

YUTRIB'05
9^{ta} JUGOSLIVENSKA KONFERENCIJA O TRIBOLOGIJU
JUN.15-18. 2005
Kragujevac, Srbija i Crna gora

**PROMENE FIZIČKO HEMIJSKIH KARAKTERISTIKA
MOTORNOG ULJA TOKOM EKSPLOATACIJE SA
ASPEKTA DIJAGNOSTIKE STANJA TRIBOMEHANIČKOG
SISTEMA**

Dr Zoran PEŠIĆ , VTA, Žarkovo

Sreten PERIĆ , dipl. inž., VTA Žarkovo

Milan KRSMANOVIĆ , dipl.inž., VTA Žarkovo

Rezime

Identifikacija stanja tribomehaničkih sistema bez narušavanja njegove funkcije, u uslovima kada se otkazi prvenstveno javljaju usled habanja i promene svojstava sredstva za podmazivanje, ima velike tehničke i ekonomske efekte. Saznanje o neophodnosti snižavanja intenziteta triboloških procesa kod mašinskih sistema počinje sve više zauzimati ono mesto koje mu zbog svoje uloge i značaja realno pripada. Istovremeno, sazreva svest o činjenici da najmanje kritičan put pri rešavanju takvih problema vodi kroz primenu najnovijih triboloških dostignuća i informacija, a koji obuhvataju: uštedu energije i deficitarnih materijala, povećanje nivoa pouzdanosti i produženje veka eksploatacije. Stalni razvoj novih tribometrijskih metoda uslovljen je neprekidnom težnjom za stvaranje tribomehaničkih sistema u kojima je moguće informacije o stanju elemenata sistema dobijati povremeno ili kontinualno, bez narušavanja njegove funkcije.

U radu je prikazan deo rezultata laboratorijskih istraživanja fizičko-hemijskih svojstava uzorkovanog ulja iz realnih tribomehaničkih sistema. Za realizovana istraživanja korišćena su ulja za podmazivanje motora.

Ključne reči: *motorno ulje, tribologija, podmazivanje, tribomehanički sistem*

**1. DIJAGNOSTIKA TRIBOMEHANIČKIH
SISTEMA**

Sušтина dijagnostike zasnovana je na prognoziranju (prepoznavanju) oštećenja i/ili otkaza posredstvom karakterističnih dijagnostičkih parametara, što omogućava sprečavanje pojave zastoja, odnosno povećanje pouzdanosti, ekonomičnosti i veka eksploatacije sistema. Dijagnostika tribomehaničkog sistema može omogućiti proveru ispravnosti, radne sposobnosti i funkcionalnosti sistema, te ukazati na mesto, oblik i uzrok otkaza. Postaviti dijagnozu sistema moguće je otkrivanjem simptoma posredstvom određivanja vrednosti karakterističnih parametara i njihovim upoređivanjem sa dozvoljenim vrednostima.

Ako se sklopovi motora sagledavaju sa aspekta tribomehaničkog sistema (npr. sklop klip-klipni prsten-cilindar; breg-podizač; ležaj-rukavac) definisanog tribološkim procesima, proizilazi da određivanje sadržaja produkata habanja, sadržaja kontaminata, stanja maziva i uslova podmazivanja ima značajan uticaj na realizaciju održavanja pomenutih sistema.

Istraživanjima mnogih autora zaključeno je da su glavni uzročnici otkaza dinamičkih mašinskih sistema upravo tribološki procesi.

Kao ilustraciju ove tvrdnje prikazuje tabela 1., iz koje je vidljivo da habanje tokom kontinualnog rada sistema predstavlja jedan od najvećih uzročnika otkaza kotrljajućih i kliznih ležajeva sa procentom od 28,5 i 30,5% [4].

