

TESTIRANJE NAGNJENOSTI HIDRAVLIČNIH OLJ K TVORJENJU LAKASTIH PRODUKTOV IN USEDLIN

Darko Lovrec, Vito Tič

Izvelek:

Vzrokov za degradacijo hidravličnega olja, ki vplivajo na delovanje hidravlične naprave, je veliko, pa tudi sama degradacija se lahko pojavlja v različnih oblikah. Ena od teh, ki je vse pogostejša v hidravličnih sistemih, so lakasti produkti in usedline. Vzroki za pojav usedlin in lakov so različni, razen tega pa se ti produkti degradacije olja lahko pojavljajo tudi pri dobro vzdrževanih hidravličnih napravah in tudi pri uporabi kvalitetnih hidravličnih olj.

Da jih prepoznamo in tudi preprečimo, je potrebno poznati mehanizme njihovega nastanka ter različne metode testiranja. Ena od teh je postopek termičnega obremenjevanja olja, ki je sicer namenjen testiranju vzdržljivosti olj in ugotavljanju spreminjanja lastnosti olja v njegovi uporabni dobi. V predstavljenem primeru je bil postopek uporabljen za testiranje nagnjenosti olja do tvorjenja lakastih produktov in sedimentov.

Ključne besede:

hidravlična olja, lakasti produkti in gošča, testiranje, predizbor olja

1 Uvod

Uporabnikom hidravličnih naprav in sistemov je povsem jasno, da se z vgradnjo tekočine skrb za njeno stanje šele prične. Tako se vsi zavedamo pomena spremljanja stanja čistoče tekočine in mogoče tudi vsebnosti vlage oz. vode. Prav tako se uporabniki tudi strinjamo, da je potrebno opravljati periodične kontrole osnovnih fizikalno-kemijskih parametrov tekočine, kot so barva, viskoznost, nevtralizacijsko število, ali celo te parametre stalno spremljati (angl.: on-line condition monitoring). Nekoliko manj znano pa je dejstvo, da je s spremljanjem vrste delcev obrabe ali pa njihove kemične sestave moč priti do številnih uporabnih podatkov, ki sporočajo, kaj se pripravlja v našem hidravličnem sistemu oz. v posamezni komponenti.

Predvsem tisti, ki imajo v svoje hidravlične sisteme vgrajene velike količine tekočine, katere zamenjava predstavlja dokajšen strošek, oz. imajo naprave, ki so strateškega pomena za delovanje stroja ali pa jih ni moč enostavno zaustaviti, pa poleg omenjene skrbi za stanje tekočine uporabljajo še druge metode. Te niso namenjene zgolj ugotavljanju trenutnega stanja hidravlične tekočine. S primernimi metodami lahko namreč že pred samo vgradnjo olja preverimo npr. vzdržljivost in celotne stroške uporabe posamezne-

ga olja, torej njegovo rentabilnost oz. razmerje med nabavno ceno in njegovo vzdržljivostjo, ter s tem neposredno povezane stroške zamenjave oz. uporabe – stroški celotne uporabne dobe (angl. LCC – Life Cycle Costs).

V trenutno še manjšem obsegu pa je znan pojav tvorjenja lakastih produktov in sedimentov oz. gošč, ki pa ga lahko omejimo ali celo preprečimo v fazi preselekcije oz. predizbora hidravličnega olja. Seveda le v primeru, če izvedemo primerno testiranje olja na tvorjenje teh produktov degradacije. Tako lakasti produkti kot gošče so vzrok številnim zastojem naprave in nepravilnosti pri delovanju komponent in s tem celotne naprave. Nagnjenost oz. težnjo hidravličnega olja k tvorjenju omenjenih produktov je možno ugotoviti v okviru predizbornih testov, saj se olja, ki imajo enak namen, in po sestavi podobna olja glede tega lahko zelo razlikujejo. Le redki, ki se v zvezi s tem nastalih problemov zavedajo, v svoja povpraševanja ob naročilih postavljajo tudi pogoje glede te lastnosti.

2 Lakasti produkti in gošče ter njihov vpliv na delovanje naprave

Problematiki nastanka, prisotnosti in posledic gošč in lakastih produktov (angl. »sludge« in »varnish«) so se strokovnjaki s področja maziv pričeli intenzivneje posvečati v zadnjih dveh desetletjih. Pred tem ti produkti niso bili tako v ospredju problemov, saj so bile hidravlične komponente robustnejše (večje reže), obratovalni tlaki so bili nižji, cirkulacijska števila za-

Izr. prof. dr. **Darko Lovrec**, univ. dipl. inž., doc. dr. **Vito Tič**, univ. dipl. inž., oba Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo



Slika 1 : Popolnoma zamašen – blokiran – filtrski vložek hidravličnega sistema parne turbine –levo (slika last Thomassen Turbines) ter gošča na dnu rezervoarja – desno (slika last Clarus Technologies)

radi večjih rezervoarjev prav tako ... Zaradi povečanja energetske učinkovitosti komponente in s tem celotnega sistema in zaostrenih obratovalnih parametrov je po eni strani kvaliteta komponente, npr. zaradi ožjih toleranc notranjih dimenzij, višja in s tem sama komponenta občutljivejša (zahtevana višja čistoča tekočine). Po drugi strani pa prihaja tudi do zamenjave starih komponent s sodobnejšimi, za katere lahko veljajo drugačne zahteve uporabe, tudi primerne hidravlične tekočine, pa tudi sistemi so manjši in obratujejo pri višjih tlakih. Zato se lahko ob takšnih spremembah pojavljajo novi problemi, kakršnih pred tem nismo imeli, čeprav uporabljamo enako tekočino.

