

**Rezime:**

*U ovom radu razmatrani su uticaji savremenih trendova u konstrukciji i ekoloških zahteva na uslove rada savremenih ulja u motorima sa unutrašnjim sagorevanjem. U razvoju motora SUS i dalje se potenciraju konstrukcije sa smanjenim dimenzijama i sa visokim stepenom mehaničke i toplotne korisnosti. Povećanje izlazne snage kamionskih dizel motora se nastavlja. Istovremeno, postavljaju se zahtevi za daljim povećanjem pouzdanosti i veka upotrebe. Dodatno, radi ograničenja emisije, zahteva se nizak nivo potrošnje ulja (0,5 g/kWh i niže), čak i za natpunjene motore. Sve to znači da se mogu očekivati izuzetno visoka termička opterećenja. Trend u smanjenju upotrebe maziva pojavio se u razvijenim zemljama ranih devedesetih godina. To nije iznenađenje, s obzirom na to da je ekotoksikološki udar maziva veoma veliki problem, ako se uzme u obzir veza između ulja i životne sredine. Zato se intenzivno radi na razvoju novih principa podmazivanja zasnovanih na novim sredstvima za podmazivanje, kao i na novim materijalima tarnih parova.*

*Ključne reči: motor SUS, tribologija, motorno ulje, ekologija.*

---

INFLUENCE OF IC ENGINE TRIBOLOGY ON FRICTION  
REDUCTION AND ECOLOGY

**Summary:**

*Influences of up-to-date design trends and ecology requirements on working conditions of actual lubricants in internal combustion engines were considered in the paper. Designs with reduced dimensions and designs with high thermal and mechanical efficiency are favoured in IC engine development. The increase of diesel engine break power for commercial trucks is continuing. At the same time, requirements for further increase of reliability and lifetime are established. Additionally, demands for further emission reduction require low oil consumption (0,5 glkWh and lower), even for charging diesel engines. All this implies that very high thermal loads can be expected. The trend of the lubricant use decrease appeared in developed countries in the early 1990s. This is not surprising, because the ecotoxicological impact of lubricants became a big problem. Thus, an intensive research for new principles of lubrication, based on new lubricants and new friction materials, is in progress.*

*Key words: ic engine, tribology, engine lubricants, ecology.*

---

**Uvod**

Očekuje se da smanjenje potrošnje goriva i ostalih naftnih derivata u transportnoj industriji, primarno bude pod-

ržano daljim promenama u hardveru, inovacijama u konstrukciji i povećanjem intervala održavanja. Na poboljšanje ekonomičnosti vozila može se uticati, pored ostalog, i izborom goriva i maziva [1].

U razvoju motora SUS i dalje se potenciraju konstrukcije sa smanjenim dimenzijama i sa visokim stepenom mehaničke i toplotne korisnosti. To vodi, pored ostalog, i ka značajnom povećanju opterećenja kliznih ležajeva. Posledica velikih opterećenja ležajeva je još veće smanjivanje zazora između ležaja i rukavca, odnosno smanjenje uljnog filma, što dovodi do nemogućnosti hidrodinamičkog podmazivanja (potpunog razdvajanja rukavca i ležaja) u svim režimima rada motora [2].

Povećanje izlazne snage kamionskih dizel motora se nastavlja. Istovremeno, postavljaju se zahtevi za dalje povećanje pouzdanosti i vek upotrebe. Dodatno, radi ograničenja emisije zahteva se nizak nivo potrošnje ulja (0,5 g/kWh i niže), čak i za natpunjene motore. Sve to znači da se mogu očekivati izuzetno visoka termička opterećenja [3].

Mada su istraživače okupirali, uglavnom, pokušaji poboljšanja radnog ciklusa, ipak su ostale još dve važne oblasti: kvalitet podmazivanja i analiza trenja, što je detaljnije obrađeno u literaturi [4].

