

PRAĆENJE RADNIH SVOJSTAVA MAZIVA U PRIMENI

Sreten R. Perić,
Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija,
Katedra vojnomošinskog inženjerstva,
Beograd

DOI: 10.5937/vojtehg1204059P

OBLAST: mašinstvo

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

Sažetak:

Potreba za što efikasnijim održavanjem i mogućnošću kontinuiranog korišćenja opreme razvila je čitav niz strategija i metoda održavanja opreme. Strategija održavanja po stanju, koja zahteva stalno praćenje i uvid u stanje opreme, uslovlila je razvoj i primenu analize maziva.

Praćenje radnih svojstava maziva u primeni ima višestruki značaj i za korisnika i za proizvođača maziva. Za korisnika je to prvenstveno produžena i pravovremena zamena maziva, što čini troškove održavanja nižim. Za proizvođača maziva predstavlja stvaranje partnerskih odnosa s potrošačem, ali i mogućnost prikupljanja informacija o ponašanju sopstvenih proizvoda kao podloge za daljnje unapređenje i razvoj proizvoda.

Ako se tehnički sistemi žele održavati tako da imaju što manje zastoja i troškova koji slede zbog otklanjanja zastoja i zbog toga što sistem ne obavlja svoju funkciju, onda tokom celog rada sistema treba pratiti podatke koji govore o stanju ispravnosti opreme. Posebno je teško dobiti podatke o stanju opreme kod onih delova koji su nepristupačni za posmatranje. U tim slučajevima analiza ulja omogućuje kontinuirano praćenje stanja opreme i delovanje na vreme radi sprečavanja neželjenih dugotrajnih zastoja.

Ključne reči: monitoring, održavanje, analiza ulja.

Uvod

Osnovna uloga maziva, odnosno podmazivanja, jeste da se smanji trenje, te ujedno spreči habanje površina materijala koje se nalaze u međusobno relativnom kretanju. Ali, neophodno je da mazivo poseduje i ostala funkcionalna svojstva koja će osigurati njegovu efikasnu primenu. To je, pre svega, dobra oksidaciono-termička stabilnost, svojstvo zaštite od korozije, kompatibilnost s različitim materijalima, mala

sklonost penjenju, sposobnost otpuštanja vazduha, dobra deterdžentno-disperzanatna svojstva, dobra deemulzivnost i sl.

Upotrebom maziva neizbežno dolazi do trajnog narušavanja njegovih radnih svojstava. Ove negativne promene najčešće su uzrokovane termičkim opterećenjem i/ili uticajem različitih vrsta zagađenja, kojim su maziva izložena prilikom eksploatacije. Termička opterećenja mogu nastati kao posledica velikih mehaničkih opterećenja ili dugotrajnog izlaganja povišenim temperaturama. Različite vrste zagađenja takođe predstavljaju čest uzrok degradacije maziva. Gasoviti produkti sagorevanja, vazduh, voda, glikol, gorivo, različiti procesni mediji, produkti habanja i ostali zagađivači mogu biti uzrok ozbiljnog narušavanja stanja maziva, ali i samog uređaja.

Stoga nužno treba pratiti promene radnih svojstava maziva, na osnovu kojih je moguće odrediti pravovremenu zamenu maziva, čime se produžava vek trajanja maziva i preventivno sprečavaju veći kvarovi ili oštećenja u sistemu.

Poznavanje analitičkih podataka maziva je podloga na osnovu koje se donose odluke u razvoju, proizvodnji i primeni maziva. Ispitivanja po kojima se određuju fizičko-hemijska svojstva maziva navedena su u specifikacijama, a realizuju se klasičnim metodama i raznim instrumentalnim tehnikama. Prednost instrumentalnih tehnika je u maloj količini uzorka, brzjoj analizi, ali zahteva posebno edukovano osoblje.

Tribološki sistemi

Centralna komponenta tribološkog sistema je mazivo čija je najznačajnija funkcija smanjenje trenja i trošenja koji se javljaju pri dodiru dve površine u relativnom kretanju. Kao podsistem tribološki sistemi integrisani su svuda u tehničke sisteme. Osim važnih primena u motorima s unutrašnjim sagorevanjem, zupčastim prenosima i hidrauličnim sistemima, postoji i veliki broj drugih primena. Zbog loše izvedenog tribološkog sistema ili neodgovarajuće primene, ako nije prilagođen za dotični sistem, može doći do komercijalnih gubitaka koji se mere u bilionima evra godišnje. Zbog toga značaj tribosistema nije samo u tehničkom smislu nego i u ekonomskom i ekološkom. Koncept budućeg uspešnog razvoja pokušava da poveže ekonomiju i ekologiju u celovit neprotivrečan sistem. Napredak tehnike i inovativna istraživanja to omogućavaju i to je osnova za intenziviranje ekoloških aspekata u budućim tehničkim subjektima.

Prepoznavanjem funkcije tribološkog sistema i bogatim razvojem materijala, opreme i metoda činilo se da su svi problemi u podmazivanju rešeni. Međutim, inženjerstvo podmazivanja i dalje ostaje aktivno. Razvoj tehničkih proizvoda zavisi od niza opštih i specifičnih zahteva.

Opšti zahtevi su: kompatibilnost (ekološka), visoka tehnička radna svojstva, efikasnost primene maziva, konstrukcije i materijala, te cena

maziva, odnosno ekonomičnost. Specifični zahtevi su: smanjenje potrebe za tečnostima/mazivima – kompenzacija materijalima, primena prirodnih ili hemijski modifikovanih prirodnih sirovina, proizvodnja maziva sa smanjenim troškovima, korišćenje baza podataka ili numeričkih metoda, štednja energije i prirodnih resursa.

Ekonomičnost maziva nije samo njegova nabavna cena već je to rezultat ocenjivanja celog niza svojstava. To su kompatibilnost (višefunkcionalna maziva), starenje i temperaturna stabilnost, interval zamene ulja, mogućnost recikliranja, troškovi zbrinjavanja, mere održavanja, investicija u mašinu a takođe i procenjivanje troškova rada, troškova skladištenja, mere kontrole emisije, mere očuvanja zdravlja i sigurnosti pri radu, jednostavnija procedura za dobijanje dozvole za primenu te smanjenje troškova za rešavanje uljnih zagađenja i čišćenja.

Cilj je da se razviju tribološki sistemi, manje štetni za okolinu koji će istovremeno imati i visoka radna svojstva. To je moguće ostvariti primenom novih materijala ili prevlaka na dodirnim površinama ili primenom maziva manje štetnih za okolinu i zdravlje s visokim radnim svojstvima. Osim toga, kompjuterizacija i razvoj numeričkih metoda, koje su alat za dizajniranje tribološkog sistema, te bogata baza podataka i nove metode održavanja i ispitivanja garantuju bolju primenu.

Životni vek i analiza maziva

Za praćenje promena radnih svojstava maziva na raspolaganju su brojne metode ispitivanja, bilo da se radi o konvencionalnim laboratorijskim tehnikama ili modernim instrumentalnim metodama. Bez obzira na raspoloživost brojnih metoda za dijagnostikovanje fizičko-hemijskih promena maziva, za stvaranje prave slike o stanju maziva iz sistema korisnika bitan je preduslov mogućnost dobijanja reprezentativnog uzorka. Stoga je od posebne važnosti pravilan način uzimanja uzorka. Ispravno uzorkovanje takođe uključuje i pažljivo označavanje uzorka.

