

Franz Novotny-Farkas, Karin Baumann, Tibor Leimeter

ISSN 0350-350X

GOMABN 47, 3, 209-231

Stručni rad/Professional paper

UDK 665.767: 621.438 : 621.892.28 : 621.438 : 665.765.035.5

## POBOLJŠAVANJE TERMOOKSIDACIJSKE STABILNOSTI ULJA ZA PLINSKE TURBINE

### Sažetak

*Pouzdan i neometan rad plinskih turbina bitno ovisi o sustavu podmazivanja i kvaliteti mazivih ulja. U zadnje vrijeme raste tipična radna temperatura turbinskih ulja, budući da plinske turbine u proizvodnji struje postaju sve djelotvornije. Istovremeno se povećavaju zahtjevi za što dugotrajnijim uljima za plinske turbine. Kako bi se zadovoljili svi ti zahtjevi, sadašnja turbinska ulja trebaju imati odgovarajuću termooksidacijsku stabilnost. Međutim, nakon što su u sustav turbina uvedene nove kvalitete ulja za plinske turbine, pojavili su se novi izazovi s obzirom na stvaranje mulja, lakova i taloga. Ova onečišćenja i problemi vezani uz maziva ulja dovode do zastoja, gubitaka i dodatnih troškova održavanja. Kako bi se pojasnili razlozi i pozadina ove složene pojave, potrebno je provesti opsežna ispitivanja i studije o problemima vezanim za termooksidacijsku stabilnost.*

### 1. Uvod

Moderne plinske turbine zahtijevaju različito podmazivanje od ostalih turbinskih strojeva, kao što su vodne i parne turbine. Kako zahtjevi rastu, izbor baznih ulja i aditiva postaje sve važniji radi ispunjenja željenih bitnih svojstava. Također se zahtijeva da uravnotežena formulacija izdržljivijeg turbinskog ulja za plinske turbine zadovolji oštre uvjete eksploatacije.

U novije vrijeme uvedena su nova visoko učinkovita turbinska ulja, koja se deklariraju kao ulja ekstremno visoke termooksidacijske stabilnosti. Međutim, u porastu su ozbiljne primjedbe i neslaganja zbog čestih pojava mulja, lakova i taloga u plinskim turbinama. Objavljeno je mnogo članaka i izvješća o formiranju mulja i lakova [1] [2] [6] [9] [10] [11], tražeći odgovarajuća rješenja problema. Međutim, svi ti doprinosi, istraživanja i industrijska praksa nisu još dali općeprihvaćena rješenja i zadovoljavajuće odgovore. Zbog tih činjenica, radi boljeg razumijevanja problema termooksidacijske stabilnosti, potrebna su daljnja istraživanja i opsežne studije.

Ovaj rad sagledava trenutačnu situaciju podmazivanja plinskih turbina i donosi stajališta i razmatranja autora o razlozima nastanka mulja i lakova. Rad također naglašava i raspravlja o važnosti uravnoteženog formuliranja turbinskog ulja pravilnim odabirom kvalitete baznog ulja, vrste i koncentracije antioksidanta s ciljem postizanja visoke termooksidacijske stabilnosti koja se potvrđuje laboratorijskim testovima. Boljim razumijevanjem stvarne pozadine zahtjeva termooksidacijske stabilnosti, bit će moguće provesti optimizaciju i usklađivanje performancija ulja za plinske turbine s uvjetima rada, kao i smanjenje stvaranja mulja i lakova.

## 2. Situacija na tržištu i industrijski trendovi

### Turbinski strojevi i njihovo podmazivanje

U proizvodnji struje postoje tri glavna tipa turbinskih strojeva, koji imaju glavnu ulogu i važnost, široko su prihvaćeni i opće popularni: vodne, parne i plinske turbine. Plinske turbine i turbine s kombiniranim ciklusima su zbog njihove visoke efikasnosti i fleksibilnosti u režimima teškog opterećenja postigle dosad najveći udio na tržištu. [1] [2] [4].