Tabela 1. Uzroci i procentualna raspodela otkaza kod ležaja

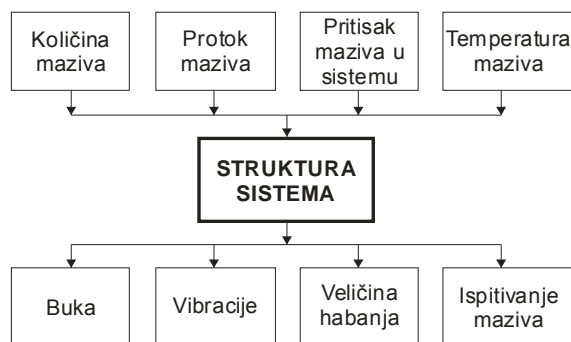
Uzročnici otkaza	Distribucija %	
	Kotrlj. ležajevi	Klizni ležajevi
Neadekvatan proračun i konstrukcija	13,8	9,1
Greške u materijalu	1,9	3,6
Greške proizvodnje i montaže	14,4	10,7
Neadekvatna eksploatacija, održavanje i konstrukcija	37,4	39,1
Habanje tokom kontinualnoga rada	28,5	30,5

Što se tiče dizel motora najdominantniji uzročnik otkaza su greške u eksploataciji i iznose 43%, pri čemu su najizrazitija mesta otkaza klip i kolenasto vratilo sa ukupno 48%, što je ilustrovano u tabeli 2.

Tabela 2. Uzroci i mesta otkaza kod dizel motora

Uzrok otkaza	Distribucija %	Mesto otkaza	Distribucija %
Proizvodne greške	20	Klip	24
		Kolenasto vratilo	24
Greške u eksploataciji	43	Cilindar	22
		Ležaj	12
Spoljnji uticaj	37	Blok	12
		Ostalo	6

Uzimajući u obzir strukturu tribomehaničkog sistema (TMS), od monitoring metoda koje se realizuju u programu održavanja sistema prema stanju, na slici 1, su prikazane veličine neophodne za indiciranje u dijagnostici TMS.



Slika 1: Monitoring metode tribomehaničkog sistema

Posebno treba naglasiti značaj monitoringa ulja za podmazivanje sklopova tribomehaničkih sistema motora SUS, koji omogućava da se u ranoj fazi funkcionisanja sistema identifikuju eventualni uzročnici i pojave koji vode ka oštećenju i

otkazu. Prognoziranje odnosno otkrivanje potencijalnih i/ili trenutnih oštećenja i kvarova u sistemima, kao i provera funkcionalnosti ulja i određivanje veka ulja su glavni faktori realizacije monitoringa ulja.

Sistematski monitoring ulja u eksploataciji obuhvata aktiviranje niza metoda i postupaka, od «in situ» (mikrosenzori, lubri senzori, RULER uređaji, on-line detektori i sl.) pa do laboratorijskih metoda (fizičko-hemijske metode i instrumentalne spektrometrijske metode), sa definisanom dijagnostičkom strategijom.

Efikasni program praćenja maziva sadrži tri osnovne kategorije ispitivanja:

- ispitivanje svojstava fluida,
- ispitivanje sadržaja kontaminata,
- ispitivanje sadržaja, vrste, oblika i veličine produkata habanja.

Imajući u vidu da se pokretne komponente tribomehaničkih sistema motora SUS neminovno habaju i da se kontaminati i produkti habanja sakupljaju u ulju za podmazivanje, te potrebe praćenja promena svojstava fluida tokom eksploatacije, sledi zaključak da je od svih tehnika monitoringa ključan za održavanje po stanju i postizanje određenih tehno-ekonomskih efekata upravo monitoring maziva.

Dijagnostika tribomehaničkih sistema kod motornih vozila predstavlja deo ukupnog procesa upravljanja poslovanjem održavanja. Ona pruža mogućnost korisniku da predvidi oštećenja i/ili otkaze, te time spreči zastoj u radu i produži vek eksploatacije motornog vozila.

Zavisnost stanja pokretnih delova od procesa trenja i habanja ukazuje da je određivanje izgleda, oblika i veličine čestica produkata habanja, stanja maziva i uslova podmazivanja od vitalnog značaja u procesu održavanja.

Upravo monitoring ulja za podmazivanje tokom eksploatacije je jedan od najznačajnijih postupaka koji uključuje dijagnostiku stanja tribomehaničkog sistema, s obzirom na funkcije i značaj koji treba da zadovolji u pomenutom sistemu. Prednost pomenutog postupka ogleda se u činjenici da se informacije o funkcionalnosti komponenata sistema dobijaju bez potrebe zaustavljanja i demontaže vozila.