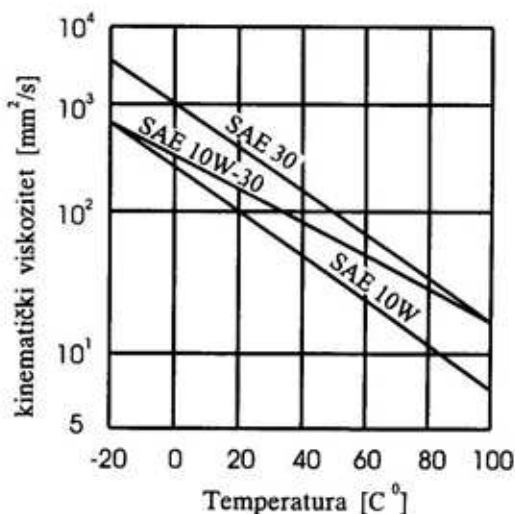
### Kvalitet podmazivanja

Formulacija podmazivanja prolazila je kroz različite faze. Početkom XX veka za kvalitet podmazivanja presudno je bilo poreklo baznog ulja, da bi kasnije sve više bio određivan paketom aditiva. Trend povećanja paketa aditiva nastavljen je da bi u novije vreme pojedina brodska ulja bila najekstremniji primer ulja koja imaju sposobnost apsorbovanja produkata sagorevanja, kontrole habanja, ispiranja motora, oksidacione i termičke stabilnosti, izdvajanja vode i zaštite od korozije.

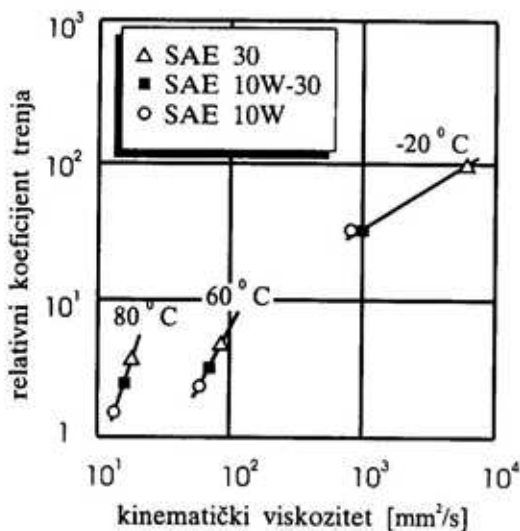
Podstaknuta su mnogobrojna fundamentalna istraživanja trenja i podmazivanja, koja su uticala na usavršavanje eksperimentalnih i analitičkih tehnika, tako da sad postoji mogućnost da se postigne značajan napredak u radu motora, a da se ne mora obavezno poboljšavati proces sagorevanja.

Naftne krize skrenule su pažnju na tradicionalne aditive, kao što je ZDIP (Zinc dialkyl dithio phosphate) i to ne samo na njihova antikorozijska svojstva, nego i na njihovo dejstvo kao mogućih opštih modifikatora trenja u kombinaciji sa molibdenom i sličnim komponentama. Odnos između viskoziteta i koeficijenta trenja bio je pravilno shvaćen još tridesetih godina XX veka, međutim koncentrisanje na problem smanjenja trenja u vreme naftnih kriza dovelo je do ideje da se pokuša sa poboljšivačima indeksa viskoziteta u kombinaciji sa modifikatorima trenja, radi ostvarenja smanjenja potrošnje goriva.

Karakteristika viskoziteta monogradnih ulja SAE 10W i SAE 30, koja sadrže poboljšivač indeksa viskoziteta, prikazana je na slici 1 [5].



Sl. 1 – Karakteristike viskoziteta motornih ulja



Sl. 2 – Efekat multigradnog ulja na gubitke viskoznog trenja

Krivulja odgovarajućeg koeficijenta trenja u odnosu na viskozitet na slici 2 pokazuje kako multigradno ulje (koje pokazuje u poređenju sa uljem 10W-30 smanjenje ekvivalentnog viskoziteta za oko 1 gradaciju na srednjim temperaturama), dopušta smanjenje gubitaka usled viskoznog trenja za oko 20% [5].

Svakako da različiti kompleksi aditiva imaju različite posledice na gubitke usled trenja pri graničnim ili hidrodinamičkim uslovima podmazivanja i pri različitim temperaturnim uslovima u motoru.

Da bi se ispitalo kako nova formula-cija ulja utiče na potrošnju goriva, potrebno je koristiti različite merne tehnike.

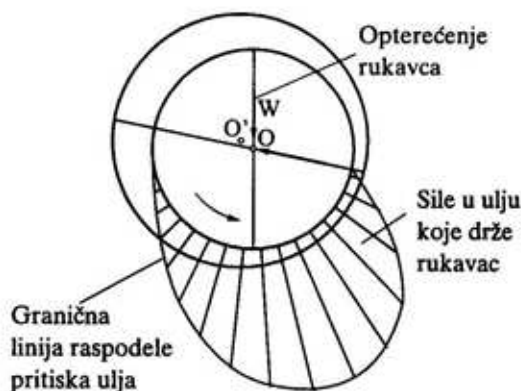
Ekološki i politički pokreti zahtevaju izbacivanje aditiva na bazi teških metala, pa proizvođači maziva moraju da razviju nov sistem mehanizama delovanja aditiva u kontroli habanja i prevenciji korozije [6].

