

Laura Petraru, Franz Novotny-Farkas

ISSN 0350-350X

GOMABN 51, 2, 148-165

Stručni rad / Professional paper

# UTJECAJ BIODIZELSKIH GORIVA NA MAZIVOST MOTORNIH ULJA PUTNIČKIH DIZELOVIH AUTOMOBILA

## Sažetak

U ovom radu se prati fizikalni i kemijski utjecaj sastavnica biodizela, koji su već na tržištu i onih koji će se koristiti, na performance tipičnog motornog ulja putničkog automobila niskog SAPS-a (sulfati-fosfati-sumpor). Osim metilnih estera masnih kiselina (FAME) koji se danas koriste, također se proučava i buduća generacija hidroobrađenih biljnih ulja (HVO) koja će se koristiti kao biogena sastavnica prilikom namješavanja goriva. U suvremenom 4-cilindarskom dizelovom motoru provedeni su karakteristični testovi gdje su korištena različita goriva koja sadržavaju biodizel, uz istovremeno obnavljanje filtra, kako bi se ostvarila visoka opterećenja i naprezanja motornog ulja. Uzorci korištenih motornih ulja su karakterizirani i uspoređivani nakon provedbe testova.

## 1. Uvod

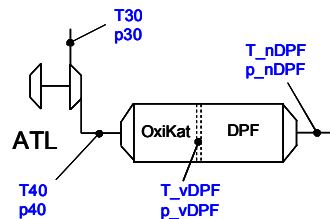
Današnji moderni dizelovi motori u osobnim automobilima opremljeni su odgovarajućim sustavom za naknadnu obradu ispušnih plinova kako bi se zadovoljili zahtjevi ograničenih vrijednosti emisije. Najčešći takav sustav jest kombinacija obnavljanja dizelova filtra čestica koje se ostvaruje naknadnim ubrizgavanjem goriva. Zbog postupka naknadnog ubrizgavanja, gorivo i derivati njegova izgaranja mogu prodrijeti u spremnik ulja motora kroz stijenku cilindra i klipne prstenove. Ovisno o njihovoj vrsti, mješavini i kvaliteti sastavnica korištenog biodizela i proizvoda njihove razgradnje, to razrjeđivanje može ozbiljno utjecati na funkcionalnost i performance vrhunskih motornih ulja.

## 2. Testni motor

Testni je motor moderni dizelov motor osobnog automobila s četiri cilindra. Maksimalni tlak ubrizgavanja od 1800 bara postiže se tzv. *common rail* sustavom ubrizgavanja. Predviđeni uljni kapacitet motora je 3,6 litara. Testni motor također upotrebljava promjenjivo optjecanje ispušnog plina (EGR) s EGR hlađenjem i turbopunjačem varijabilne geometrije. Za postupak testiranja koriste se oksidacijski katalizator i dizelov filter čestica (DPF) (slika 1).

Konvencionalno obnavljanje filtera čestica ostvaruje se naknadnim ubrizgavanjem goriva nakon prekoračenja određene razlike tlaka generirane od strane akumuliranih krutih čestica (PM). Kako bi se akumulirane čestice spalile u dizelovom filteru čestica, potrebno je povećati temperaturu na usisu filtera na oko 600 °C. Temperatura ispušnih plinova postiže se naknadnim ubrizgavanjem. Zbog naknadnog ubrizgavanja, visoka koncentracija neizgorjelog goriva može dospjeti u oksidacijski katalizator i povećati temperaturu na filtarskom usisu do potrebne temperature obnavljanja. Zbog naknadnog ubrizgavanja, gorivo razrjeđuje motorno ulje putem stijenke cilindra i klipnih prstenova. Obnavljanje dizelova filtra čestica ostvaruje se manipulacijom jedinice za kontrolu rada motora (ECU). Vrijeme obnavljanja za ove testove iznosi oko 20 minuta.

