

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

Jiří Trnka

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Možnost využití infračervené a rentgenové spektrometrie
v tribodiagnostice
Jiří Trnka

Bakalářská práce

2017

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří Trnka**
Osobní číslo: **D14713**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Ochrana životního prostředí v dopravě**
Název tématu: **Možnosti využití infračervené a RTG spektroskopie v tribodiagnostice**
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

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

Osnova:

- 1) Úvod
- 2) Na základě studia literatury a informačních zdrojů popište současný stav v oblasti tribodiagnostiky hydraulických kapalin.
- 3) Seznamte se s principy a metodikou používaných experimentálních metod: infračervenou spektrometrií s Fourierovou transformací (FTIR spektrometrií) a rentgenové spektrometrie (RTG spektrometrie).
- 4) Proveďte měření procesních kapalin (hydraulických kapalin) odebraných ze strojního zařízení ve Škodě Auto a.s. a na základě výsledků vyhodnoťte jak stav těchto kapalin, tak stav zařízení a závěry zpracujte ve formě doporučení pro uživatele.
- 5) Závěr

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího práce

Rozsah pracovní zprávy: 30-40stran textu a přílohy

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

Literatura:

1. STODOLA, J., MACHALÍKOVÁ, J. Spolehlivost a diagnostika BSV. Provozní hmoty a materiály MTV. Brno: Univerzita obrany v Brně, 2006. 134 s. ISBN 80-7231-167-0.
2. TOMS, L. A.: Machinery Oil Analysis: Methods, Automation & Benefits, Society of Tribologists & Lubrication Engineers, 2008, Park Ridge USA, p. 262. ISBN 978-0-9817512-0-7.
3. MACHALÍKOVÁ, J., SEJKOROVÁ, M. Diagnostika a kontrola jakosti provozních hmot. Studijní opora na CD. Univerzita Pardubice, 2013. ISBN 978-80-7395-620-2.
4. SEJKOROVÁ, M. Metody tribotechnické diagnostiky. Vysoká škola báňská Technická univerzita Ostrava, Univerzita Pardubice, 2013. ISBN 978-80-248-3280- Dostupné z: http://www.vvvd.cz/doc/cms_library/metody-tribotechnicke-diagnostiky-398.pdf
5. ŠTĚPINA, V. a VESELÝ, V. Maziva v tribologii. Bratislava: Veda, 1985.
6. <http://www.techmagazin.cz/>
7. <http://www.tribotechnika.cz/casopis>
8. https://www.oleje.cz/obsah/prumyslova_maziva

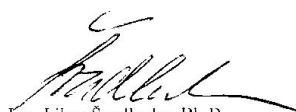
Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Marie Scjkorová, Ph.D.

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: 15. února 2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 2. června 2017


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

L.S.


doc. Ing. Michael Lata, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. února 2017

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

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

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

Tato bakalářská práce byla realizována s využitím technologií Výukového a výzkumného centra v dopravě Univerzity Pardubice a přístrojové techniky společnosti Škoda Auto, a.s.

V Pardubicích dne 2. 6. 2017

Jiří Trnka

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval paní Ing. Marii Sejkorové, Ph.D. za odborné vedení při zpracování bakalářské práce. Zároveň můj dík patří firmě Škoda Auto, a. s., která mi poskytla technické vybavení, jmenovitě panu Ing. Davidu Šotkovi za jeho cenné rady. Další poděkování patří mé rodině za podporu při studium na Univerzitě Pardubice.

ANOTACE

Práce se zabývá popisem současného stavu v oblasti tribodiagnostiky hydraulických kapalin. Důraz je kladen na dvě experimentální metody, infračervenou spektrometrii s Fourierovou transformací a rentgenovou spektrometrii, kterými se zjišťuje míra znehodnocení maziva a následně i míra znehodnocení strojních zařízení. Byl analyzován použitý hydraulický olej z hydraulických soustav používaných ve firmě Škoda Auto, a.s.

KLÍČOVÁ SLOVA

tribologie, tribotechnická diagnostika, hydraulický olej, RTG spektrometrie, FTIR spektrometrie, stav oleje, mazání

TITLE

Possibilities of using infrared and X-ray spectrometry in tribodiagnostics

ABSTRACT

This theses is deals state of hydraulic fluids. Emphasis is laid on two experimental methods, infrared spectrometry with Fourier transformation, and X-ray spectrometry, when to find out the degree of lubrication depreciation and the degree of degradation of machinery. It was analyzed used hydraulic oil from the hydraulic systems used in the company Škoda Auto.

KEYWORDS

tribology, tribotechnical diagnostics, hydraulic oil, XRF spektrometry, FTIR spectrometry, condition oil, lubrication

OBSAH

ÚVOD.....	8
1 TEORETICKÁ ČÁST.....	9
1.1 Uvedení do problematiky	9
1.2 Tribologie	9
1.2.1 Druhy opotřebení.....	10
1.3 Tribotechnická diagnostika (TTD)	13
1.4 Tribodiagnostika v průmyslu.....	13
1.5 Maziva	13
1.5.1 Výroba maziv	14
1.5.2 Dělení maziv	15
1.5.3 Aditiva	15
1.6 Průmyslové oleje.....	16
1.7 Hydraulické oleje.....	16
1.7.1 Rozdělení hydraulických olejů.....	17
1.7.2 Parametry hydraulických olejů.....	17
1.7.2.1 Viskozita.....	17
1.7.2.2 Číslo kyselosti (TAN)	18
1.7.2.3 Mechanické nečistoty.....	18
1.7.2.4 Měkké kaly v olejích.....	19
1.7.2.5 Stanovení množství vody.....	21
1.7.3 Metody analýzy otěrových částic v hydraulických olejích.....	22
1.8 Instrumentální metody TTD použité v experimentální části.....	24
1.8.1 Infračervená spektrometrie (FTIR).....	25
1.8.2 Rentgenová spektrometrie (XRF)	28
2 CÍL PRÁCE	30
3 PRAKTICKÁ ČÁST	31
3.1 Odběr vzorků hydraulického oleje	31
3.2 Použité metody.....	36
3.2.1 RTG Spektrometrie	36

3.2.2 FTIR Spektrometrie	38
3.3 Výsledky měření a jejich interpretace	40
3.3.1 Výsledky měření na RTG Spektrometru	40
3.3.2 Výsledky měření na FTIR Spektrometru	47
4 ZÁVĚR.....	50
5 POUŽITÁ LITERATURA	52
6 SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK	54

ÚVOD

Trendem ve vývoji motorových vozidel je především dosahování stále vyšších výkonů, vyšší spolehlivosti a bezpečnosti provozu a v neposlední řadě i hospodárnosti a ekologičnosti provozu těchto vozidel. Obdobné požadavky jsou kladené také na pracovní stroje. Všechny tyto faktory ovlivňují požadavky na materiálové složení jednotlivých komponent, na sledování technického stavu dopravních prostředků či pracovních strojů a na kvalitu používaných provozních hmot.

Je prokázáno, že až za 80 % poruch může špatná kondice maziva, tj. jeho znečištění [9], proto je důležité pravidelně monitorovat stav mazacích olejů. Vědní disciplína, která se zabývá zjišťováním životnosti maziva na základě hodnocení jeho kvalitativních parametrů je tribotechnická diagnostika (TTD). Tento typ diagnostiky dále řeší problematiku zjišťování režimu, místa a trendu opotřebením mechanických systémů prostřednictvím vyhodnocení výskytu otěrových kovů a dalších cizích látek v mazivu a rovněž problematiku stanovení optimálních výměnných intervalů maziv.

V automobilovém průmyslu se využívají hydraulické soustavy s velkými objemy mazacích olejů, kde nastavení optimálních výměnných intervalů těchto náplní je přínosem nejen ekonomických, ale také přínosem pro životní prostředí, protože není předčasně měněn olej, který by mohl v systému plnit svoji funkci, tj. je šetřeno ropnou surovinou.

V bakalářské práci je řešena problematika využití pokročilých instrumentálních metod TTD, rentgenové spektrometrie a infračervené spektrometrie, v hodnocení životnosti hydraulických kapalin používaných ve strojích firmy Škoda Auto, a.s.; tyto stroje se využívají při výrobě komponent pro dopravní prostředky.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Uvedení do problematiky

Diagnostika jako taková a tedy i tribodiagnostika má hlavní cíl varovat a včas upozornit na blížící se poruchu stroje. Diagnostika je bezdemontážní a využívá sledování změn vlastností oleje, tepelných změn a vibrací k hodnocení stavu stroje. Tímto typem diagnostiky lze předcházet výpadkům strojů. Nechtěná porucha stroje může znamenat komplikace. Pro firmy, kde je nepřetržitý provoz, je náhrada kapacity velice složitá, nákladná a v některých případech přímo nemožná. Nepřetržitý provoz se neobejde bez proaktivní údržby. Jedná se o prediktivní postupy péče o hydraulické soustavy monitorováním hydraulického oleje a jeho ošetřováním. Na olej lze pohlížet i jako na pracovní médium, které si potřebuje uchovat po co nejdelší dobu své optimální parametry. Na změnu těchto parametrů působí mnoho faktorů, které můžeme nazvat procesem „stárnutí“. Tento proces nemůžeme zcela zastavit, nicméně můžeme kladně ovlivňovat jeho důsledky, přednostně se jedná o tvorbu nečistot. Nacházíme se v době, která klade důraz na efektivitu a výkonnost. I maličkost, jako například o dva měsíce delší životnost mazadel může znamenat konkurenční výhodu. Proto se firmy poohlížejí po produktech, které jim tyto možnosti nabízejí, v minulosti byly tyto výhody přehlíženy jako nepodstatné, ale dnes si firmy umějí spočítat, že prostředky, vynaložené na proaktivní údržbu se jim několikanásobně vrátí.

1.2 Tribologie

Tribologie je z řeckého slova tribos (tření). Jde o vědní disciplínu zabývající se sledováním stavu dvou těles při vzájemném dotyku. Při tomto stavu dochází k tzv. odporu proti pohybu, to znamená, že dochází ke tření. Třením dochází k opotřebení pohybujících se povrchů a následné poruše součásti. Jedním z oborů tribologie, která se zabývá aplikací tribologie v praxi, je tribotechnika [1, s. 9-10].

Mezi nejdůležitější oblasti, které tribotechnika řeší, patří:

- studium procesu tření a opotřebení,
- maziva a jejich testování, tribodiagnostika,
- výběr a způsob aplikace maziv,
- mazací technika,
- atd.

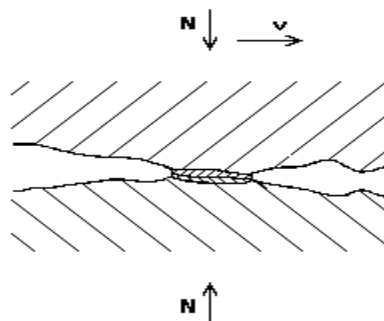
1.2.1 Druhy opotřebení

Při opotřebení dochází k úbytku materiálu z povrchu při vzájemném pohybu dvou či více materiálů, nebo při interakci s prostředím. Podle definice se může zdát, že je opotřebení zcela nežádoucí, není tomu ve všech případech tak. Například u obrábění různých součástí je opotřebení nezbytné. K nežádoucím změnám povrchu funkčních ploch přispívají i různé chemické a elektrochemické procesy.

Druhy opotřebení můžeme dělit do šesti skupin:

1. Adhezivní opotřebení (obr. 1)

Tuhé těleso není nikdy hladké, vyskytují se na něm makronerovnosti, mikronerovnosti a submikronerovnosti. Z toho důvodu k sobě dvě tělesa dokonale nepřilnou, ke styku povrchu dvou částí dochází pouze ve velkém počtu dotkových plošek. Na těchto místech se vlivem adhezních sil tvoří mikrospoje. Když dojde k poruše mikrospoje dochází k přenosu materiálu. Intenzita adhezivního opotřebení může být ve formě mírné (normální opotřebení) až po formu intenzivní. Zde už se vyskytuje zadírání. Intenzivní opotřebení má za následek rozrušování funkčního povrchu a zvýšený odpor proti pohybu. Intenzivní opotřebení způsobuje hluboké rozrušování funkčního povrchu a velké zvýšení odporu proti pohybu. Intenzivně opotřebované povrchy jsou rýhované, rozbrázděné. Intenzivní opotřebení má za následek zvýšený odpor proti pohybu. To může vygradovat až k zadření spolupůsobících strojních součástí. Nejčastější příčinou tohoto stavu je selhání mazání [1].



Obr. 1 – Adhezivní opotřebení [1]

Vliv na vznik a průběh abrazivního opotřebení mají tyto faktory [1]:

- velikost zatížení a rychlost relativního pohybu,
- hloubka vnikání a poloměr zakřivení povrchových mikronerovností,
- schopnost materiálu vytvářet adhezní spoje.

2. Abrazivní opotřebení

Při abrazivním opotřebení působí jedno z těles tvrdým a drsným povrchem na to druhé. Při tomto druhu opotřebení se na povrchu vytvářejí rýhy a seřezává se povrch. Jeden z příkladů je vnikání mechanických nečistot mezi dva povrchy pohybujících se mechanismů [1].

3. Erozivní opotřebení

K opotřebení dochází pomocí částic média, které proudí kolem funkčních povrchů. Často dochází i ke zvlnění povrchu způsobeným turbulencí proudícího média. Médium může poškodit povrch do značné hloubky. S tímto typem opotřebením se lze setkat např. u čerpadel a potrubí na znečištěné kapaliny [1].

Vliv na vznik a průběh erozivního opotřebení mají tyto faktory [1]:

- relativní rychlost opotřebovávajících částic,
- teplota a chemické vlastnosti nosného média,
- druh, velikostí a tvar částic,
- vlastnosti opotřebovávaného materiálu.

4. Kavitační opotřebení

Díky kavitačnímu opotřebení vzniká poškozování a oddělování částic povrchu součástí v místech zániku kavitačních dutin. S kavitačním opotřebením se setkáme například u kluzných ložisek, v hydraulických systémech atd.

Vliv na vznik a průběh kavitačního opotřebení mají tyto faktory [1]:

- obsah plynů v kapalině,
- teplota a tlakové poměry,
- povrchové napětí a viskozita kapaliny.

