

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Aplikace vybraných experimentálních metod v tribotechnické diagnostice

Bc. Ondřej Motl

Diplomová práce

2010

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Ondřej MOTL
Studijní program: N3708 Dopravní inženýrství a spoje
Studijní obor: Dopravní prostředky-Silniční vozidla
Název tématu: Aplikace vybraných experimentálních metod
v tribotechnické diagnostice
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 :

1. Na základě vypracovaného rešeršního přehledu analyzujte současný stav poznatků o možnostech sledování procesu opotřebení vybraných součástí vozidel a degradace maziv.
2. Zabezpečte odběr vzorků a připravte zkušební vzorky pro analýzy. Seznamte se s principy a metodikou použitých experimentálních metod se zaměřením na FTIR spektrometrii, analytickou ferrografii, rastrovací elektronovou mikroskopii a energiově disperzní analýzu. Proveďte příslušné laboratorní zkoušky.
3. Výsledky experimentálních prací vyhodnoťte a interpretujte, závěry zpracujte ve formě doporučení pro uživatele v praxi.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. BEČKA, J. Tribologie. Praha: ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01621-8.
2. Tribotechnika [online].[cit. 1. března 2007]. Dostupné na WWW:<<http://www.tribotechnika.cz>>.
3. WEAR-CHECK. Literature [online].[cit. 1. března 2007]. Dostupné na WWW:<<http://www.wearcheck.ca/literature/documents.asp?DocType=techdoc>>.
4. Practicing Oil Analysis. [online].[cit. 1. března 2007]. Dostupné na WWW: <<http://www.practicingoilanalysis.com/>>.


Vedoucí diplomové práce: **doc. RNDr. Jaroslava Machalíkové, CSc.**
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání diplomové práce: **26. února 2010**

Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2010**


prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.
děkan

L.S.


doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.
vedoucí katedry

dne

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.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 19.5.2010

Ondřej Motl

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat svým rodičům a blízkým za podporu po celou dobu studia na VŠ.

Poděkování patří rovněž paní doc. RNDr. Jaroslavě Machalíkové, CSc, za vedení této diplomové práce a odbornou pomoc při jejím zpracování; panu Davidu Novotnému za pravidelné odběry reprezentativních vzorků; kpt. Ing Josefu Glosovi (Univerzita obrany), Ing. Marii Sejkorové (Univerzita Pardubice) za odbornou pomoc a panu Vladimíru Dovrtělovi za užitečná osobní sdělení (Synthesia a.s.).

ABSTRAKT:

Diplomová práce je věnována využití experimentálních metod v tribotechnické diagnostice. Je zaměřena především na oblast opotřebení maziv používaných v dopravních prostředcích a jimi mazaných součástích. Hodnocení technického stavu sledovaných mechanických soustav je podloženo analýzami provedenými na vzorcích maziv z nich odebraných.

KLÍČOVÁ SLOVA:

opotřebení; oleje; plastická maziva; částice; analytické metody;

TITLE:

The selected experimental methods in tribotechnical diagnostics

ABSTRACT:

This thesis deals with employing the experimental methods in tribotechnical diagnostics. The thesis focuses both on the issue of greases wear used in means of transport and their components. The evaluation of the technical condition of the observed mechanical systems is based on making analysis of the taken sample of the used lubricants.

KEYWORDS:

wear; oils; greases; particle; analytical methods

OBSAH

1	ÚVOD	8
2	TEORETICKÁ ČÁST	9
2.1	TRIBOTECHNIKA A TRIBOTECHNICKÁ DIAGNOSTIKA.....	9
2.2	TŘENÍ.....	9
2.2.1	DRUHY TŘENÍ.....	9
2.3	OPOTŘEBENÍ.....	10
2.3.1	DRUHY OPOTŘEBENÍ.....	11
2.4	OLEJE.....	13
2.5	ZÁKLADNÍ PARAMETRY MOTOROVÝCH OLEJŮ	14
2.6	MAZÁNÍ MOTORŮ	15
2.7	PLASTICKÁ MAZIVA	16
2.8	ZÁKLADNÍ PARAMETRY PLASTICKÝCH MAZIV	16
2.9	MAZÁNÍ PLASTICKÝMI MAZIVY.....	17
2.10	ADITIVA	17
2.10.1	DRUHY ADITIV.....	18
2.11	FILTRACE OLEJE.....	19
2.12	INTERVALY PRO VÝMĚNU OLEJE.....	22
2.13	PRINCIPY POUŽITÝCH EXPERIMENTÁLNÍCH METOD	23
2.13.1	FERROGRAFIE	23
2.13.2	INFRAČERVENÁ SPEKTROMETRIE	25
2.13.3	RASTROVACÍ ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE A ENERGIOVĚ DISPERZNÍ ANALÝZA	28
2.13.4	OBRAZOVÁ ANALÝZA	32
2.13.5	AUTOMATICKÝ LASEROVÝ ČÍTAČ A KLASIFIKÁTOR ČÁSTIC LASER-NET FINES-C	32
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	34
3.1	TESTOVANÝ AUTOMOBIL PRO ODBĚR VZORKŮ	34
3.2	ODBĚR VZORKŮ OLEJE	35
3.3	ODBĚR VZORKŮ PLASTICKÉHO MAZIVA.....	37
3.4	ANALÝZA VZORKŮ METODOU ANALYTICKÉ FERROGRAFIE	38
3.4.1	PŘÍPRAVA FERROGRAMŮ PRO FERROGRAFICKOU ANALÝZU ..	39
3.4.2	VÝSLEDKY ANALYTICKÉ FERROGRAFIE.....	41
3.4.3	NÁVRH POSTUPU ANALYTICKÉ FERROGRAFIE BEZ POUŽITÍ SPECIÁLNÍCH PŘÍSTROJŮ	51
3.4.4	VÝSLEDKY RUČNÍ FERROGRAFIE	53
3.5	ANALÝZA VZORKŮ METODOU INFRAČERVENÉ SPEKTROMETRIE 55	
3.5.1	VÝSLEDKY INFRAČERVENÉ SPEKTROMETRIE.....	57
3.6	ANALÝZA OLEJOVÝCH FILTRŮ.....	65
3.6.1	VÝSLEDKY ANALÝZY OLEJOVÝCH FILTRŮ	66
3.7	OBRAZOVÁ ANALÝZA	85
3.7.1	VÝSLEDKY OBRAZOVÉ ANALÝZY	86
3.8	ANALÝZA VZORKU OLEJE LNF ANALYZÁTOREM.....	88
3.8.1	VÝSLEDKY ANALÝZY LASEROVÝM ANALYZÁTOREM ČÁSTIC LNF-C	89

4	ZÁVĚR	92
5	SEZNAM OBÁZKŮ	94
6	SEZNAM TABULEK	97
7	POUŽITÁ LITERATURA	98
8	SEZNAM PŘÍLOH	99

1 ÚVOD

V současné době je trendem ve vývoji motorových vozidel dosahování stále vyšších výkonů. Toho je dosahováno především snižováním rozměrů a hmotností jednotlivých mechanických systémů. Důsledkem toho je jejich vyšší mechanické a tepelné namáhání. Rovněž je požadována vyšší spolehlivost, hospodárnost a v neposlední řadě ekologičnost provozu motorových vozidel. Všechny tyto faktory ovlivňují požadavky jak na materiály používané pro jejich výrobu a požadavky na maziva, jimiž jsou mechanické systémy mazány, tak na sledování technického stavu jednotlivých mechanických součástí, jejich funkčnosti i aktuálního stavu použitých maziv.

Posuzováním technického stavu jednotlivých součástí na základě sledování aktuálního stavu použitých maziv se zabývá tribotechnická diagnostika. Pravidelné sledování technického stavu tribodiagnostickými metodami může přinést značné úspory, zejména podnikům s rozsáhlým vozovým parkem. Provedení jednotlivých analýz vyžaduje potřebné laboratorní vybavení a je tedy značně nákladnou záležitostí. Snahou firem je ušetřit co nejvíce. Proto jsou v praxi kromě klasických normovaných zkoušek požadovány i jednoduché a levné postupy, při nichž není potřeba drahých laboratorních přístrojů.

Tato práce je zaměřena na aplikaci vybraných experimentálních metod v tribotechnické diagnostice. V teoretické části jsou popsány jednotlivé formy tření, druhy opotřebení, problematika olejů a plastických maziv používaných v dopravních prostředcích, jejich základní parametry, používaná aditiva, procesy mazání motorovými oleji a plastickými mazivy, možné způsoby filtrace motorových olejů a principy jednotlivých použitých metod. Experimentální část se zabývá analýzou vzorků maziv odebraných v provozu z vozidel DAF LF a MAZDA E2200. Jedná se o analýzy metodou ferrografie, infračervené spektrometrie, rastrovací elektronové mikroskopie a energiově disperzní analýzy, analýza s využitím laserového čítače a klasifikátoru částic LNF. Dále byly v této práci navrženy zjednodušené postupy pro ferrografickou analýzu plastických maziv.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 TRIBOTECHNIKA A TRIBOTECHNICKÁ DIAGNOSTIKA

Tribologie je věda, zabývající se obecně vzájemným působením povrchů tuhých těles za jejich současného pohybu popřípadě pokusu se vůči sobě vzájemně pohybovat. Na základě vědeckého výzkumu, kterým se tribologie zabývá, jsou získávány důležité poznatky a zákonitosti, které se uplatňují v oblasti tření, opotřebení a mazání [1]

Tribotechnika je vědním oborem, který aplikuje výsledky tribologie do praxe. Zabývá se komplexně praktickým řešením otázek, týkajících se tření, opotřebení a mazání. Při vzájemném působení povrchů, pohybujících se vůči sobě navzájem, dochází ke tření, jehož důsledkem je opotřebení pohybujících se ploch. Tření a tedy i opotřebení se zmírňuje mazáním, přičemž jako maziva se používá látky jakéhokoliv skupenství [1].

Tribotechnická diagnostika je diagnostika opotřebení součástí pohybujících se mechanismů stroje. Metody tribotechnické diagnostiky využívají jako zdroj vícerozměrných, komplexních informací o dějích, změnách a režimu opotřebení mazacího média. Tribotechnická diagnostika se zabývá řešením dvou základních problémů:

- 1) zjišťování kvality maziv a prognóza degradace olejů,
- 2) zjišťování místa a trendu opotřebení mechanického systému na základě vyhodnocení výskytu cizích látek v mazivu [2].

2.2 TŘENÍ

Veškerý pohyb je spojen s třením, které nastává vždy v místě dotyku dvou elementů a projevuje se jako odpor povrchu styčných ploch proti pohybu. Na překonání tohoto odporu je nutno vynaložit určitou sílu. Tření vzniká i v případě, že se povrchy vzájemně nepohybují. Takové tření se nazývá statické. Pro technickou praxi má však význam především tření za pohybu, kdy se místa dotyku dvou elementů vůči sobě posouvají [4].

2.2.1 DRUHY TŘENÍ

Dle relativního pohybu těles, tvaru třecích ploch a formy jejich dotyku se rozdělují na několik druhů:

a) *Smykové tření* vzniká v případě, kdy se tělesa po sobě smýkají, přičemž vzájemný styk probíhá na velké ploše

b) *valivé tření* – dochází k němu při odvalování rotačního tělesa po rovinné nebo zakřivené ploše. Styk těles je bodový popřípadě přímkový a doba jeho trvání je velmi krátká.

Jak tření smykové, tak i valivé může probíhat za sucha nebo za mazání. Z tohoto hlediska se dělí na

a) *suché tření* – dotykové plochy po sobě se pohybujících těles jsou v bezprostředním kontaktu (Obr. 1)



Obr. 1: Schéma vzniku suchého tření [11]

b) *tření za mazání* – mezi dotykové plochy je přivedena látka, která zabraňuje bezprostřednímu kontaktu a značně snižuje velikost třecí síly.

Jedná-li se o tření za mazání, mohou nastat tři druhy tření:

a) *kapalinné tření* – povrchy po sobě se pohybujících těles jsou od sebe odděleny souvislou vrstvou maziva. Součinitel tření potom závisí pouze na reologických vlastnostech maziva, především jeho viskozitě (Obr. 2).



Obr. 2: Schéma vzniku kapalinného tření [11]

b) *Mezné tření* vzniká v případech, kdy je zabráněno vytvoření kapalinné vrstvy mezi povrchy, je-li přívod maziva nedostatečný nebo je-li nedostatečná únosnost kapalinové vrstvy. Třecí povrchy jsou od sebe odděleny pouze velmi tenkou vrstvou maziva, která není schopna oddělit veškeré nerovnosti povrchů, zamezí však tvorbě studených svarů.

c) *smíšené tření* – přechod mezi kapalinným a mezním třením. Zatížení je přenášeno jak kontaktem mezi povrchovými nerovnostmi, tak i hydrodynamickým působením mazacího filmu (Obr. 3) [4].



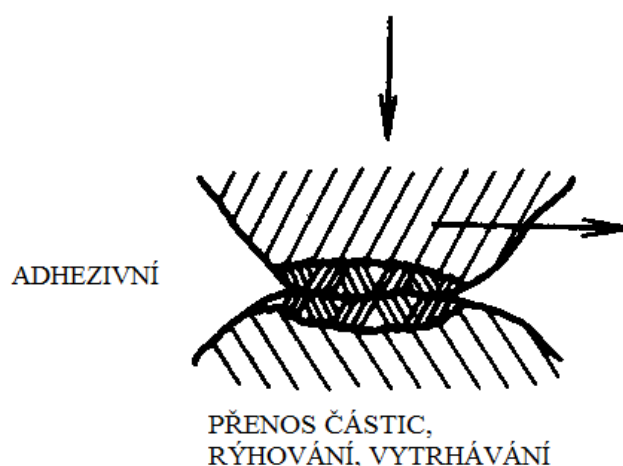
Obr. 3: Schéma vzniku smíšeného tření [11]

2.3 OPOTŘEBENÍ

Opotřebení je nežádoucí změna povrchu, která vzniká oddělováním částic materiálu mechanickým, chemickým, elektrochemickým nebo jiným působením. V případě pouze mechanického působení se užívá termínu otěr. V technické praxi však velmi často dochází ke kombinaci různých druhů opotřebení [3].

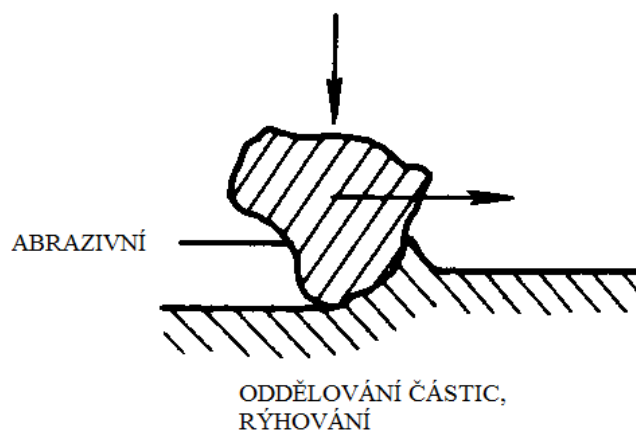
2.3.1 DRUHY OPOTŘEBENÍ

1) *adhezivní opotřebení* – jeho charakteristickými rysy jsou oddělování nebo přemísťování částic materiálu mezi dvěma stykovými plochami. V důsledku relativního pohybu funkčních povrchů dochází k narušování povrchových vrstev materiálů. Nerovnosti povrchu se k sobě přiblíží na takovou vzdálenost, že se začnou uplatňovat molekulární síly, jejichž účinkem se mohou vytvářet mezi povrchy mikrospoje. V místech mikrospojů dochází k lokálnímu ohřevu materiálu. Vytvářejí se tak ideální podmínky pro chemickou reakci materiálu s okolním prostředím, která může dále opotřebení urychlit. Je-li mezi styčnými plochami vrstva maziva, pak k adhezivnímu opotřebení dochází pouze při porušení této vrstvy (Obr. 4) [3].



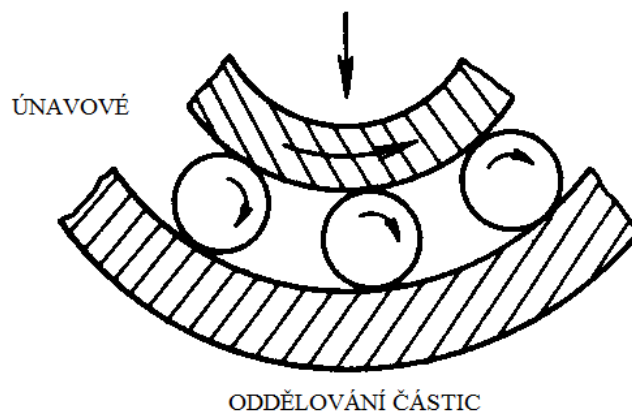
Obr. 4: Schéma adhezivního opotřebení [5]

2) *abrazivní opotřebení* – dochází při něm k oddělování částic z funkčního povrchu působením tvrdých a drsných částic povrchu druhého tělesa nebo částic, které se dostanou mezi funkční plochy (abrazivní částice). Typické pro abrazivní opotřebení jsou rýhy na povrchu funkční plochy případně na obou funkčních plochách (Obr. 6) [3].



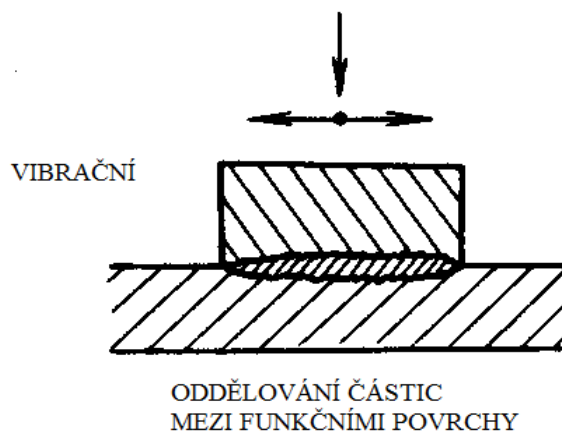
Obr. 5: Schéma abrazivního opotřebení [5]

3) *Únavové opotřebení* vzniká při cyklickém namáhání. Poruchy se začínají většinou v podpovrchové vrstvě tvorbou mikroskopických trhlinek, které se mohou postupně rozšířit i do povrchové vrstvy. Postupnou kumulací poruch dochází k jejich spojování a vznikají tak rozsáhlejší oblasti únavového poškození. K únavovému poškození dochází i při poškození povrchové vrstvy křehkým lomem (Obr. 6) [3].



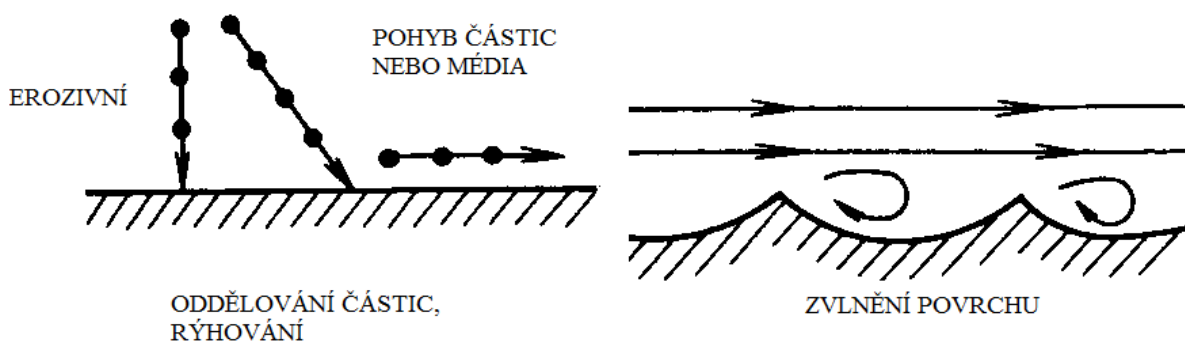
Obr. 6: Schéma únavového opotřebení [5]

4) *Vibrační opotřebení* vzniká v místech kmitajících tangenciálních posuvů funkčních ploch, o malé amplitudě a za působícího normálového zatížení (Obr. 7) [3].



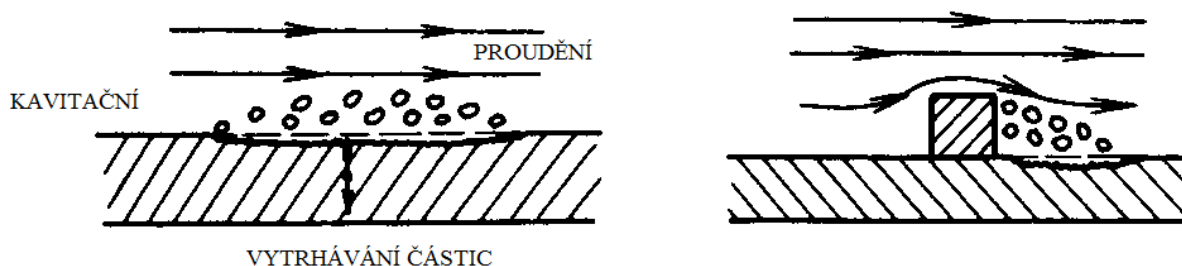
Obr. 7: Princip vibračního opotřebení [5]

5) *erozivní opotřebení* – dochází při něm k vymílání materiálu účinkem dopadajících částic obsažených v proudícím médiu na povrch funkční plochy, nebo částic samotné kapaliny. Částice mohou být unášeny proudem kapaliny nebo plynu. Typické pro tento druh opotřebení je nerovnoměrné porušení povrchu, přičemž povrch je poškozen i v prohlubeninách. Intenzita opotřebení je závislá na mnoha faktorech, např. na rychlosti a úhlu dopadu částice, na velikosti, tvaru a tvrdosti částice nebo na chemickém složení proudícího média (Obr. 8) [3].



Obr. 8: Schéma erozivního opotřebení [5]

6) *Kavitační opotřebení* je charakterizováno oddělováním částic kovu z povrchu funkčních ploch v místech zániku kavitačních dutin vznikajících v kapalině. Ke kavitaci dochází v proudící kapalině v místech, kde se zvyšuje rychlost proudění. Důsledkem toho je snížení tlaku kapaliny. Začnou se objevovat kavitační dutiny, které ulpívají na povrchu materiálu. Zánikem těchto dutin vznikají hydrodynamické rázy, které mají devastující účinek na povrch materiálu (Obr. 9) [3].



Obr. 9: Schéma kavitačního opotřebení [5]

7) *Korozní opotřebení* může být způsobeno korozním účinkem buď aktivních složek maziva, nebo vzdušného kyslíku a vlhkosti nebo kyselin a zásad na kovový povrch. Na něm mohou vznikat reakcí s aktivními složkami buď tvrdé oxidační zplodiny, nebo měkké soli. Ty sice vytváří mezný mazací film, ale v případě nedostatečné únosnosti a trvanlivosti se z povrchu rychle odstraní a povrch je tak vystaven dalším reakcím, což vede k jeho postupnému opotřebení. Na povrchu mohou vznikat i pevně lnoucí produkty, které mohou být samy zdrojem abrazivního opotřebení [3].

2.4 OLEJE

Oleje jsou maziva kapalného skupenství, používané za účelem snížení součinitele tření a zmenšení opotřebení. Jsou to frakce ropy, které mají hustotu v rozmezí $0,89-0,93 \text{ g/cm}^3$. Mazací oleje se používají především tam, kde je možno zaručit návrat oleje z míst působení zpět do oběhu tak, aby nevznikly velké ztráty a aby byla zajištěna ekonomika provozu. Oleje mohou být živočišného a rostlinného, minerálního a syntetického popřípadě polosyntetického původu [8].

Z hlediska použitelnosti se oleje používané v dopravě rozdělují na motorové, převodové, hydraulické a tlumičové.

Mezi hlavní funkce mazacího oleje patří mazání, chlazení, odplavování nečistot a ochrana před korozí.

2.5 ZÁKLADNÍ PARAMETRY MOTOROVÝCH OLEJŮ

Parametrů motorových olejů je nepřehledné množství. Mezi nejdůležitější patří tyto parametry:

VISKOZITA

Viskozita je veličina, která udává velikost vnitřního tření v kapalině. Je to odpor, jímž tekutina působí proti silám snažícím se posunout její nejmenší částice. Jedná se o jednu z nejdůležitějších vlastností kapalných maziv a je rozhodujícím faktorem pro únosnost mazacího filmu, těsnicí schopnost maziv, čerpatelnost a určuje velikost odporů při rozběhu pohyblivých částí strojů.

U motorových olejů vlivem stárnutí viskozita postupně vzrůstá. Podíl na vzrůstu viskozity nesou i různé nečistoty, které není schopen zachytit olejový filtr. U vznětových motorů to mohou být i pevné částice sazí, které se mohou dostat ze spalovacího prostoru do prostoru klikové skříně.

Naproti tomu je však možné, že viskozita může postupem času i klesat. To bývá zapříčiněno ve většině případů průnikem paliva do olejové náplně. Viskozita může poklesnout i v důsledku tepelného štěpení uhlovodíkových skupin [7].

BOD VZPLANUTÍ

Bod vzplanutí je teplota, při níž jsou páry nad zkoumaným vzorkem natolik koncentrované, že při iniciaci zkušebním plamínkem dočasně vzplanou. Stanovuje se podle normovaných postupů, které se liší provedením i použitým zařízením. Bod vzplanutí poskytuje informace o přítomnosti jiných látek. Je-li bod vzplanutí vzorku oleje odebraného v provozu nižší než u nového oleje, je to nejčastěji důsledek naředění oleje palivem, nebo degradace oleje.

Na charakter zkoušky má vliv i přítomnost vody v oleji. Je-li v oleji malé množství vody, projeví se občasným praskáním při zahřívání vzorku. Větší množství vody se projevuje pěněním oleje s odpovídajícími zvukovými projevy až do doby, než se voda z oleje odpaří. V případě projevu vzorku klasickým varem, je to známka nadměrného obsahu vody v oleji [7].

KARBONIZAČNÍ ZBYTEK

Zjišťuje se při zahřívání vzorku oleje za předepsaných podmínek. Sleduje se charakter a množství uhlíkatého zbytku. Zkouškou se charakterizuje olej z hlediska jeho sklonu k tvorbě karbonu při vysokých teplotách. Je to hmotnostní podíl zbytku, který vznikne termickým rozkladem produktu bez přístupu vzduchu za podmínek, které jsou předepsány v normě ČSN EN ISO 10370 a ČSN ISO 6615. Velikost zbytku závisí především na druhu použitého oleje,

jeho složení a stupni rafinace. Dále je možno z této zkoušky stanovit množství zbytku popela, který vzniká spalováním aditiv [7].

KYSELOST OLEJE

Během provozu motoru je možné sledovat i kyselost oleje, která zpravidla postupem času vzrůstá. Je to důsledek pronikání spalin do oleje a oxidací oleje. Kyselost oleje je snižována aditivy. To však jen po určitou dobu. Začne-li kyselost oleje stoupat, je to známka vyčerpání těchto aditiv. Nadměrná kyselost oleje může být příčinou větší koroze součástí motoru popřípadě tvorby povlaků a úsad [7].

MECHANICKÉ NEČISTOTY

Vždy po určité době provozu motoru se v oleji objeví určité množství mechanických nečistot. Tyto nečistoty se dají monitorovat jak z hlediska jejich počtu, tvaru a velikosti, tak i z hlediska jejich materiálového složení. Dlouhodobým sledováním motoru lze usuzovat, jak se vyvíjí opotřebením motoru.

Pokud však dojde při sledování k náhlé změně některého z parametrů, je možno odhalit i vznikající poruchu a předejít tak havárii motoru. Je-li známo materiálové složení jednotlivých součástí motoru, je možná lokalizace poruchy [7].

2.6 MAZÁNÍ MOTORŮ

Spalovací motor obsahuje velké množství pohyblivých dílů. Aby mezi jednotlivými díly nevznikalo suché tření, které způsobuje zadíráání pohyblivých součástí, je nutné na funkčních plochách součástí vytvořit olejový film, který výrazně sníží součinitel tření a zabrání tak adheznímu opotřebením funkčních ploch [10].

Dalšími důležitými funkcemi mazání jsou:

Protikorozi ochrana chrání součásti motoru před korozi.

odvod tepla z motoru – Olej se ochlazuje proudem vzduchu, který proudí kolem spodního víka motoru, v němž se olej shromažďuje. K lepšímu odvodu tepla se někdy spodní víko opatřuje žebrováním, čímž se zvětší vzduchem obtékaná plocha. U motorů pracujících v nepříznivých podmínkách nebo pod velkou zátěží se používá zvláštní chladič oleje.

Utěsnění spalovacího prostoru – Olejový film zapříčiňuje lepší utěsnění pístních kroužků a tím zabraňuje pronikání zplodin ze spalovacího prostoru.

odplavování nečistot – Těto funkce mazání se využívá v tribodiagnostice. Dlouhodobým sledováním a analýzou těchto nečistot je možné zjistit průběh opotřebením motoru popřípadě odhalit vznik poruchy.

Ochrana součástí motoru před korozi.

U pístových spalovacích motorů se používá několik způsobů mazání:

a) *masnou směsí* – tento způsob se používá u dvoutaktních motorů. Olej se přimíchává do paliva a s ním se přivádí do motoru.

b) *tlakové mazání* – v tomto případě je motor mazán pomocí oleje, který je nasáván olejovým čerpadlem ze zásobníku a následně přiváděn na důležitá místa. Ostatní, méně namáhaná místa jsou mazána olejem, který odstříkuje nebo stéká z míst, na něž je olej přiváděn čerpadlem. Poté olej stéká zpět do zásobníku. Podle umístění zásoby oleje se rozděluje tlakové mazání na tlakové mazání ze skříně, kdy zásoba oleje je ve spodním víku motoru, odkud je nasáván čerpadlem a mazacími kanály vytlačován k mazaným místům. Druhým způsobem je tlakové mazání z nádrže. Tohoto způsobu se používá u speciálních terénních vozidel a traktorů. Při velkých sklonech terénu, na němž tato vozidla pracují, by docházelo k přelévání oleje v poměrně velkém spodním víku a mohlo by dojít k nasátí vzduchu. To by mohlo být nebezpečné pro chod motoru. Výhodnější proto je shromažďovat olej v zásobníku odděleném od motoru a odtud jej nasávat olejovým čerpadlem a dopravovat k mazaným místům. Stékající olej je odsávacím čerpadlem nasáván z klikové skříně a dopravován zpět do zásobníku.

2.7 PLASTICKÁ MAZIVA

Plastická maziva jsou koloidní soustavy, v nichž je spojitá (dispergující) fáze tvořena mazacím olejem a dispergovaná fáze (zpevňovadlo) je tuhá látka, která ve formě souvislé kostry spojitě prostupuje kapalnou fází soustavy [4].

Výroba plastických maziv spočívá v převodu minerálních, syntetických nebo rostlinných olejů, s přísadami vhodných zpevňovadel, na máslovitou konzistenci. Obsah oleje bývá nejčastěji mezi 80–90 %. Jako zpevňovadel se používá tzv. mýdel, což jsou soli mastných kyselin s kationty Li, Na, K, Ca, Pb, Al atd. Podle nich se plastická maziva označují jako litná, sodná, vápenatá apod. Může být použito i směsi kyselin nebo směsi kationtů.

Vlastnosti plastických maziv se dále upravují přísadami některých aditiv [8].

2.8 ZÁKLADNÍ PARAMETRY PLASTICKÝCH MAZIV

Mezi nejdůležitější parametry plastických maziv patří:

KONZISTENCE

Konzistence plastických maziv je obdoba viskozity u olejů. Udává měkkost popřípadě tuhost maziva. Je normována prostřednictvím NLGI tříd 000, 00, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6. Čím je vyšší číslo třídy, tím je mazivo tužší [6].

BOD SKÁPNUTÍ

Bod skápnutí je teplota, za níž dojde k samovolnému oddělení první kapky zahřívajícího plastického maziva z otvoru normované nádoby. Možnost využití maziva zpravidla končí před dosažením teploty skápnutí [9].

CHEMICKÁ STÁLOST

Charakterizuje odolnost maziva vůči stárnutí. Při zkoušce je mazivo v tenké vrstvě natřeno na nosných pleších, které jsou umístěny v tlakové nádobě naplněné kyslíkem. V tlakové nádobě je však mazivo v klidu na rozdíl od maziva pohybujícího se v ložisku – výsledky zkoušky mohou být nepatrně odlišné od stálosti maziva v reálných podmínkách [4].

MECHANICKÁ STÁLOST

Charakterizuje odolnost maziva proti hnětení, jemuž je vystaveno např. ve valivém ložisku. Zkouší se v laboratorních přístrojích, které se snaží napodobit reálné podmínky provozu. Přílišným hnětením dochází k mechanickému oddělování oleje od mýdel. Olej z ložiska vyteče a mýdla samotná nemají schopnost mazat a mohou ložisko poškodit [4].

ODOLNOST VŮČI VODĚ

Nedílnou součástí vápenatých maziv je voda, která se podílí na jejich struktuře. Ztrátou vody se plastické mazivo rozloží a nemůže tak plnit svou funkci. Z tohoto důvodu je nutné ložiska více mazat v závislosti na provozní teplotě (čím vyšší je teplota, tím rychleji se z maziva voda odpařuje a tím rychleji se mazivo rozkládá). Ostatní druhy plastických maziv vodu prakticky neobsahují [4].

OBSAH POPELA

Je dán obsahem mýdla a plnidel v mazivu, jejich druhem a rovněž stupněm znečištění maziva nečistotami, ze kterých spálením vzniká popel [4].

KOROZIVZDORNOST

Zkoušky korozivzdornosti plastických maziv se provádějí na oceli a na mědi. Teplota zkoušení bývá zpravidla 50 °C. Pro plastická maziva určená pro vysoké teploty to bývá 100 °C. doba zkoušky je závislá na náročnosti aplikace pro níž je plastické mazivo určeno [4].

2.9 MAZÁNÍ PLASTICKÝMI MAZIVY

Plastická maziva se používají k mazání nejrůznějších kluzných a valivých uložení, všude tam, kde není možné nebo technicky vhodné použití oleje. Obvykle se skládají ze základového oleje, aditiv a zpevňovadla. Plastická maziva se prodávají pod obchodními názvy, které přibližně popisují možnosti jejich použití: víceúčelové mazivo, mazivo pro vysoké teploty, polotekuté mazivo pro převody, gelové mazivo, polyuretanové mazivo, bentonitové mazivo aj. [6].

2.10 ADITIVA

Základové oleje nejsou schopny plnit rozmanité požadavky, které jsou na ně kladeny. Z toho důvodu je nutné vlastnosti maziv upravovat, čehož se dosahuje přidávkem chemických

přísad (aditiv). Aditiva jsou látky, jimiž se mazivům dodávají vlastnosti nové, nebo se zesilují jejich vlastnosti přirozené, popřípadě se potlačují jejich nežádoucí vlastnosti.

Pro výrobu plastických maziv jsou aditiva shodná jako pro motorové a převodové oleje. Je však kladen větší důraz na aditiva pro ochranu proti vysokému tlaku a opotřebení, aditiva pro ochranu proti korozi, aditiva proti stárnutí. Navíc se do plastických maziv mohou přidávat i pevné látky – tzv. plnidla [6].

Druhy aditiv a jejich množství se liší v závislosti na způsobu užití maziva a výrobcí je stanovují na základě norem a praktických zkoušek. Obsah aditiv v mazivech se běžně pohybuje v rozmezí od 1 do 25 %.

Přísady se dají rozdělit do dvou skupin:

- přísady ovlivňující fyzikální vlastnosti,
- přísady působící chemicky.

Řada aditiv má vícefunkční účinek, tzn., že ovlivňuje více vlastností najednou. Např. aditiva působící proti stárnutí současně zabraňují korozi. Přísady upravující viskozitu zvyšují viskozitní index a snižují bod tuhnutí olejů.

Přísady by měly být v oleji dokonale rozpustné a neměly by vytvářet zákal ani usazeniny [4].

2.10.1 DRUHY ADITIV

Antioxidanty chrání olej před reakcí s kyslíkem (oxidací) a tím zajišťují jeho oxidační stálost. Nepřítomnost antioxidantů v oleji může být velmi často příčinou houstnutí oleje za vyšších teplot, tvorby karbonových usazenin a vzniku koroze [12].

antikorodanty – základový olej není schopen dostatečně chránit mazané součásti před korozi při styku s vodou, atmosférickým kyslíkem popřípadě kyselými sloučeninami. Tento nedostatek je napraven přidávkou vhodných antikorodantů do základového oleje. Antikorodanty výrazně zlepšují ochranné schopnosti oleje. Jako vhodné antikorodanty jsou považovány organické sloučeniny v oleji dokonale rozpustné a s dobrou přilnavostí ke kovovým povrchům [8].

Detergenty odstraňují z oleje produkty stárnutí, které se vylučují na stěnách pístu a válce. Po spálení by z nich vznikly uhlíkaté usazeniny a zhoršovaly by přestup tepla. Dále zabraňují usazování nečistot na povrchích součástí, popřípadě již usazené nečistoty rozpouštějí. Vlivem detergentů dochází ke zlepšení přilnavosti maziva k mazaným plochám [8].

disperzanty – jejich úkolem je obalit mikroskopické mechanické nebo kapalné částice a udělit jim stejný elektrický náboj. Tím je zabráněno jejich shlukování a usazování. Účinkem disperzantů jsou nečistoty rozptýleny rovnoměrně v celém objemu maziva a je tak zabráněno omezení průchodnosti mazacích kanálů a olejových filtrů. Podobně jako detergenty mohou také neutralizovat kyselé produkty spalování a zabraňovat tvorbě usazenin [8].

Depresanty – při nízkých teplotách dochází u minerálních olejů ke spojování krystalů parafínu, čímž dochází k růstu hustoty maziva. Vysoká hustota a nekonzistentnost maziva má za důsledek snížení kvality mazání. Zvýšení energetických ztrát je zapříčiněno překonáváním většího odporu maziva. Z tohoto důvodu se používají depresanty, které snižují bod tuhnutí

oleje. Zamezují za velmi nízkých teplot spojování krystalů parafínu a olej zůstává tekutý i při velmi nízkých teplotách [8].

Modifikátory viskozity ovlivňují reologické vlastnosti oleje. Zlepšují viskozitně teplotní charakteristiku oleje, tzn., omezuje změnu viskozity oleje se změnou teploty, aniž by se měnily jeho ostatní vlastnosti [12].

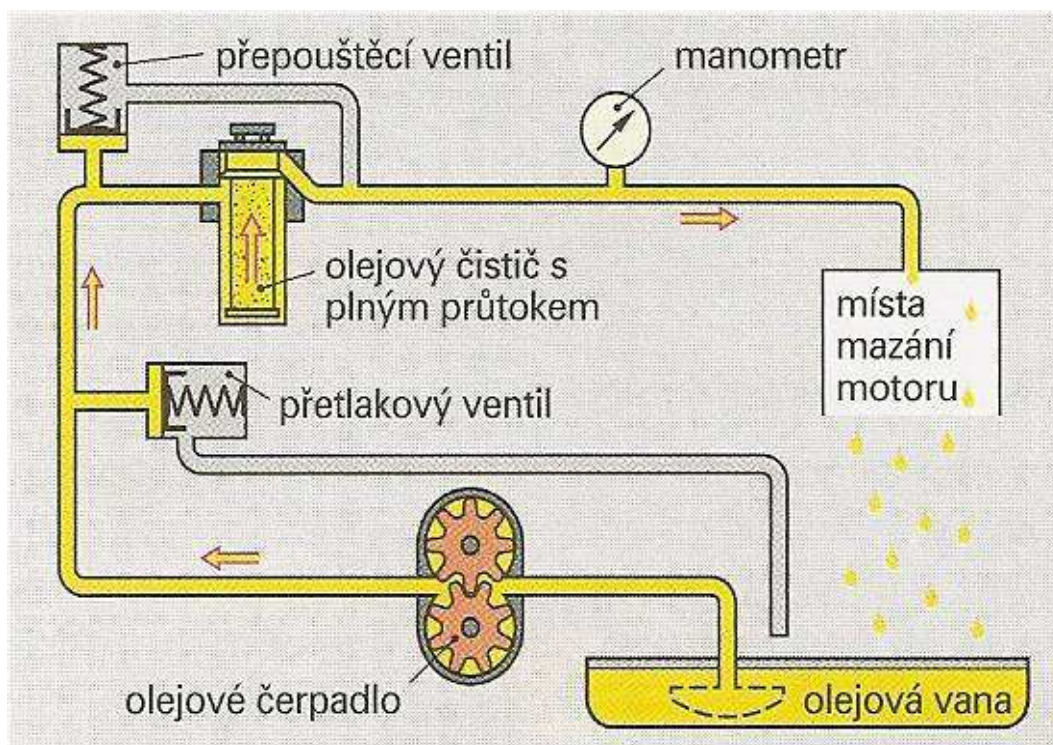
Protipěnovostní přísady zabraňují pění oleje a rozpouštějí již vzniklou pěnu. Pěna obsahuje velké množství vzduchu, čímž jsou omezeny mazací a chladicí schopnosti oleje. Výrazně se zvyšuje hlučnost, opotřebení a spotřeba oleje [12].

Protiošetrové přísady vytváří s povrchy kovů chemickou reakci. V oblastech největšího opotřebení mohou prodloužit životnost mazané součásti [12].