Tablica 1: Prikaz uvjeta rada turbinskog ulja

Vrsta turbine	Vodna	Parna	Plinska
Kritični dijelovi turbine	ležaji usmjeravajuće lopaticice sustav regulacije	ležaji sustav regulacije	ležaji reduktori sustav regulacije
Brzina vrtnje, o/min	50-600	>3000	3000-7000
Temperatura ulja u spremniku, °C	40-60	45-65	50-95
Vršna temperatura ulja, °C	75-90	80-150	150-280
Nepovoljni utjecaji	(voda) zrak	(para) zrak	zrak visoka temperatura
Životni vijek ulja, 1000 h	100-250	50-150	20-30

Svaki od tri tipa turbine ima svoje tipične režime i uvjete rada, a to su široki raspon brzina, opterećenja i temperature maziva. Konstrukcija turbina, uvjeti rada, opterećenja, radne temperature, nadolijevanje ulja i onečišćivači su glavni čimbenici određivanja zahtijevanih performancija turbinskog ulja i njegovog životnog vijeka. Prikaz uvjeta rada turbinskog ulja dat je na tablici 1 [5].

### Ulja za plinske turbine - zahtjevi

Iz tablice 1 vidljivo je da ulja za plinske turbine imaju najteže uvjete rada. Povišena temperatura u spremniku i vršna temperatura predstavljaju najvažniji zahtjev za kvalitetu ulja. Ovi nepovoljni utjecaji viših radnih temperatura zahtijevaju ulja s mnogo višom termooksidacijskom stabilnošću i izdržljivošću. Osim toga zahtijeva se produženi rad plinskih turbina bez smetnji i kvarova. Odgovarajućakvaliteta ulja za

podmazivanje mora osigurati željeni produženi vijek trajanja i pouzdanost rada plinskih turbina [1].

### Razvoj norma i specifikacija

S ciljem zadovoljenja ovih oštrih uvjeta rada, nedavno su izdane nove industrijske norme i specifikacije turbinskih ulja [1] [2]. Posljednje izdanje međunarodne norme ISO 8068 prikazano je u tablici 2 [2] [12].

Tablica 2 : Nova ISO 8068 ( rujan 2006.) norma

<b>TSA</b>	Parne turbine s normalnim (niskim) temperaturama ulja
<b>TGA</b>	Plinske turbine s normalnim (niskim) temperaturama ulja
<b>TSE</b>	Parne turbine s normalnim (niskim) temperaturama ulja s EP svojstvima
<b>TGE</b>	Plinske turbine s normalnim (niskim) temperaturama ulja s EP svojstvima
<b>TGB</b>	Plinske turbine, B = s višim temperaturama ulja
<b>TGSB</b>	Plinske + parne turbine, s višim temperaturama ulja
<b>TGF</b>	Plinske turbine, s višim temperaturama ulja s EP svojstvima
<b>TGSE</b>	Plinske + parne turbine, s višim temperaturama ulja s EP svojstvima
<b>TGCH</b>	Plinske turbine s visokim temperaturama ulja formuliranog sa sintetičnim baznim uljem
<b>TGCE</b>	Plinske turbine s visokim temperaturama ulja (zrakoplov)
<b>THA</b>	Turbine s normalnim temperaturama ulja u graničnim/miješanim uvjetima podmazivanja
<b>THE</b>	Turbine s normalnim temperaturama ulja u graničnim/miješanim uvjetima podmazivanja s EP svojstvima
<b>TSB</b>	Parne turbine, vatrootporne tekućine na osnovi fosfatnih estera
<b>TGB</b>	Plinske turbine, vatrootporne tekućine na osnovi fosfatnih estera
<b>THCH</b>	Turbine, biorazgradljive tekućine na osnovi PAO
<b>THCE</b>	Turbine, biorazgradljive tekućine na osnovi estera

Oštriji zahtjevi za termooksidacijskom stabilnošću rezultirali su promjenama i detaljnijim specifikacijama turbinskih ulja, razdvajajući standardne (za vodne i parne) od specifikacija za plinske turbine. Razvoj na području normizacije turbinskih ulja nije zaustavljen samo stvaranjem međunarodnih i nacionalnih specifikacija, već je uvedeno ili revidirano nekoliko novih specifikacija i uputa proizvođača opreme (OEM). Ulja za plinske turbine nedavno su definirana u normi s posebnim zahtjevima za termooksidacijsku stabilnost [2].

