

UNIVERZITA PARDUBICE

DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2023

Jan Tunega

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Studium vlivu opotřebení motorových olejů a provozního zatížení na únosnost
mazacího filmu
Bakalářská práce

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jan Tunega**
Osobní číslo: **D20275**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**
Téma práce: **Studium vlivu opotřebení motorových olejů a provozního zatížení na únosnost mazacího filmu**
Zadávající katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Zásady pro vypracování

1. Úvod
2. Na základě studia literatury a informačních zdrojů popište současný stav v oblasti vlastností motorových olejů a jejich změn během provozu.
3. Seznamte se s principy a metodikou používaných experimentálních metod: Reichert testem mazi-
vosti, Stabingerovým viskozimetrem, FTIR spektrometrem atd.
4. Proveďte experimentální měření vlastností opotřebených motorových olejů a únosnosti mazacího
filmu při simulaci různého zatížení.
5. Diskutujte vliv opotřebení motorových olejů a provozního zatížení s ohledem na únosnost mazacího
filmu.
6. Závěr

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran**
Rozsah grafických prací: **podle pokynů vedoucího práce**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] Sejkorová, M.; Hurtová, I.; Jilek, P.; Novák, M.; Voltr, O.: Study of the Effect of Physicochemical Degradation and Contamination of Motor Oils on Their Lubricity. *Coatings*. 2021, 11, 60. <https://doi.org/10.3390/coatings11010060>.
- [2] Trnka, J.: *Studium fyzikálních a mazivostních vlastností motorových olejů*. [online]. Univerzita Pardubice, 2019. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Doc. Ing. Marie Sejkorová, Ph.D. Dostupné z TrnkaJ_StudiumViskozitnich_MS_2019.pdf (upce.cz)
- [3] Machalíková, J., Sejkorová, M.: *Diagnostika a kontrola jakosti provozních hmot*. Univerzita Pardubice, 2013. Učební opora – část I. ISBN 978-7395-620-2.
- [4] Koutný, D.: Experimentální studium chování mazacích filmů kontaminovaných vodou. Vysoké učení technické v Brně, 2006. Pojednání ke státní doktorské zkoušce. Dostupné z Microsoft Word – pojednani oprava 5.doc (ustavkonstruovani.cz)
- [5] Černý, J.: Mýtus osmý na téma mazací schopnost motorového oleje. *Autoexpert* 2006. Dostupné z myty.indd (oleje.cz).

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Marie Sejkorová, Ph.D.**
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: **10. února 2023**
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. května 2023**

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

Ing. Jakub Vágner, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 10. února 2023

Prohlašuji:

Práci s názvem Studium vlivu opotřebení motorových olejů a provozního zatížení na únosnost mazacího filmu jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

Tato bakalářská práce byla realizována s využitím technologií Výukového a výzkumného centra v dopravě.

V Pardubicích dne 15. 5. 2023

Jan Tunega

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval doc. Ing. Marii Sejkorové, Ph.D. za vedení práce a odbornou pomoc. Dále bych rád poděkoval své rodině za podporu během mého studia a psaní bakalářské práce.

ANOTACE

Pro správnou funkci motoru je důležité vytvoření olejového filmu mezi pohyblivými částmi motoru. Stárnutí motorového oleje ovlivňuje jeho schopnosti tento film vytvořit a udržovat. Tato schopnost je hlavně ovlivněna změnou viskozity, a to degradací a kontaminací nečistotami, což vede k snížení únosnosti mazacího filmu. Tato bakalářská práce se zabývá vlivem opotřebení a zatížení na únosnost olejového filmu. Tyto vlastnosti jsou hodnoceny na výsledcích získaných pomocí Stabingerova viskozimetru, FTIR spektrometru a Reichertova testu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Motorový olej, mazací film, kontaminace, degradace, viskozita, opotřebení, Stabingerův viskozimetr, FTIR spektrometrie, Reichertův test mazivosti

TITLE

Study of the effect of engine oil wear and operational load on the load-bearing capacity of the lubricating film

ANNOTATION

For proper engine function, it is important to create an oil film between the moving parts of the engine. The aging of the engine oil affects its ability to create and maintain this film. This ability is mainly influenced by changes in viscosity due to degradation and contamination with impurities, which leads to a decrease in the load-bearing capacity of the lubricating film. This bachelor's thesis deals with the impact of wear and load on the load-bearing capacity of the oil film. These properties are evaluated based on the results obtained using a Stabinger viscometer, FTIR spectrometer, and Reichert test.

KEYWORDS

Engine oil, lubricating film, contamination, degradation, viscosity, wear, Stabinger viscometer, FTIR spectrometry, Reichert lubricity test

OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK.....	10
ÚVOD.....	11
1 TEORETICKÁ ČÁST	12
1.1 Motorový olej.....	12
1.1.1 Dělení motorových olejů dle výroby	12
1.1.2 Dělení motorových olejů dle viskozity	13
1.1.3 Dělení motorových olejů dle výkonnostní klasifikace	14
1.2 Aditiva motorových olejů	16
1.2.1 Druhy aditiv	16
1.3 Vlastnosti olejů.....	18
1.3.1 Viskozita	18
1.3.2 Měření viskozity Stabingerovým viskozimetrem	20
1.3.3 Měření viskozity kapilárním viskozimetrem	21
1.3.4 Mazivost motorových olejů	21
1.3.5 Způsob mazání.....	21
1.3.6 Rozdělení mazání dle tření	22
1.3.7 Metody stanovení mazivosti	23
1.3.8 Číslo kyselosti.....	24
1.3.9 Celková alkalita	24
1.3.10 Bod vzplanutí.....	24
1.3.11 Bod tuhnutí	25
1.3.12 Conradsonův karbonizační zbytek.....	25
1.4 Kontaminace a degradace maziva v provozu.....	25
1.4.1 Kontaminace	26
1.4.2 Degradace	29
1.4.3 Možnosti měření kontaminace a degradace.....	32
2 Experimentální část.....	34
2.1 Vzorky olejů k analýze.....	34
2.1.1 Nové vzorky olejů.....	34
2.1.2 Vzorky olejů kontaminované motorovou naftou	35
2.1.3 Opatřené oleje z provozu autobusu.....	35
2.2 Použité metody.....	36

2.2.1	Hodnocení únosnosti mazacího filmu Reichertovým testem	36
2.2.2	Hodnocení viskozitních vlastností Stabingerovým viskozimetrem.....	38
2.2.3	Hodnocení kontaminace a degradace olejů FTIR spektrometrií	38
2.2.4	Zpracování dat	39
2.3	Výsledky	39
2.3.1	Porovnání únosnosti mazacího filmu nových olejů při změně zatížení.....	39
2.3.2	Vliv kontaminace motorového oleje palivem na změnu viskozity a únosnost mazacího filmu	43
2.3.3	Vliv kontaminace a degradace provozovaného motorového oleje na únosnost mazacího filmu	45
3	Závěr	49
	SEZNAM PŘÍLOH.....	56

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1 - Doporučené viskózní třídy SAE motorových olejů podle vnějších teplot [9]	13
Obrázek 2 - Výkonnostní třídy dle ACEA [11]	15
Obrázek 3 - Princip Reichertova testu [29]	23
Obrázek 4 - Princip čtyřkuličkového testu [29]	24
Obrázek 5 - Vliv znečištění maziva na vývoj opotřebení povrchu v závislosti na čase [34] ...	27
Obrázek 6 - Vliv znečištění maziva na vývoj teploty v závislosti na čase [34]	27
Obrázek 7 - Graf viskozity [cSt] v závislosti na znečištění palivem [%] [37]	28
Obrázek 8 - Glykol v motorovém oleji [38]	29
Obrázek 9 - obecné profily vyčerpání inhibitorů a oxidace [42]	30
Obrázek 10 - Zvýšení viskozity oleje při 40 °C po oxidaci. [43]	31
Obrázek 11 - Zvýšení viskozity oleje při 100 °C po oxidaci. [43]	31
Obrázek 12 - Změna indexu viskozity olejů po oxidaci. [43]	31
Obrázek 13 - Typické oblasti infračerveného spektra, využití při analýze olejů [29]	32
Obrázek 14 - Princip zeslabené úplné reflektance [29]	33
Obrázek 15 - Celkové uspořádání přístroje Reichert M2 (s připojením na termostat) [20]	37
Obrázek 16 - Porovnání únosnosti vzorků nových olejů při různém zatížení [vlastní]	40
Obrázek 17 - Porovnání spektrogramů vzorků olejů M7 ADS III a M7 ADS V [vlastní]	41
Obrázek 18 - Porovnání spektrogramů vzorků olejů Urania LD 7 a OMV 10W-40 [vlastní] ..	41
Obrázek 19 - Porovnání spektrogramů vzorků olejů Urania LD 7 a Urania FE LS [vlastní] ..	42
Obrázek 20 - Graf změny viskozity v závislosti na kontaminaci oleje palivem [vlastní]	43
Obrázek 21 - Sloupcový graf porovnání únosnosti olejů s různým množstvím kontaminace [vlastní]	44
Obrázek 22 - Graf únosnosti opotřebovaných vzorků olejů [vlastní]	47
Tabulka 1 - Odběry vzorků oleje [vlastní]	36
Tabulka 2 - Výsledky kontaminace a degradace motorového oleje Urania FE LS [vlastní]	46
Tabulka 3 - Korelační matice [vlastní]	48

ÚVOD

Motorové oleje jsou nedílnou součástí správné funkce motoru. S vývojem nových motorů se snažíme zvýšit jejich účinnost a výkon, s tím stoupá i nutnost vyšší kvality motorových olejů. Pro vysokou dlouhodobou účinnost chceme, aby si motorový olej udržoval svoje vlastnosti. U vysoko výkonných motorů je olej vystaven vysokým provozním zatížením a je nutné, aby vytvořil vyhovující mazací film. Kromě mazání je třeba, aby motorový olej také odváděl přebytečné teplo, čistil mazací prostředí a měl antikorozi vlastnosti.

Mazání spalovacího motoru je tedy nezbytné pro zvýšení jeho účinnosti a celkové životnosti. Během provozu se vlastnosti oleje zhoršují, a to hlavně viskozita, která je důležitá pro vytvoření mazacího filmu. Viskozita se mění hlavně v závislosti na teplotě a tlaku, tedy stoupá či klesá, podle provozního režimu motoru. Dlouhodobě má na viskozitu vliv i degradace a kontaminace oleje nečistotami. Proto je nutné olej v daném intervalu měnit. Výměnný interval oleje uvádí výrobce automobilu. Toto je hlavně důležité pro osobní automobily. Pro firmy s velkým vozovým parkem je ekonomicky výhodnější optimalizovat tento výměnný interval, a to monitorováním aktuální kvality oleje a odhadnout zbývající životnost. Touto optimalizací se zabývá vědní obor tribotechnická diagnostika. Jedná se o bezdemontážní diagnostiku, která pomocí instrumentálních metod hodnocení maziv určí, zda je nutné olej vyměnit a lze také určit, v jakém poruchovém stavu se motor nachází.

V této bakalářské práci jsou řešeny vlivy opotřebení a zatížení motorových olejů na únosnost jejich mazacího filmu. Změna viskozity je sledována pomocí Stabingerova viskozimetru. Kontaminace a degradace je hodnocena pomocí FTIR spektrometrie. Únosnost mazacího filmu je sledována při různých zatíženích pomocí Reichertova testu.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Motorový olej

Motorový olej je důležitý lubrikační prostředek, který zabraňuje styku povrchů ve vzájemném pohybu a snižuje součinitel tření mezi nimi, tím zvyšuje účinnost, omezuje opotřebení a prodlužuje životnost motoru. Pro snížení tření je nutné vytvořit dostatečný mazací film. Je důležité, aby tento film vznikl ve všech podmínkách, nejen provozních. Při mezních stavech, například studený start motoru, dochází k několikanásobně většímu opotřebení než při provozních teplotách. Také je žádoucí odvod tepla pomocí oleje od třecích ploch. Olej také chrání povrch proti chemickému napadení povrchu, tedy je třeba zajišťovat i antikorozi ochranu. K tomu také napomáhají detergentní vlastnosti oleje a čištění prostředí olejem, který zachytává nečistoty vzniklé třením. V dnešní době je žádána čím dál větší kvalita maziv, a to hlavně z důvodů zvýšení účinnosti spotřeby paliva, a tím snížení emisí. Proto se přidávají další aditivní přísady, které napomáhají k jeho funkci [1].

1.1.1 Dělení motorových olejů dle výroby

Minerální

Jsou to ropné produkty vzniklé destilací z frakcí ropy. Jednotlivé frakce se dále v rafineriích upravují, hlavně se odebírají nevhodné prvky, jako je síra a polyaromatické sloučeniny. Takto vznikne základový olej, který se dále používá pro výrobu různých druhů olejů. V minulosti byly tyto oleje nekvalitní. Dnes jsou nejkvalitnější minerální oleje srovnatelné se syntetickými. Napomáhají tomu i nová aditiva. Méně kvalitní minerální oleje ovšem vytvoří pevnější mazací film než kvalitnější minerální a syntetické oleje. Pevnější film vznikne díky aromatickým uhlovodíkům a sirným sloučeninám, které mají dobré protioděrové vlastnosti [2,3,4,5].

Syntetické

Syntetické oleje se vyrábí syntézou z plynného ethylenu či z esterového oleje. Vznikne olej z čistých sloučenin, ve kterém není žádná síra. Obsahuje tedy jen sloučeniny, které v oleji požadujeme. Tyto oleje používány hlavně v extrémních podmínkách, a to při nízkých a vysokých teplotách, kde by klasické minerální oleje nevyhovovaly. V dnešní době již mezi klasickými a syntetickými oleji není téměř žádný rozdíl [6].

Polysyntetické

Polysyntetický olej vznikne tak, že do minerálního základu se přimíchává syntetický olej. Množství syntetické složky v polysyntetickém oleji nesmí být menší než 20 %. Tento olej je dále aditivován dle požadavků [6].

1.1.2 Dělení motorových olejů dle viskozity

Dělení motorových olejů dle viskozity se zabývá norma SAE. Jedná se o nejčastější označení motorových olejů. Používá 11 tříd, které jsou rozděleny na 6 zimních a 5 letních.

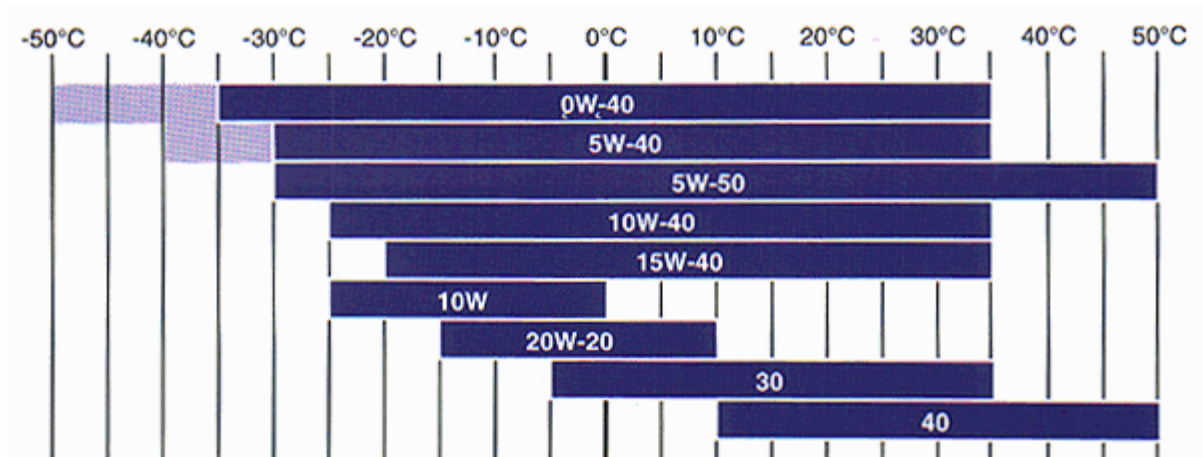
ZIMNÍ– 0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W

LETNÍ- 20, 30, 40, 50, 60

Označení tedy symbolizuje, jaké mají oleje viskózní vlastnosti při daných teplotách. Příklad označení 5W-40 znamená, že olej je v zimě použitelný do $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a v létě přes $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Zimní označení nás hlavně zajímá z důvodu startovatelnosti při nízkých teplotách, protože potřebujeme dostatečnou tekutost oleje pro správné spuštění motoru. Třída 0W zaručuje startovatelnost až k $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Letní označení je důležité z důvodu zachování dostatečně vysoké viskozity oleje při vysokých teplotách. Při vysoké teplotě, a tedy nízké viskozitě, by nevznikal dostatečný mazací film [7,8,9,10].



Obrázek 1 - Doporučené viskózní třídy SAE motorových olejů podle vnějších teplot [9]

1.1.3 Dělení motorových olejů dle výkonnostní klasifikace

Dle tohoto označení se určuje kvalita motorového oleje. Pomocí této klasifikace můžeme určit, jaké zatížení olej snese bez zhoršení jeho mazacích vlastností. Tuto kvalitu určují normy API a ACEA.

API je americká norma. Rozděluje oleje podle druhu motoru. Pro zážehové s označením S a pro vznětové s označením C. Dále je k označení přiřazeno další písmeno, které určuje výkonnostní stupeň. Řídí se podle abecedy, čím dále je písmeno v abecedě, tím je olej kvalitnější. Většinu olejů lze použít do obou druhů motorů, poté jsou oleje značeny kombinací, např. SL/ CF.

ACEA je evropské norma. Vznikla z důvodu nevhodnosti normy API pro evropské trhy motorů. Rozděluje oleje do čtyř skupin označené písmenem. Skupina A, která slouží pro zážehové motory. Skupina B pro vznětové motory. E pro motory těžkých užitkových vozidel. C pro motory s částicovým filtrem. Dále je u písmena udáváno číslo, které určuje hodnotu HTHS viskozity. Čím vyšší číslo, tím kvalitnější olej [7,11,12,].

