

Primerjava triboloških lastnosti mineralnih in repičnih mazalnih olj - Rezultati mehansko-dinamičnih analiz (2. del)

Tribological Properties of Rapeseed Oils Compared to Mineral Oils - Results of Mechanical - Dynamic Investigations (part 2)

Aleš Arnšek - Jože Vižintin

V prispevku so predstavljeni rezultati meritev koeficienta trenja, obrabe, zajedanja, jamičenja in drsne obrabe za olja na osnovi oljne repice (oljne ogrščice) v primerjavi z oljem na mineralni osnovi. Za obravnavo obrabnih kotanj, zajedanja, jamičenja in drsne obrabe smo uporabili rasterski elektronski mikroskop z rentgenskim analizatorjem (SEM-EDXS).

Rezultati opravljenih preskusov so pokazali enakovredne oz. celo boljše mazalne lastnosti repičnih mazalnih olj v primerjavi s tržnim mineralnim oljem. Repično olje ima: manjše trenje v mejnem mazalnem področju, primerljivo zmožnost preprečevanja zajedanja, boljšo zmožnost preprečevanja jamičenja in dobre mazalne lastnosti pri velikih obremenitvah - majhnih hitrostih.

© 2001 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: olja repična, lasnosti maziv, lastnosti mehanske, SEM-EDXS)

In the present work, the coefficient of friction, wear, scuffing-load capacity, pitting resistance and normal sliding wear of rapeseed-based oils were evaluated and the results compared with the corresponding mineral-based oil. The wear scar diameters were examined by using the scanning electron microscope with energy dispers X-ray analyzer (SEM-EDXS).

The test results show similar or even better lubrication properties of rapeseed-based oils compared with a commercially available mineral based oil. The rapeseed-based oils exhibit lower coefficient of friction in the boundary lubrication regime, equivalent scuffing wear protection, better pitting resistance and good lubrication properties at high load – slow speed conditions.

© 2001 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: rapeseed oil, lubricant properties, mechanical properties, SEM-EDXS)

OUVOD

V tem, drugem delu prispevka so predstavljeni, opisani in razloženi rezultati meritev koeficienta trenja, obrabnih kotanj, zajedanja, jamičenja in drsne obrabe. Naprave in postopki preskušanja ter preskusna olja so opisani v prvem delu prispevka [1].

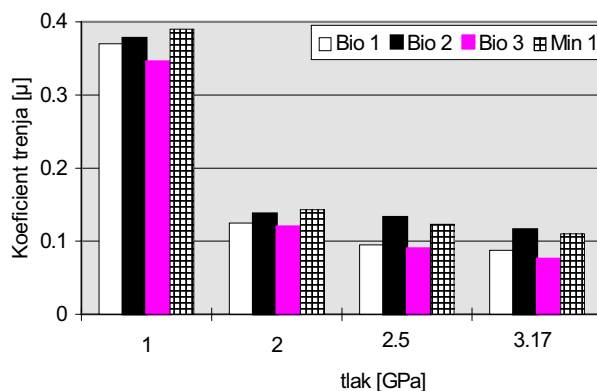
1 PREGLED REZULTATOV MEHANSKO-DINAMIČNIH ANALIZ

1.1 Koeficient trenja in velikosti obrabnih kotanj

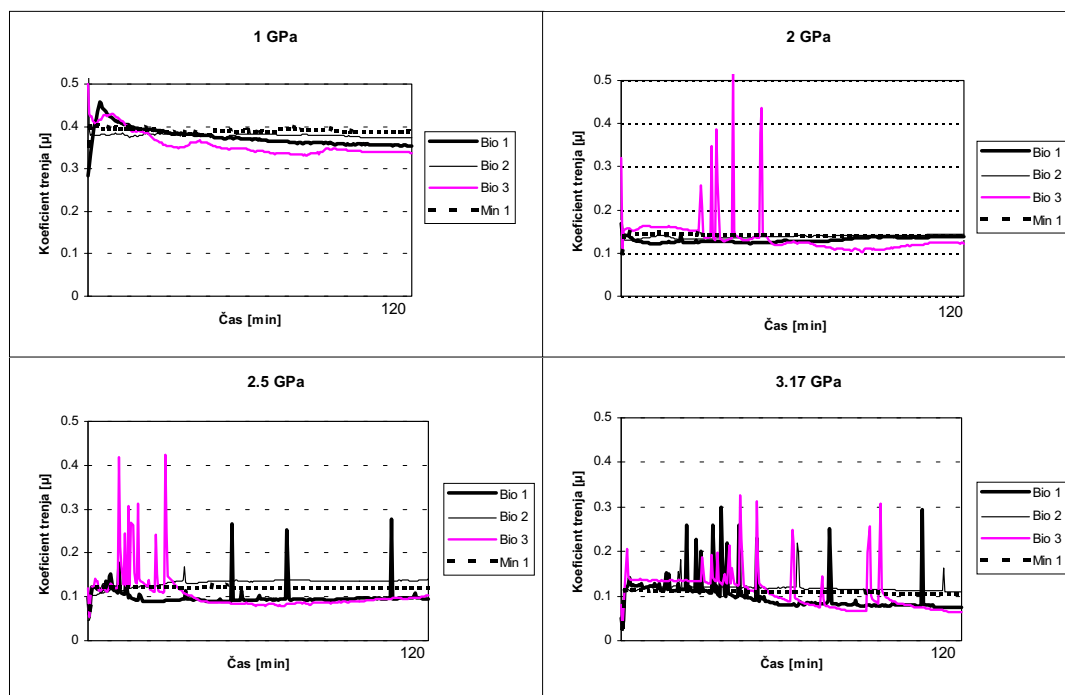
Vrednosti izmerjenih povprečnih koeficientov trenja pri različnih tlakih so prikazani na

sliki 1. S slike je razvidno, da se povprečne vrednosti koeficientov trenja pri vseh oljih močno zmanjšajo pri zvečanju obremenitve od 1 na 2 GPa, nato pa se s povečevanjem obremenitve le malenkostno zmanjšujejo.

Najmanjše vrednosti povprečnega koeficienta trenja smo pri vseh tlakih izmerili pri olju bio 3, sledi olje bio 1, največje povprečne vrednosti pa smo izmerili pri oljih bio 2 in min 1. Pri tlaku 1 GPa je relativna razlika med največjo in najmanjšo vrednostjo povprečnega koeficienta trenja med oljema min 1 in bio 3 približno 11 odstotkov. Pri tlakih 2; 2,5 in 3,17 GPa so rezultati povprečnih vrednosti koeficienta trenja za olji bio 1 in bio 3 skoraj popolnoma enaki. Podobne, vendar nekoliko večje vrednosti zasledimo tudi pri oljih bio 2 in min 1. Pri tlaku 2 GPa



Sl. 1 Povprečni koeficienti trenja preskušanih olj pri različnih tlakih



Sl. 2. Koefficient trenja v odvisnosti od časa za štiri preskušana olja pri različnih tlakih

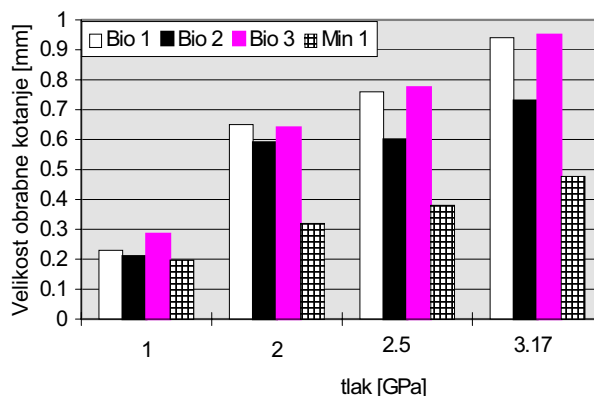
so razlike v koeficientu trenja med oljema bio 1 in bio 3 ($\mu = 0,12$) in oljema bio 2 in min 1 ($\mu = 0,14$) 14 %. Pri tlaku 2,5 GPa je razlika med istimi olji približno 27 %, pri tlaku 3,17 GPa pa je največja relativna razlika celo 34 odstotkov. Z izjemo olja bio 2, smo pri repičnih oljih bio 1 in bio 3 izmerili občutno manjše povprečne koeficiente trenja v primerjavi z mineralnim oljem.

