

Pogon Dieselovog motora metilnim esterom repičinog ulja i emisija ispušnog plina

Sažetak

Opisano je ispitivanje utjecaja alternativnog goriva na osnovi repičinog ulja na emisiju štetnih plinova. Ispitivanje je provedeno na trocilindarskom Diesel motoru s izravnim ubrizgavanjem goriva pri pogonu metilnim esterom repičinog ulja i standardnim Diesel gorivom. S oba goriva provedeno je mjerenje sa i bez oksidacijskog katalizatora. Mjerenja su provedena prema standardiziranom testu za gospodarska vozila s Diesel motorom ECE-R 49.

Opisan je proces proizvodnje metilnog estera repičinog ulja te su navedene i opisane najbitnije značajke za izgaranje goriva.

Provedenim mjerenjima utvrđene su emisije štetnih plinova - ugljičnog monoksida (CO), ugljikovodika (CH), dušičnih oksida (NO_x), te sadržaj partikula u ispušnom plinu. Rezultati utvrđeni primjenom metilnog estera repičinog ulja te Diesel goriva, sa i bez uporabe oksidacijskog katalizatora, prikazani su u obliku dijagrama.

Na osnovu analize rezultata provedenih mjerenja utvrđen je povoljan utjecaj metilnog estera repičinog ulja na emisiju štetnih ispušnih plinova.

1. Uvod

Težnja za što čistim ispušnim plinom Dieselovog motora pred proizvođače postavlja sve veće i teže probleme. Osim zadovoljenja zakonski propisanih i dozvoljenih emisija štetnih plinova, teži se i ka smanjenju emisije, zasad još neograničenog, ugljičnog dioksida (CO₂) jer ga se smatra jednim od glavnih čimbenika zagrijavanja Zemljine atmosfere.

Jedna od mogućnosti je i uporaba tzv. alternativnih goriva, koja bi s današnjim ili novo razvijenim motorima trebala davati bolje ili barem približno jednake rezultate po pitanju emisije ugljičnog dioksida i štetnih plinova, a jedno od takvih goriva je metilni ester repičinog ulja.

Osim tekućeg, zasad najvrednijeg oblika, glavna prednost alternativnih goriva na osnovi biljnih ulja s obzirom na ostala alternativna goriva je u tome što istovremeno pridonose rješavanju triju problema, a to su: smanjenje opterećenja čovjekova okoliša, obnovljivost izvora i rješavanje viška poljoprivredne proizvodnje (u razvijenim zemljama kroz produkciju “non-food” proizvoda) [3].

2. Metilni ester repičinog ulja

Uporaba metilnog estera repičinog ulja kao goriva za Diesel motore umjesto standardnog goriva može se opravdati slijedećim razlozima (prednostima).

Prednost metilnog estera repičinog ulja u odnosu na standardno Diesel gorivo s ekološkog stajališta prvenstveno proizlazi iz povoljnije bilance ugljičnog dioksida (CO_2).

Uzgojem repice, proizvodnjom goriva, njegovim izgaranjem te ponovnim uzgojem stvara se djelomično zatvoren i ekološki povoljan lanac nastajanja i potrošnje ugljičnog dioksida, dok se kod standardnog Diesel goriva nastali ugljični dioksid samo akumulira u atmosferi.

Pri razmatranju bilance ugljičnog dioksida nastalog izgaranjem u motoru i proizvodnjom metilnog estera repičinog ulja s jedne strane i Diesel goriva s druge, umjerenije procjene su da je produkcija ugljičnog dioksida metilnog estera repičinog ulja na razini od 40 do 50 % produkcije ugljičnog dioksida uslijed proizvodnje i izgaranja Diesel goriva [4, 6], dok neki autori navode procjene od 20 do 25 % emisije ugljičnog dioksida Diesel goriva.

Metilni ester repičinog ulja u odnosu na klasično gorivo ima sposobnost brze i potpune biološke razgradljivosti. Potpuna biološka razgradljivost čini ga izuzetno primjenjivim u ekološki osjetljivim područjima kao što su npr. nacionalni parkovi ili vodocrpna područja.

Metilni ester repičinog ulja sadrži vrlo malo sumpora (najviše do 0.02 % mase), tako da je količina sumpornog dioksida nastala njegovim izgaranju zanemariva što povoljno utječe na smanjenje nastanak kiselih kiša [4].

Uz navedene prednosti uporaba metilnog estera repičinog ulja ima i određene nedostatke.

Metilni ester repičinog ulja s obzirom na današnje i buduće potrebe ne može biti jedino gorivo koje bi poslužilo kao zamjensko gorivo.

