

REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISPITIVANJA TRIBOLOŠKIH KARAKTERISTIKA ULJA IZ MOTORA I MENJAČA VOZILA

Perić R. *Sreten*, Univerzitet odbrane, Vojna akademija,
Katedra vojnih mašinskih sistema, Beograd

OBLAST: mašinstvo (tribologija, mašine, alati i pribori)

Sadržaj:

Danas se za dijagnosticiranje tribomehaničkog sistema primenjuju različite fizičko-hemijske metode i tribološke metode. Analiza uzoraka ulja koja sadrže čestice nastale habanjem omogućava da se u ranim fazama korišćenja sistema oceni stanje triboloških svojstava.

U radu su prikazani tribološki testovi u okviru analize ulja koji se koriste za procenu njegovog stanja. Nadalje su prikazani rezultati eksperimentalnih istraživanja triboloških karakteristika uzorkovanih ulja iz motora i menjača vozila mercedes O 345, puh 300GD i pincgauer 710M koja su bila u eksploataciji. Realizovanim ispitivanjima konstatovano je da dolazi do promena triboloških karakteristika ulja za podmazivanje u motoru i menjaču vozila. Ove promene su u direktnoj zavisnosti od stanja svih elemenata tribomehaničkog sistema motora i menjača, odnosno u zavisnosti od njihovih funkcionalnih karakteristika.

Key words: monitoring, održavanje, tribološke karakteristike ulja, podmazivanje.

Uvod

Održavanje tehničkih sistema (TS), a posebno materijalnih sredstava, predstavlja složen proces. Osnovni cilj održavanja sastoji se u dovođenju TS u stanje koje će omogućiti postizanje zadatih ciljeva, predviđajući istovremeno mogućnost otkaza i zastoja u eksploataciji.

Sva dosadašnja usavršavanja procesa održavanja TS ne tretiraju tribološke karakteristike materijala elemenata tribo-sistema sa stanovišta njihovog uticaja na ponašanje sistema u toku eksploatacije.

Neprekidna težnja za stvaranje tribomehaničkih sistema u kojima je podatke o stanju elemenata sistema moguće dobijati povremeno ili kontinualno, bez narušavanja njegove funkcije uslovljava stalni razvoj novih tribometrijskih metoda.

Razvoj tribologije kao interdisciplinarnе nauke zasnovane na eksperimentalnim istraživanjima doprineo je primeni i razvoju raznovrsne eksperimentalne opreme i uređaja – tribometara i *tribometrije*, kao posebne oblasti eksperimentalnih istraživanja.

Praćenje performansi elemenata kod realnog tribomehaničkog sistema podrazumeva usko orijentisana dugotrajna istraživanja, bez mogućnosti variranja i sagledavanja uticaja ulaznih parametara u širem dijapazonu.

Međutim, modelskim ispitivanjima, pri čemu se vrši uzorkovanje ispitivanog elementa iz realnog sistema i simuliraju uslovi kontakta, može se doći do čitavog niza podataka koji sa dovoljnom pouzdanošću ukazuju na stanje realnog sistema i predviđaju njegovo dalje ponašanje. Ali, pre donošenja zaključaka na osnovu rezultata tribometrijskih istraživanja, mora se voditi računa o bitnim razlikama koje postoje između realnih tribomehaničkih sistema i ispitivanja u modelskim uslovima.

Identifikacija stanja tribomehaničkih sistema bez narušavanja njene funkcije, u uslovima gde se otkazi javljaju prvenstveno usled habanja elemenata i promene svojstava podmazujućeg sredstva, ima ogromne tehničke i ekonomske efekte. Sve prisutnija istraživanja na tribometrima se objašnjavaju nemogućnošću da se ispitivanjima realnih sistema obuhvati kompleksnost procesa trenja i habanja, kako po karakteru odvijanja fizičko hemijskih procesa, tako i međusobnoj povezanosti velikog broja uticajnih parametara.

Ispitivanje fizičko-hemijskih i triboloških karakteristika u funkciji utvrđivanja stanja tribomehaničkog sistema ima za cilj identifikaciju promena na elementima tog sistema. Odgovarajućim uzorkovanjima i ispitivanjima u toku eksploatacije tribomehaničkog sistema, na osnovu prikazanog modela u radu, moguće je identifikovati stanje elemenata sistema i predvideti njegovo dalje ponašanje u eksploataciji, radi preventivnog održavanja.

S obzirom na osnovnu ulogu maziva da redukuje negativne efekte triboloških procesa u pogledu trenja, habanja i rasta temperature u tribomehaničkim sistemima, svi vidovi održavanja uključuju podmazivanje kao veoma značajan deo ukupne procedure.

S druge strane, mazivo je, kao kontaktni element sistema, nosilac informacija o stanju kompletnog sistema s aspekta triboloških i drugih procesa starenja. Zbog toga analiza ulja na bazi pravilno definisanog programa predstavlja veoma efikasan metod monitoringa stanja tehničkih sistema koji obezbeđuje rane upozoravajuće znake potencijalnih problema, koji vode ka otkazu i zastoju tehničkih sistema. U strukturi sistema, osim mehaničkih komponenti, stanje menja i samo mazivo, što vodi gubitku podmazujućih svojstava.

Vozilo kao tehničko sredstvo predstavlja skup veoma složenih tribomehaničkih sistema sastavljenih od niza podsistema koji takođe predstavljaju složene tribomehaničke sisteme. Čine ih svi sklopovi koji učestvuju u prenosu snage, odnosno obrtnog momenta od motora, preko sklopova transmisije (menjača, razvodnika pogona, diferencijala i ostalih sklopova) do izvršnih organa vozila.

Ova analiza ukazuje na činjenicu da se tribološke karakteristike jednog složenog tribomehaničkog sistema ne mogu posmatrati na jednostavan način i da nije moguće lako uspostaviti pouzdane metode i odrediti dijagnostičke parametre za ocenu stanja posmatranog sistema.

Razlozi otkaza realnih sistema mogu biti veoma različiti i za sada se ne može govoriti o pouzdanim metodama za predviđanje veka složenih sistema.

Težište eksperimentalnog istraživanja, realizovanog u ovom radu, stavljeno je na mazivo, kao nosioca informacija o stanju sistema u celini. Ispitivanja sprovedena na većem broju različitih tehničkih sistema, koji su identifikovani kao tribomehanički, pokazala su da se u najvećem broju slučajeva promena funkcionalnosti elemenata i kompletnog sistema iskazuje kroz promene osobina maziva. To potvrđuje da se promena triboloških karakteristika uljnog punjenja može usvojiti za ocenu stanja sistema.

Tribološke karakteristike mazivih ulja

Osnovne tribološke karakteristike ulja su:

- sila trenja,
- koeficijent trenja,
- intenzitet habanja,
- temperatura kontakta,
- debljina sloja maziva,
- intenzitet rasta produkata habanja, itd.

Za ocenu i analizu fizičko-hemijskih karakteristika ulja danas postoji veoma razvijena merna oprema, što nije slučaj za određivanje triboloških karakteristika, a nisu ni u potpunosti definisane pouzdane metode (čak ni parametri).