### Trendovi u formuliranju i laboratorijskom ispitivanju ulja za plinske turbine

Temeljem navedenoga formulatori i proizvođači turbinskih ulja reagirali su uporabom nekonvencionalnih baznih ulja s ekstremno povećanom koncentracijom antioksidanta. U skladu s tim na tržištu su se pojavila kvalitetna turbinska ulja koja zadovoljavaju ove zahtjeve za boljom termooksidacijskom stabilnošću.

Termooksidacijska stabilnost određivana je istim metodama ispitivanja ASTM D 2272 (Rotating Pressure Vessel Oxidation Test, RPVOT – Oksidacijska stabilnost pomoću rotirajuće posude pod tlakom) i ASTM D 943 (Turbine Oil Stability Test, TOST – Oksidacijska stabilnost turbinskog ulja) kao i za tradicionalna R & O (Rust and Oxidation Inhibited – Cirkulacijska ulja) te konvencionalno formulirana turbinska ulja (vidi tablicu 3 i 4) [1]. Zapravo, u razvoju ulja za plinske turbine, proizvođači ulja su se koncentrirali samo na zadovoljavanje ekstremno visokih RPVOT/TOST vrijednosti, ne uzimajući u obzir korelaciju s praksom.

Tablica 3: Usporedba fizikalno-kem. svojstava specifikacija ulja za plinske turbine (I)

Svojtvo	Metoda ispitivanja	DIN 51515-2 L-TG	ASTM D 4304 TYP III (nacrt)	ISO / DIS 8086 TGB / TGSB
Gradacija viskoznosti	ISO 3448	32 / 46	32 / 46	32 / 46 / 68
Indeks viskoznosti, min.	ISO 2909	...	...	90
Odvajanje zraka, maks	ISO 9120	5	5	5 / 5 / 6
Svojtva pjenjenja (sklonost/stabilnost),maks.: - Seq I °C kod 24 °C, ml/ml - Seq II °C kod 93 °C, ml/ml - Seq III °C kod 24 °C, nakon 93 °C, ml/ml	ISO 6247	450/0 100/0 450/0	50/0 ... ...	450/0 50/0 450/0
Količina vode, m/m % maks.	ISO 12937	0,015	0,02	0,02
Svojtva odvajanja vode: - vrijeme do 3 ml emulzije kod 54 °C, min,maks. - deemulzijski broj, sec maks.	ISO 6614 DIN 51589-1	... 300	30 ...	30 ...
Neutralizacijski br., mg KOH/g,maks.	ISO 6618	navodi se	0,2	navodi se
Razred čistoće maks.	ISO 4406	20 / 17 / 14	- / 17 / 14	- / 17 / 14
Plamište (COC), °C min.	ISO 2719	160 / 185	200 / 200	200 / 200 / 200

Tablica 4: Usporedba zahtjeva termooksidacijske stabilnosti specifikacija ulja za plinske turbine (II)

Svojtvo	Metoda ispitivanja	DIN 51515-2 L-TG	ASTM D 4304 TYP III (nacrt)	ISO / DIS 8086 TGB / TGSB
Oksidacijska stabilnost kod visokih temp. (72 h kod 175 °C):  - promjena viskoznosti, maks. - promjena kiselinskog br., maks.  Promjena mase uzoraka,mg/cm <sup>2</sup> :  - čelik - aluminij - kadmij - bakar - magnezij	ASTM D 4636 prema alternativnom postupku 2	...	navodi se navodi se  ± 0,250 ± 0,250 ± 0,250 ± 0,250 ± 0,250	...
Oksidacijska stabilnost (TOST):  - sati do TAN 2,0 mg KOH/g, min. - talog nakon 1000 h TOST, mg , maks. - TAN nakon 1000 h TOST, mg KOH/g, maks.	ISO 4263-1 ASTM D 4310 ASTM D 4310		3500/3000/2500 ... ...	3500/3000 200 navodi se
Oksidacijska stabilnost (RPVOT), min, min.	ASTM D 2272	800	750	500
Modificirani RPVOT, %, min.	ASTM D 2272	85	85	85