Savremeni trendovi dijagnostike poslednjih godina, idu u pravcu afirmacije monitoringa ulja, što ima za posledicu porast interesovanja i proizvođača i korisnika ulja. Razlozi pre svega leže u povećanju pouzdanosti, efektivnosti,

ekonomičnosti i u novije vreme sve više prisutne zaštite životne sredine.

Osnovni ciljevi monitoringa ulja tokom eksploatacije motornog vozila su:

- analiza procesa habanja elemenata tribomehaničkog sistema,
- analiza procesa kontaminacije maziva,
- praćenje promena u svojstvima maziva radi optimizacije veka upotrebe i konrole funkcionalnosti sistema (npr. prodor kontaminata, stanje temperature i pritiska, efikasnost prečistača fluida i dr.)
- utvrđivanje stanja oštećenja i uzroka otkaza.

2. REZULTATI ISPITIVANJA I PROMENE KARAKTERISTIKA MOTORNH ULJA TOKOM EKSPLOATACIJE

U okviru ovog dela rada prikazani su rezultati dela eksperimentalnih ispitivanja motornih ulja u Laboratoriji za pogonska sredstva.

Ispitivanje je izvršeno na vozilu u kome je ugrađen motor Mercedes-Benz EURO 2 OM 906 hLA. To je dizel motor savremene konstrukcije, koji ispunjava EURO 2 norme vezane za emisiju izduvnih gasova. Karakteristike motora date su u tabeli 3.

Tabela 3. Karakteristike motora EURO 2 OM 906 hLA

Motor	EURO 2 OM 906 hLA
Radna zapremina	8,5 dm ³
Broj cilindara i raspored	6, linijski
Nominalna snaga	180 kW (245 HP) / 2100 min ⁻¹
Obrtni moment	1050 Nm/1200 min ⁻¹
Stepen kompresije	23:01
Ubrizgavanje	direktno

Dozvoljene količine pojedinih elemenata u korišćenom motornom ulju prikazane su u tabeli 4. Njihovo poreklo može biti iz aditiva (Zn, Ca, Ba i Mg), od produkata habanja (Fe, Pb, Cu, Cr, Al, Mn, Ag i Sn), te kontaminati koji potiču iz goriva, vazduha i tečnosti za hlađenje. Elementi koji potiču iz rashladne tečnosti ili vazduha su: Na, B, Si i Ca.

Dozvoljene vrednosti odstupanja fizičko-hemijskih karakteristika novog i korišćenog ulja su prikazane u tabeli 5.

U motoru je korišćen motorno ulje FENIX SUPERIOR kvaliteta API SF-CD, gradacije SAE 15W-40. Za vreme ispitivanja autobus je

saobraćao u uslovima gradske vožnje. Zadatak je bio provera intervala zamene motornog ulja na 15000 km. Analizom je ustanovljeno da su promene karakteristika motornog ulja očekivane i da se kreću u okviru dozvoljenih granica.

Tabela 4. Dozvoljene količine elemenata u korišćenom motornom ulju [6]

Elementi	[mg/kg] (ppm)	Poreklo
Fe	100	Cilindri, klipovi, podizači ventila
Al	50	Klipovi, Al-Sn ležajevi
Ag	2 do 3	Posrebrani delovi, ležajevi, osovinice
Cr	50	Hromirani delovi, klipovi, cilindri, podizači
Cu	40	Cu-Pb ležajevi
Pb	70	Cu-Pb ležajevi, iz benzina
B	20	Antifriz
Si	20	Prašina iz atmosfere
Ca	50	Antifriz
Sn	30	Delovi od kalaja, ležajevi
Na	20	Antifriz

Tabela 5. Dozvoljene vrednosti odstupanja fizičko-hemijskih karakteristika novog i korišćenog ulja [6]

Fizičko-hemijske karakteristike	Dozvoljeno odstupanje od početnih vrednosti
Tačka paljenja, [K]	20%
Viskoznost na 373,15 K, [mm ² /s]	pad do 25%, porast do 30%
TBN, [mg KOH/g]	pad do 50%
Nerastvorno u n-pentanu, [%]	do 3,5%
Nerastvorno u benzenu, [%]	do 2,5%
Sadržaj vode, [%]	do 0,2%
Sadržaj goriva, [%]	do 5%

Na slici 2. prikazana je promena viskoznosti. Vidljiv je pad viskoznosti tokom pređenih prvih 5000 km, a nakon ovog perioda viskoznost ostaje približno konstantna do kraja intervala izmene uljnog punjenja. Međutim, pad viskoznosti za celokupan period eksploatacije ulja je svega 8,8 %, što je daleko ispod dozvoljene granice od 25% (tabela 5). Inače, pad viskoznosti ukazuje na prisustvo goriva u ulju (uzrok nefun-

kcionalnost sistema za napajanje ili neadekvatni uslovi eksploatacije motora).