Tabela 1

Neke od metoda određivanja triboloških karakteristika maziva i čvrstih materijala po ASTM-u

Table 1

Some methods for determining tribological characteristics of lubricants and solid materials by ASTM

ASTM D 2266-86	Metoda ispitivanja antihabajućih karakteristika mazivih masti
ASTM D 2509-86	Metoda za merenje EP svojstava mazivih masti (metoda Timkena)
ASTM D 2543-88	Metoda za merenje kinetičkog koeficijenta trenja za Wax prevlake
ASTM D 2510-83	Metoda za merenje adhezionih svojstava čvrstih maziva
ASTM D 2625-83	Metoda za ispitivanje veka trajanja i izdržljivosti na opterećenje čvrstih maziva
ASTM D 2670-88	Metoda za merenje antihabajućih svojstava tečnih maziva

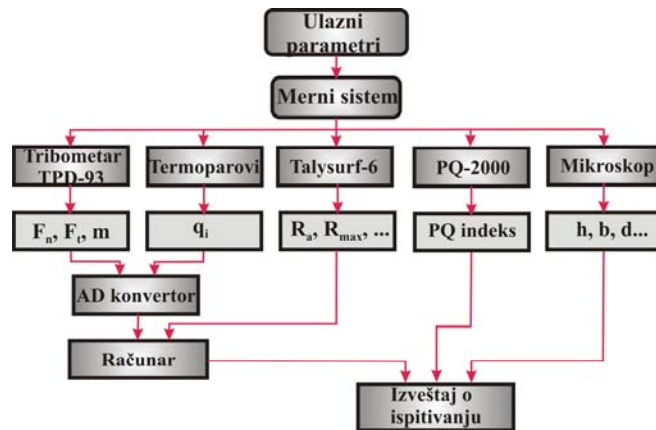
ASTM D 2714-88	Metoda za kalibraciju i postupak ispitivanja Falex-ovog tribometra
ASTM D 2782-88	Metoda za merenje EP svojstava tečnih maziva (Timkenova metoda)
ASTM D 2783-88	Metoda za merenje EP svojstava tečnih maziva (metoda sa četiri kugle)
ASTM D 3702	Metoda za merenje intenziteta habanja materijala
ASTM D 3704-83	Metoda za ispitivanje antihabajućih svojstava mazivnih masti
ASTM D 4172-88	Metoda za merenje antihabajućih karakteristika tečnih maziva
ASTM G 32	Metoda za merenje otpornosti materijala na kavitacionu eroziju
ASTM G 65	Metoda za merenje otpornosti na abrazivno habanje čvrstih tela
ASTM G 75	Metoda za merenje abrazivne sposobnosti suspenzija
ASTM G 76	Metoda za merenje otpornosti materijala na gasno abrazivno eroziono habanje
ASTM G 77	Metoda za merenje otpornosti materijala na habanje pri klizanju
ASTM G 81	Metoda za merenje otpornosti materijala na abrazivno habanje pri udaru
ASTM G 83	Metoda za merenje otpornosti materijala na habanje pri ostvarivanju kontakta u tački

Najveći deo triboloških karakteristika određuje se standardnim testovima sa strogo definisanim procedurama. U tu svrhu primenjuju se standardizovani komercijalni tribometri proizvođača kao što su *Falex*, *Timken*, *Plint*, *Koehler*, *SRV* i dr.

Postupak određivanja triboloških karakteristika elemenata tribomehaničkih sistema i materijala od kojeg su izrađeni počinje izborom metode i tribometra za merenje sile trenja i merodavnih parametara habanja. Postoji veoma veliki broj različitih tribometara u svetu, koji su do sada instalirani u raznim naučnoistraživačkim ustanovama, institutima preduzeća i univerzitetskim laboratorijama, na kojima se mere sile trenja i parametri habanja. Određeni broj metoda ispitivanja je standardizovan, pri čemu se svake godine broj standarda povećava i sve više preporučuje za primenu.

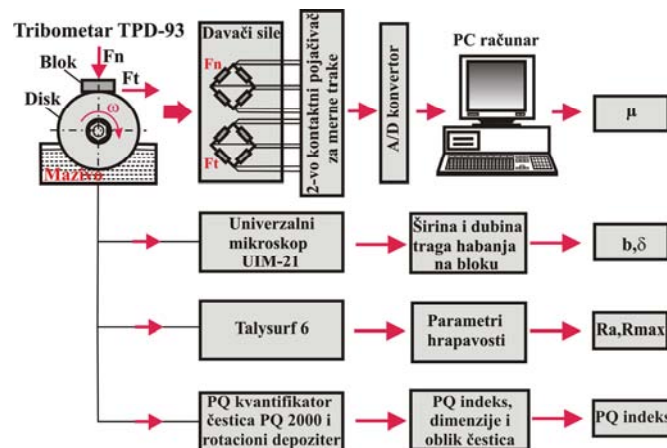
Standarde ASTM Američkog društva za tribologiju, koji se odnose na proces trenja, habanja i podmazivanja, odnosno na utvrđivanje triboloških karakteristika maziva i čvrstih materijala, odobrili su Komitet za eroziju i habanje G-2 (Potkomitet za habanje G02.30) i Komitet za proizvode nafte i maziva D-2 (Potkomitet za industrijska maziva D02.0L). Grupa ASTM standarda koji se odnose na ispitivanje triboloških karakteristika maziva i čvrstih materijala na različitim tribometrima sa geometrijom kontakta u tački, po liniji i po površini prikazani su u pregledu u tabeli 1.

Program eksperimentalnog ispitivanja uticaja maziva na motore i prenosnike snage motornih vozila obuhvatio je definisanje uslova ispitivanja navedenih elemenata, formiranje mernog lanca (slika 1), tribološka ispitivanja ulja i obradu dobijenih rezultata. Ispitivanja triboloških karakteristika ulja vršena su u Laboratoriji za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu.



Slika 1 – Blok šema mernog sistema [3]

Figure 1 – Block diagram of the measuring system [3]



Slika 2 – Merni lanci za merenje triboloških karakteristika [3]

Figure 2 – Measuring system applied in the determination of tribological characteristics [3]

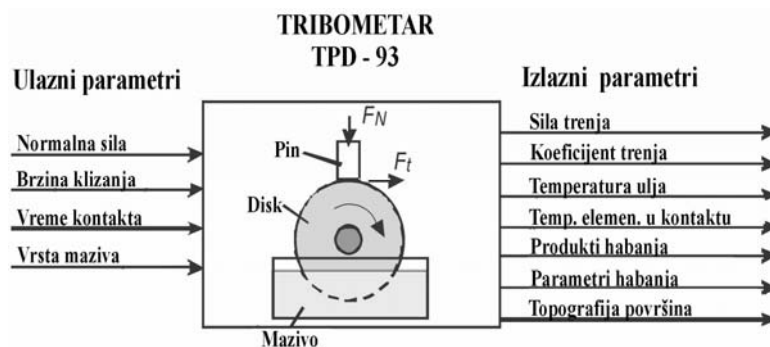
U okviru Laboratorije za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu i Centra za revitalizaciju industrijskih sistema poslednjih godina vrši se razvoj i izrada merne opreme za tribometrijska ispitivanja, kao i razvoj novih metodologija ispitivanja. Merni sistem, primenjen za određivanje triboloških karakteristika elemenata tribomehaničkih sistema (ne samo ulja za podmazivanje) sastoji se od:

- tribometra TPD-93 za merenje normalne sile, sile trenja i koeficijenta trenja,
- termoparova za merenje temperature ulja i elemenata u kontaktu,
- PQ-2000 kvantifikatora čestica za merenje PQ indeksa,

- mikroskopa za merenje parametara pohabanosti (dužine h , širine b i dubine pohabanog pojasa),
- Talysurf-6, kompjuterizovanog mernog uređaja za merenje parametara topografije površine i habanja.

Svi ovi merni lanci sastoje se od odgovarajuće merne opreme koju čine merni senzori, pojačavači signala od senzora, sistemi za akviziciju podataka u računar, softver za monitoring signala merene veličine i računarska oprema za čuvanje podataka i formiranje i prezentaciju izveštaja merenja.

Merna oprema za tribološka ispitivanja omogućuje da se na osnovu variranja ulaznih parametara dobije niz izlaznih podataka o ponašanju ispitivanih elemenata kontakta i maziva (slika 3).



Slika 3 – Tribomehanički sistem sa ulaznim i izlaznim parametrima
Figure 3 – Tribomechanical system with input and output parameters

Pri realizaciji 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,
- uređaj za merenje hrapavosti Talysurf (Taylor-Hobson),
- univerzalni alatni mikroskop UIM-21.

Na slici 4 prikazan je model ispitivanja triboloških karakteristika u toku eksploatacije.

