

TRIBOTECHNICKÁ DIAGNOSTIKA JAKO NÁSTROJ PRO EFEKTIVNÍ ŘÍZENÍ ÚDRŽBY

TRIBOTECHNICAL DIAGNOSTICS AS A TOOL FOR EFFECTIVE MANAGEMENT OF MAINTENANCE

Marie Sejkorová¹

Anotace: Volbu optimálního způsobu údržby si v současné době nelze představit bez správně fungující technické diagnostiky, jež je nezbytnou součástí včasné identifikace poruchových stavů stroje. Aplikací technické diagnostiky lze včas identifikovat vznikající poruchy, a tak naplánovat vhodný čas odstávky dopravního prostředku či strojního zařízení, čímž lze zabránit vzniku prostojů, a tak dosáhnout značných finančních úspor. Pokud se posuzuje stav strojního zařízení na základě analýzy maziva, které v něm bylo aplikováno, jedná se o tribotechnickou diagnostiku (TTD). V příspěvku jsou prezentovány výsledky aplikace metod TTD na příkladu řízení údržby v konkrétním dopravním podniku.

Klíčová slova: tribotechnická diagnostika, údržba, řízení.

Summary: It is not possible to envision choice of optimal way of maintenance without rightly functional technical diagnostics which is necessary part of early identification of failure state of machines. It is possible to early identify nascent failures by application of technical diagnostics and thus to plan a suitable time of shutdown of transport mean or machine. This allows preventing of occurrence of shutdowns and thus to reach considerable savings. If the state of machinery is judged on the basis of analysis of applied lubrication, it is a tribotechnical diagnostics (TTD). Results of application of TTD methods are presented in this paper on an example of maintenance management in specific transport company.

Key words: tribotechnical diagnostics, maintenance, management.

ÚVOD

Ekonomika provozu vozidel a strojních součástí závisí na jejich technickém stavu. Aplikací metod technické diagnostiky lze realizovat preventivní a prediktivní činnosti, které jsou nutným předpokladem efektivního způsobu údržby. Vedle např. vibrodiagnostiky, termodiagnostiky, akustické diagnostiky, elektrodiagnostiky a měření geometrie patří mezi hojně používané metody technické diagnostiky tribotechnická diagnostika (TTD), která posuzuje stav strojního zařízení na základě analýzy maziva, které v něm bylo aplikováno.

¹ Ing. Marie Sejkorová, Ph.D., Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra dopravních prostředků a diagnostiky, Studentská 95, 532 10 Pardubice, Tel.: +4206036696,
E-mail: marie.sejkorova@upce.cz

Posláním TTD je zjišťovat, vyhodnocovat a identifikovat výskyt cizích látek v mazivu a dále prostřednictvím souboru fyzikálně-chemických parametrů sledovat projevy a následky procesu degradace maziv v průběhu provozního nasazení.

Východiskem pro hodnocení dynamiky změn jednotlivých parametrů jsou hodnoty nepoužitého oleje. Rozhodujícím faktorem pro TTD je rychlost a přesnost provedeného rozboru maziva.

Účelné využívání tribotechnické diagnostiky přináší i přes nemalé pořizovací náklady na vybavení možnost efektivního hospodaření s mazivem. Rovněž diagnostika založená na rozbořech maziva umožňuje včas indikovat vznik blížící se poruchy, v raném stádiu ji odstranit a opravu naplánovat tak, aby nedošlo k nečekanému výpadku techniky a přitom aby oprava nebyla předčasná a zbytečná.

V dopravních podnicích a depech kolejových vozidel se ve většině případů realizuje údržba na základě plánovaných preventivních prohlídek a technických ošetření – řídí se předem stanoveným časovým cyklem, při kterém jsou provedeny naplánované údržbové práce. Údržbový systém navržený pro silniční a kolejová vozidla musí respektovat průběh opotřebení součástí vozidla i vozidla jako celku. Cykličnost údržbových zásahů je proto volena v závislosti na výkonovém parametru, který charakterizuje průběh opotřebení součástí. Nejčastěji se používá:

- doba provozu vozidla – provozní hodiny,
- kilometrický proběh vozidla,
- stáří vozidla,
- doba práce spalovacího motoru – motohodiny,
- množství spotřebovaného paliva spalovacím motorem,
- doba chodu elektrických přístrojů pod napětím,
- počet cyklů.

