



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní



Možnost použití IVF Quench testu ke sledování kvality hydraulických olejů

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství
Autor práce: **Jan Tomsa**
Vedoucí práce: doc. Ing. Karel Daďourek, CSc.





The possibility of using IVF Quench test to monitor the quality of hydraulic oils

Bachelor thesis

Study programme: B2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 2301R000 – Mechanical Engineering

Author: **Jan Tomsa**
Supervisor: doc. Ing. Karel Dadourek, CSc.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan Tomsa**
Osobní číslo: **S14000185**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojní inženýrství**
Název tématu: **Možnost použití IVF Quench testu ke sledování kvality hydraulických olejů**
Zadávající katedra: **Katedra materiálu**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se s užitím a způsoby degradace hydraulických olejů v automobilovém průmyslu a sledováním této degradace.
2. Seznamte se podrobně s IVF Quench testem a s možnostmi jeho užití ke sledování kvality a degradace hydraulických olejů.
3. Proveďte vhodné experimenty s IVF Quench testem na vzorcích nových, degradovaných i recyklovaných hydraulických olejů.
4. Vyhodnoňte provedené experimenty a posuďte vhodnost IVF Quench testu pro sledování kvality hydraulických olejů.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce:

Seznam odborné literatury:

Tento list nahradte
originálem zadání.

elektronická

[1] BODIN Jan. *IVF SmartQuench with inverse of HTC*. 2 nd IMS-VHT International Meeting. Yokohama, 2005.

[2] Kol. *ASM Metal Handbook. Vol.18, Friction, Lubrication and Wear Technology*. New York: ASM Int.1992.

[3] NEALE, M.J. *The Tribology Handbook*. Oxford: Butterworth - Heinemann. 1995.

[4] *IVF SQ Manual, V.4*. Mölndal: IVF Int. 2007.

[5] VÁCLAVÍČKOVÁ, J. *Oleje - svět maziv*. [online]. Paramo, 2016.

[cit.3.5.2016] dostupné z : <https://www.oleje.cz/clanek/Hydraulicke-kapaliny>.

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Karel Daňourek, CSc.

Katedra materiálu

Datum zadání bakalářské práce: 12. října 2016

Termín odevzdání bakalářské práce: 12. ledna 2018

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan



prof. Ing. Petr Louda, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 12. října 2016

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Prvně bych rád poděkoval svým rodičům, za možnost studovat na vysoké škole. Nesmírně si toho vážím. Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. CSc. Karlu Daďourkovi za veškerou pomoc v problematice hydraulických olejů a za předání zkušeností ohledně tvorby odborných prací. Děkuji panu Aleši Křováčkovi ze společnosti Škoda-Auto a.s. za pomoc s měřením vzorků a předání zkušeností v problematice diagnostiky hydraulických olejů. Velké díky patří společnosti FILTRATION TECHNOLOGY za veškeré informace ohledně recyklace olejů a to konkrétně panu Ing. Jiřímu Kománkovi. A také společnosti KLEENTEK, kde jsem se setkal s velice profesionálním přístupem a informace od pana Vladislava Chvaliny byly neuvěřitelně přínosné.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá metodami, kterými lze rozlišit nový hydraulický olej od recyklovaného hydraulického oleje. Výzkum vedl ke spolupráci se zajímavými společnostmi, zabývající se recyklací oleje i podrobným rozbořem těchto olejů. Oleje se podařilo rozlišit a pomocí dvou metod. Konkrétně pomocí metody XRF Rentgenofluorescenční spektrometrie a pomocí metody RULER.

Klíčová slova:

Hydraulický olej, recyklovaný hydraulický olej, infračervená spektroskopie, Quench test, metoda Ruler, WTD coulometr, metoda MPC, XRF spektroskopie

Annotation

The aim of this thesis is to suggest methods, which are used to distinguish between XX and XY. The research led to the cooperation with interesting companies, which are specialised mainly in oil recycling and detailed analysis. In the end, oils were distinguished by two methods such as XRF spectrometry and RULER.

Key words:

Hydraulic oil, recycled hydraulic oil, infrared spectroscopy, Quench test, method Ruler, WTD coulometr, method MPC, XRF spectrometry

Úvod	7
TEORETICKÁ ČÁST.....	8
1. Základní definice tribologie	8
1.1 Základní definice a terminologie	8
1.1.1 Tribologický systém.....	9
1.1.2 Tribologické procesy.....	9
1.2 Druhy opotřebení.....	10
1.2.1 Adhezivní	11
1.2.2 Abrazivní	11
1.2.3 Erozivní	11
1.2.4 Kavitační	12
1.2.5 Únavové	12
1.2.6 Závěr.....	13
2. Maziva	13
2.1 Druhy a vlastnosti maziv	13
2.1.1 Průmyslová maziva	15
2.1.2 Druhy průmyslových maziv a jejich značení	16
2.1.3 Čistota oleje podle NAS	20
2.2 Složení průmyslových maziv.....	21
2.2.1 Základové oleje	21
2.3 Postupy při získávání základových olejů	22
2.3.1 Rafinát	22
2.3.2 Destilace	22
2.3.3 Vakuová destilace	22
2.4 Druhy základových olejů	23
2.4.1 Hydrokrakované oleje	23
2.4.2 Syntetické uhlovodíky.....	23
2.4.3 Syntetické oleje	23
2.5 Aditiva do maziv	24
2.5.1 Chemická struktura aditiv	24
2.5.1.1 Polární aditiva	24
2.5.1.2 Nepochární aditiva	25
2.5.2 Popis jednotlivých typů aditiv s povrchovým účinkem	25
2.5.2.1 Detergenty.....	25
2.5.2.2 Disperzanty.....	25

2.5.2.3	Aditiva zlepšující ochranu proti vysokému tlaku a opotřebení (EP, AW).....	25
2.5.2.4	Aditiva zvyšující ochranu proti korozi.....	26
2.5.2.5	Aditivum upravující tření.....	26
2.5.3	Aditiva zlepšující vlastnosti oleje.....	26
2.5.3.1	Zlepšující viskozitu.....	26
2.5.3.2	Snižující bod tuhnutí.....	26
2.5.3.3	Chránící elastomery.....	26
2.5.4	Aditiva olej chránící.....	27
2.5.4.1	Zpomalovače stárnutí.....	27
2.5.4.2	Deaktivátory kovů.....	27
2.5.4.3	Snižující pěnovost.....	27
2.6	Charakteristické vlastnosti průmyslových maziv.....	27
2.6.1	Viskozita.....	27
2.6.2	Definiční vzorce.....	28
2.6.3	Odparnost.....	28
2.7	Oxidace olejů.....	29
2.7.1	Oxidační a termické stárnutí.....	29
2.7.2	Negativní vlivy oxidace olejů.....	29
2.8	Recyklace olejů.....	30
2.8.1	Recyklace olejů ve firmě FILTRATION TECHNOLOGY s.r.o.	30
2.8.1.1	Filtrační zařízení společnosti FILTRATION TECHNOLOGY	32
3.	Metody diagnostiky stavu hydraulických olejů.....	35
3.1	Infračervená spektroskopie.....	35
3.1.1	Princip metody infračervené spektroskopie.....	35
3.1.2	Přístroj - infračervený spektrometr s Fourierovskou transformací - Nicolet iS10	36
3.2	Rentgenofluorescenční analýza (XRF).....	36
3.2.1	Princip metody XRF.....	36
3.2.2	Přístroj – XRF spektrometr.....	37
3.3	Coulometrie pro stanovení čísla kyselosti TAN.....	38
3.3.1	Princip metody coulometrie.....	38
3.3.2	Přístroj Coulometr WTD.....	38
3.4	MPC metoda – stanovení potenciálu k tvorbě úsad.....	39
3.4.1	Princip metody MPC.....	39
3.4.2	Přístroj MPC Color.....	40
3.5	Metoda Ruler.....	40
4.	Doplňkové metoda měření stavu olejů.....	41

4.1 Quenchtest	41
4.1.1 Princip metody Quenchtest.....	42
4.1.2 Přístroj - ivf SmartQuench	43
PRAKTICKÁ ČÁST.....	43
5. Měření zkušebních vzorků.....	43
Úvod.....	43
5.1 Quenchtest	44
5.1.1 Optimalizace použití metody Quenchtest.....	44
5.1.2 Závěr.....	45
5.2. Infračervená spektroskopie na přístroji Nicolet is10	45
5.2.2 Měření	46
5.2.2 Závěr.....	48
5.3 WTD Coulometr - Stanovení čísla kyselosti TAN	48
5.3.1 Měření	48
5.3.2 Závěr.....	48
5.4 MPC - Stanovení potenciálu k tvorbě úsad	48
5.4.1 Měření	49
5.4.2 Závěr.....	49
5.5 XRF – analýza přísadových prvků v oleji.....	50
5.5.1 Měření vzorků	51
Koncentrace fosforu v olejích.....	52
Koncentrace síry v olejích.....	53
Koncentrace vápníku v olejích.....	54
Koncentrace titanu v olejích.....	55
Koncentrace vanadu v olejích	56
Koncentrace chromu v olejích.....	57
Koncentrace manganu v olejích	58
Koncentrace železa v olejích	59
Koncentrace kobaltu v olejích	60
Koncentrace niklu v olejích	61
Koncentrace mědi v olejích	62
Koncentrace zinku v olejích.....	63
Koncentrace molybdenu v olejích.....	64
Koncentrace cínu v olejích.....	65
Koncentrace olova v olejích	66
5.5.2 Závěr.....	67

5.6 Ruler – stanovení hodnoty aktivních antioxidantů	67
5.6.1 Měření	67
5.6.2 Závěr.....	68
6. ZÁVĚR	68
Seznam obrázků	70
Seznam Tabulek.....	70
Seznam grafů.....	71
Seznam použité literatury	72

Úvod

Tribodiagnostické procesy zaujaly v praxi pevnou pozici mezi metodami, jak diagnostikovat stav stroje a náplně v podobě hydraulického oleje. Dávají nám možnost nalézt konkrétní závadu na stroji, nebo jí dokonce předejít a firmám poskytují možnosti velikých úspor, protože umožňují diagnostikovat přesný stav oleje a rozhodnout, zda konkrétní olej může stále vykonávat funkci, nebo je již olej vypotřeбенý a nelze jej dál použít.

Tato bakalářská práce byla směřována do oblasti výzkumu hydraulických olejů ve spolupráci s automobilovým závodem Škoda-Auto, a.s. Cílem bylo nalézt metodu, nebo soubor metod, kterou lze spolehlivě rozlišit nový olej od recyklovaného, což vedlo ke spolupráci se společnostmi zabývajícími se recyklací olejů a společnostmi zabývajícími se procesy analýzy olejů a maziv.

TEORETICKÁ ČÁST

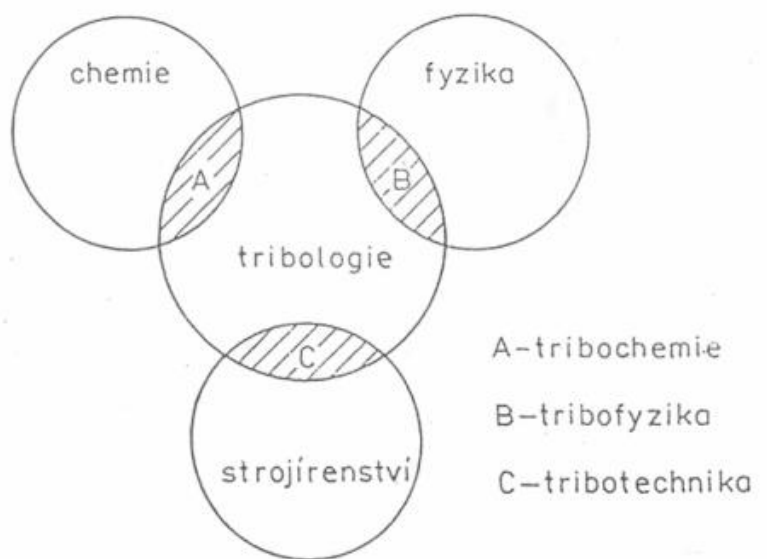
1. Základní definice tribologie

1.1 Základní definice a terminologie

Vlastní kmenový základ tribo vychází z řeckého tribos (tření). Mezinárodní tribologická rada (International Tribology Council- ITC) zavedla následující definici „Tribologie je věda a technologie (teorie a praxe) zabývající se vzájemným působením povrchů při jejich relativním pohybu a s nimi souvisejícími subjekty a praktikami“. [1]

TRIBOLOGIE – věda zabývající se chováním dotýkajících se povrchů při pokusu o vzájemný pohyb.

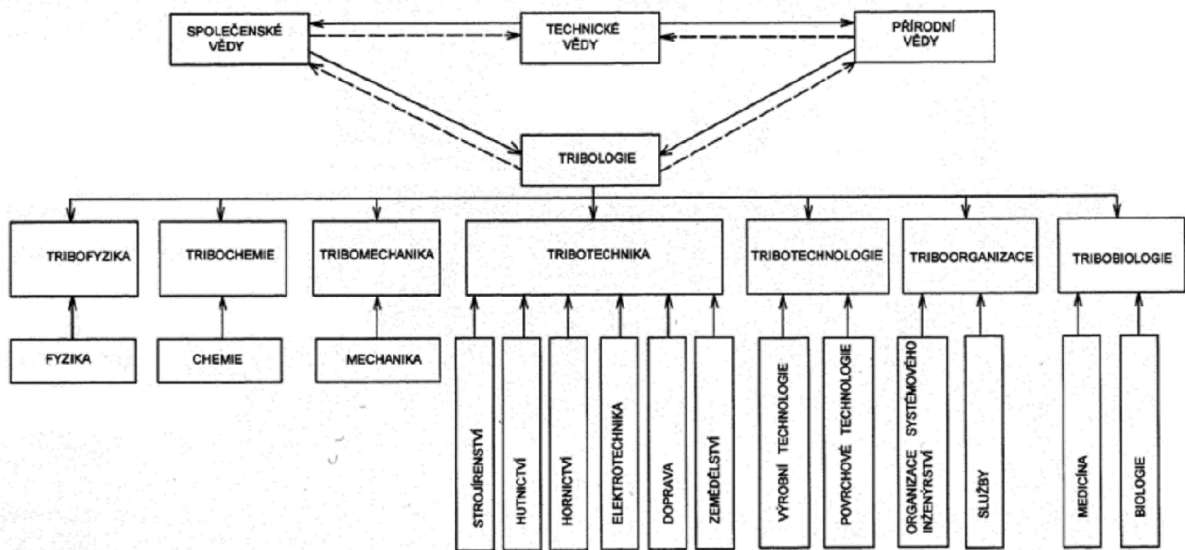
TRIBOTECHNIKA – vědní obor zabývající se aplikací tribologických zásad do konstrukce strojů a zařízení.



OBR. 1: Souvislost tribologie se základními vědními obory [1]

TRIBOBIOLOGIE – biologické aspekty vzájemného působení přirozených tribologických systémů (např. klouby).

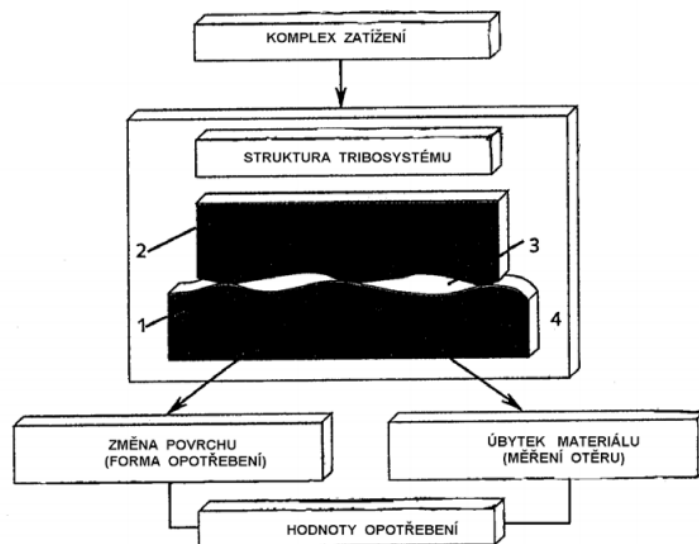
Samostatnou kapitolou je **TRIBODIAGNOSTIKA**, která využívá informací získaných z maziva k objektivnímu určení technického stavu sledovaného objektu [1]



OBR. 2 Zařazení pojmu tribologie [2]

1.1.1 Tribologický systém

Je umělý nebo přirozený materiální systém základní úrovně, ve kterém probíhá tření jako proces v důsledku vzájemného působení minimálně dvou struktur systémových prvků. Tribologický systém představuje jeden třecí uzel, který ve své základní struktuře obsahuje čtyři prvky [1].



OBR. 3: Tribologický systém podle DIN 51 320 [1]

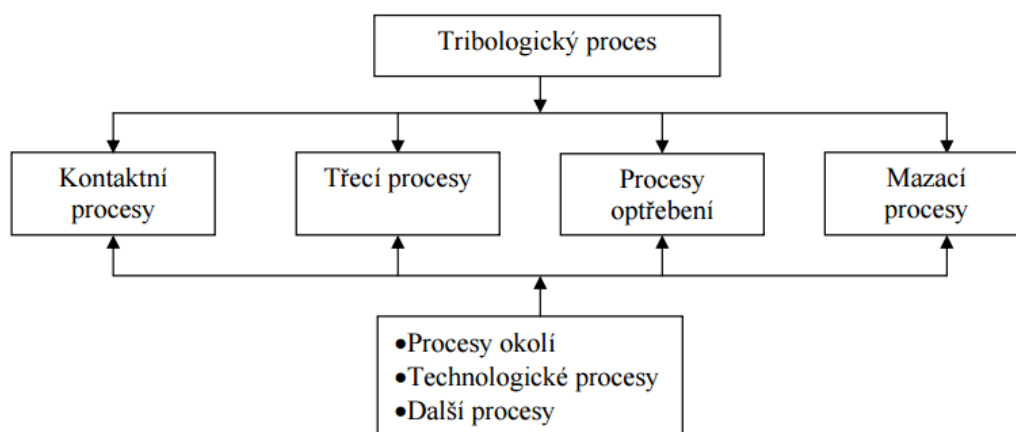
1 – základní třecí těleso, 2 – třecí těleso, 3 – mezilátka, 4 – okolí

1.1.2 Tribologické procesy

Vlastní tribologický proces je charakterizován interakcí třecích těles, mezilátky a

okolí, která probíhá v prostoru a čase. Jednotlivé vazby a zařazení najdeme na OBR. 3, z čehož by mělo být patrné, že řešíme následující základní otázky:

- jaké jsou mechanismy přeměny užitečných veličin a jaké jsou skutečné fyzikální procesy přeměny energie.
- jaké jsou procesy vedoucí ke ztrátám (energetické ztráty třením, materiálové ztráty, vznik a mechanismus opotřebení), jaké jsou možnosti pozitivního působení na mechanismus vzniku ztrát a jejich minimalizaci. Vlastní odpověď jak po stránce kvantitativní, tak kvalitativní popis musí rozlišovat – analýzu vstupních veličin, analýzu interakce prvků systému a analýzu výstupních veličin [1].



OBR. 4: Zařazení tribologických procesů do vzájemných vazeb

1.2 Druhy opotřebení

Opotřebení je projevem tribologického procesu probíhajícího v tribologickém systému. Znamená to trvalý úbytek materiálu z povrchů tuhých těles při jejich vzájemném pohybu, nebo při pohybu média účastnícího se na tribologickém procesu. V místě styku povrchů těles dochází k pružné i plastické deformaci výstupků nerovností povrchů, porušení oxidické ochranné vrstvy a vzniku adhezních spojů – mikrosvarů, studených spojů. Při vzájemném pohybu jsou tyto spoje usmýkány a při tom nastává i přenos částic materiálů z jednoho povrchu na druhý anebo naopak popř. uvolňování částic. Vysvětlení suchého tření jako usmýkání mikrosvarů je označováno jako adhézní teorie tření. U drsnějších povrchů se uplatňuje zaklínění nerovností obou povrchů navzájem a odřezávání výčnělků, nebo vyrývání rýh do měkčího materiálu. Tento účinek je označován jako abraze. Třecí síla je součtem adhézní smykové síly a abrazivní rycí síly. U strojních součástí určených pro vzájemný pohyb se s rycí silou setkáváme ojedinele. Uplatňuje se

však při vniknutí „ostrouhaných“ částic mezi funkční povrchy a při poškození povrchu např. únavou nebo korozí.

Kromě mechanických účinků způsobujících opotřebení se tohoto procesu mohou zúčastnit další účinky, např. chemické, nebo elektrické. Skutečné případy jsou kombinací více účinků a vlivů.

