

Dževad Bibić, Ivan Filipović, Breda Kegl, Boran Pikula

ISSN 0350-350X

GOMABN 50, 4, 317-334

Izvorni znanstveni rad / Original scientific paper

UDK 621.436.018 : 621.436.068.3 : 621.436.019.8 : 665.334.94.094.942 : 665.753.4.035

UTJECAJ BIOGORIVA NA PERFORMANCE DIZELOVOG MOTORA

Sažetak

Smanjenje emisije toksičnih tvari iz ispušnih plinova dizelovih motora s unutarnjim izgaranjem načelno gledajući moguće je ostvariti na tri mjesta: ispred motora, u samom motoru i iza motora s unutarnjim izgaranjem, sui. Uobičajeno je to izvesti uvođenjem katalizatora na ispušnom sustavu, upravljanjem procesima izmjene radnih tvari, pripremom gorive smjese i samog procesa izgaranja, kao i korištenjem goriva koja po svom kemijskom sastavu imaju potencijal za redukciju. Posljednja u ovom nizu navedena opcija izgleda najjednostavnija, ali ne predstavlja nešto što se samo po sebi podrazumijeva. Zbog različitih svojstava goriva neophodno je izvršiti optimiziranje pojedinih sustava na motoru s unutarnjim izgaranjem jer u protivnom mogu izostati u jednoj krajnosti željeni efekti smanjenja emisije toksičnih tvari, a u drugoj krajnosti može doći do neprihvatljivih radnih performanci samog motora.

U okviru rada razmatrana je uporaba biogoriva u obliku repičinog metil estera – biodizela s aspekta performanci i potrebe za optimiranjem pojedinih sustava na motoru sui, kao preduvjeta za efektivno korištenje biogoriva kao jedinog goriva, te mogućnost optimiranja sustava na motoru kako bi se ostvarile relativno najbolje moguće performance za slučaj korištenja i fosilnog dizelskog goriva kao i biogoriva.

Uvod

U današnje doba ekološkog osvješćivanja stanovnika, obaveznim odredbama u obliku zakonskih forma, nastoji se emisija toksičnih tvari iz ispuha cestovnih vozila svesti na najmanju moguću mjeru. Međutim, pri tome se ne želi odreći komfora koji proizlazi iz razvijene snage pogonskih agregata cestovnih vozila (motora s unutarnjim izgaranjem, sui), naprotiv uvođenjem u cestovno vozilo tzv. pomoćnih sustava, potreba za energijom je u stalnom porastu.

Nizom vrlo sofisticiranih tehnoloških rješenja koja obuhvaćaju svaki segment konstrukcije motora sui iz dana u dan konstruktorima uspijeva razinu emisije reguliranih toksičnih tvari iz ispuha sve više smanjivati. Pročišćavanje ispušnih plinova kao tehnologija je nezaobilazna na svim cestovnim vozilima. Omogućava da se putem korištenja različitih vrsta katalizatora smanje gotovo sve regulirane emisije

toksičnih tvari. Relativno ju je jednostavno primijeniti, postavljanjem na ispušni sustav, ali ograničenja se ogledaju u tome da ih je, zbog skućenog prostora na cestovnom vozilu, ponekad vrlo teško na odgovarajući način smjestiti, a njihova učinkovitost ovisi o količini i sastavu ispušnih plinova. Vrlo efikasan način smanjenja emisije toksičnih tvari iz ispuha motora sui predstavlja tzv. vođenje procesa izgaranja koji prije svega ovisi o načinu formiranja gorive smjese. Od tehnoloških rješenja ove vrste prije svega neophodno je istaknuti sustave za ubrizgavanje goriva pod visokim tlakom (engl. common rail), sustave za nadpunjenje motora sui (turbo-kompresori), sustave koji reguliraju način izmjene radne materije (proizvoljno promjenljiva vremena otvaranja i zatvaranja usisnih i ispušnih ventila), konstruktivno oblikovanje usisnih i ispušnih sustava, kao i prostora za izgaranje, sa svrhom smanjenja otpora strujanja i usmjeravanja toka radnog fluida kako bi se dobilo što bolje miješanje goriva i zraka.

