



PRINCIPI DEFINISANJA ALARMA I LIMITA STANJA ULJA U EKSPLOATACIJI

Prof. dr Miroslav BABIĆ, Prof. dr Miodrag LAZIĆ, Mašinski fakultet u Kragujevcu, SCG

S u m m a r y

Alarmi i limiti parametara stanja ulja za podmazivanje tako imaju analogiju sa trakom na cilju atletske trke koji u ovom slučaju govore analitičarima da je prag dozvoljenih promena prekoračen i da je neminovno preduzeti odgovarajuće korektivne akcije.

Danas je sve više prisutna praksa da napredne industrijske organizacije preuzimaju na sebe odgovornost za samostalnu realizaciju programa monitoringa ulja za podmazivanje od prikupljanja podataka, preko njihove interpretacije i dijagnostike do odgovarajućih odluka iz domena održavanja. Zbog toga se javlja realna potreba da odgovarajuća znanja o limitima i alarmima parametara analize ulja, kao ključni element za donošenje odluka, ne budu ekskluzivno pravo odgovarajućih specijalizovanih komercijalnih laboratorija i dobavljača ulja.

U ovom radu se daju osnovne informacije o pojmovima i značaju, izboru, definisanju alarma i limita parametara analize ulja i njihovom korišćenju za definisanje indikatora stanja sistema, na bazi kojih se donose odluke o preduzimanju odgovarajućih aktivnosti održavanja.

Ključne reči: Alarmi, limiti, ulje za podmazivanje, monitoring

1. UVOD

Neposredno učešće maziva u kontaktnim procesima u tribomehaničkim sistemima obezbeđuje da mazivo, kao krv u ljudskom organizmu, prikuplja i nosi informacije o stanju "zdravlja" sistema i mehanizmima predstojećih otkaza [1]. S tim u vezi nameće se potreba analize ulja, kao ključnog elementa održavanja prema stanju i održavanja baziranog na pouzdanosti. Pri tome se pod analizom ulja podrazumeva primena tehnika monitoringa kojim na bazi stepena kontaminacije i/ili degradacije ulja dobijaju informacije o performansama i stanju sistema u celini (ulja za podmazivanje i kontaktnih elemenata) [2]. Njime se praktično utvrđuje postojanje i signifikantnost simptoma otkaza koji se odnose na ulje, ili na sistem a pri tome se mogu detektovati kao parametar stanja ulja. Promena stanja mehaničkog sistema koja se može pratiti preko promene stanja ulja za podmazivanje je dominantno tribološke prirode.

Ključnu ulogu u interpretaciji prikupljenih podataka u procesu monitoringa stanja ulja imaju

alarmi i limiti. Valjano podešeni limiti za svaki parametar koji je predmet analize praktično se koriste za filtriranje podataka dobijenih analizom ulja tako odgovarajući menadžeri troše svoje vreme na upravljanje spornom situacijom, umesto bavljenja šumom podataka u pokušaju da prepoznaju znakove sporne situacije [3].

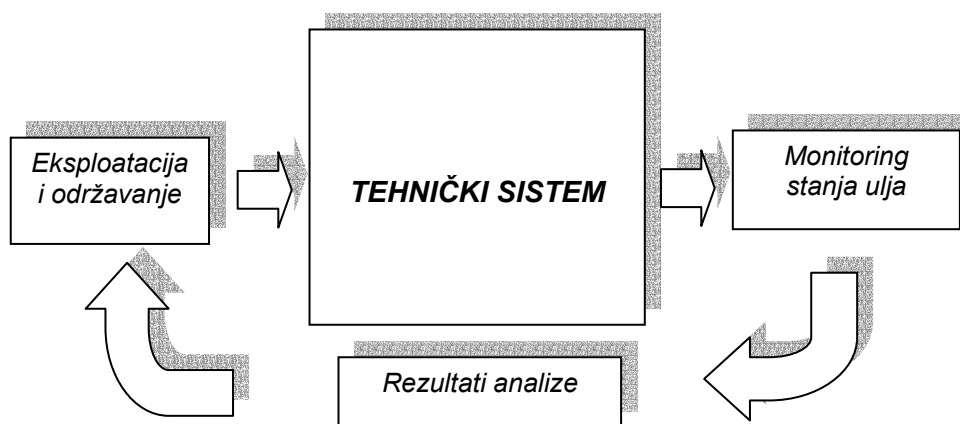
Ranije je bila uobičajena praksa da korisnici analize ulja za podmazivanje daju tako reći ekskluzivno pravo komercijalnim laboratorijama ili dobavljačima ulja da donose odluke o tome kada je tehnički sistem u stanju alarma. Shvatajući nedostatke ovakvog pasivnog pristupa napredne organizacije pružimaju na sebe odgovornost u određivanju sopstvenih limita i alarma stanja koji obezbeđuju postizanje definisanih sopstvenih specifičnih ciljeva. Najnoviji razvoj sofisticiranih softvera učinio je ovaj pristup široko dostupnim svima koji shvataju njegove prednosti.

Izbor vrste limita pre svega je determinisan usvojeno strategijom održavanja prema stanju, tako da se u osnovi izdvajaju dve grupe limita i alarma:

prediktivni i proaktivni, koji odražavaju odnose filozofija ova dva pristupa. U radu se analiziraju limiti obe grupe, pravila njihovog podešavanja i korišćenja u cilju definisanja statusa parametara analize ulja i indikatora stanja sistema, kao osnove za donošenje odluka o preduzimanju aktivnosti održavanja.

2. POJAM I ZNAČAJ ALARMA I LIMITA

Uloga monitoringa stanja tehničkih sistema najslikovitije se ilustruje sistemom sa povratnom spregom, kako je to prikazano na slici 1.