Časové cykly údržby jsou ve většině případů stanoveny výrobcem dopravních prostředků. Vzhledem k tomu, že na aktuální technický stav dopravních prostředků mají vedle provozních podmínek vliv také klimatické podmínky, mají některé dopravní a přepravní společnosti nastavený údržbový plán s ohledem na zkušenosti se stejnými nebo podobnými zařízeními (1).

V rámci naplánované údržby jsou rovněž odebrány provozní kapaliny, které jsou následně analyzovány. Předpokladem správné interpretace výsledků analýz je znalost provozních podmínek hodnoceného strojního zřízení a znalost všech neobvyklých událostí, které nastaly mezi jednotlivými odběry vzorků. Je tedy zřejmé, že je nutná komunikace mezi laboratořemi, uživatelem stroje a údržbou. Na základě výsledků analýz dlouhodobě sledovaných motorových náplní lze naplánovat výměnu motorového oleje tak, aby nebyla předčasná či nebyla prováděna naopak v okamžiku, kdy již olej přestal v motoru plnit svoji funkci. Interval výměny motorového oleje předepisují výrobci dopravních prostředků či výrobci motorových olejů, avšak výzkumy (2) v této oblasti ukazují, že nemusejí odpovídat optimálnímu okamžiku.

V současné době využívají laboratoře dep kolejových vozidel a dopravních podniků převážně jednoduchých provozních metod TTD.

Kontrolní laboratoře výrobců maziv a komerční laboratoře využívají instrumentální kontrolní metody, kterými lze v krátkém čase zjistit aktuální stav nejen olejové náplně, ale také na základě charakteristik otěrových částic (počtu, chemického složení, struktury, povrchové textury, morfologických charakteristik aj.) určit režim tření a opotřebení strojního zařízení, které je olejem mazáno (3) a případně lokalizovat zdroj zvýšeného opotřebení.

Mezi četné metody, které se pro tento účel využívají, patří infračervená spektrometrie s Fourierovou transformací (FTIR spektrometrie) (2-5) a elektrochemické metody. Průběh a velikost opotřebení součástí, které jsou příslušným mazivem mazány, umožňuje sledovat další skupina metod, které jsou vhodné pro stanovení koncentrace otěrových kovů, pro popis jejich morfologie a rozdělení do klasifikačních tříd podle velikosti a rovněž pro určení např. kontaminantů z filtračních materiálů a vnějšího prostředí (jedná se zejména o emisní spektrometrii, čítače částic a ferrografii) (2-9). Získané analytické údaje poskytují kromě diagnostické informace i informaci prognostickou, tj. dovolují předvídat případné havarijní situace a předcházet jim (3).

Vhodné a účelné nasazení metod technické diagnostiky v systémech údržby je nedílnou součástí konkurenceschopného a prosperujícího podniku.

1. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V příspěvku jsou prezentovány výsledky experimentálního hodnocení průběhu degradace olejových náplní provozovaných v autobusech dopravní společnosti viz tab. 1.

Tab. 1 - Technické specifikace autobusů a provozovaných olejových náplní

Označení autobusů	A IrisBus Citelis 12M	B SOR B 9,5	C IrisBus CityBus 18M	D Karosa Axer
Typ motoru	diesellový - přeplňovaný			
Počet válců	6	6	6	6
Chlazení	kapalinové			
Emisní norma	EURO 4 - systém SCR	EURO 2	EURO 3	EURO 3
Rok výroby	2005	2000	2002	2003
Objem olejové náplně [l]	25	12	25	38
Doporučený interval výměny oleje [km]	40 000	15 000	40 000	40 000
Proběh motoru na olejovou náplň [Mth]	40 000	14 000	50 000	50 000
Označení motorového oleje	Urania FE 5W/30	OMW Truck LD SAE 15W/40	OMW Truck FE Plus SAE 10W/40	OMW Truck FE Plus SAE 10W/40

Zdroj: Autor

Dopravní společnost využívá jednoduché provozní metody tribotechnické diagnostiky k hodnocení stupně degradace oleje a určení režimu tření a opotřebením motoru. Olejové náplně jsou z autobusů odebírány podle předem stanového harmonogramu údržby. V laboratoři dopravní společnosti byly prováděny analýzy opotřebených olejových náplní jednoduchými provozními metodami a ferroskopicky.

