

**UNIVERZITA PARDUBICE**  
**DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

2009

Aleš Svoboda

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera

Diagnostika hydraulických kapalin ve vysokozdvížných  
vozících

Aleš Svoboda

Bakalářská práce  
2009

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky  
Akademický rok: 2008/2009

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Aleš SVOBODA**  
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**  
Studijní obor: **Dopravní prostředky-Silniční vozidla**  
  
Název tématu: **Diagnostika hydraulických kapalin ve vysokozdvizných vozících**

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

1. Na základě vypracovaného rešeršního přehledu analyzujte současný stav poznatků o možnostech sledování procesu opotřebení hydraulických kapalin ve vysokozdvizných vozících se zaměřením na využití vybraných instrumentálních metod
2. Zabezpečte a proveďte odběr vzorků, připravte zkušební vzorky pro analýzy. Seznamte se s principy a metodikou použitých experimentálních metod a proveďte příslušné laboratorní zkoušky (se zaměřením na FTIR spektrometrii a ferrografii).
3. Výsledky experimentálních prací vyhodnoťte a interpretejte, závěry zpracujte ve formě doporučení pro uživatele v praxi.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. ŠTĚPINA, V. a VESELÝ, V. Maziva v tribologii. Bratislava: Veda, 1985.
2. BEČKA, J. Tribologie. Praha: ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01621-8.
3. BLAŠKOVIČ, P.; BALLA, J.; DZIMKO, M. Tribológia. Bratislava: ALFA, 1990.
4. Tribotechnika [online].[cit. 1. března 2008]. Dostupné na WWW: <<http://www.tribotechnika.cz>>.
5. WEARCHECK. Literature [online].[cit. 1. března 2008]. Dostupné na WWW: <<http://www.wearcheck.ca/literature/documents.asp?DocType=techdoc>>.
6. Practicing Oil Analysis. [online].[cit. 1. března 2006]. Dostupné na WWW: <<http://www.practicingoilanalysis.com/>>.
7. Firemní materiály BRUKER G.m.b.H., návod k obsluze přístroje Vector 22.
8. NOVÁČEK, V. Tribodiagnostika hydraulických soustav jako součást proaktivní údržby. In Sborník přednášek 6. ročníku semináře REOTRIB 2000 – zjišťování kvality paliv a maziv. Velké Losiny, 16. – 19. května 2000. Velké Losiny: ReoTrade; Praha: VŠCHT, Ústav technologie ropy a petrochemie, 2000, str. 85 – 91.

Vedoucí bakalářské práce:

doc. RNDr. Jaroslava Machalíková, CSc.  
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: **20. února 2009**

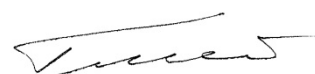
Termín odevzdání bakalářské práce: **1. června 2009**



prof. Ing. Bohumil Cílek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

dne

## **Prohlášení**

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci použil, 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 § 602 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.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne: 22.5.2009

Aleš Svoboda

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval paní doc. RNDr. Jaroslavě Machalíkové, CSc. za odborné vedení při zpracování bakalářské práce. Další poděkování patří rodině za podporu, která mi umožnila studium na Univerzitě Pardubice.

## SOUHRN

Bakalářská práce je věnována možnosti využití instrumentálních metod (infračervené spektrometrie a analytické ferrografie) v tribotechnické diagnostice vysokozdvíhových vozíků v oblasti sledování opotřebení hydraulického oleje a jím mazaných součástí. Byl analyzován nový i použitý hydraulický olej. Na základě interpretace experimentálních výsledků bylo formulováno doporučení pro jednotlivé provozovatele.

## KLÍČOVÁ SLOVA

tribologie, tribotechnická diagnostika, hydraulický olej, tření, opotřebení, mazání, FTIR spektrometrie, ferrografie

## TITLE

Hydraulic liquids in forklift trucks diagnostics

## ABSTRACT

This Bachelor's thesis deals with possibility of instrumental methods usage (such as infrared spectrometry and analytical ferrography) in tribotechnical diagnostics of forklift trucks in the sphere of hydraulic oil detrition and by it lubricated parts. Both brand-new and used hydraulic oil have been analyzed. Based on the interpretation of experimental results a new recommendation for individual operators has been issued.

## KEYWORDS

tribology, tribotechnical diagnostics, hydraulic oil, friction, wear, lubrication, FTIR spectrometry, ferrography

OBSAH	
Úvod .....	9
1. Teoretická část .....	11
1.1. Základní pojmy z tribologie, tribotechniky a tribotechnické diagnostiky .....	11
1.2. Tření .....	11
1.3. Opotřebení .....	12
1.3.1. Druhy opotřebení .....	12
1.3.2. Částice vzniklé opotřebením .....	15
1.4. Optimalizace výměnného intervalu olejů .....	17
1.4.1. Zásady určení výměnných intervalů .....	17
1.4.2. Optimalizace výměnných lhůt hydraulických olejů .....	18
1.5. Mazání .....	19
1.5.1. Funkce hydraulického oleje a vlastnosti .....	19
1.6. Hydraulické systémy .....	20
1.6.1. Hydraulické soustavy a hydraulické kapaliny .....	20
1.6.2. Tribodiagnostika hydraulických kapalin .....	22
1.6.3. Aditivace hydraulických kapalin .....	23
1.6.4. Znečištění a filtrace hydraulického oleje .....	23
1.7. Principy použitých experimentálních metod .....	26
1.7.1. FTIR spektrometrie .....	26
1.7.2. Analytická ferrografie .....	27
2. Experimentální část .....	28
2.1. Monitorovaný stroj a olejová náplň hydraulického systému .....	28
2.2. Experimentální podmínky použitých metod .....	35
2.2.1. FTIR spektrometrie .....	35
2.2.2. Ferrografická analýza .....	37
2.3. Výsledky měření a jejich interpretace .....	40
2.3.1. Výsledky FTIR spektrometrie .....	40
2.3.2. Výsledky ferrografické analýzy .....	42
Závěr .....	53
Použitá literatura .....	55
Seznam obrázků .....	56
Seznam příloh .....	57



# Úvod

Mezi hlavní úkoly každého provozovatele strojového a vozového parku patří zajištění bezporuchového provozu. Tento požadavek úzce souvisí se správnou volbou provozních hmot. Se zvyšováním spolehlivosti a hospodárnosti provozu dopravních prostředků i strojních zařízení je úzce spojeno sledování jejich technického stavu.

Sledování stavu olejů může poskytnout důležité informace o místě a příčinách opotřebení mechanického systému. Touto problematikou se zabývá tribotechnická diagnostika, jejíž metody lze aplikovat ve všech systémech využívajících mazací medium. To také platí pro hydraulická zařízení. Hydraulické systémy jsou nedílnou součástí celé řady průmyslových zařízení a strojů. Lze se s nimi setkat např. v pracovních a zemních strojích, ale i v různých nástavbách silničních a kolejových vozidel. Hydraulické kapaliny zajišťují mazání, odvod tepla i také ochranu před korozi a v tekutinových mechanismech slouží k přenosu energie.

V současné době je nabízeno široké spektrum mazacích olejů. Je tedy nutné znát, co vyžaduje mazací systém v konkrétním stroji. Použití správného oleje významně ovlivňuje životnost, spolehlivost i ekonomickou stránku jejich provozu. Ekonomické hledisko není jen v pořizovací ceně oleje, ale také ve výměnných intervalech. Předčasně prováděné výměny oleje jsou považovány za neekonomické, protože se nevyužije celková mazací schopnost oleje a při delších intervalech výměny oleje než předepisuje výrobce stroje může dojít i k závažné poruše či zničení stroje nebo zařízení.

Výrobci strojů a zařízení dříve předepisovali pevné výměnné intervaly olejů. Během vývoje techniky dochází k zavedení systému prodlužování výměnných intervalů podle převažujícího druhu provozu těchto strojů a podle výkonové úrovně použitých hydraulických olejů. Nezbytnou podmínkou pro určování servisních intervalů je monitorování stavu oleje během provozu. Podle průběžně sledovaného stupně znečištění a degradace oleje lze určit zbývající čas do výměny. Zde je kladen velký důraz na dodržování optimální hranice, kdy je olej potřeba vyměnit.

Znečištění a opotřebení hydraulického oleje závisí na mnoha faktorech, zejména na funkci olejových čističů. Míra účinnosti filtrace výrazně ovlivňuje životnost olejových náplní, ale i samotných provozovaných systémů. Převážnou příčinou výměny olejů v hydraulických

zařízeních je znečištění mechanickými nečistotami. Toto znečištění je možno z olejového systému odstranit různými filtračními metodami.

Z výše uvedených důvodů je tato práce zaměřena na vybrané metody hodnocení hydraulických olejů ve vysokozdvizných vozících.

# 1. Teoretická část

## 1.1. Tribotechnika

Tato disciplína se věnuje dotýkajícím se povrchům ve vzájemném pohybu. Vzájemným pohybem vzniká tření a jeho důsledkem je opotřebení dotýkajících se povrchů. Tření a opotřebení se zmenšuje mazáním, přitom mazivem může být látka jakéhokoliv skupenství; nejčastěji se jedná o maziva kapalná – oleje, jimiž se zabývá i tato práce.

Tribologie jako věda se obecně zabývá vzájemným působením povrchů převážně tuhých těles.

Tribodiagnostika se snaží odhalovat a včas upozornit na možnost poruchy stroje a tím předejít neplánovaným poruchám strojů. Neplánovaný výpadek výrobního zařízení se u mnoha firem stává poměrně velkým problémem. Nahradit ztracené výrobní kapacity je v nepřetržitých provozech velmi komplikované, nákladné a někdy dokonce i nemožné. V dnešní době by tribodiagnostika měla být bezpodmínečně součástí kompletní péče o hydraulické soustavy [4.]

## 1.2. Tření

Tření je odpor proti pohybu, vznikající mezi dvěma tělesy v oblasti dotyku jejich povrchů v tečném směru k nim. Na překonání tohoto odporu je potřeba vynaložit určitou sílu. Tření je charakteristické jako jev potřebný (např. v brzdových systémech), ale zároveň jako jev nežádoucí [3.]

Základní druhy tření jsou charakterizovány podle pohybu těles, tvaru třecích ploch a formy jejich dotyku jako tření

- smykové - vzniká, když se po sobě tělesa smýkají buď v celé smykové ploše, nebo v její části,
- valivé - vzniká při odvalování rotačního tělesa po rovné nebo zakřivené ploše, třecí povrchy se stýkají v bodě či přímce,
- vrtné - dochází k němu při bodovém styku třecích dvojic a rotačním pohybu kolem osy,

Dle jiného kritéria můžeme tření dělit na

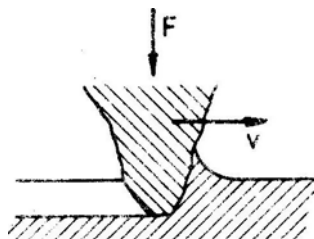
- suché - nastává, když se dotýkají suché povrchy dvou těles v relativním pohybu, v běžných podmínkách tyto plochy nejsou většinou dokonale hladké,
- kapalinové - vzniká pouze tehdy, jsou-li povrchy těles po sobě se pohybující odděleny souvislou vrstvou kapaliny; součinitel tření závisí na viskozitě kapaliny,
- smíšené - nastává v případě, kdy mezní tření přechází v tření kapalinné, mazivo dostatečně nevyplnilo mezeru mezi třecími povrchy a tak nedošlo k dostatečnému oddálení všech výčnělků,
- mezní - vzniká při vzájemném pohybu těles v případech, kdy jsou třecí povrchy pokryty pouze mikroskopicky tenkým filmem maziva; tento film je fyzikálně nebo chemicky vázán s tímto povrchem.

### 1.3. Opotřebení

Opotřebení je proces, při němž dochází k nežádoucí změně povrchu. Tato změna se projevuje jako úbytek materiálu daných součástí. Jedná se o pohyb dvou těles nebo styk těles s proudícím médiem. Za základní příčinu opotřebení je považováno nedostatečné mazání, kterému lze v technické praxi zabránit.

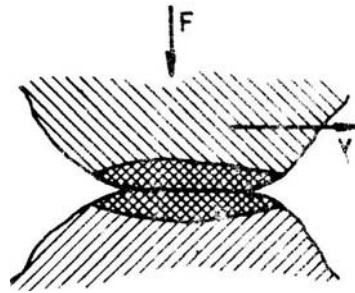
#### 1.3.1. Druhy opotřebení

*Abrazivní* opotřebení nastává, když se mezi stykové plochy dvou těles dostanou tvrdé částice, které se zamáčknou do měkčího povrchu a začínají rýhovat ten druhý. Při tomto procesu dochází k uvolňování dalších částic, které napomáhají k zvyšování abraze. Typickým poškozením jsou rýhy na povrchu.



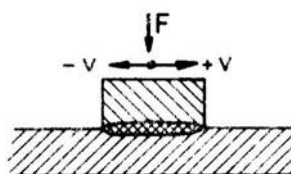
Obr. 1: Abrazivní opotřebení [1] ( $F$  – přítláčná síla,  $v$  – rychlost posuvu)

*Adhezivní* opotřebení se vyznačuje vzájemným přenosem materiálu z jednoho povrchu na druhý. Intenzivní formu adhezivních účinků označujeme, jako zadírání. Toto je nejběžnější způsob opotřebení součástí z kovových materiálů unichž se při vzájemném pohybu dostali jejich funkční plochy do těsného styku.



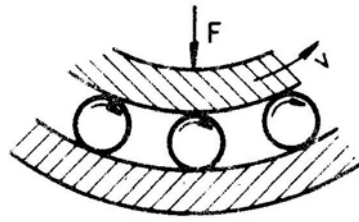
Obr. 2: Adhezivní opotřebení [1] ( $F$  – přitlačná síla,  $v$  – rychlost posuvu)

*Vibrační* opotřebení u tohoto opotřebení vznikají částice, které vzhledově připomínají produkty koroze. Tyto částice působí velice abrazivně a jejich působením může dojít k porušování i velmi tvrdých povrchových vrstev.



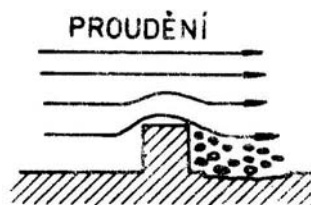
Obr. 3: Vibrační opotřebení [1] ( $F$  – přitlačná síla,  $v$  – rychlost posuvu)

*Únavové* opotřebení, při tomto opotřebení dochází ke vzniku a šíření trhlin způsobených únavou materiálu. Trhliny se mohou šířit a spojovat až se z povrchu materiálu začnou postupně uvolňovat částice materiálu. V povrchové vrstvě může dojít ke vzniku poruchy pouze tehdy, je-li použit materiál s malou schopností plastické deformace.



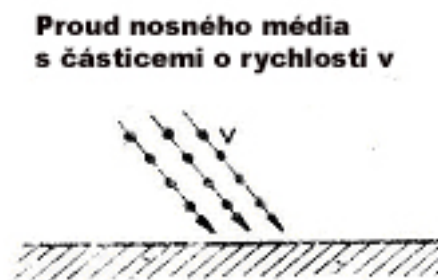
Obr. 4: Únavové opotřebení [1] ( $F$  – přitlačná síla,  $v$  – rychlost posuvu)

*Kavitační opotřebení*, pokud se tvoří v proudící kapalině dutiny jedná se o kavitační opotřebení. Při proudění kapaliny se v místech, kde její tlak poklesne, vytvoří malé kavitační bubliny, které jsou vyplněné parami. Při zániku bubliny dochází k pohybu kapaliny, která způsobuje hydrodynamické rázy, jimiž je namáhán povrch součástí.