Tako za prisotnost gošče in laka najdemo v literaturi številne opise, npr. »Oprime se vsega«, »Širi se kot rak« ali »Mislili ste, da se ga boste znebili z menjavo olja in izpiranjem sistema, vendar se spet vrne – kot da se potuhne v olje in kasneje oprijemlje vsega v notranjosti vaše naprave«. [1–4] Problemom, vezanim na nastajanje omenjenih produktov zaradi degradacije hidravlične tekočine in vpliva obratovalnih para-

metrov, ter posledicam so se pričeli najprej posvečati na področju plinskih in parnih turbin, kasneje pa tudi na drugih hidravličnih napravah. [5], [6]

Videz gošče tako na filtru kot v notranjosti rezervoarja prikazuje *slika 1*, *slika 2* pa prikazuje prisotnost laka na krmilnem drsniku potnega ventila in tudi v notranjosti rezervoarja. Tako gošče kot še bolj trdovratne lakaste produkte je potrebno odstraniti – filtrske vložke zamenjati, goščo odstraniti, vse notranje površine komponent pa očistiti na bolj ali manj zamudne načine. [7], [8]

Vzroki za pojav teh produktov so lahko različni: eni so tesno povezani z vrsto hidravličnega olja in njegovimi aditivi, drugi pa izhajajo iz delovanja hidravličnega sistema in zasnove naprave. Tovrstni vzroki so najpogostejši in se nanašajo na proces termične oksidacije. Ta se pojavlja zaradi povišane temperature, rezultat pa je razen spremenjene barve tudi tvorba gošče, ki se počasi useda in kopiči na dnu rezervoarja, ter tvorba lakastih produktov, ki se lepijo na dele hidravličnih



Slika 2 : Lakasti produkti na drsniku krmilnega ventila (levo) [7] in v notranjosti rezervoarja (desno) [8]

komponent in jih obarvajo v rumenih ali zlatorjavih odtenkih – »zlata nadloga«. Te obloge pa lahko povzročajo tudi nepravilnosti v delovanju ventilov in s tem celotne naprave.

Vzrokov za (tudi samo lokalno) povišano temperaturo v hidravličnem sistemu in s tem termično preobremenitev olja je več in so uporabniku bolj ali manj znani:

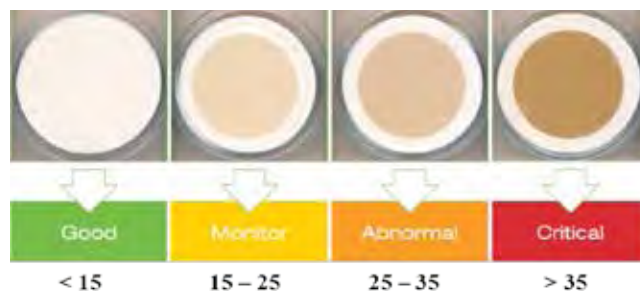
- ▶ Trenje v sami tekočini in še posebej med tekočino in kovinsko površino v hidravličnem sistemu kot tudi morebitno drgnjenje ene površine ob drugo lahko generira temperature med 180 °C in 450 °C in je vedno prisotno.
- ▶ Adiabatno stiskanje, podobno kot diesel efekt, lahko generira temperature med 600 °C in 900 °C.
- ▶ Manj znan je pojav razelektritve električnega/statičnega naboja. Brez iskrenja lahko ta pojav pripelje do lokalnih temperatur med 5.000 °C in 10.000 °C, v primeru pojava iskre pa lahko v izredno kratkem času, velikosti nekaj nanosekund, povzroči lokalno temperature celo med 10.000 °C in 20.000 °C. [9], [10]
- ▶ Dokaj pogost vzrok za pogovorno rečeno »zažiganje« olja je napačna raba grelnikov tekočine, nameščenih v hidravličnem rezervoarju z namenom, da bi v primeru nižjih temperatur znižali viskoznost tekočine pred zagonom črpalke. Če je grelnik nameščen v področju rezervoarja, kjer ni pretoka tekočine (t. i. mrtva cona), se olje, ki obdaja površino grelnega telesa, lokalno zažge.
- ▶ Najpogostejši vzrok za termično oksidacijo pa je diesel efekt, katerega vzrok je prisotnost zraka oz. zračnih mehurčkov v hidravlični napravi in tekočini. [11]

3 Ugotavljanje trenutne stopnje termične degradacije

Za ugotavljanje stopnje termične degradacije olja oz. nagnjenosti k njej je na voljo več laboratorijskih, standardiziranih testov. Najpogosteje uporabljani testi so bolj ali manj podrobno predstavljeni v različni literaturi, ki se navezuje na to tematiko, npr. [5]. V nadaljevanju bomo zelo na kratko predstavili le najpomembnejše teste in metode za ugotavljanje stopnje termične degradiranosti tekočine.