Výkonnostní třída ACEA	Použití oleje	HTHS [mPa.s]
A1, B1	Standardní olej, normální intervaly výměny	2,9 - 3,5
A2, B2	Standardní olej, normální intervaly výměny (Již neplatné)	> 3,5
A3, B3	Olej pro vysokou zátěž, možnost prodloužení intervalu výměny	> 3,5
B4	Jako B3 + možno použít pro dieselové motory s přímým vstřikováním	> 3,5
A4	Rezervováno pro oleje pro benzínové motory s přímým vstřikováním	-
A5, B5	Jako A3 / B4, avšak se sníženou viskozitou HTHS	2,9 - 3,5
E1	Již neplatné od 3/2000	>= 3,5
E2	Standardní olej, normální intervaly výměny	>= 3,5
E3	Olej pro vysokou zátěž, možnost prodloužení intervalu výměny (Již neplatná)	>= 3,5
E4	Olej pro extrémě vysokou zátěž, možnost prodloužení intervalu výměny	>= 3,5
E5	Olej pro vysokou zátěž, možnost prodloužení intervalu výměny	>= 3,5
E6	Vysoce stabilní oleje podporující čistotu pístů, snižující opotřebení (včetně působením sazí) a zajišťující stálé mazání. Olej je doporučován pro moderní, vysoce zatěžované vznětové motory, splňující emisní limity Euro 1-4. Umožňuje prodloužené výměnné intervaly dle doporučení výrobce. Je vhodný pro motory se systémy EGR (Exhaust Gas Recirculation), DPF (Diesel Particulate Filter) a SCR NO _x (Selective Catalitic Reduction). Třída E6 je zvláště doporučována pro motory s DPF systémy, které spalují palivo s nízkým obsahem síry (50 ppm).	>= 3,5
E7	Stabilní oleje zabraňující usazování nečistot na pístech a vzniku zrcadlových ploch na stěnách válců. Omezuje opotřebení (včetně působením sazí), vznik úsad v turbodmychadlu. Olej je doporučován pro moderní, vysoce zatěžované vznětové motory splňující emisní limity Euro 1-4. Umožňuje prodloužené výměnné intervaly dle doporučení výrobce. Je vhodný pro většinu motorů se systémy EGR (Exhaust Gas Recirculation) a SCR NO _x (Selective Catalitic Reduction). není vhodný pro systémy DPF (Diesel Particulate Filter).	>= 3,5
E9	je nový LOW-SAPS olej (zaveden v r. 2008) splňující požadavek na vysoce kvalitní olej Super Diesel (SHPD) pro použití v polovině dostupných aplikací. ACEA E9 obsahuje mnoho prvků v Severní Americe uznávané specifikace API CJ-4. ACEA doporučila normu ACEA E9 do vozidel vybavených moderními systémy následného zpracování výfukových plynů na snížení množství znečišťujících částic (FAP) a oxidy dusíku (EGR a / nebo SCR) v kombinaci s nízkým obsahem síry v naftě. E9 předpokládá základní využití pro Euro VI legislativy emisí, která bude pravděpodobně požadovat povinné DPF filtry u všech vozidel v Evropě (sulfátový popel max 1,0 % hm.)	>= 3,5

Obrázek 2 - Výkonnostní třídy dle ACEA [11]

1.2 Aditiva motorových olejů

Pro celkové zlepšení vlastností olejů a maziv se přidávají aditiva. Jsou to chemické látky, které zlepšují vlastnosti, stabilitu a životnost maziv. Přidávají se do olejů v přesném poměru. Olej může být tvořen až 25 % aditivou. S technologickým pokrokem se používá kvalitnějších aditiv pro zlepšení mazacích účinků olejů. Tato aditiva například dodávají vlastnosti pro lepší vytváření mazacího filmu, efektivnější odvod tepla, kvalitnější čištění prostor mazání, zlepšení stálosti vůči oxidaci a lepší viskózně – teplotní charakteristiky olejů [1,13].

1.2.1 Druhy aditiv

Detergenty

Detergenty napomáhají čištění povrchů motoru. Zabraňují tvorbě vysokoteplotních usad, neutralizují kyselé produkty oxidace a hoření, a tedy chrání motor před korozí. Jsou důležité pro ochranu pístu, kde ve válci vznikají při vysokých teplotách usazeniny uhlíku, které by vlivem abraze poškodily píst. Nejčastěji se skládají ze sulfonátů, alkylfenolátů a alkylsalicylátů [1,14,15].

Disperzanty

Disperzanty doplňují funkci detergentů. Zabraňují znovuvytvoření usazenin malých nečistot rozpuštěných detergenty, které nejsou dostatečně velké a projdou olejovým filtrem. Uvolněné molekuly nečistoty obalí svými molekulami a tím se nečistoty nemohou znovu spojit a vytvořit další usazeninu. Nejčastěji se používají sukcinimidy [1,14,15].

Depresanty

Depresanty zabraňují krystalizaci parafínů při nízkých teplotách. Snižují tak bod tuhnutí oleje při nízkých teplotách. Krystalická mřížka parafínů na sebe váže olej, a tak snižuje jeho tekutost. Depresanty se na této mřížce zachycují místo oleje, tím vzniknou menší částice, které tolik nezhoršují tekutost motorového oleje [1,16].

Antioxidanty

Antioxidanty pomáhají proti působení oxidace nitračních reakcí, které vedou k degradaci motorového oleje. Fungují tak, že rozkládají vzniklé peroxidy, nebo ukončují

radikálové reakce. Zpomalují tím stárnutí motorového oleje. Pokud dojde k vyčerpání antioxidantů v oleji, je nutné ho vyměnit [1,17].

Protikoroziční přísady

Protikoroziční přísady vytvářejí ochranný film na součástkách motoru a chrání ho před korozi neutralizací kyselých produktů oxidace. Tento ochranný film také zabraňuje styku povrchu s vodou, která se v oleji vždy vyskytuje. Různé inhibitory se specializují v ochraně daných kovů. Nejčastěji se tato aditiva skládají ze sulfidů, fosfátů, organických kyselin, sukcinimidů, esterů a aminů [1,18].

Modifikátory viskozity

Modifikátory viskozity zlepšují viskózní index motorových olejů. Jedná se o dlouhé polymery s vysokou molární hmotností. Rozšiřují tedy teplotní rozsah, ve kterém mohou oleje pracovat. Při nízkých teplotách zvyšují tekutost oleje a snižují viskozitu. Tím nedochází k takovému opotřebení součástí motoru při studeném startu. Naopak při vysokých teplotách zvyšují viskozitu oleje, aby byl udržen dostatečný mazací film mezi povrchy [1,13,18].

Deaktivátory kovů

Inhibují ionty kovů v oleji. Na kovových površích vytvářejí ochranný povrch tvořený cheláty. Tím zeslabují nebo úplně ruší katalytické účinky kovových částic [20].

Protipěnovostní aditiva

Potlačují tvorbu pěny, které vzniká promícháváním oleje se vzduchem. Tím dochází k urychlení stárnutí. Tím se mění mazací vlastnosti oleje, a to hlavně viskozita a stlačitelnost. Tato aditiva jsou tvořena hlavně na bázi silikonového oleje, který se přidává jen v několika ppm [20].

Protioděrové přísady

Napomáhají ke zlepšení mazacích vlastností motorového oleje. Vytvářejí chemickou reakcí tenkou vrstvu na kovových površích při působení vysokého tlaku. Tato vrstva brání styku mezi kovovými třecími povrchy. Je velice důležitá v konstrukčních částech motoru, kde vzniká při vysokém zatížení mezní tření, jako například vačková hřídel a boky zubů [20].

1.3 Vlastnosti olejů

Pro správné fungování mazacího procesu vyžadujeme po motorovém oleji dané vlastnosti, které si musí co nejdéle udržet. Z mazacího pohledu je nejdůležitější viskozita, která zaručuje vytvoření dostatečného mazacího filmu. Z provozního pohledu požadujeme další vlastnosti jako chemickou stálost, antikoroziční účinky a detergentní vlastnosti. Tyto provozní vlastnosti souvisí s aditivními přísadami v oleji, které byly popsány v přechozí kapitole (viz kap. 1.2) [19].

1.3.1 Viskozita

Jedná se o nejdůležitější vlastnost motorových olejů. Udává odpor proti proudění kapaliny. Při proudění kapaliny vzniká tečné napětí mezi dvěma vrstvami tekutiny různých rychlostí. Rychlejší vrstva se snaží urychlit tu pomalejší a pomalejší naopak zadržuje tu rychlejší. Tím vzniká vnitřní třecí odpor. Čím menší je tento vnitřní odpor, tím má menší viskozitu. Tyto vlastnosti nám velmi ovlivňují funkci mazacích olejů. Určují tedy režim mazání, únosnost mazacího filmu, velikost třecího odporu a těsnící vlastnosti. Během provozu se ovšem viskozita mění hlavně vlivem teploty. Tuto závislost můžeme určit pomocí viskózního indexu. Závislost viskozity na teplotě oleje řeší norma SAE, které byla popsána v předchozí kapitole (viz kap. 1.1.2) [1,20,21].

Pokud motor pracuje s vysokými teplotami a vysokým zatížením, je nutné použít olej s vyšší viskozitou, jinak by mohlo dojít ke ztenčení, či přerušení mazacího filmu, a tím ke zhoršení procesu mazání. V praxi tedy při zvýšení pracovního stavu nahradíme olej SAE 20 za viskóznější olej SEA 30. Naopak u vysokootáčkových motorů, kde je vysoká rozdílná rychlost mezi plochami, je nutné použít olej s nižší viskozitou, protože dochází k rychlé výměně oleje a oleje s vyšší viskozitou by se dostávali hůře do mazacích ploch. Dále by se také zvýšil koeficient tření a znamenalo by to snížení účinnosti [21].

Viskozita se dělí na dynamickou a kinematickou.

Dynamická viskozita

Fyzikální veličina vyjadřující odpor vnitřních sil kapaliny proti proudění. Je konstantou ve vztahu vyjadřujícím přímou úměrnost mezi velikostí tečného napětí τ a rychlostním spádem dv/dz .

Dynamická viskozita se vypočte ze vztahu: $\tau = \eta \cdot \frac{dz}{dv}$ (1)

kde τ – smykové napětí [Pa],

η – dynamická viskozita [Pa·s],

$\frac{dz}{dv}$ – rychlostní gradient, popř. spád [s^{-1}] [1].

U dynamické viskozity je důležitý pojem HTHS viskozita. Tento parametr je součástí všech výkonových specifikací. Jedná se o minimální dynamickou viskozitu, při vysoké teplotě (150 °C) a při velkém rychlostním spádu ($10^6 s^{-1}$). Udává se z důvodu, že oleje, které obsahují modifikátory viskozity, mají při vysokém rychlostním spádu pokles viskozity. Oleje s vyšší HTHS viskozitou vytvoří tlustší a pevnější mazací film. Při nízké HTHS viskozitě nemusí být vytvořen dostatečný olejový film a plochy nebudou dostatečně mazány [20,22].

Kinematická viskozita

Vyjadřuje poměr dynamické viskozity a hustoty kapaliny. Říká nám, jak rychle bude kapalina proudit při působení síly.

Kinematická viskozita se vypočte ze vztahu $\nu = \frac{\eta}{\rho}$ (2)

kde ν – kinematická viskozita [$m^2 \cdot s^{-1}$],

η – dynamická viskozita [Pa·s],

ρ – hustota [$kg \cdot m^{-3}$] [1].

Viskozitní index

Viskozitní index vyjadřuje stálost viskozity olejů při změně teploty. Jedná se o bezrozměrnou veličinu, kde je změřená kinematická viskozita zkušební oleje porovnávána s kinematickou viskozitou dvou referenčních olejů. Čím má olej vyšší viskózní index, tím má lepší viskózně-teplotní závislost. Oleje s vysokým viskózním indexem lze považovat za „kvalitnější“.

$$\text{Výpočet: } VI = \frac{L-U}{L-H} \cdot 100 = \frac{L-U}{D} \cdot 100 \quad (3)$$

VI – viskózní index

kde L – viskozita [$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] oleje s VI = 0 při 100 °F (37,78 °C), jehož viskozita při 210 °F (98,89 °C) je stejná jako viskozita zkoušeného oleje při téže teplotě,

U – viskozita [$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] zkoušeného oleje při 100 °F (37,78 °C),

H – viskozita [$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] oleje s VI = 100 při 100 °F, jehož viskozita při 210 °F je stejná jako viskozita zkoušeného oleje při téže teplotě,

D – (L-H) [1,23].

1.3.2 Měření viskozity Stabingerovým viskozimetrem

Stabingerovým viskozimetrem SVM 3000 se měří dynamická viskozita a hustota. Jedná se o modifikovaný rotační viskozimetr používaný k měření olejů a kapalných paliv. Měření probíhá podle metody ASTM D7042. Přístroj z naměřených hodnot dynamické viskozity a hustoty vypočítá kinematickou viskozitu a viskózní index dle ASTM D 2270/ ISO 2909. Stanovení dynamické viskozity funguje na principu určení stabilní rychlosti měřícího rotoru s integrovaným magnetem. Tento rotor plave ve vzorku, kterým je naplněna trubice rotující konstantní rychlostí. Stabilní rychlost nastane v okamžiku, kdy vznikne rovnováha mezi brzdnými účinky vířivého elektrického pole a smykového napětí vznikající ve vzorku. Díky malému objemu vzorku potřebného k analýze dochází k rychlým teplotním změnám a je rychle dosaženo rovnovážné rychlosti. Pro přepočet dynamické viskozity na kinematickou viskozitu je nutné znát hustotu měřeného vzorku. Proto je SVM 3000 opatřen integrovanou hustotní celou založenou na ověřeném a přesném principu U-trubice. Obě tyto cely jsou naplněny vzorkem v jednom měřícím cyklu [1].

1.3.3 Měření viskozity kapilárním viskozimetrem

Touto metodou se určuje kinematická viskozita. Sledované veličiny jsou doba průtoku stálého objemu kapaliny kapilárou kalibrovaného viskozimetru, při určité hydrostatické výšce a teplotě. Kinematická viskozita se dále určí ze součinu změřené doby průtoku a konstanty použitého viskozimetru. Nejčastěji se používá kapilární viskozimetr dle Ubbelohdeho. Dále se také používají U – viskozimetry s obráceným tokem pro neprůzračné kapaliny, jako je například provozně opotřeбенý olej [1].

1.3.4 Mazivost motorových olejů

Hlavní funkcí motorových olejů je zajištění mazání třecích ploch. Tato schopnost je velice závislá na viskozitě oleje, jak bylo popsáno v předchozí kapitole. Správné mazání nám sníží tření, utlumí menší nárazy, odvede teplo a částice vzniklé opotřebením. Pro dobré mazání požadujeme vytvoření dostatečně tlustého a pevného mazacího filmu. Způsob mazání rozlišujeme na hydrostatické a hydrodynamické mazání. Také můžeme rozlišit mazání podle tření, a to na suché, smíšené a kapalinové tření [24,25].

1.3.5 Způsob mazání

Hydrodynamické mazání

Toto mazání vzniká na hydrodynamickém principu. Mazací plochy jsou odděleny pomocí olejového „klínu“. Pro vznik tohoto mazání je důležitá dostatečná relativní rychlost mezi mazacími plochami a samotná viskozita oleje, tedy rychlost a viskozita jsou nepřímo úměrné zatížení. Pokud je dostatečná rychlost a součástka je zatížena, tak v zatížené části začne vznikat hydrodynamický tlak, který oddělí plochy.

Hlavní nevýhodou toho mazání je, že je nutná minimální relativní rychlost mezi mazacími plochami. Před dosažením této rychlosti dochází ke smíšenému mazání. K tomu dochází hlavně při startu a zastavování. Další nevýhodou je nutnost konstantního přísunu maziva. Pokud dojde k poruše v mazací soustavě, znamená to problém pro celý motor, ale první, kde se tato porucha projeví, bude v hydrodynamicky mazaných plochách. Protože toto mazání se používá jen u ploch, kde vznikne vysoká vzájemná rychlost. Přerušení přísunu nového maziva by znamenalo rychlé přehřátí a poruchu součástky. Nevýhodou je také nízká

tuhost proti radiálnímu posunu, hlavně při malé excentricitě. Z tohoto důvodu je toto mazání nepoužitelné v přesných strojích [1,26].

Hydrostatické mazání

Na rozdíl od hydrodynamického, kde vzniká tlak v olejovém filmu rotací mazacích ploch, v hydrostatickém mazání je tlak vytvořen externí pumpou. Takto jsou plochy mazány při všech rychlostech a zatíženích, tím jsou použitelné tam, kde hydrodynamické nevyhovují. Jsou tedy vhodné pro přesné stroje a tam, kde potřebujeme maximální jistotu mazání. Jsou ale dražší z důvodu nutnosti externího přístroje vytvářejícího tlak [26].

1.3.6 Rozdělení mazání dle tření

Suché tření

Při suchém tření se nevytvoří mazací film a třecí plochy se navzájem dotýkají. Vzniká vysoké teplo a vzhledem k faktu, že třecí plochy nejsou nikdy dokonale hladké, vzniká velké množství otěrových částic. Tento stav vzniká při poruše mazací soustavy, například při poruše čerpadla, kdy nedochází k dodání dalšího maziva [25].

Smišené tření

Tento stav vzniká při mezních stavech provozu, jako například studený start motoru a náhlé zatížení. Olejový film se vytvoří jen částečně a neodděluje úplně třecí plochy. Takto vytvořený olejový film nedokáže splnit všechny potřebné funkce a dochází k mechanickým poškozením a zvýšení teploty ve třecích plochách. V provozu k němu dochází ve spalovacím prostoru u pístních kroužků. Dále se také vyskytuje v třecích plochách, které nejsou hydrostaticky mazané [24,26,27].

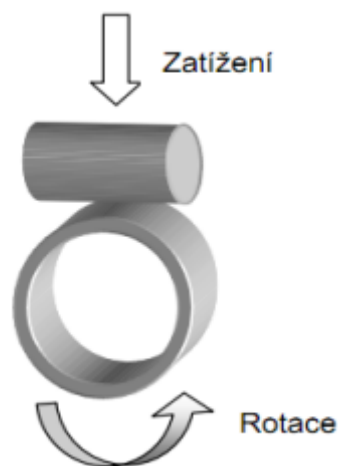
Kapalinové tření

Při tomto stavu jsou třecí plochy úplně oddělené olejovým filmem a nedochází tedy k jejich styku. Minimalizuje se tření a vznik tepla. Tento stav chceme udržet co nejdéle, ale je to těžké z důvodu náhlých změn tlaku a viskozity maziva vlivem teploty. Také je to ideální stav pro hydrodynamické mazání [24,25,27].

