Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Tribotechnická diagnostika olejů kogeneračních jednotek ve Vysokém Mýtě

Bc. Lenka Richterová

Diplomová práce

2013

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: **2012/2013**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. Lenka Richterová**
Osobní číslo:	**D11918**
Studijní program:	**N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor:	**Provozní spolehlivost dopravních prostředků a infrastruktury: Ochrana životního prostředí v dopravě**
Název tématu:	**Tribotechnická diagnostika olejů kogeneračních jednotek ve Vysokém Mýtě**
Zadávající katedra:	**Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Zásady pro vypracování:

1) Úvod.
2) Na základě studia literatury a informačních zdrojů popište současný stav řešené problematiky.
3) Seznamte se s principy a metodikou používaných experimentálních metod.
4) Zabezpečte odběr zkušebních vzorků a připravte je k analýzám. Proveďte příslušné laboratorní zkoušky.
5) Výsledky provedených prací interpretujte, závěry zpracujte ve formě doporučení pro uživatele kogeneračních jednotek.

Rozsah grafických prací:	**podle pokynů vedoucího diplomové práce**
Rozsah pracovní zprávy:	**min. 50 stran textu a přílohy**
Forma zpracování diplomové práce:	**tištěná**

Seznam odborné literatury:

Firemní materiály TEDOM. Průvodní dokumentace, průvodní dokumentace kogenerační jednotky CENTO T160 SP BIO.
ŠNAJDR, E. Analýza olejů z kogenerační jednotky. Diplomová práce. Univerzita Pardubice. 2012.
O bioplynových stanicích. [online]. [cit. 203-01-18]. Dostupné z: (http://www.bioproject.cz/o-bioplynovych-stanicich.php).
TEPLÝ, Martin. Analýza částic separovaných z olejových filtrů. Univerzita Pardubice. Bakalářská práce. 2008.

Vedoucí diplomové práce:	**Ing. Marie Sejkorová** Katedra dopravních prostředků a diagnostiky
Datum zadání diplomové práce:	**15. února 2013**
Termín odevzdání diplomové práce:	**23. května 2013**

prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.
děkan

L.S.

doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. února 2013

Prohlášení

Prohlašuji, že předložená práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracovala samostatně. Literaturu a další zdroje, z nichž jsem při zpracování čerpala, v práci řádně cituji.

Byla jsem seznámena 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 21. 05. 2013

Bc. Lenka Richterová

Děkuji paní Ing. Marii Sejkorové za vedení diplomové práce, za pomoc, cenné rady a čas strávených při její tvorbě. Také děkuji společnosti TEDOM s.r.o., která mi umožnila odběr vzorků motorových olejů z kogeneračních jednotek bioplynové stanice ve Vysokém Mýtě.

Tato diplomová práce vznikla v rámci řešení projektu „IVINTEP - Inženýrské vzdělávání jako interakce teorie a praxe“, reg. č. CZ.1.07/2.2.00/15.0352.

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá posouzením stavu opotřebení motorových olejů z plynových motorů kogeneračních jednotek fermentační stanice ve Vysokém Mýtě. K posouzení stavu opotřebení motorových olejů byly použity vybrané metody tribotechnické diagnostiky. Práce popisuje danou problematiku po teoretické ale i praktické stránce. Definuje základní pojmy z této oblasti, obecně popisuje princip bioplynové stanice, funkci kogeneračních jednotek a definuje příčiny opotřebení oleje v provozu a druhy částic vznikajících opotřebením. Prakticky je zde popsána problematika týkající se kogeneračních jednotek bioplynové stanice Vysoké Mýto a bioplynu, který je využíván jako palivo. Déle přináší podrobný přehled použitých metod tribotechnické diagnostiky a jejich principy. Práce rovněž popisuje odběry vzorků motorových olejů, jejich analýzu metodami tribotechnické diagnostiky (analýzou částic laserovým analyzátorem SpectroLNF Q200, IČ spektrometrií, atomovou emisní spektrometrií s rotující diskovou elektrodou) a vyhodnocuje výsledky provedených analýz. Výsledky diplomové práce budou předány provozovateli bioplynové stanice.

KLÍČOVÁ SLOVA

Tribotechnická diagnostika, kogenerace, bioplynová stanice, motorový olej, bioplyn.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to describe the degradation of engine oil from gas engines of the cogeneration units which are located in the fermentation station in Vysoke Myto, from both a practical and theoretical approach. The paper focuses on the general operation of the bio-gas station, the function of cogeneration units as well as defining the basic terms related to this subject. The causes of engine oil degradation and types of particals produced by the wear process are also identified. The theoretical part provides a detailed overview of tribo diagnostic methods, which were in this research used for assessing the engine oil degradation. The practical part focuses on the matter regarding cogeneration units located in the bio-gas station in Vysoke Myto and biogas, which is used as fuel. It also describes sampling of motor oils, their analysis by some tribo diagnostic methods (such as analysis using a laser analyser Spectro LNFQ 200, IR Spectrometry, Atomic Emission Spectrometry with a rotating lectrode) as well as evaluation of the results obtained by different methods. The results of this work will be forwarded to an operator of the bio-gas plant.

KEYWORDS

Tribotechnical diagnostics, cogeneration, biogas plant, motor oil, biogas.

Obsah

Úvod ... **12**

1. Definice pojmů ... **14**

2. Bioplynová stanice ... **15**

2.1 Bioplynová stanice Vysoké Mýto ... 16

3. Kogenerační jednotky ... **19**

3.1 Kogenerační jednotky bioplynové stanice Vysoké Mýto ... 21

4. Bioplyn ... **23**

4.1 Čištění bioplynu ... 25

5. Motorové oleje ... **26**

5.1 Motorové oleje kogeneračních jednotek ve Vysokém Mýtě ... 28

6. Kontaminace a degradace olejových náplní ... **30**

6.1 Druhy opotřebení třecích ploch ... 31

7. Tribotechnická diagnostika ... **36**

7.1 Analýza částic laserovým analyzátorem Spectro LNF Q200 ... 37

7.2 IČ spektrometrie ... 40

7.3 Atomová emisní spektrometrie s rotující diskovou elektrodou ... 44

8. Odběr vzorků olejů ... **47**

8.1 Odběr vzorků z kogeneračních jednotek bioplynové stanice Vysoké Mýto ... 47

9. Analýza vzorků ... **50**

9.1 Analýza částic laserovým analyzátorem Spectro LNF Q200 ... 50

9.2 FTIR spektrometrie ... 56

9.3 Atomová emisní spektrometrie s rotující diskovou elektrodou ... 64

Závěr ... **69**

Použité informační zdroje ... **71**

Seznam obrázků a tabulek

Obrázek č. 1 – Areál bioplynové stanice Vysoké Mýto

Obrázek č. 2 – Areál bioplynové stanice Vysoké Mýto

Obrázek č. 3 - Princip kogenerace

Obrázek č. 4 - Faktory ovlivňující stav oleje

Obrázek č. 5 - Povrchová vrstva kovové leštěné součásti

Obrázek č. 6 - Druhy opotřebení třecích ploch

Obrázek č. 7 - Schéma laserového čítače částic

Obrázek č. 8 - Princip činnosti SpectroLNF Q200

Obrázek č. 9 - Elektromagnetické spektrum

Obrázek č. 10 - Oblast „otisku palce“

Obrázek č. 11 - FTIR spektrometr Nicolet iS10

Obrázek č. 12 - Princip atomové emisní spektrometrie s rotační diskovou elektrodou

Obrázek. č. 13 – Třepačka Heidolph Reax 2

Obrázek č. 14 – Ultrazvuková lázeň BANDELIN SONOREX

Obrázek č. 15 - Laserový analyzátor částic SpectroLNF Q200

Obrázek č. 16 - Graf počtu částic o velikosti 5 - 15 µm

Obrázek č. 17 - Graf počtu částic o velikosti 15 – 25 µm

Obrázek č. 18 - Graf počtu částic o velikosti 25- 50 µm

Obrázek č. 19 - Graf počtu částic větších než 50 µm

Obrázek č. 20 - Trendový graf celkového počtu částic v olejích z motoru M 23 kogenerační jednotky bioplynové stanice Vysoké Mýto

Obrázek č. 21 - Ukázka typů částic ve vzorku č. 2 motoru M 23

Obrázek č. 22 - Graf vývoje dynamické viskozity

Obrázek č. 23 - Graf počtu částic o velikosti 5 - 15 µm

Obrázek č. 24 - Graf počtu částic o velikosti 15 – 25 µm

Obrázek č. 25 - Graf počtu částic o velikosti 25 – 50 µm

Obrázek č. 26 - Graf počtu částic větších než 50 µm

Obrázek č. 27 - Trendový graf celkového počtu částic v olejích z motoru M 24 kogenerační jednotky bioplynové stanice Vysoké Mýto

Obrázek č. 28 - Ukázka typů částic ve vzorku č. 8 motoru M 24

Obrázek č. 29 - Graf vývoje dynamické viskozity

Obrázek č. 30 - Spektrometr Nicolet iS10

Obrázek č. 31 - Infračervené spektrum vzorků olejů z motoru M 23 (celý měřený rozsah)

Obrázek č. 32 - Infračervené spektrum vzorků olejů z motoru M 23 (detail spektra v oblasti 1800 až 700 cm^{-1})

Obrázek č. 33 - Infračervené spektrum vzorků olejů z motoru M 23 (detail spektra v oblasti 1650 až 1500 cm^{-1})

Obrázek č. 34 - Infračervené spektrum vzorků olejů z motoru M 23 (detail spektra v oblasti 1300 až 700 cm^{-1})

Obrázek č. 35 - Infračervené spektrum vzorků olejů z motoru M 23 (detail spektra v oblasti 700 až 650 cm^{-1})

Obrázek č. 36 - Infračervené spektrum vzorků olejů z motoru M 23 (detail spektra v oblasti 1500 až 1300 cm^{-1})

Obrázek č. 37 - Infračervené spektrum vzorků olejů z motoru M 24 (celý měřený rozsah)

Obrázek č. 38 - Infračervené spektrum vzorků olejů z motoru M 24 (detail spektra v oblasti 1800 až 700 cm^{-1})

Obrázek č. 39 - Infračervené spektrum vzorků olejů z motoru M 24 (detail spektra v oblasti 1650 až 1500 cm^{-1})

Obrázek č. 40 - Infračervené spektrum vzorků olejů z motoru M 24 (detail spektra v oblasti 1300 až 700 cm^{-1})

Obrázek č. 41 - Infračervené spektrum vzorků olejů z motoru M 24 (detail spektra v oblasti 700 až 650 cm^{-1})

Obrázek č. 42 - Infračervené spektrum vzorků olejů z motoru M 24 (detail spektra v oblasti 1500 až 1300 cm^{-1})

Obrázek č. 43 - Spectroil Q^{100}

Obrázek č. 44 - Znázornění koncentrace otěrových kovů

Obrázek č. 45 - Znázornění koncentrace aditivních prvků a K, Na a Si

Obrázek č. 46 - Znázornění koncentrace otěrových kovů

Obrázek č. 47 - Znázornění koncentrace aditivních prvků a K, Na a Si

Tabulka č. 1 - Základní technické údaje kogeneračních jednotek

Tabulka č. 2 - Technické údaje motoru kogeneračních jednotek

Tabulka č. 3 - Technické údaje generátoru kogeneračních jednotek

Tabulka č. 4 - Chemické složení bioplynu

Tabulka č. 5 - Potenciální zdroje prvků v tribologickém systému

Tabulka č. 6 – Vzorky olejů z motoru M 23 kogenerační jednotky bioplynové stanice Vysoké Mýto

Tabulka č. 7 – Vzorky olejů z motoru M 24 kogenerační jednotky bioplynové stanice Vysoké Mýto

Tabulka č. 8 - Výsledky částicové analýzy včetně uvedení dynamické viskozity při 40 °C

Tabulka č. 9 - Výsledky částicové analýzy včetně uvedení dynamické viskozity při 40 °C

Úvod

V současné době se stále více do popředí dostává otázka využití obnovitelných zdrojů energie zahrnujících rovněž bioodpady a biomasu. Jedná se o materiály, které jsou produkovány při každodenní činnosti široké škály subjektů, jako je např. údržba veřejné zeleně, čištění odpadních vod, veřejné stravování, výroba potravin ale i přímo v domácnostech. Nakládání s nimi většinou nevyužívá energetický potenciál, který se v nich skrývá ve formě výroby bioplynu. Odpady se tak odstraňují na skládkách, v kompostárnách, v kafileriích či spalovnách [1].

Ve Vysokém Mýtě byla v roce 2008 uvedena do provozu bioplynová stanice za účelem využití energetického potenciálu bioodpadu. Tato bioplynová stanice vznikla v rámci projektu **Integrovaný systém nakládání s bioodpady Vysoké Mýto**. Tento projekt řešil sběr biologicky rozložitelných odpadů ve Městě Vysoké Mýto, sběr a svoz bioodpadů od podnikatelských subjektů a jejich zpracování v bioplynové stanici [1].

Srdcem celé bioplynové stanice jsou kogenerační jednotky. V těchto jednotkách dochází k procesu, při kterém se současně vyrábí elektřina a teplo. U kogeneračních jednotek se používají stacionární plynové motory. Jako palivo pro tento druh motorů se používá bioplyn, který se v dnešní době získává nejen ze zpracování odpadů, ale i z cíleně pěstovaných plodin tzv. energetické biomasy. Může se jednat o zelenou biomasu jako je krmná kapusta, kukuřice, obilí, atd., nebo také rychle rostoucí dřeviny [2].

Bioplyn je druh paliva, jenž je velmi agresivní vůči vnitřním prvkům motoru, se kterými přichází do styku. Aby byla zajištěna jejich spolehlivost, vysoká účinnost a životnost, je nutné správně zvolit motorový olej. Vhodná kvalita oleje pro určitý daný typ kogenerační jednotky se hodnotí celou řadou laboratorních zkoušek, napodobujících provozní podmínky [2].

Potřebné informace o aktuálním stavu mazacího oleje a tím technickém stavu motoru umožňuje aplikace metod tribotechnické diagnostiky (TTD). TTD vychází z individuálního posouzení stupně degradace oleje v každém motoru na základě analýzy použitého oleje. Využívá mazivo jako zdroj informací o dějích a změnách jak v technických systémech, v nichž jsou maziva aplikována, tak i v samotném mazivu. Vhodná interpretace výsledků

rozborů umožňuje nejen včas upozornit na příznaky blížící se poruchy stroje, ale v řadě případů umožňuje i určení místa vzniku mechanické závady [3].

V posledních letech se rozvíjejí fyzikálně-chemické instrumentální kontrolní metody pro posuzování průběhu a stupně opotřebení olejů, zejména motorových. Získané analytické údaje poskytují kromě diagnostické informace i informaci prognostickou, tj. dovolují předvídat havarijní situace a předcházet jim. Z ekonomického i ekologického hlediska je optimalizace výměny olejových náplní velmi závažným problémem a právě v této oblasti nachází TTD stále širší uplatnění. Zavádění TTD je významným přínosem v oblasti energetických úspor, přispívá k šetření ropnou surovinou, pohonnými hmotami, mazivy, konstrukčními materiály i lidskou prací. Přináší úspory při prevenci havarijních stavů zařízení i při snižování spotřeby maziv, z čehož vyplývá i její příspěvek ke snižování zátěže životního prostředí [3].

Diplomová práce se zabývá analýzou opotřebených motorových olejů z kogeneračních jednotek bioplynové stanice Vysoké Mýto. Je zaměřena na analýzu oleje, ale také byla provedena analýza otěrových částic. V práci byly použity pokročilé instrumentální metody (analýza částic laserovým analyzátorem SpectroLNF Q200, atomová emisní spektrometrie a rotující diskovou elektrodou). Jako další metoda byla zvolena FTIR spektrometrie, která umožnila posouzení degradace maziv v provozních podmínkách.

Výsledky práce budou předány provozovateli bioplynové stanice.

1. Definice pojmů

Tribotechnická diagnostika je jednou z metod bezdemontážní technické diagnostiky využívající maziva jako media pro získání informací o dějích a mechanických změnách v technických systémech, u nichž jsou maziva aplikována [4].

Kogenerace je společná výroba elektřiny a tepla. Umožňuje zvýšení účinnosti využití energie paliv [5].

Bioplynová stanice je zařízení, ve kterém je řízeným procesem za nepřístupu vzduchu získán bioplyn z biologicky rozložitelných odpadů. Bioplyn je následně spálen v kogenerační jednotce. Tímto způsobem je získána elektrická energie a teplo.

Motorový olej je velmi obecné souhrnné označení pro celou skupinu minerálních olejů, používaných jako maziva a chladiva a plnících těsnící a čistící funkci v motorech [5]. Základní surovinou při výrobě olejů je ropa.

Bioplyn je plyn produkovaný během anaerobní digesce organických materiálů a skládající se zejména z metanu (CH_4) a oxidu uhličitého (CO_2) [5].

2. Bioplynová stanice

Bioplynová (fermentační) stanice je technologické zařízení využívající procesu anaerobní digesce ke zpracování bioodpadu, případně jiného biologicky rozložitelného materiálu [6]. Hlavním produktem anaerobní digesce je **bioplyn**, který je následně spálen v kogenerační jednotce. Tímto způsobem je získána elektrická energie a teplo.

Anaerobní digesce (anaerobní fermentace) je proces, při kterém mikroorganismy rozkládají organický materiál bez přístupu vzduchu. Celý proces probíhá ve čtyřech základních fázích (princip produkce bioplynu):

1. **hydrolýza** - hydrolytické mikroorganismy štěpí makromolekulární organické látky na menší molekuly schopné transportu do buňky, kde probíhají další faze,
2. **acidogeneze** - produkty hydrolýzy jsou štěpeny na jednodušší látky (kyseliny, alkoholy, CO_2, H_2),
3. **acetogeneze** - tvorba kyseliny octové, CO_2 a H_2,
4. **methanogeneze** - vznik methanu ze směsi CO_2 a H_2 nebo z kyseliny octové; vedlejším produktem je CO_2 [6].

Všechny čtyři fáze probíhají současně v jednom místě a v jednom čase. Pouze při rozběhu bioplynové stanice dochází nejprve k jednotlivým procesům. Z tohoto důvodu může zahájení provozu trvat i několik týdnů až měsíců, než dojde k tomu, že začne probíhat methanogeneze. Všechny čtyři fáze potřebují následující životní podmínky: vlhké prostředí, zabránění přístupu vzduchu, zabránění přístupu světla, stálou teplotu a tlak, přísun živin, velké kontaktní plochy, inhibitory atd. [2].

V bioplynové stanici lze zpracovávat kejdu, hnůj a jiné odpady z živočišné výroby, odpady z rostlinné výroby, ze stravování, biologicky rozložitelný komunální odpad a čistírenské kaly. Vhodné jsou zvláště materiály s vyšší vlhkostí. Často se uplatňuje kofermentace, tzn. zpracování různých materiálů v jednom zařízení. Vhodnou kombinací substrátů lze docílit složení, které bude mít příznivý vliv na průběh procesu a tím i na výsledné množství a kvalitu bioplynu [6].

Zařízení pro anaerobní digesci organických odpadů může mít mnoho variant. Na začátku bioplynové linky je zpravidla přípravná nádrž, kde se skladuje surový materiál. Ten je podle

potřeby přečerpáván do fermentoru, kde se odehrává vlastní proces anaerobní digesce a tvorby bioplynu. Bioplyn vznikající ve fermentoru je jímán do zásobníku a upravován pro další využití [6].

Produktem anaerobní digesce je **bioplyn**, **digestát** a **fugát**.
Bioplyn je tvořen převážně methanem a oxidem uhličitým. Obsah methanu se pohybuje mezi 50 a 75 %. Tuhý zbytek po vyhnití se sníženým obsahem biologicky rozložitelných látek se nazývá **digestát**. Tento materiál, pokud vyhovuje všem stanoveným parametrům, lze využít jako hnojivo, přídavek do kompostu nebo k úpravě povrchu terénu. **Fugát**, nebo-li procesní voda, je tekutý produkt vyhnívacího procesu a má charakter vody odpadní. Je silně zakalený a obsahuje produkty anaerobního rozkladu organických látek. Zpravidla je odváděn do čistírny odpadních vod [6].

Bioplynové stanice lze obecně rozdělit dle zpracování substrátu na:

- *zemědělské* – zpracovávají pouze rostlinnou biomasu a statková hnojiva (tráva, sláma, plevy, zeleninová nať, kejda, hnůj, pěstovaná biomasa),
- *čistírenské* – zpracovávají pouze kaly z čistírny odpadních vod,
- *ostatní* – zpracovávající bioodpady a vedlejší živočišné produkty [7].

Bioplynové stanice lze také rozdělit dle technologické metody výroby na:

- *bioplynové stanice s mokrou fermentací* – pracují s kapalným materiálem a materiálem o sušině do 12%.
- *bioplynové stanice se suchou fermentací* – pracují s materiálem o sušině 25% a více [7].

2.1 Bioplynová stanice Vysoké Mýto

19. září 2008 byla ve Vysokém Mýtě uvedena do provozu bioplynová stanice. Stanice byla vybudována v rámci projektu **Integrovaný systém nakládání s bioodpady Vysoké Mýto** spolufinancovaného z prostředků Evropské unie, Státního fondu životního prostředí České republiky, Pardubického kraje a z vlastních prostředků Města Vysokého Mýta. Tento projekt řeší sběr biologicky rozložitelných odpadů ve Městě Vysoké Mýto, sběr a svoz bioodpadů od

podnikatelských subjektů a jejich zpracování v bioplynové stanici [1]. Bioplynová stanice je umístěna za Vysokým Mýtem v místní části Šnakov v sousedství čistírny odpadních vod. Jejím provozovatelem je společnost Vodovody a kanalizace Vysoké Mýto, s.r.o.. Instalovaný elektrický výkon je 320 kilowattů.

Bioplynová stanice ve Vysokém Mýtě je technologické zařízení pro zpracování produktů kalů z ČOV a odpadních materiálů z jateční a zemědělské výroby, doplněných o vytříděný domovní odpad, příp. o rostlinnou biomasu. Kapacita zařízení je cca 8 000 t odpadů za rok [8]. Bioplynová stanice ve Vysokém Mýtě pracuje na principu mokré fermentace a je tvořena dvoustupňovým reaktorovým systémem, což znamená, že proces fermentace probíhá postupně ve dvou reaktorech. V prvním reaktoru (fermentoru) se uskutečňuje hlavní fermentační proces a produkuje se bioplyn, ve druhém reaktoru (uskladňovací nádrži/plynojemu) dohnívá zfermentovaný kal a uskladňuje se bioplyn [7]. Bioplyn je následně spálen ve dvou kogeneračních jednotkách (každá o výkonu 160 kW). Při tomto procesu se současně vyrábí elektrická energie a teplo. Elektrická energie je vyvedená přes měření a trafostanici do veřejné distribuční sítě. Vyrobené teplo se využívá pro ohřev fermentoru a hygienizaci, zbytek je využíván pro vytápění objektů ČOV [8].

Technologické schéma procesu výroby bioplynu je v příloze A.

Součástí bioplynové stanice jsou rovněž speciální drtící a hygienizační jednotky umožňující zdravotně nezávadné zpracování odpadů, celý technologický systém je pak umístěn v uzavřeném objektu vybaveném vzduchotechnikou s biofiltry odstraňujícími zápach. Dalším výstupem z bioplynové stanice je pak fermentační zbytek (digestát), jehož využití je k výrobě kompostu či přímo k hnojení pozemků [1].

Bioplynová stanice Vysoké Mýto zpracuje cca 1020 t surovin za měsíc. V současné době se jedná především o kaly z ČOV (největší podíl cca 60 %), kukuřičnou siláž, řepné řízky, lapol, pečivo, pšenice, brambory, ovoce, zbytky z veřejného stravování a senáž.

Při uvedeném měsíčním množství vstupních surovin a v závislosti na druhové skladbě a energetické výtěžnosti jednotlivých surovin vyrobí bioplynová stanice Vysoké Mýto:

Bioplyn	30 000 –60 000 m^3
Elektrická energie	60 000 – 120 000 KWh

Teplo	160 000 kJ
Tuhý digestát	14 t
Tekutý fugát	650 m^3

Digestát i fugát jsou registrovány jako hnojivo splňující zákonem stanovené limity rizikových prvků. Rozhodnutí o registraci hnojiva – Digestát – fugát – organické hnojivo je vloženo v příloze B.

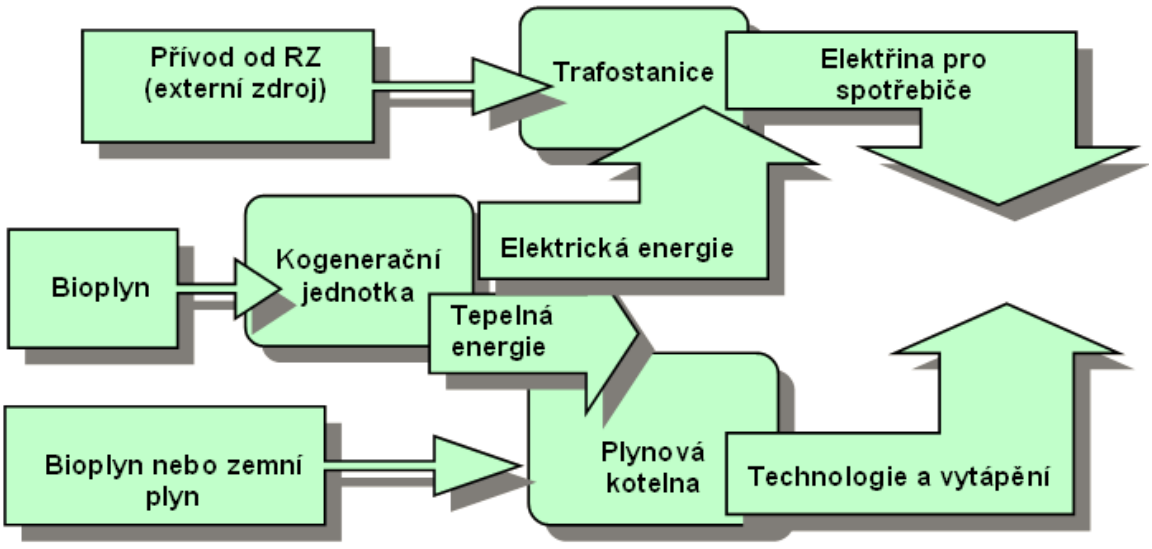
Obrázek č. 1 – Areál bioplynové stanice Vysoké Mýto [1]

Obrázek č. 2 – Areál bioplynové stanice Vysoké Mýto [1]

3. Kogenerační jednotky

Srdcem celé bioplynové stanice jsou kogenerační jednotky. V těchto jednotkách dochází k procesu, při kterém se současně vyrábí elektřina a teplo [8]. Kombinovanou výrobou tepla a elektřiny se efektivně využívá primárních zdrojů energie – paliv. Pouze cca 15 % připadá na ztráty [9]. Pro kogeneraci se používají stacionární motory poháněné plynem. Používají se dvoudobé i čtyřdobé konstrukce, nepřeplňované i přeplňované, mnohdy vzniklé rekonstrukcí vznětových či zážehových motorů, velmi často však jako speciální konstrukce. Parametry motorů se proto pohybují ve velmi širokém rozpětí - výkon mezi 100 až 16 000 k (cca 75 až 12 000 kW), otáčky bývají 300 až 3 000 1/min. (obvykle konstantní), časté je spalování chudé směsi (nízká spotřeba, ale vyšší tepelné zatížení, tedy i vyšší oxidace a nitrace mazacího oleje) [10]. Vznětové motory se používají častěji pro svoji robustní konstrukci a jejich vyšší kompresní poměr. Jejich účinnost se pohybuje od 35 % do 45 % a můžou dosáhnout jednotkového výkonu až 25 MW [2].

Princip kogenerace je znázorněn na obrázku č. 3.