3.1 Primarni testi za določanje stopnje degradacije

Test MPC (Membrane Patch Colorimetry) je laboratorijska metoda, s katero določamo količino izločenega materiala netopnih kontaminantov v vzorcu rabljenega olja. Nato sledi **spektralna analiza QSASM** (Quantitative Spectrophotometric Analysis). S testom MPC oz. z analizo QSASM dobimo neposredno povezavo med barvo vzorca in prisotnostjo netopne snovi, ki je neposredno merilo stopnje degradiranosti olja – *slika 3*.



Slika 3 : Lestvica za oceno stopnje termične degradacije po ASTM D7843 [12]

Test uporabljamo za identifikacijo »mehkih onesnaževalcev« (tistih, ki so neposredno povezani z degradacijo olja), pri čemer ostali kontaminanti, ki niso v tesni povezavi z degradacijo olja, nimajo večjega vpliva. Ta test je zelo občutljiv in zanesljiv za zaznavanje subtilnih sprememb v netopnih ravneh.

Naslednja pogosto uporabljena metoda je **FT-IR** (Fourier Transform Infrared Analysis: ASTM E2412). **FT-IR**, infrardeča spektroskopija, je metoda za merjenje kemije organskih molekularnih komponent. Metodo FT-IR lahko uporabljamo za spremljanje poteka in stopnje izrabljenosti aditivov, ugotavljanje razgradnje stranskih proizvodov in prisotnosti različnih kontaminantov. Metoda je dober primarni test za merjenje kemijskih sprememb tako bazne tekočine kot za identifikacijo mehanizmov, ki so lahko odgovorni za razgradnjo tekočine. Termično razgradnjo lahko dokažemo z laboratorijsko meritvijo krivulje FT-IR in preučevanjem območja valovne dolžine, kjer merimo stopnjo oksidacije. Če je vrh v področju nitracije, lahko ugotovimo, da je termična razgradnja vzrok za temnejšo hidravlično tekočino.

S testom **ultra centrifugiranja (UC)** ali stopnje sedimentacije s pomočjo separacije določamo stopnjo netopnih produktov degradacije v vzorcu olja. To dosežemo s centrifugiranjem majhne količine vzorca olja pri 17.000 min⁻¹ v času 30 min. Netopni produkti, ki so premajhni, da bi jih odstranili z mehanskimi filtri ali zaznali z običajnim štetjem delcev, se zaradi centrifugalne sile izločijo in tako omogočijo vizualno oceno stopnje sedimentacije, ki jo izražamo z vrednostmi od 1 do 8. Minimalna vrednost 1 predstavlja nizko stopnjo netopnih produktov v olju. Maksimalna vrednost 8 predstavlja kritično stopnjo. Omejitev tega testa je, da ne omogoča razlikovanja med netopnimi produkti degradacije olja in ostalimi netopnimi kontaminanti (umazanijo). Poleg tega lahko s centrifugiranjem odstranimo tudi aditive (izboljševalce indeksa viskoznosti, disperzante in sulfonate).

3.2 Sekundarni testi za določanje stopnje degradacije

Določanje viskoznosti (po ASTM D445). Viskoznost lahko definiramo kot odpor tekočine proti tečenju in

velja za najpomembnejšo lastnost maziva. Nanjo vplivajo tudi različne oblike degradacije tekočine. Vzdrževanje primerne viskoznosti je kritično za ohranjanje debeline mazalnega filma. Kadar zaradi degradacije tekočine nastopi bistvena sprememba viskoznosti, se lahko tudi nekateri drugi parametri (naraščanje netopnih produktov, kislinskega števila itd.) že zelo spremenijo, zato je meritev viskoznosti odličen sekundarni test degradacije tekočine.

Linearna voltometrija (LSV), po ASTM D6971. Ta test je namenjen ugotavljanju zaščite maziva pred oksidacijo z merjenjem primarnih antioksidantov v tekočini. Izvajamo ga z instrumentom Ruler in je pomembno orodje za nadzor stanja maziva. Določamo stopnjo preostalega aditiva in s tem preostale uporabne dobe maziva, in sicer s primerjavo z začetno stopnjo. Rezultat testa LSV lahko prevedemo na degradacijo tekočine, če imamo zadostno količino podatkov o posamezni vrsti tekočine.

Oksidacijski test v rotirajoči tlačni posodi - Rotating Pressure Vessel Oxidation Test (RPVOT), po ASTM D2272. Pomembna lastnost mazalnih olj je oksidacijska stabilnost ali odpornost proti oksidaciji. Test RPVOT (pred tem imenovan RBOT) je kontroliran, pospešen test oksidacije maziva, ki ga uporabljamo za merjenje lastnosti preostalih antioksidantov. Rezultat ocenjujemo in primerjamo s stopnjo pri svežem olju. Vrednost metode je omejena, ker degradacija tekočine lahko poteka v izoliranih segmentih maziva, kar se ne odraža na bistvenem padcu vrednosti RPVOT. Nič neobičajnega ni, da pri oljih, ki imajo visoke vrednosti RPVOT, prihaja do težav s tvorjenjem usedlin in lakastih produktov. Pravzaprav imajo nekatera maziva z visokimi vrednostmi RPVOT celo takšne aditive, ki so bolj nagnjeni k tvorbi depozitov, kot so fenil-alfa-naftilamini (PANA).