Obr. 5: Kavitační opotřebení [1]

*Erozivní opotřebení* vzniká při velkých tlacích a velké rychlosti proudící kapaliny, teploty nebo chemické aktivity dané kapaliny. U tohoto opotřebení se setkáme s jeho typickým nerovnoměrným poškozením povrchu.



Obr. 6: Erozivní opotřebení [1] ( $v$  – rychlost dopadu nosného média)

*Jiné* opotřebení – do této skupiny patří například korozní opotřebení. Povaha a průběh se výrazně liší od základních druhů opotřebení.

### 1.3.2. Částice vzniklé opotřebením

**Částice adhezivního opotřebení** představují otěr submikrometrických rozměrů; ferromagnetické částice se při ferrografickém hodnocení sdružují do řetízků podél magnetických siločar, paramagnetické částice (např. Pb-Sn kompozice ložiskového kovu) vytvářejí nepravidelné shluky.

**Částice abrazivního opotřebení** mají charakteristický tvar tenkých drátků, prohnutých či stočených do spirálky. Tvarově se odlišují od abrazivních částic ze záběhového režimu (cutting wear), které mají tvar srpečků nebo mečíků s ostrým zakončením. Celkově se velikost abrazivních částic pohybuje v rozmezí cca 50 – 300  $\mu\text{m}$  při velmi malé tloušťce (0,25  $\mu\text{m}$ ); často vznikají procesem tzv. dvoubodové abraze.

**Částice únavového opotřebení** jsou morfologicky značně rozdílné. *Sférické částice* (spherical debris) patří mezi hlavní typy částic vznikajících v důsledku únavového opotřebení valivého charakteru. Zpravidla vznikají v důsledku únavy Beilbyho vrstvičky na povrchu vnitřních nebo vnějších povrchů ložisek. Rozměry sféroidů jsou relativně malé (2–20  $\mu\text{m}$ ). Řada autorů uvádí, že jediný valivý element je schopen produkovat 6–7 milionů sféroidů do doby, než dojde k jeho poruše.

**Laminární částice** vznikají nejčastěji při opakovaném průchodu oleje a jím unášených částic mazaným systémem; tento proces má za následek plastickou deformaci částic (např. mezi valivým prvkem a dráhou kroužku). Rozválcováním sféroidů i jiných třírozměrných částic vznikají tenké ploché lupínky nepatrné tloušťky, jejichž délka se

pohybuje typicky od 40 do 250  $\mu\text{m}$  a šířka od 10 do 50  $\mu\text{m}$ . Částice mají hladký povrch a nepravidelné okraje. Přítomnost těchto částic je zpravidla doprovázena výskytem sféroidů; souvisí s nástupem postupné poruchy valivého ložiska.

Únavové částice jsou typické i pro poškození ozubených kol. Jedná se o trojrozměrné částice se srovnatelnou délkou, šířkou i tloušťkou, jejichž povrch je nepravidelný, rýhovaný s nepravidelně členěnými okraji. Rozměry těchto částic se pohybují od 10 do 150  $\mu\text{m}$ . Člení se dále do dvou skupin:

- a) Typ „chunky“ – částice o velikosti 10–80  $\mu\text{m}$  mají nepravidelně členitý povrch, mnohdy se jedná o mikrohranolky, na povrchu mívají vměstky sekundárního původu.
- b) Typ „scuffing“ (vysokoteplotní otěr) vzniká na bocích zubů ozubených kol za působení vysokých tlaků a teplot. Materiál částic bývá tepelně ovlivněn, což se projevuje zbarvením částic.

**Abnormální částice** (severe wear particles) mezního a havarijního opotřebení vznikají při zadírání nebo silné abrazi. Tvoří se mechanickým rozrušováním Beilbyho vrstvičky za působení nadměrného zatížení. V místě kontaktu třecích ploch nemá tato vrstva potřebnou únosnost a je odírána, přičemž tempo opotřebení je tak vysoké, že nedochází k jejímu obnovení. Zpravidla chybějí částice adhezivního otěru, které bývají nahrazeny třírozměrnými částicemi s charakteristickou ostrou hranou a rozměry 30 - 70  $\mu\text{m}$ .

Abnormálním částicím se podobají hlavně tvarem a rozměry neželezné částice. Vždy se odlišují zbarvením a magnetickými vlastnostmi. Vznikají v důsledku styku oceli a slitin barevných kovů při adhezivním režimu opotřebení.

Kromě kovového otěru lze identifikovat i částice nekovové:

- *prachové částice* (malé kulovité nebo hranolovité částice, často křemičitany o velikosti do 30  $\mu\text{m}$ , průsvitné, čiré),
- *tribopolymery* (sférické částice nebo válečky, jejichž jádro je tvořeno submikrometrickými kovovými částicemi; organickou hmotu částice lze rozpustit buď vhodným rozpouštědlem nebo zahřátím na teplotu nad 300 °C),
- *vlákna* pocházejí zpravidla z filtračních materiálů.

Příčiny přítomnosti částic v systému jsou dvě :



1. Částice jsou generovány přímo třecími dvojicemi. V tomto případě vlastnosti částic charakterizují režim opotřebení (jedná se o tzv. primární částice).
2. Sekundární částice vznikají přetvořením primárních částic při jejich opakovaném průchodu soustavou.

Vztah mezi primárními a sekundárními částicemi závisí na mnoha faktorech, např. na velikosti olejové náplně, na počtu a účinnosti olejových čističů v soustavě, na účinnosti procesů odlučování částic ze soustavy, na tepelném a mechanickém zatížení systému, na druhu mazacího oleje aj.

### **Kontaminanty**

V olejích se také mohou vyskytovat objekty, které s opotřebením styčných povrchů nesouvisejí a dostaly se do vzorku kontaminací z okolí. Mezi tyto objekty patří vlákna z filtrů, běžný prach a kontaminanty, které se dostanou do systému při nedodržení pokynů při pravidelných výměnách filtrů nebo olejů. Významné pro provoz jsou jen některé z nich.

## **1.4. Optimalizace výměnného intervalu olejů**

### **1.4.1 Zásady určení výměnných intervalů**

Respektovat doporučení výrobců hydromotorů, hydrogenerátorů a jiných dílů v hydraulickém systému by měl každý uživatel, a to jak ve vztahu ke kvalitě používaných olejů, tak k délce výměnného intervalu. Doporučený interval výměny hydraulického oleje udává výrobce stroje. U dnešních strojů převažuje interval výměny 2000 Mth a u nových strojů je zřejmá snaha o prodloužení tohoto intervalu na 3000 Mth. Tyto intervaly (2000 Mth) je třeba považovat za maximální. Výměnný interval je dán kromě jiného i typem konstrukce celého hydraulického systému. U strojů, které jsou převážně provozovány ve venkovních prostorách s celoročním provozem, je nutností snížit výměnný interval na přibližně 1500 – 1700 Mth dle stavu oleje. Dnešní oleje se vyznačují velmi širokým viskozitním pásmem, takže na jedné straně je zaručeno rychlé a účinné promazání celého systému hned po spuštění, a to i za nízkých teplot, na druhé straně oleje dobře chrání systém i při práci pod plným zatížením. Lepší využití jejich kvalit ovšem podporují i zdokonalené, účinnější plnopřtokové

olejové filtry. Ne vždy je chemická degradace samotného oleje hlavní příčinou výměny, ale ve velké míře je to přítomnost prachu, otěrových částic a jiných nečistot v oleji.

Optimalizace výměnných lhůt olejů přispívá ke zvyšování životnosti strojů a ke snížení spotřeby energie, k omezování prostojů vznikajících v důsledku poruch a následných oprav, ke snížení nákladů investičních i provozních a ke zvyšování bezpečnosti provozu [7].

#### 1.4.2. Optimalizace výměny hydraulických olejů

Dnešní hydraulické systémy jsou složité a náročné z hlediska používání maziva. Proto by mazivo mělo zabezpečovat následující požadavky:

- vysokou spolehlivost,
- dlouhou životnost,
- nízké riziko výpadku funkce,
- ekologicky přijatelný provoz,
- nízkou energetickou náročnost provozu,
- malou tvorbu odpadních látek z používaných maziv.

Maximální snahou každého uživatele stroje by mělo být

- použít optimální druh oleje,
- maximálně využít vlastnosti oleje,
- preventivní kontrolou stavu oleje předcházet poruchám motoru a zkracování jeho životnosti.

Mezi nejzávažnější faktory vedoucí ke stárnutí oleje v provozu, a tím i ke ztrátě funkčních vlastností, patří

a) degradace oleje

- oxidací,
- poklesem účinnosti aditiv,
- poklesem viskozity

b) kontaminace oleje

- produkty kondenzace,

- produkty oxidace,
- tuhými částicemi ( prach a otěrové kovy )
- kontaminace vodou a chladicí kapalinou,
- produkty rozkladu přísad.

## 1.5. Mazání

Mazání lze charakterizovat jako oddělení třecích ploch mazacím olejem, který vytvoří tenkou vrstvu maziva tzv. olejový film. Úkolem mazacího oleje je omezit tření mezi vzájemně se pohybujícími plochami a zmírnit nebo pokud možno úplně odstranit ořez materiálu těchto ploch.

Mezi funkce oleje patří:

*mazání* – snížení tření na styčných plochách pohybujících se součástí, které způsobuje ztráty energie a zvýšené opotřebení dílů;

*chlazení* – ochrana před přehřátím součástí, které nemohou teplo přímo odevzdávat chladicí kapalině, nebo jiného chladicímu médiu;

*velmi jemné utěsnění* – zajištění dobrého utěsnění pracovních prostorů mezi pohybujícími se částmi;

*čištění* – odvádění částí otěru, usazenin a zbytků nebo jejich vhodná úprava tak, aby nezpůsobovaly další poškození;

*přenášení sil a ochrana proti korozi;*

*snížení hlučnosti* – mazací vrstva (mazací film) tlumí hluk a vibrace.

### 1.5.1. Funkce a vlastnosti hydraulického oleje

Základní funkcí hydraulických olejů je přenos tlaku v hydraulickém systému. Nepostradatelné jsou též funkce mazání pohyblivých součástí, odvodu tepla a protikorozi účinky. Každý hydraulický systém vykazuje určité obecné požadavky na vlastnosti hydraulických olejů. Především se jedná o výběr správné viskozity, která je určena především typem a konstrukcí čerpadla. Důraz je kladen na co nejmenší závislost viskozity na tlaku, což

preferuje hydraulické oleje s nižší viskozitou a vyššími viskozitními indexy. Ve venkovním prostředí je nutné používat oleje s nízkým bodem tuhnutí a vysokým viskozitním indexem. Důležitou vlastností hydraulických olejů je co nejnižší stlačitelnost. Stlačitelnost se zvyšuje s obsahem vzduchu, a proto je nízká stlačitelnost neoddelitelná od rychlé odlučivosti vzduchu. S tímto parametrem souvisí nízká pěnovitost. Olej, který obsahuje bublinky vzduchu, je náchylný k rychlejšímu oxidačnímu stárnutí, protože vzduch je při stlačování podroben adiabatickému ohřevu v řádu stovek stupňů Celsia. Samozřejmostí je odolnost proti opotřebení, oxidační a termická stabilita a působení proti korozi, těchto vlastností se dosahuje aditivací vhodnými přísadami. Podstatná je rovněž schopnost odlučovat vodu a snášenlivost s těsnicími materiály [2].

V posledních letech v souvislosti s vývojem hydraulických systémů přibývají další nové nároky na hydraulické oleje. Klade se důraz na zmenšování olejové náplně, které koresponduje se zmenšováním hydraulických okruhů. Příímým důsledkem této skutečnosti jsou nižší časy oběhu v okruhu, vyšší teploty (zejména lokální) a vyšší tlaky. Jsou zvyšovány požadavky na toleranci obsahu vody a na celkovou životnost hydraulické kapaliny.

## **1.6. Hydraulické systémy**

### **1.6.1. Hydraulické soustavy a hydraulické kapaliny**

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. Součástí soustavy pak jsou

- vysokotlaké potrubí,
- nízkotlaké potrubí,
- usměrňovací ventily,
- olejové chladiče ,
- další součásti.

Pokud má olej v hydraulické soustavě správně pracovat, musí splňovat tato kritéria:

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

Celý systém musí být navržen tak, aby výrobcem garantované parametry stroje byly v provozu bez problémů dodrženy.

### Typy hydraulických kapalin

#### Hydraulický olej typu HM

Tento typ olejů obsahuje přísady pro zlepšení odolnosti proti pění, proti oxidaci, zlepšení protikorozních vlastností, vylepšení nízkoteplotních vlastností a pro snížení opotřebení a modifikátor viskozity. Proto patří mezi nejpoužívanější typy hydraulických kapalin v širokém spektru hydrostatických systémů a strojů. Základní rozbor postihující změny vlastností tohoto typu oleje obsahuje stanovení kinematické viskozity při 40 °C, čísla kyselosti, obsahu vody, obsahu celkových nečistot nebo kódu čistoty, obsahu příslušných otěrových kovů, obsahu zinku v případě aditivace přísadami zanechávajícími po spálení popel, nebo obsahu fosforu a síry v případě aditivace bezpopelnými přísadami.

Jako další případné parametry přicházejí v úvahu deemulgační charakteristika, produkty stárnutí a barva.

#### Hydraulický olej typu HV

Oleje typu HV obsahují navíc oproti předchozí skupině olejů přísady, které výrazně zlepšují jejich viskozitně-teplotní vlastnosti. Tyto oleje jsou určeny i pro hydraulické

mechanizmy strojů, které převážně pracují v nechráněném prostředí. Většinou jsou v zimě vystaveny velmi nízkým teplotám a naopak v létě poměrně vysokým teplotám. Základní schéma rozboru je v zásadě stejné jako u olejů typu HM, ale patří do něj ještě navíc stanovení kinematické viskozity při 100 °C a viskozitního indexu. Ostatní parametry jsou stejné jako u typu olejů HM.

### Biologicky rozložitelné hydraulické kapaliny

S rozvojem techniky a s rostoucím využitím mechanizačních prostředků se zvětšuje i riziko znečišťování životního prostředí. Proto je třeba preferovat použití hydraulických kapalin šetrných k životnímu prostředí především všude tam, kde existuje nebezpečí jejich úniku.

Biologicky rozložitelná hydraulická kapalina se biologicky dostatečně rychle rozkládá, toxické pro faunu a flóru není ani sama o sobě, ani žádný z produktů jejího rozkladu. Jedná se v zásadě o kapaliny na bázi rostlinných olejů nebo syntetických esterů, tedy chemicky podobné látky. Schéma rozborů pro posouzení stavu těchto kapalin je podobné schématům pro hydraulické oleje na ropné bázi s tím, že stejně jako u esterů kyseliny fosforečné zde hraje důležitou roli obsah vody.

### 1.6.2. Tribodiagnostika hydraulických kapalin

Podstatným faktorem z hlediska spolehlivosti hydraulické soustavy je celkové znečištění hydraulické kapaliny. Znečištění se posuzuje jako obsah celkových nečistot. Používá se metodika filtrace zředěné kapaliny přes membránový filtr s porozitou 0,8 μm, která je zavedena v českých normách jako ČSN EN 12662. Pro toto stanovení není určen pevný limit, hodnoty se v praxi pohybují v úrovni 100 až 500 mg/kg. Za velmi čisté lze považovat kapaliny pod 100 mg/kg, naopak za znečištěné lze považovat kapaliny nad 500 mg/kg. Pro sledování úrovně znečištění hydraulických kapalin mikroskopicky nebo pomocí čítačů částic pracujících na různých principech. V České republice se pro vyhodnocení používá norma ISO 4406. Pro různé typy hydraulických prvků jsou hodnoty kódu čistoty uvedeny v této normě. V současné době již tyto hodnoty výrobci hydraulických prvků uvádějí

v kmenových listech. V praxi se nejčastěji v hydraulické kapalině sleduje obsah železa, mědi a hliníku [14].