Obrázek č. 3 - Princip kogenerace [11]

Jako palivo se používá nejčastěji čištěný, suchý zemní plyn, ale také surový zemní plyn, bioplyn, skládkový a kalový plyn [10]. Motory ve kterých je používán jako palivo bioplyn by měly mít dlouhou životnost při plné zátěži a stálém provozu 1500 ot./min. Dále by tyto motory měly mít dobrou mechanickou účinnost, jednoduchou údržbu, kapalinové chlazení pro

využití odpadního tepla, malou hlučnost a nízké emise výfukových plynů. [2] Zde je také vyžadován speciální schválený motorový olej, podobně jako u vozidlových aplikací. Významnou odlišností je požadovaná extrémně vysoká odolnost proti stárnutí, aby bylo možno dosahovat dlouhých výměnných intervalů oleje – výměna bývá po 750 až 1500 MH (dle doporučení výrobce motoru) nebo dle výsledků analýzy oleje [10].

V kogenerační jednotce vzniká elektrická energie stejným způsobem jako v jiných elektrárnách a to roztočením elektrického generátoru pomocí pístového spalovacího motoru.

Jak již bylo zmíněno motor v kogenerační jednotce je běžně konstruován na zemní plyn, ale může využít i různé druhy bioplynů s vyšším obsahem metanu jako jsou skládkové plyny, uhelné plynu nebo kalové plyny z čistíren odpadních vod [9].

Kogenerační jednotky se zážehovými nebo vznětovými motory upravené pro spalování plynu využívají palivo asi z 80 – 85 %. Z toho připadá 30 – 35 % na elektrickou energii a zbylých 65 – 70 % na teplo [9].

Při chodu motoru vznikají vibrace a hluk. Z těchto důvodů musí být kogenerační jednotky správně uloženy a odhlučněny. Z těchto důvodů se často kogenerační jednotky umísťují do speciálních kontejnerů, které dobře zvukově izolují. Kontejnerové provedení má výhodu rychlé výstavby, ke které stačí jen zpevněná plocha [2].

Mezi výhody kogeneračních jednotek lze považovat:

- při vlastní spotřebě tepla a elektrické energie se vyhneme přenosovým ztrátám,
- využitím odpadního tepla dochází k úspoře až 40 % paliva ve srovnání s tradičními technologiemi,
- produkce nižšího množství emisí ve srovnání s tradičními surovinami jako je uhlí,
- možnost prodeje přebytku elektrické energie do veřejné rozvodné sítě [12].

Mezi nevýhody se jednoznačně řadí poměrně vysoké investiční náklady na zařízení [12].

Potřebné informace o aktuálním stavu mazacího oleje a tím technickém stavu motoru umožňuje aplikace metod tribotechnické diagnostiky. Tribotechnická diagnostika využívá k získání potřebných informací řadu metod, od jednoduchých provozních až po náročné

instrumentální metody, které jsou prováděny na specializovaných pracovištích (např. IČ spektrometrie, analýza částic čítači částic, atomová emisní spektrometrie (AES)).

3.1 Kogenerační jednotky bioplynové stanice ve Vysokém Mýtě

Bioplynová stanice ve Vysokém Mýtě má dvě kogenerační jednotky značky TEDOM řady Cento. Kogenerační jednotky TEDOM řady Cento se řadí mezi stroje středních výkonů, na bázi plynových motorů, které vycházejí ze vznětových vozidlových motorů. Blokové uspořádání těchto jednotek obsahuje soustrojí motor-generátor, kompletní tepelné zařízení jednotky včetně tlumiče výfuku a protihlukového krytu, do kterého je vestavěn řídící a silový elektrický rozváděč [11].

Základní technické údaje kogeneračních jednotek bioplynové stanice ve Vysokém Mýtě jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka č. 1 - Základní technické údaje kogeneračních jednotek [11]

	Hodnota	Jednotky
Jmenovitý elektrický výkon	160	kW
Maximální tepelný výkon	197	kW
Příkon v palivu	420	kW
Účinnost elektrická	38,2	%
Účinnost tepelná	47,0	%
Účinnost celková (využití paliva)	85,1	%
Spotřeba plynu při 100 % výkonu	64,6	Nm^3/h
Spotřeba plynu při 75 % výkonu	53,0	Nm^3/h
Spotřeba plynu při 50 % výkonu	37,8	Nm^3/h

Základní technické údaje jsou platné pro standardní podmínky, které jsou uvedeny v průvodní dokumentaci kogeneračních jednotek TENDOM. Požadovaný minimální trvalý elektrický výkon je 50 % jmenovitého výkonu. Spotřeba plynu je uvedena pro bioplyn s obsahem metanu 65 %, při normálních podmínkách (0 °C; 101,325 kPa) [11].

Schéma kogenerační jednotky TEDOM Centro T160 je v příloze C.

K pohonu kogeneračních jednotek jsou použity plynové spalovací motory TB 172 GV TW 86 společnosti TEDOM s.r.o.. Technické údaje tohoto spalovacího motoru jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka č. 2 - Technické údaje motoru kogeneračních jednotek [11]

	Hodnota	Jednotky
Počet válců	6	-
Uspořádání válců	v řadě	-
Vrtání x zdvih	130 x 150	mm
Zdvihový objem	11940	cm^3
Kompresní poměr	11 : 1	-
Pracovní otáčky	1500	min^{-1}
Spotřeba oleje normal/max	0,3/0,7	g/kWh
Maximální výkon motoru	172	kW

Zdrojem energie je jednoložiskový generátor ECO 38-1LN/4 italské firmy Mech alte spa. Technické údaje tohoto generátoru jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka č. 3 - Technické údaje generátoru kogeneračních jednotek [11]

	Hodnota	Jednotky
Výkon generátoru	250/200	kVA/kW
Účinnost v pracovním bodě	95,7	%
Maximální pracovní teplota	40	°C
Napětí	400	V
Frekvence	50	Hz
Jmenovité otáčky	1500	min^{-1}

4. Bioplyn

Bioplyn je směs plynů, z nichž hlavní jsou metan (CH_4) a oxid uhličitý (CO_2) [13]. Složení bioplynu je uvedeno v tabulce č. 4. Bioplyn vzniká mikrobiálním rozkladem organické hmoty za nepřístupu vzduchu (tzv. anaerobní fermentací nebo digescí) [13]. V České republice se bioplyn používá jako palivo pro kogenerační jednotky. Přičemž velký vliv zde na tom má zavedená podpora na výrobu elektrické energie z obnovitelných zdrojů [2]. Princip produkce bioplynu v bioplynových stanicích je uveden v kapitole č. 2 této práce.

Chemické složení bioplynu

Chemické složení bioplynu má vliv na kvalitu bioplynu. Bioplyn není nikdy zcela čistý, vždy obsahuje zbytkové množství plynů [2]. Chemické složení bioplynu je uvedeno v následující tabulce č. 4.

Tabulka č. 4 - Chemické složení bioplynu [5]

Metan	Oxid uhličitý	Vodní pára	Dusík	Kyslík	Vodík	Čpavek	Sulfan
40-75 %	25-55 %	0-10 %	0-5 %	0-2 %	0-1 %	0-1 %	0-1 %

Bioplyn neobsahuje pouze sloučeniny uvedené v tabulce, ale také spoustu dalších většinou zanedbatelných sloučenin. Množství metanu a xidu uhličitého v bioplynu je dáno složením použitého substrátu, ve kterém probíhají jednotlivé procesy fermentace. Tyto procesy jsou ovlivňovány mnoha parametry, jako jsou například skladba a stav bakteriálních kultur, pH, typ reaktoru a jeho zatížení atd. [2]. Hlavní výhřevnou složkou bioplynu je metan a vodík. Problematickými jsou sulfan a čpavek, které je často nutné před energetickým využitím bioplynu odstranit, aby nepůsobily agresivně na strojní zařízení [5].

Sulfan je po metanu a oxidu uhličitém nejdůležitější složkou, kterou bioplyn obsahuje. Množství sulfanu obsažené v bioplynu, je dáno složením použitého substrátu. Vstupní zdroj síry může být například protein, anorganický síran, ale především látky, které mají bílkovinnou povahu. Bioplyn tedy obsahuje úměrně tolik síry, kolik je jí v biologicky zpracované formě substrátu. Sulfan je jedovatý plyn, který je velmi snadno rozpoznatelný díky svému typickému zápachu „po zkažených vejcích“. Proto se u bioplynu provádí odsíření.

Vyšší obsah sulfanu než1 % způsobuje brzdění procesu vyhnívání, a proto by se mělo jeho množství při každé změně vstupní suroviny kontrolovat. Sulfan je jediná forma síry, která se v bioplynu vyskytuje. Síra způsobuje korozi a je velmi agresivní vůči strojnímu zařízení. Z těchto důvodů je její zvýšený obsah v bioplynu nežádoucí [2].

Množství vodíku v bioplynu by se měl pohybovat do 1 % objemu. Vodík se vytváří v prvních dvou fázích (hydrolýze a acidogenezi) anaerobní digesce. Ve třetí fázi (acetogenezi) se vodík již spotřebovává. Jestliže dojde k tomu, že se vodík v procesu vyskytne, svědčí to o tom, že došlo k narušení procesu [2].

Z bioplynové stanice vychází tzv. čerstvý bioplyn, který je nasycen vodní párou. Tato vodní pára může obsahovat nepatrné množství málo prozkoumaných látek, které mohou způsobovat nemalé problémy při spalování v pístových motorech. Odstranění vodní páry z bioplynu se provádí kondenzací. Ta je v procesu velmi důležitá, jelikož se při ní spolu s kondenzovanou vodou odstraní i velká část čpavku, který vzniklý bioplyn obsahuje. Odstraněním čpavku se zabrání poškozování dílů motoru z barevných kovů [2].

Dále se v bioplynu nachází nepatrné množství molekulárního dusíku a křemíku, které neovlivní jeho vlastnosti [2].

Bioplyn je produkovaný zejména v:

- přirozených prostředích, jako jsou mokřady, sedimenty, trávící ústrojí (zejména u přežvýkavců),
- zemědělských prostředích, jako jsou rýžová pole, uskladnění hnoje a kejdy,
- odpadovém hospodářství na skládkách odpadů (zde je označovaný jako skládkový plyn), na anaerobních čistírnách odpadních vod (ČOV) a v bioplynových stanicích [5].

Bioplyn z bioplynových stanic, ČOV a některých skládek je používán:

- k výrobě tepla,
- k výrobě tepla a elektřiny (kogenerace) - toto je nejčastější případ využití bioplynu,
- k výrobě tepla, elektřiny a chladu (trigenerace) - je využívána jen výjimečně,
- k pohonu dopravních prostředků (např. autobusy, zemědělská technika, vlaky) [5].

4.1 Čištění bioplynu

Pro kogenerační jednotky se nemusí bioplyn složitě čistit. Provádí se odsiřování a sušení bioplynu. **Sušení** bioplynu znamená odstranění vlhkosti z bioplynu. Provádí se kvůli prevenci koroze zařízení pro využívání bioplynu. Nepříliš hluboké sušení bioplynu je možné zabezpečit prostřednictvím tepelného čerpadla. Bioplyn je ve výměníku tepla ochlazen chladicím agregátem a odloučená voda (kondenzát) je z plynu odstraněna. Poté je plyn opět zahřát teplou (kompresní) částí chladicího agregátu. Tato technologie zabezpečí vzdálení vlhkosti bioplynu od rosného bodu, je relativně jednoduchá, má nízkou spotřebu energie a ve většině případů je dostačující [8]. V době kdy se neuplatňovalo chlazení bioplynu docházelo k poruchám spalovacích motorů již za několik týdnů provozu. Tyto poruchy byly zapříčiněny především poškozením kluzných ložisek klikového hřídele, ojnic a pístních čepů [2]. Hluboké sušení bioplynů je možné realizovat za pomoci tuhých sorbentů, jako je silikagel či molekulová síta, a nebo prostřednictvím kapalných sorbentů, kterými jsou zejména glykoly [5].

Odsiřování je odstranění síry z bioplynu . Jedná se o důležité opatření proti korozi strojního zařízení. Odsiřování se provádí prostřednictvím kompresoru, který zajišťuje správnou dávku vzduchu čímž se dosahuje až 95% odsíření [2].

5. Motorové oleje

Jak již bylo zmíněno u kogeneračních jednotek se používají stacionární plynové motory a jako palivo se používá bioplyn získaný fermentací. Bioplyn je druh paliva, jenž je velmi agresivní vůči vnitřním prvkům motoru, se kterými přichází do styku. Aby byla zajištěna jejich spolehlivost, vysoká účinnost a životnost, je nutné správně zvolit motorový olej.

Ze všech mazacích systémů kladou spalovací motory největší požadavky na mazací olej, přesto musí motorový olej plnit svoji funkci za všech provozních podmínek motoru. Mazací olej je během provozu podroben extrémnímu mechanickému a tepelnému namáhání, je vystaven vysokým teplotám [3].

Úkolem oleje v motoru je:

- zajistit dostatečně pevný film mezi styčnými plochami pohyblivých částí spalovacího motorů a zmenšit tak tření,
- zajistit chlazení motoru odváděním tepla vznikajícího při chodu motoru,
- utěsňovat prostor mezi pístními kroužky a stěnou válce, aby pronikání stlačených plynů kolem pístu bylo co nejmenší,
- neutralizovat kyselé korozivní zplodiny vznikající při spálení paliva,
- zabraňovat škodlivému účinku produktů termooxidačních reakcí mezi olejem, palivem a jinými nečistotami a jejich shromažďování na plochách omývaných olejem ve formě úsad, laků a karbonu,
- konzervovat kovové plochy v době odstavení motoru,
- neměl by se během provozu odpařovat a ani shořet [3].

Pro motorové oleje jsou důležité zejména následující vlastnosti:

- vysoká odolnost proti oxidaci,
- vysoký viskozitní index (tj. co nejmenší změna viskozity při změně teploty),
- tekutost za nízkých teplot,
- dobré mazací schopnosti i při vysokých teplotách a velkých tlacích,
- malá tvorba úsad,
- odolnost proti pěnění,
- zamezování koroze kovových částí,
- těsnicí schopnost [3].

Aby bylo dosaženo správné mazací schopnosti motorového oleje, je nutné smísení základového oleje s aditivy. Prvotní surovinou při výrobě základových olejů je ropa [1]. Ropa je jednou ze strategických energetických surovin. Z chemického hlediska se jedná o složitou a komplexní směs uhlovodíků. Je to olejovitá kapalina složená jak z kapalných (směs uhlovodíků a aromatických sloučenin), tak i plynných (ethan, methan, oxid uhličitý a další) a pevných látek (např. parafiny) [14].

Ropné oleje jsou v současné době nejlacinější a proto nejvíce rozšířená kapalná maziva. Primární vakuové destiláty, které jsou výchozím materiálem, je nejprve třeba podrobit rafinaci. Vlastnosti rafinovaných olejů závisejí na způsobu a hloubce rafinace. Rafinované oleje však nevyhovují ve většině případů nárokům, které jsou na ně při použití kladeny. Rafinované oleje, které se označují jako základové oleje, se tudíž musí dále vylepšovat vzájemným mísením a následnou aditivací. Funkcí přísad v základových médiích je zlepšit užitné vlastnosti maziv, a to buď zesílením přirozených pozitivních vlastností, nebo dodáním nových žádoucích vlastností základům [10]. Jednotlivá aditiva a jejich množství se liší podle způsobu užití maziva a jejich obsah se v mazivu pohybuje v rozsahu od 1 do 25 %. Druhy a množství aditiv stanovují výrobci, a to pomocí praktických zkoušek, ale také na základě norem [2].

Základními aditivy jsou detergenty a disperzanty. Tato aditiva se starají o čistotu oleje a mazaných částí. Dále jsou zde protikorozní přísady, protiotěrové přísady snižující opotřebení. Dalšími aditivy jsou zvyšovače viskozitního indexu, snižovače bodu tuhnutí, protipěnivostní přísady, modifikátory tření atd. [14].

Základové oleje se vyrábí různými postupy. Tyto oleje mohou být tvořeny jednou složkou nebo směsí různých základových olejů, které se mohou lišit jak svými vlastnostmi, tak způsobem výroby [2].

Základové oleje se vyrábějí zpracováním ropy, zbavené vody, mechanických nečistot a stabilizované, v rafinériích, kde se dočišťuje a tzv. průmyslovou destilací se získávají různé frakce ropy. Ze čtyř základních skupin ropných frakcí (petrolejové, benzínové, naftové a olejové) se právě olejová frakce, z níž se získává olej a mazut, dále zpracovává destilací. První destilací z této frakce se získá tzv. plynový olej II. a teprve druhou destilací se získá základ pro motorový olej [5].

K dalším možnostem výroby základových olejů patří využití syntetických maziv. Tato maziva jsou produkty chemických reakcí, při kterých se z nízkomolekulárních látek vytváří velké komplexní molekuly s mazacími vlastnostmi potřebnými pro dané použití. Rozdíl oproti ropným olejům, které jsou tvořeny směsí uhlovodíků, je ten, že vlastnosti syntetických kapalin lze předem definovat a tím zajistit potřebnou kvalitu výsledného produktu. Do této skupiny olejů patří syntetické uhlovodíky, organické estery, polyglykoly, estery kyseliny fosforečné, silikáty, silikony a fluorované uhlovodíky [2].

5.1 Motorové oleje kogeneračních jednotek ve Vysokém Mýtě

Společnost TENDOM a.s. ve své Technické instrukci stanovuje požadavky na použití mazacího oleje určeného pro plynové spalovací motory kogeneračních jednotek, elektrických zdrojových soustrojí a dalších zařízení. Pro plynové spalovací motory je nutné používat vhodné mazací oleje, které jsou předpokladem dlouhé životnosti a spolehlivé provozuschopnosti zařízení a to s ohledem na pracovní podmínky a druh paliva [11].

Mazací oleje vhodné pro zařízení TEDOM jsou řazeny do dvou kategorií:

- *schválené oleje*: oleje vhodné pro daný typ spalovacího motoru z pohledu jeho aplikací v zařízeních společnosti TEDOM,
- *doporučené oleje*: v podstatě se jedná o schválené oleje, jejichž vlastnosti a kvality jsou ověřeny dlouhodobými provozními zkušenostmi a jsou doporučovány k provozu společností TEDOM [11].

Pro motory kogeneračních jednotek ve Vysokém Mýtě je používaný olej MOBILGARD 450 s intervalem výměny 1000 Mh. Tento olej není klasifikován jako nebezpečný podle zákona č. 350/2011 Sb., o chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů. Obsahuje alkylsulfidfenát vápenatý (1 - 5%), sulfonové kyseliny, ropu a soli vápníku (1 - 5%). Olej má nízký stupeň toxicity, dráždí oči a kůži. Při styku s kůží může vyvolat senzibilizaci a může vyvolat dlouhodobé nepříznivé účinky ve vodním prostředí. Další informace o tomto oleji lze vyčíst z bezpečnostního listu, který je v příloze D práce. Interval výměny oleje je optimalizovaný pro konkrétní zařízení na základě rozborů mazacího oleje [11].

Během provozu spalovacího motoru dochází k opotřebování olejové náplně, proto je nutné mazací náplň měnit. Výměna mazacího oleje se provádí v rámci technických ošetření zařízení.

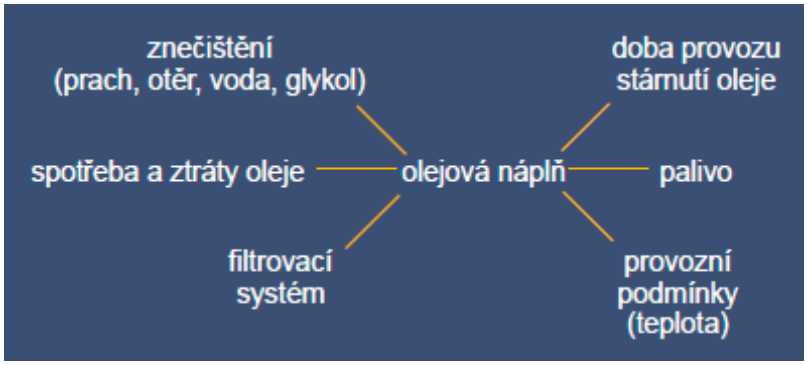
Životnost mazacího oleje ovlivňují mj. následující faktory, které je nutno zohledňovat zejména při porovnávání životností olejů mezi zařízeními:

- druh a kvalita plynu,
- druh použitého mazacího oleje,
- způsob provozování zařízení,
- typ motoru osazeného v zařízení,
- okolní podmínky (teplota…) [11].

6. Kontaminace a degradace olejových náplní

Při provozu stroje nedochází jen k opotřebení třecích dvojic, ale také k postupné degradaci maziva. Na samotnou degradaci má vliv velké množství faktorů, jako je např. oxidační působení vzdušného kyslíku, intenzivní teplotní namáhání ve spalovacích motorech, pronikání kyselých látek, které vznikly nedokonalým spalováním. Také dochází k usazování nečistot, jako jsou např. prach, částice opotřebení, saze a produkty chemické degradace [2].

Olej může být také znehodnocen provozními kapalinami – palivem, vodou, chladící směsí. Přítomnost paliva v oleji způsobuje snižování jeho viskozity, což může zmenšovat mazací film až pod kritickou mez, kdy již dochází k nadměrnému opotřebení mazaných součástí, a tím může dojít k zadření. Další provozní kapalinou je voda, která při pronikání do oleje způsobuje korozi mazaných součástí a způsobuje rozklad aditiv. Voda omezuje rozpustnost aditiv v oleji a podporuje jejich vysrážení z olejové fáze. Motorový olej může být také kontaminován chladicí kapalinou, která způsobuje rychlou degradaci oleje kvůli tvorbě nerozpustných úsad v oleji a zrychluje stárnutí oleje [15].

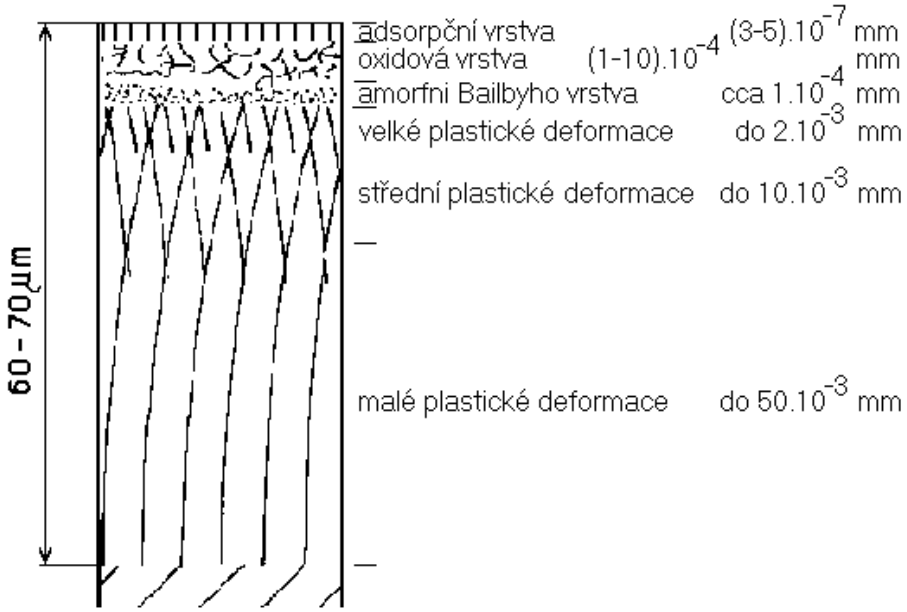


Obrázek č. 4 - Faktory ovlivňující stav oleje [15]

Dalšími vlivy působícími na opotřebení maziva mohou být: množství oleje použitého v mazací soustavě, jeho počáteční kontaminace, časová perioda provozování, pravidelné doplňovaní maziva, přítomnost a funkce filtrů nečistot, prostředí, v jakém stroj pracuje, a pravidelnost údržby [16].

6.1 Druhy opotřebení třecích ploch

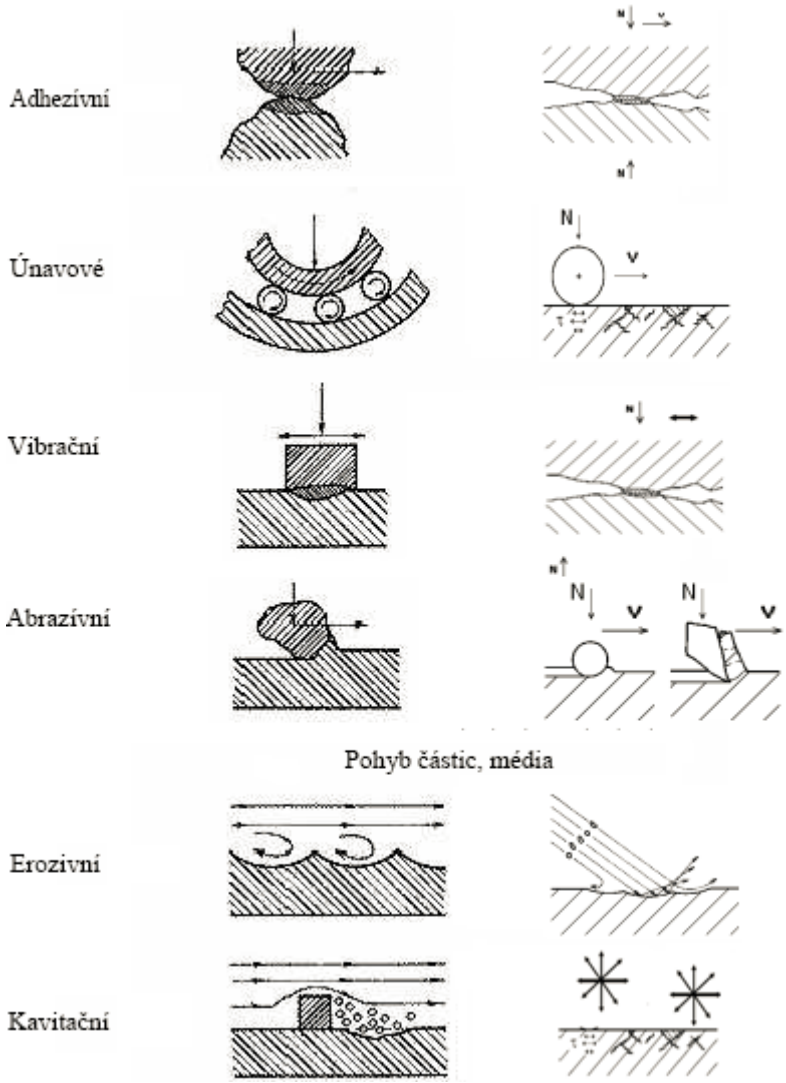
Na následujícím obrázku jsou znázorněny jednotlivé vrstvy povrchu kovové leštěné součásti včetně jejích tlouštěk a umístění.



Obrázek č. 5 - Povrchová vrstva kovové leštěné součásti [14]

Částice tvořené v průběhu opotřebení

Opotřebení patří k nežádoucím změnám povrchu, rozměrů nebo vlastností tuhých těles. Tyto změny jsou způsobovány vzájemným působením funkčních povrchů nebo povrchu a média, které opotřebení vyvolává. Nejčastěji dochází ke kombinaci různých druhů opotřebení. Například únavové opotřebení ozubených kol při působení abrazivních částic. Opotřebení materiálu se rozděluje na šest základních druhů (adhezivní, abrazivní, kavitační, únavové, vibrační a erozivní), které jsou zobrazeny na následujícím obrázku [2].



Obrázek č. 6 - Druhy opotřebení třecích ploch [17]

Charakteristika jednotlivých druhů opotřebení:

- *Adhezivní opotřebení* je charakteristické tím, že dochází k oddělování a přemísťování částic kovu mezi dvěma stykovými plochami a tím dochází k porušování povrchových vrstev materiálů. Při styku kontaktních plošek dochází k působení velkých sil, při kterých vznikají plastické deformace a vytváří se mikrospoje. Vznik mikrospojů je doprovázen místním ohřevem materiálů, tím vzniká vhodné prostředí pro chemickou reakci kovu s okolním prostředím. Tato reakce může dále zvýšit rychlost opotřebení. Velikost adhezivního opotřebení může významně ovlivnit dostatečná tloušťka mazacího filmu.

