

Omer Kovač, Danka Šikuljak, Tamara Evđić, Jadranka Vujica

ISSN 0350-350X

GOMABN 54, 1, 8-19

Stručni rad / Professional paper

# UTJECAJ BIODIZELA NA PROMJENE MOTORNOG ULJA KOD PROVOĐENJA VISOKOTEMPERATURNOG MOTORNOG TESTA

## Sažetak

*Kao obnovljivo i alternativno gorivo, biodizel je u posljednjih petnaestak godina predmet brojnih istraživanja, između ostalog i ispitivanja utjecaja na performanse motora i motornih ulja. Upotreba biodizela ima cijeli niz prednosti, međutim, biodizel pokazuje i neke nedostatke koji su uočeni njegovom primjenom.*

*Primjenom biodizela dolazi do njegovog akumuliranja u ulju, a time i do razrjeđenja ulja. Prekomjerno razrjeđenje ulja može stvoriti probleme pri radu motora. Zbog akumuliranja biodizela u ulju dolazi do pada viskoznosti ulja, stvaranja povećane količine oksidacijskih produkata, taloga i pogoršanja niskotemperaturnih osobina. Pored toga, razrjeđenje motornog ulja može utjecati na skraćivanje intervala zamjene ulja, efikasnost djelovanja paketa aditiva, kao i pojačanu koroziju, i to prije svega obojenih metala. U ovom radu je praćen utjecaj biodizela na kvalitetu motornog ulja kod provođenja visokotemperaturnog motornog testa. Za ispitivanje je korišteno motorno ulje viskozitetne gradacije SAE 15W-40. Ispitivano motorno ulje ispunjava zahtjeve o kvaliteti vodećih proizvođača motora, kao što su: MB, MAN, VOLVO. Ispitivanje je obavljeno na motoru uz točno definirane uvjete rada. Kao pogonsko gorivo je korištena mješavina dizela i biodizela. Paralelno je ispitivan utjecaj biodizela na koroziju obojenih metala (Pb, Cu, Sn), kao i utjecaj biodizela na procese oksidacije ulja.*

**Ključne riječi:** biodizel, motorni test, motorno ulje, oksidacija, korozija

## 1. Uvod

Zbog velikog globalnog interesa za gorivima iz obnovljivih izvora sve više se potiču brojna istraživanja i primjena biodizela kao jednog od alternativnih goriva. Osim smanjenja ovisnosti o fosilnim gorivima, značajan aspekt primjene biodizela predstavlja i zaštita životne sredine. U odnosu na fosilni dizel, biodizel potpunije izgara, ima viši cetanski broj, ne sadrži arome i doprinosi smanjenju zagađenja okoliša. Dobiva se procesom transesterifikacije, tj. kemijskom reakcijom triglicerida iz biljnih i životinjskih ulja i masti s metanolom uz prisutnost katalizatora [1,2].

Međutim, kada se govori o primjeni biodizela i dalje postoje brojna ograničenja i oprečna mišljenja. Naime, pored njegovih prednosti on pokazuje i negativan utjecaj na motor i motorno ulje. Kada se radi o utjecaju na motor, to su prije svega problemi vezani za potencijalnu nekompatibilnost s pojedinim materijalima, pojavu korozije, taloga i sl. Kod upotrebe biodizela u koncentraciji ispod 20 % efekt navedenih pojava je znatno smanjen. S gledišta podmazivanja, biodizel ima tendenciju akumuliranja u karteru, što vodi razrjeđenju motornog ulja. Oksidacijski procesi koji se javljaju kao posljedica prisutnosti biodizela vode povećanom stvaranju naslaga i koroziji obojenih metala u motoru [3-5].

Cilj ovog rada je da se utvrdi negativan utjecaj biodizela na kvalitetu, tj. na promjene koje se događaju u motornom ulju kod rada motora u realnim uvjetima rada. Pored toga dobiveni rezultati korozije usporedit će se s rezultatima laboratorijskih ispitivanja korozivnosti biodizela, upotrebom metode ASTM D 6594, čiji su rezultati izraženi preko količine bakra, olova i kositra prisutnih u motornom ulju.

## 2. Eksperimentalni dio

### 2.1. Metode i materijali

#### Motorno ulje

Za ispitivanje utjecaja biodizela na kvalitetu motornog ulja kod provođenja visokotemperaturnog motornog testa korišteno je motorno ulje kvalitetne razine i karakteristika navedenih u tablici 1.

