

Ivan Filipović, Boran Pikula, Dževad Bibić, Goran Kepnik

ISSN 0350-350X

GOMABN 52, 1, 3-15

Izvorni znanstveni rad / Original scientific paper

UTJECAJ FIZIKALNIH OSOBINA MJEŠAVINA BIODIZELA I DIZELA D2 NA KARAKTERISTIKE RASPRŠIVANJA GORIVA

Sažetak

Uporaba alternativnih goriva u motorima s unutarnjim izgaranjem postaje sve atraktivnija, sa stajališta štednje energije, smanjenja emisije reguliranih zagađivača u ispušnim plinovima te smanjenja emisije CO₂ u okoliš. Kod dizelovih motora, od alternativnih goriva, najviše se radi na uporabi biodizelskog goriva i njegovih mješavina s dizelskim gorivom. Također, nije zanemariva ni uporaba mješavina tekućih i plinovitih goriva (D2 i CNG). Uporaba biodizelskog goriva i njegovih mješavina s dizelskim gorivom u motorima, zbog različitih fizikalnih i kemijskih osobina, ima značajan utjecaj na procese u motoru, od pripreme smjese zrak-gorivo do procesa izgaranja (različito vrijeme pritajenog izgaranja, različita brzina oslobađanja topline, itd.). Za optimalan rad motora, u prvom redu procesa izgaranja, potrebno je poznavati sve utjecajne parametre, koji su posljedica uporabe novog goriva. U ovom radu je napravljena detaljna analiza utjecaja fizikalnih osobina biodizela i njegovih mješavina s dizelskim gorivom, na karakteristike mlaza raspršenog goriva koji ima dominantan utjecaj na proces miješanja goriva i zraka. Rezultati prikazani u ovom radu su kombinacija eksperimentalnih i računskih rezultata, dobivenih pomoću vlastito razvijenog računarskog programa.

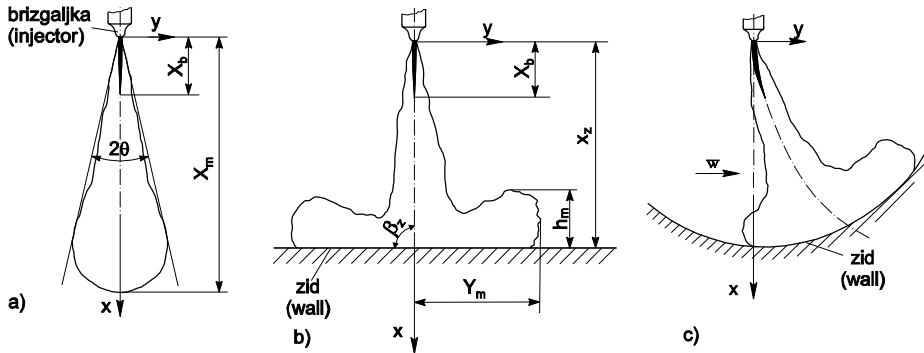
Ključne riječi: mješavina D2-biodizel, raspršivanje goriva, brizgaljka, dizelov motor

1. Uvod

Kvaliteta procesa izgaranja goriva u motorima s unutarnjim izgaranjem, s izravnim ubrizgavanjem goriva u cilindar motora, ovisi o uvjetima miješanja goriva i zraka i uvjetima okruženja (oblik komore izgaranja, stupanj zgušnjavanja, temperaturno stanje zidova koji formiraju prostor izgaranja, itd.). Miješanje goriva i zraka ovisi o:

- karakteristikama mlaza goriva (dometa mlaza (X_m), kutu širenja mlaza (2θ), fizikalnim i kemijskim strukturama mlaza, karakteristikama mlaza nakon udara o zid, dužine zone neprekinutog mlaza, itd.) i
- karakteristikama kretanja zraka u komori izgaranja (brzina i pravac strujanja zraka, vrtloženju zraka, temperaturama zraka, itd.).

Primjer navedenih karakteristika mlaza goriva (domet mlaza (X_m), kut širenja mlaza (2θ), kut udara mlaza o zid (β_z), dužina zone neprekidnog mlaza (X_b), itd.), u ovisnosti o sredini i okruženju u kojima se ubrizgava gorivo prikazani su na slici 1.



Slika 1: Karakteristični oblici mlaza goriva u različitim uvjetima okruženja

U literaturi [1-4, 10] se susreće više pravaca u istraživanju karakteristika mlaza goriva, od čega je najprihvatljivija uporaba različitih poluempirijskih obrazaca. Slična situacija je i s istraživanjem utjecaja kretanja zraka na karakteristike mlaza goriva. Ovaj rad obrađuje karakteristike miješanja goriva i zraka kod automobilskog dizelovog motora s izravnim ubrizgavanjem goriva različitih fizikalnih osobina. Utjecaj strujanja zraka na karakteristike mlaza goriva kod ovih motora je prilično slab, tako da će sve analize biti koncentrirane na karakteristike mlaza goriva.

