

Tonča Čaleta Prolić, Anđelko Lepušić

ISSN 0350-350X

GOMABN 51, 1, 29-46

Izvorni znanstveni rad / Original scientific paper

UTJECAJ PJENJENJA NA SVOJSTVA PROTIV TROŠENJA MAZIVIH ULJA

Sažetak

Skлонost pjenjenju mazivih ulja predstavlja ozbiljan problem u sustavima kao što su zupčaničke transmisije s velikim brzinama, pumpanje kod visokih volumena i kod podmazivanja prskanjem. Zbog pjenjenja dolazi do diskontinuiranog podmazivanja, gubitka maziva zbog prelijevanja, što može dovesti do mehaničkih oštećenja i kavitacije, a posljedica je smanjeni vijek trajanja uređaja i veći troškovi održavanja.

U svhu ocjenjivanja radnih svojstava mazivih ulja u primjeni, razvijeni su različiti postupci koji simuliraju radne uvjete. U radu su prikazani različiti tipovi mazivih ulja kod kojih je analizirana dinamika stvaranja i nestanka pjene, te sklonost pojavi adhezivnog - kliznog trošenja pri različitim brzinama.

1. Uvod

Podmazivanje je postupak kojim se smanjuje trenje i trošenje materijala primjenom različitih vrsta maziva. Unutarnje trenje mazivih slojeva mora biti što manje kako bi se omogućio nesmetan rad strojeva. Zbog neodgovarajućeg podmazivanja, sile trenja između kliznih površina mogu biti tako visoke, da dolazi do prevelikih gubitaka energije, pretjeranog zagrijavanja pogonskih motora, rad strojeva postaje bučan i neravnomjeran, što u konačnici vodi do istrošenja i propadanja pojedinih strojnih elemenata. Zbog svega navedenog, mazivo mora biti smično stabilno, s dobrom oksidacijskom i termičkom stabilnošću, zaštitom od korozije i trošenja, te dobrom otpornošću na povišene tlakove kao i dobrim niskotemperaturnim svojstvima i otpornošću na pjenjenje.

Za postizanje zadovoljavajućih primjenskih svojstava u bazna ulja se dodaju odgovarajući aditivi. Poznavanjem fizikalno-kemijskih svojstava maziva, može se osigurati pouzdana kontrola kvalitete tijekom proizvodnje i na taj način gotove formulacije mogu zadovoljiti sve strože proizvodne specifikacije. Funkcionalnim i primjenskim ispitivanjima maziva omogućava se potpuni razvojni i primjenski izbor maziva za zahtjevna mjesta podmazivanja. [1]

1.1 Pjenjenje

Jedno od bitnih fizikalnih svojstava maziva je otpornost maziva na stvaranje pjene. Stvaranje pjene mogu uzrokovati u samoj formulaciji maziva detergentski i antioksidacijski aditivi. U primjeni pjenjenje nastaje zbog prevelikog protoka maziva, visokih tlakova u dovodnim pumpama, uskih kanala na mjestu primjene i prodiranja zraka. Također, razlozi mogu biti u premaloj količini maziva, kao i neodgovarajućoj geometriji spremnika. Pjenjenje može biti izazvano miješanjem različitih tipova mazivih ulja, prodorom mazivih masti, prašine ili vode. [8]

Pjenjenje rezultira diskontinuiranim podmazivanjem, povećanjem tlaka na mjestu primjene, gubitkom ulja zbog prelijevanja, što povećava troškove i zagađuje okoliš. Također je manja sposobnost maziva za podnošenjem opterećenja, povećana oksidacija maziva, te slabije odvođenje topline s mjesta primjene. Rezultat toga je prelazak podmazivanja potpunim slojem u drugi tip podmazivanja: mješovito i/ili granično podmazivanje. Ovakvo diskontinuirano podmazivanje povećava mogućnost trenja i trošenja strojnih elemenata i s tim u vezi rastu troškovi održavanja.

