

Mr Mile Stojilković, dipl. ing.  
NIS – Rafinerija nafte Novi Sad  
Tel/Fax: +381 21 420 380  
Mobitel: +381 64 888 4636  
E-mail: [Mile.Stojilkovic@rns-nis.co.yu](mailto:Mile.Stojilkovic@rns-nis.co.yu)

## MONITORING MAZIVA

### Sažetak

Različiti mehanički sistemi zahtevaju da se odgovarajuće mazivo upotrebi na pravom mestu, u pravo vreme i u pravoj količini. Nije uvek lako odrediti vrstu maziva, učestalost podmazivanja i količinu maziva. Najbolje preporuke su: poštovati zahteve proizvođača mehaničkih sistema, iskustvo, laboratorijska ispitivanja ili saveti stručnjaka isporučilaca maziva. Racionalizacija potrošnje maziva predstavlja značajan zadatak, koji se uspešno može ostvariti pravovremenom zamenom maziva. Time se obezbeđuje maksimalni period zamene uz istovremeno dovoljno kvalitetno podmazivanje. S obzirom na primarnu ulogu maziva da redukuje negativne efekte triboloških procesa u pogledu trenja, habanja i rasta temperature u tribomehaničkim sistemima, svi vidovi održavanja uključuju podmazivanje kao veoma važan deo ukupne procedure. S druge strane, mazivo je, kao kontaktni element sistema, nosilac informacija o stanju celog sistema s aspekta triboloških i drugih procesa starenja. Zbog toga analiza ulja na bazi pravilno definisanog programa predstavlja veoma efektivan metod monitoringa stanja tehničkih sistema koji obezbeđuje rane upozoravajuće znake potencijalnih problema, koji vode ka otkazu i zastoju mehaničkih sistema. U strukturi sistema, osim mehaničkih komponenti stanje menja i samo mazivo, što vodi gubitku podmazujućih svojstava.

Imajući u vidu ovakav značaj problema u radu se iznose osnovni principi monitoringa stanja maziva, a posebna pažnja posvećena je dijagnostici stanja kontaminacije prisustvom produkata habanja.

**Ključne reči:** 1. Monitoring, 2. Održavanje

## LUBRICANTS MONITORING

### Abstrakt

Different mechanical systems require for the appropriate lubricant to be used at the appropriate place, at the appropriate time and in an appropriate quantity. It is not always simple to determine a type of lubricant, frequency of lubrication and the quantity of the lubricant to be used. Optimal recommendation would be to follow the specification of mechanical system manufacturers, experience, lab research or professional recommendation of lubricant suppliers. Rationalization of lubricants consumption represents significant task which can be obtained by on time oil replacement. That allows maximal period of use and on the same time appreciable quantity of lubrication. In regard with primary role of lubricant to reduce the negative effects of tribological processes related to friction, wear and increase of temperature in the tribomechanical systems, all types of maintenance include lubrication as a very important part of the whole procedure. On the other hand, lubricant is, as the contact element of the system, carrier of information about the state of the whole system, from the aspect of tribological and other ageing processes. Due to that, analysis of oils, based on properly defined program, represents a very effective method for monitoring the state of technical systems, which ensures early warning signals of potential problems that could lead to failure and break down of the mechanical systems. In the systems structure, besides the mechanical components, the state is also changed of the lubricant itself, what leads to loss of lubricating properties.

Bearing in mind such importance of the problem, in this paper are presented the fundamental principles of the program, as well as of the dominant role of monitoring of the lubricating oil state, special attention is devoted to diagnostics of the state of contamination due to presence of the wear products.

**Key words:** 1. Monitoring, 2. Maintenance

## UVOD

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 skraćenje veka ulja i mehaničkog sistema.

## KONTAMINACIJA ULJA PRE UPOTREBE

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 do 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 zapašaci budu na horizontalnoj osi. Prilikom istakanja ulja iz bačava u kante ili druge posude, koje su vrlo četo 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.

## KONTAMINACIJA ULJA U TOKU UPOTREBE

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 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.

## KRITERIJUMI ZA UTVRĐIVANJE STEPENA DEGRADACIJE ULJA

Za utvrđivanje stepena degradacije ulja koriste se različite dijagnostičke metode. Najpouzdanije rezultate daju laboratorijske analize ulja. 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. Izgled emulzije (boja bele kafe) ukazuje na prisustvo većih količina vode, a jako tamna boja ukazuje na termooksidativnu degradaciju ulja i prisustvo čađi.

### 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, a ako je sadržaj ispod 0,1% onda po Karl Fischeru DIN 55777.*

Voda predstavlja najveći kontaminant ulja. U sistem prodire na različite načine:

- kroz odzračne filtere
- zbog oštećenja elemenata sistema
- zbog kondenzovanja usled razlike temperatura

Voda izaziva veliki broj problema: istrošenost aditiva, starenje i oksidaciju ulja, pojavu korozije na elementima sistema, pojavu penušanja ulja, smanjenje debljine uljnog filma, pojavu kiselih produkata usled oksidacije ulja, uljni mulj itd. Neki aditivi vežu na sebe vodu i izdvajaju se zajedno s vodom pri njenom odvajanju iz ulja.