2.11 FILTRACE OLEJE

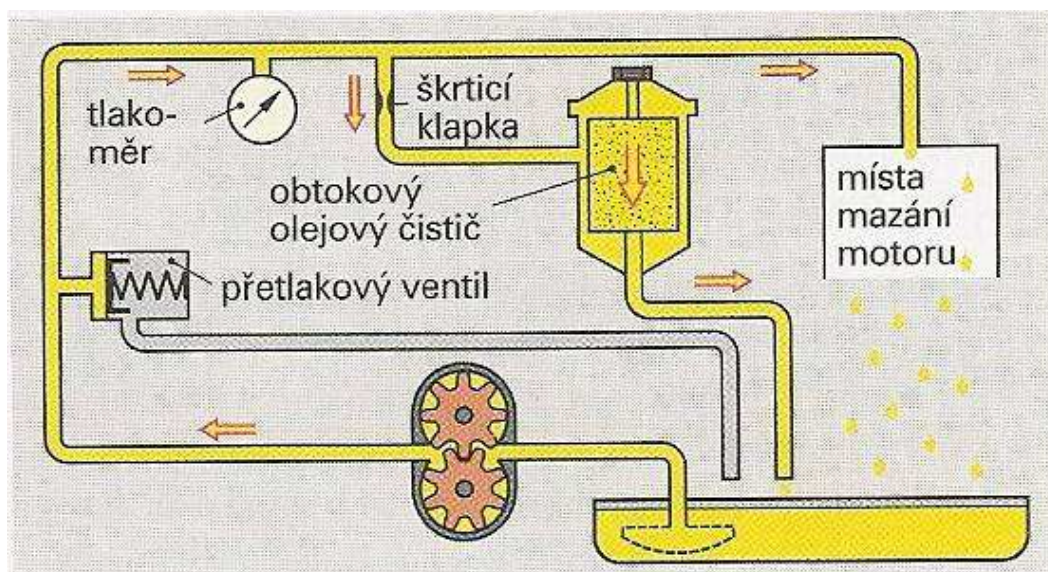
Účelem filtrace oleje je odstranit z oleje nečistoty, které se vlivem provozu motoru do oleje dostanou. Zpravidla jsou to mechanické nečistoty (prach, karbon, kovový otěr). K filtraci oleje se používají olejové filtry, které tyto nečistoty zachycují a prodlužují se tak intervaly pro výměnu oleje. Olejové filtry však nejsou schopny zachytit nečistoty kapalné nebo nečistoty rozpuštěné v oleji. Nemají také žádný vliv na chemické nebo fyzikální vlastnosti oleje a na změny vzniklé provozem motoru např. stárnutí. Podle umístění a průtoku oleje se filtry dělí na několik typů.

plnopřítokové – dříve než je olej přiveden k mazaným místům, prochází a je čištěn olejovým filtrem celý objem olejové náplně. Je tak zajištěno, že každá nebezpečná částice je zachycena již při prvním průtoku filtrem. V případě neprůchodnosti filtru je průtok oleje zajištěn obtokovým pojistným ventilem (Obr. 10).



Obr. 10: Schéma mazacího okruhu s plnopřítokovým filtrem [11]

obtokové – prochází jím pouze část objemu olejové náplně (10% až 20%). Filtr je umístěn paralelně k hlavnímu olejovému kanálu. K mazaným místům se tak může dostávat čištěný i nečištěný olej. Výhodou obtokových filtrů je vyšší účinnost, protože olej je čištěn pomaleji a intenzivněji (Obr. 11).



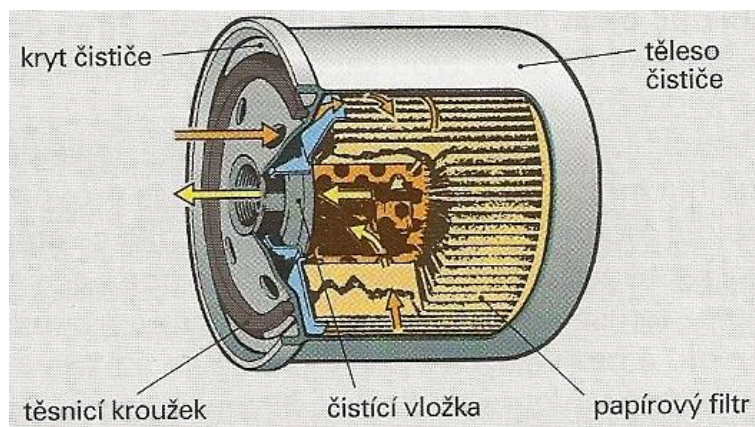
Obr. 11: Schéma mazacího okruhu s obtokovým filtrem [11]

Podle konstrukce a způsobu odstraňování nečistot se čističe dělí na:

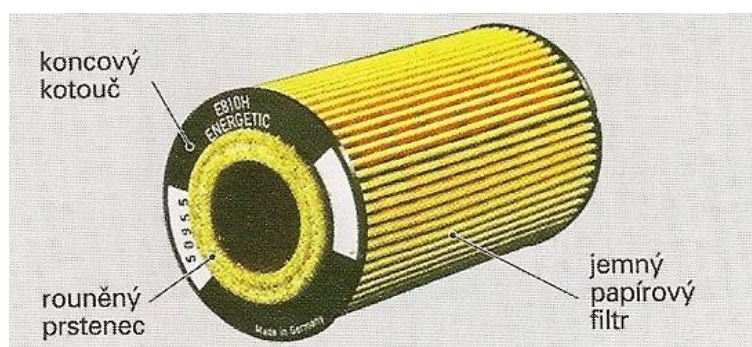
štěrbinové – jsou to plnoprůtokové filtry. Jsou složeny z prstencových ocelových lamel, mezi kterými protéká čištěný olej. Nečistoty se usazují na povrchu lamel. Mezi těmito lamelami jsou umístěna stírátká, která se pomocí rohatkového mechanismu pootáčejí a nečistoty tak stírají. Pohyb mechanismu bývá odvozen většinou od pedálu spojky. Setřené nečistoty propadávají do kalového prostoru na dně čističe. Štěrbinové čističe jsou schopné odstranit částice nečistot od velikosti cca 100 μm [11].

sítové – jsou složeny z tělesa čističe a síta, případně sítové vložky. Čistící schopnost sítových čističů je dána velikostí ok, která je závislá na materiálu síta. Sítová vložka může být z tělesa čističe demontována a opakovaně čištěna. Velikost odlučovaných částic je od 30 μm [11].

s papírovou vložkou – používají se především o plnoprůtokových filtrech. U obtokových filtrů se používají filtrační vložky z vláken např. plstěné. Mají schopnost vzhledem k pomalejšímu průtoku oleje ukládat na povrchu vláken i velmi malé částice. Vložky jsou konstruovány tak aby při co nejvyšším stupni čištění byl průtočný odpor co nejmenší. Používají se pro velmi jemné čištění. Odstraňují nečistoty už od velikosti 10 μm (Obr. 12, Obr. 13) [11].

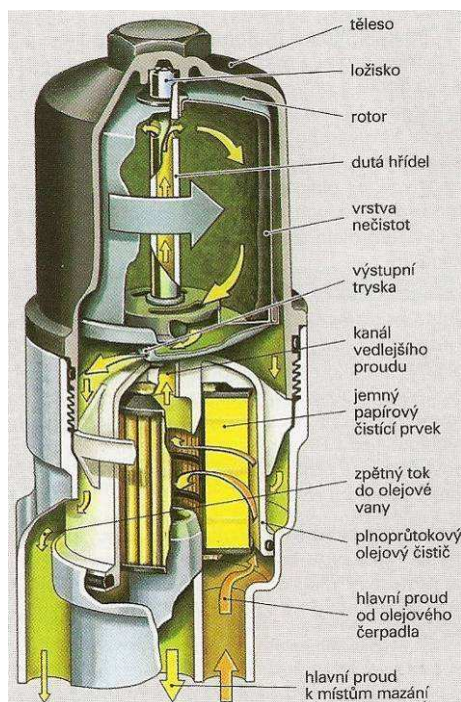


Obr. 12: Plnopřítokový čistič s papírovou čistící vložkou [11]



Obr. 13: Papírová čistící vložka [11]

odstředivé – používají se jako obtokové a téměř vždy doplňuje plnopřítokový filtr. Využívá k oddělení nečistot odstředivé síly. Skládá se z tělesa filtru a uvnitř uloženého rotoru. Olej oddělený z hlavního kanálu je přiváděn dutým hřídelem do rotoru, z něž vytéká tryskami umístěnými v jeho plášti. Olej proudící z trysek vysokou rychlostí vytváří reakční sílu, která roztáčí rotor. Působením odstředivé síly se nečistoty usazují na vnitřní stěně rotoru a zůstávají tam jako zahuštěná vrstva nečistot. Ta se po předem stanovených intervalech údržby odstraňuje. Vyčištěný olej je zachycován na vnitřní straně tělesa filtru, odkud stéká zpět do klikové skříně (Obr. 14).



Obr. 14: Plnoprůtokový čistič s odstředivým čističem s volným odtokem ve vedlejším proudu [11]

Velikosti zachytávaných nečistot jsou u jednotlivých druhů filtrů rozdílné (Tab. 1).

Tab. 1: Druhy čističů oleje a jejich čistící schopnost [11]

druh čističe	nejmenší zachycená částice
sítový	100 μm
štěrbinový	30 μm
papírový	10 μm
odstředivý	10 μm

2.12 INTERVALY PRO VÝMĚNU OLEJE

Na životnost oleje v benzinovém či dieselovém motoru a tedy na výměnný interval má vliv velké množství faktorů a není jednoduché stanovit optimální kilometrový proběh pro určitý automobil. Výrobci motorů předpisují pouze výkonnostní klasifikaci oleje a výměnný interval. Vyšší výkonnostní klasifikace neznamená prodloužení výměnného intervalu. U spalovacích motorů je výměnný interval dán konstrukcí motoru např. kvalitou spalování. Každý spalovací motor pracuje v jiných provozních podmínkách. Výrobce určený limit je vždy maximální a všem provozním podmínkám nemusí vyhovovat. Obecně platí, že při častějších jízdách v městském provozu nebo jízdách se studeným motorem by se měl výměnný interval zkracovat cca o 20 až 30%. Výrazně se tak prodlouží životnost motoru.

Pro optimalizaci výměnného intervalu je možné provést analýzu opotřebovaného oleje ve zkušební laboratoři. Na základě experimentálně stanovených výsledků může zkušený pracovník laboratoře doporučit, zda by měl být příští výměnný interval zkrácen popřípadě

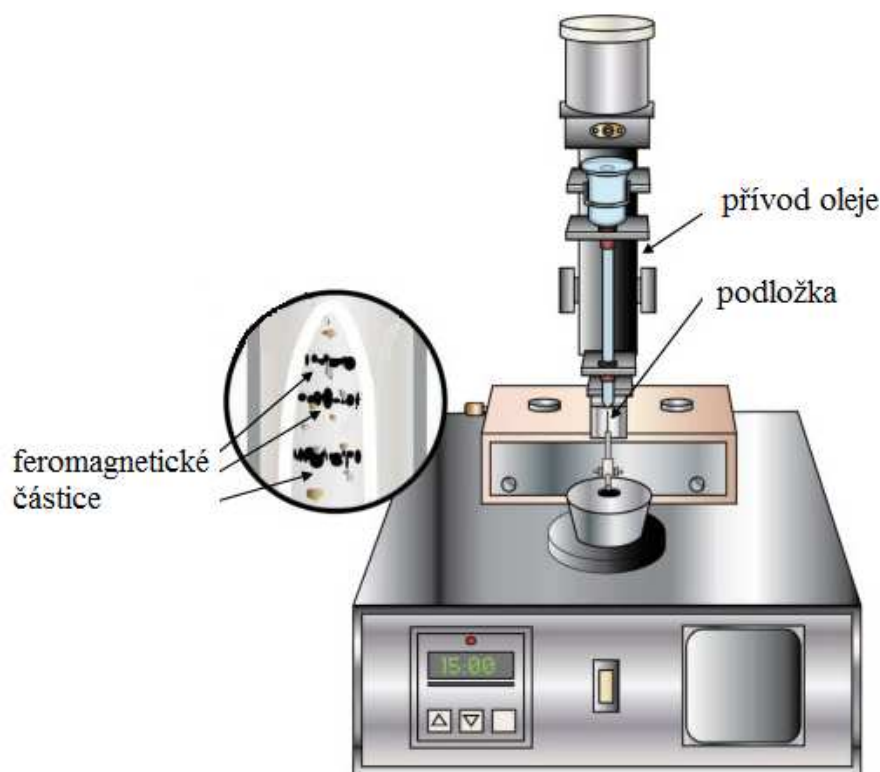
má-li olej rezervu. Neměl by však v žádném případě být překročen maximální stanovený interval od výrobce [13].

2.13 PRINCIPY POUŽITÝCH EXPERIMENTÁLNÍCH METOD

2.13.1 FERROGRAFIE

Ferrografie je tribodiagnostická metoda sloužící ke sledování cizorodých částic, obsažených v olejové náplni mazacích soustav, oddělených od vlastního oleje. Základním principem je sedimentace částic na skleněné nebo plastové podložce při průtoku vzorku oleje v silném nehomogenním magnetickém poli. Podložka je nad magnetem šikmo skloněná. Sklon podložky způsobí vlivem proměnné síly magnetického pole distribuci částic podle velikosti podél podložky. Na začátku stopy, kterou zanechává olej na podložce, se usazují větší částice ($\geq 15 \mu\text{m}$), postupně pak částice menší a menší. V místě, kde přestává působit magnetické pole, sedimentují částice o velikosti 1-2 μm (Obr. 15).

Tato metoda popisuje částice, které společně s olejem obíhají mazacím okruhem daného stroje a přiřazuje je jednotlivým mechanismům opotřebení. Při sledování stavu stroje, kdy se využívají znalosti materiálů, ze kterých jsou vyrobeny jednotlivé součásti stroje, lze určit místo vzniku otěrových částic. Na základě částicové analýzy je možné objektivně určit režim opotřebení stroje. Analýza morfologie a počtu otěrových částic umožňuje odhalit blížící se poruchu stroje [2, 14, 15]



Obr. 15: Schéma ferrografu [16]

Vyhodnocení ferrogramu je prováděno dvěma způsoby:

ferrodenzimetricky – opírá se o analýzu optické průchodnosti ferrogramu. Provádí se pomocí fotodenzimetru. Ferrogram je prosvěcován stabilizovaným zdrojem. Světlo procházející ferrogramem je přiváděno na čidlo, umístěné v mikroskopu, které je spojeno s měřicím přístrojem pro vyhodnocování optické hustoty ferrogramu po celé jeho délce. Výsledek se vyjadřuje indexem intenzity opotřebení [2].

ferroskopicky – umožňuje detailnější analýzu morfologie částic, jejich druhu, povrchu atd. pomocí speciálních mikroskopů (ferroskopů). Na základě ferroskopie lze určit režim opotřebení mechanické soustavy [2].

Vzhledem k vysokým nákladům na vybavení klasického ferrografického pracoviště (ferrograf 80–200 tis. Kč, světelný mikroskop 150–500 tis. Kč) jsou v současné době v provozu často používány i zjednodušené postupy. Stávají se ekonomicky zajímavými pro průběžné sledování stavu maziv i mazaných mechanismů – teprve po zjištění velkých odchylek od běžného stavu těmito jednoduchými metodami se provozovatelé (zejména velkých flotil) uchylují ke klasickým analýzám, jež jsou na zakázku prováděny specializovanými laboratořemi.

Takovýto postup sledování technického stavu zařízení různého typu (hydraulické lisy, kompresory, atd.) je používán např. ve společnosti SYNTHESIA a.s., Pardubice.

S využitím informací a zkušeností z tribotechnické laboratoře v SYNTHESII byl v experimentální části této práce navržen a ověřen vlastní postup, umožňující separovat otěrové částice na ferrotografickém principu, který však nevyžaduje použití náročného přístrojového vybavení.

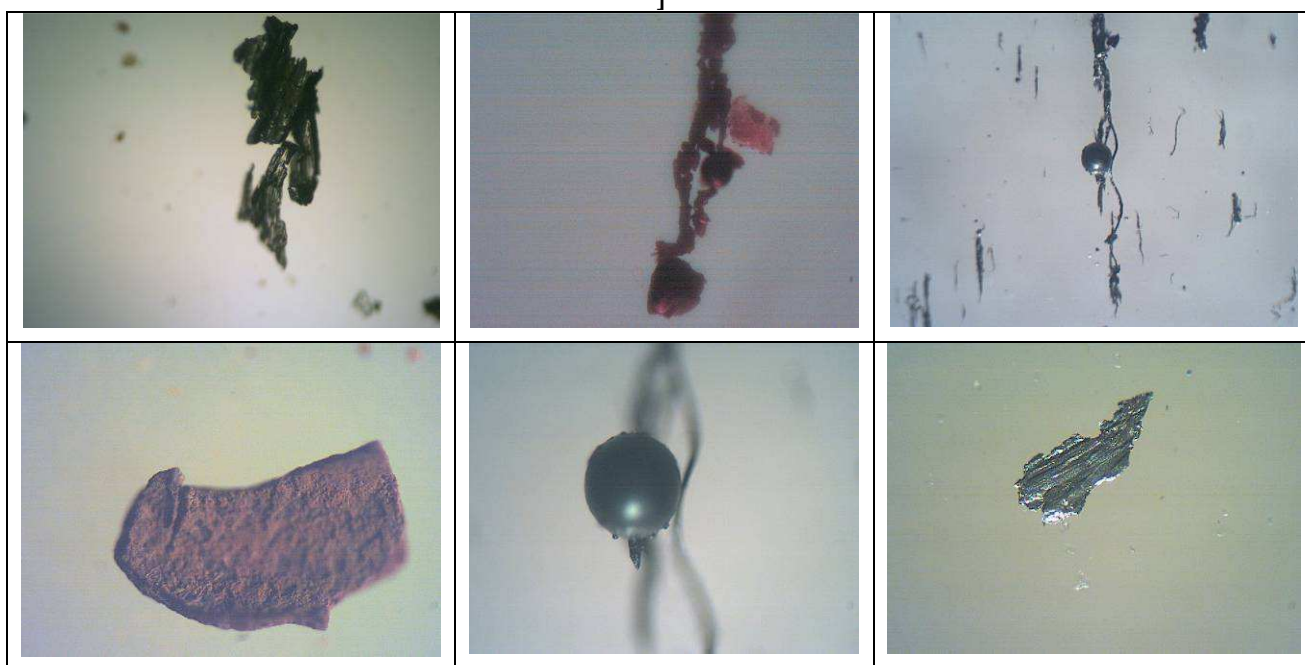
ZJEDNODUŠENÝ POSTUP FERROGRAFICKÉ ANALÝZY (metoda používaná v a. s. Synthesia Pardubice)

Reprezentativní vzorek oleje je naředěn technickým benzínem v poměru 1:1.

Naředěný olej se nechá stékat po nakloněném podložním skle umístěném v magnetickém poli silného magnetu. Po vytvoření ferrogramu a jeho propláchnutí technickým benzínem následuje jeho mikroskopická analýza, k níž slouží běžný školní biologický mikroskop opatřený webkamerou pro zachycení obrazu. Zařízení pro přípravu ferrogramu je na **Obr. 16**. Ukázky snímků pořízené tímto zjednodušeným postupem jsou na **Obr. 17** [29].



Obr. 16: Zařízení pro přípravu ferrogramů (Synthesia, a. s.) [vlastní foto]



Obr. 17: Ukázka snímků pořízených mikroskopem opatřeným webkamerou [foto z archivu Synthesia, a. s., Pardubice] –částice separované z hydraulického oleje (zvětšení nebylo udáno)

2.13.2 INFRAČERVENÁ SPEKTROMETRIE

Infračervená spektrometrie je metoda určená především pro identifikaci a strukturní charakterizaci organických sloučenin a pro stanovení anorganických látek.

Metoda infračervené spektrometrie může nahradit několik konvenčních metod sledování stavu motorových olejů v provozu. Výhodou je rychlost nesrovnatelná s jinými metodami a velmi malé potřebné množství vzorku (1 ml a méně).

Metoda je založena na měření absorpce infračerveného záření o různé vlnové délce analyzovaným materiálem. Infračerveným zářením je elektromagnetické záření s vlnovými

délkami λ v rozsahu od 0,78–1000 mm, což odpovídá rozsahu vlnočtů $1/\lambda$ 12800–10 cm^{-1} . Celá oblast bývá rozdělena na blízkou (13000–4000 cm^{-1}), střední (4000–200 cm^{-1}) a vzdálenou infračervenou oblast (200–10 cm^{-1}), přičemž nejpoužívanější je střední oblast.

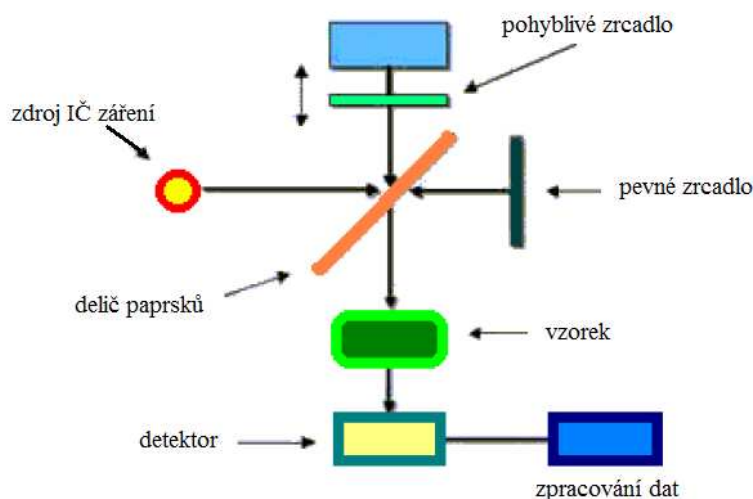
Principem metody je absorpce infračerveného záření při průchodu vzorkem, při níž dochází ke změnám rotačně vibračních energetických stavů molekul v závislosti na změnách dipólového momentu molekuly. Analytickým výstupem je infračervené spektrum, které je grafickým zobrazením funkční závislosti energie, většinou vyjádřené v procentech transmitance (T) nebo jednotkách absorbance (A) na vlnové délce (λ) dopadajícího záření. Transmitance (propustnost) je definována jako poměr intenzity záření, které prošlo vzorkem, k intenzitě záření vycházejícího ze zdroje.

$$T = \frac{I}{I_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

$$A = -\log \frac{I_0}{I} = \log (1 / T)$$

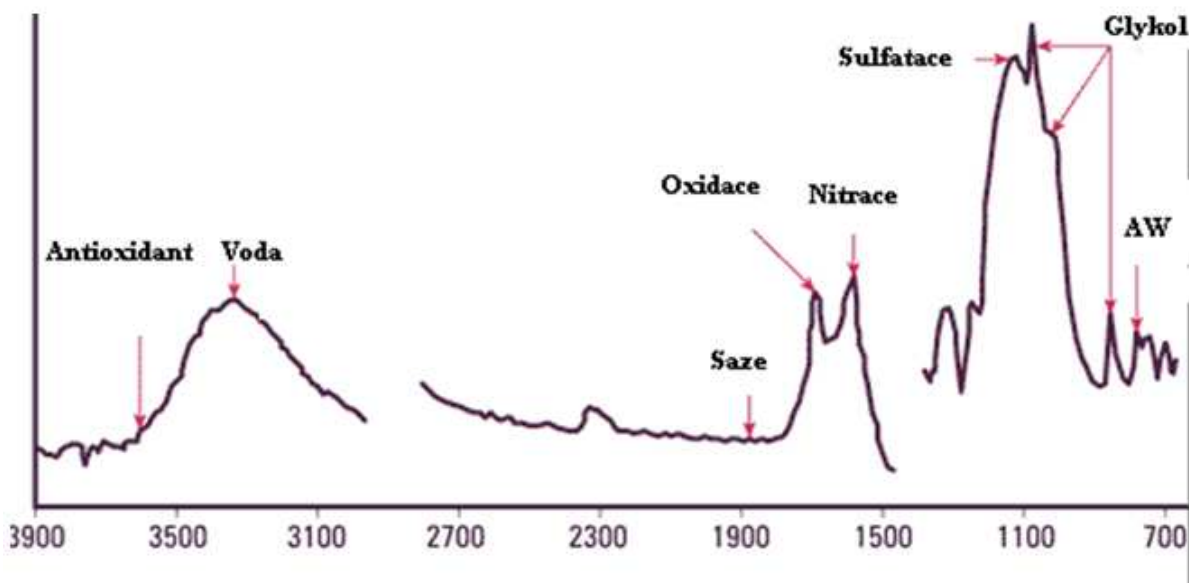
(kde I_0 je původní – vstupující, I zeslabený – vystupující tok monochromatického záření).

Absorpční pásy mající vrcholy v intervalu 4000–1500 cm^{-1} jsou vhodné pro identifikaci funkčních skupin (např. –OH, C=O, N-H, CH₃– aj.). Pásy v oblasti 1500–400 cm^{-1} jsou nazývané oblastí „otisku palce“ (fingerprint region). Pomocí speciálního softwaru a digitalizovaných knihoven infračervených spekter je možno identifikovat neznámou analyzovanou látku. Od 80. let 20. století se používají infračervené spektrometry s Fourierovou transformací (FTIR spektrometry Obr. 18) [2, 17].



Obr. 18: Princip FTIR spektrometru [18]

Při analýze spekter se vychází ze znalosti vlnových délek odpovídajících konkrétním sloučeninám nebo charakteristickým strukturním skupinám (Obr. 19).



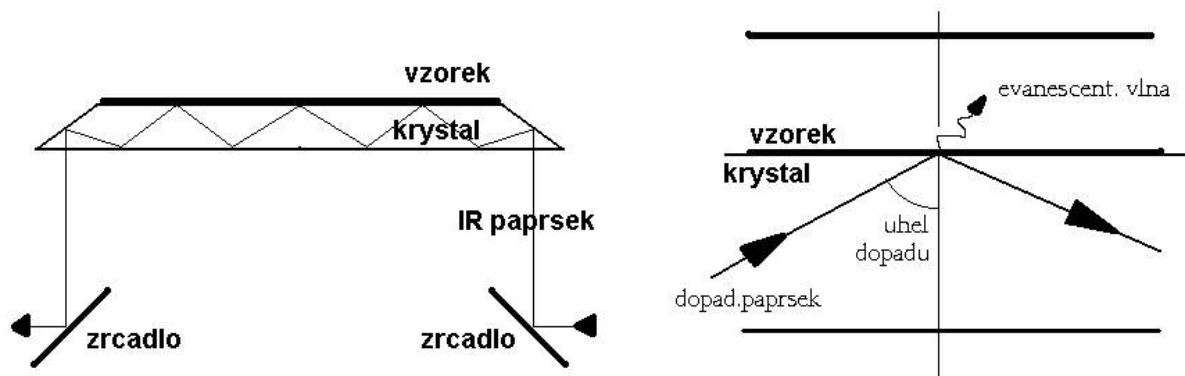
Obr. 19: Typické pásy v FTIR spektru motorového oleje [17]

ZESLABENÁ ÚPLNÁ REFLEKTANCE (ATR)

Pro vzorky silně absorbující infračervené záření je výhodné použít techniku zeslabené totální reflektance. Jedná se o rychlou a účinnou metodu vyžadující minimální přípravu vzorku pro analýzu. Může být automatizována a eliminuje použití toxických rozpouštědel.

Metoda je založena na principu násobného úplného odrazu záření na fázovém rozhraní měřeného vzorku a měřicího krystalu z materiálu, jenž má vysoký index lomu (Obr. 20).

Krystal je většinou planární, ve tvaru lichoběžníkového hranolu. Svazek paprsků je přiveden do krystalu soustavou zrcadel tak, aby úhel dopadu na fázové rozhraní vyhověl podmínce totálního odrazu. Měřený vzorek je v dokonalém kontaktu s ATR krystalem a záření proniká částečně do analyzovaného materiálu. Při totálním odrazu na rozhraní opticky hustšího prostředí (ATR krystal) s prostředím opticky řidším (zkoumaný vzorek) vzniká tzv. evanescentní vlna elektromagnetického záření v oblasti absorpce. Protože intenzita evanescentní vlny klesá exponenciálně se vzdáleností od rozhraní (řádově μm), musí být dosaženo těsného kontaktu mezi vzorkem a krystalem. To lze zajistit u kapalných vzorků. Pokud měřený vzorek absorbuje záření o určité frekvenci, pak tato složka bude v totálně odraženém záření zeslabena. Takto získané spektrum se do značné míry podobá spektru změřenému v transmittančním režimu. Penetrační hloubka do povrchu vzorku je řádově v jednotkách μm , tzn. jsou charakterizovány pouze velmi tenké povrchové vrstvy. Vzhledem k násobnému odrazu na fázovém rozhraní je získané spektrum velmi kvalitní, ekvivalentní transmisnímu spektru měřenému při tloušťce vzorku řádově desítek μm . V současné době jsou standardem převážně lichoběžníkové ZnSe krystaly v horizontálním uspořádání [2, 17].

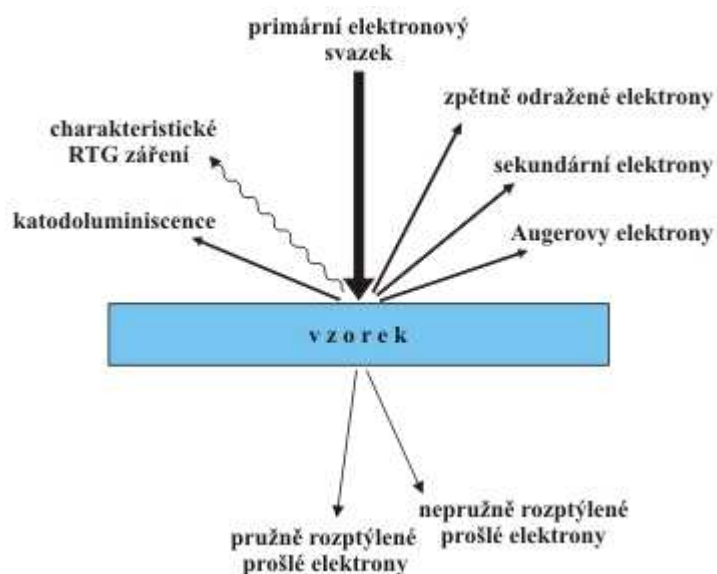


Obr. 20: Schéma metody zeslabené totální reflektance [17]

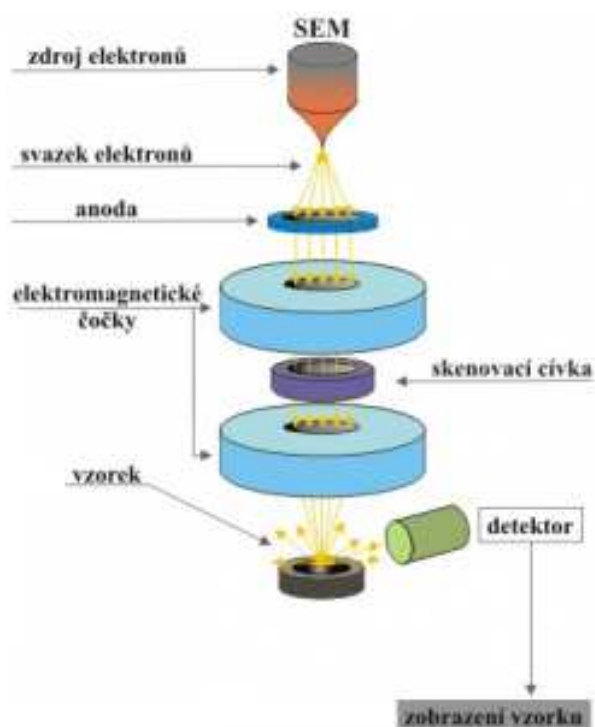
2.13.3 RASTROVACÍ ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE A ENERGIJĚ DISPERZNÍ ANALÝZA

Elektronové mikroskopy jsou optické přístroje, které využívají, na rozdíl od optických mikroskopů, v nichž je zobrazovacím médiem světelný svazek, svazku elektronů urychlených elektrickým polem. Místo skleněných čoček jsou v elektronové mikroskopii používány čočky elektromagnetické. Aby se zabránilo interakci elektronů s atmosférou, která ovlivňuje dráhu letících elektronů, je pozorovaný vzorek i se svazkem elektronů umístěn ve vakuu. Mezní rozlišovací schopnost mikroskopu je úměrná vlnové délce použitého záření. Protože vlnová délka elektronového záření (cca 0,01–0,001 nm) je podstatně kratší než vlnová délka viditelného světla (cca 400–700 nm), má elektronový mikroskop v porovnání s optickým mikroskopem mnohem vyšší rozlišovací schopnosti [19].

Rastrovací elektronový mikroskop (REM – scanning electron microscope, SEM) je elektronový mikroskop využívající k zobrazování pohyblivého svazku elektronů. Používá se pro zobrazení a analýzu povrchů vzorků. Velikost vzorků je omezena pouze velikostí vakuové komory, do níž se vzorky umísťují [19].



Obr. 21: Vznik signálů interakcí primárního svazku elektronů s povrchem materiálu [19].



Obr. 22: Schéma řádkovacího elektronového mikroskopu [19]

PRINCIP RASTROVACÍ ELEKTRONOVÉ MIKROSKOPIE

Ze zdroje je na materiál přes soustavu čoček vyzařován tenký svazek elektronů. Pomocí vychylovacích cívek je svazek elektronů vychylován a přejíždí tak po povrchu sledovaného vzorku v řádcích. Každý bod povrchu, který je svazkem elektronů zasažen odráží sekundární elektrony, rentgenové, světelné a jiné druhy záření. Druh a intenzita tohoto sekundárního záření závisí na složení vzorku v místě dopadu svazku a je využívána k řízení

světlosti odpovídajícího obrazového bodu na obrazovce monitoru. Na základě pohybu svazku elektronů postupně vzniká obraz (Obr. 21, Obr. 22)[20].

ELEKTRONOVÁ MIKROANALÝZA

Principem je detekce rentgenového záření vznikajícího interakcí urychlených primárních elektronů s elektronovými obaly atomů vzorku. Rentgenové záření je tvořeno spojitou a charakteristickou složkou.

Spojité složka rentgenového záření vzniká zbrzděním urychlených elektronů v blízkosti atomů a emisí energie, které má podobu rentgenových kvant o různé energii.

Charakteristická složka rentgenového záření poskytuje informace o chemickém složení analyzované látky. Vzniká vyražením elektronů z jednotlivých vrstev obalu atomu a následným přeskokem elektronů z vyšších energetických hladin. Obrazem charakteristického záření určitého prvku je čárové spektrum.

Na základě porovnávání intenzit spektrálních čar vzorku v rentgenové oblasti spektra (10–0,1 nm) s intenzitami stejných čar příslušných standardů je možné metodou elektronové mikroanalýzy získávat informace o koncentracích jednotlivých prvků obsažených ve vzorku.

K detekci rentgenového záření a jeho spektrálnímu rozkladu se používají energiově disperzní nebo vlnově disperzní spektrometry (EDS). Tyto spektrometry umožňují analýzu spekter vznikajících rentgenových záření a získat tak velmi kvalitní kvalitativní a kvantitativní informace o chemickém složení sledovaného vzorku.

Metoda elektronové mikroanalýzy je vysoce účinná nedestruktivní fyzikální metoda prvkové analýzy pevných látek. Je založena na interakci dopadajícího svazku urychlených elektronů a studovaného vzorku. Přístroje pro tuto metodu – elektronové mikroanalýzátory (mikrosondy) jsou v podstatě kombinací řádkovacího elektronového mikroskopu a spektrometrů rtg záření [27].

Základní prvky elektronového mikroskopu byly popsány výše; elektronová mikroanalýza využívá rtg záření, vznikající při interakci primárního svazku se vzorkem.

Při dopadu primárních elektronů na povrch vzorku dochází v důsledku srážek s atomy (resp. s jejich elektronovými obaly) k celé řadě jevů. Část primárních elektronů – odražené elektrony – se pružně odrazí zpět a opustí vzorek s nezměněnou energií (rychlostí). Jiné elektrony se od atomů odrážejí nepružně – atomům vzorku předávají část své energie a samy postupně energii ztrácejí. Při tomto ději dochází k ionizaci atomů a k uvolňování sekundárních elektronů.

Energie uvolněná brzděním primárních elektronů způsobuje ionizaci atomů vzorku. Opětné zaplňování uvolněných energetických hladin elektrony vede (kromě dalších efektů) ke vzniku rtg záření o vlnové délce 0,01–10 nm [27].

Rtg záření vybuzené dopadem svazku primárních elektronů má složku spojitou a složku charakteristickou. Charakteristická složka je tvořena sérií spektrálních čar, které vznikají zaplňováním ionizovaných energetických hladin v obalech atomů. Charakteristické záření tak poskytuje informaci o prvkovém složení vzorku, protože vlnová délka čar je pro každý prvek charakteristická a nezávisí na energii primárních elektronů. Děj se odehrává ve

velmi malé oblasti (řádově $1-10 \mu\text{m}^3$) hruškovitého tvaru pod povrchem vzorku, proto je možno metodami elektronové mikroanalýzy analyzovat velmi drobné objekty (už od velikosti jednotek μm). Rtg záření je detekováno a analyzováno rtg spektrometry, které jsou součástí mikroanalýzátoru. Ve spektru charakteristického rtg záření lze jednotlivé spektrální čáry indikovat dvěma způsoby: podle vlnových délek nebo podle energie. Na základě toho rozlišujeme energiově disperzní (ED) analýzu a vlnově disperzní (WD) analýzu.

Energiově disperzní systém (EDS) analyzuje rtg spektrum na základě energie jednotlivých čar. Záření dopadá na polodičový detektor s P–N přechodem, kde je přeměněno na napěťový impuls. Tento signál je veden do zesilovače a odtud do počítače, kde je automaticky vyhodnocován. Mez stanovitelnosti je pro různé prvky různá, pro prvky mezi ${}^5\text{B}$ až ${}^{10}\text{Ne}$ se pohybuje mezi 1–2 hmot. %, pro prvky od ${}^{11}\text{Na}$ výše mezi 0,1–0,2 hmot. % [27]. EDS se používá především ke stanovení kvalitativního složení vzorku a k rychlé (i když méně přesné) kvantitativní analýze. Minoritní prvky je nutno analyzovat pomocí WDS. Většina přístrojů neumožňuje měření prvků lehčích než ${}^5\text{B}$.

Vlnově disperzní systém (WDS) analyzuje rtg spektrum na základě vlnové délky jednotlivých čar. Rtg spektrum je snímáno vlnově disperzním spektrometrem. Jeho součástí je analyzující krystal (monochromátor), detektor a mechanika pro pohyb krystalu a detektoru. Pomocí WDS je možno poměrně velmi přesně stanovovat obsahy většiny prvků těžších než ${}^5\text{B}$. Mez stanovitelnosti této metody je pro ${}^5\text{B}$ až ${}^{10}\text{Ne}$ 0,3–0,5 hmot. %, pro ${}^{11}\text{Na}$ a těžší prvky 0,03–0,05 hmot. % [27]. Proto je možno analyzovat i prvky s velmi nízkým obsahem (stopové prvky). Nevýhodou je naopak vyšší časová náročnost.

Výhody metod elektronové mikroanalýzy:

- Analyzuje se velmi malá oblast vzorku v pevném stavu, proto je možno studovat složení i velmi drobných útvarů.
- Pomocí EDS lze rychle určit kvalitativní a přibližné kvantitativní složení vzorku, pomocí WDS se s vysokou přesností stanoví obsah většiny prvků včetně stopových. Dále je možno zobrazit rozložení jednotlivých prvků v ploše vzorku nebo změnu koncentrace prvků ve vybrané linii.

- Měření jsou poměrně rychlá.

Nevýhody metod elektronové mikroanalýzy:

- velmi vysoká pořizovací cena elektronového mikroanalýzátoru
- ztížená analýza lehkých prvků (${}^5\text{B}$ až ${}^{10}\text{Ne}$)
- možnost pouze prvkové analýzy, nikoliv chemické analýzy v obvyklém slova smyslu (sloučeniny je nutno dopočítávat z naměřených obsahů prvků, většinou pomocí programu, který je součástí softwarového vybavení přístroje)

I přes tato omezení představují dnes metody elektronové mikroanalýzy vzhledem k výše jmenovaným výhodám jeden z nejpoužívanějších způsobů chemické analýzy materiálů.

2.13.4 OBRAZOVÁ ANALÝZA

Využití obrazové analýzy spočívá v nahrazení subjektivního hodnocení obrazů objektivními charakteristikami.

Postup obrazové analýzy lze rozdělit do několika etap:

- tvorba obrazu
- digitalizace obrazu
- zpracování
- segmentace
- binární transformace
- měření
- interpretace výsledků
- statistická analýza

Základem získání dobrých výsledků je pořízení kvalitního digitalizovaného obrazu předlohy. K tomu lze užít například mikroskop propojený s digitální kamerou. Je-li obraz uložen v počítači, lze ho za pomoci vhodného softwaru dále upravovat, zpracovávat a hodnotit. Důležitým krokem analýzy je segmentace, při níž jsou stanovena kritéria hodnocení. Jako další krok následuje vlastní měření, na jeho základě je možné posoudit jednotlivé vlastnosti objektů – např. plochu, obvod, délku, tvar objektů nebo intenzitu a podíl zvolené barevné složky. Všechny tyto vlastnosti jednotlivých objektů je možno statisticky zpracovat.

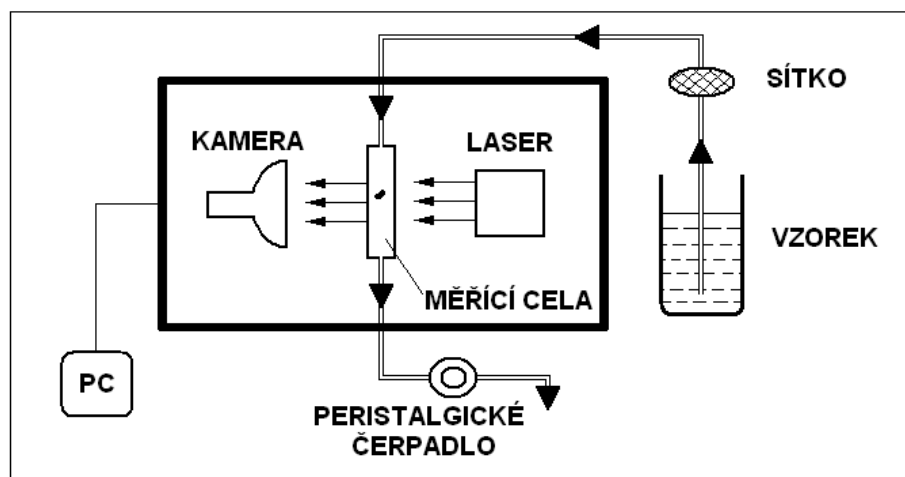
Obrazovou analýzu je možné použít všude tam, kde je jako výsledek měření získán obraz obsahující objekty nebo textury objektů [23].