Uz svaki uzorak potrebno je u dokumentovanom obliku priložiti i sve relevantne podatke, kao što su naziv korisnika, naziv maziva, oznaka uzorka, datum uzorkovanja, datum predaje uzorka, vrsta uređaja, količina maziva u sistemu, datum izmene, podaci o dolivanju, broj sati rada, radna temperatura, razlog dostavljanja uzorka, te eventualno i druge informacije koje mogu biti od koristi za lakše razumevanje konkretnog problema i konačnu interpretaciju dobijenih rezultata analize.

Ovi podaci, zajedno s dobijenim rezultatima analize, osnova su za konačnu interpretaciju stanja maziva, a samim tim i ocenu o daljnjoj upotrebljivosti, mogućoj intervenciji u održavanju zbog saniranja eventualno nastalog problema, a kod reklamacija utvrđivanje opravdanosti.

Degradacija svojstava maziva, odnosno stepen trošenja u toku primene ili ocena preostalog radnog veka, ispituje se različitim metodama. Određivanje stepena trošenja maziva može se realizovati modeliranjem ili eksperimentalno. Ocena istrošenosti najčešće nije jednoznačna i stoga se u praksi koriste različite metode u kombinaciji. U tu svrhu razvijaju se i nove metode koje će biti jednostavnije i brže, jer je bitno dobiti podatke što pre na mestu primene i to često na terenu. Zajednički nedostatak ovih metoda je što nisu standardizovane.

Mehanizam trošenja tribološkog sistema podmazivanja sastoji se od trošenja dodirnih površina i trošenja maziva. Ako dolazi do trošenja dodirnih površina, prisutne su čestice trošenja. Trošenje masti (reološko trošenje masti) ili drugih maziva je nepovratna promena svojstava maziva.

Za ocenu preostalog radnog veka maziva koriste se klasične metode, kao što su HPLC, FTIR, UV-spektroskopija, IPC i sl. Ovim metodama određuje se stepen oksidacije, sadržaj ulja, sadržaj aditiva, kiselinski broj, bazni broj, promena viskoznosti i sl.

Jedan od novih postupaka je metoda Linear Sweep Voltametry, LSV, koju su razvili SKF ECR i Fluitc. To je elektroanalitička metoda kojom se meri napon. Preostali aditiv reaguje hemijski sa smešom reagensa u rastvoru, uglavnom antioksidansi: ZDTP, PANA, BHT. Prednost je u tome što je postupak jednostavan: uzorkovanje, mešanje sa 5 ml reagensa, stavljanje u aparat i merenje. Dovoljna je mala količina uzorka (najviše 200 mg) i nije potrebno ekstrahiranje uljne faze s rastvorom. Kako je uređaj prenosiv, moguća je *in situ* analiza. Budući da je brza, metoda je pogodna za ispitivanje u eksploatacionim uslovima, posebno maziva za vozila, železnice i sl. BEQUIET TEST (SKF) ili određivanje bučnosti je metoda za merenje vibracija koje se javljaju zbog prisutnosti čestica. Pogodna je za ocenu kvaliteta maziva, a zatim i čistoće, te slabljenje svojstava. Poznato je da je debljina mazivog sloja ispod 1 mm, a svaka čestica većeg prečnika ometa miran rad tribosistema i uzrokuje razvoj buke. Prema ovoj metodi masti su svrstane u četiri gradacije:

- a) dirty (zagađen) – tvrdoća i veličina čestica nakon dodira ostavlja trajna oštećenja: povećanje buke i smanjenje radnog veka sklopa,
- b) noisy (bučan) – tvrdoća i veličina čestica koja može oštetiti površinu sklopa i koja povećava buku,
- c) clean (čist) – tvrdoća i veličina čestica će dati određene vibracije, ali nema trajnog oštećenja površine,
- d) quiet (tih) – najveći nivo čistoće, najmanje čestice, minimalna vibracija.

U prvu grupu jako retko ulazi sveže mazivo, već su to obično maziva pri radu. Drugu grupu daje samo nekoliko masti na tržištu: na osnovi ugušćivača ili krutog maziva (tipični primer neke Ca kompleksne masti). U treću grupu obično spadaju masti na osnovi poliuree koje prave aglomerate, ali oni

ne uzrokuju oštećenja. U četvrtu gradaciju ulazi samo nekoliko masti i to na osnovi Li sapuna, jer oni daju finu strukturu ili one masti koje su proizvedene u čistoj atmosferi. Ova metoda može se koristiti i pri razvoju masti kroz oceanu čistoće. Cilj je proizvesti što tišu mast sa što manjim padom svojstava.

Uticaj maziva na okolinu tokom primene

Napredak tehnologije doneo je i negativan uticaj na okolinu, pa danas svaka grana industrije sve više brine o tome kako njen proizvod deluje na okolinu, pa u tome i industrija maziva nije izuzetak. Jedan od velikih izvora zagađenja su korišćena ulja. Zagađivanje korišćenim uljima aktuelan je problem, a posebno je izražen kada ih vlasnici (automobila, kamiona, poljoprivrednih mašina, itd.) sami nekontrolisano menjaju i odlažu. Korišćena ulja spadaju u kategoriju opasnog tehnološkog otpada, pa se njihovim propisnim odlaganjem sprečava moguće zagađenje okoline (tla, vode, mora) nastalo zbog njihovog nepravilnog odlaganja, odnosno mogućeg isticanja. Od ukupne svetske prerade nafte 1% se koristi za proizvodnju maziva. U zemljama Evropske unije oko 13%, a u Americi oko 32% upotrebljenih maziva završi u manje ili više izmenjenom obliku u okolini.

Sve vrste maziva smatraju se zagađivačima okoline. Otpadna maziva svrstana su među opasne, toksične i kancerogene otpadne materijale, zagađivače zemljišta, vode i atmosfere. Nosioci toksičnosti i kancerogenosti su, pre svega, produkti oksidacione i termičke razgradnje maziva. Procesi oksidacije maziva odvijaju se konstantno, ne samo tokom eksploatacije, već i tokom skladištenja, pri čemu nastaju kiseli produkti, smole i asfalteni. Pod uticajem visokih temperatura, uz katalitičko delovanje vrućih metalnih površina klipova i cilindara, nastaju štetni produkti koji sadrže policikličke arome (PCA) različitih potencijala kancerogenosti.

U nekim otpadnim uljima otkrivena je prisutnost polihloriranih bifenila (PCB), vrlo toksičnog i kancerogenog delovanja, koji razara imunološki sistem organizma. Pored toga, otpadna ulja sadrže azotne i sumporne okside, kao produkte sagorevanja goriva s kojima dolaze u dodir.

Nekontrolisano razlivanje otpadnih ulja opasno ugrožava okolinu narušavajući prirodnu ravnotežu. Posledice zagađenja okoline danas su očigledne: globalno zagrevanje naše planete je uzrok učestalih uragana, poplava, cunamija, suša, itd.