Poluempirijski izrazi za proračun karakteristika mlaza goriva, primjereni za automobilske dizelove motore s izravnim ubrizgavanjem, dani su pregledno kod većeg broja autora [3, 4, 6, 10]. Većina izraza tretira karakteristike dometa mlaza u obliku:

$$X_m = C \cdot d_b^{0,5} \left(\frac{\Delta p}{\rho_c} \right)^{0,25} t^{0,5} \quad (1)$$

gdje su veličine promjera mlaznice (d_b) i gustoće okoline (ρ_c) jednoznačno definirane. Veličina pada tlaka goriva kroz brizgaljku (Δp) mijenja se s vremenom (t), tako da se i ova vrijednost kod nekih autora tretira različito [1, 2]. Većina autora za proračun Δp koristi osrednjeni tlak ispred brizgaljke ($p_{ll,SR}$) tijekom ubrizgavanja i srednji tlak u prostoru u koji se ubrizgava (p_c), tj: $\Delta p = p_{ll,SR} - p_c$. Veličina koeficijenta C u izrazu (1) najčešće se objašnjava kao konstanta koja obuhvaća gubitke strujanja u brizgaljci te da se ne mijenja značajno s uvjetima ubrizgavanja i konstrukcijom sustava ubrizgavanja. S obzirom da se vrijednosti koeficijenta C pojavljuju u literaturi s rasipanjem preko 30 %, ozbiljnije analize veličine C javljaju se u literaturi [1, 2, 4].

Spomenuti literaturni izvori uglavnom opisuju utjecaj geometrijskih i hidrodinamičkih karakteristika strujanja goriva u brizgaljci na veličinu koeficijenta C .

S obzirom da se u posljednje vrijeme intenzivno radi na primjeni alternativnih goriva kod dizelovih motora, čije fizikalne osobine su različite od istih kod dizelskog goriva D2, u ovom radu je napravljena analiza utjecaja fizikalnih osobina različitih goriva na koeficijent C , odnosno karakteristike mlaza goriva.

2. Fizikalne osobine goriva

Jedno od alternativnih goriva kod dizelovih motora je biodizelsko gorivo, koje se može upotrebljavati kao mješavina s D2 ili samostalno. Ispitivano je biodizelsko gorivo od proizvođača *PINUS* – Rače, Slovenija, proizvedeno sukladno normi EN 14214. Osnovna fizikalno-kemijska svojstva biodizelskog i dizelskog goriva, pri tlaku $p = 1$ bar i temperaturi goriva 35 °C , koje su korištene u ispitivanju, dane su u tablici 1.

Tablica 1: Osnovna fizikalno-kemijska svojstva biodizelskog i dizelskog goriva [11]

Svojstvo goriva	Dizel	Biodizel
Gustoća pri 35 °C (kg/m^3)	812	865
Kinematička viskoznost pri 35 °C (mm^2/s)	2,90	4,9
Toplinska vrijednost (MJ/kg)	42,6	37,3
Cetanski broj	46	> 49
Udjeli:		
Maseni udio C	0,860	0,7750
Maseni udio H	0,134	0,1210
Maseni udio S	0,003	0,0001
Maseni udio O	--	0,1040
Stehiometrijski omjer (kg zraka/ kg goriva)	14,5	12,4

S obzirom da se u analizi koriste goriva D2, biodizel i njihove mješavine u različitim uvjetima tlaka (temperatura je približno konstantna), u nastavku je dan utjecaj tlaka goriva u sustavu ubrizgavanja na najvažnije fizikalne osobine goriva [5, 9] i to:

- gustoća goriva:

$$\rho = x(0,0543p + 877) + (1 - x)(0,0611p + 826) - 13,5 \quad \left[\text{kg} / \text{m}^3 \right] \quad (2)$$

- kinematička viskoznost:

$$\nu = 0,75x^2 + 1,3x + 2,9 \quad \left[\text{mm}^2 / \text{s} \right] \quad (3)$$

- brzina zvuka kroz gorivo:

$$a = (1302 + 0,5134p - 0,0002p^2)(0,995 + 0,03x) - 0,05px \quad \left[\text{m} / \text{s} \right] \quad (4)$$

- modul elastičnosti:

$$E = \rho a^2 \quad \left[N / m^2 \right] \quad (5)$$

gdje je: x – volumni udio biodizela u mješavini, p – tlak [bar].