- *Vibrační opotřebení* vzniká při vzájemných kmitavých posuvech funkčních ploch při spolupůsobení normálového zatížení. Při vibračním opotřebení dochází ke vzniku oxidu železa s hnědočervenou nebo hnědočernou barvou. Ke vzniku vibračního opotřebení dochází například u valivých ložisek, čepů, nalisovaných spojení náboje kola a hřídele.

- *Abrazivní opotřebení* je charakteristické oddělováním částic z funkčního povrchu při působení tvrdého a drsného povrchu druhého tělesa, při kterém vznikají tzv. abrazivní částice. Typickým projevem tohoto druhu opotřebení je vznik rýh na povrchu funkčních ploch.

- *Erozivní opotřebení* vzniká při dopadu částice, kterou obsahuje proudící médium na povrch funkčních ploch. Jestliže má částice při dopadu dostatečnou energii a správný úhel dopadu, může způsobit vytlačení nebo oddělení materiálu z funkčních ploch.

- *Únavové opotřebení* je důsledkem postupné kumulace poruch v povrchové vrstvě funkčních ploch. U tohoto druhu opotřebení vznikají postupně se rozšiřující oblasti mikrotrhlin. U těchto mikrotrhlin po určitém čase dochází ke „spojování“ a postupnému vznikaní rozsáhlejší oblasti únavového poškození.

- *Kavitační opotřebení* je charakteristické oddělováním částic kovu z povrchu funkčních ploch v místech, kde dochází k zániku kavitačních „bublin“, které vznikají v kapalině. Ke kavitaci dochází v místech proudící kapaliny, na kterých dochází ke zvyšování rychlosti proudění, důsledkem je snížení tlaku kapaliny [2].

Částice tvořené v průběhu opotřebení

Částice vznikající v průběhu jednotlivých procesů opotřebení se rozdělují do dvou základních kategorií:

- *Primární částice* jsou generovány přímo třecími dvojicemi. Tyto části přímo charakterizují režim opotřebení, který je v souladu s obecně známými poznatky.
- *Sekundární částice* vznikají z primárních částic, a to přetvořením primárních částic při opakovaném průchodu těchto částic soustavou [18].

Poměr výskytu primárních a sekundárních částic závisí na řadě faktorů, jako jsou např. velikost olejové náplně, počet a účinnost olejových čističů v soustavě, druh mazacího oleje apod. [2].

Základní druhy částic:

- **Adhezivní částice** mají původ v Beilbyho vrstvě (viz. obrázek č. 5), z níž se postupně oddělují a jsou odplavovány mazivem. Tyto částice mají délku a šířku přibližně stejnou (5 - 15 μm) a jejich tloušťka je velmi malá (0,25 - 0,75 μm). Tyto částice vznikají při opotřebení ocelových součástí a mají velmi dobré magnetické vlastnosti. Jejich počet a především velikost poukazuje na intenzitu adhezivního opotřebení.

- **Abrazivní částice** jsou charakteristické svým tvarem tenkých drátků, které jsou prohnuty nebo stočeny do spirálky. Velikost abrazivních částic pohybuje v rozmezí desítek až stovek mikrometrů při velmi malé tloušťce desetiny mikrometrů.

- Dalším druhem jsou **sférické částice**, které patří mezi hlavní typy částic vznikajících v důsledku únavového opotřebení valivého charakteru. Většinou vznikají v důsledku únavy Beilbyho vrstvy na povrchu ložisek. Sféroidy jsou velmi malé o průměru 2 - 5 μm. Na ferrogramu tyto částice signalizují nastupující poruchu valivých ložisek.

- **Laminární částice** nejčastěji vznikají v důsledku opakovaného průchodu oleje a částic soustavou, což způsobuje plastickou deformaci částic. Rozválcováním sféroidů i jiných třírozměrných částic vznikají tenké ploché lupínky nepatrné tloušťky. Jejich délka se pohybuje od desítek do stovek μm a šířka v desítkách μm. Vzniklé částice mají hladký povrch a nepravidelné okraje. Výskyt těchto částic je většinou doprovázen výskytem sféroidů, což souvisí s postupným nástupem poruchy ložiska.

- **Únavové částice** se vyskytují při poškození ozubených kol. Jedná se o trojrozměrné částice se srovnatelnou délkou, šířkou i tloušťkou. Povrch těchto částic je nepravidelný, rýhovaný s nepravidelně členěnými okraji. Rozměry těchto částic jsou v desítkách až stovkách μm.

- **Abnormální částice** jsou částice, které vznikají při mezním a havarijním opotřebení. Tyto druhy opotřebení vznikají při zadírání nebo silné abrazi. Abrazivní částice vznikají

mechanickým rozrušováním Beilbyho vrstvičky při nadměrném zatížení. V místě ve kterém dochází ke kontaktu třecích ploch, nemá tato vrstvička potřebnou únosnost a je odírána. Opotřebení je tak velké, že k obnovení Beilbyho vrstvy vůbec nedochází. Při diagnostické analýze pak nelze zaregistrovat částice adhezivního otěru, jelikož se zde zpravidla nevyskytují. Tyto částice bývají nahrazeny třírozměrnými částicemi s charakteristickou ostrou hranou a rozměry 30 - 70 μm [19].

Kromě kovových lze identifikovat i nekovové částice:

- **Prachové částice** jsou malé částice kulovitého nebo hranolovitého tvaru. Jejich velikost je v jednotkách až desítkách μm, často jsou průsvitné až čiré. Při provozu v prašném prostředí může jejich velikost sahat až ke stovkám μm.

- **Částice karbonové** mají nepravidelné útvary a jsou často drobivé a porézní. Tento druh částic je mikro- až milimetrových rozměrů.

- Původ **vláken** je převážně ve filtračních materiálech. Bavlněná vlákna mají pentlovitý tvar. Vlákna, která jsou syntetického původu, jsou rovná, na koncích s výrazným světelným lomem.

- Částicemi jsou také **útržky pryžových těsnění** nepravidelných tvarů, které jsou časté u hydraulických olejů. Tyto částice mívají velmi rozdílné velikosti desítky μm až jednotky mm [19].

7. Tribotechnická diagnostika

Tribotechnická diagnostika je jednou z metod bezdemontážní technické diagnostiky využívající maziva jako media pro získání informací o dějích a mechanických změnách v technických systémech, u nichž jsou maziva aplikována. Jejím posláním je zjišťovat, vyhodnocovat a oznamovat výskyt cizích látek v mazivu, a to jak z hlediska kvantitativního, tak i kvalitativního. Vhodná interpretace výsledků z provedených zkoušek umožňuje nejen včasně upozornit na příznaky vznikající poruchy, ale v řadě případů umožní i lokalizaci místa vzniku mechanické závady [4].

Nedílnou složkou sledování maziv pro účely tribotechnické diagnostiky je i sledování projevů a následků procesu degradace maziv v průběhu jejich provozního nasazení. Oba uvedené cíle spolu úzce souvisejí a nemohou být proto posuzovány odděleně. Význam TTD spočívá v tom, že je účinným a objektivním nástrojem sledování procesu opotřebení mechanických systémů s předpokladem vhodného využívání maziv [4].

Při práci stroje nebo strojního zařízení se opotřebením uvolňují částice kovů nebo jejich sloučeniny. Tyto produkty opotřebení jsou mazacím olejem vyplavovány z třecích míst a spolu s olejem cirkulují v mazací soustavě stroje. Se vzrůstajícím opotřebením se zvyšuje koncentrace těchto příměsí v oleji [2].

Obecně množství produktu opotřebení v určitém okamžiku závisí na množství oleje v mazací soustavě, počáteční koncentraci těchto produktů, na době provozu stroje, na množství příměsí přicházejících do oleje, na množství dolévaného oleje a na funkci olejových čističů [4].

TTD umožňuje správné nastavení mazacího režimu a shromažďuje informace o doplňování a výměnách maziv. Tímto se zajišťuje správné hospodaření s mazivy. Díky tomu nedochází k případům předčasné výměny oleje, který ještě mohl plnit svou funkci a zabrání se tak ekonomickým i environmentálním ztrátám. Na druhé straně může být vyměňován olej nadměrně opotřebený. Tento olej svými vlastnostmi již nesplňuje požadavky, a dochází tak k poškozování strojního zařízení. Pozorování chemických a fyzikálních změn, ke kterým dochází v běžném provozu, poskytuje dosti [2].

Výhody používání pravidelných tribotechnických analýz olejů pro monitorování stavu strojních součástí si velmi dobře uvědomují výrobci plynových motorů. Příčina je především vysoká cena motoru a množství olejové náplně ve velkých plynových motorech, která není malá, a tedy i ceny olejů pro plynové motory nejsou zanedbatelné. V případě plynových motorů jsou zkušenosti s analýzami olejů velmi dobré. Většina výrobců plynových motorů v dnešní době ve svých provozních předpisech doporučuje či nařizuje provádět analýzy olejové náplně. Součástí provozních předpisů jsou také parametry, které jednotlivý výrobci doporučí ke sledování a jsou zde i jejich limity [2].

Při jednotlivých analýzách se zjišťuje opotřebení třecích povrchů na, kterých se podílí řada mechanismů. K těmto nežádoucím změnám, k nimž dochází na povrchu součástí při oddělování částic mechanickým působením a které jsou spojeny se vznikem tzv. otěru. Tyto změny také mohou být doprovázeny chemickými nebo elektrochemickými účinky. Hodnotí se počet, velikost, tvar, barva, charakter povrchu i dalších morfologických vlastností jednotlivých otěrových částic. Ty většinou poukazují na to, z jaké součásti pocházejí a jakým druhem mechanismu vznikly. Tyto cenné informace pak mohou přispět k předcházení nebezpečí, které by mohlo vést k poškození či havárie stroje, a to bezdemontážně a nedestruktivně. Existuje řada technik umožňujících získání údajů o částicích. Mezi nejvýznamnější z nich patří např. laserová analýza částic, infračervená spektrometrie, atomová emisní spektrometrie s rotující diskovou elektrodou [2].

Celkově lze hodnotit TTD jako velmi důležitý faktor, který zabezpečí bezporuchový provoz, úspory na mazivech, údržbě, náhradních dílech. Tím, že dochází k menší manipulaci s mazacími oleji, dochází i k ochraně životního prostředí [4].

7.1 Analýza částic laserovým analyzátorem LaserNet Fines Q200

Laserový analyzátor částic LaserNet Fines Q200 je přístroj, který při analýze použitých olejů umožňuje klasifikaci tvarů částic opotřebení. Tento přístroj je také schopen stanovení počtu částic nacházejících se v mazacích olejích. SpectroLNF Q200 je užíván pro analýzu vzorků motorových a hydraulických olejů. Vyhodnocení se provádí pomocí softwaru, a to na základě morfologické analýzy a rozdělení velikosti částic opotřebení. Hodnotí se největší rozměr částice a průměr ekvivalentního kruhu (průměr kruhu, který má stejnou plochu jako je plocha částice) [2].

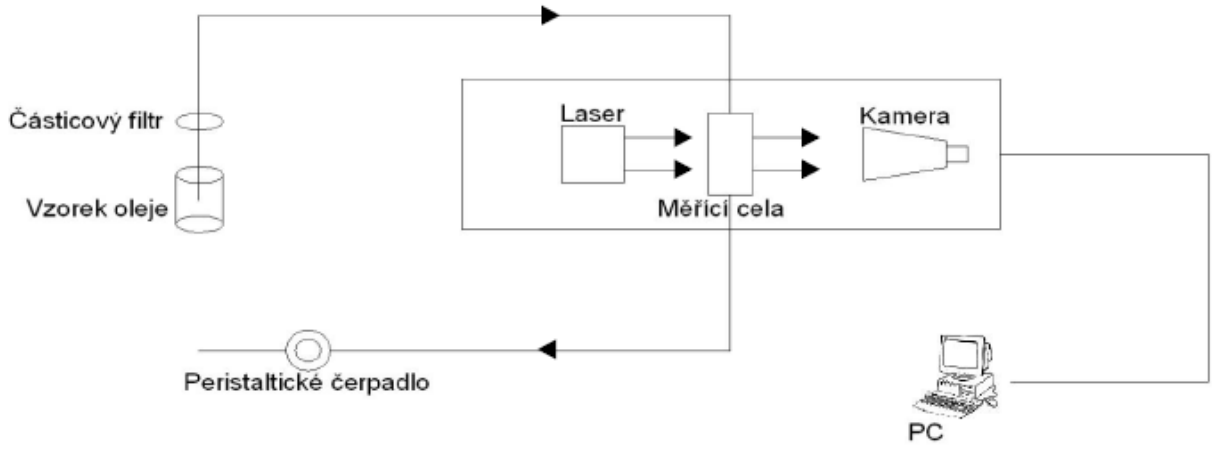
Laserový analyzátor částic LaserNet Fines Q200 je schopen při analýze použitých olejů stanovit dynamickou viskozitu analyzovaného vzorku motorového oleje.

Viskozita je jedna z nejdůležitějších vlastností mazacích olejů. Má vliv na únosnost mazacího filmu, velikost odporů oleje proti pohybu, na těsnicí schopnost a na tepelnou vodivost maziva. Také udává míru vnitřního tření kapaliny a je měřítkem tekutosti kapalin. Rozlišuje se dynamická viskozita η [Pa·s], která je daná jako podíl tečného napětí τ mezi dvěma vrstvami kapaliny a gradientem rychlosti *D*, který je kolmo na pohyb kapaliny. Kinematická viskozita ν [mm^2. s^{-1}] se vypočítá také jako podíl dynamické viskozity η a hustotou kapaliny ρ [2].

Laserový analyzátor částic SpectroLNF Q200

SpectroLNF Q200 se používá za účelem identifikovat typ částic a závažnost mechanického opotřebení pomocí měření rozložení velikosti, rychlosti nárůstu a tvaru částic otěrových kovů nacházejících se v oleji. SpectroLNF Q200 je schopen určit a analyzovat tvar částic a také s vysokou přesností vypočítat počet částic o velikosti od 5 μm do > 100 μm , které obsahuje zvolený objem oleje (1 ml) [20].

Schéma laserového analyzátoru částic je znázorněno na obrázku č. 7.

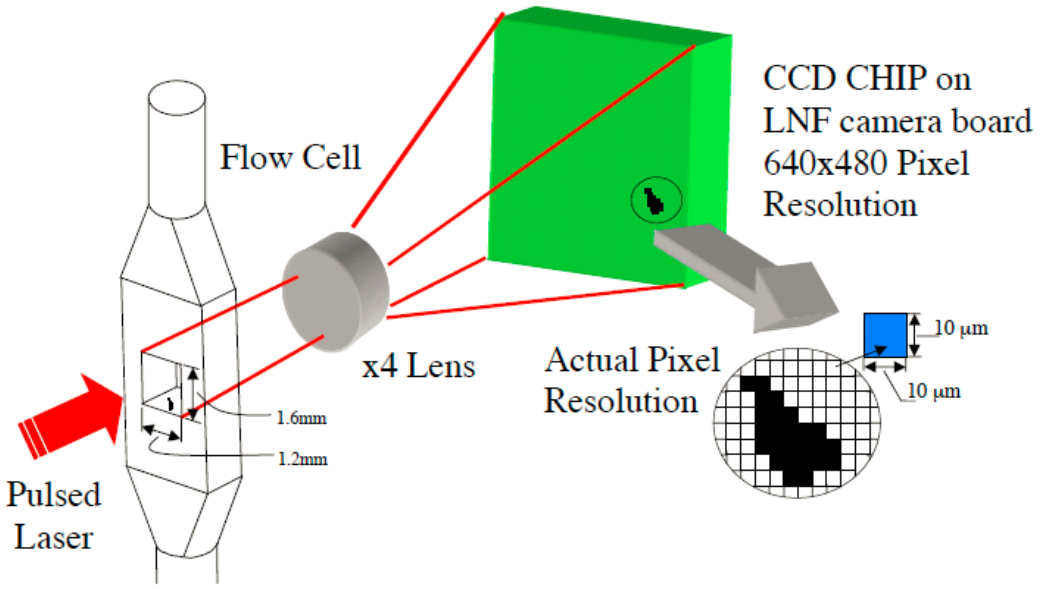


Obrázek č. 7 - Schéma laserového čítače částic [2]

Analyzovaný vzorek oleje se nechá protékat zobrazovací celou, ve které se prosvěcuje pulzní laserovou diodou. Prošlé záření je snímáno CCD snímačem kamerového systému. Částice obsažené v oleji nepropouštějí světlo. Pomocí CCD snímače je zachycen jejich obrys 3500

snímků v 0,65 ml zpracovaného vzorku. Obrazy, které jsou snímány, kamera přenáší do počítače, kde se analyzují rychlostí 30 snímků za sekundu. V každém ze snímků je softwarově určen počet objektů. Výsledky statistického hodnocení objektů se uloží a vytvoří se bitmapový obraz objektů s hlavním rozměrem větším než 20 µm, přičemž minimální velikost zobrazení je 10 pixelů. Tento obraz se uloží a může být zobrazen v prohlížeči částic. Každý snímek je zpracován pomocí rastrového snímání. Toto snímání umožňuje identifikaci objektu a je zobrazeno na níže uvedeném obrázku číslo 8 [2].

K vyhodnocení a záznamu se využívá laserové zobrazovací techniky a speciálního vyhodnocovacího softwaru.



Obrázek č. 8 - Princip činnosti SpectroLNF Q200 [21]

SpectroLNF Q200 přístrojem jsou podle obrysu klasifikovány částice s nejdelším rozměrem větším než 20 µm do několika kategorií:

- částice abrazivního opotřebení (Cutting particles);
- částice únavového opotřebení (Fatigue particles);
- částice adhezivního opotřebení (Severe sliding particles);
- nekovové částice (Nonmetalic particles);
- vlákna (Fibers);

- kapky vody, vzduchové bubliny a další nezařaditelné (neklasifikované) částice, které neodpovídají svým tvarem daným vzorům (Unclassified particles) [2].

Měřicí a vyhodnocovací software

Zpracování je realizováno prostřednictvím naměřených obrazů s využitím neuronových sítí. Jako zdroj informací pro neuronové sítě aplikované u SpectroLNF Q200 byla použita databáze obrazů otěrových částic a jejich klasifikací, získaných pomocí klasické analytické ferrografie. Nevýhoda přístroje SpectroLNF Q200 je ta, že neumožňuje identifikovat barvu částic, jejich strukturu ani jejich povrchové vlastnosti [2].

Výstupem SpectroLNF Q200 je hodnocení celkového počtu otěrových částic a počtu částic rozdělených do kategorií podle jejich původu. Součástí softwaru je možnost zobrazení obrysů částic, které jsou rozděleny do kategorií podle původu. Na obrázcích č. 23 a 30 jsou zobrazeny typy částic, které byly identifikovány ve vzorcích oleje motorů M 23 a M 24 kogeneračních jednotek bioplynové stanice Vysoké Mýto. SpectroLNF Q200 dále umožňuje sestrojení trendového grafu celkového počtu částic zkoušeného oleje, viz. obrázek č. 20 a 27.

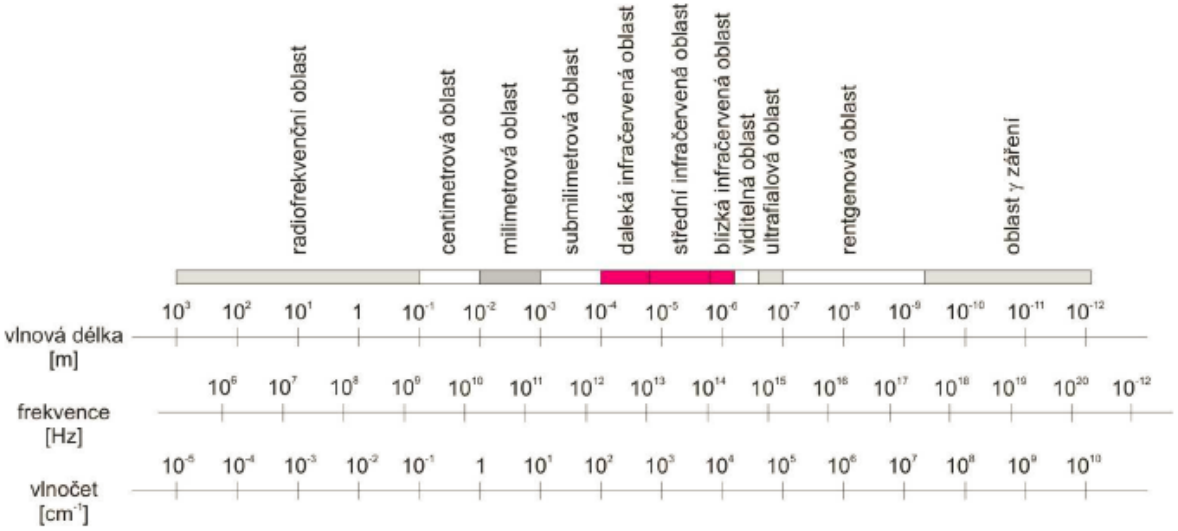
7.2 IČ spektrometrie

IČ spektrometrie je jedna z nejdůležitějších a nejznámějších technik, zabývající se měřením optických vlastností materiálů na různých vlnových délkách viditelného a neviditelného záření. Měřenými optickými vlastnostmi je především propustnost, absorpce, emise a odrazivost dopadajícího záření. IČ spektrometrií mohou být měřeny jak pevné, kapalné tak i plynné látky. Díky rozsáhlým možnostem měření nachází spektrometrie širokou oblast uplatnění. Jednou z nich je identifikace a analýza organických a anorganických sloučenin včetně poskytnutí informací o tvaru a struktuře molekul [22].

Infračervená spektroskopie patří do skupiny analytických nedestruktivních metod, kdy zkoumaný vzorek není nikterak poškozen, a přesto poskytuje informaci o svém složení. V tomto případě je zvoleným vzorkem mazivo motorů kogeneračních jednotek bioplynové stanice ve Vysokém Mýtě. U vzorků se projevuje průběh degradace, který způsobuje zhoršování užitných vlastností maziv - zhoršená schopnost mazání, kdy může dojít až k

postupnému zadírání. Proto je velmi důležité současně s analýzou částic opotřebení nacházejících se v olejové náplni sledovat i postupné změny ve složení oleje [2].

IČ umožňuje identifikovat druh maziva a sledování změn, které proběhli při degradaci oleje v motoru, což je tradičními metodami prakticky nemožné nebo velmi obtížné. Metoda infračervené spektrometrie s Fourierovou transformací (FTIR spektrometrie) je založena na měření absorpce infračerveného záření o různé vlnové délce analyzovaným materiálem. Infračerveným zářením se rozumí elektromagnetické záření s rozsahem vlnových délek λ = 0,78 – 1000 *m*µ, což odpovídá rozsahu vlnočtů 1/ λ = 12500 – 20 cm^{-1}. Celá oblast je rozdělena na blízkou (NIR z angl. near infrared 13000 – 4000 cm^{-1}), střední (MIR z angl. middle infrared 4000 – 200 cm^{-1}) a vzdálenou infračervenou oblast (FIR z angl. far infrared 200 – 20 cm^{-1}), přičemž nejpoužívanější je střední oblast, viz. obrázek č. 9 [19].



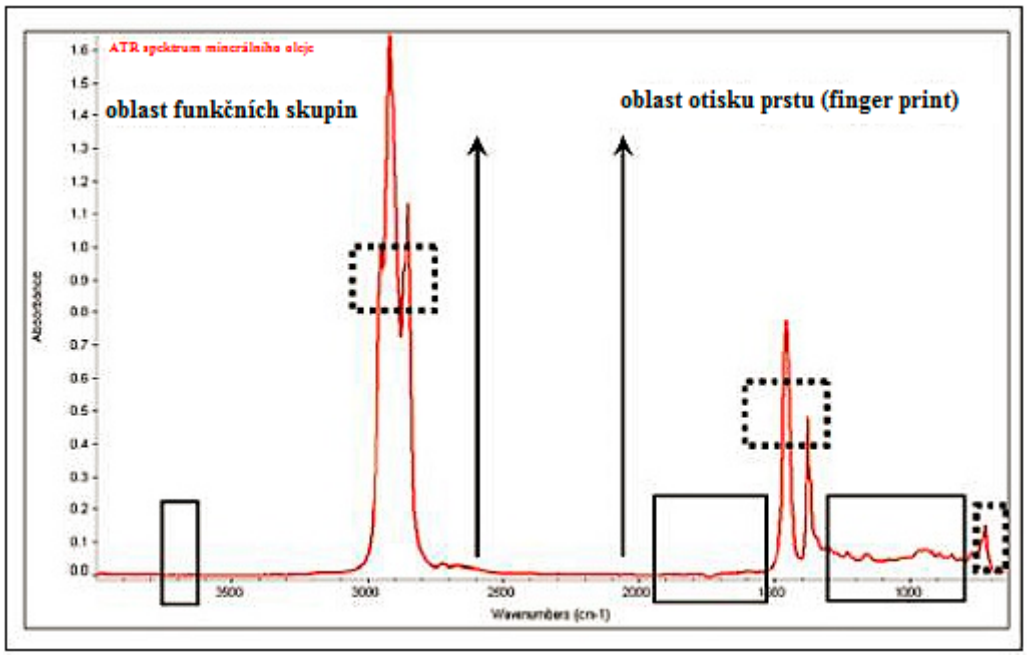
Obrázek č. 9 - Elektromagnetické spektrum [14]

IČ využívá absorpce infračerveného záření při průchodu vzorkem. Při tomto průchodu dochází ke změnám energetických stavů molekuly v závislosti na změnách dipólového momentu molekuly, přičemž výstupem je IČ spektrum. Na tomto spektru jsou graficky zobrazeny funkční závislosti energie, převážně vyjádřené v procentech transmitance (T) nebo jednotkách absorbance (A) na vlnové délce (λ) dopadajícího záření [2].

Transmitance neboli propustnost je definována jako poměr intenzity záření, které prošlo vzorkem, k intenzitě záření vycházejícího ze zdroje [2].

Absorbance je veličina, která udává, jaké množství světla bylo pohlceno měřeným vzorkem. Je to bezrozměrná veličina [2].

Charakteristické absorpce v MIR oblasti jsou spojeny s fundamentálními přechody, a tak lze látky identifikovat na základě přiřazení absorpčních pásů jednotlivým funkčním skupinám např. - OH, C = O, N - H, aj.. V této oblasti se organické sloučeniny projevují největším počtem absorpčních pásů. Navíc oblast mezi 650 - 1 500 cm^{-1} je typická pro molekuly jednotlivých chemických sloučenin. Této oblasti spektra se říká oblast „otisku prstu“ viz. obrázek č. 10; neexistují dvě různé organické sloučeniny se stejným spektrálním projevem v této oblasti [2].



Obrázek č. 10 - Oblast „otisku palce“ [23]

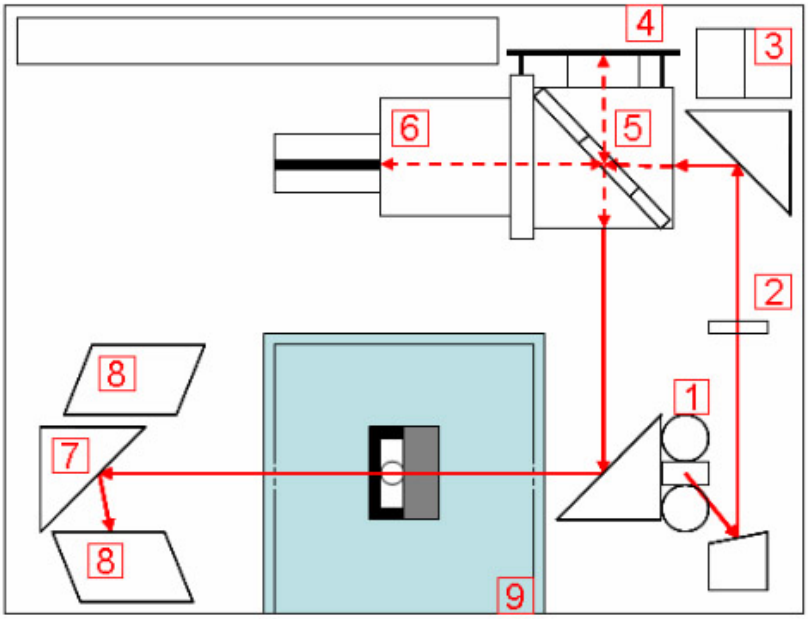
S pomocí „Search programů“ a digitalizovaných knihoven infračervených spekter můžeme identifikovat analyzovanou látku.

