



FIZIČKO HEMIJSKE I TRIBOLOŠKE KARAKTERISTIKE ULJA ZA PODMAZIVANJE

Dr PEŠIĆ Zoran, VTA, Žarkovo

Dr NEDIĆ Bogdan, Mašinski fakultet, Kragujevac

PHYSICAL, CHEMICAL AND TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF LUBRICATIONTS

Rezime

Identifikacija stanja tribomehaničkih sistema bez narušavanja njegove funkcije, u uslovima gde se otkazi javljaju prvenstveno usled habanja elemenata i promene svojstava podmazujućeg sredstva, ima ogromne tehničke i ekonomske efekte. Neprekidna težnja za stvaranje tribomehaničkih sistema u kojima je moguće podatke o stanju elemenata sistema dobijati povremeno ili kontinualno, bez narušavanja njegove funkcije uslovljava stalni razvoj novih tribometrijskih metoda.

U radu je prikazan deo rezultata istraživanja u cilju razvoja modela zasnovanog na laboratorijskim istraživanjima fizičko hemijskih svojstava ulja i tribološkim istraživanjima u modelskim uslovima uz korišćenje i analizu uzorkovanog ulja iz realnog tribomehaničkih sistema. Za realizovana istraživanja korišćena su motorna ulja i ulja za podmazivanje menjača, kao i drugih ulja koja se koriste kod motorizovanih sredstava. Dobijeni rezultati ispitivanja novih ulja imaju za cilj identifikaciju nivoa vrednosti rezultata merenja u cilju daljih ispitivanja ulja iz realnih sistema.

Ključne reči: motorno ulje, tribologija, podmazivanje, tribomehanički sistem

1. OSNOVNE FUNKCIJE I ZADACI ULJA ZA PODMAZIVANJE

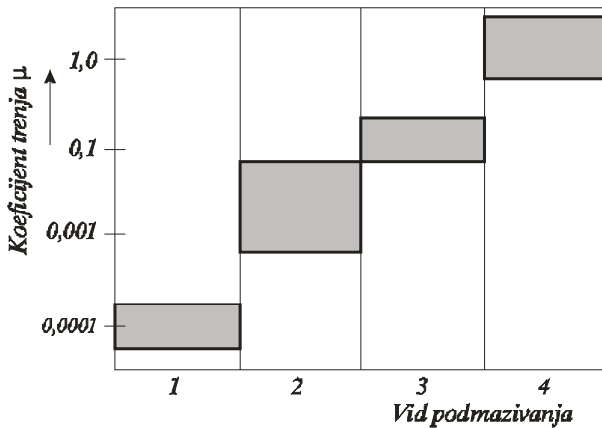
Ulja za podmazivanje imaju niz osnovnih funkcija koje moraju izvršiti, a pored toga imaju i jedan dodatni zadatak da, vršeći svoju funkciju ne degradiraju ostale funkcije motora. Na primer: osnovne funkcije motornog ulja su:

- **da podmazuju motor i smanjuju trenje i habanje njegovih pokretnih delova.** Da bi se smanjilo trenje i habanje, između svih pokretnih delova motora mora u svim uslovima postojati fluidni film motornog ulja. Habanje nastaje usled adhezije, tj. direktnog kontakta metal-metal, usled dejstva korozije, usled abrazivnog dejstva kontaminanata u mazivu ili proizvoda njihovog raspadanja i usled zamora materijala. Abrazivno habanje je vezano za nivo učešća abrazivnih čestica u ulju i nivo

habanja je u direktnoj vezi sa odgovarajućom upotrebom filtera za ulje i filtera za vazduh kao i blagovremenom zamenom ulja, dok se ostala habanja "kontrolisu" primenom odogovarajućih aditiva ili njihovim kombinacijama. Pod krzanjem se smatra habanje koje nastupa usled izuzetno visokih mikrolokalnih opterećenja delova. U teškim slučajevima dolazi do mikrosvarivanja, što može veoma brzo dovesti do kompletnog zaribavanja, odnosno potpunog otkaza motora. Na slici 1 date su približne vrednosti koeficijenta trenja za različite načine podmazivanja. Pri hidrodinamičkom podmazivanju koeficijent trenja je reda veličine 10^{-3} i manji. Osnovna veličina koja određuje trenje u ovim uslovima podmazivanja je viskoznost maziva. S obzirom da je viskozitet tečnih maziva i gasova (maziva koja se najčešće koriste pri hidrodinamičkom podmazivanju)

relativna mala, gubici usled trenja u mazivu su takođe mali.