Tribološka nauka, koja je postala posebna disciplina 1966. godine, i čiji je

utemeljivač Jost Report (Jost Report), razmatra podmazivanje i habanje.

Problemi koji su posebno važni u današnje vreme jesu izučavanje habanja sistema razvoda, kombinovano sa visokim radnim temperaturama i mnogim drugim oštrim uslovima, kao i razvoj maziva po sistemu „punjenje za ceo radni vek“. Takođe, tu su i mnogobrojni propisi vezani za emisiju, zahtevi za visokim stepenom korisnosti, kao i manjom potrošnjom goriva. Tribologija zauzima centralno mesto u izboru svih ovih varijanti. Osnov teme postavio je Osborn Reynolds još pre jednog veka, u radu u kojem je publikovao jednačinu koja formira osnov teorije hidrodinamičkog podmazivanja. Jedna od prvih primena Reynoldsove jednačine bilo je objašnjenje procesa koji dozvoljava da ležaj nosi opterećenje, a koji se zasniva na pritisku koji se formira u ležaju, u prisustvu ulja (slika 3). Izučavanje karakteristika kliznog ležaja još uvek je bazirano na Reynoldsovoj jednačini, ali uz upotrebu savremenih računarskih tehnika, što se i dalje nastavlja.

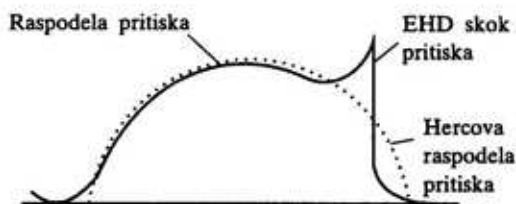
Sledeće veliko poboljšanje u teoriji podmazivanja predstavljao je razvoj elasto-hidrodinamičkog (EHD) podmazivanja, specijalnog slučaja hidrodinamičkog



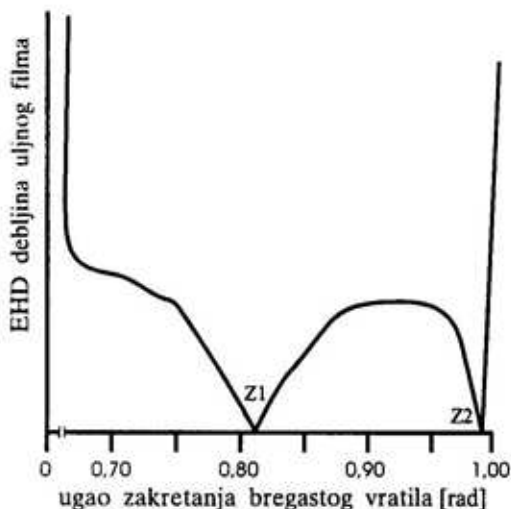
Sl. 3 – Raspodela pritiska u kliznom ležaju

podmazivanja (HD), kod kojeg je uticaj delova ležaja na debljinu uljnog filma relativno veliki, a time je velika i promena u raspodeli opterećenja između kontaktnih površina. EHD teorija je neophodna za razumevanje podmazivanja kugličnih i valjkastih ležajeva, bregova i klackalica, zuba zupčanika i klipnih prstenova. Teorijska raspodela opterećenja između valjka i nosača u valjkastom ležaju, prikazana je na slici 4 [6]. Slična raspodela je u svim jako opterećenim tačkastim ili linijskim kontaktima. Najupečatljivija karakteristika EHD teorije je ekstremno tanak uljni film. Valjkasti ležajevi mogu da rade sasvim zadovoljavajuće sa debljinom uljnog filma mnogo manjom od  $1 \mu\text{m}$ , dok debljina uljnog filma od  $10 \mu\text{m}$  može da se smatra izuzetno velikom.

