvané **zapečení pístních kroužků** a vedou ke zvýšené spotřebě paliva a opotřebení. To se často stávalo ve starších motorech používajících méně kvalitní minerální oleje. V případě, že byl tento olej nahrazen kvalitnějším polosyntetickým nebo syntetickým olejem s dostatkem detergentních a dispersačních aditiv, docházelo k rozpuštění těchto karbonových nánosů. Takto vzniklá hmota následně ucpávala mazací kanály a olejové filtry. Tohoto stavu se již v dnešní době nemusíme obávat, neboť i minerální oleje již obsahují dostatek aditiv pro rozpouštění a odnášení karbonových úsad. [44] [8]

2.4.4 Voda a olejový kal

Při spalování benzínu v motoru vzniká chemickou reakcí jako vedlejší produkt **vodní pára**. Na litr benzínu spáleném v motoru připadá vznik jednoho litru vodní páry. Ani tomuto jevu nelze žádným způsobem zabránit. Voda může **kondenzovat** v motoru a následně se mísit s motorovým olejem. To se obvykle stává, pokud motor není zahřátý na provozní teplotu. Voda je v oleji velice špatně rozpustná, a to pouze ve velmi malém množství. Následkem toho vznikají emulze a **olejové kaly**, které mohou ucpávat mazací kanály, olejové čerpadlo, sací koš a filtry. Pokud olej již určitý podíl vody obsahuje, lze ji z oleje **vydestilovat** zahřátím motoru po určitou dobu na provozní teplotu. V případě, že je motor zahřátý pára nekondenzuje a odchází

odvětráním pryč z motoru. Hraniční hodnota obsahu vody v motorovém oleji je udávána výrobcí na **0,2 %**. [8] [45] [46]

2.4.5 Glykol

Chladicí kapalina je směsí destilované vody a přísad na bázi ethylenglykolu nebo propylenglykolu. Tyto přísady zabraňují **zamrznutí** chladicí kapaliny při záporných teplotách a zlepšují celkový chladicí účinek. Pokud ovšem dojde k poškození chladicí soustavy, jako například prasklá hlava válců nebo poškozené těsnění pod hlavou válců, dochází k mísení chladicí kapaliny s obsahem glykolu a motorového oleje. Glykol je **nejagresivnější kontaminant**, se kterým může olej přijít do styku. Již při velice malých koncentracích začíná olej **tuhnout** a ztrácí svou tekutost a rychle se snižuje jeho oxidační stabilita a ochrana proti korozi. Olej nedokáže aktivně mazat třecí plochy a dochází k zadření motoru. Na obrázku 2-23 vlevo můžeme vidět **změnu skupenství** oleje z kapalného na pevné za působení glykolu. Na obrázku 2-23 vpravo můžeme vidět **bílou pěnu** pod olejovým víčkem motoru. Ta svědčí o pronikání glykolu do olejové soustavy automobilu. Tento typ závady na chladicím systému je nutné akutně řešit, protože může dojít k nevratnému poškození motoru i při malých koncentracích glykolu v motorovém oleji. Je nutné analyzovat a utěsnit místo průsaku a okamžitě vyměnit nevratně poškozenou olejovou náplň a manuálně vyčistit celou mazací soustavu. Hraniční hodnota obsahu glykolu v oleji je **0,02 %**. [47] [8] [45] [46]



Obr. 2-23 - interakce glykolu a motorového oleje [45]

2.4.6 Vysoká a nízká teplota

Vysoká teplota má za následek oxidaci a urychluje **stárnutí** motorového oleje. **Přehřátý olej ztrácí viskozitu** (viz obrázek 2-19) a na kontaktních plochách neulpívá dostatečně pevný mazací film. Z toho důvodu může dojít k nadměrnému opotřebení součástí. Problém se umocňuje při použití takzvaných lehkoběžných olejů. Ty mají již z výroby menší viskozitu, aby se snížila spotřeba paliva. Vyšší teplota má však pozitivní vliv na rychlejší destilaci některých

kontaminantů z oleje jako například některé složky benzínu, voda apod. Ty se však obvykle z oleje odpařují i při provozní teplotě. [8] [20]

Nízká teplota má rovněž negativní vliv na kondici motorového oleje. Nízká teplota urychluje **stárnutí** oleje a zapříčiňuje jeho **oxidaci**. Při záporných teplotách se olej dostává do nejvzdálenějších tribotechnických uzlů až **18 vteřin**, zejména do oblasti sekundárního mazacího okruhu. Při volbě motorového oleje proto musíme brát v úvahu rozpětí venkovních teplot, ve kterých chceme stroj provozovat (viz obrázek 2-21) a zvolit motorový olej se správnou viskozitou. Do oleje pronikají během provozu stroje kontaminanty, které snižují jeho mazací účinek. Pokud se olej nestihne prohřát na provozní teplotu (krátká dojezdová vzdálenost a časté studené starty), nežádoucí prvky se z oleje nestihnou **vydestilovat**. Tuto skutečnost musíme brát v úvahu a případně **zkrátit** pravidelný interval výměny oleje. [8] [20]

2.4.7 Další nežádoucí prvky

Motorový olej během své životnosti obsahuje kromě výše zmíněných kontaminantů i další nežádoucí prvky. Tyto prvky se však v oleji mohou objevovat již z výroby. Výrobci jsou nuceni z důvodu snižování dopadu na životní prostředí a technologické invenci snižovat obsah těchto nežádoucích prvků, z nichž některé jsou: [8] [47]

- sulfátový popel – prodlužuje životnost a pomáhá čistit olej, má ovšem negativní vliv na filtry pevných částic (vyrábějí se i bezpopelnaté oleje);
- síra – při vysokých teplotách zvyšuje tvorbu karbonových úsad a kalů;
- sodík – signalizuje průsak chladící kapaliny do motorového oleje;
- fosfor – snižuje životnost katalyzátorů, působí pozitivně proti oxidaci oleje a tvorbě otěrových částic.

3 Cíl diplomové práce

Cílem diplomové práce je zjištění vlivu typu provozu automobilu na opotřebení motorového oleje. V experimentální části diplomové práce budou proto **odebrány vzorky** motorových olejů z automobilů během pravidelné výměny motorového oleje. Jednotlivé vzorky oleje budou analyzovány v chemické laboratoři a jejich hodnoty zaznamenány.

Zároveň bude nutné **uměle kontaminovat** vzorky čistých olejů benzínem, aby bylo možné určit nominální hodnoty pro porovnávání hodnot vzorků odebraných. Je zapotřebí použít stejný typ motorového oleje jako v případě odebraných vzorků.

Předpokládá se, že při kombinovaném nebo meziměstském provozu bude koncentrace benzínu nižší než při městském provozu. A to z důvodu prohřátí oleje na provozní teplotu a **oddestilování** lehčích podílů benzínu. To se projeví vyšší hodnotou kinematičké viskozity než u automobilů provozovaných v městském provozu. V této části experimentu se tedy budeme prověřovat hypotézu, že při oddestilování lehčích uhlovodíků automobilového benzínu v motorovém oleji dojde k **nárůstu** kinematičké viskozity oleje.

Olej rovněž během své životnosti podléhá **opotřebením**. Budeme se tedy zabývat zařazením jednotlivých vzorků olejů do nomogramu trendového opotřebením, který popisuje úroveň opotřebením motoru a jeho olejové náplně. Předpokládá se, že stav oleje a stroje by neměl vykazovat nadměrné hodnoty opotřebením u většiny vzorků a měly by převládat **průměrné** hodnoty opotřebením.

V další části se budeme zabývat působením **glykolu** na olej. Glykol má negativní vliv na motorový olej, který při mísením s glykolem vytváří velké množství kalů, ztrácí své mazací vlastnosti a mění skupenství. Zde budeme ověřovat hypotézu, že koncentrace glykolu v oleji větší než 10 % změním jeho **skupenství** z kapalného na pevné.