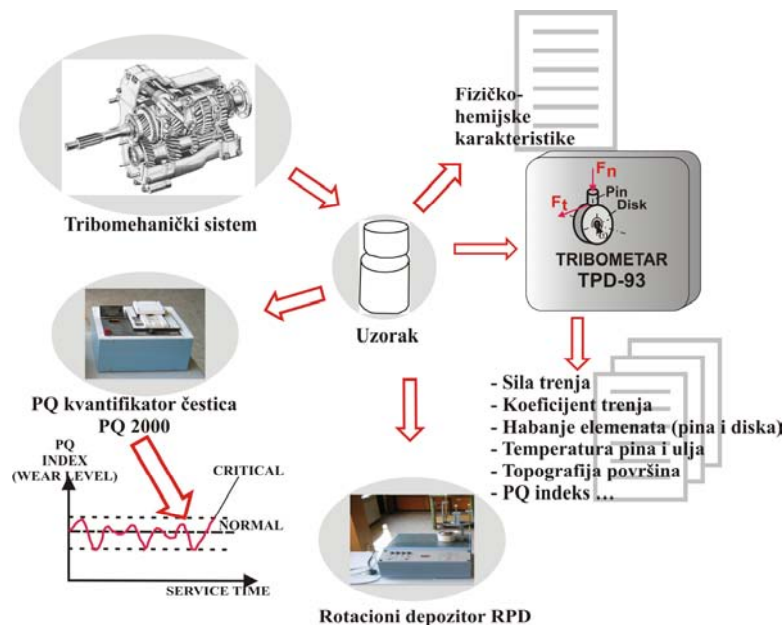
Postupak ispitivanja triboloških karakteristika ulja za podmazivanje u toku eksploatacije sastoji se u sledećem (slika 4):

- uzorkovanje ulja iz realnog tribomehaničkog sistema,
- određivanje fizičko-hemijskih karakteristika,
- utvrđivanje učešća produkata habanja u ulju i
- merenje triboloških karakteristika tribomehaničkog sistema u modelskim uslovima uz korišćenje uzorkovanog ulja kao maziva.

Ova ispitivanja podrazumevaju prethodno određivanje uslova ostvarivanja kontakta:

- geometrija kontakta,
- intenzitet i karakter spoljašnjeg opterećenja,
- vrsta (kontinualno, ciklično i dr.) i brzina kretanja,
- temperatura elemenata u kontaktu,
- način podmazivanja, itd.

Detaljnom analizom realnog tribomehaničkog sistema utvrđuju se prethodno definisani parametri i formiraju elementi kontaktnih parova. Pri tome je potrebno da elementi kontaktnih parova budu tačno definisanih svojstava (materijal, tvrdoća, stanje površina, itd.).



Slika 4 – Model ispitivanja triboloških karakteristika ulja u toku eksploatacije
 Figure 4 – Model investigation procedure of the tribological characteristics of lubricants during exploitation

Rezultati eksperimentalnog ispitivanja triboloških karakteristika ulja

Tribološkim ispitivanjima su podvrgnuta sveža i korišćena ulja iz motora i menjača vozila *pincgauer 710M (pincgauer)*, *puh 300 GD (PUH)* i autobus *mercedes O 345*. Pri ovim ispitivanjima merene su promene triboloških karakteristika elemenata u kontaktu korišćenog uzorkovanog ulja kao maziva.

Rezultati koji su dobijeni tokom ispitivanja sadrže informacije o koeficijentu trenja, sili trenja, širini i dubini traga habanja, obliku habanja kontaktne površine bloka, promeni koeficijenta trenja i temperature u toku vremena ostvarivanja kontakta, parametrima topografije površine bloka i diska pre i posle ispitivanja, tragu habanja na bloku i disku i dr. Radi ispitivanja dinamike procesa ostvarivanja kontakta vršen je kontinualni zapis signala sile i koeficijenta trenja radi kasnije obrade. Na osnovu realizovanih ispitivanja dobijeni su odgovarajući histogrami promene koeficijenta trenja mereni nakon određenog vremena ostvarivanja kontakta na tribometru u zavisnosti od uzorka ulja, odnosno pređenog puta vozila, kao i širine pojasa habanja bloka.

Sprovedena ispitivanja i dobijeni rezultati omogućili su da se identifikuju određene tribološke pojave koje se događaju u motorima i menjačima razmatranih vozila. Identifikovane su tribološke pojave koje se odnose na trenje preko koeficijenta trenja, pojave habanja preko širine pojasa habanja i dubine habanja.

U tabeli 2 prikazane su srednje vrednosti koeficijenta trenja za ispitivana motorna ulja, kao i veličine širine i dubine traga habanja.

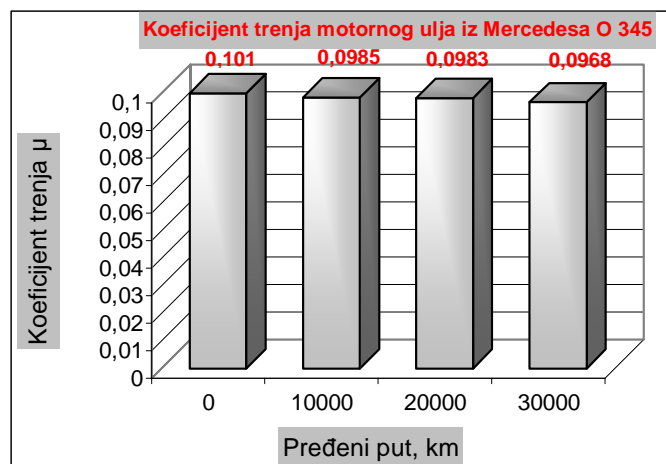
Tabela 2
Rezultati ispitivanja triboloških karakteristika motornih ulja [3]

Table 2

Results of experimental research tribological characteristics motor oil [3]

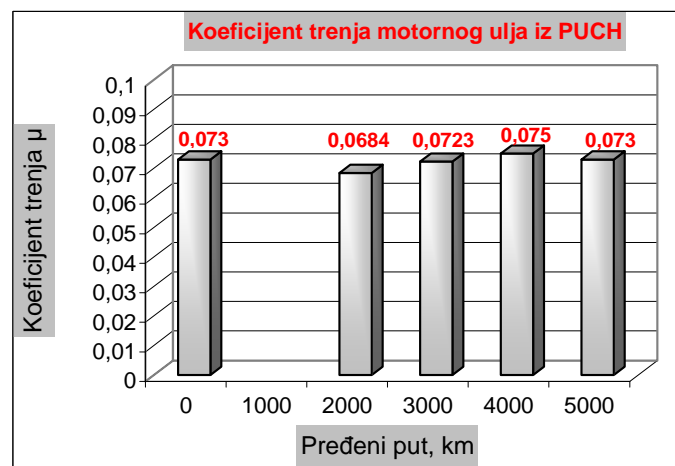
Motorno ulje	Koeficijent trenja μ	Granično podmazivanje	
		širina traga habanja na bloku (mm)	dubina habanja na bloku (μm)
„0 uzorak“ iz <i>mercedesa</i>	0,101	0,378	0,595
Uzorak 1 iz <i>mercedesa</i>	0,0985	0,4	0,666
Uzorak 2 iz <i>mercedesa</i>	0,0983	0,415	0,717
Uzorak 3 iz <i>mercedesa</i>	0,0968	0,494	1,016
„0 uzorak“ iz <i>puha</i>	0,073	0,48	0,960
Uzorak 1 iz <i>puha</i>	–	0,485	0,980
Uzorak 2 iz <i>puha</i>	0,0684	0,515	1,105
Uzorak 3 iz <i>puha</i>	0,0723	0,59	1,450
Uzorak 4 iz <i>puha</i>	0,075	0,625	1,627
Uzorak 5 iz <i>puha</i>	0,073	0,645	1,733
„0 uzorak“ iz <i>pincgauera</i>	0,085	0,36	0,540
Uzorak 1 iz <i>pincgauera</i>	0,092	0,365	0,555
Uzorak 2 iz <i>pincgauera</i>	0,0835	0,382	0,608
Uzorak 3 iz <i>pincgauera</i>	0,088	0,525	1,148
Uzorak 4 iz <i>pincgauera</i>	0,0854	0,55	1,260
Uzorak 5 iz <i>pincgauera</i>	0,0817	0,61	1,550

Na slikama od 5 do 7 prikazani su dijagrami promene koeficijenta trenja uzorkovanih motornih ulja u funkciji od pređenog puta vozila. Može se zaključiti da se srednje vrednosti koeficijenta trenja između bloka i diska pri korišćenju ispitivanih motornih ulja kod svih vozila kreću u granicama od 0,0684 do 0,101. Takođe, može se zaključiti da sa povećanjem pređenog puta koeficijent trenja kod motornog ulja iz *mercedesa O 345* postepeno pada, kod motornog ulja iz *PUH*-a u početku pada, dok je kasnije prisutan rast. Kod motornog ulja iz *pinzgauera* koeficijent trenja u početku raste, a zatim pada.