Konstruktivnim djelovanjem i primjenom odgovarajućih ulja u velikoj mjeri se može utjecati na unutarnje otpore u motoru sui i na taj način pridonijeti smanjenju potrošnje energije, a samim tim i goriva.

Prethodno nabrojana rješenja u velikoj mjeri su povezana s ograničenjima, a prije svega ogledaju se u tome da je njihova primjena na već postojećim motorima sui tehnički neizvodiva ili financijski neisplativa. Rješenja koja se mogu ponuditi za već postojeće motore sui zasnovana su na primjeni alternativnih goriva i optimiranju njihovog rada s tim gorivom. Međutim postoje razlike i između pojedinih dostupnih alternativnih goriva, tako da u ovisnosti o njihovom porijeklu (osnovne sirovine za njihovo dobivanje) i osobinama pokazuju različite potencijale za smanjenje emisije toksičnih tvari iz ispuha motora sui. Naročito su zanimljiva alternativna goriva čiju osnovnu sirovinu čine tvari biološkog porijekla. Samim tim, globalno promatrajući, izvor dobivanja goriva postaje uvjetno rečeno neograničen. Uz mogućnost stalne obnove sirovine za dobivanje biogoriva, biogorivo povoljno utječe, između ostalih, i na emisiju nereguliranog ugljičnog dioksida (CO₂) u ispuhu cestovnih vozila. To znači da se s razvijanjem tehnologija za dobivanje biogoriva stvaraju uvjeti za razvijanje gospodarstva neovisno o sirovoj nafti (nova radna mjesta, razvoj novih privrednih područja i sl.), a ujedno se pozitivno utječe na okoliš.

Zajedničko za sva alternativna goriva jest da je za njihovu primjenu neophodno izvršiti podešavanje parametara motora sui kako bi se potencijal koji leži u njima mogao na pravi način i iskoristiti. Samo puka zamjena konvencionalnih goriva alternativnima u većini slučajeva dovodi čak i do pogoršanja emisije toksičnih tvari i performanci motora, što je nedopustivo.

U okviru rada predstavljena su eksperimentalna istraživanja na određivanju performanci motora sui, namijenjenog za teška gospodarska cestovna vozila, i optimiziranje njegovih osnovnih parametara pri korištenju biogoriva kao osnovnog odnosno dopunskog goriva fosilnom gorivu.

Eksperimentalni dio

Istraživanja predstavljena u okviru ovog rada zasnivaju se na ispitivanju motora sui s osnovnim karakteristikama navedenim u tablici 1. Ispitivani motor je polovan motor koji je prije ispitivanja korišten za pogon gradskog autobusa oko 15 godina. Predmetni motor je utoliko interesantniji za ispitivanje, ukoliko se uzme u obzir činjenica da se još uvijek koristi u velikom broju autobusa.

Tablica 1: Osnovni podaci ispitivanog motora

Motor	usisni, 4-taktni sa MAN postupkom ubrizgavanja goriva
Broj cilindara	6
Promjer i hod klipa	125 mm x 155 mm
Radni obujam	11,413 dm ³
Stupanj stlačivanja (kompresije)	18:1
Statički kut ubrizgavanja	23°KV prije SMT
Nominalna snaga	160kW/2200 min ⁻¹
Obrtni moment	775 Nm/1400 min ⁻¹

Podaci navedeni u tablici 1 predstavljaju tvorničke podatke zasnovane na korištenju fosilnog goriva, odnosno konvencionalnog dizelskog goriva.