Opotřebení se rozděluje na základní druhy:

- adhezivní
- abrazivní
- erozivní
- kavitační
- únavové

1.2.1 Adhezivní

Jako adhezivní opotřebení se označuje typ opotřebení, kde při relativním pohybu funkčních povrchů dochází k jejich dotyku, k porušení povrchových vrstev, k čistému kovovému styku a vzniku mikrosvarů s následným porušováním těchto mikrospojů. To vede k přenosu materiálu z jednoho na druhý a dochází k uvolňování a vytrhávání částic materiálů. Tento proces je ovlivňován přítomností maziva mezi funkčními povrchy. Podmínky pro vznik mikrosvarů se s přítomností média zhoršují. Adhezivní opotřebení je charakteristické přenosem materiálu z jednoho povrchu na druhý a naopak. Intenzivní forma adhezivních účinků je nazývána zadírání.

1.2.2 Abrazivní

Abrazivní opotřebení je způsobeno rozrýváním a řezáním měkkého povrchu jednoho tělesa drsným povrchem druhého tvrdšího tělesa. Tentýž účinek může nastat působením oddělených částic z funkčních povrchů, zůstanou-li tyto částice mezi pohybujícími se povrchy, nebo při vnikání částic a nečistot z okolního prostředí mezi funkční plochy. Typickým poškozením jsou rýhy na povrchu. Mnohdy se volné částice zamáčkou do měkkého povrchu a rýhují do tvrdších ploch.

1.2.3 Erozivní

Při erozivním opotřebení je povrch poškozován pevnými částicemi nesenými proudem kapaliny nebo plynu, nebo samotným proudem kapaliny či plynu. Porušení povrchu je nerovnoměrné a

často výrazně zvlněné.

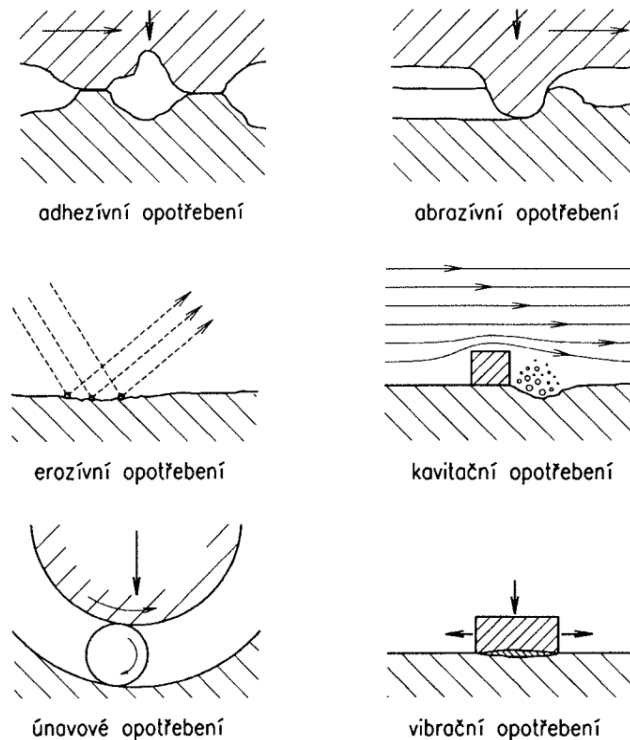
1.2.4 Kavitační

Kavitační opotřebenění je charakterizováno oddělováním částic a poškozováním povrchu součástí v oblasti zanikání kavitačních bublin v kapalině. Při proudění kapaliny dochází v místech, kde tlak poklesne pod tlak nasycených par při dané teplotě, k tvorbě malé kavitační dutiny – bubliny, vyplněné parami.

1.2.5 Únavové

Únavové opotřebenění nastává při časově proměnném namáhání povrchové vrstvy materiálu a dochází při něm ke vzniku a šíření trhlinek způsobených únavou materiálu. Trhlinky se šíří a spojují, až se postupně začnou uvolňovat částice materiálu z povrchu. Při mnohokrát opakovaném působení vysokých kontaktních namáhání ve styku dvou zakřivených funkčních povrchů dochází k tomuto jevu

poměrně často a nazývá se také kontaktní nebo povrchová únava. Protože se projevuje vypadáváním povrchových částic a vznikem dolíčků či důlků, bývá tento jev označován jako dolíčkovité opotřebenění, někdy také důlková koroze.



OBR. 5: Základní druhy opotřebení [3]

1.2.6 Závěr

V praxi se setkáváme s kombinacemi různých typů opotřebení. Často opotřebení jednoho typu vyvolá rozvoj opotřebení jiného typu. Po dosažení hranice únavové životnosti tvrdého povrchu běžným funkčním zatížením dojde k únavovému opotřebení. Velmi tvrdé částice vypadávající z povrchu způsobí rozvoj abrazivního opotřebení. Pro vznik abrazivního opotřebení je důležitá tvrdost povrchů. Obrázek č. 7 podává informaci o orientačním přehledu tvrdostí povrchů různých materiálů [3].

2. Maziva

2.1 Druhy a vlastnosti maziv

Doba, kdy člověk využíval pouze přírodní zdroje tuků a mastných kyselin je dávno pryč. V současnosti existuje velmi mnoho druhů látek na tukové bázi a stejně tak i možností jejich využití. Člověk používá mastné látky v potravinářství, farmacii, kosmetice i technice už stovky let. Proto je nyní potřeba zúžit výběr na maziva používaná v technice. Dnešní technická maziva jsou

převážně výrobkem chemického průmyslu. Jejich vlastnosti popisuje Tribofyzika a Tribochemie. Hlavním úkolem maziva je zmenšovat tření v dotkových místech dvou těles v relativním pohybu. Tato definice však nevystihuje všechny požadavky, které praxe na mazivo klade.

Počet možných funkcí maziv ve spojení s jejich základním úkolem je větší, a to:

- zmenšovat opotřebení
- zabezpečit odvod tepla
- působit jako těsnicí činitel
- chránit kovové plochy před korozi

Ve zvláštních případech se může po mazivu požadovat, aby působilo i jako elektroizolační činitel, vykonávalo funkci prostředníka pro přenos síly, nebo tlumilo rázy. Maziva se rozlišují druhově i vlastnostmi podle toho jak dalece jsou schopna tyto funkce vykonávat [4].

V třecích prvcích se významně uplatňují některé chemické prvky, které označujeme jako triboaktivní. Z kovů jsou to zinek, kadmium, arzén, antimon, cín a olovo. Nekovy s podobnými vlastnostmi jsou bór, uhlík, fosfor, síra a fluór. Jejich triboaktivita se projevuje nejen ve slitinách použitých ve třecích dvojicích, ale i v tuhých mazivech a ve zušlechťujících přísadách [5].

Při výběru maziv se musí uživatel řídit tím, že neexistují naprosto dobrá a špatná maziva, nýbrž za daných podmínek je jedno mazivo více či méně vhodné ke konkrétní operaci. Optimálního stavu je dosaženo tehdy, jestliže celková materiálová dvojice (materiál a mazivo), včetně makrogeometrických a mikrogeometrických podmínek je navzájem v souladu.

Dobré mazivo musí splňovat mnohé požadavky, které lze shrnout do těchto bodů:

- schopnost vytvořit pevný souvislý film
- mazací schopnost
- schopnost udržet se na třecích plochách
- chemická stálost
- tepelná stálost a odolnost
- snadné nanesení a odstranění
- hygienická nezávadnost
- nízká cena

Komplexním požadavkem na mazivo je, aby mělo dostatečnou mazací schopnost. To je vlastnost, která určuje schopnost přilnutí maziva k povrchu. Tento požadavek je dán především mazivostí a

viskozitou. Mazivostí posuzujeme pevnost mezní vrstvy maziva. Viskozita je ukazatelem vnitřního tření a vyjadřuje odpor proti vzájemnému posunutí molekul maziva. Lepší výsledky se dosahují u maziv s vyšší viskozitou, neboť mají schopnost odolávat vyšším tlakům. Další důležité požadavky na maziva se týkají bezpečnosti a hygieny práce. Mazadlo musí být fyziologicky nezávadné a při použití nemá jeho zápach obtěžovat okolí. V současné době hraje také důležitou roli ekologické hledisko a zamezení znečišťování životního prostředí produkty výrobců olejů a maziv. Technická maziva se využívají ve strojním průmyslu, kde plní mnoho důležitých funkcí a nesou název: Průmyslová maziva [4].

2.1.1 Průmyslová maziva

Ruku v ruce s vývojem strojů a strojních celků jde i vývoj mazacích prostředků. Požadavky strojů tedy určí užité vlastnosti maziv, a tak vlastně vymezují i sortiment mazacích prostředků.

Provozní požadavky moderních strojů na maziva lze zhruba shrnout takto:

- zajistit dokonalé mazání za běžných provozních podmínek, ale za vysokých a nízkých teplot.
- umožnit bezporuchovou funkci strojů při vysokých zatíženích i při vysokých otáčkách
- maziva musí být schopná fungovat i v agresivním prostředí; maziva musí zaručit dlouhou životnost strojů
- maziva musí případně splnit i další specifické požadavky (např. zdravotní nezávadnost, odolnost radiaci apod.)

Dnes je k dispozici sortiment maziv, který splní prakticky libovolný soubor požadavků uvedených výše. Používají se maziva plynná, kapalná, plastická a tuhá. Protože požadavků je mnoho, je sortiment maziv velmi široký.

Proto byly vytvořeny systémy klasifikace maziv, které umožňují zařazení jednotlivých produktů do klasifikačních skupin pomocí jednoduchých, mezinárodně platných symbolů. Kromě toho je pomocí zařazení maziv do přesně určených skupin možné porovnávat různé produkty a posuzovat jejich zaměnitelnost [4].

2.1.2 Druhy průmyslových maziv a jejich značení

Průmyslová maziva se klasifikují podle viskozitních tříd a podle výkonových norem.

Označení maziva podle použití a jeho kvalitativní charakteristiky je zpravidla písmenný kód umístěný před číslem označujícím viskozitu oleje podle ISO VG, např. HLP 46 podle DIN 51 524.

První písmeno zpravidla značí zařazení oleje podle jeho hlavního způsobu použití dle normy ISO 6743 nebo DIN 51 502: [6]

Tabulka 1: Značení maziv dle DIN a ISO [6]

Obecná oblast použití podle ISO 6743/0	Typové označení maziv a jejich skupin (obvyklé druhy a skupiny maziv, deklarované výrobcí)	Symbol značení skupiny podle ISO 6743/0	Symbol značení podle DIN 51 502
Ztrátové mazací soustavy	Strojní oleje nízkých užitných vlastností, ložiskové oleje s nízkými užitnými vlastnostmi, tmavé oleje (destiláty), oleje pro mazání otevřených ozubených převodů	A	AN, B
Formové oleje	Formové oleje, separační oleje (beton, asfalty, kovy aj.)	C	C, HQP
Kompresory (včetně chladičových)	Kompresorové oleje, oleje pro vzduchové kompresory, oleje pro plynové kompresory, oleje pro chladičové kompresory, oleje pro vývěvy	D	V,K
Spalovací motory	Oleje motorové pro spalovací motory	E	HD
Vřetena, ložiska a příslušné spojky	Strojní oleje, vřetenové oleje, ložiskové oleje s přísadami	F	C
Kluzná vedení	Oleje pro kluzná vedení, olej pro vodící plochy	G	CG
Hydraulické systémy	Hydraulické oleje, hydraulické kapaliny s omezenou hořlavostí	H	H, HV, HF, ATF

Obrábění kovů	Řezné kapaliny nesmíselné s vodou- řezné kapaliny, řezné kapaliny míselné s vodou-emulzní oleje, obráběcí koncentráty, oleje pro tváření	M	S,W
Elektroizolace	Elektroizolační oleje, transformátorové oleje, trafooleje, kondenzátorové oleje	N	J
Pneumatické stroje, mazání olejovou mlhou	Oleje pro pneumatické nástroje a nářadí, oleje k mazání olejovou mlhou	P	D
Přenos tepla	Teplonosná média, oleje pro přenos tepla	Q	Q
Dočasná ochrana proti korozi	Konzervační oleje, konzervační prostředky, konzervační vazelíny, konzervační vosky	R	R
Turbíny	Turbínové oleje, oleje pro parní turbíny, oleje pro plynové turbíny	T	TD
Tepečné zpracování	Kalící oleje a oleje pro termální kalení	U	L
Aplikace, vyžadující plastická maziva	Plastická maziva, mazací tuky, konzistentní maziva, vazelíny, plasty. Plastická maziva jednoúčelová, výceúčelová, speciální	X	K, G, OG, M
Ostatní aplikace	Bílé oleje, technologické oleje, změkčující prostředky, impregnační oleje, kalibrační oleje, oleje pro speciální použití aj. Oleje a prostředky neuvečené v ostatních skupinách	Y	F

Další písmena obvykle udávají, jaké musí mít olej zušlechťující přísady nebo blíže specifikují oblast použití, jak blíže specifikuje tabulka č. 2

Tabulka 2: Specifikace vedlejšího identifikačního písmena [6]

Vedlejší identifikační písmeno	Druh maziva
D	Mazací oleje, které mají detergentní přísadu, např. hydraulické oleje HLPD
E	Oleje, které se používají ve směsi s vodou (emulgační) např. emulgační olej SE
F	Mazací prostředky, které obsahují tuhé mazivo (grafit, molybdendisulfid aj.), např. olej CLPF
L	Maziva zušlechtěná přísadou proti korozi nebo přísadou antioxidační, např. CL 100
M	Emulgační kapaliny na bázi ropného oleje, např. SEM
S	Emulgační kapaliny na syntetické bázi, např. SES
P	Maziva s vysokotlakým, protiotěrovými a protizadíracími přísadami, např. CLP 100
V*	Maziva, která obsahují rozpouštědlo, např. olej, BB-V

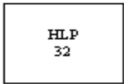
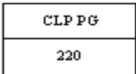
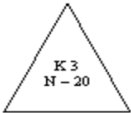

Tabulka 3: Rozdělení hydraulických olejů do kvalitativních tříd podle DIN [6]

Minerální oleje (ekologicky nešetrné) dle ISO 6743/4 a DIN 51524			
ISO	DIN	Charakteristika	Použití
HH	H	Rafinovaný ropný olej bez aditiv (není normován)	Starší hydraulické systémy (-10 až +90 °C)
HL	HL	Rafinovaný ropný olej se zlepšenou ochranou proti korozi a oxidaci	Zatížené hydrostatické pohony, včetně požadavku na dobrou separaci vody (-10 až +90 °C)
HM	HLPD	Oleje HL + aditiva snižující opotřebení	Obecně hydraulické systémy se silně zatíženými součástmi a požadavkem na dobrou separaci z vody (-20 až +90 °C)
HR	-	Oleje typu HL s přísadou pro zlepšení viskozitně- teplotních vlastností	Širší rozsah provozních teplot než oleje HL (-35 až +120 °C)
HV	HVLP	Oleje typu HM s přísadou pro zlepšení viskozitně- teplotních vlastností	Hydrostatické pohony, například ve stavebním a mobilním zařízení (-35 a 120 °C)

HS	-	Syntetické kapaliny bez zvláštních odolnosti proti hoření	Speciální použití v hydrostatických pohonech, speciální vlastnosti (-35 až +120 °C)
HG	-	Oleje typu HM s přísadou proti jevu "stick-slip"	Stroje s kombinací hydraulického systému a mazání kluzného vedení (-35 a +120 °C)
-	HLPD	Oleje typu HM s DD přísadou (detergent/disperzant)	Hydrostatické pohony s vysokým tepelným zatížením, například mobyní hydraulické systémy
Oleje se sníženou hořlavostí dle ISO 6743/4 a DIN 51502			
ISO	DIN	Charakteristika	Použití
HFA E	HFA E	Emulze typu olej-ve-vodě s podílem vody > 80%	Pohony s tlaky cca 300 bar a používané v dolech
HFA S	HFA S	Syntetické vodné roztoky bez ropného oleje s podílem vody > 80%	Hydrostatické pohony s tlaky cca 160 bar (+5 až +55 °C)
HFB	HFB	Emulze typu olej-ve-vodě s podílem vody > 60%	Například britský důlní průmysl, ale neschválený v SRN (+5 až +60 °C)
HFC	HFC	Vodné roztoky polymerů s podílem vody > 35%	Hydrostatické pohony v průmyslu a v dolech (-20 až +60 °C)
HFD R	HFD R	Bezvodé syntetické kapaliny na bázi fosforečných esterů	Mazání a regulace turbín apod. (-20 až +150 °C)
HFDS	HFDS	Syntetické kapaliny na bázi chlorovaných uhlovodíků, bez vody	Hydrauliky s požadavkem vysoké odolnosti proti hoření
HFDT	HFDT	Směs syntetických kapalin HFDR a HFDS	Hydrauliky s požadavkem vysoké odolnosti proti hoření
HFD U	HFD U	Bezvodé syntetické kapaliny na jiné bázi (například diestery)	Hydrostatické pohony, průmyslové hydrauliky (-35 až +90 °C)

Na strojích se často uvádí i grafický symbol podle normy DIN 51 502 podle následujícího schématu.

Tabulka 4: Příklady symbolů značení olejů dle normy DIN 51 502

	Hydraulický (ropný) olej HLP 32
	Průmyslový aditivovaný olej na bázi polyglykolů CLP PG 220
	Plastické mazivo (ropné) K 3 N - 20
	Plastické mazivo syntetické (silikonová báze) K SI 3 R - 30

2.1.3 Čistota oleje podle NAS

Kód normy NAS 1637 se udává jako výsledné číslo, pro největší naměřený počet částic z daných velikostních intervalů.

Tabulka 5: Rozdělení čistoty oleje pomocí normy NAS

Velikostní rozsah	5-15µm	15-25µm	15-25µm	25-50µm	50-100µm	>100µm	mg/l
NAS třída	0	125	22	4	1	0	-
	0	250	44	8	2	0	0
	1	500	89	16	3	1	-
	2	1000	178	32	6	1	-
	3	2000	256	63	11	2	-
	4	4000	712	126	22	4	0
	5	8000	1425	253	45	8	-
	6	16000	2850	506	90	16	0
	7	32000	5700	1012	180	32	1
	8	64000	11400	2025	360	64	1
	9	128000	22800	4050	720	128	3
	10	256000	45600	8100	1440	256	5
	11	512000	91000	16200	2880	512	10
12	1024000	182400	32400	5760	1024	20	

2.2 Složení průmyslových maziv

Kvalita mazacího oleje je dána kvalitou základového oleje a souborem přísad. Účinnost přísad je tím vyšší, čím kvalitnější je základový olej. Ačkoliv výkonnost oleje je obecně zvýšena účinkem přísad, z nekvalitního základového oleje nelze přidavkem přísad vyrobit vynikající mazací olej.

základový olej + aditiva = mazací (hydraulický) olej

2.2.1 Základové oleje

Výchozí surovinou pro výrobu olejů je ropa, která je směsí nejrůznějších uhlovodíků. Uhlovodíky jsou látky, jejichž molekuly jsou tvořeny různě dlouhými řetězci atomů uhlíku C, na které jsou navázány atomy vodíku H. Řetězce jsou různě rozvětvené, mohou být i cyklické. Vybrané uhlovodíky seřazené podle délky řetězce najdete v tabulce 5.

Tabulka 6: Délky uhlovodíkových řetězců

Frakce	Délka řetězce
Benzín	C5 - C12
Nafta, lehký topný olej	C10 - C20
Mazací olej	C20 - C35
Těžké topné oleje	C35 - C80
Asfalt	C80 -C100
Umělé hmoty	C100 a výše

Jednotlivé základové oleje (rafinát, hydrokrakované oleje, syntetické uhlovodíky, syntetické oleje) se získávají níže popsanými postupy. V praxi tvoří základ maziva směs jednotlivých základových olejů a proto jsou pro označování maziv používána označení minerální, polosyntetický a syntetický olej.

2.3 Postupy při získávání základových olejů

2.3.1 Rafinát

Rafinát se získává rafinací ropy, která je nejdéle známou metodou pro získávání základových olejů z ropy. Cílem rafinace ropy je rozdělit ropu na jednotlivé složky (frakce) podle délky řetězců uhlovodíků. Jednou z frakcí, která je rafinací získána jsou i základové oleje. Rafinace ropy probíhá následujícím postupem:

2.3.2 Destilace

Principem metody je oddělení jednotlivých frakcí ropy v závislosti na jejich rozdílném vypařování při různých teplotách. Ropa se při atmosférickém tlaku zahřeje, jednotlivé frakce se odpařují a při různých teplotách kondenzují. Destilací se z ropy získají frakce benzín, nafta, lehký topný olej.