Slika 1. Povratna sprega sistema održavanja

Pravilno dizajniran program monitoringa stanja sistema na bazi analize ulja u procesu eksploatacije podrazumeva odgovarajući izbor:

- ✓ Mesta uzorkovanja ulja,
- ✓ Hardvera za uzorkovanje,
- ✓ Procedure uzorkovanja,
- ✓ Frekvencije uzorkovanja i
- ✓ Liste izabranih testova za analizu.

kao preduslov za prikupljanje podataka koji služe kao osnova za dijagnostiku stanja podmazanog sistema, i to kako s aspekta stanja kontaktnih elemenata, tako i s spekta stanja ulja za podmazivanje. Rezultati dijagnostike ukazuju na potrebu preduzimanja blagovremenih korektivnih akcija.

Efektivna i efikasna procedura dijagnostike na bazi interpretacije dobijenih podataka podrazumeva prethodno definisanje odgovarajućih limita za parametre stanja koji su predmet monitoringa. Oni govore analitičarima da je prag dozvoljenih promena prekoračen i da je neminovno preduzeti odgovarajuće korektivne akcije. Pri tome, zbog sigurnosti limiti se definišu na dva nivoa: limiti prvog reda limiti drugog reda, kako je to pokazano na slici 2.

Eksploatacija i aktivnosti održavanja obezbeđuju stimulanse sistema, a monitoring stanja obezbeđuje povratnu spregu neophodnu za proces kontrole [2]. U principu aktivnosti korišćenja i održavanja sistema utiču na podatke koje se dobijaju monitoringom na predvidljiv način. S obzirom na to, svaka promena u podacima monitoringa koja nije rezultat aktivnosti korišćenja i održavanja može se smatrati nenormalnom i treba da bude povod za odgovarajuću inspekciju i aktivnosti održavanja. Na taj način se korektivnim delovanjem uslovljavaju kompenzatorske promene u podacima koji se dobijaju monitoringom, što znači da se sistem vraća u normalno ravnotežno stanje. održavanje sistema eksploatacija.

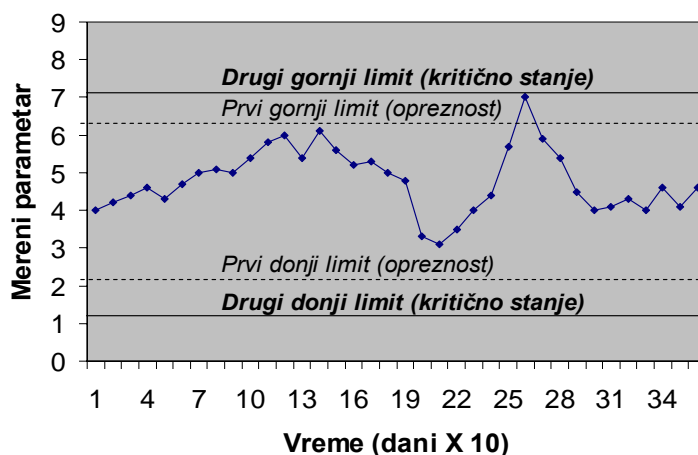
Limiti prvog reda obično se nazivaju alarmima. Njihova uloga je da blagovremeno ukažu na neželjenu pojavu u sistemu, koja se predstavlja predznak potencijalnog otkaza. Kada se limiti dostignu to nije po pravilu razlog za paniku već je signal upozorenja za one koji vrše analizu ulja, kao i za one koji su zaduženi za održavanje. Praktično sa stanovišta stanja maziva upozorenje znači: “*ulje je već degradirano, ali nije dostiglo onu tačku kada postaje neupotrebljivo (mada ni to nije potpuno isključeno)*”. Njega treba tumačiti kao crveno svetlo upozorenja da je od tog trenutka potrebno:

- ✓ Povećati frekvenciju kontrole stanja ulja,
- ✓ Istražiti uzroke promene stanje ulja i
- ✓ Predueti potrebne aktivnosti održavanja (čišćenje sistema centrifugiranjem ili filtracijom, čišćenje ili zamena filtera, preduzimanje potrebnih akcija održavanja samog mehaničkog sistema, razmatranje neophodnosti promene ulja, zamena ulja i sl).

Limiti ove vrste treba da budu podešeni tako da predstavljaju granice u kojima je obezbe-

đeno neugroženo funkcionisanje sistema. Nasuprot tome, limiti drugog reda su kritični limiti i njihovo dostizanje predstavlja poziv na hitno preduzimanje odgovarajućih korektivnih aktivnosti održavanja,

kao što je promena ulja. Kao što je prisutna praksa da se limiti prvog reda nazivaju alarmima, tako je i preaksa da se limiti drugog reda, tj. kritični limiti, nazivaju samo limitima.



Slika 2. Gornji i donji limiti parametra stanja ulja u eksploataciji

Neki parametri imaju samo gornje limite kao što su količina čestica ili produkata habanja u ulju. Nasuprot tome, neki parametri, kao što su TBN, sadržaj aditiva, tačka paljenja i FTIR (aditivi) zahtevaju samo donje limite. Takođe postoje i parametri, kao što su viskoznost i FTIR za koje se definišu i gornji i donji nivoi (slika 2.)

Limiti se definišu kao apsolutne vrednosti, kritične promene u apsolutnom iznosu u odnosu na bazne vrednosti, ili relativne, procentualno izražene promene u odnosu na baznu vrednost. Bazna vrednosti karakteristika obično odgovara novom ulju, ili ulju na početku eksploatacije.

3. PREDIKTIVNA I PROAKTIVNA STRATEGIJA DEFINISANJA ALARMA I LIMITA

Savremeni koncepti održavanja na bazi stanja u osnovi baziraju na monitoringu stanja, čiji je zadatak da na bazi merljivih simptoma identifikuje postojanje ili razvoj otkaza. U skladu sa tim izbor limita i alarma stanja ulja, odnosno sistema u celini koji je predmet monitoringa, derminisan je usvojenom strategijom održavanja prema stanju.