Agresivnost metilnog estera repičinog ulja prema elastomerima koji se uobičajeno koriste za izradu vodova i brtvila u sustavu za napajanje goriva zahtjeva od proizvođača motora uporabu kvalitetnijih materijala koji su otporni na metilni ester repičinog ulja.

2.1. Proizvodnja metilnog estera repičinog ulja

Proizvodnja metilnog estera repičinog ulja moguća je čak i u seoskim gospodarstvima za što postoji više primjera u Austriji i Njemačkoj.

Prešanjem ploda uljane repice i pročišćavanjem dobivene tekućine dobiva se sirovo repičino ulje. Izgaranjem takovog repičinog ulja u odnosu na emisiju štetnih plinova pri pogonu Diesel gorivom dolazi do povećanja emisije neizgorjelih ugljikovodika i taloženja koksnih naslaga na elementima motora [6]. Pri pogonu, oba ova efekta su nepovoljna i potrebno ih je izbjeći koliko god je moguće, a to se postiže preesterifikacijom. Preesterifikacijom se višestruko smanjuje viskoznost i dovodi gotovo na razinu Diesel goriva, pa je iz tog razloga preesterifikacija postala nezaobilazan dio postupka proizvodnje. Kao sporedni proizvod u postupku proizvodnje metilnog estera repičinog ulja nastaje glicerol, koji također ima svoju tržišnu vrijednost te se može koristiti kao sirovina za daljnje proizvodne procese posebice u kemijskoj industriji.

2.2. Svojstva i najvažnije značajke za izgaranje

U tablici 1 prikazane su za izgaranje najvažnije značajke standardnog Diesel goriva i metilnog estera repičinog ulja.

Tablica 1. Značajke goriva

Veličina	Jedinica	Diesel	RME ¹
C	% mase	86.5	76.5
H	% mase	13	12.3
O	% mase	0	11.0
S	% mase	0.05	0.002
N	% mase	0.015	0.1
Pepeo	% mase	0.01	0.02
Stehiometrijska količina zraka	kg zraka / kg goriva.	14.4	12.8
Gustoća (15 °C)	kg/m ³	835	878
Ogrjevna vrijednost	MJ/kg	42.50	37.10
Ogrjevna vrijednost smjese (0°C, 1 bar)	kJ/m ³	3813	3775
Početak isparivanja	°C	~ 180	~ 320
Kraj isparivanja	°C	~ 350	~ 360
Cetanski broj		50	~ 48
Kinematička viskoznost 20 °C	mm ² /s	6.65	7.07
100 °C	mm ² /s	0.8	1.78
Temperatura stinjanja	°C	+5 ÷ -24	-12
Plamište	°C	70 ÷ 90	110 ÷ 140*

* Ovisi o sadržaju metanola

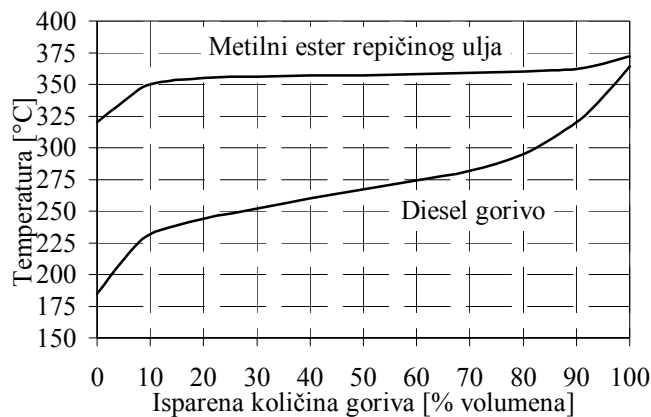
Usporedbom vrijednosti iz tablice 2 uočljivo je da u odnosu na sastav standardnog Diesel goriva metilni ester repičinog ulja u svom sastavu ima približno jednako vodika, 12 do 13 % manje ugljika, a sadrži i 11 % kisika. Sadržaj kisika u metilnom esteru repičinog ulja očituje se u 15 % manjoj stehiometrijskoj količini zraka potrebnog za izgaranje u odnosu na Diesel gorivo.

Gustoća metilnog estera repičinog ulja veća je za 5 ÷ 6 % od gustoće Diesel goriva. Ukoliko se na pumpi za ubrizgavanje goriva ne poduzimaju nikakve promjene volumen ubrizganog goriva ostaje isti, ali zbog različitih gustoća ubrizgava se različita masa goriva.

Ogrjevna vrijednost metilnog estera repičinog ulja je oko 14 % niža. Taj nedostatak manje ogrjevnosti metilnog estera repičinog ulja ublažava se zbog već spomenute manje stehiometrijske količine zraka, tako da ogrjevna vrijednost smjese metilnog estera repičinog ulja i zraka ima oko 8 % manju vrijednost nego smjesa Diesel goriva i zraka.