5. Únavové opotřebení

Při tomto opotřebení se akumulují poruchy v povrchové vrstvě materiálu z důvodu opakovatelných stykových napětí v některých částech funkčních povrchů. Jedním z typu únavového poškození je tzv. pitting. Jedná se o vymáčkáni důlků. Při tvorbě těchto důlků se značně podílí mazivo, mazivo vniká do povrchových trhlin materiálu, kde je v důsledku pohybu součástí uzavíráno, a tak se tlak účinkem namáhání zvyšuje. Z tohoto důvodu se trhlinky rozšiřují a stávají se z nich důlky. U křehkých a málo plastických materiálů může dojít až ke křehkému lomu. Únavové opotřebení se objevuje hlavně u valivých ložisek, zdvihátek ventilů a ozubených kol [1].

Vliv na vznik a průběh únavového opotřebení mají tyto faktory [1]:

- nečistoty a vměstky,
- tvrdost povrchové vrstvy,
- drsnost povrchu.

6. Vibrační opotřebení

Díky vzájemným kmitavým tangenciálním posunům funkčních povrchů materiálů, dochází u těchto povrchů k oddělování částic a jejich poškození při působení normálového zatížení. Výchylky u těchto vibrací se pohybují řádově do 100 μm . K vibračnímu opotřebení dochází u různých pohyblivých sestav, které jsou buzeny buď vlastními, nebo cizími kmity, jedná se například o valivá ložiska nebo čepy hřídelů [1].

Dělení z hlediska velikosti otěrových částic [1]:

- | | | |
|---------------|---------------|--|
| 1) normální | | otěr velikosti do 3 μm |
| 2) nenormální | a) těžký | otěr velikosti do 10 μm |
| | b) destrukční | otěr velikosti nad 100 μm . |

S tímto dělením se můžeme setkat zejména při hodnocení opotřebení motorů. Nenormální zatížení často souvisí s poruchou mazání, kdy také dochází k tzv. těžkému opotřebení. Ochranná povrchová vrstva maziva se v tomto případě nestačí vytvořit. Třecí povrchy jsou v bezprostředním kontaktu, dochází k hloubkovému narušení. Při těžkém vibračním opotřebení vzniká otěr o velikosti 10 až 100 μm . Celý proces je destrukční a může vést až k závadě součásti (například zadření motoru) [1].

1.3 Tribotechnická diagnostika (TTD)

Každý stroj, který se nachází v pracovní fázi, vykazuje určité opotřebení, při kterém se uvolňují částice kovů nebo jejich sloučenin. Tyto produkty cirkulují v mazací soustavě stroje spolu s produkty, které vznikají degradací oleje. Koncentrace produktů závisí na stupni daného opotřebení. K zjištění opotřebení nám slouží tribotechnická diagnostika. Jedná se o bezdemontážní technickou diagnostiku, která hodnotí stav strojní součásti nebo provozní kapaliny. Zjišťuje, vyhodnocuje a oznamuje výskyt cizích látek v mazivu. Díky výsledkům z provedených zkoušek můžeme předejít vážné poruše a také zjistit lokalizaci místa vzniku mechanické závady [1, s. 10].

1.4 Tribodiagnostika v průmyslu

Dnešní doba je nastavená tak, aby se ve všech odvětvích průmyslu nečekalo na vznik poruch, ale aktivně se jim předcházelo. Přichází do popředí analýzy procesních kapalin. Monitorování důležitých parametrů maziv a tím pádem i stavu stroje vede k zajištění spolehlivé funkce stroje po celou dobu jeho životnosti. Jak již bylo v práci zmíněno, hlavním úkolem tribodiagnostiky je včas upozornit na blížící se poruchu stroje, tedy lokalizovat možná místa poškození a předcházet poruše stroje. V tomto tvrzení je ukryt hlavní ekonomický efekt [3].

1.5 Maziva

Volba vhodného maziva je jedním z rozhodujících faktorů ekonomického a spolehlivého provozu. Maziva se dělí podle formy, ve které se v přístroji vyskytují na plynná, kapalná, plastická a tuhá.

Název maziva lze přiřadit souboru olejů a plastickým mazivům určeným k mazání, popřípadě k přenosu síly v automobilech a jiných strojních součástích. Praktický význam v případě konečného uživatele dopravních prostředků mají hlavně převodové a motorové oleje. Nejdůležitější úlohou maziva je eliminovat tření a zamezit opotřebení mezi stykem dvou povrchů, které jsou v kontaktu a pohybují se. Další nezbytnou úlohou je regulace teploty. Maziva odvádí teplo z místa, kde ho je "nejvíce" a přirozeně ho rozptýlí nebo odvedou tepelným výměníkem či jiným chladicím zařízením. Maziva také předchází chemickému napadení. Díky tomu, že se pokryje vrstva součásti ochranným filmem, nedochází ke korozi a jinému porušení povrchu. Poslední

úlohou maziva, o které bych se zmínil, je termooxidační stálost oleje, ta zabraňuje tvorbě termooxidačních reakcí a tím pádem usazování těchto produktů na plochách potažených olejem [2].

K dalším nezbytným funkcím patří [2]:

- tlumení hluku a vibrací,
- antikoroziční ochrana,
- snížení odporu,
- přenos energie,
- neutralizace.

1.5.1 Výroba maziv

Úplným základem maziv je základový olej. Výroba základového oleje spočívá ve třech technologických krocích. První z nich je rafinace ropné suroviny, druhý je odparafinování oleje a tím posledním krokem je dorafinování oleje. Nejdůležitějším krokem je rafinace, tento krok určuje kvalitu hotového oleje. Extrakční rozpouštědlo odstraní z ropné suroviny většinu látek, které v oleji nepotřebujeme a které jsou látkami nežádoucími. Jedná se především o pryskyřičnaté látky, které obsahují síru a dusík. Tyto látky mají tendenci v oleji vytvářet nežádoucí úsady a kaly, které by v souladu s teplotou vytvářely na horkých dílech stroje tvrdé lakovité nánosy. Druhý, modernější způsob rafinace je hydrokrakování. Na rafinaci navazuje odparafinování, to spočívá ve smíchání rafinovaného oleje s rozpouštědlem. Poslední stupeň výroby slouží k odstranění zbytkových nečistot oleje a zlepšuje se i jeho barva. Čím je olej světlejší, tím ho zákazníci lépe akceptují. Kvalita je udávána hlavně parametry, jako je viskozitní index, obsah síry a obsah nasycených uhlovodíků. Čím kvalitnější základový olej je, tím má vyšší viskozitní index, větší obsah nasycených uhlovodíků a nižší obsah síry. Maziva se dělí do pěti skupin. První tři skupiny jsou ropné (minerální) oleje, čtvrtou skupinou jsou polyalfaparafíny a poslední, pátou skupinou jsou ostatní syntetické oleje (estery, polyethery, polyglykoly, atd.) [2, s. 12-30].

1.5.2 Dělení maziv

Každý stroj potřebuje vhodné mazivo to je jedním z rozhodujících faktorů spolehlivého a ekonomického provozu. S rozvojem strojních zařízení souvisí i vývoj a aplikace maziv. Pro každý stroj jsou volena specifická maziva, která se dělí na maziva:

- kapalná,
- plastická,
- plynná,
- tuhá.

U základních olejů je hlavním parametrem dělení jejich kvalita. V prvních třech skupinách jsou ropné (minerální) oleje. Liší se v obsahu síry, nasycených uhlovodíků a v hodnotě viskozitního indexu. Další skupinou je olej syntetický, který je vyráběn chemickou syntézou, dochází ke skládání látek jednoduchých na látku složitější. Syntetické oleje mají vynikající a stabilní vlastnosti. Tyto vlastnosti můžeme na rozdíl od ropných olejů do značné míry předem definovat. Mezi hlavní vlastnosti v porovnání s minerálními oleji patří menší závislost viskozity na teplotě, vyšší oxidační a tepelná stálost, nízká odolnost vůči odporu atd. Co se týče biomaziv, jsou to maziva biologicky snadno, a tedy i rychle, rozložitelná. Biologickou rozložitelností se rozumí destrukce organické hmoty maziva [2, s. 12-30].

1.5.3 Aditiva

Konečná kvalita oleje je závislá na základovém oleji a na přidaných účinných látkách, tzv. aditivech. Dnes už takřka všechny moderní mazací oleje jsou upraveny pomocí aditiv. Olej musí být „namíru“ ušit pro daný typ stroje a pro jeho účely. Zušlechťující látky jsou vyráběny z účinných syntetických látek. Z hlediska struktury se zušlechťující látky rozdělují na polární a nepolární. Z obecného hlediska můžeme aditiva rozdělit do tří skupin. Tou první skupinou jsou aditiva pro ochranu povrchů. Mezi tyto aditiva patří detergenty, které chrání povrchy proti usazování laků a částic karbonu a působí na povrchy čistícím účinkem. Dispersanty, které zabraňují shlukování nečistot, a posledními aditivami pro ochranu povrchů jsou protikorozní přísady, ty vytvářejí na povrchu součásti kovový film a rovněž neutralizují kyseliny. Druhou skupinou aditiv jsou aditiva pro zlepšení jakosti povrchů. Sem patří modifikátory viskozity, snižovače bodu tuhnutí a látky proti bobtnání elastomerů.

Poslední skupinou jsou aditiva pro ochranu oleje, které se dále dělí na aditiva proti stárnutí, ty zpomalují reakci oleje s kyslíkem, dále deaktivátory kovů a protipěnovostní aditiva [3, s. 41-43].

1.6 Průmyslové oleje

Jedná se o kapalná maziva složené ze základového oleje a přísad, tyto přísady určují vlastnosti daného oleje. Základní charakteristikou pro průmyslové oleje je kinematická viskozita měřená při 40 °C a druh oleje. Viskozitní klasifikace je dána normou ISO 3448 a charakteristika dle druhů oleje je v normě ISO 6743. První písmeno v názvu oleje udává zařazení oleje z hlediska použitelnosti. Například pro spalovací motory se jedná o písmeno E, parní stroje Z... Další písmena v názvu značí zušlechťující přísady oleje. Jako příklad můžu uvést mazací oleje, které mají detergentní přísadu, např. hydraulické oleje HLPD [2, s. 58].

1.7 Hydraulické oleje

Hydraulické oleje jsou na žebříčku významnosti druhé. Na první příčce jsou motorové oleje. Hlavním úkolem hydraulického oleje je zmenšování třecích účinků mezi dvěma povrchy. Hydraulický olej je tvořen základní složkou, tou je nejčastěji základový olej a dále z chemických látek zvaných přísady (aditiva). Kvalita hydraulického oleje je dána právě kvalitou základového oleje a kombinací přísad. Další důležitou vlastností hydraulického oleje je stabilita. Jedná se o odolnost proti stárnutí, proti zvyšování viskozity, tvorbě laků a úsad. Abychom dosáhly dobré stability, musíme k tomu zvolit vhodný základový olej v kombinaci s přísadami, antioxidanty. Každý olej prochází procesem stárnutí. První příčinou je oxidace za přítomnosti kyslíku, vody, nebo kovů. Druhou příčinou je termální degradace [2, s. 63-66]. Hydraulický olej se vyskytuje v každé hydraulické soustavě. První hydraulickou soustavu vynalezl roku 1795 Josef Bramah. Další hydraulická soustava byla objevena roku 1851. Jednalo se o hydraulický zvedák, který vynalezl Richard Dudgeon. Právě tyto dva podněty vytvořily podmínky rozvoje poměrně efektivního přenosu tlakové energie formou kapalin. Zároveň umožnily podle přesně zadaných požadavků ovládat parametry takto přenášené energie [7].

1.7.1 Rozdělení hydraulických olejů

ISO 6743/4

HH	rafinovaný ropný olej bez přísad
HL	+ přísady proti korozi a oxidaci
HM	+ protioděrová přísada
HV	+ přísada zvyšující viskozitní index

DIN 51 524

HL	H	= hydraulická kapalina, L = protikorozní a protioxidační vlastnosti
HLP	+P	= protioděrové vlastnosti
HLPD	+D	= detergentní vlastnosti
HVLP	+V	= snížená závislost viskozity na teplotě
HVLPD		

1.7.2 Parametry hydraulických olejů

Olej má především systém mazat, ale zároveň plní funkci těsnící, chladící, čistící a chrání před korozi. Tyto funkce může ovlivňovat řada faktorů. Olej může ztratit mazivost, nebo se v systému mohou tvořit úsady. To má za následek přehřívání a přetěžování systému. Kromě stárnutí oleje, může mít na olej negativní vliv například vytíženost stroje. Pro zjištění degradace oleje a případné upozornění na technickou závadu, je důležité stav hydraulického oleje monitorovat. Monitorování stavu hydraulického oleje se provádí pomocí základních technik. Zjišťujeme odchylku od známé hodnoty parametru. Parametry sledované u hydraulických olejů jsou: viskozita, číslo kyselosti, číslo mechanického znečištění, kaly v olejích a obsah vody v oleji. Tyto parametry zjišťujeme pomocí metod tribodiagnostiky.

1.7.2.1 Viskozita

U reálných kapalin na rozdíl od ideálních kapalin předpokládáme výskyt smykových napětí a jejich velikost při jednotkové vzájemné rychlosti po sobě se posouvajících vrstev kapaliny. U hydraulických kapalin se většinou stanovuje kinematická viskozita. Dynamická viskozita se stanovuje spíše pro charakterizaci

nízkoteplotních vlastností kapaliny především z hlediska tuhosti. Viskozitu udává výrobce s důrazem na pracovní tlak systému a přenášené síly. Teplotní závislost viskozity oleje udává viskozitní index. Čím je vyšší viskozitní index, tím je viskozita méně závislá na teplotě. Viskozitní index nejvíce ovlivníme technologií výroby a poté pro zvýšení viskozitního indexu můžeme použít přídavkem polymerních aditiv [1, s. 32].

1.7.2.2 Číslo kyselosti (TAN)

Kyselé látky se v novém oleji vyskytují z důvodu přidávání některých aditiv např. antioxidanty nebo mazivostní přísady. Ty právě proto, že jsou slabě kyselé, mají vlastnosti, které od přísad vyžadujeme. Ostatní kyselé látky vznikají za provozu stroje vlivem oxidační degradace. Kyselé látky by ve větší míře mohli způsobit i závažnou korozi stroje. Kyselost oleje lze vyjádřit měřitelnou hodnotou (TAN). Tato hodnota udává množství silně i slabě kyselých látek v oleji. Hodnota TAN se vyjadřuje v jednotkách – mg KOH/g. Olej např. s TAN = 6 mg KOH/g tak obsahuje v 1 g tolik kyselých látek, které lze neutralizovat 6 mg hydroxidu draselného [5].

