

TRIBOLOŠKE KARAKTERISTIKA ULJA PRIMENJENIH U TRIBOMEHANIČKOM SISTEMU MOTORNH VOZILA

Pavel Kovač, Prof. dr. sc., email: pkovac@uns.ac.rs

Univerzitet U Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Srbija

Dušan Ješić, akademik, dr.sc., email: dusanjesic@hotmail.com

Međunarodna tehnološko menadžerska akademija, Novi Sad, Srbija

Borislav Savković, Doc. dr.sc., email: savkovic@uns.ac.rs

Univerzitet U Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Srbija

Dražan Sarjanović MsC, email: sarjanovicd@gmail.com

Faculty of Engineering Management, 11000 Belgrade, Serbia

Denisa Đorđević, email: denisa.djordjevic@pipelife.com

Građevinski fakultet, Beograd

Sažetak: Razvoj industrije motora i njene potrebe za podmazivanjem motora i pogonskih sistema dovelo je do pojave velikog broja ulja sa različitim karakteristikama. U isto vreme prema zahtevu o zaštiti životne sredine treba više pažnje posvetiti rafinaciji korišćenih ulja. Za ispitivanje triboloških karakteristika izabrana su dva ulja koja se koriste u procesu sinhronizacije zupčanika. Ispitivanja su rađena na tribometru po metodi block on disc. Rezultati pokazuju da prikazani sistem za ispitivanje triboloških karakteristika daje vrlo dobre i pouzdane rezultate. U radu su na pomenutoj opremi određeni koeficijenti trenja za dve vrste ulja tokom vremena ispitivanja, za različito opterećenje i dobijene različite vrednostima habanja i koeficijenta trenja.

Glavne reči: motorno ulje, tribološke karakteristike

TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF OILS USED IN TRIBOMECHANICAL SYSTEM OF VEHICLES

Abstract: Development of the motor industry and its needs for lubrication of the motors and power trains has led to increased number of oils with various characteristics. In the same time according to the demand of environmental protection, more attention should be dedicated to recycle used oils. For this investigation of tribological characteristics, two oils were used. These oils are generally used in the process of gear synchronization. Investigation has been conducted on block on disc tribometer. Results have shown that used system for investigation of tribological characteristics is yielding reliable data. In this paper, two different oils were tested and for each of them a friction coefficient has been determined. Load has also been varied and during time different values of wear has been recorded.

Keywords: motor oil, tribological characteristics

1. UVOD

Savremene mašine, uređaji i transportna sredstva, u zavisnosti od stepena složenosti, sadrže od nekoliko desetina do nekoliko hiljada kontaktnih parova. Kao neminovni, a najčešće nepoželjni, pratioci njihovog rada javljaju se trenje i habanje, pa se njihovo smanjenje i/ili eliminacija postavlja kao jedan od prioritetnih ciljeva savremene industrije. Smanjenje trenja i habanja površina delova može se ostvariti na više načina: izborom odgovarajućeg konstruktivnog rešenja, materijala, vrste obrade, vrste maziva, načina podmazivanja i smanjenjem opterećenja u kontaktu povoljnijom raspodelom.

Uticaj maziva na razvoj triboloških procesa u mašinskim sistemima i sklopovima je veoma složen i još uvek nije do kraja razjašnjen. Da bi se omogućila funkcionalnost, stabilnost i pouzdanost sistema u eksploataciji neophodno je, na osnovu radnih režima, odabrati adekvatno mazivno sredstvo (D. Golubović i sar, 2012, 2012a). Mazivo ulje se može predstaviti kao mešavina baznog ulja i aditiva. Iako na prvi pogled jednostavna definicija, formulacija ulja je kompleksna i zahteva opsežna ispitivanja i stalna poboljšanja. Bazna ulja su osnova za proizvodnju svih vrsta i kvaliteta mazivih ulja. Ona determinišu oblast primene, kvalitet i cenu maziva, jer neke karakteristike mazivog ulja su isključivo vezane za kvalitet upotrebljenog baznog ulja i ne mogu se promeniti dodavanjem aditiva.

Najznačajnija podela je, prema poreklu, na: mineralna i sintetička bazna ulja.