Iz slike 1 uočljiva je značajna razlika u krivuljama isparivanja Diesel goriva i metilnog estera repičinog ulja. Ta razlika je posljedica različitih kemijskih struktura goriva. Diesel gorivo sastoji se od niza različitih spojeva ugljikovodika, čije su strukture vrlo različite. Nasuprot takovoj strukturi, metilni ester repičinog ulja sastoji se od malog broja kemijskih spojeva, tj. oko 98 % metilnog estera repičinog ulja čini triglicerid. Viša temperatura isparivanja metilnog estera repičinog ulja je nedostatak, jer pri radu motora na nižoj temperaturnoj razini može doći do slabije pripreme smjese što bitno utječe na povećanje emisije ugljikovodika i partikula.

¹ u literaturi se za metilni ester repičinog ulja najčešće koristi kratica RME prema njemačkom nazivu Rapsölmethylester



Slika 1. Tijek isparivanja Diesel goriva i metilnog estera repičinog ulja

Prema značajkama goriva na istom motoru i kod jednakog stanja okolne atmosfere pri pogonu metilnim esterom repičinog ulja za očekivati je pad snage od oko 8 % u odnosu na pogon Diesel gorivom. U praksi, na pad snage najveći utjecaj ima pumpa za ubrizgavanje goriva tj. kako ona radi s drugom vrstom goriva odnosno gorivom veće viskoznosti. Prema navodima u literaturi, u pojedinim mjerenjima ustanovljen je pad snage od samo 5 %.

3. Motor

Za ispitivanje je korišten vodom hlađeni trocilindrični četverotaktni Diesel motor s izravnim ubrizgavanjem goriva namjenjen za ugradnju u traktore i ostale gospodarske strojeve. Najvažniji tehnički podaci motora prikazani su u tablici 2.

Tablica 2. Tehnički podaci ispitnog motora

	Jedinica	Vrijednost
Nazivna snaga (3000 o/min)	kW	35.5
Nazivni moment (1500 o/min)	Nm	160
Promjer cilindra	mm	100
Hod klipa	mm	105
Ukupni radni volumen	cm ³	2474
Stupanj kompresije		17.5

4. Metodologija ispitivanja

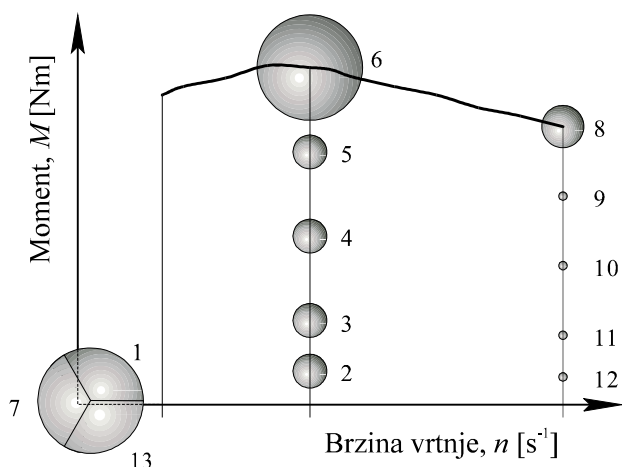
Budući da je ispitni motor namjenjen za ugradnju u traktore i ostale gospodarske strojeve, te se već proizvodi serijski, kao referentni test primjenjen je standardizirani test za tu skupinu vozila i strojeva - test ECE-R 49.

Testom su propisani uvjeti temperature i tlaka zraka za vrijeme mjerenja, kao i mjerni uređaji koje ispitna stanica mora imati. Test se sastoji od trinaest radnih točaka, za koje je propisana brzina vrtnje i opterećenje motora. Slika 2 prikazuje shematski dijagram testa ECE-R 49. Na

slici 2 središta kružnica prikazuju položaje radnih točaka, a promjeri predstavljaju značaj te radne točke pri obradi rezultata.

Osim ispitivanja propisanih testom ECE-R 49 dodatno je provedeno ispitivanje sastava partikula određivanjem topivog i netopivog udjela u masi partikula te zacrnjenja ispušnog plina.

Provedena mjerenja imala su svrhu istraživanja promjene emisije štetnih plinova, te je iz tog razloga zacrnjenje ispušnog plina mjereno u istim radnim točkama kao i ostale veličine i kasnije obrađivano na isti način tj. vrednovano istim utjecajnim faktorima.