Tablica 1: Kvalitetna razina i karakteristike korištenog motornog ulja

MOTORNO ULJE			
Kvalitetna razina			API CI-4/CF/SL; ACEA E7/E5/E3/A3/B4; MB 228.3/229.1; MAN 3275-1; VDS-3
Viskozna gradacija			SAE 15W-40
Karakteristike	Metoda	Jedinica	
Viskoznost na 100 °C	BAS ISO 3104	mm <sup>2</sup> /s	14,76
Indeks viskoznosti	BAS ISO 2909	-	147
Gustoća na 15 °C	ASTM D 5002	kg/m <sup>3</sup>	867
TBN	BAS ISO 3771	mg KOH/g	10,30
TAN	ASTM D 664	mg KOH/g	3,87
Točka paljenja	ISO 2592	°C	238
Točka tečenja	BAS ISO 3016	°C	-27
Prividna viskoznost na CCS-u na -20 °C	ASTM D 5293	mPas	5500

### Motorni test

Za potpunu ocjenu kvalitete motornog ulja u stvarnim uvjetima rada izvršeno je ispitivanje na motoru po točno utvrđenoj proceduri. Procjena utjecaja biodizela u realnim uvjetima eksploatacije je učinjena uz provođenje visokotemperaturnog testa na dizelovom motoru VW 1.9 SDI po proceduri CEC-L-78-T99 koju je propisao proizvođač motora, u trajanju od 56 mh rada motora [6]. Tijekom testa su praćene promjene u ulju, kontrolom fizikalno-kemijskih i kemijskih karakteristika ulja, kao i promjene metala trošenja (Cu, Pb, Cr, Fe). Osim toga, u skladu s propisanom standardnom procedurom za ovaj test, izvršena je i ocjena vitalnih dijelova motora. Kako bi se izvršila usporedba, napravljena su dva motorna testa, pri čemu je u jednom motor pogonjen čistim dizelom, a u drugom dizelom s 10 % biodizela. Test traje 56 mh, tijekom kojih se konstantno smjenjuju dva ciklusa (jedan ciklus 30 min, drugi ciklus 150 min). Tijekom izvođenja testa postignuti su prosječni uvjeti dani u tablici 2.

Tablica 2: Uvjeti postignuti tijekom izvođenja motornog testa

PROSJEČNI UVJETI TESTA		1 ciklus	2 ciklus
Vrijeme trajanja	min	30	150
Broj okretaja	o/min	900	3600
Temperatura ulja u karteru	°C	80	140
Temperatura vode (izlaz)	°C	57	89
Tlak ulja	bar	2,8	2,5
Temperatura ispušnih plinova	°C	125	640

### 2.2. Rezultati ispitivanja i rasprava

Prema navedenom testu izvršeno je ispitivanje pri čemu je kao pogonsko gorivo korištena mješavina dizela i biodizela (B10). Pored toga, s istim uljem je napravljen i motorni test s dizelom kao pogonskim gorivom.

Ispitivani uzorci su označeni na sljedeći način:

TD-1	Motorni test rađen dizelskim gorivom
TB-1	Motorni test rađen gorivom B10

Nakon završetka oba motorna testa izvršena je kompletna analiza motornih ulja, pri čemu su dobivene ispitne karakteristike prikazane u tablicama 3 i 4.

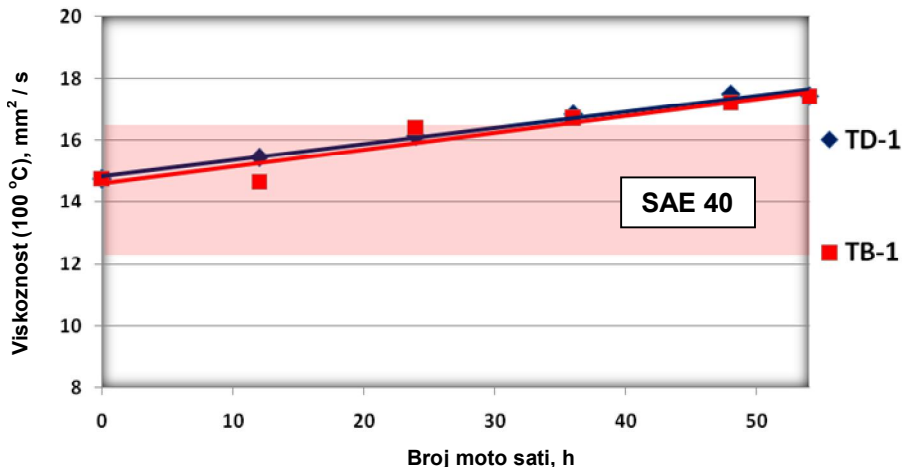
Tablica 3: Rezultati ispitivanja motornog ulja iz testa TD-1