2.13.5 AUTOMATICKÝ LASEROVÝ ČÍTAČ A KLASIFIKÁTOR ČÁSTIC LASER-NET FINES-C

Tribodiagnostický přístroj určený pro rozbor vzorků mazacích a hydraulických olejů. LNF pracuje na principu prosvěcování vzorku oleje výkonným laserovým paprskem (Obr. 23).

Olej je z nádoby nasáván čerpadlem přes sítko do skleněné měřicí cely o tloušťce 100 μm . Současně s průchodem oleje měřicí celou touto celou procházejí i paprsky impulzového laseru. Ty jsou po dopadu na pozadí snímány CCD kamerou, která zachycuje tvar jednotlivých částic obsažených v protékajícím vzorku oleje. Snímky jsou pořizovány rychlostí cca 30 snímků za sekundu, což je cca 5400 snímků na 1 ml oleje. Obraz je digitalizován a pomocí softwaru zpracován. Obrysy částic jsou zobrazovány na obrazovce počítače.

Výsledkem analýzy rozboru je jednak analýza tvarů a velikostí částic, ale také analýza počtu částic obsažených ve vzorku. Software je rovněž schopen analyzovat abnormální otěrové částice a zobrazit přehled předchozích výsledků téhož oleje, respektive téhož zařízení, z něhož je vzorek oleje pořízen [24].



Obr. 23: Schéma přístroje LNF [24]

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 TESTOVANÝ AUTOMOBIL PRO ODBĚR VZORKŮ

Nákladní automobil DAF 45.220 (Obr. 24)



Obr. 24: Testovaný automobil DAF LF [vlastní foto]

Technické parametry vozidla DAF LF 45.220

MOTOR (CE162 C1 EURO 3)

Vznětový přeplňovaný kapalinou chlazený řadový šestiválec.

Zdvihový objem: 5883 cm³

Max. výkon: 162 kW (220 k) při 2500 ot./min.

Max. toč. moment: 820 Nm při 1200 ot./min.

Pohotovostní hmotnost: 5500 kg

Max. dovolená hmotnost: 11990 kg

Objem olejové náplně motoru 16 l

Motorový olej URSA SUPER 10W/40 (výrobce TEXACO)

Výměnný interval oleje doporučený výrobcem 40 000 km.

Dodávkový automobil MAZDA E2200 (Obr. 25)**Obr. 25: Testovaný automobil Mazda E2200 [vlastní foto]**

Technické parametry vozidla Mazda E2200 AWD

MOTOR

Vznětový kapalinou chlazený řadový čtyřválec.

Zdvihový objem: 2184 cm³

Max. výkon: 60 kW (81 k)

Pohon: 4x4

3.2 ODBĚR VZORKŮ OLEJE

Jako místo odběru bylo zvoleno vstupní hrdlo pro olejovou měрку (Obr. 26). Prostřednictvím plastové hadičky o průměru 5 mm, která byla vedením pro olejovou měрку zasunuta do klikové skříně motoru, opatřenou injekční stříkačkou, bylo odebráno z olejové náplně cca 200ml motorového oleje. Z důvodu homogenity celé olejové náplně, z níž byl vzorek odebírán, byla olejová náplň před odběrem dostatečně promíchána a zahřátá na provozní teplotu. Odebrané vzorky byly uzavřeny do skleněných nádob a opatřeny štítkem s údaji o kilometrickém proběhu (Tab. 2). Použitá injekční stříkačka a plastová hadička byly vždy po odběru vzorku propláchnuty technickým benzínem a připraveny tak na další odběr. První vzorek byl odebrán cca po 20 000 km od poslední výměny oleje. Následující vzorky

byly odebírány vždy po 10 000 km, přičemž po 40 000 km docházelo k výměně olejové náplně a olejového filtru za nové.

Aby byly dosaženy co nejobektivnější výsledky jednotlivých analýz, bylo potřeba odebrat všechny vzorky stejným způsobem a za stejných podmínek.

ZÁSADY PRO ODBĚR VZORKŮ OLEJE:

- zahřátí olejové náplně na provozní teplotu,
- očištění vstupního hrdla pro olejovou měrku,
- odebrání vzorku cca 200 ml,
- doplnění stejného množství nového oleje,
- uzavření nádoby se vzorkem a označení štítkem s údaji o kilometrickém proběhu,
- propláchnutí soupravy pro odběr vzorku.



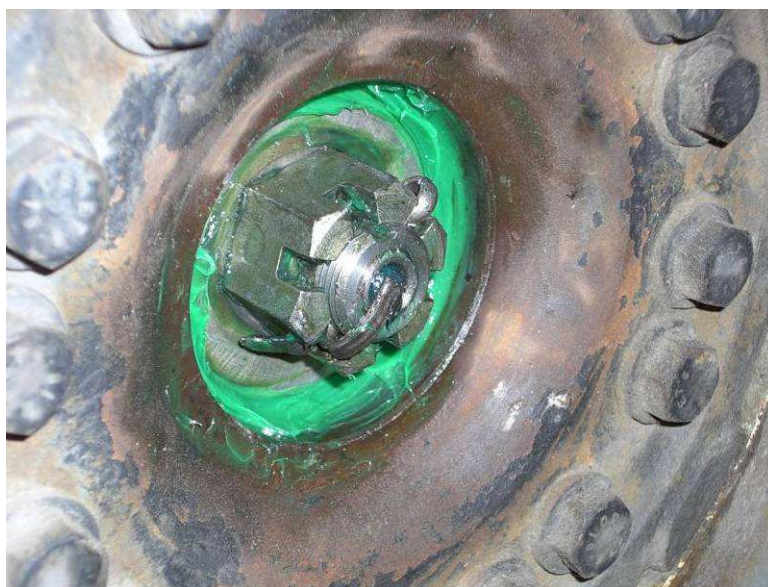
Obr. 26: Odběr vzorků oleje [vlastní foto]

Tab. 2: Údaje o vzorcích olejů

vzorek	počet ujetých km od poslední výměny	stav tachometru [km]	poznámka
1	0	-	čistý olej
2	20 000	220 000	
3	30 000	230 000	
4	40 000	240 000	výměna
5	10 000	250 000	
6	20 000	260 000	
7	30 000	270 000	
8	40 000	280 000	výměna

3.3 ODBĚR VZORKŮ PLASTICKÉHO MAZIVA

Pro odběr vzorků plastického maziva bylo zvoleno v případě nákladního vozidla DAF uložení obou kol přední nápravy (Obr. 27), v případě dodávkového vozidla MAZDA uložení pravého předního kola (Obr. 28). Každé kolo je na náboji kola uloženo pomocí dvojice kuželíkových ložisek, které jsou mazány plastickým mazivem. Po sejmutí krytů kol a plechových krytek, ve kterých je umístěna zásoba plastického maziva pro mazání ložisek, byly z bezprostřední blízkosti vnějších ložisek uložení kol odebrány vzorky plastického maziva (cca 20 g). Vzorky maziva byly uzavřeny do čistých plastových nádob a označeny identifikačními údaji (Tab. 3).



Obr. 27: Odběr plastického maziva DAF [vlastní foto]



Obr. 28: Odběr plastického maziva MAZDA [vlastní foto]

Tab. 3: Údaje o vzorcích PM

vzorek	počet ujetých km	poznámka
1	0	nové mazivo DAF
2	340 000	pravé kolo DAF
3	70 000	levé kolo DAF
4	0	nové mazivo MAZDA
5	neudáno	pravé kolo MAZDA

3.4 ANALÝZA VZORKŮ METODOU ANALYTICKÉ FERROGRAFIE

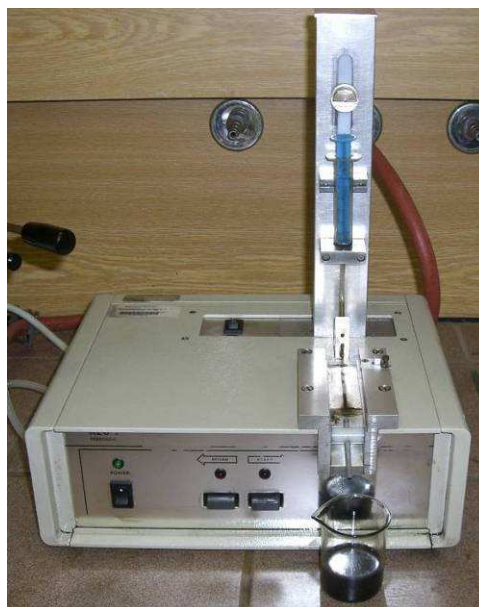
Odebrané vzorky olejů a plastických maziv byly analyzovány s použitím analytické ferrografie.

PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ:

Ferrograf REO-1 (výrobce REO TRADE s.r.o.) [22]

TECHNICKÉ PARAMETRY:

- Napájení 110 V/60 Hz 50 VA,
- Hmotnost 4.0 kg,
- Provozní teplota okolí 18–30 °C,
- Rozměry 280 x 220 x 280 mm,
- Měřicí rozsah 0–500 μm,
- Doba měření 15–20 min.



Obr. 29: Ferrograf REO-1 [vlastní foto]

Analytické váhy

KERN ALJ 220-4

- Napájení 11 V AC/110 mA
- Přesnost vážení 0.1 mg
- Max. dovolené zatížení 220 g
- Provozní teplota okolí 15-30 °C

Kamerový systém

Digitální kamera Micrometrics 318 CU s rozlišením 3.2M
Software Micrometrics BE

Mikroskop

Bichromatický trinokulární mikroskop typ H 6000

3.4.1 PŘÍPRAVA FERROGRAMŮ PRO FERROGRAFICKOU ANALÝZU**PŘÍPRAVA FERROGRAMŮ ZE VZORKŮ OLEJE:**

Při zhotovení ferrogramů byl dodržován následující postup.

- 1) Vsunutí plastové podložky o rozměrech 29×78 mm do vodících drážek ferrografu.
- 2) Zahřátí vzorku oleje na teplotu v rozmezí 65 až 70 °C a setrvání na této teplotě po dobu cca 15 min.
- 3) Homogenizování vzorku protřepáváním cca 5 min.
- 4) Nasátí 3 ml oleje do injekční stříkačky o objemu 5 ml.
- 5) Umístění stříkačky, opatřené trubičkou, do výtlačného zařízení ferrografu tak, aby trubička, přivádějící olej na podložku, byla ve vzdálenosti cca 0,5 mm od podložky. Olej musí na podložku rovnoměrně vytékat, nesmí kapat.
- 6) Umístění plastové hadičky do držáku v přední části ferrografu tak, aby odváděla olej stékající z podložky do odpadní nádoby.
- 7) Nastavení rychlosti posuvu hrotu, jenž působí na píst stříkačky a vytlačuje tak olej. Zvolená doba pro vyprázdnění stříkačky byla 4 min.
- 8) Po vytlačení celého objemu oleje ze stříkačky se stiskem tlačítka RETURN vrátí výtlačný hrot zpět do počáteční polohy.
- 9) Proplachování olejové stopy stejným postupem, místo oleje je však do stříkačky nasáván technický benzín. Proplachování se opakuje několikrát dle míry znečištění oleje.
- 10) Po odpaření rozpouštědla je ferrogram připraven k mikroskopické analýze.

PŘÍPRAVA FERROGRAMŮ ZE VZORKŮ PLASTICKÝCH MAZIV

Postup přípravy ferrogramů ze vzorků plastických maziv je shodný s přípravou vzorků oleje. Plastické mazivo je nutno nejprve převést do roztoku pomocí vhodného rozpouštědla (technický benzín).

Do skleněné váženky bylo na analytických vahách naváženo malé množství plastického maziva (řádově tisíceiny gramu, Tab. 4). Odvážené mazivo bylo rozpuštěno v 5 ml technického benzínu. Následný postup byl totožný jako u vzorků oleje.

Tab. 4: Hmotnosti vzorků PM rozpouštěných pro ferrografii

vzorek	navážka maziva [g]	množství rozpouštědla [ml]
2	0.001	5
3	0.0047	5
5	0.0005	5

Zhotovené ferrogramy se uchovávají v exsikátoru naplněném vysušeným silikagelem, aby nedocházelo ke korozi částic.

Vlastní vyhodnocení ferrogramů bylo provedeno za pomoci bichromatického trinokulárního mikroskopu H6000 vybaveného kamerovým systémem Micrometrics 318 CU (Obr. 30). Kamerový systém je prostřednictvím USB kabelu propojen s počítačem. Software kamerového systému umožňuje pozorování obrazu na monitoru počítače, jeho úpravu, zachytávání a ukládání v různých grafických formátech.

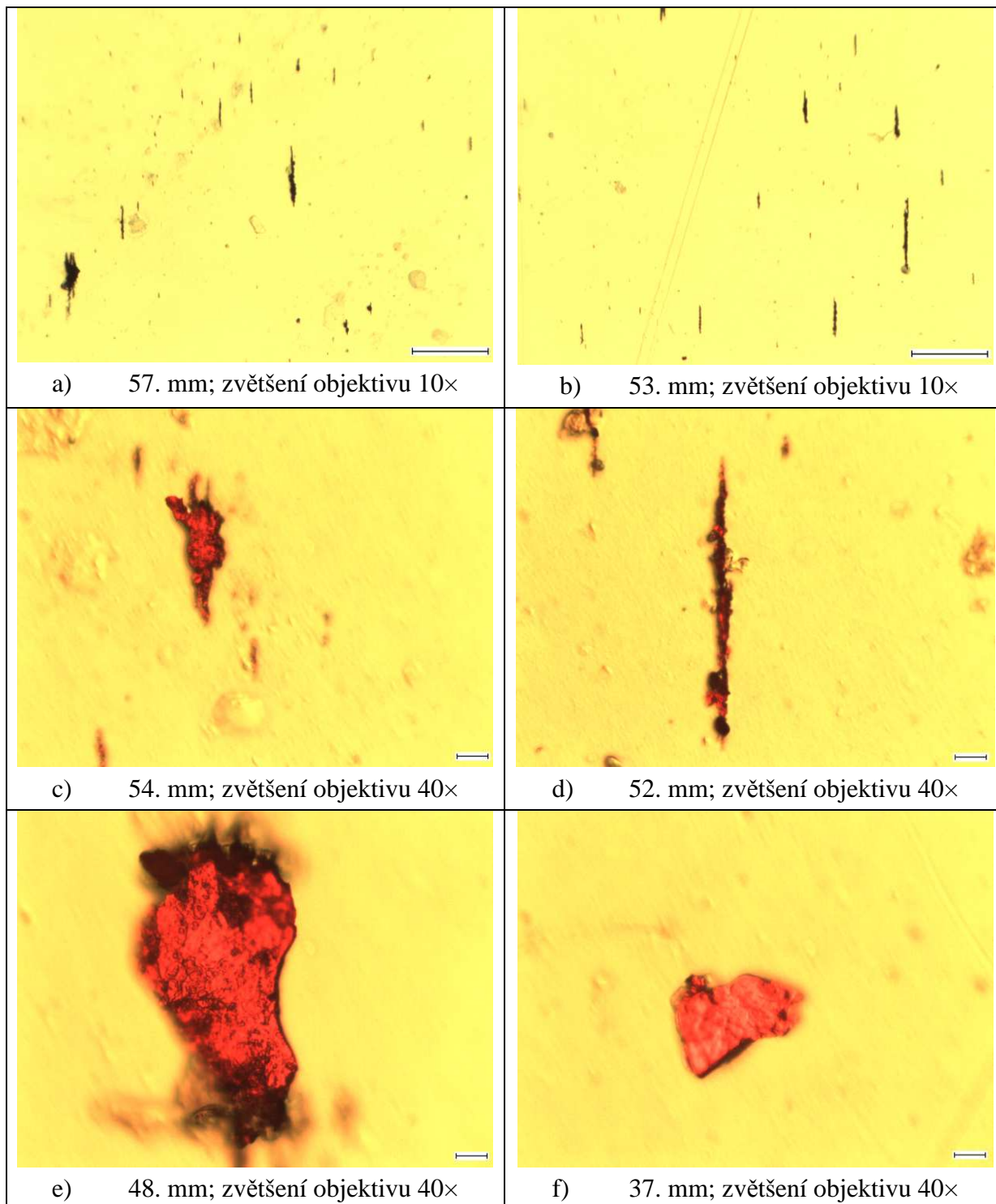


Obr. 30: Pracoviště pro ferrografickou analýzu [vlastní foto]

3.4.2 VÝSLEDKY ANALYTICKÉ FERROGRAFIE

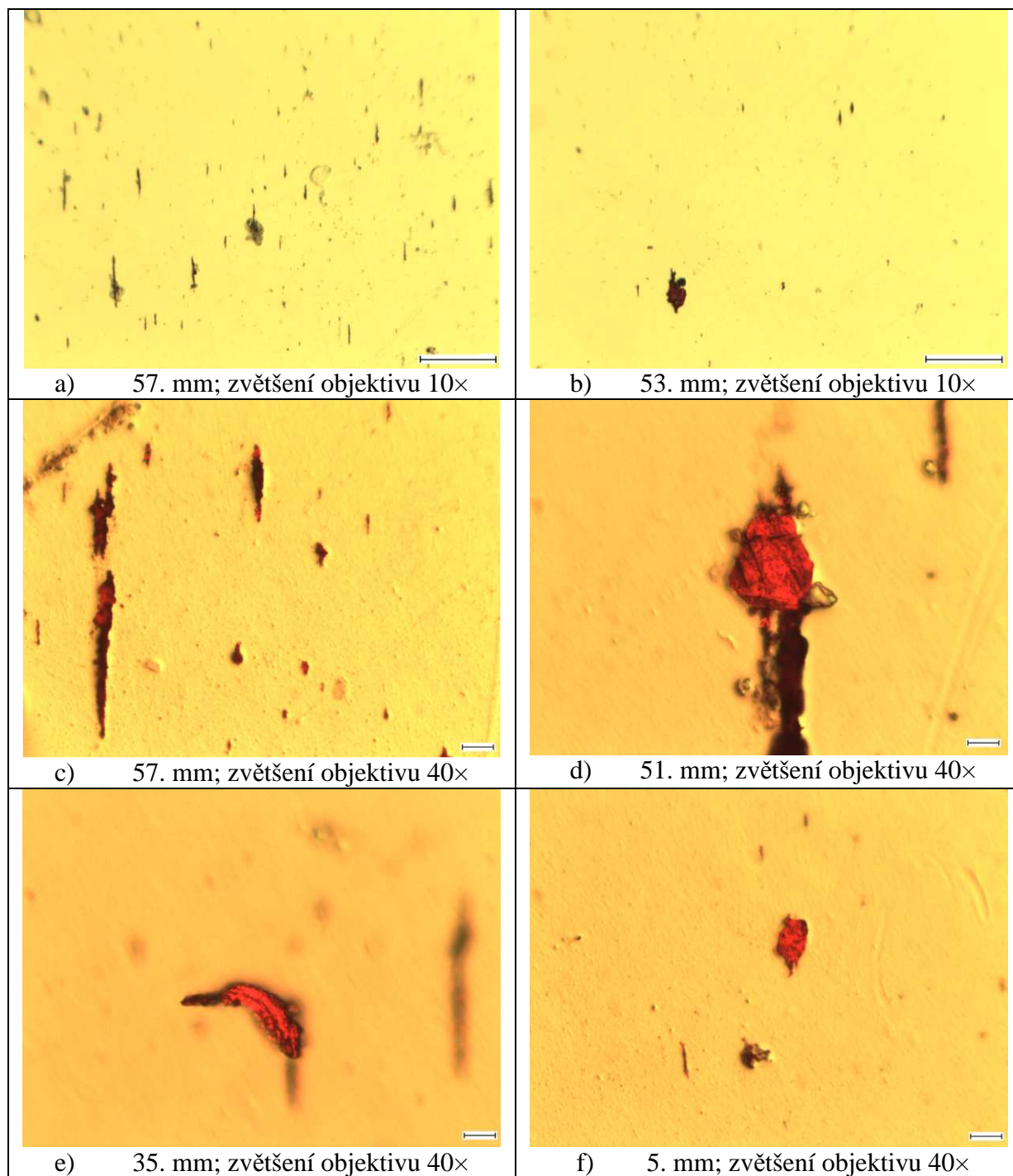
MOTOROVÝ OLEJ (DAF LF):

Bylo analyzováno 7 vzorků motorového oleje, které byly postupně odebírány z vozidla DAF LF (kap. 3.1).



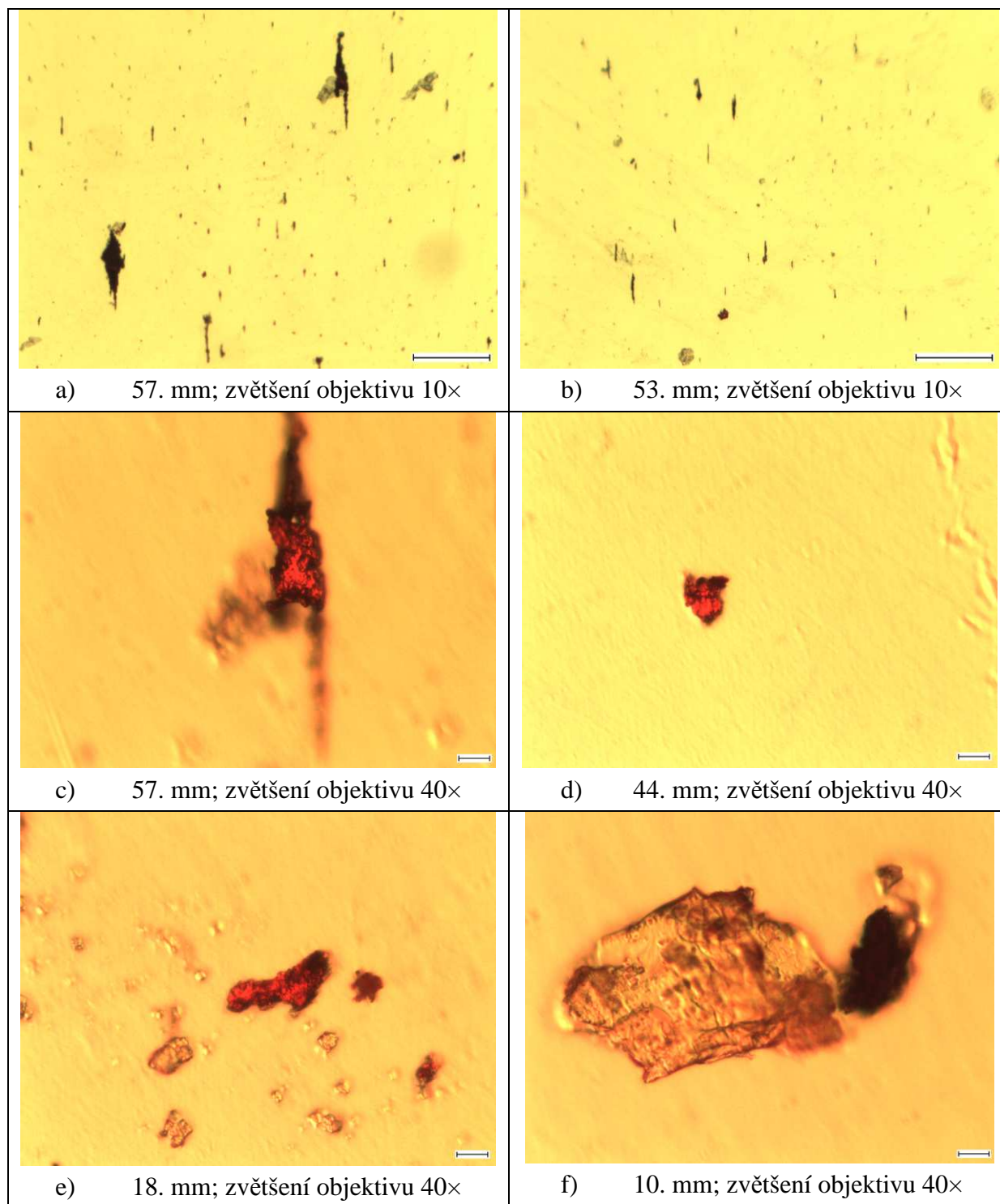
Obr. 31: Vzorek č.2: stav tachometru 220 000 km, od výměny ujetu 20 000 km

a,b	délka úsečky měřítka ~ 100 μm
c,d,e,f	délka úsečky měřítka ~ 10 μm



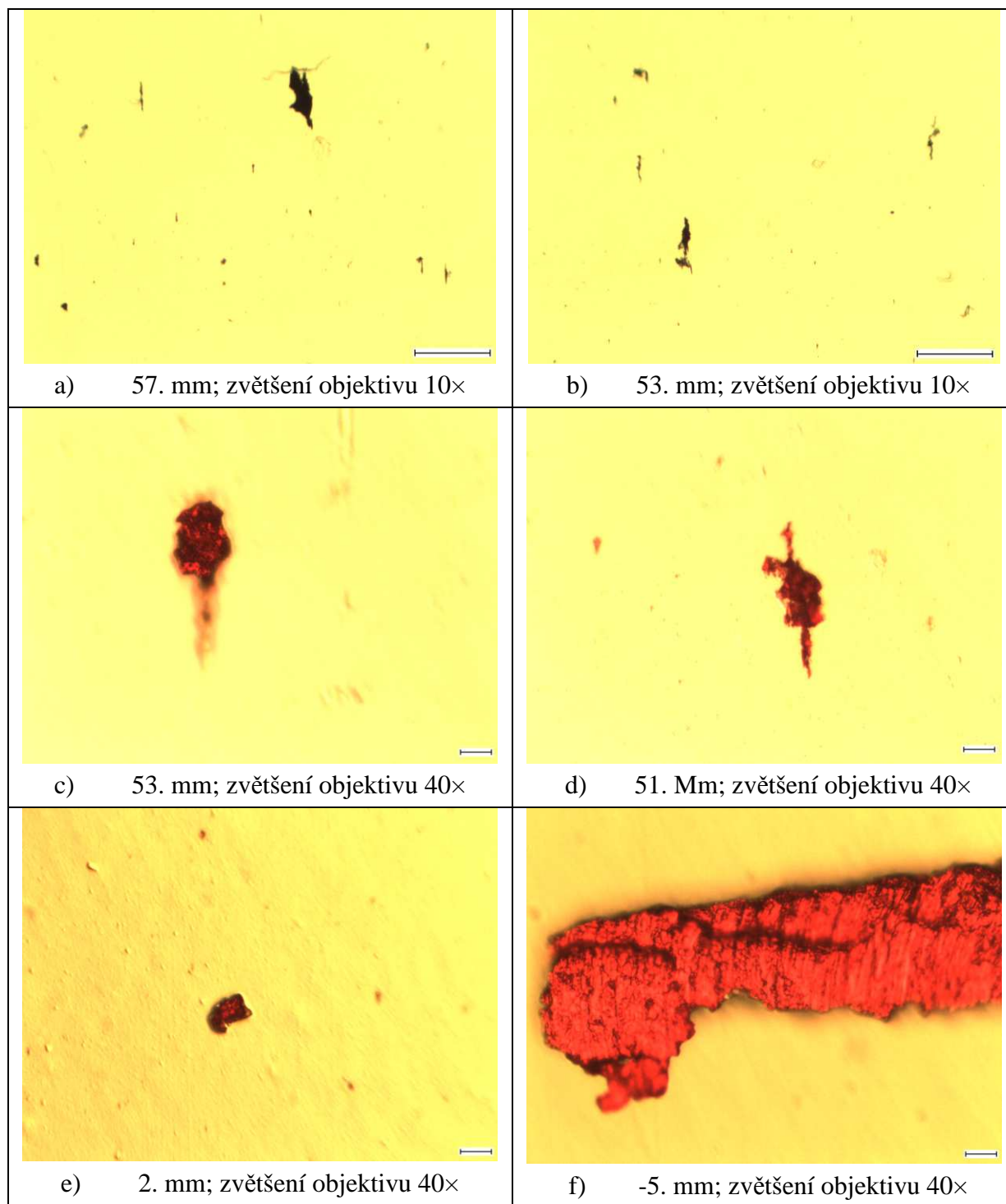
Obr. 32: Vzorek č.3: stav tachometru 230 000km, od výměny ujeto 30 000 km

a,b	délka úsečky měřítka ~ 100 μm
c,d,e,f	délka úsečky měřítka ~ 10 μm



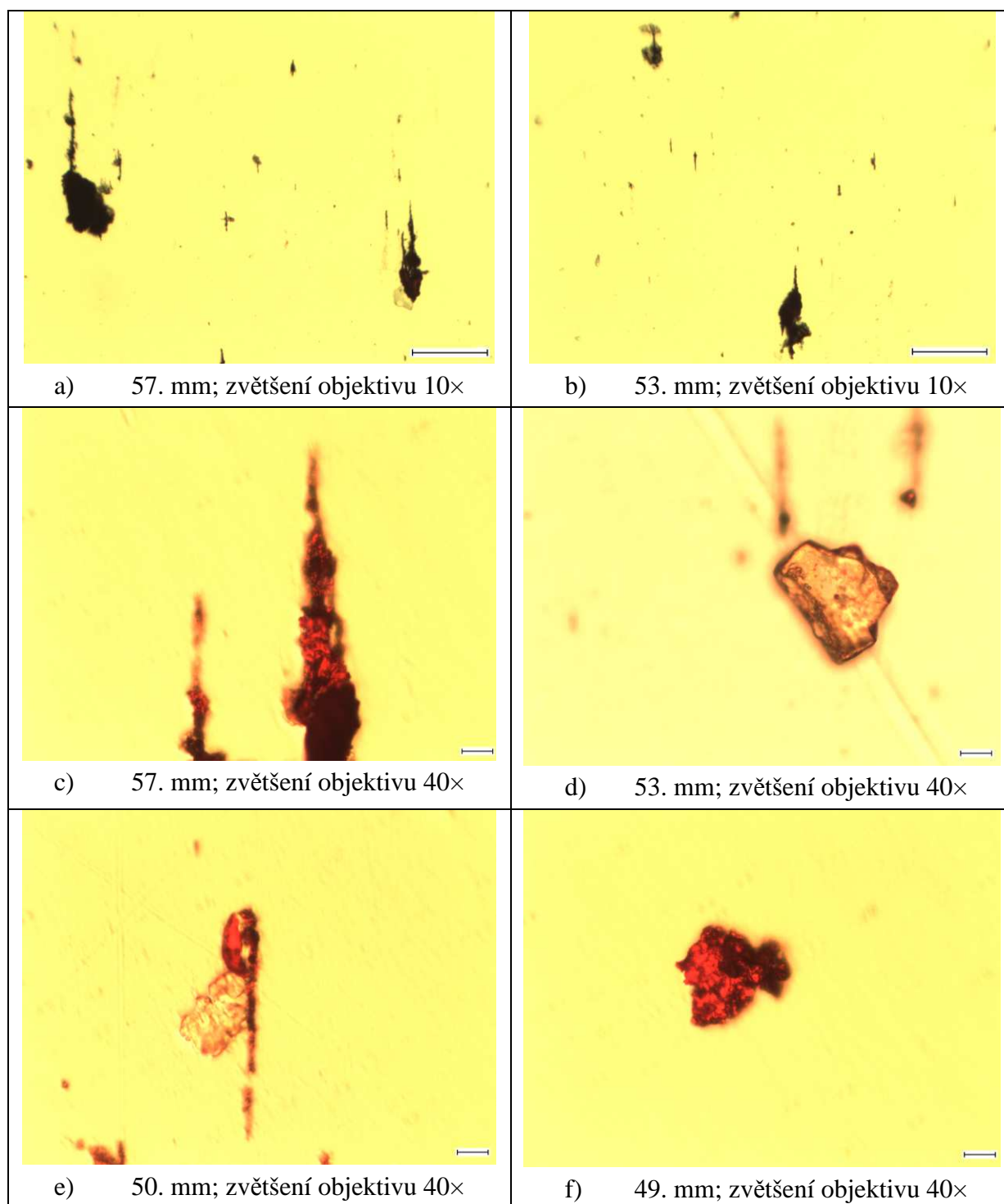
Obr. 33: Vzorek č.4: stav tachometru 240 000 km, od výměny ujeté 40 000 km (výměna)

a,b	délka úsečky měřítka ~ 100 μm
c,d,e,f	délka úsečky měřítka ~ 10 μm



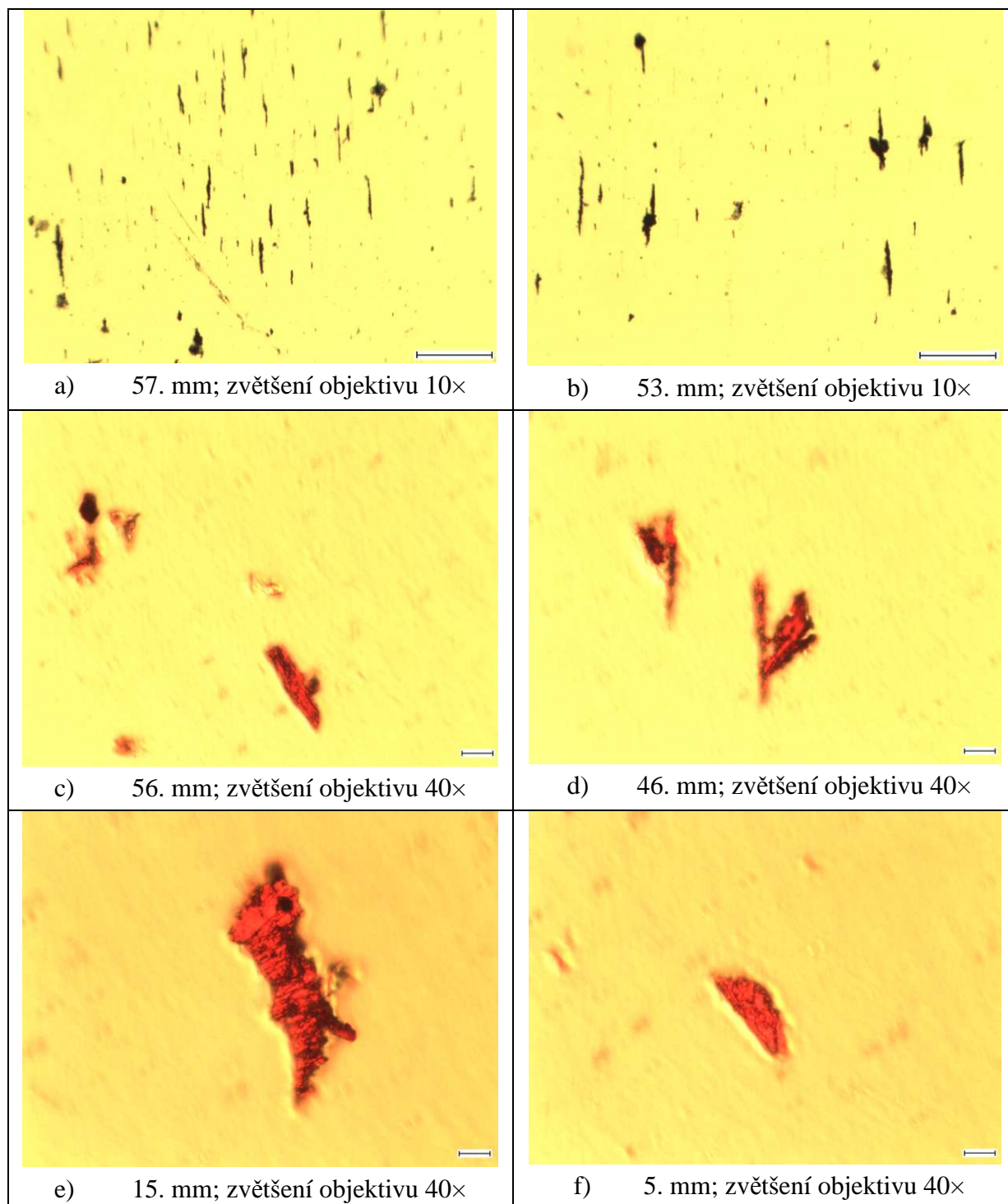
Obr. 34: Vzorek č.5: stav tachometru 250 000 km, od výměny ujetu 10 000 km

a,b	délka úsečky měřítka ~ 100 μm
c,d,e,f	délka úsečky měřítka ~ 10 μm



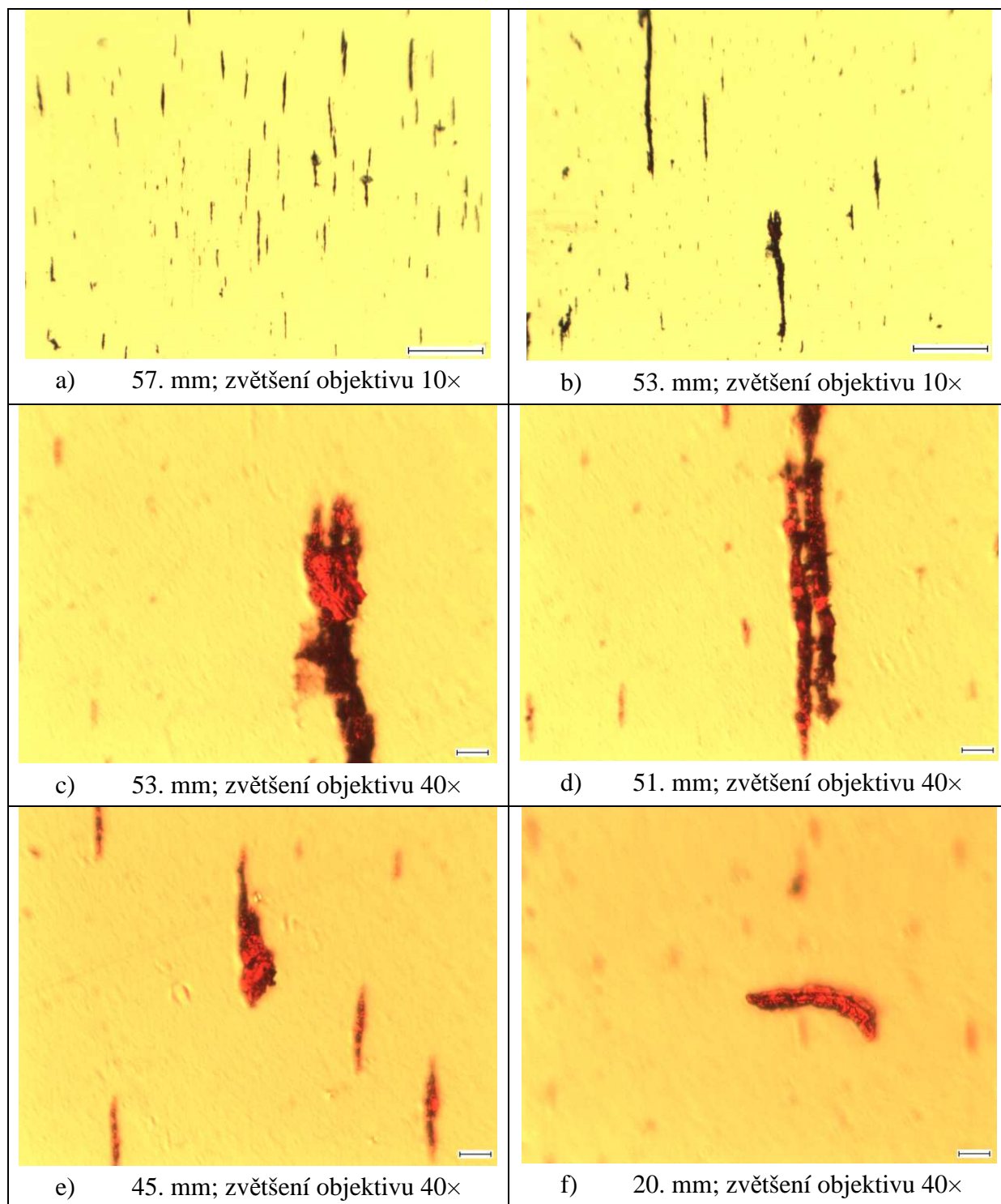
Obr. 35: Vzorek č.6: stav tachometru 260 000 km, od výměny ujetu 20 000 km