Nevtralizacijsko število (NŠ) po ASTM D974, D644. S to metodo merimo kisle sestavine, ki so prisotne v mazivu. Večina inhibitorjev korozije, ki so prisotni v oljih, je kislih in vplivajo na nevtralizacijsko število svežega olja. Nadzorujemo porast nevtralizacijskega števila od stopnje pri svežem olju, kar običajno odraža prisotnost kislih oksidacijskih produktov. Povečanje nevtralizacijskega števila je možno tudi zaradi kontaminantov, mešanice proizvodov in/ali kemičnih transformacij. Čeprav metoda predstavlja dragoceno orodje, pa odraža kemijo, ki nastane, ko je težava že prisotna in je sama po sebi neobčutljiva na šibke organske kisline, ki nastajajo med degradacijo maziva.

4 Ugotavljanje nagnjenosti k tvorjenju lakov in gošče v fazi predizbora olja

Za ugotavljanje nagnjenosti ali tendence hidravličnega olja k tvorjenju lakov in gošč smo uporabili la-

stni termični test, s katerim lahko izvajamo pospešeno staranje olja na večji količini vzorca (1.500 ml). Za razliko od ostalih testov, kot sta RPVOT in TOST, pri katerih je količina testirane tekočine zelo majhna (50 g oz. 300 ml), lahko s testom pospešenega staranja olja po principu termičnega obremenjevanja izvedemo celovite laboratorijske analize številnih fizikalno-kemijskih parametrov, hkrati pa lahko tudi ugotovljamo nagnjenost k tvorjenju lakov in gošče. Omenjeni test je v prvi vrsti namenjen ugotavljanju poteka spremembe posameznih fizikalno-kemijskih parametrov olja ter testiranju vzdržljivosti posameznega olja – več podrobnosti o samem testu in rezultatih testov je na voljo v literaturi [13], [14], [15].

Test v osnovi temelji na standardnih testih RPVOT in TOST in se izvaja ob segrevanju olja na magnetnem mešalu z grelno ploščo ob vpihovanju zraka ter ob prisotnosti bakra kot katalizatorja, pri čemer so količine natančno odmerjene in nadzorovane. Osnovno aparaturo sestavljata dve stekleni čaši, nameščeni druga v drugi tako, da je manjša 3-litrska nameščena v večji 5-litrski, v kateri je repično olje, ki služi kot grelna (temperirna) kopel za manjšo 3-litrsko čašo. S tem smo se izognili morebitnim močno povišanim temperaturam na dnu manjše 3-litrske čaše, v kateri je testirano olje. V vsako izmed čaš je dodana magnetna tabletk za mešanje olj med izvajanjem testa (meša se tako olje temperirne kopeli kot tudi testirano olje).

V manjšo čašo je vstavljeno $15 \pm 0,1$ m bakrene žice preseka $1,5 \text{ mm}^2$, zvite v spiralo s premerom 10 mm. Količina vzorca testiranega olja znaša $1.500 \pm 10 \text{ mL}$. Test oz. gretje se izvaja vzporedno na treh magnetnih mešalih z grelno ploščo, ki so postavljena v namensko izdelano komoro z odsesavanjem oljnih par – *slika 4*. S pomočjo predhodno vstavljenih dveh tabletk (v vsako čašo po ena) magnetna mešala mešajo tako olje v temperirni kopeli kot tudi testirano olje v manjši čaši s hitrostjo $300 \pm 50 \text{ obr/min}$.



Slika 4: Termični test za pospešeno staranje hidravlične tekočine

Med testom vzdržujemo konstantno vrednost temperature olja $150 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ (ali $160 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ v primeru zelo odpornih olj oz. termično stabilnih olj) s pomočjo dograjenih temperaturnih regulatorjev (PID) in temperaturnih tipal, ki so pomočena v testirano olje. Pred pričetkom testiranja so bila vsa temperaturna tipala umerjena s potopitvijo v isto tekočino pri $150 \text{ }^\circ\text{C}$ – na $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ natančno.

Za razliko od testov RPVOT in TOST predstavljeni test nima natančno določenega konca, saj z njim ne želimo izmeriti samo vrednosti oksidacijske stabilnosti testiranega olja, ampak želimo »posneti« profil pospešenega staranja olja v celotni uporabni dobi, kar predstavlja osnovo za vse kasnejše napovedi o preostali uporabni dobi olja in tudi o tvorjenju lakastih produktov ter gošče.

Po končanem testiranju je bilo na vzorcih moč zaznati močno spremembo barve (*slika 5 zgoraj*) in izraziti vonj po zažganem. Testirano je bilo običajno mineralno hidravlično olje Hydrolubric HL (tip HLP), pri čemer je temperatura testiranja znašala $150 \text{ }^\circ\text{C}$. Številke na sliki 5, navedene zraven oznake HL, podajajo čas trajanja testa v urah na omenjeni temperaturi. Na potopljeni bakreni žici pa je bilo pri vzorcih, ki so bili testirani dalj časa, opaziti močno tvorbo netopnih lakastih produktov, ki so se bakrene žice oprijeli (*slika 5 spodaj*). Prav tako je bilo pri omenjenih vzorcih opaziti netopne lakaste produkte oksidacije na stenah čaše ter usedline, ki so ostale na dnu oz. se oprijele steklene posode po koncu testa (*slika 6*).