- **da obezbeđuju dobro zaptivanje sklopa cilindar-klip.** Zaptivanje je neophodno radi održavanja odgovarajuće kompresije što je uslov za bolje sagorevanje goriva i iskorišćenje energije.



Slika 1. Približne vrednosti koeficijenta trenja za različite režime podmazivanja [6]

1. hidrodinamičko podmazivanje
2. elastohidrodinamičko podmazivanje
3. mešano podmazivanje
4. granično podmazivanje

1. **da štite motor od korozije.** Svi delovi motora su osetljivi na koroziju, pri čemu su posebno osetljivi podizači ventila, sami ventili i cilindarske košuljice. Uslovi u kojima se eksploatacija motora vrši sa čestim prekidima (tzv. kreni-stani uslovi, koji dovode do stvaranja "hladnog mulja") potpomažu nastanak i dejstvo korozije. Motorna ulja moraju sprečavati pojave korozije, pa im se zbog toga dodaju antikorozijske supstance, tj. supstance koje vrše zaštitu pojedinih delova motora od korozije.
2. **da obezbeđuju efikasno hlađenje motora.** Motorno ulje direktno hladi klipove motora, ležajevе kolenastog vratila i bregastog vratila, ventilske sklopove, i to tako što se toplota sa ovih sklopova prenosi na ulje koje ih opstrujava. To ulje se sliva u karter motora gde dolazi do njegovog hlađenja. Nove aerodinamičke konstrukcije vozila smanjuju protok vazduha ispod vozila, pa je hlađenje ulja u karteru slabije. To je razlog zbog koga nove generacije motornih ulja moraju biti termički stabilnije od prethodnih. Efikasnije hlađenje motornog ulja se sve češće obezbeđuje i ugradnjom hladnjaka za ulje. Hladnjak za ulje se obavezno primenjuje kod vazdušno hlađenih motora, zbog viših radnih temperatura.

3. **da održavaju motor u čistom i funkcionalnom stanju, sprečavaju stvaranje naslaga i nečistoća na delovima motora.** Motorno ulje ne sme da ima tendenciju ka stvaranju lakova, što bi uzrokovalo slabije hlađenje klipova i smanjilo slobodu funkcionisanja klipnih prstenova. Niz kontaminanata doprinose stvaranju hladnih i toplih taloga u ulju, pa i ako filter za motorno ulje zadržava krupnije čestice, ulje mora biti tako formulisano da se ne dopusti agregacija i taloženje ovih materija, već one moraju ostati u ulju u obliku suspenzije. Da bi ulje uspešno izvršilo ove funkcije dodaju mu se deterdženti i disperzanti.

Ovako složene zadatke mogu ispuniti samo visokokvalitetna motorna ulja, koja moraju zadovoljiti sledeće uslove:

- zahtevanu viskoznost na niskim i visokim radnim temperaturama radi omogućavanja lakog hladnog starta i pravilnog podmazivanja motora u svim uslovima rada;
- visoku oksidacionu i termičku stabilnost, u cilju sprečavanja razlaganja ili stvaranja smola ulja pri visokim radnim temperaturama motora;
- dobro podnošenje visokih pritisaka radi sprečavanja povećanog habanja na kliznim površinama;
- dobre deterdžentno-disperzantne osobine radi sprečavanja većeg taloženja produkata sagorevanja na delovima motora i kanalima za podmazivanje, kao i stvaranja čvrstih taloga i lakova na klipovima, klipnim prstenovima i u prostoru za sagorevanje;
- dobru alkalnu rezervu radi neutralisanja kiselih produkata sagorevanja i u uslovima korišćenja goriva sa većim sadržajem sumpora.

