



8th International Tribology Conference

Osma internacionalna konferencija o tribologiji
Beograd, 8. - 10. oktobra 2003.

OCENA MENJAČKIH ULJA SA TRIBOLOŠKOG ASPEKTA

Zorica VUKADINOVIĆ, dipl. maš. ing., "Institut za automobile", Kragujevac, (zokaruza@ptt.yu)

Prof. dr Danica JOSIFOVIĆ, dipl. maš. ing., Doc. dr Bogdan NEDIĆ, dipl. maš. ing., Mašinski fakultet Kragujevac,

Bojana CICMIL, dipl. ing. tehn., Mirjana KOLB, dipl. fiz. hem., NIS Rafinerija nafte Beograd

TRIBOLOGICAL ASPECT OF GEAR OILS QUALITY

Summary

To the end of getting a complete overview of the behavior of oils and making a gradation of their quality and effects on system performances, it is necessary to carry out the tribological tests of lubricants that in this case into the category of model tests. During model tests, it is necessary to conduct the process of sampling of the tested element from the real system and simulate contact conditions. This way one can obtain a whole system and give a prediction of their further behavior. At same time, when conducting model tests it is possible to secure repeatability of the sampling procedure and tests allowing the results and grading of the same oil to be compared in different laboratories.

This paper shows part of the tribological test for transmission oils formulated by different additive packages. They showed that for some formulations the tribometer "Block on disc" is an inadequate device.

Keywords: tribological tests, transmission oils, tribometer

1. UVOD

Pracanje performansi elemenata i kompletnog prenosnika snage u eksploatacionim uslovima podrazumeva usko orijentisana dugotrajna ispitivanja, bez mogućnosti variranja i sagledavanja uticaja ulaznih parametara u širem dijapazonu, pa se u cilju dobijanja relevantnih i upotrebljivih podataka pristupa laboratorijskim ispitivanjima.

Ispitivanja konstrukcije i funkcionalnosti rešenja, kao i ponašanja pojedinih sklopova prenosnika snage u laboratoriji vrše se prema tehničkim zahtevima i uslovima kojima se simuliraju eksploatacioni režimi. Ovi uslovi definišu metodologiju izvođenja proba, mernu i laboratorijsku opremu.

Uslovi izvođenja testova i procedure na osnovu kojih se daje ocena nivoa kvaliteta maziva sa stanovišta EP i antihabajućih karakteristika mogu biti različiti. Uobičajeno je da se testovi izvode tako da na različite načine izazivaju pucanje

uljnog filma, pri čemu se najčešće određuju jačina uljnog filma (*film rupture strenght*), sposobnost podnošenja opterećenja (*load-carrying capacity*) i dr. Rezultati ovakvih testova treba da ukažu na ponašanje maziva u eksploatacionim uslovima.

2. TESTOVI ZA ODREĐIVANJE KARAKTERISTIKA MENJAČKIH ULJA

Metode za testiranje karakteristika menjačkih ulja mogu se svrstati u dve grupe.

Prvu grupu čine one kod kojih se ispitivanja obavljaju ili na zupčanicima ili na diskovima, pri čemu se simuliraju uslovi na smicanja koji se javljaju pri sprezanju zupčanika. Najznačajniji testovi iz ove grupe su: FZG, Ryder, IAE i SAE testovi.

Testovi iz druge grupe metoda izvode se u uslovima graničnog podmazivanja. Glavni naponi

koji se tom prilikom javljaju su naponi na smicanje. U zavisnosti od oštine uslova izvođenja razlikuju se testovi pomoću kojih se određuju EP-karakteristike i koji se izvode u uslovima visokih opterećenja i napona koji dovode do oštećenja kontaktnih površina (do pucanja uljnog filma) i testovi kojima se određuju antihabajuće karakteristike, a izvode se pod blažim radnim uslovima i sa dužim vremenom ispitivanja. Pregled ovih testova i uređaji na kojima se izvode mogu se naći u literaturi [1;2].

Poređenje ovih testova može se vršiti na osnovu različitih kriterijuma: maksimalni Hertz-ov napon, brzina micanja, vrednost koeficijenta trenja, veličina pohabanog sloja i dr.