a,b	délka úsečky měřítka ~ 100 μm
c,d,e,f	délka úsečky měřítka ~ 10 μm



Obr. 36: Vzorek č.7: stav tachometru 270 000 km, od výměny ujetu 30 000 km

a,b	délka úsečky měřítka ~ 100 µm
c,d,e,f	délka úsečky měřítka ~ 10 µm

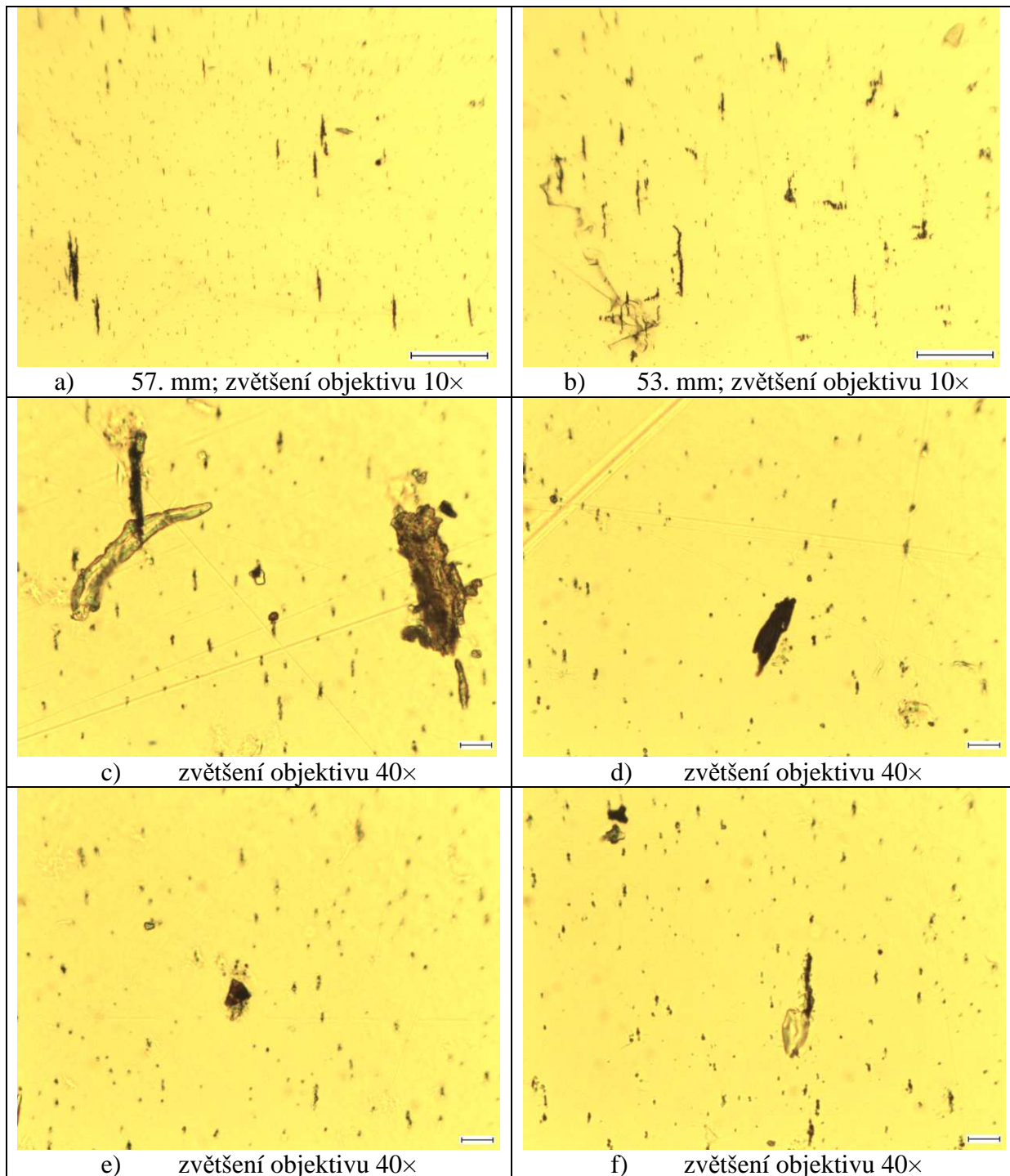


Obr. 37: Vzorek č.8: stav tachometru 280 000 km, od výměny ujetu 40 000 km (výměna)

a,b	délka úsečky měřítka ~ 100 μm
c,d,e,f	délka úsečky měřítka ~ 10 μm

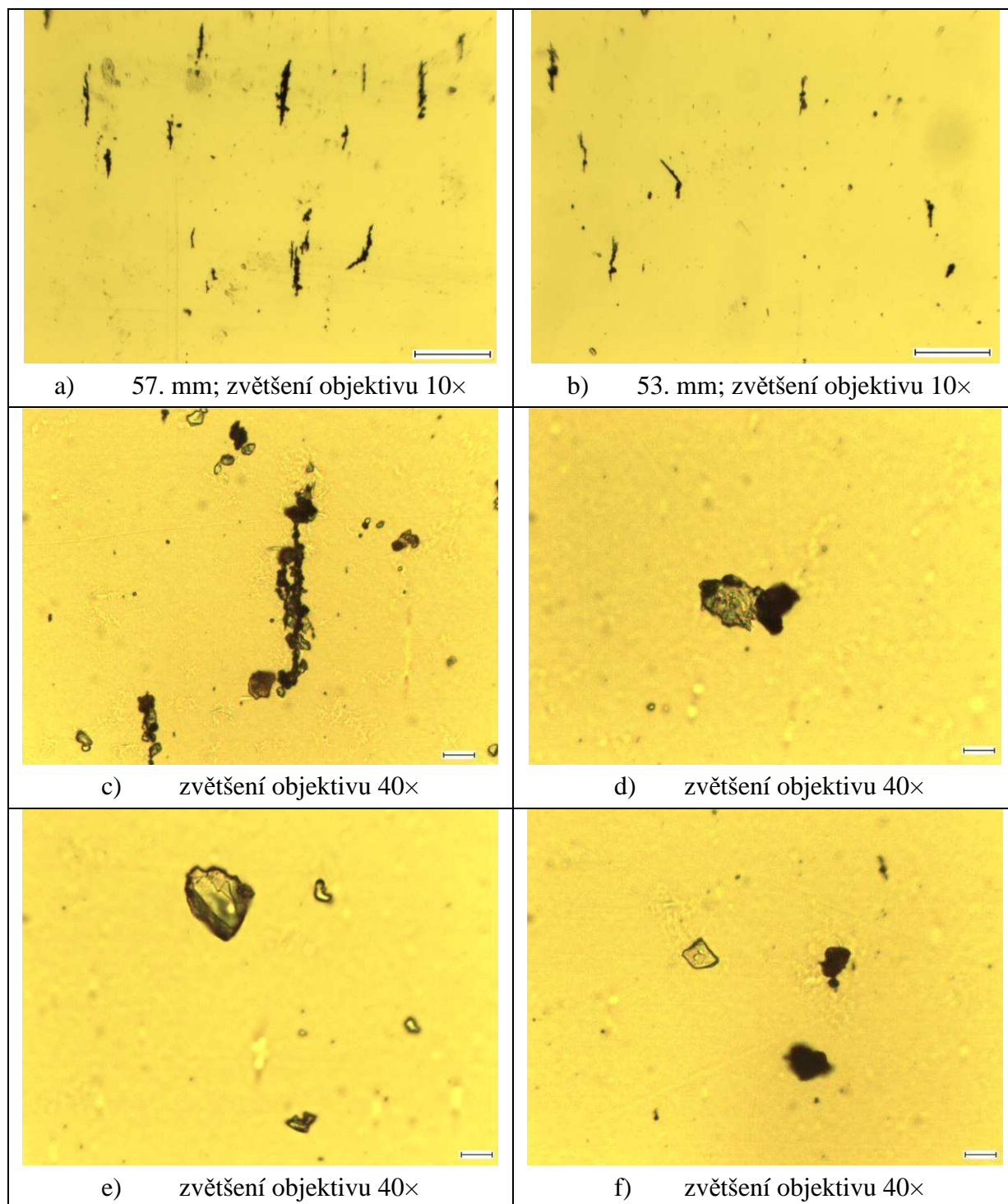
VZORKY PLASTICKÝCH MAZIV (DAF LF, MAZDA E2200):

Byly analyzovány 3 vzorky plastického maziva. Vzorky č.2 a č.3 byly odebrány z vozidla DAF LF a vzorek č 5 z vozidla MAZDA E2200 (kap.3.1).



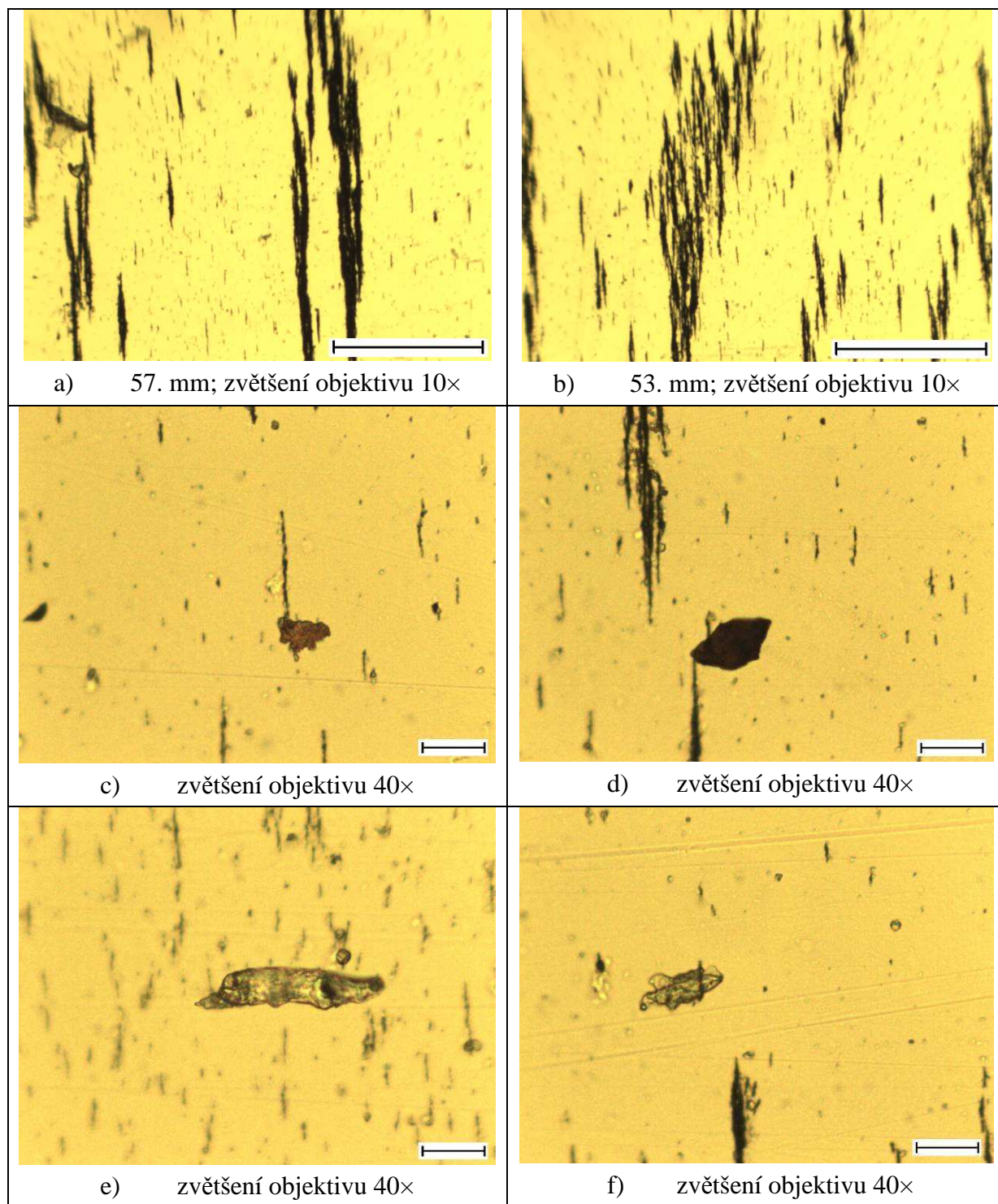
**Obr. 38: Vzorekč.2: uložení pravého předního kola DAF LF
(navážka PM 0,001 g; ujetu 340 000 km)**

a,b	délka úsečky měřítka ~ 100 μm
c,d,e,f	délka úsečky měřítka ~ 10 μm



**Obr. 39: Vzorek č.3: uložení levého předního kola DAF LF
(navážka PM 0,0047 g; ujeté 70 000 km)**

a,b	délka úsečky měřítka ~ 100 μm
c,d,e,f	délka úsečky měřítka ~ 10 μm



**Obr. 40: Vzorek č.5: uložení pravého předního kola MAZDA E2200
(navážka PM 0,0005 g; počet km neudán)**

a,b	délka úsečky měřítka ~ 100 µm
c,d,e,f	délka úsečky měřítka ~ 10 µm

3.4.3 NÁVRH POSTUPU ANALYTICKÉ FERROGRAFIE BEZ POUŽITÍ SPECIÁLNÍCH PŘÍSTROJŮ

Pro zjišťování technického stavu zařízení, na základě ferrografické analýzy, v dílenských podmínkách byl navržen postup přípravy ferrogramů a jejich vyhodnocení, bez využití k tomu určených speciálních přístrojů.

PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ:

USB mikroskop CHRONOS (Obr. 41)

TECHNICKÉ PARAMETRY:

- Rozlišení 1.3 MPx (1280 x 1024)
- Snímač 1/4“
- Zoom 10 – 230 x
- Osvětlení 8 LED
- Napájení 5 V z USB portu



Obr. 41: USB mikroskop

POSTUP PŘÍPRAVY FERROGRAMŮ:

- 1) Příprava vzorku. Rozpuštění PM v technickém benzínu (cca 5ml).
- 2) Umístění plastové fólie opatřené na obou koncích gumičkou tak, aby byl vytvořen žlábek, nad magnet. Folie musí mít nepatrný sklon (Obr. 42).
- 3) Přiložení kusu plastové hadičky na konec fólie pro odvod rozpuštěného PM.
- 4) Nasátí rozpuštěného PM do injekční stříkačky (cca 3 ml).

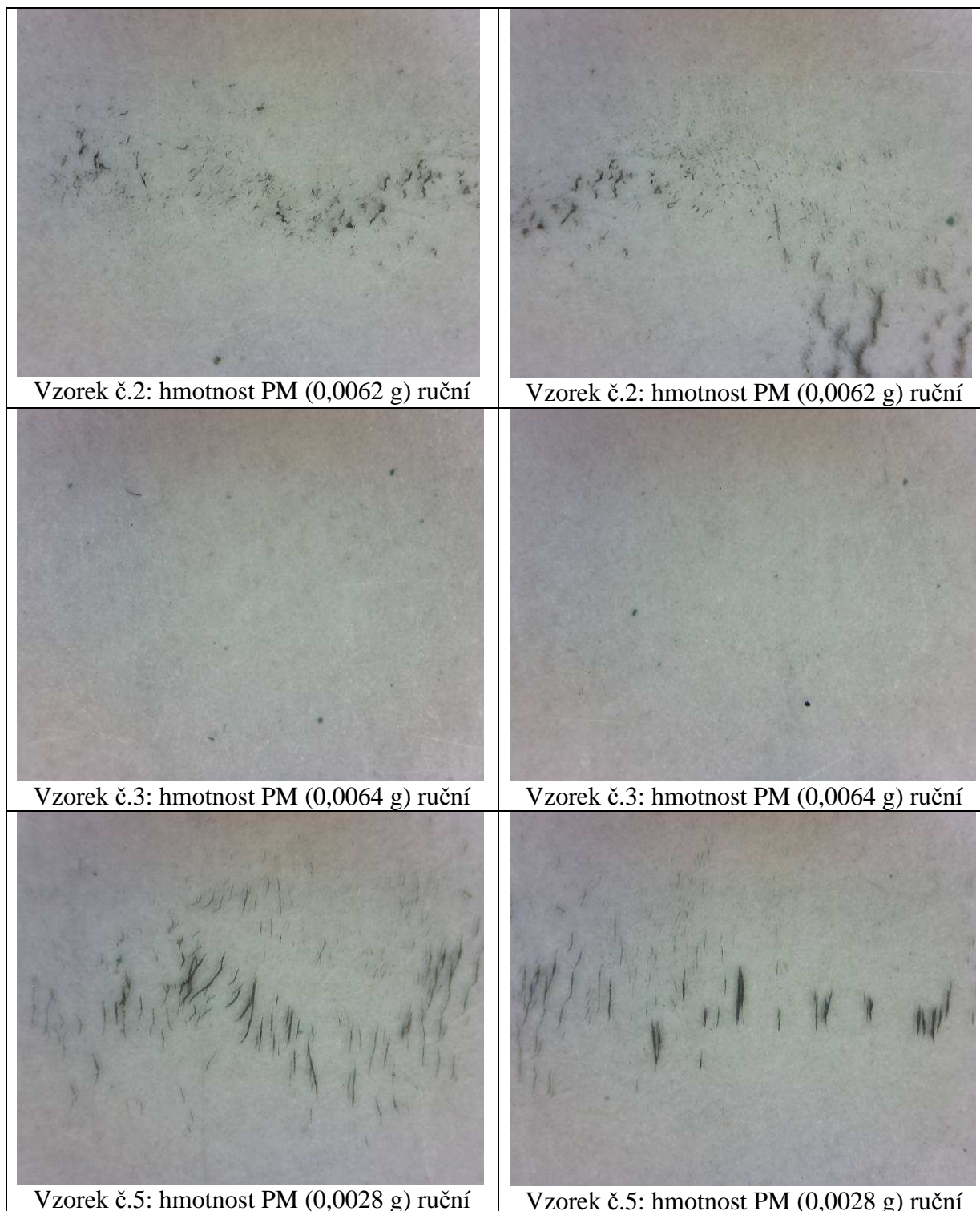
- 5) Velmi pomalé stlačování stříkačky a pouštění vzorku PM po plastové podložce.
- 6) Několikanásobné propláchnutí technickým benzínem z důvodu odplavení nečistot a mýdel.
- 7) Popsání a uložení ferrogramů do exsikátoru.



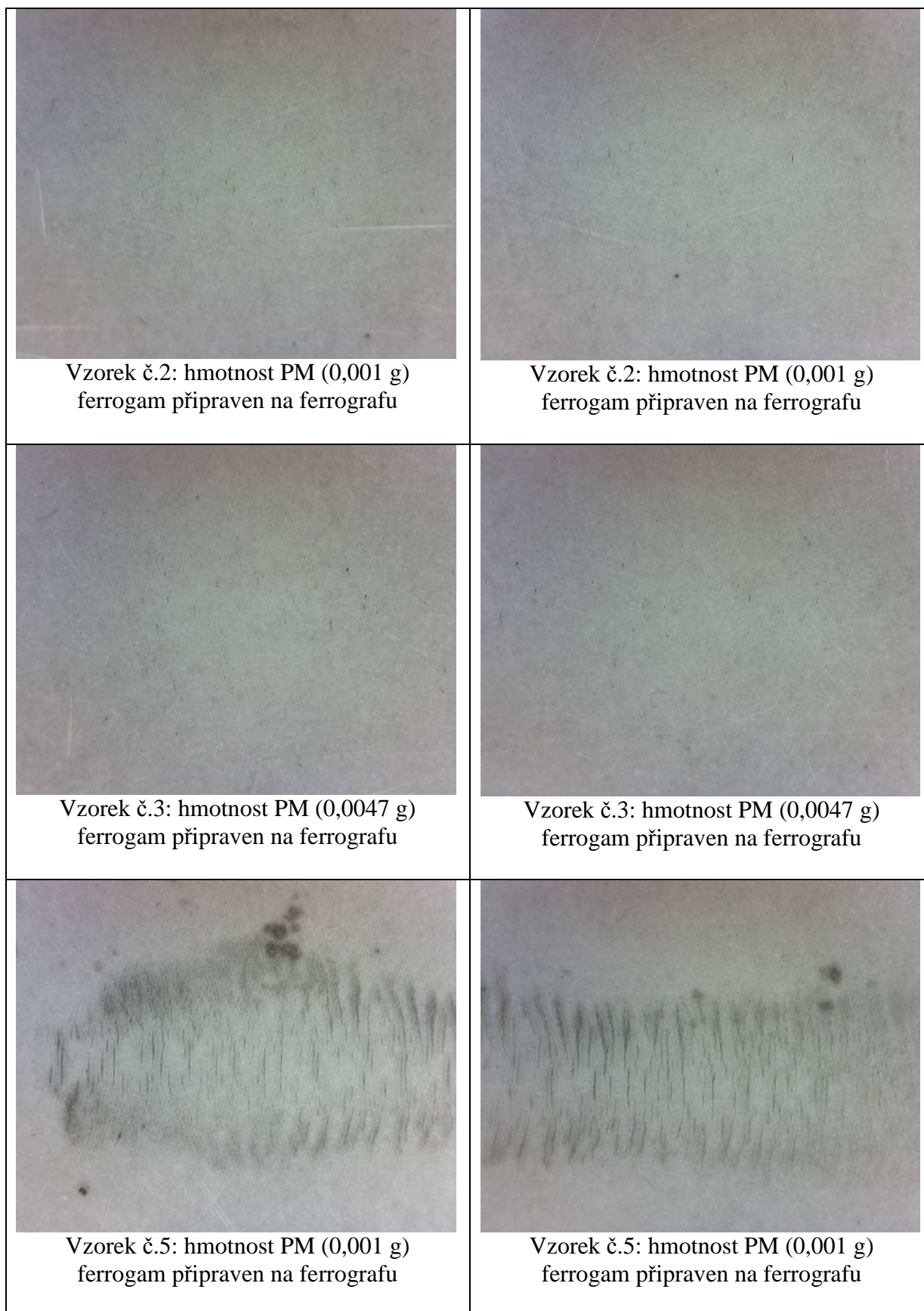
Obr. 42: Uspořádání ruční přípravy ferrogramu [vlastní foto]

3.4.4 VÝSLEDKY RUČNÍ FERROGRAFIE

Ruční ferrografie byla provedena na všech vzorcích PM. Pro porovnání byly USB mikroskopem zdokumentovány jak ruční ferrogramy tak ferrogramy (Obr. 43 a Obr. 44) připravené na ferrogramu REO.



Obr. 43: Snímky ručně připravených ferrogramů focené mikroskopem s USB připojením



Obr. 44: Snímky ferrogramů připravených pomocí ferrografu REO foceně mikroskopem s USB připojením

DÍLČÍ ZÁVĚR ANALYTICKÉ FERROGRAFIE:

Ve sledovaných olejích bylo ferrografií zjištěno, že nedochází k nijak závažnému opotřebování mazaných součástí. Na ferrogramech se vyskytují otěrové částice, které odpovídají standardnímu adhezivnímu opotřebením. Dosahují velikosti řádově několika mikrometrů a shlukují se v tzv. řetězcích, které jsou orientovány rovnoběžně se siločárami magnetického pole. Částice větších rozměrů se vyskytují jen ojediněle. Z ferrografické analýzy vyplývá, že motor vozidla DAF LF 45.220 (sledovaný během 8 postupných odběrů) je v dobrém technickém stavu, použitý motorový olej je správně zvolen a zcela vyhovuje náročnosti podmínek, ve kterých je provozován. V případě, že by provozovatel měl zájem na snížení provozních nákladů, bylo by možné přistoupit k mírnému prodloužení výměnné lhůty (výměnný interval oleje doporučený výrobcem je 40 000 km), ovšem při průběžné kontrole stavu oleje (vhodná je kombinace FTIR spektrometrie a ferrografie, doplněná např. kapkovou zkouškou).

U ferrografické analýzy vzorků plastických maziv bylo zjištěno významné znečištění kovovým otěrem, zejména velmi četný výskyt částic adhezivního otěru. Velké částice se vyskytují jen jednotlivě a zcela ojediněle – proto lze doporučit pouze pravidelné domazávání podle pokynů výrobce (podle potřeby spojené s výměnou části mazačí náplně).

Diskuze ke zjednodušenému ferrografickému postupu se semikvantitativním vyhodnocením je uvedena v závěru kap. 3.7.1.

3.5 ANALÝZA VZORKŮ METODOU INFRAČERVENÉ SPEKTROMETRIE

Metoda infračervené spektrometrie je určena především pro identifikaci a strukturní charakterizaci organických sloučenin a pro stanovení anorganických látek.

Principem metody je absorpce infračerveného záření při průchodu vzorkem, při níž dochází ke změnám rotačně vibračních energetických stavů molekul v závislosti na změnách dipólového momentu molekuly. Analytickým výstupem je infračervené spektrum, které je grafickým zobrazením funkční závislosti energie, většinou vyjádřené v procentech transmitance (T) nebo jednotkách absorpance (A) na vlnové délce (λ) dopadajícího záření.

PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ:

Spektrometr NICOLET IMPACT 400 D

TECHNICKÉ PARAMETRY:

- Spektrální rozsah	4000–600 cm^{-1}
- Spektrální rozlišení	1 cm^{-1}
- Poměr signálu k šumu	min. 35 000 : 1 (při rozlišení 4 cm^{-1} za 1 min.)
- Rychlost měření	1 scan/sec při rozlišení 4 cm^{-1}

- Počet scanů	64
- Justáž	manuální
- Vlnočtová přesnost	min. 0,01 cm^{-1} při 2 000 cm^{-1} bez matem. korekcí
- Ordinátová přesnost	min. 0,1% T
- Chlazení detektoru DTGS	vzduchem
- Optika	uzavřená a sušená
- ATR krystal ZnSe ve vaničkovém uspořádání	
- Software	OMNIC
- Kyveta	okénka BaF_2 , tloušťka 100 mikrometrů (Obr. 45)



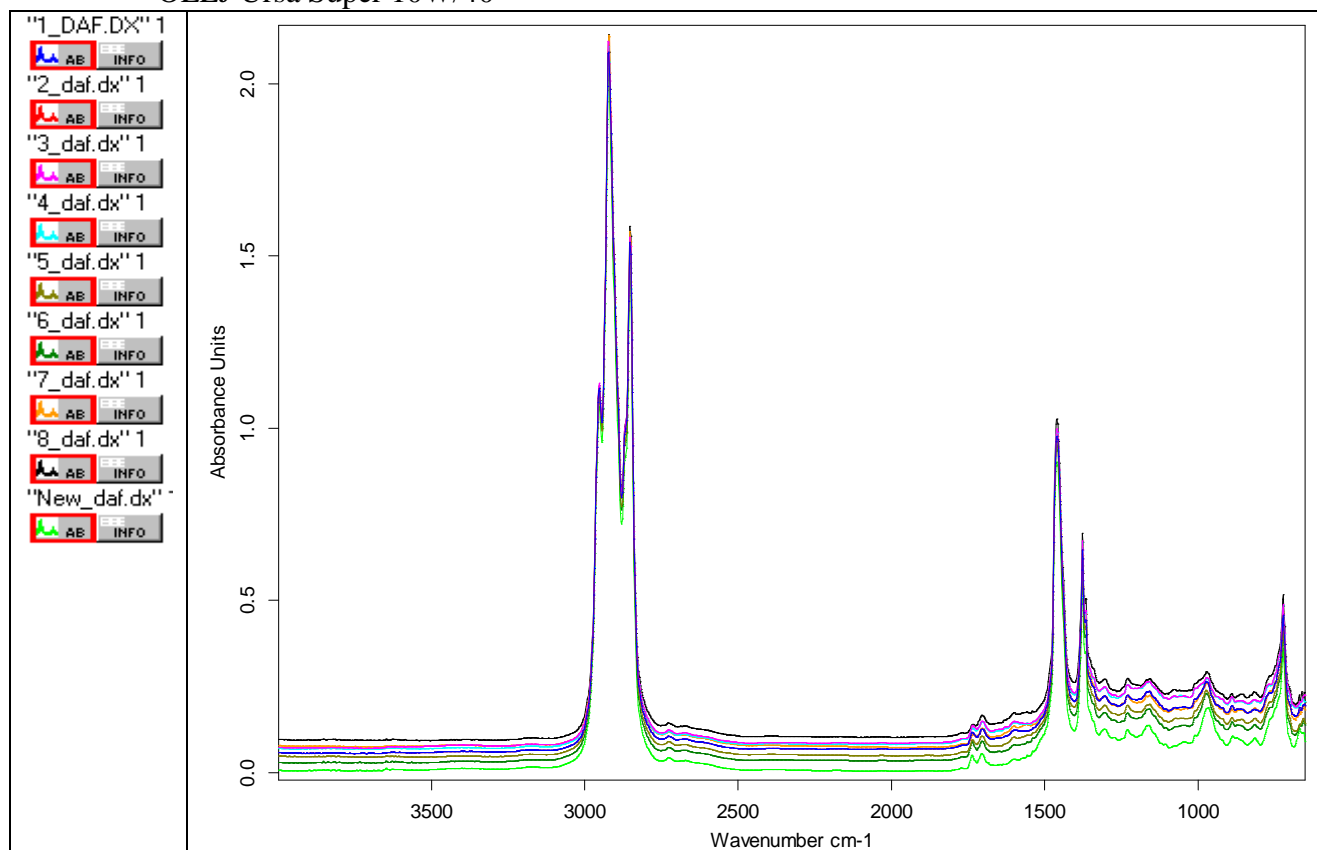
Obr. 45: Kyveta pro měření olejů [28]

POSTUP PŘI MĚŘENÍ FTIR SPEKTER:

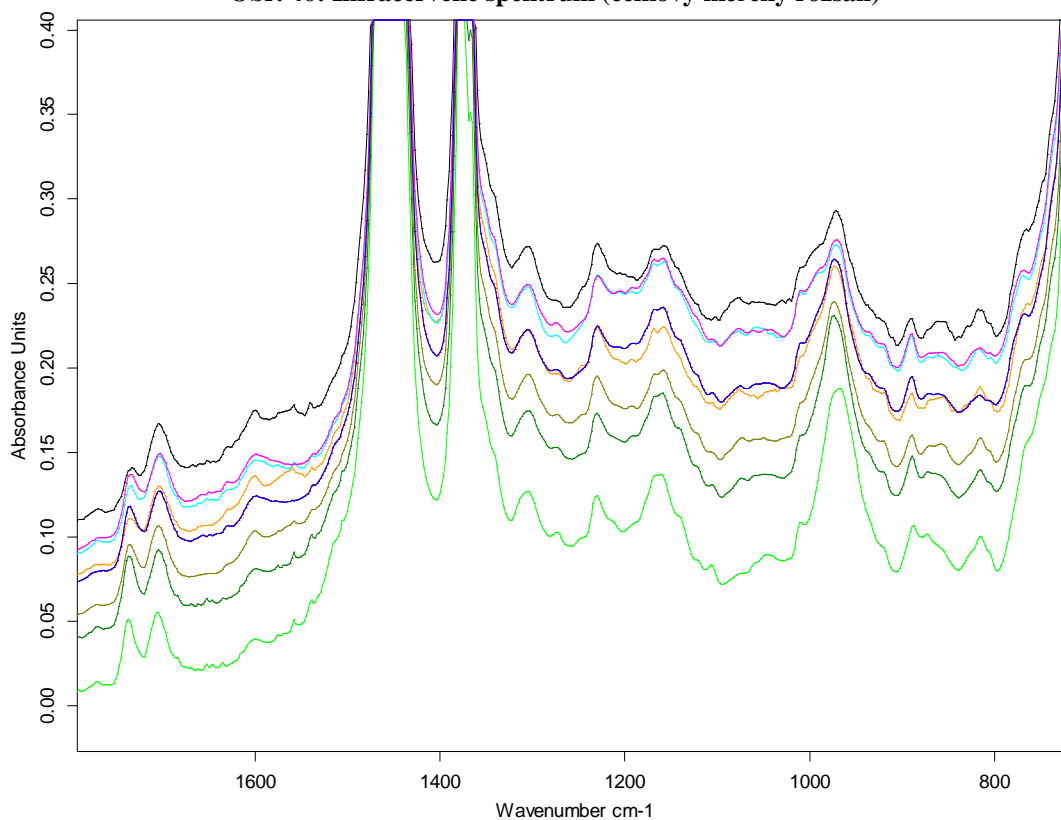
- 1) Zapnutí přístroje a dosažení stabilizovaného stavu.
- 2) Nastavení požadované měřicí metody – tím dojde k automatickému nastavení potřebných parametrů měření.
- 3) Očištění měřicího krystalu n-hexanem C_6H_{14} .
- 4) Vložení měřicího krystalu do přístroje.
- 5) Změření pozadí měřicího krystalu pomocí funkce COLLECT BACKGROUND v menu MEASUREMENT, čímž dojde k eliminaci nečistot na krystalu ze spektra měřeného vzorku.
- 6) Homogenizace vzorku.
- 7) Nanesení tenké souvislé vrstvy oleje, případně plastického maziva.
- 8) Vlastní změření spektra vzorku pomocí funkce COLLECT SAMPLE v menu MEASUREMENT.
- 9) Pojmenování spektra a jeho uložení.
- 10) Opětné očištění a omytí měřicího krystalu n-hexanem C_6H_{14} .
- 11) Příprava na měření dalšího vzorku.

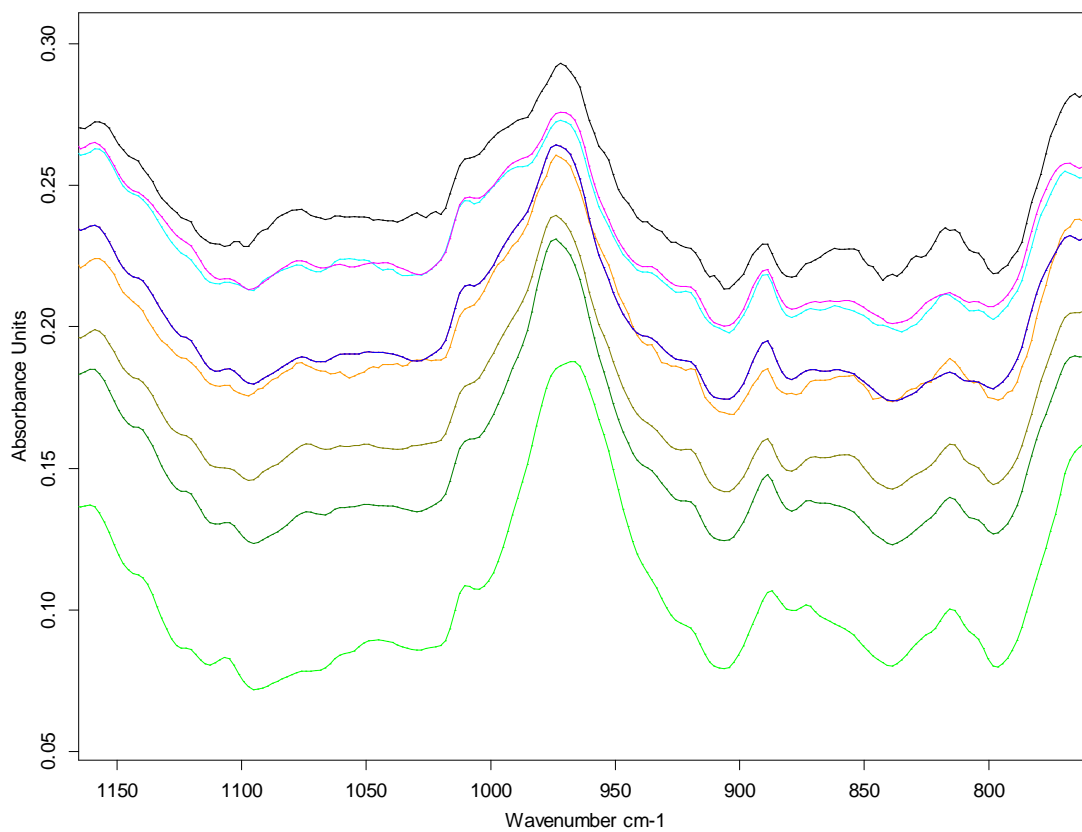
3.5.1 ÝSLEDKY INFRAČERVENÉ SPEKTROMETRIE

OLEJ Ursa Super 10W/40



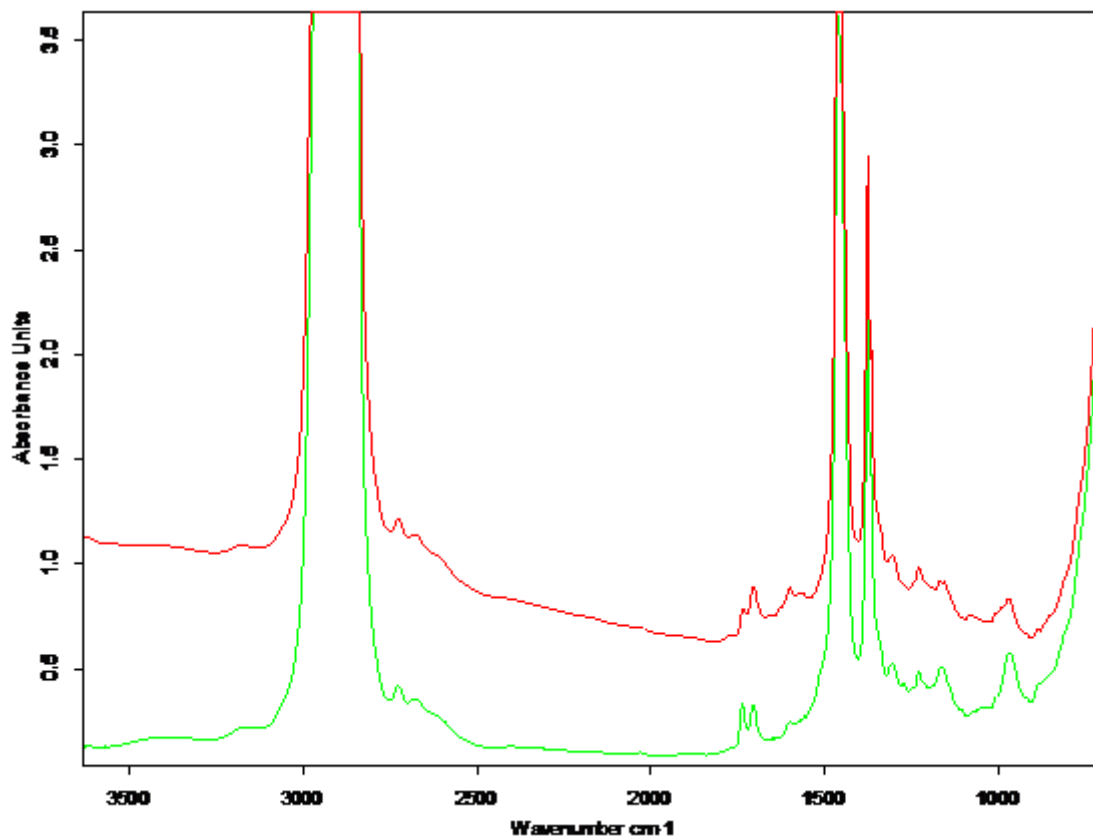
Obr. 46: Infračervené spektrum (celkový měřený rozsah)

Obr. 47: Infračervené spektrum (detail oblasti 1800 až 800 cm⁻¹)

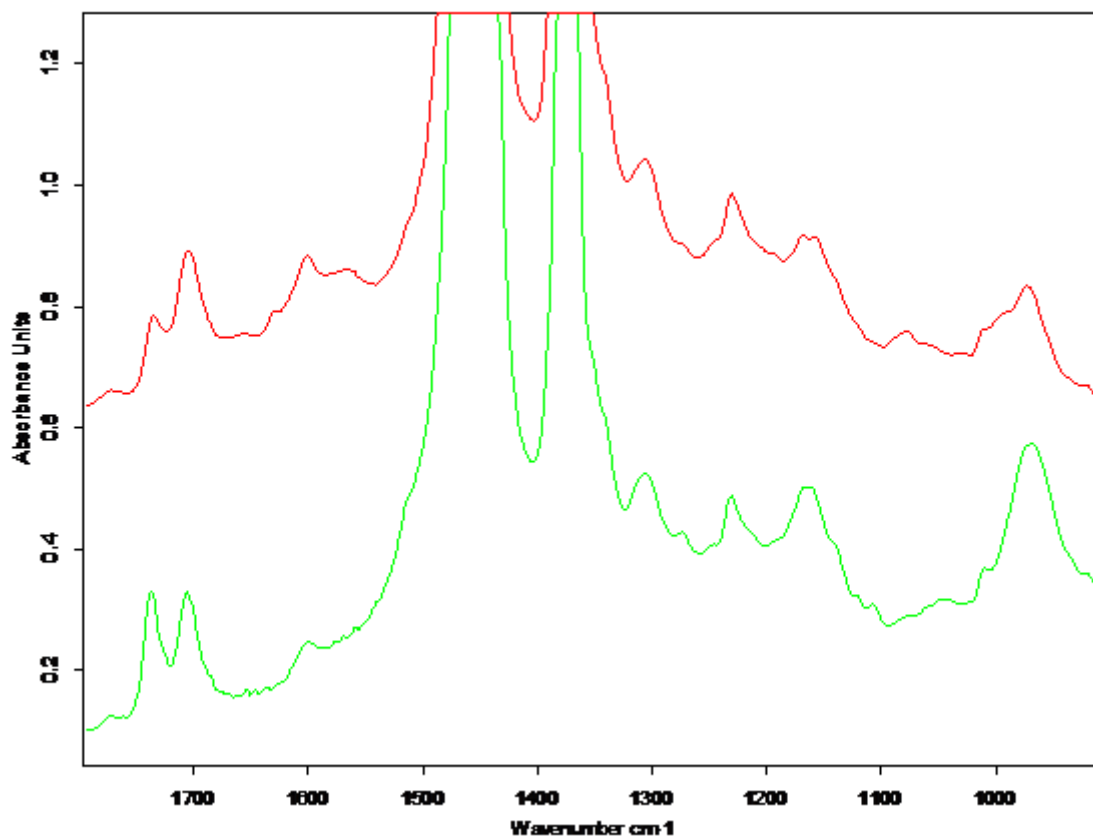


Obr. 48: Infračervené spektrum (detail oblasti 1150 až 800 cm⁻¹)