Displacement	1970	cm <sup>3</sup>
Maximum Power at 4000 rpm	103	kW
Maximum Torque at 1750 rpm	320	Nm
Compression Ratio	16,5	-
Cylinder	4	-
Bore	80,99	mm
Stroke	95,5	mm



Slika 1: Specifikacije motora i sustav za naknadnu obradu ispušnih plinova s oksidacijskim katalizatorom i filtrom dizelovih čestica

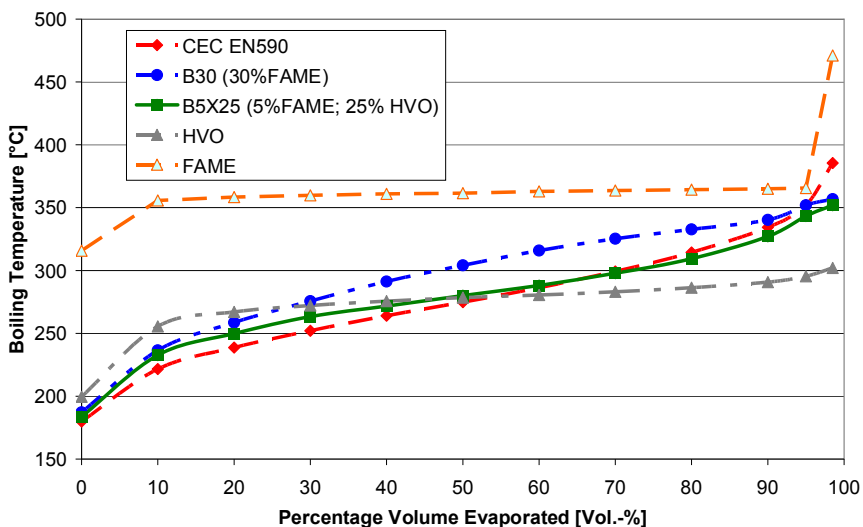
### 3. Testna goriva

Različiti sastav ugljikovodika u konvencionalnom dizelu rezultira širokim područjem vrenja. Kemijski sastav različitih ugljikovodika određuje svojstva goriva, kao primjerice donju ogrjevnu vrijednost, gustoću, cetanski broj i krivulju vrenja. Pri usporedbi konvencionalnog dizela s metilnim esterima masnih kiselina (FAME), nedostatak FAME-a postaje vidljiv: gotovo se može reći da FAME ima jedno vrelište, odnosno nema rastuću krivulju vrenja. Rastuća krivulja vrenja pogoduje paljenju goriva i izgaranju u cilindru. Kod hidroobrađenih biljnih ulja (HVO) treba uzeti u obzir uže područje vrenja. Hidroobrađena biljna ulja sastoje se od ravnolančanih parafinskih ugljikovodika koji ne sadrže parafinske ugljikovodike, kisik ni sumpor pa je njihov raspon vrenja sužen (slika 2).

Tablica 1 prikazuje sastave i osnovna svojstva testiranih goriva. Kao referentno gorivo korišten je dizel CEC EN590. B30 sastoji se od 30 % FAME-a i 70 % goriva CEC EN590. Treće testno gorivo B5X25 sadrži 5 % FAME-a, 25 % HVO-a i 70 % goriva CEC EN590. Vidljivo je da HVO ima nekoliko povoljnih svojstava, uključujući visoku toplinsku vrijednost, i ne sadrži aromatske ugljikovodike ni kisik. Cetanski broj HVO-a tipično je visok. HVO zadovoljava zahtjev za konvencionalno dizelsko gorivo (EN590), osim u pogledu niske granice gustoće. Kako ne bi došlo do kritične gustoće (820 kg/m<sup>3</sup>) prema EN590, udio HVO-a ne bi trebao biti viši od 25 %.