Dodatkom antipjenušavaca sprječava se stvaranje stabilne pjene u ulju. Oni djeluju tako da smanjuju površinsku napetost zračnih mjehurića, razbijaju ih na manje mjehuriće, ili ih uništavaju na površini i tako doprinose brzom razgradnji pjene. Koriste se različiti tipovi antipjenušavaca: poliglikoli, poliakrilati, kvarterne amonijeve soli, a najčešće se koriste organski polisiloksani – silikoni. [2,9]

1.2 Trošenje

Trošenje je postupni gubitak materijala s površine krutog tijela zbog dinamičkog dodira s drugim krutim tijelom, fluidom i/ili česticama. [5] Postoje četiri osnovna mehanizma trošenja: [3], [4]

- abrazija
- adhezija
- umor površine
- tribokorozija

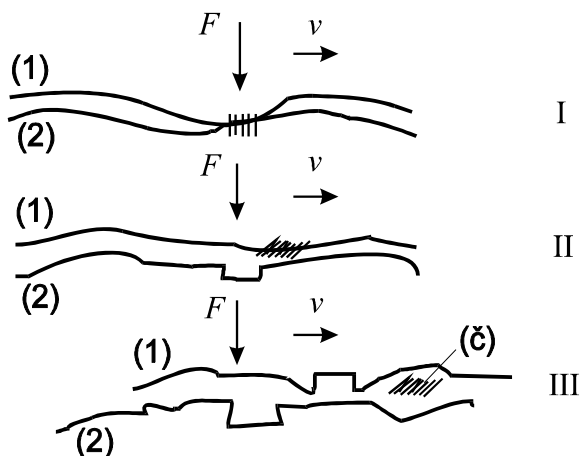
Abrazija je trošenje istiskivanjem materijala, uzrokovana tvrdim česticama ili tvrdim izbočinama.

Adhezijsko trošenje karakterizira prijelaz materijala s jedne klizne plohe na drugu pri relativnom gibanju, a zbog procesa zavarivanja krutih faza. Razlikujemo tri faze: nastajanje adhezijskog para na mjestu dodira izbočina, raskidanje adhezijskog para, otkidanje čestice trošenja ili ona ostaje trajno „nalijepljena” odnosno navarena na drugu kliznu površinu (slika 1).

Umor površine je vrsta trošenja kod kojega odvajanje čestica nastaje zbog cikličkih promjena naprezanja.

Tribokorozija ili tribokemijsko trošenje je mehanizam trošenja pri kojem prevladavaju kemijske ili elektrokemijske reakcije materijala s okolišem. Prema vrsti elemenata tribosustava, vrsti dodira, načinu opterećenja i obliku relativnog gibanja razlikuju se vrste trošenja: klizno trošenje, kotrljajuće, udarno, freting, abrazija, erozija i kavitacija.

Za ispitivanje otpornosti maziva na adhezijsko trošenje služi nam uređaj „4 kuglice“ („four ball“, IP 239). Kod ove metode tri donje kuglice fiksirane su u držaču, a gornja kuglica rotira pod određenim opterećenjem. Opterećenje se postupno povećava dok ne dođe do međusobnog zavarivanja („welding point“) ili oštećenje ne prijeđe neki dogovoreni iznos. Također se može u određenom vremenskom razdoblju mjeriti istrošenje donje tri kuglice (norma ASTM D 4172). Druga metoda za ispitivanje adhezijskog trošenja je ispitivanje „prizma po prstenu“ („block on ring“, prema normi ASTM G 77). [3,4]



Slika 1: Jedinični događaj adhezije [3,4]

2. Eksperimentalni dio

2.1 Ispitna maziva

Izabrano je 6 različitih maziva, koja u primjeni pokazuju sklonost pjenjenju. Ispitani su otpornost na pjenjenje i utjecaj pjenjenja maziva na sposobnost podnošenja opterećenja, odnosno pojavu adhezijskog trošenja kod uzoraka bez i s dodanim antipjenušavcem na osnovi silikata, polidimetilsiloksan (PDMS). [9] U tablici 1 dana su osnovna svojstva ispitanih maziva.