Slika 5 : Vzorci običajnega mineralnega hidravličnega olja po končanem testiranju (zgoraj) in tvorba netopnih lakastih produktov na bakreni žici (spodaj)



Slika 6 : Tvorjenje netopnih lakastih produktov na stenah čaš in usedlin na dnu

Kot primer različne nagnjenosti k tvorjenju lakastih produktov in usedlin prikazuje *slika 7* tri različna (hidravlična) turbinska olja, označena z A, B in C, različnih vzdržljivosti, testirana pri $150 \text{ }^\circ\text{C}$ oz. $160 \text{ }^\circ\text{C}$. Slika 7 zgoraj prikazuje manj vzdržljivo olje A, testirano pri $150 \text{ }^\circ\text{C}$, ki že po 60 urah testiranja kaže občuten pojav oblog na bakreni žici, po 150 urah testiranja pa je teh oblog ogromno.

Na sliki 7 v sredini: pri drugi hidravlični tekočini B kljub višji temperaturi testiranja ($160 \text{ }^\circ\text{C}$) tudi po daljšem času ni mogoče zaznati vidnejših sprememb v barvi žice oz. prisotnih lakastih produktov. Šele po 105 urah testiranja so se pričele pojavljati manjše obloge. Najboljši rezultati so bili doseženi s tretjo hidravlično tekočino C, pri kateri vse do 250 ur testiranja ni bilo mogoče zaznati nikakršnih lakastih oblog na bakru, kaj šele tvorjenja gošče. Razlike so lahko torej zelo velike.

Nagnjenost k tvorjenju lakastih produktov delno potrjujejo tudi vrednosti izmerjenih posameznih fizikalno-kemijskih parametrov. Tabela 1 prikazuje, da je zaradi termične oksidacije izhodiščna vrednost viskoznosti nekoliko narastla (vsa tri olja so bila deklarirana kot ISO VG 68). Prav tako po pričakovanju naraste vrednost nevtralizacijskega števila in oksidacije FT-IR, razen pri tekočini C, ki je drugačne vrste, kot sta tekočini A in B. Vrednost FT-IR se ni veliko spremenila, kar se kaže tudi pri najmanjši nagnjenosti k tvorjenju lakastih produktov.



Slika 7 : Nagnjenost k tvorbi netopnih lakastih produktov na bakreni žici

Tabela 1 : Fizikalno-kemijski parametri treh testiranih olj

Temperatura testa	150 °C			160 °C				
Vzorec	A			B			C	
Ure testiranja	0	60	90	0	60	90	0	180
Barva	L 0,5	L 4,5	> L 8	L 0,5	L 3,5	> L 8	L 1	> L 8
Viskoznost 40 °C	61,98	66,38	67,8	63,02	65,31	72,15	70,21	74,96
Viskoznost 100 °C	8,26	8,65	8,76	8,33	8,53	9,035	11,43	12,07
Indeks viskoznosti	102	102	101	101	101	99,00	157	158
Nevtralizacijsko št.	0,27	0,22	0,52	0,14	0,05	1,47	0,28	0,36
Oksidacija FT-IR	0,34	0,46	0,47	0,35	0,15	3,53	42,85	41,81
Test penjenja								
Sekvenca I	240/0	530/10	740/340	0/0	250/0	750/340	0/0	0/0
Sekvenca II	20/0	30/0	30/0	10/0	60/0	140/0	70/0	310/0
Sekvenca III	30/0	590/10	270/10	0/0	40/0	70/10	10/0	10/0

5 Nagnjenost primerljivih olj k tvorjenju lakastih produktov in gošče

Lahko pa na prvi pogled tako po sestavi in osnovnih lastnostih primerljiva hidravlična olja kažejo različne lastnosti glede tvorjenja lakastih produktov in gošče. V ta namen smo po opisanem postopku pospešenega termičnega staranja testirali dva vzorca turbinskih olj. Vsem vzorcem smo pred testiranjem in po končanem testiranju v kemijskem laboratoriju izmerili pomembne fizikalno-kemijske lastnosti. Pri tem po-

stopku so bili vzorci označeni z naslednjimi šiframi: B0, B1 (znana tekočina, predstavljena v poglavju 4), druga pa je bila sorodne vrste in lastnosti. Vzorci se so označeni z D0, D1 in D2, pri čemer so oznake vzorcev vezane na vrsto olja in stanje:

- ▶ B0 – olje B pred testiranjem,
- ▶ B1 – olje B po 70 h testiranja,
- ▶ D0 – olje D pred testiranjem,
- ▶ D1 – olje D po 70 h testiranja,
- ▶ D2 – olje D po 70 h testiranja (ponovljena meritev).

Tabela 2 : Primerjava rezultatov vseh vzorcev

Vzorec		B		D			Min. zahteva
Šifra vzorca		B0	B1	D0	D1	D2	
Barva (ASTM D 1500)	[-]	L 0,0	L 3,0	L 0,5	L 4,5	L 4,5	≤ L 5,5
Nevtralizacijsko število (ASTM D 664)	mg KOH/g	0,06	0,05	0,09	0,03	0,02	≤ 0,5
Test penjenja, sekvenca I (ASTM D 892)	ml/ml	0/0	450/0	0/0	470/0	540/0	≤ 600/0
Oksidacija FT-IR (mod. ASTM E2412)	[-]	0,35	0,32	0,39	0,38	0,35	≤ 0,4
Modif. MPC/stand. MPC	[-]	< 10	32/38	< 10	64/78	64	≤ 40