- Mineralna bazna ulja se dobijaju iz nafte i predstavljaju složene mešavine ugljovodonika različite hemijske strukture i drugih organskih jedinjenja koja sadrže sumpor, kiseonik, azot i dr. Prema grupi ugljovodonika koji dominiraju u baznom ulju, razlikuju se: parafinska, naftenska i aromatična bazna ulja.
- Sintetička bazna ulja su hemijska jedinjenja koja se dobijaju hemijskom sintezom različitih komponenti različitim tehnološkim postupcima. Pri ovome su njihove osobine "ciljane" (očekivane i predvidljive), a kvalitet ponovljiv. Dobre osobine ovih ulja su niska tačka stinjanja, visok indeks viskoznosti, mala isparljivost, visoka oksidaciona stabilnost i dr. Nedostatak im je mala kompatibilnost sa klasičnim paketima aditiva i zaptivnim materijalima, kao i visoka cena (D. Ješić i sar 2013, D. Golubović i sar, 2014).

Međutim, bez obzira na vrstu, od baznog ulja se zahteva da ima visok indeks viskoznosti, malu promenu viskoznosti sa promenom temperature, visoku hemijsku, oksidacionu i termičku stabilnost, nisku tačku stinjanja, dobru rastvorljivost aditiva i drugo. Radi sagledavanja uticaja maziva na karakteristike uslova i procese rada, napr. stepena prenosa kod automobilskih prenosnika snage odabrana su dva motorna ulja iste viskozne gradacije i formulisana istim paketom aditiva. U ispitivanjima je korišćeno ulje namenjeno podmazivanju svih tipova savremenih benzinskih i dizel motora sa i bez katalizatora, turbopunjača putničkih automobila i lakih teretnih vozila. Posebno se preporučuje za motore sa viševentilskim razvodom. Sprovedena su eksploataciona i tribološka ispitivanja dva ulja, a u ovom radu se iznosi deo triboloških ispitivanja.

2. PREDMET ISPITIVANJA

U toku ispitivanja korišćeno je polusintetičko motorno ulje visokog nivoa kvaliteta. Namenjeno podmazivanju visokoopterećenih dizel motora kamiona, autobusa, građevinskih i poljoprivrednih mašina, sa ili bez turbopunjača. Proizvedeno je da zadovolji zahteve produženog intervala zamena motornog ulja vodećih svetskih proizvođača motora, štiteći i čuvajući motor tokom celokupnog perioda upotrebe. Ispunjava zahteve API CI-4 specifikacije, što ovo ulje čini pogodnim za korišćenje u motorima koji koriste EGR sistema za obradu izduvnih gasova, a ACEA E7 specifikacija ovog motornog ulja pokazuje da je pogodno za korišćenje u Euro 1, 2, 3, 4 dizel motorima, koji koriste SCR katalitički sistem za smanjenje azotnih oksida (NO_x). Nije namenjeno upotrebi u motorima opterećenim DPF sistemom (filterom čestica). Idealno je za mešovite vozne parkove, jer se može koristiti kod kombi vozila kao i kod putničkih vozila sa benzinskim i dizel motorom. Dalje prednosti ovog ulja su:

- Omogućuje sigurnu zaštitu motora pri velikim opterećenjima i temperaturama,
- Smanjenu potrošnju ulja i goriva,
- Produženi interval zamene ulja (20000 do 30000 km zavisi od preporuke proizvođača motora), ADECO, 2014.

Eksploataciona ispitivanja polu sintetičkog ulja obavljena su tokom jeseni (period oktobar-decembar mesec 2014 godine) Kovač i sar 2015.

Fizičko-hemijske karakteristike ispitivanih ulja date su u tabeli 1, 2, 3 i 4. U tabeli 2 i 3 su prikazana ispitivanja motornog ulja između dve zamene u motorima ugrađenim u traktore. Iz tabele 2 se jasno vidi da je gubitak motornog ulja na samoj donjoj granici normalnog gubitka, te se može izvesti sledeći zaključak da bazno motorno ulje koje ulazi u sastav motornog ulja je visokog kvaliteta sa visokom termičkom stabilnošću.