2.2 Ispitivanje otpornosti na pjenjenje i rezultati

Ispitivanje je provedeno prema metodi sadržanoj u normi ISO 6247. Tom metodom mjeri se tendencija rasta i stabilnost pjene na tri različite temperature. U uzorak se upuhuje zrak 5 minuta i zatim se mjeri volumene nastale pjene te izražava kao „sklonost“ nastanku pjene. Nakon 10 minuta na istom uzorku se ponovno mjeri volumen pjene i označava kao „stabilnost“ pjene. Rezultat kod sobne temperature označava se kao Sekvenca I, zatim se postupak ponovi s novim uzorkom kod 93,5 °C (Sekvenca II) i taj isti uzorak se ponovno ispituje kod 24 °C (Sekvenca III).

Ispitano je svojstvo pjenjenja maziva bez antipjenušavca i nakon dodavanja 15 – 30 ppm antipjenušavca (PDMS) mjerenje je ponovljeno. Rezultati su dani u tablici 2 i prikazani su na slikama 2-4.

Tablica 1: Svojstva ispitivanih maziva

SVOJSTVO	ISPITNA METODA	A	B	C	D	E	F
Kinematička viskoznost pri 40 °C, mm ² /s	HRN EN ISO 3104	45,28	70,74	102,2	102,0	32,57	31,45
Kinematička viskoznost pri 100 °C, mm ² /s	HRN EN ISO 3104	8,86	9,88	11,05	15,10	3,56	5,30
Indeks viskoznosti	HRN ISO 2909	179	120	92	155	107	100
Točka tečenja, °C	HRN ISO 3016	- 42	- 27	- 12	- 54	- 36	- 12
Plamište, °C	HRN EN ISO 2592	276	238	243	210	230	220
Izgled i boja	vizualno	bistro, smeđe	bistro, smeđe	bistro, smeđe	bistro, smeđe	bistro, smeđe	bistro, smeđe

A - Biorazgradljivo hidrauličko mazivo sintetičke osnove (HEES)

B - Mazivo za traktore (UTTO)

C - Cirkulacijsko ulje

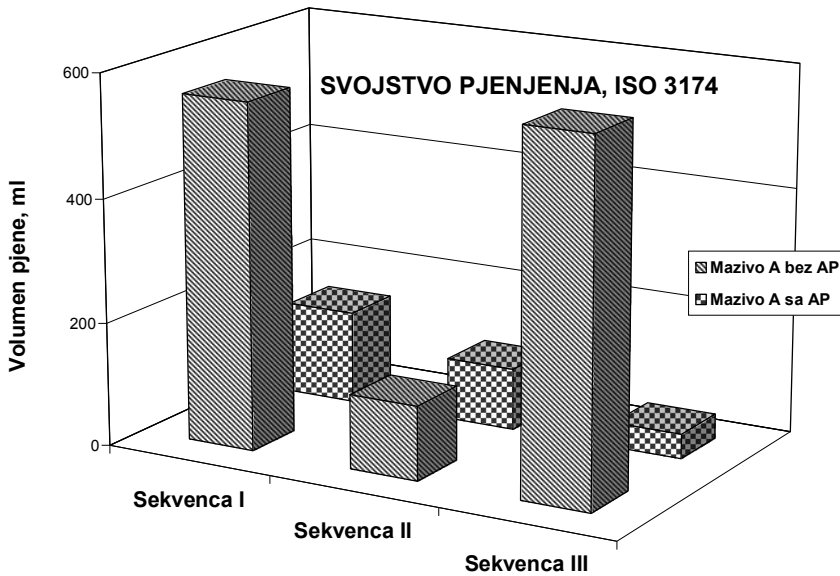
D - Sintetičko ulje za zupčaničke prijenosnike (SAE 75W-90)