1.7.2.3 Mechanické nečistoty

Mezi velice důležité měřítko hodnocení stavu hydraulického oleje jsou pevné nečistoty v oleji. Jedná se především o prachové částice, které se dostávají do oleje přes provzdušňovací zátky, a kovové částice, které se do systému dostávají opotřebením jednotlivých částí hydraulického systému, například čerpadla. Dají se zjišťovat několika způsoby. Prvním z nich je mikroskopické stanovení velikosti a počtu nečistot. Částice se zachytávají na membránovém ultrafiltru a jsou pod mikroskopem počítány podle velikosti pomocí okulárového měřítka. Dalším způsobem je ferografie, která nám dá přehled o počtu částic, velikosti a morfologii otěru, ale nedozvíme se nic o jeho chemickém složení. Princip analýzy spočívá v tom, že vzorek oleje stéká po nakloněné rovině, pod kterou je umístěn silný magnet. Sklon nakloněné roviny způsobí vlivem magnetické síly zachycení mechanických nečistot. Na začátku dochází k zachycení větších nečistot, s dráhou po nakloněné rovině se nečistoty zmenšují. Při analýze otěrových částic musí být zajištěna dostatečná kvalifikace obsluhy a dostatečné

instrumentální vybavení. V případě, že bychom chtěli vědět i počet konkrétních částic, museli bychom použít rentgenovou spektrometrii.

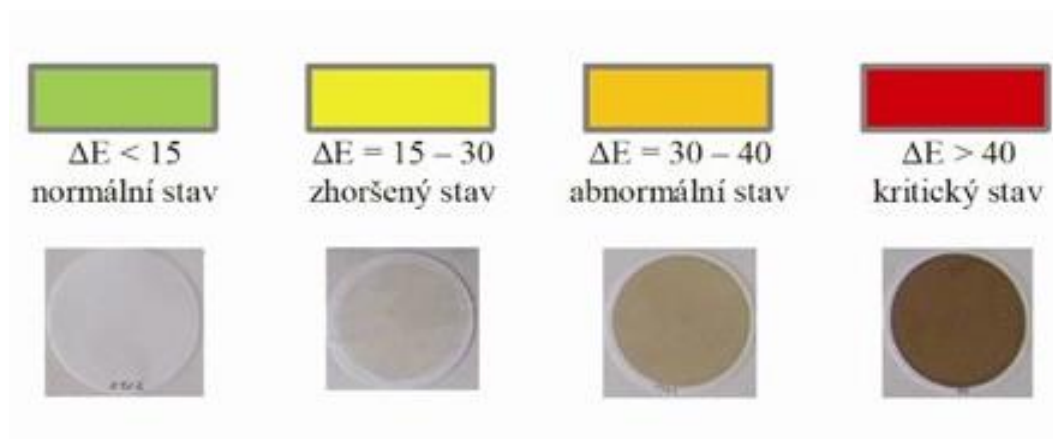
Pro hodnocení znečištění mechanickými nečistotami v kapalině u hydraulického systému používáme kódy čistoty. V praxi se setkáváme s normy ISO 4406/99 a ISO 4406/87. U normy ISO 4406/99 jsou číselné kódy stanoveny podle množství částic jednotlivých velikostí. Jak pro měření částic počítači částic, tak pro měření částic mikroskopem je kód čistoty definován a vyjádřen třemi čísly. U měření počítačem první číslo vyjadřuje počet částic rovné nebo větší než 4 μm , druhé vyjadřuje počet částic rovné nebo větší než 6 μm a třetí číslo je dané počtem částic, které jsou rovné nebo větší než 14 μm . U normy ISO 4406/87 je první číslo kódu dle počtu částic větší nebo rovno 5 μm obsažených v 1ml vzorku (například kódové číslo 0,9 odpovídá počtu částic 0,0025-0,005, kódové číslo 24 odpovídá počtu částic 80 000-160 000), druhé kódové číslo je větší nebo rovno 15 μm . Za druhým kódovým číslem je přiřazeno písmeno M nebo AP dle způsobu stanovení počtu částic. Například 21/17 M znamená, že v 1 ml vzorku je od 10 000 do 20 000 částic nečistot [2, s. 63-66]. Dalším způsobem jak hodnotit znečištění u maziv je pomocí laserového analyzátoru částic LNF. U této metody se vyhodnocují abnormální otěrové částice pocházející z vnitřních částí stroje. Ve finální části je nalezena informace o částicích, které se vyskytují v odebíraném vzorku maziva spolu s chronologickým přehledem předchozích výsledků týkajících se téhož zařízení[17].

1.7.2.4 Měkké kaly v olejích

Znečištění a degradace oleje vyvolána špatnou kondicí oleje je hlavní příčinou většiny problémů týkající se průmyslového stroje, tj. kondice oleje je závislá na kondici stroje. Úsady (obr. 3), které jsou odborníky nazývány dle tribotechnické terminologie tzv. měkké znečištění, poznáme podle jejich specifického zbarvení (od hnědé po černou). Z mnoha součástí, které úsady ovlivňují nejvíce lze vyzdvihnout ložiska, filtry, soukolí převodovek. Úsady vznikají na základě degradace oleje za přítomnosti teplot a kyslíku. Tedy degradací základového oleje a degradací přísad. Úsady zvyšují tření na pohyblivých součástech důsledkem narušení mazacího filmu. Měření úsad se provádí pomocí kolorimetrie membrán (obr. 2). Jedná se o poměrně novou analytickou metodu, která nám dovoluje měřit a sledovat množství nerozpustných nečistot v oleji, tím pádem upozorňuje na nebezpečí tvorby úsad v kritických komponentech strojů a zařízení.

Kolorimetr na základě zbarvení membrány vyhodnotí hodnotu ΔE , která vyjadřuje rozdíl vysílané a přijaté energie v porovnání s ethalonem (čistou membránou). Ethalon má největší odrazivost a propustnost světla, a čím membrána po průchodu oleje s rozpouštědlem tmavne, tím méně světla se od membrány se vzorkem odrazí a dochází k nárůstu ΔE . Platí to, že čím nižší je hodnota kolorimetru, tím je světlejší membrána (kterou prošel vzorek), tím pádem bude i vyšší spolehlivost a životnost strojů. Podle hodnoty ΔE určujeme výsledky měření do čtyř skupin [10].

1. $\Delta E < 15$ – normální stav, pravidelné kontroly, pravděpodobnost tvorby úsad je nízká,
2. $\Delta E = 15 \div 30$ – zhoršený stav, zvýšená pravděpodobnost tvorby úsad,
3. $\Delta E = 30 \div 40$ – abnormální stav, pravděpodobnost tvorby úsad je vysoká, zvýšený obsah měkkého znečištění, olej může způsobovat například problémy u ventilů,
4. $\Delta E > 40$ – kritický stav, vysoký obsah měkkého znečištění.



Obr. 2 – Hodnocení závažnosti dle hodnoty MPC (Membrane Patch Colorimetry – vyhodnocení barvy membrány) [10]

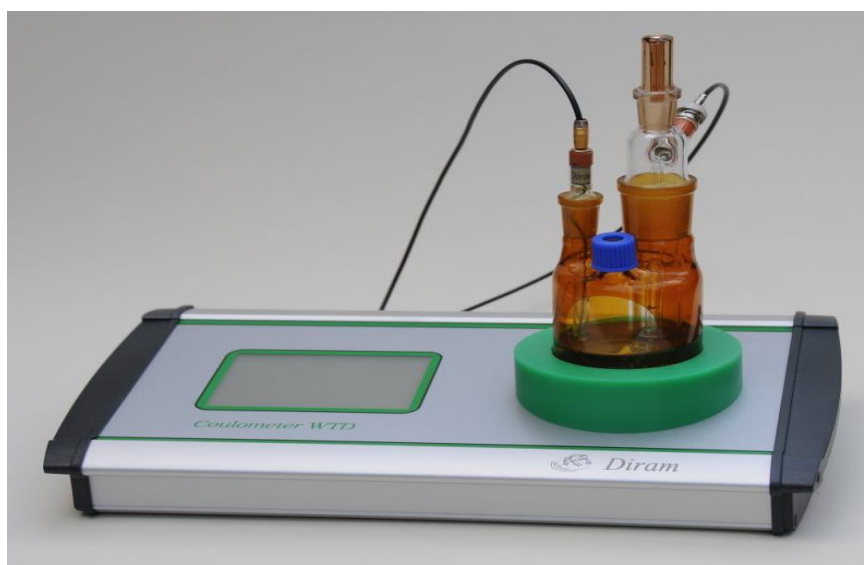


Obr. 3 – Ukázka úsad na hydraulickém prvku[10]

1.7.2.5 Stanovení množství vody

Voda se může nacházet v oleji ve třech formách volné, emulgované a rozpuštěné formě. Voda v oleji se jeví jako nežádoucí, negativně ovlivňuje vlastnosti maziva. Olej je schopen malé množství vody cca do 0,05 % hm. rozpustit, záleží na jeho složení a viskozitě oleje. Tudíž je rozpustnost vody v oleji závislá také na teplotě. Při větším množství vody dochází k tvorbě emulze, nebo se voda odděluje ve formě volné vodné vrstvy. Emulgovaná a volná forma může znamenat problém, kdy tyto formy mohou způsobovat korozi. Látky, které nejsou rozpustné v oleji, způsobují ucpávání regulačních prvků, tvoří usazeniny a způsobují oděr. Vodu lze stanovit jak kvalitativně, tak kvantitativně. Jednodušší kvalitativní stanovení vody provádíme pomocí tzv. praskacího testu, kdy na horkou plochu (teplota cca 130°) kápneme kapičku vzorku oleje. Je-li ve vzorku přítomna voda, ozve se praskání. Druhý způsob stanovení volné a emulgované vody v oleji je test reakcí s hydridem vápenatým. Z reakce se uvolní vodík, který je úměrný obsahu vody. Pro stanovení vázané vody můžeme použít destilační metodu. Princip destilační metody spočívá v tom, že olej se smísí s rozpouštědlem, kdy při destilaci pod zpětným chladičem s jímačem se zachycuje přítomná voda. V tribotechnické diagnostice se nejčastěji využívá metoda Karla Fishera. Jedná se o jodometrické stanovení vody. Důvodem, proč je tato metoda nejvíce využívaná v tribodiagnostice, je především jednoduchost a přesnost metody, tuto metodu lze provádět i na mobilních pracovištích, kdy je zapotřebí kontrolovat obsah vody v průběhu čištění a regenerace olejových náplní strojů. Na tuto metodu se

obvykle používá jednoúčelový titrátor (obr. 4). Karlova souprava se skládá z elektrického přístroje a skleněné nádoby. Jód vzniká v nádobce za přítomnosti proudu a reaguje s ekvivalentním množstvím vody. Ve chvíli, kdy již veškerá voda zreagovala, je indukovaná narůstající koncentrace jódu. Koncentrace jódu na konci měření musí být stejná jako před přidávkem analyzovaného vzorku. Před měřením je koncentrace jódu v nádobce udržovaná na konstantní hodnotě pomocí tzv. kompenzačního proudu. Ten je také označován jako drift nádoby a má za úkol kompenzaci difúze vody z okolí a kompenzaci vlivu vedlejších reakcí jódu s dalšími složkami v roztoku. Chceme-li vodu z oleje rovnou odstranit, musíme k titrátoru připojit modul destilační pícky. V pícce se hydraulická kapalina začne zahřívat, aby došlo k úplnému uvolnění přítomné vody. Voda je dále ve formě páry odváděna nosným plynem do měřicí nádoby coulometru, kde je selektivně stanovená. Vodu lze také získat pomocí infračervené spektroskopie, kdy projevem přítomnosti vody v oleji je pás v oblasti vlnočtu 3400 cm^{-1} [4].



Obr. 4 – Coulometer WTD (titrátor)[11]

1.7.3 Metody analýzy otěrových částic v hydraulických olejích

Olej, který se nachází v hydraulickém systému, nese mnoho informací o tom, co se děje ve stroji, například vnášení částic otěrových kovů do oleje může signalizovat blížící se poruchu na konkrétní komponentě. Díky pravidelnému sledování obsahu vytipovaných otěrových prvků můžeme předvídat vznikající poruchy. Ke stanovení

prvků v mazacích olejích jsou využívány různé metody instrumentální analýzy - atomová absorpční spektrometrie (AAS), emisní spektrometrie s indukci vázaným plazmatem (ICP), rentgenová fluorescence (XRF) ad. U všech metod lze říci, že slouží ke stanovení koncentrace sledovaného prvku.

První metoda, která je dlouhá léta úspěšně využívána pro stanovení otěrových kovů v mazacích olejích se nazývá atomová absorpční spektrometrie (AAS). V zásadě pro tuto metodu lze využít dva postupy přípravy vzorků olejů. První postup je tzv. přímá metoda, ta spočívá v tom, že se vzorek oleje naředí vhodným rozpouštědlem a rovnou se dopravuje do měřicího prostoru AAS spektrometru. Druhý postup, tzv. nepřímá metoda spočívá, že prvky ze vzorku olej se vhodným způsobem převedou do vodného roztoku a ten se pak analyzuje pomocí AAS. U přímé metody je nevýhoda, že její citlivost klesá s rostoucí velikostí částic. Částice, které jsou větší více, jak 15 μm nelze atomizovat a tím pádem daný prvek stanovit. Další „nedostatkem“ je, že vzorek s částicemi kovů je nehomogenní, kdežto standardy, které se používají ke kalibraci přístroje, homogenní jsou. U nepřímé metody by měl být vliv na velikost částic u AAS eliminován. Při srovnání obou postupů přípravy vzorků lze říci, že z nepřímé metody vychází obsahy prvků vyšší. To obnáší dražší a delší stanovení. I přes tyto zápory je metoda AAS pro stanovení otěrových kovů v mazacích olejích hojně využívána.

O druhé metodě můžeme říci, že se jedná o nejvíce rozšířenou metodu pro stanovení otěrových kovů v olejích. Jedná se o emisní spektrometrii s indukci vázaným plazmatem (ICP). Jako plazma se využívá nejčastěji argon s elektromagnetickým vysokofrekvenčním polem indukční cívky jako zdrojem vnější energie. Z plazmatu lze dosáhnout teplot až 10 000 K. U ICP se stejně jako u AAS používají přímé i nepřímé metody přípravy vzorku. Při nepřímé metodě se do plazmatu přidává kyslík, aby organická matrice dokonale shořela. Při nepřímém stanovení stejně jako u AAS dochází k nesrovnalosti mezi nehomogenním vzorkem a homogenními standardy. Vzorek se upravuje stejně jako před stanovením AAS. Nevýhodou ICP je to, že přístroj ICP je drahý, takže si ho zákazník může pořídit v tu chvíli, má-li zajištěn dostatečný počet vzorků na stanovení prvků. Pro přímou metodu u ICP je postup stanovení některých otěrových kovů standardizován v DIN 51 396-1 a v ASTM D5185. Kovy speciálně v izolačních olejích pomocí ICP se stanovují podle ASTM D 7151.