Další frakce ropy s delším řetězcem lze získat pouze obtížně, jelikož se omezeně vypařují. Zbytek po destilaci (frakce, které se neodpařily) je následně podroben vakuové destilaci.

2.3.3 Vakuová destilace

Princip této metody je shodný s destilací. Vakuová destilace však probíhá za sníženého tlaku. Snížení tlaku způsobí, že se začnou vypařovat i frakce, které se za atmosférického tlaku vypařují pouze málo. Vakuovou destilací se z ropy získají především oleje různé viskozity. Zbytek po vakuové destilaci obsahuje především ropný asfalt a je dále zpracováván (např. destilací na topný mazut).

a) Rafinování

Oleje získané destilací a vakuovou destilací jsou zušlechtěny (rafinovány). V rámci rafinování jsou z olejů odstraněny nežádoucí příměsi a jsou rovněž upraveny struktury molekul uhlovodíků, ze kterých je olej složen. V rámci rafinování tak dojde ke zlepšení základních vlastností získaných olejů.

b) Odparafinování

Z olejů jsou odstraněny parafíny (uhlovodíky se specifickou strukturou molekuly), které zhoršují vlastnosti oleje při nízkých teplotách [6].

2.4 Druhy základových olejů

2.4.1 Hydrokrakované oleje

Hydrokrakované oleje se získávají hydrokrakováním produktů rafinace ropy. Cílem hydrokrakování je rozštěpit dlouhé řetězce molekul uhlovodíků (C35 a výše) na kratší řetězce molekul olejů (C20 - C35). Tímto způsobem lze získat z parafinů a těžkých topných olejů mazací oleje. Z oleje jsou odstraněny parafiny (uhlovodíky se specifickou strukturou molekuly), které zhoršují vlastnosti oleje při nízkých teplotách.

2.4.2 Syntetické uhlovodíky

Syntetické uhlovodíky jsou vyráběny syntézou (chemickým slučováním) základních stavebních uhlovodíkových molekul. Cílem syntézy uhlovodíků je vytvořit požadované molekuly složením ze základních stavebních uhlovodíků. Syntéza uhlovodíků probíhá následujícím postupem:

2.4.3 Syntetické oleje

Základem pro výrobu syntetických maziv jsou obecně produkty chemických reakcí, během kterých se z nízkomolekulárních látek vytváří velké komplexní molekuly s mazacími vlastnostmi potřebnými pro danou aplikaci. Na rozdíl od ropných olejů, které jsou tvořeny komplexní směsí uhlovodíků, je možno vlastnosti syntetických kapalin předem definovat a zajistit standardní kvalitu.

Kapaliny na syntetické bázi je možno klasifikovat následujícím způsobem:

- Syntetické uhlovodíky
 - polyalfaolefiny
 - cykloalkany
 - alkylaromáty
 - polybuteny

- Organické estery
 - diestery
 - polyolestery

- Polyglykoly
 - polyetylénglykoly
 - polypropylénglykoly

- Estery kyseliny fosforečné
 - triarylfosfáty
 - trialkylfosfáty
 - alkylarylfosfáty

- Ostatní
 - silikáty
 - silikony
 - fluorované
 - uhlovodíky

2.5 Aditiva do maziv

Aditiva nebo-li antioxidanty jsou chemické přísady, které zlepšují vlastnosti olejů a plastických maziv. Konkrétně zpomalují nebo zabraňují oxidaci olejů, prodlužují životnost olejů a podílí se na zlepšení konkrétních vlastností pro konkrétní použití. Druhy aditiv a jejich množství se liší podle způsobu užití maziva. Druhy a množství aditiv stanovují výrobci na základě norem a praktických zkoušek. Aditiva se v průběhu používání vypotřebovávají, a pokud je úbytek aditiv v oleji na 25%, musí být olej vyměněn. Jinak olej rapidně degraduje a nelze kontrolovat jeho charakteristické vlastnosti.

2.5.1 Chemická struktura aditiv

2.5.1.1 Polární aditiva

Velké množství aditiv jsou tzv. povrchově aktivní - polární látky. Polární látky jsou chemické látky, jejichž molekuly jsou nesymetrické a proto na jejich koncích vznikají elektrické náboje. Těmito náboji jsou molekuly přitahovány k povrchům, např. k povrchu pístu ve válci motoru. Polární aditiva vytvoří na povrchu tenký film, který v závislosti na chemickém složení aditiva zvyšuje odolnost proti korozi, proti usazování nečistot, proti poškození vysokým tlakem apod.

2.5.1.2 Nepochární aditiva

Nepochární aditiva nejsou povrchově aktivní, tzn. že nejsou přitahována k povrchům, ale jsou rozptýlena v celém objemu maziva rovnoměrně. Přesto jsou tato aditiva velice významná - zlepšují viskozitu maziva, snižují bod tuhnutí maziva, chrání gumová těsnění proti poškození, apod.

2.5.2 Popis jednotlivých typů aditiv s povrchovým účinkem

2.5.2.1 Detergenty

Zamezují usazování nečistot na površích, případně již vytvořené nečistoty rozpouštějí. Díky detergentům mazivo lépe přilne k mazaným plochám. Detergenty hrají významnou roli např. při ochraně pístu ve válci, kde vlivem vysokých teplot dochází k uvolňování uhlíku, který má tendenci se usazovat na pracovních plochách pístu. Vzniklé usazeniny způsobují vznik netěsností vlivem mechanického poškození (poškrábání) nebo změnou tvaru zapříčiněnou nánosem nečistot.

2.5.2.2 Disperzanty

Zabraňují tvorbě usazenin, které se tvoří především za nižších provozních teplot. Disperzanty obalí mikroskopické mechanické nebo kapalné nečistoty a zamezí tak jejich koncentraci a usazování. Nečistoty se vlivem disperzantu vznášejí rovnoměrně v celém objemu maziva. Zamezí se tak zablokování olejových kanálů a filtrů.

2.5.2.3 Aditiva zlepšující ochranu proti vysokému tlaku a opotřebením (EP, AW)

Tato aditiva chrání před opotřebením ocelové části, které se o sebe třou pod vysokým tlakem (např. ozubená kola). Aditiva vytvoří chemickou reakcí na povrchu kovu odolné vrstvy, které zamezí kontaktu kov na kov.

2.5.2.4 Aditiva zvyšující ochranu proti korozi

Tato aditiva vytvářejí na povrchu kovů ochranný film, který zabraňuje tvorbě koroze (brání oxidaci kovového povrchu). K oxidaci povrchů kovů může docházet například vlivem agresivních sloučenin vznikajících ve válci motoru při spalování palivové směsi.

2.5.2.5 Aditivum upravující tření

Tato aditiva upravují tření mezi třecími plochami na požadovanou hodnotu. Přesná hodnota tření ploch je požadována například v automatických převodovkách.

2.5.3 Aditiva zlepšující vlastnosti oleje

2.5.3.1 Zlepšující viskozitu

Tato aditiva stabilizují viskozitu maziva, tzn. viskozita maziva je méně závislá na teplotě (viz. viskozitní index). Tím rozšiřují teplotní rozsah, ve kterém je mazivo schopno plnit svou funkci. Se snižující se teplotou viskozita maziva stoupá a naopak, se zvyšující se teplotou viskozita maziva klesá. Změny viskozity maziva mají dopad rovněž na tloušťku mazacího filmu a na ztráty energie, které vznikají překonáváním odporu maziva.

2.5.3.2 Snižující bod tuhnutí

Tato aditiva snižují možnost shlukování parafinů v mazivu za nízkých teplot. Při nízkých teplotách dochází u minerálních olejů k vylučování a shlukování parafinů a tudíž ke zvyšování hustoty. Zvýšená hustota maziva a jeho nekonzistentnost zhoršuje kvalitu mazání a zvyšuje ztráty energie z důvodu překonávání odporu maziva.

2.5.3.3 Chránící elastomery

Tato aditiva zpomalují stárnutí gumových a umělohmotných částí, které jsou ve styku s mazivem (například těsnění) tím, že zamezují vyplavení chemické degradaci a s tím související degradaci elastomerů obsažených v gumových a plastových dílech. Elastomery zajišťují, aby gumové a plastové části byly stále elastické (pružné).

2.5.4 Aditiva olej chránící

2.5.4.1 Zpomalovače stárnutí

Tato aditiva omezují chemickou degradaci maziva, ke které dochází především za vyšších teplot. Likvidací oxidačních činidel zamezují vzniku nežádoucích chemických sloučenin, které zkracují životnost maziva. Degradaci mazivo tmavne a dochází ke zvyšování viskozity.

2.5.4.2 Deaktivátory kovů

Tato aditiva zabraňují chemickým reakcím probíhajícím na povrchu mikroskopických kovových částic přítomných v mazivu (ocel, měď). Kovové částičky, které vznikají třením kovu o kov a působí jako katalyzátor chemických degradačních procesů. Vytvořením ochranného filmu kolem částic kovu je zamezeno katalytickým chemickým reakcím a je tudíž zpomaleno stárnutí maziva.

2.5.4.3 Snižující pěnovost

Tato aditiva potlačují vznik olejové pěny. Intenzivním promícháváním oleje se vzduchem dochází k tvorbě pěny, která urychluje stárnutí maziva (usnadňuje oxidaci), zvyšuje stlačitelnost maziva (vznikají problémy u hydraulických soustav, motorů, kompresorů a převodovek) a může způsobit i únik maziva ze zařízení [6].

2.6 Charakteristické vlastnosti průmyslových maziv

2.6.1 Viskozita

Viskozita je jednou z nejdůležitějších vlastností tekutých maziv, určuje tvorbu tekutinového tření (mazání), únosnost mazacího filmu, velikost odporů při rozběhu pohyblivých částí strojů, těsnicí schopnost maziv, jejich čerpatelnost, tepelnou vodivost apod.

Viskozita kapalin je proměnlivá veličina, která je závislá nepřímo na teplotě. V zájmu dobré účinnosti mazání je, aby se viskozita oleje měnila v závislosti na teplotě co nejméně. Tato závislost je určena tzv. viskozitním indexem. Čím je tento index větší, tím je závislost na změnách teploty nižší [4].

2.6.2 Definiční vzorce

Kinematická viskozita

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

Tekutost

$$\varphi = \frac{1}{\eta}$$

Vnitřní tření

$$\tau = \eta * \frac{dv}{dy}$$

Vnitřní tření: $\tau = [N * m^{-1}]$

Dynamická viskozita: $\eta = [N * s * m^{-2}]$

Kinematická viskozita: $\nu = [m^2 * s^{-1}]$

Tekutost: $\varphi = [N^{-1} * s^{-1} * m^{-2}]$

Hustota: $\rho = [kg * m^{-3}]$ [7]

2.6.3 Odparnost

Odparnost par i lehkých kapalných maziv je při teplotách do 50 °C velmi malá. Se vzrůstající teplotou se však zvyšuje v závislosti na obsahu lehkých podílů.

Znalost odparnosti olejů je důležitá z hlediska ztrát olejů a bezpečnosti při jejich použití a manipulaci. Tam, kde pracuje mazivo v tenkém filmu na tepelně exponovaném povrchu, mohou ztráty odparností působit poruchy mazání v důsledku nedostatku, nebo zmenšení jeho mazivosti. U hydraulických olejů je však úbytek malý, a to díky nízkým teplotám, při kterých hydraulické oleje běžně pracují. Pokud ztratí ale například hydraulický lis více jak 10 % své náplně během roku plného provozu, tak je potřeba se zamyslet nad možnostmi úniků kapaliny a dalších možností poruchy.

2.6.4 Mazací schopnost

Je vlastnost, která se projevuje přilnutím maziva k mazanému povrchu a vytvořením souvislé mazací vrstvy s dostatečnou přilnavostí a s malým vnitřním třením. Mazací schopnost je charakterizována především mazivostí a viskozitou. [5]

2.6.5 Mazivost

Podle této vlastnosti posuzujeme pevnostní mezní vrstvy maziv a je charakterizována mazacími vlastnostmi v podmínkách mezního tření. Mazivost je ovlivňována fyzikálně chemickými ději probíhajícími mezi mazivem a mazaným materiálem. Upravuje se látkami, které mají velkou polaritu ke kovu (mastné látky), nebo s nimi chemicky reagují, a tak zlepšují kluzné vlastnosti povrchu. Mazivost bývá často upravována pomocí aditiv. Cílem je, aby olejový film co možná nejlépe přilnul ke stykové ploše a minimalizoval tak tření. Proto je řešen úbytek aditiv pod 25 % výměnou, neboť olej ztrácí také jednu z těchto nedílných vlastností.

2.7 Oxidace olejů

2.7.1 Oxidační a termické stárnutí

Oxidace jako taková je reakce mezi kyslíkem ze vzduchu a molekulami oleje, většinou mezi kyslíkem a uhlovodíky. Kyslík je při oxidaci zabudován do molekul oleje a mění tím jeho vlastnosti. Oxidace oleje je podporována teplotou. Čím je teplota oleje větší, tím rychleji se olej oxiduje. Zvýšení teploty o 10° C přináší přibližně zdvojnásobení rychlosti oxidace. Protože oxidace je podporována zvýšenou teplotou, mluví se často o termooxidačním stárnutí oleje, při němž olej kromě oxidace podléhá současně i určitým termickým změnám [8].

2.7.2 Negativní vlivy oxidace olejů

1. Oxidační produkty, zejména kyseliny, přispívají ke zvýšení kyselosti oleje a ke stupňujícímu se korozivnímu působení na olej.
2. Pokud je rozsah oxidace již větší a oxidační produkty se v oleji postupně nahromadí, mohou mezi sebou reagovat a způsobují zvýšení viskozity oleje.

2.8 Recyklace olejů

Recyklace olejů ve smyslu jejich obnovení a znovu-použití je pro Českou republiku poměrně nové téma. Technologií obnovy olejů se tu zabývá zhruba šest firem, z toho tři využívají totožnou technologii.

Recyklace - regenerace oleje může ušetřit hodně peněz a bere větší ohled na životní prostředí. Filtrovat lze velkou škálu kapalin, ať už řezné nebo hydraulické oleje, případně obráběcí kapaliny, jako emulze nebo i speciální nehořlavé hydrauliky a jiné. Pomocí technologických postupů můžeme odstranit z oleje veškerou vodu včetně nečistot určitých rozměrů. Lze tedy říci, že jsme pomocí technologií schopni vytvořit ze starého oleje olej plně funkční, který bude splňovat předepsané normy a bude možné olej opakovaně použít.

Regenerací jsme schopni zredukovat podíl vody volné a vázané na zanedbatelné číslo. Stejně tak je tomu i u nečistot, kdy jsme schopni olej vyčistit pomocí filtrací až na čistotu NAS 6, což je čistota nového oleje. Ohledně aditiv však nastává problém. Doplnění aditiv je velice složitý proces. Dokonce ani konkrétní firmy zabývající se regenerací olejů neznají přesný obsah aditiv v oleji a doplňování probíhá pouze z instrukčních listů, kde je vypsáno „Přidejte 16 % z balíčku XV“. Konkrétní hodnoty pro aditiva si tedy každý výrobce chrání, a to z důvodů možnosti prozrazení svého know-how a následného plagiátorství [12].

2.8.1 Recyklace olejů ve firmě FILTRATION TECHNOLOGY s.r.o.

Společnost se zabývá recyklací olejů, jejich analýzami a výrobou filtračních zařízení. Recyklační technologie má stanovený průběh v následujícím pořadí.

1. Odběr vzorku a analýza

Před rozhodnutím, zda filtrovat, či nikoliv, je proveden odběr vzorku dle normy a je provedena komplexní analýza stavu oleje. Z této analýzy se následně vypracuje závěr, ve kterém je shrnuto, zda olej vyhovuje požadovaným parametrům nebo je doporučeno nápravné opatření. Filtrovat lze velkou škálu kapalin, ať už řezné nebo hydraulické oleje, případně obráběcí kapaliny jako emulze nebo i speciální nehořlavé hydrauliky a jiné. U každého typu jsou doporučeny výrobcem stroje a výrobcem kapaliny parametry týkající se viskozity, požadované čistoty nebo koncentrace. U různých druhů kapalin analyzujeme odlišné parametry. Například u hydraulických olejů kontrolujeme úbytek aditiv, znečištění, kyselost a případně další parametry.

2. Vyhodnocení analýzy

Pokud degradace a znečištění oleje dosáhly extrémního stupně znečištění, nebo jsou vyčerpána aditiva, která dávají oleji charakteristické vlastnosti, je doporučena ekologická likvidace oleje.

3. Kalkulace nákladů

Obecně platí, že u menších objemů oleje se cenově vyplatí výměna oleje za nový. V případě množství zhruba 1000 litrů a více se vyplatí regenerace oleje. Výsledkem analýzy je protokol, který společnost zašle zákazníkovi. Na něm lze vidět naměřené hodnoty na vzorku oleje a maximální přípustné hodnoty. V případě nutnosti úprav oleje jsou navrhovány čtyři varianty.

- a) Filtrace v prostorách společnosti. Ta je prováděna, pokud je olej extrémně znečištěn a zároveň ho nelze filtrovat u zákazníka, nebo je ho veliké množství. Po předání je provedena samotná filtrace a olej je vrácen zpět s protokolem o výsledném stavu oleje.
- b) By-pass filtrace, která je prováděna zařízením u zákazníka přímo za běhu stroje. Filtrační zařízení je připojeno přímo na oběh stroje. Provádí se jako dočišťující operace po čištění, nebo jako hlavní činnost. Cílem je vyčištění, nebo dočištění oleje včetně vnitřních ploch stroje. Jedná se o velmi častou variantu filtrace. Přistupuje se k ní např. při zjištění zhoršení stavu oleje v rámci interního monitoringu, nebo při záběhu nového stroje.
- c) Vyčištění stroje a následná filtrace oleje. Tato metoda se nejčastěji aplikuje při plánovaných odstávkách stroje. Minimálně jednou ročně je potřeba stroj vyčistit i po mechanické stránce. V některých případech jsou na strojích usazeniny, které není možné odstranit běžnou filtrací. U třískového obrábění se často v nádržích udržuje nános třísek na dně nádrže, nebo v místech, kde dochází k cirkulaci oleje.
- d) Výměna oleje za nový přes filtrační jednotku a ekologická filtrace starého oleje.

4. Filtrace

Samotné provádění filtrace je opět značně individuální v závislosti na druhu oleje a na tom, kde je olej umístěn. V ideálním případě se dostaví servisní technici k zákazníkovi.

Vyčerpají olej z olejové nádrže do IBC kontejneru a provedou vyčištění nádrže.

V průběhu provozu stroje se na dně nádrže usazují nečistoty, které by degradovaly celou filtraci.

Olej v IBC se při nízké kontaminaci čistí u zákazníka na místě, zatímco probíhá čištění a následně je přes filtrační jednotku plněn zpět do čisté nádrže.

V případě, že je olej více znečištěn, je filtrace z pravidla prováděna v prostorách firmy. V takovém případě je do stroje plněn většinou nový olej a filtrovaný se následně používá na dolévání nebo se následně dvě náplně točí v nastavených časových intervalech, kdy jedna je na filtraci a druhá pracuje ve stroji.

Po naplnění olejové nádrže se filtrační zařízení napojí by-passově na nádrž a za běhu stroje se, v závislosti na velikosti objemu, provádí filtrace po dobu několika dní. Ačkoliv byly olej a nádrž vyčištěny, tak jisté procento nečistot je stále v rozvodech stroje. Po zapnutí se tyto nečistoty vyplaví zpět do nádrže. Proto je ponechána filtrační jednotka několik dní u stroje pro celkové dočištění systému.

5. Ukončení

Pro ukončení filtrace je potřebný vyhovující vzorek, který splňuje veškeré normy. Pokud vzorek vykazuje veškeré parametry shodné, nebo lepší než jsou požadované, je filtrace ukončena [12].

2.8.1.1 Filtrační zařízení společnosti FILTRATION TECHNOLOGY

Společnost používá několik typů zařízení. To, které zařízení lze nejlépe použít je vyhodnoceno z analýzy odebraného vzorku oleje.

Mobilní filtrační zařízení FT-OH-1600

Používá se převážně pro filtraci hydraulických olejů. Díky filtračním vložkám FT-V88 je zařízení schopno pojmout velké množství nečistot a navíc jsou tyto vložky schopny absorbovat 1.500ml volné i vázané vody z oleje.