### 1.6.3. Aditivace hydraulických kapalin

V současné době jsou aditivovány u nás všechny oleje motorové, téměř všechny převodové, většina hydraulických, trvanlivých, turbínových aj.

Účinnost přísad je závislá na složení oleje, a proto stejná přísada může vykazovat v olejích připravených různou technologií (selektivní rafinací, hydrogenací aj.) rozdílnou účinnost. Přísady různého druhu mohou vzájemně reagovat, čímž se ovlivní jejich působnost, dále podléhají různým oxidačním a termickým změnám.

#### **Chemická povaha aditiv**

Jsou to látky chemicky velmi komplikované, buď organokovové povahy – tzv. popelná aditiva, nebo čistě organické povahy, často polymerní – dnes více žádaná bezpopelová aditiva. V oleji jsou rozpustná, hustotu mají mít přibližně stejnou jako olej. Mají působit již v malém množství účinně (konkrétně v desetinách obj. %). Proto se často vyžaduje zlepšení několika vlastností základového oleje, je žádoucí, aby aditivum vykazovalo multifunkčnost působení, např. se kumuluje působení antioxidační, antikorozi a detergentní.

### 1.6.4. Znečištění a filtrace hydraulického oleje

Zjednodušeně lze znečištění oleje klasifikovat jako „tvrdé“ (otěrové kovy, prachové částice, ostatní částice) a "měkké" (oxidační produkty oleje a produkty reakce aditiv olejů).

Vhodně zvolená filtrace má za úkol zajistit jak správnou funkci jednotlivých prvků, tak jejich dlouhou životnost. Správně navržená a aplikovaná filtrace současně zajistí nenáročnou a levnou údržbu. Rovněž minimalizuje nepředvídatelné poruchy a z toho plynoucí výpadky výroby a navazující nutné opravy, zlepšit celkovou hospodárnost, pohotovost i spolehlivost zařízení.

Způsoby čištění kapalin lze rozdělit na konvenční a jiné, například elektrostatické metody. Mezi konvenční způsoby čištění patří zejména mechanické filtry, odstředivky a

magnetické odlučovače. Odstředivky a magnetické odlučovače mají natolik specifickou oblast použití, že rozhodování o způsobu filtrace olejů se dnes většinou zužuje na použití buď mechanických filtrů, nebo zařízení pro elektrostatické čištění olejů [6.].

### **Mechanické filtry**

Funkce filtru je založena na zachycování nečistot průchodem kapaliny přes porézní materiál. Filtrační vložky jsou z různých materiálů a rozličných konstrukcí. V důsledku různé velikosti pórů není rozměr zachycených částic přesně ohraničen. Průmyslovými filtry se dnes zachycují částice nečistot o velikosti až 3  $\mu\text{m}$ , u zvláště jemných filtrů i menší. Standardní je dnes filtrace částic o velikosti nad 10  $\mu\text{m}$  [13].

Účinnost filtrace je dána především materiálem a uspořádáním filtrační vložky. Filtrační vložky mohou zachycovat nečistoty povrchově nebo hloubkově. Některé filtrační vložky se vyznačují až 100% zachycením nečistot.

Výhody filtrace mechanickými filtry:

- filtr je součástí dodávky, jedinou povinností uživatele je včasná výměna filtrační vložky;
- náklady na výměnu filtračních vložek, zejména papírových, bývají poměrně nízké.

### **Magnetické odlučovače**

Tato metoda filtrace umožňuje zachytávat částice již o velikosti 0,07 mm díky silným permanentním magnetům. Zachycují se především feromagnetické částice, ale i paramagnetické materiály (měď, bronz aj.). Vlivem adheze a případného shlukování mezi lamelami ulpívají i nemagnetické částice. Protože nečistoty se usazují mezi lamelami, nedochází k zanášení průtočných kanálů a tím ke zvýšení tlakové ztráty na filtru, která zůstává trvale nízká. Výhodou je vysoká účinnost – filtr o hmotnosti 1,1 kg zachytí 190 g nečistot a filtr o hmotnosti 16,9 kg zachytí 4 kg nečistot. Nečistoty se z trnu s lamelami odstraní tlakovou vodou a magnetický trn se dá znovu použít. Magnetické odlučovače se hodí především k čištění chladicí emulze při obrábění kovů, zejména při broušení, nebo k čištění mazacího oleje v automobilovém motoru, ale mohly by pomoci k dokonalejší filtraci velkých objemů pracovní kapaliny v hydraulických systémech, například v hutních provozech.



## Elektrostatické čištění kapalin

Elektrostatické čištění kapalin (ELC - Electrostatic Liquid Cleaning) se zcela liší od dosud užívaných mechanických způsobů filtrace zejména tím, že se na nečistoty pohlíží z hlediska jejich elektrických vlastností. Nečistoty pak lze rozdělit na

- elektricky pozitivně nabité částice;
- elektricky negativně nabité částice;
- elektricky neutrální částice.

Jako základní princip odlučování částic využívají přístroje na elektrostatické čištění Coulombův zákon.

Elektroforéza je jev, kdy pozitivně a negativně nabité částice v kapalině jsou přitahovány k elektrodám s opačnými náboji. Tak jsou elektrodami přitahovány částice ferromagnetických látek, jako ocelový ořez, rez, okuje apod.

Zařízení pro elektrostatické čištění olejů sestává z nádoby, v níž jsou elektrody a tzv. kolektory, vhodně tvarované vložky, na nichž se částice působením elektrostatických sil ukládají. Jímavost kolektorů v nádobě o objemu 56 litrů dosahuje až 8,6 kg nečistot.

Nejvýznamnější výhody elektrostatického čištění:

- odstraňuje částice již od velikosti 0,05 mm;
- jímavost kolektorů proti klasickým filtračním prvkům je řádově vyšší;
- tlaková ztráta na mechanických filtrech je vyšší než tlaková ztráta na kolektorech;
- odstraňuje všechny částice, které nejsou zcela rozpustné v hydraulickém oleji, tedy i kaly a jiné nečistoty, které mají stejnou měrnou hmotnost jako olej; aditiva, která jsou dokonale rozpustná v oleji, zůstávají nedotčena.

Nejvýznamnější nevýhody:

- je dražší než konvenční metody čištění;
- stanovení intervalů a optimální doby nasazení zařízení pro ELC je obtížné.

## 1.7. Principy použitých experimentálních metod

Životnost hydraulické soustavy závisí na velikosti opotřebení kovových součástí v hydromotorech a hydrogenerátorech. Závažnost této problematiky zvyšuje skutečnost, že náklady na údržbu a opravy hydraulických systémů někdy převyšují jejich pořizovací cenu. Údržba těchto složitých moderních systémů zaměstnává velký počet kvalifikovaných pracovníků, proto provozovatel stroje vyžaduje od těchto systémů vysokou životnost a dobrou udržitelnost. Použitím moderních instrumentálních technik, např. infračervené spektrometrie a ferrografie, je možné zabránit předčasným demontážím a opravám hydraulického systému. Tyto metody podávají přesné informace o opotřebení oleje, jeho znečištění a o opotřebení celého systému a jeho závadách. Tímto se vytváří předpoklad spolehlivé kontroly výměnných lhot hydraulického oleje.

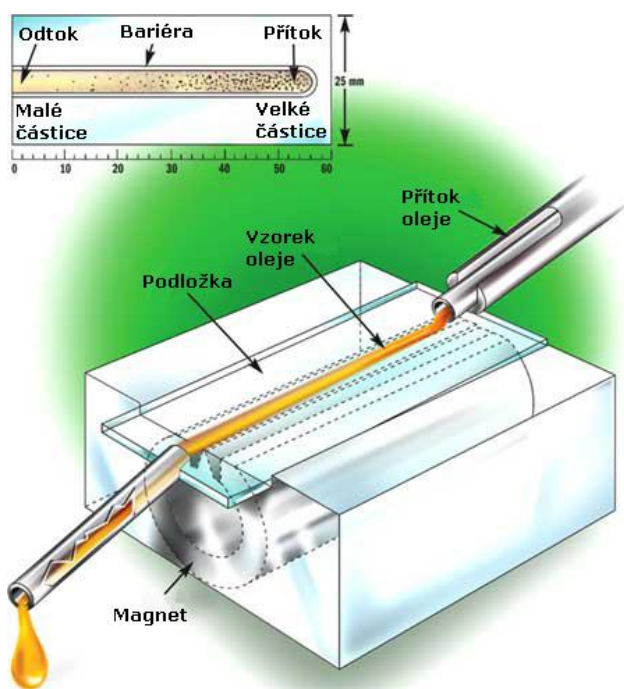
### 1.7.1. FTIR spektrometrie

Pomocí infračervené spektrometrie může nahradit několik konvenčních metod sledování stavu hydraulických olejů v provozu. Tato metoda je daleko rychlejší a vyžaduje pouze malé množství vzorku oleje (asi 0,5 ml). Analytická technika je určena zejména pro identifikaci a strukturní charakterizaci organických sloučenin. Pomocí infračervené spektrometrie se měří absorpce infračerveného záření o různé vlnové délce analyzovaným materiálem. Infračervené záření je elektromagnetické záření v rozsahu vlnových délek  $\lambda$  0,78 – 1000  $\mu\text{m}$ , které odpovídá rozsahu vlnočtů  $1/\lambda$  12800 – 10  $\text{cm}^{-1}$ . Celá oblast bývá rozdělena na blízkou (13000 – 4000  $\text{cm}^{-1}$ ), střední (4000 – 200  $\text{cm}^{-1}$ ) a vzdálenou infračervenou oblast (200 – 10  $\text{cm}^{-1}$ ), jako nejpoužívanější se uvádí střední oblast [8.]

Princip této metody je absorpce infračerveného záření při průchodu vzorkem. Analytickým výstupem je infračervené spektrum, které je grafickým zobrazením funkční závislosti energie. Absorpční pásy, které mají vrcholy v intervalu 4000 – 1500  $\text{cm}^{-1}$  jsou vhodné pro identifikaci funkčních skupin (např. –OH, C=O, N-H, CH<sub>3</sub>– aj.). Pásy v oblasti 1500 – 400  $\text{cm}^{-1}$  jsou nazývané oblastí „otisku palce“ (fingerprint region). Neznámou analyzovanou látku je možno identifikovat pomocí programů a digitalizovaných knihoven infračervených spekter [9.]

## 1.7.2. Analytická ferrografie

Ferrografie je bezdemontážní diagnostická metoda umožňující na základě částicové analýzy opotřebeného oleje objektivně určit režim opotřebenění mechanické soustavy a jejich částí. V praxi se využívá především analytická ferrografie. Pokud se zjistí, že v hydraulické soustavě dochází k abnormálnímu opotřebenění, umožňuje právě analytická ferrografie získat tyto podrobné informace. Vypovídá o skutečném technickém stavu všech mazaných dílů i o způsobu opotřebenění jednotlivých třecích dvojic v celé hydraulické soustavě. Ferrogramy připravené z odebraných vzorků oleje jsou podrobeny zkoumání v bichromatickém mikroskopu (preparát je osvětlován zespodu a shora). Ferromikroskopické vyšetření ferrogramů má charakter kvalitativní i kvantitativní, zahrnuje určení tvaru, velikosti a chemického složení částice, případně mechanismu jejího vzniku [11]



Obr. 7 Princip ferrografu [5]

## 2. Experimentální část

Experimentální část této práce se zabývá analýzou a hodnocením průběhu opotřebení hydraulických olejů používaných ve vysokozdvizných vozících. K hodnocení opotřebení hydraulických olejů sledovaného vozíku byly použity metody:

- infračervená spektrometrie s Fourierovou transformací,
- analytická ferrografie s následným hodnocením částic v bichromatickém mikroskopu

### 2.1. Monitorovaný stroj a olejová náplň hydraulického systému

Vozík s bočním ložením je vhodný především pro přepravu a manipulaci s dlouhými břemeny. Nachází uplatnění hlavně v dřevařských závodech, hutních provozech a skladech dlouhých výrobků. Umístění výsuvného zdvihacího zařízení na boční straně a dokonalá manévrovací schopnost daná velkými natočenými koly řídicí nápravy umožňuje minimalizovat šířku obslužných uliček a tím maximálně využít skladovací plochy. Zabudování pohonné jednotky pod úroveň zadní plošiny a snadný přístup na přední i zadní plošinu umožňuje, aby celý proces manipulace s materiálem byl pohodlně prováděn pouze řidičem.

#### **Pohon**

Sériově je dodáván vznětový motor Perkins s velkým obsahem, uložený pod plošinou v zadní části vozíku. Vynikající přístup k motoru je zajištěn odklopnou zadní částí rámu. Prostor motoru je dokonale odhlučněn.

#### **System pohonu**

Výkon motoru je přenášen pomocí hydrostatického převodu na kola hnací nápravy. Podle potřeby se automaticky reguluje velikost tažné síly nebo rychlost jízdy. Směr jízdy určuje řidič nastavením ovladače v kabině. Sériově jsou montovány hydraulické prvky firmy Bosch - Rexroth.

## System hydrauliky

Hydraulická nádrž a filtr jsou umístěny v zadní části rámu. Čerpadla jsou napojena přímo na motor. Celý systém je navržen tak, aby výrobcem garantované parametry vozíku byly v provozu bez problémů dodrženy.

## Zdvihací zařízení

Standardní zdvihací zařízení je dvoudílné teleskopické. Provedení kladek umožňuje vymezení provozních vůlí bez demontáže zdvihacího zařízení. Příčný výsuv je zajištěn dvěma dvojčinnými hydraulickými válci uloženými vodorovně.

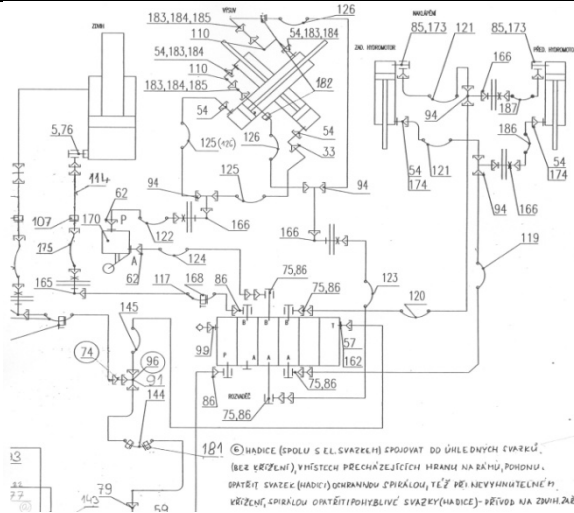
	
SB 65Q-0727	Plný zdvih – 5m
	
Částečný zdvih	Opěrné příslušenství



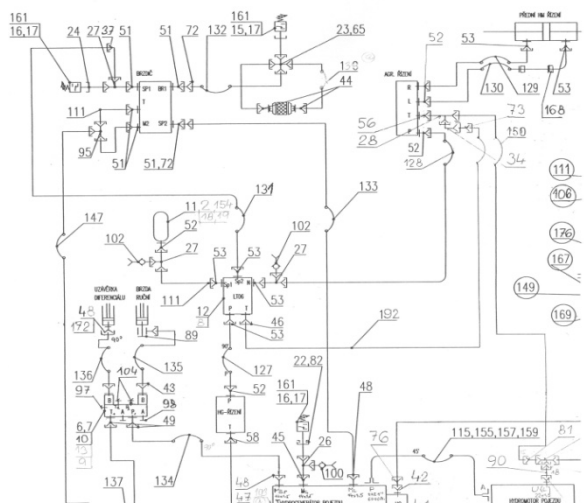
Pohled na motor Perkins



Pohled na motor a hydrogenerátor



Schema zapojení č. 1



Schema zapojení č. 2

Obr. 8 Monitorovaný stroj a schema [vlastní foto]



PARAMO HV jsou vysoce rafinované ropné oleje obsahující, kromě přísad obsažených v řadě HM (proti oxidaci, korozi, opotřebením a pění ke zlepšení nízkoteplotních vlastností a viskozitně teplotního průběhu) obsahují stříhově stálý modifikátor viskozity, který zlepšuje reologické vlastnosti za nízkých a vysokých teplot., který snižuje závislost viskozity na teplotě.