Ze získaných infračervených spekter se sledují jako hlavní charakteristiky poloha a plocha absorpčních pásů [24].

IČ spektrometr

Infračervená spektrometrie využívá dva typy měřicích zařízení – FTIR spektrometr (infračervený spektrometr s Fourierovou transformací) a disperzní spektrometr. Jejich úkolem

je registrovat infračervené spektrum, tj. závislost intenzity (absorbance nebo transmitance) infračerveného záření na vlnové délce. U FTIR spektrometrů radiační zdroj vyzařuje infračervené záření, které dopadá na interferometr, kde je modulováno. Od interferometru toto záření prochází přes vzorkový prostor na detektor (viz. obrázek č. 11). Nejdůležitějším z těchto procesů je modulace signálu pomocí interferometru (např. Michelsonova) [22].



Obrázek č. 11 - FTIR spektrometr Nicolet iS10. 1 – zdroj záření, 2 – apertura, 3 – nepoužívané beamsplittery, 4 – pevné zrcadlo, 5 – beamsplitter, 6 – pohyblivé zrcadlo, 7 – otočné zrcadlo, 8 – detektor, 9 – vzorkový prostor [2]

Měřicí a vyhodnocovací software

Infračervené spektrometry jsou ovládány pomocí spektroskopických softwarů, které umožňují nejen nastavení vhodných parametrů spektrometru a řízení vlastního měření, ale jeho použitím lze naměřená spektra i vhodně upravit a podrobně analyzovat. K analýze získaných spekter slouží celá řada funkcí pro rychlé a rozsáhlé rozbory včetně stanovení maxima pásů, vhodné separace a vyrovnávání pásů, kontroly kvality spekter či řady matematických operací se spektry. Program je také vybaven databází knihoven, ve které lze podle zadaných požadavků identifikovat chemické složení měřeného vzorku [22].

Pro sledování stavu oleje jako prostředku pro sledování stavu stroje je právě nejvíce využíváno sledování nárůstu pásů produktů oxidace (vlnočet 1 720 cm^{-1}) a nitrace (vlnočet 1 630 cm^{-1}) a také možnou kontaminaci oleje, kterou může být voda (vlnočet 3 400 cm^{-1}),

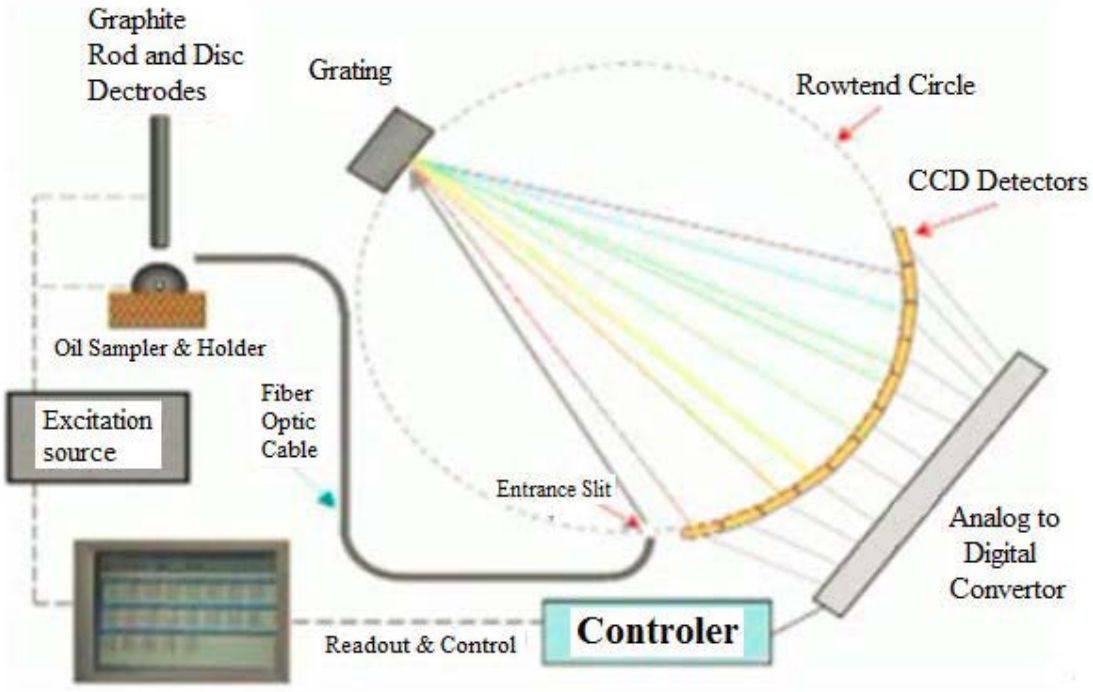
glykol (vlnočet 1 040 a 1 080 cm^{-1}), palivo (vlnočet 810 cm^{-1}) nebo saze (vlnočet 1 970 cm^{-1}) [25].

7.3 Atomová emisní spektrometrie s rotující diskovou elektrodou

Atomová emisní spektrometrie umožňuje určení přítomnosti různých prvků ve zkoušeném materiálu. Tato technika je založena na tom, že každý z jednotlivých prvků má jinou atomovou stavbu [2]. Prvky obsažené ve vzorku se ve vhodném budícím (excitačním) zdroji atomizují (případně z části ionizují) a atomy nebo ionty přecházejí do vyššího energetického stavu. Při návratu na nižší energetickou hladinu částice emitují charakteristické čárové spektrum, intenzita spektrální čáry je úměrná obsahu prvku [26].

Pokud se bude jednat o viditelnou oblast spektra, projeví se to určitou barvou. Jelikož neexistují dva prvky, které by měly stejný soubor spektrálních čar, je umožněno jednotlivé prvky od sebe odlišovat. Intenzita emitovaného záření je přímo úměrná množství daného prvku ve vzorku. Tato intenzita pak umožňuje určovat koncentraci jednotlivých prvků. Metodou atomové emisní spektrometrie s rotující elektrodou lze detekovat částice menší než 3 μm [2].

Tribotechnická diagnostika využívá metod atomové spektrometrie k určení míry opotřebení třecích dvojic dále ke stanovení koncentrace aditivních přísad v mazadle a k určení koncentrace kontaminantů [2].



Obrázek č. 12 - Princip atomové emisní spektrometrie s rotační diskovou elektrodou [23]

V tabulce č. 5 jsou uvedeny prvky a jejich potenciální zdroj v tribologickém systému.

Tabulka č. 5 - Potenciální zdroje prvků v tribologickém systému [27]

Prvek	**Značka**	**Potenciální zdroje stanovených prvků**
hliník	Al	píst z lehké slitiny, ložisko, plastické mazivo
antimon	Sb	ložisko z bílého kovu, plastické mazivo
barium	Ba	přísada do oleje nebo maziva
bór	B	přísada do chladicí kapaliny
kadmium	Cd	pokovené plochy
vápník	Ca	přísada do oleje nebo maziva
chrom	Cr	pokovené pístní kroužky, valivá ložiska
měd	Cu	ložisko, plášť valivého ložiska, trubky výměníkového systému v chladiči
železo	Fe	obecné opotřebení, převody, kluzné povrchy, rez
olovo	Pb	ložisko z bílého kovu, olovnaté palivo, plastické mazivo
lithium	Li	přísada do plastických maziv
hořčík	Mg	slitiny, mořská voda
molybden	Mo	přísada do maziv
nikl	Ni	niklové oceli, zbytkové palivo, ložiska, ventily a sedla ventilů
fosfor	P	přísada do oleje nebo maziva, protiotěrová přísada
křemík	Si	prach (v okruzích se vstupem vzduchu)

stříbro	Ag	pokovené plochy, plášť ložiska, elektrické kontakty
sodík	Na	přísada do chladící kapaliny, mořská voda, palivo
cín	Sn	ložisko z bílého kovu, bronzové převody, plášť ložiska
titan	Ti	lopatky turbín, těsnění
wolfram	W	sedla ventilů, valivá ložiska
vanad	V	zbytkové palivo, otočný prvek ložiska
zinek	Zn	barvy, antioxidant, inhybytor koroze, protiotěrová přísada, vysokotlaká přísada a detergent

Pokud se používá atomové emisní spektrometrie s rotační diskovou elektrodou tak přivádí rotující disková elektroda vzorek plynule do jiskřiště. To je tvořeno dvěma elektrodami (kotoučovou a stacionární tyčinkovou). Na analyzovaný vzorek se působí obloukem vysokého napětí, což způsobuje to, že jednotlivé prvky obsažené ve zkoumaném vzorku vyzařují světelnou nebo jinou energii [2].

8. Odběr vzorků

Prvním předpokladem pro správnou diagnostiku stavu motoru je správný odběr vzorků motorového oleje. Vzorek musí představovat průměrné složení používaného maziva ve strojním zařízení. Pro odběr vzorku je vypracováno několik základních postupů, které jsou zakotveny v ČSN. Nejpřesnější a pracovně náročná je ČSN 65 6207. Jedná se o odběr vzorků hydraulických kapalin, kde je tedy nutné věnovat zvýšenou pozornost množství a velikosti nečistot [4].

Při odběru vzorku musí být dodržena tato základní pravidla:

- zamezit vniku různých nečistot do vzorku (nejlépe bezdotykový odběrem, např. vakuovými pumpami)
- olej v zařízení musí být řádně promíchán, tzn. odběr musí být uskutečněn za chodu motoru nebo co nejdříve po jeho zastavení,
- vzorkovnice musí být náležitě popsána důležitými údaji – např. počtem motohodin,
- datumem odběru, typem oleje, množstvím doplněného oleje atd. [10].

Všeobecně se vzorky odebírají do čistých vzorkovnic o obsahu 300 ml. Strojní zařízení musí být minimálně 20 minut v provozu z důvodu dokonalého promíchání a ohřátí oleje na provozní teplotu. Před vlastním odběrem vzorku se do čisté nádoby odpustí cca 500 ml oleje a nalije se zpět do zařízení. Po propláchnutí odběrných zařízení se provede odběr cca 200 - 250 ml oleje. Odebraný vzorek resp. vzorkovnice se popíše a předá k analýze. Na odběru vzorku závisí výsledek diagnostiky, a proto je nutné věnovat odběru mimořádnou pozornost [4].

8.1 Odběr vzorků olejů z kogeneračních jednotek bioplynové stanice Vysoké Mýto

Vzorky opotřebených motorových olejů z kogeneračních jednotek bioplynové stanice ve Vysokém Mýtě byly odebírány ve dvou cyklech. V prvním cyklu byl stanoven odběr vzorků přibližně po cca 250 motohodinách. V druhém cyklu po cca 300 motohodinách.

Při odběru vzorků olejů byly dodržovány určité podmínky, za účelem získání vzorku, který reprezentuje svým složením celou olejovou náplň. Z tohoto důvodu byla dodržována tato pravidla:

- vzorky byly odebírány vždy ze stejného místa olejové soustavy, aby nedošlo k odlišné koncentraci částic, která je zpravidla v různých místech mazací soustavy;
- pokud byly vzorky odebírány za chodu systému, bylo to vždy za stejných provozních podmínek;
- pokud byly vzorky odebírány ze soustavy stroje po jeho vypnutí, bylo zapotřebí brát v úvahu místo, odkud je vzorek odebírán a jaká je rychlost usazování částic po ukončení proudění oleje v soustavě.

Odběrné nádoby byly zvoleny skleněné o objemu 300 ml, jelikož slouží pro transport a uchování vzorků nejlépe. Skleněné nádoby umožňují dobrou homogenizaci vzorku. Z tohoto důvodu nejsou vhodné plastové nádoby, které nelze zahřívat na potřebné teploty. Na stěnách nádob z plastu může rovněž docházet k adsorpci částic. Nádoby se doporučuje používat vždy jen na jedno použití, neboť zbytky otěrových kovů, které se usazují v mikrotrhlinách a nerovnostech, by mohly znehodnotit další měření. Za účelem analýzy olejů byl stanoven objem odebíraného vzorku na cca 200 ml. Vzorky byly odebírány vždy ze stejného místa, kdy teplota mazací soustavy byla cca 65 °C.

V následujících tabulkách jsou uvedeny údaje k jednotlivým vzorkům olejů odebraných z kogeneračních jednotek bioplynové stanice Vysoké Mýto: datum odběru vzorku oleje a celkový počet motohodin.

Tabulka č. 6 – Vzorky olejů z motoru M 23 kogenerační jednotky bioplynové stanice Vysoké Mýto

Číslo vzorku	Datum odběru vzorku	Počet motohodin	Celkový počet motohodin motoru
1.	19.6.2012	257	15 202
2.	21.7.2012	534	15 479
3.	24.8.2012	713	15 658
4.	26.9.2012	959	15 904
5.	29.10.2012	326	16 230
6.	19.11.2012	612	16 516
7.	17.12.2012	892	16 796
8.	28.1.2013	1189	17 093

Tabulka č. 7 – Vzorky olejů z motoru M 24 kogenerační jednotky bioplynové stanice Vysoké Mýto

Číslo vzorku	Datum odběru vzorku	Počet motohodin	Celkový počet motohodin motoru
1.	28. 6. 2012	255	16 476
2.	23. 7. 2012	511	16 732
3.	20. 8. 2012	709	16 930
4.	21. 9. 2012	954	17 175
5.	22. 10. 2012	312	17 487
6.	26. 11. 2012	623	17 798
7.	27. 12. 2012	945	18 120
8.	28. 1. 2013	1268	18 443

U kogeneračních jednotek bioplynové stanice ve Vysokém Mýtě jsou společností TEDOM s.r.o. nastaveny servisní intervaly motorů po 1000 až 1200 motohodinách. Po každé servisní prohlídce a analýze opotřebených olejů je stanovena následující servisní kontrola. Při této servisní kontrole se provádí také výměna motorového oleje.

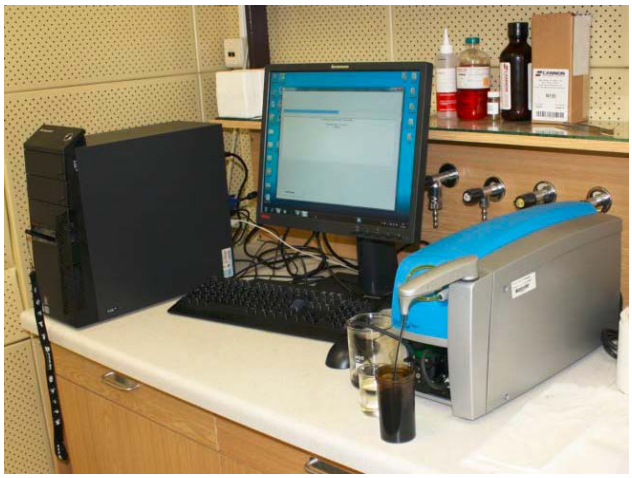
9. Analýza vzorků

9.1 Analýza částic laserovým analyzátorem SpectroLNF Q200

Pro analýzu olejů byl použit laserový analyzátor částic SpectroLNF Q200 (viz obrázek č. 15). Jak bylo zmíněno v kapitole č. 6., analyzovaný vzorek musí být reprezentativní, tj. musí představovat průměrné složení používaného maziva ve strojním zařízení. Z toho důvody byly vzorky olejů před vlastní analýzou homogenizovány po dobu 8 min. na třepačce Heidolph Reax 2 (viz obrázek č. 13). Po té bylo potřeba odstranit ze vzorku vzduchové bubliny. Ty byly odstraněny ponořením vzorku po dobu 3 min. do ultrazvukové lázně BANDELIN SONOREX (viz obrázek č. 14).

Obrázek. č. 13 – Třepačka Heidolph Reax 2

Obrázek č. 14 – Ultrazvuková lázeň BANDELIN SONOREX



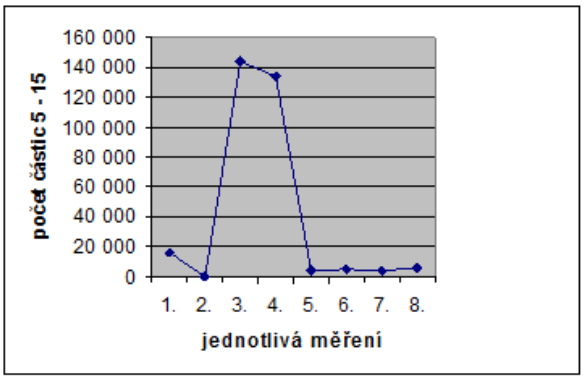
Obrázek č. 15 - Laserový analyzátor částic SpectroLNF Q200

Výsledky analýzy olejů z motoru M 23 kogenerační jednotky bioplynové stanice Vysoké Mýto

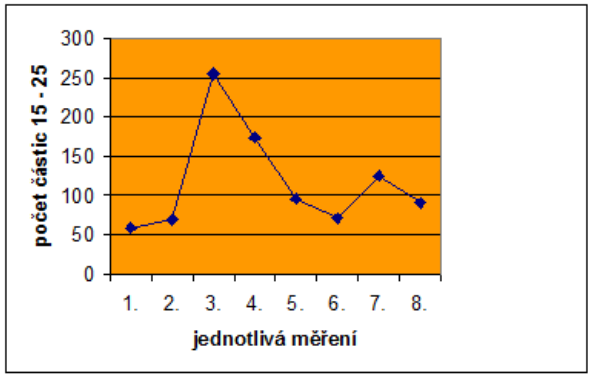
V následující tabulce jsou uvedeny výsledky analýzy opotřebených olejů laserovým analyzátorem SpectroLNF Q200. U každého odebraného vzorku oleje byla rovněž stanovena hodnota dynamické viskozity při 40 °C. Dynamická viskozita nového oleje byla 115 Pa·s.

Tabulka č. 8 - Výsledky částicové analýzy včetně uvedení dynamické viskozity při 40 °C

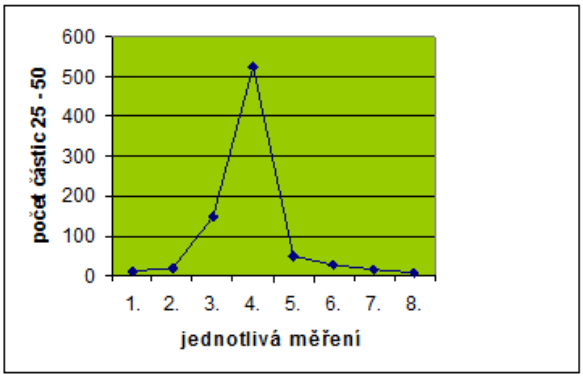
Číslo vzorku	Počet motohodin	Velikost částic (µm)				Dynamická viskozita (Pa·s)
		5 -15	15 - 25	25 – 50	> 50	
1.	257	15 973	59	11	6	124
2.	534	6 124	69	17	20	128
3.	713	143 692	255	149	420	136
4.	959	134 080	174	525	2 587	142
5.	326	3 821	96	49	26	130
6.	612	5 234	71	28	0	135
7.	892	4 373	125	16	9	143
8.	1189	5 613	91	9	3	168



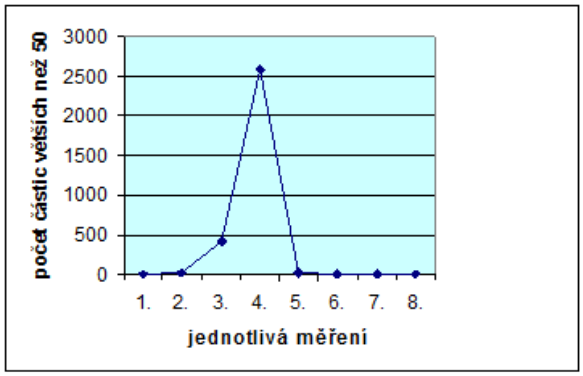
Obrázek č. 16 - Graf počtu částic o velikosti 5 - 15 µm



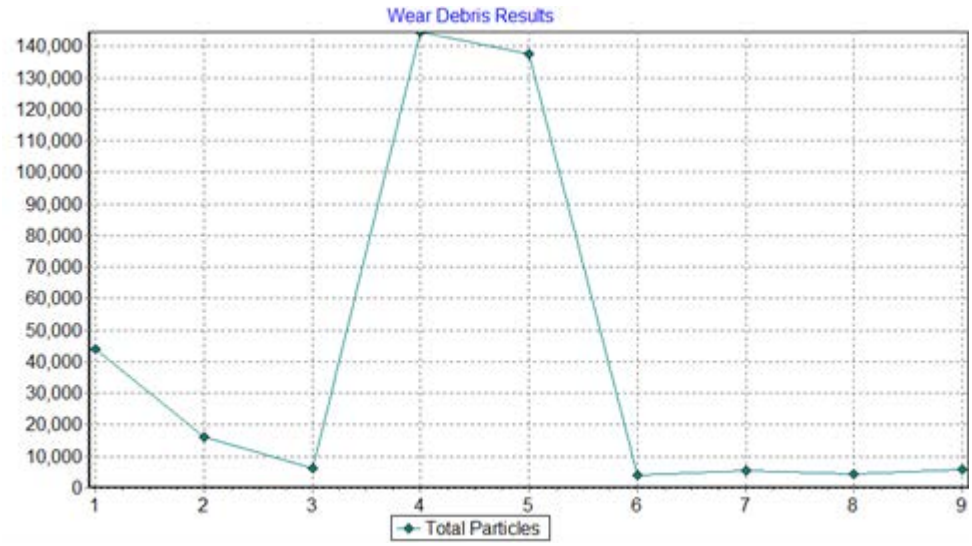
Obrázek č. 17 - Graf počtu částic o velikosti 15 – 25 µm



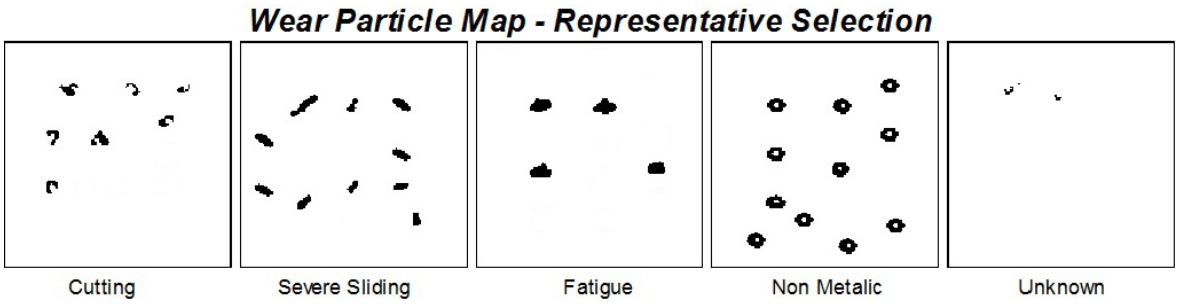
Obrázek č. 18 - Graf počtu částic o velikosti 25- 50 µm



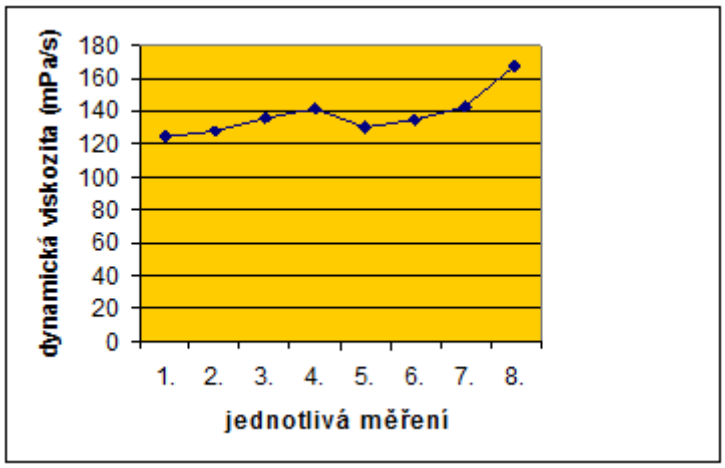
Obrázek č. 19 - Graf počtu částic větších než 50 µm



Obrázek č. 20 - Trendový graf celkového počtu částic v olejích z motoru M 23 kogenerační jednotky bioplynové stanice Vysoké Mýto



Obrázek č. 21 - Ukázka typů částic ve vzorku č. 2 motoru M 23



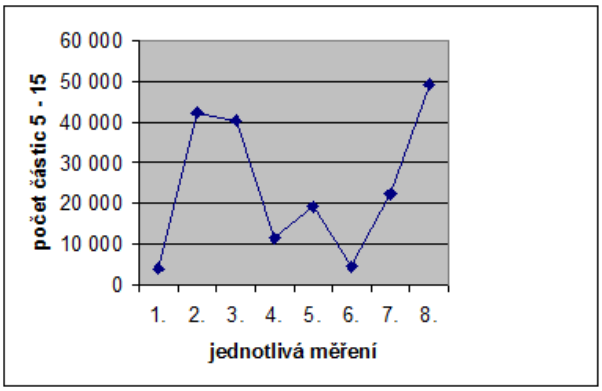
Obrázek č. 22 - Graf vývoje dynamické viskozity

Výsledky analýzy olejů z motoru M 24 kogenerační jednotky bioplynové stanice ve Vysokém Mýtě

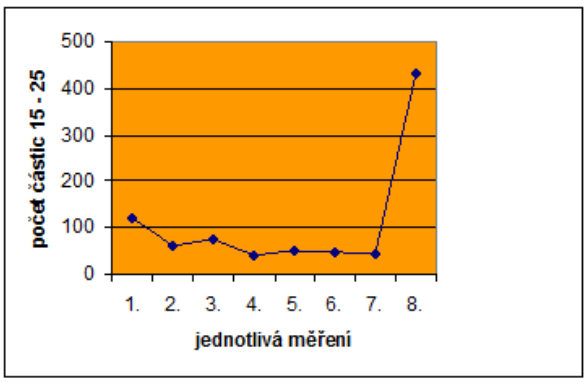
V následující tabulce jsou uvedeny výsledky analýzy opotřebených olejů laserovým analyzátorem SpectroLNF Q200. U každého odebraného vzorku oleje byla rovněž stanovena hodnota dynamické viskozity při 40 °C.