Preporuka je data za rešavanje problema podmazivanja bregastog vratila automobilskog motora sa jednokrakom klackalicom, što se često primenjuje radi poboljšanja u konstrukciji komore za sagorevanje kod oto motora. Na slici 5 prikazana je teorijska debljina uljnog filma kao tačka kontakta između brega i klackalice u funkciji površine klackalice [6]. Treba istaći da je debljina mnogo manja od  $1 \mu\text{m}$ , a u jednoj tački teorijski pada na nulu. To je u oblasti tzv. nulte zahvatne brzine, pri kojoj površine brega i klackalice putuju jednakom brzinom, ali u suprotnim smerovima u odnosu na



Sl. 4 - Raspodela pritiska i zazora u EHD kontaktu



Sl. 5 - Teoretska debljina uljnog filma između brega i klackalice

tačku kontakta. Pri nehidrodinamičkom podmazivanju može da se postavi pitanje kako mehanizam funkcioniše, a da ne dolazi do katastrofalnog razaranja kontaktnih površina, što predstavlja drugu važnu oblast u teoriji tribologije, a to je hemija aditiva, udružena sa delovanjem ulja. Današnja ulja ne mogu se osloniti samo na osobine baznog ulja. Poneki kontakt između površina je neizbežan, i mora da bude podeljen sa drugim tačkama pomoću efekata hidrodinamike. Da ne bi došlo do oštećenja površina pod ovim uslovima, sva ulja za automobilske motore sadrže aditive, opisane kao protivhabajuće, koji rade na principu reakcije sa kontaktnom površinom, stvarajući površinske slojeve koji imaju malu smicajnu čvrstoću što prouzrokuje smanjenje trenja. Formiranje zaštitnih filmova zavisi od temperaturnih uslova, tako da mnogi aditivi imaju strogo definisano temperaturno područje u kojem su efikasni. Uspesna mešavina aditiva treba da obezbedi zaštitu u najširem temperaturnom području i mora da bude kompatibilna sa

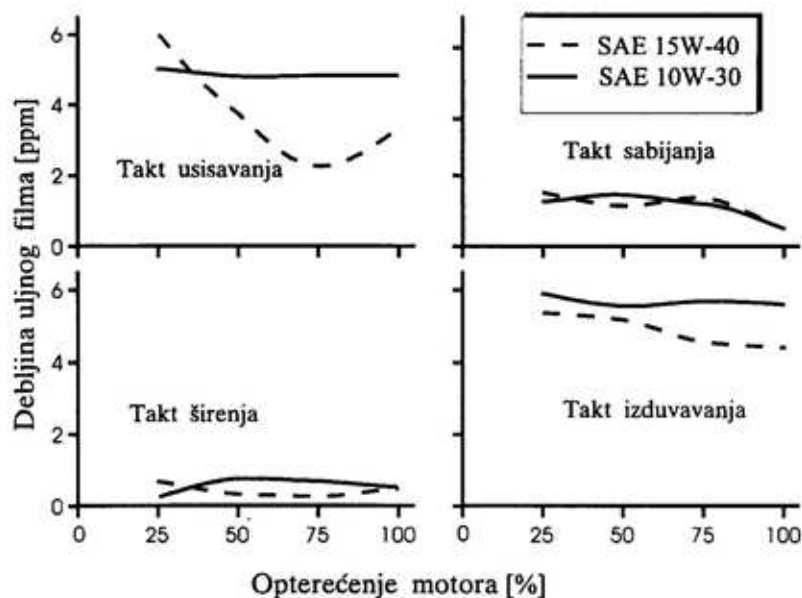
baznim uljem, čak i pri kritičnim zahtevima.

Postoji niz radova o ponašanju motornih ulja, sa posebnom preporukom protiv habanja brega i klackalice. Uglavnom se koristi tehnika merenja zasnovana na električnom otporu, čime se proučava reakcija filma u simuliranom kontaktu breg – klackalica. Mnoge aktivnosti tribologičara u ispitnim laboratorijama uljnih kompanija posvećene su razvoju sve efikasnijih aditiva za rad u uslovima graničnog podmazivanja. Zadatak se sve teže ispunjava, jer su velike razlike u uslovima rada, a zahtevi su da jedno ulje zadovolji sve uslove. Treba reći da su uslovi rada koji se sreću u sklopu breg – klackalica, sasvim različiti od onih koji se sreću između klipnog prstena i cilindra. Izučavanje uslova koji postoje kod današnjih motora, veliki je izazov za eksperimentalnu veštinu tribologičara, pa su razvijeni

i mnogi sofisticirani metodi. To uključuje merenje debljine uljnog filma pomoću električno-kapacitivne tehnike, merenje temperatura površine klipnog prstena pomoću infracrvenog zračenja, skupljanje uzoraka ulja iza klipnih prstenova i blizu gornjeg dela cilindra, i merenje intenziteta habanja, uz korišćenje ozračivanja delova.