Časovni potek koeficienta trenja za vsa štiri olja, pri vseh preskusnih tlakih prikazuje slika 2. Pri tlaku 1 GPa so poteki koeficienta trenja v odvisnosti od časa za vsa štiri olja gladki, brez konic, pri tlaku 2 GPa se pojavljajo konice pri olju bio 3. Pri tlakih 2,5 in 3,17 GPa se pojavljajo konice v poteku koeficienta trenja pri oljih bio 1 in bio 3, medtem ko jih pri oljih bio 2 in min 1 ni. Konice v poteku koeficienta trenja kažejo preboje mazalnega filma ter adhezivno obrabo kot posledico kovinskega dotika med preskušancema. Zaradi prebojev so tudi obrabne kotanje večje, kljub

v povprečju nižjemu koeficientu trenja za olji bio 1 in bio 3.

1.2 Zajedanje

Rezultati preskusov zajedanja na napravi FZG so zbrani v preglednici 1. Z izjemo olja bio 2, so preostala olja dosegla popolnoma enak rezultat. Stopnja zajedanja >12 je najboljši mogoči rezultat, dosežen na napravi FZG po standardu DIN 51 354 in kaže na kakovostno izenačenost preskusnih repičnih olj bio 1 in bio 3 z mineralnim oljem min 1. Nekoliko slabšo lastnost preprečevanja zajedanja ima olje bio 2, kar pa je po drugi strani tipična vrednost za olja UTTO. Olja UTTO ponavadi dosegajo stopnjo zajedanja med 9 do 11 [2]. V preglednici 2 so zbrani tudi rezultati preskušanja zajedanja osnovnega mineralnega in repičnega olja. Mineralno bazno olje je doseglo stopnjo zajedanja 8, repično pa 9.



Sl. 3. Velikosti obrabnih kotalnj, nastalih pri merjenju koeficientov trenja preskušanih olj pri različnih tlakih

Preglednica 1. Rezultati preskusov zajedanja

Vzorec	Stopnja zajedanja	Temperatura zajedanja
	DIN 51 354	$\varrho_{int S}$ ISO 6336-4 °C
bio 1	>12	374
bio 2	10	268
bio 3	>12	361
min 1	>12	383
Osnova min	8	206
Osnova bio	9	232

Preglednica 1 prikazuje tudi, na podlagi dobljenih rezultatov meritve stopnje zajedanja, izračunane temperature zajedanja za vsa štiri preskusna olja. Ker pri oljih bio 1, bio 3 in min 1 niti v dvanajsti obremenitveni stopnji ni prišlo do zajedanja, smo za izračun temperature zajedanja teh olj upoštevali razmere FZG trinajste stopnje obremenitve ($T_1=629,7\text{ Nm}$, $F_N=18644\text{ N}$).

Temperatura zajedanja znaša 268 °C za olje bio 2, ki je doseglo najnižjo stopnjo zajedanja, za preostala tri olja pa znaša 374 °C , 361 °C in 383 °C (bio 1, bio 3, min 1), preglednica 1. Te temperature je mogoče uporabiti za preračun zobniških gonil na zajedanje v primeru uporabe teh olj. Določene razlike pri oljih, ki so dosegla enako stopnjo zajedanja, so posledica temperaturnih razlik oljnih kopeli ob koncu preskusa.

Pri preskusih zajedanja smo hkrati merili tudi temperaturo oljne kopeli v preskusnem gonilu po vsaki obremenitveni stopnji (sl. 4). S slike je razvidno, da se od šeste stopnje obremenitve dalje temperatura oljne kopeli pri olju min 1 zelo zviša v primerjavi z repičnimi olji. Razlike v absolutni temperaturi so v povprečju za približno 8 °C višje od olja bio 1, 11 °C od olja bio 2 in približno 13 °C višje kakor pri olju bio 3.

Izračunane debeline mazalnih filmov kot posledica temperature oljnih kopeli in torej viskoznosti ter stopnje obremenitve so prikazane na

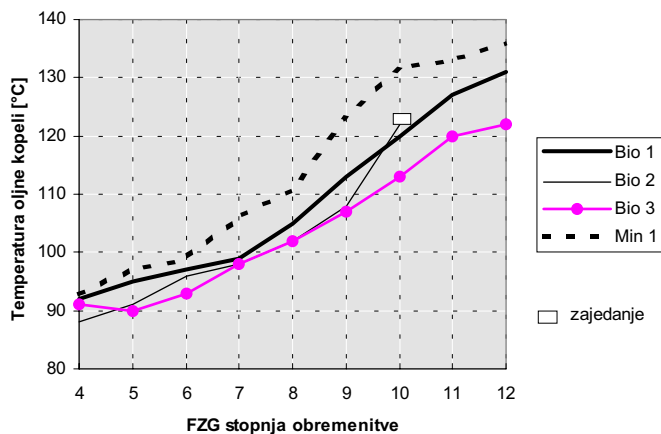
sliki 5. S slike je razvidno, da je bila pri olju min 1 najmanjša debelina mazalnega filma, od vseh preskusnih olj od 6 stopnje obremenitve dalje.

1.2.1 Analize površin po preskusu na zajedanje

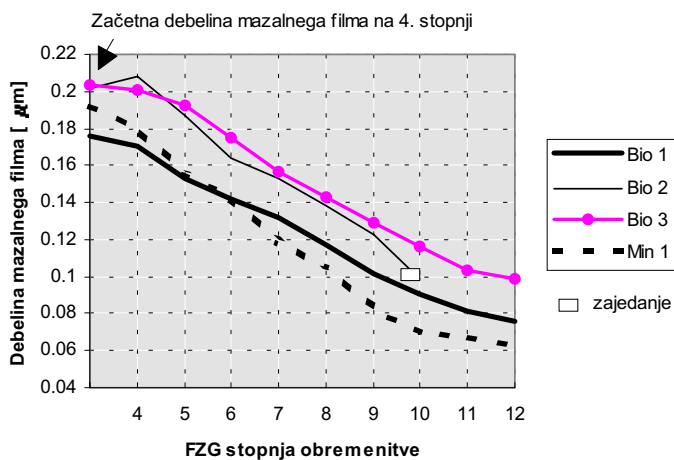
Na sliki 6 so prikazane površine zobnih bokov preskusnih zobnikov tipa A po koncu vsakega preskusa. S fotografij se vidi, da do obrabe pride v področju največjega zdrsa, tj. na vrhu zobnih bokov. Obraba površin zobnih bokov pri olju min 1 po preskusu je zanemarljiva, tako rekoč je ni (sl. 6d). Pri oljih bio 1 (sl. 6a) in bio 3 (sl. 6c) je obraba izrazitejša, vendar so površine še vedno zelo gladke in brez izrazitih pasov zajedanja. V obeh primerih so še vedno opazni sledovi brušenja. Videz obeh površin ne kaže na značilni videz zajedanja, videz površine bolj kaže na obliko drsne obrabe, kar se dobro ujema z dejstvom, da stopnja zajedanja na napravi FZG ni bila dosežena. Čeprav so površine zobnih bokov v primeru olja bio 2 bile prav tako gladke, sam videz poškodbe in nastala obraba dokazujeta zajedanje (sl. 6b).