Slika 5 – Promena koeficijenta trenja motornog ulja iz mercedesa O 345 [3]

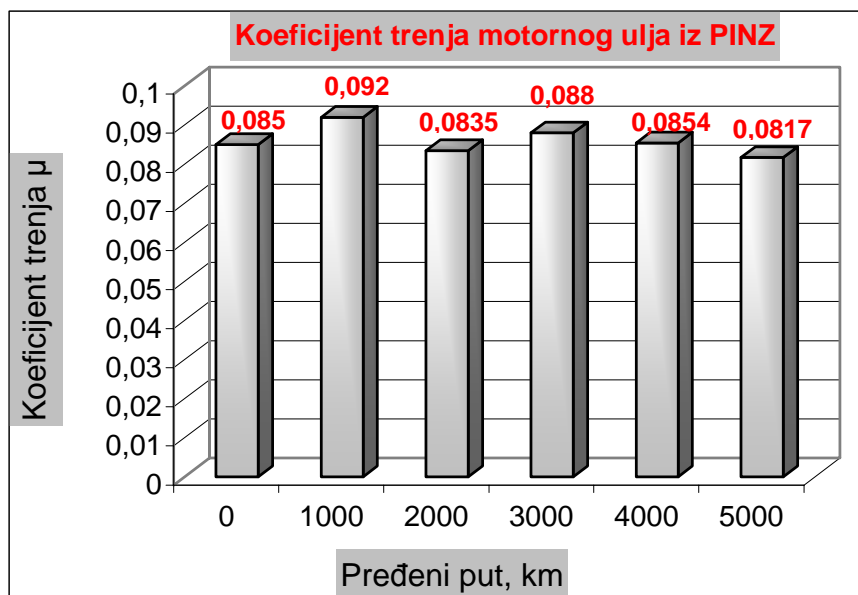
Figure 5 – Change of the friction coefficient of the motor oil of the O 345 Mercedes vehicle [3]



Slika 6 – Promena koeficijenta trenja motornog ulja iz puha [3]

Figure 6 – Change of the friction coefficient of the motor oil of the Puch vehicle [3]

Veliki koeficijent trenja ($\mu=0,101$) kod svežeg motornog ulja (nulti uzorak) SAE 10W-40, API klasifikacije CF (autobusi *mercedes O 345*), koji je veći nego kod korišćenih ulja potiče od sastava ulja koje sadrži ZnDDP (cinkdialkilditiofosfat), čija formulacija je različita od formulacije kod menjačkih ulja, zbog prirode i uslova kontakta koji vladaju u motoru. ZnDDP kao aditiv vrši tri značajne funkcije i to kao aditiv *antioksidant*, *protiv korozije* i *protiv habanja*. Njegovo delovanje kao antioksidanta je u uslovima relativno niskih temperatura (do 100°C), a ukoliko se primenjuje kod viših temperatura (slučaj u motornim uljima) dolazi do termičke razgradnje, usled čega svi produkti nastali na ovaj način deluju vlastitim mehanizmom kao inhibitori oksidacije.

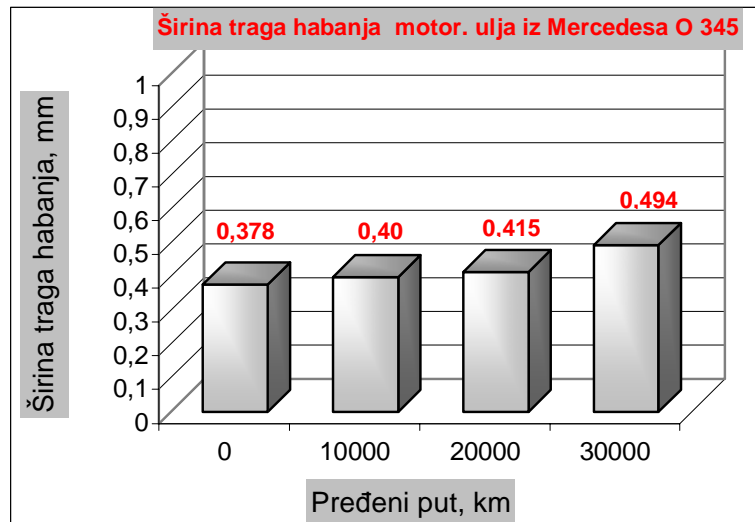


Slika 7 – Promena koeficijenta trenja motornog ulja iz *pinzgauera* [3]

Figure 7 – Change of the friction coefficient of the motor oil of the Pinzgauer vehicle [3]

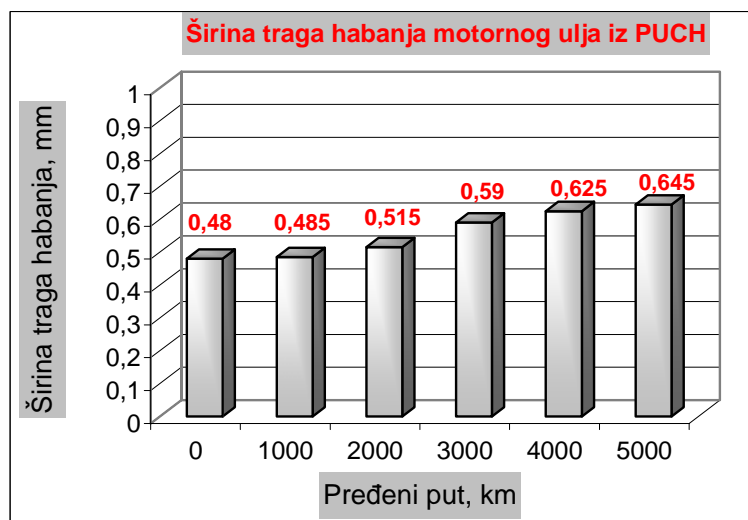
Na slikama od 8 do 10 prikazani su dijagrami promene širine traga habanja uzorkovanih motornih ulja u funkciji od pređenog puta vozila.

Sa povećanjem pređenog puta širina pojasa (traga) habanja diska raste kod ispitivanih motornih ulja iz sva tri vozila i to: kod ulja iz *mercedesa O 345* do vrednosti 0,494 mm; kod ulja iz *puh*-a do vrednosti 0,645 mm i kod ulja iz *pinzgauera* do vrednosti 0,61 mm. Porast širine traga habanja u početnom periodu može se objasniti uhadavanjem diska i bloka, a u stvarnosti bi odgovaralo početnom korišćenju vozila sa novim uljem.



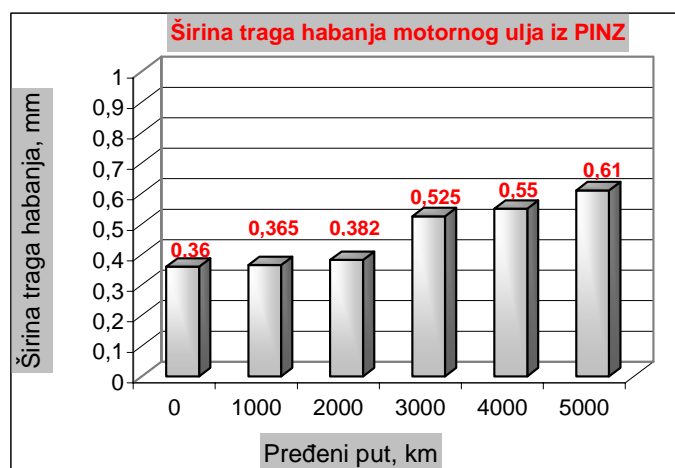
Slika 8 – Širina traga habanja b bloka zavisno od pređenog puta mercedesa O 345 (motorno ulje) [3]

Figure 8 – Dependence of the b block wear track width on the mileage of the Mercedes O 345 vehicle (motor oil) [3]