Analiza sprovedena u radu [1] pokazuje da kod testova u okviru iste grupe metoda postoje značajne razlike u uslovima kontakta, koji se direktno preslikavaju na rezultate ispitivanja. To dalje znači da se mazivo ne ponaša isto pri različitim testovima, tako da svaki od testova različito rangira isto mazivo, tj. paket aditiva korišćen pri formulaciji maziva.

Tako na primer, maziva koja sadrže aditive na bazi sumpora pokazuju odlične karakteristike kod Four-ball testa koji se izvodi u veoma oštrim radnim uslovima, obzirom da ovi aditivi da bi mogli da obave svoju funkciju (obrazovanje EP filma) zahtevaju visoke temperature u zoni kontakta. Nasuprot tome, maziva formulisana na bazi fosfornih aditiva odlično se ponašaju u blažim uslovima ispitivanja (npr. Reichert test), jer je fosfor blag EP aditiv i zahteva nižu aktivacionu temperaturu.

3. TRIBOLOŠKA ISPITIVANJA

Osnovni problem koji pre sagledavanja ponašanja ulja, davanja ocene njegovog uticaja na performanse mašinskog sistema i konačnog ocenjivanja kvaliteta maziva treba rešiti je izbor adekvatne metode ispitivanja i verifikacija dobijenih rezultata.

Jedan od načina rešavanja navedenog problema su i tribološka ispitivanja, koja spadaju u grupu modelskih ispitivanja. Pri modelskim ispitivanjima vrši se uzorkovanje ispitivanog elementa iz realnog sistema i simuliraju uslovi kontakta. Na ovaj način može se doći do velikog niza podataka koji sa dovoljnom pouzdanošću ukazuju na stanje sistema i daju predviđanje njegovog daljeg ponašanja. Takođe, kod modelskih ispitivanja moguće je obezbediti ponovljivost postupka uzorkovanja i ispitivanja, a time i uporedljivost rezultata i ocenu istog elementa u

različitim laboratorijama. Ova ispitivanja ne traže izradu skupih prototipova, pa su i sa tog aspekta pogodna.

Tribološka ispitivanja omogućavaju određivanje karakteristika materijala (metalnih i nemetalnih) i maziva sa energetskog aspekta (merenje sile i koeficijenta trenja) i sa aspekta pouzdanosti i trajnosti (merenje habanja elemenata sistema) i spadaju u grupu modelskih ispitivanja kojima se simuliraju realni uslovi kontakta [3].

U okviru kompleksnog istraživanja uticaja različitih formulacija maziva na sistem za sinhronizaciju automobilskih prenosnika snage izvršena su i ispitivanja triboloških karakteristika menjačkih ulja različitih nivoa kvaliteta. Deo rezultata do kojih se tom prilikom došlo biće prezentovan u ovom radu.

4. PREDMET ISPITIVANJA

Za dobijanje podataka o uticaju maziva na ponašanje elemenata i funkcionisanje sistema za sinhronizaciju, a koji bi opravdali svršishodnost ispitivanja, bilo je neophodno odabrati adekvatne formulacije ulja. Za izvođenje eksperimentalnih ispitivanja korišćena su ulja za manuelnu transmisiju (skraćeno menjačka ulja) i motorna ulja proizvođača NIS Rafinerije nafte Beograd i to:

- ◆ menjačko ulje SAE 80W-90, nivoa kvaliteta API GL-3,
- ◆ menjačko ulje SAE 90, nivoa kvaliteta API GL-4,
- ◆ menjačko ulje SAE 90, nivoa kvaliteta API GL-5,

Multigradno menjačko ulje SAE 80W-90, nivoa kvaliteta **API GL-3** je ulje koje zadovoljava "Zastava" standard 9.55550, tip CZ 90 i tehničku preporuku JUS TP11 i kao takvo je odobreno i preporučeno za podmazivanje grupe menjač-diferencijal vozila "Zastava". To je polusintetsko ulje čiju osnovu čini ulje standard kvaliteta (solvent neutral) sa dodatkom 5% PAO (poli- α -olefin) i formulisano paketom aditiva na bazi cinkdialkilditiofosfata (ZnDDP) sa blagim EP svojstvima.