1.3 Jamičenje

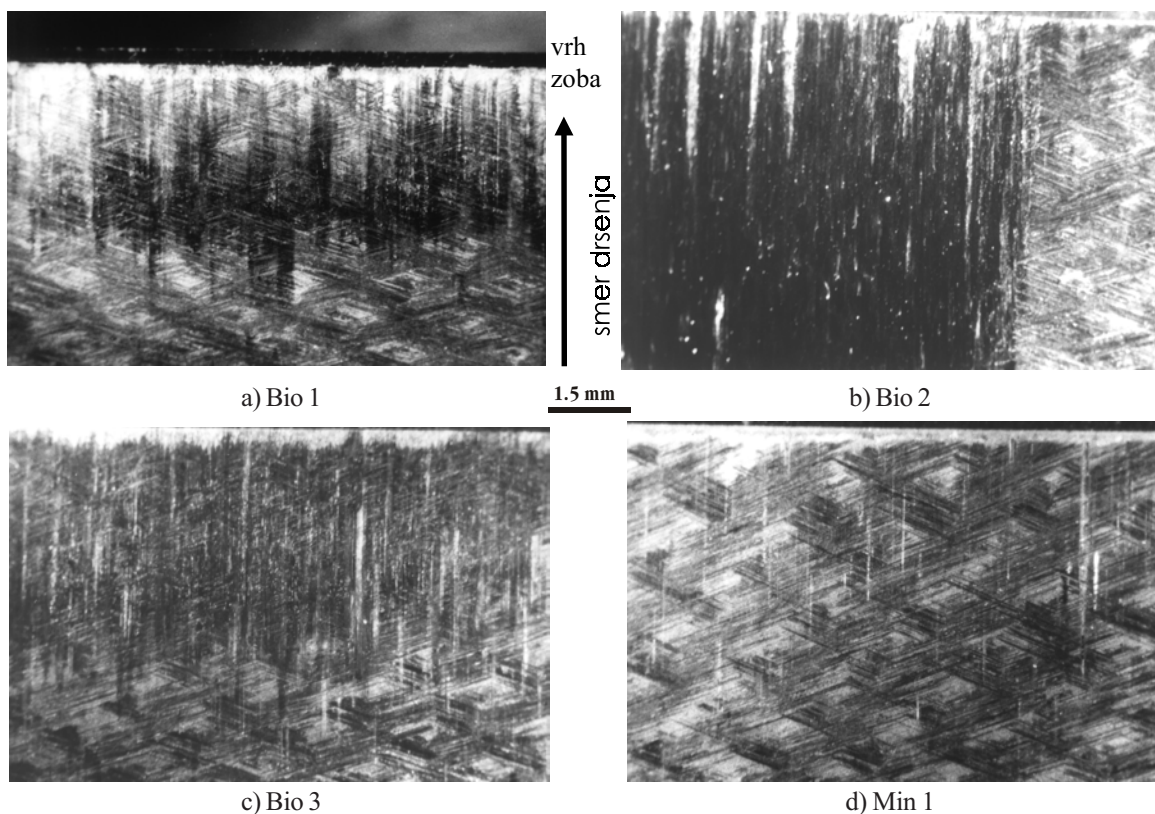
Preskusna olja so bila izbrana tako, da so imela pri temperaturi preskušanja 90 °C , približno



Sl. 4. Temperatura oljne kopeli ob koncu vsake stopnje obremenitve FZG



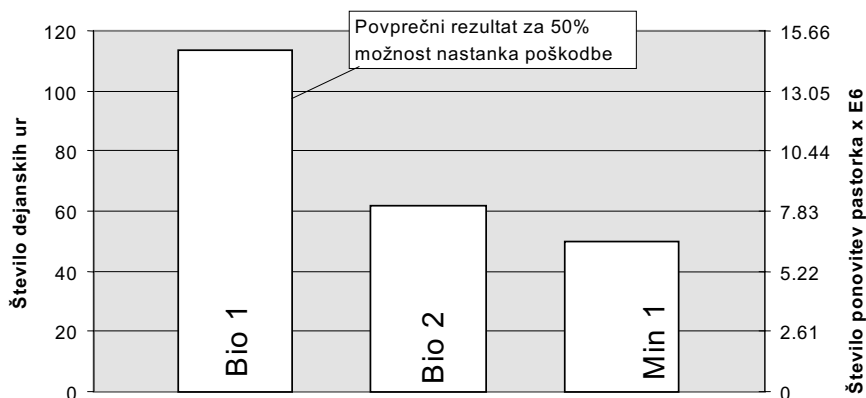
Sl. 5. Debeline mazalnih filmov ob koncu vsake stopnje obremenitve FZG



Sl. 6. Videz poškodovanih zobnih bokov po preskusu zajedanja za vsa štiri preskušana olja

Preglednica 2. Viskoznost in debelina mazalnega filma pri temperaturi preskušanja vpliva olja na jamičenje

Vzorec	Viskoznost pri 90 °C ν mm ² /s	Debelina mazalne plasti pri 90 °C h_{min} μm	Specifična debelina mazalne plasti pri 90 °C λ
bio 1	10,44	0,136	0,61
bio 2	12,66	0,155	0,70
min 1	11,04	0,149	0,67



Sl. 7. Rezultati preskusov jamičenja

enako viskoznost in s tem tudi debelino mazalne plasti (pregl. 2). S tem, ko so viskoznosti in debeline mazalnih plasti za vsa tri olja približno enake, izločimo vpliv viskoznosti pri preskušanju vpliva olja na pojav jamičenja. Znano je namreč, da ima viskoznost pomemben vpliv pri preprečevanju jamičenja [3]. Zaradi majhne specifične debeline mazalnega filma zobniki obratujejo na meji med mejnim in mešanim mazanjem. Ker so bili tudi tlaki pri vseh preskusih enaki, imajo v tem primeru največji vpliv na pojav jamičenja predvsem izbrani dodatki.

Rezultati preskusov na jamičenje so zbrani na sliki 7. Rezultati se nanašajo na 50-odstotno možnost nastanka kritične poškodbe, izračunane iz Weibullove porazdelitve (L_{50}) za tri ponovitve pri preskusu posameznega olja. Ker je bil z oljem bio 3 opravljen le en preskus, rezultata ne navajamo.

Preskusi so pokazali boljše zmožnost obeh repičnih olj pri preprečevanju jamičenja glede na mineralno olje. Olje bio 1 je dosegalo približno dvakrat večjo dobo trajanja kakor mineralno olje. Tudi olje bio 2 je doseglo boljši rezultat kakor običajno mineralno olje (sl. 7).

Tipične poškodbe na zobnih bokih, nastale pri preskušanju vpliva maziv na jamičenje, prikazujejo fotografije na sliki 8.

Poškodbe so nastale v bližini notranje enojne ubirne točke, v področju negativnega zdrsa, kjer so tudi dotikalni tlaki največji [4]. Nastale poškodbe so si podobne za vsa tri olja, relativno plitve, z večkratnimi razpokami oz. kosmičenjem na eni strani (sl. 8).

Poškodbe imajo tipični videz, ki nastane pri površinskem načinu jamičenja [5]. Površinski način jamičenja je v dobri povezavi z majhno specifično debelino mazalnega filma (pregl. 2).