OLEJ Ursa Super 10w/40 měřený v kyteti

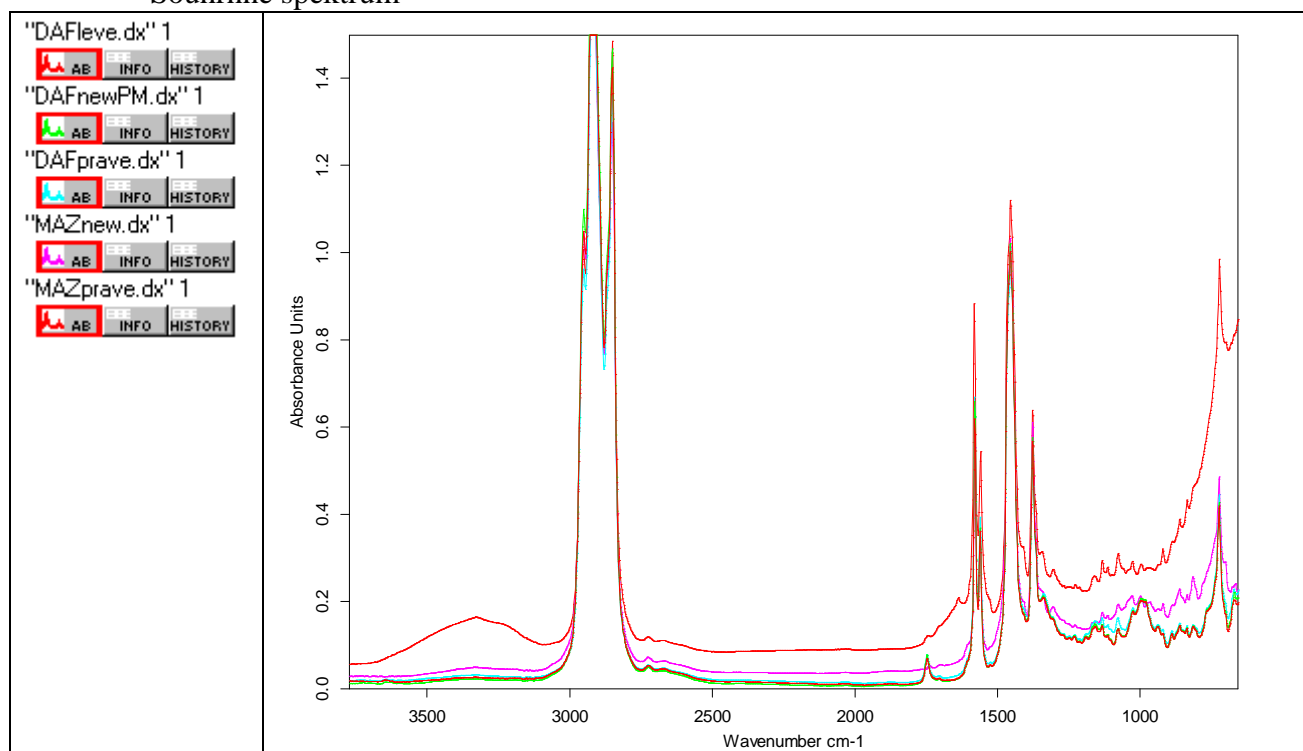


Obr. 49: Infračervené spektrum (detail oblasti 3500 až 1000 cm⁻¹)

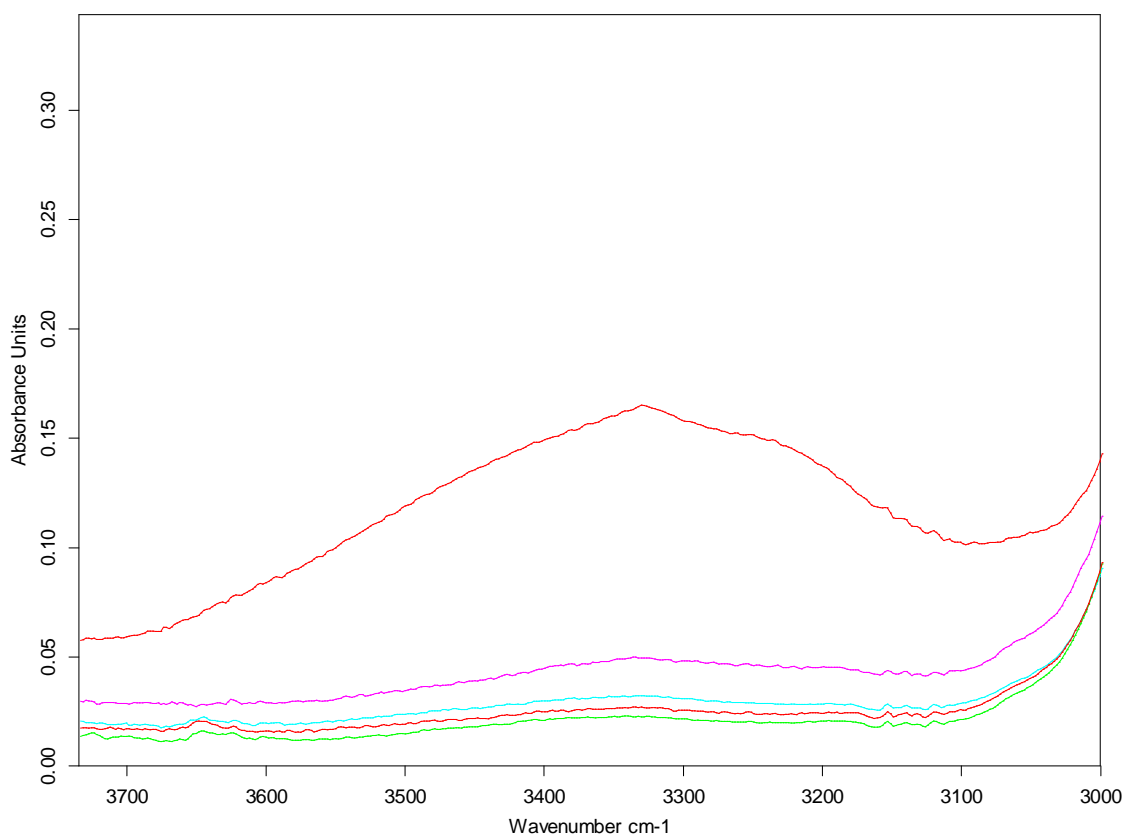
Obr. 50: Infračervené spektrum (detail oblasti 1800 až 900 cm^{-1})

PLASTICKÁ MAZIVA

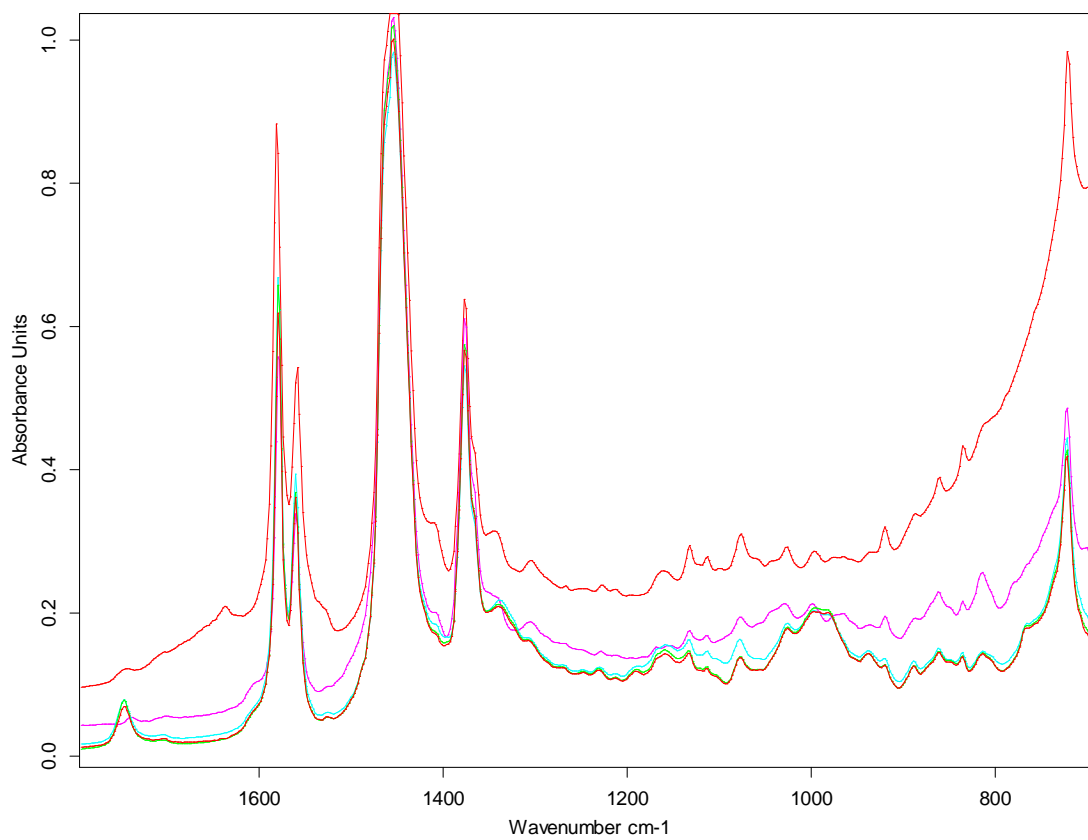
Souhrnné spektrum



Obr. 51: Infračervené spektrum (celkový měřený rozsah)

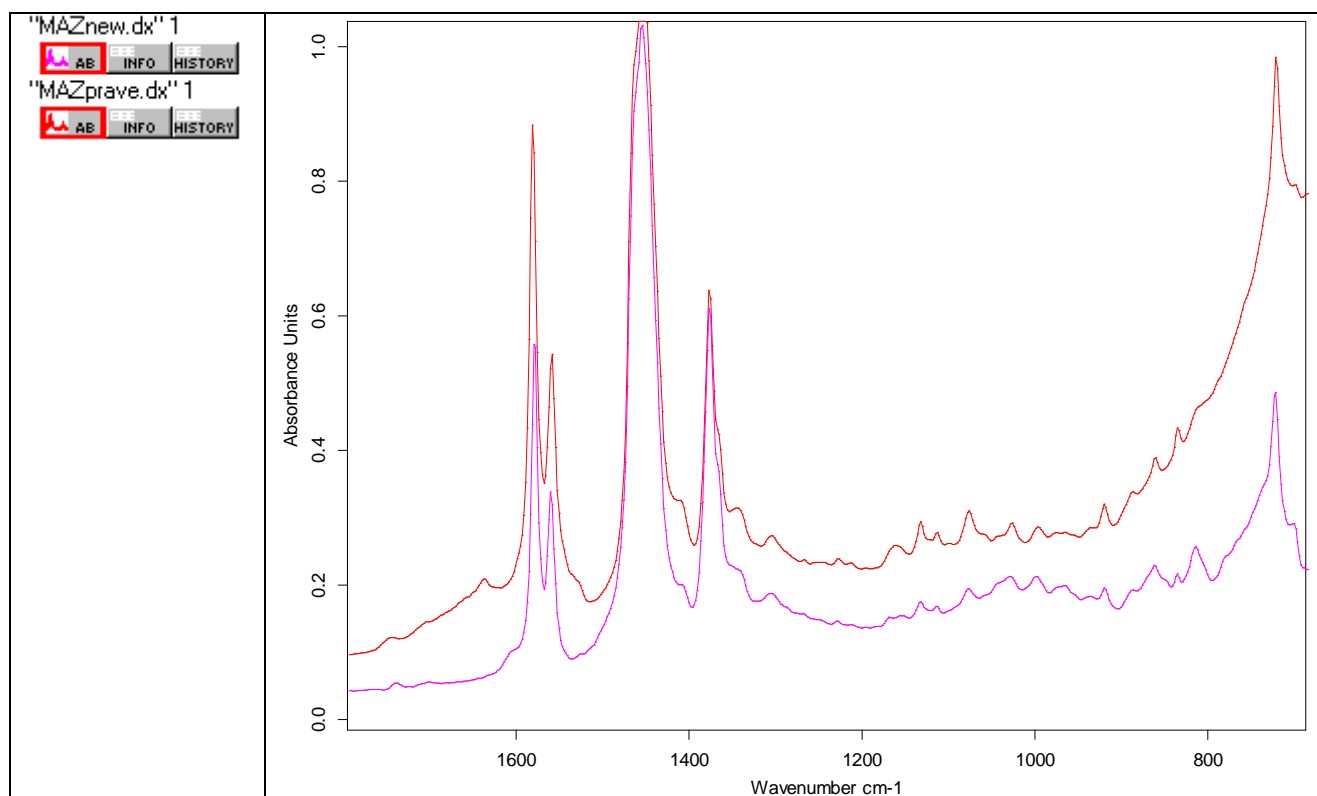
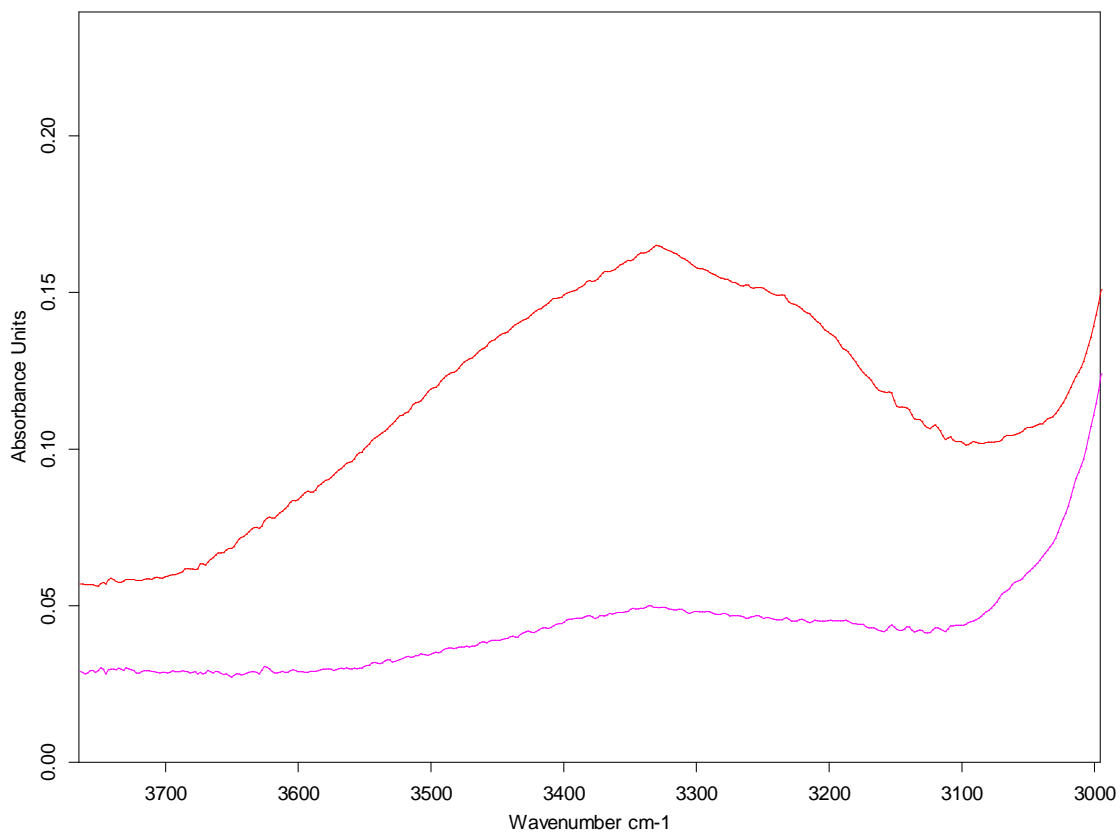


Obr. 52: Infračervené spektrum (detail oblasti 3700 až 3000 cm⁻¹)

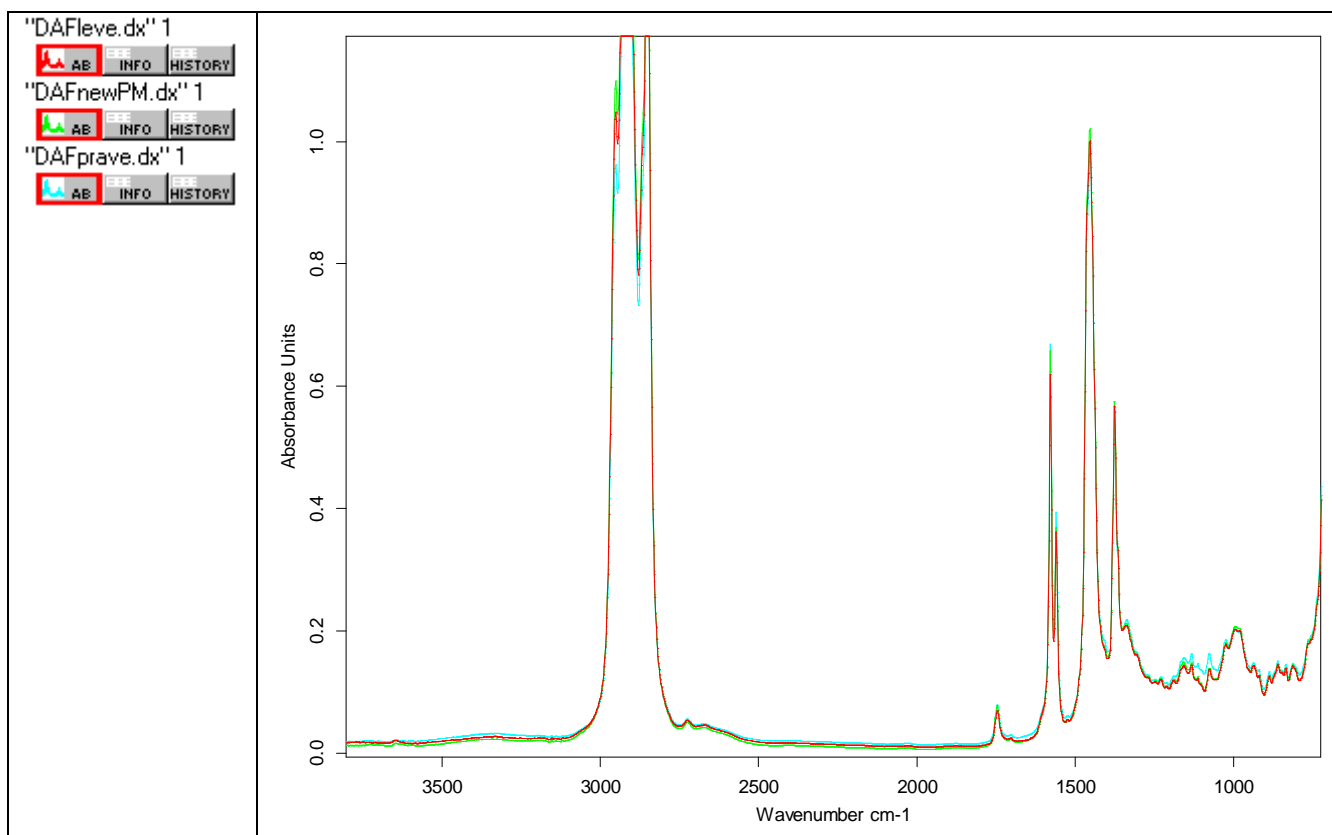


Obr. 53: Infračervené spektrum (detail oblasti 1700 až 700 cm⁻¹)

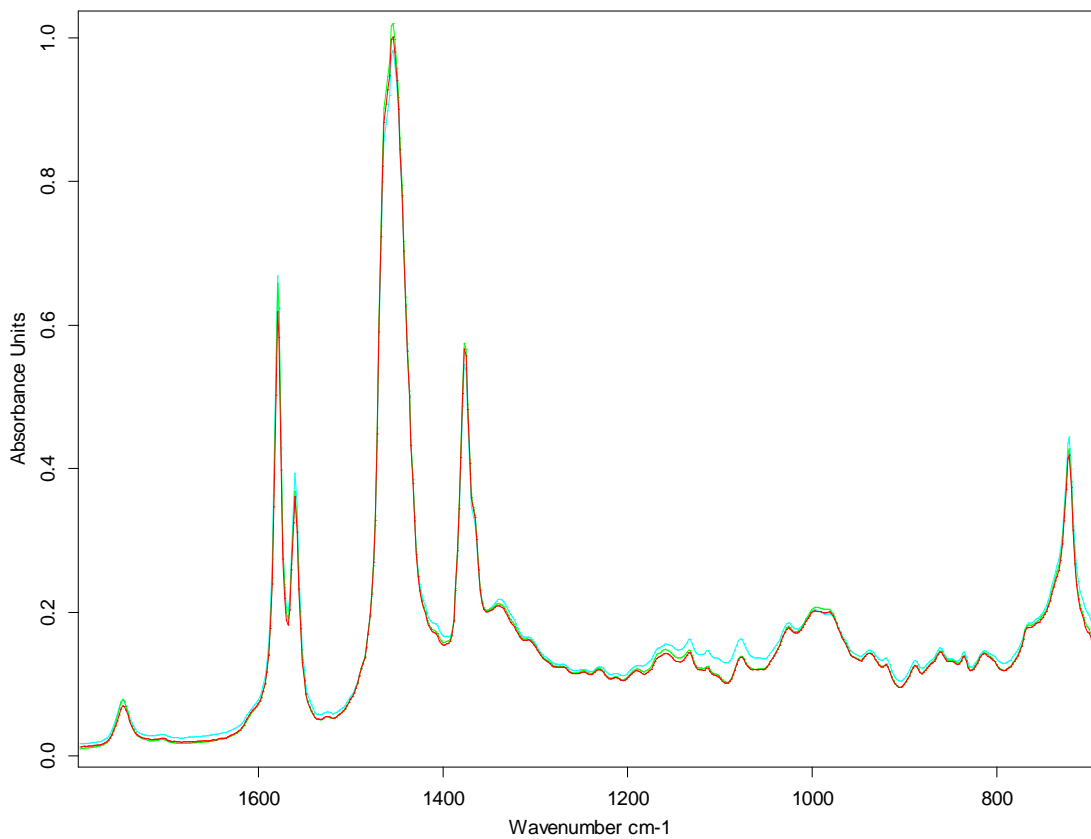
MAZDA E2200

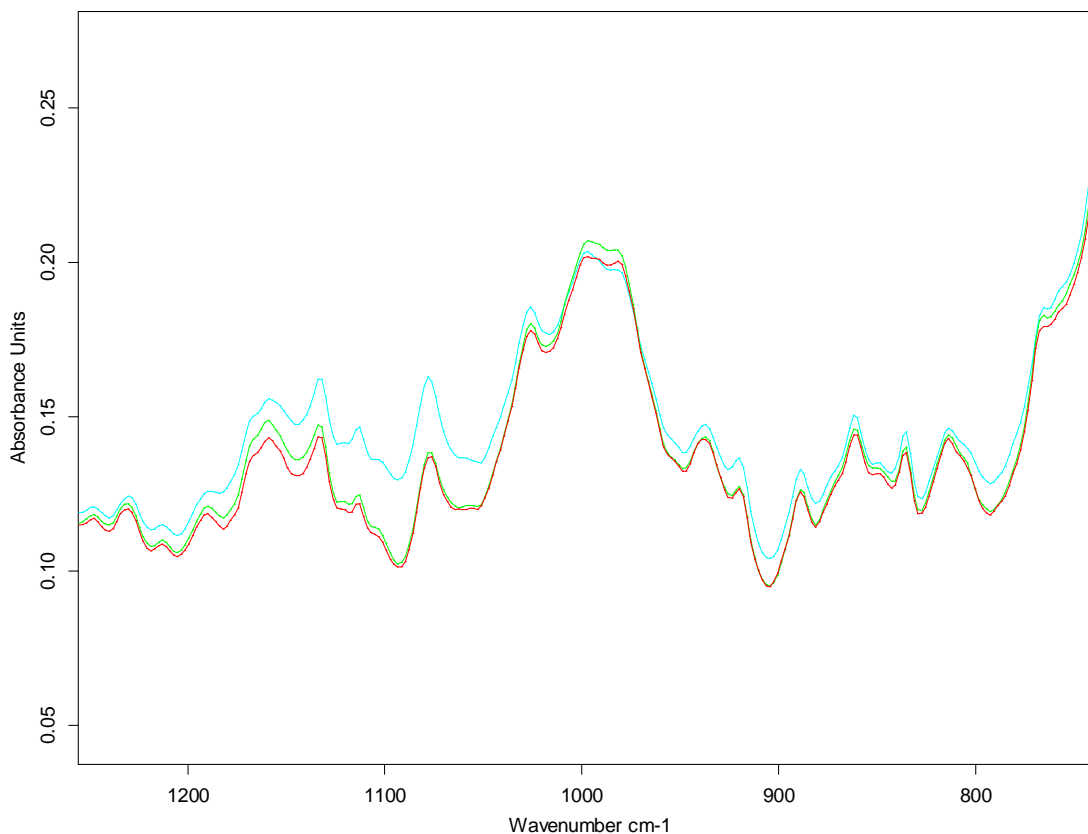
Obr. 54: Infračervené spektrum (detail oblasti 1700 až 700 cm^{-1})Obr. 55: Infračervené spektrum (detail oblasti 3700 až 3000 cm^{-1})

DAF LF



Obr. 56: Infračervené spektrum (celkový měřený rozsah)

Obr. 57: Infračervené spektrum (detail oblasti 1700 až 700 cm⁻¹)



Obr. 58: Infračervené spektrum (detail oblasti 1200 až 800 cm^{-1})

DÍLČÍ ZÁVĚR:

a) Motorový olej Ursa Super

Cílem této části experimentálních prací bylo posoudit stav vzorků motorového oleje postupně odebírané ze sledovaného vozidla DAF.

Na základě analýzy infračervených spekter (Obr. 46 až Obr. 50) je možno konstatovat, že během sledovaného období nedošlo k významnější degradaci či kontaminaci oleje.

- Koncentrace protioděrových aditiv je dostatečná (hodnotí se v oblasti vlnočtu kolem 960 cm^{-1}), olej tedy dobře plní svoji ochrannou funkci; během provozu došlo ve srovnání s novým olejem jen k nepatrnému poklesu obsahu aditiv. Výměnný interval je správně stanoven a provozovatelem dodržován.
- V žádném ze vzorků nebylo prokázáno závažné snížení obsahu vysokoteplotních antioxidantů ($1180\text{--}1120 \text{ cm}^{-1}$), ani průnik paliva (oblast $815\text{--}750 \text{ cm}^{-1}$).
- Jednotlivé vzorky motorových olejů nevykazují ani v jednom případě nadměrnou kontaminaci sloučeninami dusíku (projevila by se ostrým píkem na vlnočtu cca $1610\text{--}1630 \text{ cm}^{-1}$), která by mohla být způsobena profukem spalných plynů do prostoru klikové skříně netěsnostmi mezi pístem a válcem.
- Nebyl prokázán nález plochého píku v oblasti $3300\text{--}3600 \text{ cm}^{-1}$ ani trojice píků na vlnočtu 880 , 1040 a 1080 cm^{-1} signalizující průnik vody resp. chladicí kapaliny na bázi glykolů do mazacího systému.

- Pouze u posledního z odebraných vzorků (odpovídá proběhu 40 000 km) došlo k mírnému poklesu absorpance píku 1737 cm^{-1} . Lze usuzovat na částečný rozklad modifikátorů viskozity (vlnočet odpovídá skupině $=\text{C}=\text{O}$), jehož příčinou je dlouhodobé intenzivní mechanické namáhání oleje a následná destrukce polymeru. Důsledkem je zhoršení viskozitního indexu a pokles vysokoteplotní viskozity, tedy zhoršení mazání při vysokých provozních teplotách. V tomto případě však nejde o havarijní situaci – snížení píku je cca na polovinu, zůstává tedy dostatečná rezerva přísady.
- Žádný ze vzorků nevykazuje enormně zvýšený obsah sazí, který by se projevil celkovým posunem spektra směrem k vyšším hodnotám absorpance. Saze a karbon způsobují vyšší absorpci infračerveného záření vzorkem (sleduje se v oblasti kolem 2000 cm^{-1} , kde se u olejů ve spektru nevyskytují žádné píky či pásy).

Vzhledem k nepatrným změnám ve složení vzorků oleje byla analýza metodou ATR doplněna u vzorku 8 (u kterého lze předpokládat největší projevy degradace) měřením spektra v kyvetě (okénka BaF_2). Tato metoda obecně poskytuje spektra s lepším poměrem signál/šum, v nichž je možné identifikovat a kvantifikovat případné změny, které jsou při měření na krystalu ZnSe málo výrazné. Z hodnocení kyvetových spekter však vyplývají stejné závěry jako ze spekter získaných metodou ATR.

b) Plastická maziva

Cílem této části experimentálních prací bylo posoudit stav vzorků plastických maziv z uložení kol přední nápravy dodávkových automobilů DAF LF 45.220 (levé i pravé kolo) a Mazda E2200 AWD (pravé kolo).

Na základě analýzy infračervených spekter (Obr. 51 až Obr. 58) je možno konstatovat, že mezi spektrem nového maziva a vzorků odebraných během provozu vozidla DAF nejsou významné rozdíly, projevila se pouze velmi mírně zvýšená celková absorpance (posun spektra) u vzorku z pravého kola; souvisí pravděpodobně s náhodnou kontaminací z vnějšího prostředí. Plastické mazivo je zvoleno správně, nedochází v něm k degradaci.

U vozidla Mazda je ze spektra (Obr. 55) zřejmá velmi výrazná změna při srovnání vzorku z provozu a vzorku nového maziva: široký pás ($\sim 3700\text{--}3100$) s vrcholem na vlnočtu 3327 cm^{-1} odpovídá přítomnosti vody. Jedná se pravděpodobně o vnější kontaminaci, která je však z provozního a bezpečnostního hlediska velmi nebezpečná – může dojít k rozkladu aditiv případně k vymytí části náplně plastického maziva. Vzhledem k tomu, že typ maziva není znám, nelze specifikovat konkrétní procesy způsobené vniknutím vody. Nejedná se o vodu, vázanou jako strukturní součást maziva – pro tento typ maziv (vápenatá) je typický nízký bod skápnutí; pro použití v uložení nápravy by proto nebylo vhodné.

3.6 ANALÝZA OLEJOVÝCH FILTRŮ

PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ:

Ultrazvuková lázeň BANDELIN SONOREX

TECHNICKÉ PARAMETRY:

- Napájení 220 V/50 Hz
- Příkon 320 W
- Pracovní frekvence 35 kHz
- Odběr proudu 1 A

Rastrovací elektronový mikroskop

POSTUP PŘI SEPARACI ČÁSTIC Z OLEJOVÝCH FILTRŮ:

- 1) Vyjmutí filtrační vložky z tělesa filtru. Aby se nedostaly do tělesa filtru částice kovového obalu při demontáži, byl pro demontáž použit speciální, k tomuto účelu určený přípravek [25].
- 2) Rozdělení filtrační vložky na části o rozměrech cca 1×1 cm. Z důvodu možného poškození částic zachycených filtrační vložkou nelze filtrační vložku dělit nůžkami nebo nožem a je nutno ji trhat ručně.
- 3) Vložení natrhaných kousků filtrační vložky do skleněné nádoby.
- 4) Zalití směsí technického benzínu a petroleje v poměru 1 : 1.
- 5) Ponechání v nádobce za občasného promíchání po dobu cca 1 týdne.
- 6) Vložení nádoby s natrhanou filtrační vložkou do ultrazvukové lázně a za působení ultrazvuku ponechána v lázni cca 2 hod.
- 7) Vyjmutí z lázně a postupné odstraňování jednotlivých kousků filtrační vložky.
- 8) Vylití rozpouštědla z nádoby za současného přiložení silného magnetu ke dnu nádoby.
- 9) Několikanásobné propláchnutí na dně usazených částic technickým benzínem a naposledy diethyleterem.
- 10) Umístění částic na grafitové podložky.
- 11) Označení grafitových podložek a umístění do exsikátoru.



Obr. 59: Ultrazvuková lázeň BANDELIN SONOREX [26]

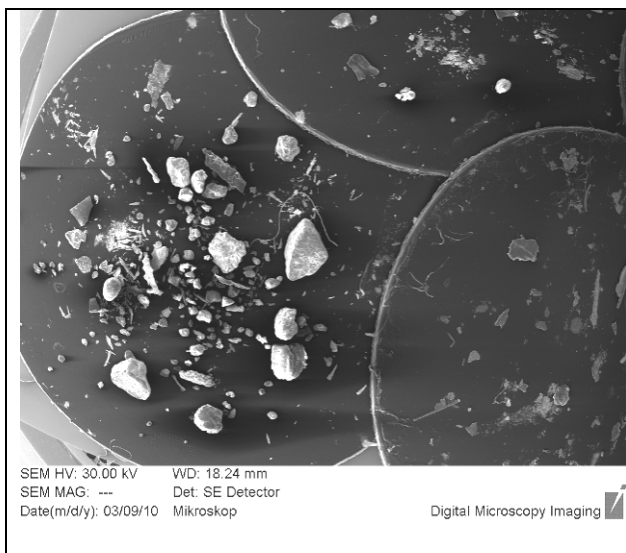


Obr. 60: Vyjmutí filtrační vložky za pomoci speciálního přípravku [25]

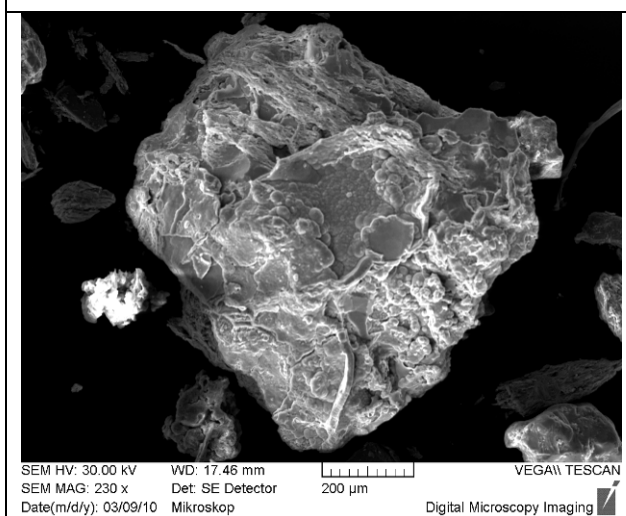
3.6.1 VÝSLEDKY ANALÝZY OLEJOVÝCH FILTRŮ

Částice vyseparované ze dvou olejových filtrů (vozidlo DAF LF – kap. 3.1) byly analyzovány pomocí REM s energiově disperzním analyzátozem. Postup separace částic je podrobně popsán v kap. 3.6. Pro základní orientační pozorování v REM bylo použito zobrazení FISH EYE, pro další pozorování při vyšších zvětšení zobrazení RESOLUTION. Na Obr. 61 až Obr. 125 jsou uvedeny vybrané snímky; kompletní fotodokumentace je vzhledem k velkému objemu obrazových dat připojena na DVD, přiloženém ke svázaným výtiskům práce.

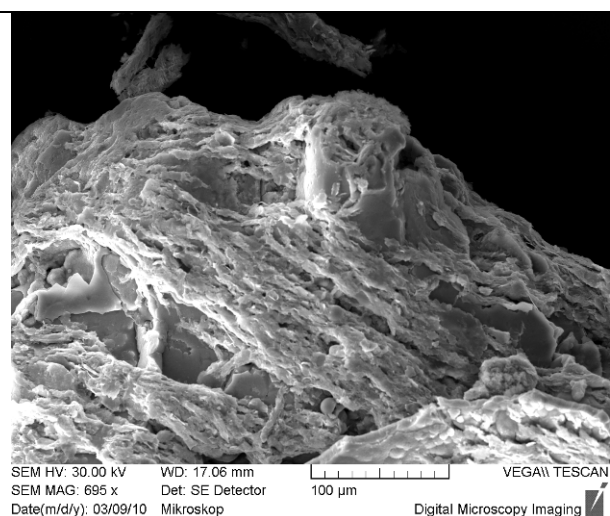
- filtr č.1: stav tachometru 240 000 km
- filtr č.2: stav tachometru 280 000 km



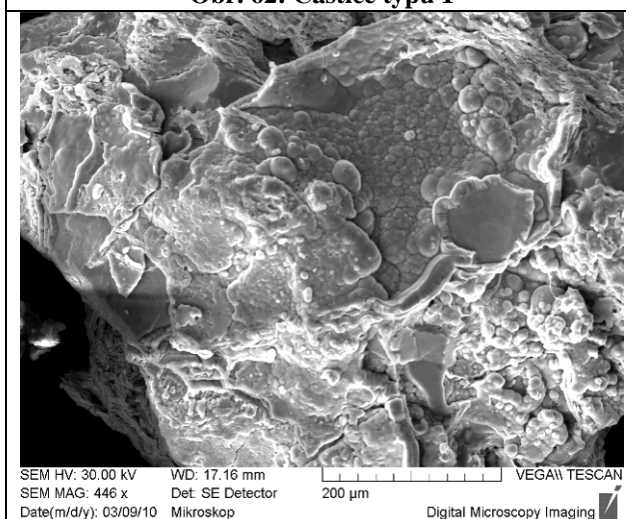
Obr. 61: Částice izolované z filtru č. 1 (DAF LF) umístěné na grafitové podložce č. 1 – celkový pohled (zobrazovací režim fish-eye)



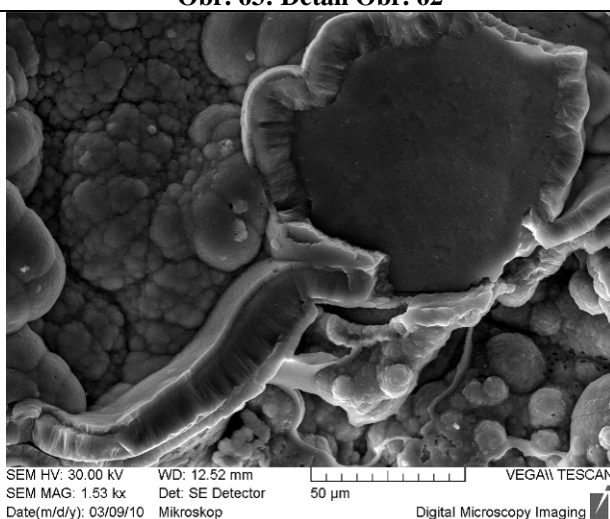
Obr. 62: Částice typu 1



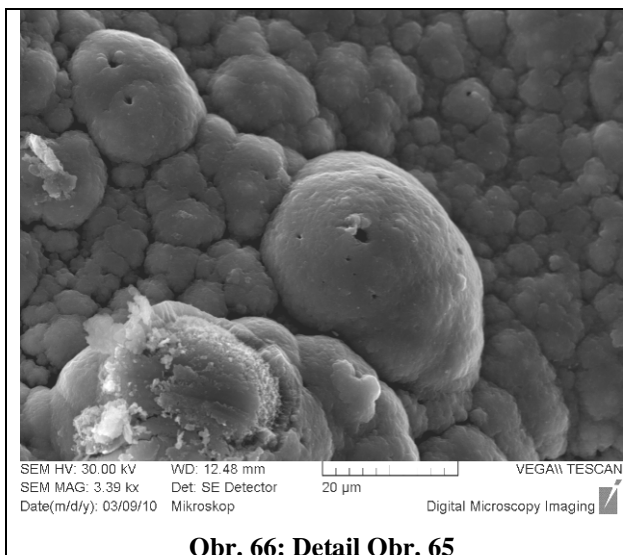
Obr. 63: Detail Obr. 62



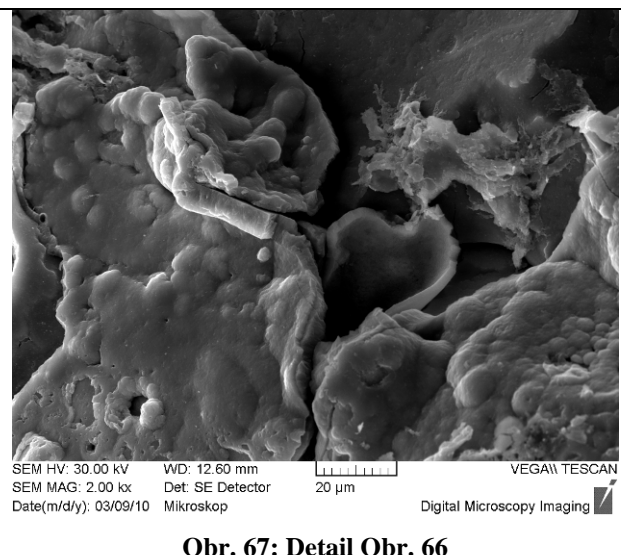
Obr. 64: Detail Obr. 63



Obr. 65: Detail Obr. 64

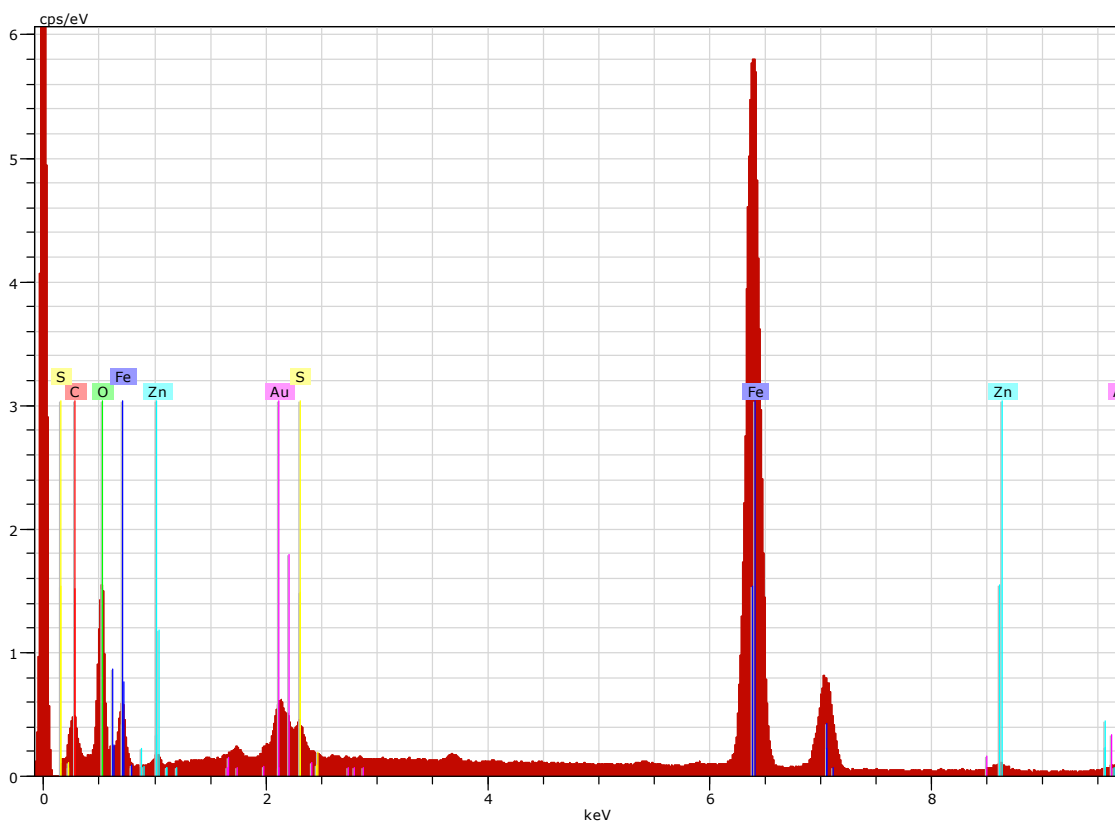


Obr. 66: Detail Obr. 65



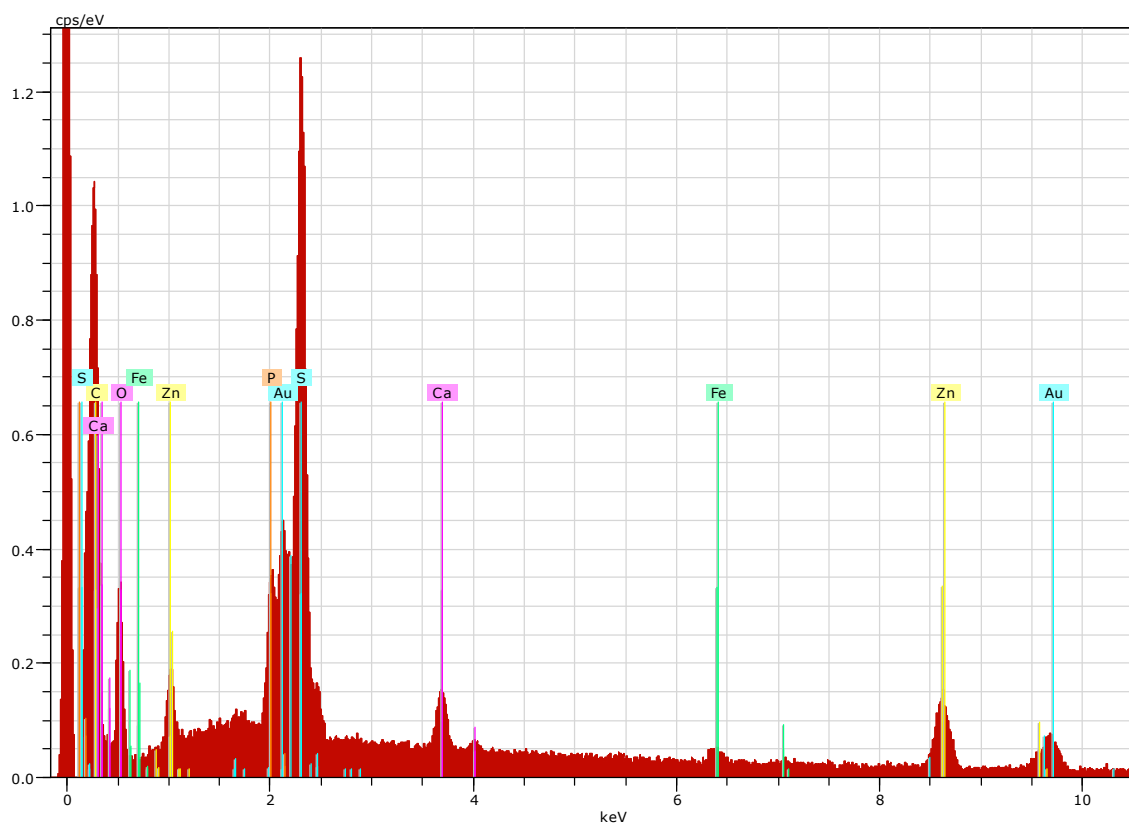
Obr. 67: Detail Obr. 66

EDX spektrum částice typu 1 (k Obr. 62)