#### **Použití:**

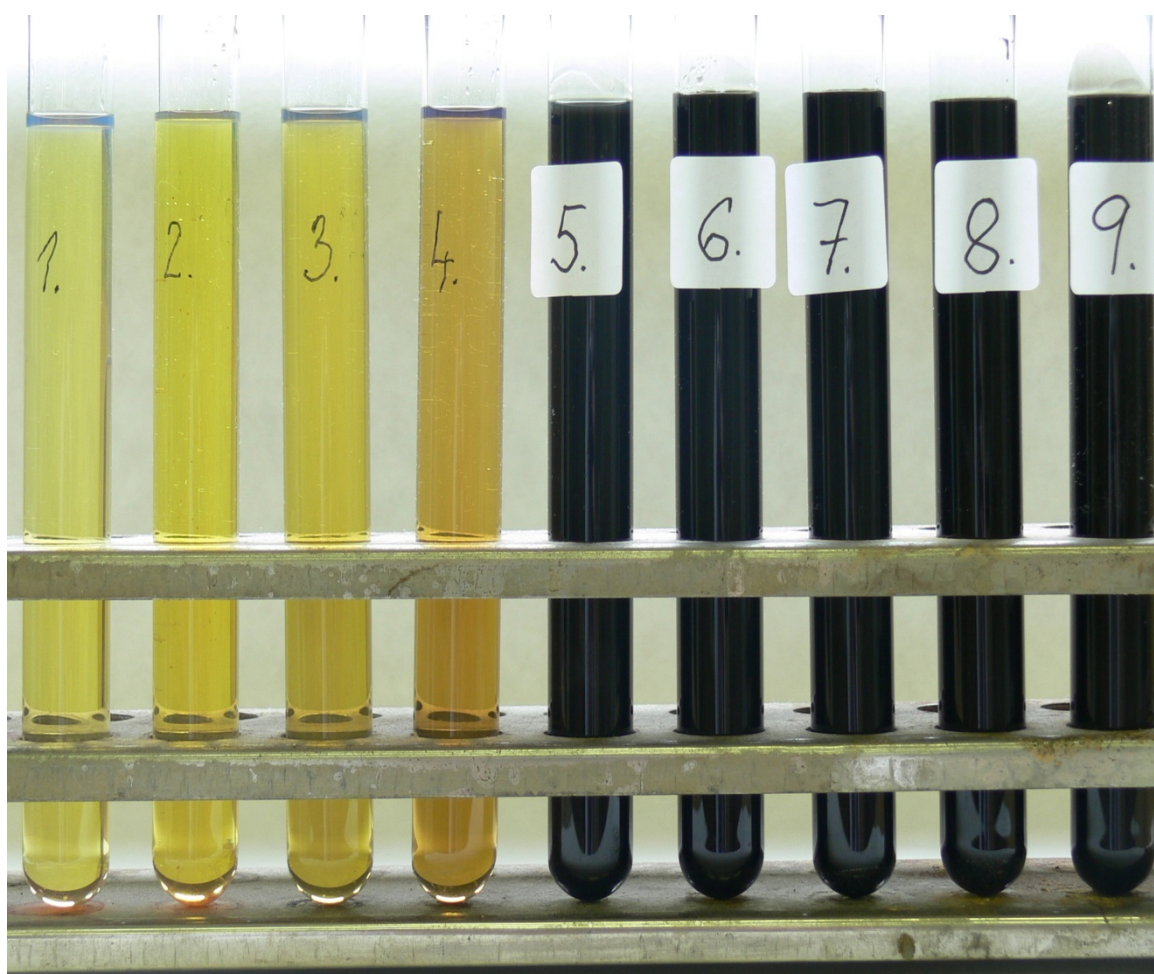
- vysokotlaké hydrostatické mechanismy s vysokým mechanickým a tepelným namáháním
- pro stroje pracující celoročně v širokém rozsahu teplot
- pro stroje vyžadující nízkou závislost viskozity na teplotě.

#### **Kvalitativní parametry**

viskozita při 40 °C (mm <sup>2</sup> /s)	46
viskozita při 100 °C (mm <sup>2</sup> /s)	8,5
viskozitní index	165
bod tekutosti (°C)	-35
bod vzplanutí OK (°C)	220
protikorozi vlastnosti	nepřítomnos t koroze
FZG test (A20/8,3/90) nevyhovující stupeň	12

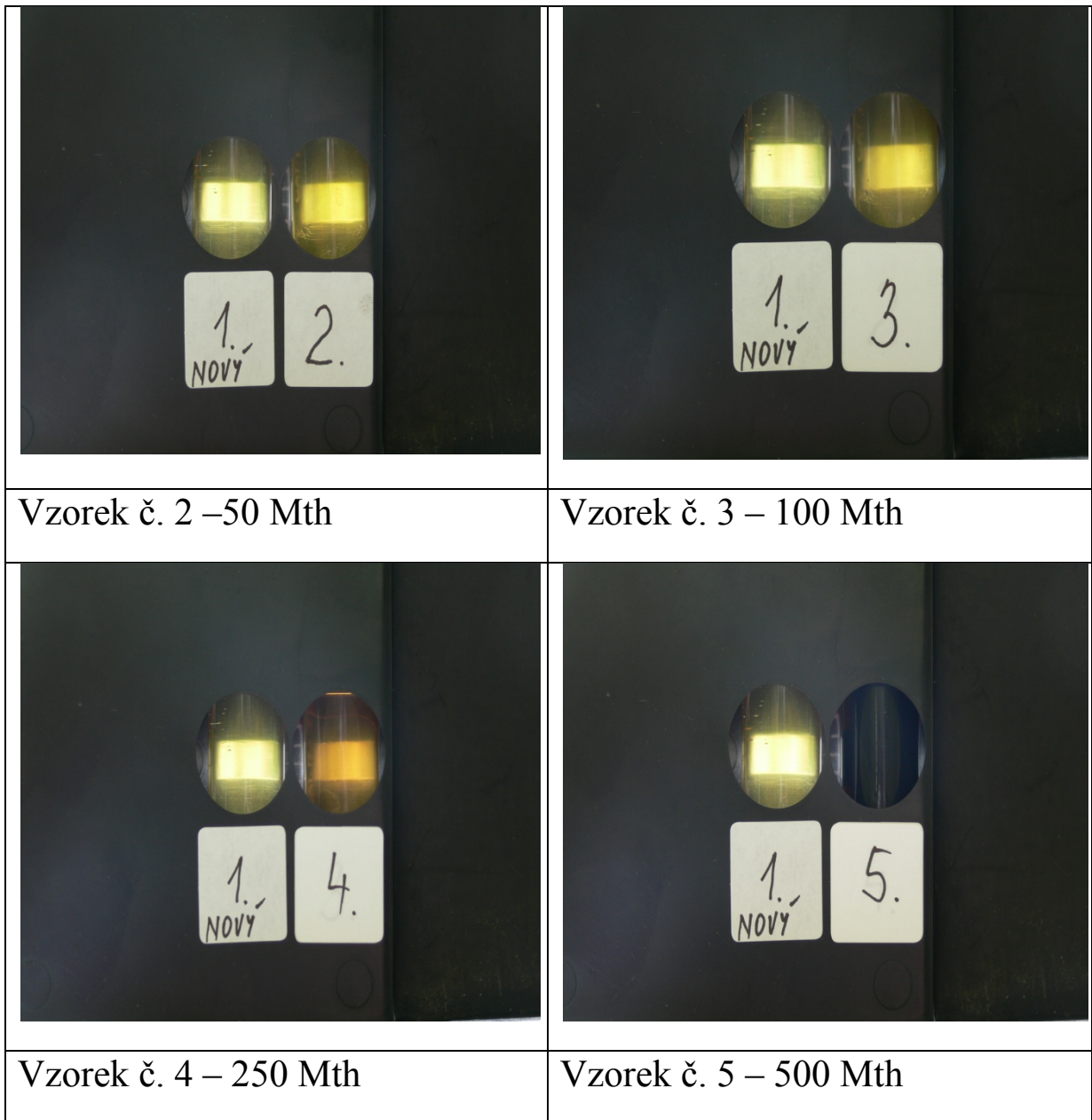
### Fotodokumentace vzorků olejů

Při experimentální práci bylo provedeno vizuální porovnání barevnosti odebraných vzorků. Z odebraných vzorků je zřetelně vidět, že při zvyšování počtu motohodin dochází k opotřebení hydraulického oleje a tím se mění i jeho barva. Použitý vzorek č. 1. udává 0 Mth. Od tohoto vzorku jsou porovnávány vzorky č. 2 – 9, viz obr. 8 – 10.

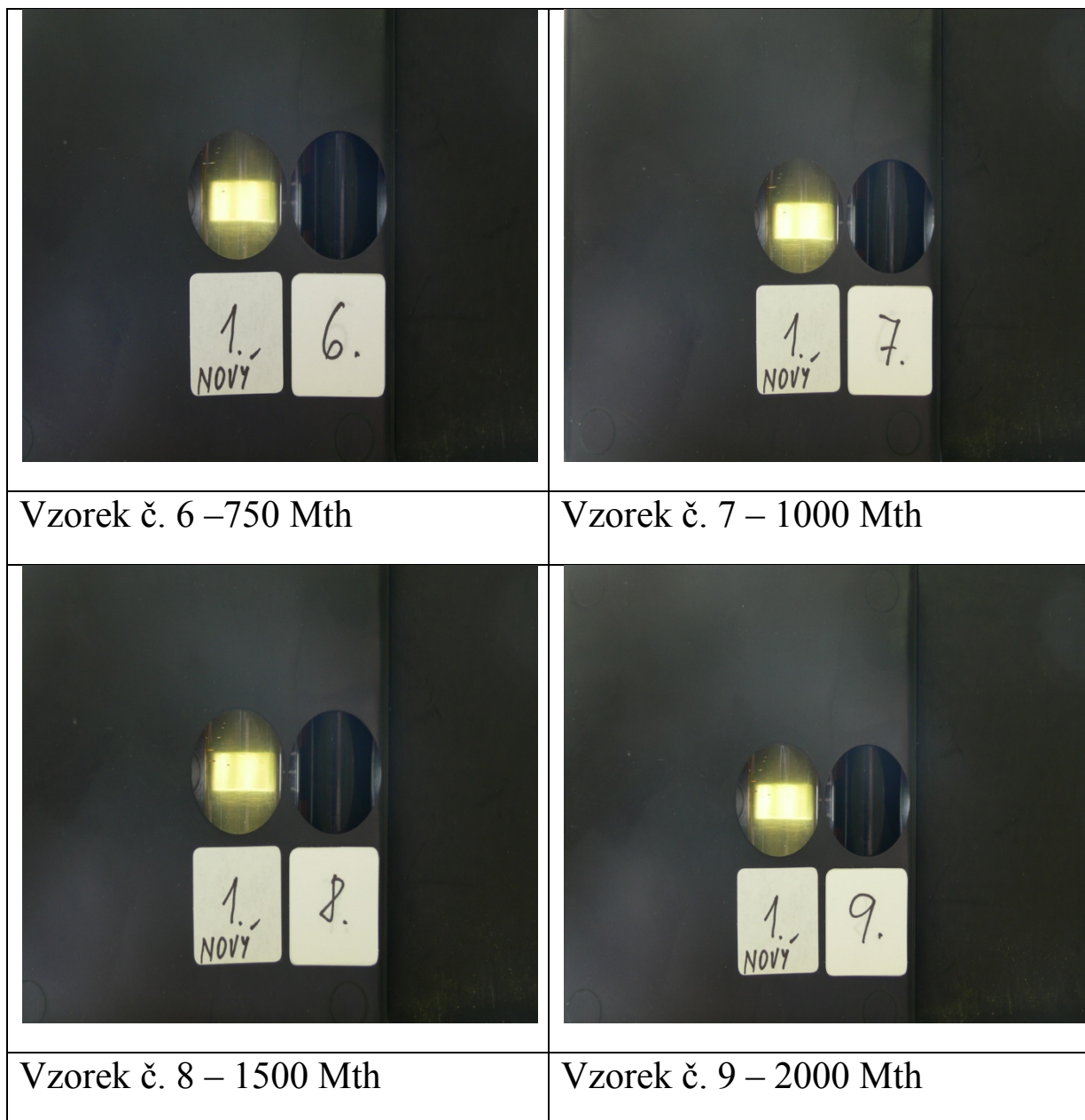


Obr. 9 Porovnání barvy oleje [vlastní foto]





Obr. 10 Porovnání barvy oleje vzorku č. 2–5 [vlastní foto]

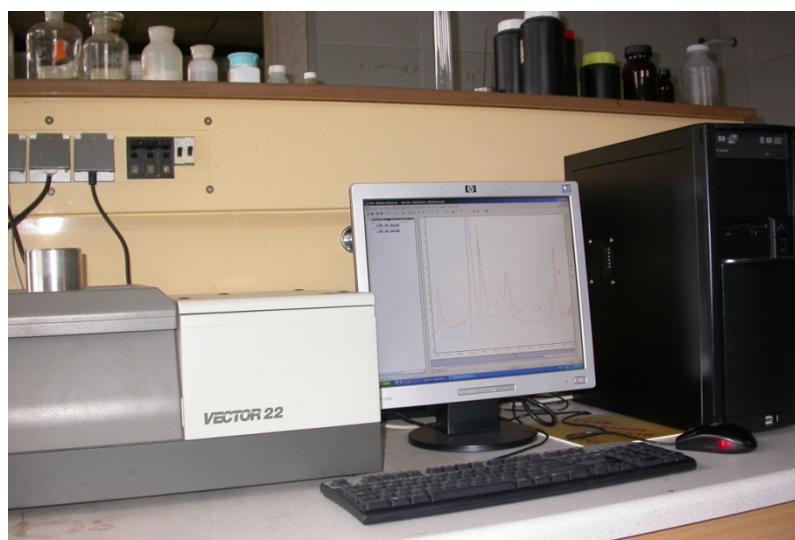


Obr. 11 Porovnání barvy oleje vzorku č. 6 – 9 [vlastní foto]

## 2.2 Experimentální podmínky použitých metod

### 2.2.1 FTIR spektrometrie

Pro zkoumání odebraných vzorků byl použit spektrometr pro infračervenou oblast s Fourierovou transformací – VECTOR 22 (Bruker). Tento spektrometr je umístěn v laboratoři Univerzitního ekologického centra v areálu Doubravice a je certifikován dle standardů ISO 9001 (obr. 12).



Obr. 12 Pracoviště FTIR spektrometrie (vlastní foto)

#### Základní technické parametry

Spektrometr VECTOR 22:

- FTIR spektrometr pro střední infračervenou oblast, spektrální rozsah  $7\,800 - 375\text{ cm}^{-1}$ ,
- spektrální rozlišení  $1\text{ cm}^{-1}$ ,
- poměr signálu k šumu min.  $35\,000 : 1$  ( při rozlišení  $4\text{ cm}^{-1}$  za 1 minutu ),
- vzduchem chlazený detektor DTGS,
- rychlost měření 1 scan / sec při rozlišení  $4\text{ cm}^{-1}$ ,
- automatická justáž, dynamické nastavování optiky,

- vlnočtová přesnost min.  $0,01 \text{ cm}^{-1}$  při  $2\,000 \text{ cm}^{-1}$  bez matematických korekcí,
- ordinátová přesnost min.  $0,1\% \text{ T}$ ,
- uzavřená a sušená optika.
- ATR krystal ZnSe ve vaničkovém uspořádání



Obr. 13 Nástavec ATR s krystalem ZnSe (vlastní foto)

Nastavení spektrometru:

- spektrální rozsah:  $600 - 4\,000 \text{ cm}^{-1}$
- rozlišení:  $4 \text{ cm}^{-1}$
- počet scanů: 32
- ATR: krystal ZnSe ve vaničkovém uspořádání

Pracovní postup FTIR spekter

- 1) Před vlastním měřením FTIR je potřeba zapnout zdroj spektrometru a nechat ho stabilizovat po dobu cca 12 min. Ten se pomocí funkce Check Signal v menu Measurement otestuje.
- 2) V menu Measurement se nastaví požadovaná metoda měření (soubor hatr.xpm) a automaticky se tak nastaví potřebné parametry.
- 3) Jestliže je přístroj připraven k měření, vloží se do nástavce horizontální ATR jednotky krystal ZnSe a zkontroluje se jeho čistota. Pomocí funkce Collect Background v menu

Measurement se změní pozadí, aby byl vyloučen vliv nečistot a případné kontaminace povrchu krystalu na měření spektra vzorku.