Samo ispitivanje provedeno je na probnom stolu za ispitivanje motora sui koji je postavljen u odgovarajuće uređenom prostoru (ispitna stanica) s priključcima za sve neophodne energente, dok je njegovim radom u toku ispitivanja upravljano iz komandne centrale koja omogućava optičku vidljivost prema ispitivanom motoru. Svi uređaji i sustavi za registriranje intenziteta mjenjenih veličina nalaze se u komandnoj centrali. Osnovni podaci o probnom stolu za ispitivanje motora dani su u tablici 2.

Tablica 2: Probni stol za ispitivanje motora (kočnica)

Marka / tip	Zöllner / B – 350 AC
Vrsta	Električna
Nazivna snaga	350 kW
Maksimalna brzina vrtnje	6000 min ⁻¹

Rukovođeno ciljem ispitivanja motora sui, parametri i veličine koje su obuhvaćene ispitivanjem su:

- broj okretaja motora sui,
- moment motora sui (sila na kočnici),
- satna potrošnja goriva,
- temperatura goriva, prije pumpe
- hod ige ubrizgača goriva prvog cilindra,
- protok zraka,
- vlažnost okolnog zraka,
- emisija CO,

- temperatura okolnog zraka,
- temperatura vode na ulazu u motor,
- temperatura vode u bloku motora,
- temperatura ulja za podmazivanje,
- temperatura u sabirniku ispušnih plinova,
- tlak u prvom cilindru motora,
- tlak u razdjeljivaču zraka neposredno na ulazu u motor, prije usisnog ventila,
- pad tlaka na prečistaču zraka,
- emisija NO_x,
- emisija HC,
- zacrnjenje ispušnih plinova,
- barometarski tlak,
- temperatura zraka u razdjeljivaču neposredno na ulazu u motor,
- tlak ispred mjerača protoka zraka,
- tlak u visokotlačnoj cijevi prvog cilindra neposredno ispred brizgača,
- indikacija položaja GMT

Na osnovi prethodno odabranih veličina, moguće je proračunati osnovne parametre motora sui kao što su snaga, specifična potrošnja goriva, karakteristika oslobađanja topline, početak stvarnog potiskivanja goriva i sl., odnosno njihove korigirane vrijednosti na stanje standardne okoline u vremenu ispitivanja [1, 2, 3, 4, 5].

Tijekom istraživanja korištena su sljedeća goriva: čisto mineralno dizelsko gorivo D2, koje odgovara zahtjevima europske norme EN 590, te čisto biodizelsko gorivo koje odgovara zahtjevima europske norme EN 14214, proizvedeno u poduzeću Pinus – tovarna kemičnih izdelkov d.d. Rače. Osnovne karakteristike korištenih goriva dane su u tablici 3.

Tablica 3: Karakteristike dizela i biodizela

Gorivo	Dizel	Biodizel
Kinematička viskoznost pri 30 °C [mm ² /s]	3,34	5,51
Površinska napetost pri 30 °C [N/m]	0,0255	0,028
Ogrjevna vrijednost [kJ/kg]	43.800	38.177
Cetanski broj [-]	45-55	>51