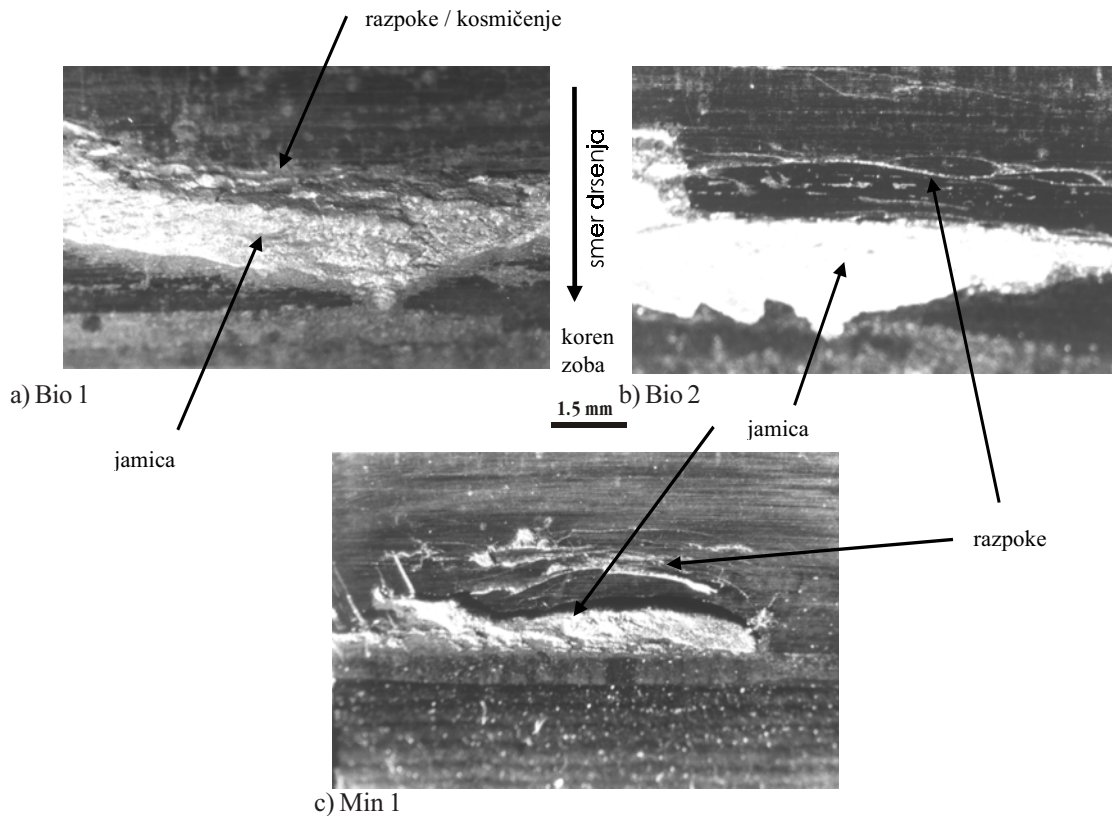
Na sliki 9 so pri 50-kratni povečavi na SEM fotografirane razpoke na zobnih bokih, nastale pri preskušanju vseh treh olj. Razpoke so usmerjene pravokotno na smer drsenja, nahajajo pa se pred jamico, gledano od vrha proti korenu zoba. Smer razvoja razpoke je nasprotna smeri sile trenja.

1.4 Drсна obraba

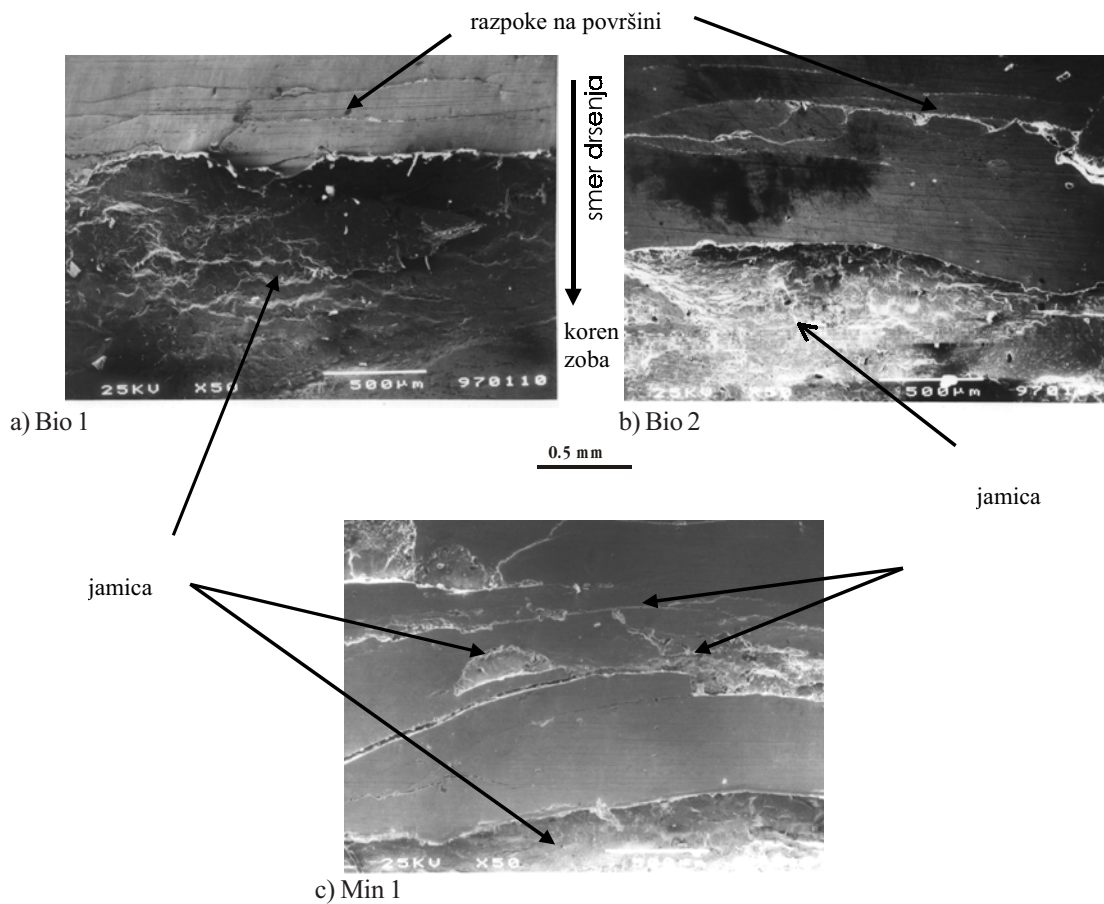
Pri preskušanju vpliva preskusnih olj na preprečevanje drsne obrabe so debeline mazalnih filmov tako majhne, da gre za izrazito mejno področje mazanja (pregl. 3). V tem področju sta aktivni komponenti, ki nadzirata obrabo, le osnovno olje in aditivi.

Rezultati preskusov odpornosti preskusnih olj na drsno obrabo po metodi A so prikazani v preglednici 4.

Z uporabo težnostne metode je bila obraba zobnikov pri uporabi olja bio 1 le 3 mg po 50 urah preskušanja, sledi ji mešanica repičnega in mineralnega olja s 5 mg obrabe, olje bio 3 z 8 mg ter olji bio 2 in min 1 z 30 oz. 39 mg obrabe. Primerjava med posameznimi stopnjami preskušanja pokaže pri oljih bio 1, bio 3 in BM izredno majhno obrabo v obeh stopnjah, obraba pri preostalih dveh oljih pa je v prvi stopnji veliko večja kakor v drugi.