Generalno održavanje na bazi sistematskog korišćenja podatka o specifičnim parametrima stanja opreme dobijenih u procesu monitoringa može biti:

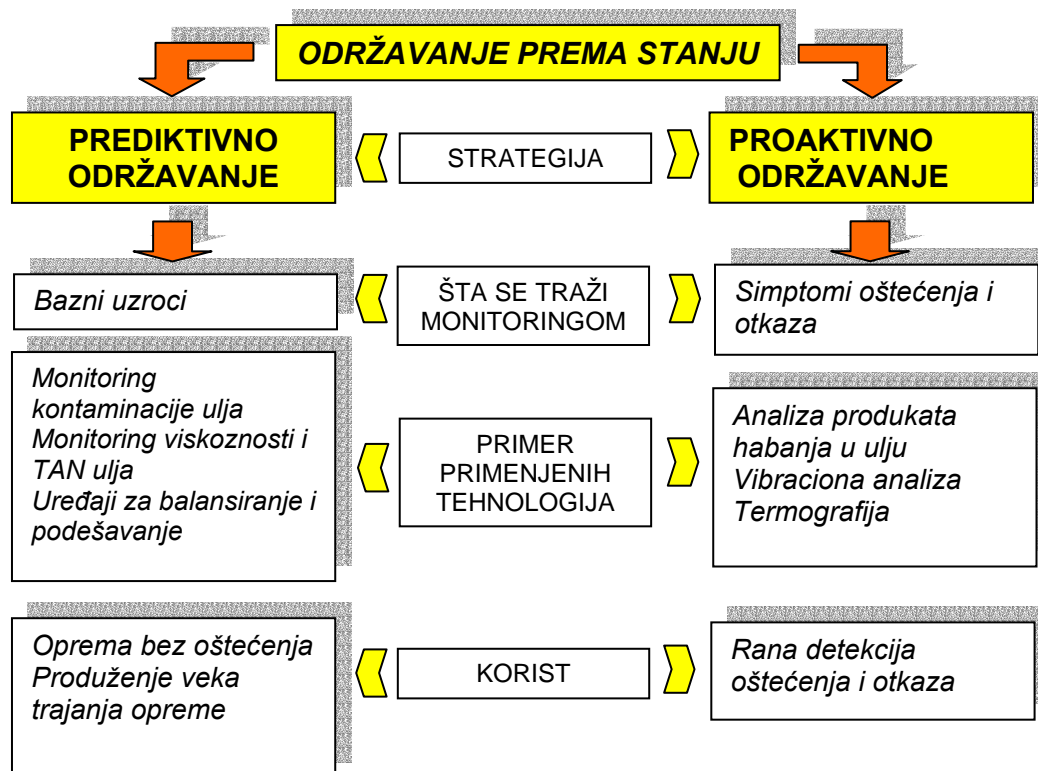
- Prediktivno i
- Proaktivno

Sušтина prediktivnog koncepta ogleda se u korišćenju nedestruktivnih tehnika u cilju utvrđivanja potencijalnih otkaza veoma rano, tako da se odgovarajuće korektivne akcije, odnosno popravke vremenski planiraju samo onda kada za to postoji realna potreba.

U stručnoj literaturi pojam prediktivno održavanje se neretko se poistovećuje sa pojmom monitoring stanja. Za monitoring u realnom vremenu koriste se različite tehnike kao što su merenje i analiza vibracija, termografija, ferografija i dr., koje obezbeđuju raspoznavanje simptoma predstojećeg otkaza. Ovi rani upozoravajući znaci koriste se za preduzimanje odgovarajućih akcija održavanja pre nastanka otkaza i eventualnih lančanih katastrofalnih posledica. Za opremu koja koristi cirkulaciono podmazivanje sa zajedničkim rezervoarom rutinska analiza ulja je jedna od najboljih tehnika monitoringa stanja.

Za razliku od prediktivnog, i preventivnog održavanja u proaktivnom održavanju korektivne akcije se preduzimaju sa pojavom baznih uzroka degradacije i otkaza, a ne bazi pojave simptoma nastalih oštećenja i dolazećih otkaza (prediktivno) ili na bazi plana nezavisno od realnog stanja sistema (preventivno).

Sušтина proaktivnog pristupa sa aspekta strategije, cilja monitoringa, primenjenih tehnika monitoringa i ostvarenih efekata prikazana je na slici 3, i to uporedno u odnosu na prediktivni – stariji, poznatiji i prisutniji pristup održavanju prema stanju.



Slika3. Suština principa prediktivnog i proaktivnog održavanja

Najveći broj tehničkih sistema (proizvodna oprema, transportna sredstva itd.) kao i ljudsko telo svoju funkciju zasnivaju na korišćenju različitih fluida. Ovi fluidi, kao što su ulja za podmazivanje, hidraulična ulja, goriva, sredstva za hlađenje i vazduh nose sa sobom kontaminante i unose ih u sistem. Nenormalno prisustvo kontaminata u sistemu predstavlja bazni uzrok degradacije komponenti sistema, koja vodi otkazu i skraćanju veka trajanja. Nastajanje ovog uzroka dešava se mnogo pre detekcije simptoma neželjenog stanja sistema.

Visok nivo kontaminacije sličan je sa holesterolom i visokim pritiskom u ljudskom organizmu. U oba slučaja i kontaminacija i holesterol (odnosno povišen pritisak krvi) su stanja koja se mogu korigovati. Ne preduzimanje korektivnih akcija u oba slučaja neminovno izazivaju degradacione procese (uz pojavu simptoma degradacije), skraćanje veka trajanja i prekide funkcionisanja.