Korišćena maziva deluju vrlo štetno na okolinu, u prvom redu na zagađenost vode, a time i na zdravlje ljudi i vitalnost riba i bakterija. Najznačajnije je zagađivanje podzemnih, ali i površinskih voda, a prema nekim podacima, petina svih zagađenih voda potiče od otpadnih ulja. Koncentracija ulja u vodi od samo 1–2 mg po litri vodu čini nepitkom i štetnom po zdravlje. Još jedan vid opasnosti pojavljuje se pri spaljivanju otpadnih ulja

I i II kategorije. Kako korišćena ulja sadrže aditive na osnovu jedinjenja (sumpora, azota, fosfora, teških metala) i koks i gasovi sagorevanja su vrlo štetni za ljudsko zdravlje.

Uvođenje precizno definisane zakonske regulative u oblasti upravljanja otpadnim mazivima i jačanje ekološke svesti pomaže saznanju da je zaštita okoline, ma kako se činila skupom, još uvek jeftinija od cene sanacija nastalih šteta.

Od profesionalnih bolesti koje se javljaju pri radu s mazivima najčešće su dermatitis i respiratorne bolesti. Dermatitis ili oboljenje kože javlja se u tri oblika. To su: iritacija, hronična dermatitoza i alergija koje predstavljaju reakciju kože kao barijere organizma pri dodiru s mazivom. Respiratorne bolesti (astma, bronhitis) rezultat su delovanja uljne magle ili aerosola koji se razvijaju u pogonima delovanjem povišenih temperatura, visokih brzina i sl. Između maziva (magla, aerosol) i ćelije respiratornog sistema dolazi do hemijske reakcije.

Mere zaštite kože mogu biti medicinske ili tehničke. Značajan deo medicinske zaštite je rano otkrivanje uzroka koji je esencijalan za sprečavanje budućih dermatitoza. Plan zaštite kože obuhvata izbor sredstava za zaštitu kože, za čišćenje, te negu kože prema specifičnostima radnog mesta. Od tehničkih mera najvažnije je sprečavanje dodira, a zatim primena zaštitne opreme: odela, rukavica, naočara i dr. Od posebne važnosti je izbor maziva manje štetnih za zdravlje, a zatim i mere održavanja.

Motorna ulja

Primarna uloga motornog ulja je podmazivanje pokretnih delova motora uz smanjenje trenja i habanja metalnih površina, te samim tim osiguravanje pravilnog rada motora i njegove dugovečnosti. Da bi se osigurao određeni kvalitet motornih ulja tokom proizvodnje i da gotovi proizvodi zadovoljavaju proizvodne specifikacije potrebno je poznavati fizičko-hemijske karakteristike motornih ulja.

Određena fizičko-hemijska svojstva značajna za kvalitet motornih ulja postižu se dodatkom aditiva baznim uljima. Najčešće su u uporabi aditivi za:

- poboljšanje indeksa viskoznosti (*impruveri*),
- sniženje tačke stišnjavanja (*depresanti*),
- održavanje čistoće motora (*deterdženti i disperzanti*),
- sprečavanje oksidacije (*antioksidanti*),
- sprečavanje korozije (*inhibitori korozije*).

Najvažnija karakteristika motornih ulja je viskoznost definisana kao mera unutrašnjeg trenja koje deluje kao otpor na promenu položaja molekula pri strujanju tečnosti kada se one nalaze pod dejstvom sile smicanja, odnosno to je otpor tečnosti na smicanje njenih čestica. Kada se tečnosti kreću, među njihovim česticama, kao i između čestica tečnosti i površine s kojima ona dolazi u dodir, nastaju sile trenja uzrokovane otporom teč-

nosti prema smicanju čestica, ali i zbog hrapavosti tih površina. Viskoznost je promenljiva veličina i zavisi od promene temperature i pritiska. Što je temperatura viša, viskoznost je manja, a tečnost ređa.

Indeks viskoznosti je empirijski broj koji pokazuje kako se viskoznost nekog ulja menja sa porastom ili sa sniženjem temperature. Visoki indeks viskoznosti označava relativno malu sklonost ka promeni viskoznosti s temperaturom, za razliku od nižeg indeksa viskoznosti koji znači veliku promenu viskoznosti s temperaturom. Računski se dobija na osnovu vrednosti viskoznosti određenih metodom ASTM D 445 pri 40 i 100°C.

Multigradna motorna ulja uz veći broj dodataka, aditiva, uvek sadrže i aditive za povećanje indeksa viskoznosti – poboljšivača indeksa viskoznosti. Ti aditivi su posebne vrste polimernih supstanci, koje i u malim koncentracijama znatno poboljšavaju njihova reološka svojstva, posebno viskoznost i indeks viskoznosti. Međutim, tokom eksploatacije motornog ulja dolazi do razgradnje, kidanja polimernih molekula poboljšivača indeksa viskoznosti, smanjenja njihove molekularne mase, što dovodi do pada viskoznosti i smanjenja debljine uljnog sloj, te izaziva neželjene pojave trenja i trošenja. Smicajna stabilnost poboljšivača indeksa viskoznosti, odnosno otpornost polimera na mehaničku degradaciju pod delovanjem smicajnog naprezanja određuje se merenjem pada viskoznosti nakon višekratnog prolaska ulja kroz brizgaljku. Specifikacije motornih ulja definišu minimalnu vrednost viskoznosti ulja nakon smicanja.

Uvođenjem novih ACEA i API specifikacija došlo je do promene u zahtevu za određivanje smicajne stabilnosti motornih ulja koju su prihvatili i proizvođači motora i vozila. Radi što bolje korelacije s rezultatima iz eksploatacije motornih ulja definisano je da se određivanje smicajne stabilnosti u normiranom uređaju produži s dosadašnjih 30 na 90 ciklusa prolaska ulja kroz brizgaljku.

Dijagnostika složenih tehničkih sistema na primeru motornih vozila

Vozila spadaju u vrlo složene tehničke sisteme intenzivnih i različitih uslova eksploatacije. Nova vozila su opremljena kao pokretne laboratorije koje ne oskudevaju u broju i vrsti podataka. Iz ekoloških razloga vozila su dobila sisteme za OBD dijagnostiku u vozilu (On Board Diagnostics). Kada im se dodaju još neke informacije onda postoje uslovi za formiranje FSS (Fleksibilnih Servisnih Sistema) [1].

Jedan od glavnih problema razvoja OBD sistema, narednih generacija (OBD III), jesu inteligentni senzori i davači. Do skoro je postojao problem sa nepouzdanim davačima. Novi davači dobili su još jedan dodatni signal za praćenje korektnosti funkcija davača i senzora. Takvi inteligentni senzori postali su merni sistemi kod kojih se na strani senzora nalazi

ukupna obrada signala tako da upravljačka jedinica samo kontroliše izvršne organe. Kontroleri takvih inteligentnih senzora sve više koriste napredne tehnologije zasnovane na neuronskim mrežama.

Nekada je bilo nezamislivo da se za ovako složene tehničke sisteme, kao što su vozila, propiše dozvoljeni broj zastoja ili otkaza. Najveći svetski proizvođač General Motors Company je još tokom 80-tih godina doneo interni standard za kvalitet vozila. Na tržištu ostaju samo oni čija gornja granica grešaka ne prelazi dogovorenu vrednost. Danas je ta granica 1%, a iznad 2% obavezno je prijavljivanje u servise i opoziv serije [1].