### 3. Stvaranje mulja i lakova – kritičan problem

#### Iskustva iz prakse

Usprkos detaljnim i različitim normama ulja za plinske turbine, često se javljaju ozbiljne teškoće sa stvaranjem mulja i lakova, koje su postale najveći problem u primjeni ulja za plinske turbine. Ovi problemi mogu se pojaviti čak i kod tzv. visoko učinkovitih ulja za plinske turbine s visoko kvalitetnim nekonvencionalnim baznim uljima [6] [9] [10] [11].

U mnogim slučajevima stvaranje mulja i lakova na servo ventilima uzrokuje zapečenje ventila dok pri cirkulacijskom podmazivanju turbine izaziva smanjenje protoka ulja, povećano trošenje te mogućnost promjene hidrodinamičnog u granično podmazivanje. Ostali problemi izazvani lakovima u sustavu turbinskog ulja su smanjenje efikasnosti hlađenja, povećanje temperature ulja, preuranjeno začepljenje filtra, sita i uskih otvora. [10] [11].

Većina uobičajenih i standardiziranih ispitivanja nisu u korelaciji s problemima u praksi te se moraju razviti i primijeniti nove metode za kvantitativno određivanje sklonosti ulja ka formiranju lakova.

#### Razlozi stvaranja ulja i lakova

Uzroci stvaranja mulja i lakova su različiti. Većina faktora obuhvaća ekstremna termička i oksidacijska naprezanja zbog povišenih radnih temperatura, cikličnog ili vršnog rada plinske turbine, kao i uporabe slabije solventnih nekonvencionalnih baznih ulja te određene vrste aditiva [6].

Nema sumnje da uporaba nekonvencionalnih baznih ulja može jamčiti bolju termooksidacijsku stabilnost od konvencionalnih mineralnih ulja Grupe I. Usprkos tome, ova dublje rafinirana ulja definitivno pokazuju lošiju topljivost i povećanu osjetljivost na polarne spojeve. Da bi se zadovoljili zahtjevi visokih TOST / RPVOT vrijednosti iz norme, treba koristiti visoke koncentracije aditiva, posebno aminskih antioksidanata. Što se tiče ograničene topljivosti nekonvencionalnih baznih ulja i osjetljive termičke stabilnosti aminskih antioksidanata, visoke koncentracije antioksidanata nisu najbolji izbor u borbi protiv stvaranja mulja i lakova. Visoka koncentracija antioksidanata može uzrokovati izdvajanje samog aditiva, te stvaranja mulja i lakova u ranoj fazi.

### 4. Kontrola stvaranja mulja i lakova

#### Kako izbjeći mulj i lakove

Nekoliko sličnih studija [6] [10] [11] otkrile su da je stvaranje mulja i lakova obično rezultat niza nepovoljnih okolnosti. Ovaj složeni problem može se riješiti samo bliskom suradnjom proizvođača opreme (OEMs), rukovatelja opremom i proizvođača turbinskog ulja.

Prije svega, proizvođači opreme (OEMs) bi trebali dati doprinos kreirajući nove, bolje konstrukcije turbina i njihovih sustava podmazivanja, smanjujući visoke temperature ulja. Osim toga, pozornost rukovatelja turbinskim postrojenjem trebala bi biti

usmjerena na praćenje i prepoznavanje tendencije stvaranja mulja i lakova tijekom eksploatacije. Program praćenja stanja ulja trebao bi biti dio propisanog održavanja uključujući kombinaciju nadzora na licu mjesta i laboratorijskih analiza rabljenog turbinskog ulja. Budući da nema metode za izravno određivanje mogućnosti stvaranja mulja i lakova, neophodna je podrška bolje opremljenog laboratorija.