1.3.7 Metody stanovení mazivosti

Hodnocení únosnosti mazacího filmu Reichertovým testem

Tento přístroj se používá k testu mazivosti. Měření probíhá dle norem firmy PETROTEST. Zařízení se skládá z testovacího válečku různých ocelí a otočného prstence z legované oceli. Testovací váleček je přitlačován na prstenec pomocí pákového mechanismu, kde můžeme měnit závaží, které vytváří přitlačnou sílu na váleček. Prstenec je ve spodní části namáčen vzorkem maziva a otáčením se dostane vzorek do styku válečku a prstence, kdy vzniká olejový film. Výsledkem měření je elipsová plocha na testovacím válečku, podle které vypočítáme únosnost filmu [20,28].

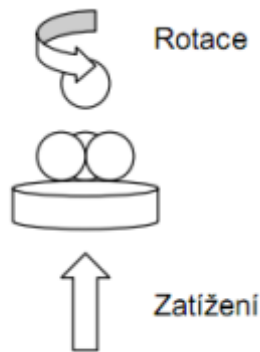


Obrázek 3 - Princip Reichertova testu [29]

Čtyřkuličkový test

Postupy pro vyhodnocení mazivosti dle tohoto testu jsou popsány v normách IP 239; ASTM D 2783, D 4172, D 2596, D 2266, DIN 51350. Přístroj se skládá ze tří stacionárních kuliček upnutých kroužkem, které jsou vertikálně přitlačovány na čtvrtou rotující kuličku v upínacím pouzdře. Spodní kuličky se nachází v měřeném mazivu. Měří se při daných otáčkách, zatížení a teplotě. Hodnotí se hlavně zatížení a čas ke svaření nebo opotřebení kuliček. Svaření se testuje, zvyšováním zatížení až do selhání mazacího filmu. To znamená, že

dojde ke styku povrchů a dochází ke svařování kuliček. Po testu se mikroskopicky měří opotřebené plochy [1,30,31].



Obrázek 4 - Princip čtyřkuličkového testu [29]

1.3.8 Číslo kyselosti

Číslo celkové kyselosti (Total Acid Number – TAN) charakterizuje obsah kyselých podílů v oleji, vznikající při spalovacím procesu a oxidaci. TAN je definováno množstvím KOH v mg, spotřebovaného na neutralizaci všech kyselých složek v nacházejících se v 1 gramu analyzovaného vzorku. Kyselé složky korozivně napadají prostředí motoru, hlavně ložiskové materiály [20].

1.3.9 Celková alkalita

Číslo celkové zásaditosti (Total Base Number – TBN) charakterizuje celkový obsah organických a anorganických zásaditých složek. TBN je definováno množstvím kyseliny chloristé, které je potřeba k neutralizaci všech zásaditých složek v 1 gramu vzorku. TBN je tedy schopnost oleje neutralizovat kyselé složky v oleji vzniklé z termo-oxidačních reakcí a spalovacího procesu. K neutralizaci používá zásadité sloučeniny, které jsou většinou součástí detergentních aditiv. Při provozu klesá TBN a stoupá TAN. Přípustný pokles TBN je asi 50 % původní hodnoty v čerstvém oleji. TBN a TAN se stanovují potenciometrickou titrací [1,20].

1.3.10 Bod vzplanutí

Bod vzplanutí je důležitý parametr pro zařazení oleje do třídy hořlavosti kapalin. Je důležitý z pohledu požárně – bezpečnostní charakteristiky. Je definován jako nejnižší teplota,

při které vzorek vytvoří tolik par při stanovených podmínkách, které ve směsi se vzduchem, vzplanou po přiblížení zkušebního plamínku alespoň po dobu 5 s. Pokles bodu vzplanutí olejů má za důsledek zředění oleje palivem nebo degradace oleje, a to uvolňováním nízkomolekulárních produktů, které jsou tvořeny snadnozápalnými frakcemi. Bod vzplanutí je orientačním kritériem, podle kterého lze posoudit provozní teplotu z hlediska jeho hořlavosti [20].

Zkouška bodu vzplanutí je určena pro ropné produkty s bodem vzplanutí nad 79 °C. Test je proveden přístrojem podle Clevelanda v otevřeném kelímku [20].

1.3.11 Bod tuhnutí

Bod tuhnutí je definován přechodem motorového oleje z kapalného skupenství do pevného. Tato přeměna je rozdělena do dvou fází. První fáze je charakterizována vylučováním krystalů uhlovodíků ve formě tuhých fází z oleje. Tato teplota se značí jako bod zákalu. Při dalším ochlazování se zpevní krystalická mřížka do té míry, že znemožní pohyb kapalných podílů. Toto je pravý bod tuhnutí. Nepravý bod tuhnutí je používán u olejů s nízkým obsahem alkanů, u kterých klesá hlavně tekutost kvůli vzrůstu viskozity s klesající teplotou. Při dosažení tohoto bodu olej přestane téct. Bod tuhnutí informuje o teplotě, do které je s ním možno manipulovat. Dalšími parametry, jako jsou dynamická viskozita při nízké teplotě, mezní teplota čerpatelnosti a hodnota viskozního indexu, lze použít jako kritérium pro použitelnosti oleje při nízkých teplotách [20].

1.3.12 Conradsonův karbonizační zbytek

Conradsonův karbonizační zbytek charakterizuje testovaný olej k jeho náchylnosti tvorby uhlíkatých zbytků při vysokých teplotách. Vysoká hodnota u motorových olejů se projeví zvýšenou tvorbou uhlíkatých úsad. Je to množství zbytku v %_{hm}, které se vytvoří termickým rozkladem oleje bez přístupu vzduchu. Zbytek, který vznikne během spalovací doby krakovacími a koksovacími reakcemi, se vyžihá a zvaží [20].

1.4 Kontaminace a degradace maziva v provozu

Během provozu dochází ke zhoršování mazacích schopností olejů z důvodu kontaminace a degradace maziva. Degradace souvisí se stárnutím oleje v důsledku mechanického a teplotního zatížení. Také dochází ke změně jeho chemického složení, hlavně

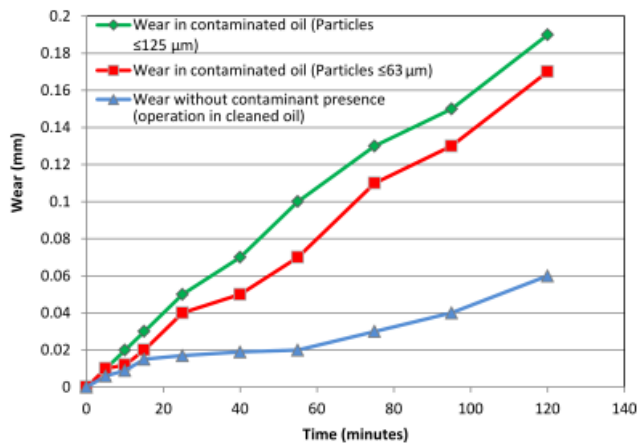
působením oxidace. Kontaminace znamená vniknutí nežádoucích látek do oleje, jako je palivo, voda, prach, saze a další látky. Oba tyto procesy vedou ke snížení životnosti oleje. Proto je nutné sledovat stav oleje a včas ho vyměnit, aby se zabránilo poškození motoru.

1.4.1 Kontaminace

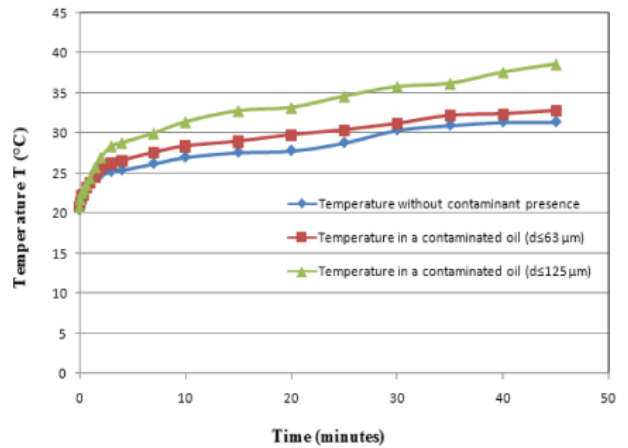
Mechanické nečistoty

Ke kontaminaci mechanickými nečistotami dochází z několika důvodů. Největší podíl těchto nečistot je původem ze vzduchu. I přesto že vzduch je filtrován vzduchovým filtrem, nezachytí menší nečistoty, které se přes spalovací prostor dostanou do oleje. Tyto nečistoty jsou pár mikrometrů velké a velice tvrdé, nejčastěji se jedná o křemičitý prach. Další nečistoty se dostávají do oleje z paliva. Dochází k tomu nejčastěji z důvodu špatného palivového filtru, který se často zapomíná měnit. V tomto případě to jsou například vlákna z filtru nebo částice prachu, které se dostaly do paliva již v rafinériích. Dalším zdrojem mechanických nečistot jsou otěrové kovy. Tyto kovy se dostávají do oleje ze všech mazaných ploch. V motoru se nachází velké množství různých kovů, nejčastěji zušlechtnuté železo, nebo díl potažený vrstvou jiného kovu pro zlepšení mechanických vlastností. Proto lze najít v oleji velké množství různých kovů, krom železa se tam může nacházet i měď, hliník, nikl, olovo, chrom apod. Díky velkému množství dílů z různých kovů v motoru, můžeme pomocí analýzy prvků oleje, určit v které části dochází ke špatnému mazání a předejdeme tak závadě [1,32,33].

Vliv pevných kontaminantů na mazací film sledoval ve svém výzkumu Maatallah [34]. V práci použil experimentální zařízení k předpovědi vlivů pro opotřebení. Jako mazivo použil ISO VG220 a ke kontaminaci maziva použil pouštní písek s obsahem 90 % křemene. Z výsledků studie lze sledovat, že s velikostí kontaminovaných částic stoupá rychlost opotřebení povrchů (obrázek 3). V důsledku zvýšení opotřebení stoupá i teplota styčných ploch (obrázek 4).



Obrázek 5 - Vliv znečištění maziva na vývoj opotřebení povrchu v závislosti na čase [34]



Obrázek 6 - Vliv znečištění maziva na vývoj teploty v závislosti na čase [34]

Saze

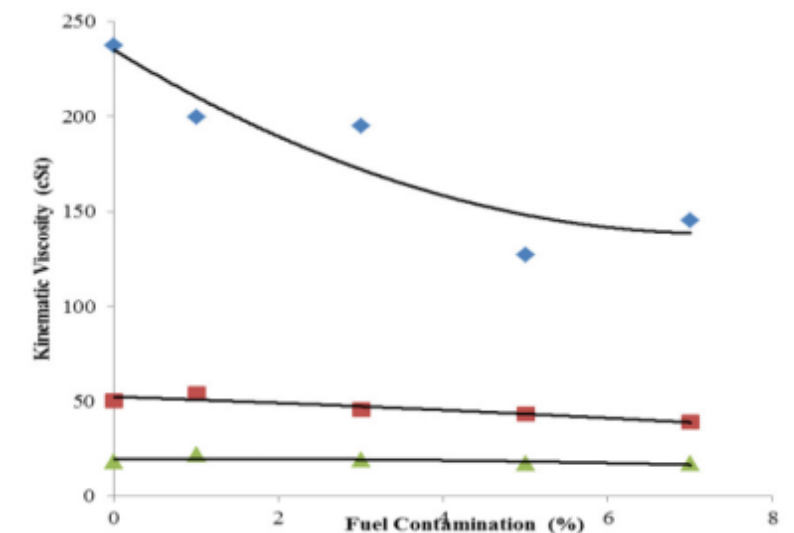
Saze se dostávají do oleje ve spalovacím prostoru, kde vznikají z nedokonalého spalování paliva. Tento problém je hlavně u vznětových motorů. Vznik sazí je spojen s tvorbou oxidu dusíku. Pokud chceme snížit tvorbu oxidu dusíku, stoupne nám množství sazí a naopak. Tento problém je řešen několika způsoby. Jedním z nich je EGR ventil, kde konstrukce motoru vede ke snižování oxidu dusíku, tím vznikne více sazí, kde je jejich velká část odvedena se spalinami, ale přes EGR ventil se dostane část zpět do válce. To vede k vysokému zatížení oleje sazemi. Takto kontaminovaný olej zčerná a zvýší se mu viskozita. Částice sazí jsou velice malé a při jejich velkém množství v oleji dochází k abrazivnímu poškození kovových ploch, proto je daná limitní koncentrace sazí v oleji, a to přibližně 3 hmotnostní procenta [32].

Vliv sazí na viskozitu motorového oleje popsal ve vědeckém článku George. Viskozita byla měřena pomocí rotačního viskozimetru Brookfield. Testy byly provedeny při 40 a 90°C. Pro všechny kontaminované oleje byla zjištěna zvýšená viskozita [35].

Palivo

Nejčastěji se palivo dostává do oleje ve spalovacím prostoru přes pístní kroužky. Tomuto nelze zabránit, a proto se s tím počítá u výměnných intervalů olejů. Pokud by se zjistila krajní mez, která je asi 4-5% paliva v oleji v polovině výměnného intervalu, je zapotřebí zasáhnout. Často k tomu dochází z důvodu špatného vstřikování paliva či defektu pístních kroužků. Palivo v oleji snižuje jeho viskozitu a snižuje jeho bod vzplanutí, čehož se využívá při diagnostice oleje. Pokud bod vzplanutí oleje klesne pod 180–190 °C, znamená to maximální koncentraci paliva v oleji. Dále se také využívá FTIR spektrometrie k stanovení množství paliva v oleji [36].

Vliv kontaminace paliva v oleji popsal Abdullah a Bahak. K testování olejů použili čtyřkuličkový tester. U všech kontaminovaných vzorků došlo ke změně viskozity. Podle obrázku 3 s vyšší koncentrací paliva klesá viskozita oleje. Dále byl sledován koeficient tření, který stoupá s koncentrací paliva. Také byl sledován průměr opotřebení na kuličkách, který se také zvýšil s kontaminací paliva, z důvodu selhání olejového filmu snížením viskozity [37].



Obrázek 7 - Graf viskozity [cSt] v závislosti na znečištění palivem [%] [37]

Glykol

Glykol se do oleje dostává hlavně z chladicích kapalin, které jsou vyrobeny z ethylen glykolu. Chladicí kapalina se do motorového oleje dostane hlavně při závadě hlavy válce. Stačí jen malé množství chladicí kapaliny v oleji a dochází k rychlé degradaci. Poté, co se dostane

chladicí kapalina do motorového oleje, se při provozní teplotě odpaří voda a zůstane jen samotný glykol. Olej poté ztrácí tekutost, zčerná a dojde k zadření motoru. Přítomnost glykolu se nejlépe zjistí pomocí infračervené spektrometrie [38,39,40].



Obrázek 8 - Glykol v motorovém oleji [38]

Voda

Vniku vody do oleje nezabráníme. Voda je vedlejším produktem spalování, většina vody se v podobě páry dostane s výfukovými spalinami do ovzduší. Část spalin s vodní párou se ale přes pístní kroužky dostane do klikové skříně. Pokud je motorový olej zahřátý na provozní teplotu, tak se vodní pára pomocí odvětrávání klikové skříně dostane pryč. Při studeném startu motoru se ale tato vodní pára v klikové skříně zkondenzuje a kapalná voda se dostane do oleje. Voda s olejem nejsou mísitelné a vznikne emulze. Dále voda také podporuje korozi a rozklad aditiv [1,38].

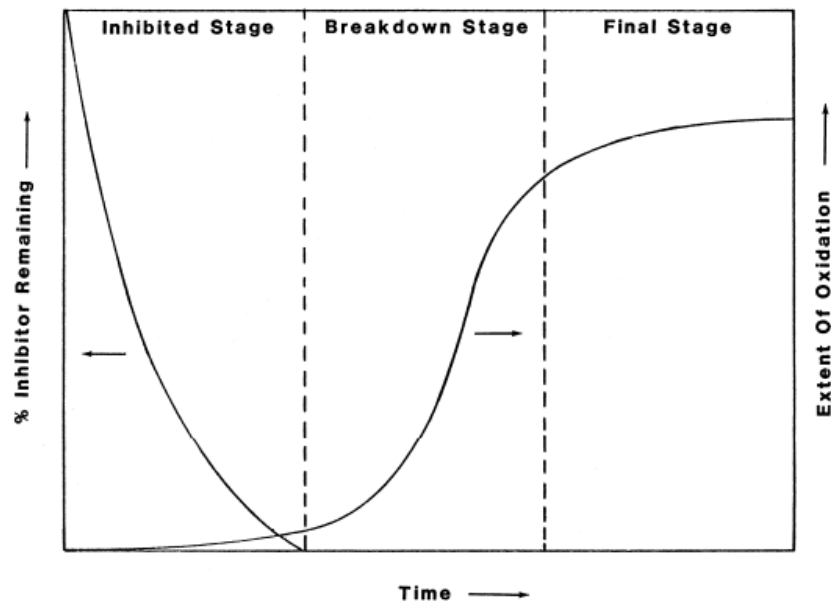
1.4.2 Degradace

Oxidace

Oxidace je degradace oleje kyslíkem. Dochází k reakci kyslíku s molekulami oleje, hlavně s uhlovodíky. Tato oxidace probíhá při vysokých teplotách a mluvíme tedy o termooxidačním stárnutí oleje, kde na olej kromě oxidace působí i termické vlivy. Oxidaci také ovlivňuje voda, která hydrolýzou podporuje oxidaci. Dále kovové nečistoty, hlavně měď, olovo a železo mohou fungovat jako katalyzátor k aktivaci oxidačních reakcí. Při oxidaci oleje stoupá jeho viskozita, olej tmavne a stoupá jeho kyselost. K oxidaci oleje dochází hlavně v místech s vysokou teplotou, tedy ve spalovacím prostoru, turbodmychadle. K oxidaci také

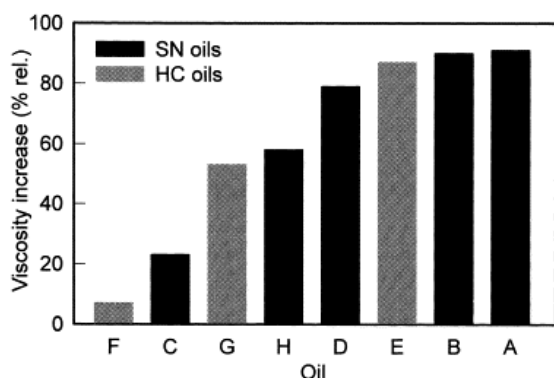
dochází v mokré klikové skříni, kam se mohou horké spaliny dostat přes válce motoru [1,17,41].