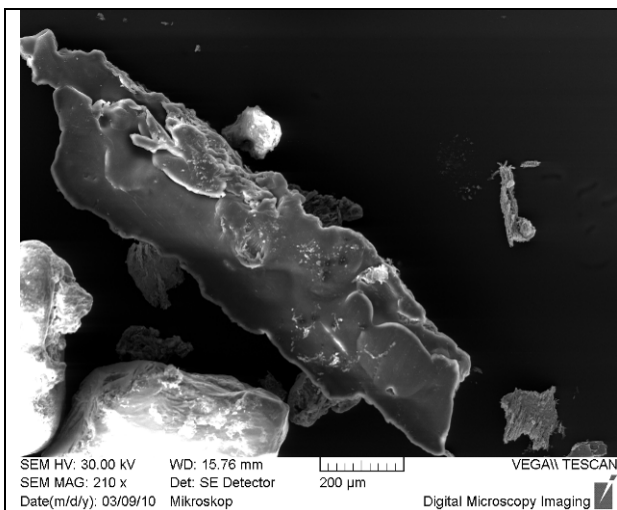


El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
C	6	K-series	6,34	7,01	16,38	0,9
O	8	K-series	27,90	30,82	54,09	3,6
S	16	K-series	1,00	1,11	0,97	0,1
Fe	26	K-series	49,11	54,25	27,28	1,3
Zn	30	K-series	0,98	1,08	0,46	0,1
Au	79	L-series	5,18	5,72	0,82	0,2
Total:			90,52	100,00	100,00	

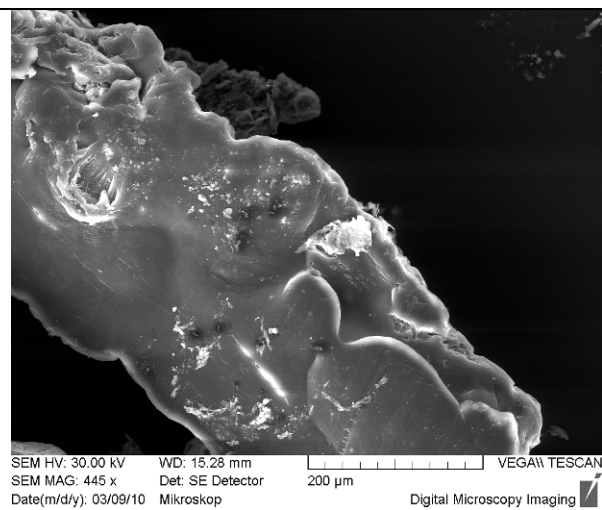
EDX spektrum artefaktů na povrchu částice typu 1 (k Obr. 65, Obr. 66, Obr. 67)



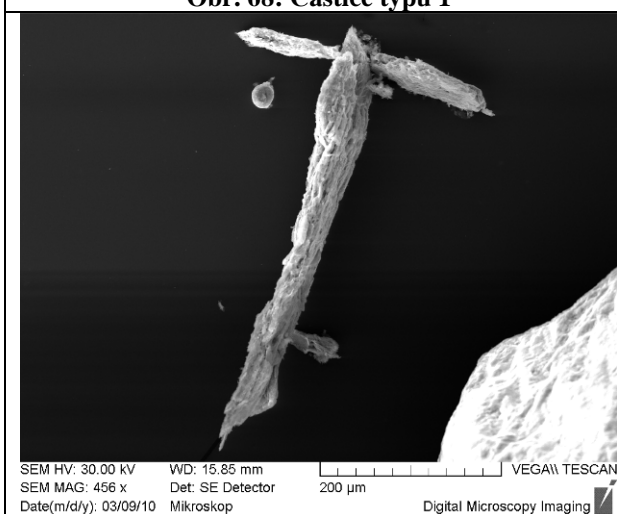
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
C	6	K-series	21,81	21,81	30,08	7,7
O	8	K-series	63,02	63,02	65,24	21,5
P	15	K-series	1,15	1,15	0,61	0,1
S	16	K-series	5,11	5,11	2,64	0,2
Ca	20	K-series	0,53	0,53	0,22	0,0
Fe	26	K-series	0,27	0,27	0,08	0,0
Zn	30	K-series	2,67	2,67	0,68	0,1
Au	79	L-series	5,45	5,45	0,46	0,3
Total:			100,00	100,00	100,00	



Obr. 68: Částice typu 1



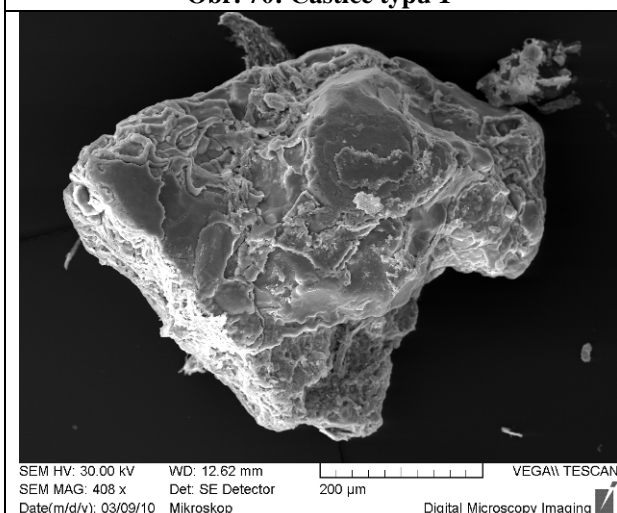
Obr. 69: Detail Obr. 68



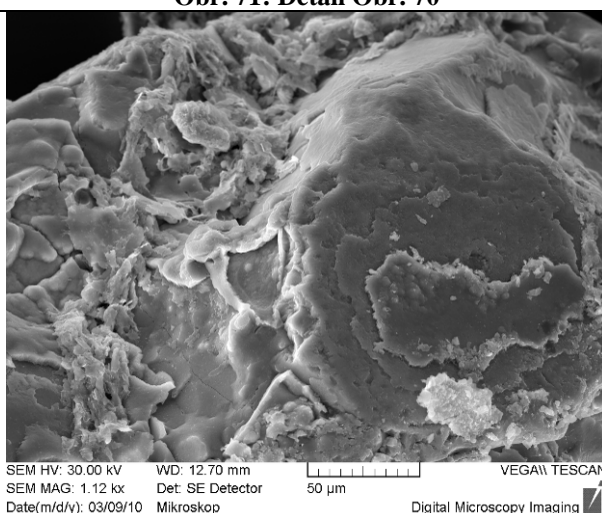
Obr. 70: Částice typu 1



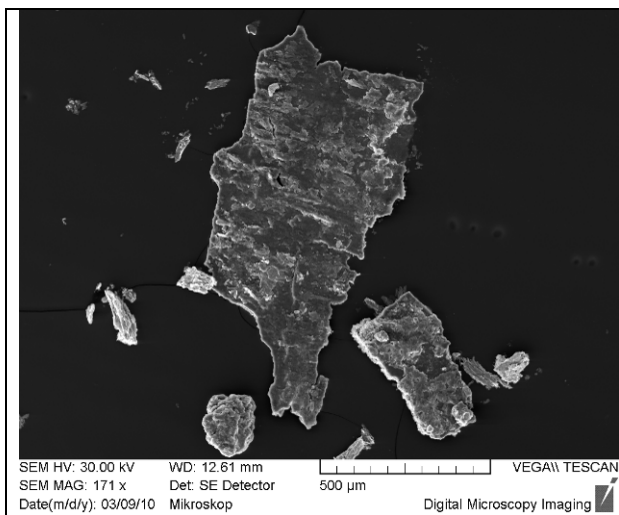
Obr. 71: Detail Obr. 70



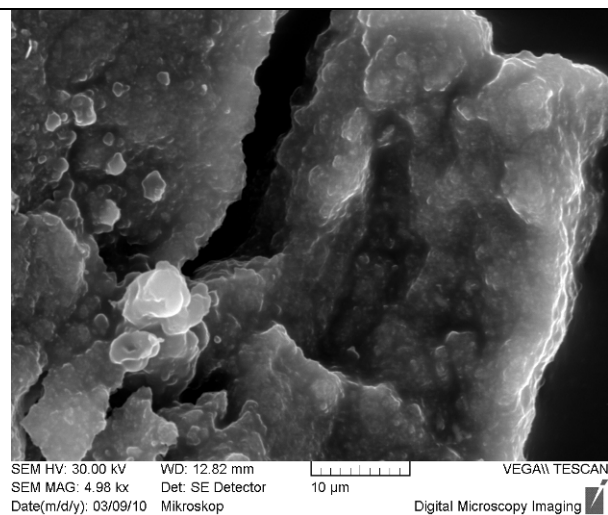
Obr. 72: Částice typu 1



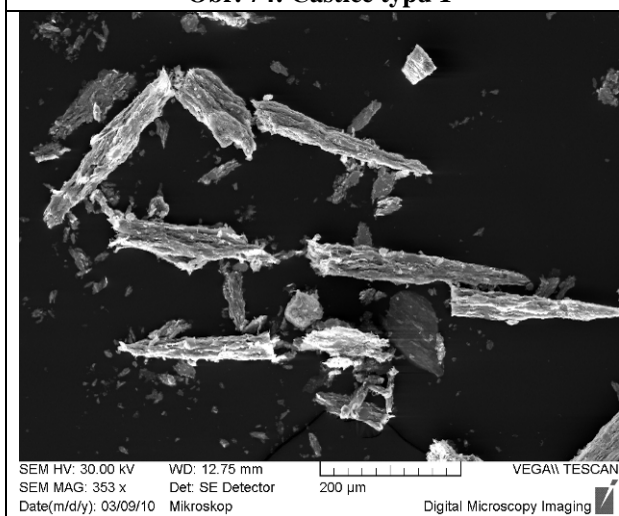
Obr. 73: Obr. 72



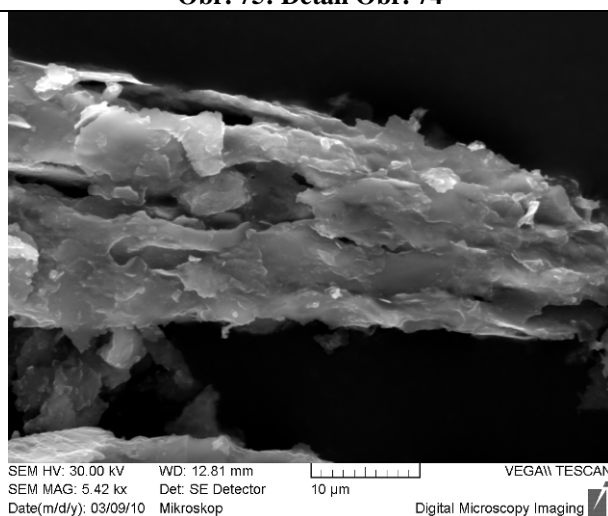
Obr. 74: Částice typu 1



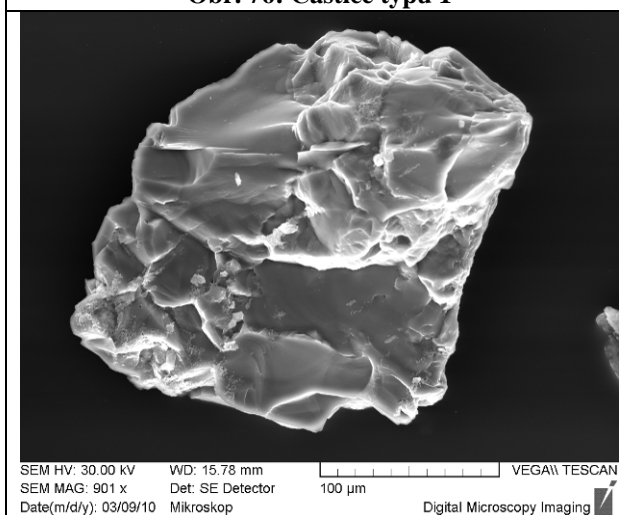
Obr. 75: Detail Obr. 74



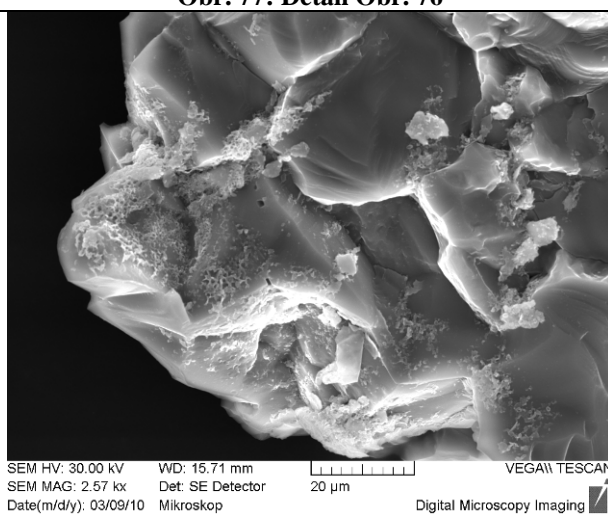
Obr. 76: Částice typu 1



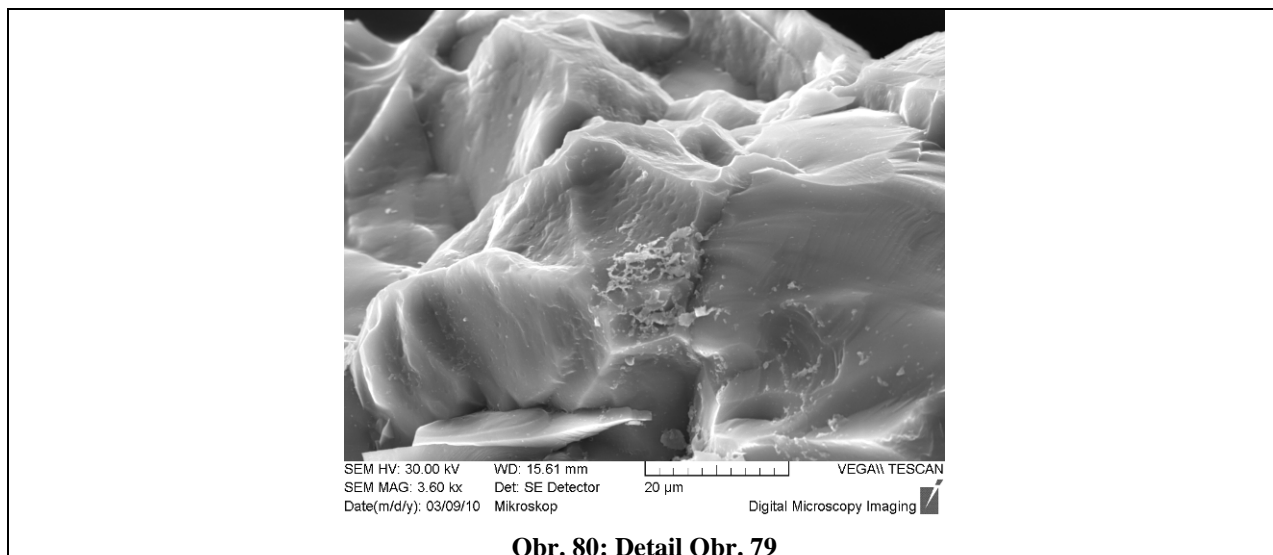
Obr. 77: Detail Obr. 76



Obr. 78: Částice typu 2

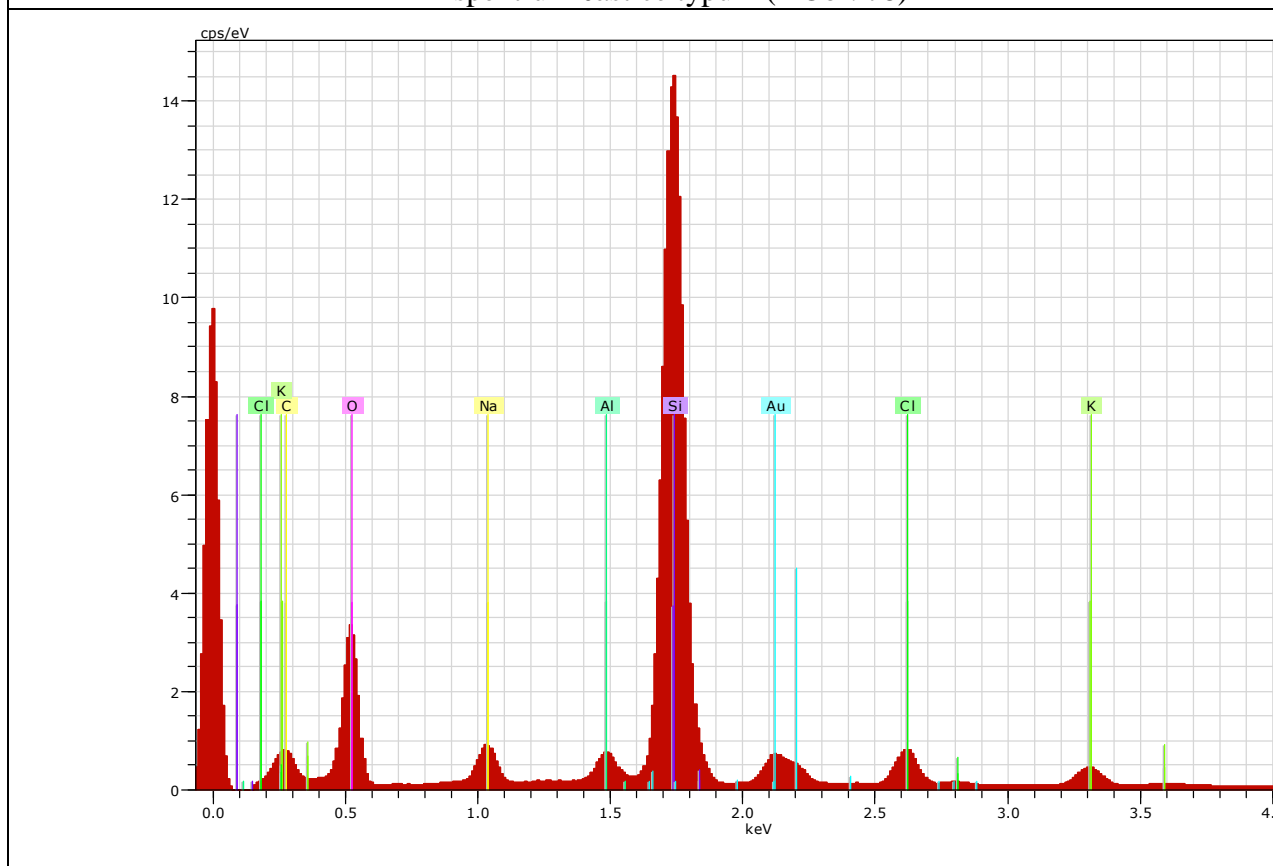


Obr. 79: Detail Obr. 78

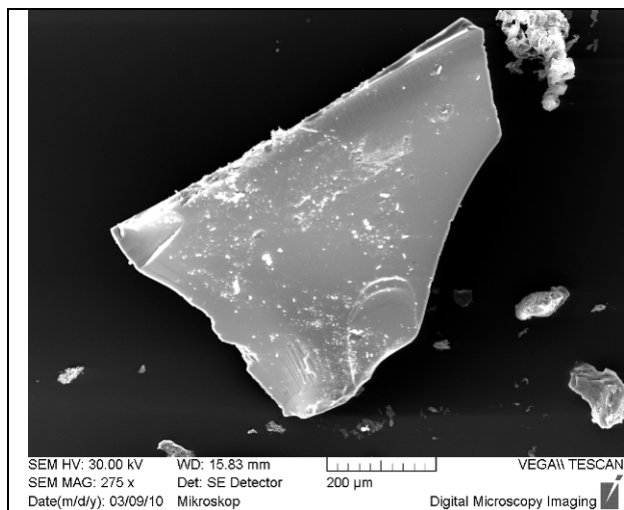
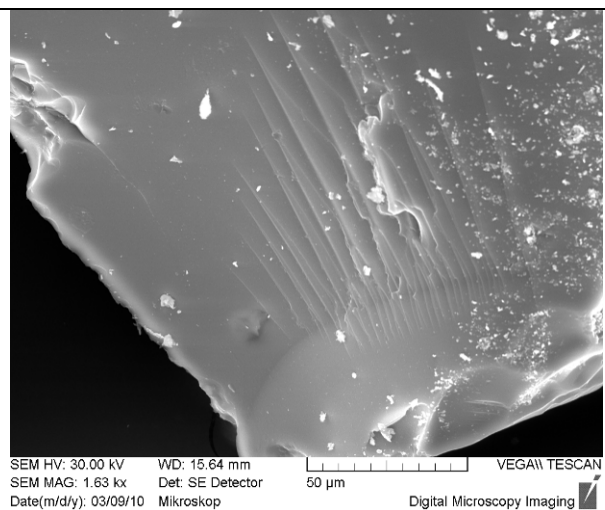
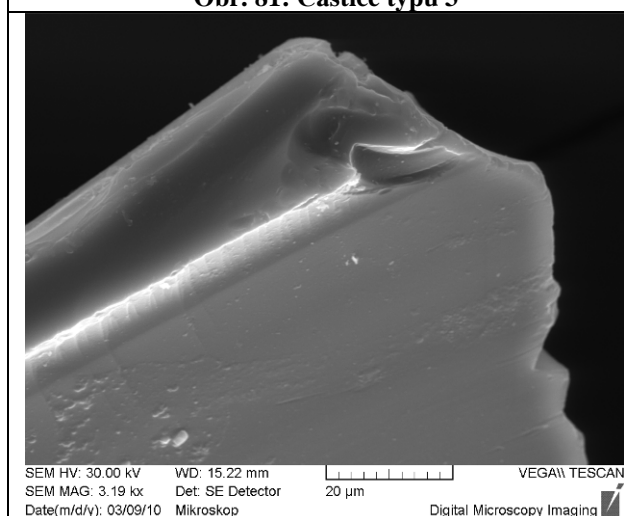
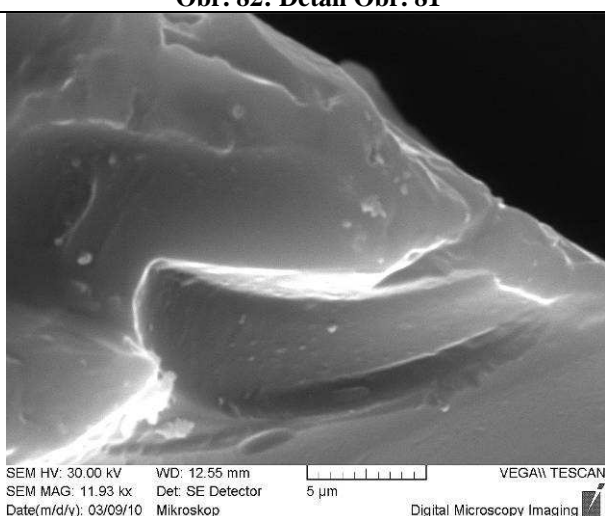


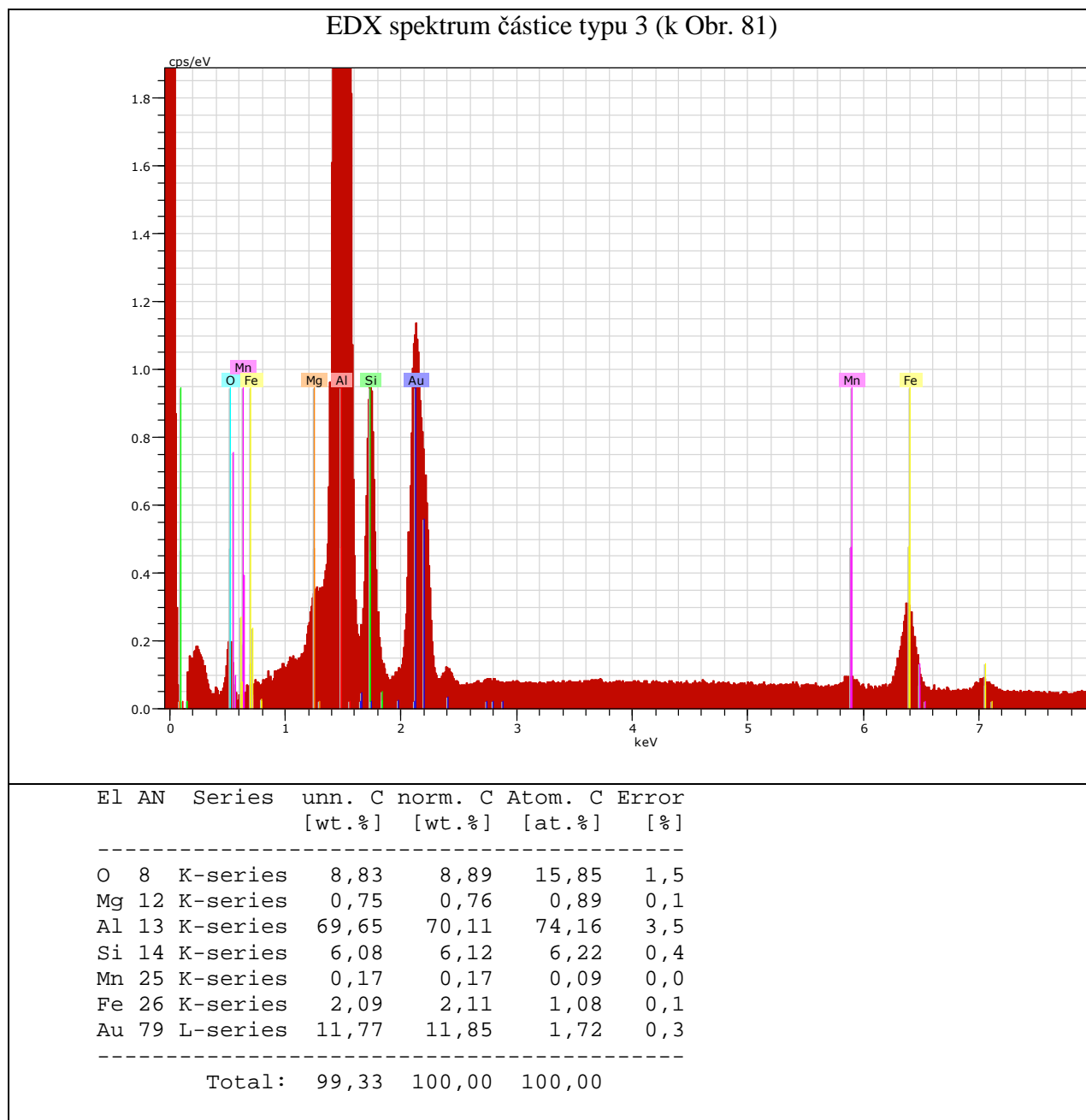
Obr. 80: Detail Obr. 79

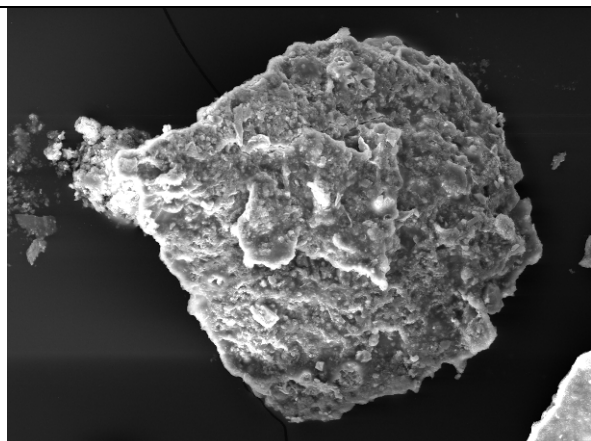
EDX spektrum částice typu 2 (k Obr. 78)



El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error [%]
C	6	K-series	1,46	1,35	2,48	2,4
O	8	K-series	43,53	40,14	55,51	4,8
Na	11	K-series	6,67	6,15	5,92	0,5
Al	13	K-series	2,49	2,29	1,88	0,2
Si	14	K-series	42,19	38,91	30,65	1,9
Cl	17	K-series	3,36	3,10	1,93	0,1
K	19	K-series	1,73	1,60	0,90	0,1
Au	79	L-series	7,01	6,47	0,73	0,2
Total:			108,45	100,00	100,00	

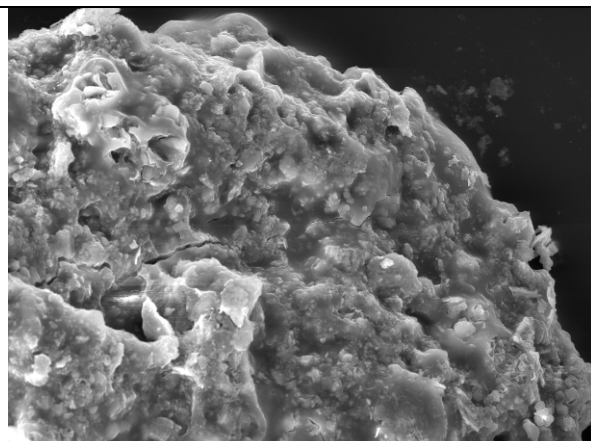
**Obr. 81: Částice typu 3****Obr. 82: Detail Obr. 81****Obr. 83: Detail Obr. 82****Obr. 84: Detail Obr. 83**





SEM HV: 30.00 kV WD: 15.58 mm VEGAII TESCAN
 SEM MAG: 465 x Det: SE Detector 200 µm Digital Microscopy Imaging
 Date(m/d/y): 03/09/10 Mikroskop

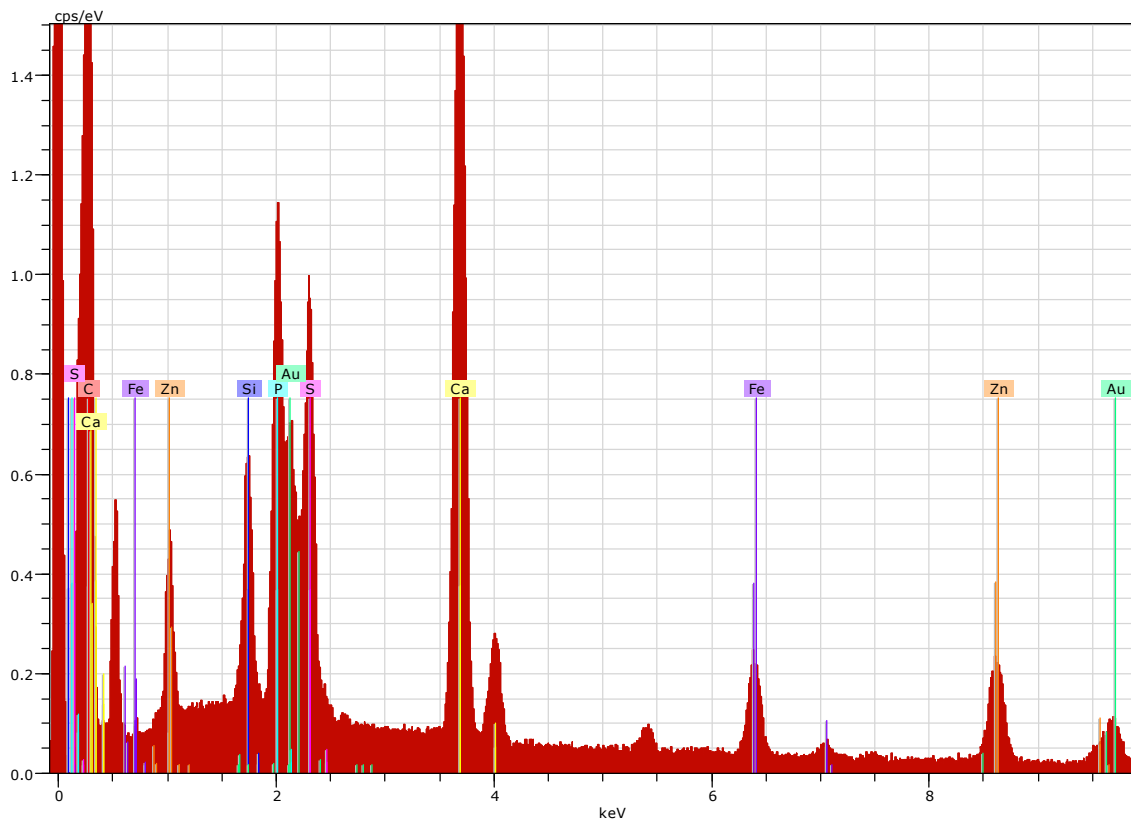
Obr. 85: Částice typu 4



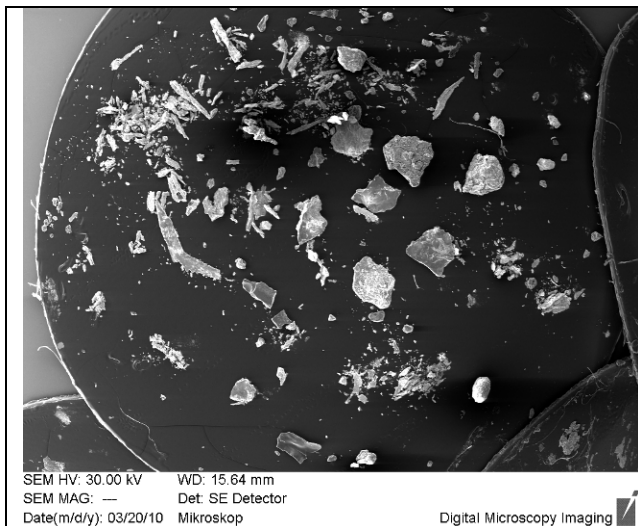
SEM HV: 30.00 kV WD: 15.60 mm VEGAII TESCAN
 SEM MAG: 1.31 kx Det: SE Detector 50 µm Digital Microscopy Imaging
 Date(m/d/y): 03/09/10 Mikroskop

Obr. 86: Detail Obr. 85

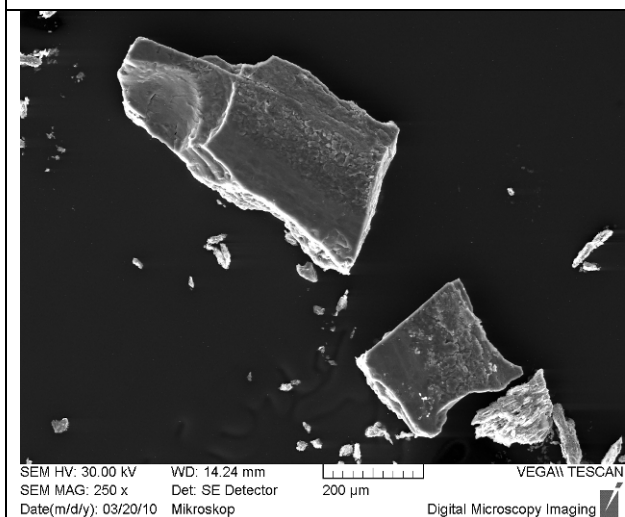
EDX spektrum částice typu 4 (k obr. xxx10a)



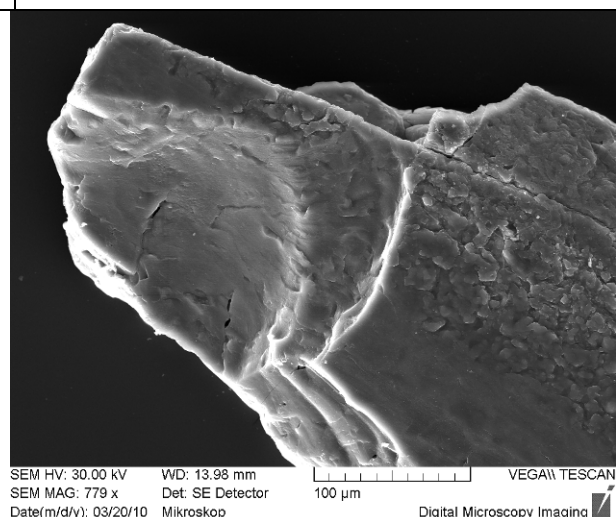
El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error [%]
C	6	K-series	46,31	62,99	87,14	6,1
Si	14	K-series	1,50	2,04	1,21	0,2
P	15	K-series	3,08	4,18	2,24	0,2
S	16	K-series	2,85	3,87	2,01	0,1
Ca	20	K-series	8,52	11,59	4,80	0,3
Fe	26	K-series	1,67	2,28	0,68	0,1
Zn	30	K-series	3,57	4,85	1,23	0,1
Au	79	L-series	6,02	8,19	0,69	0,4
Total:			73,51	100,00	100,00	



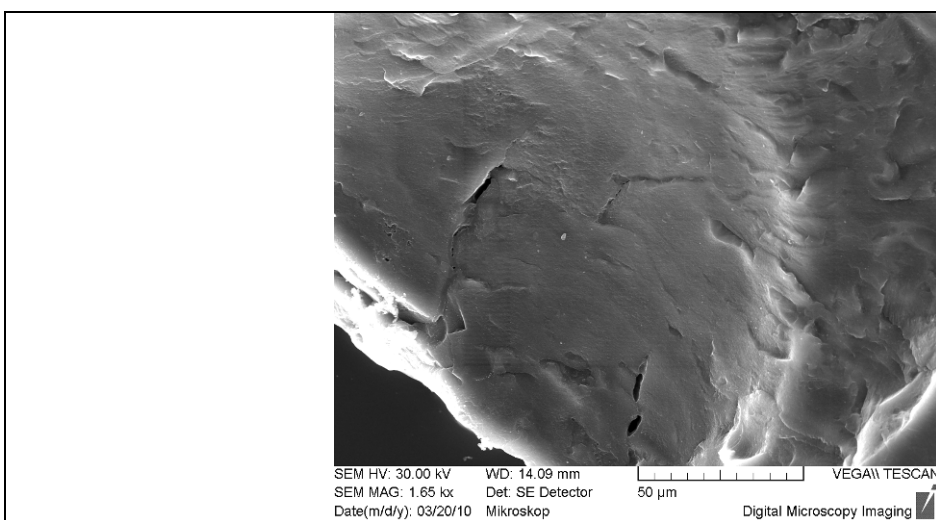
Obr. 87: Částice izolované z filtru č. 2 (DAF LF) umístěné na grafitové podložce č. 2 – celkový pohled (zobrazovací režim fish-eye)