Monogradno menjačko ulje viskozitetne gradacije **SAE 90** je mineralno ulje namenjeno za primenu tamo gde se zahteva nivo kvaliteta **API GL-4**. Proizvedeno je od baznog ulja premium kvaliteta, gde termin "premium kvalitet" označava mešavinu solvent neutrala i hidrokrekovanog baznog ulja. Menjačko ulje je formulisano sumpor-fosfor bezpepelnim EP aditivom nove generacije. Zahvaljujući ovakvoj formulaciji ovo menjačko ulje zadovoljava **API GL-4** specifikaciju.

Monogradno menjačko ulje viskozitetne gradacije **SAE 90**, nivoa kvaliteta **API GL-5** je mineralno ulje proizvedeno od solventno rafinisanog parafinskog baznog ulja i formulisano, kao i ulje **API GL-4**, sumpor-fosfor bezpepelnim EP aditivom nove generacije. U odnosu na ulje **API GL-4** povećana je koncentracija dodatih aditiva za približno 2 puta. Ova razlika u koncentraciji aditiva obezbeđuje da ulje zadovoljava specifikacije **API GL-5** i **MIL L-2105D**. Ulje je naročito pogodno za podmazivanje hipoidnih prenosnika snage koji rade u uslovima ekstremno visokih pritisaka i udarnih opterećenja.

Pri izboru vrste i formulacije ulja koja su podvrgnuta ispitivanjima, pošlo se od menjačkog ulja **MENOL CZ 80W-90**, nivoa kvaliteta **API GL-3**, kao ulja koje je već našlo primenu u vozilima "Zastava". Ovo ulje je prilikom ispitivanja bilo označeno kao referentno.

Iako su menjačka ulja nivoa kvaliteta **API GL-4** i **API GL-5** monogradna i u odnosu na referentno ulje imaju za 3÷4 jedinice veću viskoznost, odabrana su iz razloga što su to najčešće primenjivani nivoi kvaliteta menjačkih ulja u savremenim automobilima. Pri tome se želelo da se ispita i oceni uticaj ovih ulja na materijale i funkciju postojeće konstrukcije sistema za sinhro-

nizaciju i prenosnika snage vozila "Zastava".

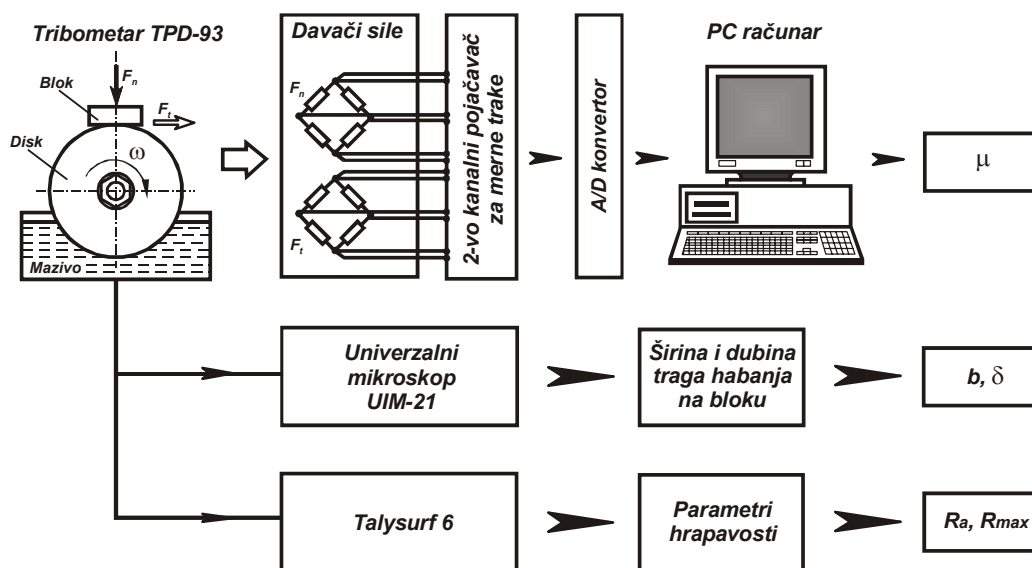
6. PROGRAM I USLOVI TRIBOLOŠKIH ISPITIVANJA

Određivanje triboloških karakteristika ispitivanih ulja, u okviru ovog rada, obavljeno je u Laboratoriji za tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu.