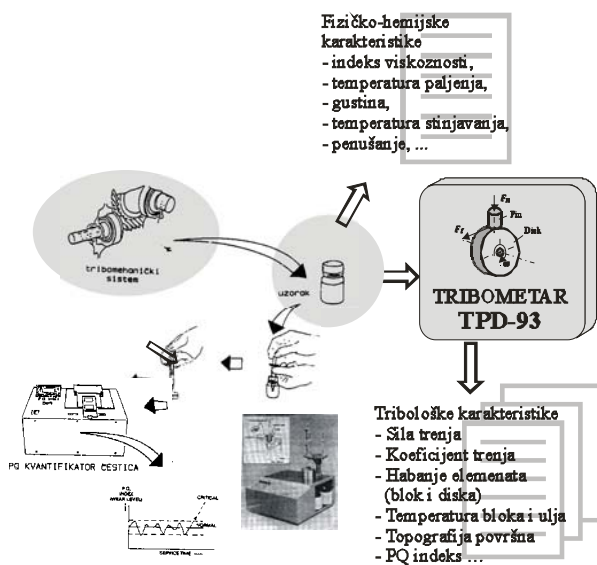
2. RAZVOJ MODELA ZA ISPITIVANJE KARAKTERISTIKA ULJA ZA PODMAZIVANJE

Analizom veoma velikog broja otkaza složenih tribomehaničkih sistema može se zaključiti da je kod sistema kod koga je došlo do otkaza, takođe i kod maziva (odnosno ulja za podmazivanje) takođe došlo do određenih promena. Naime, otkaz tribomehaničkog sistema može nastupiti usled promene svojstava ulja za podmazivanje ili promena karakteristika ulja za podmazivanje može doći usled otkaza pojedinih ostalih elemenata tribomehaničkog sistema.

Kako se u najvećem broju slučajeva promena funkcionalnosti složenog tribomehaničkog sistema ogleda u promenama karakteristika ulja za podmazivanje, to se može promena fizičko hemijs-

kih i triboloških karakteristika ulja usvojiti kao parametar za ocenu stanja tribomehaničkog sistema.

U cilju razvoja modela za identifikaciju stanja tribomehaničkog sistema analizom ulja za podmazivanje, poslednjih godina se odvijaju mnogobrojna eksperimentalna ispitivanja u Laboratorijama VTI Žarkovo i Mašinskog fakulteta u Kragujevcu. Cilj ispitivanja je verifikacija modela koja podrazumeva povremeno uzorkovanje ulja za podmazivanje iz realnih tribomehaničkih sistema i njegova analiza fizičko hemijskih i triboloških karakteristika u toku eksploatacije. Na slici 2 prikazana je šema funkcionisanja modela.



Slika 2. Model ispitivanja karakteristika ulja u toku eksploatacije

3. FIZIČKO-HEMIJSKE KARAKTERISTIKE MAZIVIH ULJA

Osnovne fizičko-hemijske osobine pomoću kojih se određuje kvalitet ulja su:

- **fizičke osobine:** viskoznost, indeks viskoznosti, temperatura paljenja, temperatura stinjanja, gustina, specifična toplota i penušanje i dr.;
- **hemijske osobine:** hemijska i termička stabilnost, korozivnost, neutralizacioni broj, ukupan bazni broj, kompatibilnost i toksičnost i dr.

U okviru ovog dela rada prikazani su rezultati obimnih eksperimentalnih ispitivanja različitih ulja (motornih i drugih) u Laboratoriji za pogonska sredstva VTI Žarkovo, Beograd.

Viskoznost je veličina unutrašnjeg otpora ili trenja koje se javlja u tečnosti pri strujanju i predstavlja osnovno fizičko svojstvo ulja za podmazivanje. Viskoznost direktno utiče na ostvarenu debljinu sloja maziva, gubitke usled trenja i zagrevanja. Od veličine viskoznosti zavisi moguć-

nost zaptivanja uljem, potrošnja ulja, mogućnost pokretanja motora pri niskim temperaturama, itd.

Izbor veličine viskoznosti ulja određen je radnom temperaturom, temperaturom okoline, opterećenjem, brzinom pokretnih delova i drugim zahtevima. Zbog toga se u okviru istog kvaliteta jedne grupe ulja, ona proizvode sa različitim veličinama viskoznosti.

U tabeli 1 su date na osnovu preporuka orijentacione vrednosti viskoznosti za različite namene ulja.