Cílem diplomové práce je tedy simulovat opotřebením motorového oleje v rámci porovnávání odebraných vzorků s vzorky uměle kontaminovanými a podle celkového opotřebením motorového oleje predikovat budoucí opotřebením motorového oleje s přihlédnutím na **typ provozu** automobilu a stanovit tak **optimální interval výměny motorového oleje**.

4 Metodika diplomové práce

Díky tribotechnické analýze vzorků olejů bylo možné jednotlivé vzorky analyzovat a zjistit množství kontaminantů v nich obsažených. Jednotlivé zkoušky byly zvoleny tak, aby bylo možné co nejpřesněji analyzovat úroveň opotřebení motorového oleje.

4.1 Vzorky použitých motorových olejů

Vzorky motorů byly odebírány v rámci servisního úkonu a pravidelného intervalu výměny motorového oleje. U všech vzorků se jednalo o vozy Škoda Fabia s **benzínovými** agregáty o objemu 1,4 l a výkonu 63 kW, ve kterých byl použit motorový olej Castrol Magnatec 10W-40. Vzorky byly odebrány při nájedzu **10 – 15 tisíc km** na olejovou náplň.

Typový list oleje od výrobce Castrol udává následující hodnoty

- kinematická viskozita při 40 °C = 94 mm²/s;
- bod vzplanutí = 202 °C.

Jednotlivé vzorky motorových olejů byly analyzovány v tribotechnické laboratoři a naměřené a následně dopočtené hodnoty lze nalézt v příloze 1 a 2.

4.2 Uměle kontaminované vzorky oleje

Aby bylo možné posoudit míru opotřebení motorového oleje, bylo nutné vzorky uměle **kontaminovat** benzínem Natural 95. Byl zvolen stejný typ motorového oleje, jako byl použit v automobilech. Vzorky byly uměle kontaminovány **0 – 5 %** benzínu a následně se provedly zkoušky pro stanovení kinematické viskozity při 40 °C a bodu vzplanutí. Naměřené hodnoty si můžeme prohlédnout v tabulce 4-6.

Tab. 4-6 – naměřené hodnoty uměle kontaminovaných vzorků olejů [vlastní]

Označení vzorku	Kontaminace benzínem [%]	Viskozita při 40 °C [mm ² /s]	Bod vzplanutí [°C]
CASTROL 0	0	94,0	202
CASTROL 0,5	0,5	87,0	200
CASTROL 1	1	80,0	197
CASTROL 1,5	1,5	76,7	187
CASTROL 2	2	73,4	178
CASTROL 2,5	2,5	70,1	168
CASTROL 3	3	66,8	158
CASTROL 3,5	3,5	63,7	152
CASTROL 4	4	60,6	147
CASTROL 4,5	4,5	57,5	141
CASTROL 5	5	54,4	135

4.3 Zkouška kinematické viskozity při 40 °C

Zkouška se provádí pomocí Fordova výtokového pohárku (obrázek 2-17) a měří se **čas**, za který proteče pevně stanovené množství kapaliny **kalibrovanou tryskou**. Všechny vzorky byly dvakrát proměřeny na kinematickou viskozitu, čas potřebný k vytečení se následně zprůměroval a pomocí vztahu 3 se dopočítala kinematická viskozita při 40 °C. Je nutné měřit jednotlivé vzorky olejů při **konstantní teplotě**, aby nedocházelo ke zkreslování výsledků.

$$\nu = \frac{v_1}{t_1} \cdot t \quad [\text{mm}^2/\text{s}] \quad (3)$$

kde:

t₁...doba výtoku čistého oleje při teplotě okolí [s]

v₂...kinematická viskozita při 40 °C čistého vzorku oleje [mm²/s]

t...doba výtoku kontaminovaného vzorku oleje [s]

Kinematická viskozita motorového oleje se může v průběhu jeho životnosti měnit. Působením kontaminantů jako je například benzín se může kinematická viskozita snižovat a olej nemusí být schopen dobře plnit svou funkci a udržovat pevný mazací film. **Snížení** kinematické viskozity tak může být indikací k **výměně** olejové náplně.

4.4 Stanovení bodu vzplanutí

Bod vzplanutí je dalším způsobem, jak orientačně zjistit **množství paliva** v olejové náplni. Kelímeček je naplněn testovaným vzorkem oleje a následně zahříván. Při stoupající teplotě, kterou lze odečítat pomocí teploměru se zjišťuje, při jaké teplotě se vznítí výpary oleje a okamžitě samovolně zhasnou po přiblížení bočního hořáku. Tato **teplota** odpovídá bodu vzplanutí a zaznamenává se ke každému testovanému vzorku. Jelikož se jedná o destrukční zkoušku, tak olej, který je analyzován na bod vzplanutí již nelze proměřit na kinematickou viskozitu nebo opětovně na bod vzplanutí. Je proto nutné provádět zkoušku na bod vzplanutí až jako konečné měření. Přístroj na stanovení bodu vzplanutí nalezneme na obrázku 4-24. Snížená hodnota bodu vzplanutí tedy poukazuje na **kontaminaci** oleje palivem.



Obr. 4-24 - analyzátor bodu vzplanutí [48]

Při překročení ohřevu oleje nad teplotu bodu vzplanutí se dostaneme k teplotám bodu **hoření**. V takovém případě by již olejové výpravy samovolně nezhasly, ale vzorek oleje by začal hořet v kelímku. V takovém případě je nutné okamžitě vypnout ohřev a zamezit přístupu vzduchu do kelímku. Olej bez přístupu vzduchu přestane hořet.

4.5 Množství celkových nečistot v motorovém oleji

Množství celkových nerozpustných nečistot (%CN) v motorovém oleji se stanovuje na přístroji TCM-H. Množství nerozpustných nečistot poukazuje na **vnitřní čistotu motoru**, příliš vysoké množství nerozpustných úsad způsobuje ucpávání mazacích kanálů a snižuje celkové mazací vlastnosti motorového oleje. Stanovit množství celkových nečistot je nezbytně nutné pro sestavení nomogramu trendového opotřebení, kde slouží k určení **hraničního množství celkových nečistot**.

Přístroj se před měřením zkalibruje pomocí kalibrační kyvety. Následně se smísí olej s technickým benzínem v poměru 1:1. Takto připravená směs je nanesena do měřicí kyvety, která se vloží do přístroje. Ten okamžitě zobrazí hodnotu celkových nerozpustných (%CN) nečistot, která se zaznamená.

4.6 Zkouška režimu opotřebení

Pomocí kapilárního ferrografu PMA-90 je možné stanovit množství kovových otěrových částic ve vzorku oleje. Přístroj funguje na principu **elektromagnetů**. Tenkou kapilárou proudí vzorek motorového oleje a přístroj pomocí elektromagnetu zachytává **kovové částice**, jejichž množství přístroj dokáže pomocí senzorů analyzovat.

Před začátkem měření je nezbytně nutné přístroj propláchnout čistým technickým benzínem a zkalibrovat pomocí promývacího oleje. Následně je do přístroje zaveden vzorek oleje smíchaný s technickým benzínem v poměru 1:1. Dojde k nanesení částic na senzory a následně se opět zavede promývací olej, který odplaví veškeré nekovové částice.

Přístroj na konci měření vyhodnotí množství velkých (D_L) a malých (D_S) kovových částic jejich hodnota je zaznamenána. Následně je nutné přístroj opět vyčistit a zkalibrovat a přechází se k měření dalšího vzorku oleje.