Provozované motorové oleje byly průběžně odebírány z různých typů autobusů, které se lišily typem a rokem jejich výroby (tab. 1). Během provozu autobusů byl podle potřeby doplňován nový motorový olej k původní olejové náplni. Intervaly odběru se pohybovaly v rozmezí cca 5 000–10 000 km.

Na základě provozních analýz TTD dopravní společnost v některých autobusech prodloužila a v jiných zkrátala výměnné intervaly provozovaných olejových náplní. Tyto změny byly zaznamenány do údržbových plánů. Vzorky olejových náplní byly dodatečně podrobeny analýzám na pokročilém přístrojovém vybavení, kterým disponuje Výukové a výzkumné centrum v dopravě (VVCD) Univerzity Pardubice a na základě výsledků analýz bylo dáno vedení údržby doporučení vztahující se k výměnným intervalům provozovaných olejových náplní. Níže je uveden přehled provozních metod TTD, které využívá dopravní podnik a přehled pokročilých metod TTD, kterým se hodnotí maziva ve VVCD. Částicová analýza na emisním spektrometru byla provedena na pracovišti Univerzity obrany v Brně.

1.1 Provozní zkoušky TTD stanovení obsahu vody, nečistot, relativní dynamické viskozity a částic opotřebením

Semikvantitativní stanovení tzv. *celkového znečištění* olejové náplně a současně orientační stanovení na přítomnost vody bylo provedeno na přístroji TCM-U. Stanovení celkového znečištění na tomto typu přístroje je založeno na stejném principu jako u přístroje REO 31; korelační koeficient mezi stanovením celkového znečištění na přístroji REO 31 a TCM-U dosahuje hodnoty 0,9–1 (2). Shoda výsledků stanovených na přístroji REO 31 s výsledky stanovení Conradsonova karbonizačního zbytku je dle údajů výrobce min. 82% (ověřeno v rozsahu do 4 %) (4).

Stanovení přítomnosti vody v oleji je založeno na crackle testu; tj. po nanesení kapky oleje na horkou kovovou podložku voda přítomná v oleji vyvolá zvukový efekt.

K stanovení relativní *dynamické viskozity* byl použit rotační viskozimetr RHEOTEST. Viskozita olejů se mění se změnou teploty a se stářím oleje (s vyšší teplotou viskozita klesá). Proto se předepsaná viskozita oleje nestanovuje jako konkrétní hodnota, ale jako rozmezí hodnot, ve kterých se může viskozita pohybovat.

Olejové náplně byly podrobené *ferroskopické analýze* na přístroji PMA 90s. Na ferrografické stopě se hodnotil počet částic (DS) – menších než 15 μm, (DL) – větších než 15 μm a podle vztahu (1) byl určen parametr WPC (Wear Particle Concentration),

$$WPC = \frac{D_L + D_S}{V} \quad (1)$$

kde (V) je objem vzorku.

1.2 Instrumentální metody TTD

FTIR spektrometrií lze hodnotit stupeň opotřebení motorových olejů diferenční spektroskopii na základě rozdílu spekter původního oleje a oleje degradovaného. Lze tedy relativně hodnotit obsah oxidačních, nitratačních, sulfatačních produktů, obsah vody, paliva, chladicí kapaliny a úbytek antioxidačních přísad apod. (5). Působením vysokých teplot a vlivem průniku vody do oleje dochází k vyčerpání základní protiotěrové a antioxidační přísady (diethyldithiofosfát zinečnatý ZnDDP), což se projeví úbytkem absorpance v oblasti $1050\text{--}950\text{ cm}^{-1}$ a 650 cm^{-1} . Pokud poklesne pod hodnotu 20 % obsahu ZnDDP v novém oleji, doporučuje se výměna oleje. Detergentně-disperzantní přísady mají důležitou úlohu v neutralizaci kyselých zplodin spalování paliva, které se dostanou do oleje, nebo kyselých produktů oxidační degradace oleje (4). Proto značné vyčerpání detergentní přísady (pás v oblasti 1230 cm^{-1}) a razantní snížení koncentrace přísady ZnDDP může být signálem poklesu čísla alkality (TBN) motorového oleje. Pokles absorpance v oblasti 990 a 960 cm^{-1} je projevem úbytku protiotěrové přísady (trikresylfosfát TCP). Oxidace uhlovodíků v oleji se projevuje přírůstkem absorpance v oblasti okolo 1710 cm^{-1} , nárůst absorpance mezi $1650\text{--}1580\text{ cm}^{-1}$ vypovídá o přítomnosti organických nitrosloúčenin, které se dostaly do olejové náplně spalnými plyny netěsnostmi v okolí pístní skupiny. Opotřebení pístní skupiny se obvykle také projeví znečištěním oleje sazemi, což bývá pozorováno jako celkový posun spektra k vyšším absorpancím; zjišťuje se v oblasti okolo 2000 až 1900 cm^{-1} . Uvedené faktory vedou ke zhoršení nízkoteplotních viskozitních charakteristik, zvýšení viskozity a ke zhoršení čerpatelnosti oleje. Neutralizace alkalických přísad v motorovém oleji vede ke vzniku sulfátů, jejichž projevem je pás v oblasti $1180\text{--}1120\text{ cm}^{-1}$. Přítomnost vody se ve spektru projevuje širokým pásem v oblasti $3600\text{--}3300\text{ cm}^{-1}$, průnik chladicí kapaliny na bázi etylenglykolu dvojicí pásů s vrcholy kolem 1080 , 1040 cm^{-1} a průnik paliva do oleje nárůstem absorpance v oblasti 815 až 800 resp. 750 cm^{-1} (2, 4).