Pri izvođenju eksperimenta koji je obuhvatio merenje sile trenja, koeficijenta trenja i parametara habanja korišćena je sledeća laboratorijska i merna oprema:

- ◆ **Tribometar TPD-93**,
- ◆ **A/D konvertor**,
- ◆ **Pojačavač - HBM dvokanalni merni most KWS273.A2**,
- ◆ **PC računar 486 DX133MHz**,
- ◆ **Uređaj za merenje hrapavosti Talysurf 6 (Taylor-Hobson)**,
- ◆ **Univerzalni alatni mikroskop UIM-21**.

Na slici 1 prikazan je merni lanac triboloških ispitivanja:



Slika 1 Merni lanac triboloških ispitivanja

Tribometar TPD-93 je razvijen u Centru za revitalizaciju industrijskih sistema Mašinskog fakulteta u Kragujevcu. Na njemu se mogu ostvariti uslovi kontakta u tački ("disk on disk"), po liniji ("pin on disk") i po površini ("block on disk") sa elementima različite geometrije. Kontakt se u svim navedenim slučajevima može ostvariti sa i bez podmazivanja.

Pri ispitivanju korišćen je softver, čiji kvalitet se ogleda i u preglednom radnom okruženju (ekranu), koje je tako organizovano da pruža mogućnost praćenja, ne samo brojnih vrednosti merenih veličina tokom ispitivanja, već daje i dijagramski prikaz normalne sile, sile trenja i koeficijenta trenja.

Tribološkim ispitivanjima tipa "block on disk" podvrgnuta su sveža i rabljena ulja. Ovde se pod terminom "rabljeno ulje" podrazumeva ulje koje je korišćeno za ispitivanje na trajnost sistema za sinhronizaciju (100.000 ciklusa uključivanja III-IV stepena prenosa).

Vrednost normalne sile $F_n=400N$ usvojena je tako da odgovara srednjoj vrednosti normalne sile kojom se u toku testa trajnosti deluje na sistem za sinhronizaciju, dok je na osnovu proračuna usvojena vrednost brzine klizanja u zoni kontakta $V_{kl}=1,4m/s$.

Podmazivanje je ostvarivano prolaskom donjeg dela diska kroz određenu količinu ulja, pri čemu su uspostavljeni granični uslovi podmazivanja.

Vreme trajanja ispitivanja je $t=120min$.

Da bi se u potpunosti simulirali uslovi kontakta koji važe u procesu sinhronizacije, za realizaciju triboloških ispitivanja, korišćeni su diskovi izrađeni od čelika za cementaciju Č.7422 (18Cr-Mo4) i tvrdoće 61HRC. Blokovi su od sinterovanog materijala S-III-F, na koji je nanet sloj molibdena debljine $50\div 70\mu m$ i dobijeni su isecanjem iz sinhronog prstena. Tvrdoća bloka je 70HRC. Geometrija diska i bloka prikazana je na sl. 2, a hemijski sastav materijala dat je u tabeli 1.