Karakteristike	Jedinica	Svjež uzorak	Nakon 12 h	Nakon 24 h	Nakon 36 h	Nakon 48 h	Nakon 56 h
$\nu$ (40 °C)	mm <sup>2</sup> /s	104,26	109,05	114,97	122,79	123,7	128,94
$\nu$ (100 °C)	mm <sup>2</sup> /s	14,76	15,46	16,16	16,84	17,53	17,44
IV	-	147	151	153	151	158	151
TBN	mgKOH/g	10,77	10,23	10,37	10,24	10,15	10,20
TAN	mgKOH/g	3,87	3,72	4,25	4,68	4,80	5,22
Točka paljenja	°C	238	253	240	244	242	249
Fe	ppm	-	19,8	36,93	48,03	72,9	93,64
Pb	ppm	-	8,59	19,81	23,26	27,58	34,44
Cr	ppm	-	0	0	0	0	0
Cu	ppm	-	1,25	2,99	3,24	4,87	5,49
Čađa (4000 cm <sup>-1</sup> )	%	-	0,82	1,238	1,74	2,254	2,134
Oksidacija DIN (1710 cm <sup>-1</sup> )	Abs/cm	-	0,455	1,343	3,885	5,474	5,45

Tablica 4: Rezultati ispitivanja motornog ulja iz testa TB-1

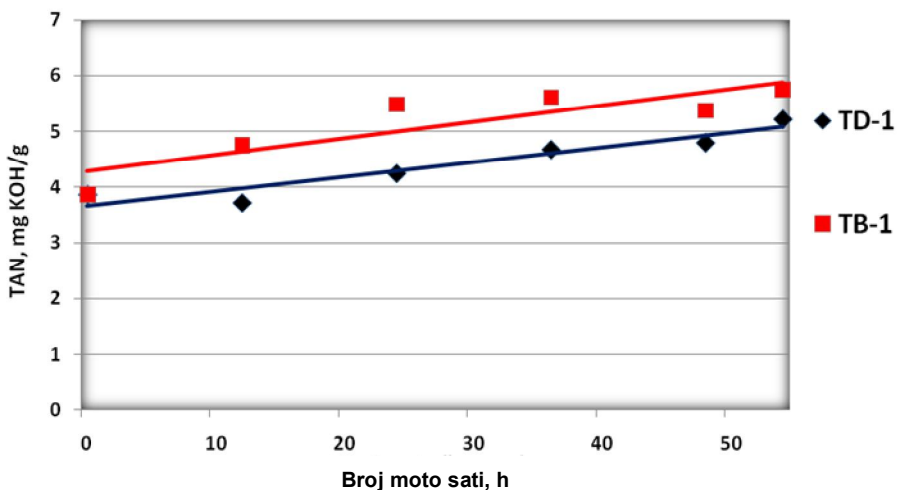
Karakteristike	Jedinica	Svjež uzorak	Nakon 12 h	Nakon 24 h	Nakon 36 h	Nakon 48 h	Nakon 56 h
$\nu$ (40 °C)	mm <sup>2</sup> /s	104,26	104,08	111,34	119,68	127,23	125,61
$\nu$ (100 °C)	mm <sup>2</sup> /s	14,76	14,67	16,43	16,71	17,20	17,40
IV	-	147	146	159	151	148	152
TBN	mgKOH/g	10,77	10,72	10,33	10,25	10,15	10,09
TAN	mgKOH/g	3,87	4,76	5,48	5,61	5,37	5,75
Točka paljenja	°C	238	237	255	267	255	265
Fe	ppm	-	12,9	33,5	53,1	68,8	72,3
Pb	ppm	-	1,0	2,1	2,9	3,4	3,5
Cr	ppm	-	1,0	2,6	3,7	4,6	4,8
Cu	ppm	-	2,3	2,8	3,5	4,2	4,0
Čađa (4000 cm <sup>-1</sup> )	%	-	0,472	1,254	1,882	2,558	3,071
Oksidacija DIN (1710 cm <sup>-1</sup> )	Abs/cm	-	0,44	1,508	3,275	9,853	11,407

Na slici 1 su prikazani rezultati ispitivanja viskoznosti na 100 °C, kao i granične vrijednosti viskoznosti za gradaciju SAE 40 (12,5 do 16,3 mm<sup>2</sup>/s).