Tabulka č. 9 - Výsledky částicové analýzy včetně uvedení dynamické viskozity při 40 °C

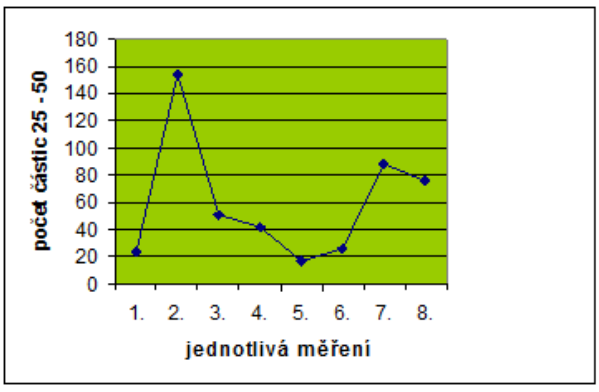
Číslo vzorku	Počet motohodin	Velikost částic (µm)				Dynamická viskozita (Pa·s)
		5 - 15	15 - 25	25 – 50	>50	
1.	255	3 776	122	24	6	128
2.	511	42 233	63	154	261	132
3.	709	40 429	77	51	1 694	143
4.	954	11 340	42	42	32	145
5.	312	19 089	53	17	20	127
6.	623	4 337	48	26	19	135
7.	945	22 338	46	88	171	148
8.	1268	49 320	429	76	2	162



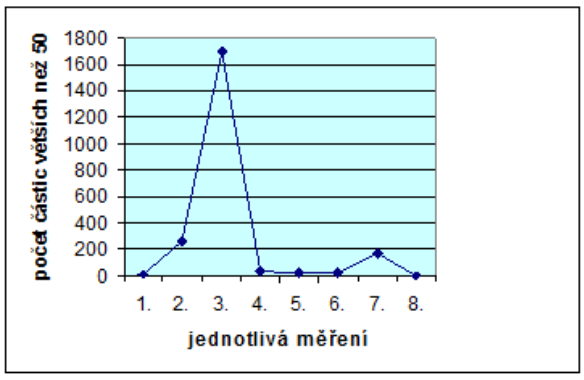
Obrázek č. 23 - Graf počtu částic o velikosti 5 - 15 µm



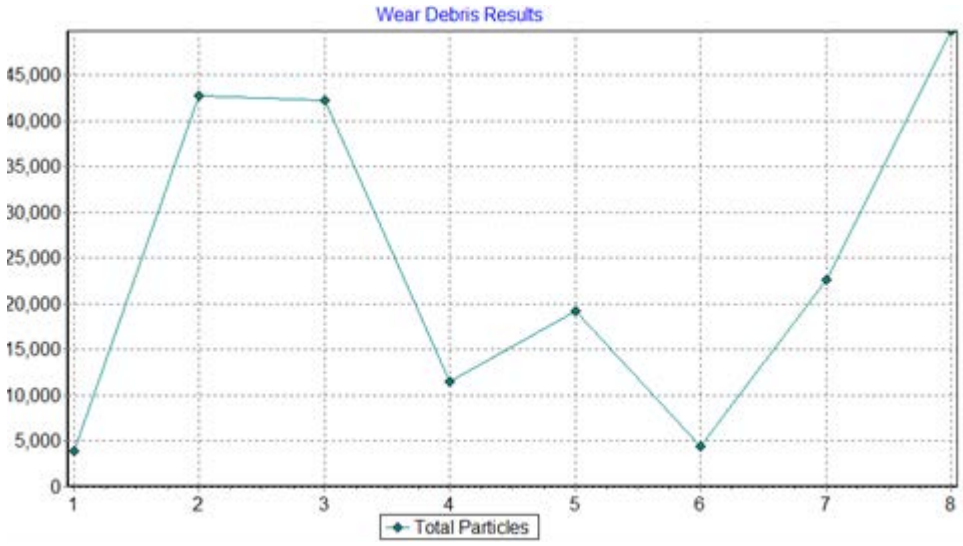
Obrázek č. 24 - Graf počtu částic o velikosti 15 – 25 µm



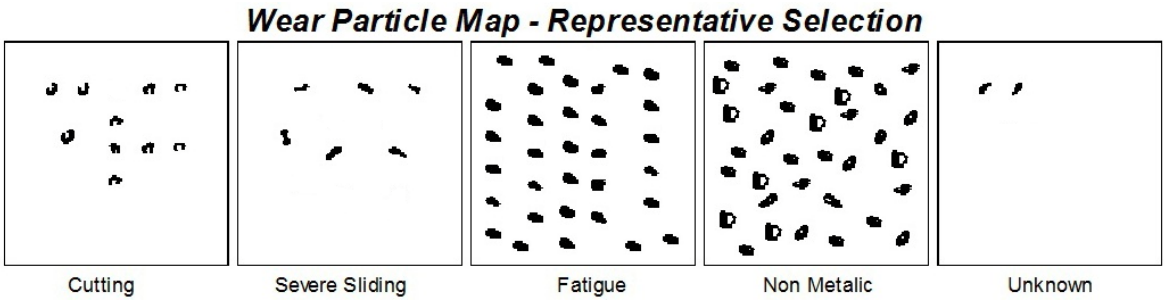
Obrázek č. 25 - Graf počtu částic o velikosti 25 – 50 µm



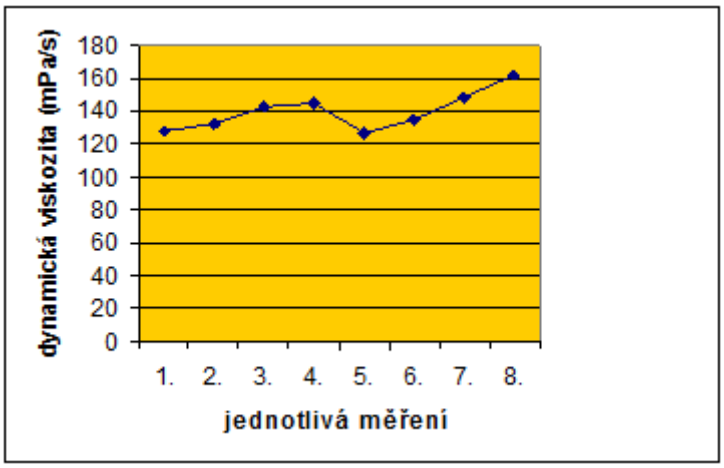
Obrázek č. 26 - Graf počtu částic větších než 50 µm



Obrázek č. 27 - Trendový graf celkového počtu částic v olejích z motoru M 24 kogenerační jednotky bioplynové stanice Vysoké Mýto



Obrázek č. 28 - Ukázka typů částic ve vzorku č. 8 motoru M 24



Obrázek č. 29 - Graf vývoje dynamické viskozity

Dílčí závěr

Analýza vzorků olejů obou motorů kogeneračních jednotek prokázala, že nárůst počtu částic opotřebení v oleji nezpůsobuje změnu dynamické viskozity. Motorový olej v plynových motorech mnohem více musí odolávat velmi vysokým teplotám, což se projeví nejprve snížením viskozity, které je způsobeno změnami některých zušlechťujících přísad (modifikátory viskozity) [28]. V tomto případě vlivem vysokých teplot při spalovacím procesu nedošlo k razantním změnám ve struktuře zušlechťujících přísad. Naopak došlo k postupnému nárůstu viskozity v důsledku termické a oxidační degradace oleje nebo jeho znečištění produkty ze spalovacího procesu.

U **motoru M 23** došlo k nejvýraznějšímu nárustu počtu částic v prvním cyklu odběru vzorků a to po 713 MH provozu, příčinou byla změna skladby vstupních surovin a tedy chybné složení bioplynu, které mělo vliv na degradaci oleje a tím i na opotřebení motoru. To prokázaly i analýzy FTIR spektrometrie a AES. Největší nárůst byl v počtu adhezivních částic (5 - 15 μm), které mají původ v Beilbyho vrstvě, z níž se postupně oddělují a jsou odplavovány mazivem. Tyto částice vznikají při opotřebení ocelových součástí a mají velmi dobré magnetické vlastnosti. Jejich počet a především velikost poukazuje na intenzitu adhezivního opotřebení. Zanedbatelný nebyl nárůst částic větších jak 50 μm. Může se jednat o laminární, únavové nebo abnormální částice. Laminární částice vznikají v důsledku opakovaného průchodu oleje a částic soustavou, což způsobuje plastickou deformaci částic. Výskyt těchto částic je většinou doprovázen výskytem sféroidů, což souvisí s postupným nástupem poruchy ložiska. Únavové částice se vyskytují při poškození ozubených kol a abnormální částice při mezním a havarijním opotřebení.

U **motoru M 24** byl největší nárůst částic o velikosti 5 - 15 μm, tedy částic adhezivního opotřebení. Pouze u jednoho vzorku vzrost počet částic větších než 50 μm, což lze přičíst i chybě přístroje, kterou nelze opomenout.

Trendové grafy opotřebení obou motorů nemají podobný průběh. Rozdíly mohlo zřejmě způsobit více faktorů, kterými je např. proměnlivá odběrová hloubka při jednotlivých odběrech, nemožnost odsátí veškerého množství oleje za všech skulin, které vytváří útroby motoru, atd. U obou kogeneračních jednotek se vyskytly částice, které svým tvarem odpovídají adhezivnímu opotřebení, ale také se vyskytly částice, které mají tvar laminárních, únavových a abnormálních částic. Největší zastoupení u obou kogeneračních jednotek mají částice adhezivního opotřebení o velikosti 5 - 15 μm, které mají původ v Beilbyho vrstvě.

9.2 FTIR spektrometrie

Pro analýzu vzorků motorového oleje kogeneračních jednotek bioplynové stanice Vysoké Mýto byl použit přístroj NICOLET iS10 s nástavcem ATR, viz obrázek č. 30. Jedná se o vysoce citlivý spektrometrický systém určený pro střední infračervenou oblast.

Obrázek č. 30 - Spektrometr Nicolet iS10

Postup při měření FTIR spekter

1) Po spuštění počítače a řídícího software OMNIC se aktivuje zdroj spektrometru, kde stabilizovaného stavu je dosaženo po 10 - 15 minutách. V menu softwaru OMNIC je nutné vybrat požadovanou metodu měření: zvolí se záložka Collect a v ní se v experimentu nastaví 64 scanů, resolution 4 cm^{-1}, data sparing 1,829 cm^{-1}.

2) Před vlastním měření je nutné nejprve změřit pozadí (Background) krystalu nástavce ATR.

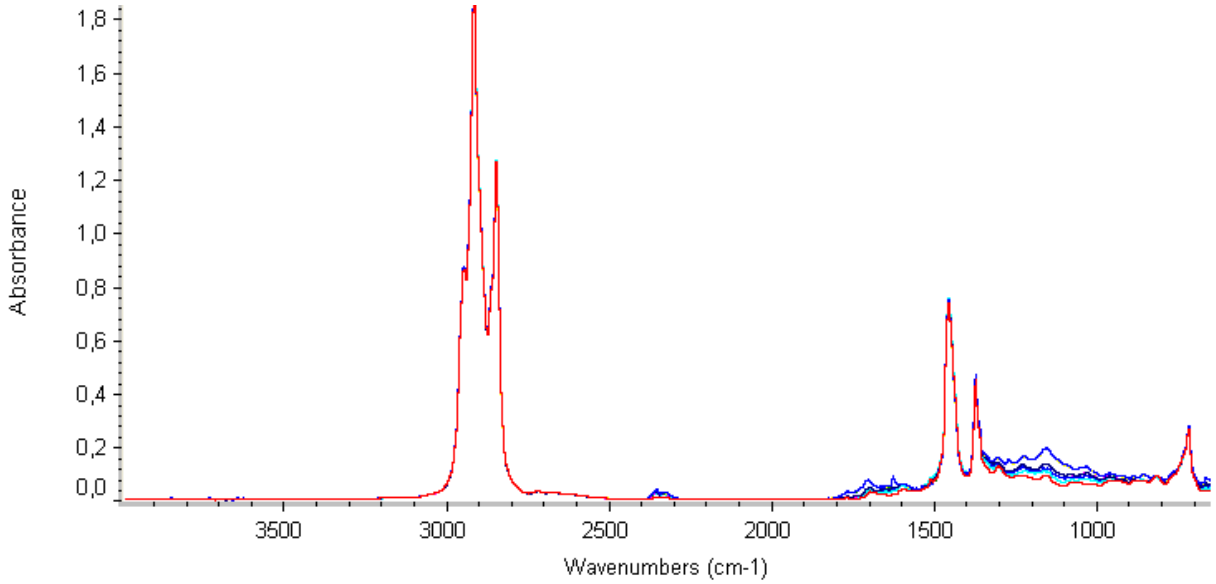
3) Po změření pozadí se na nástavec s krystalem nanese teflonovou špachtlí slabá vrstva vzorku oleje. Vzorek musí být nanesen na celou plochu krystalu.

4) Následuje měření spektra: v záložce Collect se vybere příkaz Collect Sample.

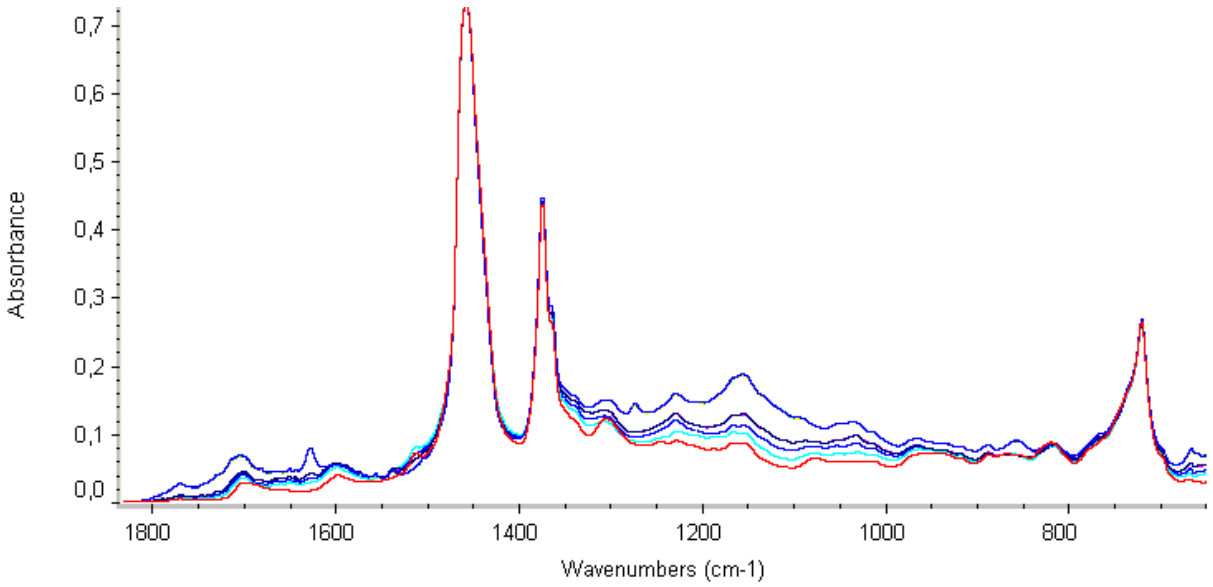
5) Před dalším měřením je třeba krystal důkladně vyčistit. Čištění krystalu se provádí n-hexanem.

Výsledky analýzy olejů z motorů M23 kogenerační jednotky bioplynové stanice Vysoké Mýto

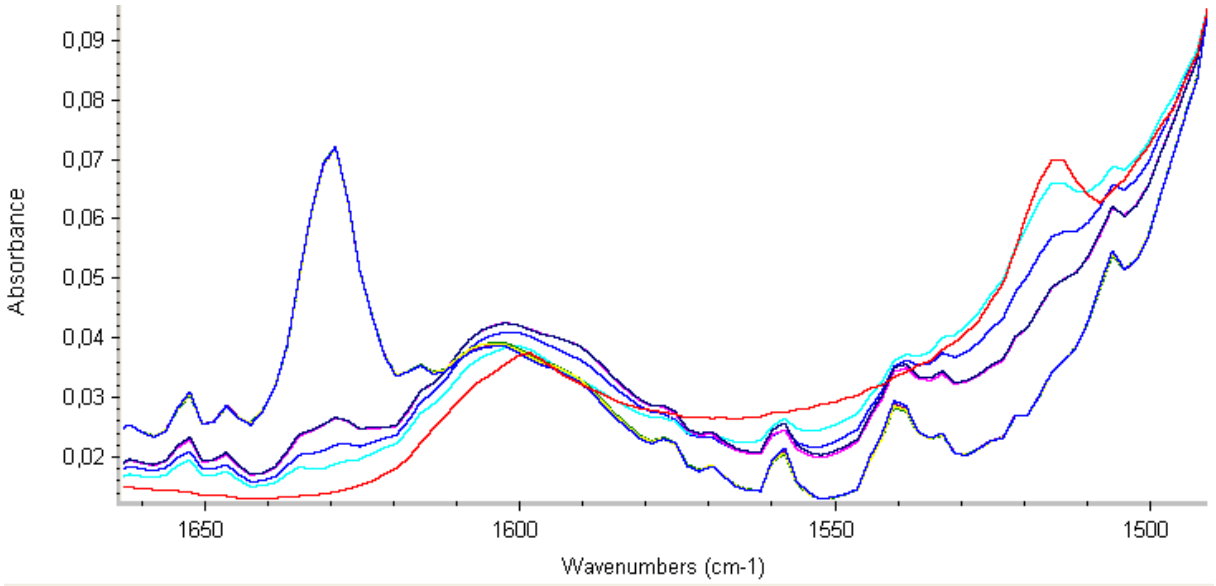
Metodou FTIR spektrometrie byla sejmuta infračervená spektra odebraných vzorků opotřebeného oleje MOBILGARD 450 z plynového spalovacího motoru TB 172 GV TW 86 (M 23). Rovněž bylo sejmuto spektrum nového oleje MOBILGARD 450. Níže jsou uvedeny spektrální záznamy nového oleje a opotřebených olejů.



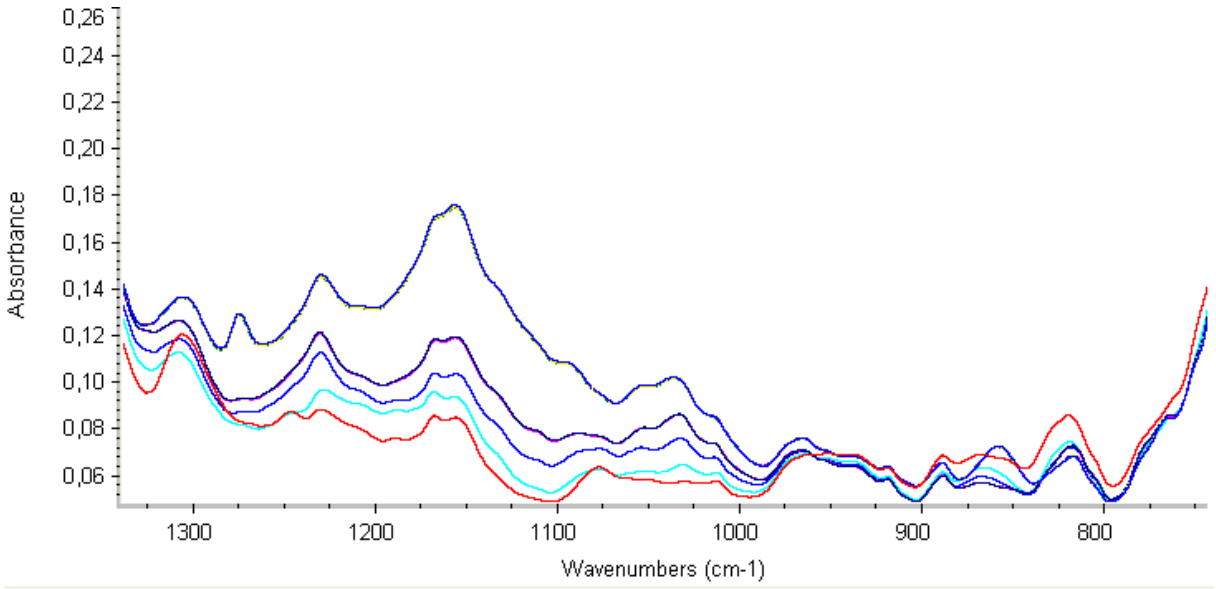
Obrázek č. 31 - Infračervené spektrum vzorků olejů z motoru M 23 (celý měřený rozsah)



Obrázek č. 32 - Infračervené spektrum vzorků olejů z motoru M 23 (detail spektra v oblasti 1800 až 700 cm^{-1})

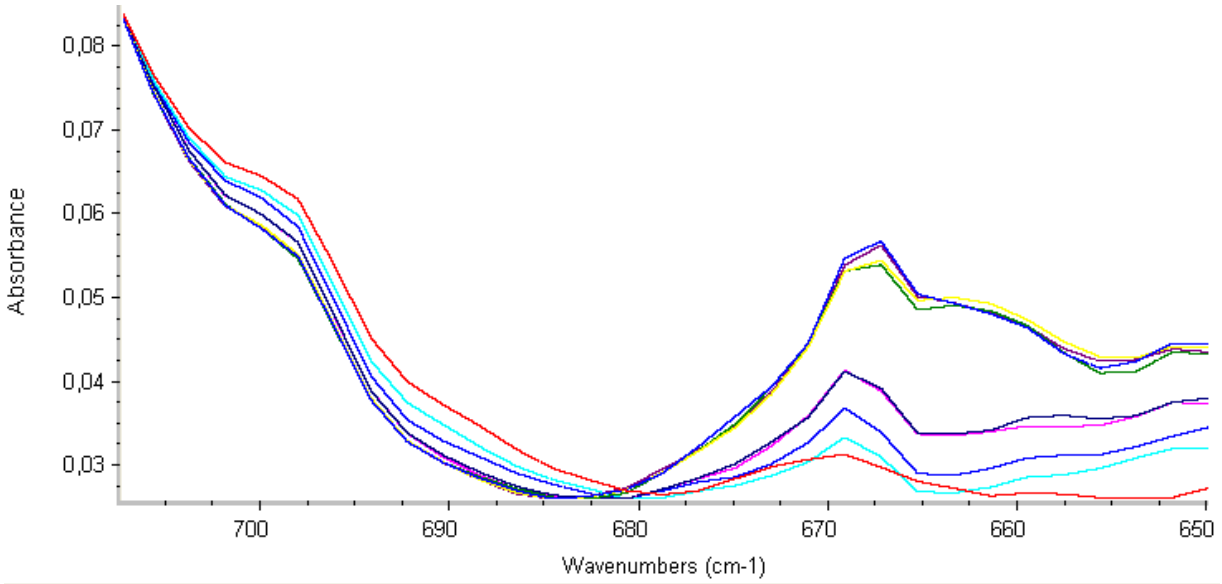


Obrázek č. 33 - Infračervené spektrum vzorků olejů z motoru M 23 (detail spektra v oblasti 1650 až 1500 cm^{-1})

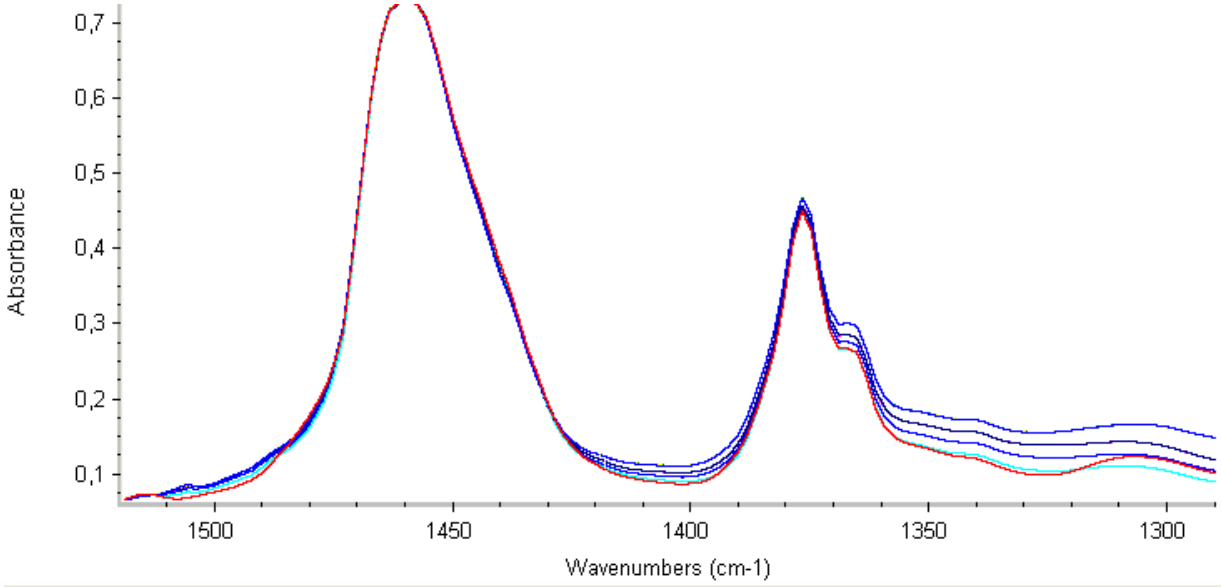


Obrázek č. 34 - Infračervené spektrum vzorků olejů z motoru M 23 (detail spektra v oblasti 1300 až 700 cm^{-1})

Legenda k obrázku	
	MOBILGARD 450 - nový
	MOBILGARD 450 po 257 MH
	MOBILGARD 450 po 534 MH
	MOBILGARD 450 po 713 MH
	MOBILGARD 450 po 959 MH
	MOBILGARD 450 po 326 MH
	MOBILGARD 450 po 612 MH
	MOBILGARD 450 po 892 MH
	MOBILGARD 450 po 1189 MH



Obrázek č. 35 - Infračervené spektrum vzorků olejů z motoru M 23 (detail spektra v oblasti 700 až 650 cm^{-1})

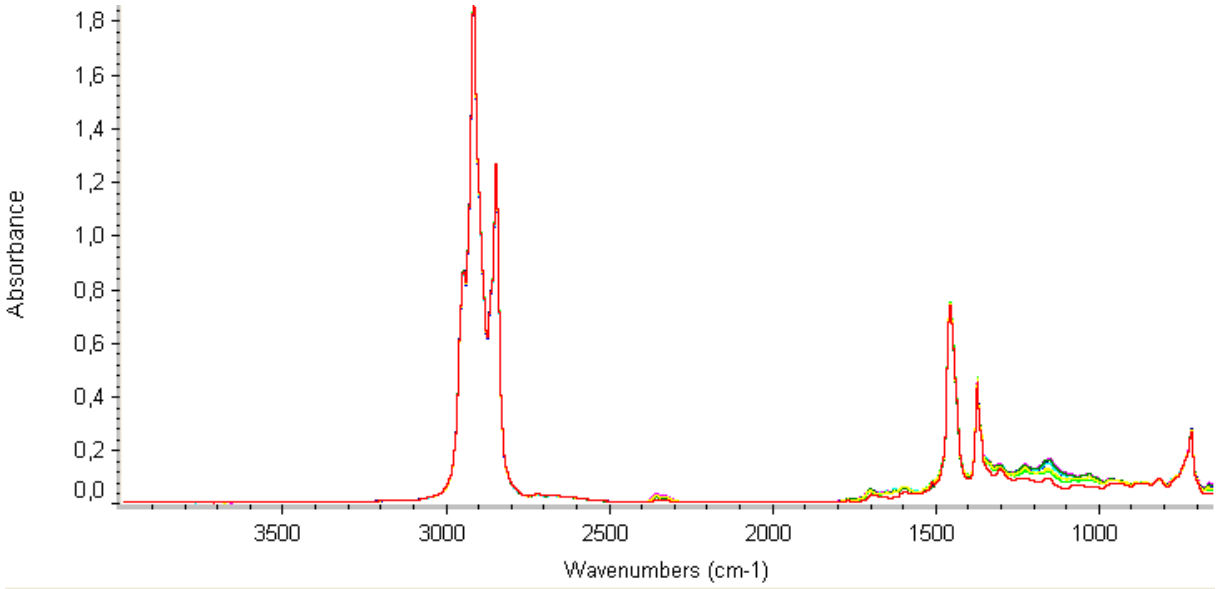


Obrázek č. 36 - Infračervené spektrum vzorků olejů z motoru M 23 (detail spektra v oblasti 1500 až 1300 cm^{-1})

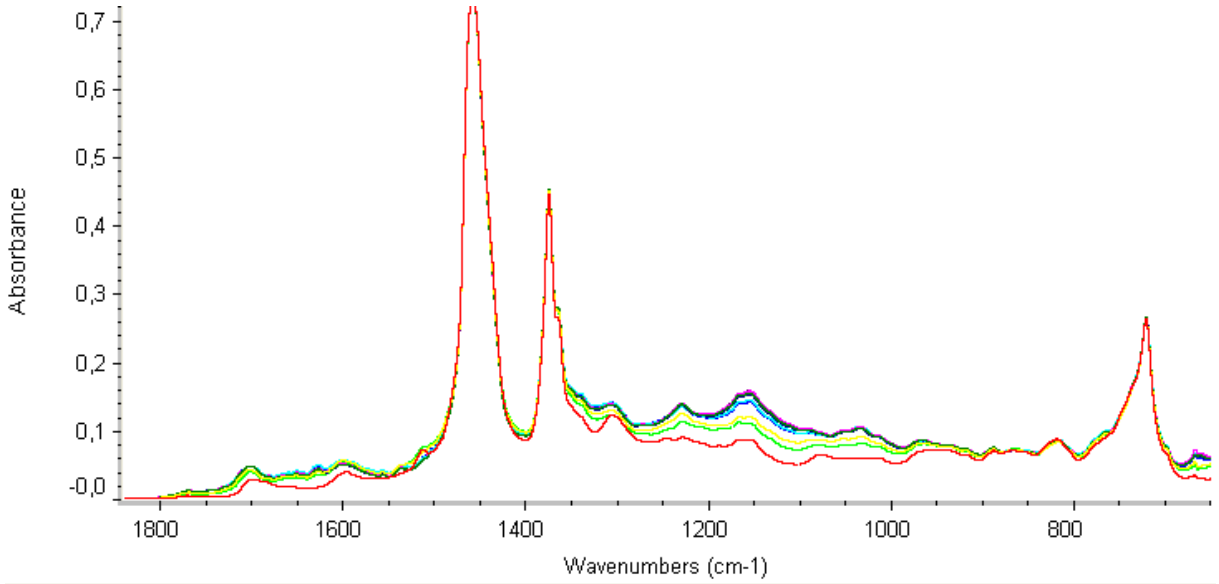
Legenda k obrázku	
	MOBILGARD 450 - nový
	MOBILGARD 450 po 257 MH
	MOBILGARD 450 po 534 MH
	MOBILGARD 450 po 713 MH
	MOBILGARD 450 po 959 MH
	MOBILGARD 450 po 326 MH
	MOBILGARD 450 po 612 MH
	MOBILGARD 450 po 892 MH
	MOBILGARD 450 po 1189 MH

Výsledky analýzy olejů z motorů M24 kogenerační jednotky bioplynové stanice Vysoké Mýto

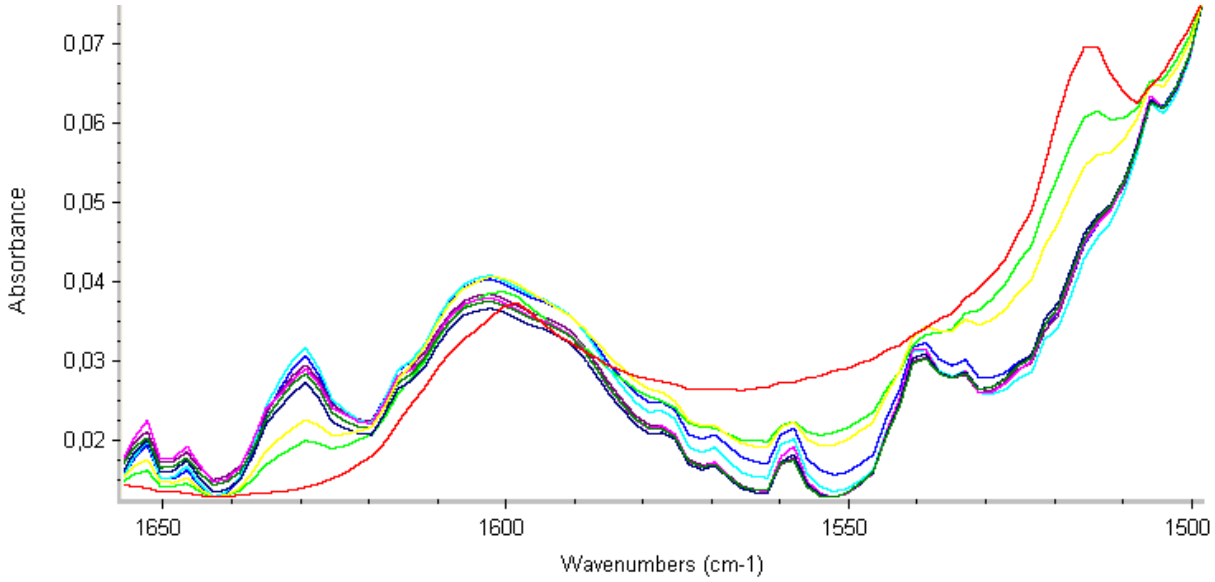
Metodou FTIR spektrometrie byla sejmuta infračervená spektra odebraných vzorků opotřebeného oleje MOBILGARD 450 z plynového spalovacího motoru TB 172 GV TW 86 (M 24). Rovněž bylo sejmuto spektrum nového oleje MOBILGARD 450. Níže jsou uvedeny spektrální záznamy nového oleje a opotřebených olejů.



