

1. MONITORING ULJA U EKSPLOATACIJI

Tokom upotrebe menjaju se tribološke osobine svih elemenata tribomehaničkog sistema. Čvrsti elementi trpe fizičke a mazivo fizičke i hemijske promene. Brzina degradacionih procesa i promena na svim elementima sistema zavisi od ukupnih uslova pod kojima se odvijaju tribološki procesi u tribomehaničkom sistemu. Pošto su trenje i habanje, dva glavna tribološka procesa, svih elemenata tribomehaničkog sistema (i maziva) uslovljeni istim okolnostima, postoji i može se utvrditi funkcionalna povezanost između njih i uslova rada. To je upravo faktor na kome se zasniva dijagnostika stanja maziva, a preko nje i dijagnostika stanja delova mehaničkog sistema.

Habanje čvrstih elemenata sistema je spor proces pa ga je teško pratiti, a osim toga teško je često zaustavljati sistem i rasklopiti ga radi merenja pohabanosti. Kontrola promena fizičko-hemijskih karakteristika ulja mnogo je lakša. Treba samo naći korelacije između promena pojedinih elemenata. To se može uraditi posmatranjem (eksperimentisanjem) na jednom karakterističnom sistemu. Za to je potrebno imati opremljenu laboratoriju i stručno osposobljene izvršioce.

U toku eksploatacije ulja menjaju se: hemijski sastav i osobine baznog ulja, hemijski sastav i osobine aditiva, a to znači i hemijski sastav ulja u celini, kao posledica kontaminacije i degradacije.

Najznačajniji kontaminanti ulja su: degradacioni proizvodi baznog ulja, degradacioni proizvodi aditiva, čestice metala koje postaju zbog procesa habanja, čvrste čestice koje u ulje dospevaju iz okoline, voda i produkti sagorevanja goriva.

U toku eksploatacije dešavaju se sledeće promene: kontaminacija ulja proizvodima sopstvene degradacije, nesagorelim gorivom, proizvodima nepotpunog sagorevanja goriva i kontaminantima različitog porekla.

Vrsta, osobine i poreklo kontaminanata ukazuju na prirodu i stepen promena. Ljuspičasti opiljci metala npr. ukazuju na habanje, dok zrnca različite veličine ukazuju na zamor materijala. Analiza hemijskog sastava metalnih čestica ukazuje na habanje određenog elementa tribomehaničkog sistema.

Postoje brojne mogućnosti za kontaminaciju ulja, a time i za njihovu degradaciju. Kontaminacija i degradacija ulja u eksploataciji ne mogu se potpuno sprečiti ali se mogu znatno usporiti, što je veoma važno i za ulje i za mehanički sistem. Brzina i stepen degradacije ulja upravo su proporcionalni brzini i stepenu kontaminacije. Zbog toga je važno sprečiti brzu kontaminaciju ulja pre i u toku upotrebe. Spektar kontaminanata ulja dosta je širok. Svaki kontaminant utiče destruktivno na ulje, umanjujući mu fizičko-hemijske i radne osobine, a konačne posledice su skraćanje veka ulja i mehaničkog sistema.

Na relaciji od proizvođača do korisnika ulja, postoji niz mogućnosti za njegovu kontaminaciju i degradaciju, nekada i do stepena neupotrebljivosti. Mogući kontaminanti su: benzin, dizel gorivo, neka druga ulja, voda, prašina i drugi atmosferski kontaminanti. Železničkim i autocisternama prenose se i goriva i maziva. Često se dešava da se prethodno transportovana roba ne istovari u potpunosti, pa će njome biti kontaminirana sledeća. Nije redak slučaj da u cisterni zaostane i izvesna količina vode posle pranja koja vrlo destruktivno utiče na ulje. Preventivne mere su: stručna i redovna kontrola čistoće cisterne pre utovara i obavezna kontrola kvaliteta ulja pre istovara (izgled, boja, miris, gustina, sadržaj vode, tačka paljenja, viskoznost).

Prilikom pretakanja ulja iz cisterne u skladište kupca, postoji mogućnost za kontaminaciju ulja ako je oprema za pretakanje zaprljana.