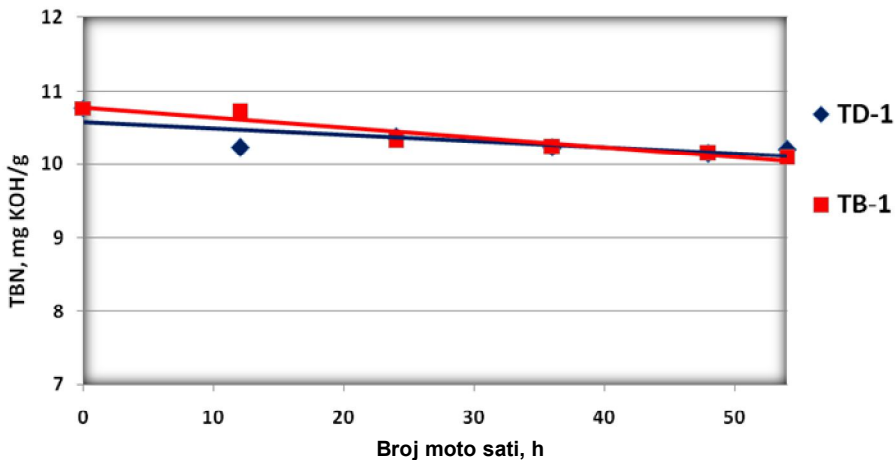
Slika 1: Promjena viskoznosti s brojem moto sati

Tijekom izvođenja testa dolazi do stalnog porasta viskoznosti ulja, čija vrijednost nakon 30 mh izlazi iz granica definiranih za gradaciju SAE 40. Zbog ugušćenja, koje se javlja kao posljedica oksidacije i polimerizacije, kao i zbog povećane čađe, ulje prelazi u višu viskozitetnu gradaciju.



Slika 2. Promjena kiselinskog broja s brojem moto sati

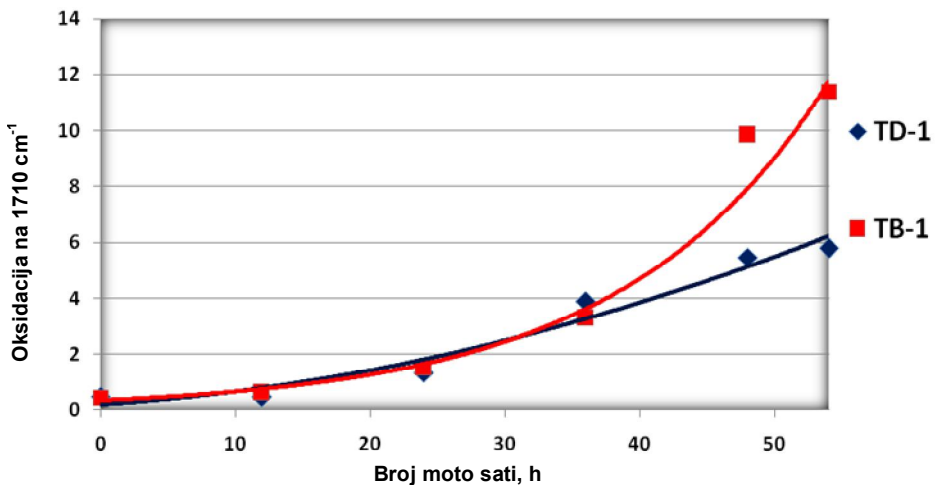
Ispitivanja su pokazala da tijekom testa dolazi do stalnog porasta vrijednosti TAN-a. Veće vrijednosti su uočene kod testa s gorivom B10.



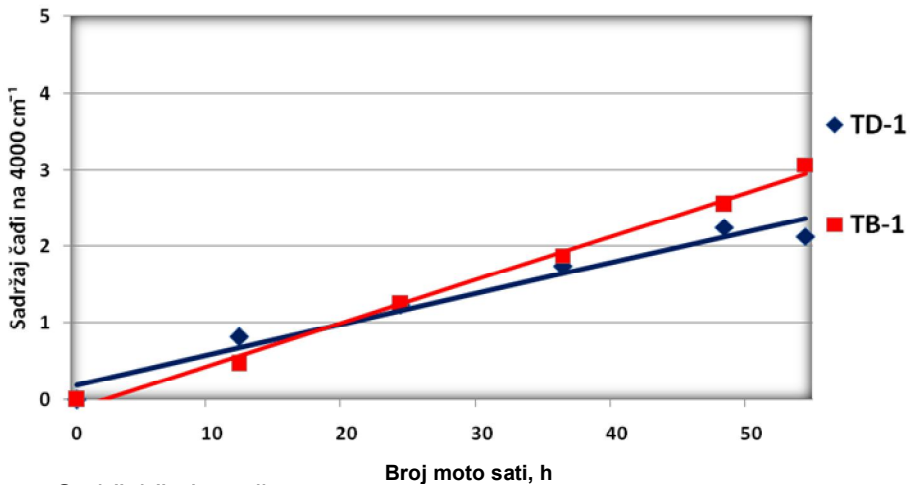
Slika 3: Promjena baznog broja s brojem moto sati

Na slici 3, na kojoj je prikazana promjena TBN-a (ukupan bazni broj), uočava se da tijekom izvođenja testa nije došlo do značajnijeg pada njegove vrijednosti (min. vrijednost 10 mg KOH/g), tako da ulje i dalje posjeduje značajnu alkalnu rezervu koja mu omogućava neutralizaciju kiselih produkata i produžen vijek upotrebe.