Tablica 1: Karakteristike testnih goriva, HVO-a i FAME-a

Karakteristike goriva	Referentno gorivo	Testna goriva		Sastavnice goriva	
		CEC EN590	B 30	B5X25	FAME
Gustoća pri 15 °C [kg/m <sup>3</sup> ]	836,2	849,4	824,5	883,5	778,5
Početno vrelište [°C]	179,9	187,2	183,7	315,8	199,5
Konačno vrelište [°C]	385,5	356,8	351,9	471,0	302,1
Cetanski broj [-]	54,0	53,2	60,0	53,1	>75
C [% m/m]	86,4	83,5	85,5		84,9
H [% m/m]	13,3	13,5	14,0		15,0
Kisik [%]	<0,1	3,3	0,6		<0,1
Ogrjevna vrijednost [MJ/kg]	42,9	41,1	42,8		43,8
Ogrjevna vrijednost [MJ/dm <sup>3</sup> ]	35,9	34,9	35,3		34,1
Ukupno aromatskih ugljikovodika [% m/m]	24,3	16,7	17,4		0,1



Slika 2: Destilacijska krivulja testnih goriva, HVO-a i FAME-a

#### 4. Testno motorno ulje

Korišteno motorno ulje niskog SAPS-a sintetičko je motorno ulje za osobne automobile, posebno dizajnirano za motore s dizelovim filtrom čestica, koje ispunjava zahtjeve specifikacija ACEA A3/B4 i VW 504 00 / 507 00. Pripada klasi viskoznosti SAE 5W-30. Tipična svojstva testnog motornog ulja prikazana su u tablici 2.

#### 5. Postupak testiranja

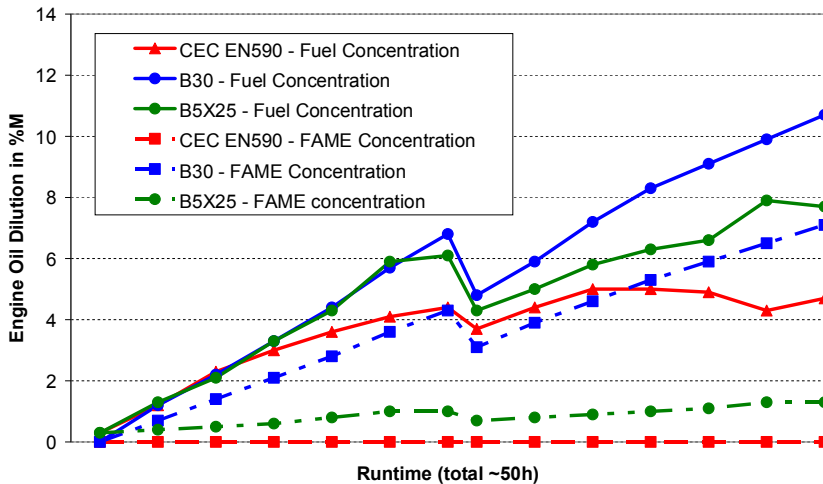
Kako bi se izložio utjecaj navedenih svojstava goriva na performance motornog ulja, testni ciklusi motora uključivali su kombinaciju obnavljanja dizelova filtra čestica i testove izdržljivosti pod visokim opterećenjem. Tijekom testiranja obavljeno je 12 obnavljanja dizelova filtra čestica. Ukupni postupak testiranja trajao je oko 50 sati po ispitnom gorivu. Uzorci su uzimani prije i poslije obnavljanja filtra.

#### 6. Rezultati i diskusija

Kao rezultat obnavljanja dizelova filtra čestica došlo je do nepovratnog razrjeđivanja ulja u spremniku motornog ulja. Uzrok tomu je viši raspon vrenja i karakteristična destilacijska svojstva mješavina biodizela u usporedbi s konvencionalnim dizelskim gorivom (slika 3). Stoga s testom izdržljivosti uz B30 dolazi do razrjeđenja ulja od oko 11 %. Razina razrjeđenja referentnog goriva CEC je otprilike 5 % niža. Zamijeni li se FAME s HVO-om, razrjeđenje ulja smanjuje se na oko 8 %. Objašnjenje je niži raspon vrenja sintetičkih biogoriva u usporedbi s FAME-om. Zbog dodatka ulja u sredini testa izdržljivosti, razina ulja se diže. Slika 3 pokazuje brzine razrjeđivanja ulja tijekom testa. Pretjerano razrjeđivanje ulja može uzrokovati probleme pri podmazivanju motora zbog smanjenih performanci ulja i koncentracije aditiva, te neželjene kemijske interakcije. Najmanje što se može dogoditi jest da razrjeđivanje ulja smanjit servisne intervale između zamjena ulja, jednako kao i učinkovitost funkcionalnih aditiva pri zaštiti od trošenja. Prihvatljive i uobičajene maksimalne brzine razrjeđivanja goriva mogu dosegnuti raspon od 2-5 %.

