

Mile Stojilković, Dmitry Vukolov, Mirjana Kolb

ISSN 0350-350X

GOMABN 53, 2, 120-128

Izvorni znanstveni rad / Original scientific paper

TRIBOLOŠKA ISPITIVANJA BIORAZGRADLJIVIH ULJA

Sažetak

Jedan od najvećih problema današnjice je kako sačuvati planet od sve većeg onečišćenja te kako očuvati prirodne resurse za buduće generacije. Posljedice se sve više primjećuju kroz klimatske promjene, onečišćene vodotokove, zemljišta i atmosferu. Veliki udio u onečišćenju okoliša može se pripisati mazivima. Godišnja potrošnja maziva u svijetu je oko 40 milijuna tona, od čega više od 60 % nekontrolirano završava u okolišu. Maziva su najčešće mineralnog porijekla; toksična su i nisu brzo biorazgradljiva. Katastrofa koja prijete Zemlji, zbog intenzivnog onečišćenja okoliša, povećala je pažnju javnosti i ekološku svijest za razvojem ekološki prihvatljivih maziva. Ekološki prihvatljiva maziva su ona, koja će u kontaktu s okolišem prouzrokovati minimum štetnog djelovanja. Uvjeti ekološke prihvatljivosti su biološka razgradljivost i netoksičnost maziva. Najvažnija sirovina za formulaciju ekološki prihvatljivih maziva su biljna ulja koja, pored biorazgradljivosti i netoksičnosti, predstavljaju obnovljivi resurs.

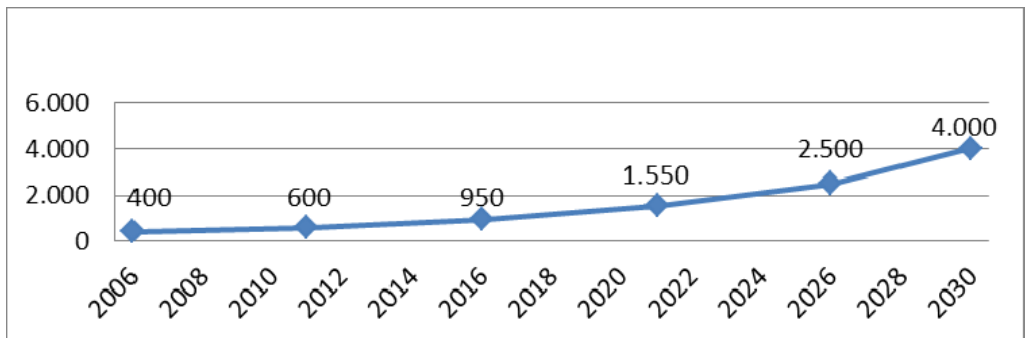
U radu je prikazano ispitivanje biorazgradljivog ulja za podmazivanje lanaca motornih pila. Pored fizikalno-kemijskih svojstava, ispitivana su tribološka svojstva na tribometru „block on disc“. Materijal diska (promjera 35 mm) i bloka (dimenzija 6,3 x 10 x 15 mm³) je čelik 16MnCr5. Vrijeme trajanja ispitivanja na tribometru je 60 minuta s opterećenjima 30, 100 i 300 N pri brzini klizanja 0,8 m/s. Rezultati pokazuju tribološke karakteristike formuliranog biorazgradljivog ulja za lance motornih pila u usporedbi s komercijalnim mineralnim uljem.