Atomová emisní spektrometrie využívá se k určení míry opotřebení třecích dvojic, ke stanovení koncentrace aditivních přísad v mazadle a k určení koncentrace kontaminantů. Otěrové kovy v motorovém oleji jsou produkty tření nebo koroze dílů motoru např. pístů a ložisek během provozu. Vzhledem k tomu, že konstrukční kovy různých dílů motoru jsou většinou vyrobeny ze speciálních materiálů, lze z koncentrace konkrétního kovu v oleji odhadnout lokalizaci závady. Pravidelným sledováním koncentrace otěrových kovů v oleji lze nastavit optimální preventivní postupy údržby, a tak zvýšit spolehlivost zařízení. Výrobci velkých vznětových motorů zpravidla pro všechny typy svých motorů uvádějí jednotné limity koncentrací otěrových kovů. Limity udávané jednotlivými výrobci se mohou lišit. Pokud dochází k opakovanému překračování varovných limitů pro zvýšené opotřebenění, je zapotřebí najít závadu, která toto opotřebenění způsobila (např. překročení obsahu křemíku je signálem pro výměnu vzduchového filtru). Emisní čárová spektra byla pro jednotlivé sledované otěrové kovy a kontaminanty měřena na spektrometru Spectroil Q¹⁰⁰ (Spectro Inc., USA).

Čítače částic jsou jedním z nedávno vyvinutých přístrojů pracujících na principu počítání částic v kombinaci s analyzátozem tvaru zachycených částic je LaserNet Fines (LNF). Jedná se o analytický přístroj, který při analýze opotřebených olejů využívá principů umělé inteligence. Umožňuje klasifikaci tvarů a stanovení počtu částic nacházejících se

v mazacích olejích. Vyhodnocení se provádí softwarově na základě morfologické analýzy a analýzy rozdělení velikosti částic opotřebení (hodnotí se největší rozměr částice a průměr ekvivalentního kruhu, tj. průměr kruhu, který má stejnou plochu jako je plocha částice). Hodnocení režimu opotřebení nejvíce exponovaných třecích povrchů motoru bylo realizováno analyzátozem částic LNF Q²⁰⁰ Laser Net Fines (Spectro Inc., USA) nepřímo – detekcí počtu částic v 1 ml vzorku oleje a u částic o velikosti 20–100 μm klasifikací jejich tvarových charakteristik. Na základě tvarových charakteristik byl softwarově hodnocen režim opotřebení (procesy spojené se zadirám tvrdých částic, mezní opotřebení spojené s tvorbou havarijních částic, opotřebení spojené s únavou materiálu). Průběžně byl také hodnocen trend celkového počtu částic v 1 ml.

1.3 Výsledky a diskuse

Cílem analýz motorových olejů provozovaných v autobusech bylo posoudit, zda změna nastavení výměnných intervalů (u dvou autobusů byl výměnný interval prodloužen o cca 10 000 km, v jednom případě cca o 10 000 km zkrácen) na základě výsledků provedených jednoduchých provozních zkoušek TTD je optimální. Vzhledem k omezenému rozsahu tohoto příspěvku jsou detailně zpracovány výsledky analýz pouze pro autobus označený jako D; výsledky pro ostatní autobusy jsou uvedeny v (2).