- 4) Vyjme se krystal z komory spektrometru a nanese se na něj slabou vrstvu vzorku měřeného oleje. Ten je důležité ve vzorkovnici protřepat, aby byl vzorek homogenní. Během nanášení vzorku nesmí docházet k tvorbě vzduchových bublinek, které mohou ovlivnit výsledky měření. Poté se krystal vloží zpátky do komory. Komora musí být otevřena co nejkratší dobu, aby se zabránilo vniknutí nečistot a vlhkosti z ovzduší laboratoře do komory spektrometru.
- 5) Pro lepší orientaci ve spektrech je vhodné si v menu Measurement nastavit ke každému vzorku příslušné jméno. Samotné měření se provádí pomocí funkce Collect Sample v menu Measurement. Naměřené spektrum se po skončení měření a proběhnutí matematických transformací objeví na monitoru počítače.
- 6) Před dalším měřením je třeba krystal důkladně vyčistit. Olej se setře pomocí papírové vaty. Následně pak povrch krystalu minimálně třikrát propláchneme n-hexanem ( $C_6H_{14}$ ). Z vyčištěného povrchu krystalu se nechá v digestoři odpařit zbylý n-hexan. Tím se z dalšího měření vyloučí píky, které by zbylý n-hexan způsobil [12.]

#### Interpretace IČ spekter

Při analýze spekter se vychází ze znalosti vlnových délek (resp. vlnočtů) odpovídajících konkrétním sloučeninám nebo charakteristickým strukturním skupinám.

### 2.2.2 Ferrografická analýza

Pro ferrografickou analýzu byl použit ferrograf REO 1 od firmy REO Trade, s.r.o. Ostrava. Ferrogramy pořízené tímto přístrojem byly podrobeny zkoumání a následnému vyhodnocení. Vyhodnocení ferrogramů bylo provedeno na bichromatickém trinokulárním mikroskopu H 6000 (výrobce Intraco Micro Tachlovice) [10.]

#### **Základní technické parametry použitých přístrojů**

##### **a) Ferrograf REO**

Napájení 110 V/60 Hz 50VA, hmotnost 4.0 kg, provozní teplota okolí 18 – 30 °C, rozměry 280 x 220 x 280 mm, měřicí rozsah 0 - 500  $\mu$ m, doba měření 15 – 20 min.

## **b) Kamera Micrometrics 318CU**

Optický formát 1/2-inch 4:3, barevný obraz, rozlišení 2048 x 1536, obrazová plocha 6.55 x 4.92 mm, velikost obrazového bodu 3.2 x 3.2  $\mu\text{m}$ , citlivost V/Lux-sek. 1.0, poměr S/N 43 dB, frame rate při plném rozlišení 6 FPS, frame rate při polovičním rozlišení 21 FPS.

Další technické parametry: typ kamery USB 2.0, CMOS 3 x 8-Bitu, nepřetržitý nekomprimovaný automatický video výstup, expozice a vyvážení bílé, 10-Bit AD převodník, dynamický rozsah 61dB. Sestava je složena z odolného těla z hliníkové slitiny, adaptéru s C-závitem pro objektivy, filtru pro zabránění vstupu infračerveného záření a 3.5m USB kabelu. Ovladače: DirectShow Source Filter – WDM, TWAIN. Software: Micrometrics™ SE, aktuálně verze 2.6 nebo Micrometrics™ SE Premium [30].

## **c) mikroskop H 6000**

Napájení 220 V/50 Hz, zvětšení 4x, 10x, 25x, 40x, zelený filtr pro podsvícení, červený filtr pro osvětlení ze strany okuláru.

### **Pracovní postup přípravy ferrogramu**

- 1) Ferrograf je opatřen nástavcem, který je umístěn v nehomogenním magnetickém poli. V nástavci jsou vodící drážky o malém sklonu, do kterých se zasune plastová fólie o rozměrech 28 x 76 mm.
- 2) Pro odvod maziva z podložky je určena šikmo seříznutá hadička, která se provlékne držákem v přední části ferrografu a vhodně natočí tak, aby se seříznutí shora dotýkalo fólie.
- 3) Vzorek oleje se ve vzorkovnici ohřeje ve vodní lázni na teplotu 65 – 70 °C. Vhodným promícháním po dobu cca 2 min dojde k homogenizaci vzorku.
- 4) Do injekční stříkačky se nasaje přibližně 3 ml oleje, aby bylo možné upevnit injekční stříkačku do držáku s autoposuvem.
- 5) Olej v injekční stříkačce se spolu s nasazenou šikmo seříznutou trubičkou zasune do držáku v zadní části přístroje. Šikmo seříznutá trubička se nastaví tak, aby byla cca 0,5 mm nad povrchem fólie. Olej nesmí z trubičky kapat a musí rovnoměrně vytékat.
- 6) Rovnoměrné vytlačování vzorku oleje je uskutečněno pomocí posuvného ramene autoposuvu, které se zpustí stisknutím tlačítka START na čelním panelu přístroje. Olej rovnoměrně stéká po podložce, kde na jejím konci je odváděn pomocí odtokové trubičky.

- 7) Po úplném vyprázdnění injekční stříkačky (konec autoposuvu) se stisknutím tlačítka RETURN vrací autoposuvem rameno do výchozí polohy. Posuv mechaniky se může v každém okamžiku zastavit stiskem tlačítka RETURN.
- 8) Injekční stříkačka se vyjme a naplní technickým benzínem. Stejný postupem se vymyje olej z podložky s ferrogramem. Podložka se proplachuje benzínem 3 až 5 krát tak, aby z ferrogramu byly odstraněny zbytky oleje.
- 9) Podložka se nechá oschnout a po vyjmutí z přístroje se ferrogram podrobí mikroskopické analýze.

V případě slabé stopy se vzorek oleje vícekrát nanese nebo se prodlouží doba chodu autoposuvu ze 4 na 8 minut, a to přepínačem na horním víku přístroje. Při velkém výskytu otěrových částic se vzorek oleje ředí ve vhodném poměru s technickým benzínem.

### **Mikroskopická analýza**

Bichromatický trinokulární mikroskop H 6000 je vybaven červeným filtrem pro reflexní osvětlení a zeleným filtrem pro transmitantní osvětlení. Na tento mikroskop je pomocí optického tubusu upevněna kamera Mikrometrics 318CU, který je propojen přes USB kabel s počítačem. Pomocí této sestavy je možné detailně studovat jednotlivé ferrogramy možností přímého snímání částic zachycených na ferrogramu. Nalezené částice je poté možné vyhodnotit porovnáním s atlasy otěrových částic.

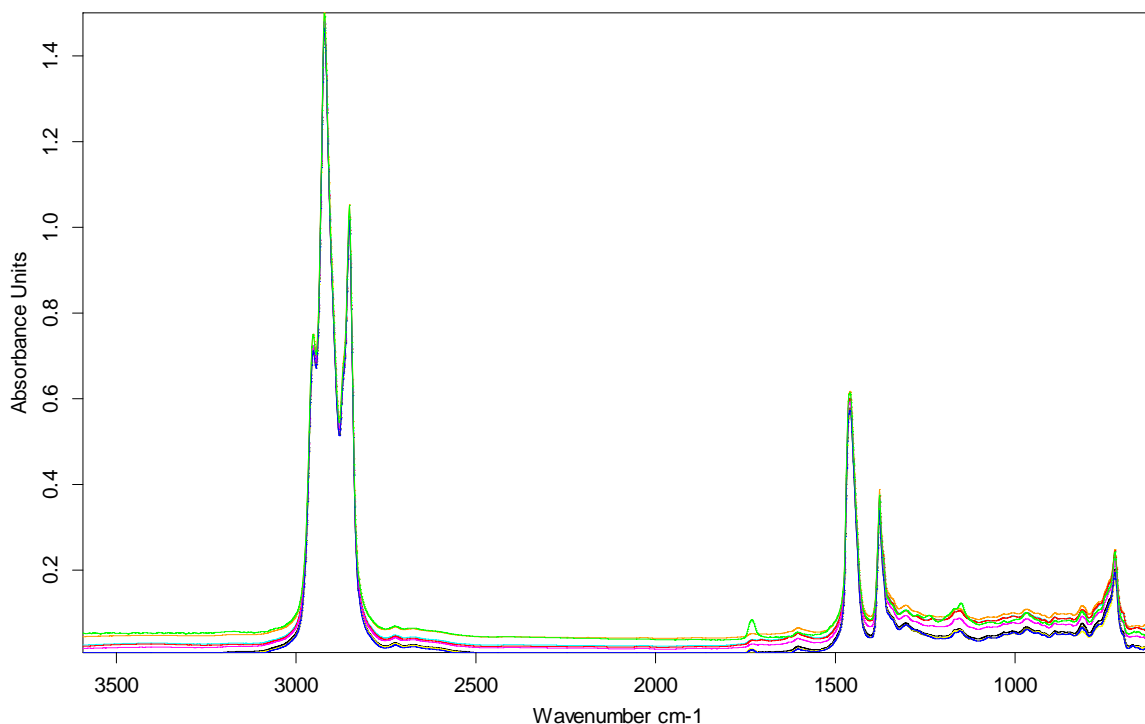
Pro určení měřítka zobrazení na mikrofotografiích se jako délkový standard používá objektivový mikrometr (obr. 3.12). Je to destička o velikosti podložního sklíčka, na které je mikrometrická stupnice, kde je jeden mm rozdělen na 100 dílků. Jeden dílek stupnice tak odpovídá 0,01 mm, tj. 10  $\mu\text{m}$ .



## 2.3. Výsledky měření a jejich interpretace

### 2.3.1. Výsledky FTIR spektrometrie

V této části práce byla proměřena spektra vzorků olejů, která jsou dokumentována na obr. 13 až 15.

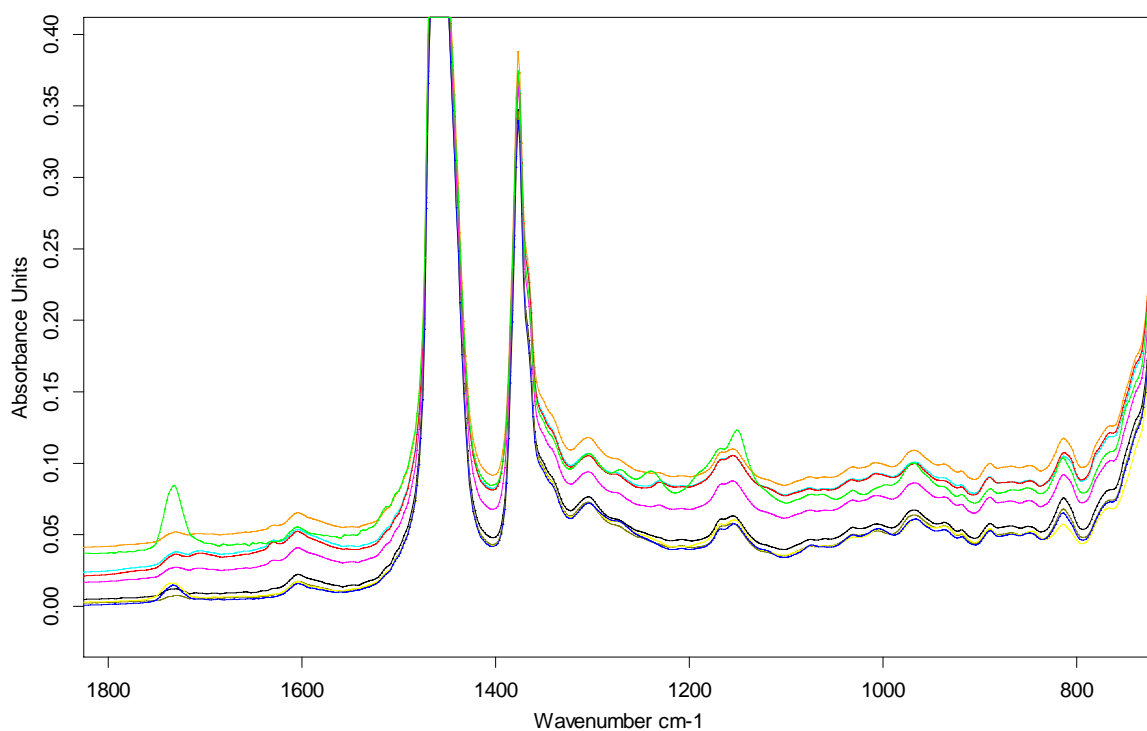


Barevné označení spekter:

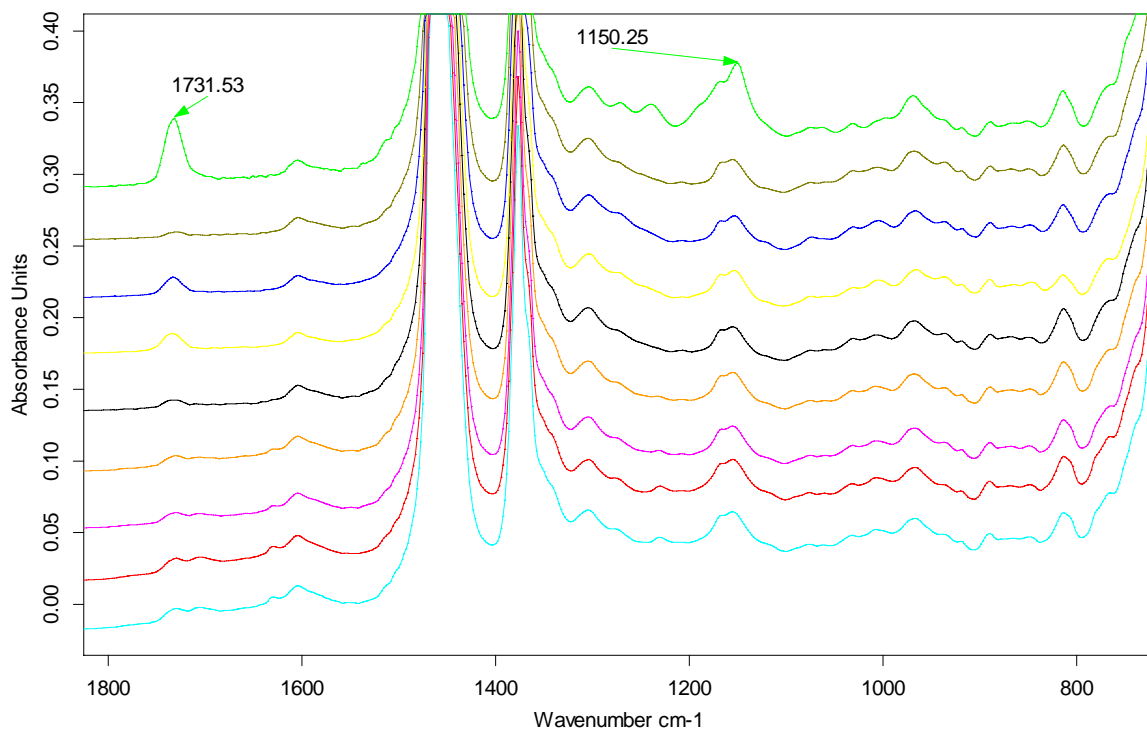
hv46_657_sb50-q-072011_new					
hv46_SB.65Q.0727_100 Mth					
hv46_SB.65Q.0727_1000 Mth					
hv46_SB.65Q.0727_1500 Mth					
hv46_SB.65Q.0727_2000 Mth					
hv46_SB.65Q.0727_250 Mth					
hv46_SB.65Q.0727_50 Mth					
hv46_SB.65Q.0727_500 Mth					
hv46_SB.65Q.0727_750 Mth					

Obr. 14 Infračervené spektrum všech analyzovaných vzorků hydraulických olejů  
a – celý měřený rozsah, neupravený záznam





Obr. 15 Infračervené spektrum všech analyzovaných vzorků hydraulických olejů  
b – detail spektra, neupravený záznam



Obr. 16 Infračervené spektrum všech analyzovaných vzorků hydraulických olejů  
c – detail spektra, spektra v záznamu manuálně posunuta a seřazena podle rostoucího počtu motohodin odshora dolů; barevné označení uvedeno u obr. 13 a))

Dílčí závěr:

Cílem provedených experimentálních prací bylo posoudit stav hydraulické náplně ve vysokozdvizném vozíku SB 65Q 0727 analýzou odebraných vzorků olejů.