Měrná koncentrace otěrových částic (WPC) a režim opotřebení (P_{LP}) se poté vyhodnotí pro každý vzorek pomocí následujících vztahů:

$$WPC = \frac{D_L}{10} + \frac{D_S}{10} \quad [\%/ml] \quad (4)$$

$$P_{LP} = \frac{D_L}{D_L + D_S} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5)$$

kde:

D_L ...množství velkých kovových otěrových částic

D_S ...množství malých kovových otěrových částic

Hodnota WPC udává **množství** kovových otěrových částic na množství testovaného objemu vzorku (1 ml) a indikuje stav **opotřebení** motoru. V průběhu životního cyklu motoru kolísá. Při záběhu je hodnota WPC nejvyšší, protože dochází k záběhu jednotlivých třecích ploch v motoru a vzniká velké množství otěrových částic. Po záběhu se tedy doporučuje vyměnit olejovou náplň. Po záběhu hodnota WPC klesne a postupně se zvyšuje v závislosti na opotřebení motoru.

Hodnota P_{LP} indikuje **podíl** velkých a malých otěrových částic. Při běžném provozu by se měl režim opotřebení pohybovat kolem **50 %**. Při výrazném nárůstu velkých otěrových

částic můžeme predikovat závadu na agregátu. Během běžného životního cyklu převládají na začátku menší otěrové částice, naopak na konci cyklu převládají velké otěrové částice.

Hodnoty WPC a P_{LP} by měly být korigovány s ohledem na měrnou spotřebu benzínu a oleje během pravidelného intervalu výměny motorového oleje. Dle informací, které nám poskytl autoservis, nebyl do žádného z automobilů doplňován olej během pravidelného intervalu výměny motorového oleje. Automobilka navíc veřejně neposkytuje údaje o normované spotřebě benzínu během pravidelného intervalu výměny oleje, a proto jsme korekci hodnot neprováděli.

4.7 Nomogram trendového opotřebení

Po provedení zkoušek režimu opotřebení a stanovení celkových nečistot v motorovém oleji jsme byli schopni sestavit nomogram trendového opotřebení motorového oleje a stroje. Nomogram se používá k posouzení stavu stroje a jeho olejové náplně. Vychází ze vzájemného vztahu množství otěrových částic WPC a obsahu celkových nečistot %CN. Je rozdělen do **10 oblastí**, z nichž každá popisuje vztah opotřebení oleje a stroje. Pro každý typ motoru je nutné sestavit vlastní nomogram trendového opotřebení, protože motory se liší konstrukčními parametry, a tudíž i průběhem opotřebení v našem případě se jedná o motor Škoda 1,4 I MPI, 63 kW. Jednotlivé oblasti popisující aktuální stav motoru a jeho olejové náplně jsou popsány níže:

1. stroj i olej ve výborném stavu;
2. stroj i olej v dobrém stavu;
3. průměrné opotřebení stroje;
4. mezní opotřebení stroje;
5. havarijní opotřebení stroje;
6. průměrné opotřebení stroje i oleje;
7. mezní opotřebení stroje i oleje;
8. havarijní opotřebení stroje i oleje;
9. nutná výměna oleje;
10. STOP-STAV.

Na ose x je vynesena koncentrace otěrových částic WPC a na ose y je zaneseno celkové množství nečistot %CN. Jednotlivé vzorky se **seřadí** dle naměřených hodnot WPC a %CN a **zprůměrují** se hodnoty s lepšími výsledky, hodnoty s horšími výsledky, a nakonec všechny hodnoty. Tyto 3 body tvoří páteř grafu, zanesou do grafu a **kolmicemi** na spojnici průměrů se vynesou jednotlivé oblasti grafu popisující stav motoru a jeho olejové náplně. Do takto připravené šablony se následně zanášejí hodnoty jednotlivých naměřených vzorků a určuje se jejich aktuální stav.

4.8 Působení glykolu na motorový olej

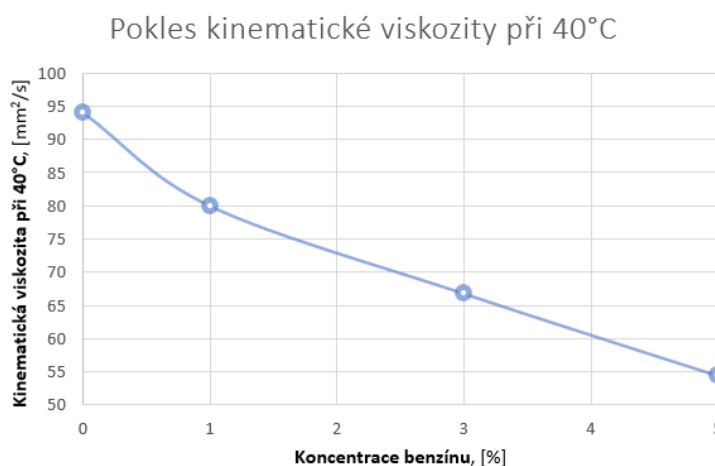
Při zkoumání působení glykolu na motorový olej byly vzorky čistého motorového oleje Castrol Magnatec 10W-40 uměle kontaminovány **0 – 12,5 %** nemrznoucí kapalinou G12, která podle typového listu výrobce obsahuje přes **95 %** ethylen-glykolu. Všechny vzorky byly přehledně popsány štítkem, který odpovídá koncentraci glykolu v dané směsi (GL 5 % odpovídá koncentraci glykolu 5 % ve směsi). Vzorky byly následně pečlivě promíchány a byly po dobu dvou hodin zahřívány na teplotu 90 °C. Tímto procesem se simuloval jeden **cyklus** uvedení směsi oleje s glykolem do provozní teploty spalovacího motoru. Poté byly všechny vzorky proměřeny na kinematickou viskozitu při 40 °C stejným způsobem, jako je popsáno v kapitole 4.3.

5 Výsledky experimentů a diskuze

Výsledné hodnoty analyzovaných vzorků pro všechny zkoušky a nomogram trendového opotřebení lze nalézt v přílohách 1 – 3. Podrobněji jsou výsledky jednotlivých zkoušek popsány níže.

5.1 Kinematická viskozita při 40 °C

Na obrázku 5-25 si můžeme prohlédnout pokles kinematické viskozity na uměle kontaminovaných vzorcích oleje benzínem. Kinematická viskozita podle typového listu výrobce při 40 °C činila 94 mm²/s, což nám potvrdilo i výchozí měření čistého oleje. Při 1 % koncentraci benzínu v oleji si můžeme všimnout rapidního poklesu kinematické viskozity o 15 %. Při vyšších koncentracích benzínu v oleji se kinematická viskozita nadále snižovala, a to až o 42 % při koncentraci 5 % benzínu v motorovém oleji. Výrobci udávají jako **hraniční koncentraci benzínu 4 %** v oleji, což odpovídá poklesu kinematické viskozity o zhruba 36 %. Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.3, pokles kinematické viskozity motorového oleje má za následek snížení mazacích schopností motorového oleje. Ten není schopen udržet pevný mazací film na třecích plochách a trhá se. Tím pádem dochází k nárůstu opotřebení a vzniku otěrových částic, které abrazivně opotřebují další komponenty stroje.



Obr. 5-25 - pokles kinematické viskozity při 40 °C [vlastní]

U čtrnácti analyzovaných vzorků oleje byla zjištěna koncentrace benzínu menší než 2 %, což odpovídá poklesu kinematické viskozity do 22 %. Tyto hodnoty lze zařadit do pásma přijatelného. Do pásma se zvýšenou koncentrací paliva se zařadilo celkem jedenáct vzorků s poklesem kinematické viskozity od 22 % do 35 %. Pokles kinematické viskozity o více než 35 % se projevil u pěti vzorků. Nejvyšší zjištěnou koncentrací benzínu v oleji byla hodnota **4,99 %**

což odpovídá snížení kinematické viskozity o zhruba **42 %**. Naměřené hodnoty kinematické viskozity pro všechny vzorky olejů lze najít v příloze 1.