Sl. 8. Videz poškodb jamičenja na zobnih bokih v optičnem mikroskopu



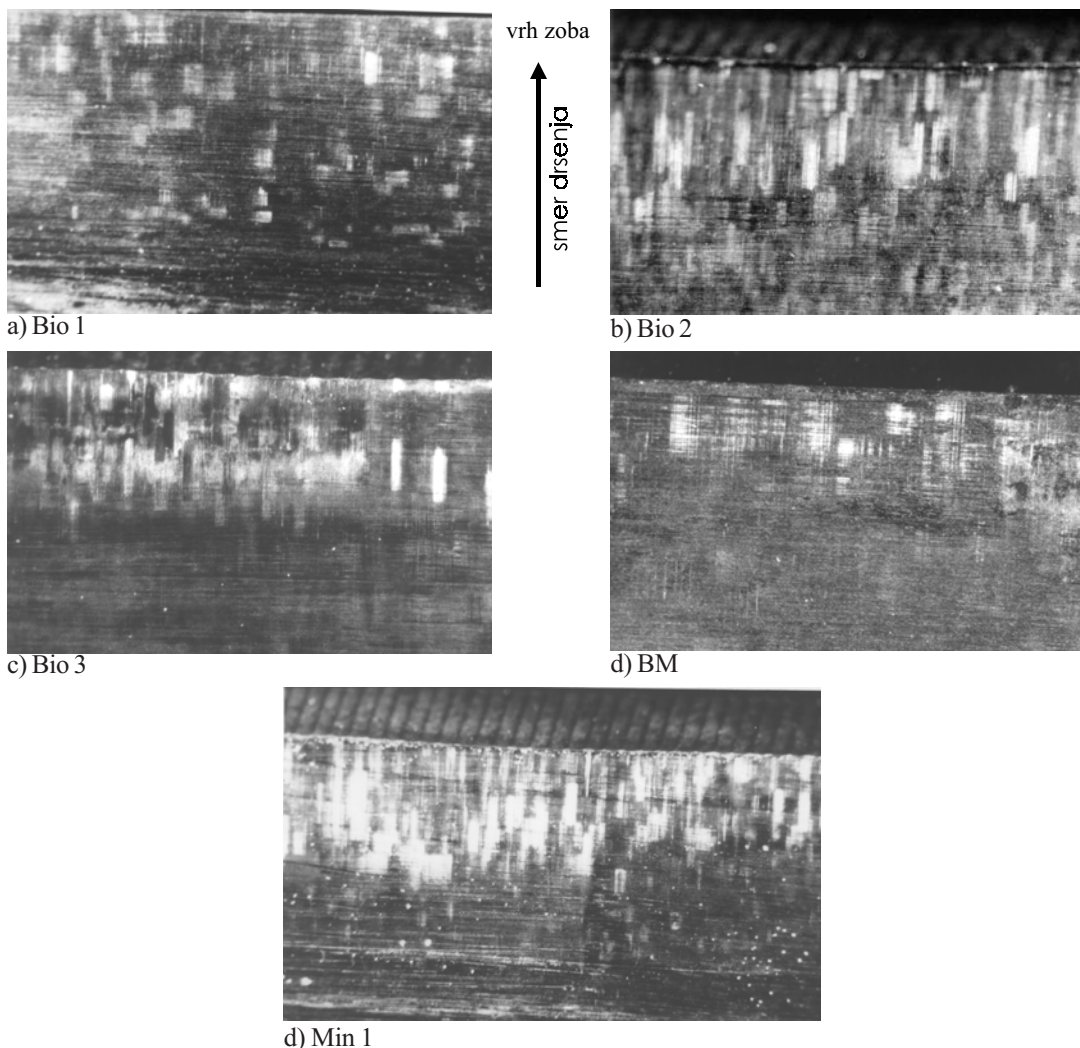
Sl. 9. Videz poškodb jamičenja na zobnih bokih v mikroskopu (SEM)

Preglednica 3. Viskoznosti in ustrezne debeline mazalnih filmov pri preskušanju obrabe

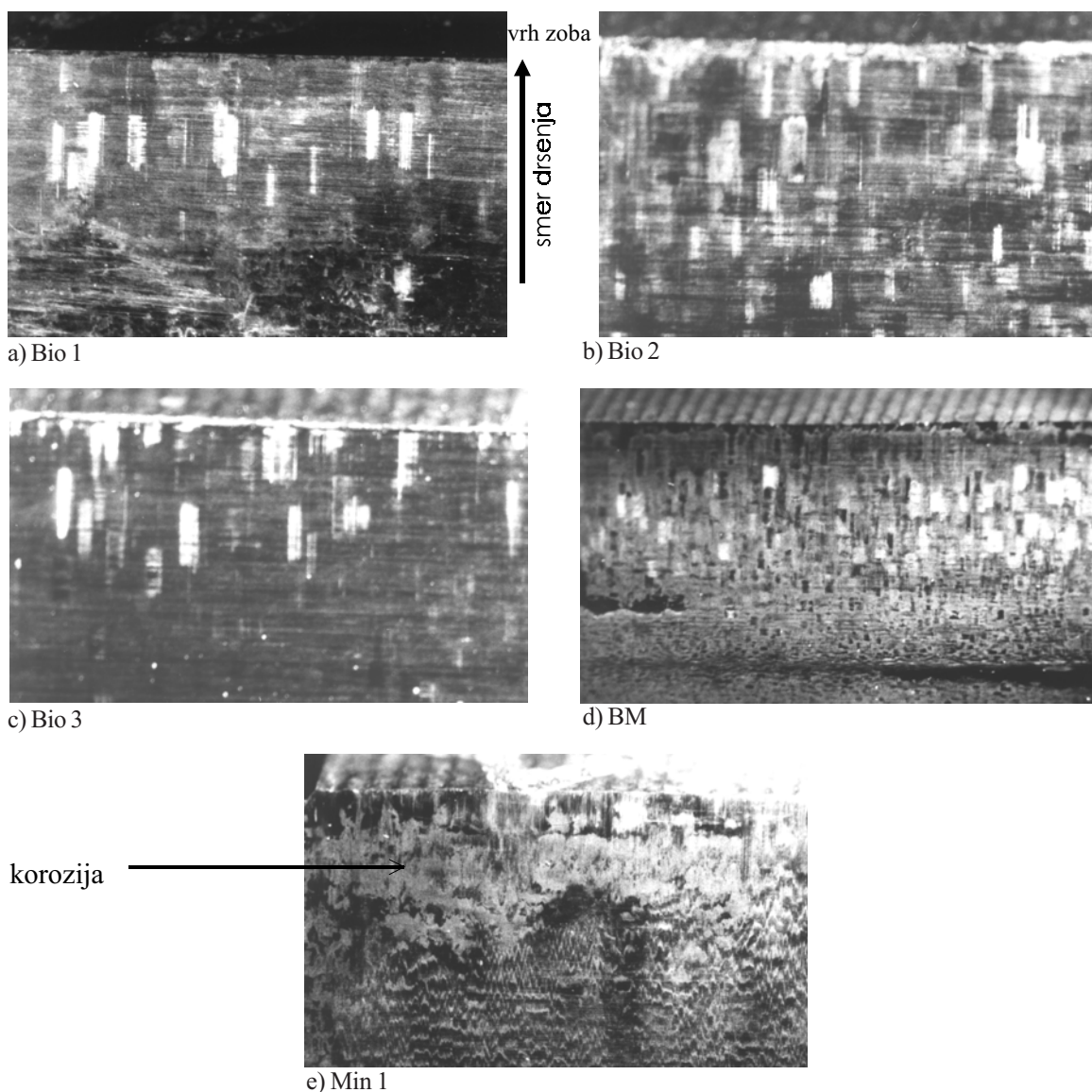
Vzorec	Metoda A (120 °C)			Metoda B (80 °C)		
	v ₁₂₀ mm ² /s	h _{min}		v ₈₀ mm ² /s	h _{min}	
		1 stopnja μm	2 stopnja μm		1 stopnja μm	2 stopnja μm
bio 1	6,16	0,0095	0,0063	12,86	0,017	0,0115
bio 2	7,31	0,0106	0,0071	15,74	0,0199	0,0133
bio 3	7,59	0,0111	0,0074	15,57	0,0198	0,0133
min 1	5,51	0,0088	0,0059	14,68	0,0203	0,0136

Preglednica 4. Rezultati preskusov drsne obrabe - metoda A

	Obraba zobnih bokov			Specifična obraba		
	mg			mg/kWh		
	1 stopnja	2 stopnja	skupaj	1 stopnja	2 stopnja	skupaj
bio 1	2	1	3	0,03	0,02	0,02
bio 2	25	5	30	0,34	0,08	0,22
bio 3	5	3	8	0,07	0,05	0,06
min 1	32	7	39	0,44	0,11	0,29
BM	1	4	5	0,02	0,06	0,04



Sl. 10. Fotografije zobnih bokov pastorka po preskusu drsne obrabe - metoda A



Sl. 11. Fotografije zobnih bokov pastorka po preskusu drsne obrabe - metoda B

Fotografije stanja zobnih bokov pastorka po preskusu drsne obrabne metode A s preskusnimi olji so zbrane na sliki 10. Fotografije zobnih bokov prikazujejo gladke površine, to pomeni, da se je v vseh primerih pojavila zmerna drsna obraba.