Kao primer rezultata koji se mogu postići, na slici 6 je prikazana debljina uljnog filma između gornjeg prstena i cilindra. Ova debljina merena je u blizini SMT kod velikog turbo dizel motora, pri broju obrtaja koji odgovara maksimumu obrtnog momenta [6].

Postoji velika razlika u debljini filma u različitim taktovima, kao i jedan uočljiv prekid za vreme sagorevanja. Uočeno je da ulje SAE 10W-30 daje bolju zaštitu od SAE 15W-40. Razlog je bolji dotok prvog ulja do kritičnih oblasti, što je potvrđeno



Sl. 6 – Debljina uljnog filma ispod kompresionog prstena kod turbo dizel motora



i manjim intenzitetom trošenja hroma sa površine prstena, i aluminijuma sa klipa u prvom slučaju. Takođe, u ovom motoru je intenzitet trošenja bio osetljiv na viskozitet ulja. Poznati fenomen poliranja cilindra kod dizel motora doneo je dodatne probleme. Formirana je površina cilindra slična ogledalu, koja je tako glatka da ulje klizi, ne može da se zadrži na površini cilindra, što dovodi do ozbiljnog oštećenja. Smatra se da je proces poliranja mehanički proces u kojem tvrde čestice ugljenika (čadi), formirane u komori sagorevanja, deluju kao sredstvo za poliranje [6].

### **Ekološki zahtevi u odnosu na podmazivanje motora**

Usled ekoloških i ekonomskih pritiska trendovi su da se koriste ulja nižeg viskoziteta i u oto i u dizel motorima. Sa smanjenjem viskoziteta ulja, povećava se broj mesta na kojima nestaje hidrodinamički režim podmazivanja, a pojavljuje se mešoviti (granični) režim. Kada dolazi do ovoga, povećavaju se gubici trenja, a može da nastane habanje. Zbog toga je sadašnji izazov formulisati ulja koja imaju najniži mogući viskozitet, bez stvaranja problema sa habanjem u širokom spektru konstrukcija motora [7].

Do sada su motori razvijani uvek sa povećanim performansama (svakako uz ograničenje cene), ali ovaj trend dolazi u sukob sa zahtevima za očuvanjem okoline (bilo direktno ili indirektno), jer upotreba maziva mora da bude izrazito smanjena.

Trend u smanjenju upotrebe maziva pojavio se u razvijenim zemljama ranih devedesetih godina, a u Nemačkoj je, na primer, i konkretizovan donošenjem od-

govarajućih zakonskih propisa '95. i '96. godine.

Ove aktivnosti, kao i smanjena cena ispitne opreme, dovode do obimnijih istraživanja u pogledu razvoja motora sa smanjenom potrošnjom ulja (radi smanjenja količine čestica u izduvnoj emisiji), kao i razvoja motora sa povećanim intervalom zamene ulja. To bi, na primer, dovelo do smanjenja cene motornih ulja za oko 25% do 2005. godine.

Nije iznenađenje da je ekotoksikološki udar maziva veoma veliki problem, ako se uzme u obzir veza između ulja i životne sredine. Primera radi, u Nemačkoj od prodane količine ulja, od preko 1 100 000 t godišnje, 530 000 (47%) ostane nerekiclrirano. Od te količine za 200 000–350 000 t ulja i hidrauličnih tečnosti godišnje ne zna se dalja sudbina [7]. Ako se uzme u obzir da je Nemačka relativno primerna zemlja po pitanju upotrebe i rukovanja uljima i hidrauličnim tečnostima, onda je uz svetski promet od oko 38 000 000 t godišnje više nego jasan značaj ovog problema. Zbog toga u današnje vreme industrija ulja sve više podržava biološki brzodegradirajuća ulja, formiranjem imidža u proizvodnji pratećih proizvoda za automobilsku industriju.

Kupci zahtevaju čistu i humanu okolinu, i nivo zakonodavstva koji će podržati povećanje prometa i forsiranje kampanja za razvoj bioloških brzodegradirajućih proizvoda, kao što su motorna i transmisiona ulja, koja generalno ne dolaze iz petrohemijske industrije.