E - Ulje za hidrodinamičke prijenosnike

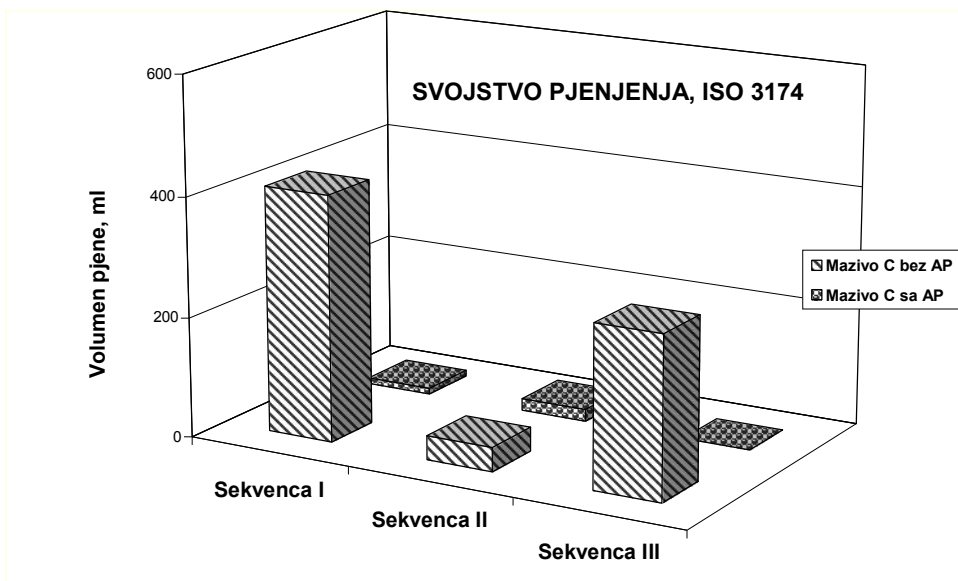
F - Čisto ulje za obradu metala

Tablica 2: Rezultati testa pjenjenja

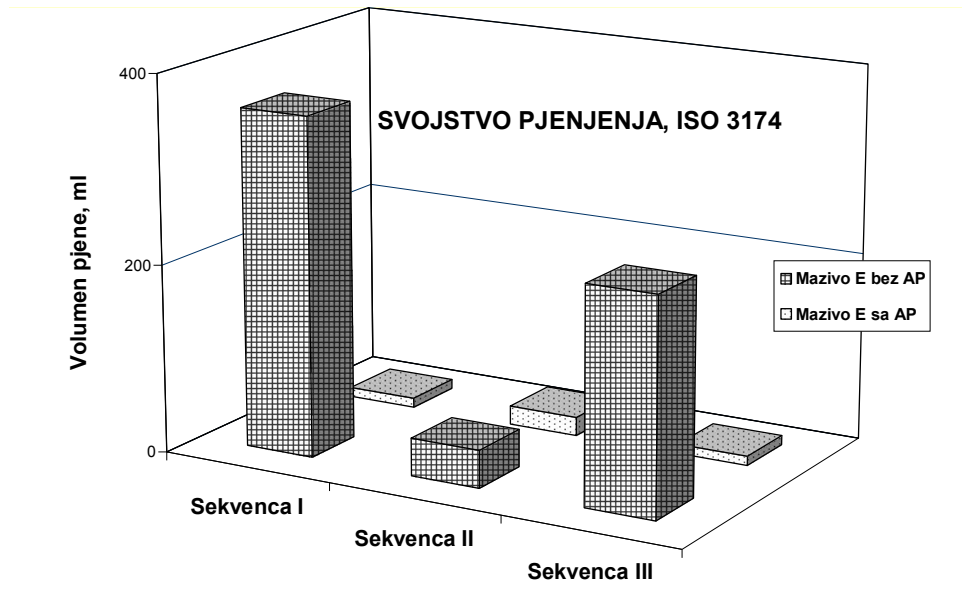
SVOJSTVO	A	B	C	D	E	F
Pjenjenje (bez pjenušavca)						
Sekvenca I,	560 / 260	50 / 0	410 / 0	140 / 10	360 / 0	360 / 0
sklonost/stabilnost, ml/ml	120 / 0	300 / 0	40 / 0	160 / 0	40 / 0	280 / 0
Sekvenca II	580 / 380	60 / 0	270 / 0	210 / 0	230 / 0	440 / 0
Sekvenca III,						
Pjenjenje (s antipjenušavcem)						
Sekvenca I,	150 / 0	0 / 0	10 / 0	15 / 0	10 / 0	0 / 0
sklonost/stabilnost, ml/ml	100 / 0	20 / 0	40 / 0	80 / 0	20 / 0	20 / 0
Sekvenca II	40 / 0	0 / 0	0 / 0	10 / 0	10 / 0	0 / 0
Sekvenca III						