1. Uvod

Sve glasniji i opravdaniji ekološki zahtjevi za očuvanje okoliša uvjetovat će uvođenje sve strožih zahtjeva, propisa i uredbi. Dva osnovna aspekta: ušteda i očuvanje neobnovljivih resursa kao i smanjenje štetnog utjecaja maziva na okoliš su osnovni zadaci ekotribologije. Pojam ekotribologije podrazumijeva u prvom redu štednju osnovnih neobnovljivih izvora energije i materijala, a pored svega posebnu brigu treba voditi o zaštiti okoliša. Zbog toga, biorazgradljiva maziva dobivena iz biljnih izvora imaju svoje opravdanje i svoju budućnost. Biljna ulja imaju veliku prednost nad mineralnim jer su neotrovnna, biorazgradljiva, manje zagađuju okoliš, jeftinija su od sintetičkih, a posebno su zanimljiva jer se dobivaju iz obnovljivih sirovina. Imaju sljedeće prednosti u odnosu na mineralna ulja: bolja maziva svojstva, viši indeks

viskoznosti, nižu isparivost što znači manju potrošnju, veću otpornost na zapaljivost zbog više temperature paljenja. Međutim, nedostaci biljnih ulja u usporedbi s mineralnim su: manja oksidacijska stabilnost, u prisutnosti vlage podložna su hidrolizi pri čemu nastaju korozivne kiseline, imaju znatno lošiju tecivost na niskim temperaturama, imaju znatno veću sklonost pojavi pjene, sklona su začepljenju uljnih filtara, loše utječu na elastomere brtvi, imaju kraći vijek skladištenja i korištenja. Navedene loše karakteristike ograničavaju mogućnost primjene te se uglavnom koriste za proizvodnju ulja za lance motornih pila, za čeličnu užad, oplatnih ulja, osovinskih ulja za željeznicu, za obradu metala, za dvotaktne motore, hidrauličnih i univerzalnih ulja za traktore.

Svjetska godišnja potrošnja biorazgradljivih maziva je oko 400000 tona, ili oko 1 % ukupne potrošnje maziva. Potrošnja biorazgradljivih ulja raste 10 % godišnje u posljednjih 10 godina, slika 1. Udio u odnosu na mineralna ulja je mali, ali se u posljednje vrijeme podrškom državnih organa i raznih institucija ta razlika u cijeni smanjuje i približavaju se cijeni mineralnih ulja.



Slika 1: Potrošnja biorazgradljivih ulja u svijetu (u 000 tona) i procjena do 2030.

2. Eksperimentalni dio

2.1 Priprema uzoraka ulja

U svrhu ispitivanja formulirano je ulje za lance motornih pila na bazi repičinog ulja. Repičino ulje je nabavljeno od proizvođača "Victoria oil" a.d. Šid, proizvedeno prešanjem i ekstrakcijom sjemena i specijalnim degumiranjem sirovog ulja. Sadržaj masnih kiselina ispitivanog repičinog ulja prikazan je u tablici 1, a fizikalno kemijske karakteristike (oznake ulja dane su u tablici 2) u tablici 3.

U formulaciji biorazgradljivog ulja za lance motornih pila korišteni su sljedeći aditivi: antioksidant, depresant tecišta, EP aditiv, polarni aditiv i antipjenušavac. Aditivi za ispitivano ulje nabavljeni su u kompaniji Lubrizol.

Tablica 1: Sadržaj pojedinih masnih kiselina [%]

Masna kiselina	Repičino ulje
C14:0 (Mistirinska)	0,06
C16:0 (Palmitinska)	6,58
C16:1 (Oleopalmitinska)	0,36
C18:0 (Stearinska)	2,88
C18:1 (Oleinska)	53,10
C18:2 (Linolna)	28,72
C18:3 (Linolenska)	6,54
C20:0 (Arahinska)	0,41
C20:1 (Eikosenska)	0,73
C22:0 (Behenska)	0,28
C24:0 (Lignocerinska)	0,10

Osobine formuliranog biorazgradljivog ulja uspoređivane su s osobinama mineralnog komercijalnog ulja za lance motornih pila, kao referentno ulje, proizvođača NIS-Gaspromneft, Direkcija maziva. Ispitivana su tri različita uzorka ulja pod šiframa prikazanim u tablici 2.