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 [2], [3], [4], [6].

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.

Kao deo zajedničke proaktivne strategije održavanja hidrauličnih i sistema za podmazivanje u poslednje vreme se uvodi takozvani on-line monitoring. To je kombinacija mernih postupaka, kod kojih se analizirani uzorak dovodi u merni instrument direktno iz sistema, a rezultati analiza se kontinuirano kontrolišu.

Savremeni trendovi dijagnostike poslednjih godina idu u pravcu afirmacije monitoringa ulja, što ima za posledicu porast interesovanja i proizvođača i korisnika ulja. Razlozi za to, pre svega, leže u povećanju pouzdanosti, efektivnosti, ekonomičnosti i, u novije vreme, sve više prisutne zaštite životne sredine.

Tribomehanički sklopovi motora SUS

Realni sistemi predstavljaju složene tribomehaničke sisteme. Uslovi u kojima se nalaze elementi tribomehaničkih sistema su veoma složeni i određeni su u velikoj meri odgovarajućim karakteristikama maziva. Složenost uslova određena je [5]:

- temperaturom elemenata u kontaktu i temperaturom maziva,
- spoljašnjim opterećenjem (odnosno specifičnim pritiskom u zoni kontakta),
- dinamičkim karakterom ostvarivanja kontakta i prenosa snage i kretanja i dr.

Vozilo kao tehničko sredstvo predstavlja skup veoma složenih tribomehaničkih sistema sastavljenih od niza podsistema koji predstavljaju tačke složene tribomehaničke sisteme. Čine ih svi sklopovi koji učestvuju u prenosu snage, odnosno obrtnog momenta od motora, preko sklopova transmisije (menjača, razvodnika pogona, diferencijala i ostalih sklopova), do izvršnih organa vozila [5].

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.

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 glavni su faktori realizacije monitoringa ulja.

Analiza sadržaja različitih metala prisutnih u mazivu je veoma značajna. Čestice metala su abrazivne, a ponašaju se i kao katalizatori oksidacije ulja. Elementi u motornim uljima mogu poticati iz aditiva, od habanja, iz goriva, iz vazduha i tečnosti za hlađenje. Metali iz aditiva mogu biti Zn, Ca, Ba, ili Mg i ukazuju na istrošenost aditiva. Metali koji potiču od habanja su: Fe, Pb, Cu, Cr, Al, Mn, Ag, Sn i ukazuju na povećano habanje u tim sklopovima. Elementi koji potiču iz rashladne tečnosti su Na i B, a povećani sadržaj ukazuje na prodor rashladne tečnosti u mazivo. Povećan sadržaj Si ili Ca, koji potiču iz vazduha, ukazuje na neispravnost filtera za vazduh.

Habanje delova je glavni uzročnik neispravnosti u procesu eksploatacije mehaničkih sklopova vozila. Za habanje je karakteristična promena oblika i dimenzija delova radnih površina. Zbog trenja dolazi do trošenja površina, što se odražava kroz povećanje zazora pokretnih delova i promenu međusobnih odnosa, što ima za posledicu narušavanje propisanih međusobnih odnosa, kako sklopova, tako i vozila u celini.

Dijagnostika tribomehaničkih sistema kod motornih vozila predstavlja deo ukupnog procesa upravljanja poslovima 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 na to da je određivanje izgleda, oblika i veličine čestica produkata habanja, stanja maziva i uslova podmazivanja od vitalnog značaja u procesu održavanja.

Upravo je monitoring ulja za podmazivanje tokom eksploatacije jedan od najznačajnijih postupaka koji uključuje dijagnostiku stanja tribo-

mehaničkog 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.

Korišćenjem programa za analizu ulja u slučaju motornih ulja osigurava se nekoliko prednosti: smanjenje neplaniranog vremena otkaza vozila, poboljšanje pouzdanosti vozila, što je od koristi prilikom organizovanja efikasnog plana održavanja, produženje radnog veka motora, optimiziranje intervala zamene ulja i smanjenje troškova održavanja vozila.

Ispitivanje motornog ulja u toku eksploatacije

Ispitivane su fizičko-hemijske karakteristike ulja u skladu sa standardnim metodama koje su prikazane u tabeli 1 [3]. Analiza je vršena na svežem (novom) ulju i uljima koja su korišćena u sklopovima motora vozila. Ispitivanje korišćenih uzoraka vršena su u skladu sa zajednički definisanim kriterijumima kvaliteta za korišćena ulja.

Granice dozvoljenih odstupanja vrednosti pojedinih karakteristika ulja uslovljene su vrstom ulja, radnim uslovima i internim preporukama proizvođača maziva i korisnika. Limitirane vrednosti karakteristika ulja koje uslovljavaju izmenu uljnog punjenja iz motora prikazane su u tabeli 2 [3]. One predstavljaju kriterijume za izmenu uljnog punjenja. Odstupanje samo jedne karakteristike uslovljava izmenu uljnog punjenja, bez obzira na to o kojoj karakteristici se radi.

Tabela 1

Primenjeni testovi i metode za ispitivanje fizičko-hemijskih karakteristika [7]

Table 1

Implemented tests and methods for examining the physico-chemical characteristics of oil [7]

Karakteristika	Metoda ispitivanja
Gustina, gr/cm ³	JUS B.H8.015
Kinematska viskoznost, mm ² /s	JUS B.H8.022
Indeks viskoznosti	JUS B.H8.024
Tačka paljenja (°C)	ISO 2592, ASTM D 92
Tačka tečenja (°C)	ISO 3016
Penušanje, ml/ml: 24°C; 94°C; 24°C	ASTM D892
Sadržaj vode, mas. %	ASTM D 95
TBN, mgKOH/g	ASTM D 2896
Nerastvorene materije u n-pentanu, %	ASTM D 893
Nerastvorene materije u benzenu, %	ASTM D 4055
Sadržaj Fe, %	ASS

Dozvoljene vrednosti odstupanja fizičko-hemijskih karakteristika novog i korišćenog ulja [7]

Tabela 2

Table 2

Allowed values deviation of physico-chemical characteristics of new and used oil [7]

Fizičko-hemijske karakteristike ulja i produkti habanja	Maksimalno dozvoljena odstupanja
	Motorna ulja
Viskoznost na 40°C i 100°C, mm ² /s	20%
Indeks viskoznosti, %	± 5%
TBN, mg KOH/gr	pad do 50%
Tačka paljenja, °C	20%
Sadržaj vode, %	0,2%
Nerastvorne materije u pentanu, %	3,5
Nerastvorne materije u benzenu, %	2,5
Produkti habanja – Sadržaj Fe, ppm	100 ppm
Produkti habanja – Sadržaj Cu, ppm	50 ppm

Poreklo pojedinih elemenata u korišćenom motornom ulju (tabela 3) može da bude iz aditiva (Zn, Ca, Ba i Mg), od produkata habanja (Fe, Pb, Cu, Cr, Al, Mn, Ag i Sn) i kontaminata koji potiču iz goriva, vazduha i tečnosti za hlađenje (Na, B, Si i Ca).