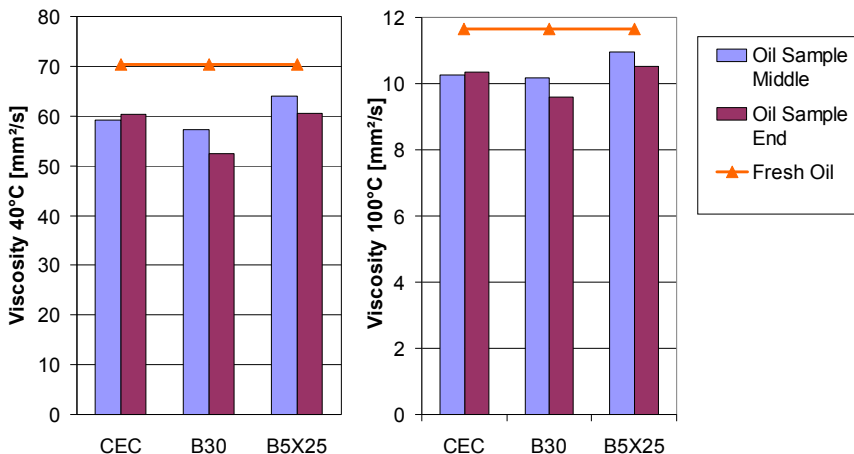
Tablica 2: Tipična svojstva testnog motornog ulja

Svojstva ulja	Vrijednosti	Jedinica
Gustoća pri 15 °C	850	kg/m <sup>3</sup>
Plamište COC	231	°C
Gradacija viskoznosti	5W-30	SAE
Viskoznost pri 40 °C	70,80	mm <sup>2</sup> /s
Viskoznost pri 100 °C	11,60	mm <sup>2</sup> /s
Indeks viskoznosti	160	-
CCS pri -30 °C	6277	mPa s
Tecište	<-39	°C
Sulfatni pepeo	0,80	%wt
Sadržaj sumpora	2200	mg/kg
Sadržaj fosfora	750	mg/kg



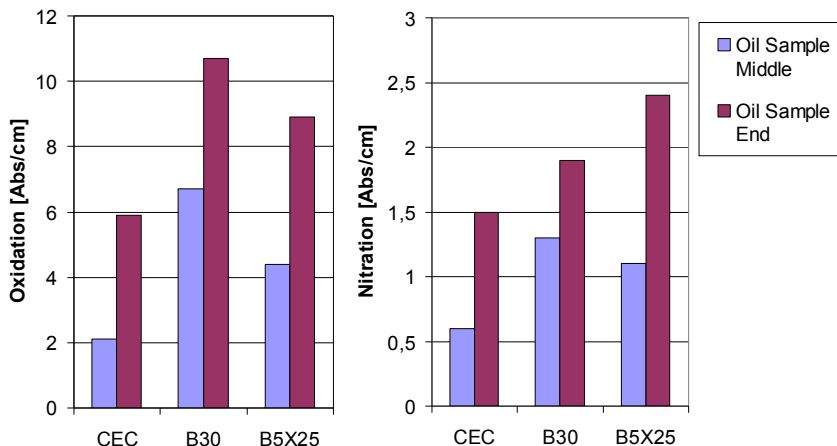
Slika 3: Razrjeđivanje motornog ulja različitim testnim gorivima tijekom testa izdržljivosti

Što se tiče viskoznosti, ponašanje motornog ulja u sredini i na kraju testa izdržljivosti odgovara ranom smanjenju zbog mehaničkog smicanja i razrjeđivanja ulja gorivom, nakon čega slijedi porast uzrokovan produktima starenja i isparavanjem nisko-ispavne uljne frakcije. Najveći učinak opažen je kod testnog goriva B30, koje se sastoji od 30% FAME-a. U cjelini, čini se da fizički utjecaj nakon testa izdržljivosti nije kritičan (Slika 4).