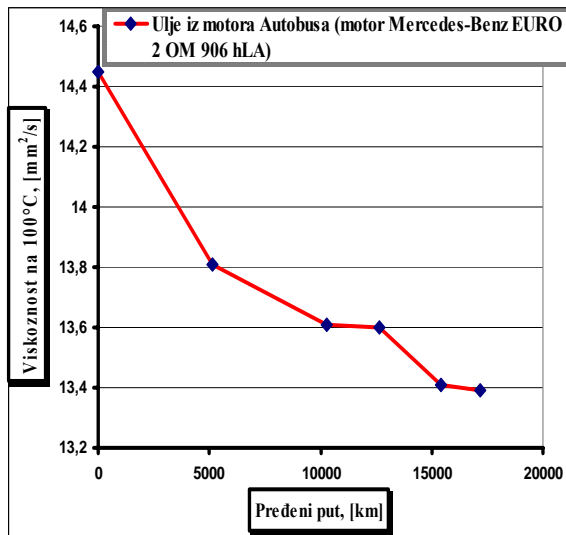
Tabela 6. Vrednosti praćenih fizičko-hemijskih karakteristika motornog ulja FENIX SUPERIOR tokom eksploatacije

Karakteristika	Vrednost nakon pređenih kilometara						
	novi ulje	0 uzorak	5150,00	10300,00	12650,00	15400,00	17200,00
Gustina na 288,15 K, [g/cm ³]	0,882	0,882	0,883	0,884	0,884	0,885	0,885
Viskoznost na 313,15 K, [mm ² /s]	110,37	107,28	101,12	97,75	97,42	96,25	96,17
$\Delta V_{313,15 K}$, [%]		-2,8	-8,4	-11,4	-11,7	-12,8	-12,9
Viskoznost na 373,15 K, [mm ² /s]	14,68	14,45	13,81	13,61	13,60	13,41	13,39
$\Delta V_{373,15 K}$, [%]		-1,6	-5,9	-7,3	-7,4	-8,7	-8,8
Indeks viskoznosti	137,0	138,0	138,0	140,0	140,0	139,0	139,0
Tačka paljenja, zatvoreni sud (MP), [K]	479,15	475,15	473,15	465,15	469,15	461,15	473,15
TAN, [mg KOH/g]	2,5	2,8	2,8	3,8	4,2	4,3	4,3
TBN, (po ASTM D 2896) [mg KOH/g]	10,06	8,50	7,20	6,09	5,85	5,36	4,24
ΔTBN , [%]		-15,51	-28,43	-39,46	-41,85	-46,72	-57,85
Sadržaj vode, [%]	0	0	0	0	0	0	0
Nerastvoreno u pentanu, [%]		0,07	0,07	0,07	0,08	0,22	0,29
Nerastvoreno u benzenu, [%]		0,13	0,15	0,14	0,17	0,30	0,35
Izgled	Bistar proziran	Teško proziran	Neproiz.	Neproiz.	Neproiz.	Neproiz.	Neproiz.
Boja	ASTM 3,5	ASTM D 8,0	Crna	Crna	Crna	Crna	Crna
Sadržaj elemenata, gvožđe, [ppm]		5,8	23,0	25,2	29,6	88,6	92,8

Takođe, pad viskoznosti je u korelaciji sa padom tačke paljenja i povećanog sadržaja goriva u ulju. Pad viskoznosti može biti izazvan i mešanjem ulja sa dosutim uljem niže viskoznosti. Ukoliko dođe do porasta viskoznosti upotrebljavanog ulja u odnosu na neupotrebljavano ulje razloge treba tražiti u oksidaciji ulja, ako je pao totalni bazni broj (što je znak da je opala sposobnost zaštite od prisustva korozije), i kontaminatima (čad, prašina, smole i dr.). Uzroci mogu biti visoka temperatura, opterećenje, nekontrolisano dug interval upotrebe, nedovoljna količina ulja u uljnom sistemu, neispravnosti na sistemu za hlađenje i sl.