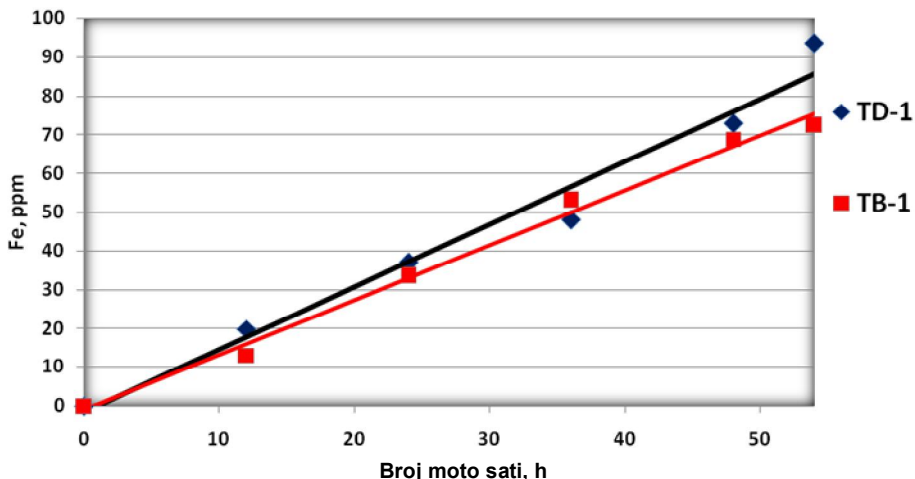
Na ulju iz testa TB-1 je uočen značajan porast točke paljenja. Ova pojava je najvjerojatnije posljedica akumulacije biodizela u karтеру, čija prisutnost vodi oksidaciji i polimerizaciji čime nastaju visokomolekularni spojevi visoke točke paljenja.

Slika 4: Apsorpcija na 1710 cm<sup>-1</sup>

Analizom FT-IR spektra utvrđeno je da tijekom motornog testa, s porastom broja moto sati dolazi do povećanja apsorpcije na  $1710\text{ cm}^{-1}$  (oksidacija). U drugoj polovici testa, značajnije su promjene kod testa s biodizelom, TB-1. Ove vrijednosti su u okviru dopuštenih granica. Rezultati ispitivanja ulja su pokazali trend povećanja sadržaja čađe u ulju, s povećanjem broja moto sati. Veća količina čađe se zapaža kod motornog ulja koje kao pogonsko gorivo koristi kombinaciju dizela i biodizela, test TB-1. Količina čađe je porasla do maksimalne vrijednosti od 3,5 %. Budući da je tijekom testa došlo do porasta viskoznosti, kao jedna od pretpostavki uzroka te pojave jest i visok sadržaj čađe koji se akumulirao u ulju.