Tablica 2: Šifre ispitivanih ulja

Ispitivana ulja	Šifra ulja
Biorazgradljivo repičino ulje	RE
Biorazgradljivo ulje za lance motornih pila	BT
Mineralno ulje za lance motornih pila (referentno ulje)	MT

2.2. Rezultati ispitivanja i diskusija

Laboratorijske analize ispitivanih ulja prikazane su u tablici 3. Rezultati ispitivanih uzoraka ulja su uspoređivani s rezultatima referentnog mineralnog ulja za lance motornih pila koje je u komercijalnoj upotrebi. Ulja na biljnoj osnovi imaju znatno viši indeks viskoznosti ($IV > 200$) u usporedbi s mineralnim, što im omogućuje upotrebu pri širokom rasponu temperatura. Biljna ulja imaju veće vrijednosti točke paljenja u odnosu na mineralna ulja.

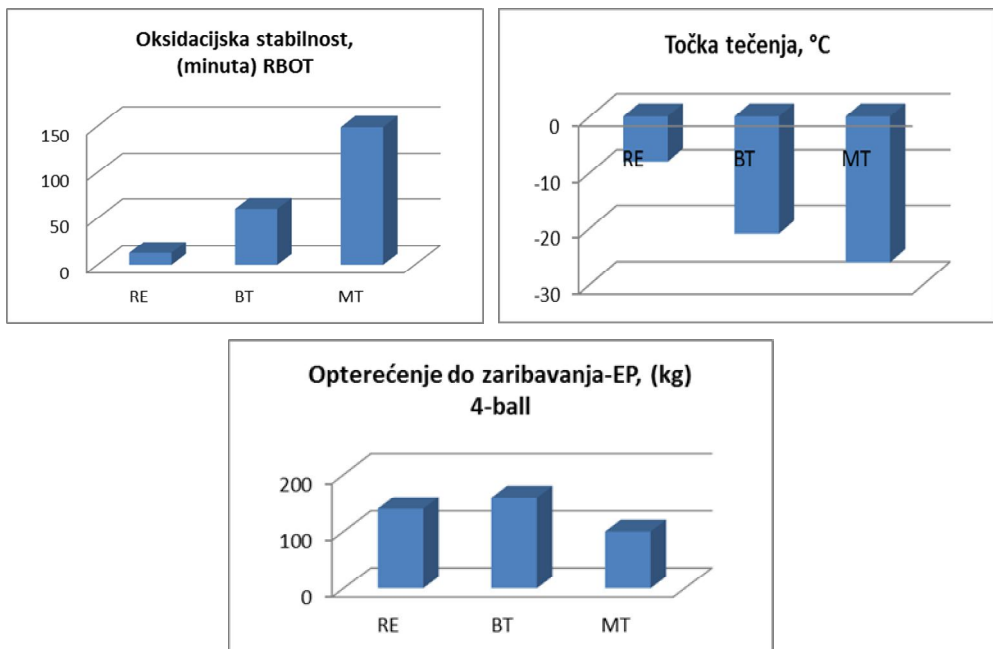
Tablica 3: Fizikalno-kemijska svojstva ispitivanih ulja

Fizikalno-kemijske karakteristike	J. mjere	Metode	RE	BT	MT
Kinematička viskoznost na 40 °C	mm ² /s	ASTM D 445	42,35	69,89	90,56
Indeks viskoznosti		ASTM D2270	218	227	95
Točka paljenja	°C	ASTM D 92	254	260	220
Točka tečenja	°C	ASTM D 97	-8	-21	-26
Oksidacijska stabilnost, RBOT	min	ASTM D2272	13	60	149
Trošenje (1 h; 75 °C; 40 kg i 1200 o/min)	mm	ASTM D 4172	0,39	0,38	0,40
4-kugle EP test - do zaribanja	N	ASTM D 2783	1372,8	1569,0	980,6

Oksidacijska stabilnost uzoraka ulja je ocijenjena korištenjem ASTM D2272 (RBOT) metode. Oksidacijska stabilnost biljnih ulja je vrlo niska; za repičino ulje bez aditiva svega 13 minuta. Oksidacijska stabilnost biljnih ulja poboljšana je dodavanjem aditiva antioksidanta, čime je dobivena zahtijevana vrijednost.