Sada mnoge elektrane i rukovatelji plinskih turbina koriste elektrostatičke filtracije [11]. U mnogim publikacijama prikazani su dobri rezultati u smanjenju stvaranja mulja i lakova, ali sva ta dodatna oprema utječe na značajan porast troškova održavanja. Autori ovog rada proveli su sveobuhvatna ispitivanja u cilju iznalaženja optimalnih i provedivih načina proizvodnje ulja sa smanjenim rizikom stvaranja mulja i lakova.

Proizvođači ulja imaju najbolje mogućnosti za razvoj nove efikasnije laboratorijske metode ispitivanja, kao alate za procjenu kvalitete ulja, te također za praćenje stanja ulja u eksploataciji radi predviđanja potencijala stvaranja mulja i lakova. Ova naprednija metodologija ispitivanja ulja treba omogućiti bolju procjenu termooksidacijske stabilnosti i ostalih karakteristika ulja za plinske turbine, dajući bolju korelaciju s praksom.

Kao što je prije rečeno, uravnotežena formulacija ulja za plinske turbine igra bitnu ulogu u prevenciji smanjenja rizika stvaranja mulja i lakova ("Bolje spriječiti nego...!"), a to se postiže optimizacijom i usklađivanjem kvalitete i topljivosti baznog ulja te pravilnim izborom vrste i koncentracije antioksidanta.

## 5. Razmatranje formulacije ulja

### Kako uravnotežiti formulaciju ulja

Kvalitetom baznog ulja unaprijed je određena temeljna termooksidacijska stabilnost i otpornost na starenje. Zbog toga solventno rafinirana bazna ulja Grupe I teško mogu zadovoljiti zahtjeve modernih teško opterećenih plinskih turbina [6] [9]. Bez djelotvornog antioksidanta, koji ne isparava i termički je stabilan, čak će i nekonvencionalna bazna ulja vrlo brzo oksidirati. Dio antioksidanta može se istrošiti isparavanjem ili postati nedjelotvoran zbog visokih temperatura. Odgovarajuća koncentracija i vrsta antioksidanta su najbitniji za osiguranje termičke stabilnosti i otpornosti na starenje, a time i na smanjenje stvaranja mulja i lakova.

### Uporaba nekonvencionalnih baznih ulja

Nekonvencionalna bazna ulja imaju prednost zbog veće termooksidacijske stabilnosti u usporedbi s konvencionalnim baznim uljima Grupe I. Ona imaju vrlo homogenu strukturu ugljikovodika (tablica 5), gotovo bez aromatskih spojeva, što smanjuje sklonost stvaranju mulja i lakova.

Nekonvencionalna bazna ulja izvrsno reagiraju na dodavanje aditiva pa je zato potrebna manja koncentracija aditiva za istu razinu kvalitete ulja. Međutim, zbog slabije topljivosti nekonvencionalnih baznih ulja dodavanje uobičajene vrste i količine antioksidanta rezultira ranijim stvaranjem mulja i izdvajanjem aditiva.

Tablica 5: Klasifikacija baznih ulja prema ATIEL / API

<b>Grupa I</b> Zasićeni ugljikovodici < 90 % Količina sumpora > 0,03 % 80 < Indeks viskoznosti < 120	<b>Grupa II</b> Zasićeni ugljikovodici > 90 % Količina sumpora < 0,03 % 80 < Indeks viskoznosti < 120	<b>Grupa III</b> Zasićeni ugljikovodici > 90 % Količina sumpora < 0,03 % Indeks viskoznosti > 120
<b>Grupa IV</b>  <b>Polialfaolefini (PAO)</b>		<b>Grupa V</b>  <b>Ostala bazna ulja</b>

**Važnost topljivosti baznih ulja**

Topljivost korištenih baznih ulja je vrlo bitna, jer ograničena topljivost može uzrokovati probleme u praksi. Visoke koncentracije nekih polarnih aditiva bez površinsko aktivnih tvari čine formulaciju ulja nestabilnom. Topljivost se rijetko laboratorijski ispitivala, usprkos njezine presudne važnosti na opće karakteristike industrijskih ulja i njihovo ponašanje u praksi.

