Mr Predrag Petrović,
dipl. inž.

Ljubiša Marković,
dipl. inž.

Dr Slobodan Janković,
dipl. inž.

REPIČIN METILESTER KAO ALTERNATIVNO GORIVO DIZEL-MOTORA

Demografske procene organizacije UN su da će 2005. godine svetska populacija iznositi 7 milijardi, a 2020. godine 8 milijardi stanovnika. Porast stanovništva pratiće i adekvatan rast broja motornih vozila. U odnosu na sadašnjih 500 miliona automobila, 2020. godine očekuje se 1,2 milijarde, što će svakako, doprineti intenzivnijem utrošku rezervi nafte. Zbog toga se sve više podstiču istraživanja primene alternativnih goriva kao zamena gorivima fosilnog porekla. U tom kontekstu, vršena su obimna ispitivanja metilestera biljnog ulja repice, a deo tih rezultata prikazan je u ovom radu.

Uvod

U poslednjih desetak godina vrlo je aktuelna tendencija supstitucije mineralnih dizel-goriva, gorivima na bazi biljnih kultura. U tom kontekstu u našoj zemlji je evidentna sve veća povezanost nauke, proizvođača, industrije i korisnika radi sagledavanja ukupnih saznanja i potreba, kao i brže i efikasnije realizacije primene u praksi.

Iz te saradnje u Institutu Industrije motora u Rakovici proistekla su laboratorijska ispitivanja dva tipa dizel-motora serijske proizvodnje sa primenom goriva repičin metilester (RME).

Vršena su uporedna ispitivanja funkcionalnih karakteristika i emisije izduvnih gasova, sa primenom referentnog goriva D2 i metilestera, kao i homologacijska i vanmotorska ispitivanja. Na osnovu dobijenih rezulta-

ta utvrđena je uzajamna korelacija navedenih karakteristika.

U ovom trenutku za našu zemlju veoma je aktuelan zadatak istraživanja mogućnosti primene alternativnih goriva biljnog porekla u odnosu na konvencionalna mineralnog porekla. U tom pogledu u svetu visoko mesto zauzima biljna proizvodnja kao potencijalni proizvođač energije, pa se obimna istraživanja usmeravaju, uglavnom, na dve osnovne grupe proizvoda, i to:

— proizvodnju alkohola (etanola) na bazi skroba i šećera. Osnovu čine šećerna trska, šećerna repa, žito, krompir, i sl. Dalje usmeravanje je ka dođavanju benzinu radi dobijanja mešavina ili kao potpuna zamena benzina.

— proizvodnja ulja na bazi uljanih kultura kao što su: uljana repica, suncokret, soja, lan i sl. Dalje usmeravanje je zamena mineralnih dizel-goriva, odnosno iznalaženja mogućnosti spravljanja mešavina sa njima.

Tehnološki postupak dobijanja metilestera repičinog ulja u suštini se sastoji od tri faze:

— standardnim postupkom vrši se presovanje zagrejanog semena i ekstrakcijom odvajanje ulja;

— dobijeno ulje oplemenjuje se metilalkoholom postupkom reesterifikacije uz dodavanje natrijuma ili kalijum-hidroksida, kao katalizatora i, praktično, pretvara se u biodizel;

— u nastavku procesa u reaktorima se vrši raslojavanje (fosforno-kalijevo đubrivo, lož ulje, glicerin, voda, metilalkohol, itd.).

Za buduća istraživanja obe grupe proizvoda mogu biti aktuelne, ali proizvodnja RME ima najpogodnije uslove za brzu i ekonomičnu primenu. To navodi na činjenicu da je u svetu sve veći trend povećanja proizvodnje uljane repice i izgradnje manjeg broja fabrika ulja sa usmerenjem proizvodnje ka biodizelu, kao i otvaranje sve većeg broja pumpi na kojima se prodaje biodizel.

Karakteristike repičinog ulja i RME-a kao alternativnog goriva dizel-motora

Da bi se uopšte primenilo alternativno gorivo u klasičnim dizel-motorima, odnosno motorima koji nisu prilagođeni tom alternativnom gorivu, moraju se proveriti sledeće osnovne karakteristike goriva:

- kinematska viskoznost,
- upaljivost,
- donja toplotna moć,
- gustina.

Viskoznost biljnih ulja, a time i ulja repice, znatno je viša od viskoznosti dizel-goriva na temperaturi okoline. Ta razlika izražena je i na višim temperaturama, što je prikazano na sl. 1.

Sl. 1 — Uporedne karakteristike viskoziteta dizel-goriva i biljnih ulja u zavisnosti od temperature

Prema dosadašnjim saznanjima, ulje repice i njegovi estri, kao i ostala biljna ulja, nisu primenljiva za temperature ispod 10°C.

U slučaju primene, a da bi se smanjio napor u napojnom sistemu goriva motora, pad pritiska u filterima i sl.,

Sl. 2 — Uporedne krive isparljivosti dizel-goriva i metilestera ulja repice

preporučuje se dogrevanje biljnih ulja do 80°C.

Uporedne krive toka isparavanja dizel-goriva i esterifikovanog ulja re-pice prikazane su na sl. 2. Vidi se da je za isparljivost goriva od 50%, kod RME potrebna viša temperatura od oko 80°C. Iz toga sledi da bi za ostvarivanje istog kvaliteta radne smeše RME-a i vazduha, u odnosu na smešu sa D2, bilo potrebno da se u kompresionom prostoru ostvari viša temperatura najmanje za navedenu razliku.