Třetí metodou je rentgenová fluorescenční spektrometrie. Nejdříve tato metoda sloužila při analýzách maziva pro stanovení prvků přítomných v přísadách, později se začala využívat i na stanovení otěrových kovů. Největší výhodou je, že se nejedná o nedestruktivní analýzu, vzorek oleje není spálen, jako tomu bylo u předchozích dvou metod. Takže analýzy daného oleje se můžou opakovat. Manipulace se vzorkem maziva je velmi jednoduchá. Najednou lze analyzovat i více prvků. Mezi nevýhody patří usazování částic kovů v kyvetě během měření a jejich vzájemných zastiňování. Dalším problémem jsou vysoké limity detekce některých prvků. Tabulka 1 ukazuje srovnání metodik stanovení částic vzniklých opotřebením[16].

Tab. 1 – Srovnání metodik stanovení částic vzniklých opotřebením [16]

Metodika	Výhody	Nevýhody
AAS	cena	limit prvků, limit velikosti
OES-ICP	vysoká citlivost, simultánní	cena, limit velikosti
XRF	nedestruktivní, simultánní, jednoduchá manipulace se vzorkem	limit prvků, sedimentace, cena u systému WDXRF
FERROGRAFIE	ilustrativní, cena	časová náročnost, požadavky na obsluhu
PQ nebo FERROUS INDEF	jednoduché, rychlé, cena	pouze velké feromagnetické částice

1.8 Instrumentální metody TTD použité v experimentální části

Životnost hydraulické soustavy je závislá na velikosti opotřebením kovových součástí. Tato problematika je ještě více podnícena skutečností, že náklady na údržbu a opravy někdy převyšují cenu pořizovací. Údržba těchto složitých moderních systémů

zaměstnává velký počet kvalifikovaných pracovníků, proto provozovatel stroje vyžaduje od těchto systémů vysokou životnost a dobrou udržitelnost. Použití rentgenové a infračervené spektrometrie nám zajišťuje podrobné informace o stupni opotřebení maziva, jeho znečištění a také o mechanickém opotřebení systému a jeho závadách. Aplikací těchto metod lze vytvořit spolehlivou kontrolu stavu maziva, tj. optimalizovat výměnné intervaly hydraulických olejů a nastavit včasnou údržbu systémů.

1.8.1 Infračervená spektrometrie (FTIR)

Infračervená spektrometrie (FTIR) je metoda, kterou můžeme zkoumat jak kvalitu nových olejů, tak i olejů, které prošly procesem stárnutí. FTIR nám může při kontrole kvality maziva potvrdit deklarovanou povahu maziva. Každý druh oleje má jiný tvar FTIR spektra a tím je lze zcela oddělit. Principem je analýza absorpčních spekter molekul, které absorbují záření o vlnových délkách 800nm – 100 μ m. Při absorpci infračerveného záření dochází k nárůstu vibračních a rotačních stavů molekuly. Běžné vibrace, ke kterým ve víceatomové molekule dochází, jsou vibrace valenční. Zde dochází ke změně vazebné vzdálenosti mezi atomy. Valenční vibrace mohou být symetrické nebo nesymetrické. Druhou skupinou z běžných vibrací jsou vibrace deformační, u nichž se mění valenční úhel, ale nemění se délka vazby. Různé vibrační vlnočty se mění v důsledku na uspořádání atomů v molekule, na pevnosti chemických vazeb mezi atomy a na hmotnosti atomů. Přitom platí, že čím je vazba pevnější, tím více se absorpční pás posouvá k vyšším vlnočtům, a čím jsou atomy těžší, tím nižší jsou vlnočty, při nichž dochází k absorpci.

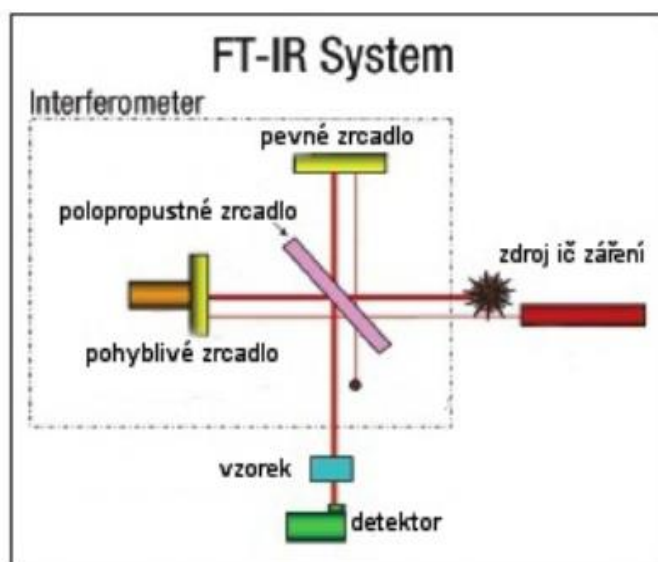
Mezi vibračními a rotačními stavy dochází k velmi malým rozdílům energií, proto nám k vyvolání absorpce stačí záření o nízké energii a větších délkách vlny, než má záření viditelné. Mluvíme o záření infračerveném.

Infračervené záření se dělí na záření:

1. v oblasti blízké,
2. oblast viditelného záření (800-2500 nm),
3. střední (2,5-50 μ m),
4. vzdálené (50-100 μ m).

Chceme-li infračervená spektra vyhodnocovat, sledujeme tři zásadní charakteristiky: poloha a tvar absorpčních pásů, počet pásů a jejich intenzita. Infračervené spektrum

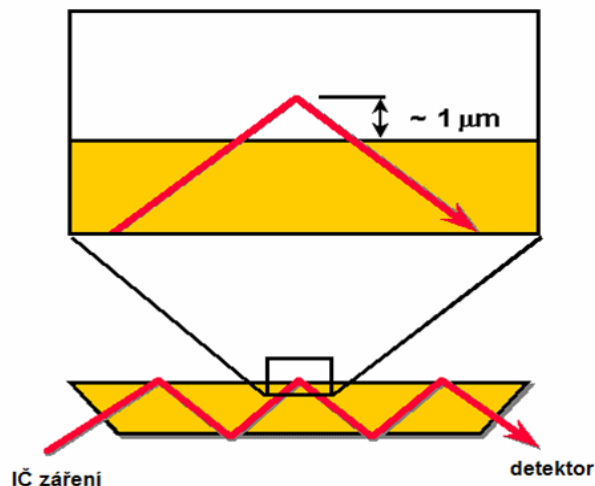
nám udává charakteristiku polárních vazeb v molekule. U nepolárních, nebo jen slabě polárních vazeb vibrace neposkytují žádné nebo jen slabé absorpční pásy. Díky tomuto důsledku aktivity vibrací můžeme využívat spektrometrii v kvalitativní analýze [1, s. 98-100]. Při FTIR analýze dopadá na daný vzorek vždy celý svazek záření (obr. 5), díky tomu můžeme uskutečňovat i experimenty, při nichž dochází k velkým energetickým ztrátám. Například můžeme měřit silně absorbující vzorky.



Obr. 5 – Schéma FTIR spektrometru[1]

Nejrozšířenější technika pro měření opotřebovaných olejů, které silně absorbují infračervené záření, je technika zeslabené totální reflaktance (ATR – Attenuated Total Reflectance). Princip této techniky spočívá v násobném úplném odrazu záření na fázovém rozhraní měřeného vzorku a měřicího krystalu z materiálu o vysokém indexu lomu. (obr. 6) Krystal má většinou tvar lichoběžníkového hranolu a rovinnou strukturu. Do krystalu je pomocí soustavy zrcadel přiveden svazek paprsků. Úhel dopadu na fázové rozhraní musí odpovídat podmínce totálního odrazu. Měřený vzorek musí být bezprostředně uložen v přímém kontaktu s ATR krystalem, přičemž část záření proniká do analyzovaného vzorku. Jelikož ATR krystal má opticky hustší prostředí a zkoumaný vzorek má prostředí opticky řidší, tak při totálním odrazu těchto dvou rozhraní vzniká tzv. evanescentní vlna elektromagnetického záření v oblasti absorpce. Z důvodu exponenciálního klesání evanescentní vlny se vzdáleností od rozhraní je nezbytné, aby vzorek byl v těsném kontaktu s krystalem. Absorbuje-li vzorek záření o určité frekvenci, pak díky totálně odraženému záření bude tato složka zeslabena. Vznikne spektrum, které se do značné míry podobá změřenému spektru v transmittančním režimu. Penetrační hloubka charakterizuje pouze velmi tenké

povrchové vrstvy (je v jednotkách μm). Při aplikaci ATR dochází k násobnému odrazu na fázové rozhraní a díky tomu získáváme kvalitní spektrum, srovnatelné s transmisním spektrem měřeném při tloušťce vzorku řádově desítek μm . Nejčastěji použitými krystaly bývají např. diamant, ZnSe, AgCl atd. [1]



Obr. 6 – Princip zeslabené totální reflektance[1]

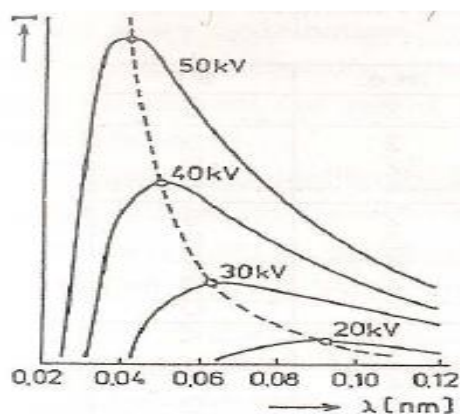
Chceme-li provést analýzu spekter, musíme vycházet ze znalostí vlnových délek, které přímo odpovídají konkrétním sloučeninám nebo charakteristickým strukturním skupinám. (viz. Tab. 2)

Tab. 2 – Vlnočty charakterních strukturních skupin[1]

Primární absorpce (cm-1)	Sekundární absorpce (cm-1)	Funkční skupina typická pro danou vybraci	Diagnostický význam
3300-3500	1600	skupina -OH	voda
1700-1750	1100-1200	skupina =C=O	modifikátory viskozity, oxidační produkty (důsledek stárnutí oleje)
1630	1270	skupina N=O	organické nitrosloučeniny
1100-1200		skupina SO ₃ .	sulfátový detergent
1040, 1080	3300-3500	vazba C-O-	chladičí směs (glykol)
950-1050		P-O-C	aditiva (protiotěrová přísada ZnDDP – dietylditiofosfát zinečnatý)
1900		C	saze

1.8.2 Rentgenová spektrometrie (XRF)

Jedná se o elektromagnetické záření s vlnovou délkou v rozsahu 10^{-6} až 100 nm. Rentgenové spektrum vzniklé primární excitací (tzn. vzniklé proudem urychlených elektronů nebo jiných elementárních částic o dostatečné energii) má dvě složky, spojité spektrum a charakteristické spektrum. Bržděním elektronů vzniká spojité spektrum a má charakteristické rozložení intenzity (obr. 7), které se mění v závislosti na budícím napětí. Minimální vlnová délka λ_{\min} odpovídá největší energii a nezávisí na druhu atomu, naopak je závislá na energii budících elektronů [6, s. 152-153].



Obr. 7 – Průběh spojitého spektra v závislosti na budícím napětí rentgenky. Přerušovaná čára vyjadřuje průběh λ_{\min} . [6]

Z tribodiagnostického hlediska nám tato metoda umožňuje určovat přítomnost chemických prvků v olejích. Je to nejpoužívanější metoda z důvodu rychlosti provedení rozboru. Klasické metody rozborů otěrových prvků jsou velmi časově náročné. Rentgenová spektrometrie není závislá na velikosti otěrových částic, a tak nabízí v tribodiagnostice velké využití. Jediný nedostatek je, že nemá nízký detekční limit, a proto se pomocí této metody nemohou stanovit tak nízké koncentrace kovů. Avšak pro běžné účely je XRF spektrometrie dostačující. Nejdůležitější monitorování koncentrace kovů je v oblasti tribodiagnostiky u opotřebení strojů. Zjišťujeme časový trend míry opotřebení strojů na základě stanovení obsahu určitých konstrukčních kovů. Při detekci problému je možné zaměřit pozornost na určitý třecí uzel. Uzly bývají vyrobeny z různých konstrukčních materiálů, nebo bývají povrchově upraveny. Okamžitý nárůst koncentrace některého z kovů v oleji může signalizovat problém

konkrétní součásti daného stroje. Například může být zadřené ložisko [2, s. 27-29].
V tabulce 3 je uveden pravděpodobný původ kontaminantů přítomných v mazivu.

Tab. 3 – Možné zdroje produkující dané kovy[2]

Otěrový prvek		Možný zdroj
Železo	Fe	Převody, ventily
Chrom	Cr	Válec, ojnice
Olovo	Pb	Ložiska, čerpadla
Měď	Cu	Ložiska čerpadla
Hliník	Al	Pouzdro čerpadla
Křemík	Si	Nečistoty
Sodík	Na	Sůl, možné přísady

2 CÍL PRÁCE

Teoretická část měla za úkol seznámit čtenáře se základními pojmy jako je tribologie, tribodiagnostika, problematiku zabývající se mazivy. Velký důraz byl kladen na hydraulické oleje z důvodu použití těchto maziv v praktické části.

Cílem praktické části práce bylo seznámení se s pokročilými nástroji tribodiagnostiky a to s RTG spektrometrií a FTIR spektrometrií. Pomocí těchto metod zjistit míru a původ opotřebení jednotlivých komponent u všech vytipovaných strojních zařízení a tím předejít závažné havárii, popřípadě prodloužit výměnný interval hydraulického oleje. Tato péče představuje velkou úsporu nákladů pro většinu strojírenských a technologických operací. Celý výrobní proces vyžaduje dobrou kondici maziva, bohužel často se na ní zapomíná a při požadavcích na vyšší efektivitu výroby bývá opomíjena. Dobrá péče o kapaliny by měla být základem každého programu řízení kvality směřujícího ke zlepšené efektivitě výroby.

3 PRAKTICKÁ ČÁST

Všechny analyzované vzorky maziv pocházejí z hydraulických systémů (obr. 8), využívaných ve firmě Škoda Auto, a.s. Hydraulické systémy nalezneme ve všech odvětvích průmyslu od nejjednoduššího hydraulického zvedáku, po složitější mechanické systémy např. řízení turbín letadel apod.