U toku skladištenja, ako je filter na odušku rezervoara oštećen, kroz njega će ući prašina, pesak ili slični abrazivni materijali. Zbog toga se filter mora često kontrolisati i po potrebi menjati.

U skladišnim rezervoarima, u njihovom praznom prostoru, uvek se sa vazduhom nalazi i vlaga. Sa promenom temperature vlaga se kondenzuje, sliva se niz zidove i sakuplja se na dnu rezervoara. U kontaktu sa uljem kondenzovana voda može lako i brzo da degradira ulje i da ga učini neupotrebljivim i pre upotrebe. Preventivnu meru predstavlja ugradnja grejača i održavanje temperature ulja oko 40°C. Na toj temperaturi vlaga se neće kondenzovati. Međutim, i pored toga, nivo vode u rezervoarima treba redovno kontrolisati i po potrebi ih drenirati.

Ako se bačve sa uljem skladište na otvorenom prostoru, u uspravnom položaju, može se dogoditi da "usisaju" vodu od kiše ili snega. Sa promenom temperature bačve "dišu", u njima se stvara vakuum, što je uslov za usisavanje vode ako se ona nalazi na poklopcu oko čepova. Preventivne mere su: skladištenje bačava u zatvorenim skladištima ili u horizontalnom položaju, tako da zapušači budu na horizontalnoj osi. Prilikom istakanja ulja iz bačava u kante ili druge posude, koje su vrlo često sumnjive čistoće, može doći do kontaminacije različitim zagađivačima. Prema tome,

posude kao primitivan način distribucije ulja po radionici ili pogonima, treba zameniti savremenim uređajima ili obavezno proveravati njihovu čistoću.

1.1. KRITERIJUMI ZA UTVRĐIVANJE STEPENA DEGRADACIJE ULJA

Za utvrđivanje stepena degradacije ulja koriste se različite dijagnostičke metode. Najpouzdanije rezultate daju laboratorijske analize ulja. Osim ove, postoje i metode koje se mogu izvoditi "na terenu" i koje su manje pouzdane (uljna mrlja, lubrisenzor i dr.). Na osnovu laboratorijskih analiza može se utvrditi stepen degradacije ulja i na osnovu toga doneti odluka da li je ulje za dalju upotrebu ili se mora menjati.

1. Izgled

Ne postoji metoda za definisanje izgleda korišćenog ulja, ali se dosta zna o tipičnom i netipičnom izgledu. Izgled može ukazivati da je potrebno uraditi neke analize – odrediti sadržaj vode, mehaničkih nečistoća itd. Boja bele kafe npr. ukazuje na prisustvo većih količina vode, a jako tamna boja ukazuje na termooksidativnu degradaciju ulja itd. Izgled ulja ima ograničenja, jer su ulja nove generacije, kod kojih je čađ suspendovana, tamna i neprovidna, čak crna. Golim okom se ne primećuju čestice manje od 40 mikrona.

2. Miris

Ne postoji standardna metoda za određivanje mirisa ali ako se oseća jak miris goriva u ulju, zna se da treba kontrolisati sistem za napajanje, kompresiju, sagorevanje itd. Ako je ulje bilo izloženo visokim radnim temperaturama, pa se dogodila termooksidativna degradacija, "težak" miris će ukazati na to.

3. Sadržaj vode (% v/v)

Metode: ASTM D95, ksilolna po Din Štarku, a ako je sadržaj ispod 0,1% onda po Karl Fischeru DIN 55777.

Voda u ulje može dospeti: curenjem iz sistema za hlađenje zbog oštećenih zaptivki, kroz pukotine u bloku motora, zbog nedovoljno pritegnute glave motora; kondenzovanjem zbog niske radne temperature i nedovoljne ventilacije. Dozvoljena količina vode u ulju je: za hidraulična ulja je 0,1%, a u motornom 0,2%. Destilacijom se može utvrditi prisustvo vode iznad 0,1%. Ako je sadržaj vode ispod 0,1%, prisustvo vode se može odrediti Karl-Fišerovom metodom koja je vrlo precizna i predstavlja najbolji test za niske nivoe vlage.