Niskotemperaturni kvalitet RME-a

Primena repičinog metil estera u dizel-motorima, u uslovima sniženih temperatura okoline, zahteva od goriva ispoljavanje niskotemperaturnog kvaliteta. Definisanje temperaturnih granica primene goriva u uslovima sniženih temperatura okoline, zahteva zadovoljenje nekoliko zahteva, koji su proizišli iz fizičko-hemijskih karakteristika goriva, a definisani su: tačkama zamućenja, filtrabilnosti i stinjavanja, paljenja, toplotnom moći, viskozitetom i gustinom, što direktno utiče na mogućnost primene u uslovima sniženih temperatura okoline. Sprovedena istraživanja realizovana su u laboratoriji prema standardnim metodama, u mernim (hladnim) komorama, prema hladnom testu operatibilnosti goriva HTG.

Na osnovu laboratorijskih ispitivanja (podaci u tabeli 2) može se zaključiti da karakteristične tačke zamućenja, filtrabilnosti i stinjavanja imaju povoljne vrednosti za mogućnost primene goriva na temperaturama nižim od 0°C, tj. vrednosti bliske dizel-gorivu D1. Kod RME-a uočena je razlika u odnosu na dizel-gorivo D2 u tački paljenja, viskoziteta i gustini, što direktno utiče na niskotemperaturni kvalitet. Metodom HTG testa operatibilnosti goriva, određuju se karakteristični parametri dotoka goriva (protok, pritisak, granične temperature pri-

mene goriva). Na osnovu graničnih parametara i određene granične temperature operatibilnosti goriva, moguće je donošenje zaključka o njegovom niskotemperaturnom kvalitetu.

Došlo se do zaključka da je primena RME-a moguća do graničnih temperatura $T_{GR} = -11^{\circ}\text{C}$. Međutim, zbog visoke temperature paljenja i niže toplotne moći, gorivima na niskim temperaturama okoline potrebno je duže vreme za startovanje motora.

U našoj zemlji postoji veći broj potencijalnih proizvođača RME-a, što u pogledu fizičko-hemijskih i drugih karakteristika dovodi do široke lepeze kvaliteta, pa njihova primena u dizel-motorima, u pogledu funkcionalnosti i pouzdanosti, može biti nepovoljna. U sadašnjem trenutku, toj stihijskoj proizvodnji doprinosi nepostojanje standarda sa definisanim odgovarajućim svojstvima RME-a.

Pošto je definisanje i uvođenje standarda veoma dug proces, koji mora obuhvatiti analizu uticaja svake komponente RME-a na rad motora, kao i definisanje metoda za određivanje tih komponenata, mora se prvo pristupiti formiranju određenih normativnih propisa koji bi bili prethodnica zvaničnom standardu.

Prema saznanjima dostupnim iz literature, nije poznato uvođenje standarda o svojstvima RME, sem standarda ONORM C 1190 koji je donet februara 1991. godine u Austriji, kao velikog proizvođača i potrošača RME, posle obimnih i sveobuhvatnijih ispitivanja. Propisi o tom standardu odnose se na:

— osnovni materijal (jodni broj, saponifikacioni broj, gustina, viskozitet, tačka smrzavanja, cetanski broj, toplotna moć);

— gotov proizvod (temperatura paljenja, stepen esterifikacije, sadržaj glicerina i pepela);

Standard ONORM C 1190, preporuke Mercedesa i Evropske unije

	Jedinica	RME	Dizel gorivo	Mercedes-preporuka	Evropski propis
Jodni broj	ca. 115				
Saponifikacioni broj	ca. 190				
Prateće masne materije	‰	< 1			
Sastav C	‰	77,0	863		
H	‰	12,1	13,7		
O	‰	10,9	0,0		
P	mg/kg	max. 20			max. 10
S	‰	max. 0,02	0,03	max. 0,02	max. 0,01
Minimalna količina vazduha za sagorevanje	m³/kg	9,7	11,2		
Minimalna količina gasa za sagorevanje	m³/kg	10,5	11,0		
Gustina na 20°C g/cm³/15°C*	g/cm³	0,83 do 0,85 0,87 do 0,89		0,875 do 0,885	0,86 do 0,90
Brzina zvuka na 40°C	m/s	ca. 1333	1400 do 1500		
Kinematska viskoznost na 20°C	mm²/s	6,5 do 8	3 do 8	6,0 do 9,0	
Tačka zamućenja	°C	—1	+6 do —12		
Temperatura filtrabilnosti	°C	—1	+6 do —12		
Količina isparenog pri 200°C	‰	<	20 do 30		
Toplotna moć	MJ/kg	36,8	42,8		
Toplotna moć smeše	MJ/m³	3,53	3,56		
Cetanski broj		48	ca. 50	min. 50	min. 49
Temperatura paljenja	°C	min. 100	>55	min. 55	min. 100
Sadržaj metanola	mg/g	max. 020		max. 0,3	max. 0,3
Slobodni glicerol	mg/g	max. 0,02		max. 0,03	max. 0,03
Vezani glicerol	mg/g	max. 0,24		max. 0,20	max. 0,25
Stepen esterifikacije ‰	96,9 do 98,5				
Koksni ostatak	‰	0,02	<<		
CFPP Letnje Zimsko	°C	max. 0 max. -15		max. —5 max. —15	max. 0 max. —15
CCR od 100‰ od 10‰	‰ ‰	max. 0,05		max. 0,05	

Komparativni pregled fizičko-hemijskih, energetskih i strukturnih karakteristika
dizel goriva D2, i RME-a