1.4.1 Vpliv vode kot primesi

V traktorskih pogonskih sistemih in nekaterih drugih pogonih se pojavlja tudi do 1 odstotek vode v olju. Voda je primes, ki zelo poostri delovne razmere, v katerih mora olje delovati. Da bi ugotovili vplive vode na preprečevanje drsne obrabe, smo uporabili metodo B (pregl. 3). Pred vsakim preskusom smo v vzorce olj dodali 1 % v/v vode. Mešanico smo pred preskusom nekajkrat močno pretresli, da smo dobili homogeno zmes olja in vode. Med preskusom nismo več dodajali vode.

Rezultati preskusov drsne obrabe po metodi B so zbrani v preglednici 5, slike zobnih bokov

pastorka po preskusu z olji bio 1, bio 2, bio 3, min 1 in BM pa na sliki 11.

Z izjemo olja bio 2 je pri vseh preskusih opazno povečanje obrabe v primerjavi s čistim oljem (pregl. 4). Razlike med vzorci olj so velike. Obraba je najmanjša pri olju bio 2, pri preostalih oljih pa se zvečuje po istem razporedu kakor pri metodi A (pregl. 4). Iz primerjave obeh metod je tudi razvidno, da se obraba pri mešanici BM z dodano vodo izredno poveča, glede na olje bio 1, čeprav sta po metodi A obe olji imeli skoraj popolnoma enak rezultat. Očitno je, da voda bolj škoduje mazalnim lastnostim mineralnih olj, kakor repičnih, saj v tem primeru že 10-odstotna mešanica repičnega olja z mineralnim oljem, ob navzočnosti vode, izredno izgubi svojo mazalnost. Zanimivo je obnašanje olja bio 2, ki ima, glede na rezultate, približno enako protiobrabno zaščito pri razmerah preskušanja z vodo ali brez nje. Takšen rezultat je vsekakor presenetljiv.

Preglednica 5. Rezultati preskusov normalne drsne obrabe - metoda B

	Obraba zobnih bokov			Specifična obraba		
	mg			mg/kWh		
	1 stopnja	2 stopnja	skupaj	1 stopnja	2 stopnja	skupaj
bio 1	25	49	74	0,35	0,79	0,55
bio 2	24	8	32	0,33	0,13	0,24
bio 3	55	34	89	0,76	0,55	0,66
min 1	48	288	336	0,66	4,63	2,49
BM	71	114	185	0,98	1,83	1,37

S slike 11 je razvidno, da je pri vseh treh bio oljih prišlo do približno enakega obrabnega mehanizma. Obrabna površina zobnega boka po preskusu mešanice BM kaže sledove močnejše drsne obrabe (sl. 11d), pri mineralnem olju min 1 pa lahko opazimo tudi sledove korozije na zobnih bokih (sl. 11e). Korozija, nastala na zobnih bokih, nakazuje na nezadostno zaščito kovinskih površin, prispeva pa tudi k večji obrabi.

2 RAZPRAVA

Repična mazalna olja imajo izredno dobre mazalne lastnosti. Majhni povprečni koeficienti trenja repičnih olj (z izjemo olja bio 2) so pričakovani, ker ta olja sestavljajo dolge polarne organske molekule (maščobne kisline). Te molekule se s svojim polarnim koncem prilepijo na kovinsko površino in zmanjšujejo torni koeficient. Mazalni učinek se ustvari s fizikalno oz. kemijsko adsorpcijo maziva na površino, tj. z nastankom nizkostrizne plasti polarnih molekul med dotikalnima površinama ([2], [6] in [7]). V tem primeru so majhni povprečni koeficienti trenja funkcija baznega olja. Visok koeficient trenja repičnega olja bio 2 lahko pripišemo lastnostim, ki jih morajo imeti olja UTTO. Trenje v teh oljih mora biti dovolj veliko, s čimer se zagotovi učinkovito delovanje mokrih zavor in sistema "Power Take Off" v traktorjih. Po drugi strani pa smo z meritvami ugotovili slabe protiobrabne lastnosti repičnih olj, ki se kažejo v prebojih mazalne plasti. To pa je neposredno funkcija aditivov AW/EP v baznih oljih (sl. 3).

Raziskava je potrdila, da je zmožnost preprečevanja zajedanja repičnih olj enakovredna zmožnostim mineralnega olja. Vseeno pa so bile izmerjene temperature oljnih kopeli nižje po vsaki obremenitveni stopnji pri preskušanju repičnih olj. Za približno isti odvod toplote preskusnih zobnikov, in ker so tudi toplotne lastnosti preskusnih olj približno enake, je temperatura oljne kopeli odvisna le od začetne temperature olja (90 °C od 4 stopnje dalje) in od torne toplote, nastale v dotiku. Nižje temperature oljnih kopeli so bile izmerjene za olja z majhnim koeficientom trenja (sl. 4). Z izjemo olja bio 2 se izmerjene temperature oljnih kopeli ujemajo z

razmerjem izmerjenih koeficientov trenja pri tlakih 1 in 2 GPa na napravi SRV (FZG obratuje med 0,14 in 1,84 GPa). Prav tako pa so nižje temperature oljnih kopeli po vsaki stopnji posledica večje debeline mazalne plasti in s tem boljšega ločevanja površin v primeru vseh treh repičnih olj (sl. 5). Čeprav je bila viskoznost vseh preskusnih olj na začetku vsake stopnje približno enaka, je bil padec viskoznosti med preskusom manjši pri repičnih oljih zaradi njihove manjše odvisnosti viskoznosti od temperature (IV ~220 - indeks viskoznosti) v primerjavi z mineralnim oljem (IV 89). Zaradi manjšega padca viskoznosti je debelina filma večja, ločevanje površin boljše, dotiki med vršički so preprečeni z debelejšo mazalno plastjo, površine se zaradi tega manj segrevajo, zato so tudi temperature olja nižje.

Viskoznost olja, vrsta olja in njegova temperatura imajo zelo velik vpliv na pojav jamičenja, medtem ko imata vrsta dodatkov in njihova koncentracija le omejen vpliv na jamičenje. Pri delovni temperaturi preizkušanja so imela vsa olja približno enako viskoznost in s tem tudi debelino mazalne plasti (pregl. 2). Ker so bili tudi dotikalni tlaki enaki pri vseh preskusih, imajo največji vpliv na pojav jamičenja torne lastnosti osnovnega olja ([8] do [11]). Videz poškodb jamičenja potrjuje površinski način jamičenja pri vseh preskušanih oljih, kar se tudi dobro ujema z majhno specifično debelino mazalnih plasti. To pa še dodatno potrjuje, da imajo v našem primeru torne lastnosti posameznih preskušanih olj odločujoč vpliv na pojav jamičenja. Dotikalni tlaki pri preskušanju jamičenja na napravi FZG ustrezajo vrednosti 1,65 GPa na kinematskem krogu. Za neposredno primerjavo koeficientov trenja lahko vzamemo vrednosti, izmerjene na napravi SRV v območju 1 in 2 GPa. Iz primerjave slik 1 in 7 vidimo, da se razmerja koeficientov trenja in razmerja dobljenih rezultatov preskusa jamičenja popolnoma ujemajo. Torej je posledica boljšega preprečevanja jamičenja repičnih olj manjše drsno trenje v dotiku. To vodi k manjšim strižnim napetostim na površini, kar učinkovito preprečuje dotikalno utrujanje, povezano s površinskim nastankom utrujenostnih razpok.