Dozvoljena količina vode u ulju je: za hidraulična ulja je 0,1%, turbinska 0,01%, motorna 0,2%, zupčanička do 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 ( $\text{kg/m}^3$ na $15^\circ\text{C}$ )

*Metode: ASTM D 1298, ISO 3675*

U toku korišćenja gustina ulja raste. Zavisno od polazne vrednosti dozvoljen je porast od 5 do 10%. Rezultat ove analize sam za sebe ne daje široke mogućnosti za procenu stanja – upotrebljivosti ulja. Mora se voditi računa da gustina novog ulja iste viskoznosti zavisi od porekla baznog ulja.

### 5. Tačka paljenja ( $^\circ\text{C}$ )

*Metode: ASTM D 92, ISO 2592, (COC – otvorena posuda);*

*ASTM D 93, ISO 2719, (PM – zatvorena posuda);*

Porast tačke paljenja ukazuje na proces starenja ili isparavanja lako isparivih komponenti. Prisustvo goriva u motornom 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  $150^\circ\text{C}$ . Kod industrijskih ulja dozvoljava se pad tačke paljenja za  $20^\circ\text{C}$ .

### 6. Kinematička viskoznost ( $\text{mm}^2/\text{s}$ )

*Metoda: ASTM D 445*

Snižanje 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%, za industrijska ulja porast od 10 do 20%.

## **7. Indeks viskoznosti**

*Metode: ASTM D 2270, 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.

## **8. Sadržaj goriva (% v/v)**

*Metoda: 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 2%, ali je potrebno uzeti u obzir vrstu/tip goriva i uslove primene maziva, tako da se ova granična vrednost uzima sa rezervom.

## **9. 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%.

## **10. 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.

## **11. Ukupni bazni broj – TBN, (mgKOH/g)**

*Metoda: ASTM D 664, IP 177; ASTM D 2896, IP 276; ISO 3771*

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.

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.

## **12. Neutralizacioni broj, (mgKOH/g)**

U toku eksploatacije neutralizacioni broj ulja raste. Porast vrednosti neutralizacionog broja prati pojavu hemijske degradacije ulja, a pad proces trošenja aditiva. Kod novog ulja vrednost zavisi od tipa aditiva, odnosno, od koncepcije proizvođača ulja. Dozvoljava se promena neutralizacionog broja 10% iznad ili ispod startne vrednosti.

### 13. 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 osjetljive 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.

### 14. Korozija

Metode: ASTM D 130; ISO 2160

Korozija se radi na Cu-traci na 100 °C za 3 časa. Dozvoljava se povećanje korozivnosti ulja sa 1a na 1b.

### 15. Sklonost na pojavu pene

Metode: ASTM D 892, IP 146; ISO 6247

Dozvoljava se odstupanje od vrednosti 40/0 ml/ml do 70/0 ml/ml.

### 16. Deemulzivnost

Metode: ASTM D 1401, ISO 6614

Dozvoljava se odstupanje deemulzivnosti na 54 °C od 40-37-3 (15) do 40-37-3 (40) ml-ml-ml (min).

### 17. Količine čestica u ulju

Metode: ISO 4406; NAS 1638

Čvrste čestice u ulju dovode do intenzivnog habanja što dovodi do formiranja velikog broja novih čestica i još intenzivnijeg habanja. Iz tog razloga, veoma je važno, eliminisati mogućnost kontaminacije ulja pre upotrebe, održavanjem čistoće rezervoara, posuda, uređaja za pretakanje, kao i uvođenjem kontrole pravilnog izbora i postavljanja filtera.

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 postoji još i NAS 1638. 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.

### 18. 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. Svaki metal emituje svetlosnu energiju određene talasne dužine. 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.

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	Posrebrani 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 bronze, ležajevi, klipovi
B	20	Antifriz
Na	20	Antifriz
Ca	50	Iz atmosfere
Si	40	Prašina iz atmosfere
Zn, Mg, Mo		Iz aditiva

### ZAKLJUČCI

Degradacija mazivih ulja može nastati pre eksploatacije, kontaminacijom na relaciji od proizvođača do korisnika, u toku transporta, skladištenja ili pretakanja i to nekada do stepena neupotrebljivosti.

U toku upotrebe menjaju se fizičko-hemijske osobine maziva. Brzina degradacije zavisi od ukupnih uslova pod kojima se odvijaju tribološki procesi.

Za utvrđivanje stepena degradacije koriste se laboratorijske analize, na osnovu kojih se donosi odluka da li je ulje za dalju upotrebu ili se mora zameniti. U slučaju da makar jedna karakteristika izađe iz dozvoljenih granica, ulje se mora zameniti.

### LITERATURA

- [1] Stojilković, M., (2001), Primena maziva, YUNG, Beograd
- [2] Stanivuković, D., Savić, V., Stojilković, M., Beker, I., Đurđević, K., (2000), Proces i podmazivanja, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
- [3] Tomas, L.A., (1998), Machinery Oil Analysis, Secon Edition, Coastal Skills Training
- [4] Troyer, D., Fitch, J., (1999), Oil Analysis Basics, Noria Corporation
- [5] Babić, M., (2002), Monitoring ulja za podmazivanje – ključ održavanja, Savetovanje YUNG, Novi Sad
- [6] Babić, M., Lazić, M., (2003), Principi definisanja alarma i limita stanja ulja u eksploataciji, VIII internacionalna konferencija o tribologiji, Beograd
- [7] Practicing Oil Analysis, Put ZIP in Your Oil Analysis Program With Tribometrics VIP Analyzer, [www.noria.com](http://www.noria.com)