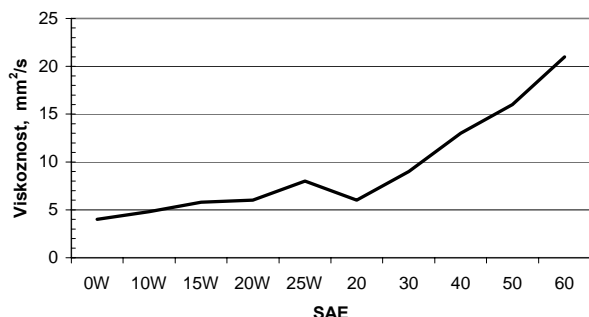
Tabela 1. Viskoznosti ulja za različite namene

Namena ulja	Viskoznost na radnoj temper. [mm ² /s]
Ulja za instrumente i satne mehanizme	5-20
Ulja za šivaće mašine	10-25
Motorna ulja	10-50
Ulja za turbinska postrojenja	10-50
Ulja za hidraulične sisteme	20-100
Ulja za kotrljajne ležaje	10-300
Ulja za klizne ležaje	20-1500
Ulja za zupčanike:	
- sporohodni cilindrični zupčanici sa pravim i kosim zupcima, konični zupčanici	200-800
- cilindrični zupčanici sa ravim i kosim zupcima, konični zupčanici; srednje brzohodnosti	50-150
- zupčanici visoke brzohodnosti	15-100
- hipoidni zupčanici	50-600
- pužni zupčanici	200-1000
Maziva za otvorene zupčanike	100-50000

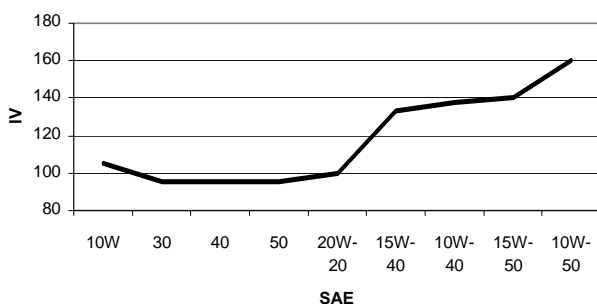
Na slici 3 prikazana je promena veličine merenih vrednosti viskoznosti u zavisnosti od vrste ulja. Ulja namenjena za hladnije uslove (10W, 15W,...) imaju manju viskoznost od ulja namenjenih za toplije klimatske uslove.

Pored viskoznosti, fizičko hemijske karakteristike ulja se u praksi određuju vrednostima dinamičke viskoznosti (η), kinematske viskoznosti (ν) i **indeksa viskoznosti** (IV) koji predstavlja empirijski broj koji pokazuje tendenciju promene viskoznosti sa promenom temperature. Uobičajeno se vrednost indeksa viskoznosti kreće u granicama od 0 do 100. Pri tome IV=0 označava da je promena veličine viskoznosti značajna, a IV=100

da su to ulja sa manje izraženom promenom viskoznosti u zavisnosti od promene temperature. Multigradna (višesezonska) motorna ulja i neke vrste sintetskih ulja imaju indeks viskoznosti i veći od 100. Na slici 4 su prikazane izmerene vrednosti indeksa viskoznosti za različite vrste ulja.



Slika 3. Promena viskoznosti u zavisnosti od vrste ulja

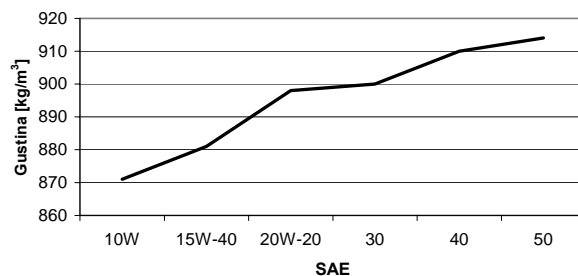


Slika 4. Promena indeksa viskoznosti u zavisnosti od vrste ulja

Gustina, kao odnos mase prema jedinici zapremine, kod mineralnih ulja kreće se u granicama od 820 do 960 kg/m³. Neka sintetska ulja imaju gustinu veću od 1000 kg/m³. Gustina kao veličina se koristi pri preračunavanju kinematske viskoznosti u dinamičku i obrnuto, kao i za određivanje mase ulja kada je poznata zapremina. Prikaz izmerenih vrednosti gustina različitih vrsta ulja dat je na slici 5.

Temperatura paljenja (tačka paljenja) je temperatura ulja pri kojoj se pare ulja u smeši sa vazduhom pale u prisustvu plamena ili električne varnice. Ulja sa višom vrednošću viskoznosti imaju po pravilu višu temperaturu paljenja. Ova karakteristika je više kontrolna veličina koja ukazuje na veće isparavanje i veću potrošnju ulja ako je temperatura paljenja niža.