5.2 Bod vzplanutí

Na obrázku 5-26 je vidět pokles bodu vzplanutí při zvyšující se koncentraci benzínu v motorovém oleji. Čistý měřený olej má podle typového listu bod vzplanutí na hodnotě 202 °C a tato hodnota se projevila i při prvotním měření. Při koncentraci 1 % benzínu bod vzplanutí poklesl pouze o 2,5 %. Při narůstající koncentraci benzínu v oleji však klesl až na hodnotu 135 °C, což odpovídá poklesu o **33 %**. Při hraniční koncentraci benzínu v oleji 4 %, který udávají výrobci, činil pokles bodu vzplanutí zhruba o **27 %**. Podobně jako u kinematické viskozity se podle poklesu bodu vzplanutí dá odhadovat množství benzínu v oleji. Ten má za následek snížení mazacích schopností motorového oleje.



Obr. 5-26 - pokles bodu vzplanutí [vlastní]

U čtrnácti měřených vzorků se pohybovala koncentrace benzínu pod 2 %, což odpovídá poklesu bodu vzplanutí do 12 %. U jedenácti vzorků bylo zjištěna koncentrace benzínu od 2 % do 4 %, což odpovídá poklesu bodu vzplanutí od 12 % do 27 %. Nejhorší výsledky vykazovalo 5 vzorků s koncentrací benzínu nad 4 %, což je hraniční hodnota udávaná výrobci. U nich byl naměřen maximální pokles bodu vzplanutí o **33 %**. Naměřené hodnoty bodu vzplanutí lze rovněž najít v příloze 1.

5.3 Celkové množství nečistot

Při této zkoušce lze rovněž vzorky rozdělit do tří pásem v závislosti na kondici oleje. Do vyhovujícího pásma s obsahem celkových nečistot pod 0,24 % spadá celkem 6 vzorků.

Tento typ pásma poukazuje na dobrou kvalitu oleje a nízký obsah celkových nečistot. Do přijatelného pásma s celkovým obsahem nečistot, které vykazuje běžné opotřebené motorového oleje se zařadilo celkem 16 vzorků s celkovým obsahem nerozpustných nečistot od 0,24 % - 0,62 %. Do nevyhovující pásma s obsahem nečistot vyšším než 0,62 % se zařadilo celkem 8 vzorků. Zde byla doporučena **okamžitá výměna motorového oleje**. Naměřené hodnoty celkových nečistot %CN lze najít v příloze 2.

5.4 Režim opotřebení

Režim opotřebení udává, v jakém poměru jsou velké otěrové částice oproti malým otěrovým částicím v olejové náplni a tento poměr by se měl v normálním provozu pohybovat cca 50 %. U 18 vzorků z celkových 30 bylo změřeno, že režim opotřebení se pohybuje v rozmezí 40 % - 60 %, což je běžná hodnota. Šest měřených vzorků vykazoval větší podíl menších otěrových částic. Tento stav lze opodstatnit faktem, že automobily, mají **menší kilometrový nájezd** a s rostoucím opotřebením motoru se bude poměr vyrovnávat. Naproti tomu dalších šest vzorků vykazuje zvýšený počet velkých otěrových částic, což svědčí o vyšším kilometrovém nájezdu automobilů. Žádný z vzorků však nevykazoval nadlimitní hodnoty, a lze tedy předpokládat, že žádný z motorů netrpí poruchou.

U množství kovových částic WPC na jednotku objemu olejová náplně bylo zjištěno **nadlimitní množství u 5 vzorků**. Dalších 20 vzorků lze zařadit do pásma přijatelného, které vykazuje průměrné množství kovových otěrových částic. A do pásma vyhovujícího se zařadilo 5 vzorků, kde byly naměřeny nejnižší hodnoty otěrových částic.

5.5 Nomogram trendového opotřebení

Pro sestavení nomogramu trendové analýzy musely být všechny vzorky proměřeny na obsah celkových nečistot v oleji (%CN) a množství kovových částic na jednotku objemu olejové náplně (WPC). Nomogram se sestavuje vždy pouze pro **jeden typ motoru**, používající jeden typ oleje. Míšení různých typů motorů a olejů by způsobilo zkreslení výsledků, zanesených do nomogramu. Sestavení nomogramu je popsáno v kapitole 4.7. Po sestavení nomogramu se do něj zanášejí hodnoty jednotlivých vzorků. Oblast, do níž vzorek spadá, určuje stav motoru a jeho olejové náplně.

Po sestavení nomogramu zjišťujeme, že do vyhovujících oblastí spadají pouze 4 vzorky. Dalších 14 vzorků spadá do oblasti přípustného opotřebení stroje nebo oleje, ovšem zbylých **12 vzorků** spadá do **nevyhovujících oblastí** nomogramu opotřebení, který si můžeme prohlédnout v příloze 3. Zařazení vzorků do nevyhovujících oblastí potvrzuje skutečnost, že se jedná o vzorky, které byly odebrány při pravidelném intervalu výměny oleje a značí o dosažení **hranice životnosti** olejové náplně.

5.6 Působení glykolu na motorový olej

Počáteční **interakci** glykolu s olejem si můžeme prohlédnout na obrázku 5-27. Glykol po smíchání s olejem tvoří drobné **kuličky**, které se usazují na dně nádoby.



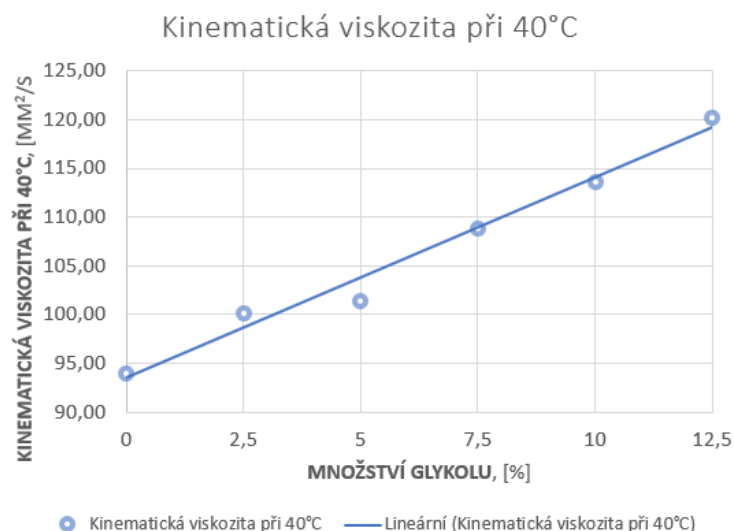
Obr. 5-27 - interakce glykolu s olejem [vlastní]

Již při prvotním promíchání vzorků je patrná změna **zabarvení** a rovněž změna **viskozity** olejů v závislosti na koncentraci oleje s glykolem. Na obrázku 5-28 vlevo je vidět čistý olej, který bez problémů steče po stěnách nádoby a usadí se na dně. Se stoupající koncentrací glykolu v oleji je patrné zvýšení viskozity, neboť směs nestéká tak snadno po stěnách nádob. Směs s přibývajícím množstvím glykolu rovněž mění své zbarvení, se zvyšujícím se množstvím glykolu je směs **kalnější**, ztrácí svou průsvitnost a postupně bledne.



Obr. 5-28 - změna zabarvení a viskozity směsí oleje a glykolu [vlastní]

Po ohřátí vzorků na teplotu 90 °C po dobu dvou hodin a proměření vzorků jsme získali hodnoty změny kinematické viskozity při 40 °C. Na obrázku 5-29 je vidět **nárůst** viskozity uměle kontaminovaného oleje glykolem.