Tabela 1 Sastav materijala diska i bloka

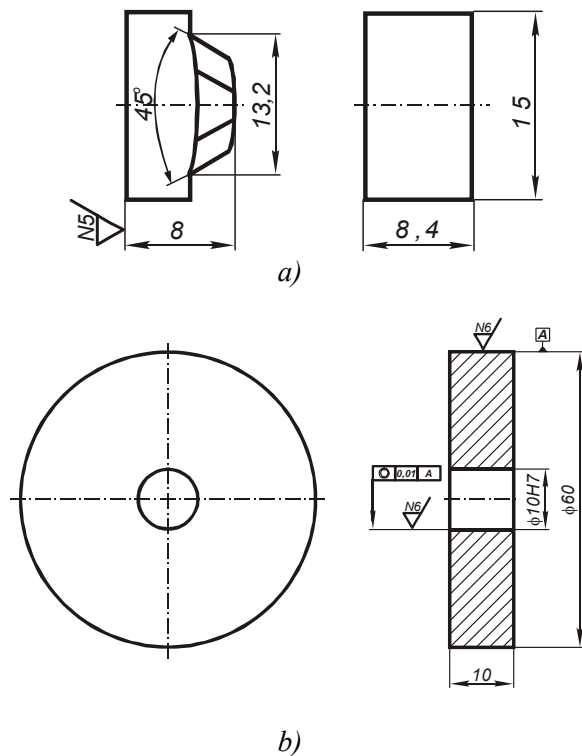
| Sinter S-III-F | Č.7422 (18CrMo4) |
|---------------------------------------|----------------------|
| C=0,6-1% | C=0,16-0,21% |
| Ni=3-6% | Mn=0,6-0,9% |
| Cu=0,5-2% | Si=0,15-0,35% |
| Mo=0,2-0,6% | Cr=0,85-1,15% |
| Fe=ostalo | Mo=0,15-0,25% |
| Ostalo $\leq 1,5\%$ | Cu $\leq 0,3\%$ |
| | S=0,02-0,04% |
| | P $\leq 0,035\%$ |
| | Al=0,02-0,05% |
| | Fe=ostalo |

6. REZULTATI ISPITIVANJA

Na slikama 3÷5 prikazani su dijagrami promene koeficijenta trenja u funkciji vremena ispitivanja.

Rezultati merenja (slike 3÷5) pokazuju da nakon početnog rasta do maksimalne vrednosti, koeficijent trenja naglo pada, da bi se u kasnijoj fazi ispitivanja njegova veličina stabilizovala i imala skoro konstantnu vrednost. Vremenski period u kome se vrednost koeficijenta trenja intezivno menja iznosi $10\div 20$ min (zavisno od vrste ulja) i označava se kao *faza uhodavanja*. Nju karakteriše znatna promena topografije površina

bloka i diska usled prelaska tehnološke u eksploatacionu topografiju i postizanja realne geometrije kontakta.



Slika 2 Geometrija diska (a) i bloka (b)

Dijagrami na slici 3 pokazuju da je koeficijent trenja kod rabljenog menjačkog ulja nivoa kvaliteta **API GL-3** veći od koeficijenta trenja svežeg ulja. Usled povišene radne temperature, pri ispitivanju sistema za sinhronizaciju, došlo je do reakcije između aditiva i površine, raspadanja ZnDDP i njegovog prelaska u oblik slobodnog radikala. Na ovaj način se sprečava oksidacija ulja tokom rada u menjaču. U *rabljenom menjačkom ulju nivoa kvaliteta API GL-3* koje je korišćeno pri tribološkim ispitivanjima prisutni su, na taj obrazovani slobodni radikali, koji zbog funkcije ZnDDP (antioksidant) ne utiču na smanjenje trenja i habanja.

Analizom dijagrama na slici 4 može se zapaziti da je koeficijent trenja pri ispitivanju sa *svežim menjačkim uljem nivoa kvaliteta API GL-4* veći nego pri ispitivanju sa rabljenim uljem istog nivoa kvaliteta. Uzrok ovakvoj prirodnoj vrednosti koeficijenta trenja treba tražiti u hemijskom sastavu (strukтури) samog ulja, koje je formulirano sumpor-fosforom bespepelnim EP i antihabajućim aditivom. Osobina fosfora je da pri kontaktnoj temperaturi od $700^{\circ}C$ reaguje sa metalom i gradi metal-fosfid koji kao hemijska prevlaka štiti površinu od habanja, dok sumpor na temperaturi od $900^{\circ}C$ pri reakciji sa