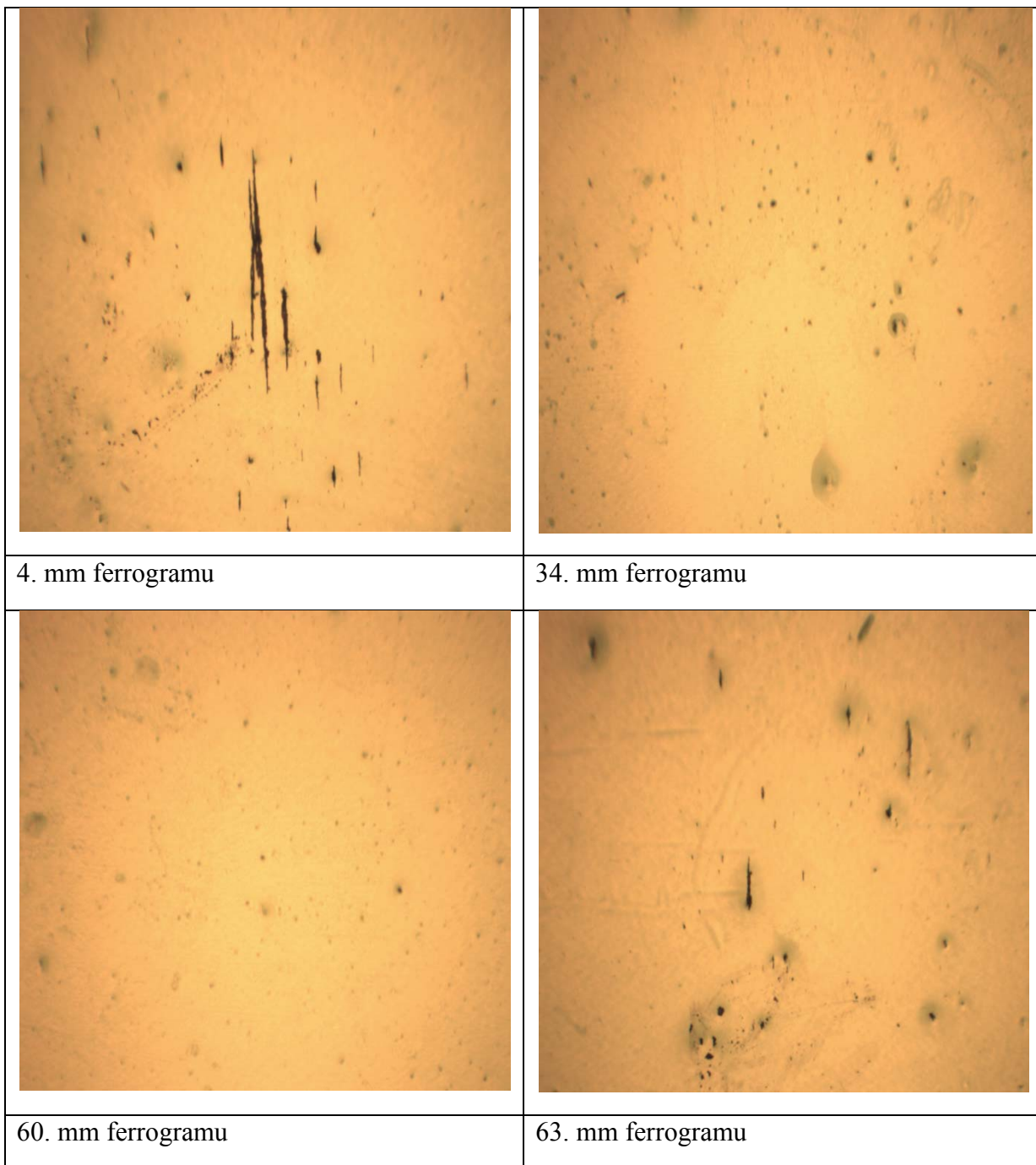
Metodou FTIR spektrometrie byly analyzovány vzorky olejů z provozu (po 50, 100, 250, 500, 750, 1000, 1500, 2000 motohodinách) a srovnávací vzorek nepoužitého oleje HV 46.

Změny ve spektrech vzorků olejů z provozu jsou ve srovnání s nepoužitým olejem jen nepatrné, a to v oblastech kolem  $1730\text{ cm}^{-1}$  a  $1150\text{ cm}^{-1}$ . Souvisejí s úbytkem protiotěrových přísad a s částečným rozpadem modifikátorů viskozity. Intenzita degradace oleje odpovídá provozním podmínkám; lze jednoznačně konstatovat, že je používán správný typ oleje vhodné kvality.

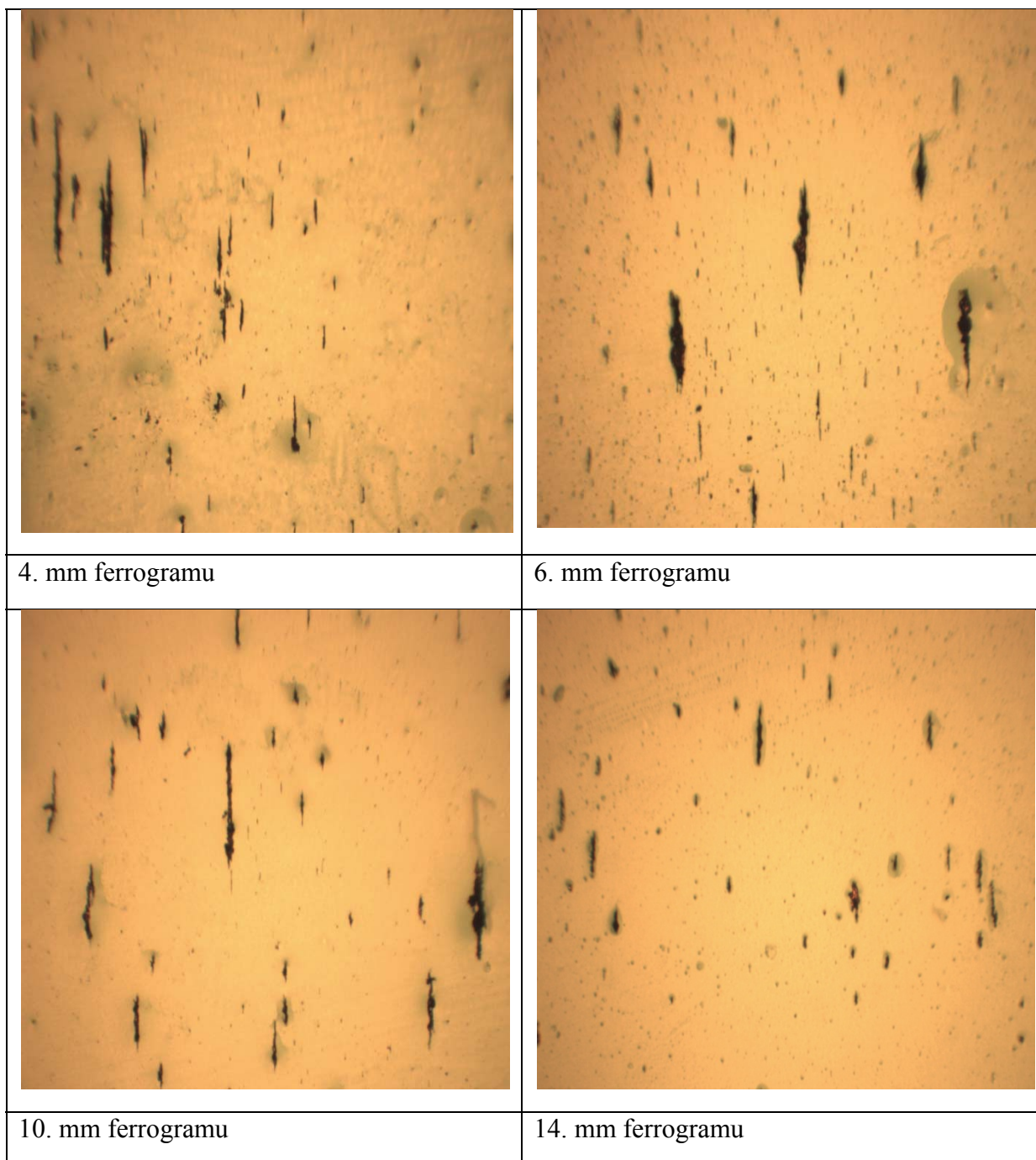
Uživateli lze doporučit používání stávajícího druhu hydraulického oleje HV 46 a zavedený systém jeho výměny podle počtu motohodin.

### 2.3.2. Výsledky ferografické analýzy

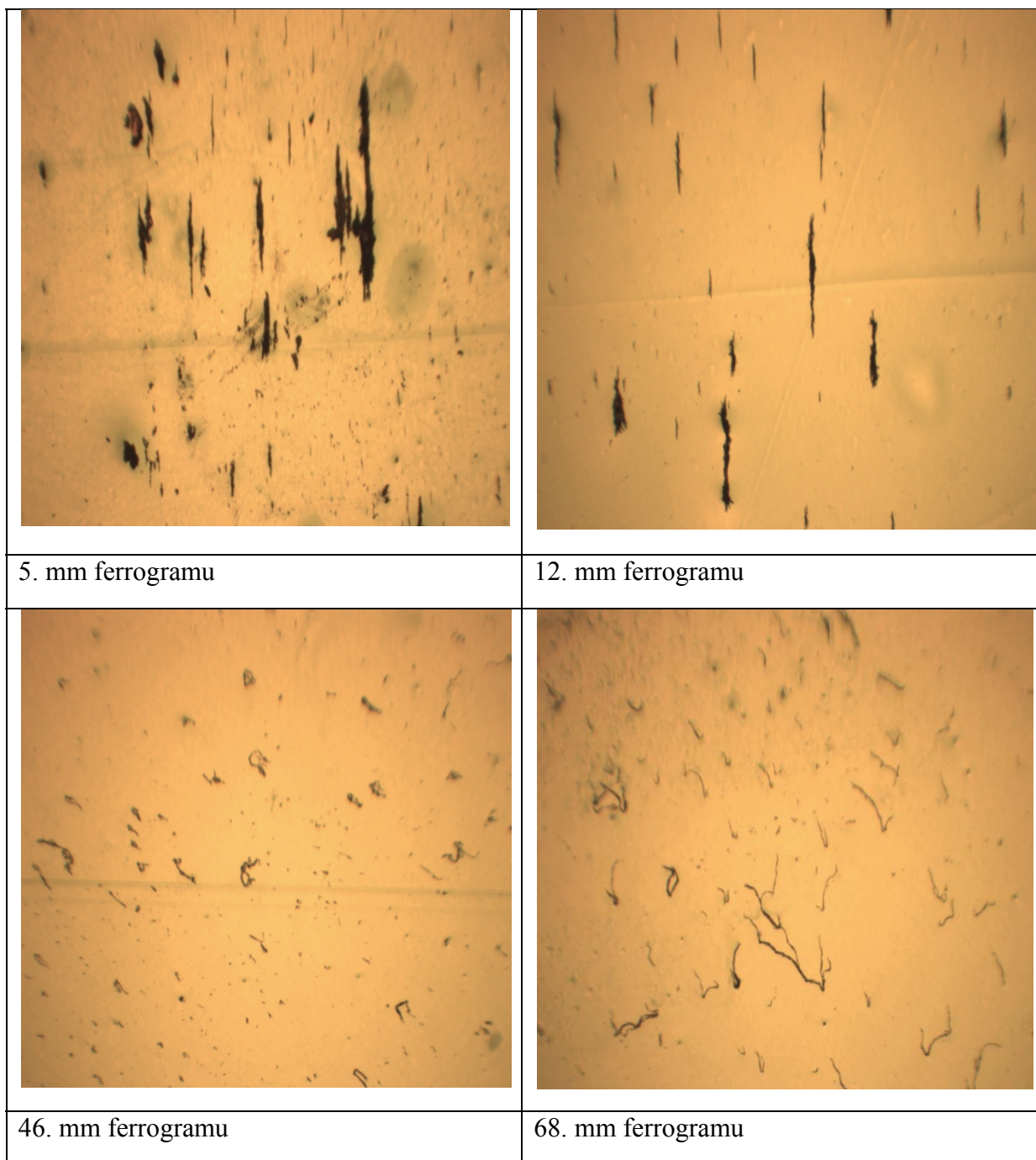
Byla provedena ferografická analýza vzorků hydraulického oleje. Na obr. 16 až 24 jsou uvedeny vybrané snímky; kompletní fotodokumentace je připojena na CD, přiloženém ke svázaným výtiskům práce.