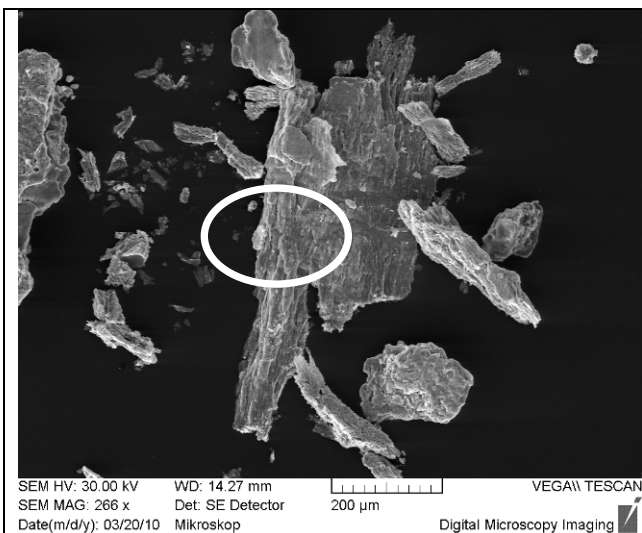
Obr. 88: Částice typu 1



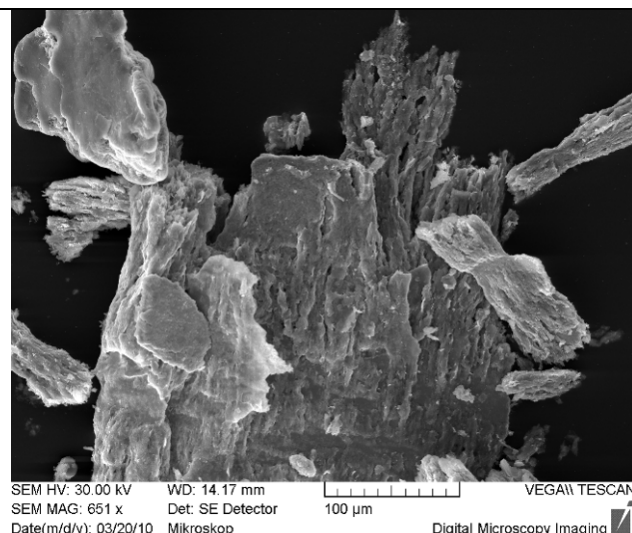
Obr. 89: Detail Obr. 88



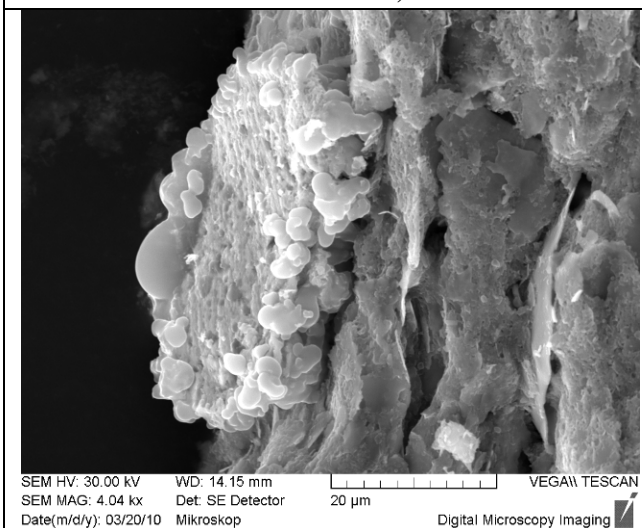
Obr. 90: Detail Obr. 89



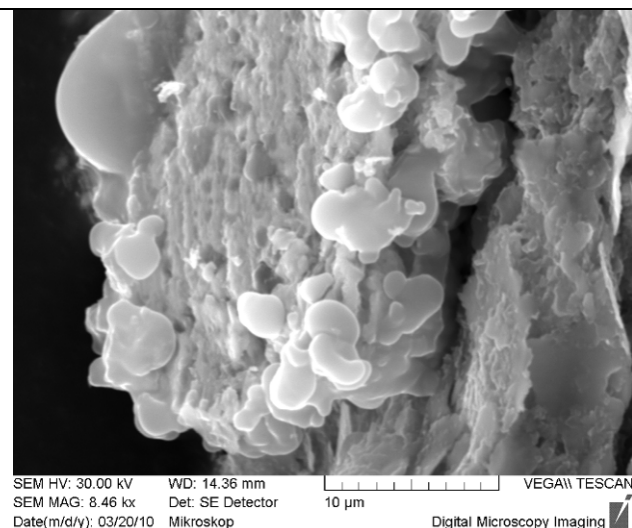
Obr. 91: Částice typu 1 (označená lokalita s artefaktem)



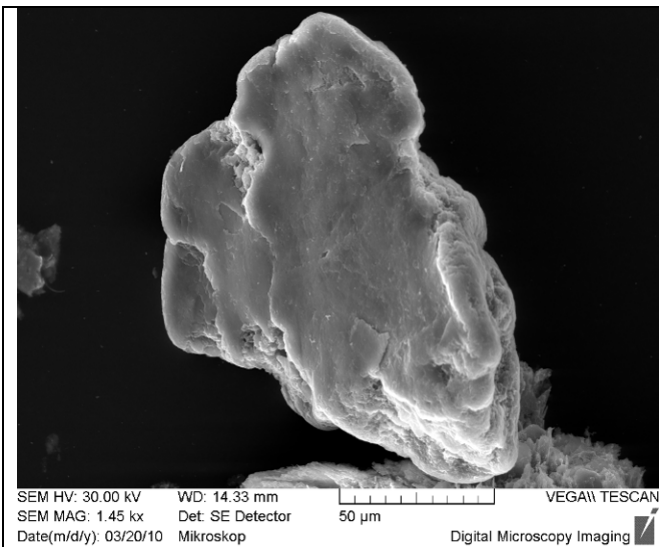
Obr. 92: Detail Obr. 91



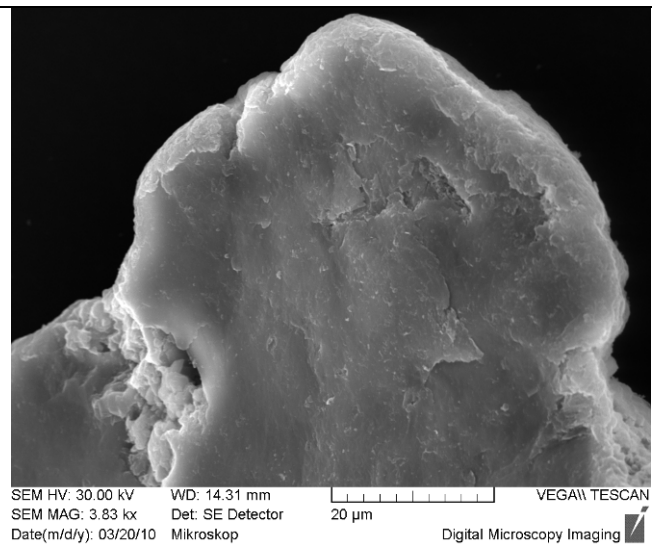
Obr. 93: Detail označené lokality z Obr. 91



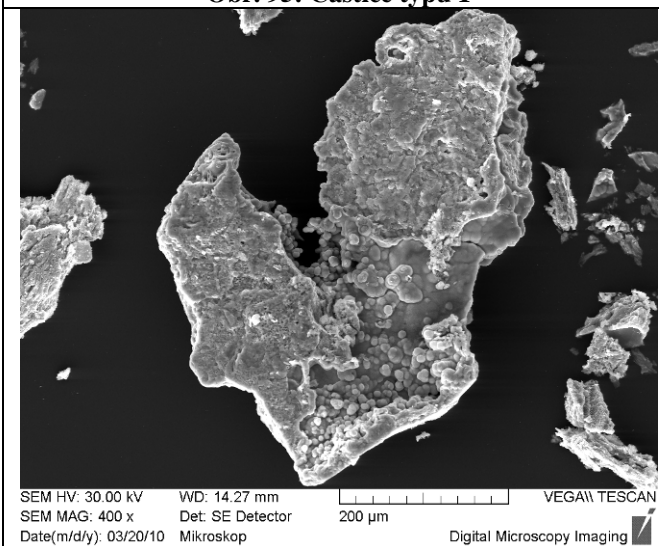
Obr. 94: Detail Obr. 93



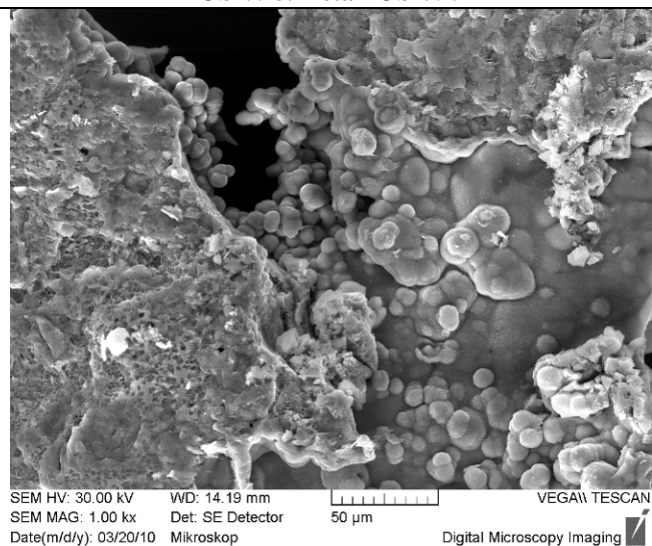
Obr. 95: Částice typu 1



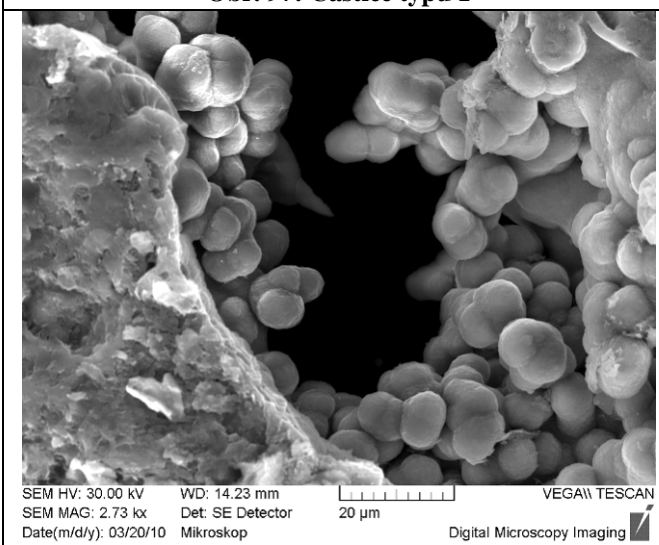
Obr. 96: Detail Obr. 95



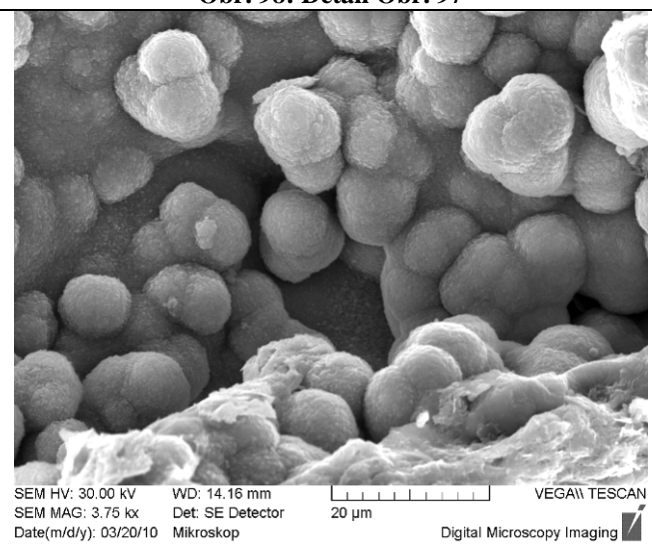
Obr. 97: Částice typu 1



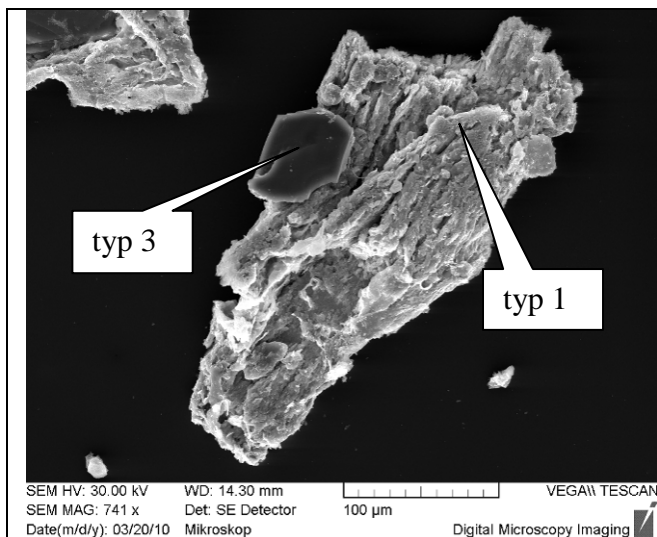
Obr. 98: Detail Obr. 97



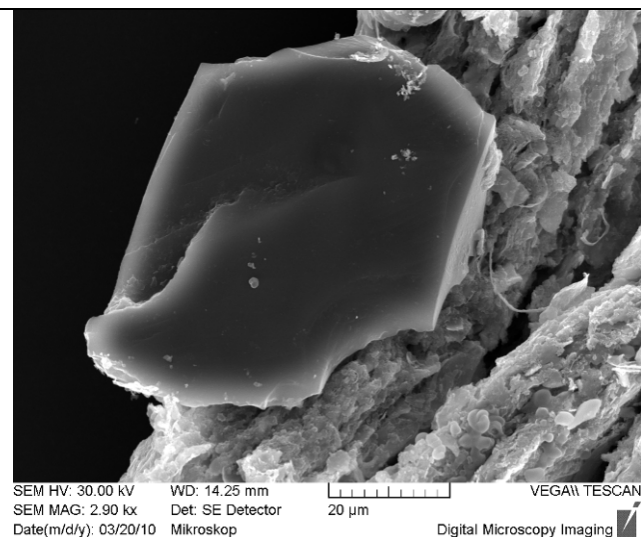
Obr. 99: Detail Obr. 98



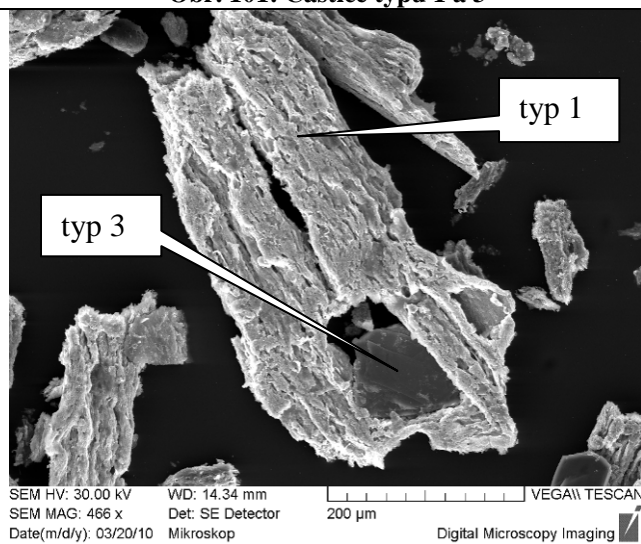
Obr. 100: Detail Obr. 99



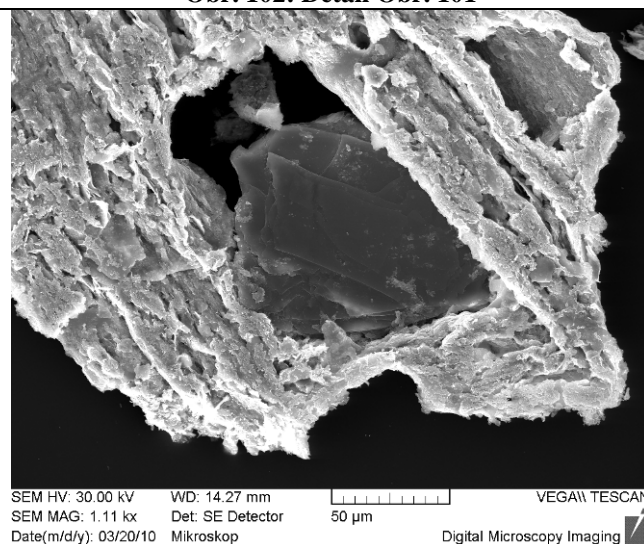
Obr. 101: Částice typu 1 a 3



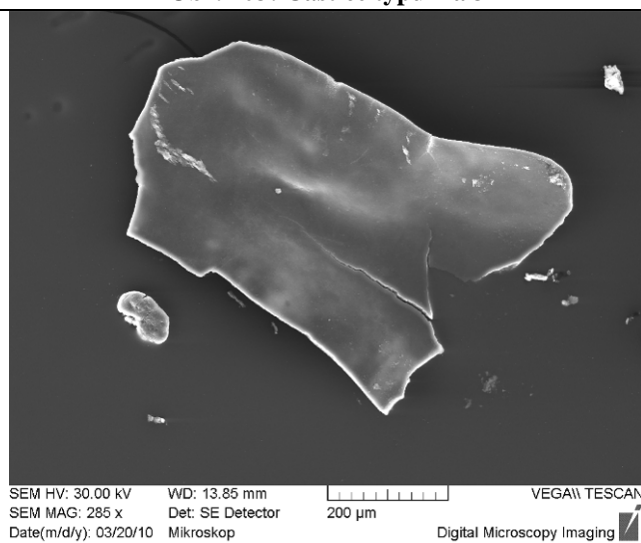
Obr. 102: Detail Obr. 101



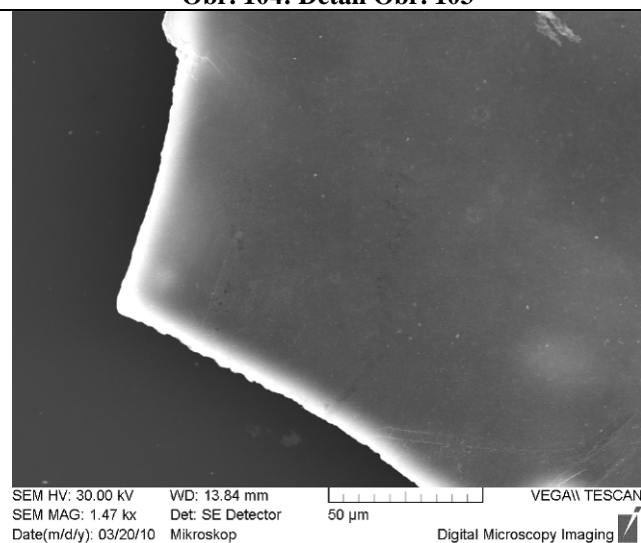
Obr. 103: Částice typu 1 a 3



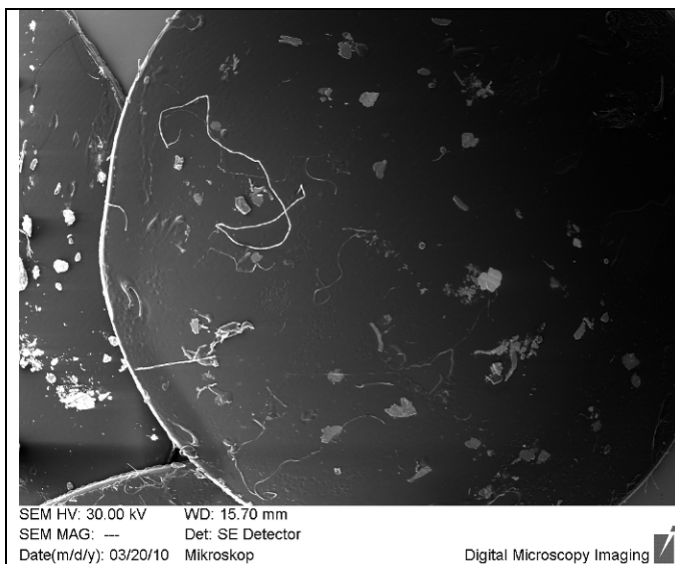
Obr. 104: Detail Obr. 103



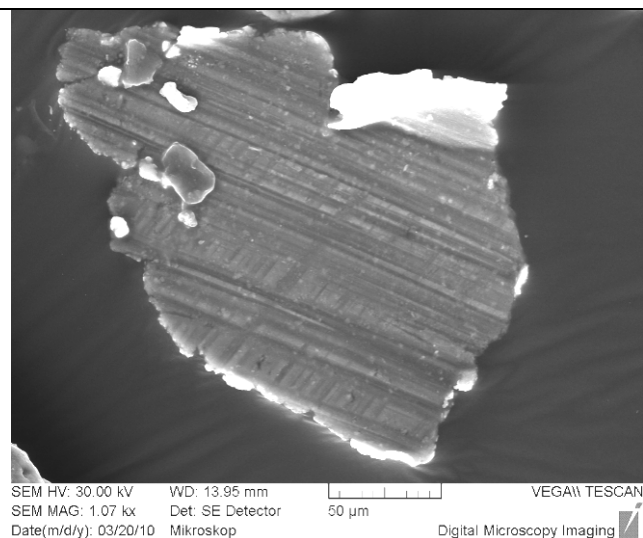
Obr. 105: Částice typu 3



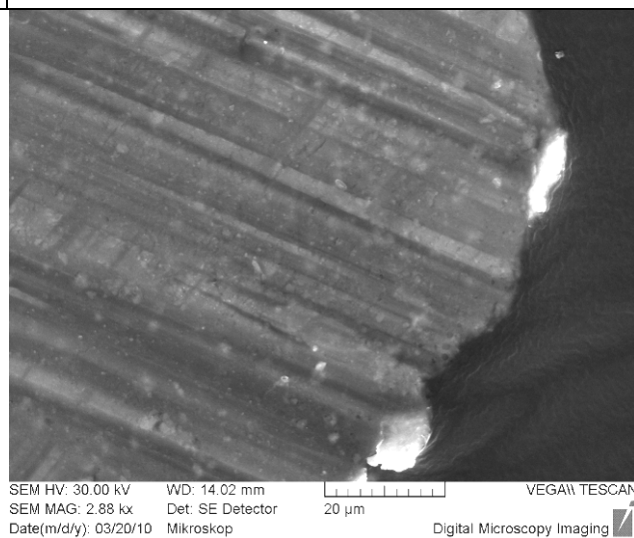
Obr. 106: Detail Obr. 105



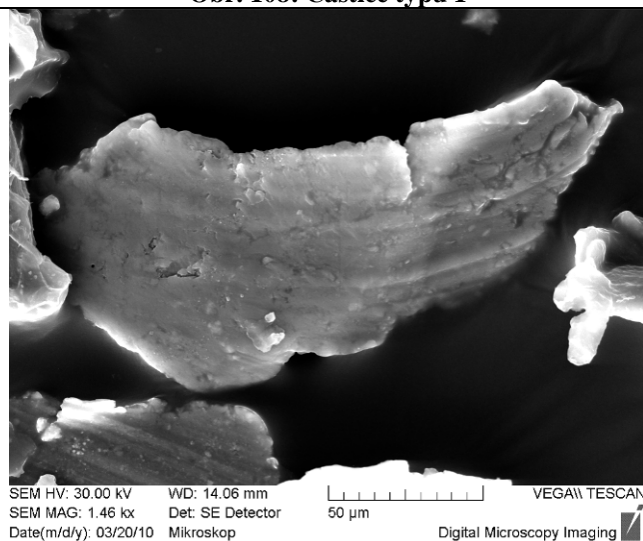
Obr. 107: Částice izolované z filtru č. 2 (DAF LF) umístěné na grafitové podložce č. 3 – celkový pohled (zobrazovací režim fish-eye)



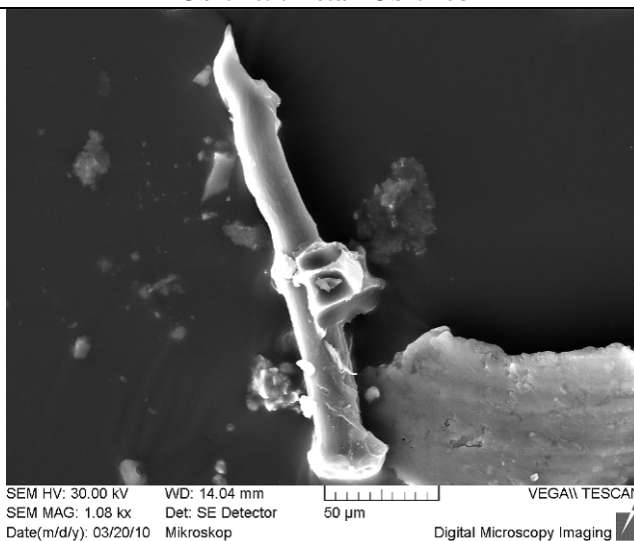
Obr. 108: Částice typu 1



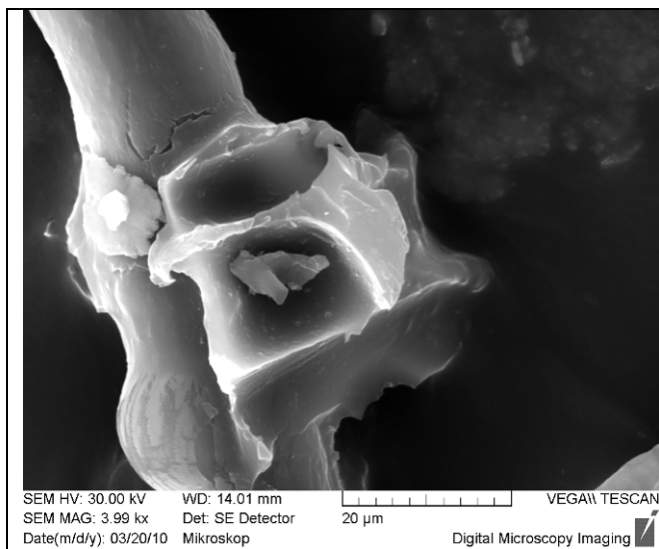
Obr. 109: Detail Obr. 108



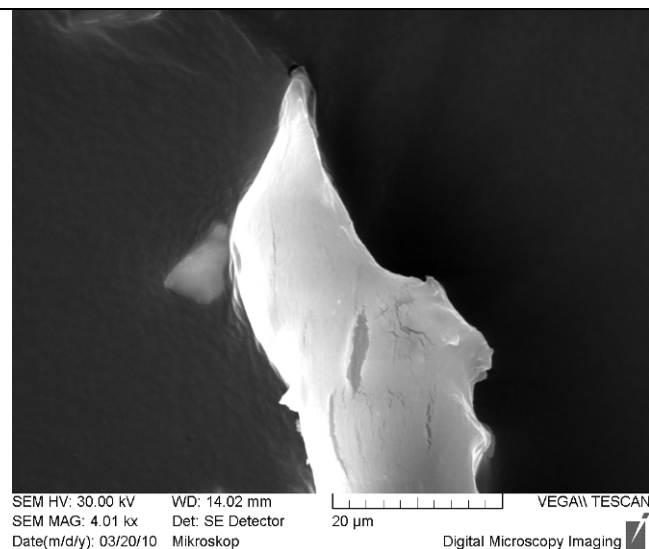
Obr. 110: Částice typu 1



Obr. 111: Částice typu 5

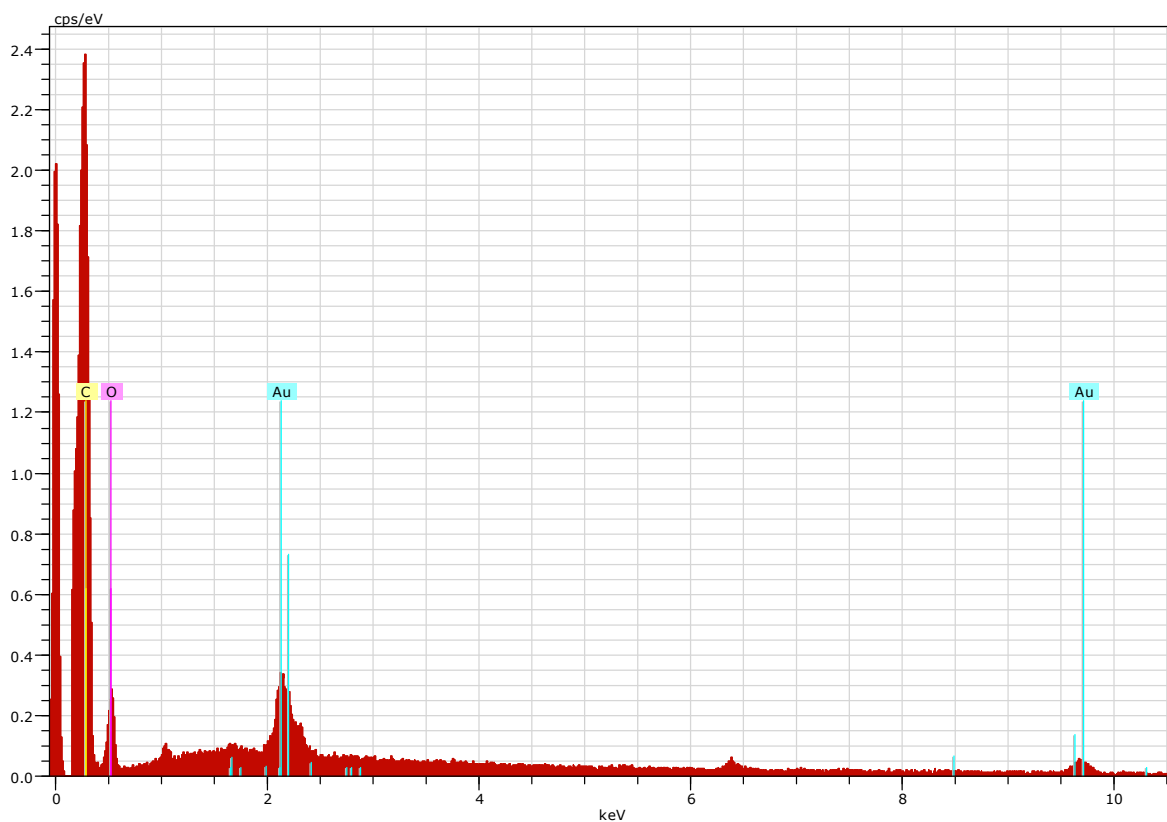


Obr. 112: Detail Obr. 111

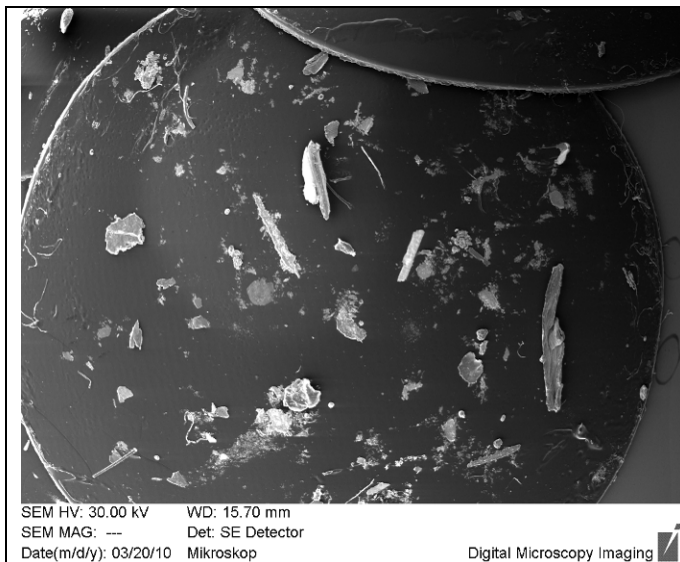


Obr. 113: Detail Obr. 111

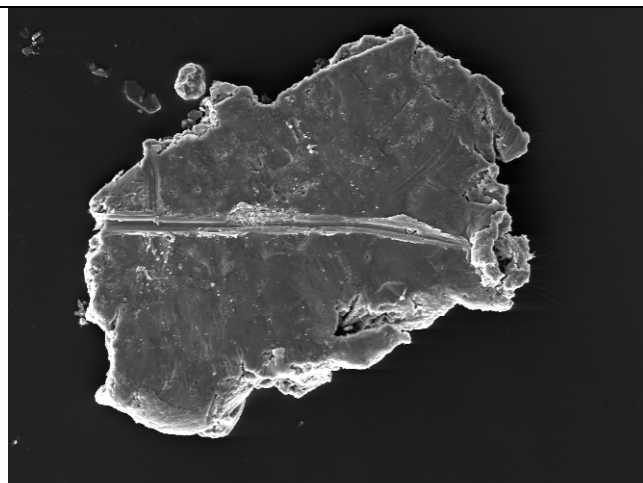
EDX spektrum částice typu 5 (k Obr. 111)



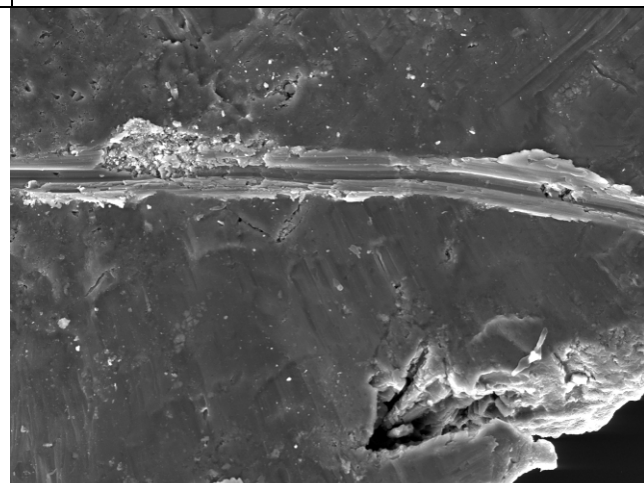
El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error [%]
C	6	K-series	29,54	29,54	37,08	9,3
O	8	K-series	66,44	66,44	62,61	22,4
Au	79	L-series	4,02	4,02	0,31	0,2
Total:			100,00	100,00	100,00	



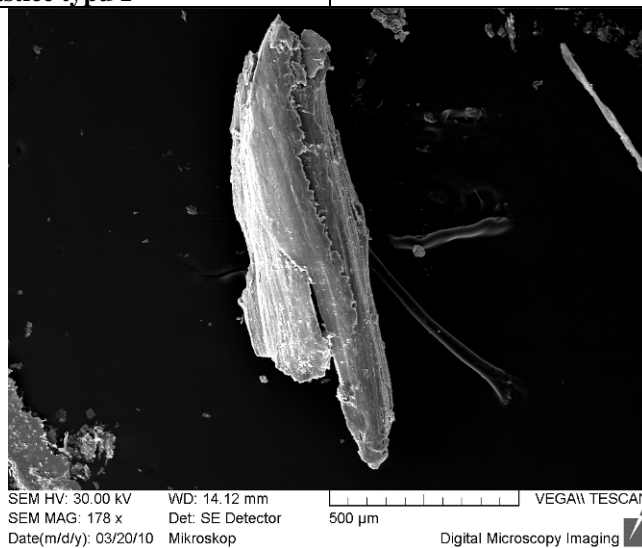
Obr. 114: Částice izolované z filtru č. 2 (DAF LF) umístěné na grafitové podložce č. 4 – celkový pohled (zobrazovací režim fish-eye)



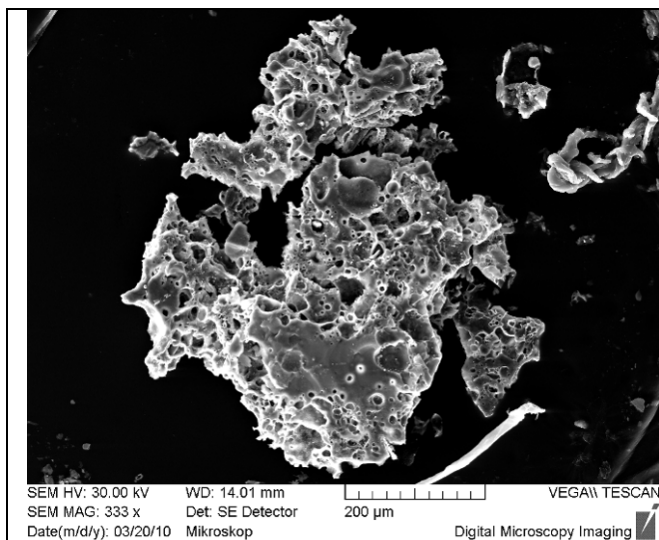
Obr. 115: Částice typu 1



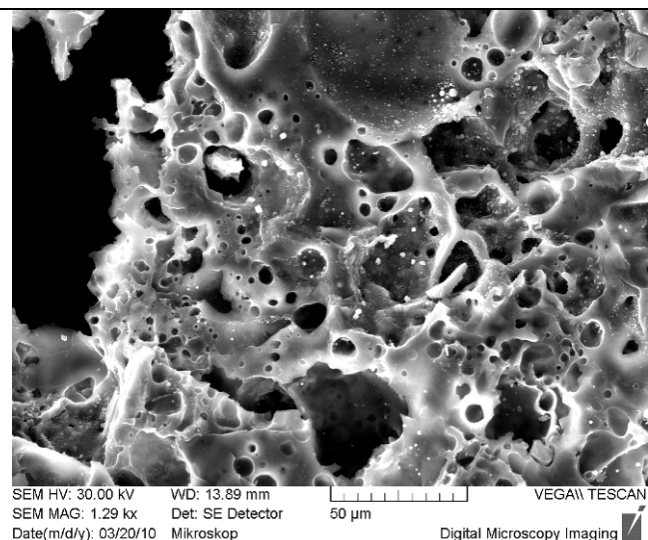
Obr. 116: Detail Obr. 115



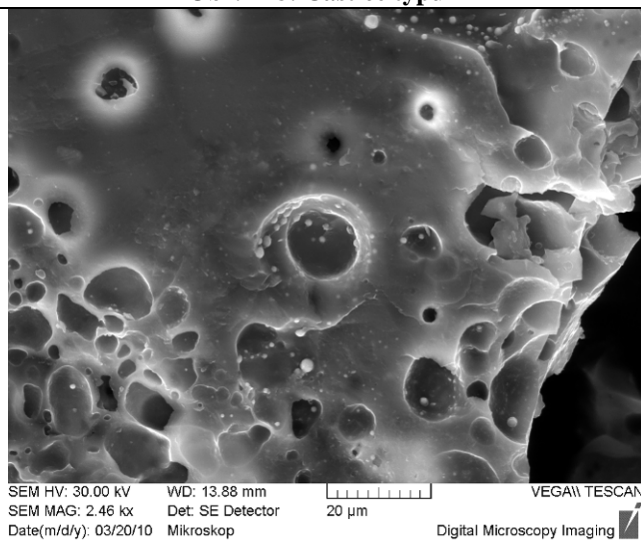
Obr. 117: Částice typu 1



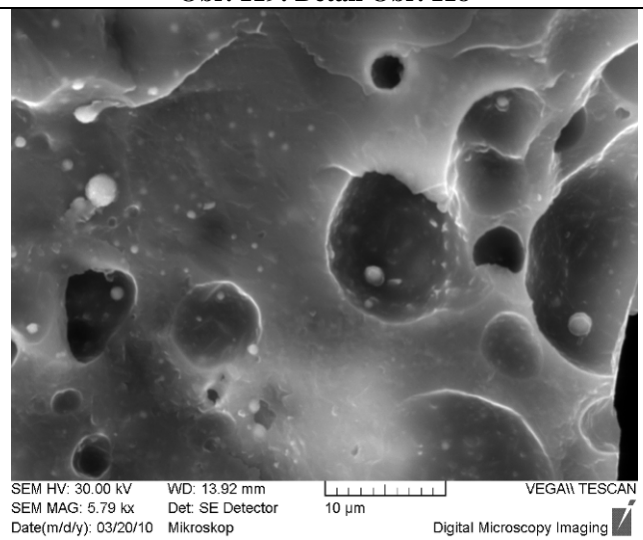
Obr. 118: Částice typu 4



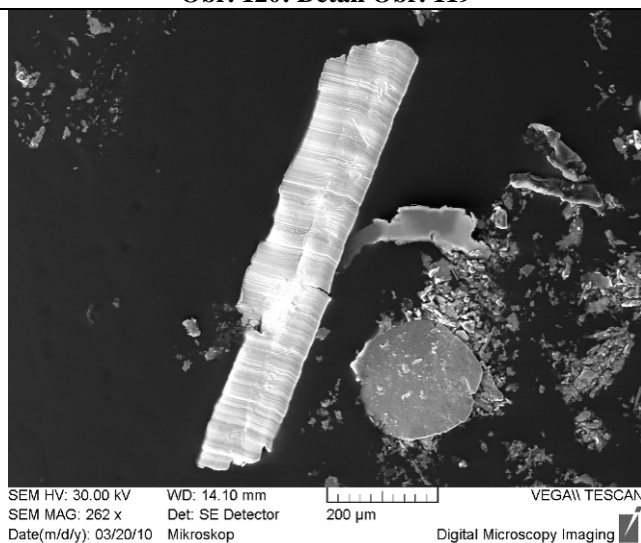
Obr. 119: Detail Obr. 118



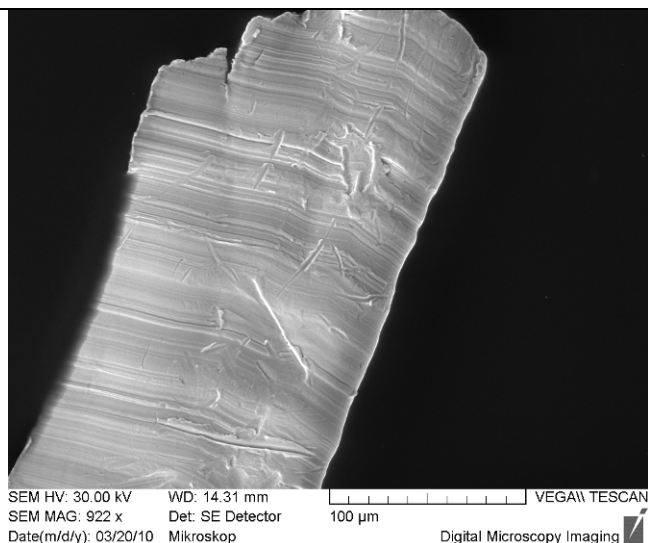
Obr. 120: Detail Obr. 119



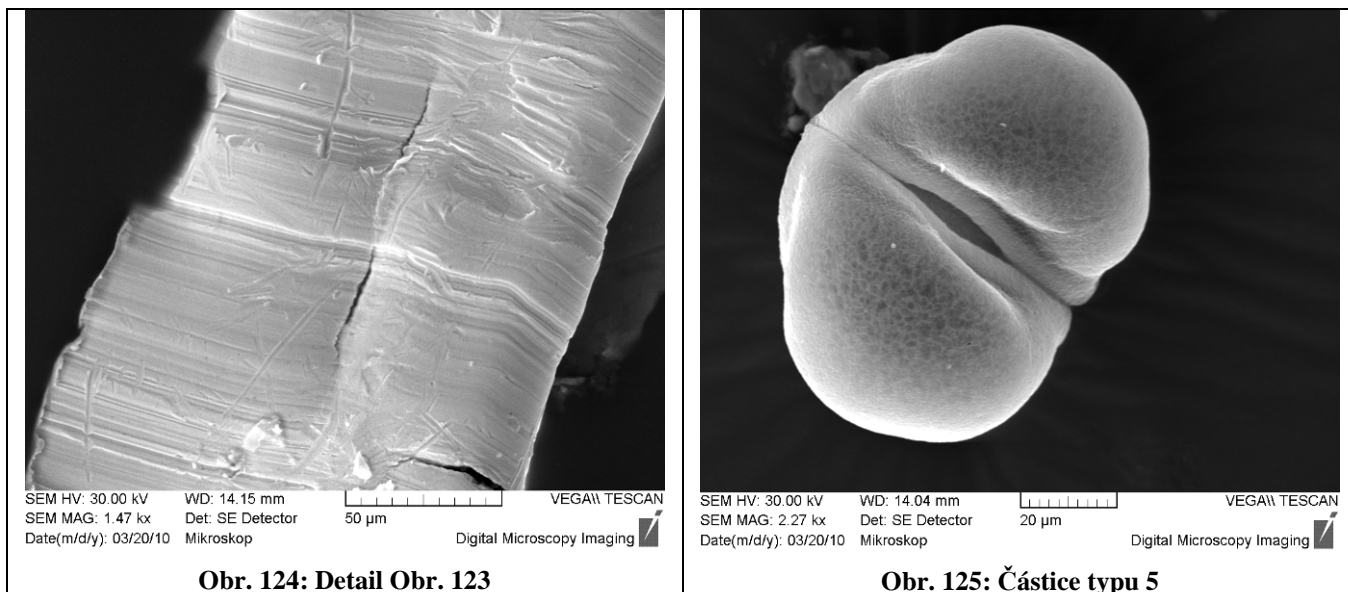
Obr. 121: Detail Obr. 120



Obr. 122: Částice typu 3



Obr. 123: Detail Obr. 122



Obr. 124: Detail Obr. 123

Obr. 125: Částice typu 5

Analýzou bylo zjištěno chemické složení jednotlivých částic. Lze je rozdělit do pěti základních skupin (tab: Tab. 5).