Red. br.	Karakteristike	Jedinica mere	Dizel D-2 JUS B.H2.410	RME
1.	Fizičko-hem. karakter.			
1.1.	Gustina, 15°C	kg/m ³	839	886
1.2.	Viskozitet, 20°C	mm ² /s	3,342	8,35
1.3.	Donja toplotna moć, H	kJ/kg	42,600	36,070
1.4.	Tačka paljenja	°C	70	173
1.5.	Filtrabilnost, ispod	°C	—9	—8
1.6.	Cetanski broj		49	49,2
2.	Elementarna analiza			
2.1.	Sadržaj ugljenika (C)	%	86,5	76,5
2.2.	Sadržaj vodonika (H)	%	13,4	21,0
2.3.	Sadržaj azota (N)	%		0,1
2.4.	Sadržaj kiseonika (O)	%		11,5
3.	Destilacija			
	početak destilacije	°C	181	323
	10%	°C	209	334
	20%	°C	218	336
	40%	°C	238	337
	60%	°C	257	340
	80%	°C	283	348
	90%	°C	298	335
	kraj destilacije	°C	325/94	365/98
4.	Primeše			
4.1.	Sadržaj koksa-Cornadson	%	0,028	0,023
4.2.	Sadržaj pepela	%		0,006
4.3.	Sadržaj vode	%	0,10	0,19
4.4.	Korozija Cu-trake (3h na 100°C)	%	2	18
4.5.	Sadržaj sumpora (S)	ppm	900	<10
5.	Sastav i komponente			
5.1.	Zasićene masne kiseline			
5.1.1.	Palmitinska kiselina	%		4,6
5.1.2.	Stearinska kiselina	%		1,6
5.2.	Nezasićene masne kis.			
5.2.1.	Oleinska kiselina	%		64,2
5.2.2.	Linolna kiselina	%		20,2
5.2.3.	Linolenska kiselina	%		9,0
5.2.4.	Eureka kiselina	%		0,4
6.	Stepen esterifikacije	%		90,2
7.	Zamućenje	°C		— 8
8.	Filtrabilnost (isp.)	°C		—10

— uskladištenje (neutralizacioni broj, sadržaj slobodnih masnih kiselina, sadržaj vode, koroziona proba na bakarnom limu).

Karakteristike RME-a sa preporukama Mercedesa i Evropske unije prema standardu ONORM C 1190, prikazane su u tabeli 1.

Na osnovu ispitivanja dat je komparativni pregled fizičko-hemijskih, energetskih i strukturnih osobina dizel-goriva D2 i RME-a u tabeli 2.

Esterifikacijom biljnih ulja povećava se cetanski broj i dovodi na vrednost koja je potrebna za normalan rad dizel-motora. Upoređujući ga sa minimalnim cetanskim brojem prema standardu za dizel-gorivo, kod suncokretovog ulja cetanski broj ima znatno nižu vrednost ali se esterifikacijom iznad 80% dovodi na nivo standarda i većih vrednosti. Zavisnost cetanskog broja od stepena esterifikacije prikazana je na slici 3.

Sl. 3 — Zavisnost cetanskog broja od stepena esterifikacije prirodnih biljnih ulja i estara biljnih ulja

Kao parametar za komparaciju zavisnosti stepena esterifikacije biljnih ulja i metilestera biljnih ulja, prikazana je kinematska viskoznost na slici 4. Uočava se da kinematska viskoznost nivoa standardnog dizel-goriva ima potrebnu vrednost sa esterifikacijom iznad 95%. Navedene zavisnosti navode da kvalitet RME-a direktno utiče od procesa esterifikacije, odnosno stepena esterifikacije.

Sl. 4 — Zavisnost kinematske viskoznosti od stepena esterifikacije prirodnih biljnih ulja i estara biljnih ulja

Neka svetska iskustva u primeni RME-a

Prema iskustvima iz prakse i raspoloživim podacima, pokazalo se da je nepodobno korišćenje ulja repice kao goriva u klasičnim dizel-motorima, odnosno motorima koji nisu prilagođeni toj alterativnoj vrsti goriva, iako su motori radili određeno kratko vreme bez bitnog pada snage. Međutim, već posle 50 časova rada došlo je do kok-

sovanja brizgaljki, stvaranja naslaga na čeonim površinama klipova, ventilima, sedištima ventila, glavi motora, cilindarskoj košuljici u delu iznad gornje mrtve tačke klipa, i na klipnim prstenovima. Takav epilog je bio katastrofalan, jer je nastala havarija većeg broja motora.

Takav ishod desio se primenom čistog ulja uljane repice i drugih biljnih ulja i sa mešavinama u različitim odnosima sa dizel-gorivom.

Znatno bolji rezultati primene u dizel-motorima očekuju se od esterifikovanog ulja repice i to bez prilagođavanja motora tom alternativnom gorivu.

Očekuje se, u odnosu na čisto ulje repice koje doprinosi lošem obrazovanju radne smeše u kompresionom prostoru zbog nižih temperatura od potrebnih, a zbog nepovoljne strukture molekula, bolje ostvarenje smeše uz porast temperature. Zbog toga se očekuje primena esterifikovanog ulja repice na motorima sa direktnim ubrizgavanjem, a još bolji rezultati dobili bi se na motorima sa podeljenim kompresionim prostorom.

Zbog viših temperatura u kompresionom prostoru, za primenu RME-a pogodniji su dizel-motori sa pretkomorom.

Motori sa direktnim ubrizgavanjem nepovoljniji su za pripremu RME-a s obzirom na to da je kod njih odnos površine kompresionog prostora, prema njegovoj zapremini, manje povoljan. Na osnovu toga realno je očekivati bolje rezultate kod motora koji imaju veći odnos D/H, odnosno tzv. kratkohodni motori.