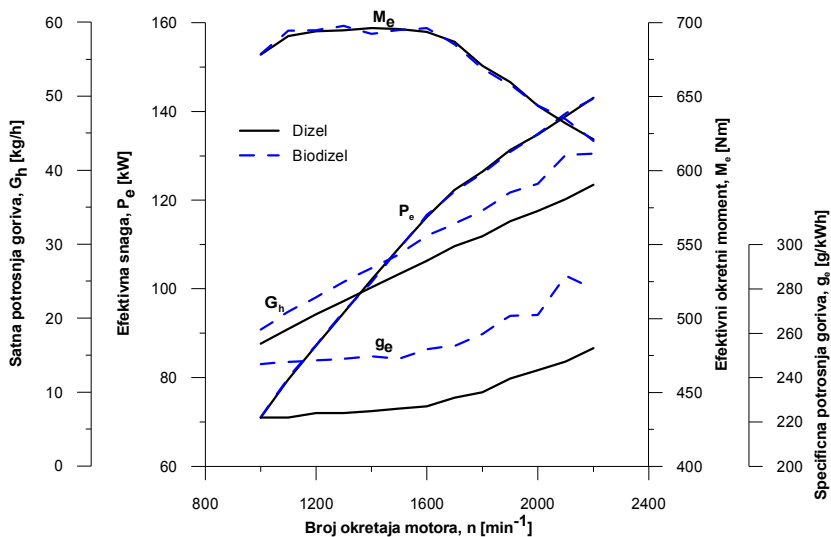
Na osnovi evidentno različitih fizičkih osobina korištenih goriva, te saznanjima o načinu izgaranja biodizela u motoru sui, a prije svega činjenicama da je kutni interval pritajenog izgaranja nešto manji, (što se može povezati s nešto većim cetanskim brojem biodizela u odnosu na dizelsko gorivo) [6], i nešto drugačijim procesom ubrizgavanja goriva (povezuje se s većom viskoznošću biodizela) [7, 8], variran je kut početka ubrizgavanja goriva kao parametra za optimiranje rada motora za korištenje jednog, odnosno drugog goriva. Kao referentna vrijednost kuta ubrizgavanja uzeta je preporučena tvornička vrijednost od 23°KV prije GMT.

Ispitivanje na probnom stolu je učinjeno za relativno široko područje kuta ubrizgavanja, koje je u osnovi ograničeno samom pumpom visokog tlaka, odnosno mogućnošću njenog podešavanja. Za jedan podešeni kut ubrizgavanja goriva izvršena su ispitivanja najprije konvencionalnim dizelskim gorivom, a zatim za jednake postavke i biodizelskim gorivom.

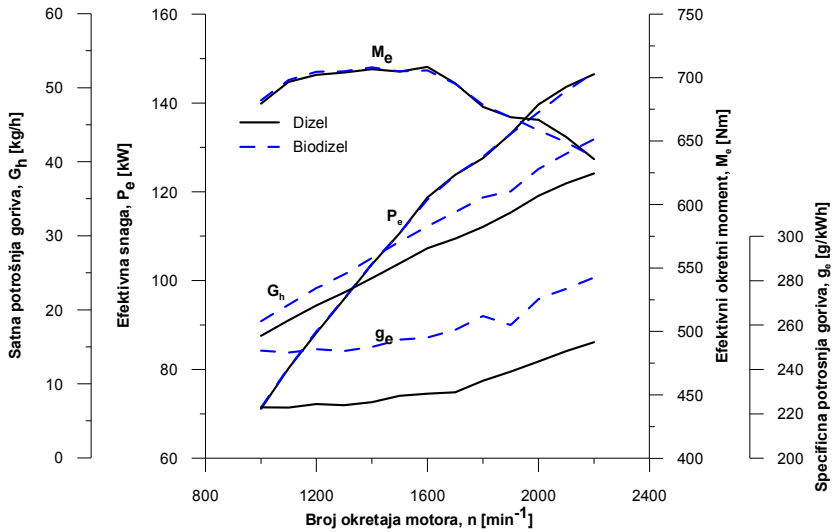
Usporedbom dobivenih rezultata ustanovljene su i razlike koje ukazuju na potrebu podešavanja sustava ubrizgavanja goriva u ovisnosti o korištenom gorivu [9, 10, 11]. Budući da je razmatrani motor sui, unatoč relativno starijem dizajnu, još uvijek u komercijalnoj upotrebi, u nastavku ovog rada dan je pregled rezultata za kut ubrizgavanja za koji je ustanovljeno da pruža optimalne performace motora sui, s aspekta okretnog momenta, snage i potrošnje goriva, pri korištenju fosilnog i biodizelskog goriva, a da se pri promjeni korištenog goriva ponovno ne podešava kut ubrizgavanja na pumpi visokog tlaka.