Slika 2: Tendencija nastanka pjene u biorazgradljivom hidrauličkom mazivu, bez i s antipjenušavcem (AP)



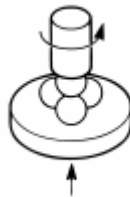
Slika 3: Tendencija nastanka pjene u cirkulacijskom ulju, bez i s AP



Slika 4: Tendencija nastanka pjene u mazivu za hidrodinamičke spojke, bez i s AP

2.3 Ispitivanje otpornosti na trošenje i rezultati

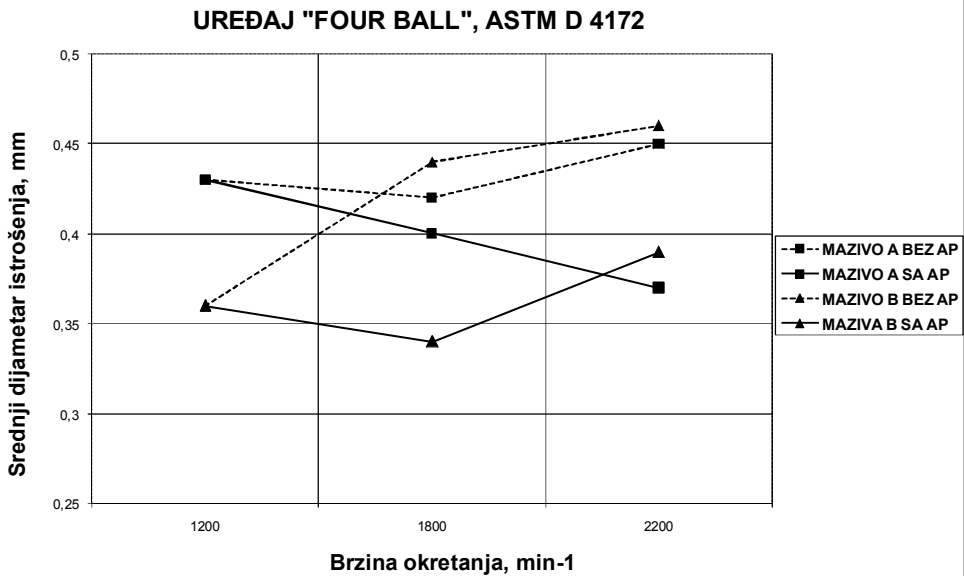
Uzorci maziva bili su podvrgnuti i mehaničkim ispitivanjima svojstava nosivosti mazivog sloja i otpornosti na adhezijsko trošenje prema normi ASTM D 4172. Kod uređaja „4 kuglice“ nalaze se u obliku tetraedra jedna rotirajuća i 3 nepokretne kugle istog materijala i dimenzija. Sustav kugli nalazi se u držaču, koji se može opteretiti, a napunjen je ispitnim uljem. Kod ispitivanja srednjeg dijametra istrošenja opterećenje je standardizirano (1200 min^{-1} , 392 N , $75 \text{ }^\circ\text{C}$, 1 h). Ova ispitivanja provedena su kod tri brzine: 1200 min^{-1} , 1800 min^{-1} i 2200 min^{-1} .