Obr. 17 Ferrogramy vzorku hydraulického oleje – 0 Mth (objektiv SP 4, zv. 40x)

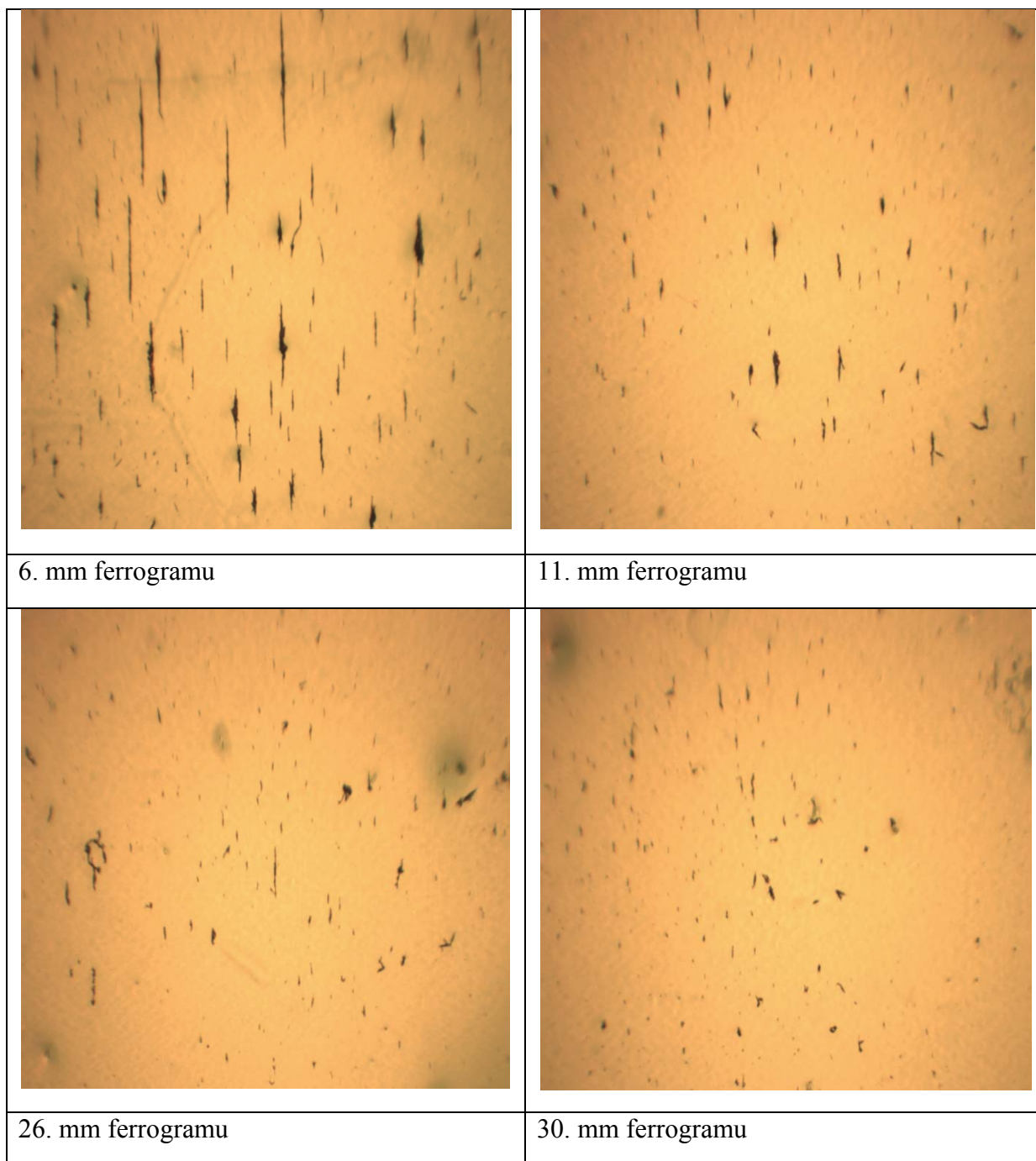


Obr. 18 Ferrogramy vzorku hydraulického oleje –50 Mth (objektiv SP 4, zv. 40x)

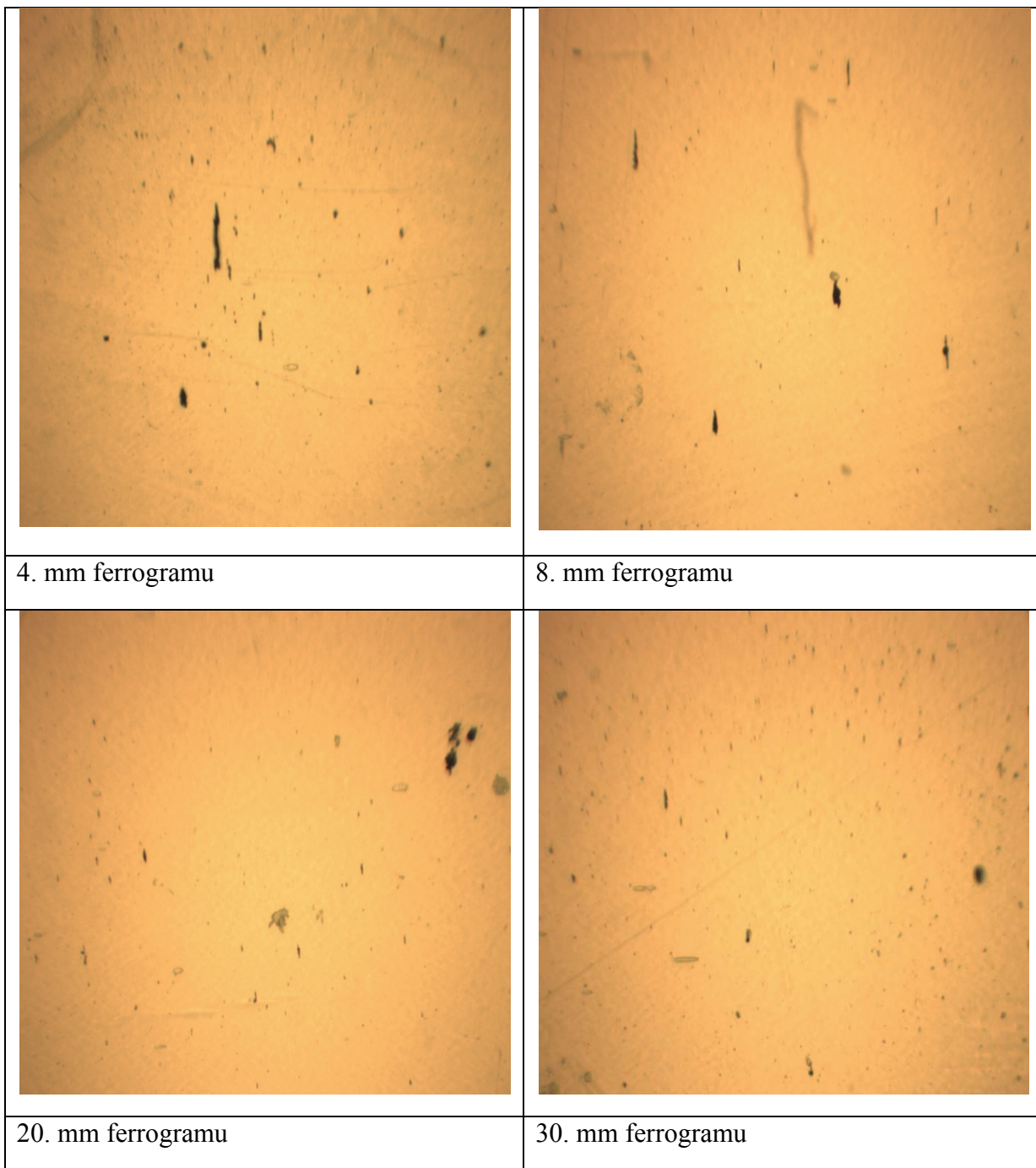


Obr. 19 Ferrogramy vzorku hydraulického oleje –100 Mth (objektiv SP 4, zv. 40x)

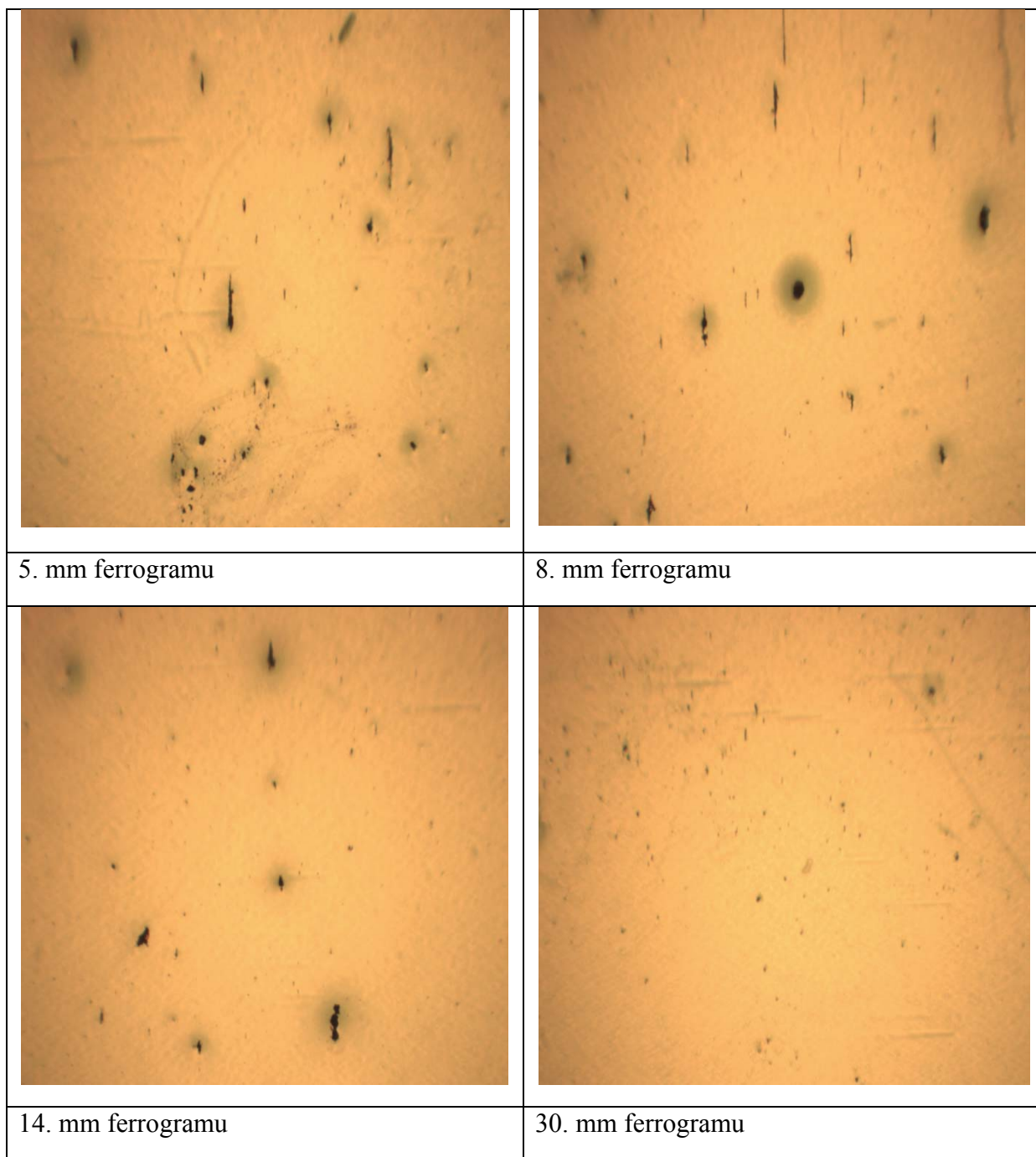




Obr. 20 Ferrogramy vzorku hydraulického oleje -250 Mth (objektiv SP 4, zv. 40x)

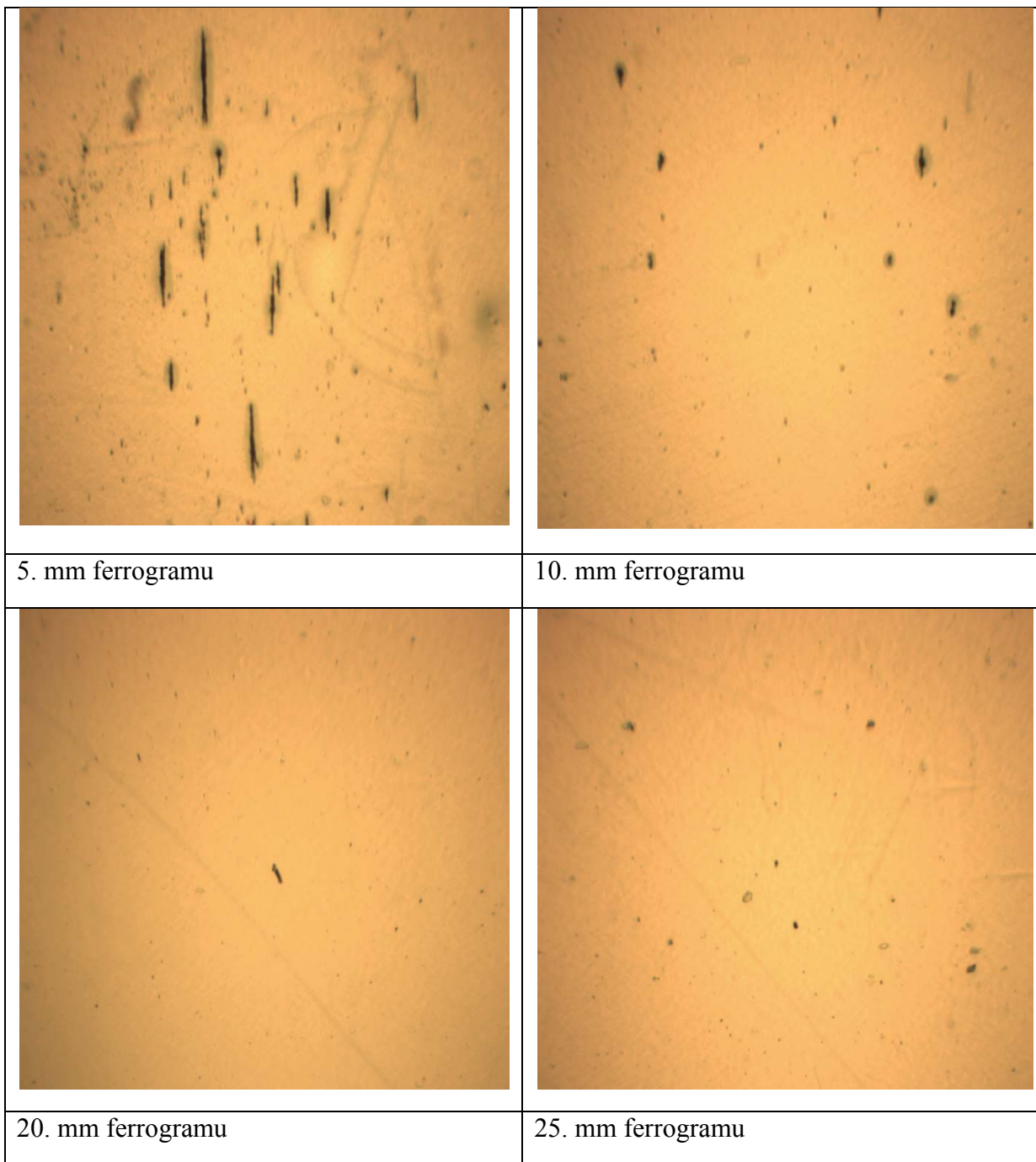


Obr. 21 Ferrogramy vzorku hydraulického oleje –500 Mth (objektiv SP 4, zv. 40x)