Tabela 1. Karakteristike univerzalnog polusintetičkog, multigradnog motornog ulja SAE 10W-40

Karakteristika, jedinice mere	Izmerene vrednosti	Metoda
Gustina na 15 °C, g/cm ³	0,87	SRPS B.H8.015
Kinematska viskoznost na 40 °C, mm ² /s	93,5	SRPS ISO 3104
Kinematska viskoznost na 100 °C, mm ² /s	13,8	SRPS ISO 3104
Indeks viskoznosti	150	SRPS B.H8.024
Tačka paljenja COC °C	220	ISO 2592
Tačka tečenja °C	-35	SRPS ISO 3016
TBN, mgKOH/g	7.5	SRPS ISO 3771
Penušanje: ml/ml		SRPS ISO 6247
Sekvenca I	10/0	
Sekvenca II	50/0	
Sekvenca III	10/0	

Odgovara specifikacijama: API, SLCF, ACEA 207, A3/B3/B4-04, Daimler V2007.1:MB 229.1, VW501.01/505.00

Tabela 2. Rezultati fizičko-hemijskih karakteristika motornog ulja traktora Case 9220

Karakteriske	Merne jedinice	Metode	U Z O R C I				
			0 uzorak	100 r/č	200 r/č	300 r/č	350 r/č
Izgled	/	Vizuelno	crno	crno	crno	crno	crno
Kin. viskoznost na 40°C	mm ² /s	ASTM D 445-12	86.72	85.43	84.82	86.18	89.28
Kin. viskoznost na 100°C	mm ² /s	ASTM D 445-12	13.34	13.25	13.29	13.47	13.62
Index viskoznosti	/	ASTM D 2270-04	155	156	158	159	155
Tačka paljenja	°C	ASTM D 92-12	224	226	226	226	222
TBN	mgKOH /g	ASTM D 2896-07a	10.10	10.30	10.50	10.80	10.70
Sadržaj vode	mas. %	ASTM D 95-05e1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Tačka stinjavanja	°C	ASTM D 97-12	-33	-30	-30	-27	-27
Sadržaj Zn	%	In house met WDXRF	0.126	0.126	0.127	0.132	0.133
Sadržaj Fe	ppm	In house met WDXRF	1	8	17	32	37
Sadržaj Pb	ppm	In house met WDXRF	0	1	5	5	5
Sadržaj Cu	ppm	In house met WDXRF	0	0	0	0	0
Sadržaj Cr	ppm	In house met WDXRF	0	0	0	1	1

Sadržaj Al	ppm	In house met WDXRF	1	5	0	14	2
Sadržaj Si	ppm	In house met WDXRF	8	17	16	25	18
Sadržaj Sn	ppm	In house met WDXRF	1	2	4	0	4
Sadržaj Ag	ppm	In house met WDXRF	0	0	0	0	0
Sadržaj Ni	ppm	In house met WDXRF	0	0	0	0	0

Tabela 3. Rezultati fizičko-hemijskih karakteristika motornog ulja traktora JD 8320

Karakteriske	Merne jedinice	Metode	U Z O R C I				
			0 uzorak	100 r/č	200 r/č	300 r/č	350 r/č
Izgled	/	Vizuelno	crno	crno	crno	crno	crno
Kin. viskoznost na 40°C	mm ² /s	ASTM D 445-12	89.56	84.74	82.48	81.20	80.40
Kin. viskoznost na 100°C	mm ² /s	ASTM D 445-12	13.47	13.22	12.99	12.60	12.63
Index viskoznosti	/	ASTM D 2270-04	152	157	158	153	155
Tačka paljenja	°C	ASTM D 92-12	226	226	224	230	226
TBN	mgKOH /g	ASTM D 2896-07a	10.40	10.30	10.50	10.65	10.40
Sadržaj vode	mas. %	ASTM D 95-05e1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Tačka stinjavanja	°C	ASTM D 97-12	-30	-30	-30	-33	-30
Sadržaj Zn	%	In house met WDXRF	0.132	0.129	0.128		
Sadržaj Fe	ppm	In house met WDXRF	4	11	18	30	29
Sadržaj Pb	ppm	In house met WDXRF	0	0	0	1	1
Sadržaj Cu	ppm	In house met WDXRF	0	0	0	0	0
Sadržaj Cr	ppm	In house met WDXRF	0	0	0	0	0
Sadržaj Al	ppm	In house met WDXRF	1	23	32	37	23
Sadržaj Si	ppm	In house met WDXRF	7	56	25	24	20
Sadržaj Sn	ppm	In house met WDXRF	1	1	1	0	0
Sadržaj Ag	ppm	In house met WDXRF	0	0	0	0	0
Sadržaj Ni	ppm	In house met WDXRF	0	0	0	0	0