Specifikace zařízení:

- vhodné pro hydraulické, turbínové, převodové oleje, biooleje aj.
- nominální filtrační schopnost nad 1µm mechanické nečistoty

- součástí zařízení je také laserový čítač částic, který dovoluje kontrolu čistoty oleje během filtrace
- absorpce vody až 12 litrů
- průtok $Q = 40 \text{ L/min}$ při teplotě 40°C a kinematické viskozitě 32 cSt
- regulovaný průtok
- napájecí napětí $3 \times 400 \text{ V}$
- mobilní filtrační zařízení s instalovaným vlastním ohřevem až 15 kW
- vhodné pro velké olejové hospodářství a pro filtraci velkých jednotkových nádrží až 30.000 litrů oleje [20]



OBR. 6: Mobilní filtrační zařízení FT-OH-1600 [20]

Mobilní filtrační zařízení FT-MZ-RF-40

Zařízení se používá pro jemnou a rychlou filtraci. Zařízení má navíc tzv. rukávový filtr, který má obrovskou jímavou schopnost. Využívají se také modulové filtry s absolutní jemnostní filtrace. Jde ovšem o dražší variantu, která je používána především při nutnosti dosáhnout NAS 5 – 4, nebo když je třeba dostat špatný olej rychle do provozuschopného stavu.

Specifikace zařízení:

- vhodné pro hydraulické, turbinové, nízkoviskózní oleje, rostlinné oleje, a naftu
- předfiltr rukávový RF s volbou jemnosti od 5 do $100 \mu\text{m}$
- absolutní filtrační schopnost MZ od $0,3 \mu\text{m}$ až do $20 \mu\text{m}$ mechanické nečistoty
- absorpce vody až 2 litry
- průtok $Q = 40 \text{ L/min}$ při teplotě 40°C a kinematické viskozitě 32 cSt
- regulovaný průtok
- napájecí napětí $3 \times 400 \text{ V}$
- vhodné pro větší olejové náplně, kde je požadováno docílení maximální čistoty v třídách 4 až 6 dle normy NAS [20]



OBR. 7: Mobilní filtrační zařízení FT-MZ-RF-40 [20]

Mobilní vakuové filtrační zařízení FT-VZ-16

V případě filtrace vody z oleje je používána jednotka FT-VZ. Jde o vakuovou vysušovací jednotku, ve které se voda odstraňuje pomocí vakua. Ve vytvořeném vakuu voda vře u 40°C a vodní páry jsou odsávány do chladiče, kde kondenzují a jsou stáčeny do odpadních kanystrů. Díky nízké teplotě netrpí samotný olej. Součástí jsou také filtry, které olej dočišťují i po mechanické stránce.

Specifikace zařízení:

- vhodné pro hydraulické, turbínové, řezné a chladicí oleje a ostatní minerální oleje
- vhodné pro oleje kontaminované vysokým % vody až 30 %
- nominální absorpce až 1µm mechanické nečistoty
- absorpce vody od 5 až do 50 Ltr/den
- regulovatelný průtok $Q = 16 \text{ L/min}$
- ohřevový výkon $2 \times 7500 \text{ W}$, el. nastavitelná teplota ohřevu od 45 do 850 °C
- celkový příkon 18 kW
- napájecí napětí $3 \times 400 \text{ V}$
- zařízení lze aplikovat ve všech oborech průmyslu /strojírenství, gumárenství, automotive aj./[20]



OBR. 8: Mobilní vakuové filtrační zařízení FT-VZ-16 [20]

Odstředivá jednotka

Jednotka odstraňuje velké množství nečistot (vstup v podobě bahna a výstup je „čistý olej“ a kal). Odstředivá jednotka čistí olej do jemnosti až 5 μ m. Což je většinou hrubá filtrace, která ovšem šetří jemnější filtry. Odstředivá jednotka je tedy předstupeň konečné filtrace, nikoliv samostatná filtrace [20].

3. Metody diagnostiky stavu hydraulických olejů

3.1 Infračervená spektroskopie

3.1.1 Princip metody infračervené spektroskopie

Infračervená spektroskopie je analytická technika určená především pro identifikaci a strukturní charakterizaci organických sloučenin a také pro stanovení anorganických látek. Tato technika měří pohlcení infračerveného záření o různé vlnové délce analyzovaným materiálem. Infračerveným zářením je elektromagnetické záření v rozsahu vlnových délek zhruba 0.78 – 1000 μ m.

Principem metody je absorpce infračerveného záření při průchodu vzorkem. Analytickým výstupem je infračervené spektrum, které je grafickým zobrazením funkční závislosti energie intenzity procházejícího záření, většinou vyjádřené v procentech transmitance (T) nebo jednotkách absorbance (A) na vlnové délce dopadajícího záření. Transmitance (propustnost) je definována jako poměr intenzity záření, které prošlo vzorkem (I), k intenzitě záření vycházejícího ze zdroje (I_0).

V praxi nejčastěji používáme infračervené spektrometry s Fourierovou transformací, nebo-li FTIR spektrometry. Jedná se o přístroje pracující na principu interference spektra, které na rozdíl od disperzních přístrojů měří interferogram modulovaného svazku záření po průchodu vzorkem. Tyto přístroje vyžadují matematickou metodu Fourierovy transformace, abychom získali klasický spektrální záznam. FTIR spektrometry vykazují celou řadu výhod. Při měření dopadá na detektor vždy celý svazek záření. Takové uspořádání umožňuje i experimenty, při nichž dochází k velkým energetickým ztrátám, tj. měření silně absorbujících vzorků nebo měření s nástavci pro analýzu pevných či kapalných vzorků v odraženém světle - reflektační infračervená spektroskopie. Rozvoj FTIR spektrometrie umožnil i rozvoj infračervené mikroskopie. [9]

3.1.2 Příklad - infračervený spektrometr s Fourierovskou transformací - Nicolet iS10

Příklad má široké využití, ale ohledně hydraulických olejů jsme schopni pomocí něj zjišťovat:

- míru oxidace
- míru nitridace



OBR. 9: Infračervený spektrometr s Fourierovskou transformací - Nicolet iS10

3.2 Rentgenofluorescenční analýza (XRF)

3.2.1 Princip metody rentgenofluorescenční analýzy

Rentgenofluorescenční analýza (XRF) je metodou atomové spektroskopie subvalenčních elektronů, která nachází široké uplatnění především při analýze pevných vzorků. XRF analyzuje pouze povrchovou vrstvu předmětu a tudíž může být výsledek analýzy zkreslen např. korozní vrstvou na povrchu studovaného materiálu.

Principem metody je ionizace atomů vzorku primárním rtg. zářením dopadajícím na analyzovaný vzorek. Při dopadu na analyzovaný vzorek dochází k vyrazení elektronů z vnitřních obalových slupek atomů (K, L, M, N) a k přeskokům elektronů z vyšších hladin na uprázdněná místa po uvolněných elektronech, za současného vysílání charakteristického fluorescenčního rtg. záření. XRF je tedy metoda založená na sledování sekundárního rtg. záření a jejím výstupem je čárové spektrum, ve kterém je zobrazen počet pulsů za sekundu pro příslušné vlnové délky, nebo příslušné energie fotonu.

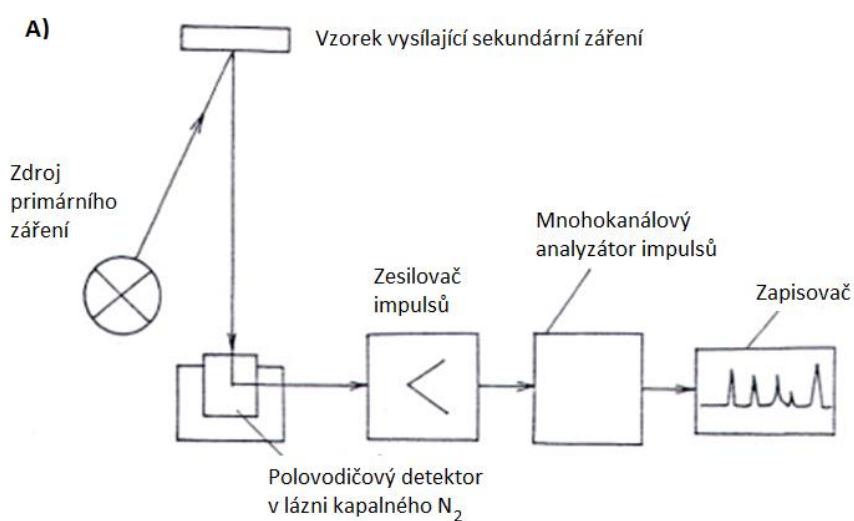
V případě vlastních XRF spektrometrů rozlišujeme dva zásadně odlišné přístupy k analýze, a to vlnově-disperzní (WLDXRF) a energiově-disperzní (EDXRF).

Stejně jako všechny spektrální metody i XRF je metoda závislá na složení matrice vzorku – roli hraje vliv fyzikálního stavu látky a vliv chemického složení matrice. Z těch fyzikálních je to např. vliv skupenství a granulace vzorku, jeho chemické složení pak ovlivňuje sekundární absorpci

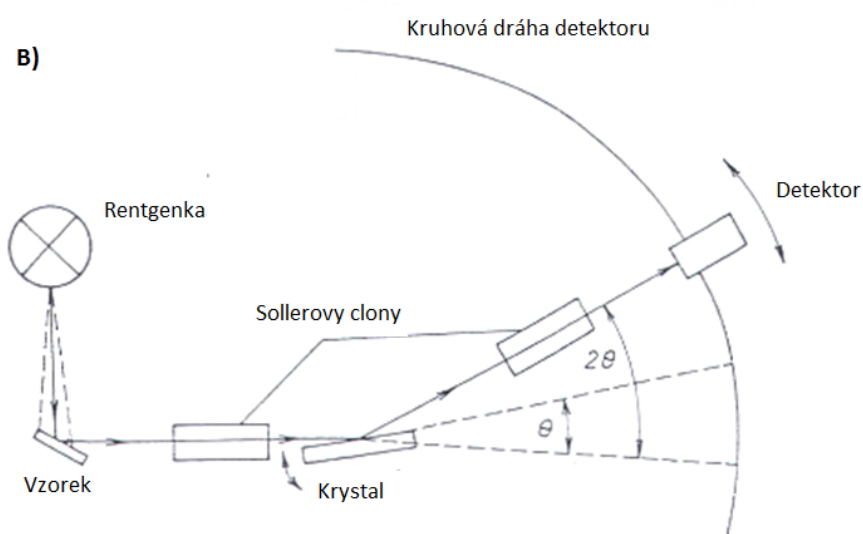
charakteristického záření stanoveného prvku prvky matričními (doprovodnými). Matriční prvky mohou také rušit stanovení svým charakteristickým zářením a absorpcí primárního záření rentgenky.

Metoda se skládá z následujících kroků:

- buzení charakteristického záření
- monochmatizace vybuzeného charakteristického záření
- detekce záření
- vyhodnocení XRF spektra [10]



OBR. 10: Schéma XRF spektrometru - A) Energiově-disperzní spektrometr



OBR. 11: Schéma XRF spektrometru - B) Vlnově - disperzní spektrometr

3.2.2 Přístroj – XRF spektrometr

Za pomoci rentgenofluorescenční analýzy jsme schopni určit v oleji prvky kovové i nekovové. Čím vyšší je atomové číslo, tím lépe lze prvek identifikovat. Kupříkladu nelze identifikovat vodík kvůli nízkému atomovému číslu. Pomocí tohoto přístroje jsme schopni identifikovat prvky: Mg, Al, P, S, Cl, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Sn, Pb.

3.3 Coulometrie pro stanovení čísla kyselosti TAN

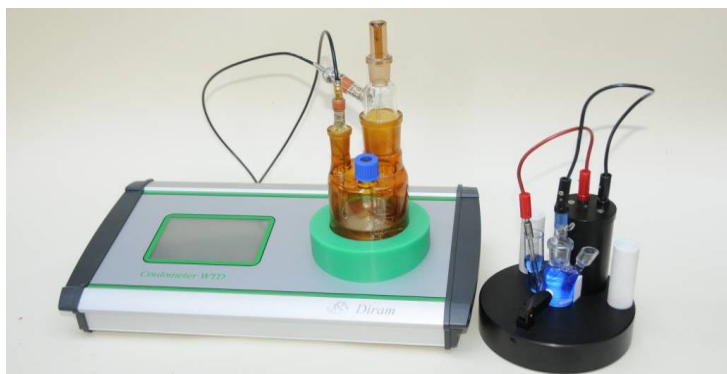
3.3.1 Princip metody coulometrie

Coulometrie je jedna z nejuhodnějších metod elektrochemické analýzy, protože množství stanovované látky se převádí na měření proudu. Množství stanovované látky se vypočte z prošlého náboje potřebného k úplnému průběhu příslušné reakce.

Číslem kyselosti olejů TAN (Total Acid Number – celkové číslo kyselosti) se dle definice rozumí množství KOH v miligramech, potřebné pro zneutralizování kyselých složek obsažených v jednom gramu oleje. Jeho stanovení se provádí volumetrickou titrací roztokem hydroxidu v prostředí organických rozpouštědel. Při coulometrickém stanovení čísla kyselosti je titrační činidlo (hydroxylové ionty) generováno přímo na platinové katodě rozkladem vody. Neutralizace probíhá v uzavřeném katodickém oddělení elektrolytické nádoby bez přítomnosti vzduchu. Je tak vyloučen rušivý vliv atmosférického oxidu uhličitého. Výhodou této mikroanalytické metody je velmi malá spotřeba rozpouštědel, cca 10 ml na jedno stanovení. Coulometrie umožňuje vysokou přesnost odměrování reakčního činidla [11].

3.3.2 Přístroj Coulometr WTD

Pomocí WTD přístroje jsme schopni s pomocí titračního roztoku změřit číslo TAN. Titrační roztok je směs alkoholu a toluenu (1:2) s vhodným indikátorem a solí elektrolytu. Výsledkem analýzy je ekvivalentní množství KOH v mikrogramech, které je po zadání navážky vyjádřeno přímo jako číslo kyselosti TAN v [mg*KOH/g].



OBR. 12: Coulometr WTD [11]

3.4 MPC metoda – stanovení potenciálu k tvorbě úsad

3.4.1 Princip metody MPC

Jakmile se spustí degradace antioxidantů v mazivu, prvním fyzickým dopadem na mazivo je produkce velmi malých submikronových částic nečistot. Tyto částice se mohou skládat z produktů degradace základových olejů, ale v počátečních fázích vývoje se častěji jedná o degradované antioxidanty. MPC nabízí možnost měření a sledování množství nerozpustných nečistot v oleji a umožňuje tak předem upozornit na nebezpečí tvorby úsad v kritických komponentech strojů a zařízení tím, že definuje potenciál oleje k tvorbě úsad, resp. příčinu vedoucí k většině problémů strojů a zařízení. Metoda je relativně jednoduchá a přímočará zkouška, kterou je možné provádět i v provozu.

Padesát mililitrů vzorku oleje se smíchá se stejným množstvím rozpouštědla a filtruje se přes laboratorní membránu s póry o velikosti 0,45 μm . Kolorimetr vyhodnocuje zbarvení membrány způsobené zachycenými nerozpustnými nečistotami a produkty degradace. Čím vyšší je změřená hodnota ΔE kolorimetrem, tím vyšší je znečištění oleje a tím vyšší je zároveň i potenciál k tvorbě úsad v olejovém systému. Jinými slovy – čím je membrána po průchodu vzorku oleje světlejší, tím nižší je hodnota změřená kolorimetrem a tím vyšší bude spolehlivost a životnost strojů a zařízení. Podle naměřené hodnoty je možné snadno zařadit stav oleje do jedné z následujících skupin:

- normální stav, $\Delta E < 15$;
- zhoršený stav, $\Delta E = 15\text{--}30$;
- abnormální stav, $\Delta E = 30\text{--}40$;
- kritický stav, $\Delta E > 40$

3.4.2 Přístroj MPC Color

Kolorimetr MPC Color je příruční měřicí přístroj, který umožňuje měřit zbarvení membrán olejových zkoušek kdekoliv – přímo v provozu nebo laboratoři. Kolorimetr MPC Color vyhodnocuje viditelnou část spektra a je optimalizován pro provádění MPC analýz. Výhodou tohoto měření je velice vysoká přesnost a opakovatelnost s nulovými provozními náklady [14].



OBR. 13: MPC Kolorimetr [11]

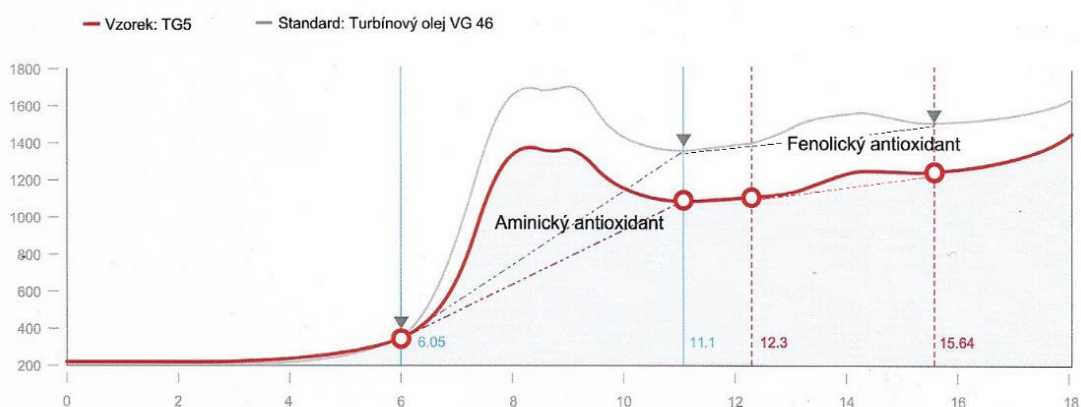
3.5 Metoda Ruler

Technologie RULER poskytuje způsob, jak určit zbývající životnost maziv stanovením hladiny antioxidantů v olejích a mazivech. RULER identifikuje typ aktivních antioxidantů v oleji a porovnáním výsledků s novým olejem umožňuje určit, kolik antioxidantů bylo vyčerpáno. Pokud známe stáří oleje či průběh motohodin, jsme schopni určit i zbývající životnost oleje.

Dříve se používaly v turbínových olejích antioxidanty výhradně fenolického typu, jejichž kvantitativní analýzu bylo možné provádět například pomocí FTIR. U moderních typů olejů se využívá komplex stíněných fenolů a aromatických aminů. U řady dalších průmyslových maziv či v motorových olejích se používají antioxidanty na bázi zinku. Právě pro přesné kvantitativní stanovení obsahu antioxidantů aminového typu vznikla laboratorní metoda RULER. V tuto chvíli také jde o jedinou přesnou a komerčně dostupnou metodu stanovení obsahu antioxidantů všech zmíněných typů.

Technologie RULER využívá pro měření voltametrii. Vzorek je smíchán s roztokem, který zajistí lepší citlivost přístroje a zlepšení viditelnosti výsledků na výstupním grafu.

Graf 1: Vzorový voltamograf z přístroje Ruler



Na grafu lze vidět výstupní měření dvou olejů a to konkrétně nového oleje (šedá křivka), který je nezbytný pro porovnání a použitého oleje (červená křivka). Porovnávání vždy provádíme porovnáváním ploch vymezených křivkami v jednotlivých oblastech. Konkrétně tedy zvlášť v oblasti aminických antioxidantů a zvlášť v oblasti fenolických antioxidantů. Porovnáváme plochy v jednotlivých oblastech, které vymezuje vždy v horní mezi křivka a dolní mezi úsečka čerchovanou čarou. Porovnávají se vždy obsahy jednotlivých píků v jednotlivých oblastech. Z grafu po výpočtu jednotlivých ploch s pomocí integrací vychází, že aminický antioxidant je oproti novému na 75,3 % a fenolický antioxidant na 16,6 %.