Oxidační stabilita motorových olejů je jedna z důležitých specifikací olejů. Problém této specifikace je, že závisí na použitém testu. Existuje několik těchto laboratorních testů, liší se hlavně v teplotě, době a počtu cyklů oxidace. Oxidace olejů je rozdělena do tří fází a je důležité, v jaké fázi byla studie ukončena. Toto rozdělení je popsáno ve vědeckém článku Murraye [42]. Oxidaci rozdělil na inhibiční fázi, fázi rozpadu a finální fázi, které jsou znázorněné na obrázku 9. V inhibiční fázi se v oleji nacházejí inhibitory, které zastavují chemické reakce oxidace v oleji. Tato fáze trvá do vypotřebování těchto inhibitorů. Fáze rozpadu se charakterizuje rychlým nárůstem oxidace. Ve finální fázi se snižuje rychlost oxidace. Podle Murraye zpomalení oxidace má za důsledek množství fenolových oxidačních produktů, které mohou působit jako inhibitory. Dále také zvýšená viskozita může ztěžovat difúzi kyslíku, a to také napomáhá snižovat rychlost oxidace [42].

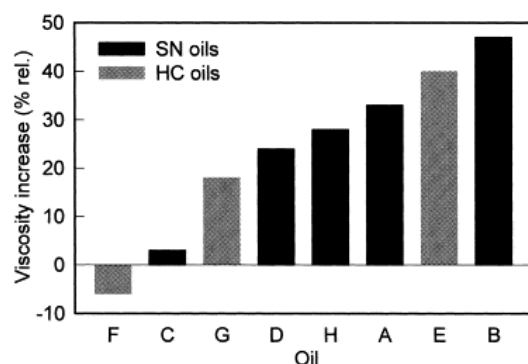


Obrázek 9 - obecné profily vyčerpání inhibitorů a oxidace [42]

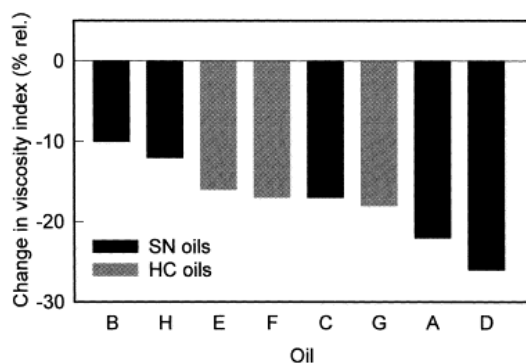
Černý [48] ve svém výzkumu sledoval oxidační stabilitu osmi motorových olejů, které byly testovány modifikovanou metodou IP 48. Všechny oleje byly specifikace SEA 15W-40 a minimálně API SG/CD. Výsledkem bylo, že po podstoupení oxidace při 40 °C došlo ke zvýšení viskozity (obrázek 10) u všech osmi olejů. Při teplotě 100 °C viskozita všech olejů stoupla až na olej F (obrázek 11). Viskózní index se snížil u všech testovaných olejů (obrázek 12) [43].



Obrázek 10 - Zvýšení viskozity oleje při 40 °C po oxidaci. [43]



Obrázek 11 - Zvýšení viskozity oleje při 100 °C po oxidaci. [43]



Obrázek 12 - Změna indexu viskozity olejů po oxidaci. [43]

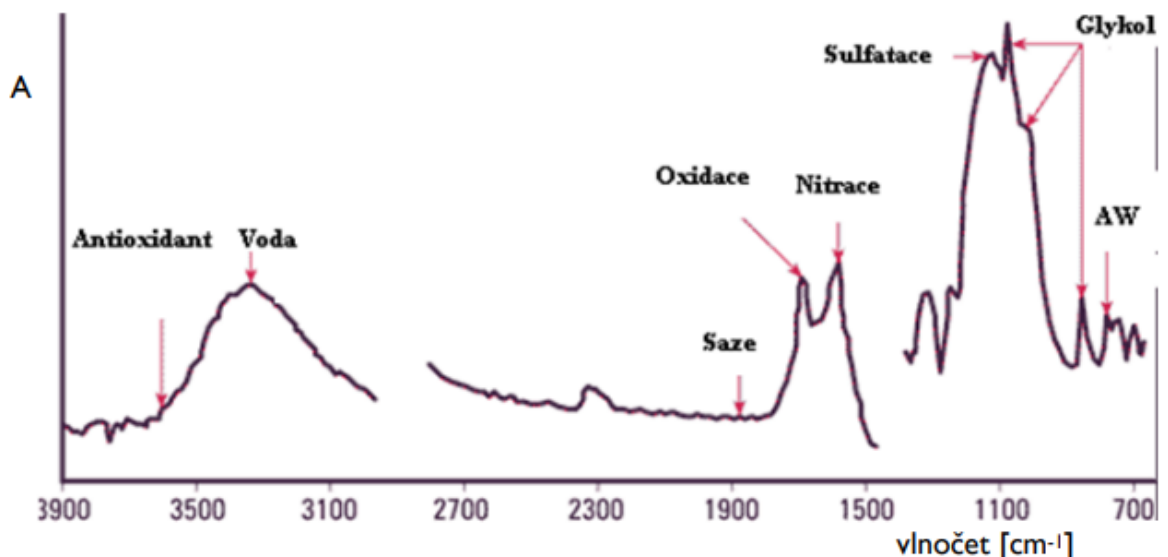
1.4.3 Možnosti měření kontaminace a degradace

Infračervená spektrometrie

Tato metoda se používá k identifikaci a kvantifikaci chemického složení prvku na základě jeho absorpce infračerveného záření při průchodu vzorkem. Infračervené světlo prochází prvkem a měří se množství světla, které je absorbováno při určitých frekvencích. Při absorpci dochází ke změnám rotačně vibračních energetických stavů molekul v závislosti na změnách dipólového momentu molekuly. Každá chemická vazba má jedinečné spektrum absorpce, takže analýzou IR spektra lze určit typ a množství chemických vazeb přítomných ve vzorku. Analytickým výstupem je infračervené spektrum, které je grafickým zobrazením funkční závislosti energie, většinou vyjádřené v procentech transmitance nebo jednotkách absorbance, na vlnové délce dopadajícího záření [1,20].

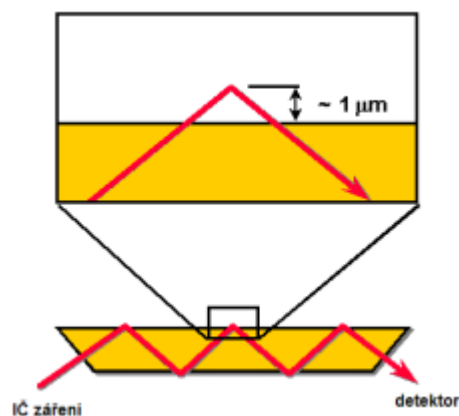
FTIR spektrometrie

Získaný interferometrický signál je převeden matematickou operací – Fourierovou transformací – na infračervené spektrum (obrázek 13). Jako zdroj středního infračerveného záření se používá keramické tyčinka. Dále je pro FTIR spektrometr důležitá konstantní rychlost posunu a minimální odchylka pohyblivého zrcadla. Výsledkem měření je interferogram, ze kterého pomocí Fourierovy transformace získáme spektrální informace.



Obrázek 13 - Typické oblasti infračerveného spektra, využité při analýze olejů [29]

K měření se používá metoda založená na zeslabené úplné reflektanci (obrázek 14.). Vyzařovaný paprsek infračerveného záření dopadá na fázové rozhraní dvou prostředí tak, že prochází nejprve prostředím o vyšším indexu lomu, a je-li úhel dopadu větší než kritický úhel, dojde k úplnému odrazu.



Obrázek 14 - Princip zeslabené úplné reflektance [29]

Při měření je na krystalickou podložku umístěn vzorek. Infračervené záření prochází podložkou a proniká několik μm do vzorku (hloubka proniknutí závisí na vlnové délce záření), kde dochází k absorbování energie, která odpovídá frekvencím vibrace molekul vzorku. Z odraženého zeslabeného záření získáme absorpční spektrum [1,20].

2 Experimentální část

Cílem této části bakalářské práce je na základě výsledků experimentů určit vliv zatížení a opotřebení motorových olejů na únosnost mazacího filmu. Experimentální část je rozdělena do tří částí. V první části budou porovnány únosnosti olejů při změně zatížení u nových syntetických, polosyntetických a minerálních motorových olejů. V druhé části bude zhodnocen vliv průniku paliva do olejové náplně na únosnost mazacího filmu. V poslední části bude na vzorcích olejů odebraných z autobusu hodnocen vliv kontaminace a degradace na mazivost motorového oleje.

2.1 Vzorky olejů k analýze

2.1.1 Nové vzorky olejů

Syntetický

Urania FE LS

Jedná se o plně syntetický olej viskózní třídy SAE 5W-30, specifikace API CF, ACEA E4/E7. Jeho výhodou je dlouhý výměnný interval, který může dosáhnout až 150 000 km. Tento typ oleje je vhodný i do extrémních klimatických podmínek a díky složení Fuel Economy, tj. inovovanému syntetickému základovému oleji a aditivům, může dojít k úspoře až 4 % pohonných hmot ve srovnání s minerálními motorovými oleji dobré kvality [44].

Polosyntetický

OMV

Tento olej je částečně syntetický, specifikace SAE 10W-40, API SL/CF, ACEA A3/B4. Je vhodný pro moderní benzínové a naftové motory, tzn. také pro motory s přeplňováním a katalyzátorem [45].

Minerální

M7ADS III

Tento minerální olej je specifikace SAE 15W-40, API CF-4/SG. Je vhodný pro celoroční použití pro namáhané přeplňované a nepřeplňované naftové motory. Zaručuje startovatelnost při nízkých teplotách. Má výborné antioxidační vlastnosti a zabraňuje tvorbě vysokoteplotních úsad [46].

M7ADS V

Jedná se o minerální olej se specifikací SAE 15W-40 a API CI-4 CH -4/SL, ACEA E5. Je vhodný pro vysoce namáhané přeplňované naftové motory provozované v těžkých podmínkách. Snižuje opotřebení motoru a prodlužuje výměnný interval. Má dobrou startovatelnost při teplotách -25 C° [47].

Urania LD 7

Jedná se opět o motorový olej na minerálním základu specifikace SAE 15W-40, API CI-4, ACEA E5/ E7 pro vozidla s turbodmyčadly. Zajišťuje dobré ochranné vlastnosti motoru proti znečištění a kyselým složkám. Zaručuje maximální ochranu proti opotřebení způsobené vysokým zatížením motoru [48].

2.1.2 Vzorky olejů kontaminované motorovou naftou

Pro měření vlivu průniku paliva do motorového oleje na jeho únosnost byly připraveny vzorky motorového oleje Urania FE LS s kontaminací 5 % a 15 % paliva. Jako kontaminant byla zvolena nafta bez biosložky metylesteru řepkového oleje (MEŘO), která by mohla zlepšovat mazivostní vlastnosti vzorků.

2.1.3 Opotřebené oleje z provozu autobusu

Tyto oleje byly odebrány z městského autobusu Iveco, model Urban 12M, s motorem Cursor 9 s výkonem 228 kW a technologií HI – SCR splňující emisní normu Euro VI bez EGR ventilu. Objem olejové vany byl 34 litrů. Počet testovaných olejů byl 17, včetně jednoho čistého nepoužitého vzorku. Testovaný olej byl Petronas Urania FE LS viskozitní třídy 5W-30. Doporučený výměnný interval oleje je podle výrobce 60 000 km. Vzorky byly odebírány v průběhu 3 let v pravidelných intervalech mezi výměnami oleje [49].

Intervaly odběru vzorků jsou zobrazeny v tabulce 1 (tučná černá čára v tabulce znamená výměnu oleje). Vzorek 1 je čistý olej.

Tabulka 1 - Odběry vzorků oleje [vlastní]

	kilometry oleje [km]	tachometr vozidla [km]
1.	x	x
2.	20289	20289
3.	29872	29872
4.	29984	39459
5.	51394	51394
6.	13951	65345
7.	23598	74992
8.	33703	85097
9.	43801	95195
10.	19496	114691
11.	29984	125179
12.	40185	135380
13.	54301	149496
14.	18304	167800
15.	25565	175061
16.	36050	185546
17.	48465	197961

2.2 Použité metody

2.2.1 Hodnocení únosnosti mazacího filmu Reichertovým testem

Pro hodnocení mazivosti, resp. únosnosti mazacího filmu (UMF) testovaných olejů byl použit Reichertův test. Princip tohoto testu byl popsán v teoretické části (kap. 1.3.7). Měření bylo provedeno na přístroji Reichert M2 (viz obrázek 15). K hodnocení nosné kapacity byla použita metodika PETROTEST. Tato nosná kapacita olejového filmu byla vypočtena dle vzorce (4). Dle rovnice (5) se vypočítá otěrová plocha (A), tj. mazivost oleje [20].

$$UMF = \frac{2000 \cdot G \cdot 9,81}{A} \quad (4)$$

$$A = 0,785 \cdot l \cdot d \quad (5)$$

Podmínky testu byly: zatížení –1500 g a 1000 g; rychlost otáčejícího prstence – 1000 ot./min a 800 ot./min; třecí délka – 1000 m; objem vzorku – 25 ml; teplota – 20 °C; materiál brusného prstence – ocel, Petrotest 150023; materiál válců – ocel, Petrotest 150021. Teplota termostatu byla v průběhu měření nastavena na 20 °C.

Měření otěrové plochy na stacionárním testovacím válci bylo realizováno za pomoci speciální lupy se stupnicí. Fotodokumentace otěrových ploch byla provedena pomocí digitálního mikroskopu s USB připojením.



Obrázek 15 - Celkové uspořádání přístroje Reichert M2 (s připojením na termostat) [20]

Postup měření

1. Posunutím páky do levé krajní polohy se uvolní úchyt testovacího válečku, který se následně dá uvolnit šroubem a vyklopit nahoru. Dále se šroubem uvolní váleček, který se následně vymění.
2. Odejme se vana vzorku oleje a vyčistí se důkladně prostor vany i s prstencem.
3. Vana se upevní zpět a nastaví se potřebné parametry dalšího měření (otáčky motoru, zatížení, teplota termostatu).
4. Do vany se odměří 25 ml testovaného vzorku oleje.
5. Po upevnění testovacího válečku do testovací polohy a zkontrolování nastavených parametrů se stiskne tlačítko START a spustí se elektromotor.
6. Po odběhnutí 10 m na displeji se uvolní páčka do pravé strany a testovaný váleček dojde do styku s rotujícím se prstencem.
7. Po uběhnutí 110 m (testování probíhalo na 100 m) se páčka opět vrátí do levé polohy a tlačítkem START se vypne elektromotor.

Šmíd ve své diplomové práci [50] poukazuje na nepřesnosti, které vznikají během měření mazivosti Reichertovým testem. Na nepřesnost měření má především vliv velikost abrazivního opotřebení otočného prstence, kdy se na něm vytvářejí hluboké abrazivní rýhy. Na tento otočný prsteneček je pomocí pákového mechanismu přitlačován testovaný váleček. Ve své diplomové práci navrhl řešení, a to čištění povrchu prstence na soustruhu. Dále také prokázal, že na prstenci v třecích plochách zůstávají aditiva po každém měření a v případě nedůkladného očištění prstence ovlivňují výsledek měření. Také by se měla kontrolovat excentricita hřídele, na kterém se prsteneček otáčí, avšak proto je nutný speciální úchytkoměr, který výrobce s přístrojem nedodává.

2.2.2 Hodnocení viskozitních vlastností Stabingerovým viskozimetrem

Pro měření viskozity testovaných olejů byl v této práci použit automatický rotační Stabingerův viskozimetr SVM 3000 Anton Paar (Anton Paar, Německo). Postup měření byl proveden podle normy ASTM D7042. Princip Stabingerova viskozimetru byl popsán v teoretické části (viz kap. 1.3.2).

Změřené hodnoty dynamické viskozity a hustoty jsou automaticky přepočítané na kinematickou viskozitu při 100 °C podle ASTM D 2270/ISO 2909. Měření probíhalo v teplotním rozsahu od 15 do 100 °C při $p \approx 0.1$ MPa.

2.2.3 Hodnocení kontaminace a degradace olejů FTIR spektrometrií

Pro vyhodnocení degradace a kontaminace motorových olejů Urania FE LS odebraných z autobusů MHD (viz kap. 2.1.3) a pro porovnání nových motorových olejů byla použita FTIR spektrometrie. Princip FTIR spektrometrie byl popsán v teoretické části (viz kap. 1.4.3.). Pro účely analýzy byl použit spektrometr Nicolet iS10 (Thermo Scientific, Inc., Waltham, MA, USA). Byla použita technika úplné zeslabené reflektance (ATR), krystal ZnSe. Spektrometr je vybaven softwarem OMNIC (verze 8), kterým se ovládá měření.

Snímání IČ spekter olejů probíhalo v oblasti vlnočtů 4000 až 650 cm^{-1} . Parametry měření byly nastaveny na: rozlišení 4 cm^{-1} , počet akumulací spektra 64.

Sejmutá spektra opotřebovaných olejů z autobusů MHD byla zpracována pomocí programu "OLEJOVÝ ANALYZÁTOR". Tímto programem byly stanoveny následující

parametry: oxidační produkty (A.u./0.1 mm), nitrační produkty (A.u./0.1 mm), sulfatační produkty (A.u./0.1 mm), antioxidant (%), saze (% T), voda (hm. %) a palivo (hm. %).

2.2.4 Zpracování dat

Hodnoty získané z Reichertova testu a z FTIR analýzy motorových olejů odebraných z autobusů byly vyjádřeny ve formě matice. Zdrojová matice dat měla rozměr (17x10); tj. u každého vzorku z 17 testovaných maziv bylo sledováno deset parametrů. Zdrojová matice dat byla podrobena korelační analýze. Korelační koeficient (R) vypovídá o významnosti/nevýznamnosti regresní závislosti mezi sledovanými parametry testovaných motorových olejů.