Šifra vzorca		B0	B1	D0	D1	D2
AH LubCos H2O+ II						
Dielektrična konstanta	[-]	2,029	2,023	2,033	2,012	2,009
Električna prevodnost	[pS/m]	266,3	260,8	260,8	257,2	260,6
Relativna vlažnost	[%]	32,9	34,5	32,8	30,6	29,9
AH LubCos Vis+						
Dielektrična konstanta	[-]	2,520	2,499	2,546	2,476	2,468
Viskoznost	[mm ² /s]	71,9	73,4	65,8	66,7	67,1

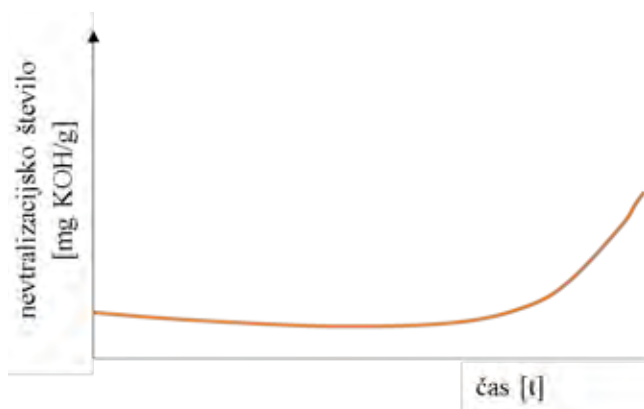
V tabeli 2 so zbrani in prikazani rezultati analiz posameznih vzorcev v primerjavi z zahtevami oz. mejnimi vrednostmi. Dodatno smo vzorce pomerili tudi z dvema multifunkcijskima on-line senzorjema:

- ▶ Argo-Hytos LubCos H2O+ II in
- ▶ Argo-Hytos LubCos VisPlus.

Na ta način smo izmerili dielektrično konstantno (2x), električno prevodnost, relativno vlažnost ter viskoznost testiranih vzorcev, veličine, ki jih lahko koristno uporabimo tudi pri on-line spremljanju stanja olja. Te meritve so potekale pri temperaturi vzorcev 40 °C.

Oba analizirana vzorca sta imela pred testiranjem zelo bistro barvo. Po testiranju je vzorec olja D spremenil barvo na vrednost L 4,5, medtem ko je vzorec olja B spremenil barvo na vrednost L 3,0. Glede na ta pogoj (barva) obe vrsti olj izpolnjujeta podane minimalne zahteve.

Nevtralizacijsko število vzorcev smo izmerili po novjšem postopku ASTM D 664, katerega rezultati se lahko nekoliko razlikujejo od standarda ASTM D 974. Kljub temu sta imela oba vzorca pred testiranjem zelo nizko vrednost nevtralizacijskega števila, ki je po izvedenem testiranju v trajanju 70 h še dodatno upadla. Glede na splošno krivuljo spremembe nevtralizacijskega števila turbinskih olj v njihovi uporabni dobi, ki jo prikazuje *slika 8*, smatramo, da smo pri testiranju obeh vzorcev dosegli približno »dno« krivulje. V primeru daljšega testiranja bi lahko pričakovali pričetek poviševanja vrednosti nevtralizacijskega števila. Glede na ta pogoj obe vrsti olj izpolnjujeta podane minimalne zahteve (70 ur in NŠ < 0,5).



Slika 8 : Običajni potek spremembe vrednosti nevtralizacijskega števila pri staranju olj

Rezultati analize **penjenja vzorcev** pred testiranjem so odlični, saj oba vzorca dosegata minimalno vrednost penjenja oz. se ne penita. Vsi vzorci se po testiranju sicer močneje penijo, ampak so znotraj minimalnih zahtev. Pri tem se vzorec B peni nekoliko manj kot vzorec D.

FT-IR-oksidacija vzorcev, izmerjena po modificiranem postopku ASTM E2412 z oknom HATR, prav tako nakazuje, da smo tudi s FT-IR-oksidacijo, ki se spreminja podobno kot vrednost nevtralizacijskega števila, dosegli dno krivulje. V primeru daljšega testiranja bi lahko pričakovali pričetek poviševanja vrednosti.

Oba vzorca sta pred testiranjem dosegla minimalne vrednosti **analize MPC**, medtem ko rezultati analiz po 70-urnem testiranju prikazujejo popolnoma drugačno sliko. Vzorec B1 po testiranju z modificirano metodo MPC z rezultatom MPC = 32 oz. po standardni metodi MPC, MPC = 38, še vedno ustreza minimalnim zahtevam, medtem ko vzorec D1 tem zahtevam ne ustreza več, saj je dosegel visoko vrednost MPC = 64 oz. 78. Vrednost analize potrjuje tudi dodatni, primerjalni vzorec testiranja D2, ki je dosegel popolnoma enak rezultat, pri čemer je bil dodatno izveden test MPC v dveh različnih kemijskih laboratorijih. Stanje filtrov pri analizi z modificiranim postopkom MPC prikazuje *slika 9*.



Slika 9 : Stanje filtrov pri analizi MPC po modificirani metodi

Po analizi vzorcev obeh vrst olj pred testiranjem in po 70 urah testiranja lahko zaključimo, da imata oba testirana vzorca dobro oksidacijsko stabilnost. Kljub temu pa so kasnejše analize pokazale, da ima vzorec olja B nekoliko boljšo oksidativno stabilnost in manjšo nagnjenost k tvorjenju lepljivih snovi na bazi nečistoč in produktov oksidacije olja ter k tvorjenju gošče in nečistoč (analize barve ter MPC).