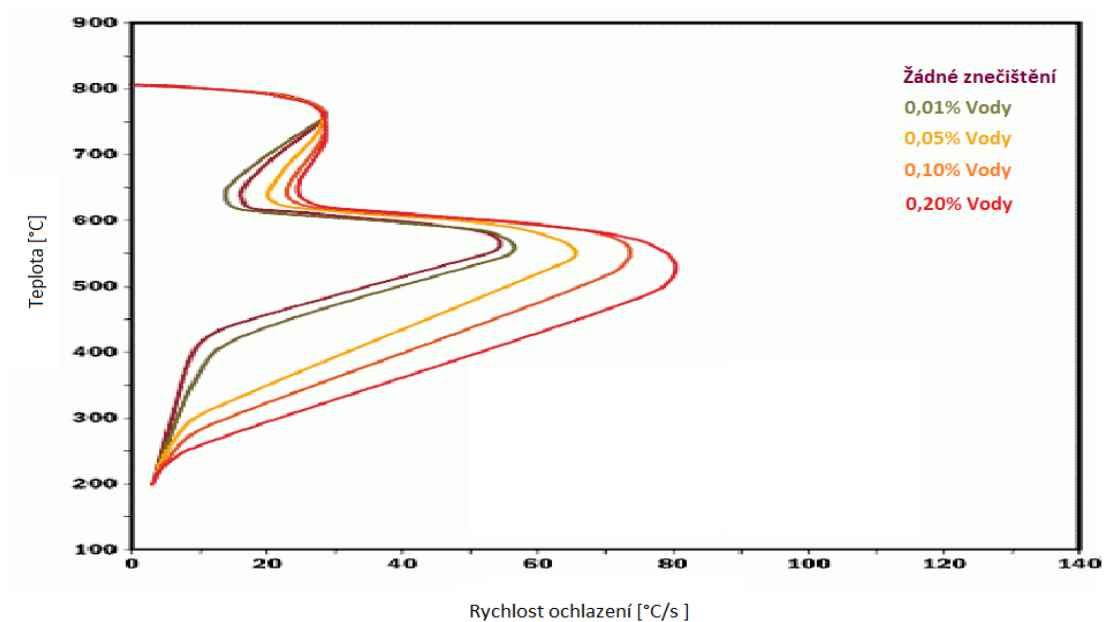
4. Doplnkové metoda měření stavu olejů

4.1 Quenchtest

4.1.1 Princip metody Quenchtest

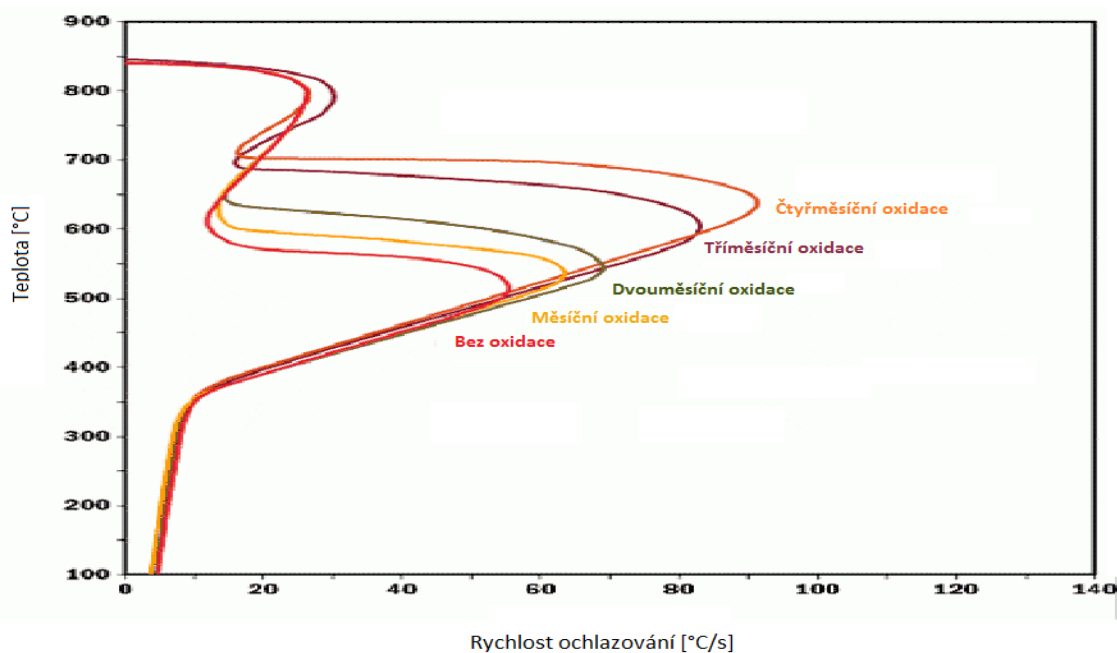
Metoda je založena na bázi přirozené konvence tepla a používá se převážně pro kalicií oleje. Výstupem této metody měření je graf závislosti ochlazovací rychlosti na teplotě. Měření probíhá tak, že se sonda, která simuluje kalený předmět, zahřeje na teplotu ideálně 800 – 850°C pomocí pícky. Po zahřátí je sonda vložena do litrové nádoby s olejem o teplotě 20°C. Sonda je termočlánek, který je umístěný v Inconelovém (slitina Ni -Cr) pouzdře. V případě použití trubice z oceli by nastal problém kvůli fázovým přeměnám a došlo by ke zkreslení výsledků kvůli ztrátě energie na fázové přeměny. Inconel žádným fázovým přeměnám v tomto rozmezí nepodléhá. Navíc tato slitina neoxiduje a lze ji snadno udržovat čistou.

Graf 2: Závislost rychlosti ochlazování oleje na teplotě vzorku s různým stupněm degradace



Graf č. 2 poukazuje na změny chování oleje s postupným stupněm degradace. V oblasti teplot 850 – 760°C rychlost ochlazování oleje plynule roste. Po sestoupení teploty oleje pod hranici 760 °C si lze všimnout prudkého poklesu ochlazovací rychlosti. Příčinou je tvorba plynového polštáře. Jedná se o jev, kdy se mezi povrchem tělesa a kapalinou vytvoří polštář plný plynů a způsobí tak zpomalení ochlazování až do teplot 620 °C, kdy plynový polštář zanikne. Následně pak dochází k přechodu do bublinkového varu, a to až do teplot 350 – 400 °C. Poté nastává přenos tepla pouze prouděním v kapalině.

Graf 3: Závislost rychlosti ochlazování oleje na teplotě vzorku s různou mírou oxidace



4.1.2 Přístroj - ivf SmartQuench

Ivf SmartQuench systém se skládá z následujících komponent:

- testovací sonda s držákem
- pírka na ohřev sondy
- litrová nádoba pro testování



OBR. 14: Obecná sestava metody Quenchtest

PRAKTICKÁ ČÁST

5. Měření zkušebních vzorků

Úvod

Cílem bakalářské práce bylo experimentálně rozlišit nový a recyklovaný olej, a to ať už s pomocí jedné metody, nebo jejich souboru. Pro měření jsme použili olej Paramo HM 46. Recyklát jsme zakoupili od společnosti FILTRATION TECHNOLOGY. Porovnán byl tedy nový olej, recyklovaný a použitý. Rozlišení recyklátu a nového oleje bylo velice obtížné a došlo k rozšíření zadání bakalářské práce o další metody.

5.1 Quenchtest

5.1.1 Optimalizace použití metody Quenchtest

Tuto metodu je nutné upravit, neboť jak bylo zmíněno v teoretické části, jedná se o metodu především určenou pro kalicí oleje. Při ohlédnutí se za grafy č. 1 a 2 a z logické úvahy lze usoudit, že při diagnostice hydraulického oleje je pro nás nepodstatná oblast plynového polštáře i bublinkového varu.

Proto se lze při optimalizaci této metody omezit na ohřev sondy maximálně do 400°C, což bývá teplota před bodem varu oleje.

Se sníženou teplotou prováděného testu je zapotřebí zvýšení citlivosti sondy pro získání lepších výsledků. Při ohlédnutí na graf č. 1 lze vidět, že měřené vzorky v tomto teplotním rozmezí nevykazují veliké rozdíly. Nepřesnost termočlánku je pro měření v teplotách do 400 °C příliš velká, a proto není termočlánek pro tuto modifikaci vhodný a je zapotřebí sestavit sondu s jiným článkem.

Optimalizaci měření navrhuji provést ve dvou variantách:

1. První možností je snížení teploty sondy do 400 °C a sestavení sondy s odporovým článkem. Konkrétně s odporovým článkem Pt100. Zkratka Pt v názvu značí, že jde o článek platinový a číslo 100 značí odpor v jednotkách ohm při 0 °C. Článek je potřeba zabudovat do incelové tyče. Přesnost tohoto článku je v desetinách stupňů.

Cenová náročnost

Odporový teploměr Pt100 = 2 270 Kč vč. DPH [17]

Incelová tyč, vnější průměr 10 mm, délka 0,3m = 570 Kč vč. DPH [18]

2. Druhou možností je snížení teploty sondy do teploty 120°C a sestavení sondy s polovodičovým článkem. Konkrétně s článkem Flajzar DS18B20, který má teplotní rozsah 50 – 125 °C a měří s přesností setin. Požadavkům měření plně vyhovuje. Článek je také potřeba zabudovat do Incelové tyče [18].

Cenová náročnost

Polovodičový teploměr Flajzar DS18B20 = 259 Kč vč. DPH [17]

Incelová tyč, vnější průměr 10 mm, délka 0,3m = 570 Kč vč. DPH [18]

5.1.2 Závěr

Hydraulické oleje mohou pracovat maximálně do teploty 100°C. Proto je vhodnější druhá možnost optimalizace s polovodičovým článkem. Díky přesnosti tohoto článku nedojde nijak ke znehodnocení měření a z pohledu cenového porovnání je tato volba také vhodnější.

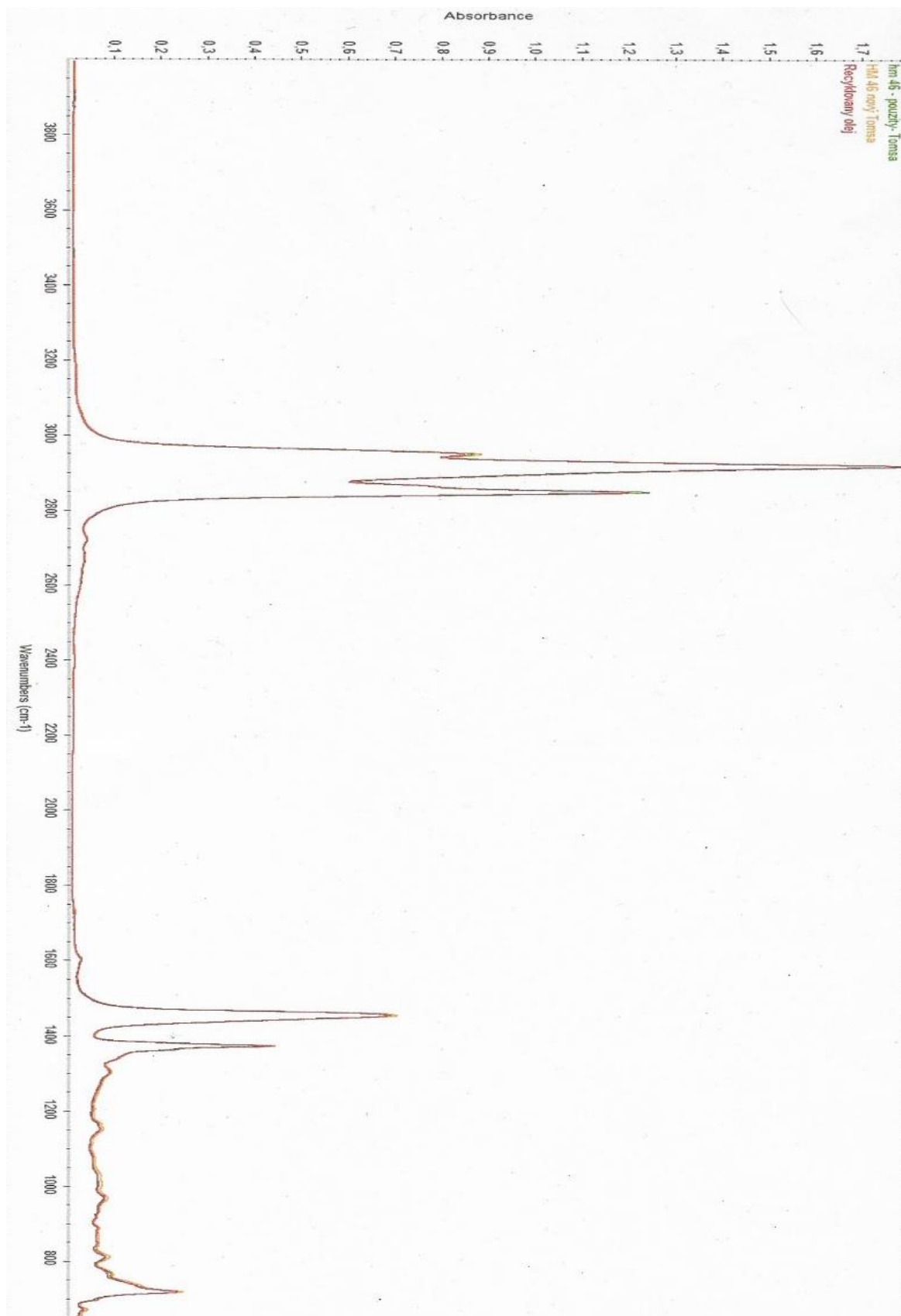
Časová a cenová náročnost optimalizace sondy je obrovská. Prvním problémem je zakoupení článku a trubky. Dalším problémem je zabudování článku do tyče. Je za potřeby do tyče vyvrtat slepý otvor a do otvoru zabudovat článek. Inconel je problematicky svařitelný a těžce tvářitelný. Proto bylo přistoupeno k rozšíření původního zadání práce o další metody, jak spolehlivě diagnostikovat rozdíl mezi novým olejem a recyklátem.

5.2. Infračervená spektroskopie na přístroji Nicolet is10

Pokusili jsme se rozlišit oleje pomocí této metody, v rámci které jsme porovnávali tři vzorky. Konkrétně nový olej, recyklát a použitý olej. Výstupem této metody je graf závislosti absorpance na vlnové délce. Potencionální možnost, kde rozlišit oleje bylo v tzv. oblasti finger print, kdy porovnáváme oleje s etalonovým vzorkem a sledujeme, zda jsou křivky totožné a do jaké míry tomu tak je.

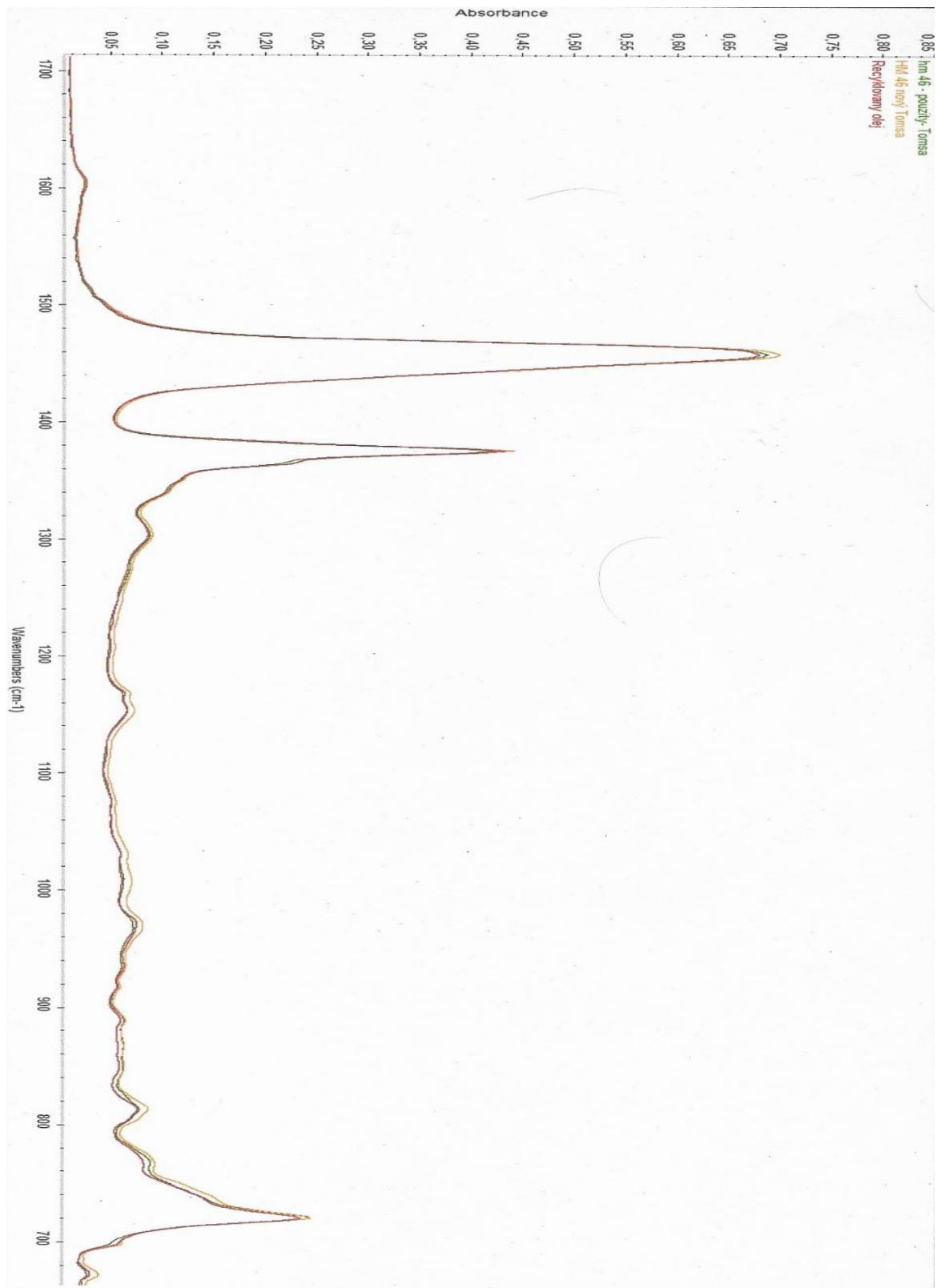
5.2.1 Měření

Graf 4: Výstupní měření z infračervené spektroskopie – celá oblast



Z grafu č. 4 lze vidět, že křivky všech tří vzorků jsou téměř totožné a nelze jednoznačně určit rozdíly. Nicméně v oblasti fingerprint (1500-700 cm^{-1}) lze vidět, že nový olej vykazuje oproti recyklátu a použitému oleji větší absorpenci.

Graf 5: Výstupní měření z infračervené spektroskopie- zvětšená oblast fingerprint



5.2.2 Závěr

Na grafu vidíme drobné rozlišnosti křivek. Ve zvětšené oblasti *fingerprint*, a to konkrétně v oblasti nitridace ($1600 - 1650 \text{ cm}^{-1}$), oleje nevykazují žádný rozdíl a stejně tak je tomu i v oblasti oxidace ($1700 - 1750 \text{ cm}^{-1}$). Pomocí infračervené spektroskopie nelze s jistotou rozlišit recyklát od nového oleje.

5.3 WTD Coulometr - Stanovení čísla kyselosti TAN

Stanovení čísla kyselosti se mohlo stát dalším ukazatelem, kterým lze najít rozdíl mezi novým a recyklovaným olejem. Číslo kyselosti charakterizuje nárůst kyselých složek v oleji, které mohou vznikat stárnutím oleje oxidací, nebo reakcí s jinou tekutinou.

5.3.1 Měření

Tabulka 7: Výsledná čísla kyselosti

Číslo kyselosti TAN	
Druh oleje	TAN [mg-KOH/g]
Nový olej	0,644
Recyklát	0,413
Použitý	0,511

5.3.2 Závěr

Je zajímavé, že nejvíce KOH/g pro neutralizaci kyselých látek v oleji je zapotřebí u oleje nového. Nicméně lze říci, že kyselost u nového oleje není nijak zvýšená. Ve společnosti ESOS Ostrava při měření totožného nového oleje byla výsledná kyselost rovna 0,69 KOH/g [16].

Naopak nejméně kyselých látek v oleji je dle měření v oleji recyklovaném. Z tohoto měření nelze s jistotou rozlišit nový olej od recyklátu.