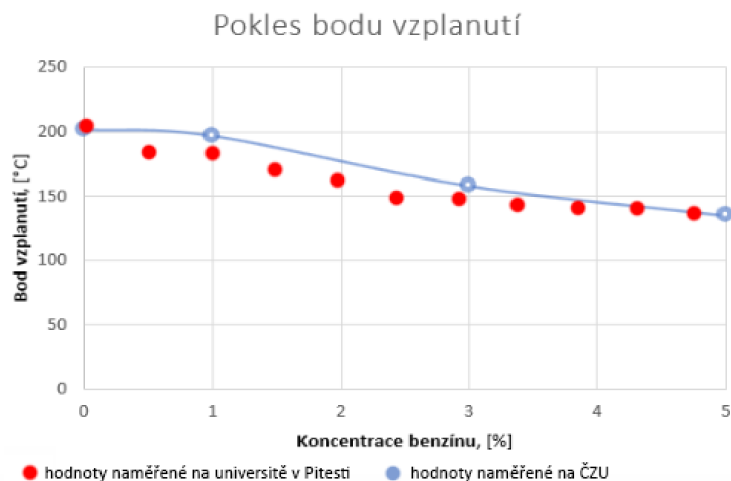
Obr. 5-29 – změna kinematické viskozity při 40 °C při působení glykolu [vlastní]

Se stoupající koncentrací glykolu v čerstvém oleji stoupá kinematická viskozita o zhruba **30 %** při koncentraci **12,5 %** glykolu v oleji. Zvýšení kinematické viskozity má za následek horší **čerpátenost** při nižších teplotách. U čistých olejů viskózní třídy 10W-40 může trvat při studeném startu **18 vteřin**, než se olej dostane ke všem místům, které je nezbytně nutné mazat. Kontaminace glykolem tuto dobu markantně prodlouží a může způsobit nenávratné poškození motoru, protože hraniční hodnotou pro koncentraci glykolu v oleji, kterou udávají výrobci je pouze **0,02 %** obsahu.

5.7 Diskuze

Je celkem překvapující, že měřený olej má oproti konkurenčním olejům vcelku **nízký bod vzplanutí** (202 °C). Většina olejů používaných v automobilovém průmyslu má bod vzplanutí kolem od 220 °C do 240 °C. Měřený olej má tedy o **18 °C** nižší bod vzplanutí, než je obvyklé, a to znamená, že při extrémně vysokých koncentracích paliva v oleji, může bod vzplanutí klesat i k hranicím provozní teploty motoru. Takto kontaminovaný olej je mnohem náchylnější k vzplanutí a snižuje se i teplota potřebná k hoření, což může být u spalovacího motoru velice nebezpečné.

Podobných výsledků u měření bodu vzplanutí dosáhli i R Niculescu, V Iorga-Simăn, A Trică a A Clenci z univerzity v Pitesti v Rumunsku. Ti uměle kontaminovali motorový olej Castrol Magnatec 5W-40 palivem a měřili pokles bodu vzplanutí. Rovněž použili stejný měřicí postup, a to stanovení bodu vzplanutí v otevřeném kelímku. Na obrázku 5-30 je vidět porovnání naměřených hodnot obou institucí.



Obr. 5-30 - Porovnání naměřených hodnot s univerzitou v Pitesti [vlastní]

Měření bodu vzplanutí se provádělo jako kontrola pro měření kinematické viskozity. Odhad koncentrace benzínu dopadl u obou zkoušek ve **28 případech** takřka **shodně**. Pouze u dvou vzorků se odhad lišil zhruba o 0,5 % koncentrace benzínu v oleji. To může být způsobeno nepřesností měření vlivem lidského faktoru. Po zprůměrování hodnot koncentrace benzínu u zkoušek kinematické viskozity a bodu vzplanutí se do přijatelného pásma, s koncentrací paliva v oleji pod 2 %, zařadilo celkem 13 vzorků. Do pásma se zvýšenou koncentrací paliva v oleji, se zařadilo celkem 12 vzorků. A do **nevyhovujícího pásma** spadá **5 vzorků**, které vykazovali naměřenou koncentraci benzínu v motorovém oleji vyšší než 4 %, což je hraniční hodnota kterou udávají výrobci motorů a olejů.

U všech automobilů, u nichž byla zjištěna vysoká koncentrace benzínu (nevyhovující pásmo) bylo dohledáno podle záznamů z autopůjčovny, že automobily byly využívány pouze v **městském provozu**. Vysoké množství studených startů a krátkých dojezdových vzdáleností tedy svědčí o tom, že se olej nestihne prohřát na provozní teplotu a lehčí složky benzínu se z oleje nestihnou **oddestilovat**. Naopak u automobilů s nižší koncentrací benzínu (vyhovující pásmo) v motorovém oleji bylo potvrzeno využívání automobilů v **meziměstském provozu**.

U přijatelného pásma lze predikovat, že automobily byly používány v **kombinovaném provozu**.

Tímto experimentem byla **potvrzena hypotéza**, že při oddestilování lehčích uhlovodíků automobilového benzínu z motorového oleje dojde k nárůstu kinematičké viskozity motorového oleje.

Autopůjčově bylo doporučeno, že u automobilů, které jsou využívány v **městském provozu**, by bylo vhodné **snížit pravidelný interval výměny motorového oleje o 20 %** na 8 000 – 12 000 km, aby se zamezilo nadměrné koncentraci benzínu v motorovém oleji a nepřekračovat tento zkrácený interval výměny oleje.

U nomogramu trendového opotřebení do oblasti nutná výměna oleje spadá 7 vzorků, což je opodstatněno tím, že je olej na hraně své životnosti. Do oblasti **havarijní stav** stroje nebo oleje spadají **4 měřené vzorky**. U těchto automobilů bylo doporučeno **zkrátit pravidelný interval výměny motorového oleje o 20 %** na 8 000 až 12 000 km a při další výměně provést opět **tribotechnickou analýzu** pro posouzení aktuálního stavu a přijetí dalších potřebných opatření. Ostatní vzorky spadali do oblasti běžného až mezního opotřebení stroje i oleje

Jeden vzorek však spadl do kategorie **STOP-STAV**. Vzorek vykazoval vysoké množství celkových nečistot %CN i otěrových částic WPC. Byla doporučena inspekce pístní soustavy, klikového mechanismu a ventilové soustavy, okamžitá výměna motorového oleje a další pozorování během používání automobilu. Při další výměně motorového oleje, která by se měla provést v rámci zkráceného výměnného intervalu olejové náplně, je rovněž nutné provést tribotechnickou analýzu pro zjištění aktuálního stavu stroje.

Zvýšené množství celkových nečistot a otěrových částic může svědčit i o nešetrném zacházení s automobily v autopůjčově. Při prudkých akceleracích, kdy je motor vystaven vysoké zátěži, by měl mít olej **provozní teplotu**. Pokud tomu tak není, zejména při městském provozu, může docházet k nedokonalému mazání všech tribotechnických uzlů, což má za následek zvýšené opotřebení motoru. Vzniká množství abrazivních částic, které jsou následně roznášeny mazacími kanály po celém motoru. Doporučuje se se tedy motor nadměrně nenamáhat, dokud se teplota oleje neustálí na pracovní teplotě, čehož se dá u automobilů z autopůjčovny těžko docílit.

Pouze u třech vzorků odebraných motorových olejů lze najít **silnou závislost** mezi vysokým množstvím benzínu v oleji a vysokými hodnotami otěrových částic nebo celkových nečistot. **Lehkou závislost** lze najít mezi 9 vzorky. Jelikož se ale jedná o **dlouhodobý proces** opotřebení, bylo by nutné provést při dalších výměnách oleje další tribotechnické analýzy a potvrdit závislosti koncentrace benzínu v motorovém oleji na opotřebení motoru.