U skladu sa ove dve koncepta održavanja prema stanju može se govoriti i o dve strategije definisanja limita, odnosno alarma, stanja ulja u sistemu – prediktivna i proaktivna. Dostizanje prediktivnih limita stanja signaliziraju upozoravajući nivo razvoja degradacije sistema, dok proaktivni signaliziraju nastajanje baznih uzroka

degradacije sistema. Svakako, limiti se definišu za izabrane parametre stanja ulja koji su relevantni za izabranu strategiju održavanja i vrstu sistema.

3.1 Prediktivni limiti i alarmi

Prediktivni alarmni signaliziraju postojanje abnormalnog stanja sistema, ili habanja i otkaza. Oni se definišu u skladu sa filozofijom prediktivnog održavanja, tj. da detektuju rane simptome otkaza, nasuprot detektovanju primarnih uzroka otkaza kod proaktivnog održavanja.

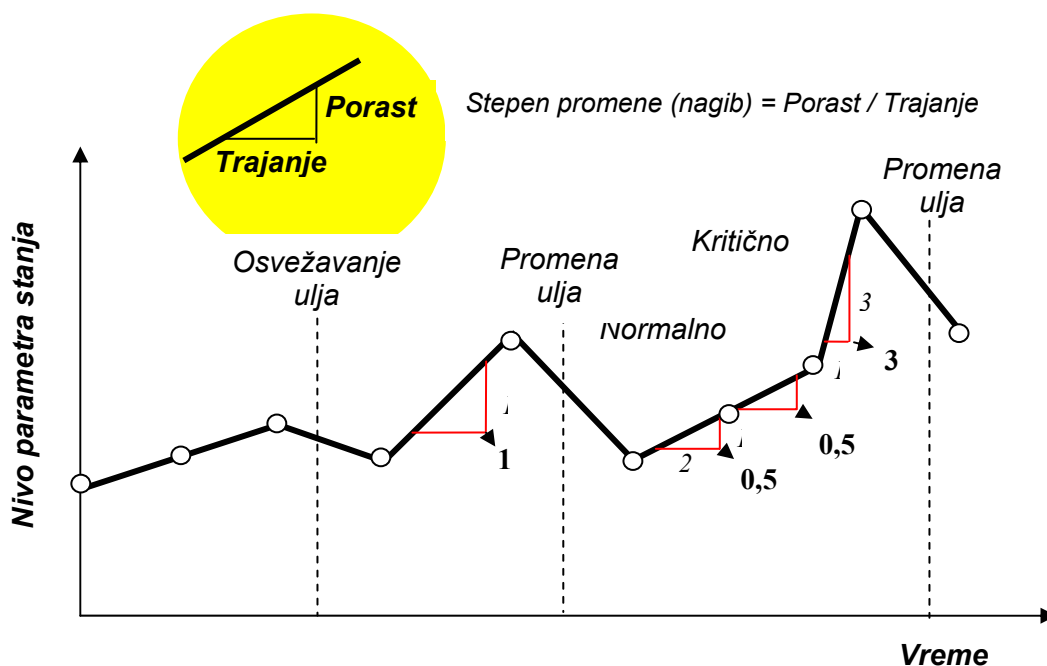
Analiza ulja i adekvatno podešeni prediktivni alarmi imaju niz prednosti u odnosu na druge tehnologije prediktivnog održavanja, kao što su analiza vibracija, termografija i dr. U prediktivnom domenu primenjuju se dva tipa alarma: alarmi bazirani na stepenu promene i statistički alarmi.

Alarmi bazirani na stepenu promene – Ovi alarmi su tipični za praćenje onih svojstava koja se progresivno “unose” u ulje, kao što su produkti habanja. Stepenu promene može se računati u odnosu na jedinicu vremena, broj ciklusa i sl. Na primer prast sadržaja gvožđa od 100 ppm tokom perioda od 100 sati rada može se izraziti kao 1 ppm po satu rada.

Kada se parametar grafički prikaže u funkciji vremena stepenu promene jednak je tekućem nagibu krive, kako je to prikazano na slici

4. Nagib krive, kao alternativa stepena promene, računa se deljenjem promene vrednosti parametra (pozitivne ili negativne) sa odgovarajućim vremenom eksploatacije između prethodnog i tekućeg

uzorkovanja. Linearan trend promene može poslužiti za aproksimativno određivanje preostalog vremena do dostizanja zadatog limita nivoa.



Slika 4. Ilustracija stepena promene

Nasuprot limitima nivoa limiti stepena promene ignorišu apsolutne vrednosti parametara, već se zasnivaju na brzini kojom se nivo parametra menja. Ovo se najbolje može ilustrovati na primeru. Limiti stepena promene se efektivno primenjuju na broj čestica produkata habanja (sistem bez filtracije), sadržaj gvožđa, TAN i RBOT. Takođe se mogu primenjivati za monitoring abnormalne degradacije aditiva primenom analize elemenata i FTIR spektroskopije.

Statistički alarmi – Već niz godina statistički alarmi se primenjuju uspešno u analizi ulja. Oni pretpostavljaju raspoloživost dovoljnog broja podataka iz istorije eksploatacije cele populacije sistema, na bazi kojih se određuju srednja vrednost i standardna devijacija kao reperni parametri. Vrednosti parametra utvrđenih na konkretnom uzorku tokom monitoringa upoređuju se sa statističkim repernim vrednostima.

Tako, ukoliko se izmerena vrednost nalazi u okviru standardne devijacije srednje vrednosti stanje sistema se smatra normalnim. Ukoliko pak vrednost odstupa od reperične srednje vrednosti i izvan je standardne devijacije, ali je unutar dve standardne devijacije nalažu se opreznost. I na kraju, ukoliko vrednost odstupa više od dve stan-

dardne devijacije u odnosu na srednju ona se smatra kritičnim alarmom.