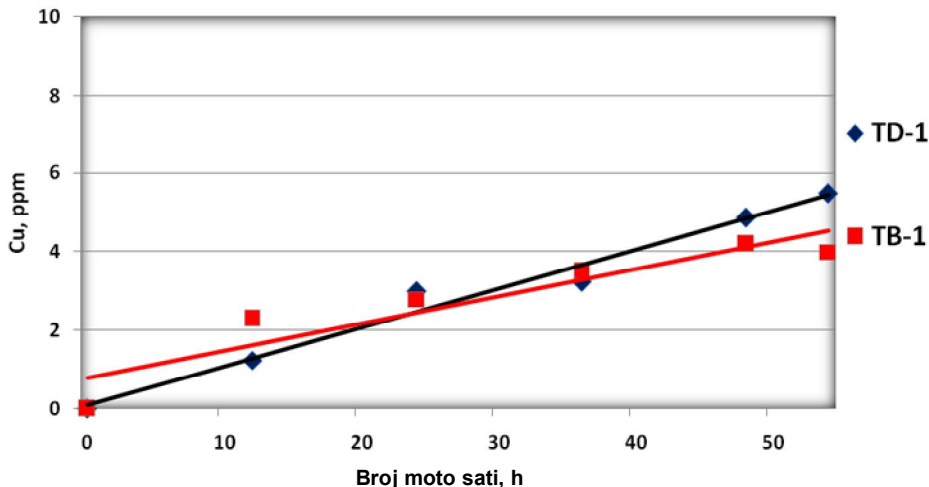


Slika 5: Sadržaj čađe u ulju



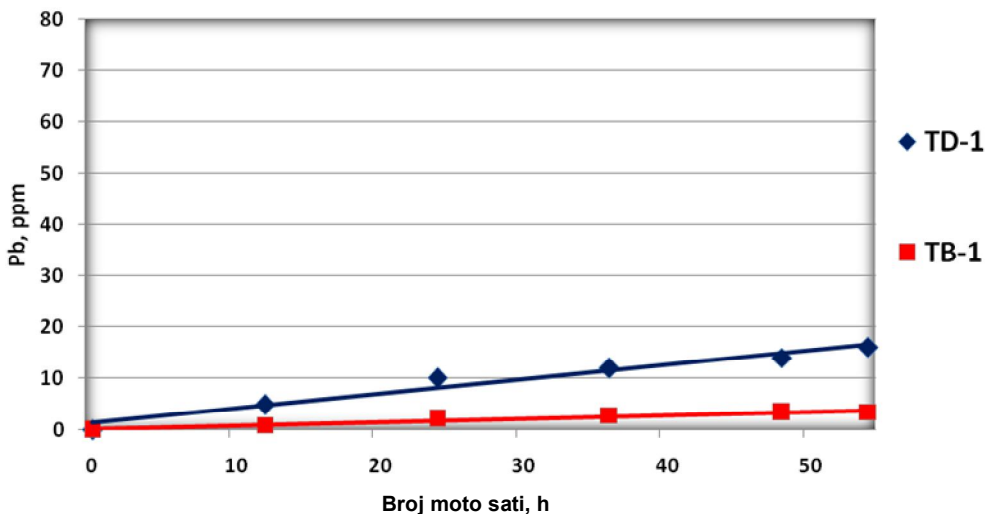
Slika 6: Sadržaj Fe u ulju s promjenom broja moto sati

Iz slike 6 se uočava trend porasta sadržaja Fe u ulju s brojem moto sati. U oba ulja sadržaj Fe se kreće ispod 100 ppm, što ukazuje na razmjerno nizak stupanj trošenja u motoru i dobro podmazivanje.



Slika 7: Sadržaj Cu u ulju s promjenom broja moto sati

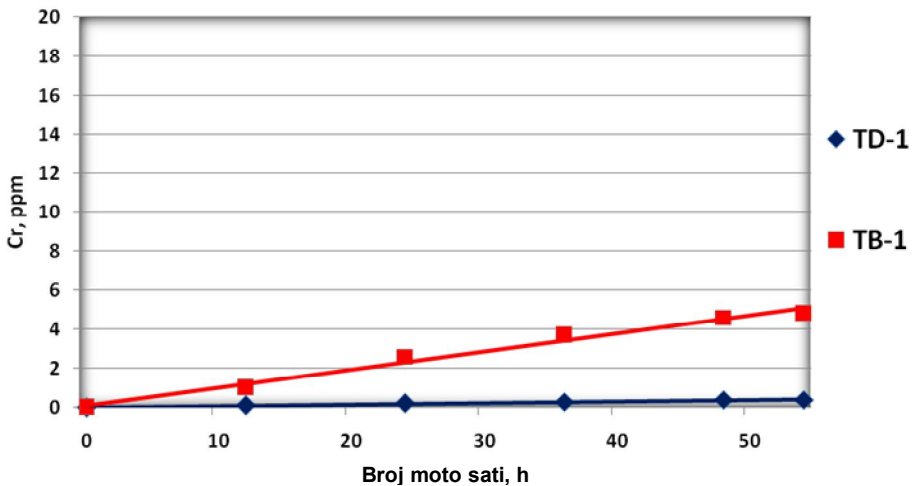
Na osnovi slike 7 uočava se da su koncentracije bakra u ulju prilično niske. Ovako niske vrijednosti ukazuju na to da nije došlo do značajnijeg trošenja ležajeva u motoru, kao i na nizak stupanj korozije bakra.



Slika 8: Sadržaj Pb u ulju s promjenom broja moto sati

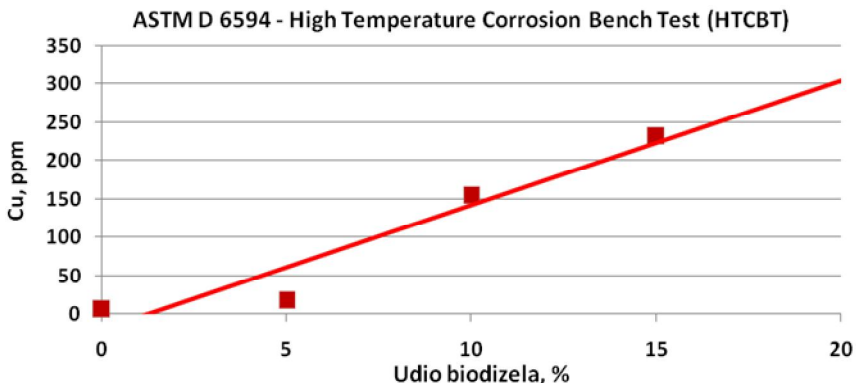


Vrijednosti količine olova kod testa s biodizelom su vrlo niske. Nešto veće vrijednosti su kod testa s dizelskim gorivom, ali daleko ispod dopuštenih granica.