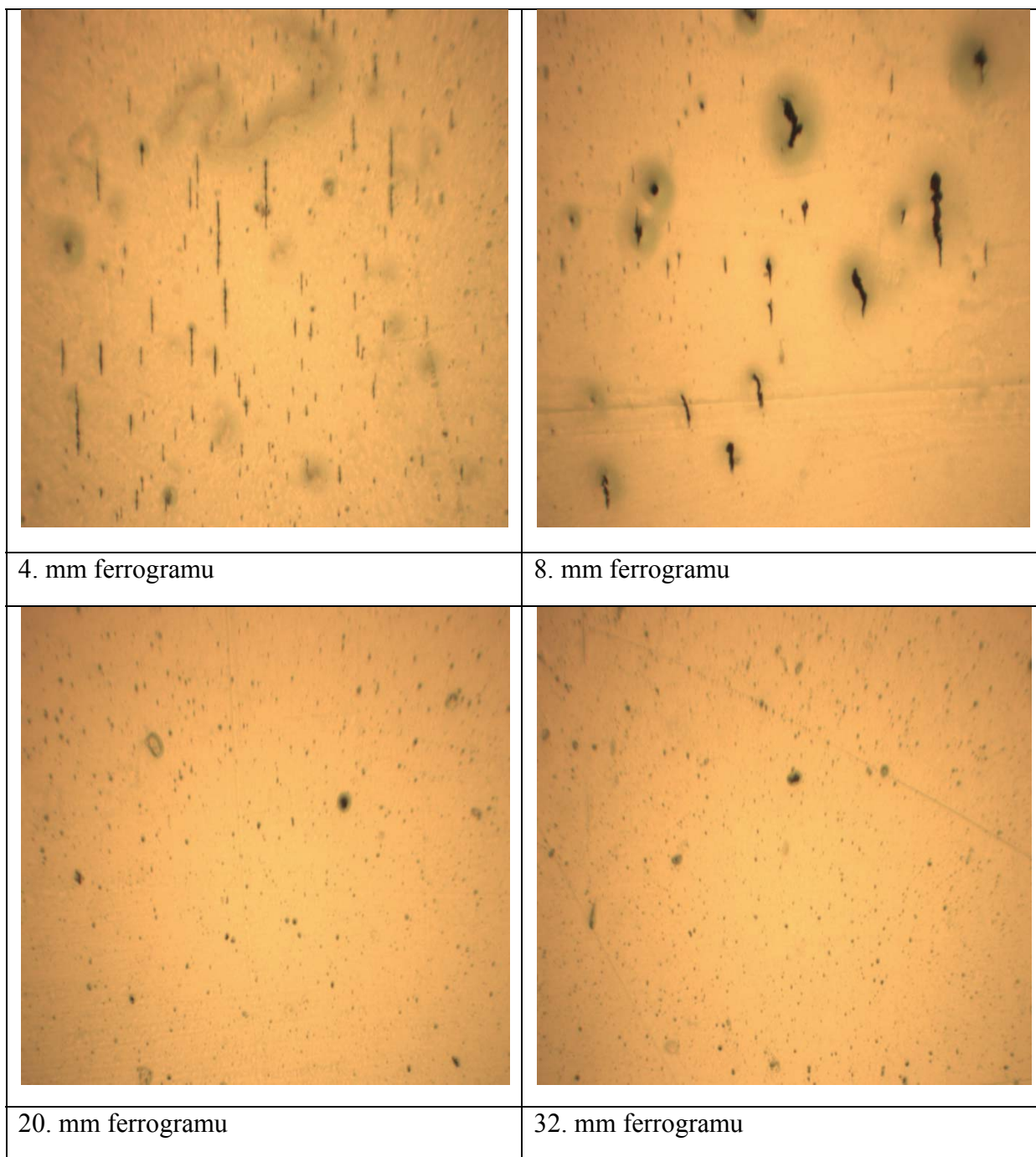


Obr. 22 Ferrogramy vzorku hydraulického oleje -750 Mth (objektiv SP 4, zv. 40x)

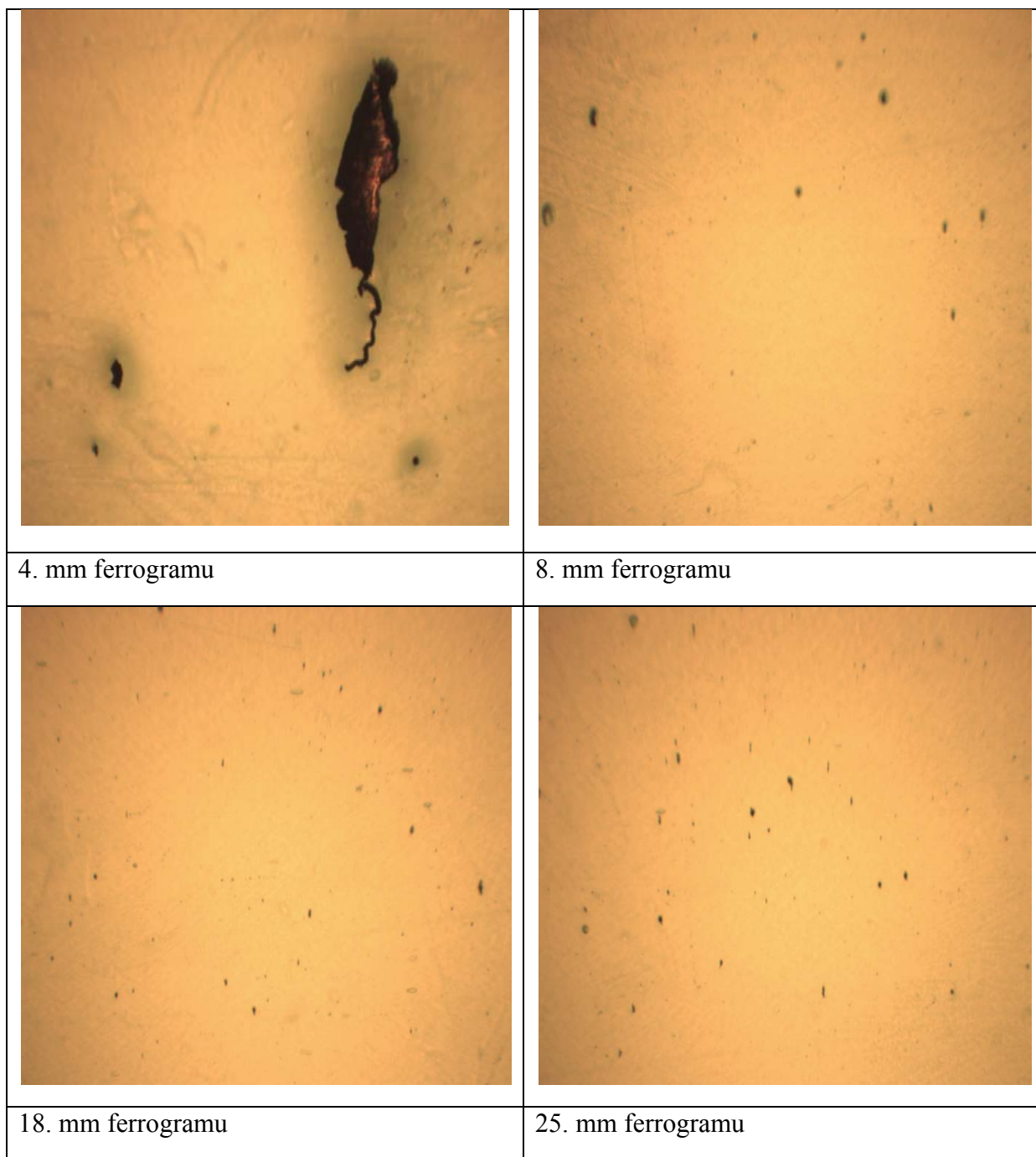




Obr. 23 Ferrogramy vzorku hydraulického oleje –1000 Mth (objektiv SP 4, zv. 40x)



Obr. 24 Ferrogramy vzorku hydraulického oleje –1500 Mth (objektiv SP 4, zv. 40x)



Obr. 25 Ferrogramy vzorku hydraulického oleje –2000 Mth (objektiv SP 4, zv. 40x)

### Dílčí závěr

V hodnocených vzorcích se vyskytují otěrové částice odpovídající běžnému adhezivnímu opotřebení (o velikosti cca do 10  $\mu\text{m}$ ), které se řadí do řetízkovitých útvarů uspořádaných podél magnetických siločar. Částice větších rozměrů se vyskytují jen zcela ojediněle, opotřebení nemá havarijní charakter.

Stav oleje svědčí o jeho správné volbě – je používán olej vyhovující běžnému provozu, který zabezpečuje dobré podmínky mazání a chrání mazané povrchy před intenzivním opotřebením. Nízké množství otěru odpovídá pravidelné údržbě, olej i mazaný mechanismus jsou v dobrém stavu.

## Závěr

Náplní této bakalářské práce je hodnocení stavu hydraulických olejů z vysokozdvížných vozíků SB 65Q s využitím dvou instrumentálních metod – infračervené spektrometrie a analytické ferrografie.

Teoretická část práce podává přehled o druzích opotřebení a částic při něm vzniklých, o funkci oleje v mazacím systému, o určování výměnných intervalů a druzích aditiv. Dále jsou charakterizovány principy experimentálních metod využitých v této práci.

V experimentální části jsou specifikovány technické parametry vysokozdvížných vozíků, ze kterých byly odebírány vzorky olejů pro měření. Jsou zde uvedeny informace o nejdůležitějších parametrech oleje HV 46, podmínky provedení laboratorních zkoušek a přehled jejich výsledků. Dílčí závěry jsou uvedeny v kapitole věnované experimentálním výsledkům, jejich sumarizaci i navazující interpretaci, která obsahuje i doporučení pro využití závěrů těchto zkoušek v praxi.

Je možno konstatovat, že je používán vhodný hydraulický olej vyhovující běžnému provozu, který zabezpečuje dobré podmínky mazání a chrání mazané povrchy před intenzivním opotřebením. Nízké množství otěru odpovídá pravidelné údržbě, olej i mazaný mechanismus jsou v dobrém stavu.

Optimalizace výměnných lhůt je úzce spjata s rychlostí znehodnocování olejové náplně, úrovní kvality mazání a s rychlostí opotřebení mazaných prvků. Výměnné lhůty jsou ve sledovaném případě optimální – oleje nevykazovaly nadměrné opotřebení, kratší výměnná lhůta by proto byla neefektivní a předčasná. Stanovení vhodného intervalu výměny je možné účelně řešit právě využitím tribotechnické diagnostiky, která vychází z individuálního posouzení stupně degradace oleje v každém mechanismu na základě analýzy použitého oleje.

Přínosem této práce je ověření možnosti použití vybraných instrumentálních metod pro hodnocení stupně opotřebení hydraulických olejů. Dosažené výsledky prokázaly, že obě použité metody, tj. FTIR spektrometrie a ferrografie, mohou přispět k rozšíření možností tribotechnické diagnostiky v oblasti hodnocení provozního opotřebení hydraulických olejů.

Výsledky provedených experimentálních prací umožnily formulovat praktická doporučení pro provozovatele vysokozdvížných vozíků. Lze jim doporučit pravidelné monitorování stavu olejové náplně s využitím metod aplikovaných v této práci, případně využití dalších metod zaměřených na komplexní analýzu částic (čítač částic LaserNet Fines

umožňující stanovení kódu čistoty apod.), na stanovení viskozity, čísla kyselosti, obsahu vody případně i na stanovení otěrových kovů (Cu, Al aj.) a dalších prvků (Si) metodou atomové spektrometrie s indukčně vázanou plazmou.

## Použitá literatura

- [1.] Komentáře odborníků [cit. 20. března 2007]. Dostupné na WWW:  
<[http://www.opotrebeni.cz./index.php?left=main&page=zajimavosti\\_komentare](http://www.opotrebeni.cz./index.php?left=main&page=zajimavosti_komentare)>.
- [2.] Hydraulické oleje [cit. 20. března 2007]. Dostupné na WWW:  
< <http://eshop.paramo.cz/produkty/KatalogovyList.aspx?kodproduktu=V53230>>.
- [3.] JANČÍK, L. a ZÝMA, J. *Části a mechanismy strojů*. Praha: ČVUT, 1999.
- [4.] ČERNÝ, J.; MAŠEK, P.; KUBÍNOVÁ, P.; ZELINKA, M.  
*Sborník konference Tribotechnika a spolehlivost provozu*. Lázně Bohdaneč 20. – 21. 4. 2004. Praha: Česká strojnická společnost, odborná sekce Tribotechnika, 2004. ISBN 80-02-01636-X.
- [5.] SOUKENKA M. Aplikace moderních instrumentálních metod v tribotechnické diagnostice silničních vozidel. Univerzita Pardubice: diplomová práce, 2005.
- [6.] ČECH, J. *Oleje* [online]. [cit. 20. března 2007]. Dostupné na WWW:  
<<http://www.mjauto.cz/newdocs/oleje.htm>>.
- [7.] Stodola J.: *DIAGNOSTIKA MOTOROVÝCH VOZIDEL*. Brno: FSI VUT Brno, 2003.
- [8.] MACHALÍKOVÁ, J., Infračervená spektrometrie s Fourierovou transformací [online]. [cit. 5. dubna 2007]. Dostupné na WWW:  
<[http://mail.upce.cz/~machjar/FTIR\\_pro\\_PH.doc](http://mail.upce.cz/~machjar/FTIR_pro_PH.doc)>.
- [9.] FTIR [cit. 5. dubna 2007]. Dostupné na WWW:  
<<http://www.kj.uib.no/ft-ir-norsk/FTIRerdette/FTIR-hvordanvirkerdet.htm>>.
- [10.] MACHALÍKOVÁ, J. *Ferrografie* [online]. [cit. 15. května 2005]. Dostupné na WWW:  
<[http://mail.upce.cz/~machjar/FG\\_pro\\_PH.doc](http://mail.upce.cz/~machjar/FG_pro_PH.doc)>.
- [11.] SOMMER, L. *Analytická spektrometrie I*. SPN, Praha 1996.
- [12.] Firemní materiály BRUKER G.m.b.H., návod k obsluze spektrometru Vector 22, uživatelská příručka Opus Optics User Software.
- [13.] VEIT, P. Olejové filtry [cit. 20. března 2007]. Dostupné na WWW:  
<[http://h-fans.cz/index.php?url=dokumenty.htt&params=art\\_ostatni/ostatni\\_05\\_12\\_2003\\_filtry](http://h-fans.cz/index.php?url=dokumenty.htt&params=art_ostatni/ostatni_05_12_2003_filtry)>.
- [14.] NOVÁČEK, V. Tribodiagnostika hydraulických soustav, jako součást proaktivní údržby

## Seznam obrázků

- Obr. 1 Abrazivní opotřebení [1] (F – přítláčná síla, v – rychlost posuvu)
- Obr. 2 Adhezivní opotřebení [1] (F – přítláčná síla, v – rychlost posuvu)
- Obr. 3 Vibrační opotřebení [1] (F – přítláčná síla, v – rychlost posuvu)
- Obr. 4 Únavové opotřebení [1] (F – přítláčná síla, v – rychlost posuvu)
- Obr. 5 Kavitační opotřebení [1]
- Obr. 6 Erozivní opotřebení [1] (v – rychlost dopadu nosného média)
- Obr. 7 Princip ferrografu [5]
- Obr. 8 Monitorovaný stroj a schema [vlastní foto]
- Obr. 9 Porovnání barvy oleje [vlastní foto]
- Obr. 10 Porovnání barvy oleje vzorku č. 2 – 5 [vlastní foto]
- Obr. 11 Porovnání barvy oleje vzorku č. 6 – 9 [vlastní foto]
- Obr. 12 Pracoviště FTIR spektrometrie (vlastní foto)
- Obr. 13 Nástavec ATR s krystalem ZnSe (vlastní foto)
- Obr. 14 Infračervené spektrum všech analyzovaných vzorků hydraulických olejů  
a – celý měřený rozsah, neupravený záznam
- Obr. 15 Infračervené spektrum všech analyzovaných vzorků hydraulických olejů  
b – detail spektra, neupravený záznam
- Obr. 16 Infračervené spektrum všech analyzovaných vzorků hydraulických olejů  
c – detail spektra,
- Obr. 17 Ferrogramy vzorku hydraulického oleje – 0 Mth (objektiv SP 4, zv. 40x)
- Obr. 18 Ferrogramy vzorku hydraulického oleje – 50 Mth (objektiv SP 4, zv. 40x)
- Obr. 19 Ferrogramy vzorku hydraulického oleje – 100 Mth (objektiv SP 4, zv. 40x)
- Obr. 20 Ferrogramy vzorku hydraulického oleje – 250 Mth (objektiv SP 4, zv. 40x)
- Obr. 21 Ferrogramy vzorku hydraulického oleje – 500 Mth (objektiv SP 4, zv. 40x)
- Obr. 22 Ferrogramy vzorku hydraulického oleje – 750 Mth (objektiv SP 4, zv. 40x)
- Obr. 23 Ferrogramy vzorku hydraulického oleje – 1000 Mth (objektiv SP 4, zv. 40x)
- Obr. 24 Ferrogramy vzorku hydraulického oleje – 1500 Mth (objektiv SP 4, zv. 40x)
- Obr. 25 Ferrogramy vzorku hydraulického oleje – 2000 Mth (objektiv SP 4, zv. 40x)



## **Seznam příloh**

Příloha A: CD obsahující záznamy spekter, fotodokumentaci z analytické ferrografie, rastrovacího elektronového mikroskopu.