Statistički alarmi se primenjuju na sadržaj gvožđa, analizu elemenata i ostale merenja u prediktivnoj analizi ulja.

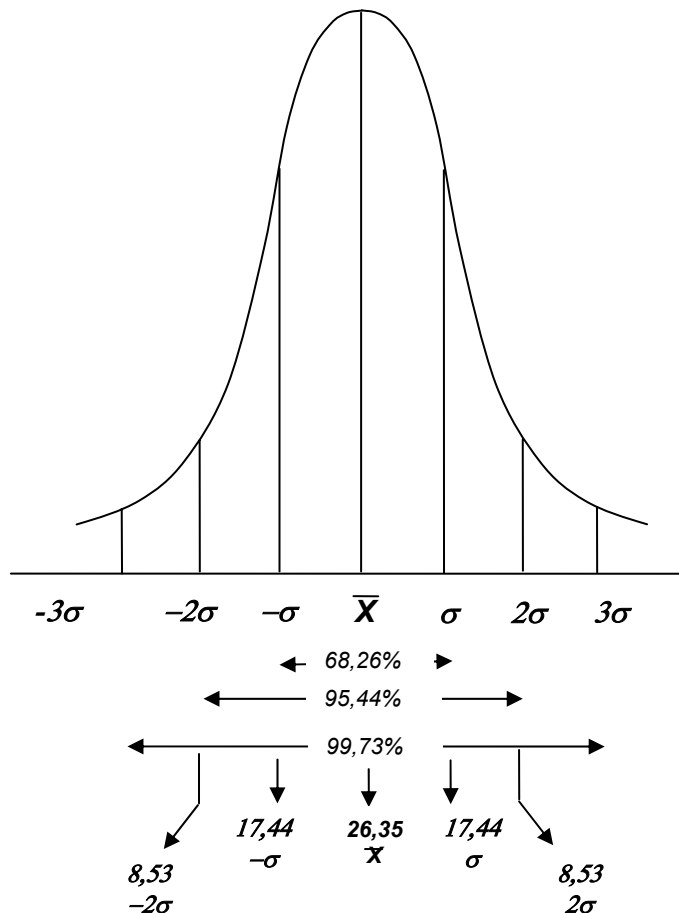
3.2 Proaktivni limiti i alarmi

Proaktivni alarmi upozoravaju korisnika na nenormalne uslove vezane za kontrolu primarnih uzroka degradacije ulja i mehaničkog sistema. Oni su ključni za filozofiju proaktivnog održavanja, koja bazira na uspostavljanju ciljeva i upravljanja stanjem maziva prema ovim ciljevima.

Strateška premisa proaktivnih alarma je da oni treba da budu podešeni na nivoe koji generišu unapređenje u odnosu na prethodno stanje, ili da obezbede održavanje na nivou čije su performanse prethodno optimizovane u skladu sa ciljevima organizacije.

U okviru proaktivnog domena koriste se dva tipa alarma i limita:

- ✓ Limiti bazirani na postavljenim ciljevima (mete) i
- ✓ Limiti starenja..



Primer: Podaci o nivou gvožđa u ulju posle 300 sati rada				
24	33	39	14	9
36	28	24	22	50
17	20	18	28	44
21	15	35	30	20
$\bar{X} = 26,35 \text{ ppm}, \sigma = 8,91$				
Primer limita				
Sati	Oprez $\bar{X} + \sigma$	Kritično $\bar{X} + 2\sigma$		
300	35 ppm	44 ppm		
500	57 ppm	70 ppm		
1000	104 ppm	121 ppm		

Slika 5. Statistički limit i alarmi

Limiti bazirani na postavljenim ciljevima -

Ovi limiti imaju karakter "meta" i primenjuju se za kontrolu parametara kao što su kontaminacija sa osnovnim ciljem produženja veka trajanja sistema. (slika 6). Kontaminaciona kontrola, koja predstavlja kamen temeljac proaktivnog održavanja, implementira se kroz tri jednostavna koraka.

1. Uspostaviti ciljne nivoe čistoće svakog sistema i fluida,
2. Izabrati i instalirati opremu za filtriranje (ili unaprediti postojeću sa aspekta stepena filtracije) i tehnike sprečavanja kontaminacije radi postizanja ciljnog nivoa čistoće,
3. Sprovoditi monitoring čistoće fluida u regularnim intervalima na bazi koje se vrši provera postizanja cilja i po potrebi preduzimaju aktivnosti u cilju stabilizacije čistoće.

Ciljni nivo čistoće tehničkog sistema treba izabrati u saglasnosti sa njegovom inherentnom osetljivošću prema kontaminaciji, različitim direktnim i indirektnim troškovima zastoja, odgovornošću funkcije, uticaja na okruženje. Pri tome tipične preporuke proizvođača sistema mogu biti i

dovoljne za postizanje specifičnih potreba i ciljeva sa aspekta produktivnosti korisnika.

Kada se nakon pažljive analize jedanput uspostavi ciljni nivo čistoće aktivnosti treba da budu usresređene na njegovo postizanje. Kontrolu kontaminacije nikako ne treba poistovećivati sa instalacijom skupih filtera, jer ona ima mnogo šire značenje. Da bi se to shvatilo treba imati u vidu da uklanjanje kontaminata koji su jednom prodrli u fluid sistema košta 10 puta više nego sprečavanje njegovog prodiranja.

Na primer kod hidrauličnog sistema koji radi sa nivom čistoće ISO 18/15 očekuje se produženje veka trajanja za tri puta ukoliko se nivo čistoće podigne na ISO 15/12. Podešavanje limita ISO 15/12 predstavlja metu koja bazira na postavljenom cilju. Konsekventno tome ukoliko sistem radi pri čistoći ulja ISO 15/12, a gubitak kontrole dozvoli doseganje nivoa kontaminacije ISO 18/15, može se očekivati negativan efekt trostrukog povećanja habanja tokom pčerioda povećane kontaminacije.