Kot je razvidno iz rezultatov, vzorec D1 ne dosega ustrezne vrednosti analize MPC po 70 urah testiranja. To potrjuje tudi analiza primerjalnega vzorca D2, katere rezultat je identičen rezultatu vzorca D1.

Nekateri rezultati analiz vzorcev D1 in D2 (D po 70 urah testiranja) se le malenkostno razlikujejo, kar po naših izkušnjah izhaja iz določene nenatančnosti oz. neponovljivosti določenih laboratorijskih analiz in se ne pojavlja zaradi neponovljivosti postopka testiranja pospešenega staranja. To namreč potrjujejo tudi sami rezultati – nekatere vrednosti analiz (barva, MPC) so popolnoma enake, medtem ko se ostale razlikujejo le minimalno (nevtralizacijsko število, FT-IR).

6 Zaključek

Hidravlično olje, še vedno najpogosteje uporabljana vrsta hidravlične tekočine, skozi čas uporabe bolj ali

manj hitro izgublja svoje prvotne lastnosti – govorimo o degradaciji olja. Vzrokov za degradacijo je veliko, lahko so bolj ali manj kompleksne narave in so uporabnikom bolj ali manj znani. Med manj znane stranske pojave, s katerimi pa se vse pogosteje srečujemo, zagotovo spada tvorjenje lakastih produktov oz. lakastih oblog na vseh površinah, ki so omočene z oljem, in pa tvorjenje gošč oz. usedlin, ki se običajno nabirajo na dnu rezervoarja in na filtru.

Oboje povzroča motnje v delovanju hidravličnega sistema. Gošče se nabirajo na dnu rezervoarja, zaradi česar poenostavljeno menimo, da so manj motne, saj jih ob naslednji menjavi olja odstranimo, če rezervoar le očistimo. Vendar se lahko ob sunkovitem vračanju tekočine v rezervoar vzvalovijo in ponovno vrnejo v obtok. Razen tega pa lahko popolnoma zamašijo filtrski vložek, kar pa lahko pripelje do določenih nevarnosti v delovanju sistema. Lakasti produkti se nabirajo na vseh z oljem omočenih površinah, pri čemer na stenah rezervoarja niso tako nevarni kot v notranjosti ventilov, še posebej regulacijskih ventilov, ki imajo že v osnovi ozke tolerance rež. Podoben problem se pojavlja tudi na ležajih gredi, npr. na plinskih in parnih turbinah, kjer so to nadlogo, sicer lepe zlate barve, najprej opazili in se z njo pričeli spopadati.

Kot je na kratko predstavljeno v prispevku, je vzrokov za nastanek teh produktov več. Pojavljajo se lahko tudi pri dobro vzdrževanih hidravličnih napravah in celo pri uporabi zelo kvalitetnih (visoko aditiviranih) olj in celo pri termično zelo stabilnih sintetičnih oljih. Vzrok je torej lahko tudi v vrsti uporabljanega olja, po vseh parametrih zelo kvalitetnega.

Razen vzrokov za nastanek lakov in gošč so v prispevku na kratko opisane metode, s katerimi lahko bolj ali manj natančno ugotovimo, kakšno je stanje v hidravličnem sistemu glede na trenutno stanje olja. Lahko pa nagnjenost nekega olja k tvorjenju teh produktov ugotovimo že pred njegovo prvo vgradnjo oz. nabavo in se tako že vnaprej izognemo vsem morebitnim kasnejšim nevšečnostim. V prispevku je predstavljen že večkrat preverjen postopek testiranja olja s termičnim obremenjevanjem, ki smo ga uporabljali predvsem za ugotavljanje potekov sprememb posameznih fizikalno-kemijskih lastnosti olja, za ugotavljanje vzdržljivosti posameznega olja in za napovedovanje njegove celotne in preostale uporabne dobe ter za predizborna testiranja najprimernejšega olja za določeno aplikacijo.

V tem primeru smo ta postopek uporabili za ugotavljanje nagnjenosti olja k tvorjenju lakov in gošč, rezultate postopka pa primerjali z ostalimi znanimi standardiziranimi metodami. Na podlagi rezultatov smo dokazali, da olje ni enako olju, pa čeprav gre na prvi pogled za povsem primerljivo tako glede vrste kot kvalitete. Če se že soočamo s takšnimi pojavi v našem sistemu ali pa se jim želimo že vnaprej izogniti, je uporaba takšnega testiranja oz. vključitev

teh lastnosti olja v sicer obsežnejše testiranje v fazi predizbora za nas najprimernejšega olja vsekakor nujna.