S obzirom na težu isparljivost RME-a, a da bi se ostvario približno isti kvalitet smeše kao sa dizel-gorivom D2, proizilazi da bi motori koji koriste RME trebalo da imaju veći stepen kompresije, čime bi se povećala temperatura u kompresionom prostoru.

Prema nekim iskustvima, povoljniji za korišćenje RME-a su motori čija je zapremina kompresionog prostora veća od 1 dm³, a delimično je smešten u klip, radi povoljnijeg odnosa zapremine i površine.

Bez obzira na to koji je tip komore za sagorevanje primenjen, mora se voditi računa o intenzivnijem hlađenju brizgaljki, nego što je to potrebno kod klasičnih dizel-motora sa primenom dizel-goriva D2.

Pred istraživanjima koja se bave alternativnim gorivima postoji dilema: da li prilagoditi RME klasičnim dizel-motorima ili ih prilagoditi karakteristikama sagorevanja RME-a.

Prvi pravac zastupaju istraživači u Austriji, korišćenjem esterifikacije ulja repice, odnosno katalitičkom razgradnjom strukture ulja alkoholom, čime se smanjuju površinski napon ulja i viskozitet, a povećava cetanski broj.

Drugi pravac ima pristalice u Nemačkoj, odnosno firmi ELSBETT, koja je patentirala dizel-motor sa direktnim ubrizgavanjem, koji kao gorivo koristi čisto ulje repice bez prethodne pripreme, odnosno esterifikacije. To je jedan uspešan pokušaj primene direktnog ubrizgavanja u pretkomorni motor.

Visoka zagrejanost zidova kuglaste komore u klip potpomaže brzom isparavanju i intenzivnijem vrtloženju, pri čemu se stvara dovoljno homogene smeša. U komoru se ubrizgava čisto ulje preko dve brizgaljke sa tangencijalnim pravcem mlaza. Došlo se do saznanja da se kod motora sa direktnim ubrizgavanjem postižu povoljniji rezultati primenom tzv. M postupka sa klipom od livenog gvožđa ili sa klipom od aluminijuma sa kompresionim prostorom u njemu od legure Fe-Ni (tzv. FEROTHERM klip), tako da se površina komore zagreva na 330 do 430°C, što doprinosi boljem samoupaljenju goriva.

S obzirom na to da kriva isparavanja dizel-goriva D2 počinje na znat-

no nižoj temperaturi, a na kraju nema bitnih razlika, uticaj isparavanja na proces obrazovanja smeše u motoru je prikazan na sl. 5, gde je data proračunata promena pritiska i temperature vazduha u cilindru tokom sabijanja.

Sl. 5 — Promena pritiska i temperature u cilindru motora u toku sabijanja

Vidi se da je u momentu početka ubrizgavanja goriva kod jednog od ispitivanih motora ($\approx 19^\circ$ pre SMT) temperatura sabijenog vazduha iznad 500°C , što je daleko iznad temperature isparavanja 90% goriva RME-a.

Iz toga proizilazi da razlika u krio-voji isparavanja ne bi trebalo bitnije da utiče na proces obrazovanja smeše.

Drugi problem je razlika u gustini i viskoznosti goriva. Veća gustina i viskoznost RME-a znače da će biti veća količina ubrizganog goriva po ciklusu.

Viskoznost goriva, pored uticaja na otpor strujanja, značajnije utiče na proces raspršivanja goriva tokom ubrizgavanja.

Uticaj viskoziteta na veličinu kapljice raspršenog goriva (tzv. srednji SAUTER-ov prečnik — Dsm prikazan je na slici 6. Vidi se da srednji prečnik kapljice znatno raste sa porastom viskoziteta pri nižim pritiscima ubriz-

gavanja, dok je pri dovoljno visokom pritisku ubrizgavanja ta razlika manja.

Pored završetka istraživanja primene RME na osnovu kojih treba doneti određene verifikacije, potrebno je preispitati mogućnosti proizvodne stru-

Sl. 6 — Uticaj viskoziteta goriva na srednji Sauterov prečnik kapljica goriva u mlazu

kture i strategije proizvodnje RME kod nas radi eventualnog podsticaja i komercijalne primene u praksi.

Mnogi svetski proizvođači traktora su, nakon detaljnih ispitivanja biodizela kao goriva za motore, odobrili njegovo korišćenje kao pogonskog goriva. Firme koje su to učinile su: JOHN DEERE, MASSEY FERGUSON, SAME, FORD, FENDIT, DEUTZ, MERCEDES-BENZ, STAYUR, LINDNERE, RENAULT i dr.

Uslovi, način i objekti laboratorijskih ispitivanja primene RME-a

Radi verifikacije primene repičinog metilestera kao pogonskog goriva dizel-motora, Institut Industrije motora Rakovica izvršio je više različitih ispitivanja, a deo tih rezultata prikazan je u ovom radu.

Izvršena su preliminarne ispitivanja funkcionalnih karakteristika i emisije izduvnih gasova na dva najmasovnije proizvedena motora iz proizvodnog programa Industrije motora Rakovica. To su motori sa različitim sistemima sagorevanja, odnosno sa direktnim ubrizgavanjem DM33, i sa indirektnim ubrizgavanjem M33, čiji su osnovni tehnički podaci prikazani u tabeli 3.

Homologacijska ispitivanja goriva RME obavljena su na probnom stolu i to na motoru M33 u trajanju od 250 h, a DM33—350 h, pri režimu punog opterećenja.