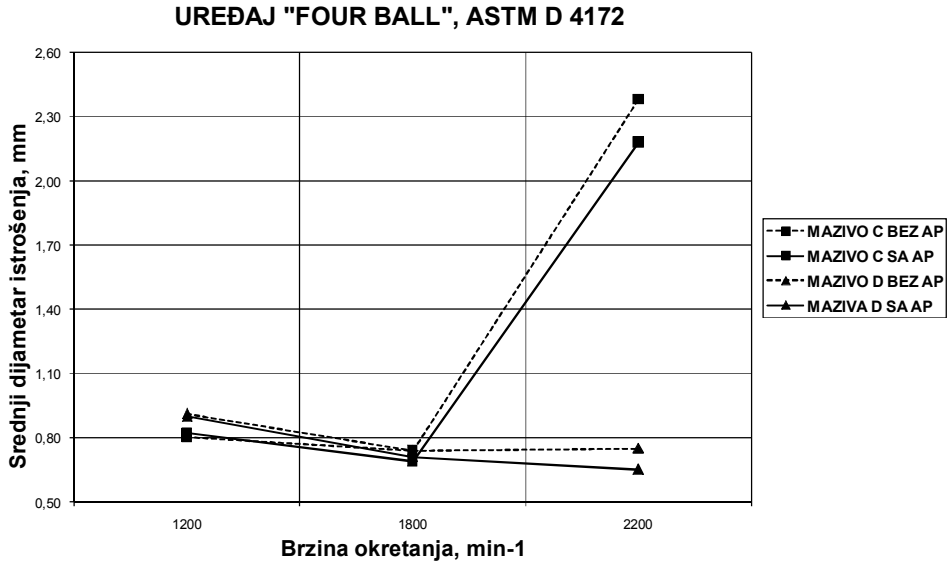
Nakon provedenog ispitivanja mjeri se promjer istrošenja kuglice. Što je čvršći mazivi sloj, pri višem opterećenju dolazi do zavarivanja kuglica i trošenje je manje. Povećanjem brzine, dolazi do diskontinuiranog podmazivanja i trošenje je veće (tablica 3).

Tablica 3: Rezultati testa trošenja

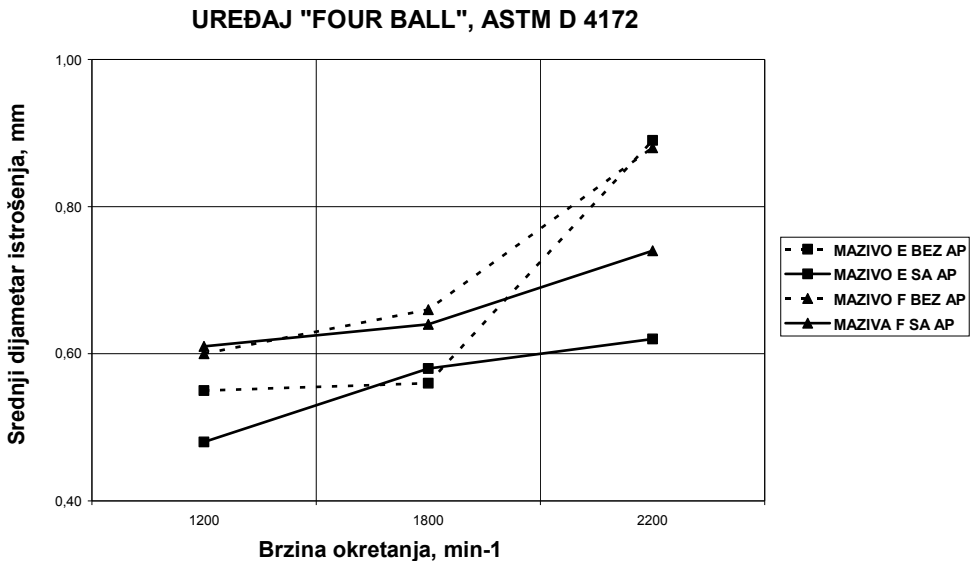
SVOJSTVO	A	B	C	D	E	F
TEST TROŠENJA - 4 KUGLE (bez AP)						
– srednji dijametar istrošenja, mm	0,43	0,36	0,80	0,91	0,55	0,60
1200 min ⁻¹	0,42	0,44	0,74	0,74	0,56	0,66
1800 min ⁻¹	0,45	0,46	2,38	0,73	0,89	0,88
2200 min ⁻¹						
TEST TROŠENJA - 4 KUGLE (sa AP)						
– srednji dijametar istrošenja, mm	0,43	0,36	0,82	0,90	0,48	0,61
1200 min ⁻¹	0,40	0,34	0,71	0,71	0,58	0,64
1800 min ⁻¹	0,37	0,39	2,25	0,69	0,62	0,74
2200 min ⁻¹						