Olejevá náplň v autobusu *D – Karosa Axer* se na základě praktických zkušeností během provozu autobusu a na základě výsledků analýz olejů prováděných v dopravní společnosti mění po 50 000 km a ne po 40 000 km, jak doporučuje výrobce autobusu. Na degradaci olejové náplně má vliv nejen konstrukce motoru, ale závisí také na jeho celkovém zatížení, zejména na teplotním režimu.

Provozované olejové náplně z autobusu označeného jako D byly zařazeny do sledování z důvodu zjištění poklesu relativní viskozity oleje o 20 % vůči hodnotě viskozity nového oleje. Autobus byl nasazován na zajištění jak pro potřeby městské hromadné dopravy, tak především pro dopravu zájezdovou. Vzhledem k tomu, že v praxi se pro velkoobjemové motory povoluje provoz motorového oleje v rozmezí viskozity max. $\pm 20\%$, byla cca v polovině výměnného intervalu doporučeného výrobcem autobusu vyměněna celá olejová náplň. Celkový přehled o provozu tohoto autobusu je zaznamenán v tab. 2

Tab. 2 - Údaje o odběrech motorového oleje provozovaného v autobuse D

Autobus D			
číslo odběru	datum odběru	celkový proběh [km]	proběh na olejovou náplň [km]
1	24. 1. 2012	171 800	22 472
2	9. 2. 2012	172 938	23 610
3	7. 3. 2012	175 543	2 732
4	4. 4. 2012	176 601	3 790

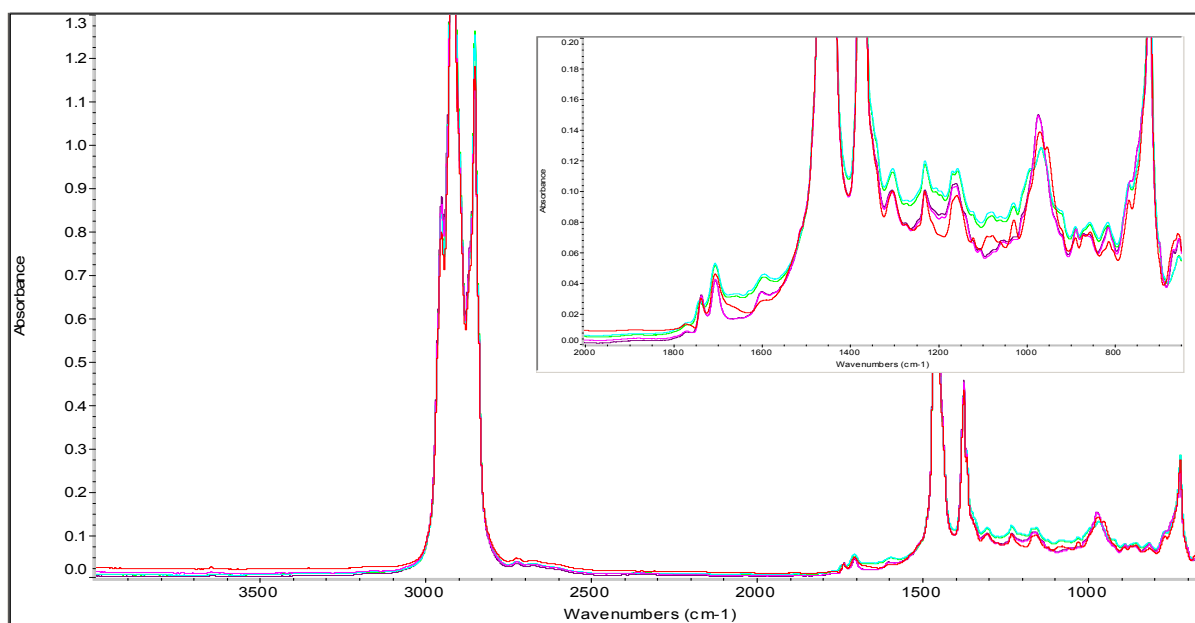
Zdroj: Autor

FTIR spektrometrií byl zjištěn nárůst pásu v oblasti $840\text{--}790\text{ cm}^{-1}$ a dále nepatrný nárůst pásu s vrcholem 790 cm^{-1} (obr. 1). Tyto pásy odpovídají průniku nafty do olejové náplně.