Pro analýzu dat byl použit tabulkový procesor Microsoft Excel a program STATISTICA 10.0.

2.3 Výsledky

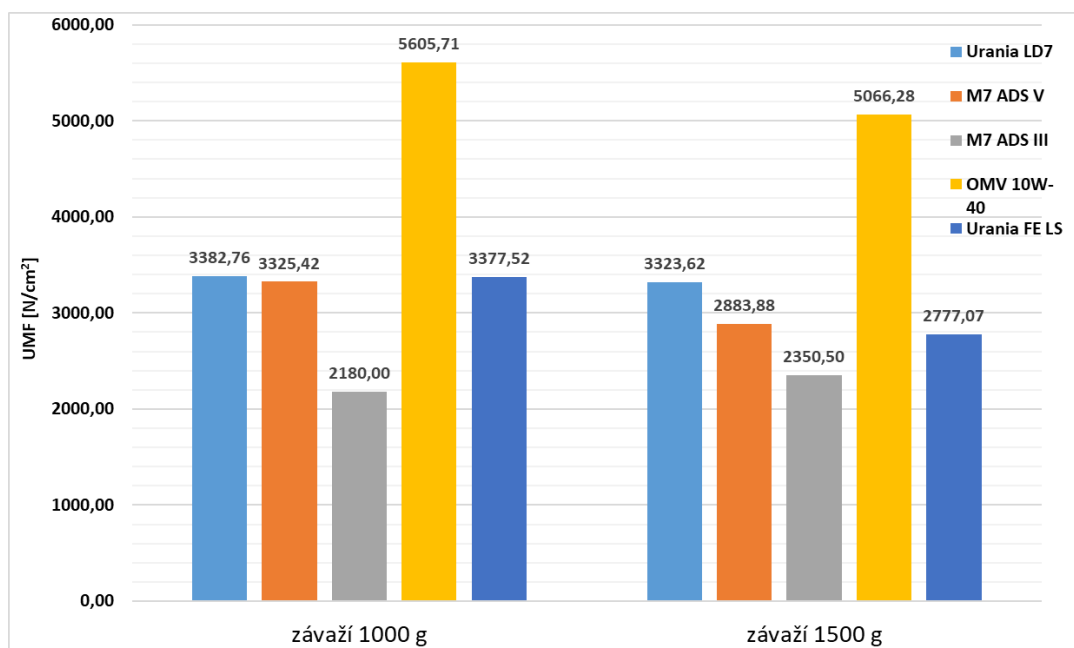
2.3.1 Porovnání únosnosti mazacího filmu nových olejů při změně zatížení

V této kapitole jsou prezentovány výsledky testování únosnosti mazacího filmu pěti druhů motorových olejů, popsanych v kap. 2.1.1, při změně zatížení. Test byl proveden Reichertovým testem při různém zatížení a to 1000 g a 1500 g. Otáčky byly pro obě zatížení nastaveny na 800 ot./min. Hodnoty otěrové plochy pro výpočet únosnosti mazacího filmu při zatížení 1000 g pro oleje Urania LD7, M7 ADS V, M7 ADS III, OMV byly převzaty z diplomové práce Trnky [50]. Výsledky únosnosti mazacího filmu oleje Urania FE LS při zatížení 1000 g a všech testovaných olejů při 1500 g byly získány na základě průměrné hodnoty z dvou měření autora bakalářské práce. Změna v aditivaci motorových olejů byla sledována na základě FTIR spektrometrie.

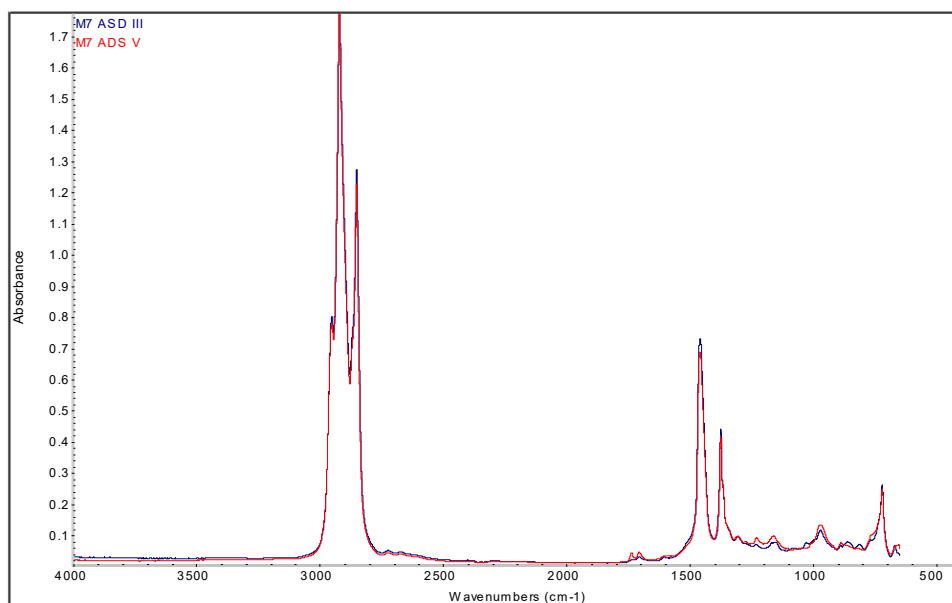
Na obrázku 16 jsou zobrazeny vypočítané výsledky únosnosti mazacího filmu testovaných olejů. Fotky jednoho měření otěrových ploch válečků jsou v příloze 1.

Na obrázku 17 jsou zachycena spektra motorových olejů na minerálním základu – M7ADS III a M7ADS V. Porovnáním spekter olejů vyplývá, že motorový olej M7ADS V obsahuje v oblasti tzv. otisku prstu více spektrálních pásů náležejících

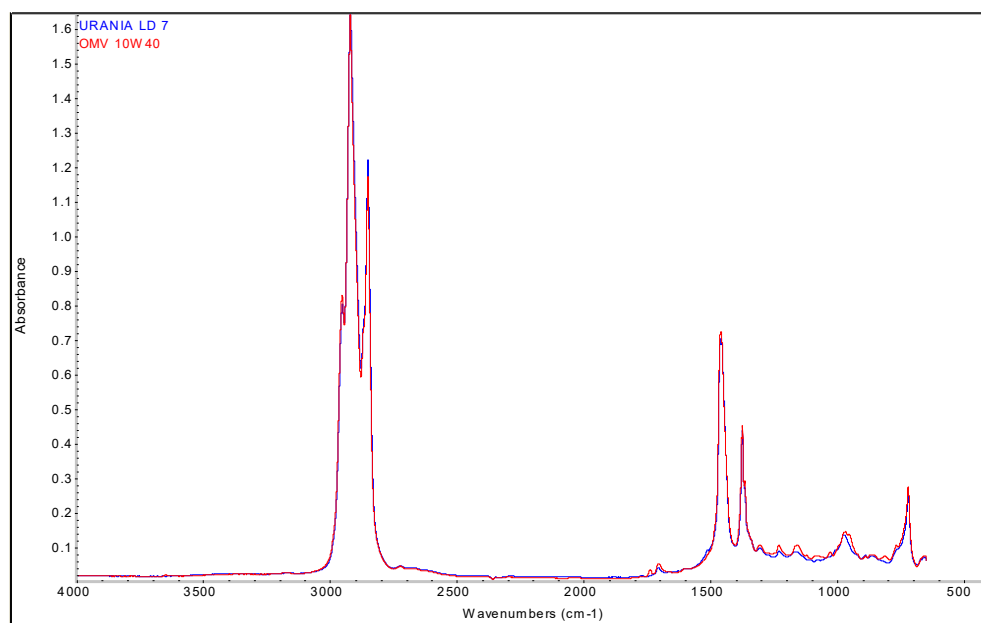
zušlechťujícím přísadám. Na obrázku 18 jsou porovnána spektra vzorku oleje minerálního URANIA LD7 a polosyntetického OMV. Z obrázku 19 vyplývá, že nejvýraznější změna v chemickém složení je patrná, když porovnáme syntetický olej (URANIA FE LS) s olejem minerálním. Pro výrobu olejů na syntetické bázi se nejčastěji používají směsi základových olejů v různých kombinacích, např. polyalfaolefiny (PAO) a hydrokrakový olej, PAO a rozpouštědlový rafinát. U syntetického oleje URANIA FE LS je v oblasti 1730 cm^{-1} patrný výrazný pás náležející esterové vazbě.



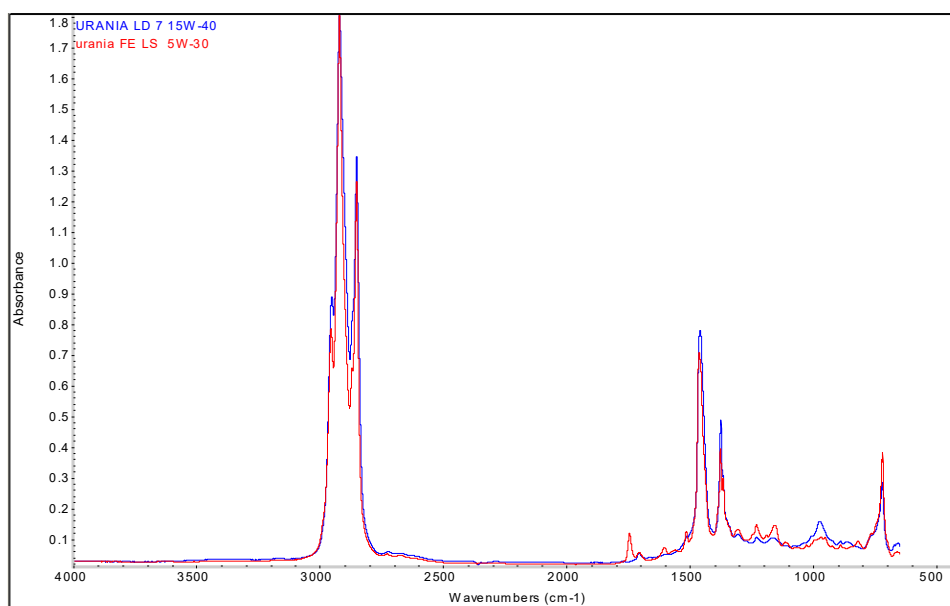
Obrázek 16 - Porovnání únosnosti vzorků nových olejů při různém zatížení [vlastní]



Obrázek 17 - Porovnání spektrogramů vzorků olejů M7 ADS III a M7 ADS V [vlastní]



Obrázek 18 - Porovnání spektrogramů vzorků olejů Urania LD 7 a OMV 10W-40 [vlastní]



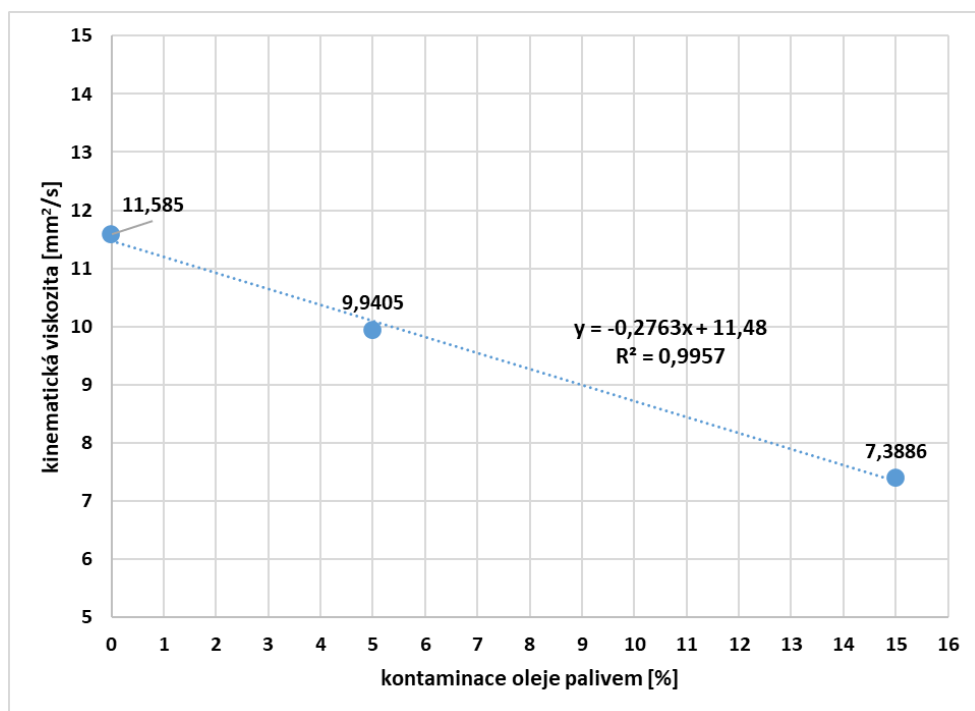
Obrázek 19 - Porovnání spektrogramů vzorků olejů Urania LD 7 a Urania FE LS [vlastní]

Z obrázku 16 jednoznačně vyplývá, že nejlepší únosnost mazacího filmu poskytuje částečně syntetický motorový olej OMV 10W-40 API SL/CL, který je doporučován jako špičkové mazivo pro vozidla s extrémně dlouhými výměnnými intervaly, což vyplývá ze specifikace ACEA A3/B4. Při zvýšení zatížení klesla jeho únosnost mazacího filmu o cca 11 %. Při zatížení 1000 g měly oleje Urania LD7, Urania FE LS a M7 ADS V téměř stejné výsledky únosnosti. Avšak při testování vlivu zvýšení zatížení na 1500 g se projevil největší pokles únosnosti mazacího filmu u oleje Urania FE LS, a to o cca 22 %. Tento výsledek je v souladu s teorií, neboť viskózní třída oleje (5W-30) je nižší než u ostatních testovaných olejů, a čím je vyšší zatížení, tím je potřeba vyšší viskozita oleje. U motorového oleje M7 ADS V došlo při zvýšení zatížení k snížení únosnosti mazacího filmu o cca 15 % a nejmenší změna se projevila u oleje Urania LD7 o cca 2 %. Tyto oleje mají všechny písmeno specifikace ACEA E, které označují vhodnost jejich použití k mazání velkých dieselových motorů. Olej M7 ADS III vykázal u obou testovaných zatížení nejnižší únosnost mazacího filmu.

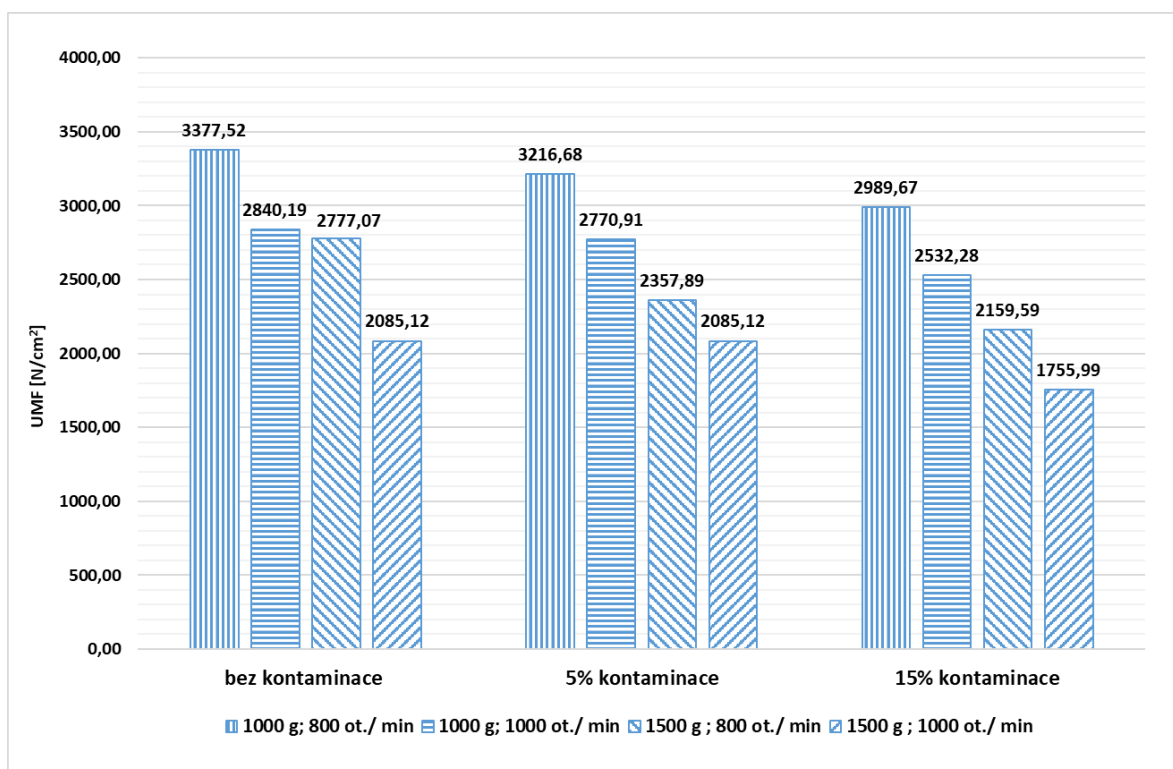
2.3.2 Vliv kontaminace motorového oleje palivem na změnu viskozity a únosnost mazacího filmu

V této kapitole jsou prezentovány dopady průniku paliva do maziva s ohledem na změnu kinematické viskozity při teplotě 100 °C a na únosnost olejového filmu. Pro testování byl použit nejprve nový motorový olej Urania FE LS a následně připravené modelové vzorky s 5% a 15% kontaminací motorovou naftou bez přídavku biosložky metylesteru řepkového oleje. Modelový vzorek s 5% kontaminací paliva v olejové náplni byl zvolen z toho důvodu, že tato koncentrace se uvádí jako hraniční koncentrace pro výměnu motorového oleje.

Testování únosnosti mazacího filmu proběhlo při 1500 g a 800 ot./min, 1500 g a 1000 ot./min, 1000 g a 800 ot./min, 1000 g a 1000 ot./min. Výsledky únosnosti mazacího filmu byly získány z průměrné hodnoty dvou měření. Fotky jednoho měření otěrových ploch válečků jsou v příloze 2.