Napomena: ppm je % per 10⁻⁶

Tabela 4. Prikaz potrošnje motornog ulja između dve zamene

Naziv poljoprivredne mašine	Količina dolivenog ulja (l)				Količina utrošenog goriva (l)	Utrošak motornog ulja %
	0–100 r/č	100 – 200 r/č	200 – 300 r/č	300 – 400 r/č		
Traktor Case 9220	2	0	2	1	6939	0,43
Traktor John Deere 8320	2	3			5273	0,57

2.1. Merni sistem

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

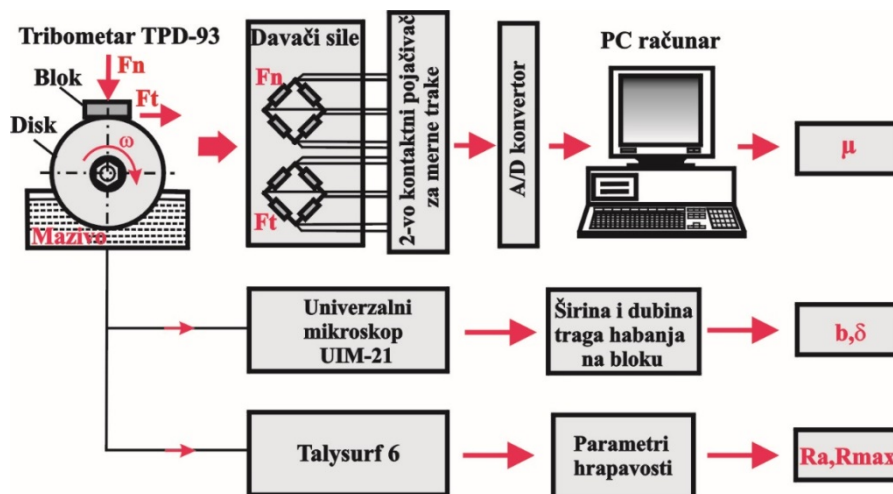
Tribometar TPD-93,

A/D konvertor,

Pojačivač – HBM, dvokanalni merni most KWS273.A2,

PC računar,
Uređaj za merenje hrapavosti Talysurf (Taylor-Hobson),
Univerzalni alatni mikroskop UIM-21.

Na slici 1 je prikazan merni sistem za tribološka ispitivanja korišćen pri realizaciji eksperimenta.



Slika 1. Merni sistem za tribološka ispitivanja korišćen pri realizaciji eksperimenta

Talysurf 6 je kompjuterizovan i merni sistem za merenje i analizu hrapavosti, koji daje osnovne karakteristike mikro geometrije kontaktnih površina, slika 2. Identifikacija promena stanja na kontaktnim površinama (*parametari topografije površine*) vrši se merenjem parametara hrapavosti površine, realizovanih upravo na uređaju Talysurf 6.



Slika 2. Uređaj za merenje hrapavosti Talysurf 6

Univerzalni mikroskop UIM-21, slika 3, korišćen je za merenje širine i traga habanja na kontaktnoj površini, kao i za analizu dobijenih rezultata. Prilikom merenja vršilo se upoređivanje vrednosti promene visine površine koja se haba, a u odnosu na ustanovljenu referentnu osnovu. Za referentnu osnovu korišćen je deo površine koji se ne haba, a nalazi se neposredno uz pohabanu površinu.



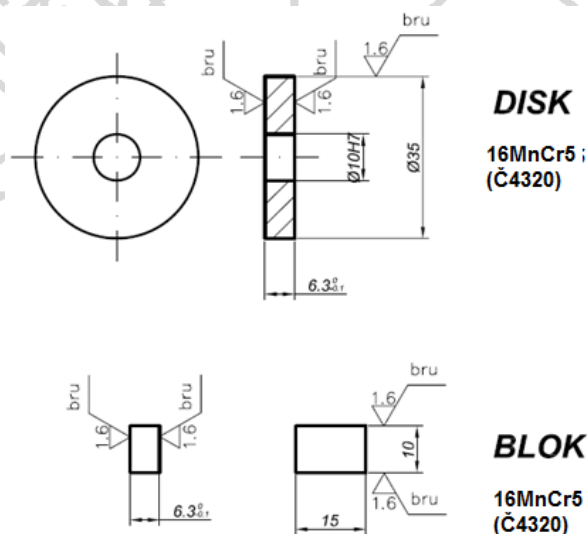
Slika 3. Univerzalni mikroskop UIM-21 sa izgledom površine bloka