Tab. 5: Chemické složení nejčastěji se vyskytujících částic

Typ	Dominantně zastoupené prvky	Prvky obsažené v nižších koncentracích
1	O (50–60 % _{at}), Fe (20–30 % _{at}), C (10–20 % _{at})	S, Zn, Au
2	O (50–60 % _{at}), Si (30–35% _{at})	C, Na, Al, Cl, K, Au
3	Al (70–80 % _{at}), O (10–20 % _{at}),	Mg, Si, Mn, Fe, Au
4	C (80–90 % _{at})	Si, P, S, Ca, Fe, Zn, Au
5	O (60–65 % _{at}), C (30–40% _{at})	Au

POPIS TYPICKÝCH ČÁSTIC

TYP 1: převažuje obsah železa a uhlíku, ostatní prvky zastoupeny pouze ve velmi malém množství, často s oxidickou povrchovou vrstvou.

TYP 2: ostrohranné částice, v nichž převažuje křemík, do motoru se mohly dostat s nasávaným vzduchem (zřejmě se jedná o křemen SiO₂, tedy tvrdé částice, působící jako zadržující nečistoty).

TYP 3: „světlé“ částice s ostrými okraji a s hladkým povrchem, v některých případech se stopami plastické deformace a/nebo abrazivního opotřebení; pro jejich složení je charakteristický vysoký (nadpoloviční) obsah hliníku – z něj lze usuzovat na částice pocházející z pístové skupiny.

TYP 4: porézní částice, často s oblými hranami; zpravidla křehké (řada jich byla při přenosu na podložku mechanicky rozdrčena); základním prvkem je uhlík – tj. jedná se o karbonové částice. Ostatní prvky jsou součástí zbytků aditiv.

TYP 5: částice organického původu, které do oleje vnikají zvenčí (Obr. 111 až Obr. 113), případně ulpívají na grafitové podložce v průběhu přípravy preparátu (ve stávajících laboratorních podmínkách nelze zajistit potřebnou vysokou čistotu pracovního prostředí) – jedná se např. o pylová zrnka (Obr. 125).

Poznámka: zlato je obsaženo ve vodivé vrstvě (tloušťka činí cca 10–20 nm), která je nanášena v naprašovače SC7620 (Quorum) před vložením vzorku do komory mikroskopu. Zabezpečuje odvod elektrického náboje z povrchu preparátu. Na Obr. 113 je dokumentováno praskání původně kompaktní tenké vrstvy zlata, ke kterému dochází při delší době působení elektronového svazku během zaostřování při pozorování organických částic.

DÍLČÍ ZÁVĚR:

V obou filtrech převládá výskyt částic typu 1 (na bázi železa). Druhým nejčastěji zastoupeným prvkem jsou částice typu 3 (základním prvkem je hliník) Ve filtru č. 2 byly nalezeny také částice typu 5. Ostatní typy částic se vyskytují jen ojediněle.

Na povrchu částic typu 1 a 4 se v řadě případů nacházely artefakty ze zbytků přísad, přidávaných do olejů jako přísady na bázi organických sloučenin fosforu, kyslíku a síry (Obr. 64 až Obr. 67 a Obr. 97 až Obr. 100). U aditiv se nejčastěji jedná o soli – thiofosfáty vápníku a zinku; tyto prvky byly identifikovány ve spektrech oblastí s povrchovými povlaky. V dalších experimentálních pracích proto bude potřebné zaměřit se na dokonalé odstranění (pokud možno rozpuštění) těchto artefaktů již v průběhu přípravy preparátu. Vzhledem k tomu, že v dříve provedených pracích pozorovány nebyly, může se jednat o takové přísady, které jsou typické pro olej URSA SUPER 10W/40 (TEXACO) a budou vyžadovat úpravu postupy izolace částic. Další možná varianta vysvětlení přítomnosti globulitických artefaktů – zmýdelnatění olejového základu v důsledku tvorby a dalších reakcí kyselých oxidačních produktů uhlovodíkových řetězců – není pravděpodobná (v oleji se nenacházejí produkty oxidace, což bylo prokázáno FTIR spektrometrií).

Ve filtru byly zachyceny, z něj izolovány a dále studovány velké částice. V souladu se závěry ostatních provedených zkoušek je možno konstatovat, že jejich relativně malý počet (ve srovnání s filtry dříve analyzovanými v experimentálních pracích provedených na tribotechnickém pracovišti DFJP) svědčí o správně zvoleném oleji, který odpovídá provozním podmínkám. Motor není přetěžován a je v dobrém stavu, provozovatel dodržuje výměnný interval oleje, olejový filtr není nadměrně zanesen – je funkční i v okamžiku výměny.

3.7 OBRAZOVÁ ANALÝZA

Obrazovou analýzu je možno využít k určování řady vlastností digitálního obrazu. V této práci byla použita k zjišťování procentuálního podílu vybrané plochy (Area Fraction), která je pokryta částicemi mechanických nečistot ze vzorku oleje, z celkové plochy (Area) obrazu vytvořeného v digitálním mikroskopu s USB připojením.

SOFTWAREVÉ VYBAVENÍ

Program Image J – freeware, <http://rsbweb.nih.gov/ij/index.html>,
download: <http://rsbweb.nih.gov/ij/download.html>

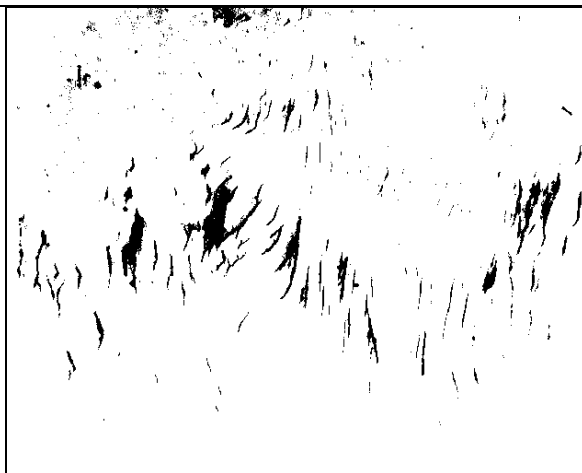
POSTUP ANALÝZY

Po pořízení snímků z předem připravených ferrogramů byla provedena obrazová analýza jednotlivých snímků.

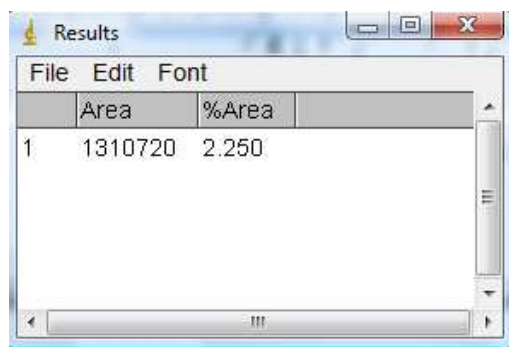
Digitální snímky byly pomocí programu Image J převedeny na černobílý obraz (Obr. 126 a Obr. 127). Software po vymezení námi požadované oblasti vypočítá procentuální zastoupení černé barvy v binárním obrazu (Obr. 128).



Obr. 126: Hodnocená plocha ze snímku ferrogramu – snímek z digitálního mikroskopu s USB připojením, zvětšení 230x



Obr. 127: Hodnocená plocha ze snímku ferrogramu – binární obraz téže oblasti vytvořený v programu Image J



Obr. 128: Příklad okna programu Image J s výsledky

3.7.1 VÝSLEDKY OBRAZOVÉ ANALÝZY

Byly analyzovány 3 ručně připravené ferrogramy plastických maziv. Vypočítané výsledky byly zpracovány do tabulky (Tab. 6).

Tab. 6 : Výsledky obrazové analýzy

VZOREK	PROCENTUÁLNÍ PODÍL MECHANICKÝCH NEČISTOT Z CELKOVÉ PLOCHY OBRAZU [%]
č.1 – vtok	1,976
č.1 – 50. mm	5,236
č.2 – vtok	0,052
č.2 – 50. mm	0,064
č.3 – vtok	3,589
č.3 – 50. mm	2,250

Celková plocha obrazu: 1310720 pixelů

DÍLČÍ ZÁVĚR:

Zjednodušená semikvantitativní ferrografie (bez použití ferrografu) využívající digitální mikroskop s USB připojením a freewareový software ImageJ pro obrazovou analýzu umožňuje uživateli získávat rychle, levně a bez nároků na kvalifikovanou obsluhu informace, které mu usnadní rozhodování, zda vzorek oleje zaslat k laboratorním zkouškám, odstavit vozidlo v případě extrémního zvýšení množství otěru apod. Tento zjednodušený postup byl navržen a ověřen v této diplomové práci.

3.8 ANALÝZA VZORKU OLEJE LNF ANALYZÁTOREM

Principem je přečerpávání vzorku oleje přes měřicí celu, kterou prochází olej současně s paprsky impulzového laseru. Ty jsou po dopadu na pozadí snímány CCD kamerou, která zachycuje tvar částic obsažených v olejovém vzorku. Výsledkem analýzy rozboru je jednak analýza tvarů a velikostí částic, jednak analýza počtu částic obsažených ve vzorku.

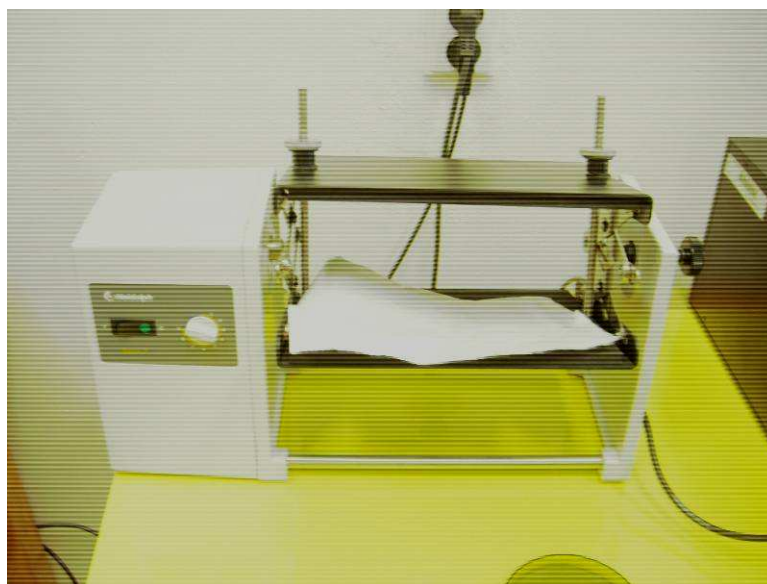
PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ:

Laserový čítač a klasifikátor částic LNF-C (Obr. 129)



Obr. 129: Laserový čítač a klasifikátor částic [28]

Zařízení pro homogenizaci vzorku (Obr. 130)



Obr. 130: Zařízení pro homogenizaci vzorku [vlastní foto]

Ultrazvuková lázeň

POSTUP MĚŘENÍ:

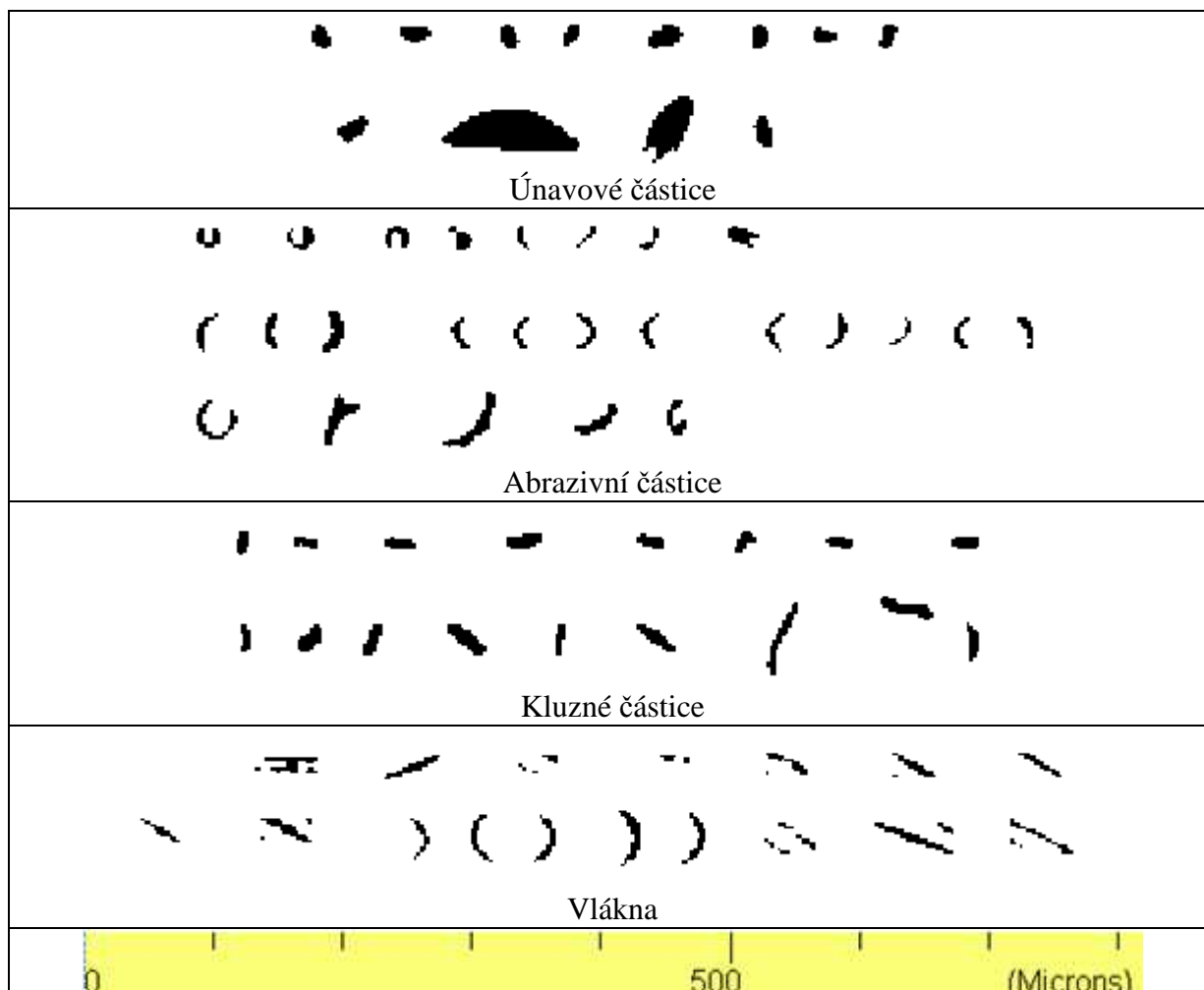
- 1) Homogenizace vzorku v třepačce (Obr. 130).
- 2) Vložení nádoby se vzorkem do ultrazvukové lázně – odstranění vzduchových bublin.
- 3) Umístění nasávacího zařízení do nádoby.
- 4) Zadání informací o vzorku do softwaru (např. typ oleje, kilometrický proběh, údaje o vozidle, atd.).
- 5) Spuštění měření. Olej (cca 0,65 ml) je nasáván čerpadlem z nádoby mikrotenovým sítkem do prostoru měřicí cely, odkud je po prosvícení laserovým paprskem odváděn do zásobníku s odpadním olejem.
- 6) Naředění vzorku technickým benzínem v poměru 1 : 10 (v případě vysokého obsahu sazí).
- 7) Propláchnutí přístroje čistým hydraulickým olejem.
- 8) Opětovné spuštění měření.
- 9) Zobrazení údajů o vzorku, softwarem přepočítané na 1 ml, prostřednictvím monitoru řídicího počítače.
- 10) Zpracování výsledků měření.

3.8.1 VÝSLEDKY ANALÝZY LASEROVÝM ANALYZÁTOREM ČÁSTIC LNF-C

V této části práce byla realizována úvodní testovací analýza motorového oleje Ursa Super 10W/40 na laserovém analyzátoru LNF-C; jeho zakoupení (v pokročilejší verzi LNF Q200) je připraveno na červen 2010 jako součást řešení projektu FRVŠ Aa 16/2010. V laboratoři Univerzity obrany v Brně bylo provedeno měření opotřebeného motorového oleje (byl zvolen vzorek č.8 – DAF LF, jsou uvedeny na Obr. 131 a Obr. 132).

Částice nezařazené do jednotlivých tříd (Obr. 131), tj. ty, které jsou menší než 5 μm a větší než 100 μm , se neklasifikují podle tvaru. Všechny experimentální údaje jsou uloženy v databázi, kde jsou dostupné prostřednictvím řídicího softwaru. Označení typů částic vyplývá z terminologie použité v české verzi softwaru, kterým je LNF vybaven.

ZOBRAZENÍ ČÁSTIC VĚTŠÍCH NEŽ 5 μm ROZTŘÍDĚNÝCH DLE TVARU
DO JEDNOTLIVÝCH TŘÍD



Obr. 132: Příklad částic rozdělených do jednotlivých tříd

DÍLČÍ ZÁVĚR:

Testovací analýza částic na laserovém analyzátoru LNF-C prokázala, že údaje o počtech a morfologii částic jednotlivých typů jsou v souladu s výsledky dalších metod částicové analýzy, použitými v experimentální části této práce (tj. s výsledky analytické ferrografie – kap. 3.4.2 a s výsledky hodnocení morfologie a složení částic rastrovací elektronovou mikroskopií a energiově disperzní analýzou – kap. 3.6.1).

Použití této moderní přístrojové techniky, založené na použití laserového svazku jako zobrazovacího média a na vyhodnocování výsledků měření aplikací neuronových sítí, umožní v tribodiagnostické laboratoři DFJP získat detailní informace o dějích, které probíhají ve vozidlových motorech. Analyzátor je vhodný např. i pro hodnocení čistoty hydraulických olejů kódem čistoty.

Přínosem analyzátoru pro rozšíření dosavadních poznatků v oblasti tribologie a tribotechniky bude možnost přesného statistického hodnocení počtu, klasifikace částic obsažených v olejích a v dalších provozních kapalinách a kvantifikace jejich morfologických parametrů.

4 ZÁVĚR

Diplomová práce je zaměřena na využití vybraných instrumentálních metod (rastrovací elektronové mikroskopie s navazující energiově disperzní analýzou, infračervené spektrometrie s Fourierovou transformací, analytické ferrografie a částicové analýzy na laserovém analyzátoru) při hodnocení průběhu provozního opotřebení motorových olejů a plastických maziv. Experimentální část práce byla doplněna obrazovou analýzou, která byla aplikována jako metoda pro hodnocení obsahu mechanických nečistot v olejích. Byly rovněž realizovány úvodní experimenty na laserovém analyzátoru částic LNF-C.

Teoretická část práce je zaměřená na problematiku tribotechniky a tribotechnické diagnostiky, na charakterizaci funkcí a vlastností motorového oleje, normovaných parametrů motorových olejů a metod jejich zkoušení, dále na příčiny opotřebení oleje v provozu, na optimalizaci výměnného intervalu automobilových motorových olejů a na popis přísad do motorových olejů. Jsou zde uvedeny také základní poznatky o plastických mazivech. Další částí této práce je kapitola věnovaná vybraným metodám tribotechnické diagnostiky, ve které jsou podrobně popsány principy použitých experimentálních metod.

V experimentální části práce byla provedena analýza vzorků nových i opotřebovaných olejů a plastických maziv odebíraných během provozu ze dvou zkušebních vozidel DAF a Mazda.

Součástí diplomové práce také byla analýza exploatovaných olejových filtrů. Jednotlivé izolované částice byly studovány na světelném a na rastrovacím elektronovém mikroskopu, kde bylo lokální elektronovou analýzou (EDAX) analyzováno chemické složení typických částic. Na základě hodnocení vztahu mezi morfologií jednotlivých částic a jejich složením byly částice klasifikovány a rozděleny do pěti základních skupin.

Dále byla realizována analýza s využitím ferrografie jak v klasickém uspořádání, tak v jednoduché provozní variantě postupem navrženým autorem práce: část experimentů byla zaměřena na vypracování a ověření metodiky jednoduchých orientačních testů, určených pro jednoduché (rychlé a levné) posouzení stupně opotřebení olejů a plastických maziv. V této práci byla vyvinuta metoda použitelná v provozu a nevyžadující náročné přístrojové vybavení; umožňuje hodnocení obsahu mechanických nečistot v mazivu metodou obrazové analýzy, k níž využívá běžně dostupné prostředky. Umožňuje tak uživateli, který nedisponuje tribotechnickou laboratoří ani finančními prostředky pro laboratorní zkoušky, získávat informace, na jejichž základě lze např. zaslat vzorek oleje k laboratorním zkouškám nebo odstavit vozidlo v případě extrémního zvýšení množství otěru (mimo běžný trend vyplývající z dlouhodobého sledování stavu maziva).

Je obecně známo, že optimalizace výměnných lhůt je úzce spjata s rychlostí znehodnocování olejové náplně, úrovní kvality mazání a s rychlostí opotřebení mazaných prvků. Tyto problémy by bylo možné účelně řešit důsledným využíváním tribotechnické diagnostiky, která vychází z individuálního posouzení stupně degradace oleje v každém mechanismu na základě analýzy použitého oleje.

Výsledky této diplomové práce prokázaly, že všechny použité metody významně přispívají k rozšíření možností tribotechnické diagnostiky v oblasti hodnocení provozního opotřebení motorových olejů a plastických maziv pro silniční vozidla i součástí, které jsou těmito mazivy mazány.

Dílejší závěry a doporučení pro uživatele jsou uvedeny v jednotlivých kapitolách a podkapitolách věnovaných interpretaci experimentálních výsledků.

Kompletní dokumentace experimentů (včetně digitálních snímků) je uvedena na přiloženém CD.

Přínosem práce je ověření možnosti použití kombinace vybraných pokročilých instrumentálních metod pro identifikaci a hodnocení stupně opotřebení maziv i mazaných součástí, dále návrh a ověření jednoduché a levné metodiky pro sledování a semikvantitativní hodnocení obsahu mechanických nečistot. V rámci práce byla upřesněna metodika ferrografie plastických maziv.

Výsledky této diplomové práce prokázaly, že použité metody mohou přispět k rozšíření možností tribotechnické diagnostiky v oblasti hodnocení provozního opotřebení maziv i jimi mazaných mechanismů.

V případě návrhu jednoduché metody hodnocení obsahu mechanických nečistot se jedná o nový, doposud nepublikovaný postup.

Fotodokumentace zhotovená v rámci této práce bude použita k doplnění atlasu otěrových částic, který je zpracováván na katedře dopravních prostředků a diagnostiky Dopravní fakulty Jana Pernera Univerzity Pardubice.

Výsledky této práce budou poskytnuty:

- panu Davidu Novotnému ze společnosti Letrans CZ, s.r.o.,
- panu Vladimíru Dovrtělovi ze společnosti Synthesia, a.s.,

kterí umožnili odběr vzorků analyzovaných filtrů, olejů a plastických maziv a poskytli odborné informace použité při zpracování této diplomové práce.

5 SEZNAM OBÁZKŮ

Obr. 1: Schéma vzniku suchého tření [11]	10
Obr. 2: Schéma vzniku kapalinného tření [11].....	10
Obr. 3: Schéma vzniku smíšeného tření [11].....	10
Obr. 4: Schéma adhezivního opotřebení [5].....	11
Obr. 5: Schéma abrazivního opotřebení [5].....	11
Obr. 6: Schéma únavového opotřebení [5].....	12
Obr. 7: Princip vibračního opotřebení [5].....	12
Obr. 8: Schéma erozivního opotřebení [5]	13
Obr. 9: Schéma kavitačního opotřebení [5].....	13
Obr. 10: Schéma mazacího okruhu s plnoprůtokovým filtrem [11].....	19
Obr. 11: Schéma mazacího okruhu s obtokovým filtrem [11]	20
Obr. 12: Plnoprůtokový čistič s papírovou čistící vložkou [11].....	21
Obr. 13: Papírová čistící vložka [11].....	21
Obr. 14: Plnoprůtokový čistič s odstředivým čističem s volným odtokem ve vedlejším proudu [11]	22
Obr. 15: Schéma ferrografu [16]	23
Obr. 16: Zařízení pro přípravu ferrogramů (Synthesia, a. s.) [vlastní foto].....	25
Obr. 17: Ukázka snímků pořízených mikroskopem opatřeným webkamerou [foto z archivu Synthesia, a. s., Pardubice] –částice separované z hydraulického oleje (zvětšení nebylo udáno).....	25
Obr. 18: Princip FTIR spektrometru [18].....	26
Obr. 19: Typické pásy v FTIR spektru motorového oleje [17]	27
Obr. 20: Schéma metody zeslabené totální reflektance [17].....	28
Obr. 21: Vznik signálů interakcí primárního svazku elektronů s povrchem materiálu [19].....	29
Obr. 22: Schéma řádkovacího elektronového mikroskopu [19].....	29
Obr. 23: Schéma přístroje LNF [24].....	33
Obr. 24: Testovaný automobil DAF LF [vlastní foto].....	34
Obr. 25: Testovaný automobil Mazda E2200 [vlastní foto].....	35
Obr. 26: Odběr vzorků oleje [vlastní foto]	36
Obr. 27: Odběr plastického maziva DAF [vlastní foto]	37
Obr. 28: Odběr plastického maziva MAZDA [vlastní foto].....	37
Obr. 29: Ferrograf REO-1 [vlastní foto].....	38
Obr. 30: Pracoviště pro ferrografickou analýzu [vlastní foto].....	40
Obr. 31: Vzorek č.2: stav tachometru 220 000 km, od výměny ujetu 20 000 km.....	41
Obr. 32: Vzorek č.3: stav tachometru 230 000km, od výměny ujetu 30 000 km.....	42
Obr. 33: Vzorek č.4: stav tachometru 240 000 km, od výměny ujetu 40 000 km (výměna).....	43
Obr. 34: Vzorek č.5: stav tachometru 250 000 km, od výměny ujetu 10 000 km.....	44
Obr. 35: Vzorek č.6: stav tachometru 260 000 km, od výměny ujetu 20 000 km.....	45
Obr. 36: Vzorek č.7: stav tachometru 270 000 km, od výměny ujetu 30 000 km.....	46
Obr. 37: Vzorek č.8: stav tachometru 280 000 km, od výměny ujetu 40 000 km (výměna).....	47
Obr. 38: Vzorek č.2: uložení pravého předního kola DAF LF.....	48
Obr. 39: Vzorek č.3: uložení levého předního kola DAF LF	49
Obr. 40: Vzorek č.5: uložení pravého předního kola MAZDA E2200	50
Obr. 41: USB mikroskop	51
Obr. 42: Uspořádání ruční přípravy ferrogramu [vlastní foto].....	52

Obr. 43: Snímky ručně připravených ferrogramů focené mikroskopem s USB připojením.....	53
Obr. 44: Snímky ferrogramů připravených pomocí ferrografu REO focené mikroskopem s USB připojením	54
Obr. 45: Kyveta pro měření olejů [28]	56
Obr. 46: Infračervené spektrum (celkový měřený rozsah)	57
Obr. 47: Infračervené spektrum (detail oblasti 1800 až 800 cm^{-1}).....	57
Obr. 48: Infračervené spektrum (detail oblasti 1150 až 800 cm^{-1}).....	58
Obr. 49: Infračervené spektrum (detail oblasti 3500 až 1000 cm^{-1}).....	58
Obr. 50: Infračervené spektrum (detail oblasti 1800 až 900 cm^{-1}).....	59
Obr. 51: Infračervené spektrum (celkový měřený rozsah)	59
Obr. 52: Infračervené spektrum (detail oblasti 3700 až 3000 cm^{-1}).....	60
Obr. 53: Infračervené spektrum (detail oblasti 1700 až 700 cm^{-1}).....	60
Obr. 54: Infračervené spektrum (detail oblasti 1700 až 700 cm^{-1}).....	61
Obr. 55: Infračervené spektrum (detail oblasti 3700 až 3000 cm^{-1}).....	61
Obr. 56: Infračervené spektrum (celkový měřený rozsah)	62
Obr. 57: Infračervené spektrum (detail oblasti 1700 až 700 cm^{-1}).....	62
Obr. 58: Infračervené spektrum (detail oblasti 1200 až 800 cm^{-1}).....	63
Obr. 59: Ultrazvuková lázeň BANDELIN SONOREX [26].....	66
Obr. 60: Vyjmutí filtrační vložky za pomoci speciálního přípravku [25]	66
Obr. 61: Částice izolované z filtru č. 1 (DAF LF) umístěné na grafitové podložce č. 1 – celkový pohled (zobrazovací režim fish-eye).....	67
Obr. 62: Částice typu 1	67
Obr. 63: Detail Obr. 59	67
Obr. 64: Detail Obr. 60	67
Obr. 65: Detail Obr. 61	67
Obr. 66: Detail Obr. 62	68
Obr. 67: Detail Obr. 63	68
Obr. 68: Částice typu 1	70
Obr. 69: Detail Obr. 65	70
Obr. 70: Částice typu 1	70
Obr. 71: Detail Obr. 67	70
Obr. 72: Částice typu 1	70
Obr. 73: Obr. 69.....	70
Obr. 74: Částice typu 1	71
Obr. 75: Detail Obr. 71	71
Obr. 76: Částice typu 1	71
Obr. 77: Detail Obr. 73	71
Obr. 78: Částice typu 2	71
Obr. 79: Detail Obr. 75	71
Obr. 80: Detail Obr. 76	72
Obr. 81: Částice typu 3	73
Obr. 82: Detail Obr. 78	73
Obr. 83: Detail Obr. 79	73
Obr. 84: Detail Obr. 80	73
Obr. 85: Částice typu 4	75
Obr. 86: Detail Obr. 82	75
Obr. 87: Částice izolované z filtru č. 2 (DAF LF) umístěné na grafitové podložce č. 2 – celkový pohled (zobrazovací režim fish-eye).....	76
Obr. 88: Částice typu 1	76

Obr. 89: Detail Obr. 85	76
Obr. 90: Detail Obr. 86	76
Obr. 91: Částice typu 1 (označená lokalita s artefaktem)	77
Obr. 92: Detail Obr. 88	77
Obr. 93: Detail označené lokality z Obr. 88	77
Obr. 94: Detail Obr. 90	77
Obr. 95: Částice typu 1	78
Obr. 96: Detail Obr. 92	78
Obr. 97: Částice typu 1	78
Obr. 98: Detail Obr. 94	78
Obr. 99: Detail Obr. 95	78
Obr. 100: Detail Obr. 96	78
Obr. 101: Částice typu 1 a 3	79
Obr. 102: Detail Obr. 98	79
Obr. 103: Částice typu 1 a 3	79
Obr. 104: Detail Obr. 100	79
Obr. 105: Částice typu 3	79
Obr. 106: Detail Obr. 102	79
Obr. 107: Částice izolované z filtru č. 2 (DAF LF) umístěné na grafitové podložce č. 3 – celkový pohled (zobrazovací režim fish-eye).....	80
Obr. 108: Částice typu 1	80
Obr. 109: Detail Obr. 105	80
Obr. 110: Částice typu 1	80
Obr. 111: Částice typu 5	80
Obr. 112: Detail Obr. 108	81
Obr. 113: Detail Obr. 108	81
Obr. 114: Částice izolované z filtru č. 2 (DAF LF) umístěné na grafitové podložce č. 4 – celkový pohled (zobrazovací režim fish-eye).....	82
Obr. 115: Částice typu 1	82
Obr. 116: Detail Obr. 112	82
Obr. 117: Částice typu 1	82
Obr. 118: Částice typu 4	83
Obr. 119: Detail Obr. 115	83
Obr. 120: Detail Obr. 116	83
Obr. 121: Detail Obr. 117	83
Obr. 122: Částice typu 3	83
Obr. 123: Detail Obr. 119	83
Obr. 124: Detail Obr. 120	84
Obr. 125: Částice typu 5	84
Obr. 126: Hodnocená plocha ze snímku ferrogramu – snímek z digitálního mikroskopu s USB připojením, zvětšení 230×	86
Obr. 127: Hodnocená plocha ze snímku ferrogramu – binární obraz téže oblasti vytvořený v programu Image J	86
Obr. 128: Příklad okna programu Image J s výsledky.....	86
Obr. 129: Laserový čítač a klasifikátor částic [28].....	88
Obr. 130: Zařízení pro homogenizaci vzorku [vlastní foto]	88
Obr. 131: Příklad okna zobrazující výsledky měření	90
Obr. 132: Příklad částic rozdělených do jednotlivých tříd	91

6 SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Druhy čističů oleje a jejich čistící schopnost [11].....	22
Tab. 2: Údaje o vzorcích olejů.....	36
Tab. 3: Údaje o vzorcích PM.....	38
Tab. 4: Hmotnosti vzorků PM rozpouštěných pro ferrografii.....	40
Tab. 5: Chemické složení nejčastěji se vyskytujících částic.....	84
Tab. 6 : Výsledky obrazové analýzy.....	87

7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Základy tribotechniky*. [online] [cit. 16. března 2010]. Dostupné na WWW: <http://oleje.cz/index.php?left=main&page=hlavni_zaklady>.
- [2] STODOLA, J. *Diagnostika motorových vozidel. Sylaby k přednáškám*. Brno: VUT, 2003.
- [3] *Opotřebením strojních soustav a vznik poruch*. [online] [cit. 29. října 2007]. Dostupné na WWW: <<http://homel.vsb.cz/~krz011/4kapitola.pdf>>.
- [4] MACHALÍKOVÁ, J. *Provozní hmoty automobilové dopravy*. Bratislava: Alfa, 1987
- [5] VOCEL, M., DUFEK, V. *Tření a opotřebením strojních součástí*. Praha: SNTL, 1986
- [6] *Plastická maziva*. [online] [cit. 16. března 2010]. Dostupné na WWW: <http://oleje.cz/index.php?left=plast_maziva&page=plast_popis>.
- [7] PAPOUŠEK, M., ŠTĚRBA, P. *Diagnostika spalovacích motorů. Praktická příručka*. Brno: Computer press, 2007
- [8] VLK, F., *Paliva a maziva motorových vozidel*. Brno: 2006 ISBN 80-239-6461-5
- [9] *Slovník odborných pojmů*. [online]. [cit. 19. března 2010]. Dostupné na WWW: <<http://www.olejservis.cz/pojmy.htm>>.
- [10] PILÁRIK, M., PABST, J. *Automobily pro 2. a 3. ročník SOU*. 3., přeprac. vyd. Praha: 1997 ISBN 80-86073-02-5
- [11] GSCHEIDLE, R., A KOL. *Příručka pro automechanika*. Praha: Sobotáles, 2001 ISBN 80-85920-76-X
- [12] JAN, Z., ŽDÁRSKÝ, B. *Automobily 3, motory*. 5., vydání. Brno: Advid, 2008 ISBN 978-80-87143-06-3
- [13] *Výměnné intervaly*. [online]. [cit. 28. března 2010]. Dostupné na WWW: <http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_mytus9>.
- [14] *Tribotechnické aplikace vybraných instrumentálních metod*. [online]. [cit. 25. ledna 2008]. Dostupné na WWW: <<http://www.cd rail.cz/VTS/CLANKY/vts21/2112.pdf>>.
- [15] *Tribotechnické informace*. [online]. [cit. 22. ledna 2009]. Dostupné na WWW: <<http://www.tribotechnika.cz/doc/TTI-1-2008.pdf>>.
- [16] *Analytical Ferrography*. [online]. [cit. 6. dubna 2010]. Dostupné na WWW: <<http://www.polarislabs1.com/test-explanations/analytical-ferrography.php>>.
- [17] *Provozní hmoty 2004/2005*. [online]. [cit. 29. března 2010]. Dostupné na WWW: <http://webak.upce.cz/~machjar/FTIR_pro_PH.doc>.
- [18] *Infračervená spektrometrie*. [online]. [cit. 6. června 2007]. Dostupné na WWW: <<http://www.kubusz.net/Anala/Matejka-Prednasky/ACH-08IR.pdf>>.
- [19] *Elektronovým mikroskopem do nitra materiálů*. [online] [cit. 14. dubna 2010]. Dostupné na WWW: <<http://www.fzu.cz/popularizace/elektronovym-mikroskopem-do-nitra-materialu-aneb-jak-vypada-jejich-struktura>>.

- [20] *Rastrovací elektronová mikroskopie*. [online] [cit. 31. ledna 2004]. Dostupné na WWW: <<http://biologie.upol.cz/mikroskopie/rastrovaci%20em.htm>>.
- [21] *Elektronová mikroanalýza*. [online] [cit. 14. dubna 2010]. Dostupné na WWW: <<http://www.geology.cz/extranet/vav/geochhornprostredi/larem/nabidka-sluzeb/link-eds>>.
- [22] *Firemní materiály Reo Trade, s.r.o.*, návod k obsluze ferrografu REO-1
- [23] *Obrazová analýza* [online] [cit. 22. února 2004]. Dostupné na WWW: <<http://biologie.upol.cz/mikroskopie/obrazova%20analyza.htm>>
- [24] GLOS, J. *Osobní sdělení*
- [25] SOUKENKA, M. *Diplomová práce - Analýza opotřebených olejů a jimi mazaných součástí*, Univerzita Pardubice 2007.
- [26] BAŽANT, L. *Diplomová práce – Aplikace vybraných experimentálních metod při optimalizaci výměnných lhůt maziv pro dopravní prostředky*, Univerzita Pardubice 2009
- [27] HULÍNSKÝ, V., JUREK, K. *Zkoumání látek elektronovým paprskem*. Praha: SNTL, 1982.
- [28] *LaserNet Fines* [online] [cit. 3. května 2010]. Dostupné na WWW: <<http://www.machinerylubrication.com/Read/383/lasernet-fines-oil-analysis>>
- [28] *Kyveta pro měření olejů* [online] [cit. 19. května 2010]. Dostupné na WWW: <<http://www.thermo.com.cn/Product2934.html>>
- [29] DOVRTĚL, V. *Osobní sdělení*

8 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha na DVD: Na DVD jsou uvedeny všechny fotografie pořízené při ferrografické analýze a fotografie z REM. Dále je zde uvedena kompletní diplomová práce v elektronické podobě.