Přítomnost paliva, které by mohlo být příčinou výrazné změny viskozity, byla dále ověřována stanovením bodu vzplanutí v otevřeném kelímku podle Clevelanda. Teplota vzplanutí dosahovala hodnoty 214 °C , což není důvod pro výměnu olejové náplně. Lze se tedy domnívat, že příčinou snížení viskozity může být tzv. stříhová nestabilita modifikátorů viskozity vlivem velkého mechanického zatížení motoru (autobus byl používán na zájezdovou dopravu i do horských oblastí), či selhání lidského činitele – lze připustit, že mohlo dojít k záměně oleje.

Ze studia spekter není patrný v oblasti 2000 cm^{-1} posun základní linie k vyšším hodnotám absorpance, tudíž nelze předpokládat, že se v oleji vyskytuje vyšší obsah sazí.

Při detailním studiu spekter na obr. 1 lze konstatovat, že spektra vzorku č. 3 a 4 mají poněkud odlišný charakter ve srovnání se spektry vzorku č. 1 a 2 a také se spektrem nové olejové náplně. Toto zjištění vedlo k hypotéze, zda skutečně nedošlo k záměně olejové náplně OMW Truck FE Plus SAE 10W/40 za motorový olej OMW Truck LD SAE 15W/40 (olej jiné výkonové a viskozitní specifikace).



Zdroj: Autor

- nový motorový olej OMW Truck FE Plus SAE 10W/40
- opotřebený olej vzorku č. 1 (proběh 22 472 km)
- opotřebený olej vzorku č. 2 (proběh 23 610 km)
- opotřebený olej vzorku č. 3 (proběh 2 732 km)
- opotřebený olej vzorku č. 4 (proběh 3 790 km)

Obr. 1 - Spektra provozovaných olejových náplní v autobusu D po průběžných odběrech

Porovnáním detailů spekter vzorku č. 3 a 4 s novým olejem OMW Truck LD SAE 15W/40 byl tento předpoklad potvrzen – spektra se shodují v pozicích pásů, v jejich výškách i tvarech.

Záměna olejů byla jednoznačně prokázána prvkovou analýzou na *emisním spektrometru* (viz tab. 3).

Tab. 3 - Koncentrace vybraných prvků stanovené metodou AES

Prvek [mg.kg ⁻¹]	Al	B	Ba	Ca	Cu	Fe	Mg	Mn	Mo
vzorek č. 1	1.59	12.70	0.35	2638	1.95	4.90	26.97	0.47	16.57
vzorek č. 2	2.39	12.70	0.39	2711	2.58	6.95	29.51	0.84	16.32
vzorek č. 3	5.80	95.71	0.42	3176	8.96	18.38	20.20	1.34	119.48
vzorek č. 4	5.36	92.09	0.34	3083	9.70	18.15	18.12	1.23	110.65
TRUCK LD nový olej	1.87	2.66	1.11	2181	0.03	1.40	29.96	5.49	2.83
TRUCK FE nový olej	3.88	125.03	1.27	2636	0.19	1.86	12.54	5.78	123.85

Zdroj: Autor

Z tab. 3 je zřejmé, že nové motorové oleje OMW Truck LD SAE 15W/40 a OMW Truck FE Plus SAE 10W/40 se významně liší v koncentraci aditiv obsahujících **B** a **Mo**. Na základě sledování koncentrace těchto prvků lze potvrdit, že vzorek oleje č. 1 a 2 odpovídá oleji OMW Truck LD SAE 15W/40 a vzorky oleje č. 3 a 4 odpovídají oleji OMW Truck FE Plus SAE 10W/40.

Jak již bylo uvedeno výše, po proběhu 23 610 km (vzorek č. 2), došlo z důvodu výrazného snížení viskozity k výměně celé olejové náplně. Na základě prvkové analýzy bylo tedy potvrzeno, že příčinou této změny nebyla stříhová nestabilita modifikátoru viskozity, ale záměna motorového oleje za olej jiné viskozitní specifikace.

Záměna motorového oleje měla také vliv na opotřebení motoru. Jak vyplývá z tab. 3, tak u vzorku č. 3 a 4, kde došlo k záměně oleje, se zvýšila koncentrace *Fe* a *Cu* výrazněji než u vzorku č. 1 a 2. Vzorky č. 3 a 4 odpovídají proběhu olejové náplně cca na úrovni 5 % a vzorky č. 1 a 2 cca úrovni 50 % proběhu doporučeného výrobcem autobusu.