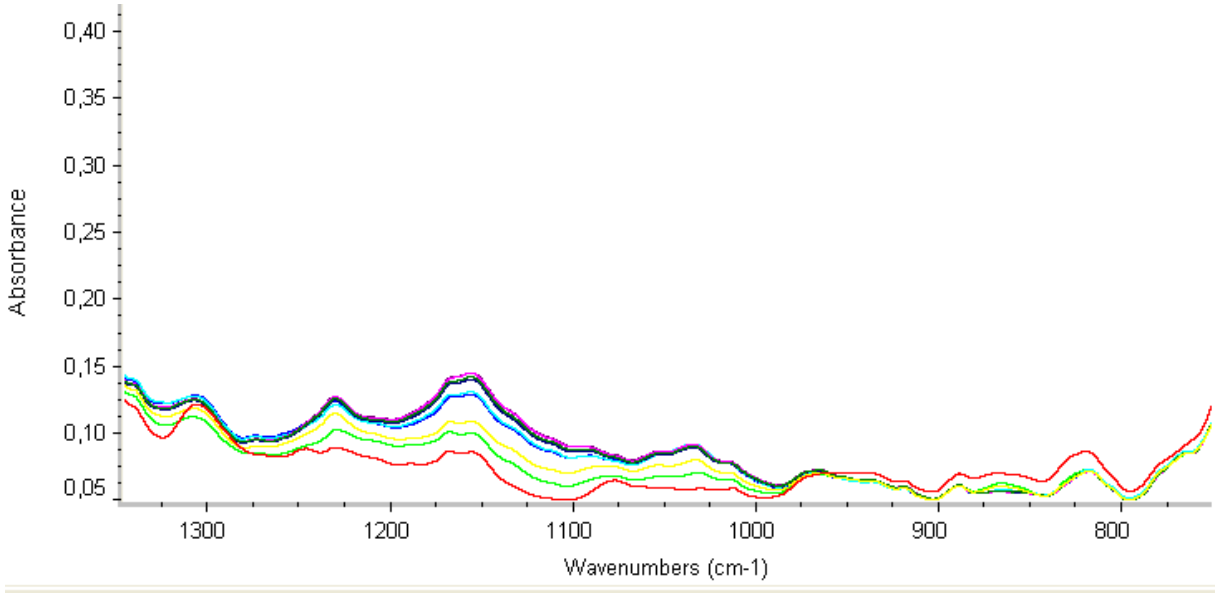
Obrázek č. 37 - Infračervené spektrum vzorků olejů z motoru M 24 (celý měřený rozsah)



Obrázek č. 38 - Infračervené spektrum vzorků olejů z motoru M 24 (detail spektra v oblasti 1800 až 700 cm^{-1})

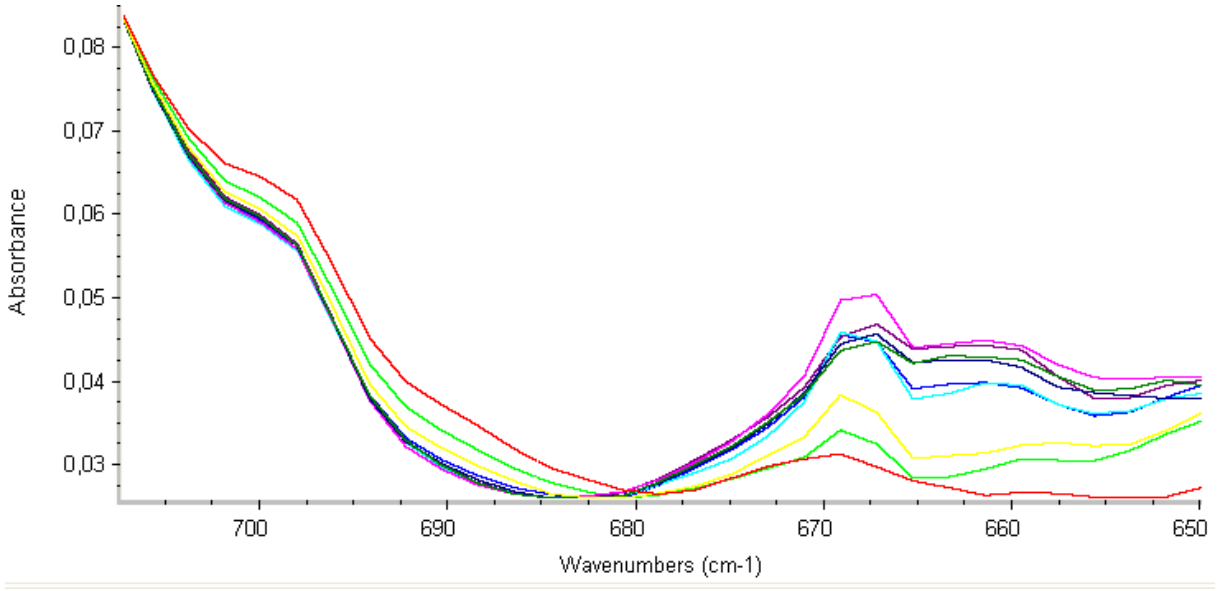


Obrázek č. 39 - Infračervené spektrum vzorků olejů z motoru M 24 (detail spektra v oblasti 1650 až 1500 cm^{-1})

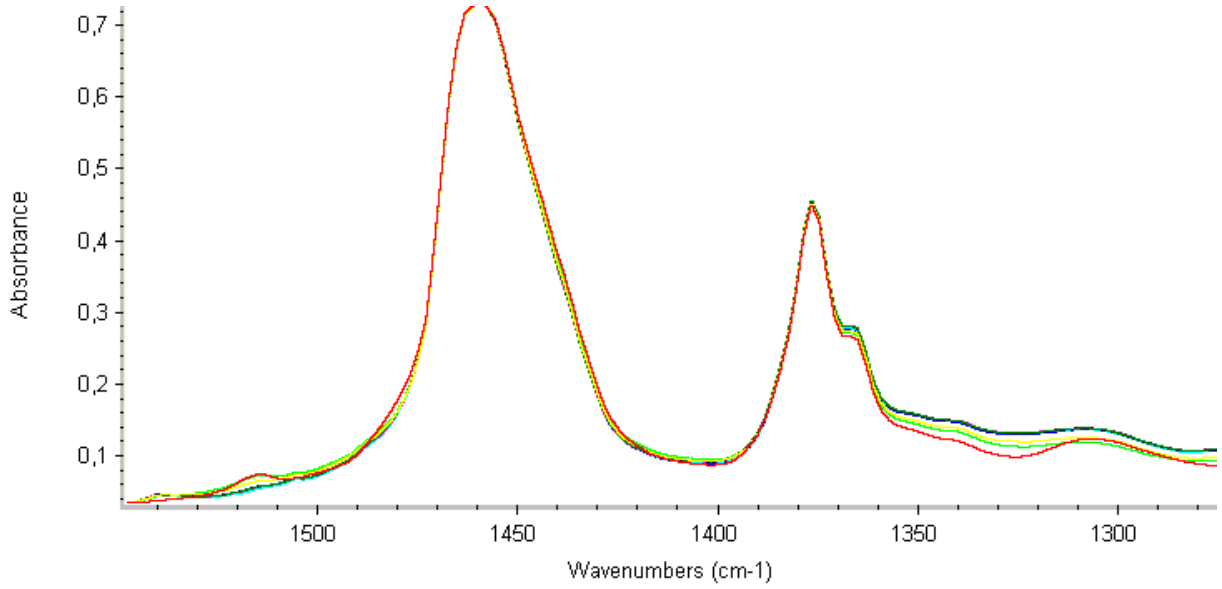


Obrázek č. 40 - Infračervené spektrum vzorků olejů z motoru M 24 (detail spektra v oblasti 1300 až 700 cm^{-1})

Legenda k obrázku	
	MOBILGARD 450 - nový
	MOBILGARD 450 po 255 MH
	MOBILGARD 450 po 511 MH
	MOBILGARD 450 po 709 MH
	MOBILGARD 450 po 954 MH
	MOBILGARD 450 po 312 MH
	MOBILGARD 450 po 623 MH
	MOBILGARD 450 po 945 MH
	MOBILGARD 450 po 1268 MH



Obrázek č. 41 - Infračervené spektrum vzorků olejů z motoru M 24 (detail spektra v oblasti 700 až 650 cm^{-1})



Obrázek č. 42 - Infračervené spektrum vzorků olejů z motoru M 24 (detail spektra v oblasti 1500 až 1300 cm^{-1})

Legenda k obrázku	
	MOBILGARD 450 - nový
	MOBILGARD 450 po 255 MH
	MOBILGARD 450 po 511 MH
	MOBILGARD 450 po 709 MH
	MOBILGARD 450 po 954 MH
	MOBILGARD 450 po 312 MH
	MOBILGARD 450 po 623 MH
	MOBILGARD 450 po 945 MH
	MOBILGARD 450 po 1268 MH

Vyhodnocení analýzy olejů z motorů M 23 a M 24 kogeneračních jednotek

Na základě analýzy infračervených spekter na obrázcích č. 31 - 42 vzorků oleje z motorů M 23 a M 24 kogeneračních jednotek bioplynové stanice Vysoké Mýto je možno konstatovat:

- U vzorků oleje nebyla prokázána oxidační stálost, protože v oblasti 1710 - 1730 cm^{-1} došlo u použitého oleje k nárůstům pásů, souvisejících s oxidací uhlovodíků, tj. k nárůstu obsahu oxidačních produktů obsahujících vazbu C=O.
- V oblasti 1610 – 1630 cm^{-1} došlo u obou motorů k nárůstu pásu, který svědčí o nitraci oleje tj. o profuku spalných plynů obsahujících oxidy dusíku, které jsou důležitým ukazatelem nadměrného opotřebení pístní skupiny.
- U vzorků obou motorů došlo k opotřebení olejů, nárůst absorbance v oblasti 1150 cm^{-1} lze přičíst vzniku sulfatačních produktů, na jejichž vznik mají vliv spaliny bioplynu, které se dostávají do klikové skříně motoru. U nového motorového oleje se rovněž ve výše uvedené oblasti nachází pás, který odpovídá přítomnosti protiotěrových aditiv obsahujících síru (Alkylsulfidfenát vápenatý). Průnik síry z biopaliva do oleje lze také potvrdit nárůstem pásu v oblasti 650 cm^{-1} - 670 cm^{-1}. Může se jednat o vznik vazeb C - S, jejichž projevem je pás 630 až 660 či vazeb C - S - C (oblast 655 až 690 cm-1). Nárůst obsahu sulfatačních produktů v opotřebeném oleji souvisí se složením aktuálně získaného bioplynu.
- Motorový olej ani jednoho z motorů nebyl znečištěn karbonovými částicemi (sazemi), neboť nedošlo k žádným změnám v oblasti kolem 1970 cm^{-1}.
- U analyzovaných vzorků olejů obou motorů nebyl prokázán obsah vody (široký pás 3600 - 3300 cm^{-1}) a glykolu (dvojice pásů 1040 a 1080 cm^{-1}).
- Výrazně odlišné spektrum bylo zaznamenáno u oleje z motoru M 23 po proběhu 713 MH. U tohoto vzorku oleje se v porovnání s ostatními vzorky projevil výrazný pás v oblasti 1620 - 1650 cm^{-1}, který svědčí o přítomnosti oxidu dusíku a v oblasti 1000 – 1300 cm^{-1}. Přítomnost tohoto pásu svědčí o znečištění bioplynu produkty ze spalovacího procesu. Bioplyn byl zřejmě získán z jiných vstupních surovin (především rostlinného původu). Zde je tedy patrný vliv složení použitého substrátu na kvalitu bioplynu.

Dílčí závěr

U vzorků obou motorů došlo k opotřebení olejů. Největší mírou se na degradaci oleje podílely produkty sulfatace, které se do motorového oleje dostaly profukem síry ze spalin bioplynu a které jsou vůči oleji velmi agresivní. Zároveň olej neprokázal dobrou oxidační stalest a došlo také k nitraci eleje, tj. profuku spalných plynů obsahujících oxidy dusíku. U oleje z motoru M 23 byl po proběhu 709 MH zaznamenán kromě pásů náležejícím vazbám se sírou také pás náležející vazbě s fosforem, což má zřejmou souvislost s aktuálním složením bioplynu. Vzhledem k tomu, že tento pás se nevyskytl u dalších analyzovaných olejů, lze soudit, že byly použity v daný okamžik jiné suroviny pro výrobu bioplynu než v ostatních případech. Toto zjištění bylo potvrzeno provozovatelem bioplynové stanice Vysoké Mýto (záznam z provozního deníku) a potvrdili ho i výsledky analýzy částic i AES-RDE.

9.3 Atomová emisní spektrometrie

Pro analýzu vzorků motorového oleje kogeneračních jednotek bioplynové stanice Vysoké Mýto byl použit přístroj Spectroil Q^{100} ,viz. obrázek č. 43.

Obrázek č. 43 - Spectroil Q^{100} [2]

Metodou AES-RDE byly stanoveny koncentrace otěrových kovů v opotřebených olejích (hliníku, mědi, železa). Někteří výrobci plynových motorů doporučují sledovat limitní hodnoty obsahu otěrových kovů, ale většina se přiklání k trendové analýze, která dokáže odhalit i malé odchylky od normálního stavu. Trendovou analýzou lze rovněž sledovat obsah prvků souvisejících s aditivací použitého motorového oleje a prvků, které souvisejí se

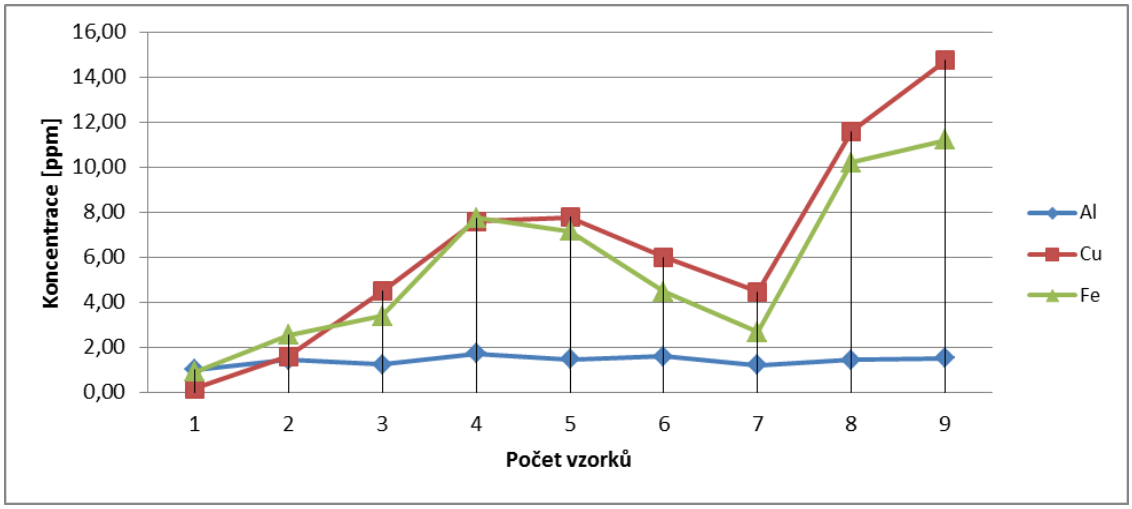
znečištěním oleje. Analýzou motorových olejů kogeneračních jednotek ve Vysokém Mýtě byla sledována koncentrace těchto prvků: vápníku, hořčíku, zinku (aditivní prvky) a sodíku a křemíku (znečišťující prvky).

Stanovením obsahu Ca, Mg lze sledovat obsah (vyčerpání) detergentních přísad. U sledovaných vzorků olejů byly zaznamenány také změny v koncentraci Zn, což je součást dalších aditivních přísad, které mají zlepšit užitné vlastnosti olejů. Uvádí se, že současný nárůst obsahu Na a B (inhibitory koroze) může být signálem průniku chladicí kapaliny do oleje. Pokud je v oleji identifikováno větší množství Si a Al v poměru cca 3, 4 : 1 a zároveň větší množství otěrových kovů, může se jednat o průnik prachu do oleje [29].

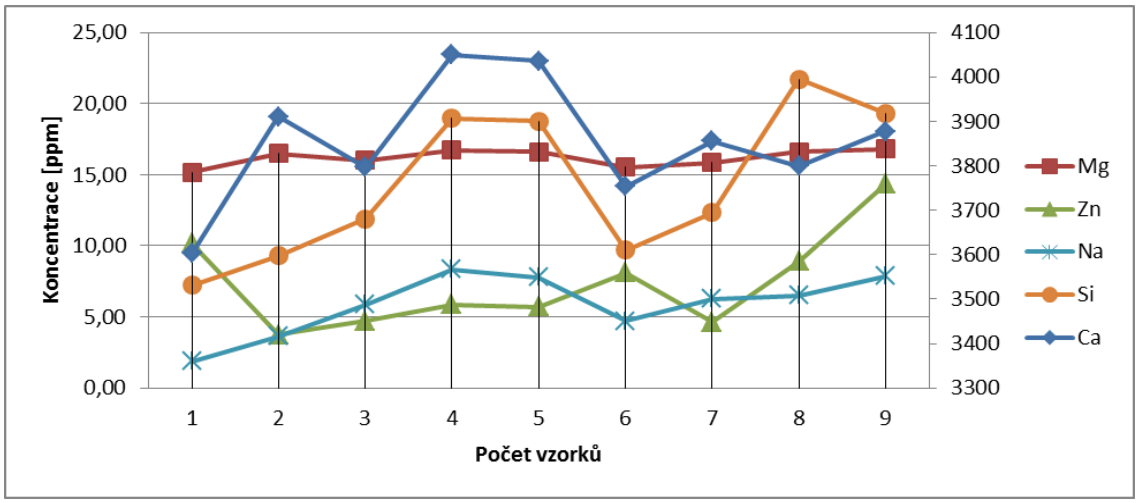
Tabulky výsledků AES-RDE jsou uvedeny pro oleje z motoru M 23 v příloze E a pro oleje z motoru M 24 v příloze F.

Na následujících obrázcích jsou znázorněny vybrané skupiny prvků pro oleje z motorů M 23 a M 24 kogeneračních jednotek bioplynové stanice Vysoké Mýto.

Motor M 23

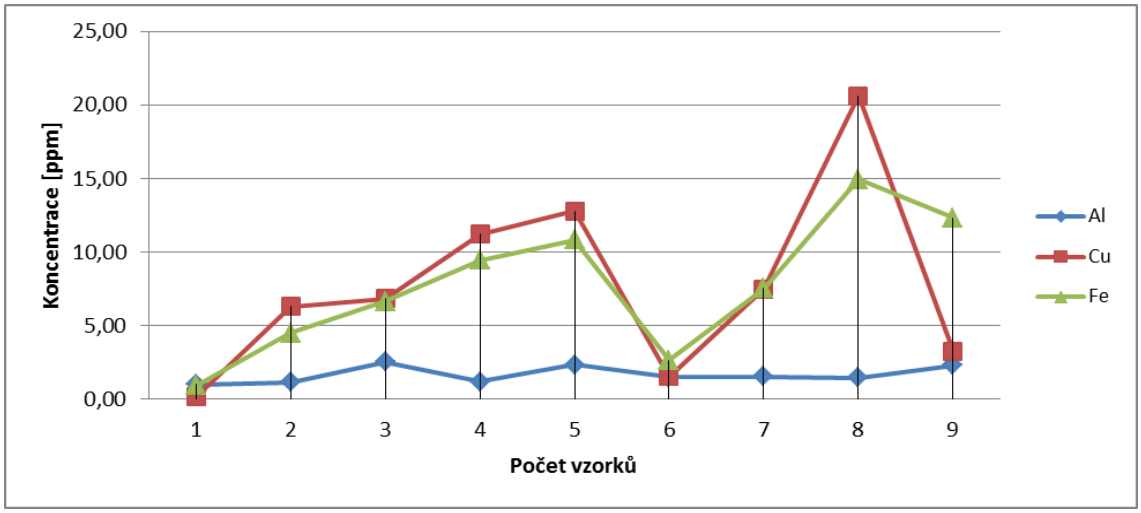


Obrázek č. 44 - Znázornění koncentrace otěrových kovů

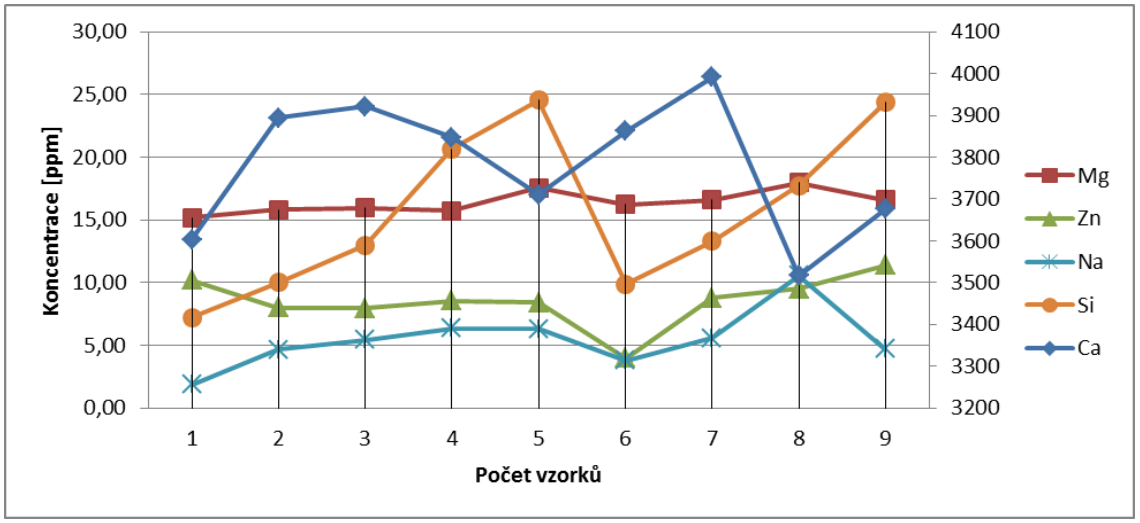


Obrázek č. 45 - Znázornění koncentrace aditivních prvků a Na a Si

Motor M 24



Obrázek č. 46 - Znázornění koncentrace otěrových kovů



Obrázek č. 47 - Znázornění koncentrace aditivních prvků a Na a Si

Vyhodnocení analýzy olejů z motorů M 23 a M 24 kogeneračních jednotek

Jak vyplývá z bezpečnostního listu motorového oleje MOBILGARD 450 jeho nejdominantnější přísadou (1 - 5 obj. %) je alkylsulfidfenát vápenatý. Vápenaté složky jsou vedle hořečnatých složek základní součástí detergentů. Detergenty zabraňují nárůstu kyselosti oleje, čímž chrání olejový okruh proti korozi. Vápenaté složky aditiv mají také významnou roli v zamezení tvorby karbonových úsad na horní části pístů, pístních kroužků a drážkách kroužků. Z obrázků č. 46 a 48 je patrné, že nedošlo během provozu obou motorů kogenerační jednotky k poklesu koncentrace Ca, tj. olej má dostatečnou alkalickou rezervu, aby byl schopen neutralizovat kyselé zplodiny, které se netěsnostmi z bioplynu mohou dostat do oleje. Změny koncentrace tohoto prvku lze přičíst jednak chybě měření, a také znečištění oleje produkty nedokonalého spalovacího procesu, což prokázaly i předchozí metody TTD (FTIR spektrometrie a analýza částic laserovým analyzátorem SpectroLNF Q200). Bioplyn byl zřejmě získán ze surovin obsahujících značné množství vápenatých složek.

Další přísada, která není v bezpečnostním listu motorového oleje blíže specifikována (olej ji obsahuje pouze v nepatrném množství cca 0,004 – 0,02 obj. %), je aditivum na bázi hořčíku. I v tomto případě byl obsah hořečnatých sloučenin vyšší u obou motorů kogeneračních jednotek než u čistého oleje. Hořčík je stejně jako vápník biogenní prvek a jeho vyšších obsah lze přičíst použitím vstupních surovin obsahujících značné množství hořečnatých složek.

Vzhledem k tomu, že ani v novém oleji nebyl zaznamenán obsah fosforu, olej neobsahoval antioděrové a antioxidační přísady typu diethyldithiofosát zinečnatý (ZnDDP). Toto zjištění je patrno i z výsledků FTIR spektrometrie, neboť v oblasti kolem 1000 cm^{-1} se nevyskytl pás charakteristický pro ZnDDP.