Tecivost biljnih ulja na niskim temperaturama je iznimno loša i to ograničava njihovu primjenu na niskim radnim temperaturama. Radi poboljšanja niskotemperaturnih karakteristika, biljnom ulju su dodavani aditivi depresanti tecišta (PPD). Funkcija aditiva depresanta tecišta je spriječiti kristalizaciju molekula triglicerida na niskim temperaturama kao i njihovo grupiranje. Na slici 2 može se vidjeti da aditiv, depresant točke tečenja, snižava točku tečenja s $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ na $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Otpornost na trošenje i visoke tlakove ispitana je na uređaju sa četiri kugle (four ball test). Vrijednosti u tablici 3 pokazuju da ulje za podmazivanje lanaca motornih pila na bazi repičinog ulja ima veće vrijednosti od mineralnog, odnosno daleko bolju mogućnost podnošenja trošenja, ekstremnih pritisaka i udarnih opterećenja. Laboratorijska ispitivanja na podnošenje ekstremnih tlakova (4-ball EP test) pokazuju da biljna ulja bez EP aditiva pokazuju čak bolje rezultate od mineralnih ulja s aditivima, slika 2.



Slika 2: Fizikalno-kemijske karakteristike ispitivanih ulja

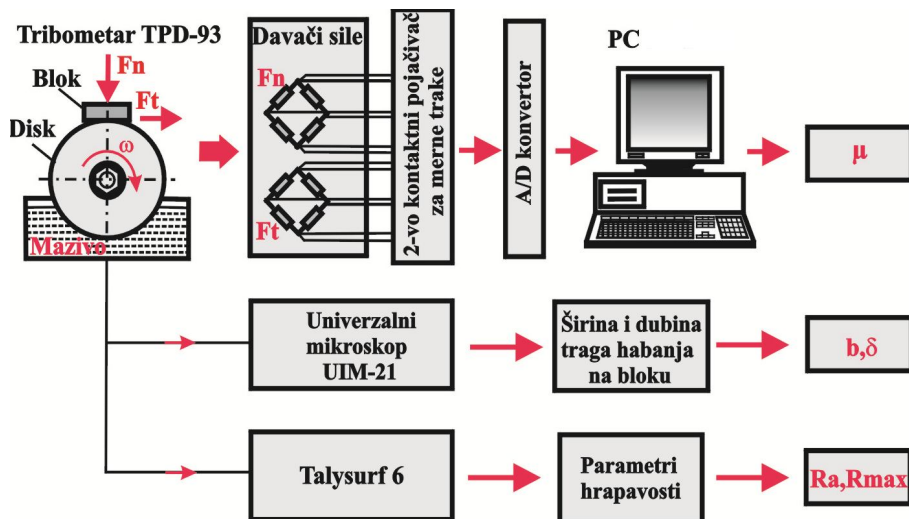
2.3 Ispitivanje na tribometru

Određivanje triboloških karakteristika ispitivanih ulja, u okviru ovog rada, obavljeno je u Laboratoriju za tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu. Eksperiment je obuhvatio mjerenje sile trenja, koeficijenta trenja i parametara trošenja, slika 3.

Prije ispitivanja određeni su uvjeti ispitivanja, odnosno definirani materijali kontaktnih parova, normalno opterećenje, brzina klizanja, način podmazivanja, geometrija kontakta i vrijeme ispitivanja:

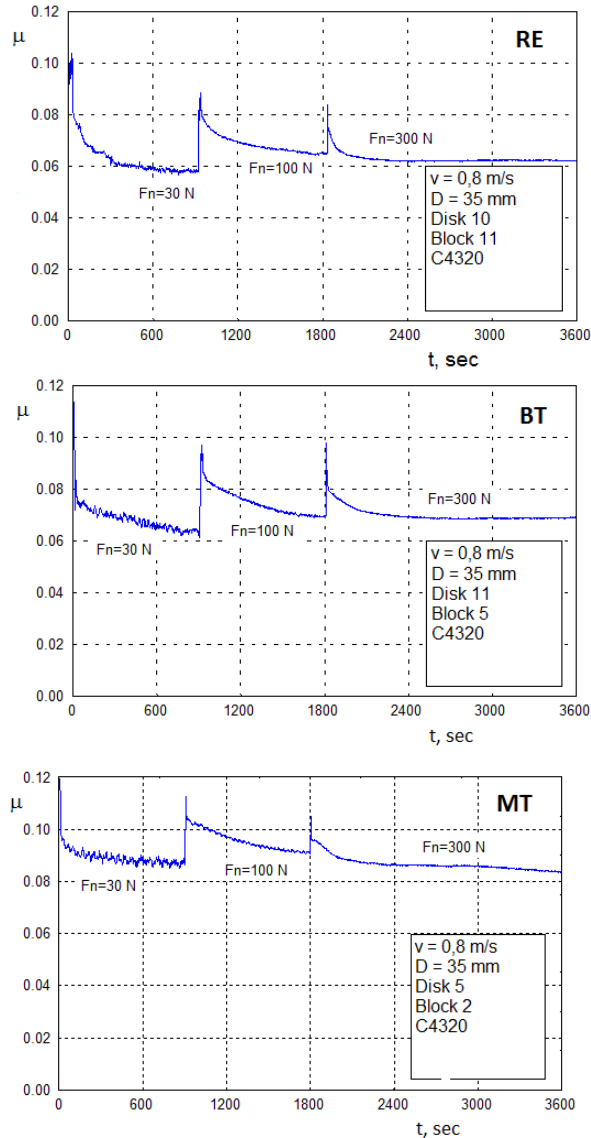
- Materijal 16MnCr5 (Č4320) u sirovom stanju (meko žareno stanje)
- Disk promjera 35 mm
- Blok dimenzija 6,3 x 10 x 15 mm
- Brzina klizanja $v = 0,8$ m/s
- Opterećenja 30, 100, 300 N
- Vrijeme trajanja ispitivanja: $t = 60$ min
(30 N - 15 min; 100 N - 15 min; 300 N - 30 min)

Prije početka ispitivanja mjere se parametri topografije diskova i blokova radi provjere njihove hrapavosti. Ukoliko hrapavost nekog elementa značajno odstupa od ostalih, on se ponovno brusi ili se izostavlja iz ispitivanja. Tribološkim ispitivanjima tipa „block on disk“ podvrgnuti su uzorci ulja. Podmazivanje je provedeno prolaskom donjeg dijela diska kroz rezervoar s uljem za podmazivanje, tako da je disk zahvaćao određenu količinu ulja i vršio granično podmazivanje kontakta. Između površine bloka i obimne površine diska ostvarivan je linijski kontakt. Specijalna konstrukcija nosača bloka osigurava u svakom trenutku potpuno nalijeganje bloka cijelom dužinom kontakta.