Obrázek 20 - Graf změny viskozity v závislosti na kontaminaci oleje palivem [vlastní]



Obrázek 21 - Sloupcový graf porovnání únosnosti olejů s různým množstvím kontaminace [vlastní]

Z grafického znázornění závislosti kinematické viskozity na koncentraci paliva v motorovém oleji (viz obr. 20) vyplývá, že průnik motorové nafty do oleje má vliv na snížení viskozity. Závislost je lineární a lze ji popsat rovnicí $y = -0,2763x + 11,48$. V případě 5% kontaminace oleje palivem se viskozita snížila cca o 15 %, což je v souladu s literaturou [52], kde se uvádí, že výměna mazacího oleje by měla být provedena při změně viskozity o cca ± 15 -20 % vzhledem k viskozitě nového oleje. V případě 15% kontaminace došlo ke snížení viskozity o cca 36 % vzhledem k viskozitě nového oleje.

Z výsledků simulace vlivu zatížení a otáček na únosnost mazacího filmu (viz obr. 21) vyplynulo, že vyšší zatížení a otáčky motoru a rovněž snižování viskozity motorového oleje v důsledku průniku oleje do maziva mají vliv na snížení únosnosti mazacího filmu. Největší pokles únosnosti mazacího filmu byl zaznamenán při zatížení závaží 1500 g a 800 ot./min, kdy únosnost oleje při 5% kontaminaci palivem klesla o cca 15 % v porovnání s čistým motorovým olejem a při 15% kontaminaci klesla o cca 22 %. U experimentu se závažím 1500 g a

1000 ot./min klesla únosnost při 15% kontaminaci o cca 16 %. V případě testování únosnosti mazacího oleje kontaminovaného 5 % motorové nafty nebyla zaznamenána změna. To lze vysvětlit tak, že 5% koncentrace paliva v motorovém oleji snižuje jeho viskozitu na optimální hodnotu, kdy se se vzrůstající rychlostí vzájemného pohybu mazaných ploch olej dobře dostává do mazaného prostoru.

K podobným výsledkům dospěli ve své práci Abdullah a Bahak [37] (viz kap. 1.4.1). Autoři použili k testu čtyřkuličkový tester. Při zvýšené kontaminaci palivem také sledovali sníženou viskozitu a zvýšenou otěrovou plochu na kuličkách.

Při hodnotě 5 %, které se uvádí jako krajní hodnota kontaminace oleje palivem, by měl motorový olej mít sníženou únosnost mazacího filmu, která by se mohla snadno narušit. Avšak z experimentálních výsledků vychází, že i při 15% kontaminaci je olej stále schopný vytvořit olejový film a po dobu zatížení ho udržet, ale se sníženou únosností.

Další problém, který by mohl vzniknout v souvislosti s vysokou kontaminací oleje palivem je snížení teploty vzplanutí oleje na hodnotu pracovní teploty motorového oleje. Touto problematikou se ve své vědeckém článku zabývali Ljubas a kol. [53]. Ve své práci sledovali změnu viskozity, teplotu vzplanutí a teplotu hoření. Z jejich měření vyšlo, že oleje kontaminované 10 hm. % paliva jsou v provozu nepoužitelné, protože jim klesne teplota vzplanutí pod teplotu 80 °C, což je pod hodnotou pracovní teploty oleje. Některé oleje se dostaly pod teplotu vzplanutí 100 °C i při kontaminaci 5 hm. % paliva.

2.3.3 Vliv kontaminace a degradace provozovaného motorového oleje na únosnost mazacího filmu

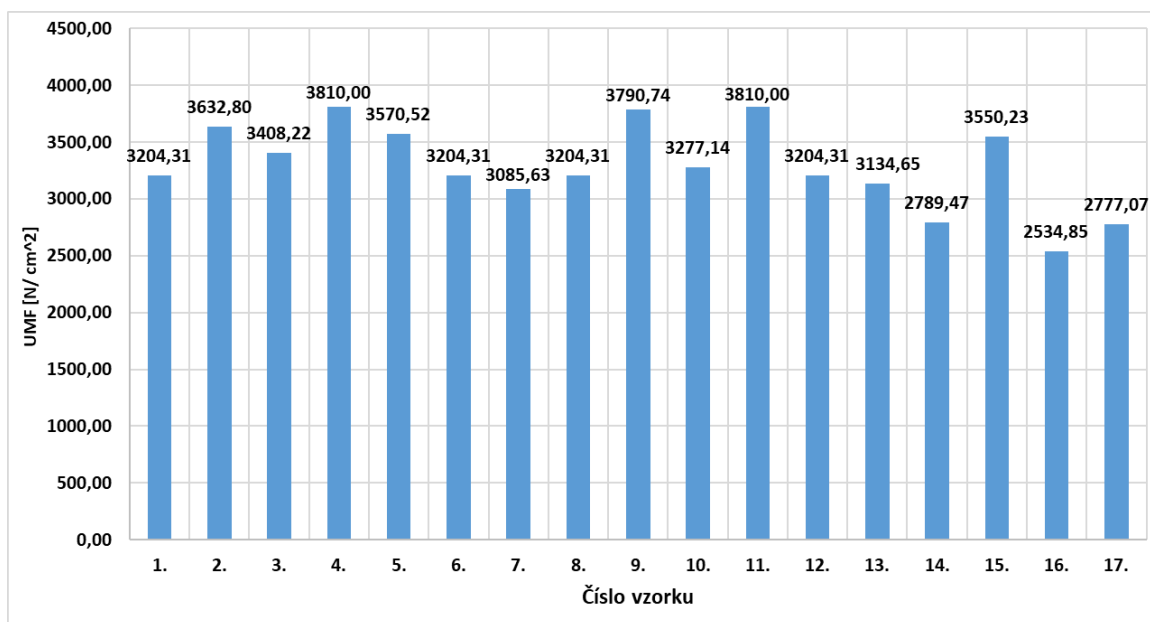
Jak vyplynulo z výše prezentovaných výsledků, tak viskozita má vliv na vytvoření a udržení mazacího filmu. Na hodnotu viskozity mají vliv protichůdné vlivy – průnik paliva do olejové náplně viskozitu snižuje, produkty termooxidačních reakcí naopak viskozitu zvyšují. V tabulce 2 jsou uvedeny výsledky FTIR spektrometrie – sledování kontaminace a degradace syntetického oleje Urania FE LS, který byl v pravidelných intervalech odebírán z městského autobusu Iveco (viz kap. 2.1.3) a výsledky Reichertova testu. Vzorek 1 je nový nepoužitý olej. Tučné čáry znamenají výměnu oleje. Reichertův test probíhal při zatížení 1500 g a 800 ot./min. Při zatížení 1000 g a 800 ot./min byla zaznamenána pouze nepatrná otěrová stopa a z tohoto

důvodu se přistoupilo k testování olejů při vyšším zatížení. Výsledky únosností mazacího filmu byly získány z průměrné hodnoty dvou měření. Fotky jednoho měření otěrových ploch válečků jsou v příloze 3.

Tabulka 2 - Výsledky kontaminace a degradace motorového oleje Urania FE LS [vlastní]

	kilometry oleje	tachometr	Saze	Oxidační prod.	Nitrační prod.	Sulfatační prod.	Nafta	Antioxidant	A	UMF
	[km]	[km]	[%T]	[A/.1mm]	[A/.1mm]	[A/.1mm]	[hm.%]	[%]	[mm ²]	[N/cm ²]
1.			100,0	0,00	0,00	0,00	0,0	100,0	9,18	3204,31
2.	20289	20289	94,1	0,06	0,05	0,00	0,00	71,2	8,10	3632,80
3.	29872	29872	92,5	0,10	0,08	0,00	0,00	38,0	8,64	3408,22
4.	29984	39459	89,3	0,12	0,09	0,01	0,00	22,2	7,72	3810,00
5.	51394	51394	86,5	0,15	0,12	0,03	0,00	18,9	8,24	3570,52
6.	13951	65345	94,6	0,06	0,05	0,00	1,40	63,0	9,18	3204,31
7.	23598	74992	94,4	0,09	0,08	0,00	0,00	34,7	9,54	3085,63
8.	33703	85097	86	0,10	0,08	0,00	0,00	31,1	9,18	3204,31
9.	43801	95195	82,6	0,09	0,07	0,00	0,00	30,2	7,76	3790,74
10.	19496	114691	94,4	0,08	0,07	0,04	8,90	63,3	8,98	3277,14
11.	29984	125179	92,5	0,10	0,09	0,05	2,40	49,2	7,72	3810,00
12.	40185	135380	93,3	0,14	0,12	0,10	0,00	37,8	9,18	3204,31
13.	54301	149496	87	0,15	0,12	0,11	0,00	32,1	9,39	3134,65
14.	18304	167800	93,5	0,10	0,09	0,04	3,90	49,5	10,55	2789,47
15.	25565	175061	89	0,12	0,10	0,06	0,00	30,4	8,29	3550,23
16.	36050	185546	93	0,14	0,12	0,09	0,00	37,0	11,61	2534,85
17.	48465	197961	88,5	0,17	0,14	0,13	0,00	27,8	10,60	2777,07

Výsledky vypočítaných únosností mazacího filmu olejů z provozu (obrázek 22) nám potvrzují, že novodobé oleje si udržují mazací vlastnosti po dlouhou dobu provozu. V prvních dvou intervalech výměny mají oleje s vyšším kilometrovým náběhem vyšší únosnost mazacího filmu. K lepším mazivostním vlastnostem napomáhají nejspíše produkty termooxidačních reakcí.



Obrázek 22 - Graf únosnosti opotřebovaných vzorků olejů [vlastní]

Experimentální data (viz tabulka 2) byla dále podrobena korelační analýze. Pearsonovým korelačním koeficientem (R) byl vyšetřen stupeň těsnosti lineárního vztahu mezi proměnnými testovaných motorových olejů z autobusů. Závislost s korelačním koeficientem v absolutní hodnotě $|R|$ v rozmezí $<0,95-1>$ je považována za velmi významnou, v rozmezí $<0,80-0,95>$ za dosti významnou a v rozmezí $<0,50-0,80>$ za střední závislost. Pokud je hodnota $|R|<0,5$, je tato závislost považována za nevýznamnou [54]. Je třeba poznamenat, že existence významné korelace mezi proměnnými nemusí nutně znamenat kauzální vztah mezi proměnnými. Statisticky významné korelace jsou vyznačeny červeně.

Tabulka 3 - Korelační matice [vlastní]

	proběh oleje	stav tachometru	saze	ox. Produkty	nit. Produkty	sulf. Produkty	nafta	antioxidant	A	UMF
proběh oleje	1,00									
stav tachometru	0,42	1,00								
saze	-0,79	-0,26	1,00							
ox. produkty	0,87	0,65	-0,60	1,00						
nit. produkty	0,83	0,71	-0,53	0,99	1,00					
sulf. produkty	0,57	0,82	-0,16	0,73	0,77	1,00				
nafta	-0,32	0,17	0,28	-0,20	-0,14	-0,01	1,00			
antioxidant	-0,81	-0,40	0,79	-0,85	-0,82	-0,32	0,32	1,00		
A	0,02	0,56	0,26	0,25	0,31	0,50	0,05	0,03	1,00	
UMF	0,01	-0,52	-0,29	-0,21	-0,27	-0,48	-0,07	-0,06	-0,99	1,00

Korelační analýzou (viz tabulka 3) bylo zjištěno, že na hladině významnosti $\alpha < 0,05$ mezi sebou velmi významně korelují parametry chemické degradace testovaných olejů (oxidace, nitrace a sulfatace) a zároveň tyto parametry korelují s úbytkem antioxidantu ZDDP, který se současně používá jako protioděrová a mazivostní přísada. Významnou korelaci ($R=0.99$) mezi oxidací a nitrací oleje lze vysvětlit na základě styku motorového oleje se spaliny, které celý proces oxidace ovlivňují. Při spalování se část vzdušného dusíku přemění na oxidy dusíku (NO_x), a tyto oxidy přicházejí ve spalinách do styku s motorovým olejem. Korelační analýzou bylo potvrzeno, že se zvyšujícím se kilometrovým proběhem motorového oleje dochází k dosti významnému úbytku antioxidantu ZDDP. Rovněž bylo potvrzeno, že se vzrůstajícím km proběhem olejové náplně dochází k významné chemické degradaci oleje a dochází k nárůstu koncentrace sazí. Korelační analýzou nebylo u testovaných olejových vzorků zjištěno, že by chemická degradace a kontaminace testovaných olejů měly negativní dopad na únosnost mazacího filmu. V literatuře [54] se uvádí, že produkty termicko-oxidační degradace, nitratace a sulfatace mají polární charakter a pozitivně ovlivňují únosnost mazacího filmu.

3 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo pomocí výsledků experimentů určit vliv zatížení a opotřebení motorových olejů na únosnost mazacího filmu. Pro měření únosnosti mazacího filmu byl použit přístroj Reichert M2. Změny viskozity byly sledovány Stabingerovým viskozimetrem. Posouzení kontaminace a degradace oleje proběhlo pomocí FTIR spektrometrii.

V teoretické části jsou sepsány základní poznatky o motorových olejích, jejich rozdělení podle výroby a klasifikace. Dále jsou popsány nejčastější aditiva používaná na vylepšení užitečných vlastností olejů. V poslední teoretické části jsou shrnuty poznatky o možnostech monitorování degradace a kontaminace motorových olejů a jejich vliv na provozní vlastnosti motorových olejů.

Praktická část BP je zaměřena na zhodnocení vlivů zatížení a opotřebení na únosnost mazacího filmu. Měření bylo provedeno na nových a použitých motorových olejích z městského autobusu Iveco. Hodnocení vlivů zatížení a opotřebení na únosnost mazacího filmu bylo rozděleno na tři části.

V první části byly porovnány různé vzorky nových olejů z hlediska vlivu vyššího zatížení na jejich únosnost, jednalo se o jeden vzorek syntetického a polysyntetického oleje a tři vzorky minerálních olejů. Únosnosti mazacího filmu byla hodnocena při dvou testech při různých zatížení. FTIR spektrometrií byla sejmuta jejich spektra pro porovnání chemického složení olejů, tj. základového oleje a balíku zušlechťujících přísad. Z výsledků měření mazivosti Reichertovým testem lze usoudit, že polysyntetický olej OMV má nejlepší únosnost mazacího filmu. Nejstálejší mazivostní vlastnosti si udržuje i při vyšším zatížení minerální olej Urania LD7. Syntetický olej Urania FE LS a minerální olej M7 ADS V mají srovnatelnou únosnost, která se u obou olejů při vyšším zatížení snížila. Z pohledu únosnosti mazacího filmu dopadl při obou testech zatížení minerální olej M7ADS III nejhůře.

V druhé části experimentu byl zhodnocen vliv simulace vyššího zatížení a vyšších otáček motoru na únosnost mazacího filmu a dále vliv těchto faktorů na únosnost mazacího filmu v případě kontaminace oleje palivem. Výsledky potvrdily, že s vyšším zatížením a vyššími otáčkami motoru klesá únosnost mazacího filmu. S kontaminací oleje palivem klesá

únosnost mazacího filmu v důsledku poklesu viskozity vzorku oleje. I při 15% kontaminaci oleje palivem si motorový olej zachovává únosný mazací film. Vyšší zatížení má významnější vliv na únosnost mazacího oleje než zvýšení otáček motoru.

Ve třetí části byly zhodnoceny vlivy degradace a kontaminace na únosnost mazacího filmu. Degradace a kontaminace opotřebovaných olejů byla vyhodnocena FTIR spektrometrií. Naměřená data byla zpracována korelační analýzou. Pearsonovým korelačním koeficientem byly vyjádřeny korelace mezi proměnnými veličinami motorových olejů provozovaných v autobusech městské hromadné dopravy. Zde byla zjištěna vysoká korelace mezi produkty chemické degradace, a to mezi oxidací, nitrací a sulfatací. Tyto produkty korelují s úbytkem antioxidantu ZDDP, jehož úbytek je také závislý na kilometrovém proběhu oleje. Výsledky těchto analýz prokázaly, že degradace a kontaminace motorových olejů nemá negativní dopady na únosnost mazacího filmu.

Z výsledků bakalářské práce vyplývá, že únosnost mazacího filmu poklesne s těžšími provozními podmínkami, a to jak s vyšším zatížením mazacího filmu, tak rychlostí otáček motoru. Vliv opotřebení motorového oleje na únosnost mazacího filmu je hlavně závislý na změně viskozity degradací a kontaminací motorového oleje. Například kontaminace palivem sníží viskozitu a tím i únosnost mazacího filmu, naopak termo-oxidační produkty viskozitu zvyšují. Proto opotřebované oleje mohou mít i lepší mazací vlastnosti než oleje nové.