Literatura

- [1] Fitch, Jim: Demystifying Sludge and Varnish, Machinery Lubrication, No. 1, 2002
- [2] Atherton, Buddy: Discovering the Root Cause of Varnish Formation, Practicing Oil Analysis (3/2007).
- [3] Livingstone, Greg; Wooton, Dave; Thompson, Brian: Finding the Root Causes of Oil Degradation, Practicing Oil Analysis (1/2007).
- [4] N. N.: How to Detect Varnish in Turbine Oils, Noria Corporation, <http://www.machinerylubrication.com/Articles/Print/29431>.
- [5] Fitch, Jim: Sludge and Varnish in Turbine Systems, <http://www.machinerylubrication.com/Articles/Print/874> (3. 1. 2018).
- [6] ASTM D4378-03: Standard Practice for In-Service Monitoring of Mineral Turbine Oils for Steam and Gas Turbines, Annual Book of ASTM Standards 2005, West Conshohocken, Penn.: American Society for Testing and Materials, 2005.
- [7] How do you know if you have varnish in your lube system? <http://biokemau.blogspot.si/2015/04/how-do-you-know-if-you-have-varnish-in.html> (3. 1. 2018).
- [8] Carroll, Jim: How to Use Lubrication Additives for Preventive Maintenance; Schaeffer Manufacturing, 2015
<https://www.pumpsandsystems.com/pumps/january-2014-how-use-lubrication-additives-preventive-maintenance> in <https://www.pumpsandsystems.com/pumps/january-2014-how-use-lubrication-additives-preventive-maintenance?page=2> (3. 1. 2018).
- [9] Lucas, Lew: Problems and sources of varnish in hydraulic fluid, Hydraulics and Pneumatics, 4/2007.
- [10] Sasaki, Akira; Uchiyama, Shinji; Yamamoto, Takashi: Generation of static electricity during oil filtration. Lub. Eng. 1999; 55(9), str. 24–27.
- [11] Lovrec, Darko: Vzroki za prisotnost zraka v hidravličnem sistemu. Ventil, ISSN 1318-7279, avg. 2016.
- [12] ASTM D7843: MPC Varnish Potential Testing.
- [13] Tič, Vito; Tašner, Tadej; Lovrec, Darko: Enhanced lubricant management to reduce costs and minimise environmental impact. Energy, ISSN 0360-5442. 1 Dec. 2014, vol. 77, str. 108–116, 2014, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544214005799#>, doi: 10.1016/j.energy.2014.05.030
- [14] Gregorc, Boštjan; Tič, Vito; Lovrec, Darko: Izbor turbinskega olja na podlagi predhodnih testov. 13. konferenca slovenskih elektroenergetikov CIGRE-CIRED, Maribor, 22.–24. maj 2017. Ljubljana: Slovensko združenje elektroenergetikov

- CIGRE – CIRED. 2017, str. 1-10, 2017
- [15] Lovrec, Darko; Gregorc, Boštjan; Tič, Vito: Izбира primernege turbinskega olja na podlagi testiranj, Zbornik predavanj posvetovanja o tribolo-

giji, mazivih in tehnični diagnostiki, Posvetovanje o tribologiji, mazivih in tehnični diagnostiki, SLOTRIB 2016, Ljubljana, Slovenija, 17. november 2016, str. 63–74, 2016

Testing the tendency of hydraulic oils to form varnish and sludge

Abstract:

There are many causes of hydraulic oil degradation which can occur in various forms and may affect hydraulic system operation. The sources of varnish and sludge formation as degradation by-products are different and can also develop in well-maintained hydraulic systems, even when using high-quality hydraulic oils.

In order to recognize and avoid them, it is necessary to be familiar with the mechanisms of their formation and different testing methods. One of such methods is the oil thermal stability test, which is primarily used to determine the durability of oils and their properties that are changing through-out their useful lifetime. In the case presented below, the same test was used to determine the tendency of oil to form varnish, sludge and sediments.

Keywords:

hydraulic oils, sludge and varnish, testing, pre-selection

Za uspešno delo s strojem, njegovo vzdrževanje in varno uporabo, kot tudi za razumevanje posebnosti v delovanju ter za prepoznavanje napak in nevarnosti..., so potrebna specialna znanja. Ta z leti zbledijo, ali pa jih je šele potrebno pridobiti. Nenehno izobraževanje je danes nuj!

Komu so tečaji namenjeni?

Tečaji so namenjeni strokovnemu in vodstvenemu kadru, serviserjem in monterjem naprav z vgrajeno hidravlično in pnevmatično opremo ter krmiljem... oz. vsem, ki se pri svojem delu srečujejo s tovrstnimi napravami in tovrstno tehniko.

Tečaji so zasnovani tako, da v okviru osnovnega tečaja spoznamo osnove, ki jih nato v okviru nadaljevalnega tečaja nadgradimo ali razširimo z drugimi tematskimi tečaji.

Način podajanja znanja in oprema

Vsak tečaj sestoji iz teoretičnega in praktičnega dela, pri čemer pomen teoretičnih osnov podkrepimo s kratkimi izračuni in v nadaljevanju še z obsežnim praktičnim delom. Slednje izvajamo na realni industrijski opremi in ob realnih obratovalnih pogojih. Izvedba tečaja je prijazna udeležencu in naravnana na čim bolj učinkovito pridobivanje znanja.



IZOBRAŽUJEMO ZA INDUSTRIJO

Hidravlika
Pnevmatika
Uvod v tribologijo in maziva
Nega maziv
Uvod v avtomatizacijo

FS

Fakulteta za strojništvo

Znanje z leti zbledi, ga enostavno ni
ali pa se pojavijo potrebe po novih znanjih.
Obnovite ali pridobite ga!

Več informacij o tečajih najdete na:

e-mail: laoh@um.si

<http://laoh.fs.um.si/>

Tel.: (02) 220 7611