Uslovi triboloških ispitivanja

Tribološkim ispitivanjima tipa „block on disk“ podvrgnuta su dva uzoraka ulja. Podmazivanje je vršeno prolaskom donjeg dela diska kroz rezervoar sa uljem za podmazivanje, tako da je disk zahvatao određenu količinu ulja i vršio granično podmazivanje kontakta. Između površine bloka i obimne površine diska ostvarivan je linijski kontakt. Specijalna konstrukcija nosača bloka obezbeđuje u svakom trenutku potpuno naleganje bloka celom dužinom kontakta. Geometrija diska i bloka za tribološka ispitivanja prikazana je na slici 4. Materijal diska i bloka je meko žareni čelik 16MnCr5 (Č 4320) tvrdoće 35 HRC.

Ukupno vreme trajanja ispitivanja svakog uzorka je $t = 60$ minuta sa intervalima merenja 15, 30 i 60 min. Vrednost brzine klizanja u zoni kontakta je $v = 0,8$ m/s. Vrednost normalnog spoljašnjeg opterećenja (F_n) je menjana u toku ispitivanja:

$F_{n1} = 30$ N	$t_1 = 15$ min
$F_{n2} = 100$ N	$t_2 = 15$ min
$F_{n3} = 300$ N	$t_3 = 30$ min



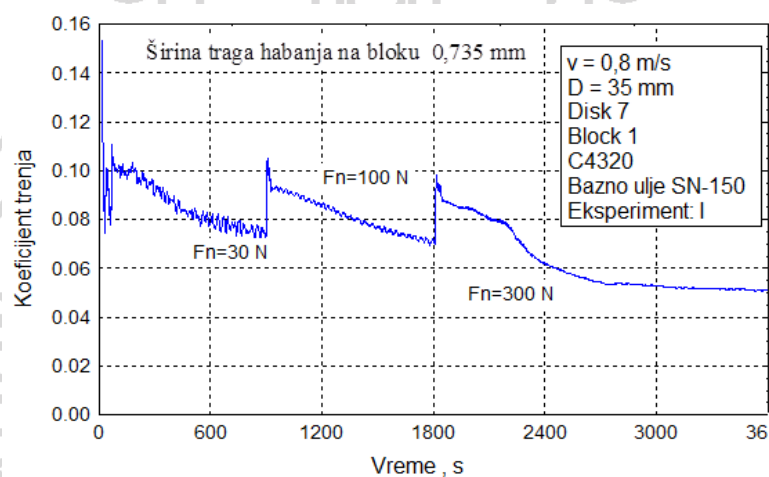
Slika 4. Geometrija diska i bloka za tribološka ispitivanja

Osnovni pokazatelj triboloških svojstava materijala je promena koeficijenta trenja u toku vremena. Radi dobijanja što jasnije slike o samom karakteru koeficijenta trenja u pojedinim vremenskim intervalima, vrednosti koeficijenta trenja evidentirane su svake 2 sekunde. Na taj način dobija se informacija o dinamici samog procesa koji se odvija na tribometru.