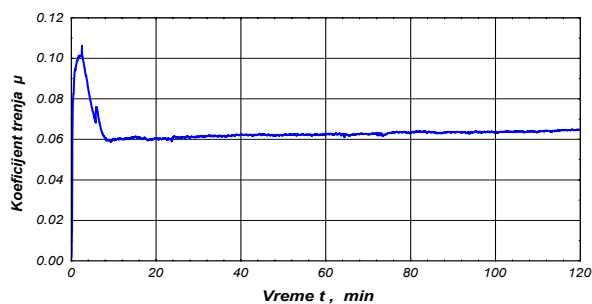
metalom gradi metal-sulfid koji se odlikuje velikom tvrdoćom i ne dozvoljava habanje površine. Posledica stvaranja hemijskih slojeva velike tvrdoće na dodirnim površinama je veliko trenje iskazano preko koeficijenta trenja.

Rabljeno menjačko ulje nivoa kvaliteta API GL-4 u sebi sadrži polarna jedinjenja (pre svega organske masne kiseline) nastala reakcijom aditiva i metala u toku testa trajnosti sistema za sinhronizaciju, kao i oksidacijom ulja usled povišenih radnih temperatura. Na taj način stvorene masne kiseline se, pri tribološkim ispitivanjima, vezuju za metalne površine bloka i diska i obrazuju sloj koji u hemijskom pogledu predstavlja metalni sapun. Formirani mazivi sloj sprečava dodir površina bloka i diska, pri čemu se stvaraju uslovi da početno granično podmazivanje prelazi u elasto-hidrodinamičko podmazivanje, što za posledicu ima manji koeficijent trenja i manje habanje, a ne retko i proklizavanje površina.

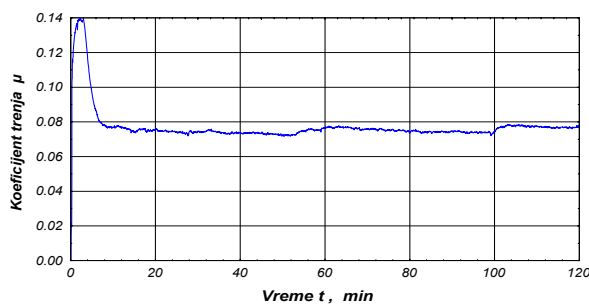
Dijagram na slici 5a pokazuje da je koeficijent trenja pri ispitivanju sa *svežim menjačkim uljem nivoa kvaliteta API GL-5* približno jednak vrednosti koeficijenta trenja svežeg menjačkog ulja nivoa kvaliteta API GL-4, što je posledica upotrebe istog paketa aditiva pri formulaciji ulja.

Međutim, trend promene vrednosti koeficijenta trenja *rabljenog menjačkog ulja nivoa kvaliteta API GL-5* (slika 5b) je različiti od onog koji ima *rabljeno menjačko ulje nivoa API GL-4* (slika 4b). Ovo se objašnjava time da je *rabljeno ulje API GL-5* usled oksidacije degradilo i da ne poseduje dobra podmazujuća i tribološka svojstva.

Za razliku od svežih menjačkih ulja nivoa kvaliteta API GL-4 i API GL-5 gde je veliki koeficijent trenja posledica dejstva sumpor-fosfornih aditiva, veliki koeficijent trenja ($\mu=0,102$) kod *ulja API GL-3* potiče od formulacije ulja koje sadrži ZnDDP.

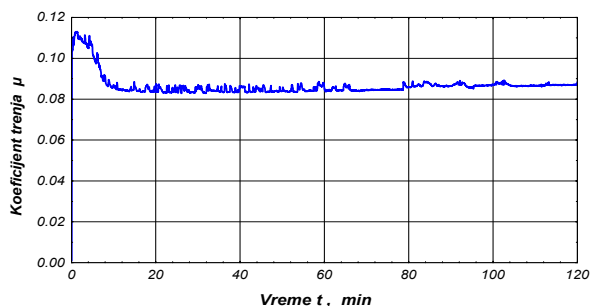


a)