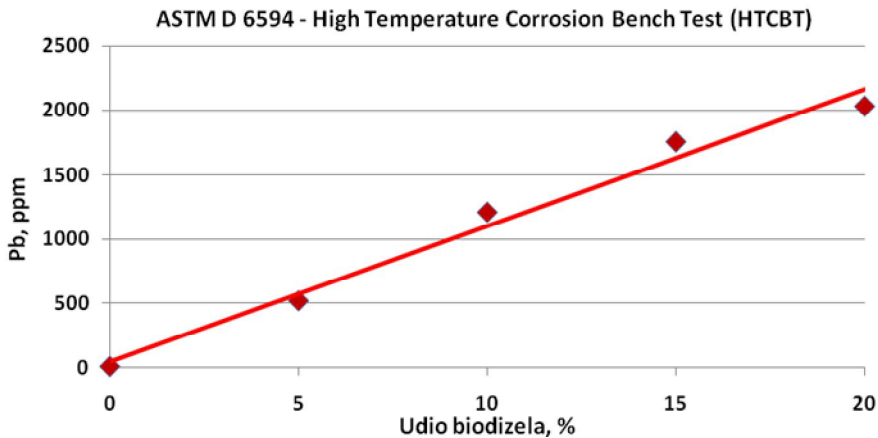


Slika 9: Sadržaj Cr u ulju s promjenom broja moto sati

Na temelju dijagrama 9 može se konstatirati da s povećanjem broja moto sati dolazi do neznatnog povećanja sadržaja kroma u ulju. Tijekom ranijih istraživanja u laboratorijskim uvjetima je obavljeno ispitivanje korozivnog djelovanja biodizela na obojene metale. Za ovu namjenu je korištena metoda ASTM D 6594 *High Temperature Corrosion Bench Test* (HTCBT). Navedenu metodu karakteriziraju sljedeći uvjeti rada: trajanje testa 168 sati, temperatura testa 135 °C i protok zraka od 5 L/h. Za ovo ispitivanje motorno ulje je namiješano s 5, 10, 15 i 20 % biodizela. Nakon završetka testa izvršeno je određivanje sadržaja bakra, olova i kositra u ulju [7].



Slika 10: Koncentracija bakra u ulju u ovisnosti o udjelu biodizela



Slika 11: Koncentracija olova u ovisnosti o udjelu biodizela

Mjerenjem koncentracije bakra i olova u ulju nakon završetka testa su dobiveni rezultati prikazani na slikama 10 i 11. Sadržaj kositra u ulju je zanemariv. Iz slika 10 i 11 se uočava iznimno visok stupanj korozije na bakru i olovu, kao posljedice povećanja udjela biodizela. U odnosu na rezultate korozije dobivene ispitivanjem u motornom testu ove vrijednosti su znatno više.

### 2.3. Ocjena motora

Pored ocjene motornog ulja, nakon završetka motornih testova, izvršena je i kompletna ocjena vitalnih dijelova motora, prema standardnoj proceduri IP 279/72. Dobiveni rezultati su prikazani u tablicama 5 i 6.

Tablica 5: Ocjene kod provođenja motornog testa TD-1

Ocjenjivano		Broj klipa			
		1	2	3	4
Ukupna ocjena		74,48	66,54	66,18	67,28
Prosječna ocjena		68,7			
Stanje klipnog prstena	Prvi	10	10	10	10
	Drugi	10	10	10	10
	Treći	10	10	10	10