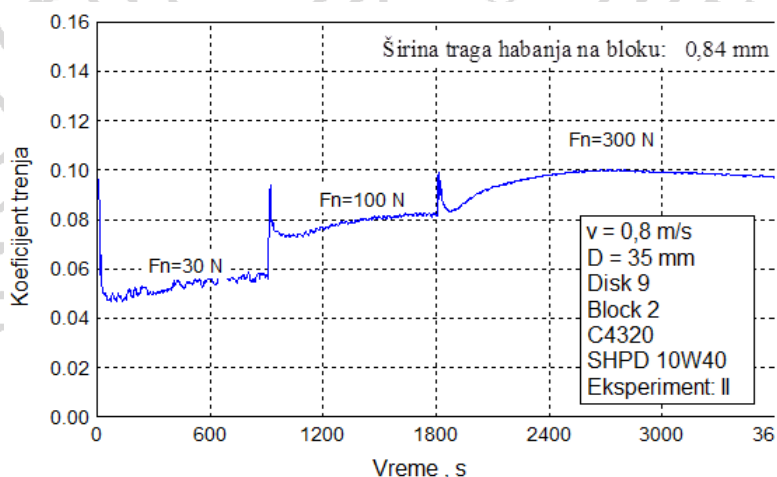
3. REZULTATI ISPITIVANJA I ANALIZA

U ovom delu rada su prikazani rezultati ispitivanja triboloških karakteristika pomoću predstavljenog tribološkog sistema ispitivanja. Osnovna eksperimentalna ispitivanja su na slici 5 i slici 6., a dodatna eksperimentalna ispitivanja su prikazana na slici 7.

Na slici 5 su prikazani koeficijenti trenja u funkciji vremena ispitivanja za različito opterećenje za bazno ulje SN 150. Na slici 6 su prikazani koeficijenti trenja u funkciji vremena ispitivanja za različito opterećenje za ulje 10W40.



Slika 5. Koeficijenti trenja za bazno ulje SN 150



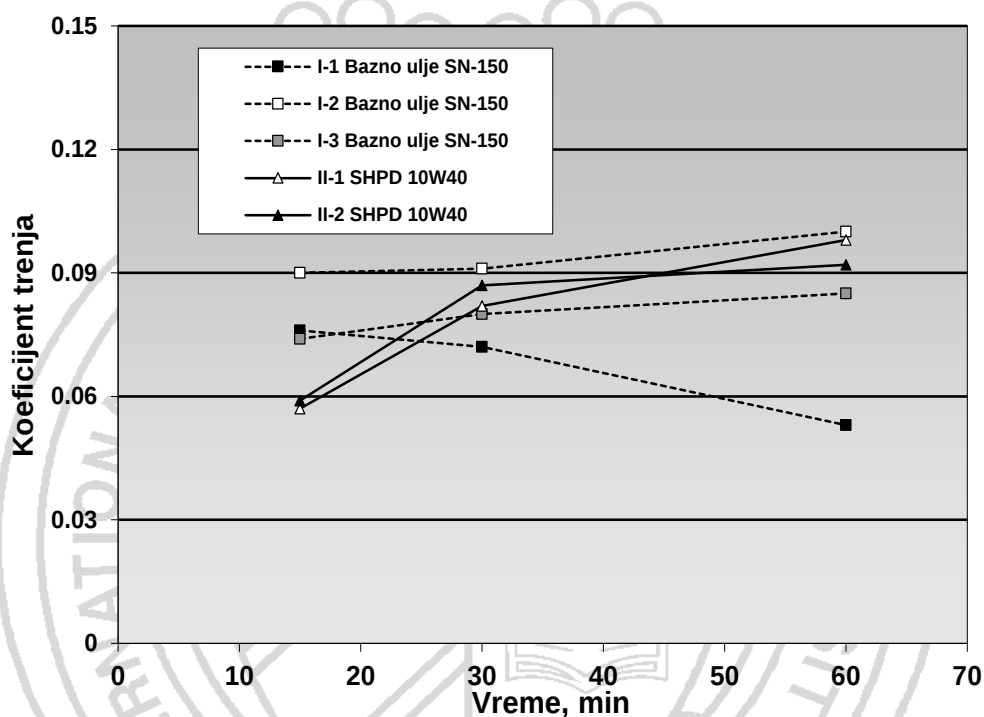
Slika 6. Koeficijenti trenja za ulje 10W40

U tabeli 3 su prikazani koeficijenti trenja za navedena ispitivana ulja uza različite intervale ispitivanja kao i različite vrednosti širine traga habanja bloka.