Slika 9 – Širina traga habanja b bloka zavisno od pređenog puta puha [3] (motorno ulje)

Figure 9 – Dependence of the b block wear track width on the mileage of the Puch vehicle (motor oil) [3]



Slika 10 – Širina traga habanja b bloka zavisno od pređenog puta *pinzgauera* [3] (motorno ulje)

Figure 10 – Dependence of the b block wear track width on the mileage of the Pinzgauer vehicle (motor oil) [3]

Tabela 3

Parametri topografije površine koji su mereni uređajem Talysurf-6

Table 3

Parameters of a surface topography measured with the Talysurf-6 device

Rt1-Rt5, μm	Maks. visine profila na referentnim dužinama, na dužini ocenjivanja
Ra, μm	Srednje aritmetičko odstupanje profila na dužini ocenjivanja
Rq, μm	Srednje kvadratno odstupanje profila na dužini ocenjivanja
Ry, μm	Maksimalna visina profila, maksimalna Rti vrednost
Rtm, μm	Srednja Rti vrednost
Rv, μm	Najveća dubina udubljenja profila
Rp, μm	Najveća visina ispupčenja profila
Sm, μm	Srednji korak ispupčenja profila
Δq , $^{\circ}$	Srednji kvadratni ugao nagiba profila
Rsk	Koeficijent asimetrije profila, mera simetrije krive raspodele amplituda
Rku	Kurtosis, mera zaoštrenosti krive raspodele amplituda
S, μm	Srednji korak lokalnih ispupčenja profila
R3z, μm	Srednja vrednost rastojanja trećeg po visini ispupčenja i trećeg po dubini udubljenja na referentnoj dužini profila
Rpm, μm	Srednja vrednost Rpi određenih na referentnim dužinama
R3y, μm	Najv. rast. trećeg po visini ispupčenja i trećeg po dubini udubljenja na refer. dužini

Pre početka realizacije eksperimenta izvršena su merenja hrapavosti površina diskova i blokova pomoću uređaja Talysurf. Parametri topografije površine bloka i diska, koji se mere navedenim uređajem, prikazani su u tabeli 3.

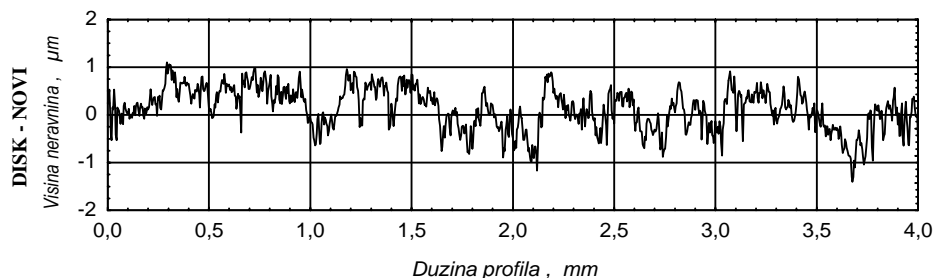
Tabela 4
Parametri topografije površina novog diska i bloka na referentnoj dužini i diskova na kraju ispitivanja uzoraka motornog ulja [3]

Table 4
Parameters of surface topography of the new disk and block at the reference length and disk the end of the tests samples of motor oil [3]

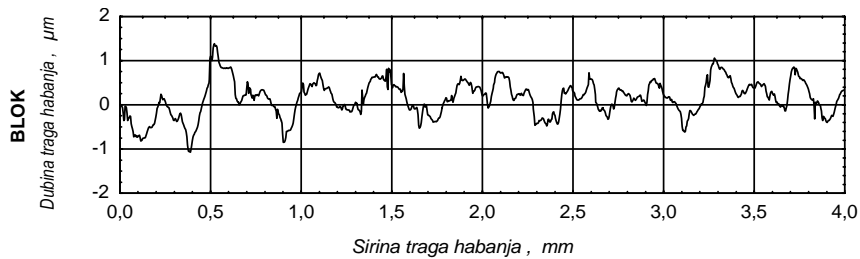
Veličina	Novi disk	Na kraju eksperimenta (ispitivanja)			Novi blok
		disk – mercedes	disk – puh	disk – pincgauer	
Rt1	2.0	2.5	2.1	3.0	2.45
Rt2	1.8	2.3	3.5	3.5	1.66
Rt3	2.1	2.1	2.6	2.1	1.77
Rt4	2.3	2.1	2.4	3.4	1.23
Rt5	1.9	2.9	2.9	3.2	1.48
Ra	0.48	0.36	0.41	0.41	0.357
Rq	0.61	0.46	0.54	0.55	0.429
Ry (Rmax)	2.3	2.9	3.5	3.5	2.45
Rtm	2.0	2.4	2.7	3.0	1.72
Rv	1.4	1.8	1.9	2.1	1.07
Rp	2.1	1.3	1.7	2.1	1.38
Sm	62	40	64	50	202
Δq	3.0o	4.5o	3.8o	4.6o	1.7o
Rsk	0.5	-0.5	-0.2	-0.1	-0.3
Rku	3.1	3.4	4.0	4.3	2.5
S	17	18	24	21	4.1
R3z	1.6	1.8	2.0	2.3	1.23
Rpm	1.2	1.0	1.0	1.3	0.92
R3y	1.8	2.0	2.6	2.8	1.49

Parametri topografije površina novog diska i bloka, kao i diskova na kraju ispitivanja uzoraka motornog ulja, prikazani su u tabeli 4. Vrednosti srednjeg aritmetičkog odstupanja označene su sa Ra.

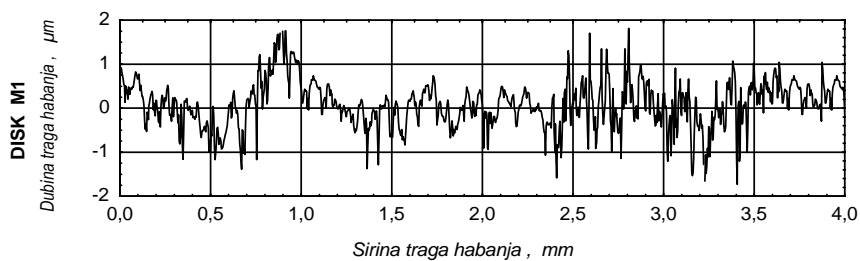
Na slikama 11 do 15 prikazane su topografije površina novog bloka i diska na referentnoj dužini, kao i diskova na kraju ispitivanja motornog ulja iz razmatranih vozila.



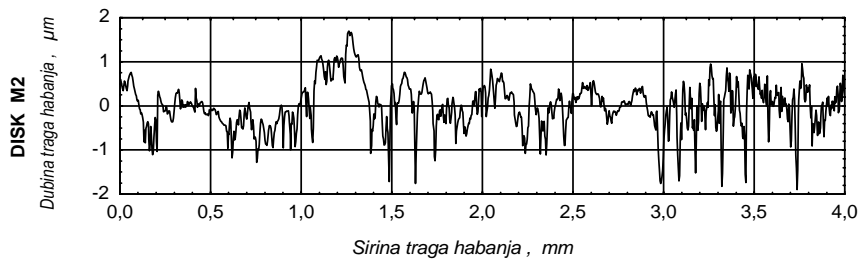
Slika 11 – Topografija površine novog diska na referentnoj dužini [3]
Figure 11 – Surface topography of the new disk at the reference length [3]



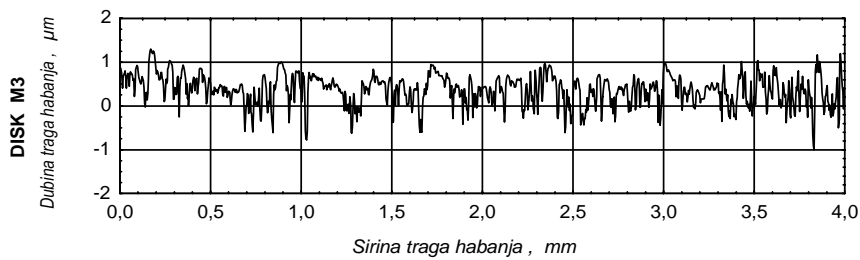
Slika 12 – Topografija površine novog bloka na referentnoj dužini [3]
 Figure 12 – Surface topography of the new block at the reference length [3]



Slika 13 – Topografija površine diska na ref. duž. motornog ulja mercedesa [3]
 Figure 13 – Surface topography of the disk at the reference length of the motor oil from the Mercedes vehicle [3]



Slika 14 – Topografija površine diska na ref. duž. motornog ulja puha [3]
 Figure 14 – Surface topography of the disk at the reference length of the motor oil from the Puch vehicle [3]



Slika 15 – Topografija površine diska na referentnoj dužini motornog ulja iz pincgauera [3]
 Figure 15 – Surface topography of the disk on the reference length of the motor oil from Pincgauer [3]

Na slikama 16 do 18 prikazani su dijagrami promene koeficijenta trenja uzorkovanih menjačkih ulja u funkciji od pređenog puta vozila.