Při umělé kontaminaci motorového oleje glykolem **stoupá kinematická viskozita**. Nárůst viskozity ale není tak markantní, jak předpovídala hypotéza. Dle hypotézy by mělo dojít ke změně skupenství z kapalného na pevné při 10 % glykolu v oleji. Nárůst kinematické viskozity však činil **21 % při 10 %** obsahu glykolu v oleji. Podobná studie byla provedena na Pensylvánské státní univerzitě. Studii v roce 2017 prováděl David P. Fecek, který uměle kontaminoval čistý motorový olej glykolem a pozoroval změnu dynamické viskozity a hustoty. Při koncentraci **0,3 %** glykolu v motorovém oleji, vzrostla jeho hustota o **0,4 %**. To mělo za následek nárůst kinematické viskozity. Byla ovšem použita jiná metoda měření a jiný typ motorového oleje. Autor v závěru zmiňuje, že vliv glykolu na čerstvý olej pod hraniční kontaminací 0,02 % udávanou výrobcem je takřka **minimální**. David P. Fecek rovněž ve své práci zmiňuje, že je nutné detailně prozkoumat vliv glykolu na **použitý starší olej**, výsledky jeho výzkumu totiž pracují s čistými oleji.

Hypotézu tedy **nelze spolehlivě vyvrátit**. Glykol totiž mimo zvýšení viskozity způsobuje rovněž vznik kalů, které zanášejí olejový filtr a mazací kanály. Rovněž dochází ke ztrátě oxidační stability a urychlenému stárnutí oleje. Olej začíná již při velmi malých koncentracích glykolu polymerovat a polární nečistoty se usazují v různých dílech motoru. V konečné fázi se z oleje stává velmi viskózní kapalina, a mění **skupenství** na pevné.

Tyto skutečnosti však nelze v laboratorním prostředí dobře ověřit, protože simulovat chování oleje ve spalovacím motoru je velice složité. Bylo by nutné provést výzkum na automobilech určených do **běžného provozu** a v nich uměle kontaminovat motorový olej glykolem a provádět pravidelné odběry oleje. Na těchto vzorcích provádět tribotechnickou analýzu a pozorovat změny parametrů motorového oleje za působení různých koncentrací glykolu.

6 Závěr

V této práci byla provedena literární rešerše v oblasti maziv. Na začátku jsme se věnovali problematice tření a mazání, byly popsány jednotlivé druhy maziv a je jejich výroba. Velká část literární rešerše byla věnována **motorovým olejům**, jejich rozdělení, parametrům a hlavně **kontaminantům**, majících vliv na kondici motorového oleje.

V experimentální části jsme se zaměřili na stanovení **parametrů** použitých vzorků olejů. Vzorky byly odebrány z motorů Škoda 1,4 l MPI při pravidelné výměně motorového oleje a celkem se jednalo o 30 vzorků motorového oleje. Ve všech případech se jednalo o vozidla Škoda Fabia z autopůjčovny. Nájezd v době odběru tedy činil od 10 000 do 15 000 km na současnou olejovou náplň.

Bylo nutné uměle **kontaminovat** vzorky stejného čistého motorového oleje Castrol Magnatec 10W-40, jako byl odebrán z automobilů, benzínem Natural 95, aby se zjistili nominální hodnoty pro **porovnávání** s hodnotami získaných během měření odebraných vzorků. Tímto způsobem bylo možné odhadovat procentuální **množství benzínu** v odebraných vzorcích motorového oleje. Odhad množství benzínu vycházel u zkoušek kinematické viskozity i bodu vzplanutí velice podobně. **Nadlimitní množství** benzínu v oleji vykazovalo celkem 5 vzorků motorových olejů.

Výsledky experimentu byly následně konzultovány s autopůjčovnou, která potvrdila, že vzorky, které vykazují zvýšenou koncentraci benzínu v motorovém oleji, byly převážně používány při **městském provozu**. Autopůjčovně bylo doporučeno kontrolovat způsob používání automobilů a **zkrátit pravidelný interval výměny motorového oleje** u automobilů, používaných převážně v městském provozu o **20 %**, aby koncentrace benzínu nepřesáhla **4 %**, což je dle dostupných zdrojů **hraniční hodnota** udávaná výrobcem. Touto částí experimentu byla **potvrzena hypotéza**, že při oddestilování lehčích uhlovodíků automobilového benzínu z motorového oleje dojde k nárůstu kinematické viskozity a zároveň i bodu vzplanutí. U automobilů, u nichž byl zjištěn meziměstský nebo kombinovaný provoz není nutné pravidelný interval zkracovat, neboť kontaminanty jako je voda a palivo se z oleje při provozní teplotě **vydestilují**.

Následně se prováděly zkoušky pro zjištění obsahu celkových nečistot a množství kovových otěrových částic. Tyto zkoušky bylo nezbytné provést pro sestavení nomogramu

trendového opotřebení motoru a jeho olejové náplně. Výsledky zkoušek **odpovídaly predikovanému opotřebení** motorového oleje a stroje a to sice, že olej byl ve většině případů na **hraně své životnosti**, což se dalo předpokládat vzhledem k tomu, že vzorky byly odebrány při pravidelné výměně motorového oleje. Většina vzorků rovněž spadala do oblasti průměrného až mezního opotřebení stroje. Čtyři vzorky se zařadily do oblastí **havarijního opotřebení** stroje. U těchto vzorků bylo autopůjčkovně doporučeno zkrátit další pravidelné intervaly výměny motorového oleje o 20 % a následně provést opět tribotechnickou analýzu pro posouzení aktuálního stavu. Lze předpokládat, že při zkrácení pravidelného intervalu výměny motorového oleje se sníží množství otěrových částic a celkových nečistot v olejové náplni. Jeden vzorek spadl do kategorie **STOP-STAV** a bylo doporučeno provést inspekci pístní soustavy a klikového mechanismu, protože obsah celkových nečistot a obsah kovových otěrových částic vykazoval **nadlimitní množství**.

Při umělé kontaminaci čistého motorového oleje glykolem jsme pozorovali **výrazný nárůst kinematické viskozity** při 40 °C a to o **21 % při 10 % koncentraci glykolu** v oleji. To samozřejmě zhoršuje čerpatelnost oleje při nízkých teplotách. Výsledné směsi oleje s glykolem jsme rovněž zahřívali po dobu 2 hodin na teplotu 90 °C, což mělo simulovat jeden cyklus ohřevu motorového oleje na provozní teplotu. Rovněž jsme si mohli všimnout výrazného **zakalení** se zvětšující se koncentrací glykolu v oleji. Hypotézu, že přítomnost glykolu v oleji nad 10 % objemu způsobí změnu skupenství výsledné směsi, však nelze spolehlivě vyvrátit. Dle dostupných zdrojů probíhají nevratné změny v motorovém oleji za působení glykolu již při velmi nízkých koncentracích. Výrobci rovněž uvádějí **hraniční hodnotu** koncentrace glykolu v motorovém oleji pouze **0,02 %**. Díky absenci dalších kontaminantů a dobré kondici čerstvého oleje, na kterém byl experiment prováděn lze konstatovat, že glykol nezmění skupenství oleje z kapalného na pevné. Toto tvrzení však nelze vyvrátit u použitých motorových olejů, u nichž by pravděpodobně mělo působení glykolu na motorový olej fatální následky.