Na slici 6 date su vrednosti izmerenih temperatura paljenja za neke vrste ulja. Ulja za zimske uslove se pale na nižim temperaturama, što je dozvoljeno zbog samih uslova eksploatacije.

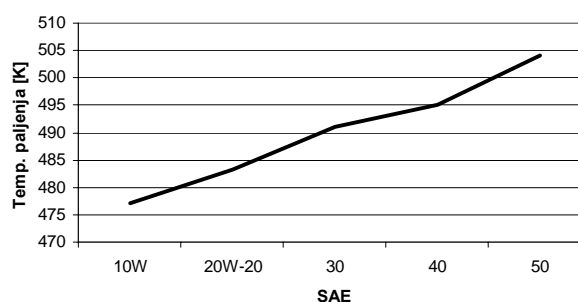


Slika 5. Gustina ulja na 288,15 K za različite vrste ulja

ISO standard propisuje minimalne vrednosti temperature za tačku paljenja u K (JUS standard u °C). Vrednosti su date u tabeli 2.

Tabela 2. Minimalne vrednosti temperature paljenja

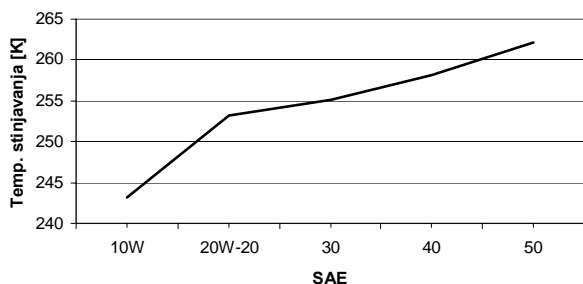
SAE	ISO	2104 C
10W	473,15 K (200°C)	477,15 K (204°C)
20W-20	478,15 K (205°C)	-
30	493,15 K (220°C)	491,15 K (218°C)
40	503,15 K (230°C)	497,15 K (224°C)
50	513,15 K (240°C)	505,15 K (232°C)
10W-30, 20W-40, 15W-50	> 493,15 K (220°C)	-



Slika 6. Temperature paljenja za neke vrste ulja

Temperatura stinjanja je jedan od pokazatelja ponašanja ulja pri sniženoj temperaturi i predstavlja temperaturu na kojoj ulja gube tečljivost pri datim uslovima ispitivanja. Sa gledišta podmazivanja potrebno je koristiti ulja sa temperaturom stinjanja znatno nižom od najnižih mogućih radnih temperatura. Time se smanjuju otpori i obezbeđuje odgovarajuće strujanje ulja.

Uzroci pojave stinjanja su kristalizacija i viskoznost. Na slici 7 date su izmerene temperature stinjanja za neke vrste ulja.



Slika 7. Temperature stinjanja za neke karakteristične vrste ulja

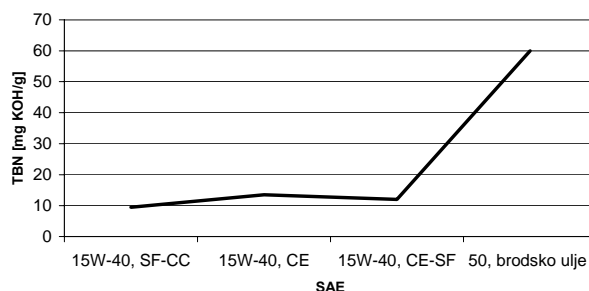
Penušanje je sklonost ulja da se meša s vazduhom (rastvara ga) i usled toga se zapeni. Penušavo ulje smanjuje efekat podmazivanja. Ulja koja su sklonija penušanju izazivaju ubrzanu oksidaciju ulja. Sklonost ka stvaranju pene utvrđuje se prema metodi ASTM D 892 (IP 146), pri čemu se utvrđuje i stabilnost pene. Meri se zapremina pene nad uzorkom ulja. U tabeli 3 dati su podaci prema kojima se upoređuju maksimalne vrednosti zapremine pene.