Tabela 5. Koeficijenti trenja i širina traga habanja na bloku za ispitivana ulja

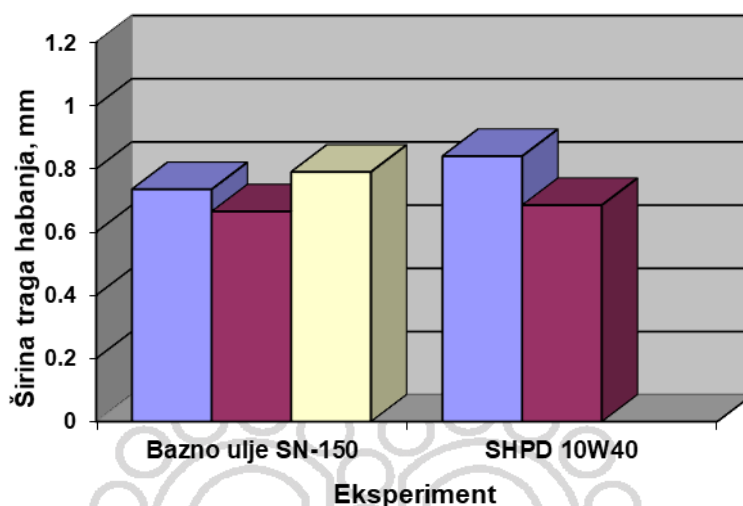
Eksperiment	Uslovi	Koeficijent trenja			Širina traga habanja na bloku
		Posle 10-15 min	Posle 25-30 min	Posle 55-60 min	
1	Bazno ulje SN-150	0.076	0.072	0.053	0.735
2	SHPD 10W40	0.057	0.082	0.098	0.840

Na slici 7 su prikazani rezultati ispitivanja za tri bazna ulja SN 150 i dva ulja SHPD 10W40. Sa slike je vidljiv porast zavisnost koeficijenta trenja od vremena ispitivanja.



Slika 7. Uporedni prikaz koeficijenta trenja u vremenu u zoni kontakta

Na slici 8 je prikazana širina traga habanja za pomenuta ispitivana ulja posle 60 minuta u zoni kontakta između diska i bloka.



Slika 8. Širina traga habanja za ispitivana ulja

4. ZAKLJUČAK

Razvijenom metodologijom ispitivanja uz primenu opisane opreme pokazano je da se ispitivanja u laboratorijskim uslovima mogu koristiti za identifikaciju karakteristika i treibomehaničkog sistema. Ovakav pristup izučavanja triboloških procesa daje 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. Pomoću primenjenog metoda ispitivanja konstatovano je da dolazi do promena triboloških karakteristika ulja za podmazivanje u motoru i menjaču stepena prenosa vozila. Ove promene su direktno u zavisnosti od stanja svih elemenata tribomehaničkog sistema, odnosno u zavisnosti od njihovih funkcionalnih karakteristika.

Na slikama 5, 6 i 7 prikazane su zavisnosti koeficijenta trenja uzavisnosti od vremena trajanja kontakta za širina traga habanja na bloku. Analiza rezultata je pokazala da je trebalo uraditi dodatna ispitivanja. Na to je naročito upućivala slika 6 ulje 10W40. Nakon ponovljenog ispitivanja ulja SHPD 10W40 dobijeni su očekivani i zadovoljavajući rezultati.

Dobijeni rezultati za bazno ulje SN-150 su zadovoljavajući naročito ako se ima u vidu promenljivost koeficijenta trenja kod podmazivanja kada je u pitanju proces uhodavanja tribomehaničkog sistema.

LITERATURA

- [1] D. Golubović, P. Kovač, D. Ješić, M. Gostimirović, V. Pucovski: Wear intensity of different heat treated nodular iron, Metalurgija, Vol. 51, No 4, pp. 518-520, 2012.
- [2] D. Golubovic, P. Kovač, D. Jesic, M. Gostimirović: Tribological properties of ADI material, Journal of the Balkan Tribological Association, Vol. 18, No 2, pp. 165-173, 2012.

- [3] D. Golubovic, P. Kovač, B. Savkovic, D. Jesić, M. Gostimirović: Testing the Tribological Characteristics of Nodular Iron Austempered by Conventional and an Isothermal Procedure, *Materials and Technology*, Vol 48, No 2, pp 293-298, 2014.
- [4] Katalog firme ADECO, Temerinski put 109, Novi Sad, Srbija 2014.
- [5] D. Ješić, J. Pulić, P. Kovač, B. Savković, N. Kulundžić, Application of nodular castings in the modern industry of tribomechanical systems today and tomorrow, *Journal of Production Engineering*, Vol. 16, No. 1, pp 55-58, 2013.
- [6] Kovač P., Jesić D., Gvozdenovic N, Savkovic B Research of tribological characteristics of different applicated oils in tribomechanical system, *SERBIATRIB '15*, Belgrade, Serbia, 13 – 15 May, 2015