Seznam použité literatury

- [1] Oleje.cz. *Základy v olejích*. [Online] [Citace: 3. 1 2020.] <https://www.oleje-motorove.cz/www-oleje-motorove-cz/5-RADY-ODBORNIKA/8-ZAKLADY-O-OLEJICH>.
- [2] **NACHTIKAL, František**. *Technická fyzika*. 2. vydání. Praha : Státní nakladatelství učebnic, 1937.
- [3] **HOSNEDL, Stanislav a KRÁTKÝ, Jaroslav**. *Příručka strojího inženýra: obecná strojí část I*. Praha : Computer Press, 1999.
- [4] **MARTINI, Ashlie**. Martini Research Group. *Fundamental Tribology*. [Online] University of California Merced. [Citace: 7. 2 2020.] <http://faculty2.ucmerced.edu/amartini/tribology.shtml>.
- [5] **BEČKA, Jan**. *Tribologie*. Praha : České vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-010-1621-8.
- [6] **KERNS Jeff**. What's the Difference Between Types of Wear? *Machine Design*. [Online] 14. leden 2016. [Citace: 7. 2 2020.] <http://www.machinedesign.com/materials/what-s-difference-between-types-wear>.
- [7] Onyx InSight. *Roller end face wear*. [Online] 7. 3 2017. [Citace: 2020. 1 4.] https://onyxinsight.com/wp-content/uploads/2019/03/output_1552413153.htm.
- [8] **HÖNIG, Vladimír**. Paliva a Maziva - studijní materiály. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2017.
- [9] **SHARMA Nidhi, SYED, Nasimul, RAY, Bankim, YADAV, Surekha a BISWAS, Krishanu**. Wear Behaviour of Silica and Alumina-Based Nanocomposites Reinforced with Multi Walled Carbon Nanotubes and Graphene Nanoplatelets. *Research Gate*. [Online] 1 2019. [Citace: 4. 1 2020.] https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-illustrating-the-adhesive-wear-mechanism_fig8_328300367.
- [10] **HELEBRANT, František**. *Technická diagnostika a spolehlivost. I. Tribodiagnostika*. Ostrava : Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava, 2000. ISBN 80-7078-883-6.
- [11] **BOHÁČEK, František a DVOŘÁK, Karel**. *Části a mechanismy strojů II: Hřídele, tribologie, ložiska*. 3.vyd. Brno : PC DIR, 1996, 1996. ISBN 80-214-0829-4.
- [12] **STRAKA, Bedřich**. *Motorové oleje a tribotechnická diagnostika naftových motorů. 1.vyd.* Praha : Nakladatelství dopravy a strojů, 1986.
- [13] **ČERNÝ, Jaroslav**. Mazivářské mýty I., II. III. *Atoexpert*. 2012,2013,2014.
- [14] **NACHÁZEL, Zdeněk**. Mazání ložisek - výukový materiál. Praha : Nacházel Lubricants, 2019.
- [15] **KLIMEŠ, Pavel**. *Části a mechanismy strojů II*. Brno : Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojího inženýrství, 2003. ISBN 80-214-2422-2.
- [16] **DOBRICA, Mihai B. a FILLON, Michel**. Mixed Lubrication. *Encyclopedia of Tribology*. [Online] Springer, Boston, MA, 2013. [Citace: 4. 1 2020.] https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-0-387-92897-5_27. ISBN 978-0-387-92897-5.
- [17] **HAMROCK, Bernard, SCHMID, Steven R. a JACOBSON, Bo**. *Fundamentals of film lubrication*. New York : Marcel Dekker, 2004. ISBN 08-247-5371-2.

- [18] **HOŠEK, František.** *Mazací soustava PSM.* Brno : Univerzita obrany v Brně: Fakulta vojenských technologií.
- [19] **VLK, František.** *Vozidlové spalovací motory.* Brno : Nakladatelství Vlk, 2003. ISBN 80-238-8756-4.
- [20] **VLK, František.** *Paliva a maziva motorových vozidel.* Brno : Nakladatelství Vlk., 2006. ISBN 80-239-6461-5.
- [21] FIAT 600D Obsluha a údržba. *OldFiat.cz.* [Online] [Citace: 4. 1 2020.] http://oldfiat.wz.cz/servis/manual/man_18.html.
- [22] **GSCHEIDLE, Rolf.** *Příručka pro automechanika.* Praha : Sobotáles, 2001. ISBN 80-85920-76-X.
- [23] Základy výroby minerálních olejů. *Petroleum.* [Online] [Citace: 5. 1 2020.] <http://www.petroleum.cz/zpracovani/zpracovani-ropy-34.aspx>.
- [24] **STACHOWIAK, Gwidon.** *Engineering tribology 3rd ed.* Amsterdam : Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005. ISBN 07-506-7836-4.
- [25] **MORTIER, R. M., FOX, M. F. a ORSZULIK, S. T..** *Chemistry and technology of lubricants 3. ed.* New York : Springer, 2010. ISBN 9781402086625.
- [26] **KŘÍŽ, Petr.** Oleje pro nejnáročnější hydraulické systémy. *MM Průmyslové spektrum.* [Online] 2006. [Citace: 5. 1 2020.] <https://www.mmspektrum.com/clanek/oleje-pro-nejnarocnejši-hydraulicke-systemy.html>.
- [27] **MAREK, Vladislav a HRABEC, Ladislav.** Oleje pro šroubové kompresory. *Tribotechnika.* [Online] 2010. [Citace: 5. 1 2020.] <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-12010/oleje-pro-sroubove-kompresory.html>.
- [28] Vlastnosti motorových olejů - Detergenty a disperzanty. *Oleje.cz.* [Online] [Citace: 5. 1 2020.] <https://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Detergenty-a-disperzanty>.
- [29] Výkladový slovník. *Petroleum.* [Online] [Citace: 5. 1 2020.] <http://www.petroleum.cz/slovník.aspx>.
- [30] D 351 Plastový výtokový pohárek (průměr 2,00 mm). *Mikro Shop.* [Online] 2013. [Citace: 7. 1 2020.] <https://www.mikroshop.cz/cz/d-351-plastovy-vytokovy-poharek-prumer-trysky-2-00-mm>.
- [31] Wynn's – Super Charge® – Technická zpráva zpracovaná firmou Top Oil Services k.s. *Moto Focus.* [Online] 1. 3 2010. [Citace: 2020. 1 7.] <https://motofocus.sk/technika/2959,wynns-super-charge>.
- [32] **JAN, Zdeněk a ŽDÁNSKÝ, Bronislav.** *Automobily 3 - Motory.* Brno : AVID, 2007.
- [33] **ČERNÝ, Jaroslav.** Mýtus šestý na téma - viskozitní vlastnosti motorových olejů. *Autoexpert.* Březen 2005, str. 26.
- [34] Oleje.cz - Svět maziv. *Viskozita automobilových motorových olejů.* [Online] Ekolube s.r.o., 2005. [Citace: 7. 1 2020.] <https://www.oleje.cz/clanek/Viskozita-automobilovych-motorovych-oleju>.

- [35] Engine Oil Weight (Viscosity). *The AMC Forum*. [Online] 1. 7 2016. [Citace: 7. 1 2020.] http://theamcforum.com/forum/engine-oil-weight-viscosity_topic80601_page3.html.
- [36] Oleje - svět maziv. *Výkonnové normy motorových olejů*. [Online] 6. 1 2009. [Citace: 7. 1 2020.] <https://www.oleje.cz/forum/vykonnove-normy-motorovych-oleju-t2680.html>.
- [37] **ČERNÝ, Jaroslav**. Vlastnosti motorových olejů - HTHS viskozita a lehkoběžné oleje. *oleje.cz*. [Online] Ústav technologie ropy a petrochemie, VŠCHT Praha. [Citace: 02. 02 2020.] <https://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---HTHS-viskozita-a-lehkobezne-oleje>.
- [38] **API Creative Services**. API Engine Oil Guide. [Online] 2017. [Citace: 7. 1 2020.] http://www.api.org/~media/Files/Certification/Engine-Oil-Diesel/Publications/MOTOR_OIL_GUIDE_120116_FINAL_WEB.pdf.
- [39] Petroleum. *Specifikace motorových olejů*. [Online] [Citace: 5. 1 2020.] <http://www.petroleum.cz/vyroby/oleje-motorove-specifikace.aspx>.
- [40] **ČERNÝ, Jaroslav**. Díl osmý – Palivo v oleji. *Autoexpert*. Říjen Říjen 2006, str. 42.
- [41] **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.
- [42] **HÖNIG, V. a 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.
- [43] **ČERNÝ, Jaroslav**. Díl desátý - Otěrové kovy. *Autoexpert*. 2006.
- [44] **ČERNÝ, Jaroslav**. Mýtus sedmý - Náhrady motorových olejů. *Autoexpert*. 2005.
- [45] **ČERNÝ, Jaroslav**. Díl devátý - Voda a glykol v oleji. *Autoexpert*. Listopad 2006, str. 54.
- [46] **FITCH, Jim**. Glycol In Lubricating Oil - Detection, Analysis and Removal. *Machinery Lubrication*. [Online] 7 2001. [Citace: 02. 07 2020.] <https://www.machinerylubrication.com/Read/193/oil-glycol>.
- [47] **ČERNÝ, Jaroslav**. Mýtus druhý - kvalita základových mazacích olejů. *Autoexpert*. 2004.
- [48] Analyzátor bodu vzplanutí podle Clevelanda. *Stroje pro zkušebnictví*. [Online] [Citace: 08. 04 2020.] <https://www.strojeprozkusebnictvi.cz/analyzator-bodu-vzplanuti-podle-clevelanda.html>.
- [49] **MAREK, Vladislav a ŠVEC, Zdeněk**. Problémy s provozem automobilů. *Tribotechnika.sk*. [Online] TRIFOSERVIS Čelákovice. [Citace: 13. 3 2020.] <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-52012/problemy-s-provozem-automobilu.html>.