Tablica 6: Anilinske točke različitih vrsta baznih ulja

Vrsta baznog ulja ISO VG 32	Anilinska točka °C
Naftenska	56-59
Parafinska Grupa I	99-102
Grupa II	114-118
Grupa III	124-126

Određivanje anilinske točke, koje se vrši prema ISO 2977 (ASTM D 611) metodi, može dati približnu informaciju o topljivosti baznog ulja [8]. Tipične anilinske točke različitih vrsta baznih ulja prikazane su u tablici 6 [8]. Karakteristika topljivosti je povezana s aromatskom prirodom baznog ulja i određena je temperaturom kod koje dolazi do potpunog miješanja anilina i ulja. Što ulje ima veću količinu aromata u sebi, to mu je niža anilinska točka.

**Pravilan odabir antioksidanata**

Postoji veliki broj kemijski različitih vrsti antioksidanata, koje se može koristiti u uljima za plinske turbine [7] [9]. Uravnotežena formulacija zahtijeva odabir dviju ili više kemijskih vrsta multifunkcionalnih antioksidanata sinergijskog potencijala, čime se smanjuje ukupna koncentracija aditiva. Niže koncentracije antioksidanta su prikladnije za bazna ulja slabije topljivosti, jer se time smanjuje mogućnost izdvajanja aditiva i stvaranje mulja i lakova.

Pojedine komponente korištenih antioksidanata i njihova kemijska struktura moraju biti pažljivo odabrane te imati nisku isparivost, dobru termičku stabilnost i odgovarajuću topljivost u baznim uljima koja se koriste u formulacijama ulja za plinske turbine.

Sterički smetani fenolni antioksidanti su vrlo djelotvorni kod umjerenih temperatura ulja u spremniku, ali imaju veliku sklonost sublimaciji i isparivosti. Ova vrsta antioksidanta nije dovoljno djelotvorna kad se koristi kao jedini antioksidant za kontrolu visoko temperaturne stabilnosti ulja za plinske turbine.

Aminski antioksidanti su vrlo djelotvorni za poboljšanje termooksidacijske stabilnosti (RPVOT / TOST rezultati), posebno s nekonvencionalnim baznim uljima. Zbog toga se oni široko koriste i presudan su sastavni dio u današnjim formulacijama turbinskih ulja. Unatoč tome, kod visokih koncentracija mogu izazvati izdvajanje aditiva i stvaranje netopljivih tvari kod povišenih temperatura.

#### **Korištenje mješavine antioksidanata**

Antioksidanti, korišteni u uljima za plinske turbine, temelje se na jedinstvenoj, sinergijskoj kombinaciji primarnih i sekundarnih antioksidanta, koja pokazuje dobru topljivost i omogućuje niske koncentracije aditiva [6] [9]. Do sinergije dolazi optimalnim omjerom između primarnog antioksidanta ili sakupljača slobodnih radikala i kombinacije sterički smetanih fenola i alkiliranih difenilamin antioksidanata. Daljnja optimizacija postiže se dodatkom sekundarnog antioksidanta na osnovi fosfora ili sumpora ili razgrađivača peroksida. Ova sinergijska djelotvornost antioksidanata razlikuje se od jednog do drugog baznog ulja. [7].

Treba napomenuti, da se u industrijskoj praksi radije koriste i u širokoj su uporabi gotovi paketi aditiva za turbinska ulja, koje nude različiti proizvođači aditiva. Samo nekoliko proizvođača ulja ulaže posebne napore kako bi korištenjem pojedinačnih komponenti optimizirali kemijski sastav aditiva. Optimalni omjer komponenata usklađen s kvalitetom baznog ulja važan je za ukupno smanjenje koncentracije aditiva prilikom definiranja pravilne formulacije turbinskog ulja.

## **6. Novi laboratorijski testovi**

### **Nedostaci postojećih laboratorijskih testova**

Za sve navedene i korištene laboratorijske testove bitno je da su u korelaciji sa stvarnim uvjetima rada u praksi ili oštiri od njih. Sadašnji laboratorijski testovi termooksidacijske stabilnosti prikazani su u tablici 7 [1].