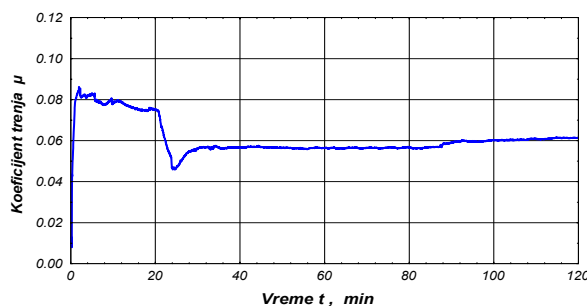


b)

Slika 3 Promena koeficijenta trenja pri ispitivanju svežeg (a) i rabljenog (b) ulja API GL-3

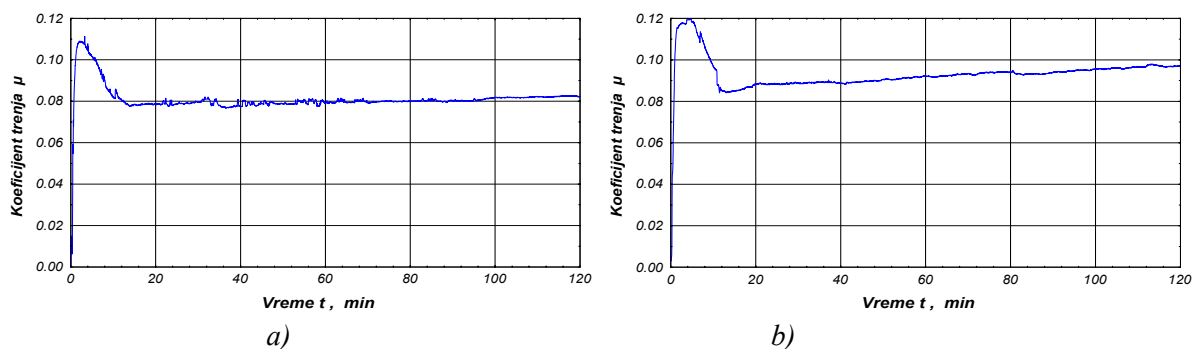


a)



b)

Slika 4 Promena koeficijenta trenja pri ispitivanju svežeg (a) i rabljenog (b) ulja API GL-4



Slika 5 Promena koeficijenta trenja pri ispitivanju svežeg (a) i rabljenog (b) ulja API GL-5

7. ZAKLJUČCI

Zahtevi za boljim performansama menjačkih ulja usloveli su razvoj novih metoda ispitivanja i pokrenulo pitanje adekvatnosti postojećih standardnih testova i procedura za ocenu njihovog kvaliteta.

Na osnovu triboloških ispitivanja svežih i rabljenih menjačkih ulja i sprovedenih ispitivanja može se zaključiti da:

- ◆ na tribološke karakteristike ulja veliki uticaj ima formulacija (bazno ulje i paket aditiva) i čistoća ulja;
- ◆ kod menjačkih ulja formulisana sumpor-fosfornim aditivima na tribološka svojstva promena koncentracije aditiva za 2 puta nema veliki uticaj, pri čemu svi ostali uslovi (bazno ulje, opterećenje, temperatura, brzina klizanja) ostaju isti;
- ◆ sa tribološkog aspekta i uslova ostvarivanja sinhronizacije stepena prenosa kod menjača

vozila Zastava najpovoljnije je menjačko ulja nivoa kvaliteta API GL-4 (SAE 90).

LITERATURA:

- [1] Allston-Grenier A.F., Testing Extreme Pressure and Anti-wear of Gear Lubricants, Industrial and Automotive Lubrication, 11-th International Colloquium, Eslingen, 1998
- [2] Ščekić B., Menjačka ulja-trendovi razvoja, pregled specifikacija i testova, GALAX 98, Kopaonik, 1998.
- [3] Vukadinović Z., Ispitivanje uticaja maziva na trajnost sinhronne grupe menjača, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Kragujevac, maj 2003.
- [4] Tehnički katalog GALAX proizvoda, NIS Rafinerija nafte Beograd, Beograd, 1998.
- [5] Tehnička dokumentacija proizvoda NIS Rafinerija nafte Beograd