Základními prvky hydraulického systému jsou – nádrž, filtry, čerpadlo, rozvaděče, hydromotory, spojovací potrubí, chladič, hydraulický olej atd. Hydraulický olej je v soustavě uložen v nádrži, ze které je přes filtry pomocí čerpadel (hydrogenerátorů) dodáván přímo do systému a hydromotorů, které vykonávají práci a vrací se zpět přes filtry do nádrže [8].



Obr. 8 – Hydraulický systém[12]

Aby olej v hydraulické soustavě správně pracoval, musí splňovat tato kritéria [8]:

- musí mazat pohybující se součásti,
- musí být relativně málo stlačitelný,
- musí utěsňovat pohybující se součásti,
- musí být kompatibilní se všemi částmi hydraulické soustavy,
- musí být chemicky a fyzikálně stálý,
- musí zajišťovat přenos tepla

3.1 Odběr vzorků hydraulického oleje

V tribodiagnostické laboratoři se vyhodnocují výsledky z rozborů maziva a hodnotí se stav a budoucí provoz sledovaného strojního zařízení. Avšak ani vyškolený personál a laboratoř vybavená nejmodernější přístrojovou technikou nezaručují

pravdivost vyhodnocení vzorků, jestliže vzorky maziv nebyly odebrány podle platných norem a dalších obecně platných zásad pro odběr vzorků. Ve společnosti Škoda Auto, a. s. se vzorek oleje o objemu 100 ml ukládá do speciálních nádob určených pro manipulaci se vzorky.

Základní zásady nezbytné pro odběr vzorku oleje:

- odběr provedeme z místa, které je určeno technickou dokumentací (výpust olejové vany atd.) – nejprve místo dokonale očistíme, poté část oleje odpustíme do pomocné nádoby, nakonec odebereme vzorek a olej z pomocné nádoby vlijeme zpátky do systému
- olej musí být odebrán při zapnutém motoru nebo při vypnutém motoru, ale s ohřátým motorem na pracovní teplotu do čisté, suché plastové uzavíratelné nádoby s místem pro popis vzorku, objem vzorku je zpravidla 100 ml
- po uzavření vzorku s olejem se vzorkovnice musí opatřit identifikačním štítkem, na kterém musí být uvedeno: datum odběru vzorku, identifikační údaje o systému, značka oleje, skutečný kilometrický proběh náplně (jako nepovinné údaje lze doplnit: jméno pracovníka, který vzorek odebral, další údaje o vozidle, atd.)
- vzorek je podroben analýze

Tyto zásady by měly být nezbytně dodrženy. Nesprávně odebraný vzorek se stává takzvaně nereprezentativním a znehodnotí výsledky prováděných zkoušek[1, s. 34].

Firma Škoda Auto používá v hydraulických soustavách olej PARAMO HM 46, který je postaven na základovém oleji typu API GROUP II. s komplexní přísadou ZDDP (zinkdialakylidithiofosfát) a menším množstvím dalších aditiv. Použitý základový olej, kterého bývá ve výrobku přibližně 98 %, je hlavním nosičem vlastností. Základový olej se dělí do pěti tříd. Každá třída se liší obsahem síry, obsahem nasycených uhlovodíků a viskozitním indexem. Bezzinková aditivace zajišťuje delší životnost oleje.

Vzorky oleje byly odebrány z hydraulického lisu Müller Weingarten ZE (obr. 9), používaného v nářadovně pro výrobu lisovacího nářadí. Stroj se používá 24 hodin denně, 7 dní v týdnu, tudíž je vystaven obrovskému zatížení. Lis dokáže vyvinout sílu až 21 000 kN. V celém hydraulickém systému (obr. 10), který se nachází v dolní části

stroje, nejčastěji ve sklepě pod samotným strojním zařízením se nachází přibližně 13 000 litrů oleje, který se v pravidelných intervalech podrobně kontroluje. Výrobce udává životnost oleje 2000 provozních hodin, což je za nepřetržitého provozu stroje zhruba 83 dní. Nicméně díky sledování tribodiagnostických parametrů oleje a jeho filtraci, využívá firma Škoda Auto, a. s. tento olej i 15 let. Hlavním přínosem průběžné kontroly maziva je celková úspora nákladů na provoz stroje. V ní jsou kromě nákladů na nákup nového oleje zahrnuty také náklady na filtry, náklady na náhradní díly, zmetkovitost výroby atd. Dalším neméně důležitým faktorem je i přínos pro životní prostředí. Olej podle zákona o odpadech spadá do kategorie nebezpečného odpadu. V případě, že by se olej při jeho manipulaci dostal do kanalizace či do zeminy, hrozilo by znečištění podzemních vod. Při prodloužení časového intervalu výměny oleje se tato možnost minimalizuje a zároveň se šetří ropnou surovinou.

Parametry lisu MW ZE:

- jmenovitá síla beranu 21 000 kN
- tlak tažného polštáře 6 000 kN
- tlumicí síla 12 000 kN
- tlak polštáře beranu 3 200 kN
- zdvih tažného beranu 1 700 mm
- zdvih tažného polštáře 330 mm
- zdvih polštáře beranu 200 mm
- velikost stolu 4 700 mm x 2 500 mm
- velikost beranu 4 500 mm x 2 500 mm
- směr vyjíždění stolu dopředu
- rastr vzduchových kolíků 150mmx150mm 29x13



Obr. 9 – Lis MW ZE 21 000kN[15]

Hydraulický systém lisu:



Obr. 10 – Hydraulický systém lisu [autor]

Druhým typem sledovaného stroje, který se hodnotil na základě olejového vzorku je obráběcí modul Alfing 2 (obr. 11). Obráběcí modul můžeme definovat jako obráběcí centrum, jehož technologická část (vřeteníky, nástroje, upínače, manipulance) je uzpůsobena předpokládanému a zadanému sortimentu obrobků za účelem dosažení vysoké produktivity při vysokém stupni pružnosti a variability. Na obrázku 12 vidíme hydraulický systém Alfingu.



Obr. 11 – Obráběcí modul Alfing 2[autor]



Obr. 12 – Hydraulický systém Alfingu 2[autor]

3.2 Použité metody

Vzorky olejů z hydraulických soustav využívaných ve firmě Škoda, a. s. byly analyzovány infračervenou spektrometrií (FTIR) a rentgenovou spektrometrií (RTG). K tomu, aby firma zajistila dobrý chod strojů, podrobuje stroje kontrole každého půl roku. Tím je zajištěn spolehlivý nepřetržitý provoz.

3.2.1 RTG Spektrometrie

Jak jsem již uvedl v kapitole Cíl práce, cílem práce bylo zjistit míru opotřebení jednotlivých komponent u všech vytipovaných strojních zařízení. Výstupem z analýzy je trendový graf koncentrace konkrétních otěrových částic vnesených do oleje v závislosti na čase. Kovy, které sleduje firma Škoda Auto, a. s. jsou: železo, chrom, měď, nikl, zinek, jejichž potenciální zdroj je uveden v tab. 4. Pomocí těchto kovů lze určit možnou vadu konkrétní komponenty. V případě určení koncentrace zinku je třeba uvažovat, že Zn je nejen součástí slitin, ale je také součástí zinkové aditivace. Dále byl sledován obsah síry. Síra samotná je nežádoucí při aditivaci olejů, kdy sirné látky mohou reagovat s některými aditivami a snižovat jejich účinek. Moderní výkonné oleje jsou proto vyráběny ze základových olejů, které mají velmi nízký obsah síry. V tab. 4 jsou ke konkrétním otěrovým kovům uvedeny jejich koncentrace, které charakterizují míru opotřebení součástí stroje v závislosti na časovém intervalu 500 funkčních hodin.

Tab. 4 – Interval opotřebení vybraných kovů [2]

		Koncentrace otěrových kovů [mg.kg⁻¹]/Interval 500h				
Kov		Možný zdroj	normální opotřebení	lehce zvýšené opotřebení	zvýšené opotřebení	vysoké opotřebení
Železo	Fe	převody, ventily, čerpadlo	0-8	9-15	16-25	>25
Chrom	Cr	válec, ojnice	0-3	4-8	9-15	>15

Měď	Cu	ložiska čerpadla	0-8	9-15	16-25	>25
Nikl	Ni	součást konstrukční oceli ložisek, hřídelí, ventilů	0-8	9-15	16-25	>25
Zinek	Zn	aditivum	-	-	-	-
Síra	S	základový olej	-	-	-	-

Ke sledování koncentrace těchto prvků byl použit rentgenový spektrometr X-Supreme 8000 (obr. 13). Jedná se o Energiově-disperzní rentgenový fluorescenční spektrometr, určený ke každodenní plnoautomatické práci v laboratoři a pro mnoho odvětví průmyslu. Analyzátor je určený pro širokou škálu vzorků pevných i kapalných, prášků, past, filmů, filtrů a to v jednotkách ppm. Vzorky vyžadují malou nebo žádnou úpravu.

X-Supreme8000 je nabízen v nakonfigurovaných sestavách s předprogramovatelnými metodami těchto aplikací:

- stanovení ultranízké síry v palivech, V, Ni a Fe v topném oleji a Pb v benzínu – podle ASTM D4294, ISO20847
- stanovení ultranízké síry v automobilových palivech a síry v ropných produktech (splňuje požadavky norem ASTM D4294, ISO20847, ISO8754 a ISO13032)
- analýza mazacích olejů a otěrových kovů
- QC analýza při výrobě cementu (základní)
- QC analýza cementu a vstupních surovin (včetně stanovení Na – splňuje citlivostní požadavky normy ASTM C114)
- analýza minerálů (kaolínů, jílu, křemenných písků)
- analýza filtrů (stanovení kovů)
- stanovení křemíku na papíru



Obr. 13 – Rentgenový spektrometr X-Supreme 800[13]

Postup ukládání vzorku do spektrometru:

1. Nejprve se vezme očištěná kyveta, na kterou upevníme folii pomocí ocelového nástavce. Kyveta s připevněnou folií slouží jako nádoba, do které se nalévá vzorek.
2. Vzorek se z důvodu homogenizování protřepá a nalije do připravených kyvet.
3. Vzorky se umístí do speciálních držáků RTG spektrometru.
4. RTG spektrometr se uzavře a do počítače se запиše popis vzorku v pořadí, v jakém se vzorky ukládají do spektrometru.
5. Otevře se nádoba s héliem, bez kterého by celý proces nemohl fungovat.
6. Na monitoru se dá start k uskutečnění analýzy.

3.2.2 FTIR Spektrometrie

Pro hodnocení chemické degradace sledovaných vzorků hydraulických olejů byla využita metoda FTIR spektrometrie.

Analýza vzorků oleje byla provedena na spektrometru Nicolet iS10 (Obr. 14). Tento spektrometr je určen pro střední infračervenou oblast $7800\text{-}350\text{ cm}^{-1}$. Výhodou FTIR spektrometrie je snadná a rychlá příprava vzorků a nedestruktivnost metody. Přístroj má certifikaci dle standardu ISO 9001. Základní technické parametry a nastavení spektrometru Nicolet iS10:

- spektrální rozlišení 4 cm^{-1}
- rychlost scanu 1 scan/s, počet scanů 64
- řídicí a uživatelský software OMNIC
- ZnSe krystal ve vaničkovém uspořádání



Obr. 14 - FTIR Spektrometr Nicolet iS10 [14]

Postup ukládání vzorku do FTIR Spektrometru:

1. Před vlastním měřením FTIR je potřeba zapnout zdroj spektrometru a nechat ho stabilizovat po dobu cca 10 min. Ten se pomocí funkce Check Signal v menu Measurement otestuje.
2. Dále se očistí krystal rozpouštědlem pomocí papírových kapesníků. Jako rozpouštědlo byl použit n-hexan C_6H_{14} .
3. Pomocí příkazu Collect → Collect background se zaznamená pozadí.
4. Ihned po změření pozadí se nanese na krystal souvislá tenká vrstva vzorku. Jedná-li se o těkavý vzorek, musí se přiklopit teflonovou destičkou.
5. Zvolí se příkaz Collect → Collect sample a spustí se měření spektra. Po provedení nastaveného počtu scanů je měření dokončeno a naměřené spektrum je zobrazeno na monitoru.

3.3 Výsledky měření a jejich interpretace

Abychom dobře stanovili skutečný stav sledovaného stroje, je velmi důležitá správná interpretace získaných výsledků analýzy oleje.

V zásadě jsou možnosti uvedené níže. Získané výsledky se porovnávají s danými limity sledovaných parametrů. V případě obsahu otěrových kovů mohou být tyto limity určeny:

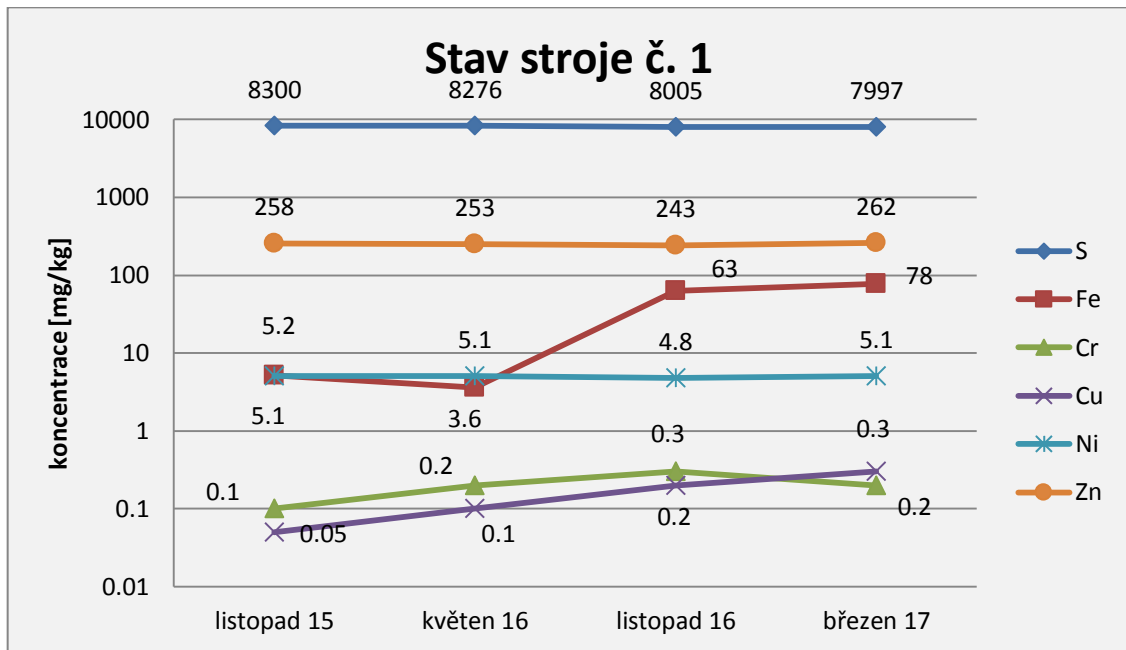
- Výrobce stroje, který je stanoví na základě dlouhodobých zkoušek srovnáním obsahu kovů v oleji se skutečně zjištěným opotřebením. Bohužel jen málo výrobců tyto limity udává. Většinou se jedná o výrobce velkých plynových motorů. Ty nejen že tyto limity běžně udávají, ale i předepisují pravidelné analýzy oleje.
- Laboratoří, které provádějí analýzy. Zde ale chybí dostatek zkušeností s konkrétními stroji a obecně se stroji vůbec.
- Uživatelem stroje, což je dobré v tom případě, když je zapotřebí vzít v úvahu i projevy z provozu stroje.
- Výrobce oleje, který ví hodně o vlastnostech stroje, u obsahu otěrových kovů platí většinou totéž, co u laboratoře provádějící analýzy.