Tabela 3. Vrednosti sa kojim se upoređuju rezultati ispitivanja sklonosti stvaranja pene i stabilnosti pene

	Sklonost stvaranja pene	Stabilnost pene
	Zapremina 1cm ³ , nakon 5 min produvanja	Zapremina 1cm ³ , nakon 10 min stajanja
297,15 K (24°S)	2 cm ³	0 cm ³
366,65 K (93.5°S)	150 cm ³	0 cm ³
297,15 K (24°S) nakon 366,65 K (93,5°S)	0 cm ³	0 cm ³

Ukupan bazni broj (TBN-total base number) je mera alkalnosti koja potiče od materija u mazivu koje pokazuju baznu reakciju (aditiva). Izražava se u [mg] KOH po [g] uzorka ulja, što je ekvivalent za količinu kiseline potrebne za neutralizaciju svih baznih materija u jednom gramu uzorka. Na slici 8 je prikazano kako u novijim uljima koja imaju više aditiva raste baznost. Tako ulje 15W-40 CE ima više aditiva od ulja 15W-40 SF-CC jer je savremenije, pa samim tim ima i veći ukupni bazni broj-TBN. Kada vrednost ukupnog

baznog broja padne ispod određene vrednosti ulje treba zameniti.



Slika 8. Prikaz baznosti u jednoj vrsti ulja različitog kvaliteta

Toksičnost označava sve aspekte uticaja ulja za podmazivanje na zdravlje ljudi, biljni i životinjski svet. Toksičnost mineralnih ulja je mala, dok su sa sintetskim uljima osnovni problemi vezani za delovanje na ljudsku kožu. Međutim, ulja koja sadrže različite hemijske supstance (aditive) mogu biti uzročnik mnogih oboljenja.

3. TRIBOLOŠKE KARAKTERISTIKE

Tribo sistem je definisan kontaktom dva elementa, dok je treći element mazivo, proces se dešava u nekoj sredini. U okviru ovih ispitivanja posebno su interesantni uslovi kontakta elemenata kod sklopova motora ili transmisije vozila. Da bi se realno posmatrali uslovi i relizovala tribološka istraživanja moraju se imati u vidu sledeći elementi u kojima funkcioniše tribo sistem: vrsta kretanja, opterećenje, brzina, temperatura i vreme, hrapavost i sastav površinskog sloja.

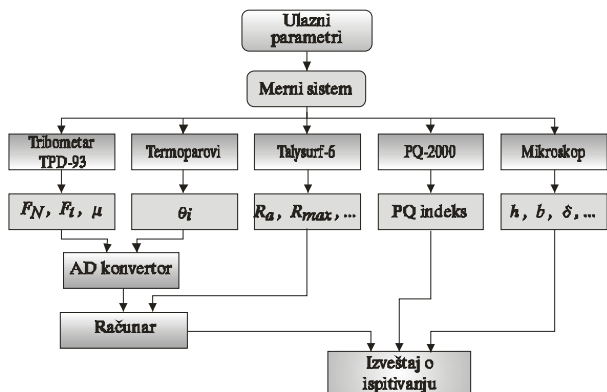
Tribološke karakteristike kojima se opisuju elementi u kontaktu su: sila trenja, koeficijent trenja, buka, vibracija, porast temperature, intezitet habanja i debljina sloja maziva, učešće produkata habanja u mazivu itd.

Na slici 9 prikazan je najčešće korišćeni merni lanac za ispitivanje triboloških karakteristika maziva, realizovan na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu.

Razvojem teorijskih postavki procesa habanja materijala razvijale su se i eksperimentalne metode za ispitivanje triboloških karakteristika. Ova ispitivanja spadaju u grupu laboratorijskih ipitivanja koja se obavljaju na specijalno konstruisanim uređajima **tribometrima**.

Ispitivanje se vrši ostvarivanjem kontakta dva tela koja imaju konvencionalnu geometriju koja simulira određene uslove dodira (u tački, po liniji ili površini). Između delova realnog tribo-

mehaničkog sistema i elemenata tribo sistema na tribometru ne postoji geometrijska sličnost. Uslovi u kojima se vrši ispitivanje su definisani brzinom klizanja, opterećenjem, vrstom materijala elemenata u kontaktu i njihovom topografijom, koji treba da budu identični uslovima u kojima se nalazi realni tribomehanički sistem.