Každý motorový olej obsahuje alkalické sloučniny, kterým se říká alkalická rezerva oleje a které neutralizují působení kyselých látek. Alkalická rezerva oleje se vyjadřuje pomocí hodnoty TBN, což znamená celkové číslo alkality. Čím je TBN vyšší, tím déle olej neutralizuje kyselé látky [30]. V tomto případě nebyl parametr TBN stanovován. Vzhledem k tomu, že nedošlo ke snížení koncentrace prvků Ca a Mg, které jsou součástí alkalických detergentních přísad, lze usuzovat, že nedošlo k výraznému poklesu parametru TBN.

U sodíku docházelo k nárůstu jeho koncentrace oproti hodnotě stanovené v novém oleji. Tato zvýšená koncentrace má zřejmě spojitost se složením bioplynu a opět se složením vstupních surovin.

U oleje z motoru M 24 došlo po proběhu 945 MH provozu k nárůstu Cu, Na a Si a rovněž k nárůstu Mg oproti ostatním vzorkům. Tento nárůst bude mít zřejmě spojitost se složením bioplynu. Špatná skladba bioplynu se také projevila v nárůstu obecného opotřebení (nárůst obsahu Fe), které však nedosáhlo limitu pro zvýšené opotřebení, jak se uvádí v příloze G.

Výrobci velkých vznětových a zážehových motorů uvádějí limity pro koncentrace otěrových kovů. Limitní koncentrace jsou stanoveny pro normální, zvýšené a nebezpečné opotřebení. V tabulce v příloze G jsou tyto hodnoty uvedeny. Použitím těchto limitních hodnot bylo zjištěno, že koncentrace vybraných otěrových kovů nedosáhla u žádného odebraného vzorku oleje hodnoty pro zvýšené opotřebení. Koncetrace Fe, Cu a Al byla sledována za účelem získání informací o míře obecného opotřebení (převody, kluzné povrchy, rez) (Fe) o stavu ložisek (Cu, Al) a trubek výměníkového systému v chladiči (Cu).

Dílčí závěr

U všech analyzovaných vzorků olejových náplní motorů kogeneračních jednotek bioplynové stanice Vysoké Mýto nebylo prokázáno zvýšené množství otěrových kovů. Metoda AES – RDE potvrdila výsledky obou předcházejících metod TTD (FTIR spektrometrie a analýzy částic laserovým analyzátorem SpectroLNF Q200) a to závislost složení vstupního substrátu na kvalitu bioplynu. Na základě sledování koncentrace otěrových kovů lze usuzovat, že nedošlo k výraznému opotřebení strojních součástí.

Závěr

Kogenerační jednotky vyrábí současně elektrickou energii a teplo. Hlavní výhodou kogeneračních jednotek je efektivní využívání paliva respektive tepla vznikajícího při výrobě elektrické energie spalováním bioplynu. Kogenerační jednotky jsou složitá technologická zařízení s vysokými investiční náklady na jejich pořízení. Vzhledem k těmto vysokým nákladům a jejich trvalému provozu je nutné usuzovat o stavu motoru na základě aplikace tribotechnické diagnostiky.

Tribotechnická diagnostika patří do oblasti bezdemontážních a nedestruktivních metod, která využívá mazivo jako zdroj informací o procesech a změnách v mechanických systémech, ve kterých se mazivo používá. Při průběžném používání tribotechnické diagnostiky je umožněno nejen kontrolovat stav maziva v průběhu jejich stárnutí, ale také výskyt cizorodých látek a dalších parametrů. Dále je možno metodami tribotechnické diagnostiky včas zjistit příčiny vznikajících poruch a opotřebení strojních součástí a předejít tak škodám nebo havárii zařízení. Tribotechnická diagnostika umožňuje správné nastavení mazacího režimu, čímž je zajištěno správné hospodaření s mazivy.

Diplomová práce se zabývá aplikací pokročilých instrumentálních metod TTD na motorové oleje používané v kogeneračních jednotkách bioplynové stanice Vysoké Mýto. Vzorky olejů z obou kogeneračních jednotek byly odebírány průběžně v období od 19. 6. 2012 do 28. 1. 2013 s předem stanovenými intervaly proběhu motorů mezi jednotlivými výměnami olejové náplně. Na základě provedených analýz bylo možno hodnotit stupeň degradace motorových olejů a rovněž zhodnotit aktuální stav motoru.

Cílem této práce bylo popsat a shrnout problematiku využívání energetického potenciálu biopaliv, funkcí a vlastností motorových olejů a metod TTD a to jak po stránce teoretické tak i praktické. Práce obecně popisuje princip bioplynové stanice, funkci kogeneračních jednotek a jednotlivé motody TTD, definuje příčiny opotřebení oleje v provozu a druhy částic vznikajících opotřebením. Prakticky je zde popsána problematika týkající se kogeneračních jednotek bioplynové stanice Vysoké Mýto a paliva, které se v tomto případě využívá, tj. bioplynu. Dále byla provedena analýza vzorků motorových olejů z obou kogeneračních jednotek bioplynové stanice Vysoké Mýto.

Degradace motorových olejů byla hodnocena metodou infračervené spektrometrie a laserové analýzy částic. Metodou emisní spektrometrie byla v motorových olejích sledována koncentrace prvků souvisejících s aditivy olejů a rovněž koncentrace prvků, které vypovídají o opotřebení hlavních součástí motoru. Na základě provedených analýz bylo zjištěno, že na degradaci olejů měly vliv změny ve složení spalin bioplynu, které se do olejové náplně dostávají netěsnostmi. Nejvýznamnější byly tyto změny u oleje z motoru M 23 po proběhu 713 MH. Z následných analýz olejů lze konstatovat, že nedocházelo k opotřebení strojních součástí.

V tomto případě výsledky analýz prokázaly dostatečnou časovou rezervu pro výměnu olejových náplní obou motorů kogeneračních jednotek bioplynové stanice Vysoké Mýto. Jak vyplývá z trendových analýz jednotlivých metod TTD, během sledovaného období nedošlo téměř k žádnému opotřebení strojních součástí obou motorů a jen k malé změně složení motorového oleje. Všechny použité metody TTD prokázaly přímý vliv složení vstupních surovin na složení motorového oleje.

Celkově lze hodnotit TTD jako velmi důležitý faktor, který zabezpečí bezporuchový provoz, úspory na mazivech, údržbě a náhradních dílech. Tím, že dochází k menší manipulaci s mazacími oleji, dochází zároveň k ochraně životního prostředí.

Výsledky diplomové práce budou předány poskytovateli vzorků motorových olejů s doporučením prodloužení výměny olejových náplní obou motorů kogeneračních jednotek o 500 MH, tj. výměnu olejové náplně provést po 1500 až 1700 MH.

Použité informační zdroje

[1] *Integrovaný systém nakládání s bioodpady.* [online]. [cit. 2013-01-18]. Dostupné z: <http://urad.vysoke-myto.cz/dokoncene-projekty/4148-integrovany-system-nakladani-s-bioodpady-)>.

[2] ŠNAJDR, E. *Analýza olejů z kogenerační jednotky*. Univerzita Pardubice. Diplomová práce, 2012.

[3] SEJKOROVÁ, M. *Aplikace FTIR spektrometrie v tribotechnické diagnostice motorových olejů.* [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://www.upce.cz/hledat.html?q=tribotechnick%C3%A1%20diagnostika>.

[4] MAREK, V. *Tribotechnická diagnostika motorových olejů.* [online]. [cit. 2013-02-23]. Dostupné z: <http://www.cmms.cz/mazani/205-trobotechnicka-diagnostika-motovych-oleju.html>.

[5] *Wikipedie*. [online]. [cit. 2013-02-24]. Dostupné z: < http://cs.wikipedia.org>.

[6] *Bioplynová stanice* [online]. [cit. 2013-02-23]. Dostupné z: < http://www.enviwiki.cz/wiki/Bioplynov%C3%A1_stanice>.

[7] JASANSKÁ, J. *Nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a návrh řešení na jejich zpracování*. SŠZ a VOŠ Chrudim. Absolventská práce, 2012.

[8] *O bioplynových stanicích*. [online]. [cit. 203-01-18]. Dostupné z: <http://www.bioproject.cz/o-bioplynovych-stanicich.php>.

[9] *Kogenerační jednotky*. [online]. [cit. 2013-02-28]. Dostupné z: <http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/TZB/kogeneracni_jednotky.pdf>.

[10] NOVÁČEK V. a TURAN T. *Analýzy motorových olej*. Technický týdeník. 1/2007.

[11] Firemní materiály TEDOM. *Průvodní dokumentace – průvodní dokumentace kogenerační jednotky CENTO T160.* 2007.

[12] HAMRŠMÍDOVÁ, D. *Projekt uplatnění kogenerační jednotky na výrobu elektřiny a tepla s využitím bioplynu v ČOV*. UTB ve Zlíně. Diplomová práce, 2010.

[13] *Vlastnosti BP*. [online]. [cit. 2013–04–01]. Dostupné z: <http://www.bioplyn.cz/at_vlastnosti.htm >.

[14] *Aditiva – přísady do olejů.* [online]. [cit. 2013–04–16]. Dostupné z: <http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=uzitecne_aditiva>.

[15] *Tribotechnika* - Technický týdeník 2/2009. [online]. [cit. 2013–01–19]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.cz>.

[16] Oleje *Tipy pro tribotechniky*. [online]. [cit. 2013-01-19] Dostupné z: <http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=zajimavosti_tipy>.

[17] POŠTA, J. *Opotřebení strojních soustav a vznik poruch*. Univerzita Pardubice, DFJP.

[18] STRAKA, B.: *Motorové oleje a tribotechnická diagnostika naftových motorů*. Praha: NADAS, 1986.

[19] KANIA, P. *Infračervená spektrometrie*. [online]. [cit. 2013-03-09] Dostupné z: <http://www.vscht.cz/anl/lach1/7_IC.pdf>.

[20] NOVÁČEK, V. *Opotřebení strojů sledované pomocí analýz mazacích olejů.* Technický týdeník 1/2008 [online]. [cit. 2011–05–16]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.cz/doc/TTI-1-2008.pdf>.

[21] SPECTROinc. *Application Note Measuring Fuel Cleanliness with SpectroLNF Q200.* [online]. [cit. 2013-02-07]. Dostupné z: <http://setecltd.kr/product/spectro/LNFQ-11-Fuel%20Cleanliness.pdf>.

[22] ZCU, *Infračervená spektrometrie*. [online]. [cit. 2013–03–09]. Dostupné z: <http://ttp.zcu.cz/files/pdf/skripta_kap3_irspektrometrie.pdf>.

[23] ZIEGLER, J., HELABRANT, F., MAREK, V. *Tribotechnická diagnostika maziv v souvislosti s normou ISO/DIS 14 803-1*. EDUKA Praha, 2002.

[24] SEJKOROVÁ, M. *Determination of selected indicators of fuels quality by FTIR spektrometry*. Kap. monografie *Deterioration, dependability, diagnostic.* Brno: Univerzita obrany, handesign Brno 2011. ISBN 978-80-260-0633-6.

[25] TURAN T. a NOVÁČEK V. *Analýza oleje – prostředek pro sledování stavu strojů.* [online]. [cit. 2013–05–09]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/1-2008/analyza_%20oleje_tribotechnika.html>.

[26] VŠCHT. *Atomová spektrometrie*. [online]. [cit. 2013–03–10]. Dostupné z: <http://web.vscht.cz/koplikr/Atomov%C3%A1%20%20spektrometrie.pdf>.

[27] ZIEGLER, J., HELABRANT, F., MAREK, V. *Tribotechnická diagnostika maziv v souvislosti s normou ISO/DIS 14 803-1*. EDUKA Praha, 2002.

[28] KLAPKA J. *Mazání a tribotechnická diagnostika motorových olejů v plynových motorech*. Sborník přednášek, 2012.

[29] SEJKOROVÁ, M. Aplikace instrumentálních metod v tribotechnické diagnostice. In *Technická diagnostika a spolehlivost.* Praha : Česká společnost pro jakost, 2011, s. 46-77. ISBN 978-80-02-02352-4.

[30] ČERNÝ J. *Vlastnosti mototrových olejů – Kyselost a alkalita olejů*. [online]. [cit. 2013–05–01]. Dostupné z: <http://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Kyselost-a-alkalita-oleju>.

[31] SEJKOROVA M. *Metody tribotechnické diagnostiky*. Studijní materiály, Ostrava 2012/2014.

Seznam příloh

Příloha A – Technologické schéma bioplynové stanice Vysoké Mýto

Příloha B – Rozhodnutí o registraci hnojiva – Digestát – fugát – organické hnojivo

Příloha C – Schéma kogenerační jednotky TEDOM Centro T160

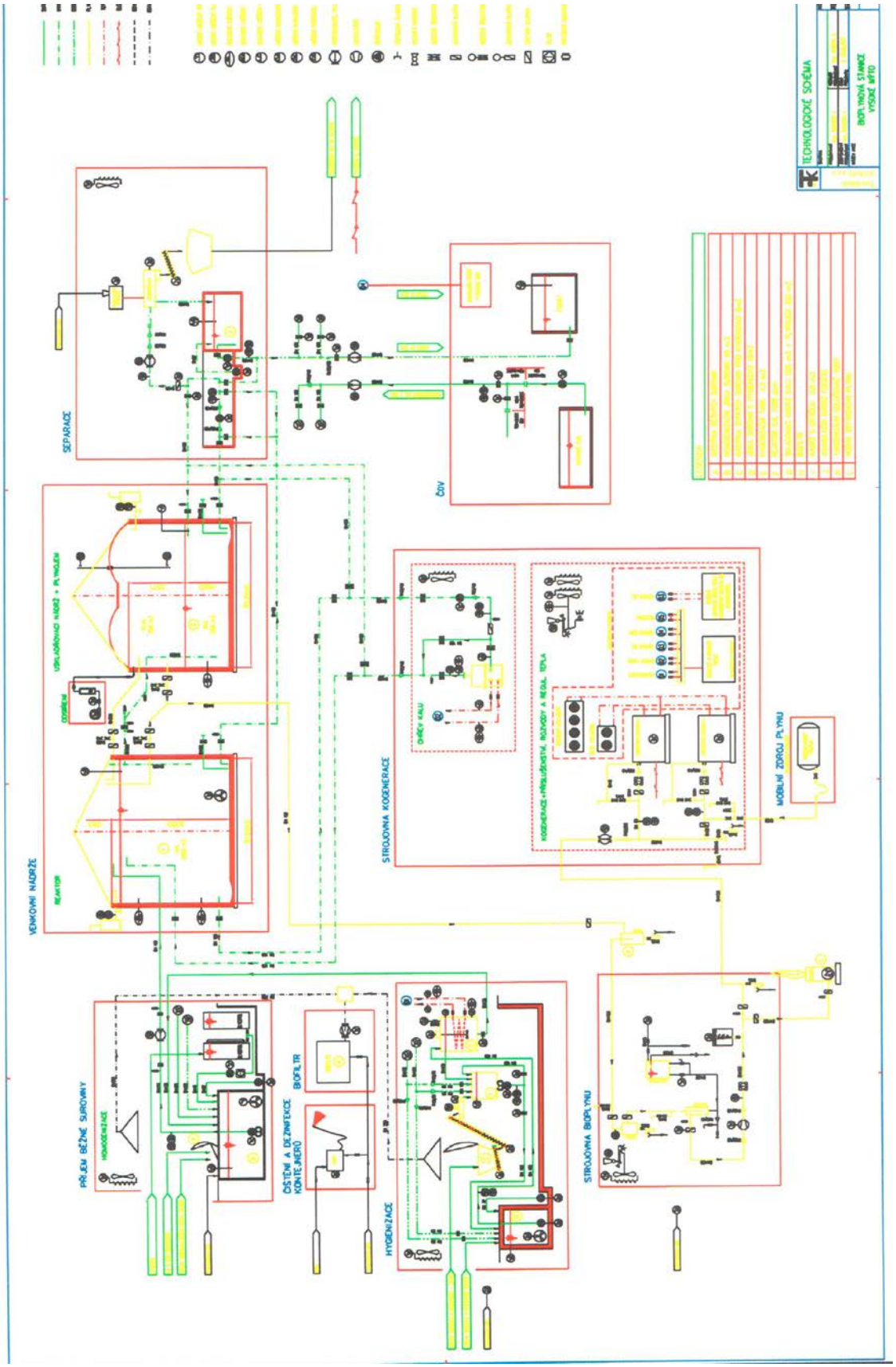
Příloha D – Bezpečnostní list motorového oleje MOBILGARD 450

Příloha E – Tabulka s výsledky AES - RDE pro oleje z motoru M 23

Příloha F – Tabulka s výsledky AES - RDE pro oleje z motoru M 24

Příloha G – Limitní koncentrace kovů v motorovém oleji ($mg.l^{-1}$)

Příloha A – Technologické schéma bioplynové stanice Vysoké Mýto [11]



Příloha B – Rozhodnutí o registraci hnojiva – Digestát – fugát – organické hnojivo [11]

Česká republika
Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture
Sekce úřední kontroly
Odbor bezpečnosti krmiv a půdy
Oddělení registrace hnojiv
Za Opravnou 4, 150 06 Praha 5 – Motol

Číslo jednací: **5329- 5 /ORH/09** Vyřizuje: **Ing. Olga Bláhová** Vypraveno: 11. 03. 2009

Rozhodnutí o registraci hnojiva | 3 | 1 | 9 | 2 |

podle zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agronomickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech), ve znění pozdějších předpisů

Název hnojiva:
Digestát - fugát, organické hnojivo

Číslo typu: **18.1.e)**

Žadatel:
Vodovody a kanalizace Vysoké Mýto, s.r.o., Čelakovského 6/II, 56601 Vysoké Mýto

Identifikační číslo žadatele: **25923099**

Výrobce:
Vodovody a kanalizace Vysoké Mýto, s.r.o., Čelakovského 6/II, 56601 Vysoké Mýto, Fermentační stanice Vysoké Mýto

Identifikační číslo výrobce: **25923099**

V Praze dne (datum vyhotovení rozhodnutí): **10. 03. 2009**

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

jako věcně příslušný orgán ve smyslu § 2 odst. 1 písm. e) zákona č. 147/2002 Sb. O Ústředním kontrolním a zkušebním ústavu zemědělském a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o Ústředním kontrolním a zkušebním ústavu zemědělském), ve znění pozdějších předpisů

r e g i s t r u j e v ý š e u v e d e n é h n o j i v o
podle ustanovení §5 odst. 1 první věty zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, ve znění pozdějších předpisů

Platnost rozhodnutí je omezena do: **31. 12. 2013**

Hodnoty chemických a fyzikálních vlastností hnojiva, rozsah a způsob použití, omezení při uvádění do oběhu a při užívání, způsob balení a varovná označení jsou uvedeny v příbalovém

letáku, který je jakožto příloha nedílnou součástí tohoto rozhodnutí.

Podle §3 odst. 1. písm. a) zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, ve znění pozdějších předpisů, toto hnojivo smí být uváděno do oběhu.

Odůvodnění rozhodnutí:

Registrace hnojiva byla provedena podle §4 zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, ve znění pozdějších předpisů. Ze závěrečného protokolu ze dne 02. 03. 2009 vyplývá, že hnojivo vyhovělo vlastnostmi rozhodnými pro registraci podmínkám registrace ze dne 23. 02. 2009 a splnilo tak ustanovení §5 odstavce 1 zákona o hnojivech.

Platnost rozhodnutí je omezena z důvodu předpokládané revize limitů rizikových prvků.

POUČENÍ O ODVOLÁNÍ

Proti tomuto rozhodnutí se lze odvolat do patnácti dnů ode dne jeho oznámení k Ministerstvu zemědělství ČR podáním učiněným u ÚKZÚZ.

.....

Ing. Miroslav Florián
ředitel odboru bezpečnosti krmiv a půdy

Česká republika
ÚSTŘEDNÍ KONTROLNÍ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV ZEMĚDĚLSKÝ
Ev. č. 5.1.01.0.03

Příbalový leták

Digestát - fugát, organické hnojivo

výrobce: Vodovody a kanalizace Vysoké Mýto, s.r.o., Čelakovského 6/II, 56601 Vysoké Mýto, Fermentační stanice Vysoké Mýto

Číslo rozhodnutí o registraci: 3192 **Číslo typu: 18.1.e)**

Chemické a fyzikální vlastnosti:

Vlastnost:	Hodnota:	
	Ve vzorku:	V sušině:
Sušina (%)	min. 1,5	-
Spalitelné látky (%)	min. 0,5	min. 25,0
Celkový dusík jako N (%)	min. 0,1	min. 5,0
Celkový draslík jako K_2O v %	min. 0,4	
pH	6,0 – 8,5	

Obsah rizikových prvků splňuje zákonem stanovené limity v mg/kg sušiny: As 10; Cd 2; Cr 100; Cu 100; Hg 1,0; Mo 5; Ni 50; Pb 100; Zn 400.

Digestát -fugát je fermentační zbytek po anaerobní digesci (biozplynování) vedlejších živočišných produktů ve smyslu nařízení ES 1774/2002, kalů ČOV, statkových hnojiv, rostlinných zbytků a případně dalších vhodných surovin. Je to tekutá frakce po separaci.

Rozsah a způsob použití:
Tekutý digestát - fugát je organické hnojivo použitelné obdobným způsobem jako kejda, k pěstování všech druhů polních plodin, hnojení chmelnic, vinic, ovocných sadů a zatravněných ploch. Střední dávky digestátu - fugátu k jednotlivým plodinám by neměly překročit u obilovin 45 t/ha, u řepky ozimé 40 t/ha, brambor 90 t/ha, u cukrovky 100 t/ha, u krmné řepy a krmné kapusty 115 t/ha, u silážní kukuřice 110 t/ha, u jetelotrávy 100 t/ha, jetel a vojtěška 40 t/ha, směsky a obiloviny na zeleno 70 t/ha, trvalé travní porosty 100 t/ha. Konkrétní dávka digestátu - fugátu se vždy stanoví podle potřeb pěstovaných plodin, podle stanoviště a pěstitelských podmínek. Při používání digestátu - figátu ke hnojení je třeba respektovat zásady správné zemědělské praxe a to zejména ve zranitelných oblastech (Nař. vlády č. 103/2003 Sb.) Digestát - fugát je organické hnojivo s rychle uvolnitelným dusíkem. Doporučuje se zapravení do půdy neprodleně po aplikaci.

Další zásady při používání:

1. Použití na orné půdě, ke které nemají přístup hospodářská zvířata, je při zapravení do půdy bez dalších omezení.
2. Použití na půdě, ke které mají přístup hospodářská zvířata (pastviny, louky se sklizní produkce ke krmení hospodářských zvířat, porosty na orné půdě určené ke krmení hospodářských zvířat a podobně) podléhá oznámení ÚKZÚZ.
3. Po uplynutí nejméně 21 dní od posledního data použití lze využít půdu k pastvě nebo použít rostlinný porost ke krmení hospodářských zvířat pouze se souhlasem ÚKZÚZ.
4. ÚKZÚZ může období zákazu pastvy nebo použití produkce ke krmení stanovené v bodě 3 (21 dní) prodloužit z důvodu zdraví lidí a zvířat.

5. V případě, že bylo hnojivo použito na půdě, ke které mají přístup hospodářská zvířata nebo se sklizní produkce ke krmení, je nutné do evidence použitých hnojiv zaznamenat údaj o množství použitého hnojiva, datu a místě použití a navíc je požadováno zaznamenání data od kdy byla ÚKZÚZ povolena pastva hospodářských zvířat nebo sklizeň produkce ke krmení.

Pokyny pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci:
Při práci nejíst, nepít a nekouřit. Nutno dodržovat základní pravidla osobní hygieny a používat ochranné rukavice. Po práci si umýt ruce vodou a mýdlem a ošetřit regeneračním krémem.

První pomoc:
Při zasažení očí rychle a důkladně vypláchnout oči proudem čisté vody. Při potřísnění pokožky omýt vodou a mýdlem. Při náhodném požití vypít asi půl litru pitné vody. V závažnějších případech při zasažení očí nebo požití vždy vyhledat lékařskou pomoc.

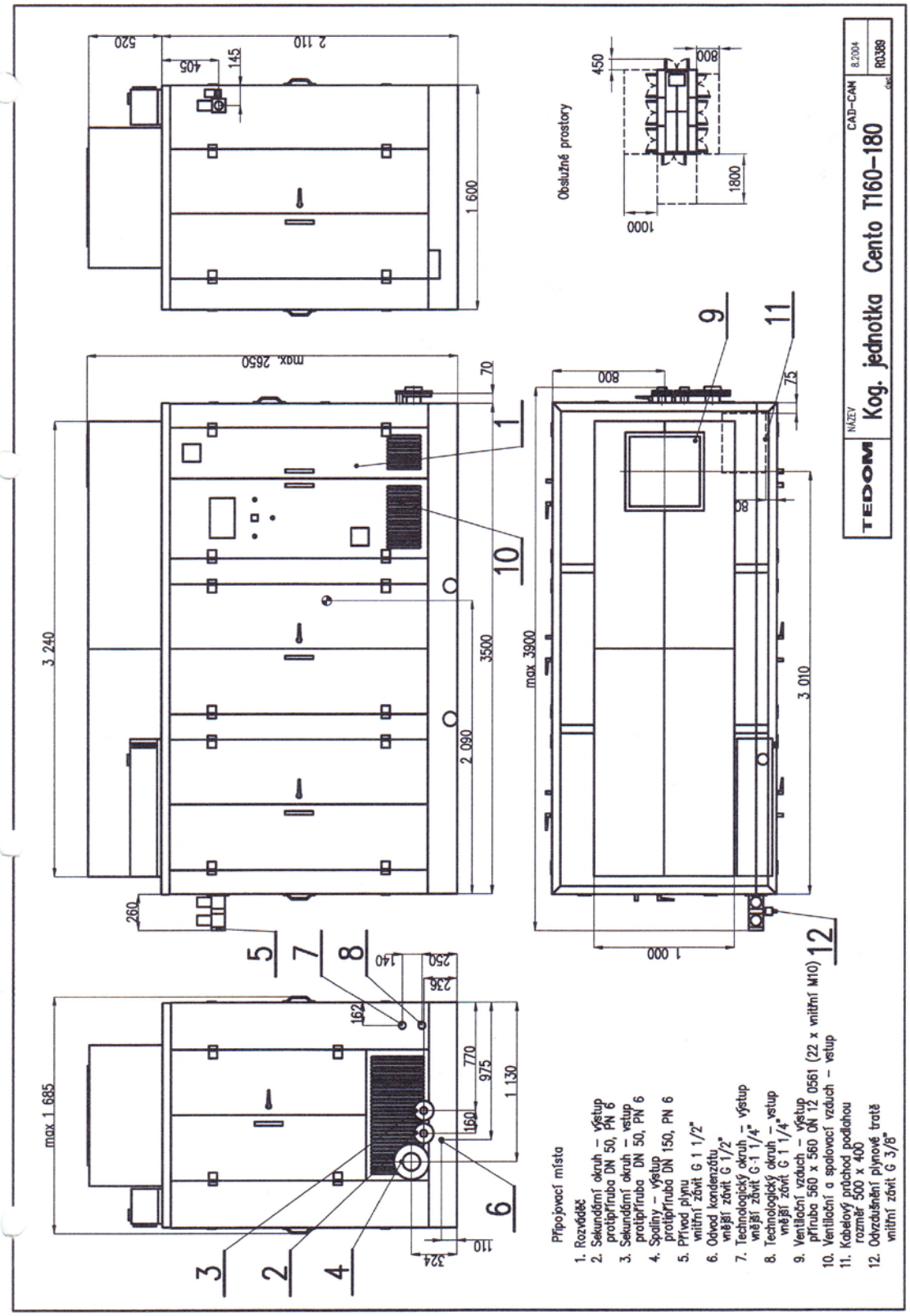
Hmotnost dodávaného hnojiva: dodává se volně ložený v uzavřených autocisternách. Před aplikací musí být obsah promíchán.