Metoda ispitivanja ASTM D 2070 odavno je uvedena za ocjenu hidrauličkih tekućina. Temperatura ispitivanja od 135 °C vjerojatno nije dovoljno visoka za procjenu ekstremno visokih opterećenja ulja za plinske turbine. Ostala dva testa TOST / RPVOT uvedena za ispitivanje ulja za vodne i parne turbine koriste se i za ispitivanje ulja za plinske turbine, iako su pogonski uvjeti i zahtijevane karakteristike ovih turbinskih ulja vrlo različite. U slučaju visoko učinkovitog ulja za plinske turbine TOST ispitivanje traje dugo vremena (npr. više od 10000 sati) i ne provodi se na dovoljno visokim temperaturama potrebnim za ovu primjenu.

Neki antioksidanti pokazuju nedostatke (veliku isparivost, izdvajanje aditiva, termičku nestabilnost) pri višim temperaturama (150 – 190 °C) u odnosu na temperaturu TOST (95 °C) i RPVOT (150 °C). Ulja za plinske turbine trebaju imati značajno višu termooksidacijsku stabilnost kod povišenih temperatura i bez



prisutnosti vode. Korištenje veće koncentracije antioksidanta (ili paketa aditiva) ne daje samo više TOST / RPVOT vrijednosti, već s druge strane izaziva veće stvaranje mulja.

Tablica 7: Metode ispitivanja termooksidacijske stabilnosti turbinskog ulja

Metoda ispitivanja	CM-A ASTM D 2070	TOST ASTM D 943	RPVOT ASTM D 2272
Količina uzorka ulja	200 g	300 ml	50 g
Količina vode	nula	60 ml	5 ml
Metalni katalizatori	Cu šipka Fe šipka	Cu namotaj Fe namotaj	Cu namotaj
Zrak / kisik	zrak (bez strujanja)	kisik, 3 l/h	kisik, 6,2 bara
Temperatura	135 °C	95 °C	150 °C
Trajanje ispitivanja	168 sati	3000 – 10000 + sati	10 - 40 + sati
Kriterij ocjenjivanja	mulj ocjena šipke	dTAN	pad tlaka

### Novi laboratorijski testovi

Trenutačno korišteni laboratorijski testovi za ocjenu stvaranja mulja i lakova ne zadovoljavaju kriterije najnovijih vrhunskih zahtjeva laboratorijskih testova [10] [11]. Kao što je prije spomenuto, laboratorijski testovi za ispitivanje termooksidacijske stabilnosti moraju simulirati stvarne uvjete rada i njihovi rezultati moraju imati dobru korelaciju s ponašanjem ulja u praksi. Željeni postupci ispitivanja moraju se fokusirati na topljivost baznih ulja, termičku stabilnost aditiva kod povišenih temperatura, kao i sveukupni potencijal stvaranja mulja i lakova u ulju za plinske turbine.

Trenutačno su u razvoju su tri laboratorijska testa za ocjenu tendencije stvaranja mulja i lakova (tablica 8):

1. Brzi test termičke stabilnosti, topljivosti i izdvajanja aditiva – modificirani MAN Turbo test [13].
2. Ocjena potencijala stvaranja mulja u prisutnosti Cu namotaja – modificirani Baaderov test starenja DIN 51554 [14].
3. Test ispitivanja oksidacijske stabilnosti kod visoke temperature – metoda CEC L-48-A-00, postupak B [15].

U tijeku je veći broj studija i programa ispitivanja usmjerenih na razvoj novih adekvatnih metoda. Bit će proveden velik broj ispitivanja te stvorena baza eksperimentalnih podataka.