V primeru preskusa odpornosti preizkusnih olj na drsno obrabo pri velikih obremenitvah in

majhnih hitrostih se bolje izkažejo repična olja ter tudi mešanica v primerjavi s čistim mineralnim oljem. Zaradi majhnih drsnih hitrosti je segrevanje dotikalnih površin malenkostno, zato aditivi AW/EP, ki začno delovati šele pri visokih temperaturah, v teh preskusnih razmerah še ne delujejo. Izračun temperature za preskus drsne obrabe je za vseh pet olj ~ 153 °C. V primerjavi s temperaturo zajedanja osnovnih olj (pregl. 1) pomeni, da niti pri repičnih oljih niti pri mineralnem olju zaradi prenizke temperature aditivi AW/EP ne delujejo. V tem področju delovanja so zato v izraziti prednosti repična olja zaradi visoke polarnosti osnove in s tem povezane fizikalne oz. kemijske adsorpcije maščobnih kislin na kontaktno površino, zaradi tega je obraba manjša (pregl. 4). Mazalni mehanizem fizikalne oz. kemijske adsorpcije maščobnih kislin je učinkovit prav v področju nizkih kontaktnih temperatur in velikih obremenitev.

Voda na poslabšanje mazalnih lastnosti vpliva na dva načina. Prvič je voda zelo polarna molekula, ki se hitreje veže na kovinsko površino kakor aditivi AW/EP v olju. Ker voda sama po sebi nima nikakršnih nosilnih lastnosti in ker je delovanje aditivov AW/EP zaradi manjše polarnosti omejeno, je rezultat zelo majhna protiobrabna zaščita z vodo pomešanega olja. To pomeni, da so mineralna olja dejansko bolj izpostavljena vplivu vode na mazalne lastnosti, zaradi nižje polarnosti osnove, v primerjavi z repičnimi olji. Druga možnost je, da voda reagira z aditivi AW/EP ali nekaterimi drugimi komponentami v olju, spremeni njihove kemijske lastnosti, ki so zato manj učinkovite od prvotnih. Voda v repičnih oljih je še posebno problematična. Voda razcepi naravni ester, triglicerid kot osnovni gradnik repičnih olj, v proste organske kisline oz. v mila in alkohole. Mila in alkoholi ustvarjajo smolnate, v olju netopne ostanke, ki v obliki mulja in gošče slabšajo mazalne lastnosti na kovinskih površinah. Proste kisline pa vplivajo na korozijo kovin. Mulja, gošče oz. smolnatih netopnih ostankov pri 50-urni obremenitvi repičnih olj z vodo pri 80 °C nismo opazili, kar pomeni, da je bila delovna temperatura prenizka, čas pa prekratek za začetek kemijskih reakcij.

Za razumevanje kemičnih reakcij aditivov s kovinsko površino in za boljše razumevanje dobljenih rezultatov smo površine zobnih bokov po preskusih zajedanja analizirali z mikroskopom SEM, povezanim z analizatorjem EDS. Površina, obstreljena z elektroni, oddaja žarke X, katerih spekter je značilen za prvine, ki so na površini. Dejanska globina analize je okoli 1 mm. Rezultati so prikazani na sliki 12. Slika prikazuje fotografije SEM površin zobnih bokov tik pod vrhom, na mestu največje drsne hitrosti pri 200-kratni povečavi, skupaj z analizo EDS.

Iz analiz se vidi, da je pri vseh oljih na mestu poškodbe zajedanja prišlo do reakcij dodatka fosforja in/ali žvepla s kovinsko površino. Na poškodovani, zaradi drsenja zglajeni površini brez tipičnih poškodb

zajedanja, reakcij dodatkov pri repičnih oljih nismo opazili. Nasprotno pa je pri mineralnem olju opazna velika konica fosforja in celo sledovi cinka na povsem nepoškodovanem delu zobnega boka, kjer so še vedno vidne raze kot posledica brušenja. Višina konice, relativno glede na šum signala in višino konice železa, je kakovostno merilo količine analizirane prvine na površini. Sledovi aluminija izhajajo iz držala vzorcev.

Dejstvo je, da reakcije aditivov s kovinsko površino pri mineralnem olju zelo hitro stečejo. Glede na videz površine, kjer so še vedno vidni sledovi brušenja, je za reakcijo že dovolj odstranitev oksidnega sloja. Odstranjeni oksidni sloj je tako tanek, da ne spremeni videza površine, temeljito pa spremeni lastnosti kovinske površine. Na sveži površini nastala tanka reakcijska plast aditivov torej varuje površino pred zajedanjem. Pri olju min 1 se je kljub majhni obrabi na površini (sl. 6d) zreagirala relativno največja količina dodatka (sl. 12d). Pri repičnih oljih bio 1, bio 2 in bio 3 so konice zreagiranih prvih žvepla in fosforja relativno majhne, pravzaprav na meji zaznavanja (sl. 12a,b,c), kljub večji obrabi površin zobnih bokov (sl. 6a,b,c). Na zglajenih površinah, ki ne kažejo tipičnih poškodb zajedanja, sploh ni prišlo do reakcij z aditivi. Dejstvo je, da je na teh mestih prišlo do obrabe, ker ni vidnih sledov brušenja, zajedanje pa je preprečevala fizikalna oz. kemijska adsorpcija maščobnih kislin na kovinsko površino.

Iz rezultatov analiz SEM in EDS razberemo, da je delovanje S/P/Zn aditiva (kombinacija žvepla, fosforja in cinka - AW/EP) v mineralnem olju min 1 bolj učinkovito kakor v repičnih oljih bio 1, bio 2 in bio 3 (samo S/P). Po analizah sodeč visoka polarnost repične osnove preprečuje dostop aditivom do kovinske površine, zato je tudi količina zreiranega aditiva, kljub večji obrabi, manjša v primerjavi z mineralnim oljem.