4. Gustina (kg/m^3 na 15°C)

Metode: ASTM D 1298, JUS B.H8.015, ISO 3675

Rezultat ove analize sam za sebe ne daje široke mogućnosti za procenu stanja – upotrebljivosti motornog ulja. Dozvoljena promena gustine je 10%.

5. Tačka tečenja ($^\circ\text{C}$)

Metode: ASTM D 97, ISO 3016

Rezultat ove analize može ukazati na prisustvo vode ili goriva.

6. Tačka paljenja ($^\circ\text{C}$)

Metode: ASTM D 92, ISO 2512, DIN 51376

Ovom analizom se utvrđuje prisustvo goriva u ulju. Prisustvo goriva u ulju može se povezati sa lošim radom karburatora ili brizgaljki. Snižavanje tačke paljenja ukazuje na prodor goriva. Dozvoljen pad tačke paljenja je 25 % ili minimalno 150°C .

7. Kinematička viskoznost (mm^2/s)

Metode: ASTM D 445, JUS B.H8.022

Sniženje viskoznosti može biti posledica mešanja sa uljem niže viskoznosti ili zbog prisustva goriva. Porast viskoznosti može biti posledica kontaminacije vodom, produktima habanja, prisustva čađi, produkata oksidacije, mešanja sa uljem više viskoznosti ili kao rezultat odparavanja. Za motorna ulja toleriše se porast viskoznosti do 30% ili pad do 25%.

8. Indeks viskoznosti

Metode: ASTM D 2270, JUS B.H8.024, ISO 2909

Ova analiza može biti od značaja jedino ako se radi o nepoznatom uzorku, da bi se izvršila identifikacija u smislu da li je ono monogradno ili multigradno.

9. Sadržaj goriva (% v/v)

Metode: ASTM D 322, ASTM D 3525

Razblaženje maziva benzinom određuje se na dva načina: destilacijom (ASTM D 322) i gasnom hromatografijom sa plamenojonizacionim detektorom (ASTM D 3525). Obe metode su kvantitativne, te daju procenat benzina u mazivu. Kod maziva za dizel motore, gde se kao gorivo koristi dizel, razblaženje gorivom se određuje gasnom hromatografijom (ASTM D 3524) uz ograničenje na maziva gradacije do SAE 30. Ova metoda bi mogla da se primeni i na maziva veće gradacije ali takva maziva nisu uzimana u razmatranje prilikom određivanja preciznosti metode. Granična vrednost kod razblaženja gorivom je oko 5%, ali je potrebno uzeti u obzir vrstu/tip goriva i uslove primene maziva, tako da se ova granična vrednost uzima sa rezervom.

10. Talog (% v/v)

Metoda: ASTM D 2273

Povećava viskoznost ulja i smanjuje mu disperzantsku i detergentsku efikasnost, zatvara prečistač ulja i sprečava protok, slepljuje klipne prstenove kod motora i prelazi u lak ili koks. Dozvoljena granica taloga za motorna ulja 1%.

11. Nerastvorne materije

Metoda: ASTM D 893 i ASTM D 4055

Nerastvorne materije mogu biti proizvodi degradacije ulja i kontaminanti (koks, prašina, organski oksidi, čestice metala nastale habanjem). Najčešće se određuju materije nerastvorne u pentanu i toluenu. Materije nerastvorne u pentanu su: čađ, koks, prašina, metali, i organski oksidi. Sve navedene materije nerastvorne su u toluenu osim organskih oksida i kondenzovanih ugljovodonika koji nastaju pri oksidaciji stvarajući lepljiv talog tamne boje, tako da razlika nerastvornih materija u pentanu i toluenu ukazuje na stepen oksidacije ulja. Slične rezultate daje analiza vode i sedimenata, ali se određivanjem nerastvornih materija može odrediti niži nivo kontaminacije. Toleriše se sadržaj do 3,5%. Metoda ASTM D 893 pokriva određivanje nerastvornih materija u mazivima, postupak A – nerastvorno u pentanu bez koagulanta, B- nerastvorno u pentanu i toluenu sa koagulantom. Ova dva postupka se ne mogu porediti, jer obično daju različite rezultate. Metoda ASTM D 4055 (membranska filtracija) pokriva određivanje nerastvornih materija u pentanu (čestice od 0,8 mikrona) u novom i korišćenom mazivu. Ovom metodom se mogu određivati i manje i veće čestice, ali je preciznost metode data samo za čestice od 0,8 mikrona. Ako se u tokom vremena vrednosti naglo povećavaju, znak je da motor nema dobro sagorevanje, da ima povećanog habanja ili da je neispravan filter za vazduh.