Temperatura korištenih goriva koja se realno u sustavu za ubrizgavanje kreće u granicama (34-38) °C, uzeta je kao konstantna vrijednost od 35 °C, gdje za ovu vrijednost temperature važe prethodni izrazi od (2) do (5).

U analizi rezultata gdje ključnu ulogu imaju hidrodinamički parametri u sustavu ubrizgavanja koji ovise o vrsti goriva, korišten je vlastito razvijeni računarski program za proračun hidrodinamičkih parametara, detaljno prikazan u [5].

3. Analiza rezultata

Za analizu karakteristika mlaza goriva preko poluempirijskih izraza, kao i preko složenijih proračuna (npr. metoda kontrolnih volumena, itd.), jedan od najvažnijih elemenata je poznavanje početnih i graničnih uvjeta na izlazu iz brizgaljke (kraj mlaznice brizgaljke). Tu se misli na tok tlaka i brzine istjecanja iz mlaznice brizgaljke u funkciji vremena. S obzirom da je ove parametre vrlo teško, praktično nemoguće dobiti eksperimentalno, pribjegava se korištenju računskih metoda. Od računskih metoda kojima se pokušavaju definirati hidrodinamički parametri duž sustava ubrizgavanja (tlak, brzina strujanja), prisutni su tzv. 3D odnosno 2D modeli i kombinirani 1D-0D modeli. Prvi su složeni zbog zahtjeva za velikim računarskim vremenom, dok su ovi drugi, sa stajališta praktičnosti, našli svoje mjesto. U ovom radu će se koristiti vlastito razvijeni računarski program s kombiniranim 1D-0D modelom, korišten i objašnjen u [1, 2, 5]. Ukratko, računarski program je temeljen na razvijenom fizikalnom i matematičkom modelu strujanja goriva u sustavu ubrizgavanja koji se sastoji od jednodimenzionalnog modela strujanja goriva kroz cijevi konstantnog i promjenjivog poprečnog presjeka, te nuldizmenzionalnog modela strujanja goriva kroz volumene, također konstantnog i promjenjivog obujma, ovisno o kretanju pokretnih dijelova brizgaljke.

Za proračun karakterisitka strujanja goriva u volumenima (V_j) korištena je jednadžba kontinuiteta u integralnom obliku tipa:

$$\frac{V_j}{E} \frac{dp}{dt} = \sum_{m=1}^n Q_m \quad (6)$$

Proračun karakteristika strujanja u cijevima, gdje je promatran tzv. jednodimenzionalni tok, korištene su jednadžbe oblika:

- jednadžba kontinuiteta

$$\frac{\partial p}{\partial t} + a^2 \rho \frac{\partial v}{\partial z} = 0 \quad (7)$$

- jednačba količine kretanja

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\lambda v |v|}{2d_c} = 0 \quad (8)$$

koje se rješavaju metodom karakteristika.

Karakteristične veličine pokretnih elemenata sustava za ubrizgavanje (put (h), brzina

($\frac{dh}{dt}$) i ubrzanje ($\frac{d^2h}{dt^2}$) rasteretnog ventila i igle brizgaljke) određuju se na osnovi

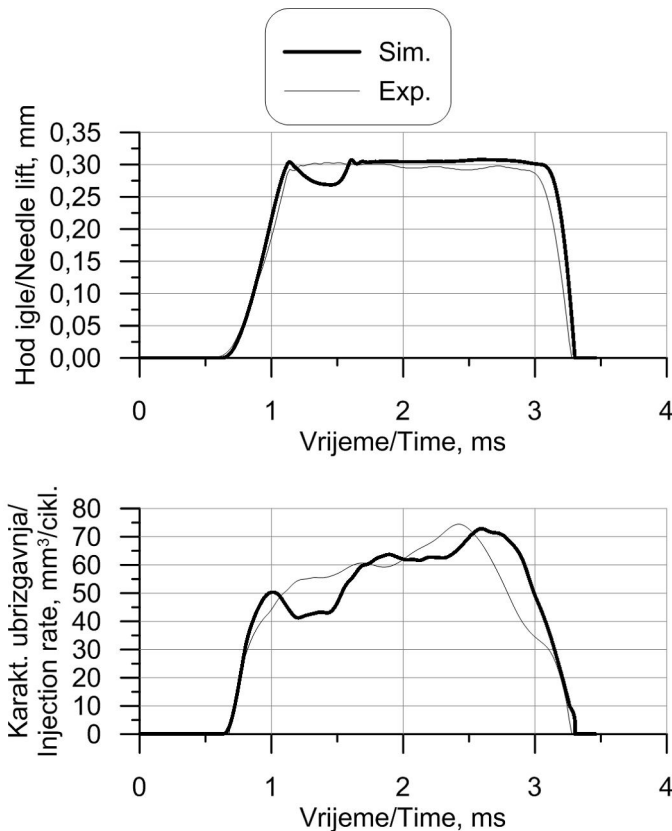
jednačba kretanja (drugi Newtonov zakon) u obliku:

$$m \frac{d^2h}{dt^2} + k \frac{dh}{dt} + ch = \sum F \quad (9)$$

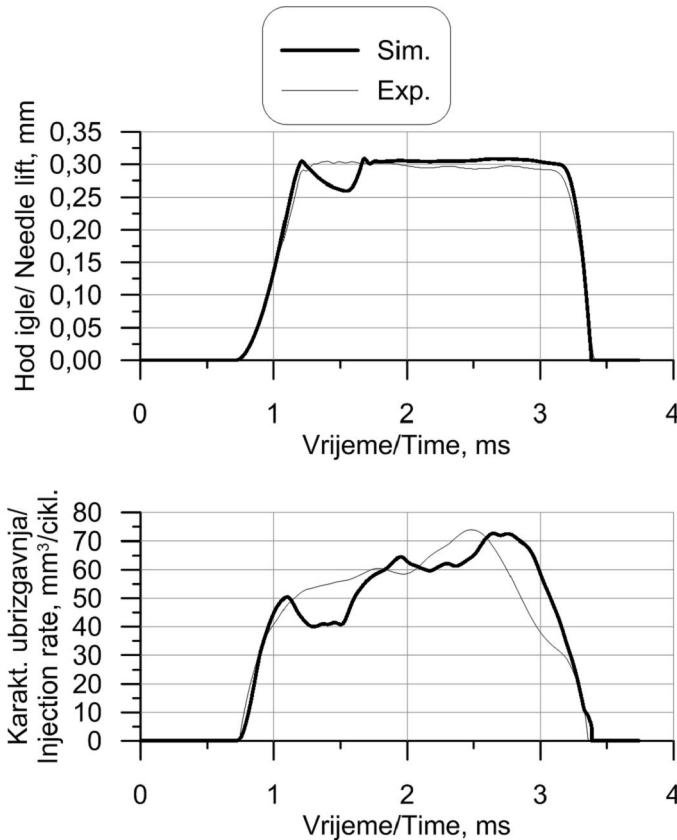
Kod ovakvih modela važno je precizno poznavati geometrijske forme u pojedinim zonama brizgaljke, kao i linijske i lokalne gubitke u svim segmentima sustava ubrizgavanja. U konkretnom slučaju, korišteni su podaci za koeficijente različitih gubitaka iz literature [7, 8].

Potvrda ispravno usvojenog modela dobivena je pri usporedbi računskih i eksperimentalnih rezultata na konkretnom sustavu ubrizgavanja tipa PES 6A 95D 410 LS 2542 (*Bosch*) i brizgaljci tipa DLL 25S834 (*Bosch*). Tijekom eksperimentalnih istraživanja registriran je tlak na počeku i tlak na kraju cijevi visokog tlaka, hod igle brizgaljke, karakteristika ubrizgavanja, ciklusna dobava goriva, broj okretaja pumpe visokog tlaka i temperatura goriva. Proračunom je omogućeno da se u svakoj točki duž jednodimenzionalnog modela brizgaljke poznaje tlak i brzina strujanja goriva. Tako je poznavajući tlak i brzinu strujanja goriva na izlazu iz mlaznice definirana karakteristika ubrizgavanja goriva, dok je proračunom određen i hod igle brizgača. Za verifikaciju fizikalnog i matematičkog modela sustava ubrizgavanja upotrijebljene su sve mjerene karakteristike, a u radu su prikazani usporedni računski i eksperimentalni rezultati hoda igle (h) i karakteristike ubrizgavanja (q_c) zato što su u njima neizravno sadržani i tlakovi ubrizgavanja. Usporedba rezultata prikazana je na slici 2 i slici 3 za dizelsko gorivo D2 ($\rho_{D2} = 812,6 \text{ kg/m}^3$ pri $p = 1 \text{ bar}$ i $t = 35 \text{ }^\circ\text{C}$) i biodizelsko gorivo ($\rho_B = 877,1 \text{ kg/m}^3$ pri $p = 1 \text{ bar}$ i $t = 35 \text{ }^\circ\text{C}$). Rezultati su prikazani za konstantan broj okretaja sustava za ubrizgavanje $n = 900 \text{ o/min}$ i konstantnu ciklusnu dobavu goriva od $134 \text{ mm}^3/\text{cikl. cil.}$ Sa slika 2 i 3 vidi se zadovoljavajuće slaganje računskih i eksperimentalnih rezultata, što potvrđuje da je izabran odgovarajući model brizgaljke s odgovarajućim numeričkim rješenjima. Dodatna je potvrda i integralna karakteristika ubrizgavanja, tj. ciklična dobava goriva pri čemu su razlike manje od 2 % između računskih i eksperimentalnih vrijednosti. Važno je napomenuti da je prilikom eksperimentalnih istraživanja i provedenih proračuna zadržavan isti geometrijski hod potiskivanja na pumpi visokog tlaka. To je dovelo do pojave nešto veće ciklične dobave goriva kod uporabe goriva većih gustoća.