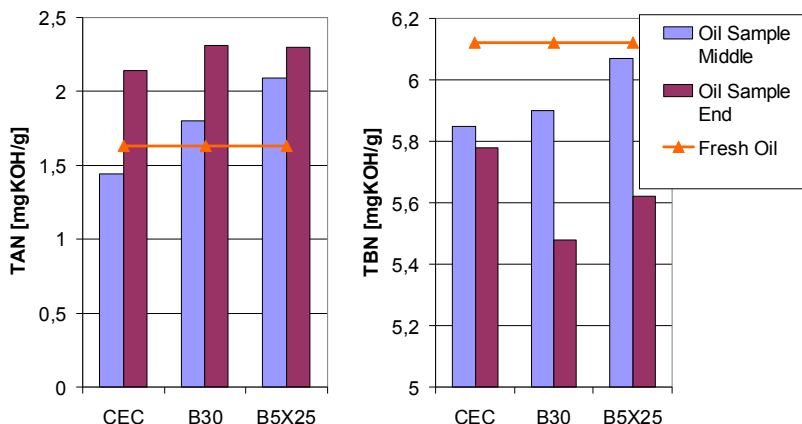


Slika 4: Viskoznost ulja niskog SAPS-a u sredini i na kraju testa izdržljivosti

Slika 5 prikazuje glavne kemijske pokazatelje starenja ulja, kao što su oksidacijski i nitracijski broj (utvrđeno FT-IR spektroskopijom, prema DIN 51453), u sredini i na kraju testa izdržljivosti. Razrjeđivanje ulja gorivom B30 dovodi do ubrzanog starenja motornog ulja. Zamjenom FAME-a s HVO-om postiže se smanjenje oksidacijskog broja. Razlog postizanja toga učinka je to što u HVO-u nema kisika. Što se tiče nitracijskog broja, veća je vrijednost utvrđena u slučaju testnog goriva koje sadrži HVO (B5X25). Varijabilan, ali ne i kritičan učinak vidljiv je prema ukupnom baznom broju (TBN) i ukupnom kiselinskom broju (TAN), vidi Sliku 6.

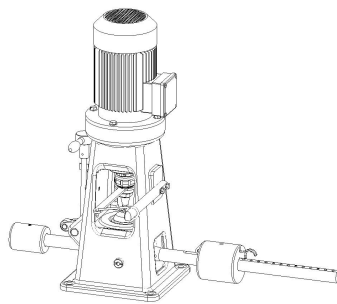


Slika 5: Oksidacijski i nitracijski brojevi ulja niskog SAPS-a u sredini i na kraju testa izdržljivosti

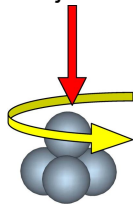


Slika 6: Ukupni bazni broj (TBN) i ukupni kiselinski broj (TAN) kod ulja niskog SAPS-a u sredini i na kraju testa izdržljivosti

Osim što mijenjaju viskozimetrijska svojstva maziva, biogorivo i produkti njegove razgradnje mogu također stupiti u interakciju s aditivima u mazivu i utjecati na njihove performace. Djelomično oksidirane komponente mogu se sukobiti sa ZDDP aditivima protiv trošenja na metalnim površinama. Karakteristike trošenja ulja kontaminiranog biogorivom ispitane su uz pomoć testnog uređaja s četiri kuglice te visokofrekventnim, linearno oscilirajućim SRV testnim uređajem.