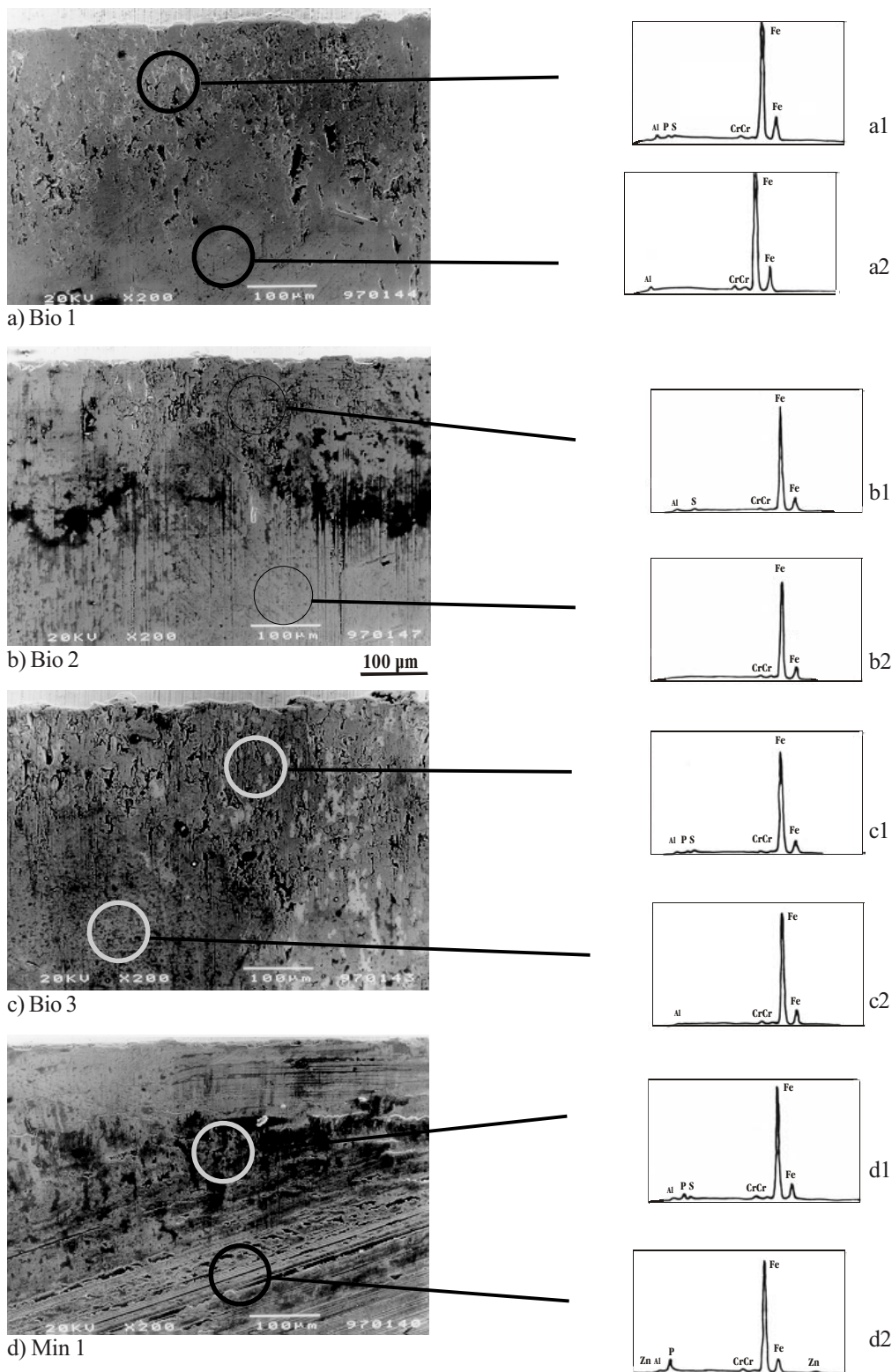
Slabe protiobrabne lastnosti repičnih olj so zato posledica njihove bistveno večje polarnosti v primerjavi z nevtralnimi mineralnimi olji. To pomeni, da je cela vrsta aditivov manj polarna kakor bazno repično olje. Zato so za doseganje enake učinkovitosti na mejni ploskvi kakor pri mineralnih oljih potrebne bistveno večje koncentracije aditiva, tj. do želenega delovanja se pride samo prek večje statične porazdelitve. To se najbolj kaže prav pri protiobrabnih aditivih in aditivih za visoke tlake, pri katerih visoka polarnost osnove preprečuje dostop aditivov AW/EP na osnovno površino. Z večanjem koncentracije teh aditivov se lahko izboljša tudi njihov dostop do osnovne površine in s tem tudi protiobrabne lastnosti repičnih olj pri naših razmerah preskušanja [13].

3 SKLEP

Opravljeni preskusi so pokazali enakovredne oz. celo boljše mazalne lastnosti

repičnih mazalnih olj v primerjavi s tržnim mineralnim oljem. To pomeni: nižje trenje v mejnem mazalnem področju, primerljiva zmožnost preprečevanja zajedanja, boljša zmožnost preprečevanja jamičenja in dobre mazalne lastnosti v razmerah velike obremenitve - majhne hitrosti.

Te mazalne lastnosti so rezultat fizikalne in/ali kemijske adsorpcije maščobnih kislin na kovinsko površino in izredno majhne odvisnosti viskoznosti od temperature. Majhna odvisnost viskoznosti od temperature (visok IV) omogoča tudi uporabo repičnega mazalnega olja viskoznosti ISO 46 tam, kjer se običajno uporabljajo mineralna olja viskoznosti ISO 32-68.



Sl. 12. Analize na SEM in EDS obrabnih površin zobnih bokov po preskusu zajedanja

Edina pomanjkljivost v mazalnih lastnostih repičnih olj je v nezadostnem delovanju aditivov AW/EP pri velikih obremenitvah in visokih kontaktnih temperaturah.

Mazalni učinek je bil posledica nastale nizkostrizne mejne ploskve med dotikalnima površinama

Kombinacija adsorpcijskega mazalnega mehanizma, povezanega z repičnimi olji ter protiobrabnih dodatkov in dodatkov za visoke tlake v repičnih oljih, je učinkovita tja do 2 GPa.

Majhna obraba v drugi stopnji nakazuje na dobre protiobrabne lastnosti olj, nekoliko večjo obrabo v prvi stopnji pri oljih bio 2, in min 1 pa lahko pripišemo utekavanju zobnikov. Olji bio 1 in bio 3 imata zelo dobre karakteristike pri utekavanju, logična posledica je zato tudi dober rezultat mešanice BM v prvi stopnji, saj je mešanica olj bio 1 in min 1. Pri oljih bio 2 in min 1 so zato kemijske lastnosti, ki nadzirajo utekavanje, nekoliko slabše, kakor pri preostalih treh oljih. Po vzpostavitvi obrabe (druga stopnja) so vsa olja enakovredna.

4 LITERATURA IN VIRI

- [1] Vižintin, J., A. Arnšek (2001) Primerjava triboloških lastnosti mineralnih in repičnih mazalnih olj; Osnove, načini preizkušanja ter izbira preizkusnih olj, *Strojniški vestnik*, Vol. 47, št. 3.
- [2] Hubmann, A. (1994) Chemie pflanzlicher Öle, *Ökologische und ökonomische Aspekte der Tribologie, TAE 94*.
- [3] Arnšek, A. (1996) Zajedanje in jamičenje, *Drugi seminar, FS Ljubljana*
- [4] Podlesnik, M. (1981) Gonila z valjastimi zobniki, Maribor.
- [5] Stachowiak, G.W., A.W. Batchelor (1993) Engineering tribology, *Elsevier*.
- [6] Kabuya, A., J.L. Bozet (1995) Comparative analysis of the lubricating power between a pure mineral oil and biodegradable oils of the same mean ISO grade, *Lubricants and Lubrication / D. Dowson (Editor), Elsevier*.
- [7] Arnšek, A. (1994) Lastnosti biološko razgradljivih olj, *Prvi seminar, FS Ljubljana*.
- [8] Bartz, W.J., V. Krüger (1975) Influence of lubricants on the pitting fatigue of gears, *Wear*, Vol. 35, No. 2, 184-198.
- [9] Stachowiak, G.W., A.W. Batchelor (1993) Engineering tribology, *Elsevier*.
- [10] Ku, P.M.; Gear failure modes - Importance of lubrication and mechanics, ASLE Preprint No. 75AM-SA-1.
- [11] Bartz, W.J., V. Krüger (1973) Pitting fatigue of gears - Some ideas on appearance, mechanism and lubricant influence, *Tribology International*, 220-224.
- [12] Möller, U.J. (1994) Biologisch schnell abbaubare Schmierstoffe-Einführung in die Problematik, *Ökologische und ökonomische Aspekte der Tribologie, TAE 94*.
- [13] Vižintin, J., A. Arnšek (1996) Vpliv obremenitve na tribološke lastnosti mazalnih olj pri izmeničnem gibanju, *Zbornik predavanj Slotrib 96*, Gozd Martuljek.

Naslov avtorjev: Aleš Arnšek
prof.dr. Jože Vižintin
Fakulteta za strojništvo
Univerza v Ljubljani
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana

Prejeto:
Received: 30.1.2001

Sprejeto:
Accepted: 27.6.2001