Imajući u vidu da je toplinska vrijednost biodizelskog goriva manja od one mineralnog dizelskog goriva, da bi se zadržale iste brzinske karakteristike motora s unutarnjim izgaranjem u pogledu momenta i snage motora, neophodno bi bilo povećati geometrijski hod potiskivanja što bi uzrokovalo i veće ciklične dobave goriva. Kako je česta pojava uporabe mješavina dizelskog i biodizelskog goriva (manji udio biodizelskog goriva), bez posebnog podešavanja sustava za ubrizgavanje, u radu je analiziran slučaj s konstantnim tzv. geometrijskim hodom potiskivanja goriva na pumpi visokog tlaka.



Slika 2: Usporedni dijagrami hoda igle (h_i) i karakteristike ubrizgavanja (q_c) dobiveni računski i eksperimentalno za gorivo s gustoćom $812,6 \text{ kg/m}^3$

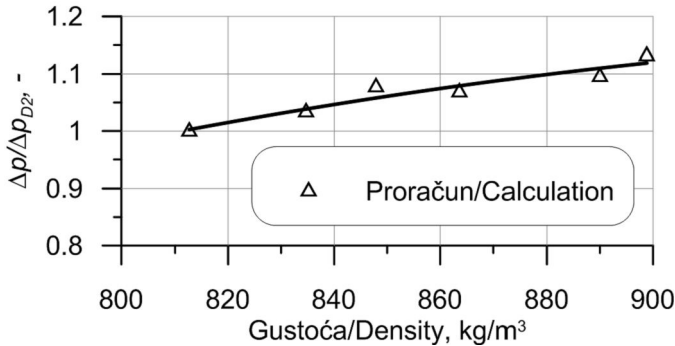


Slika 3: Usporedni dijagrami hoda igle (h_i) i karakteristike ubrizgavanja (q_c) dobiveni računski i eksperimentalno za gorivo s gustoćom $877,1 \text{ kg/m}^3$

Analiza utjecaja fizikalnih osobina goriva u radu će se prikazati preko karakteristike dometa mlaza goriva. Naime, već je u uvodu rečeno da naomet mlaza (X_m), pored pada tlaka na brizgaljci (Δp) i konstruktivnih dimenzija mlaznice (d_b), najviše utječe konstanta C , koja ovisi o fizikalnim osobinama goriva i konstruktivnih formi na brizgaljci. Uzimajući u obzir da je u radu provedena analiza na konkretnom sustavu ubrizgavanja i istim okolnim uvjetima, to su kao utjecajni parametri naomet mlaza (izraz (1)) analizirane veličine C i Δp .

Pad tlaka na brizgaljci (Δp), u funkciji gustoće goriva, najlakše je definirati koristeći vlastito razvijeni računarski program [5], uzimajući koeficijente gubitaka na pojedinim mjestima sustava ubrizgavanja, poštujući osnovne zakonitosti mehanike fluida [7, 8].

Tako je za konstantan režim rada sustava ubrizgavanja $q_c = \text{const.}$, $n = \text{const.}$) dobiven dijagram ovisnosti pada tlaka (Δp) u funkciji gustoće goriva, čiji su rezultati dobiveni proračunom prikazani na slici 4 u formi relativnog pada tlaka $\Delta p / \Delta p_{D2}$.



Slika 4: Dijagram promjene relativnog pada tlaka u brizgaljci u funkciji gustoće goriva

Konstanta C u izrazu (1), prema [1, 2] može se napisati u obliku:

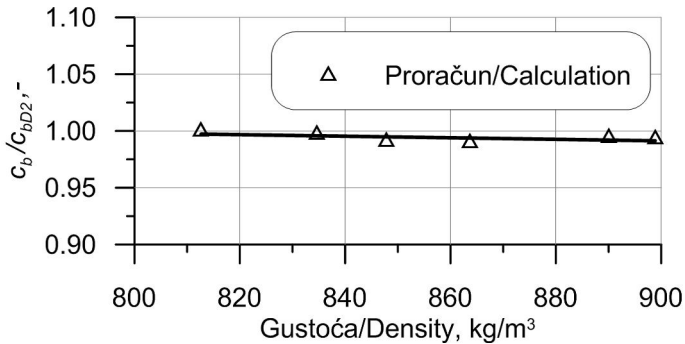
$$C = \frac{c_b^{0,5} \cdot c_1^{-0,5} \cdot \varphi_1^{-0,25}}{\left(1 + \frac{c_m}{2}\right)^{0,25}} \quad (10)$$

gdje je c_b koeficijent gubitaka u brizgaljci definiran u [1]. Za različite vrijednosti gustoće goriva može se prikazati relativna promjena koeficijenata gubitaka na brizgaljci $\frac{c_b}{c_{bD2}}$ kao na slici 5 za iste ostale uvjete na sustavu ubrizgavanja ($n = \text{const.}$, $q_c = \text{const.}$).

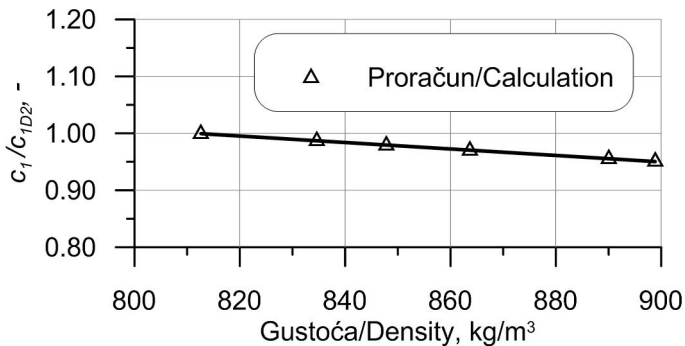
Veličina c_m , kao koeficijent otpora kretanja kapljica kroz okolnu sredinu, praktično ne ovisi o gustoći goriva za realne raspone gustoće goriva $\rho = (800 \div 900) \text{ kg/m}^3$. Sličan zaključak se može izvesti i za veličinu φ_1 koja oslikava profil brzina kapljica goriva u različitim presjecima mlaza goriva, s obzirom da raspon gustoće goriva, spomenut u prethodnom odlomku, ne utječe na profil brzina kapljica u mlazu goriva. Veličina c_1 , prema istraživanjima većeg broj autora koji su analizirali kut širenja mlaza goriva [3,6,10], definira tangens kuta širenja mlaza goriva $b = c_1 \cdot X_m$, gdje je:

$$c_1 = \text{tg } \theta = K^* \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)^{0,5} \propto \rho^{-0,5} \quad (11)$$

Veličina $c_1 = f(\rho)$ prema izrazu (11) može se prikazati relativno u odnosu na veličinu c_{1D2} za dizel gorivo, kao na slici 6.



Slika 5: Promjena relativnog koeficijenta gubitaka u funkciji gustoće goriva

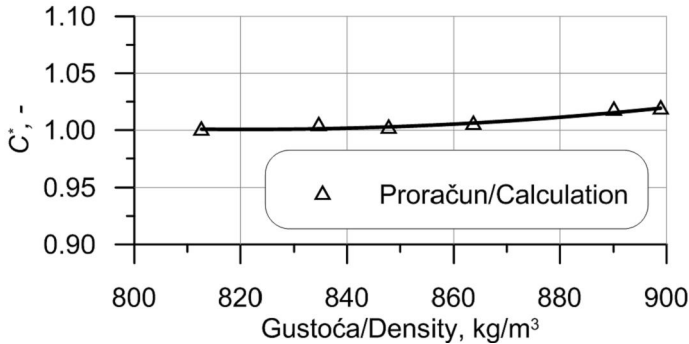


Slika 6: Promjena vrijednosti konstante c_1 u odnosu na istu veličinu kod D2 u funkciji gustoće goriva

Usporednom analizom izraza (10) za različite gustoće goriva može se doći do zaključka da se koeficijent C , za konkretni sustav ubrizgavanja i iste uvjete ispitivanja, mijenja po istoj ovisnosti kao i umnožak ($C^* = c_b^{0,5} c_1^{-0,5}$). Na osnovi ovoga se može napraviti promjena spomenutog umnoška relativno u odnosu na iste parametre kod ubrizgavanja konvencionalnog goriva D2, kao:

$$C^* = \left(\frac{c_b}{c_{b,D2}} \right)^{0,5} \left(\frac{c_1}{c_{1,D2}} \right)^{-0,5} \quad (12)$$

Veličina C^* u ovisnosti o gustoći goriva dobivena prema izrazu (12) prikazana je na slici 7.