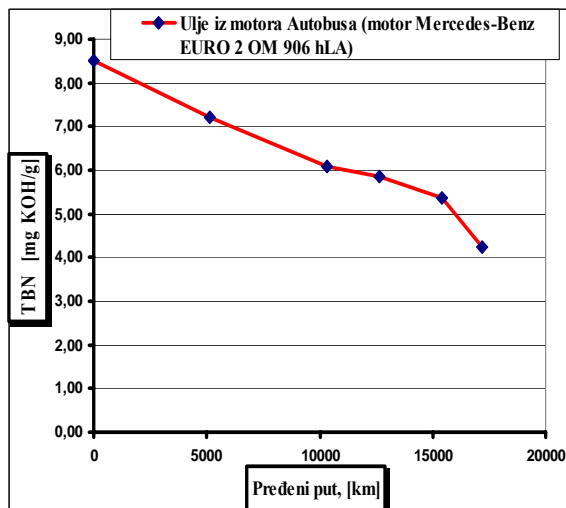
Na slici 3. prikazana je promena totalnog baznog broja (TBN). TBN predstavlja meru alkalnosti motornog ulja, tj. sposobnosti detergenitnih ulja za neutralizacijom kiselih materija i

zaštita motora pre i posle eksploatacije. Izražava se u količini miligrama kalijum hidroksida potrebnih za neutralizaciju prisutnih slobodnih kiselina u jednom gramu ulja

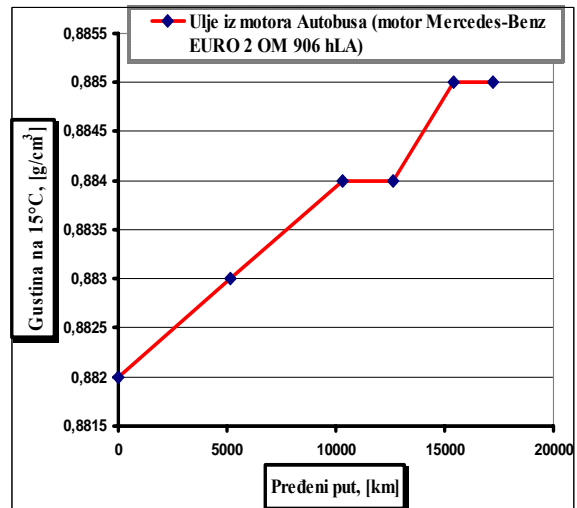


Slika 2: Promena viskoznosti motornog ulja tokom eksploatacije

Do pređenih 15000 km vrednost TBN-a nije prekoračila dozvoljene granice. Daljnjim korišćenjem motornog ulja pad vrednosti TBN-a je bio 57,85 %, što je iznad dozvoljene granice od 50%. Posle pređenih 17000 km ulje je zamenjeno, isključivo usled pada vrednosti TBN-a. Pad vrednosti TBN-a je, najverovatnije, posledica lošeg kvaliteta goriva (visok sadržaj sumpora) i brže degradacije ulja nakon pređenih 15000 km, a može biti uzrokovan i nepotpunim sagorevanjem.