Nejvíce spolehlivé se osvědčilo používat limity, které jsou dány výrobcem stroje, a zároveň se doporučuje provádět trendovou analýzu.

3.3.1 Výsledky měření na RTG Spektrometru

Rentgenovým spektrometrem jsem identifikoval a určil množství otěrových kovů v oleji, který slouží primárně k přenosu síly a sekundárně k mazání hydraulického systému. Daný prvek je identifikovatelný na základě jeho vlnové délky (λ), nebo jeho energie (E). Výsledky jsem porovnal s daty, které byly naměřeny v průběhu používání hydraulického oleje. Z mnou vyhodnocených a časem nasbíraných dat jsem provedl trendovou analýzu u čtyř vytipovaných lisů a u čtyř frézek.

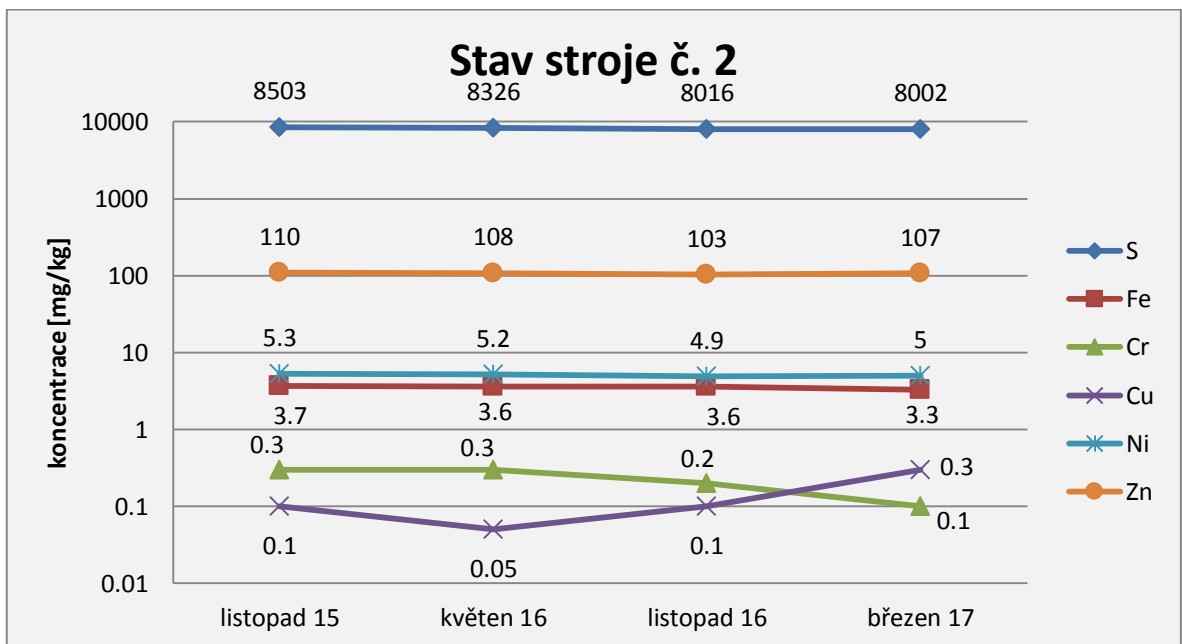
Lis č. 1



Graf. 1 – Rozbor oleje u lisu č. 1[autor]

U lisu č. 1 si můžeme všimnout prudkého nárůstu obsahu železa. Stalo se tak z důvodu špatné komponenty hydraulické soustavy. Můžeme předpokládat vadu u těchto součástí: převody, ventily, čerpadlo.

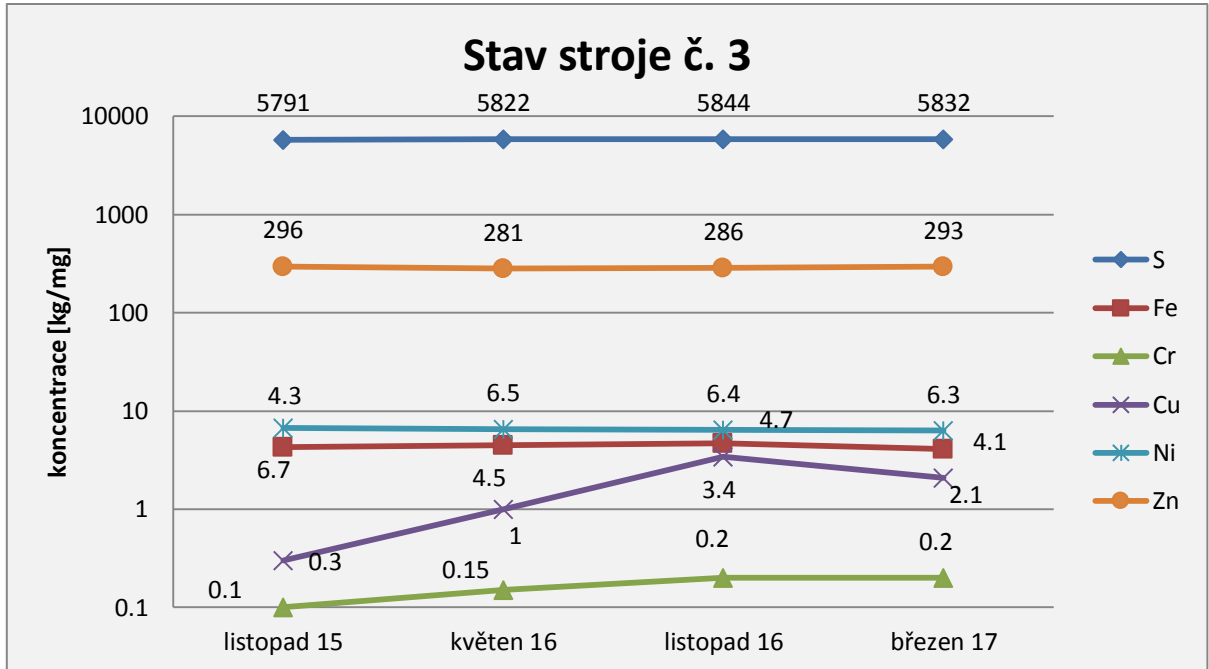
Lis č. 2



Graf. 2 – Rozbor oleje u lisu č. 2[autor]

Lis č. 2 nevykazuje známky opotřebení komponent. Všechny koncentrace otěrových kovů se nacházejí v příslušných mezích a odpovídají normálnímu opotřebení.

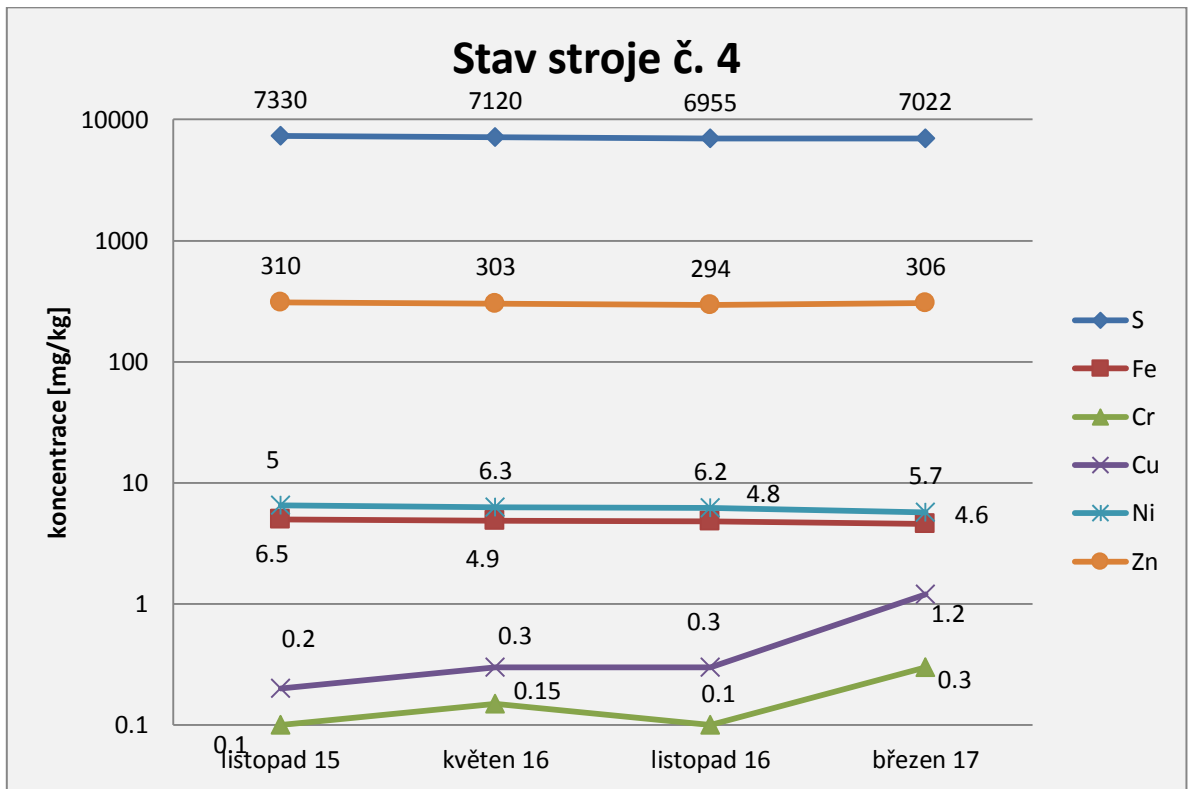
Lis č. 3



Graf. 3 - Rozbor oleje u lisu č. 3[autor]

Lis č. 3 jako v předchozím případě nevykazuje známky opotřebení komponent tzn. všechny koncentrace otěrových kovů se nacházejí v příslušných mezích a odpovídají normálnímu opotřebení.

Lis č. 4



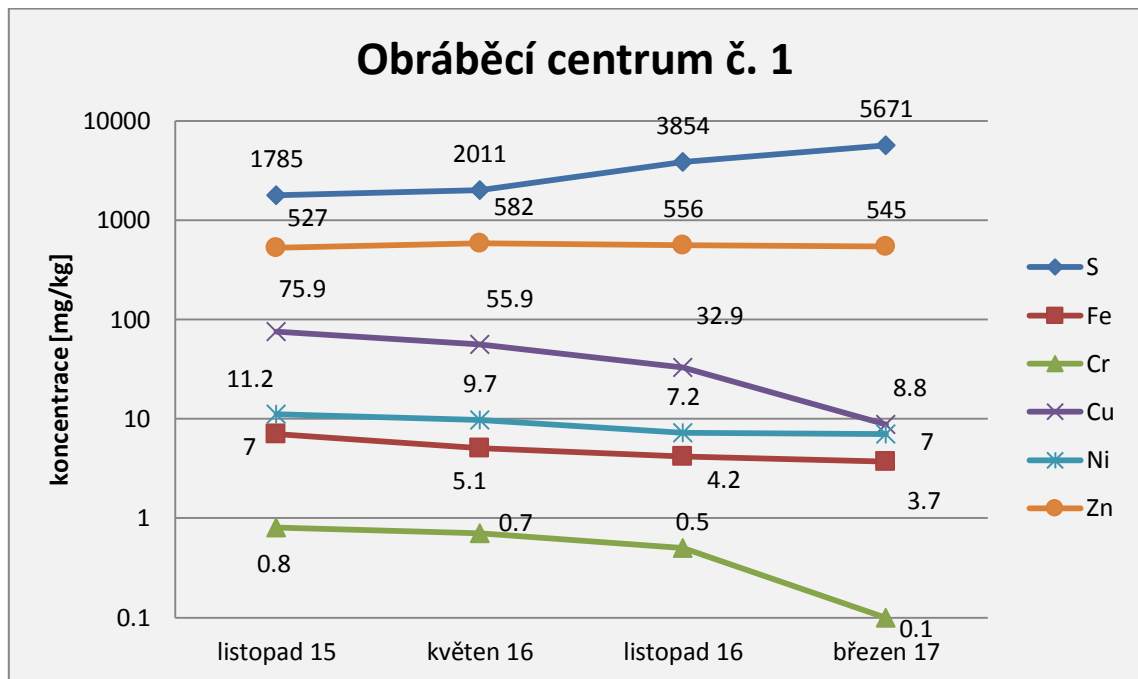
Graf. 4 – Rozbor oleje u lisu č. 4[autor]

U tohoto stroje vidíme, že nám narůstá obsah koncentrace mědi a chrómu. Zatím se hodnoty nacházejí v tolerančních mezích normálního opotřebení, nicméně vzhledem k narůstání obsahu těchto kovů bychom měli stroj podrobovat častějšími kontrolám.

Z trendové analýzy vyplývá, že lisy s čísly 2, 3, 4 mají hodnoty otěrových kovů konstantní a jsou v tolerančních mezích, tj. opotřebení součástí není významné a lisy jsou provozuschopné. U lisu č. 1 byl zaznamenán prudký nárůst železa. Lze tedy konstatovat, že se v něm zvyšuje intenzita opotřebení, a to s největší pravděpodobností v čerpadle, ventilech či převodech. Z tohoto důvodu byl stroj odstaven a poslán na generální opravu.