Poreklo pojedinih elemenata u motornom ulju [7]

Tabela 3

Table 3

The origin of certain wear elements in the motor oil [7]

Elementi	Poreklo
Fe	Košuljice cilindra, klipni prsten, ležaj rukavca vratila, podizač ventila, bregasta osovinica, kolenasto vratilo
Al	Klip, Al-Sn ležajevi, turbokompresor
Ag	Posrebrani delovi, ležajevi, osovinice
Cr	Hromirani delovi, klipovi, cilindri, podizač ventila, izduvni ventil, klipnjača
Cu	Cu-Pb ležajevi, čaure ležajeva, hladnjak ulja, bregasta osovinica, razvodni mehanizam (ventili sa sistemom za otvaranje i zatvaranje), brizgaljka, regulator
Pb	Cu-Pb ležajevi, benzin, aditivi
Sn	Delovi od bronzne, ležajevi, klipovi
B	Antifriz
Na	Antifriz
Ca	Iz atmosfere
Si	Prašina iz atmosfere
Zn, Mg, Mo	Iz aditiva

Ispitivanje je izvršeno na vozilu u koje 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. Tehnički podaci motora prikazani su u tabeli 4.

U tabeli 5 prikazani su rezultati ispitivanja korišćenih uzoraka ulja.

Tehnički podaci motora Mercedes-Benz, tipa OM 906 HLA

Tabela 4

Technical data for Mercedes-Benz engine, type OM 906 HLA

Table 4

Motor marke Mercedes-Benz, tipa OM 906HLA	
Način rada	četverotaktni, turbo dizel (EURO 2)
Broj i raspored cilindara	6, linijski
Radna zapremina motora, litri	8,5
Stepen kompresije	23 : 1
Nazivna snaga pri 2100 min ⁻¹ , KW	180
Maksimalni obrtni moment, pri 1100 min ⁻¹ , Nm	1050

Rezultati ispitivanja korišćenih uzoraka ulja iz motora razmatranog m/v

Tabela 5

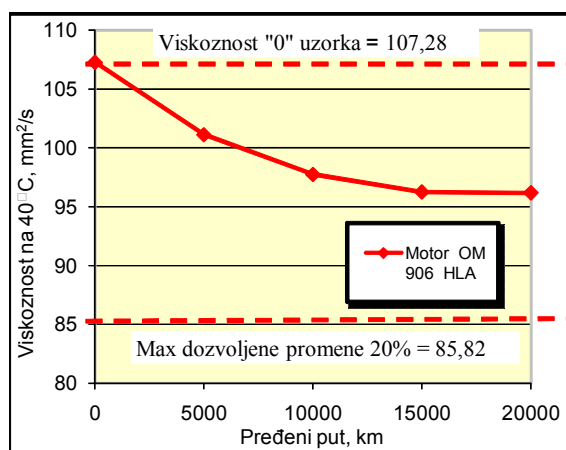
Results of testing the samples of used oil from the examined vehicle engine

Table 5

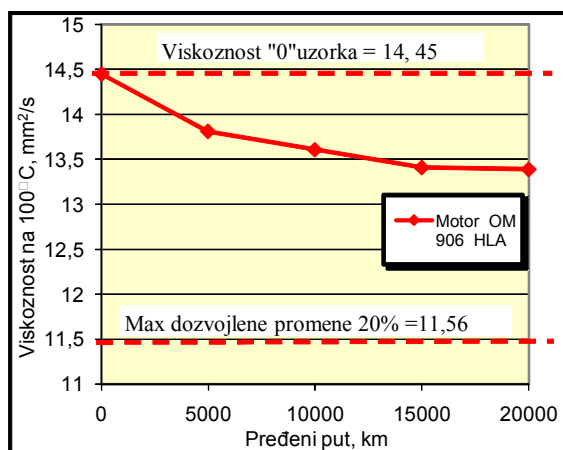
Karakteristika	Pređeni kilometri				
	0 uzorak	5000	10000	15000	20000
Gustina na 15°C, g/cm ³	0,882	0,883	0,884	0,884	0,885
Viskoznost na 40°C, mm ² /s	107,28	101,12	97,75	97,42	96,17
Viskoznost na 100°C, mm ² /s	14,45	13,81	13,61	13,60	13,39
Indeks viskoz.	138,0	138,0	140,0	140,0	139,0
Tačka paljenja, °C	202	200	192	188	186
TBN, mg KOH/g	8,50	7,20	6,09	5,85	4,24
Sadržaj vode, %	0	0	0	0	0
Nerastvoreno u pentanu, [%]	0,07	0,07	0,07	0,08	0,29
Nerastvoreno u benzenu, %	0,13	0,15	0,14	0,17	0,35
Izgled	teško proziran	neproz.	neproz.	neproz.	neproz.
Boja	ASTM D 8,0	crna	crna	crna	crna
Sadržaj Fe, ppm	5,8	23,0	25,2	29,6	92,8

U motoru je korišćeno 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 20.000 km. Analizom je ustanovljeno da su promene

karakteristika motornog ulja očekivane i da se kreću u okviru dozvoljenih granica. Ispitivanje je realizovano periodičnim uzimanjem uzoraka ulja iz motora navedenog vozila. Osim svežeg ulja („nulti“ uzorak), uzeti su uzorci nakon 5.000 km, 10.000 km, 15.000 i 20.000 km. Nakon pređenih 20.000 km izvršena je zamena uljnih punjenja u motoru vozila.



Slika 1 – Promena viskoznosti na 40°C
Figure 1 – Change of viscosity at 40°C

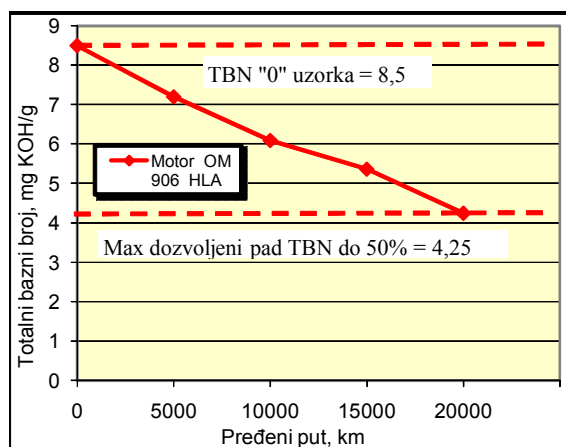


Slika 2 – Promena viskoznosti na 100°C
Figure 2 – Change of viscosity at 100°C

Na slikama 1 i 2 prikazana je promena viskoznosti na 40°C i 100°C. Vidljiv je pad viskoznosti tokom pređenih prvih 5.000 km, a nakon ovog perioda viskoznost ostaje približno konstantna do kraja intervala izmene