Slika 3: Promena TBN-a motornog ulja tokom eksploatacije

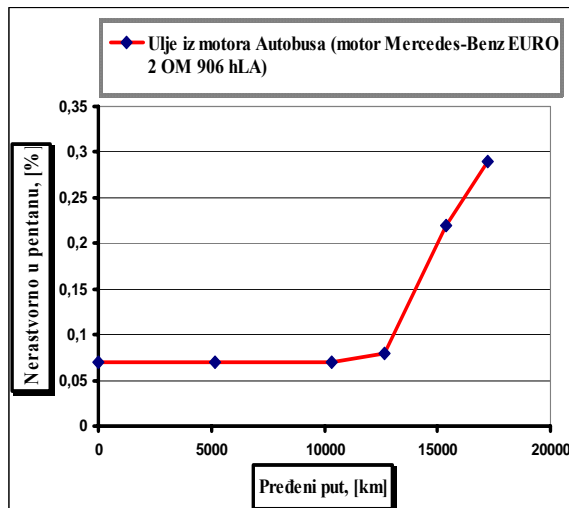


Slika 4: Promena gustine motornog ulja tokom eksploatacije

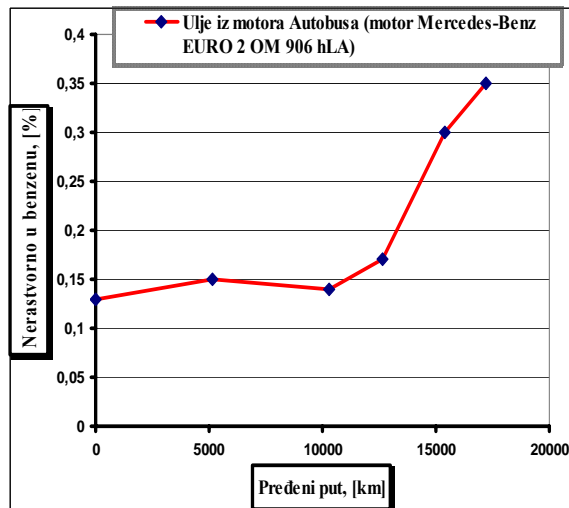
Na slici 4. dat je prikaz promene gustine motornog ulja tokom eksploatacije. Promena gustine je vrlo slabo izražena tokom celog perioda eksploatacije. Inače, porast gustine mineralnih ulja je u funkciji povećanja molekulske mase, zavisno od preovlađujućeg sadržaja određene vrste ugljovodonika. Na intenzivniji porast gustine utiče prisustvo sumpornih spojeva.

Nerastvorni ostaci nastali nakon tretmana sa pentanom su oksidacioni produkti i mehaničke nečistoće, dok nerastvorni ostaci nastali nakon tretiranja benzenom su nerastvorne materije kao što su koks, kamenac, prašina, čađ, čestice habanja kontaktnih površina tribomehaničkih sistema motora SUS i druge mehaničke nečistoće.

Sadržaj nerastvorenih materija u ulju je zanemarljiv u odnosu na dozvoljene vrednosti odstupanja date u tabeli 5. (maksimalno nerastvorno u pentanu 0,29%, a prema tabeli 5, dozvoljeno je do 3,5%; maksimalno nerastvorno u benzenu 0,35%, a prema tabeli 5. do 2,5%). Grafički prikaz promene vrednosti nerastvornih materija u pentanu i benzenu dat je na slikama 5. i 6.



Slika 5: Promena vrednosti nerastvornih materija u pentanu tokom eksploatacije ulja



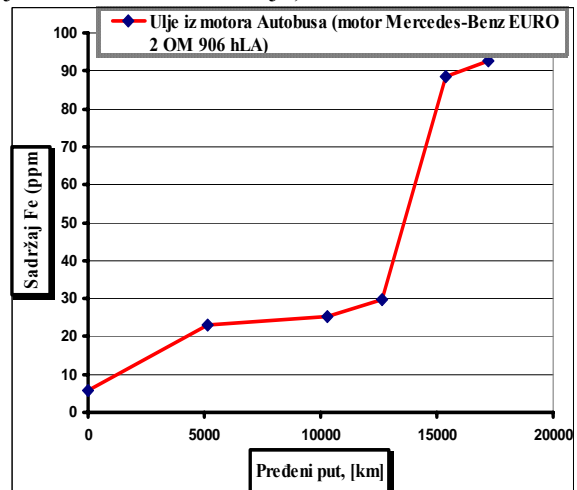
Slika 6: Promena vrednosti nerastvornih materija u benzenu tokom eksploatacije ulja

Određivanje sadržaja gvožđa (slika 7.) ukazuje da se habanje u tribomehaničkim sklopovima motora nalazi u okviru dozvoljenih granica, što pokazuje sadržaj gvožđa u ulju.

U uzorcima nije bilo pojave vode. Voda je nepoželjni kontaminat u ulju, koja zbog prenosa kiseonika iz vazduha ubrzava starenje ulja. Veće količine menjaju boju ulja u boju bele kafedo bele boje, a za više desetina procenata vode nastaje emulzija vode i ulja koja prelazi u pihijastu masu.