Slika 5: Otpornost na trošenje biorazgradljivog hidrauličkog maziva i maziva za traktore, bez i s AP



Slika 6: Otpornost na trošenje cirkulacijskog ulja i sintetičkog ulja za zupčaničke prijenosnike, bez i s AP



Slika 7: Otpornost na trošenje ulja za hidrodinamičke prijenosnike i čistog ulja za obradu metala, bez i s AP

3. Zaključci

Provedena ispitivanja svojstava otpornosti na pjenjenje i trošenje maziva vode do sljedećih zaključaka:

- maziva niže viskoznosti - veća sklonost stvaranju pjene, maziva više viskoznosti - veća stabilnost pjene,
- u svim tipovima ispitivanih maziva odlično djelovanje AP,
- povećanjem brzine u testu trošenja u mazivima bez i s AP u većini slučajeva dolazi do porasta istrošenja,
- dodatkom AP smanjuje se trošenje,
- kod nižih brzina još uvijek je prisutno podmazivanje potpunim slojem i nije značajna promjena u trošenju,
- na velikim brzinama (2200 min^{-1}) vidi se značajna razlika u trošenju maziva bez i s AP - granično podmazivanje,
- bolje formuliranje maziva - manji troškovi održavanja.

Literatura:

1. S. ARSIĆ: *Tehnologija i ispitivanje maziva, Maziva i podmazivanje*, Jugoma, Zagreb, 1986 (str. 173, 198-199).
2. I. ZAMBERLIN: *Aditivi za maziva, Maziva i podmazivanje*, Jugoma, Zagreb, 1986 (str. 246-247).
3. V. IVUŠIĆ, K. GRILEC: *Tribologija*, autorizirana predavanja, Zagreb, 2011, (str. 30-50).
4. V. IVUŠIĆ: *Tribologija*, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb, 2002.
5. *Glosary of terms and definitions in the field of friction, wear, lubrication and tribology*, OECD Publications, Paris, 1969.
6. D. OESTERLE: *Tribology and Lubrication Tehnology*, Lubrizol, 2006.
7. Tehnička dokumentacija, Lubrizol.
8. Klüber Lubrication: *Foaming characteristics of gear oil*, Edition 11-04.
9. Tehnička dokumentacija, Dow Corning.
10. Tehnička dokumentacija, Maziva Zagreb d.o.o.

Ključne riječi: maziva ulja, pjenjenje, adhezivno trošenje

Autori:

Tonča Čaleta Prolić, dipl. ing.; Anđelko Lepušić
Maziva-Zagreb d.o.o., Radnička cesta 175, 10000 Zagreb, Hrvatska
e-adresa: tonca.caleta-prolic@ina.hr

Primljeno:

30.9.2011.

Prihvaćeno:

4.1.2012.