Tablica 6: Ocjene kod provođenja motornog testa TB-1

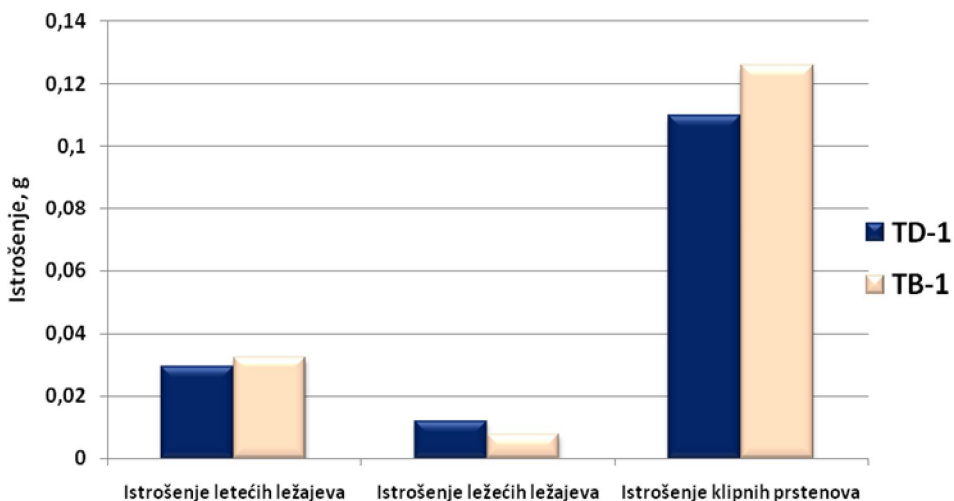
Ocjnjivano		Broj klipa			
		1	2	3	4
Ukupna ocjena		69,32	63,61	60,63	67,01
Prosječna ocjena		65,14			
Stanje klipnog prstena	Prvi	10	10	10	10
	Drugi	10	10	10	10
	Treći	10	10	10	10

Na osnovi navedenih podataka, u realnim uvjetima ispitivanja uz korištenje goriva B10, ne dolazi do negativnih štetnih posljedica na motor i ulje.

Vaganjem istrošenosti ležajeva i klipnih prstenova dobiveni su rezultati dani u tablici 7 i prikazani na slici 12.

Tablica 7: Komparativna tablica istrošenosti pojedinih dijelova motora

	TD-1	TB-1
Istrošenje letećih ležajeva, g	0,0294	0,0324
Istrošenje ležećih ležajeva, g	0,0120	0,0075
Istrošenje klipnih prstenova, g	0,1095	0,1256



Slika 12: Istrošenost dijelova motora

Rezultati ocjene vitalnih dijelova motora pokazuju da ne postoji značajna razlika kod testa s dizelom i gorivom B10.

## Zaključak

1. Promjene fizikalno-kemijskih karakteristika kod primjene dizela B10 se bitno ne razlikuju od karakteristika kod korištenja klasičnog dizela, pri provođenju visokotemperaturnog motornog testa na dizelovom motoru VW 1.9 SDI.
2. Rezultati istrošenosti ležajeva i klipnih prstenova, kao i sadržaja metala trošenja u ulju pokazuju jako niske vrijednosti kod oba tipa goriva. Na osnovi ovih vrijednosti može se zaključiti da motorno ulje ove kvalitetne razine ima dobra svojstva protiv trošenja.
3. Kod oba testa klipni prstenovi su bili potpuno slobodni, što ukazuje na dobra detergentna svojstva testiranog ulja.
4. Cjelokupna ispitivanja su pokazala da pri upotrebi biodizela B10 i kvalitetnog motornog ulja nema negativnih utjecaja na stanje ulja i na vitalne dijelove motora.

## Literatura

1. F. MUŠTOVIĆ; *Biogoriva-proizvodnja, primjena i razvoj motornih goriva biološkog porijekla*, Sarajevo, 2011.
2. W. JIANG, C. BOSHUI; *Effect of Biodiesel on Oxidation Stability, Detergency and Antiwear Ability of Diesel Oil*, China Petroleum Processing and Petrochemical Technology, Vol. 13, No. 4 (2011), p. 58-63.
3. S. LOPES, T. CUSHING; *The Influence of Biodiesel Fuel Quality on Modern Diesel Vehicle Performance*, SAE international, 2012.
4. M. McCABE, *Biodiesel: Impact on Engine Oil Durability and Demand*, ICIS-LOR Base Oil Conference London, UK, 2008.
5. J. WAYNICK; *Characterization of biodiesel oxidation and oxidation products*, SwRI Project No. 08-10721, 2005.
6. Ring Sticking and Piston Cleanliness Test CEC L-78-T-99.
7. O. KOVAČ, D. ŠIKULJAK, V. SARVAN; *Utjecaj biodizela na kvalitetu motornih ulja*; 46. simpozij GORIVA I MAZIVA, Poreč, Croatia, 2013.
8. ISO i ASTM metode ispitivanja: BAS ISO 3104, BAS ISO 3771, ASTM D 664, ASTM D 4294, BAS ISO 6615, ASTM D 4737.

## Autori

Omer Kovač, Danka Šikuljak, Tamara Evđić, Jadranka Vujica  
Rafinerija ulja Modriča, Vojvode Stepe 49, Modriča, Bosna i Hercegovina  
E-adresa: danka@modricaoil.com

## Primljeno

22.8.2014.

## Prihvaćeno

3.2.2015.