12. Ukupni bazni broj – TBN (mgKOH/g)

Metoda: ASTM D 2896

Ova analiza je bitna samo za motorna ulja i smatra se da ulje treba zameniti ako TBN padne za 50% od početne vrednosti. Ukupan bazni broj označava alkalnu rezervu ulja koje treba da neutrališe kisele produkte sagorevanja. Nagli pad ukazuje na loš kvalitet goriva.

13. Emisiona spektrofotometrijska analiza

Ovom analizom se određuje sadržaj različitih metala prisutnih u mazivu. Čestice metala su abrazivne a ponašaju se i kao katalizatori oksidacije ulja. U tabeli 1. dati su dozvoljeni sadržaji metala i silicijuma u korišćenom ulju. U motornim uljima, poreklo elemenata može biti 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 potrošenost 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. Povećan sadržaj Si ili Ca, koji potiču iz vazduha, ukazuje na neispravnost filtera za vazduh.

Tabela 1. Dozvoljene količine elemenata u korišćenom motornom ulju

Elementi	mg/kg (ppm)	Poreklo
Fe	100	Cilindri, klipovi, ležajevi, zupčanici, podizači ventila, bregasta osovina, kolenasto vratilo, osovine
Al	20	Klipovi, Al-Sn ležajevi, turbokompresor
Ag	2-3	Posrebreni delovi, ležajevi, osovinice
Cr	30	Hromirani delovi, klipovi, cilindri, podizači ventila, izduvni ventili, klipnjača

Cu	40	Cu-Pb ležajevi, čaure, hladnjak ulja, bregasta osovina, razvodni mehanizam (ventili sa sistemom za otvaranje i zatvaranje), brizgaljka, regulator
Pb	50	Cu-Pb ležajevi, benzin, aditivi
Sn	25	Delovi od bronce, ležajevi, klipovi
B	20	Antifriz
Na	20	Antifriz
Ca	50	Iz atmosfere
Si	40	Prašina iz atmosfere
Zn, Mg, Mo		Iz aditiva

14. Kiselinski broj –KB ili TAN (mgKOH/g)

Metoda: ASTM D 664

Ova analiza je posebno bitna za hidraulična, kompresorska, turbinska i druga ulja koja se koriste kod opreme osetljive na koroziju. Dozvoljava se porast TAN za 50% od početne vrednosti. Određivanjem ukupnog kiselinskog broja meri se porast kiselosti maziva u toku upotrebe. U toku primene mazivo je često u kontaktu sa vazduhom i na visokim temperaturama se delimično oksiduje. Brzina oksidacije se smanjuje pogodnim antioksidantima. Kad se ulje degradira uglavnom oksidacijom, nuzprodukti oksidacije su kiseli i daju kiselost ulju u poređenju sa početnom vrednosti, što povećava korozivnost. TAN je dobar indikator u pogledu pogodnosti ulja za dalju upotrebu i obično se povećava pregrevanjem ili kontaminacijom. Kod dizel motora, turbina i hidrauličnih sistema otpornost ka oksidaciji je vrlo bitna. Postepeno povećanje kiselinskog broja je uobičajena pojava, dok naglo povećanje ukazuje na spoljni izvor, odn. kontaminaciju. Ukupan kiselinski broj predstavlja količinu kalijum hidroksida (mg) potrebnu za neutralizaciju kiselina koje se nalaze u 1 gramu ulja (JUS ISO 6619). Kiselinski broj se može odrediti i kolorimetrijskom metodom ASTM D 974 kod svetlijih ulja.