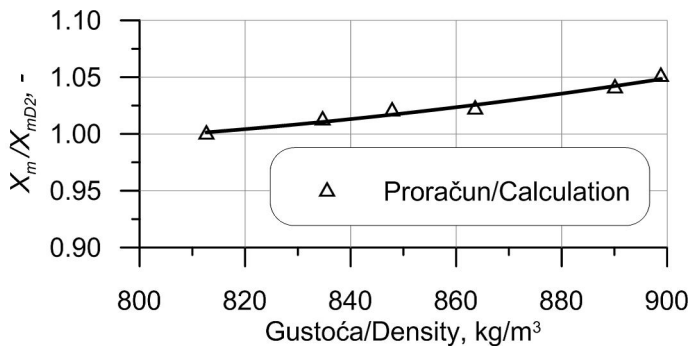


Slika 7: Relativna promjena konstante C^* za različite gustoće goriva

Kombinirajući rezultate s dijagrama na slici 7 i rezultate sa slike 4, može se definirati relativna promjena dometa mlaza kao:

$$\frac{X_m}{X_{m,D2}} = C^* \cdot \left(\frac{\Delta p}{\Delta p_{D2}} \right)^{0,25} \quad (13)$$

koji predstavlja realni utjecaj fizikalnih osobina goriva na domet mlaza. Ovi rezultati su prikazani na slici 8.



Slika 8: Dijagram utjecaja gustoće goriva na domet mlaza goriva

Svakako, kroz veličine Δp i C^* uzete su u obzir i druge fizikalne osobine goriva, u prvom redu viskoznost goriva. Dijagram na slici 8 pokazuje da s povećanjem gustoće goriva u rasponu $\rho = 800 \div 900 \text{ kg/m}^3$ dolazi do povećanja dometa mlaza raspršenog goriva do 5 %. Ova promjena je zanemariva u smislu utjecaja dodavanja biodzela u dizelsko gorivo, sa stajališta karakteristika miješanja goriva i zraka, što je najvažnije za proces izgaranja u motoru, pod uvjetom zadržavanja konstantnog geometrijskog hoda potiskivanja na pumpi visokog tlaka. Promjena rezultata dometa mlaza, datih na slici 8, s promjenom gustoće goriva tj. promjenom mješavina dizelskog i biodizelskog goriva, sukladna je eksperimentalnim istraživanjima dometa mlaza za dizelsko gorivo D2 i biodizelsko gorivo, danim u [12].

4. Zaključak

U radu je analiziran utjecaj fizikalnih osobina mješavina biodzela i dizelskog goriva na karakteristike mlaza raspršenog goriva. Za realni raspon fizikalnih osobina ovih goriva (pri tlaku $p = 1 \text{ bar}$ i temperaturi goriva $35 \text{ }^\circ\text{C}$):

- gustoća $\rho = 800 \div 900 \text{ kg/m}^3$,
- kinematička viskoznost $\nu = 2,9 \div 4,9 \text{ mm}^2/\text{s}$,
- brzina prostiranja zvuka kroz gorivo $a = 1300 \div 1340 \text{ m/s}$,
- modul elastičnosti $E = (1,35 \div 1,616) \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$,

uz zadržan konstantan geometrijski hod potiskivanja goriva na pumpi visokog tlaka, karakteristike mlaza (domet i njegovo širenje) rasipaju se u rasponu do 5 %. Ovo praktično nema nikakvog značajnijeg utjecaja na karakter miješanja goriva i zraka. Svakako da kemijski sastav goriva ima značajniju ulogu u procesu izgaranja.

Uz pretpostavku promjene geometrijskog hoda potiskivanja goriva na pumpi visokog tlaka, u cilju održavanja unesene iste količine toplote u motor s unutarnjim izgaranjem, za različita goriva, neće doći do značajnije promjene dometa mlaza goriva. Povećanje dometa mlaza različitih goriva u razumnim granicama, imajući u vidu njegovo ponašanje nakon udara o zid komore izgaranja [3, 4], daje poboljšanje karakteristika miješanja goriva i zraka. Ovim je potvrđeno da primjena različitih udjela (postotaka) biodizelskog goriva u mješavini s dizelskim gorivom osigurava određeno poboljšanje u pripremi mješavine gorivo-zrak za izgaranje.

Zahvala

Rezultati istraživanja prikazani u ovom radu su dobiveni uz financijsku pomoć FMON BiH (Ugovor br. 05-39-5613-3/11), na čemu se autori srdačno zahvaljuju.