Obráběcí centrum č. 1

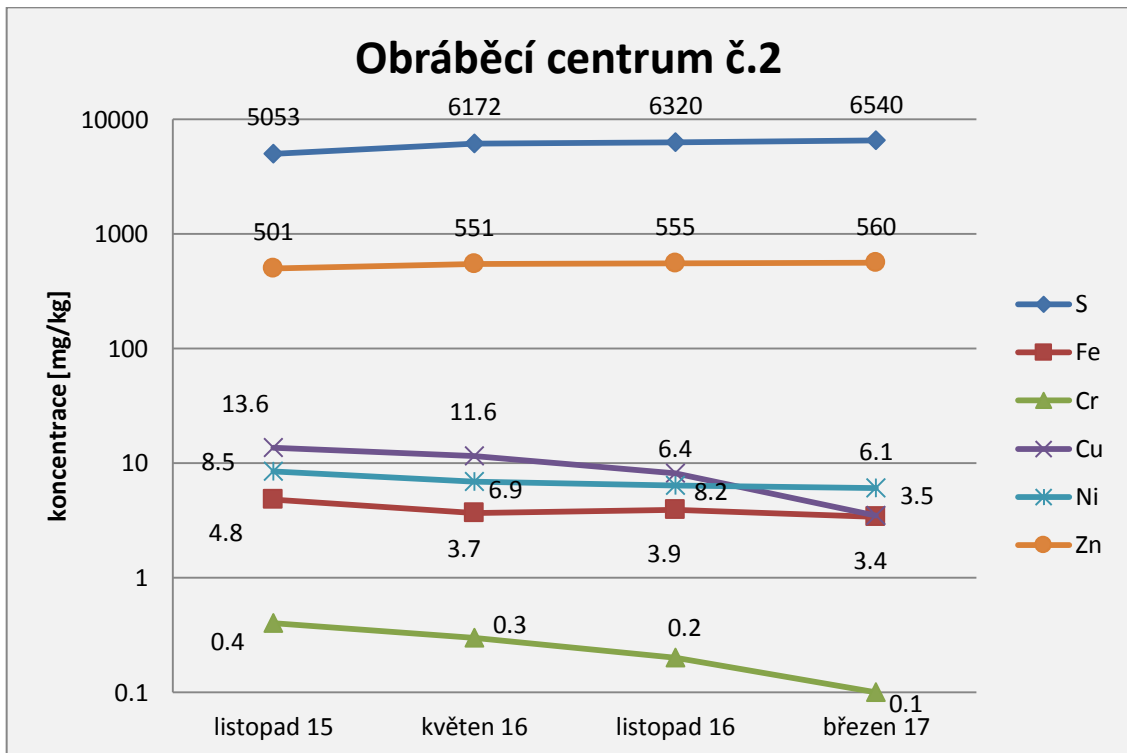
Na níže uvedených obrázcích jsou uvedeny trendy opotřebení u obráběcích center.



Graf. 5 – Rozbor oleje u stroje Alfin 164[autor]

U tohoto obráběcího centra vidíme, že u některých otěrových kovů (Cu, Cr) se koncentrace v mazivu snižuje. Důvodem může být přefiltrování hydraulické kapaliny a její následné použití.

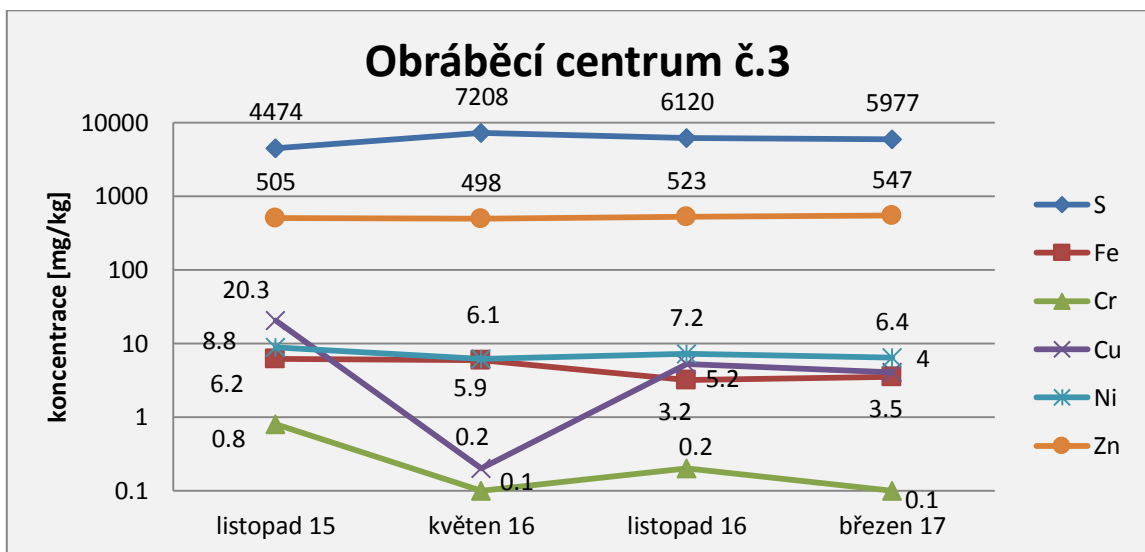
Obráběcí centrum č. 2



Graf. 6 – Rozbor oleje u stroje Alfing 165[autor]

U maziva pocházejícího z obráběcího centra č. 2 jsme zaznamenali klesající hodnotu koncentrace otěrových prvků u mědi a chrómu. Důvodem je přefiltrování této hydraulické kapaliny.

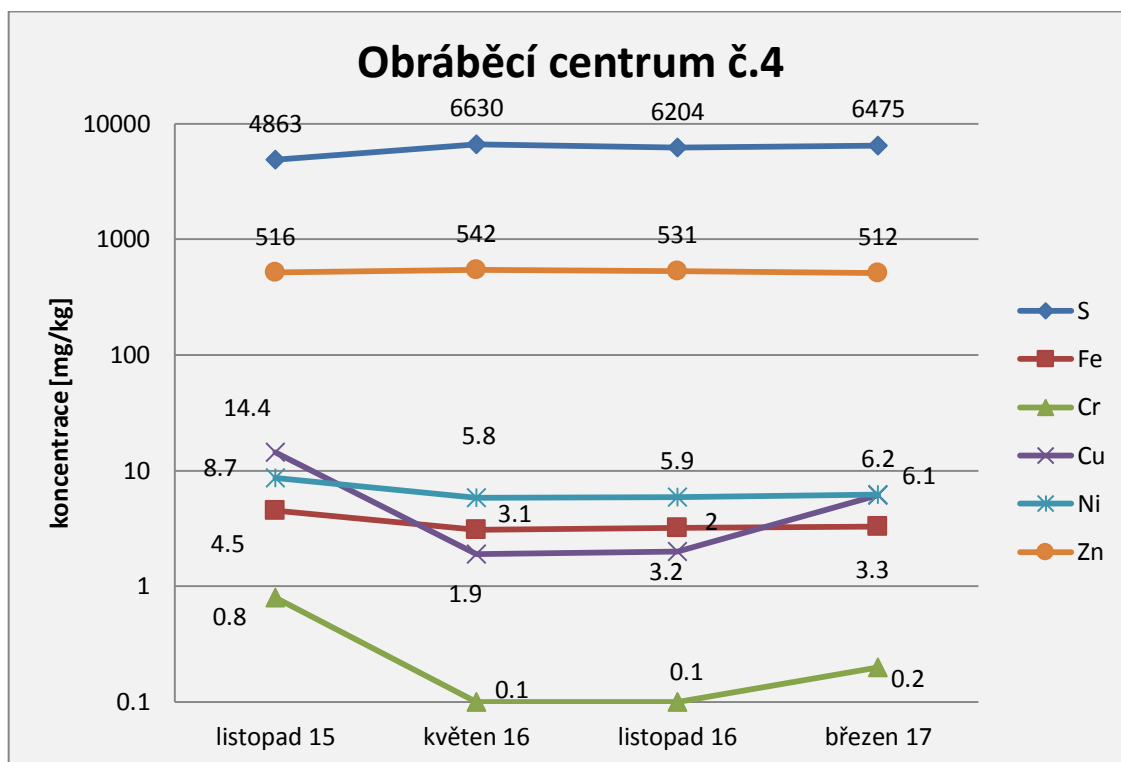
Obráběcí centrum č. 3



Graf. 7 – Rozbor oleje u stroje Alfing 166[autor]

Ve stroji č. 3 vidíme, že měď dosahuje zvýšeného opotřebení. Po následovné filtraci hydraulického oleje došlo k výraznému snížení koncentrace mědi. U tohoto stroje si lze také všimnout, že dochází k úbytku síry, úbytek síry je vyvolaný úbytkem aditiv.

Obráběcí centrum č. 4



Graf. 8 – Rozbor oleje u stroje Alfing 167[autor]

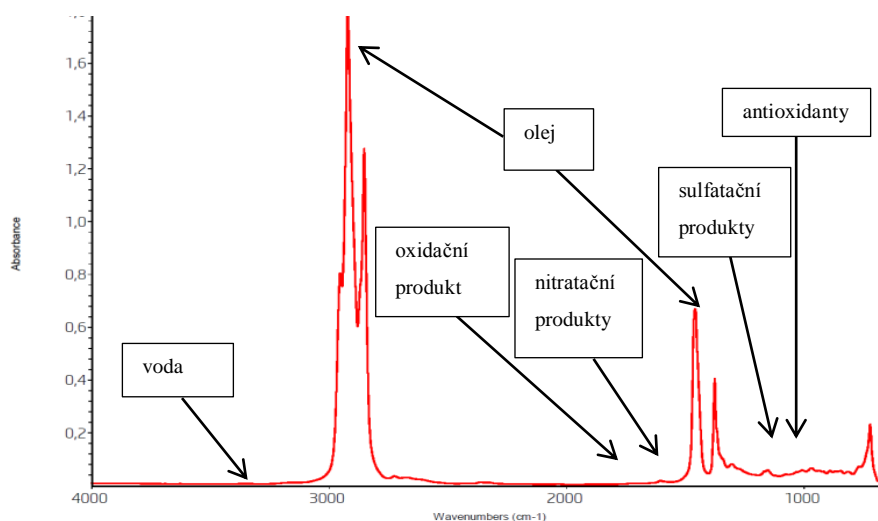
V obráběcím centru č. 3 je lehce zvýšená koncentrace mědi a niklu. Tyto hodnoty jsme eliminovali tím, že jsme olej přefiltrovali. Ostatní otěrové kovy se nacházejí v normálu.

Z trendové analýzy všech obráběcích center vidíme, že hodnoty mědi byly zvýšené. Dále u prvního a druhého obráběcího centra byl zvýšený obsah koncentrace chromu, u čtvrtého obráběcího centra se jednalo o zvýšený obsah koncentrace niklu. Po přefiltrování hydraulické kapaliny byly zvýšené hodnoty sníženy. Olej se tedy může nadále používat. O metodě RTG můžeme říci, že je účinným nástrojem bezdemontážního hodnocení opotřebení jednotlivých komponent hydraulického systému, tj. sloužícím ke snížení výrobních a provozních nákladů, stejně tak jako účinný nástroj pro určení okamžiku filtrace oleje. Pro firmu Škoda Auto, a. s. má hodnocení

stavu opotřebení hydraulických kapalin hlavně ekonomický přínos. Tím, že se v těchto strojích nachází obrovské objemy olejů (cca 13 000 l), dají se u prodloužení intervalu výměny olejů ušetřit nemalé úspory. Díky tribodiagnostice je výměnný interval prodloužen až 68krát. Při ceně 23,5 Kč za litr oleje Paramo HM 46, firma ušetří až 20 774 000,- (v této částce nejsou zahrnuty náklady na pořízení, provoz laboratorních přístrojů a mzdy personálu) během patnácti let.

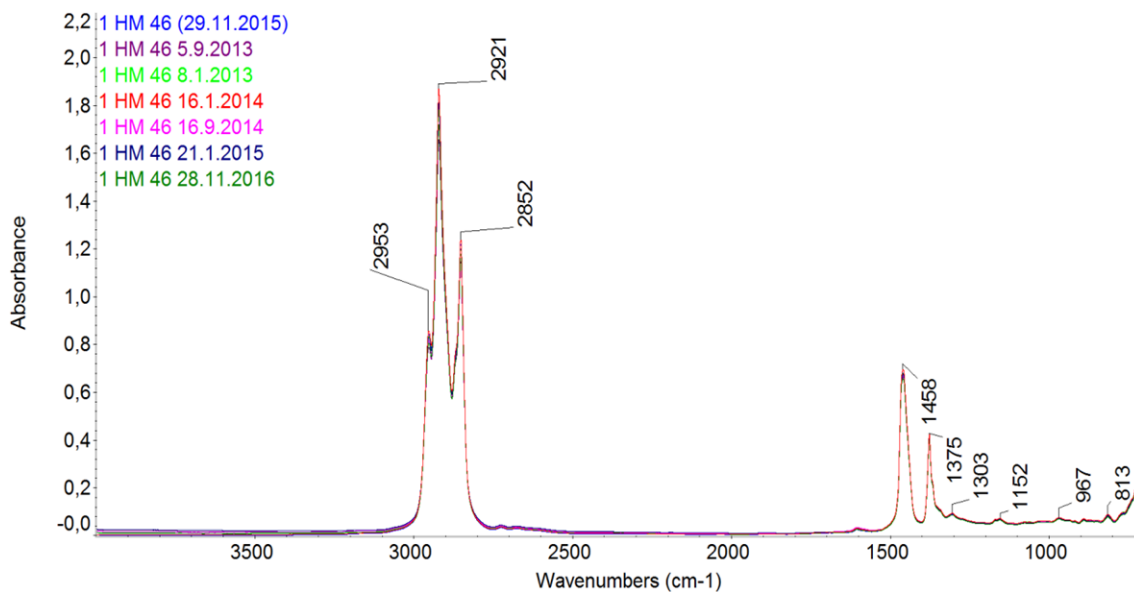
3.3.2 Výsledky měření na FTIR spektrometru

FTIR analýza byla na základě požadavku společnosti prováděna u vzorku oleje z lisu číslo 1. Jedná se o lis, který byl poslán do opravy z důvodu nárůstu obsahu železa. Interpretace IČ spekter při analýze spekter vychází ze znalosti vlnových délek (resp. vlnočtů), které odpovídají funkčním skupinám přítomných v konkrétních sloučeninách nebo odpovídají charakteristickým strukturním skupinám. Na obr. 15 je infračervené spektrum nového hydraulického oleje HM46.