Testni uređaj s četiri kuglice



Geometrija uzorka

### Parametri testiranja

#### Okretaji u minuti (Rpm)

- 10 - 5800 1/min

#### Opterećenje

- 100 - 12000 N

#### Temperatura

- -30 - 150 °C

#### Vrsta kretanja

- Klizanje, valjanje

#### Stanje trenja

- Mješovito trenje, EHD

#### Kontaktna geometrija

- Točka kontakta

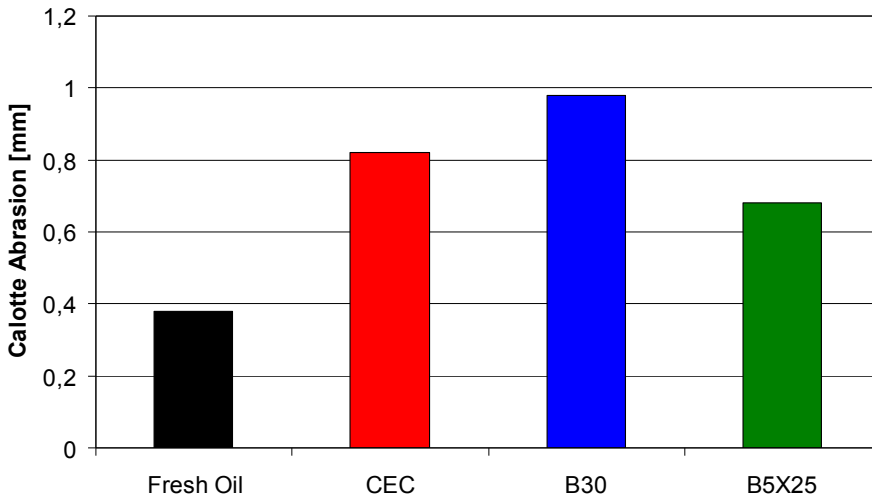
#### Mjerenja

- Okretni moment trenja, temperatura, prijelazni otpor, promjer traga trošenja

Slika 7: Testni uređaj s četiri kuglice i specifični parametri testiranja

Uređaj s četiri kuglice testni je uređaj standardiziran prema DIN 51350 dio 1 i koristi se za određivanje opterećenja vara i metala (DIN 51350 dio 2 i 3), kao i za različita svojstva maziva koja se odnose na trenje i trošenje (DIN 51350 dio 4 i 5). Kuglica valjnog ležaja rotira pod pritiskom i pri stalnoj brzini na tri fiksne čelične kuglice. Ovo postupno povećanje normalne sile (kontaktni pritisak) omogućuje određivanje opterećenja vara, zaštite od trošenja i koeficijenata trenja maziva. Trošenje se određuje optičkim mjerenjem nastalog promjera traga trošenja, odnosno područja potoline nastalog trošenjem (slika 7).

Ispitivanjem sposobnosti podnošenja opterećenja kod motornog ulja nakon testa izdržljivosti utvrđeno je da mješavina B30 dovodi do povećanog trošenja motora, što je vidljivo po većem promjeru traga trošenja, vidi sliku 8. Taj se učinak smanjuje uvođenjem hidroobrađenog biljnog ulja (HVO) s biogenom sastavnicom (B5X25).

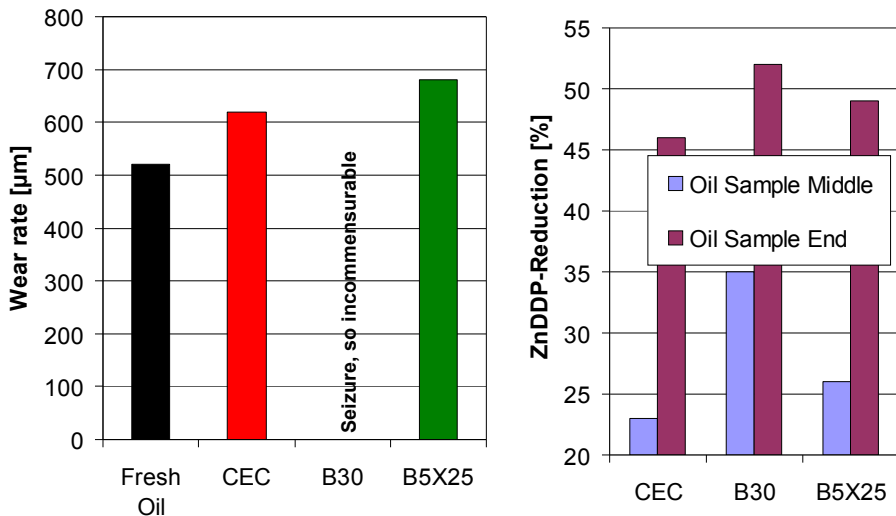


Slika 8: Promjer traga trošenja kod ulja niskog SAPS-a na kraju testa izdržljivosti