Srednje vrednosti koeficijenta trenja između bloka i diska pri korišćenju ispitivanih menjačkih ulja kod svih vozila kreću se u granicama od 0,058 do 0,0987. Sa povećanjem pređenog puta koeficijent trenja kod menjačkog ulja iz *mercedesa O 345* postepeno raste, a kod menjačkog ulja iz *puha* postepeno pada. Kod menjačkog ulja iz *pincgauera* koeficijent trenja u početku pada, a zatim raste.

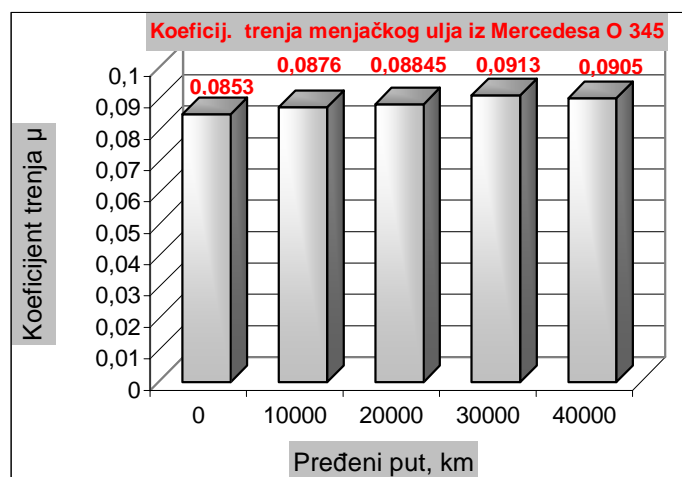
Rezultati triboloških ispitivanja menjačkih ulja [3]

Tabela 5

Table 5

Results of experimental research tribological characteristics oil from power transmitters of vehicles [3]

Menjačko ulje	Koeficijent trenja μ	Granično podmazivanje	
		širina traga habanja na bloku (mm)	dubina habanja na bloku (μm)
„0 uzorak“ iz <i>mercedesa</i>	0,0853	0,51	1,083
Uzorak 1 iz <i>mercedesa</i>	0,0876	0,562	1,316
Uzorak 2 iz <i>mercedesa</i>	0,08845	0,68	1,926
Uzorak 3 iz <i>mercedesa</i>	0,0913	0,69	1,983
Uzorak 4 iz <i>mercedesa</i>	0,0905	0,752	2,356
„0 uzorak“ iz <i>puha</i>	0,0987	0,711	2,106
Uzorak 1 iz <i>puha</i>	0,0877	0,729	2,214
Uzorak 2 iz <i>puha</i>	0,08	0,751	2,350
Uzorak 3 iz <i>puha</i>	0,0814	0,80	2,666
Uzorak 4 iz <i>puha</i>	0,0795	0,833	2,891
Uzorak 5 iz <i>puha</i>	0,0763	–	–
„0 uzorak“ iz <i>pincgauera</i>	0,067	0,583	1,416
Uzorak 1 iz <i>pincgauera</i>	0,066	0,585	1,425
Uzorak 2 iz <i>pincgauera</i>	0,058	0,615	1,575
Uzorak 3 iz <i>pincgauera</i>	0,061	0,625	1,627
Uzorak 4 iz <i>pincgauera</i>	0,059	0,643	1,722
Uzorak 5 iz <i>pincgauera</i>	0,063	0,676	1,904



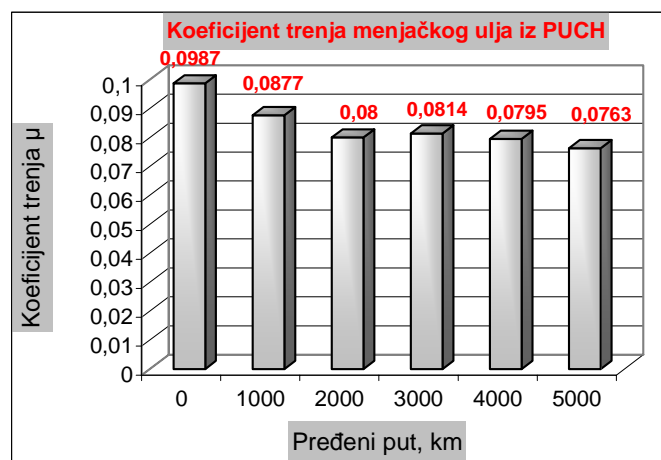
Slika 16 – Promena koeficijenta trenja menjačkog ulja iz mercedesa O 345 [3]
 Figure 16– Change of oil friction coefficient in the power transmitters of the Mercedes O 345 vehicle [3]

Dijagram na slici 16 pokazuje da je koeficijent trenja kod uzoraka korišćenog menjačkog ulja *prista ATF* (iz *mercedesa O 345*) veći od koeficijenta trenja nultog uzorka (sveže ulje). Na povišenim radnim temperaturama dolazi do reakcije između aditiva iz ulja i površine koja se podmazuje, raspadanja ZnDDP (cinkdialkilditiofosfat) i njegovog prelaska u oblik slobodnog radikala. Na ovaj način usporava se proces oksidacije ulja u menjaču tokom njegovog rada. U korišćenom menjačkom ulju *prista ATF* nalaze se, na opisan način formirani slobodni radikali, koji zbog funkcije ZnDDP (antioksidant) ne utiču na smanjenje trenja i habanja.

Uticao degradacije menjačkog ulja i povećanja koncentracije produkata habanja ogleda se, za vreme triboloških ispitivanja, u većem koeficijentu trenja i habanju.

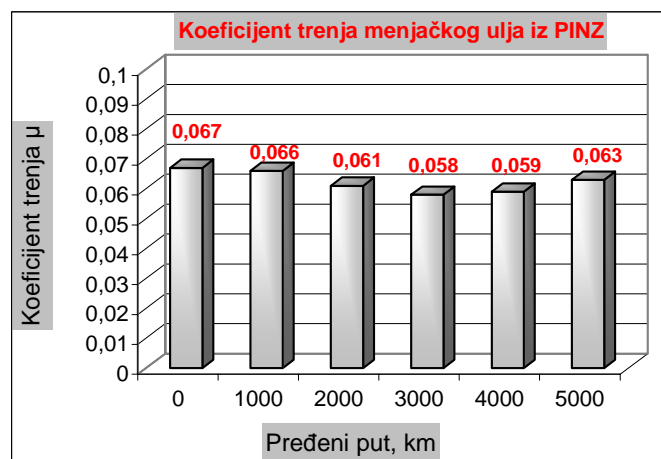
Analizom dijagrama na slici 17 može se uočiti da je koeficijent trenja pri ispitivanju nultog (svežeg) uzorka menjačkog ulja UAMS (iz *puh-a*) veći nego pri ispitivanju sa korišćenim uzorcima. Uzrok ovakvog koeficijenta trenja treba tražiti u samoj strukturi ulja, koja je formulisana sumpor-fosfor-nim bespepelnim EP antihabajućim aditivom. Fosfor ima osobinu da pri kontaktnoj temperaturi od 700°C reaguje sa metalom i gradi metal-sulfid koji kao hemijska prevlaka štiti površinu od habanja, dok sumpor na temperaturi od 900°C pri reakciji sa metalom gradi metal-sulfid koji se odlikuje velikom tvrdoćom i ne dozvoljava habanje površine. Posledica formiranja hemijskih slojeva velike tvrdoće na dodirnim površinama je veliko trenje iskazano koeficijentom trenja.