Literatura

1. Filipović I., Pikula B, Bibić Dž.: Influence of Geometric and Hydrodynamic Parameters of Injector on Calculation of Spray Characteristic of Diesel Engine, Jour. Thermal Science, V. 15, No. 4, p. 1095-1109.
2. Filipović I., Pikula B, Bibić Dž.: Influence of Injector on Characteristics of Fuel Dispersion in Diesel Engine, Jour. Fuels and Lubricants (2011), No. 3, p. 215-232.
3. Yule A. J., Mirza M. R. and Filipović I.: Correlations for Diesel Spray Penetration Including the Effects of the Break-up Zone, 5th Int. Conference on Liquid Atomization on Spray Systems (ICLASS 91), Gaithersberg, MD, 1991, USA.
4. Yule A. J. and Filipović I.: On the Break-up Times and Lengths of Diesel Sprays, Int. Journal Heat & Fluid Flow, 13, (2), p. 197-206, 1992.
5. Pikula B.: Istraživanje karakteristika sistema za ubrizgavanje pri upotrebi dizela, biodizela i njihovih mješavina u različitim eksploatacionim uslovima, doktorska disertacija, Mašinski fakultet Sarajevo, 2007.
6. Heywood J. B.: International Combustion Engine Fundamentals, Mc Graw – Hill International Editions, 1988.
7. Franzini J., Finnemore J.: Fluid mechanics with engineering applications, 9th edition, Mc Graw – Hill, 1997.
8. White F.: Fluid mechanics, 5th edition, Mc Graw – Hill, 2003.
9. Kegl B., Škerget L., Hribernik A., Pogorevc P., Volmajer M., Kokalj F., Pagon A., Polanič A.: Fuel properties, report (Project Mobilis – Civitas II, TREN/04/FP6EN/SO7. 37886/513562), Faculty of Mechanical Engineering, Maribor, 2006.
10. Dent J. C.: Basis for the Comparison of Various Experimental Methods for Studing Penetration, SAE Trans., vol. 80, paper No. 710571, 1971.
11. Bibić Dž.: Karakteristike sagorijevanja biodizela i njegovih mješavina sa fosilnim gorivima u dizel motorima, doktorska disertacija, Mašinski fakultet Sarajevo, 2007
12. Pogorevc P.: Vpliv biodizelskega goriva na karakteristike vbrizgalnega curka, doktorska disertacija, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Maribor, 2006

Korištene oznake:

a [m/s]	Brzina prostiranja zvuka kroz gorivo
C [-]	Koeficijent
C^* [-]	Konstanta
c_b [-]	Koeficijent gubitaka u brizgaljci
c_m [-]	Koeficijent otpora kretanja kapljica
c_1 [-]	Parametar koji definira kut širenja mlaza
d [m]	Promjer cijevi
d_b [m]	Promjer mlaznice
E [N/m ²]	Modul elastičnosti
F [N]	Sila
h [m]	Hod
h_i [m]	Hod igle brizgaljke
K [-]	Konstanta
m [kg]	Masa
n [1/min]	Broj okretaja
p [bar]	Tlak

$p_{ll, sr}$ [bar]	Osrednjeni tlak ispred brizgaljke
p_c [bar]	Tlak u prostoru u koji se ubrizgava
Q [m^3/s]	Protok
q_c [mm^3/s]	Karakteristika ubrizgavanja
t [s]	Vrijeme
V [m^3]	Volumen
v [m/s]	Brzina strujanja goriva
x [-]	Zapreminski udio biodizela u mješavini
X_b [m]	Dužina zone neprekinutog mlaza
X_m [m]	Domet mlaza
z [m]	Koordinata duž cijevi visokog pritiska
	<u>Grčka slova</u>
β_z [°]	Kut udara mlaza o zid
Δp [bar]	Pad tlaka goriva kroz brizgaljku
φ_1 [-]	Parametar koji oslikava profil brzina kapljica
λ [-]	Koeficijent linijskih gubitaka
ν [mm^2/s]	Kinematička viskoznost
ρ [kg/m^3]	Gustoća goriva
ρ_c [kg/m^3]	Gustoća okoline u koju se ubrizgava
2θ [°]	Kut širenja mlaza
	<u>Indeksi</u>
D2	Dizelsko gorivo
BIO	Biodizel

Autori

prof. dr. sc. Ivan Filipović; prof. dr. sc. Boran Pikula; prof. dr. sc. Dževad Bibić;
 Goran Kepnik, dipl. ing.
 Mašinski fakultet Sveučilišta u Sarajevu, Odsjek za motore i vozila,
 Bosna i Hercegovina
 e-adrese: filipovic@mef.unsa.ba; pikula@mef.unsa.ba; bibic@mef.unsa.ba;
 kepnik@mef.unsa.ba

Primljeno

28.9.2012.

Prihvaćeno

18.01.2013.