Rezultati i rasprava

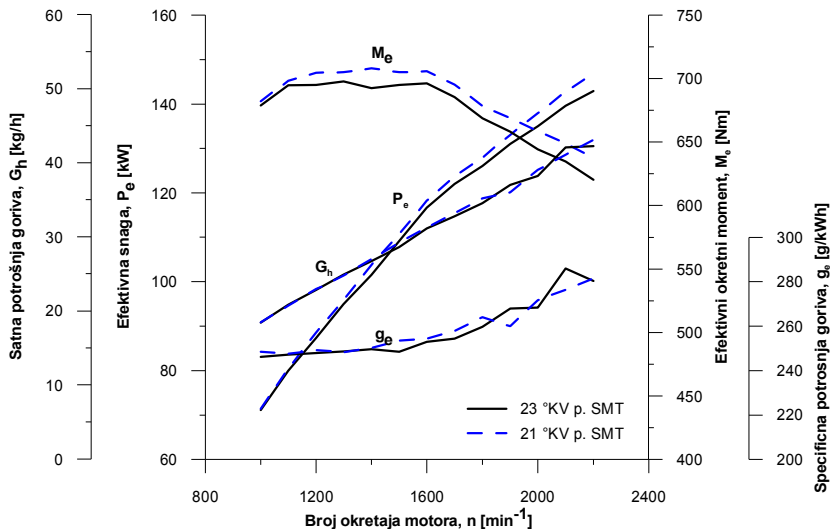
Kao što je već naglašeno u prethodnom poglavlju, ispitivanje motora sui MAN postupkom ubrizgavanja goriva učinjeno je za različite kutove ubrizgavanja i korištenjem dizelskog i biodizelskog goriva na istim režimima. Budući da je snaga zadržavanja približno jednaka za upotrebu dizelskog i biodizelskog goriva, pri čemu se razlika efektivnih stupnjeva iskorištenja nalazila u tolerantnom području od 3 %, sa slika 1 i 2 jasno je vidljivo da je prednost u odnosu na potrošnju goriva, bez obzira na kut ubrizgavanja goriva, na strani upotrebe dizelskog goriva. Veća potrošnja biodizelskog goriva, u odnosu na dizelsko gorivo, posljedica je njegove manje ogrjevne vrijednosti [4, 8, 9], tako da se zadržavanje snage motora sui ostvarivalo povećanjem ciklusne dobave goriva.



Slika 1: Efektivna snaga P_e , efektivni okretni moment M_e , satna potrošnja goriva G_h i specifična potrošnja goriva g_e za dizelsko i biodizelsko gorivo s kutom ubrizgavanja od 23 °KV prije GMT

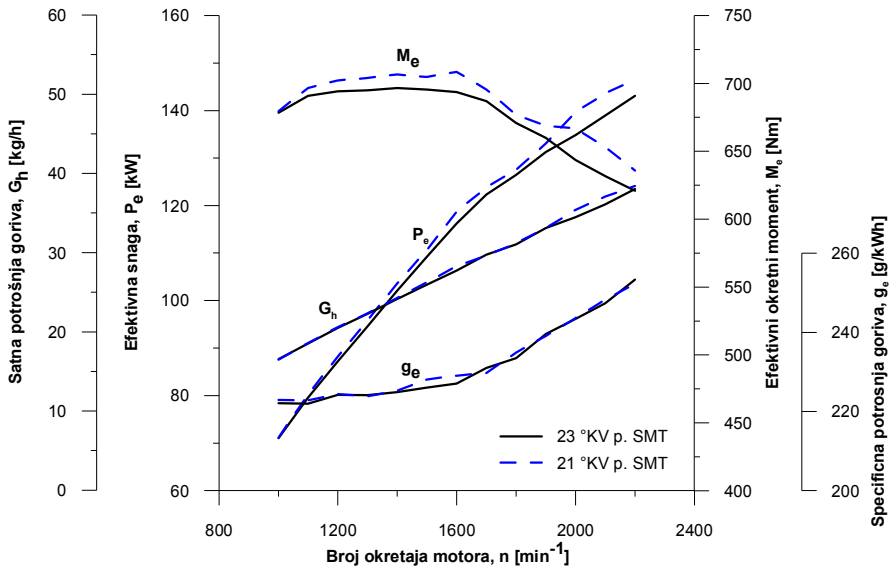


Slika 2: Efektivna snaga P_e , efektivni okretni moment M_e , satna potrošnja goriva G_h i specifična potrošnja goriva g_e za dizelsko i biodizelsko gorivo s kutom ubrzigavanja od 21 °KV prije GMT