Izvor za visokobiološka, brzodegradirajuća ulja nalazi se u osnovnoj hemijskoj industriji ulja. Biološka degradacija, na primer u odnosu na EP/AV aditive (aditivi za ekstremne pritiske), mora značajno da se poboljša ili supstituiše prirodnim supstancama. U Nemačkoj su granice

za ukupan sadržaj netoksičnih aditiva za hidraulične tečnosti 5% zapreminski, a uz to i biodegradibilnost svakog posebnog aditiva mora da bude veća od 20%. Da bi se ispunili zakonski propisi, ekološka zamena može da se traži u novim tribološkim materijalima, ako njihova tribologija ne zahteva EP/AV aditive [7].

Biološka degradibilnost EP/AV aditiva nije bitna kada se ovo sredstvo koristi u formulaciji ulja. Takođe, tribološka potrošnja EP/AV aditiva ne zahteva zamenu ulja, kada oni nisu pomešani sa uljima. Tribosistem (podmazivanje) za njih nema nikakav značaj. Takvi ciljevi će zahtevati nove formulacije, kao i nova bazna ulja.

Lako je uočiti da prelaz sa fiksnih intervala zamene ulja na jednokratno podmazivanje tokom radnog veka motora ne može da obezbedi samo industrija ulja. Naime, postoji ideja da se podmazivanje kliznih površina preimenuje u tribosistem. Taj cilj može da se ostvari samo ako je konstrukcija kompatibilna sa materijalom i dobrim funkcionisanjem maziva, a ne kao u prošlosti, kada su maziva upotrebljavana nezavisno od primenjenog materijala. Za to mora da se uradi jedinstveni proračun. Jedan prosečan motor sa dvofunkcionalnim fluidom (podmazivanje i hlađenje) sadrži 14 l fluida i može da izgubi oko 5 l curenjem ili sago-revanjem, što znači da za ukupno pređenih 200 000 km treba nadoknaditi gubitak fluida od samo 0,025 l/1000 km [7].

#### *Ograničenja u podmazivanju tečnostima*

U EHD režimu podmazivanja postoji mogućnost postojanja ograničenja u pogledu reologije ili kidanja uljnog filma. Poslednjih godina postoji trend u uglača-

vanju površina i smanjenju napajanja uljem, što iziskuje smanjenje debljine uljnog filma na 100 nm i rezultira nenjutnovskom reakcijom u procesu podmazivanja. Ove debljine filma nisu tipične samo za mikromehaničke komponente i kompjutersku tehnologiju, već će u budućnosti biti aktuelne i u automobilskoj tehnici.

Filmovi od samo nekoliko molekulskih slojeva su čvrsti pri visokim pritiscima (u mikrokontaktu), ukoliko se u granicama od 0,5 GPa do približno 2,2 GPa ulja mogu transformisati u staklaste čvrste čestice. Za vreme kidanja filma ulje se podvrgava promeni iz laminarnog u turbulentno strujanje. Danas je u tehnologiji podmazivanja reprezentativno mešanje baznih ulja i polimernih poboljšivača indeksa viskoziteta. Lako se dolazi do zaključka da reološko ponašanje ulja u tribokontaktu zavisi od poboljšivača indeksa viskoznosti, pošto se debljina filma približava veličini molekula poboljšivača. Uz to, količina i veličina čestica usled habanja mora znatno da se smanji, što zahteva uljni film u svojim fizičkim granicama, a klasične veze moraju da budu ponovo određene [7].

#### *Uloga materijala*

Konstruktori motora razmatraju mogućnost da smanje količinu ulja koja se predaje tribosistemu, kao i debljinu uljnog filma, što će povećati udeo mešovito graničnog podmazivanja i suvog trenja, a posledica će biti povećan nivo trenja i habanja. Nadalje, kidanje nenjutnovskog filma iziskuje više gornje regione površina, zbog čega sve veći značaj poprima topografija površina i nauka o materijalima, za tribološke karakteristike tribosistema.

Na osnovu ovog i prethodnih stavova može da se postavi pitanje: zašto mešati ulja sa potrošnim EP/AV aditivima, ako:

- mogu da se predvide, u novim konstrukcijama, tribomaterijali otporni na habanje;

- funkcionisanje EP/AV aditiva do- vodi do stvaranja reaktivnih slojeva na površini;

- može da se omogući strategijski pravac u podmazivanju sa upotrebom male količine odgovarajućeg ulja ili se radi o podmazivanju bez ulja;

- tribosistemi sa podmazivanjem produžavaju period do granične istroše- nosti.