5.4 MPC - Stanovení potenciálu k tvorbě úsad

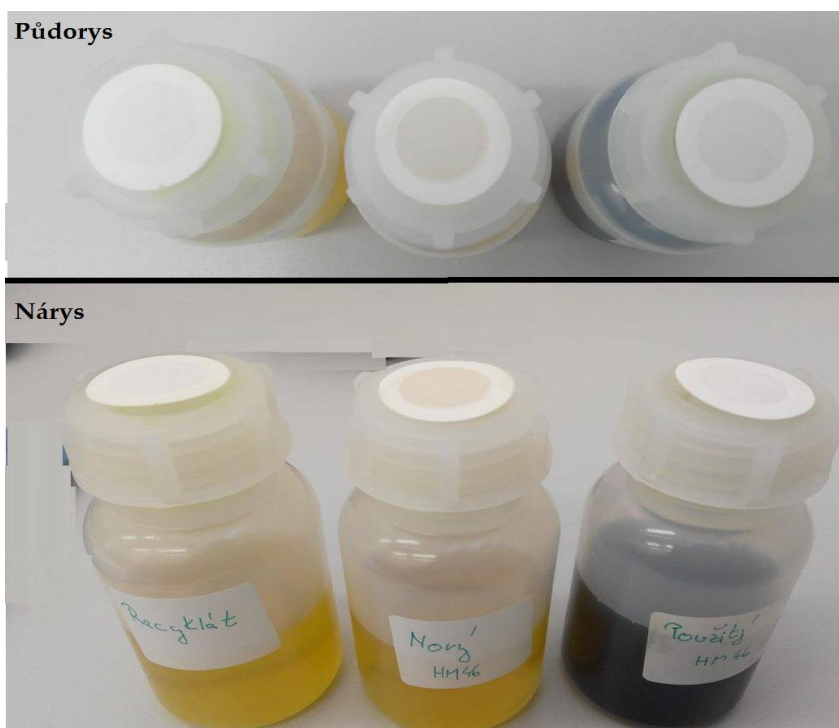
Stanovení potenciálu k tvorbě úsad v jednotlivých olejích bylo provedeno z důvodu kontroly. Jednalo se o potvrzení výroků firem o recyklátech, které tvrdily, že jsou schopny se dostat u

recyklovaných olejů zcela běžně na prodejní čistotu. Pro měření byla použita membrána o porozitě 0,45 μm .

5.4.1 Měření

Tabulka 8: Výsledné stanovení jednotlivých potenciálů k tvorbě úsad

MPC	
Druh oleje	ΔE
Nový olej	13,5
Recyklovaný olej	5,1
Použitý olej	6,2



OBR. 15: Jednotlivé membrány z měření metodou MPC (membrány položeny na víčku)

5.4.2 Závěr

Výsledné měření poukázalo na poněkud zvláštní porovnání recyklátu a nového oleje, kdy se hodnota potenciálu nového oleje blíží 15 a to dle norem značí zhoršený stav. Lze vidět i na fotografii jednotlivých membrán, že už vizuálně je nejtmaší membrána položena na novém oleji. Pro nový olej standardně vychází hodnota ΔE v rozmezí 4 – 6. Recyklát tedy v tomto měření vykázal nejmenší sklon k tvorbě úsad oproti novému oleji, u kterého nebylo možné ani přes membránu procedit celé množství vzorku z důvodů jejího ucpání. Výsledky měření vykazují

podobné chování, jako tomu bylo u měření čísla kyselosti. Bohužel metoda MPC nestanovila jednoznačné výsledky, na základě kterých by bylo možné spolehlivě rozlišit nový olej od recyklátu.

5.5 XRF – analýza přísadových prvků v oleji

Výstupem tohoto přístroje jsou koncentrace jednotlivých prvků. Cílem bylo zjistit koncentrace prvků otěrových i aditivních a porovnat hodnoty oleje nového s olejem recyklovaným.

5.5.1 Měření vzorků

Tabulka 9: Analýza XRF - Střední hodnoty prvků v oleji

Prvek [mg/kg]	Druh oleje		
	Nový olej	Recyklovaný olej	Použitý olej
Mg	8,73	29,57	9,10
Al	50,50	176,03	136,40
P	579,67	380,67	448,33
S	9221,00	3015,00	6416,00
Cl	30,60	1,20	19,60
Ca	61,67	110,00	48,67
Ti	0,00	0,23	0,00
V	0,60	1,23	0,90
Cr	0,00	0,27	0,07
Mn	0,93	1,67	1,23
Fe	2,37	3,90	3,07
Co	0,60	3,60	1,90
Ni	4,20	8,77	6,00
Cu	0,00	12,13	0,23
Zn	565,67	448,00	468,33
Mo	0,00	3,53	0,00
Sn	29,27	118,07	62,20
Pb	1,93	1,50	1,97

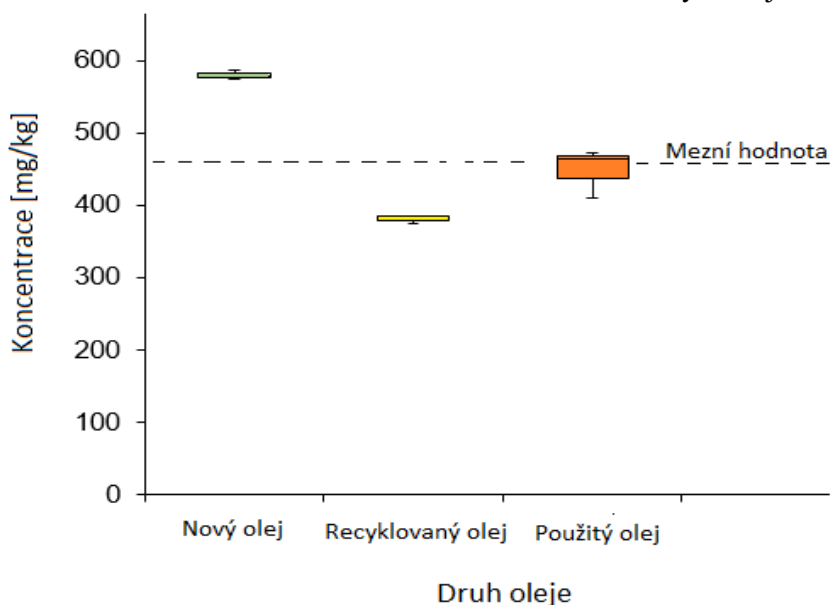
Tabulka zobrazuje střední hodnoty koncentrací prvků. Měření bylo prováděno třikrát. Z tabulky je patrné, že recyklát není totožný s novým olejem. Bohužel přístroj XRF ve Škoda-Auto v době měření byl rozkalibrován a nelze tak nic usuzovat z červeně zvýrazněných hodnot (Mg, Al, Cl). Dále jsou zpracovány výsledky statistickým programem Pro box and whisker plot. Program byl pro studenty vypracován pracovníky Katedry materiálu a strojírenské metalurgie.

Koncentrace fosforu v olejích

Tabulka 10: Jednotlivé koncentrace fosforu v olejích

Výsledné koncentrace fosforu z měření metodou XRF			
Číslo měření	Nový olej [mg/kg]	Recyklovaný olej [mg/kg]	Použitý olej [mg/kg]
1.	586	374	472
2.	579	384	464
3.	574	384	409

Graf 6: Jednotlivé koncentrace fosforu v měřených olejích



V jednotlivých úsecích na vodorovné ose jsou druhy olejů. Každému úseku přísluší obdélník, jehož výškou je mezikvartilová vzdálenost. Uvnitř obdélníků se vždy nachází úsečka, která udává hodnotu mediánu. Bohužel mnohdy ve výsledcích není vidět z důvodu malého rozpětí, jelikož jsou obdélníky příliš nízké. Na tomto grafu je vidět pouze u oleje použitého. Vodorovné doprovodné přímkou u obdélníků jsou tzv. „vousy“. Ty udávají pravděpodobnost, že hodnota padne mimo oblast vousů je na každé straně 0,15 %. Pokud se vousy pro nový a recyklovaný olej nepřekrývají, jsou oba oleje odlišné na hladině významnosti cca 0,1 %. V grafu je dále jako mezní hodnota označena navržená mez, která umožňuje na hladině významnosti 0,1 % rozlišit nový olej od recyklovaného.

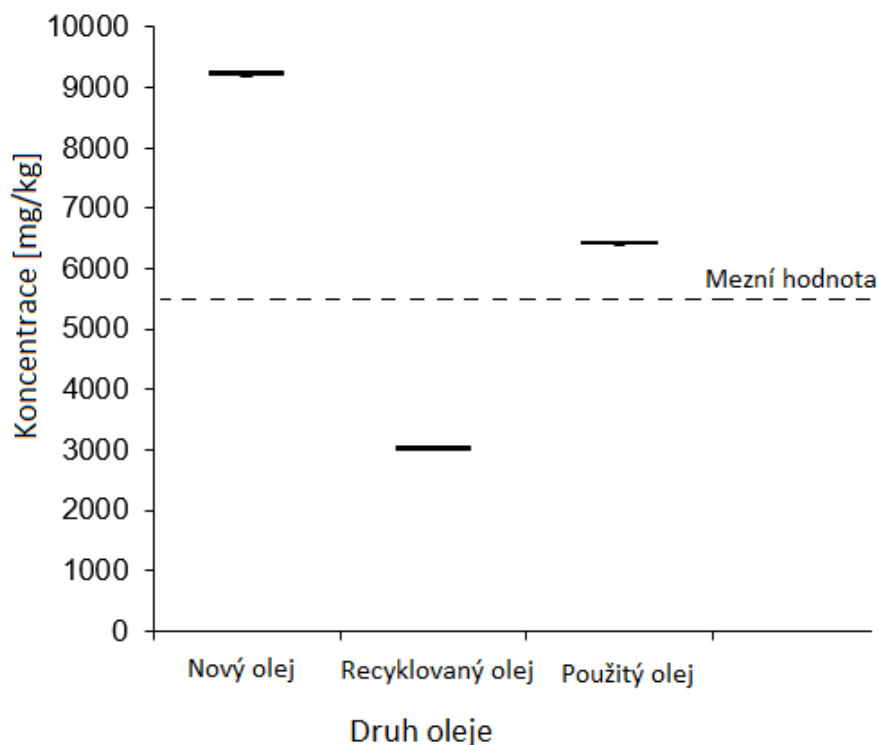
Z měření lze vidět, že hodnoty fosforu se liší o 50 %. Z hodnoty fosforu lze na hladině významnosti 0,1 % rozlišit nový a recyklovaný olej.

Koncentrace síry v olejích

Tabulka 11: Jednotlivé koncentrace síry v olejích

Výsledné koncentrace síry z měření metodou XRF			
Číslo měření	Nový olej [mg/kg]	Recyklovaný olej [mg/kg]	Použitý olej [mg/kg]
1.	9246	2998	6392
2.	9177	3017	6419
3.	9240	3030	6437

Graf 7: Jednotlivé koncentrace síry v měřených olejích



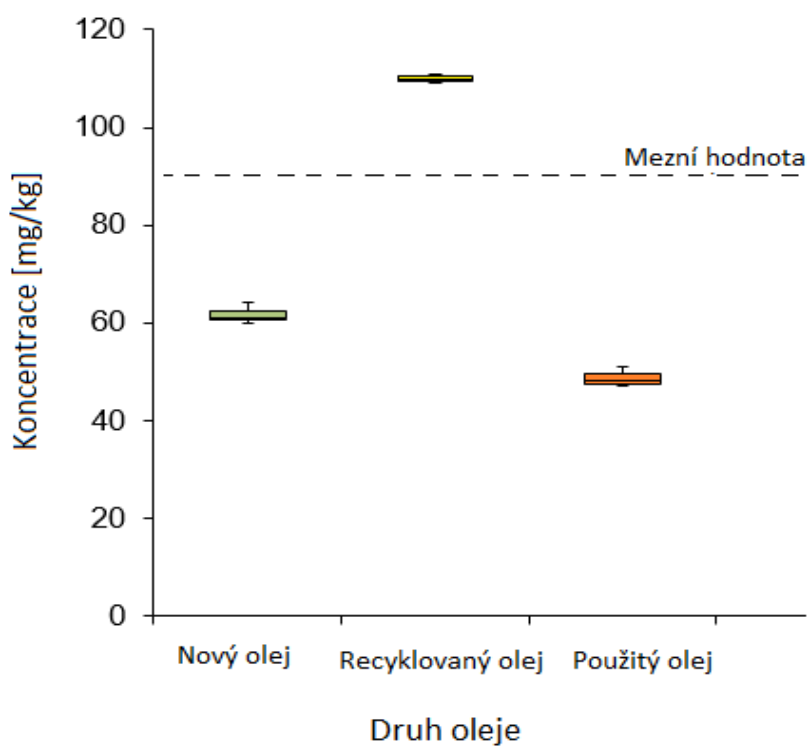
Z grafu lze vidět, že nejmenší hodnotu síry má olej recyklovaný, a to až zhruba trojnásobně méně oproti hodnotě oleje nového. Lze usoudit, že obsah síry v oleji během používání oleje klesá. Je možné sledovat postupný pokles u oleje použitého v porovnání s novým. Na základě obsahu síry lze na hladině významnosti 0,1 % oleje rozlišit.

Koncentrace vápníku v olejích

Tabulka 12: Jednotlivé koncentrace vápníku v olejích

Výsledné koncentrace vápníku z měření metodou XRF			
Číslo měření	Nový olej [mg/kg]	Recyklovaný olej [mg/kg]	Použitý olej [mg/kg]
1.	60	111	51
2.	61	110	47
3.	60	111	51

Graf 8: Jednotlivé koncentrace vápníku v měřených olejích



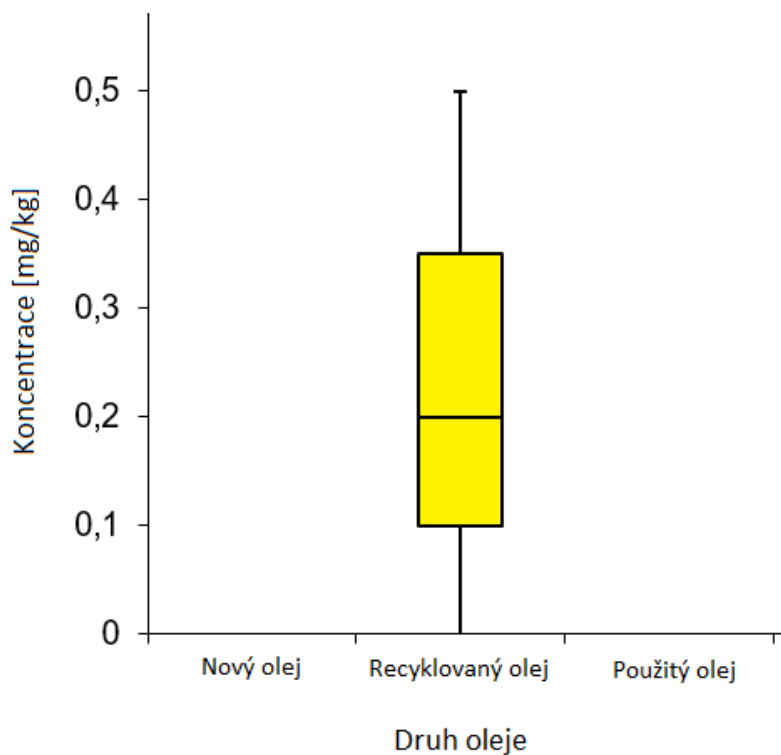
Naměřené hodnoty vápníku se liší podstatně. Nový olej má zhruba poloviční obsah vápníku oproti oleji recyklovanému. Použitý olej ale vykazuje menší hodnotu, než olej nový, a tak oleje lze na hladině významnosti 0,1 % rozlišit.

Koncentrace titanu v olejích

Tabulka 13: Jednotlivé koncentrace titanu v olejích

Výsledné koncentrace titanu z měření metodou XRF			
Číslo měření	Nový olej [mg/kg]	Recyklovaný olej [mg/kg]	Použitý olej [mg/kg]
1.	0	0	0
2.	0	0,2	0
3.	0	0,5	0

Graf 9: Jednotlivé koncentrace titanu v měřených olejích



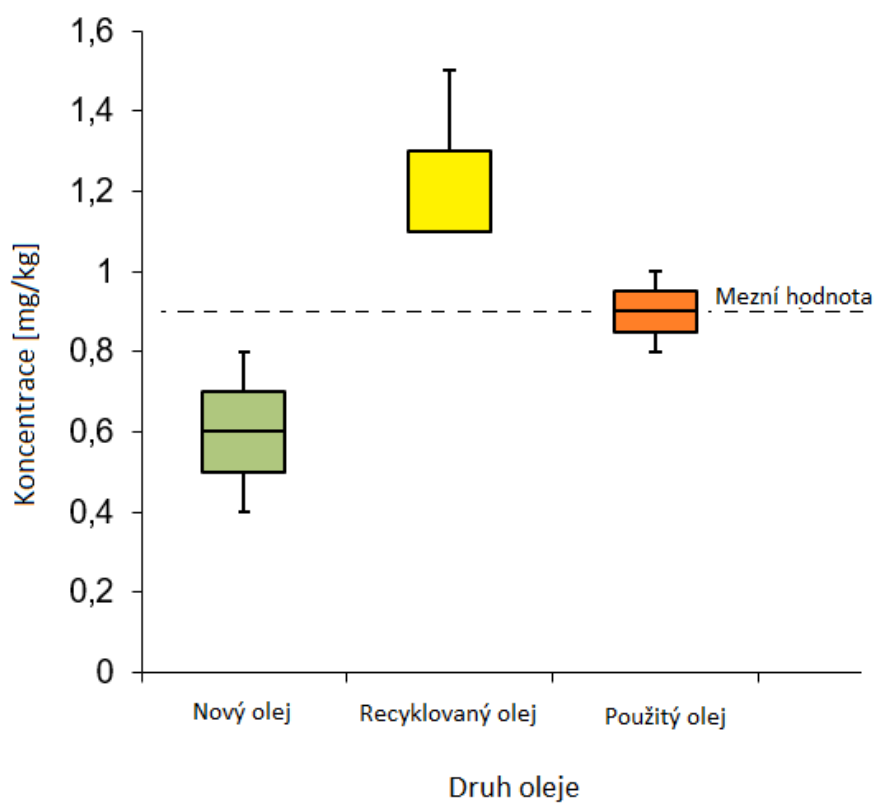
Z měření je zřejmé, že titan se běžně do tohoto oleje nepřidává, neboť se nevyskytuje v novém oleji. Lze tedy říci, že pomocí tohoto prvku, lze na hladině významnosti 0,1% rozlišit nový olej od recyklovaného.

Koncentrace vanadu v olejích

Tabulka 14: Jednotlivé koncentrace vanadu v olejích

Výsledné koncentrace vanadu z měření metodou XRF			
Číslo měření	Nový olej [mg/kg]	Recyklovaný olej [mg/kg]	Použitý olej [mg/kg]
1.	0,6	1,5	1
2.	0,8	1,1	0,8
3.	0,4	1,1	0,9

Graf 10: Jednotlivé koncentrace vanadu v měřených olejích



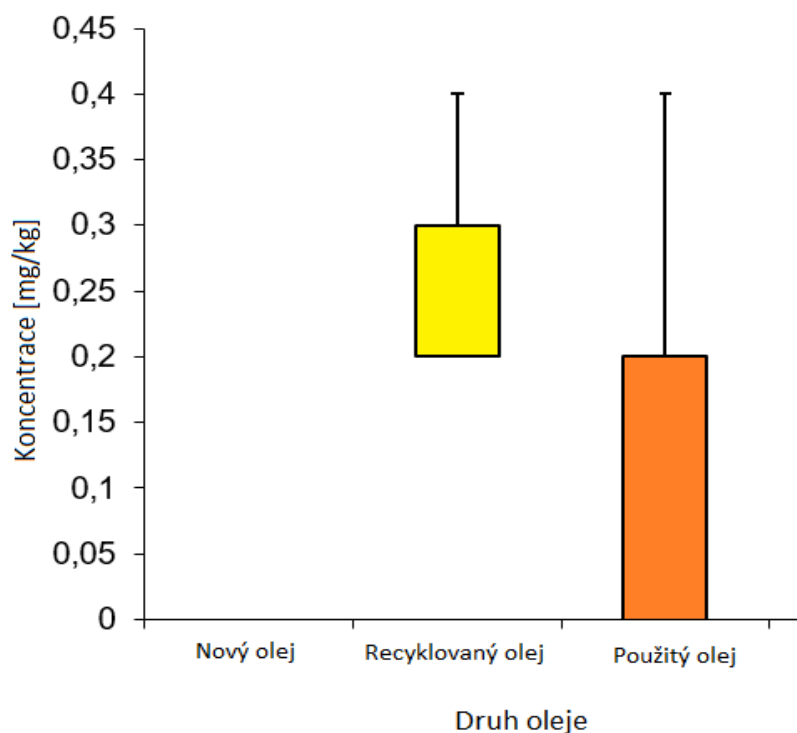
Olej nový má poloviční koncentraci vanadu oproti oleji recyklovanému. Lze tak sebe tyto oleje rozlišit při hladině významnosti 0,1 %.