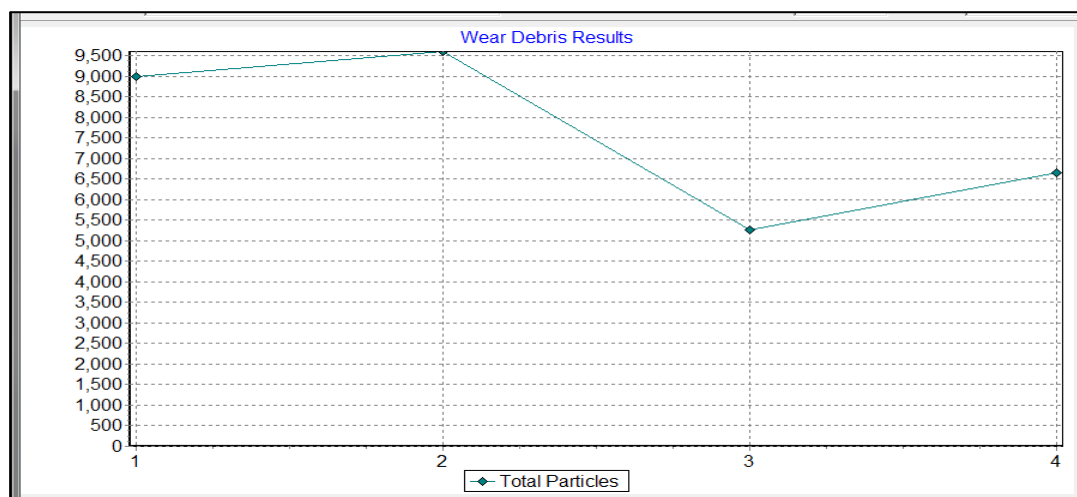
Analýzou na *čítači částic LNF* bylo zjištěno, že vedle procesů adhezivního opotřebení, která probíhají v interagujících strojních součástech vždy, je dalším významným procesem opotřebení v tomto motoru únavové opotřebení (tab. 4).

Tab. 4 - Výsledky částicové analýzy na LNF Q200

autobus D	POČET ČÁSTIC				
	řezné opotřebení	havarijní částice	únavové opotřebení	nekovové částice	neklasifikované částice
1	13,9	32,3	126,2	32,3	3,1
2	4,6	9,2	66,2	15,5	0
3	7,7	3,1	20	15,4	1,5
4	7,7	10,8	80,1	10,8	4,6

Zdroj: Autor

Únavové opotřebenění vzniká postupným šířením poruch v povrchové vrstvě materiálu vlivem opakovaných stykových napětí v určitých částech funkčních povrchů. Na proces únavového opotřebenění mají především vliv provozní podmínky. Na obr. 3 je uveden trend celkového počtu částic identifikovaných ve vzorcích odebraných z jednotlivých olejových náplní.



Zdroj: Autor

Obr. 3 - Trend celkového počtu částic ve vzorcích olejů odebraných z autobusu D

Trend počtu částic opotřebenění (obr. 3) odpovídá údajům uvedeným v tab. 4, ale má opačný průběh než výsledky analýzy *Fe* a *Cu* metodou AES (tab. 3). Z toho lze dovodit, že záměna oleje jiné viskozitní specifikace u vzorku č. 1 a 2 způsobila větší produkci částic opotřebenění větších než 5 μm .

Přestože byl pro autobus D na základě výsledků pouze provozních metod TTD prodloužen výměnný interval motorového oleje z 40 000 km na 50 000 km, lze na základě dodatečně provedených analýz (2) pokročilými instrumentálními metodami doporučit zkrácení výměnného intervalu na hodnotu, kterou doporučuje výrobce autobusu v servisní knížce a provést změnu v údržbovém plánu.

ZÁVĚR

Některé dopravní společnosti disponují provozními laboratořemi tribotechnické diagnostiky, kdy při pravidelném údržbovém plánu odebírají vzorky mazacích olejů a zjišťují jak změny jejich fyzikálně-chemických vlastností, tak i jejich znečištění cizorodými látkami, např. mechanickým znečištěním, sazemi, vodou atd. a na základě výsledků zkoušek operativně řídí údržbu vozového parku, případně provádějí zásahy do výměnných intervalů motorových olejů.