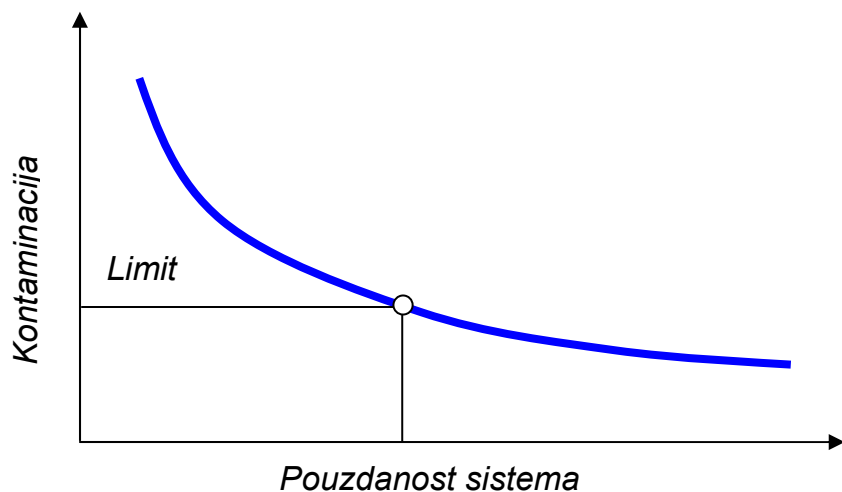
Težnja da se sistem vrati na željeni nivo čistoće ISO 15/12 je motivisana dakle specifičnim

ciljem, te je to meta bazirana na postavljenom cilju.

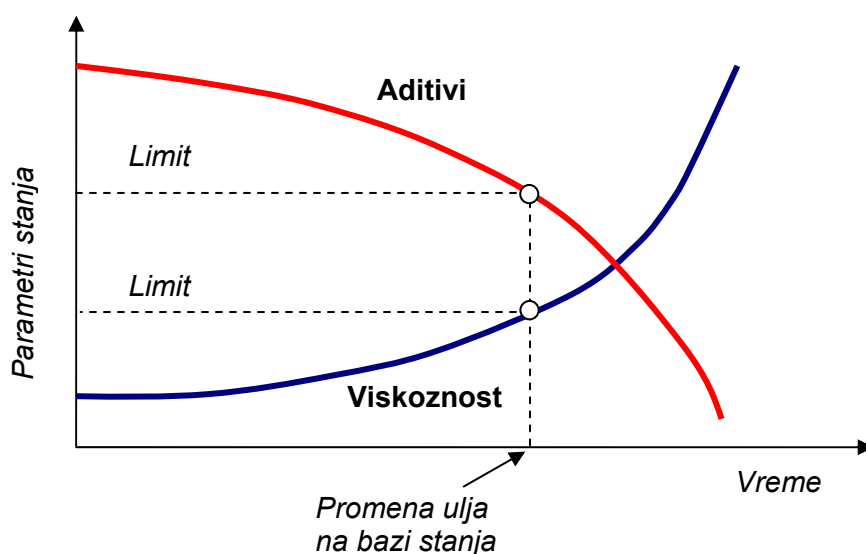
Ovaj tip limita se obično primenjuje na broj čestica, sadržaj vlage, nivo glikola, količinu

rastvorenog goriva u ulju, TAN i druge primarne uzroke promene stanja sistema.

Limiti starenja - Sledeći tip proaktivnih alarma i limita odnose se na progresivno starenje maziva ili hidrouličnih fluida (slika 7).



Slika 6. Limit baziran na postavljenom cilju



Slika 7. Primer limita starenja

Od momenta kada počne eksploatacija novog ulja njegove hemijske i fizičke karakteristike počinju da odstupaju u odnosu na stanje definisano formulacijom ulja.

Neke karakteristike se menjaju veoma sporo, a druge veoma dramatično. Limiti vezani za degradaciju ulja predstavljaju ustvari limite starenja. Ovakvi limiti se mogu efektivno primeniti na parametre kao što su TAN/TBN, viskoznost, FTIR (oksidacija, nitracija, sulfatizacija i aditivi), kao i dielektrična konstanta.

Tabela 1. pokazuje neke primere definisanja oba tipa proaktivnih limita i to na dva nivoa – nivo upozorenja, tj. opreznosti i nivo kritičnog stanja.

4. IZBOR LIMITA I NJIHOVA PRAKTIČNA UPOTREBA

Za potrebe analize stanja ulja za podmazivanje tokom eksploatacije na raspolaganju je veoma veliki broj standardizovanih i drugih testova

va, koji se primenjuju zavisno od prihvaćene tehnologije i vrste ulja za podmazivanje, odnosno oblasti primene. Generalno se može reći da nema pojedinačnog testa koji obezbeđuje kompletnu

informaciju oko stanja i uzroka degradacije ulja za podmazivanje, već se odnosi samo na određeni aspekt problema.