Potrebno je napomenuti da su funkcionalna i homologaciona ispitivanja obavljena na standardnoj — serijskoj

U okviru laboratorijskih ispitivanja, primenom goriva RME vršena su vanmotorska ispitivanja, u trajanju od 500 časova, sistema za ubrizgavanje goriva (pumpa visokog pritiska — cevovod — brizgaljke).

Istraživanja u okviru sniženih temperatura obuhvatala su ispitivanja *operativnosti* goriva i hladnog starta dizel-motora TS54 ugrađenog u vozilo TARA — IMR.

Ispitivanje *operativnosti* goriva odnosi se na niskotemperaturni kvalitet goriva, odnosno alokaciju problema startovanja motora kada promenom karakteristika goriva dolazi do prestanka protoka, koji je rezultat otpora strujanja kroz filter za gorivo. Jedan

Tabela 3

Osnovni tehnički podaci za motore M33 i DM33

	M33	DM33
Broj cilindara	3	3
Zapremina motora	2,5 lit.	2,5 lit.
Stepen kompresije	17,4 : 1	16,5 : 1
Nominalna snaga	31 kW/2250 min ⁻¹	34.5 kW/2250min ⁻¹
Max. obrtni moment	149 Nm/1400min ⁻¹	162Nm/1350min ⁻¹
Minimal. specif. potr. goriva	255 g/kWh	237 g/kWh
St. elast. motora po momentu	Km=1,110	Km=1,109
St. elast. motora po broju obrtaja	Kn=0,65	Kn=0,60
Pumpa za ubrizgavanje	LP/RP	RP
Masa motora	186 kg (bez. zam.)	290 kg

verziji motora, odnosno bez prilagođavanja bilo kojih komponenata motora gorivu. Ispitivanja su obavljena uporedo sa primenom RME-a i D2.

takav prilaz definisanju kvaliteta goriva prema sniženim temperaturama, obavljen je na razvijenoj merno-regulacionoj opremi instaliranoj u hladnoj

komori, na kojoj se mogu simulirati realni uslovi protoka goriva na motoru.

Funkcionalna ispitivanja motora primenom RME-a

Funkcionalna ispitivanja obuhvataju sledeće performanse motora: snagu, moment, specifičnu potrošnju goriva i ubrizganu količinu goriva.

Rezultati ispitivanja funkcionalnih karakteristika prikazani su dijagramski.

Uporedni pregled snage motora M33 primenom dizel-goriva D2 i RME-a, i pada snage (%) prikazan je na slici 7, momenta i pada momenta (%) na

Sl. 7 — Uporedni dijagram snage motora M33

slici 8, specifične potrošnje goriva i njeno povećanje (%) na slici 9, ubrizgane količine goriva i njeno povećanje (%) na slici 10.

Za motor sa indirektnim ubrizgavanjem M33 prosečan pad snage primenom RME-a u celokupnom području broja obrtaja (1000 do 2300 min⁻¹) iznosi oko 2,5% u odnosu na primenu D2. Slična konstatacija odnosi se i na

pad momenta za iste uslove ispitivanja.

Specifična potrošnja goriva kod motora M33 je u proseku za 5,5% veća, a ubrizgana količina goriva je veća za oko 3,5% u odnosu na primenu D2 u istim uslovima ispitivanja.

Za motor sa direktnim ubrizgavanjem DM33 prosečan pad snage prime-

Sl. 8 — Uporedni dijagram momenta motora M33

Sl. 9 — Uporedni dijagram specifične potrošnje goriva motora M33

nom RME-a u celokupnom području broja obrtaja (1000 do 2300 min⁻¹) iznosi oko 5% u odnosu na primenu D2.

Slična konstatacija odnosi se i na pad momenta za iste uslove ispitivanja.

Sl. 10 — Uporedni dijagram ubrizgane količine goriva motora M33

Specifična potrošnja goriva kod motora DM33 je u proseku veća oko 8% u odnosu na primenu D2 u istim uslovima ispitivanja.

Uticaj RME-a na sklopove motora, kvalitet motornog ulja i na vanmotorska ispitivanja

Ova ispitivanja obavljena su u laboratorijskim uslovima na probnim stolovima za ispitivanje motora tipa SCHENCK sa pratećom opremom.

U motorima je korišćeno motorno ulje SAE, gradacije 15W/40, nivoa kvaliteta API CD/SF.

Uticaj RME-a na sklopove motora

Pre početka ispitivanja motori su bili industrijski remontovani, pri čemu su izvršena mikrometražna merenja i vizuelni pregled sledećih karakterističnih elemenata:

- cilindarske glave,
- zaptivača cilindarske glave,
- ventila,
- klipova,
- klipnih prstenova,
- košuljica cilindara.

Svi elementi zadovoljili su zahteve predviđene dokumentacijom. Analiza rezultata izvršena je upoređivanjem početnog i krajnjeg stanja, kao i upoređenjem sa rezultatima dobijenim sa referentnim dizel-gorivom D2, i pokazuje:

— mikrometražna merenja pokazala su da su kod oba motora posmatrani delovi u propisanim granicama za rad motora u određenom vremenskom periodu;

— na osnovu vizuelnog pregleda posmatranih delova može se konstatovati, da su povećane naslage koksa i gareži u odnosu na rad motora sa dizel-gorivom D2, da su naslage boja i lakova povećane i da je zaprljanost ulja za podmazivanje znatno veća. S obzirom na primećene pojave koje nisu karakteristične za rad motora sa dizel-gorivom D2 potrebno je nastaviti istraživanja u tom pravcu radi definisanja standarda i metodologije ispitivanja goriva.