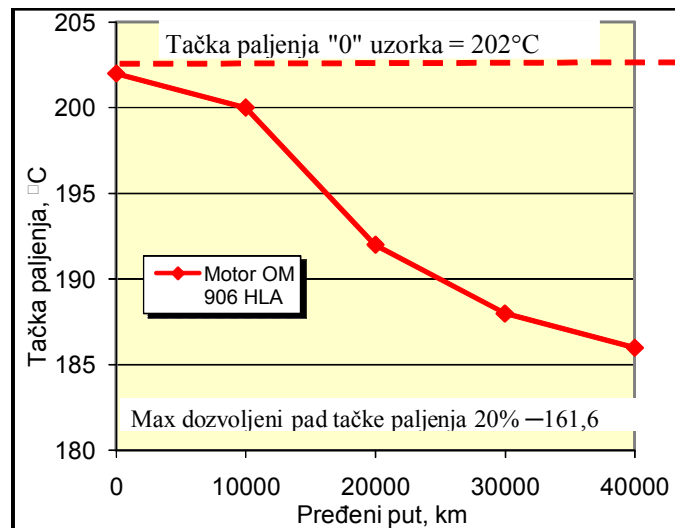
uljnog punjenja. Međutim, pad viskoznosti za celokupan period eksploatacije ulja je 10,3% (na 40°C), odnosno 7,3% (na 100°C), što je daleko ispod dozvoljene granice od 20% (tabela 2). Inače, pad viskoznosti ukazuje na prisustvo goriva u ulju (uzrok nefunkcionalnost sistema za napajanje gorivom ili neadekvatni uslovi eksploatacije motora).

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 došlo do pada totalnog baznog broja (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.



Slika 3 – Promena TBN
Figure 3 – Change of TBN

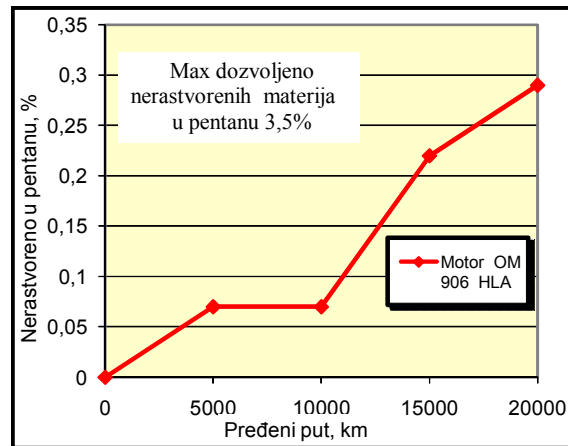
Na slici 3. prikazana je promena totalnog baznog broja (TBN). TBN predstavlja meru alkalnosti motornog ulja, tj. sposobnosti deterdžentnih ulja za neutralizacijom kiselih materija i zaštita motora pre i posle eksploatacije. Do pređenih 15.000 km vrednost TBN-a nije prekoračila dozvoljene granice. Daljnjim korišćenjem motornog ulja pad vrednosti TBN-a bio je 57,85%, što je iznad dozvoljene granice od 50%. Posle pređenih 20.000 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 15.000 km, a može biti uzrokovan i nepotpunim sagorevanjem.



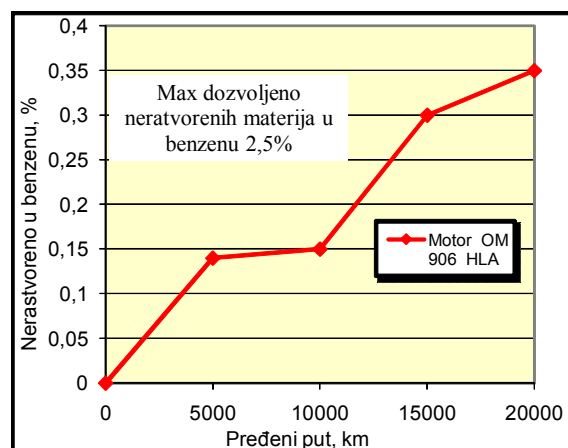
Slika 4 – Promena tačke paljenja
Figure 4 – Change of the Flash point

Tačka paljenja je podatak koji pokazuje kod koje temperature dolazi do paljenja otvorenim plamenom pare koja se stvara zagrevanjem ulja. Kod motornih ulja analizom tačke paljenja utvrđuje se prisustvo goriva u ulju, koje je posledica lošeg rada motora (loš rad brizgaljki). Snižavanje tačke paljenja ukazuje na prodor goriva. Na slici 4 prikazana je promena tačke paljenja motornog ulja. Uočljiv je pad tačke paljenja, koji do kraja eksploatacionog ispitivanja iznosi 8% i nije prekoračio dozvoljene granice (20%, tabela 2). To ukazuje da nije došlo do značajnijeg prodora goriva u sistem za podmazivanje motora navedenih vozila.

Nerastvorni ostaci nastali nakon tretmana sa pentanom su oksidacioni produkti i mehaničke nečistoće, dok su nerastvoreni ostaci nastali nakon tretiranja benzenom 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 2 (maksimalno nerastvoreno u pentanu 0,29%, a prema tabeli 2, dozvoljeno je do 3,5%; maksimalno nerastvoreno u benzenu 0,35%, a prema tabeli 2 do 2,5%). Grafički prikaz promene vrednosti nerastvorenih materija u pentanu i benzenu prikazan je na slikama 5. i 6.



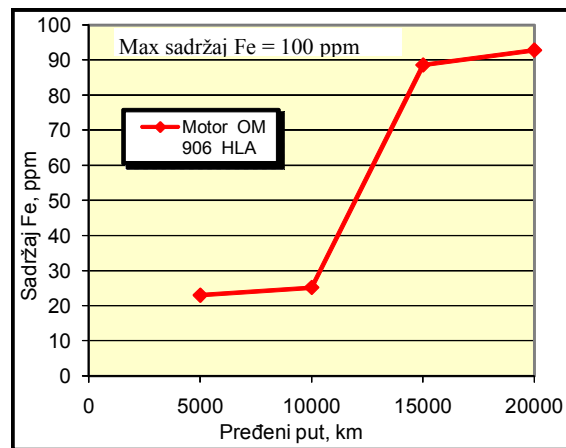
Slika 5 – Promena količine nerastvorenih materija u pentanu
Figure 5 – Change of the amount of insoluble substances in pentane



Slika 6 – Promena količine nerastvorenih materija u benzenu
Figure 6 – Change of the amount of insoluble substances in benzene

Sadržaj gvožđa (slika 7), kao produkta habanja, u uljnom punjenju do kraja eksploatacionog ispitivanja imao je rastući trend i na poslednjem uzorkovanju, nakon 20.000 km, iznosio je 37,4 ppm (92,8%) od maksimalno dozvoljene vrednosti. Ustanovljeni sadržaj gvožđa ukazuje na to da se habanje u tribomehaničkim sklopovima motora iz kojih je vršeno uzorkovanje ulja nalazi u okviru dozvoljenih granica.

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 kafe do bele boje, a za više desetina procenata vode nastaje emulzija vode i ulja koja prelazi u pihijastu masu.



Slika 7 – Promena sadržaja Fe u motornom ulju
Figure 7 – Change of the Fe content in motor oil

Zaključak

Težište eksperimentalnog istraživanja, realizovanog u ovom radu, usmereno je na mazivo, kao nosioca informacija o stanju sistema u celini. Ispitivanja sprovedena na motorima vozila, koji su identifikovani kao tribomehanički sistemi, pokazala su da se u najvećem broju slučajeva promena funkcionalnosti elemenata i kompletnog sistema iskazuje kroz promene osobina maziva. To potvrđuje da se promena fizičko-hemijskih karakteristika uljnog punjenja može usvojiti za ocenu stanja sistema.