POUŽITÁ LITERATURA

1. SEJKOROVÁ, M. METODY TRIBOTECHNICKÉ DIAGNOSTIKY. Vysoká škola báňská Technická univerzita Ostrava, Univerzita Pardubice, 2013. ISBN 978-80-248-3280-7.
2. Oleje . Autodíly Mjauto – náhradní díly na vozy evropské i japonské / asijské výroby [online]. Dostupné z: <https://www.mjauto.cz/oleje>
3. Mazivářské mýty, Mýtus třetí - mineral, polosyntetika, syntetika Oleje.cz. Oleje.cz - Svět maziv - motorové oleje, přísady, průmyslová maziva, eshop [online]. Copyright © 2023 Ekolube, s. r. o. [cit. 04.03.2023]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Mazivarske-myty--Mytus-treti---mineral--polosyntetika--syntetika>
4. Mazivářské mýty, Mýtus osmý - Mazací schopnost motorového oleje Oleje.cz. Oleje.cz - Svět maziv - motorové oleje, přísady, průmyslová maziva, eshop [online]. Copyright © 2023 Ekolube, s. r. o. [cit. 04.03.2023]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Mazivarske-myty--Mytus-osmy---Mazaci-schopnost-motoroveho-oleje?phone=0>
5. HRDLIČKA, Zdeněk. Automobilové kapaliny: [motorové a převodové oleje, chladicí a brzdové kapaliny, ostatní náplně, přehled výrobků a nejznámějších firem, vzájemná zaměnitelnost olejů]. Praha: Grada, 1996. ISBN 80-7169-332-4.
6. VLK, František. Paliva a maziva motorových vozidel: [benzín, nafta, alternativní paliva, motorové oleje, převodové oleje]. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2006. ISBN 80-239-6461-5.
7. Motorové oleje: SAE, API, ACEA... Víte, co znamená jejich označení? A jak moc škodí nevhodný olej? | auto.cz. auto.cz - nejlepší jízda na webu: recenze, videa, testy [online]. Copyright © 2001 [cit. 04.03.2023]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/motorove-oleje-sae-api-acea-vite-co-znamenajich-oznaceni-a-jak-moc-skodi-nevhodny-olej-101192>
8. Klasifikace motorových olejů. LuckyGas maziva, autokosmetika, LPG a CNG [online]. Copyright © 2023 Luckygas.cz [cit. 04.03.2023]. Dostupné z: <https://www.luckygas.cz/blog/2022/03/4-klasifikace-motorovych-oleju>
9. Viskozita automobilových motorových olejů Oleje.cz. Oleje.cz - Svět maziv - motorové oleje, přísady, průmyslová maziva, eshop [online]. Copyright © 2023 Ekolube, s. r. o. [cit. 04.03.2023]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Viskozita-automobilovych-motorovych-oleju>

10. Klasifikace a specifikace motorového oleje - motora.cz. Náhradní díly, autodíly - motora.cz [online]. Copyright © 2023 Motora Česká rep. [cit. 04.03.2023]. Dostupné z: <https://www.motora.cz/informace/klasifikace-a-specifikace-motoroveho-oleje>
11. Výkonnostní třídy automobilových motorových olejů Oleje.cz. Oleje.cz - Svět maziv - motorové oleje, přísady, průmyslová maziva, eshop [online]. Copyright © 2023 Ekolube, s. r. o. [cit. 04.03.2023]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Vykonnostni-tridy-automobilovych-motorovych-oleju>
12. SPECIFIKACE A VÝBĚR OLEJŮ - ProdejOlejů.cz. Motorové oleje, maziva a autochemie - ProdejOlejů.cz [online]. Dostupné z: <https://www.prodejoleju.cz/poradna/specifikace-a-vyber-oleju/>
13. Aditiva do maziv Oleje.cz. Oleje.cz - Svět maziv - motorové oleje, přísady, průmyslová maziva, eshop [online]. Copyright © 2023 Ekolube, s. r. o. [cit. 04.03.2023]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/obsah/Aditiva>
14. Vlastnosti motorových olejů - Detergenty a disperzanty Oleje.cz. Oleje.cz - Svět maziv - motorové oleje, přísady, průmyslová maziva, eshop [online]. Copyright © 2023 Ekolube, s. r. o. [cit. 04.03.2023]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Detergenty-a-disperzanty>
15. HRDLIČKA, Zdeněk. Automobilové kapaliny: [motorové a převodové oleje, chladicí a brzdové kapaliny, ostatní náplně, přehled výrobků a nejznámějších firem, vzájemná zaměnitelnost olejů]. Praha: Grada, 1996. ISBN 80-7169-332-4.
16. Co znečišťuje motorový olej a proč? • TestMotoru.cz. TestMotoru.cz - Test zdravotního stavu motoru MOTORcheckUP • TestMotoru.cz [online]. Dostupné z: <https://www.testmotoru.cz/co-znecistuje-motorovy-olej-a-proc>
17. Vlastnosti motorových olejů - Oxidační stabilita, nitrace oleje Oleje.cz. Oleje.cz - Svět maziv - motorové oleje, přísady, průmyslová maziva, eshop [online]. Copyright © 2023 Ekolube, s. r. o. [cit. 04.03.2023]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Oxidacni-stabilita--nitrace-oleje>
18. Lubricant Additives - A Practical Guide. Machinery Lubrication [online]. Copyright © 2023 Noria Corporation [cit. 10.05.2023]. Dostupné z: <https://www.machinerylubrication.com/Read/31107/oil-lubricant-additives>
19. HELEBRANT, František, Jiří ZIEGLER a Daniela MARASOVÁ. TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA A SPOLEHLIVOST I.: TRIBODIAGNOSTIKA [online]. Ostrava, 2000 [cit. 2023-03-04]. Dostupné z: <https://www.fs.vsb.cz/export/sites/fs/340/.content/galerie-souboru/vyuka/Technicka-diagnostika-I-Tribodiagnostika-skripta.pdf>. Skripta. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava fakulta strojní.

20. MACHALÍKOVÁ, J.; SEJKOROVÁ, M. Diagnostika a kontrola jakosti provozních hmot. Univerzita Pardubice, 2013. Učební opora–část I. ISBN 978-7395-620-2
21. Viskozita automobilových motorových olejů Oleje.cz. Oleje.cz - Svět maziv - motorové oleje, přísady, průmyslová maziva, eshop [online]. Copyright © 2023 Ekolube, s. r. o. [cit. 04.03.2023]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Viskozita-automobilovych-motorovych-oleju>
22. Vlastnosti motorových olejů - HTHS viskozita a lehkoběžné oleje Oleje.cz. Oleje.cz - Svět maziv - motorové oleje, přísady, průmyslová maziva, eshop [online]. Copyright © 2023 Ekolube, s. r. o. [cit. 04.03.2023]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---HTHS-viskozita-a-lehkobezne-oleje>
23. Co je to viskozita a viskozitní index. Top Oil Services – Oleje a maziva [online]. Copyright © 2023 Top Oil Services s.r.o. Všechna práva vyhrazena. [cit. 04.03.2023]. Dostupné z: <http://top-oil.cz/aktuality/29>
24. Technická informace – Maziva pro motorová vozidla. Fuchs oil corporation, s.r.o. 2005
25. GSCHEIDLE, Rolf. Příručka pro automechanika. Praha: Sabotáles, 2001. ISBN 978-80-85920-83-3.
26. HARNOY, Avraham. Bearing design in machinery: engineering tribology and lubrication. 1st ed. New York: Marcel Dekker, 2003. Mechanical engineering (Marcel Dekker, Inc.), 147. ISBN 08-247-0703-6.
27. PEKÁREK, Stanislav. Technologie oprav. 1. Nový Jičín: Střední škola technická a zemědělská, NOVÝ JIČÍN, 2015. ISBN 978-80-88058-23-6
28. Testování olejů – Reichert. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická.
29. STODOLA, J., MACHALÍKOVÁ, J.: Spolehlivost a diagnostika BSV. Část: Provozní hmoty a materiály pro MVT. Skriptum. Brno: Vydavatelská skupina UO, Brno. Univerzita obrany. 2006. 132 stran. ISBN 80-7231-167-0.
30. Slovník pojmů > Čtyřkuličkový test - prodej olejů a maziv. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © 2013 [cit. 05.03.2023]. Dostupné z: http://www.optilube.cz/oleje-maziva/term_info_374
31. Four Ball Tester - About Tribology. Tribology - About Tribology [online]. Copyright © 2016 [cit. 05.03.2023]. Dostupné z: <https://www.tribonet.org/wiki/four-ball-tester/>
32. Vlastnosti motorových olejů - Nečistoty a saze v motorovém oleji Oleje.cz. Oleje.cz - Svět maziv - motorové oleje, přísady, průmyslová maziva, eshop [online]. Copyright © 2023 Ekolube, s. r. o. [cit. 05.03.2023]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Necistoty-a-saze-v-motorovem-oleji>

33. Vlastnosti motorových olejů - Otěrové kovy Oleje.cz. Oleje.cz - Svět maziv - motorové oleje, přísady, průmyslová maziva, eshop [online]. Copyright © 2023 Ekolube, s. r. o. [cit. 05.03.2023]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Oterove-kovy>
34. MAATALLAH, S., SARI, M. R. a L. KHOCHEMANE. Effect of Lubricant Contamination on EHL Rolling Contact: Response Surface Methodology. *Engineering Transactions*. 2016, vol. 64, no.1 , s. 69-88. ISSN 2450-80
35. GEORGE, Sam, Santhosh BALLA, Vishaal GAUTAM a Mridul GAUTAM. Effect of diesel soot on lubricant oil viscosity. *Tribology International* [online]. 2007, 40(5), 809-818 [cit. 2023-03-03]. ISSN 0301679X. Dostupné z: doi:10.1016/j.triboint.2006.08.002
36. Vlastnosti motorových olejů - Palivo v oleji Oleje.cz. Oleje.cz - Svět maziv - motorové oleje, přísady, průmyslová maziva, eshop [online]. Copyright © 2023 Ekolube, s. r. o. [cit. 05.03.2023]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Palivo-v-oleji>
37. ABDULLAH, K. F.; BAHAK, M. Z. The effect of fuel contamination on the wear characteristic of used motor oil. *Journal of Advanced Research Design*, 2015, 5: 10-16.
38. Vlastnosti motorových olejů - Voda a glykol v oleji Oleje.cz. Oleje.cz - Svět maziv - motorové oleje, přísady, průmyslová maziva, eshop [online]. Copyright © 2023 Ekolube, s. r. o. [cit. 05.03.2023]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Voda-a-glykol-v-oleji>
39. Glykol v motoru - ČAPPO. Úvodní strana - ČAPPO [online]. Copyright © 2021 ČAPPO [cit. 05.03.2023]. Dostupné z: <https://www.cappo.cz/caste-dotazy/dotazy/glykol-v-motoru>
40. Chladicí kapaliny pro osobní automobily - Petrol.cz. Úvodní stránka - Petrol.cz [online]. Copyright © 2000 [cit. 05.03.2023]. Dostupné z: <https://www.petrol.cz/aktuality/archiv/2012/24/chladici-kapaliny-pro-osobni-automobily-928>
41. Oleje Selenia, YACCO, Castrol, Mobil. Oleje Selenia, YACCO, Castrol, Mobil [online]. Dostupné z: https://www.znackoveoleje.cz/Slozky-oleje-aditiva-a5_12.htm
42. MURRAY, D. W., et al. The effect of base stock composition on lubricant performance. *SAE transactions*, 1982, 3893-3909.
43. CERNY, J.; STRNAD, Z.; SEBOR, G. Composition and oxidation stability of SAE 15W-40 engine oils. *Tribology International*, 2001, 34.2: 127-134.
44. Urania FE LS 5W-30 201 | Bonatrade. Vše pro auto, moto a náradí - Bonatrade [online]. Copyright © 2004 [cit. 08.04.2023]. Dostupné z: <https://www.bonatrade.cz/urania-fe-ls-5w-30-201/>

45. OMV Bixxol Extra 10W-40 (1 l) - Oleje.cz. Oleje.cz - Svět maziv - motorové oleje, přísady, průmyslová maziva, eshop [online]. Copyright © 2023 Ekolube, s. r. o. [cit. 13.04.2023]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/p/omv-bixxol-extra-10w-40-1-l--17409>
46. Mogul M7 ADS III 15W-40 10 l od 1 138 Kč - Heureka.cz. Motorové oleje – Heureka.cz [online]. Copyright © 2007 [cit. 08.04.2023]. Dostupné z: <https://motorove-oleje.heureka.cz/mogul-m7-ads-iii-15w-40-10-l/#specifikace/>
47. Olej M7ADS V sud 200l 15W40 LOTOS TURDUS POWER CI-4 motorový olej - NEJEDLÝ s.r.o.- náhradní díly a Agro pneumatiky pro traktory ZETOR. NEJEDLÝ s.r.o.- náhradní díly a Agro pneumatiky pro traktory ZETOR [online]. Copyright © NEJEDL [cit. 08.04.2023]. Dostupné z: <https://www.nejedly.cz/olej-m7ads-v-sud-200l-nahrada-lotos-turdus-power-ci-4-motorovy-olej-61065059>
48. Motorový olej Petronas Urania LD 7 15W-40, 5L – PEMA. Oleje PEMA – kvalita pro auto, motorku i zahradní techniku [online]. Copyright © 2023 AUTODÍLY PEMA, s.r.o. Všechna práva vyhrazena [cit. 08.04.2023]. Dostupné z: https://oleje-pema.cz/zbozi/motorovy-olej-petronas-urania-ld-7-15w-40-5l_186423
49. ZAJĄC, Grzegorz, et al. Analysis of Changes in Soot Content in Engine Oils under Operating Conditions. *Lubricants*, 2023, 11.2: 89.
50. ŠMÍD, Filip. Částicová analýza a hodnocení mazivosti motorových a převodových olejů. Pardubice, 2012. Diplomová práce. Univerzita Pardubice. Vedoucí práce Machalíková, Jaroslava.
51. TRNKA, Jiří. Studium viskozitních a mazivostních vlastností motorových olejů. Pardubice, 2019. Diplomová práce. Univerzita Pardubice. Vedoucí práce Sejkorová, Marie.
52. MANG, Theo; DRESEL, Wilfried (ed.). *Lubricants and lubrication*. John Wiley & Sons, 2007.
53. LJUBAS, Davor; KRPAŇ, Hrvoje; MATANOVIĆ, Ivica. Influence of engine oils dilution by fuels on their viscosity, flash point and fire point. *Nafta: exploration, production, processing, petrochemistry*, 2010, 61.2: 73-79.
54. Sejkorová, Marie, Ivana Hurťová, Petr Jilek, Martin Novák, and Ondřej Voltr. 2021. Study of the Effect of Physicochemical Degradation and Contamination of Motor Oils on Their Lubricity. *Coatings* 11.1: 60. <https://doi.org/10.3390/coatings11010060>

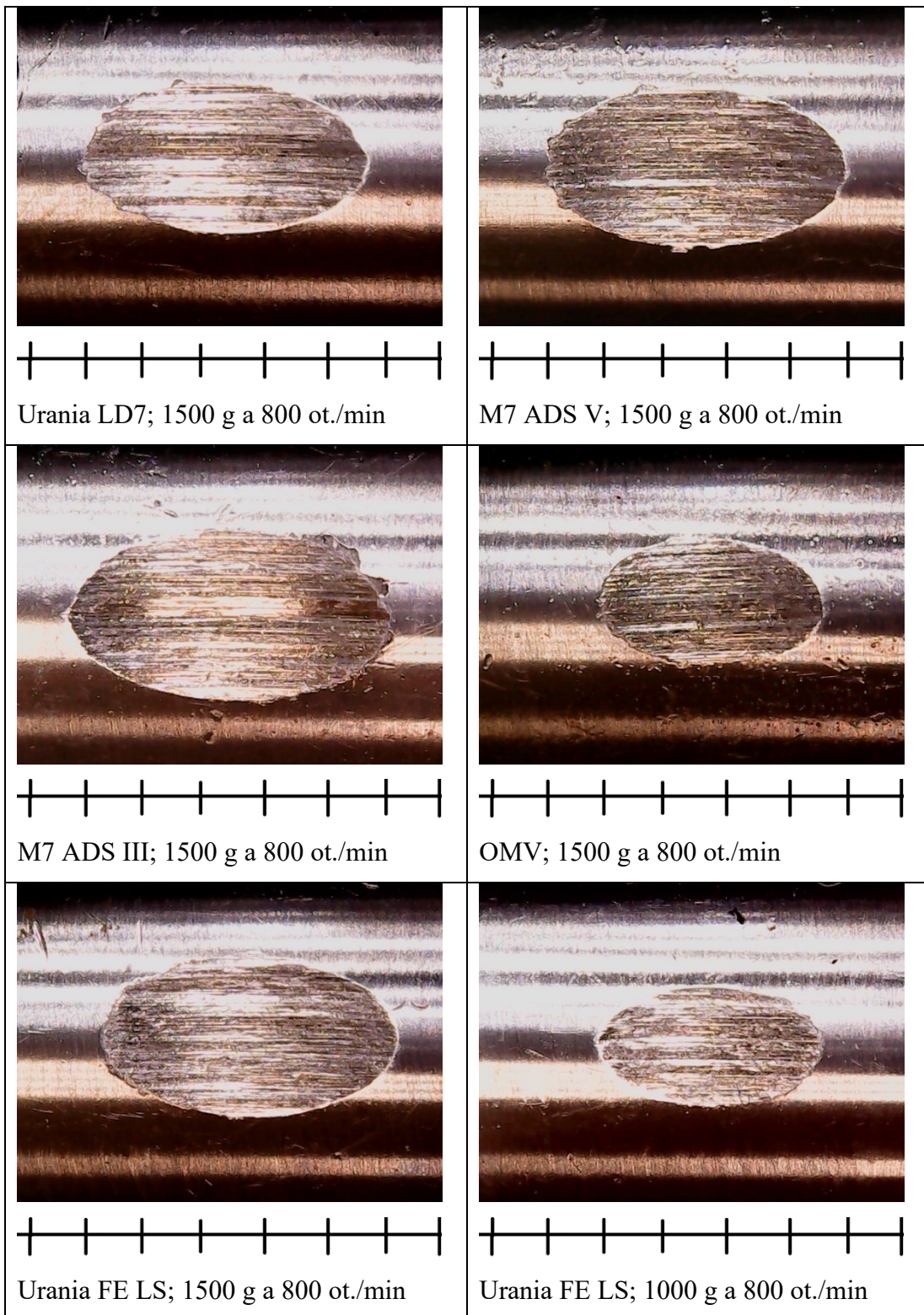
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Porovnání únosnosti mazacího filmu nových olejů při změně zatížení