15. Količine čestica u ulju

Broj čestica se može odrediti laserskom ili optičkom metodom. Laserska metoda daje količinu, veličinu i distribuciju čestica, dok optička metoda daje i identifikaciju. Često se koristi kombinacija obe metode. Rezultati određivanja količine pojedinih čestica se najčešće izražavaju po ISO skali čistoće. Tako se daje broj čestica od 5, 15 i 25 mikrona po ml ulju. Ako korisnik traži drugi način određivanja postoje još i NAS 1638, RN i Mil Std 1264 skale. ISO 4406 specificira 2 ili 3 opsega veličine čestica.

Veličina	Broj	Skala
>5	3620	19
>15	28	12

ISO = 19/12

Veličina	Broj	Skala
>2	11893	21
>5	3620	19
>15	28	12

ISO = 21/19/12

Često je gornja granica ISO 16/12 (NAS 8), mada se to ne može uzeti za sva maziva i uslove primene. Test se najčešće koristi za hidraulična ulja, a može se primeniti i za turbinska ulja ili bilo koji fluid gde je potreban efektivan filtracioni sistem koji se mora proveravati. Motorna ulja takođe imaju filtre ali su motori dizajnirani da podnesu visok nivo čestica kao što je čađ, tako da je bezpredmetno raditi ove testove na motornim uljima.

Produženje intervala upotrebe 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. Dozvoljena odstupanja fizičko-hemijskih karakteristika ulja u eksploataciji prikazana su u tabeli 3. U slučaju da makar i jedna karakteristika izađe iz dozvoljenog okvira, ulje se mora zameniti.

1.2. KONTROLA KVALITETA ULJA U TOKU EKSPLOATACIJE

Da bi izvršili kontrolu kvaliteta ulja u toku eksploatacije, odnosno da bi dobili validne podatke na osnovu laboratorijskih analiza, moraju se definisati fizičko-hemijske karakteristike ispitivanog ulja. Bez obzira na tačno urađene laboratorijske analize, podaci neće biti validni ako uzorak ulja nije uzet na propisan način u čistoj posudi. Zbog toga se moraju strogo poštovati pravila uzorkovanja:

1. Uzorak uzet uzvodno od filtera, rezervoara i pumpe

2. Nikad ne uzimati uzorak iz mrtvih linija ili ventila
3. Pre uzimanja uzorka uvek se mora uspostaviti cirkulacija i postići radna temperatura
4. Reprezentativni uzorak se uzima u čistu i suhu bocu. Uzorak mora biti propisno obeležen
5. Uzorak se uzima uvek na istom mestu, ako može u toku rada ili najduže 30 minuta posle rada
6. Mesto uzimanja uzorka se mora očistiti pre uzorkovanja
7. Redovno vršiti kontrolu prema preporuci proizvođača

Tabela 3: Laboratoriske analize uzoraka ulja iz eksploatacije

Vrste ulja	Tipično ispitivanje ulja iz eksploatacije
Motorna ulja	<ul style="list-style-type: none"> - Izgled - Kinematička viskoznost na 100⁰C - Totalni bazni broj – TBN - Kiselinski broj - TAN - Tačka paljenja - Sadržaj vode - Nerastvorne materije - FTIR analiza (čad, oksidacija, nitracija, sulfatacija, glikol, voda, gorivo) - Elementi habanja – sadržaj metala (Fe, Cu, Cr, Mo, Ni, Sn, Al)
Ulja za menjače i diferencijale	<ul style="list-style-type: none"> - Izgled - Kinematička viskoznost na 100⁰C - Kiselinski broj - TAN - Korozija – Cu traka - Penušanje - Tačka paljenja - Sadržaj vode - Nerastvorne materije - Elementi habanja – sadržaj metala (Fe, Cu, Cr, Sn)
Ulja za automatske menjače -ATF	<ul style="list-style-type: none"> - Izgled - Kinematička viskoznost na 100⁰C - Kiselinski broj - TAN - Korozija – Cu traka - Penušanje - Tačka paljenja - FTIR analiza - Sadržaj vode - Nerastvorne materije - Elementi habanja – sadržaj metala (Fe, Cu, Cr, Mo, Ni, Sn)
Kočione tečnosti	<ul style="list-style-type: none"> - Kinematička viskoznost na 100⁰C - Tačka ključanja - pH vrednost
Hidraulično ulje	<ul style="list-style-type: none"> - Izgled - Kinematička viskoznost na 40⁰C - Tačka paljenja - Demulzivnost - Penušanje - Kiselinski broj - TAN - Korozija – Cu traka - Čistoća ulja - Sadržaj vode - Elementarna analiza (P, Si, Cl, Zn) - Nerastvorne materije - FTIR analiza (oksidacija) - Elementi habanja – sadržaj metala (Fe, Cu, Cr, Pb, Mo, Ni, Sn, Al)
Ulje za industrijske zupčaničke prenosnike – Reduktorsko ulje	<ul style="list-style-type: none"> - Izgled - Kinematička viskoznost na 40⁰C - Tačka paljenja - Korozija – Cu traka