Slika 3: Mjerni lanac triboloških ispitivanja

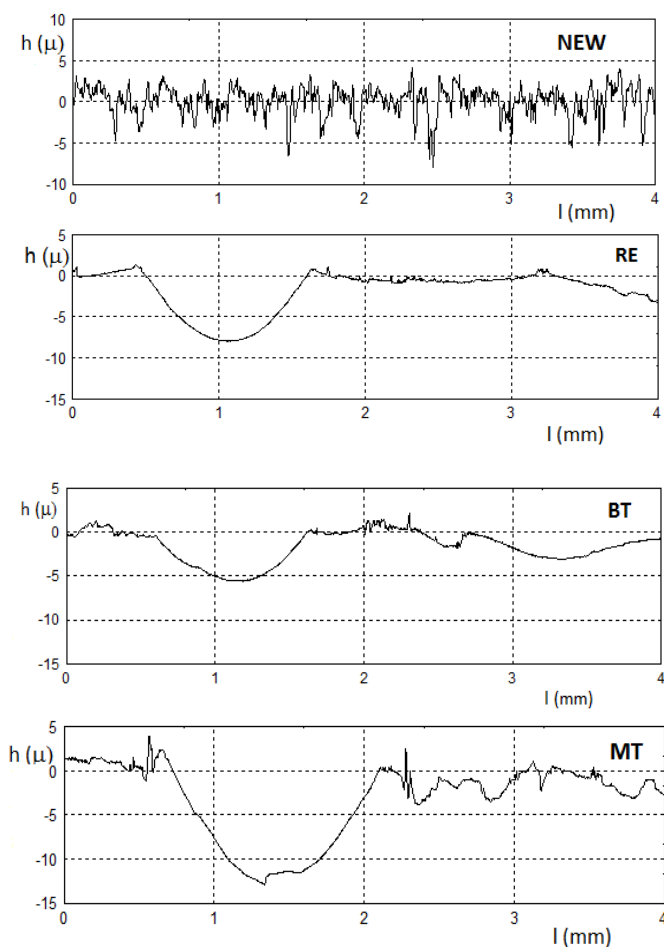
Rezultati triboloških ispitivanja ulja prikazani su u tablici 4, a na slici 5 prikazani su dijagrami promjene koeficijenta trenja uzorkovanih ulja u funkciji vremena ispitivanja i promjena opterećenja.



Slika 5: Promjena koeficijenta trenja (μ) u ovisnosti o vremenu (t) i promjeni opterećenja (F_n)

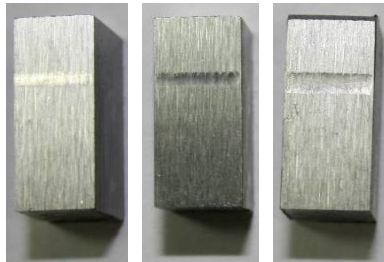
Tablica 4: Rezultati triboloških ispitivanja ulja

Uzorci	Koeffcijent trenja (μ)			Granično podmazivanje	
	$F_n = 30$ N $t = 15$ min	$F_n = 100$ N $t = 15$ min	$F_n = 300$ N $t = 30$ min	Širina traga trošenja na bloku (mm)	Dubina traga trošenja na bloku (μ m)
RE	0,058	0,065	0,062	1,217	8,7145
BT	0,063	0,069	0,069	1,175	6,1135
MT	0,086	0,091	0,086	1,311	12,3588

Slika 6: Topografija površine bloka – ovisnost dubine (h) od širine trošenja bloka (l)

Rezultati mjerenja koeficijenta trenja na tribometru (slika 5) pokazuju da nakon početnog rasta do maksimalne vrijednosti, u svakoj fazi opterećenja, koeficijent trenja postupno pada, da bi se u kasnijoj fazi ispitivanja njegova veličina stabilizirala i imala gotovo konstantnu vrijednost. Vremensko razdoblje u kojem se vrijednost koeficijenta trenja intenzivno mijenja iznosi oko 60 sekundi i označava se kao faza uhodavanja. Fazu uhodavanja karakterizira značajna promjena topografije površina bloka i diska zbog prelaska tehnološke u eksploatacijsku topografiju i postizanja realne geometrije kontakta, odnosno površine teže „uravnoteženju“ glede topografije. Biljna ulja čak i bez aditiva imaju koeficijent trenja niži od mineralnog ulja s aditivima. To dokazuje pretpostavku da biljna ulja, zbog triglicerida u svom sastavu, imaju odlične osobine mazivosti u svim fazama opterećenja. Dijagrami na slici 5 pokazuju manje koeficijente trenja u usporedbi s referentnim mineralnim uljem za lance motornih pila, naročito kod većih opterećenja.