Naslage koksa i gareži nalazile su se na cilindarskoj glavi, pećurki i vratu ventila, čeonoj površini klipova, košuljicama cilindara u zoni sagorevanja, na unutrašnjim površinama klipnih prstenova i ojačanim delovima zaptivača.

Na osnovu izvršenih analiza može se konstatovati da su oba motora na probnom stolu radila bez zastoja i kvara i da su zadovoljili zahteve testa.

Ispitivanja su vršena u kontinuitetu neprekidno po 24 časa, tako da su ukupno trajala 15 do 20 dana. Za to vreme RME bio je kompaktan i nije bilo nikakvih raslojavanja u njemu, mada ima nagoveštaja da posle dužeg stajanja (npr. mesec dana i više) dola-

zi do raslojavanja, što bi svakako negativno uticalo na rad motora, a naročito na sistem za ubrizgavanje goriva.

Mikrometražna merenja delova motora pokazala su da su habanja u granicama propisanih vrednosti.

Uticaj RME-a na kvalitet motornog ulja

Tokom rada motora na probnom stolu, svakih 50 časova uzimani su uzorci motornog ulja koji su laboratorijski analizirani. Dolivanje ulja u motore vršeno je prema potrebi, s tim što ukupno dolivena količina ulja nije prešla polovinu ukupne količine koja je upotrebljena na početku ispitivanja.

Kod uzoraka ulja ispitivane su sledeće karakteristike:

- viskozitet na 40°C i na 100°C,
- totalni bazni broj,
- membranska filtracija na 0,3 μ m-filteru,
- sadržaj metala: Fe, Cu i Al,
- sadržaj vode,
- sadržaj goriva.

Režimi na kojima su motori radili bili su promenljivi, a odabrani su tako da se motori izlože najtežim (i najlakšim) uslovima rada, kako bi se za predviđeno vreme pokazalo sve ono što eventualno ne valja kod ispitivanog goriva.

Na osnovu izvršenih analiza uzoraka motornog ulja dobijeni su sledeći rezultati koji se odnose na pojedine komponente:

viskozitet

Viskozitet ulja na temperaturama 40°C i 100°C, uzetog iz motora sa direktnim ubrizgavanjem goriva DM33/T, pokazuje nagli pad u prvih 100 časova rada, a zatim stagnira do kraja ispitivanja (sl. 11 i sl. 12).

Sl. 11 — Promena viskoziteta motornog ulja na 40°C

1 — motor DM33/T sa RME, 2 — motor M33/T sa RME, 3 — motor M33/T sa D2

Sl. 12 — Promena viskoziteta motornog ulja na 100°C

1 — motor DM33/T sa RME, 2 — motor M33/T sa RME, 3 — motor M33/T sa D2

Viskozitet ulja na temperaturama 40°C i 100°C, uzetog iz motora sa indirektnim ubrizgavanjem goriva M33/T, pokazuje blagi porast tokom celog ispitivanja.

Važno je istaći da, tokom ispitivanja, viskozitet ulja u oba motora ne odstupa od predviđenih granica viskoziteta za tu gradaciju ulja.

totalni bazni broj (TBN)

Promena vrednosti TBN-a bila je neznatna tokom celog ispitivanja i kretala se od 10,6 mg KOH/g na početku ispitivanja do 9,3 mg KOH/g, odnosno

8,7 mg KOH/g, na kraju ispitivanja. Vrednosti TBN-a od 9,3 mg KOH/g nalaze se daleko iznad minimalno dozvoljenih za tu vrstu ulja (2—3 mg KOH/g).

Promena vrednosti TBN-a prikazana je na slici 13.

Sl. 13 — Promena totalnog baznog broja (TBN) motornog ulja

1 — motor DM33/T sa RME, 2 — motor M33/T sa RME, 3 — motor M33/T sa D2

membranska filtracija (sadržaj čvrstih materija u ulju)

Sadržaj čvrstih materija u ulju, određen membranskom filtracijom, pokazuje stalan blagi porast suspendovanih čvrstih materija u ulju, što uka-

Sl. 14 — Sadržaj čvrstih materija u motornom ulju

1 — motor DM33/T sa RME, 2 — motor M33/T sa RME, 3 — motor M33/T sa D2

zuje na dobre deterdžentnodisperzivne osobine ulja, koje su zadržane tokom celog ispitivanja (sl. 14).

sadržaj metala

Sadržaj metala u ulju praćen je atomskom apsorpcionom analizom. Praćen je sadržaj Fe, Cu i Al.

Sadržaj gvožđa (Fe) u uzorcima ulja, uzetih iz oba motora, pokazuje porast u prvih 100 časova rada, a zatim stagnira.

Sadržaj bakra (Cu) u uzorcima ulja, uzetih iz oba motora, pokazuje

Sl. 15 — Sadržaj Fe u motornom ulju

1 — motor DM33/T sa RME, 2 — motor M33/T sa RME, 3 — motor M33/T sa D2

Sl. 16 — Sadržaj Cu u motornom ulju

1 — motor DM33/T sa RME, 2 — motor M33/T sa RME, 3 — motor M33/T sa D2

postepen porast u prvih 150 časova rada, a zatim naglo pada na svega 0,0006%.

Sadržaj aluminijuma (Al) u uzorcima ulja, uzetih iz oba motora, pokazu-

Sl. 17 — Sadržaj Al u motornom ulju
1 — motor DM33/T sa RME, 2 — motor M33/T sa RME, 3 — motor M33/T sa D2

je nagli porast između 150 i 200 časova rada, a zatim stagnira.