Seznam obrázků

Obr. 2-1 - detail styku dvou povrchů	5
Obr. 2-2 - typy abrazivního opotřebení	5
Obr. 2-3 - adhezivní opotřebení	6
Obr. 2-4 - rozdílné opotřebení z důvodu použití odlišných typů maziv	7
Obr. 2-5 - Stribeckova křivka	8
Obr. 2-6 - suché tření	9
Obr. 2-7 - polosuché tření	9
Obr. 2-8 - kapalinové tření	9
Obr. 2-9 - složení plastického maziva	10
Obr. 2-10 - schéma mazání dávkovacím čerpadlem	12
Obr. 2-11 - schéma mazání motoru s mokrou skříní	13
Obr. 2-12 - schéma mazání motoru se suchou skříní	13
Obr. 2-13 - blokové schéma výroby základového oleje	15
Obr. 2-14 - podíl typů aditiv v hydraulickém oleji	17
Obr. 2-15 - šroubový kompresor	18
Obr. 2-16 - podíl typů aditiv v motorovém oleji	18
Obr. 2-17 - Fordův výtokový pohárek	20
Obr. 2-18 - měření kinematické a dynamické viskozity	21
Obr. 2-19 - graf viskozitního indexu různých olejů	21
Obr. 2-20 - SAE zimní číslo v závislosti na teplotě	22
Obr. 2-21 - viskozitní tabulka dle SAE	22
Obr. 2-22 - porovnání vlivu benzínu a motorové nafty na viskozitu motorového oleje	26
Obr. 2-23 - interakce glykolu a motorového oleje	30
Obr. 4-24 - analyzátor bodu vzplanutí	35
Obr. 5-25 - pokles kinematické viskozity při 40 °C	39
Obr. 5-26 - pokles bodu vzplanutí	40
Obr. 5-27 - interakce glykolu s olejem.....	42
Obr. 5-28 - změna zabarvení a viskozity směsí oleje a glykolu	42
Obr. 5-29 - změna kinematické viskozity při 40 °C při působení glykolu	43
Obr. 5-30 - porovnání naměřených hodnot s univerzitou v Pitesti.....	434

Seznam tabulek

Tab. 2-1 - součinitelé smykového tření v závislosti na dvojici povrchů	3
Tab. 2-2 - součinitelé valivého tření v závislosti na dvojici povrchů	4
Tab. 2-3 - příklady označení tříd olejů dle API normy a jejich stručný popis	24
Tab. 2-4 - příklady označení tříd olejů dle ACEA normy a jejich stručný popis	25
Tab. 2-5 - příklady označení tříd olejů dle tovární normy a jejich stručný popis	25
Tab. 4-6 - naměřené hodnoty uměle kontaminovaných vzorků olejů	33

Seznam příloh

Příloha 1 - naměřené hodnoty kinematické viskozity při 40 °C a bodu vzplanutí

Příloha 2 - naměřené hodnoty celkových nečistot a režimu opotřebení

Příloha 3 - nomogram trendového opotřebení

Příloha 1 – naměřené hodnoty kinematické viskozity při 40 °C a bodu vzplanutí

VZOREK	BOD VZPLANUTÍ [°C]	Kinematická viskozita při 40 °C [mm ² /s]	Odhad % benzínu podle kinematické viskozity [%]	Odhad % benzínu podle bodu vzplanutí [%]	Průměrný odhad množství benzínu [%]
26	198	90,2	0,87	0,99	0,93
12	198	88,1	0,90	0,99	0,95
29	198	82,6	0,97	0,99	0,98
2	198	85,4	0,93	1,44	1,19
30	192	80,1	1,00	1,47	1,24
22	195	78,3	1,48	1,46	1,47
15	195	77,4	1,49	1,46	1,48
13	188	79,6	1,46	1,50	1,48
20	192	76,7	1,50	1,48	1,49
7	185	78,3	1,48	1,96	1,72
4	182	77,7	1,49	2,85	1,73
19	185	74,5	1,98	1,96	1,97
25	180	74,9	1,98	1,99	1,98
23	181	71,0	2,49	1,98	2,23
14	170	74,6	1,98	2,49	2,23
1	155	71,3	2,48	2,13	2,30
9	160	69,9	2,95	2,99	2,97
18	163	68,6	2,97	2,97	2,97
16	150	66,7	3,45	3,98	3,71
11	151	66,2	3,46	3,97	3,71
6	152	65,7	3,47	3,96	3,72
8	155	62,7	3,97	3,48	3,72
28	150	64,6	3,49	3,98	3,73
17	151	61,4	3,99	3,97	3,98
10	147	61,4	3,99	4,00	3,99
21	151	60,1	4,45	3,97	4,21
5	147	59,1	4,47	4,00	4,23
24	145	59,8	4,46	4,47	4,47
3	140	57,9	4,49	4,51	4,50
27	137	55,0	4,99	4,99	4,99

Příloha 2 - naměřené hodnoty celkových nečistot a režimu opotřebení

VZOREK	DL	DS	%CN [%]	DLN [%]	DSN [%]	WPC [%/ml]	Režim opotřebení P _{LP} [%]
9	55	98	0,07	6	10	15,29	36,20
5	77	51	0,07	8	5	12,77	60,09
8	112	93	0,11	11	9	20,46	54,55
14	109	81	0,15	11	8	19,07	57,38
2	44	100	0,21	4	10	14,36	30,65
20	80	103	0,21	8	10	18,32	43,67
27	109	64	0,24	11	6	17,29	63,01
29	80	105	0,25	8	11	18,47	43,07
4	111	67	0,26	11	7	17,81	62,17
1	63	72	0,26	6	7	13,59	46,65
16	92	105	0,27	9	10	19,72	46,85
19	43	45	0,29	4	5	8,77	48,63
28	97	93	0,34	10	9	18,98	51,02
12	61	84	0,39	6	8	14,53	41,85
11	74	98	0,41	7	10	17,23	43,19
25	94	87	0,42	9	9	18,13	51,84
17	79	105	0,44	8	10	18,43	43,07
10	45	113	0,51	4	11	15,80	28,37
3	111	85	0,52	11	8	19,50	56,67
21	100	94	0,54	10	9	19,37	51,48
26	57	87	0,57	6	9	14,36	39,45
13	91	93	0,62	9	9	18,43	49,53
23	75	83	0,77	8	8	15,86	47,58
22	97	53	0,78	10	5	15,08	64,52
30	100	53	0,86	10	5	15,27	65,44
18	54	100	0,88	5	10	15,44	34,97
24	104	62	0,94	10	6	16,53	62,65
15	115	84	0,94	11	8	19,93	57,63
6	42	82	0,95	4	8	12,40	33,98
7	95	69	0,96	9	7	16,39	57,86

Příloha 3 – nomogram trendového opotřebení