Korišćeno menjačko ulje UAMS sadrži polarna jedinjenja nastala reakcijom aditiva i metala usled oksidacije (posebno izražena kod povišenih radnih temperatura). Na taj način formirana polarna jedinjenja se, prilikom triboloških ispitivanja, vezuju za metalne površine bloka i diska i obrazuju sloj koji predstavlja metalni sapun. Na taj način oformljeni mazi-vi sloj sprečava kontakt površina bloka i diska, usled čega se stvaraju uslovi da početno granično podmazivanje prelazi u elastohidrodinamičko podmazivanje. Posledica toga je manji koeficijent trenja i manje habanje, kao i mogućnost da dođe do proklizavanja površina.



Slika 17 – Promena koeficijenta trenja menjačkog ulja iz puha [3]

Figure 17 – Change of oil friction coefficient in the power transmitters of the Puch vehicle [3]

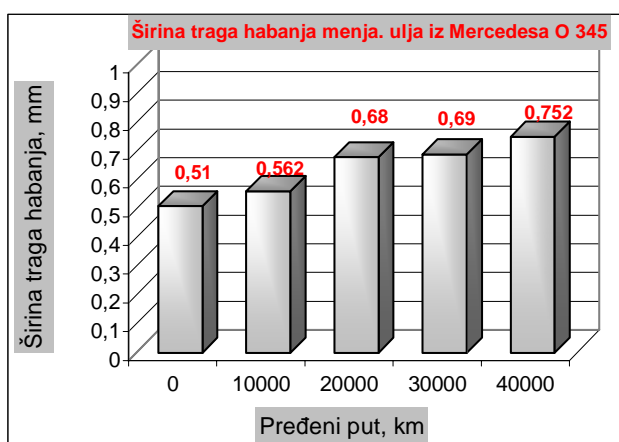


Slika 18 – Promena koeficijenta trenja menjačkog ulja iz pincgauera [3]

Figure 18 – Change of oil friction coefficient in the power transmitters of the Pinzgauer vehicle [3]

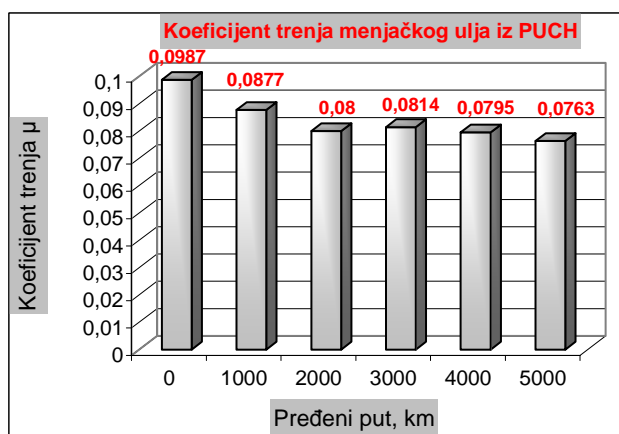
Na slikama 19 do 21 prikazani su dijagrami promene širine traga habanja uzorkovanih menjačkih ulja u funkciji od pređenog puta vozila.

Sa povećanjem pređenog puta širina pojasa habanja diska raste kod ispitivanih menjačkih ulja iz sva tri vozila i to: kod ulja iz *mercedesa* O 345 do vrednosti 0,752 mm; kod ulja iz *puh*-a do vrednosti 0,833 mm i kod ulja iz *pincgauera* do vrednosti 0,676 mm. Vidljiv je konstantan rast širine habanja diska, u funkciji od pređenog puta, što je posledica uticaja povećanja produkata habanja u ulju i promene podmazujućih karakteristika ulja (usled postepene degradacije ulja) u toku ispitivanja.



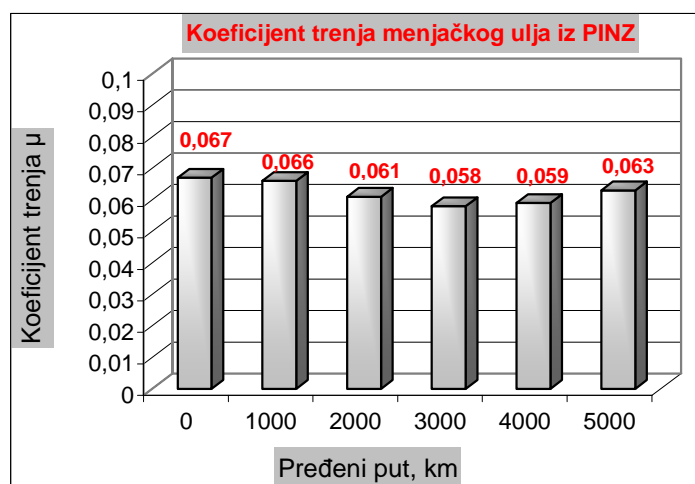
Slika 19 – Širina traga habanja b bloka zavisno od pređenog puta *mercedesa* O 345 (menjačko ulje) [3]

Figure 19 – Dependence of the b block wear track width on the mileage of Mercedes O 345 vehicle (oil from the power transmitters) [3]



Slika 20 – Širina traga habanja b bloka zavisno od pređenog puta *puha* (menjačko ulje) [3]

Figure 20 – Dependence of the b block wear track width on the mileage of the Puch vehicle (oil from the power transmitters) [3]



Slika 21 – Širina traga habanja b bloka zavisno od pređenog puta *pinzgauera* (menjačko ulje) [3]

Figure 21 – Dependence of the b block wear track width on the mileage of the Pinzgauer vehicle (oil from the power transmitters) [3]

Zaključak

Realizovana ispitivanja, pri čemu je vršeno uzorkovanje ulja iz motora i menjača razmatranih vozila (*mercedes O 345*, *puh 300GD* i *pinzgauer 710M*) koja su bila u eksploataciji i odgovarajuća tribološka merenja na tribometru TPD-93 potvrdila su mogućnost identifikacije promena karakteristika elemenata motora i menjača kao složenih tribomehaničkih sistema.

Na osnovu realizovanih ispitivanja dobijeni su odgovarajući histogrami promene koeficijenta trenja mereni nakon određenog vremena ostvarivanja kontakta na tribometru u zavisnosti od uzorka ulja, odnosno pređenog puta vozila, kao i širine pojasa habanja.

Razvijenom metodologijom ispitivanja, uz korišćenje opisane opreme, pokazano je da se ispitivanja u laboratorijskim uslovima mogu koristiti za identifikaciju karakteristika i stanja elemenata tribomehaničkih sistema, odnosno dijagnostiku elemenata sklopova motora i transmisije (menjača) vozila. Ovakav pristup izučavanju triboloških procesa pruža znatne prednosti u odnosu na ispitivanja u realnim uslovima. Međutim, može se primeniti u uslovima kada uzorkovanje ne remeti funkcionisanje realnog sistema. U ovom slučaju, to je uzorkovanje ulja za podmazivanje.

Literatura

- [1] Ivković, B., Rac A., „Tribologija”, Jugoslav Tribology Society, Kragujevac, 1995.
- [2] Perić, S., „Doprinos razvoju metoda dijagnostike stanja sa aspekta fizičko-hemijskih i triboloških karakteristika ulja kod motornih vozila”, doktorska disertacija, Beograd, 2009.
- [3] Perić, S., „Uticaj načina eksploatacije menjačkog prenosnika guseničnog vozila na fizičko-hemijske karakteristike sredstva za podmazivanje”, magistrski rad, Mašinski fakultet Beograd, 2006.
- [4] Perić, S., Nedić, B., „Monitoring oil for lubrication of tribomechanical engine assemblies”, *Journal of the Balkan tribological association*, Volume 16, pages 242-257, University of Sofia, Bulgaria, 2010.
- [5] Perić, S., Nedić, B., Vuruna, M., „Monitoring Physical and Chemical characteristics Oil for Lubrication”, *Journal Tribology in industry*, Volume 31, No 3-4, December 2009, pp. 59-66, University of Kragujevac - Faculty of Mechanical Engineering.
- [6] Perić, S., Nedić, B., Vuruna, M., Pešić, Z., „Contribution to diagnostics of technical condition tribology assemblies transmitters of vehicles”, 6th International conference on tribology, BALKANTRIB '08, 12-14 June 2008, Sozopol, Bulgaria, pages BT-095-1 - BT-095-4.
- [7] Perić, S., „Monitoring stanja kroz testove analize ulja”, *Vojnotehnički glasnik (Military Technical Courier)*, Vol. 58, No. 4, pp 102-133, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Beograd, 2010.
- [8] Perić, S., „Savremene metode analize ulja u tehničkim sistemima”, *Vojnotehnički glasnik (Military Technical Courier)*, Vol. 58, No. 1, pp 83-112, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Beograd, 2010.

RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF OILS FROM ENGINES AND POWER TRANSMITTERS OF VEHICLES

FIELD: Mechanical Engineering (Tribology machines, tools and accessories)

Summary:

Nowadays, a special attention is focused on the development of modern devices and methods for monitoring condition changes of tribomechanical characteristics in systems. There are different physical and chemical methods and tribology methods for tribomechanical system diagnosis. Experience in technical systems exploitation showed that the most effective failure prognosis is based on particles created as a result of wear. The analysis of oil samples containing particles-products of wear, enables the evaluation of system tribology conditions in different phases of system exploitation. The paper presents the tribological tests in the analysis of oils used for the assessment of its condition.

The paper also deals with the results of the experimental research of tribological characteristics of motor and power transmitter oils sampled from engines and power transmitters of the Mercedes O 345, PUCH 300GD and PINZGAUER 710M vehicles in exploitation. The investigations showed that there is a change of tribological characteristics of lubrication oils in the vehicle engine and power transmitters. These changes are in a direct dependence of the state of all elements of the tribomechanical engine and power transmitters system, and they depend on their functional characteristics. The conclusion is based on the realized testing.

Introduction

Maintaining technical systems (TS), and especially material resources is a complex process. The basic purpose of maintaining is bringing TS to the condition that will enable realizing of set goals, and at the same time predict the possibility of failures and delays during the exploitation.

All improvements of maintaining TS processes up to now do not treat tribological characteristics of materials of tribo-system elements from the aspect of their influence on the system behavior during exploitation.

Identification of the condition of tribomechanical systems without disturbing their function, in conditions where failures appear due to wear of the elements and change of lubricant properties, has significant technical and economical effects. Continual tendency for creating tribomechanical systems where we could get the data about the condition of system elements occasionally or continually, without disturbing system functioning, stipulate continual development of new tribological methods.

Development of tribology as an interdisciplinary science based on experimental investigations contributes to the application and development of varied experimental equipment and devices-tribometers and tribometry as a special area of experimental investigations.

Identification of tribological processes, as a precondition to diagnosis of condition of real tribomechanical systems, can be done in two basic ways.

Tracking functional behaviors of real technical systems and model investigations.

Tracking of element performances on real tribomechanical system elements implies strictly oriented continual research without a possibility of varying and observing input parameters in a wider diapason.

However, with model investigations, during which sampling of investigated elements from real systems and simulation of contact conditions are done, we can get a wide range of data that indicate the conditions of realistic systems and predict their further behavior with adequate reliability. However, before making conclusions based on tribometric investigations, differences between real tribomechanical systems and investigations in model conditions.

The increasingly present investigations on tribometers are explained by the impossibility to embrace the complexity of the processes of friction and wear by investigations of real systems, both by character of

the physical-chemical processes unfolding and mutual inter-relations of large number of influential parameters. The fundamental characteristics of investigations on tribometers are simplicity of construction, low costs of conducting the experiments; shorten time of experiments and possibility of easy changing and control of input variables.

The application of tribology, and especially tribometry, in the function of identification of the status of tribo-mechanical systems, has as a goal to identify the state and changes in processes and elements of tribomechanical systems. By adequate sampling and tribological investigations during exploitation of the tribomechanical system, based on the model presented in this paper, it is possible to identify the status of the tribomechanical system and to predict its future behavior in exploitation, with purpose of preventive maintenance.

Regarding the primary role of lubricants (to reduce negative effects of tribological processes related to friction, wear and increase of temperature in the tribomechanical systems), all types of maintenance include lubrication as a very important part of the whole procedure.

On the other hand, lubricants are, as contact elements of systems, carriers of information about the state of the whole system, from the aspect of tribological and other ageing processes. Due to that, an analysis of oils, based on a properly defined program, represents a very effective method for monitoring the state of technical systems, which ensures early warning signals of potential problems that could lead to failure and break down of technical systems. In the systems structure, besides the mechanical components, the state of the lubricant itself is also changed, which leads to the loss of lubricating properties.

A vehicle as a technical means is a set of complex tribomechanical systems composed of a range of subsystems that are also complex tribomechanical systems.

They are composed of elements that participate in power transmission, moment of force from the motor, over transmissions (power transmitter, differential and other systems), to executive organs of a vehicle.

This analysis indicates the fact that tribological characteristics of complex tribomechanical systems cannot be seen in a simple way and that it is not easy to establish reliable methods and determine diagnostic parameters for evaluating the conditions of the observed system.

There is a variety of reasons for failures of real systems and for now we cannot talk about reliable methods for predicting the lifetime of complex systems.

Tribological characteristics of oils

Tribological characteristics of oils are:

- frictional force,*
- frictional coefficient,*
- wear intensity,*
- contact temperature,*
- intensity of increasing of wear products.*

Today, measuring equipment for evaluation and analysis of physical-chemical characteristics of lubricants is very developed; however, it is not the case with the determination of tribological characteristics. Also, reliable methods (even parameters) are not completely defined.

The majority of tribological characteristics are determined with defined standard tests, seen in Table 1. For that purpose, standard commercial tribometers such as Falex, Timken, Plint, Koehler, SRV, etc. can be used.

In the Laboratory of Tribology, Faculty of Mechanical Engineering in Kragujevac, measuring equipment for tribological investigations is being developed and produced during last couple of years. Also, new methodology of investigation is being developed. A measuring system, applied to the determination of tribological characteristics of tribomechanical system elements (not only lubricants) is composed of:

- tribometer TPD-93 for measuring normal force, frictional force and frictional coefficient;
- thermometer for measuring temperature of oils and elements in contact;
- PQ-2000 particles quantification;
- microscope for measuring wear parameters (length h , width b , and depth of worn zone);
- Talysurf 6, a computerized measuring device for measuring surface topography and wear parameters.

The investigation procedure of tribological characteristics of lubricants during exploitation consists of the following:

- oil sampling from real tribomechanical systems;
- determination of physical-chemical characteristics;
- establishing of wear products participation in oils;
- measuring tribological characteristics of tribomechanical systems in model conditions using sampled oils as lubricant.

These investigations imply previous determination of contact conditions:

- contact geometry;
- intensity and character of outer load;
- motion type (continual, cyclic, etc.) and velocity;
- temperature of elements in contact;
- lubrication method.

Detailed analyses of real tribomechanical systems establish previously determined parameters form the elements of contact pairs. Elements in contact pairs need to have strictly defined characteristics (material, hardness, surface condition, etc.).

Results of the experimental research of tribological characteristics of oils

Oil was sampled from engines and power transmitters of vehicles (Mercedes O 345, PUCH 300GD, and PINZGAUER 710M) in exploitation. Realized investigations and adequate tribological measuring confirmed the possibility of identification of changes of characteristics of engines and power transmitter elements as complex tribological systems.

The realized investigations resulted in adequate histograms of change of frictional coefficients measured after certain time of contact on the tribometer in dependence of oil samples, vehicle mileage and wear zone width.

Conclusion

By the help of highly developed methods of investigation and the described equipment, it was shown that investigations in laboratory conditions can be used for the identification of characteristics and conditions of elements of tribomechanical systems as well as the diagnosis of engine and transmission elements. This approach to studying tribological processes offers great advantages over investigations in real conditions. However, it can be applied when sampling does not disturb the functioning of a real system. In this case it is oil lubricant sampling.

Key words: monitoring, maintenance, oil tribological characteristics, lubrication.

Datum prijema članka: 15. 12. 2010.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 29. 01. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 01. 02. 2011.