	<ul style="list-style-type: none"> - Sadržaj vode - Sadržaj mehaničkih nečistoća - Elementarna analiza (P, Cl, Zn) - Nerastvorne materije - Elementi habanja – sadržaj metala (Fe, Cu, Cr, Pb, Mo, Sn, Al) - Kiselinski broj – TAN - Čistoća ulja
Turbinsko ulje	<ul style="list-style-type: none"> - Izgled - Kinematička viskoznost na 40⁰C - Tačka paljenja - Deareacija - Demulzivnost - Penušanje - Korozija – Cu traka - RBOT - Sadržaj vode - Sadržaj mehaničkih nečistoća - Elementarna analiza (Si) - Nerastvorne materije - FTIR analiza (oksidacija) - Elementi habanja – sadržaj metala (Fe, Cu, Cr, Pb, Ni, Mo, Sn, Al) - Kiselinski broj – TAN - Čistoća ulja
Ulje za vazdušne i gasne kompresore	<ul style="list-style-type: none"> - Izgled - Kinematička viskoznost na 40⁰C - Tačka paljenja - Deareacija - Demulzivnost - Penušanje - RBOT - Sadržaj vode - Elementarna analiza (Si) - Nerastvorne materije - FTIR analiza (oksidacija) - Elementi habanja – sadržaj metala (Fe, Cu, Cr, Pb, Ni, Mo, Sn, Al) - Kiselinski broj – TAN - Čistoća ulja
Ulje za rashladne kompresore	<ul style="list-style-type: none"> - Izgled - Kinematička viskoznost na 40⁰C - Tačka paljenja - Kiselinski broj – TAN - Saponifikacioni broj - Čistoća ulja - Sadržaj vode - Elementarna analiza (Si) - Nerastvorne materije - FTIR analiza (oksidacija) - Elementi habanja – sadržaj metala (Fe, Cu, Cr, Pb, Mo, Ni, Sn, Al)
Ulje za prenos toplote	<ul style="list-style-type: none"> - Izgled - Kinematička viskoznost na 40⁰C - Tačka paljenja - Kiselinski broj – TAN - Sadržaj koksa po Conradsonu - Čistoća ulja - Sadržaj vode - Elementarna analiza (Si) - Nerastvorne materije - FTIR analiza (oksidacija)

Ulje za rezanje	<ul style="list-style-type: none"> - Izgled - Kinematička viskoznost na 40^oC - Tačka paljenja - Korozija – Cu traka - Elementarna analiza (Si) - Nerastvorne materije
Vodorastvorna sredstva za obradu metala	<ul style="list-style-type: none"> - Izgled - Koncentracija - Rezervna alkalnost - pH vrednost - Penušanje - Indeks refrakcije - Rđa (Herber test) - Elementarna analiza (Si) - Sadržaj izdvojenog ulja
Mazive masti	<ul style="list-style-type: none"> - Određivanje penetracije - Tačka kapanja - Korozija – Cu traka - FTIR analiza (oksidacija) - Elementi habanja – sadržaj metala
Rashladna tečnost - Antifriz	<ul style="list-style-type: none"> - Izgled - Tačka mržnjenja - Sadržaj vode - Rezervna alkalnost - pH vrednost - Penušanje - Sadržaj silicijuma (Si)