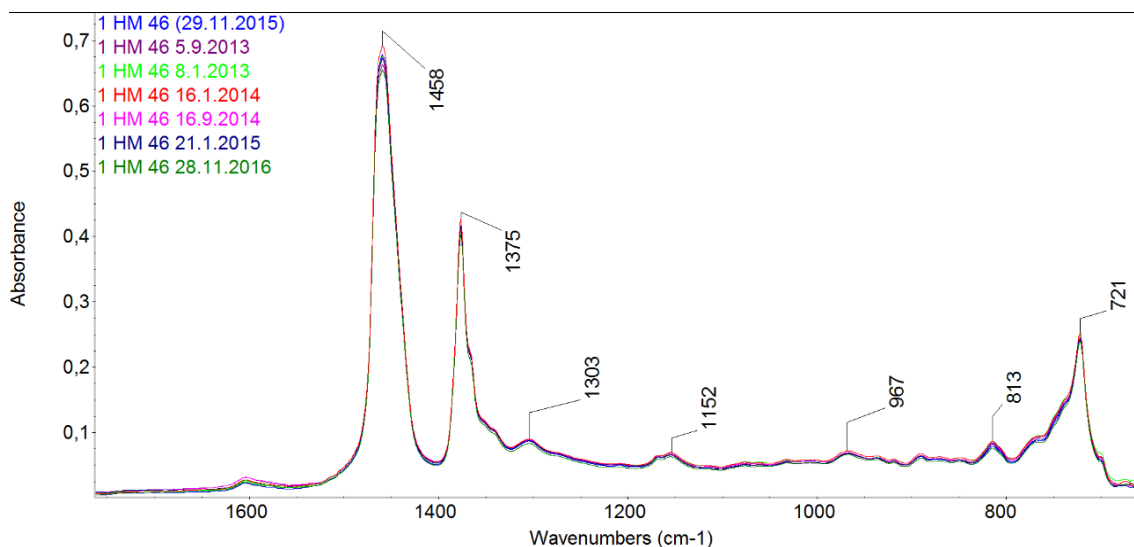
Obr. 15 – Infračervené spektrum nového hydraulického oleje [autor]

Na spektrogramu jsou znázorněny spektrální oblasti charakterizující vazby C-H v uhlovodíkovém složení základových olejů a dále spektrální oblasti, v kterých by se projevily pásy náležející produktům oxidačně-tepelné degradace a případně průniku kontaminantů (např. chladicí vody). Z úbytku absorbance v oblasti cca kolem 1000 cm⁻¹ lze v případě porovnání nového a opotřebeného oleje usuzovat o úbytku antioxidantní a protioděrové přísady ZnDDP.



Obr. 16 – Proces stárnutí u vzorku oleje č. 1 pomocí infračerveného spektra[autor]

Na obrázku 16 vidíme proces stárnutí oleje HM 46, který se používal jako mazivo pro lis č. 1. Tento proces degradace byl sledován po dobu čtyř let. Hlavní pásy odpovídají primárním funkčním skupinám přítomným v tomto typu hydraulického oleje. Infračervené pásy s vrcholy při 2953, 2921 a 2852 cm^{-1} odpovídají CH valenčním vibracím nasycených n-alkylových skupin [18]. Deformační vibrace CH vazeb projevující se pásem s vrcholem při 1458 cm^{-1} a 1375 cm^{-1} náleží CH_2 a CH_3 skupinám [19]. Jak si můžeme všimnout na obr. 16, tak na spektru se nevyskytuje pás v oblasti 3400 cm^{-1} , který je charakteristický pro vodíkové můstky, tj. slabé vazebné interakce mezi molekulami vodíku a kyslíku [20] nacházejícího se ve vodě, která se do systému může dostat především kondenzací vzdušné vlhkosti.



Obr. 18 - Infračervené spektrum všech analyzovaných vzorků hydraulických olejů
v detailu [autor]

Na obrázku 18 je zachycena oblast nazývaná „otisk palce“. Jedná se o pásy v oblasti $650\text{--}1800\text{ cm}^{-1}$. Pomocí vyhledávacích (search) programů a digitálních knihoven infračervených spekter je možno na základě rozdílů ve spektrech v této oblasti identifikovat neznámou analyzovanou látku.

V oblasti vlnočtu $1720\text{--}1700\text{ cm}^{-1}$ se nevyskytuje pás náležející vibraci funkční skupiny C=O, která je přítomna v produktech oxidační degradace oleje [20]. Nevýrazný pás s vrcholem při 1605 cm^{-1} náleží C=C vazbě aromatického jádra a pásy v oblasti $700\text{--}900\text{ cm}^{-1}$ aromatickým C–H mimoroviným deformačním pásům [18,19].

Spektrální pás spojený s P–O–C vazbou ZnDDP, který se používá jako nejúčinnější antioxidant, má vrchol cca při 967 cm^{-1} [20].

Z výsledků FTIR analýzy je patrné, že u oleje nedošlo během čtyřletého provozu k jeho výraznějšímu opotřebení. O používaném oleji HM 46 lze říci, že si po celou dobu provozu uchoval své vlastnosti a je tedy nadále schopný plnit požadované funkce.

4 ZÁVĚR

Výkonná a spolehlivá výrobní technika je jedním z klíčových předpokladů realizace každého výrobního záměru, u automobilového průmyslu nevyjímaje. Spolehlivost a životnost strojních součástí této výrobní techniky závisí nejen na provozních podmínkách, ale i na aktuálních vlastnostech použité olejové náplně.

V automobilním průmyslu se při výrobě komponent využívá strojů, ve kterých se nachází velké objemy olejů. Na základě hodnocení degradace olejových náplní a studia částic opotřebení nesených olejem lze získat relativně komplexní informace nejen o stavu maziva, ale lze také predikovat technický stav zařízení, které je s olejem v kontaktu. Tak lze efektivně naplánovat údržbu a v mnoha případech předcházet komplikovaným poruchám a odstávkám strojních zařízení. Účelná prediktivní údržba těchto strojů vede jak k ekonomickým, tak i environmentálním přínosům. Největším přínosem je prodloužení časového intervalu výměny oleje. Výrobce hydraulického oleje udává životnost oleje za nepřetržitého provozu cca 83 dní, ale díky pravidelné kontrole oleje a následné jeho filtraci, využívá firma Škoda Auto, a. s. tento olej i 15 let. Díky tomu dochází v nemalé míře k šetření ropné suroviny.

Tato bakalářská práce se zabývá využitím vybraných instrumentálních metod (rentgenové spektrometrie a infračervené spektrometrie) v analýze hydraulických maziv.

Teoretická část bakalářské práce je zaměřená na shrnutí poznatků v oblasti tření a opotřebení a instrumentálních metod použitých v experimentální části práce (FTIR spektrometrie a rentgenové spektrometrie).

V samotné experimentální části byla provedena analýza vzorků hydraulického oleje typu HM 46 dodávaného firmou Paramo, který byl provozován v lisu a v obráběcím centru. Vzorky poskytla firma Škoda Auto, a. s.

Rentgenovou spektrometrií byla trendovou analýzou hodnocena koncentrace ořetrových prvků obsažených v hydraulickém oleji a na základě výsledků bylo společnosti Škoda Auto, a.s. sděleno doporučení. V případě hodnocení olejové náplně z lisu č. 1 byl zaznamenán výraznější nárůst obsahu železa, tudíž stroj by se měl odstavit a údržba zkontrolovat převody, ventily a čerpadlo. Další tři vytipované lisy nevykazovaly známky většího opotřebení a mohly být nadále používány.

V bakalářské práci byla dále aplikována rentgenová spektrometrie na oleje odebrané z obráběcích center s názvem Alfing 2. Olej v těchto systémech vykazoval

známky mírného nárůstu koncentrace otěrových kovů, a proto byl olej přefiltrován. Na základě čehož mohla být obráběcí centra i nadále používána.

Druhou experimentální metodu (FTIR analýzou) byla na základě požadavku pracovníka Škoda Auto, a.s. analyzován vzorek oleje odebraného z lisu č. 1. Procesy spojené s degradací tohoto hydraulického oleje se sledovaly průběžně čtyři roky. Porovnání spekter nového oleje se vzorky odebíraných olejů dokládají, že olej je v dobré kondici, tj. stupeň degradace maziva je nevýznamný a používaný typ hydraulického oleje odpovídá provozním podmínkám.

Přínosem této bakalářské práce je ověření možností použití vybraných pokročilých instrumentálních metod jednak pro hodnocení stupně opotřebení oleje, jednak pro identifikaci a hodnocení stupně opotřebení součástí mazaných olejem. Na základě výsledků experimentálních zkoušek byla formulována praktická doporučení pro firmu Škoda Auto, a.s. Z výsledků analýz vyplynulo, že doporučený výměnný interval lze prodloužit až 68 krát, tj. firma aplikací instrumentálních metod docílí nejen významných finančních úspor, ale šetří také ropnou surovinou a z toho pramení přínos pro životní prostředí.

5 POUŽITÁ LITERATURA

- 1) SEJKOROVÁ, M. *METODY TRIBOTECHNICKÉ DIAGNOSTIKY*. Vysoká škola báňská Technická univerzita Ostrava, Univerzita Pardubice, 2013. ISBN 978-80-248-3280-7.
- 2) MAREK, Vladislav, Ladislav HRABEC, Pavel RŮŽIČKA, Petr KOZÁK, Ivana VÁCLAVÍČKOVÁ a Jaroslav ČERNÝ. *TECHNIK DIAGNOSTIK - TRIBODIAGNOSTIK*. Studijní materiál.
- 3) Technická tribodiagnostika – účinný nástroj. *Tribotechnické informace*. 2010, **I**(1), 27.
- 4) Způsoby stanovení obsahu vody a nečistot. *Tribotechnické informace*. 2011, **II**(2), 23.
- 5) Vlastnosti motorových olejů - Kyselost a alkalita olejů. *Oleje - svět maziv* [online]. Praha: Ing. Jaroslav Černý, CSc., 2017 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Kyselost-a-alkalita-oleju>
- 6) ČERNOHORSKÝ, Tomáš a Pavel JANDERA. *Atomová spektroskopie*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 1997. ISBN 80-719-4114-X.
- 7) *Sborník semináře-Hydraulické kapaliny*. Čelákovice, 2017.
- 8) X-Supreme 8000. *AMEDIS* [online]. Praha [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <http://www.amedis.cz/produkt/x-supreme-8000-99/>
- 9) NEUWIRTH, Zdeněk. *Tribodiagnostické metody a techniky stanovení stavu stroje, jeho opotřebení a rizika havárie*. Brno.
- 10) Spolehlivost strojů vyjádřená normou ASTM D7843. *Průmyslové spektrum* [online]. Praha: Ing. Jan Novák, 2013 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/spolehlivost-stroju-vyjadrena-normou-astm-d7843.html>
- 11) Stanovení vody. *Diram* [online]. Praha: Ing. Petr Podhájecký, CSc., 1996 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.diram.cz/cs/elektrochemie/stanoveni-vody/>
- 12) Stroje a zařízení pro energetiku. *Hydraulické stroje* [online]. Blansko [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.hydraulickestroje.cz/energetika.php>
- 13) X-Supreme 8000. *Amedis* [online]. Praha, 2012 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.amedis.cz/produkt/x-supreme-8000-99/>

- 14) Nicolet iS10. *Nicolet* [online]. Praha: Nicolet CZ, 2014 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.nicoletcz.cz/nicolet-is10/>
- 15) *SMĚRNICE PRO ZAPRACOVACÍ LIS V HALE V 17*. Mladá Boleslav, 2016.
- 16) Sledování opotřebení strojů pomocí analýz mazacích olejů. *Tribotechnika* [online]. Žilina: TechPark, 2008 [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-62015/sledovani-opotrebeni-stroju-pomoci-analyz-mazacich-oleju.html>
- 17) MACHALÍK, Stanislav. *Obrazová analýza v tribotechnické diagnostice*. Brno, 2011.
- 18) ABBAS, Ouissam, et al. PLS regression on spectroscopic data for the prediction of crude oil quality: API gravity and aliphatic/aromatic ratio. *Fuel*, 2012, 98: 5-14.
- 19) JINGYAN, Li; XIAOLI, Chu; SONGBAI, Tian. Research on determination of total acid number of petroleum using mid-infrared attenuated total reflection spectroscopy. *Energy & Fuels*, 2012, 26.9: 5633-5637.
- 20) HURTOVÁ, I., SEJKOROVÁ, M. Analysis of engine oils using modern methods of tribotechnical diagnostics. *Perner's Contacts*, 2016, roč. 11, č. 4, s. 47-53.

6 SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázky

- Obr. 1 – Adhezivní opotřebení
- Obr. 2 – Hodnocení závažnosti dle hodnoty MPC
- Obr. 3 – Ukázka úsad na hydraulickém prvku
- Obr. 4 – Coulometer WTD (titrátor)
- Obr. 5 – Schéma FTIR spektrometru
- Obr. 6 – Princip zeslabené totální reflektance
- Obr. 7 – Průběh spojitého spektra v závislosti budícím napětí rentgenky
- Obr. 8 – Hydraulický systém
- Obr. 9 – Lis MW ZE 21 000kN
- Obr. 10 – Hydraulický systém lisu
- Obr. 11 – Obráběcí modul Alfing 2
- Obr. 12 – Hydraulický systém Alfingu 2
- Obr. 13 – Rentgenový spektrometr X-Supreme 800
- Obr. 14 – FTIR Spektrometr Nicolet iS10
- Obr. 15 – Infračervené spektrum hydraulického oleje HM46
- Obr. 16 – Procesu stárnutí u vzorku oleje č. 1 pomocí infračerveného spektra
- Obr. 17 – Infračervené spektrum všech analyzovaných vzorků hydraulických olejů
- Obr. 18 – Infračervené spektrum všech analyzovaných vzorků hydraulických olejů

Tabulky

- Tab. 1 – Srovnání metodik stanovení částic vzniklých opotřebením
- Tab. 2 – Vlnočty charakterních strukturních skupin
- Tab. 3 – Možné zdroje produkující dané kovy
- Tab. 4 – Interval opotřebení vybraných kovů

Grafy

Graf. 1 – Rozbor oleje u lisu č. 1

Graf. 2 – Rozbor oleje u lisu č. 2

Graf. 3 – Rozbor oleje u lisu č. 3

Graf. 4 – Rozbor oleje u lisu č. 4

Graf. 5 – Rozbor oleje u stroje Alfing 164

Graf. 6 – Rozbor oleje u stroje Alfing 165

Graf. 7 – Rozbor oleje u stroje Alfing 166

Graf. 8 – Rozbor oleje u stroje Alfing 167