Na základě výzkumu (2), kde byly odebrané olejové náplně podrobeny analýzám na pokročilém přístrojovém vybavení TTD je možno konstatovat, že prodloužení výměnných intervalů na základě provedení pouze jednoduchých provozních metod kontroly motorových olejů nebylo ve všech případech optimální. Došlo k havárii motoru autobusu C; právě v tomto případě byl výměnný interval prodloužen o cca 7 500 km. Za předzvěst nepříznivých třecích

poměrů v motoru lze považovat skokový nárůst velkých částic (velikosti převážně v intervalu 15–50 μm), které byly podle tvarových charakteristik identifikovány jako částice spojené s únavovými (k únavovému opotřebením často dochází u zdvihátek ventilů) a abrazivními procesy. Byly také identifikovány havarijní částice.

Rovněž bylo prokázáno, že obecně doporučené limitní hodnoty koncentrace otěrových kovů ne vždy postačují k posouzení průběhu opotřebením motoru, a to proto, že každý motor má svá specifika a je provozován za jiných podmínek. Dalším důvodem je skutečnost, že AES je málo citlivá na detekci částic větších než 5 μm . K posouzení průběhu opotřebením motoru je nutné také disponovat údaji o velikostní skladbě a distribuci otěrových částic.

Při interpretaci výsledků částicové analýzy je však třeba brát v úvahu také časové intervaly odběrů, doplňování oleje během provozu a účinnost jeho filtrace. Přítomnost produktů stárnutí oleje (kalů a úsad), produktů nedokonalého spalování paliva a mechanických nečistot (především otěru z opotřebením kovových materiálů) je nežádoucí, protože zvyšuje opotřebením a poruchovost motoru (2).

POUŽITÁ LITERATURA

- (1) ČORNÝ, I., HAKIM, H., J. *Implementing tribotechnical diagnostics in automotive industry* [online]. [cit. 2015-09-10].
Dostupné z <http://www.nordtech.ubm.ro/issues/2005/2005.01.017.pdf>
- (2) SEJKOROVÁ, M. *Analýza motorových olejů pro dopravní prostředky instrumentálními metodami*. Pardubice, 2014. 150 s. Vedoucí disertační práce doc. RNDr. Jaroslava Machalíková, CSc., Univerzita Pardubice.
- (3) MACHALÍKOVÁ, J., SEJKOROVÁ, M., LIVOROVÁ, M. Aplikace instrumentálních metod v analýze provozních hmot pro dopravní prostředky. In. *Scientific Papers of the University of Pardubice, Series B, The Jan Perner Transport Faculty* 18 (2012), s. 33- 54. ISBN 978-80-7395-684-4. ISSN 1211-6610.
- (4) MACHALÍKOVÁ, J., SEJKOROVÁ, M. *Diagnostika a kontrola jakosti provozních hmot*. Učební opora – část I. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Pardubice, 2013.
- (5) MIHALČOVÁ, J.. Tribotechnical Diagnosis in Aircraft Engine Praktice. *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 308 (2013), p. 57-62. ISBN 978-303785656-7 - ISSN 1660-9336.
- (6) KUČERA, A., ALEŠ, Z., PEXA, M., ČERNEYOVÁ, M.: Možnosti využitia laserového analyzátoru Lasernet Fines-C v tribotechnickej diagnostike mazív. *Acta Facultatis Technicae*. Zvolen – Slovakia. XVI, 2011 (1):73-80.
- (7) GLOS, J., SEJKOROVÁ, M., Monitoring an Engine Condition based on Tribological Diagnostics in Military Vehicles. *Machines, Technologies, Materials*, ISSUE 6 / 2012, 7 - 10, ISSN 1313-0226.
- (8) TOMS, L. A.: *Machinery Oil Analysis: Methods, Automation & Benefits*, Society of Tribologists & Lubrication Engineers, 2008, Park Ridge USA, p. 262. ISBN 978-0-9817512-0-7.

- (9) KOLEČKÁŘ, P. *Analýza pevných částic v olejích, srovnání optického a laserového způsobu měření těchto částic.* [cit. 8. 1. 2014]. Dostupné z: http://www.spla.sk/uploads/TRIBOTECHNIKA/Prednasky_2013/Koleckar,%20P._SPEC TRO%20APS.pdf