Promene sadržaja Fe, Cu i Al prikazane su na slikama 15, 16 i 17. Ukupan sadržaj metala u ulju je zadovoljavajući i nalazi se u granicama koje obezbeđuju — pokazuju efikasno podmazivanje.

sadržaj vode

Voda u ulju nije pronađena ni u jednom uzorku.

sadržaj goriva

Gorivo u ulju nije pronađeno ni u jednom uzorku.

Na osnovu izvršenih analiza uzoraka motornog ulja može se konstatovati da motorno ulje SAE, gradacije 15W/40, nivoa kvaliteta API CD/SF, u potpunosti zadovoljava sve zahteve upotrebe RME-a kao goriva.

Vanmotorska ispitivanja RME-a

U okviru vanmotorskih ispitivanja vršena su funkcionalna ispitivanja pumpe visokog pritiska (PVP) u trajanju od 500 časova, pri maksimalnom otklonu poluge za dovod goriva. Svakih 100 časova rada PVP je proveravana na stolu za funkcionalno ispitivanje. Ispitivane su dve različite pumpe koje se ugrađuju u motor DM33 (KOH 055) i motor M33 (KG 012).

Ispitivanja pumpi na svakih 100 časova obuhvatala su promenu ubrizgane količine goriva, transfer-pritisk i ugao predubrizgavanja. Promena ubrizgane količine goriva po ciklusu za oba motora, u zavisnosti od broja časova rada, prikazana je na sl. 18.

Sl. 18 — Promena ubrizgane količine goriva
1 — motor DM33/T, 2 — motor M33/T

U periodu stabilizacije pumpe (0 do 200 časova rada) ubrizgana količina goriva neznatno raste, što je očekivana pojava. Međutim, u daljem periodu (200 do 500 časova), ubrizgana količina goriva blago opada, što se može dovesti u vezu sa početkom istrošenja rotirajućih delova pumpe. Zbog toga dolazi i do blagog pada transfer-pritiska, što je uobičajeno i sa primenom

goriva D2. Taj pad transfer-pritiska ne izaziva promene ugla predubrizgavanja, koje bi mogle bitno uticati na karakteristike motora.

Na osnovu vizuelnog pregleda funkcionalnih elemenata PVP uočeno je da nije bilo curenja, mada je zaptivni materijal imao značajna oštećenja. Uočeno je izvesno bubrenje zaptivki i gumenih zaptivača, što je uobičajeno sa primenom D2. Agresivne osobine RME-a uočene su i u dodiru sa farbom (uljane i nitro), što je bilo naročito izraženo na samom probnom stolu na kojem su vršena vanmotorska ispitivanja.

Prema saznanjima iz literature i ispitivanjima obavljenim na drugim mestima utvrđena su agresivna svojstva RME-a na gumene delove i zaptivni materijal. Gumena creva izrađena od FLUOR-kaučuka podnose RME, dok su gumene cevi na bazi STIPOL-BUTTADILEN kaučuka neotporne prema RME.

Laboratorijsko ispitivanje emisije izduvnih gasova

Program istraživanja dizel-motora sa pogonom na repičin metil ester obuhvatio je i ispitivanje emisije izduvnih gasova. Cilj ovih ispitivanja je utvrđivanje efekta primene RME na smanjenje sadržaja toksičnih gasnih zagađivača u izduvnom gasu dizel-motora.

Na osnovu ranijih iskustava kao opitni motor izabran je DM33 sa direktnim ubrizgavanjem goriva, koji je u pogledu emisije izduvnih gasova izrazito nepovoljan. Ispitivanja su obavljena na dizel-motoru sa pogonom na RME i dizel-gorivo D2. Na osnovu rezultata ispitivanja, uporednom analizom može se izvesti zaključak o uticaju repičinog metil estera na kvalitet izduvne emisije dizel-motora, u odnosu na primenu dizel-goriva D2.

Ispitivanje emisije gasnih zagađivača tretira nivo vidljivih gasnih zagađivača (dimnost), prema pravilniku

ECE-R24 i nivo gasnih zagađivača NO_x (azotovi oksidi), HC (ugljovodonik), CO (ugljenmonoksid) i PM (čestice) prema pravilniku ECE-R49.

Korišćena merna instalacija odgovara navedenim pravilnicima.

Ispitivanje emisije vidljivih gasnih zagađivača (dima) obavljeno je pri punom opterećenju motora na ustaljenim brzinskim režimima između minimalnog i maksimalnog broja obrtaja motora. Merenje dima vršeno je na standardni način merenjem dimnosti izduvnog gasa (metoda HARTRIDGE), ali i pomoću metode BOSCH, radi upoređenja.

Uporedna emisija dima sa pogonom na dizel-gorivu D2 i RME prikazana je na slici 19.

Sl. 19 — Emisija dima

Ispitivanje emisije gasnih toksičnih komponenata (CO, NO_x, HC i PM) izvršeno je merenjem uporedne emisije pri pogonu motora sa gorivom D2 i RME na režimima krive pune snage, i korišćenjem standardnog trinaestostepenog kontrolnog testa (pravilnik ECE-R49). Na dijagramima 20, 21 i 22 prikazan je uporedni pregled emisije gasnih toksičnih komponenti na režimima punog opterećenja, na pogonu motora na dizel-gorivo D2 i RME.

Sa dijagrama 19 može se videti da je emisija dima dizel-motora sa pogonom na repičin metil ester znatno smanjena u odnosu na pogon sa dizel-gorivom D2. Dakle, za ceo test smanjenje iznosi oko 30%.