Tablica 8: Novi laboratorijski testovi

Laboratorijski testovi	MAN Turbo (modificirani)	Baader DIN 51554 (modificirani)	HTOST CEC L-48-A-00
Količina uzorka ulja	150 ml	60 ml	100 ml
Količina vode	—	—	—
Metalni katalizatori	—	namotaj bakra	—
Zrak / kisik	—	zrak (bez strujanja)	zrak, 5 l/h
Temperatura	120/150/180 °C	150 °C	160 °C
Trajanje ispitivanja	48 sati	168 sati	(96-) 192 sata
Kriteriji ocjenjivanja	mulj	mulj, dTAN, dSaponifikacijski broj, Cu namotaj	dKV, dTAN, dFTIR (oksidacija, AO)

## 7. Zaključak

Plinske turbine imaju značajan udio na tržištu modernih elektrana.

Najvažnije svojstvo ulja za plinske turbine je termooksidacijska stabilnost.

Različito porijeklo, sastav i karakteristike baznih ulja određuju njihovu sposobnost otapanja antioksidanata, polarnih produkata oksidacije i submikronskih čestica. Moderne formulacije ulja za plinske turbine bit će u budućnosti temeljene na nekonvencionalnim baznim uljima Grupe II/III.

Uravnotežena mješavina sterički smetanih fenolnih i aminskih antioksidanata treba se koristiti za kontrolu oksidacije i starenja kod umjereno povišenih i visokih temperatura ulja. Ukupna koncentracija antioksidanta treba biti smanjena i usklađena s kvalitetom baznog ulja i njegovom topljivošću.

Ne postoji prikladna i široko prihvaćena praksa za ocjenu potencijala stvaranja mulja i lakova kod visokih temperatura, iako je to neophodno potrebno.

Treba uvesti nove laboratorijske testove, koji su prilagođeni zahtjevima ulja za plinske turbine, ovisno o težini pogonskih uvjeta.

Rješavanje termooksidacijske stabilnosti ulja za plinske turbine je svakako izazov za formulatore ulja, proizvođače opreme (OEMs) i rukovatelje turbinama.

## Literatura

1. Quick, L.; "New turbine and lubricant technology requires new customer focused oil monitoring methods", ASTM Symposium, Dec. 5th, 2005, Norfolk, VA
2. Habereeder T; „Ashless additive technology for modern turbine oils“, Lubricants Russia 2006, WTC, Moscow
3. Bloch, H.P.; "Practical lubrication for industrial facilities", Marcel Dekker, 2000
4. Mang, T., Dresel W., "Lubricants and lubrications", Wiley-VCH, 2001

5. Sweeney P. J., "Lubrication of steam, gas and water turbines in power generation – A ChevronTexaco experience", Sydney NSW, 2001
6. Lopopolo V., "Development and testing of an anti-wear gas turbine lubricant in challenging offshore environment", IAGT Symposium, Banff, October 2005
7. Rudnick L.R.; "Lubricant additives – chemistry and applications", Marcel Dekker, 2003
8. Denis, J. et al; "Lubricant property analysis & testing", Editions Technip Paris, 2000
9. Gatto, V., et al; "Oxidation fundamentals & its application to turbine oil testing", ASTM Symposium, Dec. 5th, 2005, Norfolk, VA
10. Livingstone G. J. et al, New varnish test improves predictive maintenance program" Practicing Oil Analysis Magazine, Juli 2003
11. Livingstone G. J., "Solving varnish problems at power generation facilities", Practicing Oil Magazine, January 2003
12. ISO 8068 (Sept 2006)
13. MAN Turbomaschinen AG AA-10-217/A-C
14. German Standard DIN 51554
15. International Standard CEC-L-48-A-00

UDK	ključne riječi	key words
665.767: 621.438	ulje za plinske turbine, mineralno	gas turbine oil, mineral
621.892.28 : 621.438	ulje za plinske turbine, sintetsko	gas turbine oil, synthetic hindered ester
665.765.035.5	termalna oksidacijska stabilnost turbinskih ulja	thermall oxidation stability, turbine oil

#### **Autori**

Franz Novotny-Farkas, e-mail: [franz.novotny-farkas@omv.com](mailto:franz.novotny-farkas@omv.com); Karin Baumann  
 OMV Refining & Marketing GmbH, Schwechat, Austria  
 Tibor Leimeter, Gubkin State Oil and Gas University, Moscow, Russia

#### **Primljeno**

04.10.2007.