Na slici 6 prikazan je dijagram promjene širine traga trošenja na bloku nakon ispitivanja uzorkovanih ulja. Niska vrijednost širine traga trošenja kod uzorka BT ukazuje na dobre mazive karakteristike, odnosno da je trigliceridna struktura dovoljno efikasna pri sprječavanju trošenja i pri najvišim opterećenjima. Tragovi trošenja blokova pri tribološkim ispitivanjima mogu se vidjeti i na fotografijama prikazanim na slici 7.



Slika 7: Tragovi trošenja blokova pri tribološkim ispitivanjima

3. Zaključak

Na temelju rezultata ispitivanja uzoraka ulja može se zaključiti da su gotovo sve ispitivane karakteristike biorazgradljivog ulja za lance motornih pila postigle zadovoljavajuću ocjenu, a neke su čak bolje od karakteristika mineralnog ulja. Izuzetak su oksidacijska stabilnost i niskotemperaturne karakteristike. Karakteristike biljnog ulja su popravljane dodavanjem odgovarajućih aditiva, koji su specijalno namijenjeni biljnim baznim uljima. Oksidacijska stabilnost biljnih ulja bez aditiva je vrlo niska. Poboljšanje oksidacijske stabilnosti biljnih ulja učinjeno je dodavanjem aditiva antioksidanta čime se oksidacijska stabilnost povećala s 13 na 60 minuta po metodi ASTM D2272 (RBOT).

Tecivost biljnih ulja na niskim temperaturama je iznimno loša i to ograničava njihovu primjenu. Radi poboljšanja niskotemperaturnih karakteristika, biljnom ulju je dodan aditiv depresant tećišta što je snizilo tećište s -8°C na -21°C .

Rezultati mjerenja koeficijenta trenja na tribometru pokazuju da biljna ulja čak i bez aditiva imaju koeficijent trenja niži od mineralnog ulja s aditivima. To dokazuje pretpostavku da biljna ulja, zbog triglicerida u svom sastavu, imaju odlične osobine mazivosti u svim fazama opterećenja.

Literatura

- [1] Bartz, W.J., 1998, Lubricants and the Environment, *Tribology International*, **31**, No.1-3.
- [2] Bartz, W.J., The green automobile, 44. Scientific Symposium Lubricants 2011, October 2011, Poreč, Croatia.
- [3] Kržan B., Čeh B., Košir I., Vižintin J., Tribološko ponašanje biljnih ulja, *Goriva i maziva*, 49, 4; 352-367
- [4] Kržan B., Vižintin J., 2002, Novo biorazgradljivo univerzalno zupčaničko ulje za traktore na osnovi biljnog ulja, *Goriva i maziva*, 41, 4, 199-225.
- [5] Rudnik L.R. 2005. Synthetics, Mineral Oils, and Bio-Based Lubricants: Chemistry and Technology. CRC Press, New York, USA.
- [6] Sharma, B.K., Perez, J.M., Erhan, S.Z., 2006. Soybean oil-based lubricants: a search for synergistic antioxidants, energy fuels, communicated.
- [7] Stojilković M., *Istraživanje primene ekoloških ulja u tribološkim sistemima*, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Sarajevo, 2013.
- [8] Stojilković M., *Primena maziva*, treće izdanje, NIS-Gaspromneft, Beograd, 2011.
- [9] Stojilković M., Pavlović, M., Utjecaj maziva na okoliš, *Goriva i maziva*, 48, 1; 75-81.
- [10] Vržina J., Schiesl V., Šateva M., Ekološki prihvatljiva maziva, *Goriva i maziva*, 39, 4; 229-244.

ključne riječi: biorazgradljiva ulja, tribološka ispitivanja, ulje za lance motornih pila

Autori

Mile Stojilković, Dmitry Vukolov, Mirjana Kolb
NIS-GAZPROM NEFT SRBIJA, Milentija Popovića 1, Beograd, Srbija
e-adresa: nis.maziva@nis.eu

Primljeno

30.9.2013.

Prihvaćeno

17.2.2014.