Tabela 1. Primeri proaktivnih limita

Limiti bazirani na ostvarenju cilja			Limiti starenja ulja		
Čistoća	14/11	16/13	Viskoznost	+ 5 %	+ 10 %
Vlažnost	200 ppm	600 ppm	RBOT	30 %	60 %
TAN	0,2	0,4	FTIR Ox	0,3	1,0
Gorivo	1,5%	5%	Cink	- 15 %	- 30 %
Glikol	200 ppm	400 ppm	Kalcijum	- 10 %	- 20 %
Pepeo	2 %	5 %	TBN	50 %	70 %

Tabela 2. Parametri analize ulja i odgovarajuće vrste limita

	Limiti bazirani na			
	Određenom cilju	Starenju	Stepenu promena	Statistici
Broj čestica	GL	-	PN	GL
Viskoznost				
• na 40°C	GL, DL	GL, DL	-	-
• na 100 °C	GL, DL	GL, DL	-	-
TAN	DL	GL	PN, NN	GL, DL
FTIR				
• Ox / Nit / Sul	-	GL	PN	GL
• Fenol	-	DL	NN	DL
• ZDDP	-	DL	NN	DL
• Rastv. gorivo / Pepeo	-	GL	PN	GL
• Voda	GL	-	PN	PN
Sadržaj gvožđa	-	-	PN	GL
Analitička ferografija	-	-	-	-
RBOT	-	DL	NN	DL
Voda (Crankle)	GL	-	-	-
Voda po KF	GL	-	PN	GL
Izdvajanje vode	-	DL	-	-
Analiza elemenata				
• Metali u produktima habanja	-	-	PN	GL
• Kontaminacija	GL	-	PN	GL
• Aditivi	-	DL	NN, PN	DL, GL
Legenda: GL – Gornji limit DL – Donji limit PN – Pozitivan nagib NN – Negativni nagib U slučajevima gde su limiti bipolarni (i gornji i donji) u tabeli je prikazan prvi onaj koji je važniji				

Prvi stepen u nadgledanju stanja maziva i sistema svako su testovi koji se obavljaju u eksploatacionim uslovima (*field* ili *on-site* testovi). Njima se brzo i uz male troškove može doći do procene o stanju maziva i tehničkog sistema koji se

podmazuje, kao i o efikasnosti sistema preišćavanja ulja koji se koristi. Ovi testovi se mogu izvoditi dnevno, nedeljno, mesečno i uvek kada to situacija zahteva. Međutim, ovi testovi nisu kompletni, niti pouzdani kao što su to laboratorijske

analize. Zbog toga, po pravilu, kada se na ovaj način dobiju upozoravajući znaci degradacije sistema obavljaju se i laboratorijski testovi koji imaju zadatak da ih potvrde i obezbede dodatne informacije.

Tabela 2 generalno prikazuje primenljivost različitih alarmnih tehnika za specifične testove za analizu ulja. Na osnovu nje moguće je odrediti gde se primenjuju analizirane vrste limita. Vidi se da je kod svih testova koji se koriste za analizu ulja, izuzev analitičke ferografije, moguće koristiti više tipova limita. Tajkođe, su u slučaju TAN, zavisno od prihvaćene filozofije održavanja primenjiva su sva četiri moguća pristupa u definisanju alarmnih limita.

Za donošenje racionalnih odluka na bazi interpretacije podataka prikupljenih u procesu monitoringa često nije dovoljno uzimati u obzir samo jedan tip limita, odnosno alarma. Kao ilustraciju razmotrimo sledeći primer.

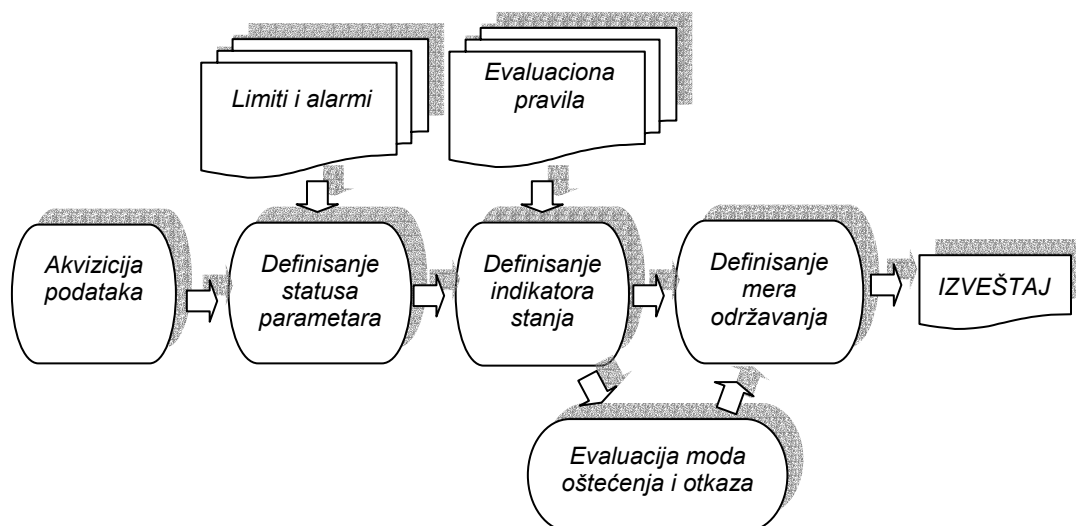
Pretpostavimo da u industrijskom zupčastom prenosniku na određenoj mašini sadržaj gvožđa u ulju raste za 5 ppm mesečno. Prvog meseca nakon promene ulja analizom će se utvrditi njegovo prisustvo u količini 5 ppm. Posle drugog meseca nastavlja se pravilan rast za 5 ppm, što rezultira sadržajem od 10 ppm. I analiza po isteku trećeg meseca pokazala je nepromenjen priraštaj količine gvožđa, naime izveštaj je pokazao sadržaj

od 15 ppm. Međutim, na kraju četvrtog meseca analizom je potvrđen sadržaj od 50 ppm. Komjuterski softver je na bazi podataka o priraštaju signalizirao kritičnu situaciju. Razlog za to nije u tome što je sadržaj gvožđa od 50 ppm signal nenormalnog habanja zupčastog prenosnika. Radi se sadržaju koji je normalna pojava kod ove vrste sistema. Alarm je generisan zbog velikog stepena promene koncentracije gvožđa u ulju u toku četvrtog meseca od 35 ppm, koji daleko prevazilazi očekivani od 5 ppm. U ovakvom slučaju korišćenje samo limita nivoa ne bi rezultiralo alarmom u datom trenutku, već tek po dostizanju kritičnog nivoa.