Sl. 20 — Emisija azotovih oksida NO_x

Komparativno upoređenje emisije izduvnih gasova, prikazano na dijagramima 20, 21 i 22 ukazuje na to da je emisija NO_x na krivoj pune snage veća u proseku za 12% sa pogonom na RME. Znatno je i smanjenje emisije CO sa pogonom na RME za 20 do 30%. Kod emisije HC sa pogonom na RME povećanje iznosi oko 5%.

Analiza rezultata ispitivanja emisije gasnih zagađivača dizel-motor sa

Sl. 21 — Emisija ugljovodonika HC

primenom RME-a kao pogonskog goriva pokazuje da je:

— emisija ugljenmonoksida CO smanjena za 20 do 30%,

— emisija nesagorelih ugljovodonika HC blago povećana za oko 5%,

— emisija azotnih oksida NO_x povećana za oko 12%,

Sl. 22 — Emisija ugljenmonoksida CO

— emisija vidljivih gasnih zagađivača (dima) smanjena za oko 30% pri pogonu na RME.

Što se tiče procenjene vrednosti čvrstih čestica (PM), ona je niža u kontrolnom testu za oko 25% zbog manje emisije dima.

Mora se istaći da se primenom repičinog metil estra smanjuje nivo vidljivih gasnih zagađivača (dima), ugljenmonoksida CO i čestica PM, što je značajno radi smanjenja zagađenja okoline.

Istraživanja su pokazala nedostatak primenjene metodologije ispitivanja emisije izduvnih gasova dizel-motora pri pogonu na RME, zbog ograničenog učinka detekcije toksičnih komponenti u izduvnom gasu. Na osnovu tih saznanja, dalje smernice istraživanja idu u pravcu sveobuhvatnog ispitivanja emisije izduvnog gasa dizel-motora, pa bi posebnu pažnju trebalo posvetiti dru-

gim mogućim toksičnim komponentama koje potiču iz goriva biljnog porekla.

Zaključak

Proizvodnja dizel-goriva esterifikacijom ulja repice vrlo je važna jer:

— ovo gorivo može da ima vrlo veliki strateški značaj u kriznim situacijama,

— u okviru zatvorenih poljoprivrednih sistema može se postići proizvodnja koja svojom ekonomičnošću i autonomnošću može obezbediti korisnicima prednosti u odnosu na dizel-gorivo D2.

Upotrebom esterifikacionog ulja repice kao goriva za dizel-motore ostvaruje se niži nivo emisija čestica i ugljovodonika u odnosu na dizel-gorivo D2, što je značajno sa ekološkog stanovišta.

S druge strane, potrošnja goriva u odnosu na D2 se povećava, snaga motora opada, a eksploatacija u zimskim uslovima postaje problematična zbog većeg viskoziteta i više tačke paljenja metilestera.

Pored navedenih problema, stabilnost ovog goriva predstavlja element koji bitno ograničava njegovu širu upotrebu na ovom nivou njegovog razvoja.

U našoj zemlji predstoji veća aktivnost na detaljnom ispitivanju ovog goriva i njegovom daljem razvoju, kako bi se celokupan tehnološki lanac njegove proizvodnje doveo na nivo koji korisnicima garantuje tehnički korektnu upotrebu na postojećoj populaciji dizel-motora.

Poseban značaj u ovom delu imaju već razvijene metode motorskih ispitivanja goriva u Institutu IMR-a, kojima se vrši brza ocena verifikacije goriva i daju smernice proizvođačima za potrebne korekcije.

Literatura:

- [1] Ispitivanje funkcionalnih karakteristika dizel-motora M33 i DM33 primenom RME-a i D2, Izveštaj Instituta IMR-a.
- [2] Ispitivanje emisije izduvnih gasova primenom RME-a i D2, Izveštaj instituta IMR-a.
- [3] Izveštaj homologacionih ispitivanja motora primenom RME-a, Izveštaj Instituta IMR-a.
- [4] Vanmotorska ispitivanja trajnosti sistema za ubrizgavanje goriva primenom RME-a, Izveštaj Instituta IMR-a.
- [5] Ispitivanje goriva RME-a pri sniženim temperaturama, Izveštaj Instituta IMR-a.
- [6] Primena biodizela kao pogonskog goriva dizel motora. Dr B. Veselinović, Mr P. Petrović, Lj. Marković, dipl. ing., Institut IMR-a, Poljotehnika — tematsko savetovanje: Biodizel u poljoprivredi, IV 1994.
- [7] Primena repičinog metilestra (RME) kao goriva za dizel motore Mr P. Petrović, Lj. Marković, dipl. ing., Dr B. Veselinović, Institut IMR-a; JUGOMA 1994. Novi Sad.

- [8] Laboratorijska ispitivanja goriva dizel motora u uslovima sniženih temperatura, Lj. Marković, dipl. ing., Mr. P. Petrović, Institut IMR-a, S. Dželetović — TOC, JUGOMA 1994. Novi Sad.
- [9] Neki tehnički zahtevi za kvalitetno sagorevanje ulja repice kao alternativnog goriva motora, Dr A. Stefanović, V. Stefanović, VII simpozijum MVM 94, Kragujevac.
- [10] Efekat primene bio-ulja pogonske karakteristike i izduvnu emisiju dizel motora, Dr M. Tomić, Dr S. Petković, Dr B. Veselinović, i dr, VII simpozijum MVM 94, Kragujevac.
- [11] Dr ONNO SYASSEN: Chancen und Problematik nachwachsender kraft-stoffe, MTZ XI/92.
- [12] Razvojna ispitivanja metilestera (RME) kao goriva za dizel motore (I i II faza), Izveštaj Instituta IMR-a.