Povećanje otpora na habanje formi- ranjem tribooksida u reaktivnim sloje- vima može, bez sumnje, da se meri po- moću određene ispitne opreme, ali je teško izvesti odgovarajuću analizu na osnovu savremenih metoda analize. Zbog toga još uvek nema pouzdanih saznanja o stabilnim reaktivnim slojevima. Za- mena mehanizma podmazivanja, koji se zasniva na dodavanju EP/AV aditiva u ulje pri mešovitom graničnom podmazi- vanju, mehanizmom podmazivanja koji se zasniva na samoformiranju EP/AV efekta, reakcijom sa površinskim slojem materijala otpornog na habanje u budu- nosti će predstavljati pravi doprinos u razvoju biološki-degradirajućih ulja, i u povećanju intervala zamene ulja sve do jednokratnog podmazivanja tokom celog veka upotrebe, bez bilo kakvih gubitaka u tribološkim karakteristikama. To, tako- de, otvara put za upotrebu i drugih fluida na uljnom osnovu, kao što su poliestri, sintetički ester, poliglikoli [7].

Pri ovakvom scenariju tribološko značenje reči mazivo svešće se na pojam radni fluid. Neka istraživanja su podigla nivo znanja, a nakon toga se transformi-

sala u prototipove, čiji se detalji mogu naći u patentnoj literaturi i časopisima. Ipak, da bi se realizovali u proizvodnji, zahtevaju još velike napore.

### *Koncepti motora bazirani na novim materijalima*

Pre 20 godina širom sveta su inicirani programi za razvoj motora bez podmazi- vanja i motora sa alternativnim podmazi- vanjem. Glavne poteškoće su bile obu- hvaćene konceptima kao što su adijabat- ski motori, motori sa podeljenom termo- strukturom (Isuzuov motor), stirling-mo- tori, dvotaktni motori i motori na vodo- nik, kao i tribologija složenih sistema, posebno tribologija sklopa klipni prsten – cilindarska košuljica. Čak ni ovi kon- cepti, udruženi sa kvalitetnim materija- lima i kvalitetnim prevlakama, ne mogu da postignu niske koeficijente trenja i nivo habanja kao što je to kod tribosi- stema baziranim na podmazivanju uljem, što se primenjuje u konvencionalnim mo- torima. Ovaj zaključak važi za sadašnje stanje, i još su daleko od šire primene motori poput, na primer, pomenutog Isu- zuovog motora. Kompanije koje razvijaju motore bez podmazivanja u ovom tren- utku fokusiraju svoju pažnju na produ- ženje perioda zamene ulja. Termin „bez ulja“ može da podrazumeva nekoliko mogućih definicija [7]:

- bez ulja – za kupca (tj. jedno- kratno punjenje uljem u toku veka upo- trebe motora);

- bezuljni rad (tj. suv, nepodmazi- van);

- upotreba tečnog maziva različitog od upotrebe ulja naftnog porekla.

Isuzuov motor kombinuje tradicio- nalne podmazujuće tribosisteme i termo- strukturu u obliku keramičkog motora.



Struktura je podeljena na taj način što gornji deo cilindarske košuljice radi na visokoj temperaturi, a niži deo na mnogo umerenijim temperaturama, pri čemu su smanjeni tribološki problemi. Zbog toga je upotrebljen visokootporni silicijum-nitrid sa slabom toplotnom provodljivošću i silicijum-nitrid sa mnogo boljom sposobnošću kvašenja uljem. Klipni prstenovi i niži deo cilindarske košuljice su izrađeni od sinterovanog  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , pomoću gasa pod pritiskom, a koji sadrži i  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Na osnovu podataka ove firme, ovaj koncept keramičkog motora se podmazuje poliestrom koji sadrži malu količinu aditiva, što obećava dobre rezultate.

Glavni deo adijabatskog motora sastoji se od hibridnog klipa sa kompresionim prstenom koji se podmazuje čvrstim mazivom na radnoj temperaturi od  $540^\circ\text{C}$  i sa uljnim prstenom koji se podmazuje hidrodinamički, pomoću sintetičkog poliestera-maziva za visoke temperature. Inženjeri koji se bave adijabatskim motorima očekuju da će visokotemperaturni tribološki sistemi biti operativni oko 2008. godine.