Slika 3: Efektivna snaga P_e , efektivni okretni moment M_e , satna potrošnja goriva G_h i specifična potrošnja goriva g_e za biodizelsko gorivo s kutom ubrzigavanja od 21 °KV i 23 °KV prije GMT

Ako se napravi usporedba prethodno razmatranih veličina u ovisnosti o kutovima ubrizgavanja goriva, ali za jedno te isto gorivo, slike 3 i 4, vrlo lako se donosi zaključak da se sa smanjenjem kuta ubrizgavanja, sa 23 °KV na 21 °KV, neznatno mijenja efektivna snaga P_e , odnosno efektivni okretni moment M_e i za slučaj korištenja biodizelskog i dizelskog goriva.



Slika 4: Efektivna snaga P_e , efektivni okretni moment M_e , satna potrošnja goriva G_h i specifična potrošnja goriva g_e za dizelsko gorivo s kutom ubrizgavanja od 21 °KV i 23 °KV prije GMT

Izbor razmatranih kutova ubrizgavanja goriva od 21 °KV i 23 KV rezultat je vrlo opsežnih istraživanja na predmetnom motoru [10-12] koja su trebala kao rezultat ukazati na optimalnu vrijednost kuta ubrizgavanja pri kojem bi se u što boljoj mjeri iskoristile prednosti biodizela kao pogonskog goriva, a da se istovremeno ne pogoršaju izlazni parametri istog motora pri upotrebi konvencionalnog fosilnog dizelskog goriva. Na osnovi rezultata takvog istraživanja [11], koje je obuhvaćalo mjerenje svih relevantnih veličina kao što su protok goriva, zraka, temperature radnih fluida, tlaka u svim karakterističnim mjestima, emisije ispušnih plinova, konstatirano je da je optimalni kut za upotrebu isključivo biodizelskog goriva 19 °KV prije GMT, a da se kutom od 21 °KV za varijantu upotrebe i jednog i drugog goriva postižu najbolji efekti.

Također je obavljeno mjerenje sastava ispušnih plinova koje je potvrdilo da je pri korištenju biodizelskog goriva emisija CO i HC u odnosu na korištenje dizelskog goriva manja, dok je emisija NO_x nešto veća [13].

Zaključak

U okviru rada predstavljeni su rezultati istraživanja utjecaja osnovnih parametara motora s unutarnjim izgaranjem na njegove performance, prvenstveno s aspekta razvijanja snage, okretnog momenta i potrošnje goriva, pri korištenju fosilnog dizelskog i biodizelskog goriva iz obnovljivih izvora energije. Može se zaključiti da je najveći utjecaj, ujedno i parametar koji je relativno jednostavno podešavati bez direktnog konstruktivnog zahvata na motoru sui, zapravo kut ubrizgavanja goriva. Zbog evidentno različitih fizičkih osobina sam proces dobave goriva kao i izgaranja su fenomenološki različiti i neophodno je pri korištenju isključivo jednog odnosno dva goriva naći optimalan omjer rečenog parametra. Sa smanjenjem tvornički preporučenog kuta ubrizgavanja goriva performance koje motor sui može ostvariti korištenjem biodizela popravljaju se i u konačnici su vrlo bliske onim performansama koje motor sui ostvaruje gorivom za koje je i konstruiran.