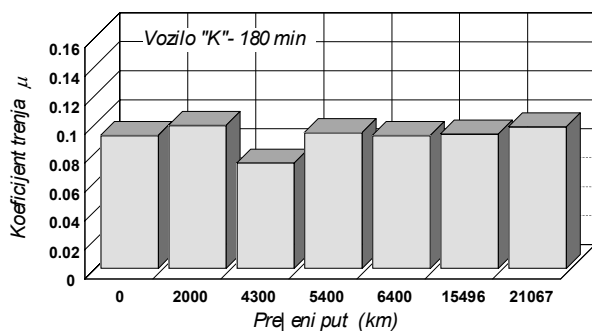


Slika 9. Blok šema mernog sistema

Ova ispitivanja se najčešće vrše iz sledećih razloga:

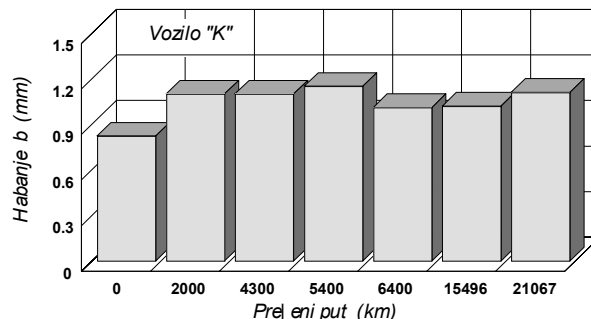
- određivanje zavisnosti između otpornosti na habanje i fizičko-hemijskih i mehaničkih svojstava materijala u kontaktu sa ciljem proizvodnje materijala (elemenata u kontaktu ili maziva) sa unapred zadatim tribološkim svojstvima.
- utvrđivanje zakonitosti habanja materijala u funkciji radnih parametara (opterećenja, brzine klizanja) kao i radnih uslova (temperature, topografije i dr.)
- izbor optimalnih konstruktivnih i mazivih materijala i određivanje njihove međuzavisnosti.

Cilj ispitivanja u novije vreme je uspostavljanje korelacija rezultata ispitivanja fizičko-hemijskih karakteristika sa tribološkim karakteristikama za konkretna sredstva u eksploataciji.

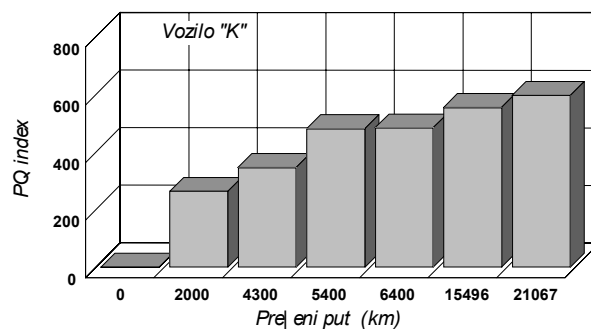


Slika 10. Koefficient trenja meren nakon 180 min u zavisnosti od pređenog puta vozila

Na slikama 10, 11 i 12 dat je samo deo rezultata ispitivanja nekih ulja za podmazivanje menjača. Kod ovih ispitivanja korišćeno je ulje iz realnih sistema, odnosno iz motornih vozila koja su aktivno bila u upotrebi i prelazila određeni broj kilometara puta do uzimanja uzorka ulja.



Slika 11. Zavisnost širine traga habanja b pina od pređenog puta vozila



Slika 12. Zavisnost PQ indeksa od pređenog puta vozila

4. ZAKLJUČAK

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. Ovakav pristup izučavanju 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 u direktnoj zavisnosti od stanja svih elemenata tribomehaničkog sistema, odnosno u zavisnosti od njihovih funkcionalnih karakteristika

LITERATURA

1. Ivković, B., Rac, A., Tribologija, Jugoslovensko društvo za tribologiju, Kragujevac, 1995.
2. Rac, A. Osnovi tribologije, Mašinski fakultet, Beograd,
3. Pešić, Z., Nedić, B., Razvoj modela za identifikaciju promena triboloških karakteristika ulja za podmazivanje menjača vozila, YUMO '98, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1998.
4. Pešić, Z. Identifikacija triboloških procesa u menjaču vozila sa aspekta optimalnog održavanja, doktorska disertacija u rukopisu, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1998.
5. Veinović, S., Pešić, R., Petrović, S., Pogonski materijali motornih vozila, Mašinski fakultet Banja Luka, Kragujevac, 2000.
6. Obradović, R., Diplomski rad, VTA, Žarkovo, Beograd, 2003.