Najnoviji primenjeni Fordov patent izlaže nanošenje raspršivanjem niskofrictionog metalnog oksida (Mej 0), čime se stvara prevlaka radi povećanja otpornosti na habanje (scuffing) i smanjenja trenja u uslovima graničnog podmazivanja. Na taj način razvoj, koji je tribološki orijentisan i baziran na materijalima, ima direktan uticaj na budućnost značaja EP/AV aditiva i modifikatora trenja.

Razvoj motora Dajmler-Benc sa jednokratnim podmazivanjem u toku veka upotrebe motora, odnosno potpuno hermetički zatvorene unutrašnjosti motora, predstavlja bitno približavanje potpuno ekološkom motoru. Ovaj koncept već uključuje nove materijale. Tečno mazivo

treba da bude biološki brzodegradirajuće, a takođe i postojano tokom celog veka upotrebe motora, uz veoma malu količinu aditiva. Ključnu ulogu ima ugljeni klip, pošto ugljenik pokazuje osobine samopodmazivanja i dobre osobine na ekstremnim pritiscima. Ova konstrukcija nudi i smanjenu potrošnju goriva i smanjenu emisiju, pošto smanjena masa i toplotno širenje omogućavaju manje radne zapore [7].

Međutim, već kod današnjih niskih nivoa potrošnje ulja očekuju se problemi korozivnog habanja kod brzohodnih dizel motora sa hromiranim površinama prstenova. Korozivno habanje je „nemi ubica“ dizel motora. Njegovo postojanje i kontrola pomoću alkalnih deterdženata u ulju dobro su poznati, naširoko su ispitivani između 1940. i 1970. godine. U tom periodu najviše dizel motora je koristilo prstenove od sivog liva u cilindarskim košuljicama, i imali su nivo potrošnje ulja od 1,5–0,5% od potrošnje goriva. Nasuprot tome, praktično svi današnji brzohodni dizel motori rade sa nivoima potrošnje ulja od 0,25–0,10% od potrošnje goriva i koriste košuljice od sivog liva i kompresione prstenove sa hromiranim radnim površinama [8].

## Zaključak

Motorna ulja su važna konstruktivna sastavnica savremenih motora. Sve konstruktivne i tehnološke novine (primena novih antifrikcionih materijala, varijabilnih sistema na motoru, realizacija direktnog ubrizgavanja goriva u cilindar pomoću ulja pod pritiskom itd.) moraju da se reflektuju kroz nove pakete aditiva koji ne smeju da imaju zagađivače za katalizatore, kao što su fosfor i hlor, a

potrošnja ulja mora da bude daleko niža od današnje (manje od 0,1% potrošnje goriva) [9]. Svi ti zahtevi mogu da budu ispunjeni jedino pod uslovom da automobilska i petrohemijska industrija rade zajedno na formulaciji novih sredstava za podmazivanje.

*Literatura:*

- [1] Chamberlin, B.W., Sheahan, J.T.: Automotive Fuel Savings Through Selected Lubricants, SAE 750377.
- [2] Haller, R., Lehmann, U.: Reibungs- und Verschleißverhalten instationär belasteter Radialgleitlager, MTZ 7-8/1990., st. 320-326.
- [3] Schieber, G., Sander, W.: Heavy - Duty pistons for diesel engines, Karl Schmidt (publikacija).
- [4] Gradin, B.Z.: Analiza mehaničkih gubitaka dizel motora sa direktnim ubrizgavanjem, magistarski rad, 2000. g.
- [5] Monaghan, M.L.: Engine Friction - a Change In Emphasis The Institution of Mechanical Engineering BP, Tribology Lecture, 1987., pp. 14.
- [6] Plint, M.A., Aliston-Greiner, A.F.: Tribology, Lubrication and Wear, Tribology International, st. 225-229.
- [7] Woydt, M.: Once in a lifetime - Materials and fluid - based concepts for lifetime lubricated engines, Engine Technology International, Issue 3/1998, st. 36-39.
- [8] McGeehan, J.A., Kulkarni, A.V.: Wear control in diesels : influens of lubricants, Automotive Engineering, Volume 96, №9, sept. 1988, st. 56-61.
- [9] Pešić, R. i drugi: Trendovi u razvoju savremenih motora i pogonskih materijala za vozila. Stručno savetovanje GALAX '98, Kopaonik 1998., Zbornik radova, st. 127-137.