Koncentrace chromu v olejích

Tabulka 15: Jednotlivé koncentrace chromu v olejích

Výsledné koncentrace chromu z měření metodou XRF			
Číslo měření	Nový olej [mg/kg]	Recyklovaný olej [mg/kg]	Použitý olej [mg/kg]
1.	0	0,2	0
2.	0	0,2	0
3.	0	0,4	0,4

Graf 11: Jednotlivé koncentrace chromu v měřených olejích



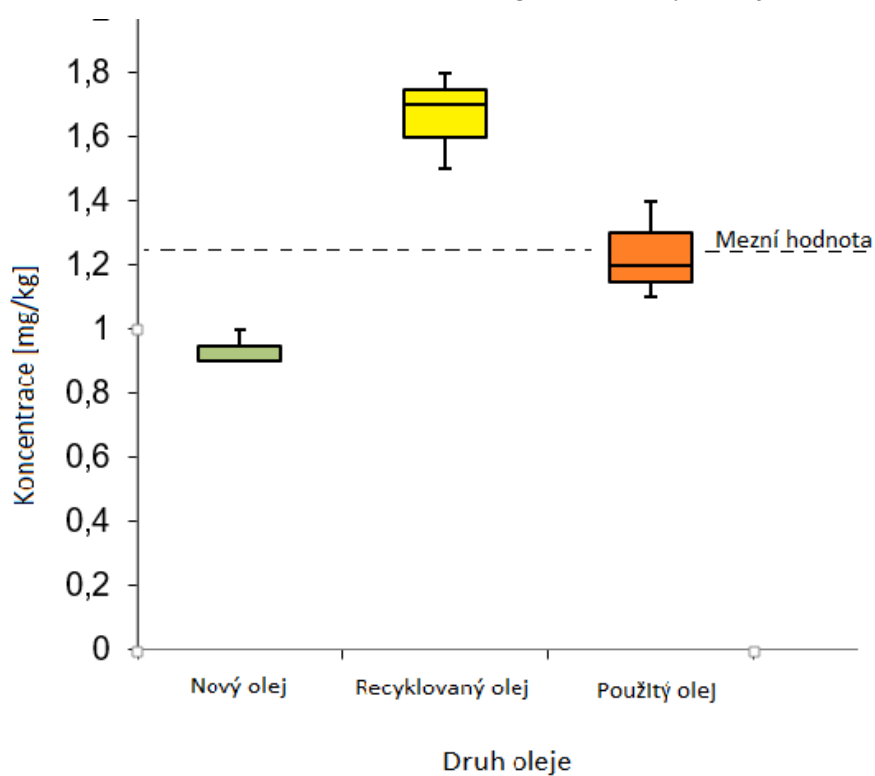
Chrom je ořevový prvek a do oleje se záměrně nepřidává. Lze tedy na základě měření tohoto prvku rozlišit na hladině významnosti 0,1 % olej nový od recyklovaného.

Koncentrace manganu v olejích

Tabulka 16: Jednotlivé koncentrace manganu v olejích

Výsledné koncentrace manganu z měření metodou XRF			
Číslo měření	Nový olej [mg/kg]	Recyklovaný olej [mg/kg]	Použitý olej [mg/kg]
1.	1	1,5	1,4
2.	0,9	1,7	1,2
3.	0,9	1,8	1,1

Graf 12: Jednotlivé koncentrace manganu v měřených olejích



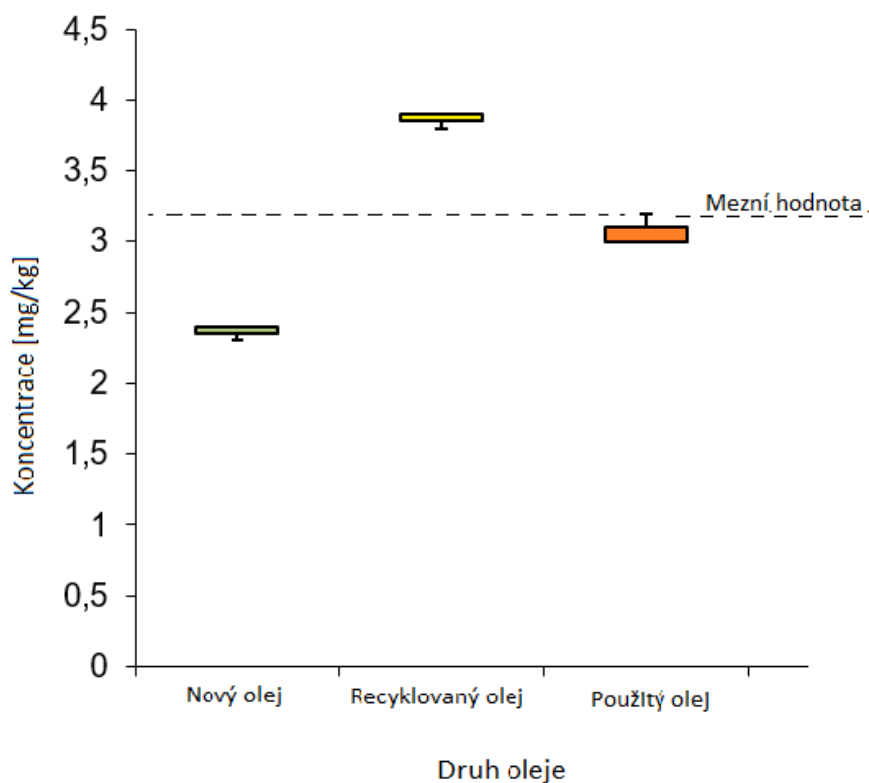
Olej recyklovaný vykazuje zvýšený obsah manganu oproti oleji novému. Lze na hladině významnosti 0,1% oleje rozlišit.

Koncentrace železa v olejích

Tabulka 17: Jednotlivé koncentrace železa v olejích

Výsledné koncentrace železa z měření metodou XRF			
Číslo měření	Nový olej [mg/kg]	Recyklovaný olej [mg/kg]	Použitý olej [mg/kg]
1.	2,3	3,9	3
2.	2,4	3,9	3
3.	2,4	3,8	3,2

Graf 13: Jednotlivé koncentrace železa v měřených olejích



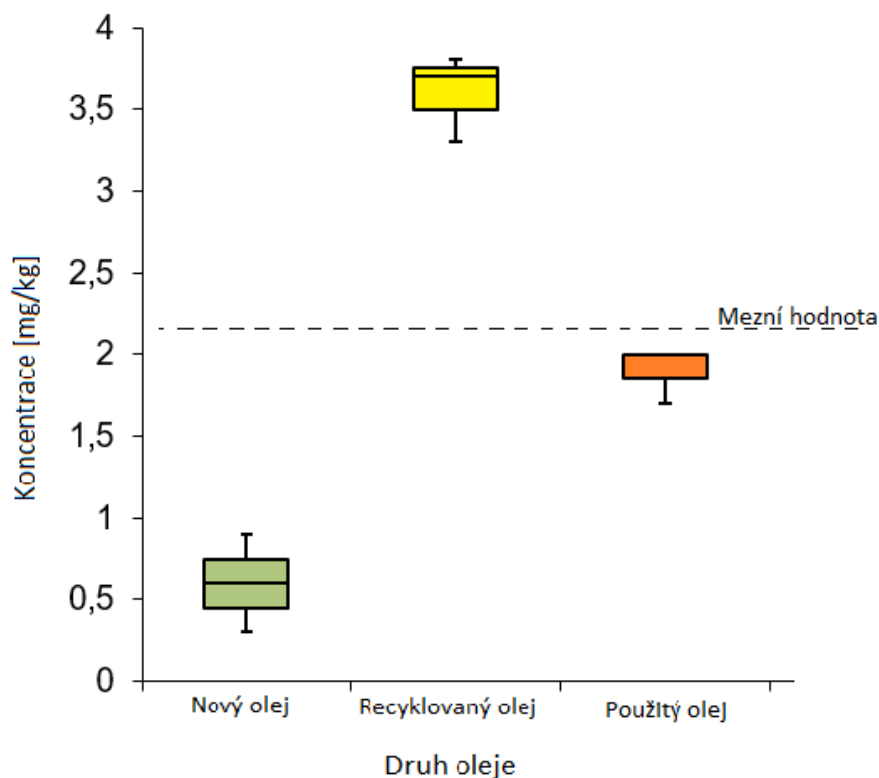
Železo je otěrový prvek, který se do oleje záměrně nepřidává. Recyklovaný olej má nejvyšší obsah tohoto prvku, v porovnání s olejem novým má tento olej o 60 % více železa. Na základě měření tohoto prvku lze rozlišit nový olej od recyklátu na hladině významnosti 0,1 %.

Koncentrace kobaltu v olejích

Tabulka 18: Jednotlivé koncentrace kobaltu v olejích

Výsledné koncentrace kobaltu z měření metodou XRF			
Číslo měření	Nový olej [mg/kg]	Recyklovaný olej [mg/kg]	Použitý olej [mg/kg]
1.	0,9	3,7	2
2.	0,6	3,3	1,7
3.	0,3	3,8	2

Graf 14: Jednotlivé koncentrace kobaltu v měřených olejích



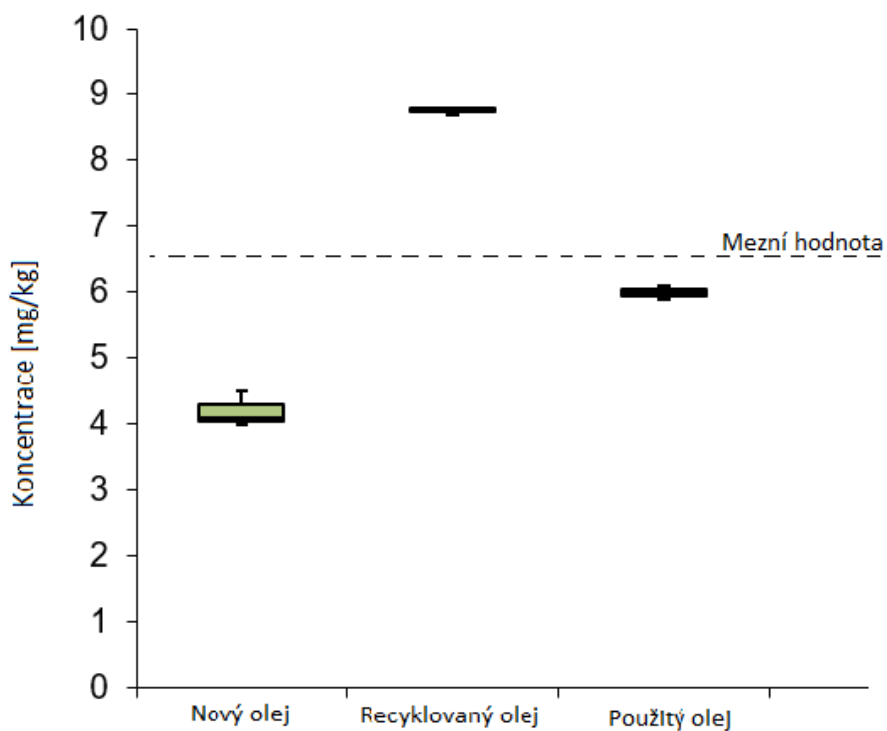
Nejvyšší obsah kobaltu má olej recyklovaný. V porovnání s olejem novým je hodnota u oleje recyklovaného čtyřnásobně vyšší. Ve srovnání oleje nového a použitého hodnota u oleje použitého také vzrostla, a to o 100 %. Oleje lze na hladině významnosti 0,1 % rozlišit. Rozdíly v jednotlivých koncentracích jsou v porovnání s ostatními obrovské a na obsah kobaltu lze přehlížet.

Koncentrace niklu v olejích

Tabulka 19: Jednotlivé koncentrace niklu v olejích

Výsledné koncentrace niklu z měření metodou XRF			
Číslo měření	Nový olej [mg/kg]	Recyklovaný olej [mg/kg]	Použitý olej [mg/kg]
1.	4,5	8,7	5,9
2.	4,1	8,8	6
3.	4	8,8	6,1

Graf 15: Jednotlivé koncentrace niklu v měřených olejích



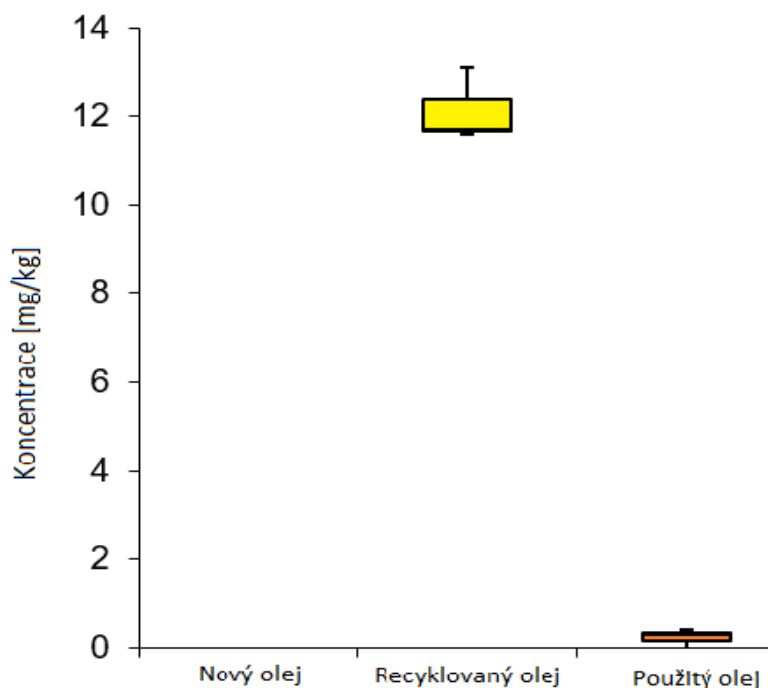
Hodnoty koncentrací mezi jednotlivými oleji se liší. Vzorky je možné na hladině významnosti 0,1% rozlišit.

Koncentrace mědi v olejích

Tabulka 20: Jednotlivé koncentrace mědi v olejích

Výsledné koncentrace mědi z měření metodou XRF			
Číslo měření	Nový olej [mg/kg]	Recyklovaný olej [mg/kg]	Použitý olej [mg/kg]
1.	0	11,6	0,4
2.	0	13,1	0,3
3.	0	11,7	0

Graf 16: Jednotlivé koncentrace mědi v měřených olejích



Měď je ořevový prvek a z měření lze vidět, že se do nového oleje záměrně nepřidává. Z výsledků je patrné, že recyklovaný olej byl používán v soustavě s vyskytující se mědí. Tato hodnota je enormně vysoká i oproti oleji použitému bez filtrace.

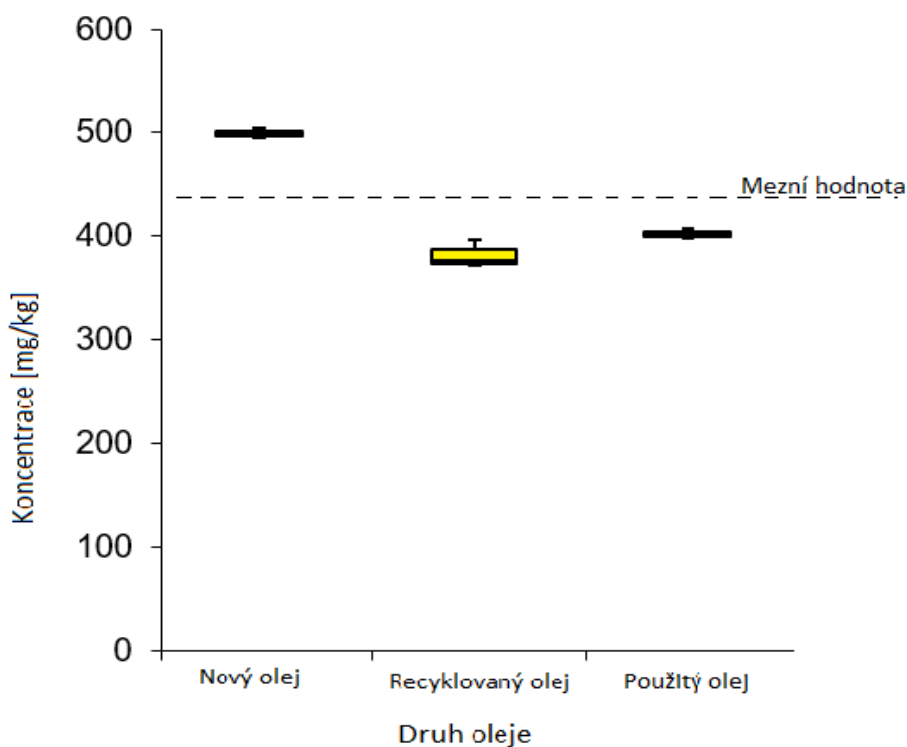
Pomocí měření koncentrace mědi lze na hladině významnosti 0,1 % rozlišit nový olej od recyklátu.

Koncentrace zinku v olejích

Tabulka 21: Jednotlivé koncentrace zinku v olejích

Výsledné koncentrace zinku z měření metodou XRF			
Číslo měření	Nový olej [mg/kg]	Recyklovaný olej [mg/kg]	Použitý olej [mg/kg]
1.	565	438	465
2.	562	463	467
3.	570	443	473

Graf 17: Jednotlivé koncentrace zinku v měřených olejích



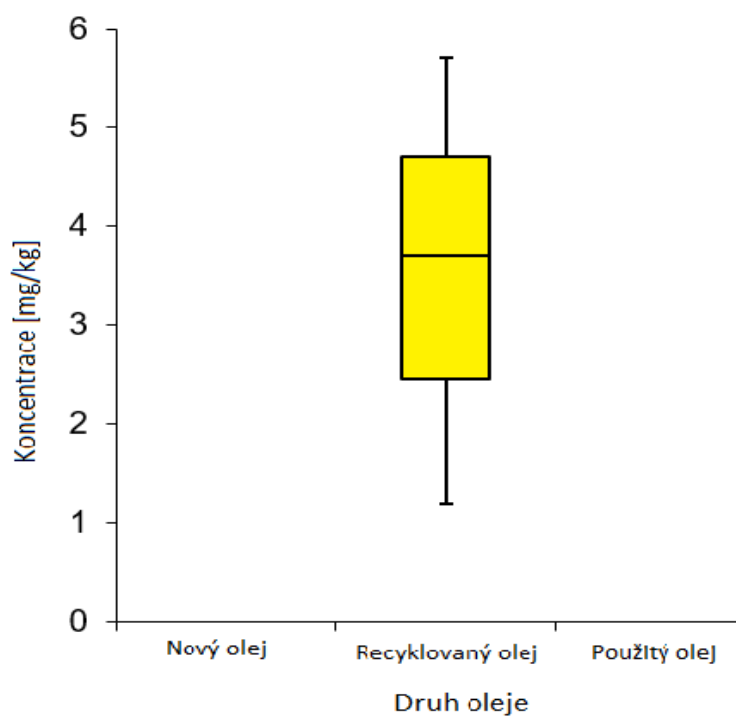
Aditiva v hydraulických olejích bývají na bázi zinku. Tento fakt splňují také výsledky měření, neboť s postupným používáním, zinku v oleji ubývá. Nový olej od recyklovaného lze rozlišit na hladině významnosti 0,1 %

Koncentrace molybdenu v olejích

Tabulka 22: Jednotlivé koncentrace molybdenu v olejích

Výsledné koncentrace molybdenu z měření metodou XRF			
Číslo měření	Nový olej [mg/kg]	Recyklovaný olej [mg/kg]	Použitý olej [mg/kg]
1.	0	5,7	0
2.	0	1,2	0
3.	0	3,7	0

Graf 18: Jednotlivé koncentrace molybdenu v měřených olejích



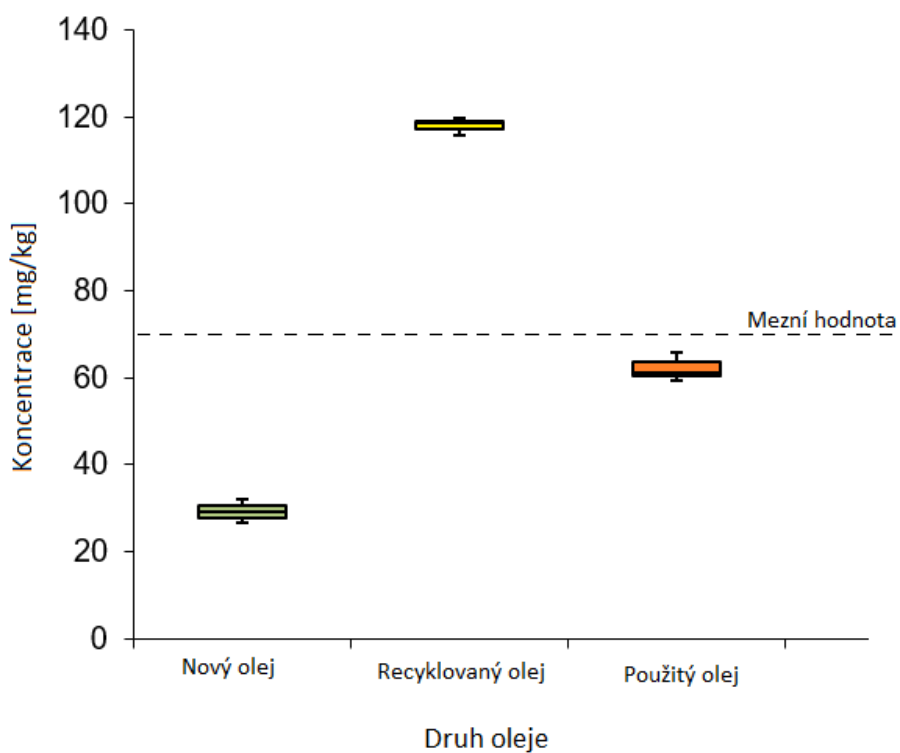
Z měření vyplývá, že molybden se záměrně do tohoto oleje nepřidává. Není obsažen ani v novém ani v použitém oleji. Pomocí měření koncentrací molybdenu lze rozlišit recyklát od nového oleje na hladině významnosti 0,1 %.