Algoritam evaluacije prikupljenih podataka podrazumeva nekoliko koraka evaluacije (slika 8). U prvom koraku pripremaju se serije podataka dobijene u procesu akvizicije i konvertuju u simboličan tekst, odnosno u statusne pojmove koji odražavaju lako shvatljivo značenje podataka. Uobičajeno se status parametara analize definiše na način pokazan u tabeli. 3.

Tabela 3. Statusi parametara

Statusi nivoa	Normalan	Upozoravajući	Kritičan
Statusi trenda	Stabilan	Umereno rastući	Rapidno rastući



Slika 8. Algoritam evaluacije prikupljenih podataka u proceduri monitoringa

Za definisanje statusa parametara analize ulja koriste se upravo usvojeni podaci o limitima, odnosno alarmima i limitima.

U drugom koraku definišu se indikatori stanja sistema na bazi statusa parametara analize ulja, i to za svaki od parametara koji je predmet

monitoringa. Indikatori stanja obično se definišu kao:

- ✓ Normalno
- ✓ Upozoravajuće,
- ✓ Urgentno,
- ✓ Hazardno ili
- ✓ Opasno.

Značenje ovih indikatora sa stavišta aktivnosti koje je potrebno preduzeti dato je u tabeli 4. Za njihovo definisanje koristi se matrica koja konzistentno generiše iste nivoe upozorenja, odnosno rizika za iste stause parametara. Ova matrica prikazana je u tabeli....

Tabela 4. *Indikatori stanja sistema*

Normalno	Ne zahtevaju se korektivne akcije. Nastaviti rutinsko uzorkovanje
Upozoravajuće	Skratiti interval uzorkovanja
Urgentno	Preporučuju se aktivnosti održavanja. Odlaganje je dopušteno
Hazardno	Zahtevaju se aktivnosti održavanja. Odlaganje nije dopušteno
Opasno	Zaustaviti korišćenje sistema. Hitno preduzeti akativnosti održavanja

Tabela 5. *Matrica za definisanje indikatora stanja*

Status nivoa	Status trenda		
	Stabilan	Umeren rast	Rapidan rast
Normalan	Normalan	Urgentan	Hazardan
Upozoravajući	Normalan	Urgentan	Hazardan
Kritičan	Uozoravajući	Hazardan	Opasan

Pošto indikatori stanja mogu ponekada mogu ukazivati na nenormalno stanje zbog drugih razloga, kao što su loše uzorkovanje, pogrešni rezultati analize, neodgovarajuće aktivnosti održavanja, nedostatak održavanja, nerigistrovane korektivne aktivnosti potrebno je otkloniti svaku potencijalnu grešku napravljenu u definisanju statusa stanja.

Definisani indikatori stanja predstavljaju osnov za nedvosmisleno formiranje odgovarajućih preporuka sa stanovišta aktivnosti održavanja (kako je to dato u tabeli 4) koje sadrži finalni izveštaj analize ulja. Karakter aktivnosti proističe iz analize prirode oštećenja i otkaza sistema.

5. ZAKLJUČCI

Efektivna i efikasna procedura dijagnostike na bazi interpretacije dobijenih podataka u procesu monitoringa stanja ulja podrazumeva prethodno definisanje odgovarajućih limita za parametre stanja koji su predmet monitoringa. Oni govore analitičarima da je prag dozvoljenih promena prekoračen i da je neminovno preduzeti odgo-

varajuće korektivne akcije. Pri tome, zbog sigurnosti limiti se definišu na dva nivoa: limiti prvog reda limiti drugog reda.

Izbor vrste limita pre svega je determinisan usvojeno strategijom održavanja prema stanju, tako da se u osnovi izdvajaju dve grupe limita i alarma: prediktivni i proaktivni, koji odražavaju osnove filozofija ova dva pristupa. Prediktivni alarmni imaju ulogu da detektuju rane simptome otkaza i mogu biti alarmi bazirani na stepenu promene i statistički alarmi. Proaktivni alarmi upozoravaju korisnika na nenormalne uslove vezane za kontrolu primarnih uzroka degradacije ulja i mehaničkog sistema. U tu svrhu koriste se limiti bazirani na postavljenim ciljevima (mete) i limiti starenja..

U algoritmu evaluacije prikupljenih podataka kao osnove za donošenje odluka o potrebi preduzimanja određenih aktivnosti u prvom koraku na bazi pažljivo podešenih i usvojenih alarma i limita definišu statusi parametara analize ulja, koji odražavaju lako shvatljivo značenje podataka

U drugom koraku definišu se indikatori stanja sistema na bazi statusa parametara analize ulja, i to za svaki od parametara koji je predmet monitoringa. Indikatori stanja imaju jednoznačna značenja sa stanovišta aktivnosti koje je potrebno preduzeti.

LITERATURA

- [1] Babić M., Monitoring ulja za podmazivanje - ključ održavanja, YUNG 2002.
- [2] Tomas L.A., Machinery Oil Analysis, Secon Edition, Coastal Skills Training, 1998.
- [3] Troyer D., Fitch J., Oil Analysis Basics, Noria Corporation, 1999.
- [4] Sowers J., Use Statistical Anaysis to Create Ear Debris Alarm Limits, Practicing Oil Analysis, November-December 2001.
- [5] Davis A., Fundamental Principles in Seting Alarms anad Limits in Wear Debris Analysis, Practicing Oil Analysis, May –June 2003.
- [6] Davis A, Alarms 101: Setting Viscosity Alarms and Limits, Practicing Oil Analysis, January –February 2003.
- [7] James C., Proaktive and Predictive Strategies for Seting Oil Analysis Alarms and Limits, www.entekird.com/eact/eactpapers/eact98/fitch.htm