Skladování: Digestát se skladuje v uzavřených nádržích, označených názvem, odděleně od jiných hnojiv, potravin, krmiv a desinfekčních prostředků. Před aplikací musí být obsah nádrže promíchán. Digestát je nutno skladovat tak, aby nedošlo ke zhoršení jeho vlastností – chránit před povětrnostními vlivy. Při skladování je nutné respektovat vodohospodářské předpisy.

Doba použitelnosti: 3 měsíce při dodržení podmínek skladování od uskutečnění dodávky

Číslo šarže: Datum výroby:

Příloha C – Schéma kogenerační jednotky TEDOM Centro T160 [11]



Příloha D – Bezpečnostní list motorového oleje MOBILGARD 450 [11]

BEZPEČNOSTNÍ LIST

ODDÍL 1 IDENTIFIKACE LÁTKY NEBO PŘÍPRAVKU A VÝROBCE NEBO DOVOZCE

Tento bezpečnostní list je zpracován podle nařízení Evropského parlamentu a Rady ES č.1907/2006.

VÝROBEK

1.1 **Název výrobku:** **MOBILGARD 450 NC**
Popis produktu: Základový olej a aditiva
Kód výrobku: 201540105020, 603175-60

1.2 **Určeno pro použití:** motorový olej

1.3.1 **IDENTIFIKACE VÝROBCE:**
Adresa výrobce: **EXXONMOBIL LUBRICANTS & SPECIALTIES EUROPE, A DIVISION OF EXXONMOBIL PETROLEUM & CHEMICAL, BVBA (EMPC)**
POLDERDIJKWEG
B-2030 ANTWERP,
Belgium

1.3.2 **IDENTIFIKACE OSOBY ODPOVĚDNÉ ZA UVEDENÍ LÁTKY NEBO PŘÍPRAVKU NA TRH:**

Jméno nebo obchodní jméno následného uživatele:	**Agip Česká republika s.r.o.**
Místo podnikání nebo sídlo:	**Sokolovská 394/17, 186 00 Praha 8**
Telefon :	**+420 224 495 286**
Fax:	**+420 224 495 285**
E-mail:	**oleje@agip.cz**
IČO:	**40764176**

1.4

Telefonní číslo pro mimořádné situace:	Toxikologické informační středisko, Na Bojišti 1, 128 08 Praha 2, Telef. +420 224 919 293, +420 224 915 402, +420 224 914 575
Technické informace o produktu	800 900 485 / 239 000 273
Telefonní číslo výrobce/dovozce:	800 900 485 / 239 000 273

ODDÍL 2 ÚDAJE O NEBEZPEČNOSTI LÁTKY NEBO PŘÍPRAVKU

Tento přípravek není klasifikován jako nebezpečný podle platných právních předpisů (viz oddíl 15) - zákon 356/2003 Sb. o chemických látkách a přípravcích.

MOŽNÉ NEPŘÍZNIVÉ ÚČINKY NA ZDRAVÍ ČLOVĚKA

Nízký stupeň toxicity. Nadměrná expozice může vést k podráždění očí, kůže nebo dýchacích cest Vstříknutí pod kůži za vysokého tlaku může způsobit vážné poškození.

Pozn.: Tento materiál nesmí být bez konzultace s odborníkem používán pro jiné účely než pro účel uvedený v oddíle 1. Během zdravotních studií bylo prokázáno, že chemická expozice může vyvolat ohrožení lidského zdraví, které může být různé případ od případu.

ODDÍL 3 INFORMACE O SLOŽENÍ LÁTKY NEBO PŘÍPRAVKU

Nebezpečné látky nebo komplexy látek, které musí být uvedeny

Jméno	CAS#	EINECS / ELINCS	Koncentrace*	Symboly/Rizikové věty
Větvený řetězec Alkylsulfidfenát vápenatý		291-829-9	1 - 5%	R53
sulfonové kyseliny, ropa, soli vápníku	61789-86-4	263-093-9	1 - 5%	Xi;R36/38, Xi;R43

*Veškeré koncentrace látek jsou uvedeny v hmotnostních procentech, pokud se nejedná o plyny. Koncentrace plynů jsou uvedeny v objemových procentech.

Pozn.: Látky uvedené v tabulce výše jsou klasifikovány jako nebezpečné na základě vyhlášky EU Dangerous Substances Directive a mají stanoveny pracovní expoziční hodnoty.

ODDÍL 4 POKYNY PRO PRVNÍ POMOC

PŘI NADÝCHÁNÍ:

Postiženou osobu vyneste z dosahu dalšího kontaktu. Osoby poskytující pomoc musí uchránit před kontaktem samy sebe i ostatní. Používejte odpovídající respirační ochranu. Dojde-li k podráždění dýchacích orgánů, malátnosti, nevolnosti nebo ke ztrátě vědomí, vyhledejte okamžitou lékařskou pomoc. Dojde-li k zástavě dýchání, použijte mechanický dýchací přístroj nebo poskytněte dýchání z úst do úst.

PŘI STYKU S KŮŽÍ:

Umyjte části těla, které se dostaly do kontaktu, mýdlem a vodou. Dojde-li ke vstříknutí materiálu do kůže nebo pod kůži nebo do kterékoli části těla, a to bez ohledu na vzhled poranění nebo jeho velikost, postižená osoba musí být okamžitě prohlédnuta lékařem na chirurgické pohotovosti. Ačkoli počáteční symptomy vysokotlakého vstřiku mohou být minimální nebo žádné, včasný chirurgický zákrok během prvních hodin může významně snížit konečný rozsah poranění.

PŘI ZASAŽENÍ OČÍ:

Opláchněte důkladně vodou. Pokud podráždění trvá, vyhledejte lékařskou pomoc

PŘI POŽITÍ:

První pomoc není obvykle vyžadována. V případě, že se projeví nežádoucí účinky, vyhledejte lékařskou pomoc.

ODDÍL 5 OPATŘENÍ PRO HASEBNÍ ZÁSAH

VHODNÁ HASIVA

Vhodná hasiva: Pro uhašení plamenů použijte vodní mlhu, pěnu, suché chemické hasivo nebo oxid uhličitý (CO2).

Nevhodná hasiva: Přímé proudy vody.

OPATŘENÍ PRO HASEBNÍ ZÁSAH

Instrukce pro hasební zásah: Evakuujte oblast. Zabraňte odtoku z požárnického zařízení a ředění ze vstupních toků, kanalizace nebo ze zásob pitné vody. Hasiči musí používat standardní ochranné pomůcky a v uzavřených prostorách také přenosný dýchací přístroj. Použijte vodní mlhu pro chlazení povrchů vystavených ohni a pro ochranu personálu.

Nebezpečné produkty spalování: oxidy uhlíku, aldehydy, oxidy síry, produkty nedokonalého spalování, kouř, výpary

HOŘLAVÉ VLASTNOSTI

Bod vzplanutí [Metoda]: >216°C (421°F) [ASTM D-92]
Meze hořlavosti (Přibližný objemový podíl ve vzduchu): LEL: 0.9 UEL: 7.0
Teplota samovznícení: nezjištěno

ODDÍL 6 OPATŘENÍ V PŘÍPADĚ NÁHODNÉHO ÚNIKU

OHLAŠOVACÍ POSTUPY

V případě náhodného úniku informujte příslušné orgány podle příslušných předpisů.

BEZPEČNOSTNÍ OPATŘENÍ V PŘÍPADĚ ÚNIKU NEBO ROZLITÍ

Vniknutí do půdy: Zastavte únik, můžete-li tak učinit bez rizika. Odstraňte produkt odčerpáním nebo použitím vhodného absorbentu.

Vniknutí do vodních zdrojů: Zastavte únik, můžete-li tak učinit bez rizika. Okamžitě uzavřete oblast úniku pomocí bariér. Varujte ostatní přepravce. Uniklý přípravek shromážděte z povrchu stahováním nebo s pomocí vhodného absorpčního materiálu. Před použitím dispergátorů se obraťte na odborníka, aby vám poskytnul potřebné informace.

Doporučení pro případ úniku do vod nebo do půdy jsou založena na nejpravděpodobnější situaci, která může nastat při úniku tohoto materiálu, avšak i další faktory jako geografické podmínky, vítr, teplota, vlny (v případě úniku do vodních toků), jejich směr a rychlost mohou podstatně ovlivnit patřičný postup zásahu. Z tohoto důvodu je nutné provést konzultaci s místními odborníky. Pozn.: Místní předpisy mohou definovat nebo omezovat zásah, který je nutno provést.

BEZPEČNOSTNÍ OPATŘENÍ PRO OCHRANU ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

V případě velkého úniku: vytvořte násep v dostatečné vzdálenosti před unikající kapalinou, aby ji bylo možné shromáždit a zneškodnit Zabraňte úniku do vodních toků, kanalizace, sklepních a uzavrených prostor.

ODDÍL 7 POKYNY PRO ZACHÁZENÍ A SKLADOVÁNÍ

7.1 ZACHÁZENÍ

Zabraňte malým únikům a unikání, aby nevzniklo nebezpečí uklouznutí

Statický akumulátor: Tento materiál je statickým akumulátorem.

7.2 SKLADOVÁNÍ

Neskladujte v otevřených nebo neoznačených nádobách.

ODDÍL 8 KONTROLA EXPOZICE A OCHRANA OSOB

8.1 MEZNÍ HODNOTY EXPOZICE

Expoziční limity/standardní hodnoty pro látky, které se mohou tvořit při manipulaci s tímto výrobkem: V případě možnosti vzniku mlh nebo aerosolů jsou doporučovány následující limitní koncentrace: 5 mg/m3 - ACGIH TLV, 10 mg/m3 - ACGIH STEL.

Poznámka: Informace ohledně způsobu sledování lze získat u následujících agentur/institucí:
Francie L'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) Německo
Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit (BIA) UK Health and Safety Executive

(HSE)

8.2 OMEZOVÁNÍ EXPOZICE

Stupeň ochrany a druh nutné regulace bude záviset na podmínkách možného kontaktu. Možná regulační opatrení:

Za běžných podmínek použití a s odpovídajícím větráním nejsou kladeny žádné zvláštní požadavky.

8.2.1 OMEZOVÁNÍ EXPOZICE PRACOVNÍKŮ

Výběr prostředků osobní ochrany záleží na podmínkách možné expozice, na použití, způsobu manipulace, koncentraci a větrání. Níže uvedené informace k výběru ochranných prostředků pro použití s tímto materiálem jsou založeny na jeho běžném použití.

Ochrana dýchacích cest: Pokud mechanická regulace nezajistí úroveň koncentrace kontaminant obsažených ve vzduchu na úrovni požadované pro ochranu zdraví pracovníků, může být vhodné použít schválený respirátor. Výběr, použití a údržba respirátoru musí odpovídat regulačním požadavkům Pro tento materiál jsou vhodné tyto druhy respirátorů:

Za běžných podmínek použití a s odpovídajícím větráním nejsou kladeny žádné zvláštní požadavky.

Pro případ vysoké koncentrace ve vzduchu používejte schválený respirátor s přívodem kyslíku pracující v režimu pozitivního tlaku. Není-li k dispozici dostatečné množství kyslíku, nefunguje-li signalizační systém pro ohlašování plynu/výparů nebo je-li překročena kapacita/rozsah filtru pro čištění vzduchu, je vhodné použít respirátor s přívodem kyslíku a s únikovou lahví.

Ochrana rukou: Veškeré specifické informace o rukavicích jsou založeny na publikovaných údajích a na údajích výrobců rukavic. Pracovní podmínky mohou výrazně ovlivnit jejich trvanlivost, proto je kontrolujte a obnošené nebo poškozené rukavice vyměňte. Pro tento materiál jsou vhodné tyto druhy rukavic:

Za normálních podmínek použití se běžně nevyžaduje žádná ochrana.

Ochrana očí: Je-li pravděpodobný kontakt, doporučují se ochranné brýle s postranními kryty.

Ochrana kůže a těla: Veškeré specifické informace o oděvu jsou založeny na publikovaných údajích a na údajích výrobců. Pro tento materiál jsou vhodné tyto druhy oděvu:

Za běžných podmínek použití se nevyžaduje žádná ochrana kůže. V souladu se správnými zásadami průmyslové hygieny je nutné učinit taková opatření, aby se kontaktu s kůží zabránilo.

Specifická hygienická opatření: Vždy dodržujte pravidla dobré osobní hygieny, jako je umytí po manipulaci s materiálem, před jídlem, pitím nebo kouřením. Pravidelne nechávejte vyčistit pracovní oděv a ochranné pomůcky. Zlikvidujte kontaminovaný oděv a obuv, které nelze vyčistit. Udržujte pořádek na pracovišti.

8.2.2 OPATŘENÍ PRO OCHRANU ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Viz oddíly 6, 7, 12, 13.

ODDÍL 9 FYZIKÁLNÍ A CHEMICKÉ VLASTNOSTI

Níže jsou uvedeny typické fyzikální a chemické vlastnosti. Pro další informace kontaktujte dovozce uvedeného v oddíle 1.

9.1 OBECNÉ INFORMACE

Skupenství: kapalina
Barva: hnědá

Zápach: charakteristický
Práh čichového vnímání: nezjištěno

9.2 DŮLEŽITÉ INFORMACE PRO OCHRANU ZDRAVÍ, BEZPEČNOSTI A ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Relativní hustota (při 15 °C): 0.896
Bod vzplanutí [Metoda]: >216°C (421°F) [ASTM D-92]
Meze hořlavosti (Přibližný objemový podíl ve vzduchu): LEL: 0.9 UEL: 7.0
Teplota samovznícení: nezjištěno
Bod varu / Rozsah: > 316°C (600°F)
Hustota par (vzduch = 1): > 2 při 101 kPa
Tlak par: < 0.013 kPa (0.1 mm Hg) při 20°C
Rychlost odpařování (N-butylacetát = 1): nezjištěno
pH: není k dispozici
Rozdělovací koeficient (n-oktanol/voda): > 3.5
Rozpustnost ve vodě: Zanedbatelný
Viskozita: 142 cSt (142 mm2/s) při 40°C | 14.3 cSt (14.3 mm2/s) p ři 100°C
Oxidační vlastnosti: Viz oddíly 3, 15 a 16.

9.3 DALŠÍ INFORMACE

Bod mrazu: nezjištěno
Bod tání: není k dispozici
Bod tuhnutí: 0°C (32°F)
DMSO Extrakt (pouze ropný olej), IP-346: < 3 % hm

ODDÍL 10 STABILITA A REAKTIVITA

STABILITA: Materiál je stabilní za běžných podmínek.

10.1 PODMÍNKY, KTERÝM JE TŘEBA SE VYVAROVAT: Přílišné teplo. Zdroje vznícení o vysoké energii.

10.2 MATERIÁLY, S NIMIŽ VÝROBEK NESMÍ PŘIJÍT DO STYKU: Silná oxidační činidla.

10.3 NEBEZPEČNÉ ROZKLADNÉ PRODUKTY: Materiál se při teplotách okolního prostředí nerozkládá.

NEBEZPEČNÁ POLYMERACE: Nenastane.

ODDÍL 11 TOXICOLOGICKÉ INFORMACE

Akutní toxicita

Cesta expozice	Zhodnocení / poznámky
PŘI NADÝCHÁNÍ:	
Toxicita (krysa): LC50> 5000 mg/m3	Minimálně toxický. Založeno naexperimentálních údajích pro materiály s podobnou strukturou.
Podráždění: Konečné výsledky nejsou k dispozici	Zanedbatelně nebezpečný během manipulace při běžných/normálních teplotách. Na základě vyhodnocení složek.
PŘI POŽITÍ:	
Toxicita (krysa): LD50> 2000 mg/kg	Minimálně toxický. Založeno naexperimentálních údajích pro materiály s podobnou strukturou.
DERMÁLNÍ TOXICITA:	
Toxicita (králík): LD50> 2000 mg/kg	Minimálně toxický. Založeno naexperimentálních údajích pro

	materiály s podobnou strukturou.
Podráždění (králík): Dostupné údaje.	Zanedbatelné podráždění kůže při běžné teplotě. Založeno naexperimentálních údajích pro materiály s podobnou strukturou.
DRÁŽDIVOST OČÍ:	
Podráždění (králík): Dostupné údaje.	Může vyvolat mírné a krátkodobé podráždění očí. Založeno naexperimentálních údajích pro materiály s podobnou strukturou.

CHRONICKÁ TOXICITA/DALŠÍ TOXIKOLOGICKÉ ÚDAJE

Pro samotný výrobek:

Senzitizace: Nebyl pozorován žádný nepříznivý vliv.

Studie byla zpracována na základě hodnocení strukturálně stejného přípravku.

Obsahuje:

Hluboce rafinovaný základový olej: Při testech na zvířatech se neukázal jako karcinogenní. Vzorek produktu vyhověl v testech IP-346, Amesově testu a v dalších screeningových testech. Studie a inhalační expozice vykázaly minimální účinky: nespecifickou plicní infiltraci imunitních buněk, ukládání oleje a minimální tvorbu granulomů. Při testech na zvířatech se neprojevil jako senzibilizující. Sulfonáty: Přípravek obsahuje sulfonáty, u kterých bylo zjištěno, že vyvolávají senzibilizaci kůže.

Další informace budou poskytnuty na vyžádání.

ODDÍL 12 EKOLOGICKÉ INFORMACE

Uvedené informace jsou založeny na dostupných údajích o tomto materiálu, o složkách tohoto materiálu a o podobných materiálech.

12.1 EKOTOXICITA

Produkt -- Nepředpokládá se škodlivost vůči vodním organismům.

12.2 MOBILITA

Složka základového oleje -- Produkt má nízkou rozpustnost, plave na hladině a předpokládá se, že bude pronikat z vody na zem. Předpokládá se rozložení na úsady a pevné látky obsažené v odpadní vodě.

12.3 PERSISTENCE A ROZLOŽITELNOST

Biodegradace:

Složka základového oleje -- Předpokládá se přirozená biologická rozložitelnost.

12.4 BIOAKUMULAČNÍ POTENCIÁL

Složka základového oleje -- Má potenciál bioakumulace, avšak metabolismus nebo fyzikální vlivy mohou snižovat biokoncentraci, nebo omezovat biologickou dostupnost.

12.5 VÝSLEDKY POSOUZENÍ PBT – výrobce neuvádí

12.6 JINÉ NEPŘÍZNIVÉ ÚČINKY – výrobce neuvádí

ODDÍL 13 INFORMACE O ZNEŠKODŇOVÁNÍ

Doporučení pro likvidaci jsou určena pro materiál ve stavu, v jakém je dodán. Likvidace musí splňovat příslušné zákony a předpisy a musí odpovídat charakteru materiálu v době jeho likvidace.

VHODNÉ METODY ODSTRAŇOVÁNÍ LÁTKY NEBO PŘÍPRAVKU:

Produkt lze spálit v uzavřené kontrolované peci jako palivo nebo jej lze zlikvidovat pod dohledem ve spalovně při velmi vysoké teplotě, aby se zabránilo tvorbě nežádoucích zplodin.

INFORMACE PRO ODPADOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ:

Kód odpadu: 13 02 05

POZNÁMKA: Kódy jsou určeny na základě nejběžnějšího použití tohoto přípravku a nemusí zahrnovat kontaminující látky obsažené v důsledku použití. Původci odpadu musí vyhodnotit proces použití při kterém vzniká odpad a přítomné kontaminanty, aby bylo možno určit příslušný(é) kód(y) likvidace odpadu.

Odpad z tohoto produktu je považován za nebezpečný v souladu se zákonem o odpadech č. 185/2001 Sb. v platném znění a podléhá opatřením plynoucím z tohoto zákona.

Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech
Vyhláška MŽP č. 381/2001 Sb., kterou se stanoví Katalog odpadů, Seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů
Vyhláška MŽP č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady
Vyhláška MŽP č. 384/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s PCB
Vyhláška MŽP č. 376/2001 Sb., o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů

Varovné upozornění na prázdném obalu (Pro odpovídající prípady): Prázdné nádoby mohou obsahovat zbytky produktu a mohou být nebezpečné. NEVYSTAVUJTE NÁDOBY TLAKU, NEŘEŽTE JE, NESVAŘUJTE, NEPÁJEJTE, NEVRTEJTE A NEBRUSTE, NEVYSTAVUJTE ZVÝŠENÝM TEPLOTÁM, PLAMENI, JISKRÁM, STATICKÉ ELEKTŘINĚ NEBO JINÝM ZÁPALNÝM ZDROJŮM. NÁDOBY MOHOU EXPLODOVAT A ZPŮSOBIT PORANĚNÍ NEBO SMRT. Nepokoušejte se prázdné nádoby znovu plnit nebo čistit, protože zbytky lze jen obtížně odstranit. Prázdné sudy musí být zcela vypuštěny, náležitě uzavřeny a vráceny k renovaci. Veškeré nádoby musí být likvidovány šetrně vůči životnímu prostředí a v souladu s právními předpisy.

ODDÍL 14 INFORMACE PRO PŘEPRAVU

Pozemní doprava (ADR/RID) : Nepodléhá regulaci pro pozemní dopravu

Říční doprava (ADNR) : Nepodléhá regulaci pro říční dopravu

Námořní doprava (IMDG) : Nepodléhá regulaci pro námořní dopravu podle IMDG-Code

Letecká doprava (IATA) : Nepodléhá regulaci pro leteckou dopravu

ODDÍL 15 INFORMACE O PRÁVNÍCH PŘEDPISECH

Tento přípravek není klasifikován jako nebezpečný podle zákona č. 356/2003 Sb. o chemických látkách a chemických přípravcích a podle směrnic EU pro nebezpečné látky/přípravky.

SYMBOL NEBEZPEČNOSTI: podle zákona 356/2003 Sb. není předepsán.

Obsahuje: Sulfonát vápenatý Může způsobit alergickou reakci.

REGULAČNÍ STATUS A SOUVISEJÍCÍ ZÁKONY A PŘEDPISY

Splňuje následující státní/místní předpisy pro dokumentaci chemických látek: IECSC, DSL, EINECS, ENCS, KECI, PICCS, TSCA

Zvláštní případy:

Seznam	Status
AICS	Aplikační omezení

SOUVISEJÍCÍ ZÁKONY A PŘEDPISY

Zákon č. 356/2003 Sb., o chemických látkách a přípravcích a o změně některých dalších zákonů
Vyhláška MPO č. 221/2004 Sb., kterou se stanoví seznamy nebezpečných chemických látek a nebezpečných chemických přípravků, jejichž uvádění na trh je zakázáno nebo jejichž uvádění na trh, do oběhu nebo používání je omezeno
Vyhláška MPO č. 231/2004 Sb., kterou se stanoví podrobný obsah bezpečnostního listu k nebezpečné chemické látce a chemickému přípravku
Vyhláška MPO č. 232/2004 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona o chemických látkách a chemických přípravcích a o změně některých zákonů, týkající se klasifikace, balení a označování nebezpečných chemických látek a chemických přípravků
Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, v platném znění
Zákon č. 65/1965 Sb., Zákoník práce

ODDÍL 16 DALŠÍ INFORMACE

N/D = nezjištěno, N/A = netýká se
KLÍČ PRO R-VĚTY UVEDENÉ V ODDÍLECH 2 A 3 TOHOTO DOKUMENTU (pouze pro informaci):
R36; Dráždí oči.
R38; Dráždí kůži.
R43; Může vyvolat senzibilizaci při styku s kůží.
R53; Může vyvolat dlouhodobé nepříznivé účinky ve vodním prostředí.

TENTO BEZPEČNOSTNÍ LIST OBSAHUJE NÁSLEDUJÍCÍ REVIZE:
Žádné informace týkající se revize tohoto dokumentu nejsou k dispozici.

Zde uvedené informace a doporučení jsou podle našich nejlepších znalostí a přesvědčení společnosti ExxonMobil přesné a spolehlivé ke dni jejich vydání. Abyste se ujistili, že tento dokument je nejnovější verzí která je k dispozici, můžete kontaktovat společnost ExxonMobil. Informace a doporučení jsou určené pro posouzení a prozkoumání uživatelem. Je zodpovědností uživatele, aby se sám přesvědčil, že výrobek je vhodný pro zamýšlené použití. Přebaluje-li zákazník tento produkt, je na jeho zodpovědnosti aby zajistil, že na novém obalu budou uvedeny veškeré zákonně stanovené informace pro ochranu zdraví a bezpečnosti. Osobám manipulujícím s tímto produktem a jeho uživatelům musí být předány příslušné informace o nebezpečnosti a pokyny pro bezpečnou manipulaci. Změny v tomto dokumentu jsou přísně zakázány. Nové vydávání nebo předávání tohoto dokumentu nebo jeho částí je zakázáno kromě případů stanovených zákonem. Termín "ExxonMobil" je použit jako zjednodušení, může obsahovat jednu nebo více součástí ExxonMobil Chemical Company, ExxonMobil Corporation nebo pobočky, ve kterých tyto společnosti drží jakýkoli přímý

nebo nepřímý podíl.

Pouze pro vnitřní potřebu
MHC: 0, 0, 0, 0, 0, 0 PPEC: A

DGN: 7004731XCZ (1006075)

Příloha E – Tabulka s výsledky AES - RDE pro oleje z motoru M 23

Prvky zastoupené ve zkoumaném oleji MOBILGARD 450 (ppm)									
Číslo vzorku	**Počet MH**	**Al**	**Ca**	**Cu**	**Fe**	**Mg**	**Na**	**Si**	**Zn**
mobil novy	0	0.99	3603	0.15	0.91	15.16	1.86	7.22	10.19
M23/2	257	1.44	3910	1.60	2.55	16.5	3.65	9.30	3.74
M23/3	534	1.24	3797	4.49	3.39	15.99	5.87	11.91	4.72
M23/4	713	1.73	4050	7.58	7.74	16.74	8.34	18.97	5.87
M23/5	959	1.46	4036	7.78	7.14	16.62	7.79	18.75	5.69
M23/6	326	1.59	3753	6.00	4.47	15.52	4.70	9.69	8.1
M23/7	612	1.20	3856	4.45	2.68	15.85	6.26	12.32	4.62
M23/8	892	1.45	3800	11.59	10.2	16.62	6.49	21.71	8.9
M23/9	1189	1.52	3878	14.75	11.19	16.82	7.87	19.34	14.35

Příloha F – Tabulka s výsledky AES - RDE pro oleje z motoru M 24

Prvky zastoupené ve zkoumaném oleji MOBILGARD 450 (ppm)									
Číslo vzorku	**Počet MH**	**Al**	**Ca**	**Cu**	**Fe**	**Mg**	**Na**	**Si**	**Zn**
mobil novy	0	0.99	3603	0.15	0.91	15.16	1.86	7.22	10.19
M24/2	255	1.16	3894	6.29	4.48	15.79	4.64	9.99	7.97
M24/3	511	2.54	3921	6.82	6.64	15.94	5.41	12.96	7.94
M24/4	709	1.19	3847	11.2	9.46	15.72	6.34	20.64	8.56
M24/5	954	2.34	3710	12.8	10.84	17.54	6.31	24.56	8.41
M24/6	312	1.51	3863	1.55	2.64	16.24	3.80	9.86	3.95
M24/7	623	1.54	3991	7.5	7.54	16.60	5.58	13.29	8.76
M24/8	945	1.46	3516	20.60	14.93	17.94	10.56	17.74	9.5
M24/9	1268	2.31	3676	3.25	12.32	16.61	4.70	24.36	11.39

Příloha G - Limitní koncentrace kovů v motorovém oleji ($mg.l^{-1}$) [31]

kovy	**velké vznětové motory - opotřebení**			**zážehové motory - opotřebení**		
	normální	**zvýšené**	**nebezpečné**	**normální**	**zvýšené**	**nebezpečné**
železo	pod 50	50 - 75	nad 75	pod 120	120 - 150	nad 150
měď	pod 30	30 - 45	nad 45	pod 25	25 - 35	nad 35
chrom	pod 12	12 - 20	nad 20	0 - 17	17 - 25	nad 25
nikl	pod 25	25 - 40	nad 40	pod 25	25 - 40	nad 40
hliník	pod 25	25 - 35	nad 35	pod 35	35 – 50	nad 50
olovo	pod 25	25 - 40	nad 40	pod 25	25 - 40	nad 40
cín	pod 5	5 - 12	nad 12	pod 5	5 - 12	nad 12
křemík	pod 25		nad 25	pod 25		nad 25