Alternativna goriva iz obnovljivih izvora energije nesumnjivo posjeduju potencijal koji može odgovoriti svim zahtjevima koje pred njih postavljaju motori sui, krajnji korisnici cestovnih vozila kao i zakonske odredbe vezane za očuvanje okoliša. Međutim, zbog još uvijek slabo razvijene infrastrukture i skupe tehnologije njihove proizvodnje, bez nacionalnih i međunarodnih poticaja vrlo teško će prerasti iz alternativnog u konvencionalno gorivo.

Literatura

1. Heywood J. B., Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, New York, 1988.
2. Hribernik A., Tehniške meritve – eksperimentalne metode – Praktikum laboratorijskih vaji, Fakulteta za strojništvo, Maribor, 2003.
3. Pischinger R., Krašnič G., Taučar G., Sams Th., Thermodynamik der Verbrennungskraftmaschine, Springer – Verlag, Wien, New York, 1989.
4. Soulligney M., Graham L., Rideout G., Hosatte P., Heavy-Duty Diesel Engine Performance and Comparative Emission Measurements for Different Biodiesel Blends Used in the Montreal BIOBUS Project, SAE Technical Paper 2004-01-1861.
5. Filipović I., Bibić Dž., Pikula B., Sistemi za dobavu goriva kod dizel motora, Mašinski fakultet Sarajevo, Sarajevo, 2010.
6. Bibić Dž., Hribernik A., Filipović I., Kegl B.; Goriva i maziva, **46**, 3, 205 – 222, 2007.
7. Bibić Dž., Filipović I., Hribernik A., Pikula B.; Thermal Science, 2008 (**12**), 1, 103-114, 2008.
8. Alam M., Song J., Boehman A., Miller K.; Combustion and Emissions Performance of Low Sulfur, Ultra Low Sulfur and Biodiesel Blends in a DI Diesel Engine, SAE Technical Paper 2004-01-3024.

9. Sinha S., Agarwal A. K.; Performance Evaluation of a Biodiesel (Rice Bran Oil Methyl Ester) Fuel Transport Diesel Engine, SAE Technical Paper 2005-01-1730.
10. Kegl B., Energy & Fuels, **4** (20), 1460 - 1470, 2006.
11. Kegl B., Hribernik A., Experimental Analysis of Injection Characteristics Using Biodiesel Fuel, Energy & Fuels, ASAP Article 10.1021/ef0700432 S0887-0624(07)00043-6.
12. Volmajer M., Pogorevc P., Kegl B., Analiza vpliva uporabe biodizla i mešanic biodizel-plinsko olje na proces vbrizgavanja, Innovative Automotive Technology, April 2005.
13. Bibić Dž., Filipović I., Kegl B., Pikula B.; Goriva i maziva, **48**, 3, 333 – 350, 2009.

UDK	ključne riječi	key words
621.436.018	učinak dizelovog motora	diesel engine efficiency
621.436.068.3	ispušna emisija dizelovog motora	diesel engine exhaust emission
621.436.019.8	kut predubrizgavanja dizelovog motora	diesel engine injection advance angle
665.334.94.094.942	biodizelsko gorivo EN14214	biobased diesel fuel EN14214
665.753.4.035	eurodizel gorivo D2, EN 590, aplikativna svojstva	eurodiesel engine fuel D2, EN 590, application properties

Autori

doc. dr. sc. Dževad Bibić, prof. dr. sc. Ivan Filipović, doc. dr. sc. Boran Pikula
 Mašinski fakultet Sarajevo, Odsjek za motore i vozila,
 Vilsonovo šetalište 9, 71 000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina,
 tel./fax. +387 33 650 841;

e-adresa: bibic@mef.unsa.ba, fillipovic@mef.unsa.ba, pikula@mef.unsa.ba

izv. prof. dr. sc. Breda Kegl; Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo,
 Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija, e-adresa: breda.kegl@uni-mb.si

Primljeno

15.9.2010.

Prihvaćeno

04.5.2011.