Koncentrace cínu v olejích

Tabulka 23: Jednotlivé koncentrace cínu v olejích

Výsledné koncentrace cínu z měření metodou XRF			
Číslo měření	Nový olej [mg/kg]	Recyklovaný olej [mg/kg]	Použitý olej [mg/kg]
1.	32	115,8	61,1
2.	29,1	119,7	66
3.	26,7	118,7	59,5

Graf 19: Jednotlivé koncentrace cínu v měřených olejích



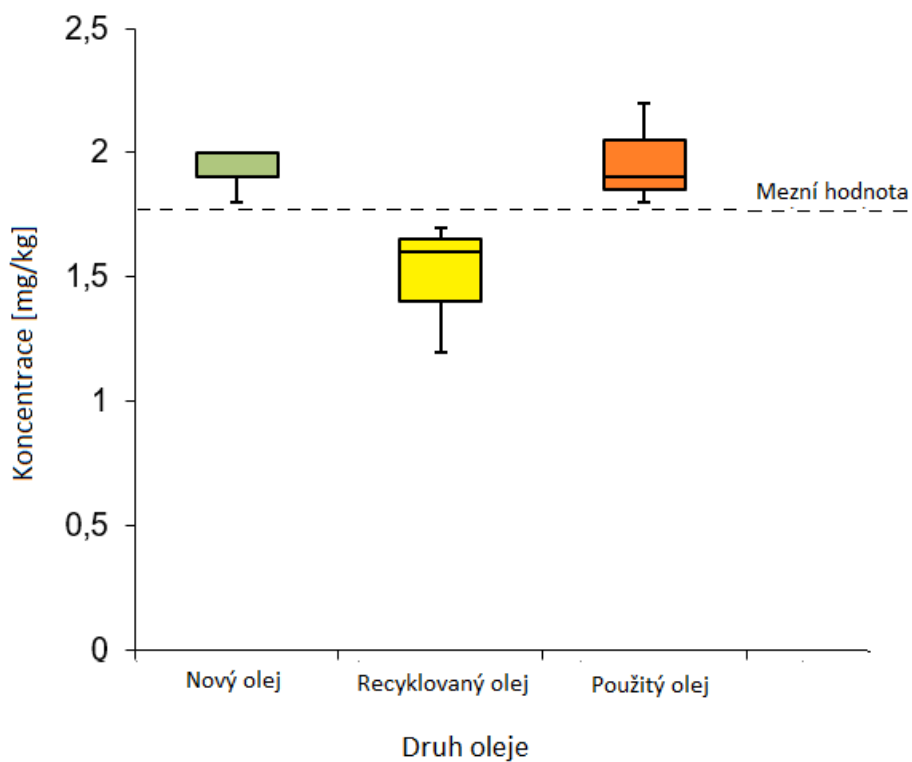
Cín je otěrový prvek. Největší koncentraci cínu lze vidět u oleje recyklovaného, který má téměř čtyřnásobně více cínu oproti novému oleji a dvojnásobně více oproti oleji použitému. Jednoznačně vykazuje zvýšenou hodnotu koncentrace. Oleje lze na hladině významnosti 0,1 % rozlišit.

Koncentrace olova v olejích

Tabulka 24: Jednotlivé koncentrace olova v olejích

Výsledné koncentrace olova z měření metodou XRF			
Číslo měření	Nový olej [mg/kg]	Recyklovaný olej [mg/kg]	Použitý olej [mg/kg]
1.	2	1,7	2,2
2.	2	1,2	1,8
3.	1,8	1,6	1,9

Graf 20: Jednotlivé koncentrace olova v měřených olejích



Jednotlivé koncentrace se liší o 30 %. Na základě naměřených hodnot lze rozlišit nový olej od recyklovaného na hladině významnosti 0,1 %.

5.5.2 Závěr

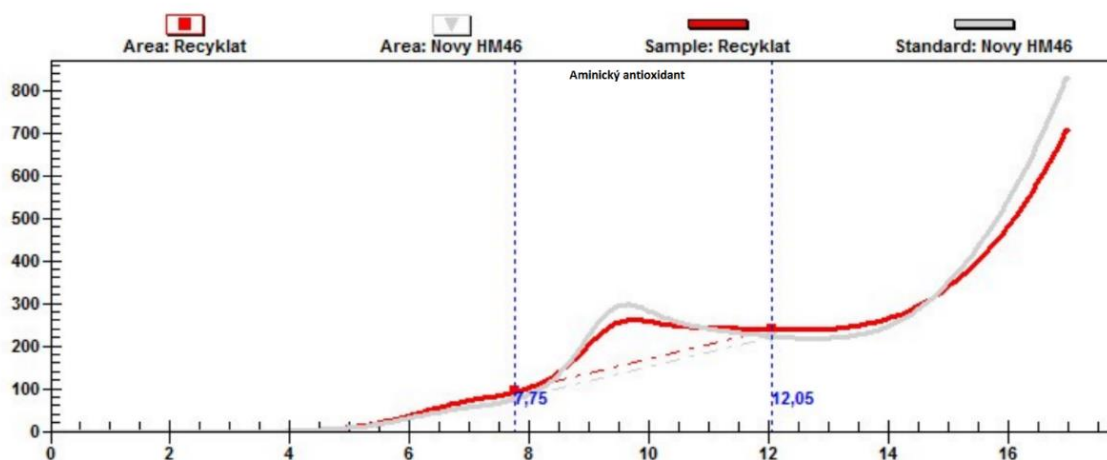
Z naměřených hodnot a grafů vyplývá, že rozdíly mezi novým a recyklovaným olejem jsou obrovské. Vždy byl úbytek nebo nárůst koncentrace nejvyšší u oleje recyklovaného. Oleje lze rozlišit s ohlednutím převážně na hodnoty koncentrací cínu, mědi, kobaltu, železa a chromu. S mnohem větší jistotou lze oleje rozlišit s pomocí naměřených hodnot prvku molybden a titan. Z měření těchto dvou prvků je vidět, že se tyto prvky do oleje Paramo HM46 záměrně nepřidávají. Metoda XRF se stala prioritní metodou, jak lze s jistotou rozlišit nový olej od recyklátu.

5.6 Ruler – stanovení hodnoty aktivních antioxidantů

Pomocí metody Ruler jsme poměřovali aktivní antioxidanty v novém a recyklovaném oleji. Cílem této metody je porovnání nového oleje a vzorku na voltametrickém grafu.

5.6.1 Měření

Graf 21: Porovnání nového oleje a recyklátu pomocí metody Ruler



Tabulka 25: Výsledný poměr aditiv pomocí metody Ruler

Výsledný poměr aditiv		
Druh oleje	Obsah plochy [mm ²]	Rozdíl obsahu aditiv [%]
Nový olej	6159	32,4
Recyklovaný olej	4163	

5.6.2 Závěr

Z grafu je patrné, že obsah ploch není totožný. Měření bylo prováděno kvůli citlivosti v roztoku, ze kterého nelze určit i oblast fenolických antioxidantů. Výsledkem je tak pouze oblast aminických antioxidantů. Obsah aditiv v recyklovaném oleji činí 67,6 % vůči oleji novému. Metoda Ruler se osvědčila a lze ji využít společně s metodou XRF k rozeznání nového oleje od recyklátu. Pro větší jistotu měření by bylo zapotřebí provést více testů. Větší rozdíly bylo možné v našem případě naměřit pomocí XRF, kdy bylo zjištěno, že ani nový a použitý olej neobsahuje prvek titan, ale pouze olej recyklovaný jej obsahuje ve značné míře.

6. ZÁVĚR

Tato práce se zabývala analýzou hydraulických olejů. Hlavním cílem práce bylo stanovit metodu nebo soubor metod, pomocí kterých lze rozlišit nový olej od recyklátu a také ověřit, zda recyklované oleje jsou kvalitou (obsahem aditiv, čistotou, složením) srovnatelné s oleji novými. Na vzorcích se podařilo rozlišit s jistotou nový olej od recyklovaného. Ke stoprocentnímu rozlišení došlo s pomocí metody XRF. Je zajímavé, že rozdíl naměřený pomocí této metody je větší mezi novým a recyklovaným olejem, než mezi olejem novým a použitým. K rozlišení došlo taktéž pomocí metody Ruler. K určité jistotě měření by bylo zapotřebí provést více testů a ověřit hodnotu rozptylu apod.

Výsledné koncentrace prvků měřené metodou XRF byly v porovnání nového a recyklovaného oleje mnohdy několikanásobně vyšší, nebo se dané prvky vyskytovaly pouze v recyklovaném oleji a v oleji použitém a novém nikoliv. Měření pomocí metody XRF by v praxi mohlo vypadat následovně. Pomocí metody získáme z měření mezní hodnoty pro jednotlivé koncentrace prvků v oleji novém a recyklovaném. Nyní můžeme tedy pro tento konkrétní olej Paramo HM46 provést měření dalších vzorků a porovnat výsledné koncentrace s již změřeným recyklovaným a novým olejem. Podle toho, na které straně mezních hodnot leží neznámý olej lze říci, zda se jedná o recyklát, nebo nový olej. Pro měření hydraulického od jiného výrobce nebo jiného druhu je zapotřebí provést nové měření a určit mezní hodnoty apod.

Jako doprovodné metody lze použít infračervenou spektroskopii, metodu MPC a číslo kyselosti TAN.

Spektroskopie nám ihned ukáže, zda je olej zoxidovaný, znitridovaný a v oblasti *fingerprint* lze porovnat shodnost vzorků oleje. Metoda MPC nám poskytne přehled o potenciálu ke sklonu k tvorbě úsad a poukáže na obsah částic vzniklých z produktů degradace. Číslo kyselosti TAN nám může napovědět, zda byl olej ve styku s nevhodným prostředím, nebo agresivními kapalinami, jako je například kapalina chladicí, což je jeden z nejčastějších případů kontaminace

oleje. Bohužel při aplikaci těchto doprovodných metod na naše měření se nijak neosvědčily. Tyto metody jsou však ideální pro porovnávání nového oleje s použitým a pro diagnostikování jejich stavu.

Otazníkem v tomto výzkumu nám zůstává využití Quenchtestu, který byl kvůli velké náročnosti úprav odložen. Bylo by velice zajímavé, kdyby v tomto výzkumu bylo možno nadále pokračovat a vyzkoušet metodu volné konvekce při aplikaci na rozlišení vzorků hydraulických olejů.

Automobilový závod Škoda-Auto vlastní již jeden z přístrojů, se kterým lze s jistotou rozlišit nový olej od recyklátu, a tím je XRF spektrometrie. Další možnou metodou pro lepší rozlišení nového oleje od recyklátu, ale také jako metodou vhodnou pro určení zbývajících životnosti oleje je metoda Ruler. Pomocí ní jsme schopni určit hodnotu zbývajících antioxidantů v porovnání s novým olejem. V případě průběžného měření jsme schopni určit trend a předpovědět tak zbývajících životnost oleje. Toto další využití metody Ruler by mohlo být zajímavou možností pro firmy, jak lépe a přesněji využít životnost oleje.

Seznam obrázků

- OBR. 1:** Souvislost tribologie se základními vědními obory [1]
- OBR. 2:** Zařazení pojmu tribologie [2]
- OBR. 3:** Tribologický systém podle DIN 51 320 [1]
- OBR. 4:** Zařazení tribologických procesů do vzájemných vazeb [1]
- OBR. 5:** Základní druhy opotřebení [3]
- OBR. 6:** Mobilní filtrační zařízení FT-OH-1600 [20]
- OBR. 7:** Mobilní filtrační zařízení FT-MZ-RF-40 [20]
- OBR. 8:** Mobilní vakuové filtrační zařízení FT-VZ-16 [20]
- OBR. 9:** Infračervený spektrometr s Fourierovskou transformací - Nicolet iS10
- OBR. 10:** Schéma XRF spektrometru – A) Energiově-disperzní spektrometr
- OBR. 11:** Schéma XRF spektrometru – B) Vlnově - disperzní spektrometr
- OBR. 12:** Coulometr WTD [11]
- OBR. 13:** MPC Kolorimetr [11]
- OBR. 14:** Obecná sestava metody Quenchttest
- OBR. 15:** Jednotlivé membrány z měření metodou MPC

Seznam Tabulek

- Tabulka 1:** Značení maziv dle DIN a ISO [6]
- Tabulka 2:** Specifikace vedlejšího identifikačního písmena [6]
- Tabulka 3:** Rozdělení hydraulických olejů do kvalitativních tříd podle DIN [6]
- Tabulka 4:** Příklady symbolů značení olejů dle normy DIN 51 502
- Tabulka 5:** Rozdělení čistoty oleje pomocí normy NAS
- Tabulka 6:** Délky uhlovodíkových řetězců
- Tabulka 7:** Výsledná čísla kyselosti
- Tabulka 8:** Výsledné stanovení jednotlivých potenciálů k tvorbě úsad
- Tabulka 9:** Analýza XRF - Střední hodnoty prvků v oleji
- Tabulka 10:** Jednotlivé koncentrace fosforu v olejích
- Tabulka 11:** Jednotlivé koncentrace síry v olejích
- Tabulka 12:** Jednotlivé koncentrace vápníku v olejích
- Tabulka 13:** Jednotlivé koncentrace titanu v olejích
- Tabulka 14:** Jednotlivé koncentrace vanadu v olejích
- Tabulka 15:** Jednotlivé koncentrace chromu v olejích
- Tabulka 16:** Jednotlivé koncentrace manganu v olejích

- Tabulka 17:** Jednotlivé koncentrace železa v olejích
Tabulka 18: Jednotlivé koncentrace kobaltu v olejích
Tabulka 19: Jednotlivé koncentrace niklu v olejích
Tabulka 20: Jednotlivé koncentrace mědi v olejích
Tabulka 21: Jednotlivé koncentrace zinku v olejích
Tabulka 22: Jednotlivé koncentrace molybdenu v olejích
Tabulka 23: Jednotlivé koncentrace cínu v olejích
Tabulka 24: Jednotlivé koncentrace olova v olejích
Tabulka 25: Výsledný poměr aditiv pomocí metody Ruler

Seznam grafů

- Graf 1:** Vzorový voltamograf z přístroje Ruler
Graf 2: Závislost rychlosti ochlazování oleje na teplotě vzorku s různým stupněm degradace
Graf 3: Závislost rychlosti ochlazování oleje na teplotě vzorku s různou mírou oxidace
Graf 4: Výstupní měření z infračervené spektroskopie – celá oblast
Graf 5: Výstupní měření z infračervené spektroskopie- zvětšená oblast fingerprint
Graf 6: Jednotlivé koncentrace fosforu v měřených olejích
Graf 7: Jednotlivé koncentrace síry v měřených olejích
Graf 8: Jednotlivé koncentrace vápníku v měřených olejích
Graf 9: Jednotlivé koncentrace titanu v měřených olejích
Graf 10: Jednotlivé koncentrace vanadu v měřených olejích
Graf 11: Jednotlivé koncentrace chromu v měřených olejích
Graf 12: Jednotlivé koncentrace manganu v měřených olejích
Graf 13: Jednotlivé koncentrace železa v měřených olejích
Graf 14: Jednotlivé koncentrace kobaltu v měřených olejích
Graf 15: Jednotlivé koncentrace niklu v měřených olejích
Graf 16: Jednotlivé koncentrace mědi v měřených olejích
Graf 17: Jednotlivé koncentrace zinku v měřených olejích
Graf 18: Jednotlivé koncentrace molybdenu v měřených olejích
Graf 19: Jednotlivé koncentrace cínu v měřených olejích
Graf 20: Jednotlivé koncentrace olova v měřených olejích
Graf 21: Porovnání nového oleje a recyklátu pomocí metody Ruler

Seznam použité literatury

- [1] HELEBRANT, František. *Technická diagnostika a spolehlivost I*. Technická univerzita Ostrava, 2000, ISBN 978-80-248-3028-5.
- [2] MATĚJOVSKÝ, Vladimír, Karel NOVÁK a Jiří NĚMEC. *Spalovací motory III.*, přeprac. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1994.
- [3] BEČKA, Jan. *Tribologie.*, přeprac. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1997.
- [4] HODAČOVÁ, Iva. *Sledování úbytku maziva nanášeného na povrch plechu v závislosti na teplotě a čase*, Liberec 2007.
- [5] ŠTĚPINA, Václav a Václav VESELÝ. *Maziva a speciální oleje: Základy tribotechniky*. Bratislava: Veda, 1980
- [6] *Výkonové klasifikace průmyslových maziv* [online]. Brno: oleje.cz. [cit. 3.2.2017]
Dostupné z <<https://www.oleje.cz/clanek/Vykonova-klasifikace-prumyslovych-maziv>>
- [7] *Definice viskozity*, Wikipedia [online]. [cit. 8.3.2017]
Dostupné z <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Viskozita>>
- [8] *Oxidační stabilita olejů* [online]. Brno: oleje.cz. [cit. 9.3.2017]
Dostupné z <<https://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Oxidacni-stabilita--nitrace->>
- [9] *Infračervená spektroskopie* [online]. VŠCHT. [28.3.2017]
Dostupné z <<http://old.vscht.cz/lms/Zverze/Infrared.htm> 28.3.2017>
- [10] *Fluorescenční spektroskopie XRF* [online]. Endpedie.com. [28.3.2017]
Dostupné z <[http://enpedie.cz/wiki/Rentgenofluorescen%C4%8Dn%C3%AD_ana1%C3%BDza_\(XRF\)](http://enpedie.cz/wiki/Rentgenofluorescen%C4%8Dn%C3%AD_ana1%C3%BDza_(XRF))>
- [11] *Stanovení čísla kyselosti* [online]. Praha: Diram.cz. [26.4.2017].
dostupné z <<http://www.diram.cz/cs/elektrochemie/stanoveni-cisla-kyselosti/>>
- [12] Emailová komunikace se společností FILTRATION TECHNOLOGY.
- [13] *Inc. Permission required for reproduction or display*. Washington: The McGraw-Hill Companies, 2001.
- [14] *Popis přístroje MPC color* [online]. Praha: Intribo.com. [5.5.2017].
Dostupné z <<http://www.intribo.com/laboratorni-technika/mpc-color>>

- [15] *Popis recyklovaného motorového oleje* [online]. Praha: hybrid.cz. [7.5.2017].
Dostupné z <<http://www.hybrid.cz/nextgen-recyklovany-motorovy-olej-od-spolecnosti-valvoline>>
- [16] *Zpráva o měření kontaminovaného oleje* [online]. Brno: diagnostikastroju.cz. [13.5.2017].
dostupné
z<<http://www.diagnostikastroju.cz/pdf/aktualne/KONTAMINACE%20HYDR%20OLEJE>>
- [17] *Odporový teploměr* [online]. Praha: omegaeng.cz. [15.5.2017].
Dostupné z <<http://www.omegaeng.cz/pptst/PR-10.html>>
- [18] *Teplotní čidlo* [online]. Praha: gme.cz [15.5.2017].
Dostupné z <<https://www.gme.cz/teplotni-cidlo-s-kabelem-2-metry-flajzar-ds18b20-teplotni-cidlo#product-detail>>
- [19] *Ceník Inconelových trubek* [online]. piyushsteel.com. [16.5.2017].
Dostupné z <<http://www.piyushsteel.com/blog/price-list-of-nickel-alloy-pipes-tubes/>,
16.5.2017>
- [20] *Specifikace filtračních zařízení* [online]. Uherský Brod: filtratiaon.cz. [24.5.2017].
Dostupné z <<http://www.filtration.cz/vyroba-filtracnich-zarizeni/>>