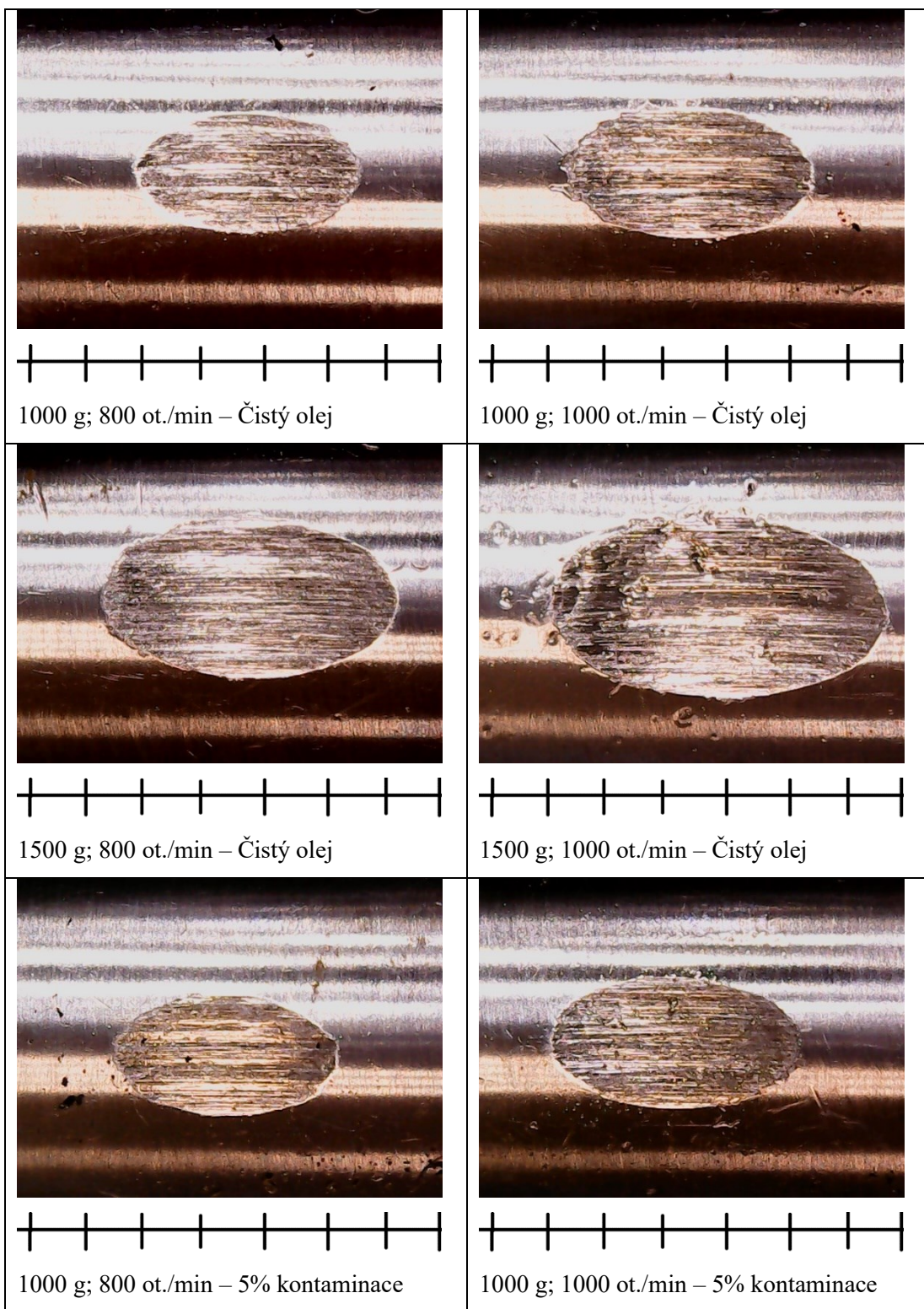
Příloha 2: Vliv kontaminace motorového oleje palivem na změnu viskozity a únosnost mazacího filmu

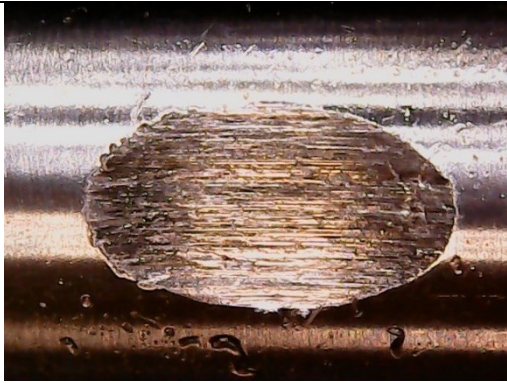
Příloha 3: Vliv kontaminace a degradace provozovaného motorového oleje na únosnost mazacího filmu

1. Příloha 1: Porovnání únosnosti mazacího filmu nových olejů při změně zatížení

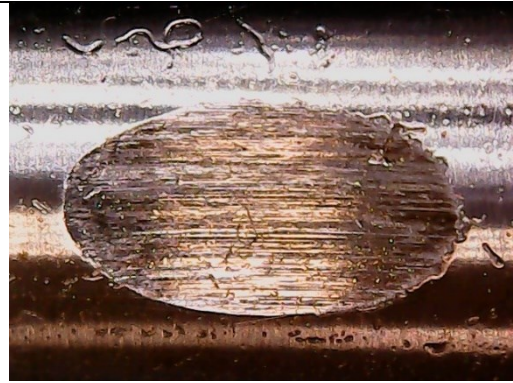


2. Příloha 2: Vliv kontaminace motorového oleje palivem na změnu viskozity a únosnost mazacího filmu

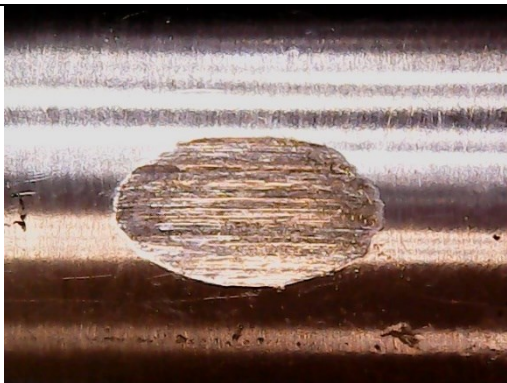




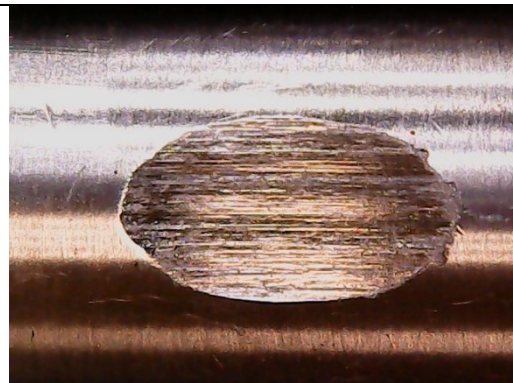
1500 g; 800 ot./min – 5% kontaminace



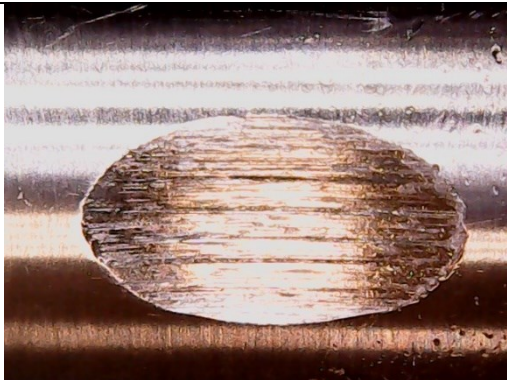
1500 g; 1000 ot./min – 5% kontaminace



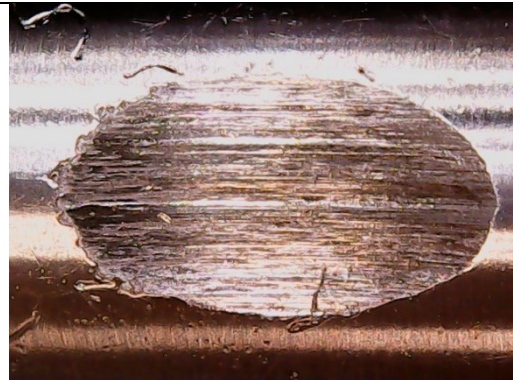
1000 g; 800 ot./min – 15% kontaminace



1000 g; 1000 ot./min – 15% kontaminace

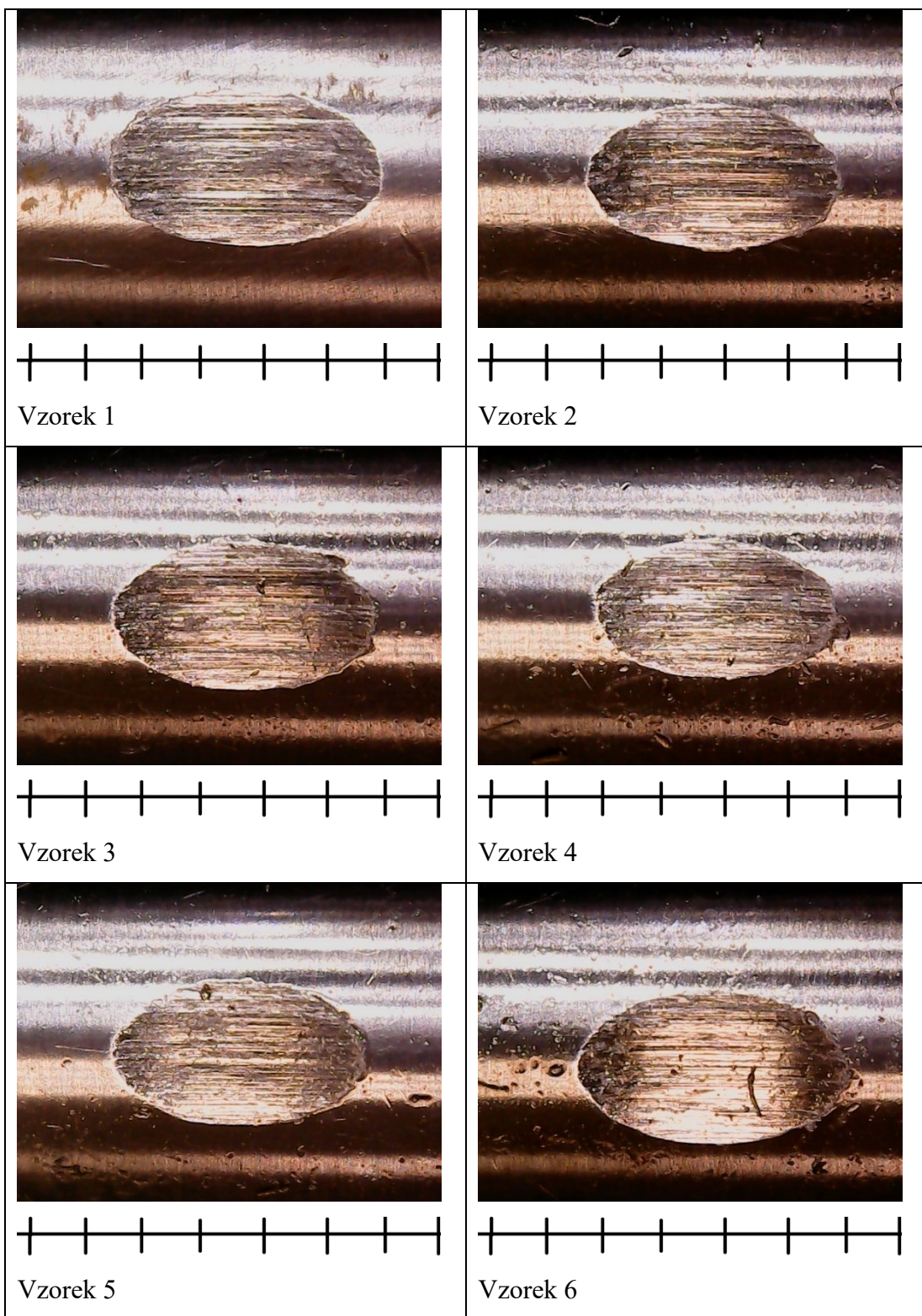


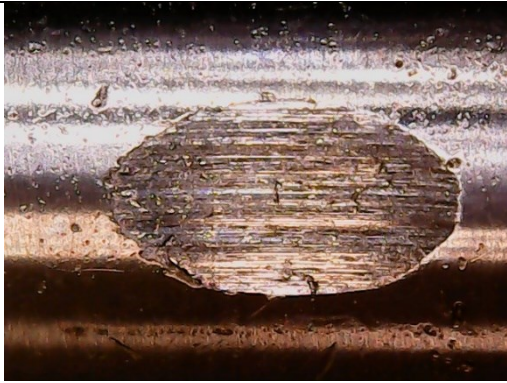
1500 g; 800 ot./min – 15% kontaminace



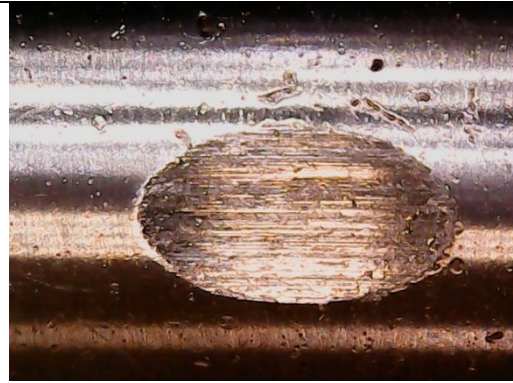
1000 g; 1000 ot./min – 15% kontaminace

3. Příloha 3: Vliv kontaminace a degradace provozovaného motorového oleje na únosnost mazacího filmu

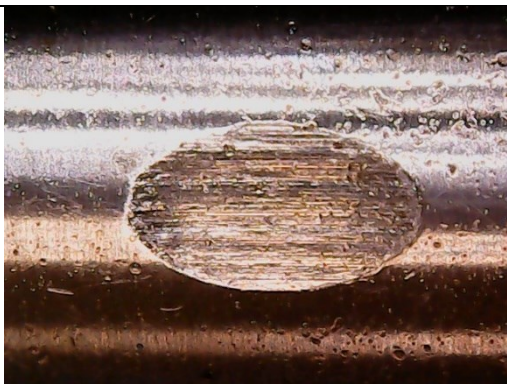




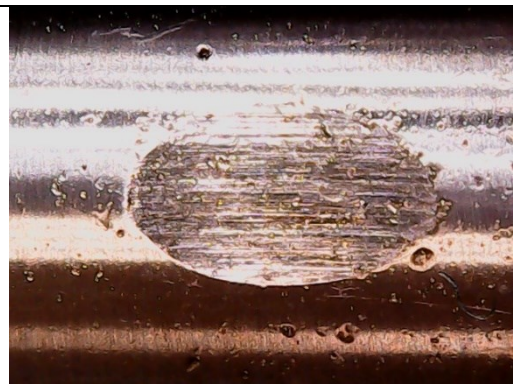
Vzorek 7



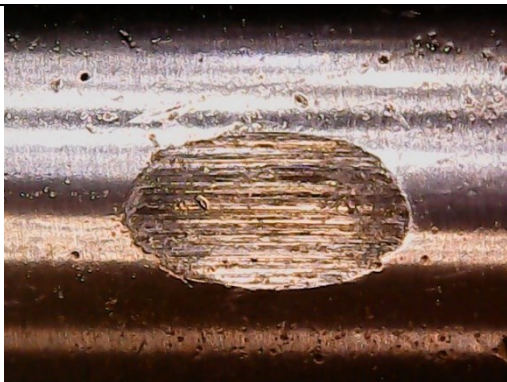
Vzorek 8



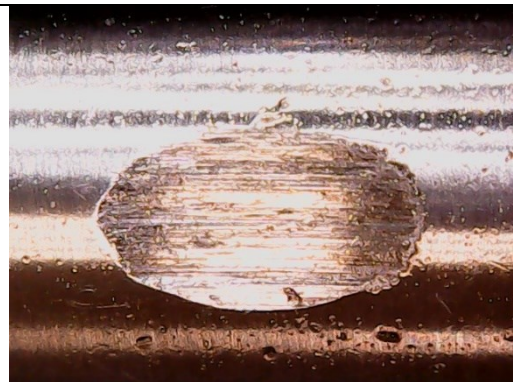
Vzorek 9



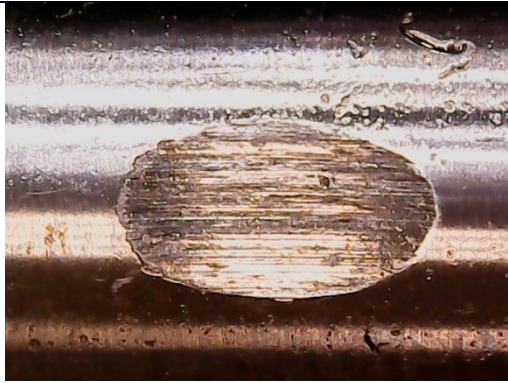
Vzorek 10



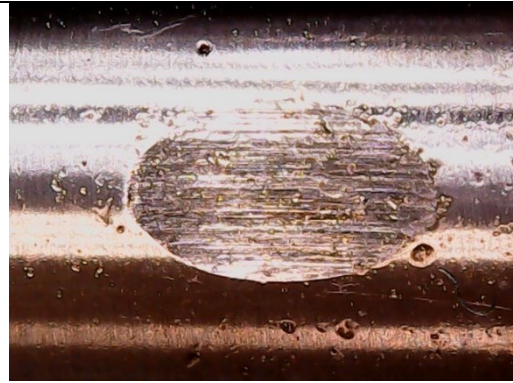
Vzorek 11



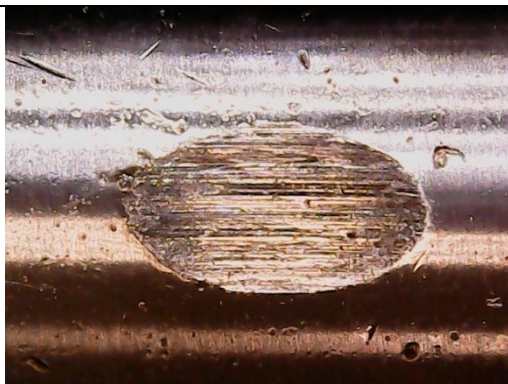
Vzorek 12



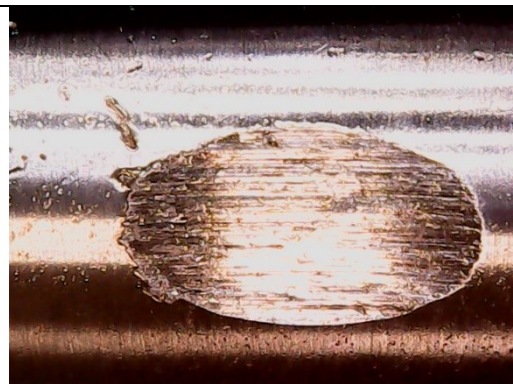
Vzorek 13



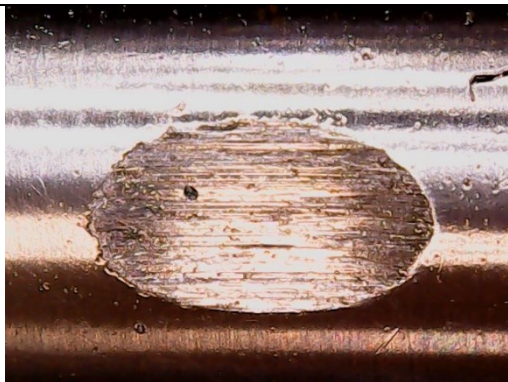
Vzorek 14



Vzorek 15



Vzorek 16



Vzorek 17