Tačka paljenja je podatak koji pokazuje kod koje temperature dolazi do paljenja otvorenim plamenom pare koja se stvara zagrevanjem ulja i bitna je u pogledu sigurnosti u toku eksploatacije motora SUS. Najveći pad vrednosti tačke paljenja je 14 K, što je daleko ispod dozvoljenih 20%. Ovo ukazuje da nije došlo do značajnijeg prodora goriva u sistem za podmazivanje

(sistem za napajanje gorivom je ispravan i motor je u dosta dobrom stanju).



Slika 7: Promena sadržaja gvožđa u motornom ulju tokom eksploatacije

3. ZAKLJUČAK

- tokom eksploatacije analizirano motorno ulje FENIX SUPERIOR kvaliteta API SF-CD, gradacije SAE 15W-40 ostvaruje svoju osnovnu funkciju i zadovoljava predviđeni interval zamene od 15000 km u motoru EURO 2 kategorije što je ustanovljeno analizom karakterističnih fizičko-hemijskih osobina ulja tokom eksploatacije,
- pad viskoznosti evidentan je tokom pređenih prvih 5000 km, a nakon ovog perioda viskoznost ostaje približno konstantna do kraja intervala izmene uljnog punjenja. Maksimalni pad viskoznosti tokom eksploatacije ulja je 8,8 %, što je značajno ispod dozvoljene granice od 25%,
- posle pređenih 17000 km ulje je zamenjeno, isključivo usled pada vrednosti TBN-a što je verovatno posledica lošeg kvaliteta goriva (visok sadržaj sumpora),
- sadržaj nerastvorenih materija u ulju je zanemarljiv u odnosu na dozvoljene vrednosti, jer nema značajnije prisutnosti oksidacionih produkata i mehaničkih nečistoća, nerastvornih materija kao što su koks, kamenac, prašina, čađ, čestice habanja kontaktnih površina tribomehaničkih sistema motora SUS i drugih mehaničkih nečistoća.
- u uzorcima nije bilo pojave vode,
- mali pad vrednosti tačke paljenja pokazuje da nije došlo do značajnijeg prodora goriva u sistem za podmazivanje

Realizacija, u toku eksploatacije, monitoringa ulja za podmazivanje je izuzetno značajna u

procesu održavanja mehaničkih sistema, a time i motora SUS.

Monitoringom ulja za podmazivanje u motornim vozilima tokom eksploatacije se identifikuju potencijalna i trenutna oštećenja i kvarovi u sistemu, bez potrebe zaustavljanja i demontaže.

Metalne čestice, fizičko-hemijski procesi i kontaminati, detektovani posredstvom analiza laboratorijskim i "in-situ" metodama, predstavljaju pogodnu bazu za identifikaciju mogućih nefunkcionalnosti u tribomehaničkim sistemima, kao i određivanja veka ulja i njegove funkcionalnosti u uljnim sistemima.

Utvrđivanje osnovnih uzročnika otkaza i njihova eliminacija, potpunom kontrolom određenih pojava, definiše proaktivno održavanje, kao novu metodu koja smanjuje troškove održavanja i produžava vek trajanja sredstva.

4. LITERATURA

[1] Pešić Z., Identifikacija triboloških procesa u menjaču vozila sa aspekta optimalnog održavanja, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1998

[2] Ivković B., Rac A., Savić V., «Tribologija i podmazivanje», FTN, 1995., Novi Sad.

[3] Pešić Z., Nedić B., «Fizičko hemijske i tribološke karakteristike ulja za podmazivanje», Osma internacionalna konferencija o tribologiji, 08.10.-10.10.2003., Beograd

[4] Rac A., «Savremena strategija održavanja tribomehaničkih sistema», XXII Skup održavalaca Jugoslavije, 1998., Novi Sad.

[5] Stoilković M., «Podmazivanje motornih vozila», Novi Sad, 2002.

[6] Obradović, R., Diplomski rad, VTA, Žarkovo, Beograd, 2003.

[7] Živanović, L., Diplomski rad, VTA, Žarkovo, Beograd, 2004