Realizovanim ispitivanjima konstatovano je da dolazi do promena fizičko-hemijskih karakteristika ulja za podmazivanje u motoru vozila. Ove promene su u direktnoj zavisnosti od stanja svih elemenata tribomehaničkog sistema, odnosno u zavisnosti od njihovih funkcionalnih karakteristika.

Produženje intervala upotrebe motornog ulja bez kontrole stanja je vrlo rizično i može imati sledeće posledice: slepljivanje klipnih prstenova, izgorele i lakom prekrivene klipove, brzo trošenje ležajeva, izgorele ventile i konačno zaribavanje motora.

Literatura

[1] Pešić, R., Veinović, S., Pavlović R., „Dijagnostika složenih tehničkih sistema na primeru motornih vozila“, Traktori i pogonske mašine, Vol. 6, No. 3. pp. 79–87, 2001.

[2] Perić, S., „Doprinos razvoju metoda dijagnostike stanja sa aspekta fizičko-hemijskih i triboloških karakteristika ulja kod motornih vozila“, doktorska disertacija, Beograd, 2009.

[3] Perić, S., Nedić, B., „*Monitoring oil for lubrication of tribomechanical engine assemblies*“, Journal of the Balkan tribological association, Volume 16, pp. 242–257, University of Sofia, Bulgaria, 2010.

[4] Perić, S., Nedić, B., Vuruna, M., „*Monitoring Physical and Chemical characteristics Oil for Lubrication*“, Journal Tribology in industry, University of Kragujevac – Faculty of Mechanical Engineering, Vol. 31, No. 3–4, pp. 59-66, December 2009.

[5] Perić, S., Nedić, B., Vuruna, M., Pešić, Z., 12-14 June 2008., „*Contribution to diagnostics of technical condition tribology assemblies transmitters of vehicles*“, 6thInternational conference on tribology, BALKANTRIB '08, Sozopol, Bulgaria, pages BT-095-1 – BT-095-4.

[6] Perić, S., Nedić, B., Dakić, P., 03–05. 10. 2011., „*Possibility of application of tribometric investigations in diagnostics tribology assemblies of vehicles*“, 7thInternational conference on tribology, BALKANTRIB '11, Solun, Grčka.

[7] Perić, S., 2010., „*Monitoring stanja kroz testove analize ulja*“, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 58, No. 4, pp. 102–133.

MONITORING LUBRICANT PERFORMANCES IN FIELD APPLICATION

FIELD: Mechanics, Motors and Motor Vehicle

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

Summary

The need for more effective maintenance and possibility of continuous exploitation of equipment has developed numerous strategies and methods for machinery maintenance. The maintenance strategy by condition, that requires continuous monitoring and equipment overlook, has initiated the development and use of lubricant analysis.

Monitoring the performance of lubricants in practical application has multiple significance for both the consumer and the lubricant manufacturer. The primary significance for the consumer is extended life and timely change of lubricants, which keeps the costs of maintenance down. The lubricant manufacturer gains by creating a partner relationship with the consumer, as well as creating the possibility of gathering information about the performance of his product which will serve as a foundation for the further improvement and development of his product.

If we wish to maintain technical systems so that they have as little halts and costs caused by halt removal or system failure as possible, we must monitor data indicating equipment condition throughout the system operation. It is especially difficult to obtain data on equipment condition for parts which cannot be observed due to their position. In such cases, oil analysis enables a continuous equipment condition monitoring and timely response in order to prevent undesirable prolonged halts.

Introduction

The need for more effective maintenance and possibility of continuous exploitation of equipment has developed numerous strategies and methods for machinery maintenance. The maintenance strategy by condition, that requires continuous monitoring and equipment overlook, has initiated the development and use of lubricant analysis.

Monitoring the performance of lubricants in practical application has multiple significance for both the consumer and the lubricant manufacturer. The primary significance for the consumer is extended life and timely change of lubricants, which keeps the costs of maintenance down. The lubricant manufacturer gains by creating a partner relationship with the consumer, as well as creating the possibility of gathering information about the performance of his product which will serve as a foundation for the further improvement and development of his product.

The tribological systems

By recognizing the function of the tribological system and through a rich development of materials, equipment and methods, it seemed that all the problems associated with lubrication had been resolved. However, lubrication engineering still remains active. The goal is to develop tribological systems that will be less environmentally harmful, while at the same time having high technical performances. Development of technical products is dependent on a number of both general and specific requests. General requests are: (environmental) compatibility, high technical performances, application efficiency of lubricants, structure and materials, and lubricant price i.e. economical character.

Specific requirements are: reduced need for fluids/lubricants – compensation by materials, application of natural or chemically modified natural stocks, production of lubricants at reduced cost, use of databases or numerical methods, saving of energy and natural resources. The lubricant economical character does not entail only its purchase price, but is also the result of evaluating a series of properties. These are compatibility (multifunctional lubricants), ageing and temperature stability, oil change interval, possibility of recycling, management costs, maintenance measures, investments into machinery, and also estimation of operating and storage expenses, emission control measures, health protection and occupational safety measures, simpler procedure for obtaining approvals for application, and reduction of costs for managing oil spills and their cleanup.

The goal is to develop tribological systems that are less environmentally harmful, while at the same time offering high performances. This is possible to achieve by applying new materials or coats over the contact surfaces or by applying less environmentally and health hazardous lubricants with high performances. Apart from that, development of information technology and numerical methods as tools for designing a tribological system, as well as a rich database and new maintenance and testing methods, guarantee an improved application.

Lubricant service life and analysis

Degradation of lubricant properties i.e. a wear degree during application or evaluation of the remaining service life is tested by various methods. Determining a lubricant wear degree may be conducted through modelling or experimentally. Wear evaluation most frequently is not unequivocal, which is why, in practice, various methods are used in combination. For this purpose, new, simpler, methods are being developed, because it is important to obtain data as soon as possible on the very application spot, which is very often in field. A common drawback of these methods is that they have not been standardized. The wear mechanism of a tribological lubrication system consists of the wear of contact surfaces, and lubricant consumption. If there is wear of the contact surfaces, there are wear particles present. Grease wear (rheological grease wear) or wear of other lubricants is an irreversible change of their properties. In order to evaluate the lubricant remaining service life, classical methods are used, such as HPLC, FTIR, UV –spectroscopy, IPC, etc. These methods determine the oxidation degree, oil content, additive content, acid number, base number, viscosity change, and the like. Among new procedures, there is one, the Linear Sweep Voltametry method, LSV, developed by SKF ECR and Fluitc. It is an electroanalytical method measuring voltage. The remaining additive reacts chemically with the reagent compound, with, in the solvent, mostly antioxidants being present: ZDTP, PANA, BHT. The advantage lies in the simplicity of the procedure: sampling, mixing with 5 ml of a reagent, putting it into the tester and measuring.

Only a small volume of the sample is needed (up to 200 mg), and there is no need to extract the oil phase using solvent. Since the device is mobile, it allows for in situ analysis. Since it is fast, the method is suitable for field tests, especially when it comes to automotive and railway lubricants, and the like.