Druga standardna testna metoda za ispitivanje potencijala zaštite od trošenja ulja s niskim SAPS-om na kraju testa izdržljivosti je tzv. SRV testni postupak (visokofrekventni, linearno oscilirajući). SRV testni uređaj konstruiran je na način da simulira vrlo male pomake u uvjetima poznatog opterećenja, brzine i kontrole okoliša. Testne metode uključuju postupke za određivanje koeficijenta trenja mazivog ulja i njegove sposobnosti da štiti od trošenja kad je podvrgnut visokofrekventnom, linearno-oscilacijskom gibanju pri testnom opterećenju od 50 do 1600 N, frekvenciji od 50 Hz, amplitudi hoda od 1,0 mm, trajanju od 2 h, i temperaturi u rasponu od  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $280\text{ }^{\circ}\text{C}$  (DIN 51834-2).

U ovom slučaju korišten je gornji oscilirajući uzorak s definiranim parametrima na fiksiranom donjem uzorku i odabrana je točka kontakta. Slika 9 pokazuje abraziju testnog tijela. Tijekom testnog postupka, B30 pokazuje tzv. izjedanje (slika 9a). Zbog kemijskih reakcija motornog ulja i apsorbiranog FAME-a, zabilježeno je rapidno smanjenje aditiva protiv trošenja, i posljedica je izjedanje tijekom SRV testnog postupka. Slika 9b pokazuje smanjenje ZnDDP-a izmjereno FT-IR-spektroskopijom. Zamijeni li se FAME s HVO-om, brzina trošenja se smanjuje.





Slika 9: a) Rezultati SRV testa trošenja b) smanjenje aditiva protiv trošenja (ZnDDP) u ulju niskog SAPS-a na kraju testa izdržljivosti

## 7. Zaključak

Zbog višeg raspona vrenja metilnih estera masnih kiselina (FAME), zapaženo je veće razrjeđivanje goriva u motornom ulju za testno gorivo koje sadrži FAME, u modernom dizelovom motoru s dizelovim filtrom čestica, primjenom aktivnih obnavljanja dizelova filtra čestica realiziranih naknadnim ubrizgavanjem. Zamjeni li se FAME s hidroobrađenim biljnim uljima (HVO), razrjeđivanje goriva može se smanjiti. Povišeni sadržaj FAME-a može dovesti do potencijalnog slabljenja performansi kod motornih ulja niskog SAPS-a. Pri tome se bilježi ubrzana potrošnja uljnih aditiva i smanjenje sposobnosti zaštite od trošenja. Ovaj se učinak može ublažiti zamijene li se metilni esteri masnih kiselina (FAME) s hidroobrađenim biljnim uljima (HVO).

### Literatura

1. Hermann K., *Auswirkung der Regeneration von Dieselpartikelfilter auf die Schmierstoffqualität*, MTZ, 06/2008.
2. Luther R., *Alternative Kraftstoff aus Sicht der Motorschmierung*, MTZ, 03/2008.
3. DIN 51350, *Testing of lubricants – Testing in the four-ball tester*, 2010.
4. DIN 51834-2, *Tribological test in the translatory oscillation apparatus – Part 2: Determination of friction and wear data for lubricating oils*, 2010.
5. Mang T., Dresel W., *Lubricants and Lubrication*, Wiley-VCH, 2007.

**Ključne riječi:** biodizel, razrjeđivanje ulja, motorno ulje niskog SAPS-a, SRV test

**Autori:** Laura Petraru, e-mail: Laura.Petraru@omv.com;  
dr. Franz Novotny-Farkas, OMV Refining & Marketing GmbH, Austria

**Primljeno:** 03.10.2011.

**Prihvaćeno:** 23.01.2012.