Impact of lubricants on the environment during application

All types of lubricants are considered as harmful contaminants to the environment. Waste lubricants are classified as dangerous, toxic and cancerogenic waste materials and soil, water and air contaminants. Toxicity and cancerogenicity are, primarily, based on the products of oxidation and thermal degradation of lubricants. Oxidation processes of lubricants are continuous, not only during exploitation, but also during storage. These processes produce acid products, resins and asphaltenes. Under the influence of high temperatures and along with the catalytic effect of hot metal surfaces of pistons and cylinders, harmful products containing polycyclic aromatics (PCA) of various cancerogenic potential are generated. In some waste oils the presence of polychlorinated biphenyls (PCB) has been identified with high toxicity and cancerogenic impact which destroys the immune system. Besides, waste oils contain nitrogen and sulfur oxides as products of fuel oxidation with which they are in contact.

Waste oils have a very harmful environmental impact, primarily in terms of water pollution, and hence also of human health, as well as that of fish and bacteria. Most considerable is the pollution of underground, but also surface waters, while – according to some data, one fifth of all polluted waters comes from waste oils. Oil concentration in water of merely 1-2 mg per litre already makes the water unfit for drinking and health hazardous. Another aspect of the danger appears when waste oils of first and second category are incinerated. Since waste oils contain additives based on compounds of sulphur, nitrogen, phosphorus and heavy metals, both ash and the incineration gases are most human health hazardous.

Engine oil

The primary role of engine oil is the lubrication of moving engine parts and reducing friction and wear of metal surfaces which provides the good engine performance and its long life. In order to provide a defined quality of engine oils during production and for final products to meet the product specifications we need to know the physico-chemical characteristics of engine oils.

Certain physico-chemical characteristics which are significant for the quality of engine oils are achieved by adding additives to base oils. The most frequent additives are for:

- Improving viscosity index (improvers),*
- Reducing pour point (depressants),*
- Maintaining engine cleanness (detergents and dispersants),*
- Preventing oxidation (antioxidants),*
- Preventing corrosion (corrosion inhibitors).*

Diagnostics of complex technical systems applied on motor vehicles

Vehicles are very complex technical systems which endure intense and different exploitation conditions. New vehicles are equipped as moving laboratories which do not lack data (in number and kind). Vehicles have gained OBD systems (On Board Diagnostics) because of ecological reasons. When some other information is added, there are conditions for forming of FSS (Flexible Service Systems).

The essence of diagnosis is based on the prognostication (recognition) of damage and/or failure through the characteristic diagnostic parameters. This allows prevention of the occurrence of delays, and increase reliability, economy, and usage life. Diagnosis of tribomechanical system can provide validation, working capacity and the functionality of the system, and to point out the place, form and cause of failure. Through the detection of symptoms to determine the value of the characteristic parameters and their comparison with the limit values it is possible to diagnose the system.

As a part of the common proactive strategy of the hydraulic systems maintenance, a concept of on-line monitoring has been introduced in practice recently. It is a combination of the measurement procedures, by which a sample of fluid to be analysed is taken directly from the system and the results of the measurements are shown continuously.

Modern trends of diagnosis in recent years go to the affirmation of the monitoring of oil, which has resulted in growth of interest of producers and users of oil. The reasons lie primarily in increasing the reliability, effectiveness, economy, and recently more and more present protection of the environment.

Tribomechanical engine assemblies

The vehicle as a technical mean is a set of complex tribomechanical systems composed of a range of subsystems that are also complex tribomechanical systems. They are composed of elements that participate in power transmission, (moment of force from the motor, over transmissions (power transmitter, differential and other systems), to executive organs of the vehicle.

If the engine assemblies are considered from the aspect of tribomechanical systems (e.g. assemblies piston-piston ring-cylinder, cam-valve lifter, bearing-journal bearing) defined by tribological processes, it can be shown that the determination of the content of wear products, content of contaminants, state of lubricants and lubrication conditions have a significant influence on the implementation of maintenance of these systems.

We should emphasize the importance of monitoring oil for lubrication of tribomechanical engine assemblies, which provides, in the early stages of the system functioning, identification of potential causes and phenomena that lead to damage and failure. Prognostication and detection of potential and/or current damage and failures in the system, checking the functionality of oil and determination of usage life are the main factors of the implementation of monitoring oil.

Using Oil Analysis programs for engine oils has several benefits: reduction of unscheduled vehicle downtime, improvement of vehicle reliability, help in organizing effectiveness of maintenance schedules, extension of engine life, optimization of oil change intervals and reduction of cost of vehicle maintenance.

Motor oil investigation during exploitation

The physico-chemical characteristics of oil in accordance with standard methods are examined, shown in Table 1. The analysis was done on the fresh (new) oils and oils that are used in the motor assemblies of vehicles. Testing of used samples was carried out in accordance with common criteria defined by the quality of used oil.

Allowable values of deviation limits of individual characteristics of the oil are conditioned by the oil type, working conditions and internal recommendations of the manufacturer of lubricants and users. The limited value characteristics of oils that condition the change of oil charging from the engine are given in Table 2. They represent the criteria for the change of oil charge. Deviation of only one source changes the characteristics of oil charge, no matter what the characteristics are about.

On the basis of all mentioned above, the following conclusions can be drawn:

- motor oil FENIX SUPERIOR, API SF-CD, gradation SAE 15W-40 is analyzed during the exploitation, and it achieves its primary function and meets the prescribed replacement interval of 20.000 km engine EURO 2 categories, which is found the characteristic analysis of physico-chemical properties of oil products and wear (Fe) during the exploitation;
- the fall of viscosity is evident during the first 5.000 km, and after this period, viscosity remains approximately constant until the end of the interval changes of oil charge. The maximum fall of viscosity during the exploitation of oil is significantly below the allowed limit of 20 %;
- after 20.000 km TBN value has exceeded the allowable limit for oil samples from the engine;
- the content of insoluble substances in the oil is negligible in comparison to the limit value, because there is no significant presence of oxidation products and mechanical impurities, insoluble substances such as coke, scale, dust, soot, particles originated from the wear contact area of the tribomechanical system in engines and other mechanical impurities;
- small decrease in flash point values shows that there was no significant penetration of fuel into the system for lubrication;
- content of iron is significantly below the allowable limits;
- the appearance of water in the samples is not found.

Conclusion

The main focus of the experimental research, realized in this paper, was put on the grease, as the information on the system as a whole. The tests conducted on the vehicle engines, which have been identified as tribomechanical systems, showed that in most cases the change of the elements functionality and the entire system is expressed through changes in lubricant characteristics. This confirms that the change of physico-chemical characteristics of oil charge can be adopted for the assessment of the system state.

During the realized investigations, it was concluded that changes appear in the physico-chemical characteristics of the lubricant in the engine. These changes directly depend on the condition of all elements of the tribomechanical system, i.e. on their functional characteristics.

The extension of the interval using motor oil without the monitoring of the state is very risky and can have the following consequences: mutual attachment of piston rings, burnt and mild covered pistons, quick spending of beds, burnt valves and finally jam engines.

Key words: monitoring, maintenance, Oil Analysis.

Datum prijema članka/Paper received on: 25. 11. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 20. 03. 2012.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 22. 03. 2012.