Slika 2. Shematski prikaz testa ECE-R 49

5. Mjerna oprema

Mjerenja su provodena na automatiziranoj ispitnoj stanici gdje je motor bio postavljen na ispitno postolje, spojen na kočnicu te su bili priključeni svi potrebni davači.

Za analizu ispušnog plina i utvrđivanje koncentracija pojedinih plinova, testom ECE-R 49 propisani su i tipovi i točnost ($\pm 3\%$) analizatora koje treba koristiti.

Ugljični monoksid - u ispušnom plinu određivan je pomoću nedisperzivno infracrveno apsorpcionog analizatora. U literaturi se zbog dugačkog imena obično koristi kratica NDIR što dolazi od engleskog naziva *Non Dispersive Infra Red*.

Ugljikovodici - u ispušnom plinu određivani su pomoću plameno ionizirajućeg detektora. U literaturi se koristi kratica FID prema engleskom nazivu *Flame Ionisation Detector*, odnosno njemačkom *Flammenionisationsdetektor*.

Dušični oksidi - utvrđivani su pomoću kemiluminescentnog analizatora s NO_2 - NO konverterom. Za naziv tog analizatora u literaturi se koristi kratica CLD što dolazi od naziva na engleskom jeziku *Chemo Luminescence Detector*.

Partikule - u ispušnom plinu određuju se pomoću sustava koji omogućuje djelomično ili potpuno razrjeđivanje ispušnog plina, uređaja za nastrojavanje razrjeđenog ispušnog plina na poseban filter papir i mikrovage koja se mora nalaziti u posebnoj klimatiziranoj prostoriji.

6. Rezultati ispitivanja

Da bi se omogućila usporedba emisije štetnih ispušnih plinova na motoru nisu vršene nikakve preinake pri promjeni vrste goriva, osim što je nakon prva dva mjerenja u ispušni sistem ugrađen oksidacijski katalizator.

Ukupno su provedena četiri mjerenja, prvo sa standardnim Diesel gorivom koje je služilo kao referentno mjerenje. Drugo mjerenje izvedeno je s metilnim esterom repičinog ulja. Nakon drugog mjerenja, ugrađen je oksidacijski katalizator proizvođača DEGUSSA tip DC 530, te su ponovljena mjerenja prvo s metilnim esterom repičinog ulja i zatim sa standardnim Diesel gorivom.

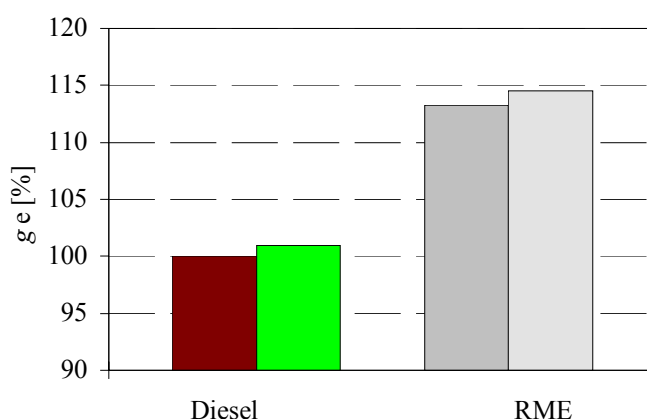
Nakon utvrđivanja pojedinih emisija za svako mjerenje izračunat je i odnos tih rezultata prema referentnom mjerenju tj. prema mjerenju provedenom s Diesel gorivom bez uporabe oksidacijskog katalizatora te su tako izračunate vrijednosti prikazane na slikama 3 do 9.

U svim dijagramima rezultati su prikazani na slijedeći način: lijeva skupina predstavlja rezultate postignute primjenom Diesel goriva, a desna rezultate pri pogonu metilnim esterom repičinog ulja. Unutar obje skupine lijevi stupac predstavlja rezultate postignute bez, a desni stupac sa uporabom oksidacijskog katalizatora.

6.1 Specifična potrošnja goriva

Iz slike 3 vidljivo je da je pri pogonu metilnim esterom repičinog ulja specifična potrošnja goriva veća za približno 14%. Razlog za to povećanje specifične potrošnje goriva leži u 14% manjoj ogrijevnoj vrijednosti metilnog estera repičinog ulja. Uporabom oksidacijskog katalizatora kod oba goriva dolazi do povećanja specifične potrošnje goriva za 1 do 2%, što je posljedica većeg protutlaka u ispušnoj cijevi.

Na osnovu specifične potrošnje goriva za svako od četiri provedena mjerenja izračunat je efektivni stupanj korisnosti, kod kojeg ne dolazi do značajnijih promjena te on iznosi približno $\eta_e = 0.35$, a odstupanja su unutar ± 0.005 , što je unutar granica točnosti mjerenja.

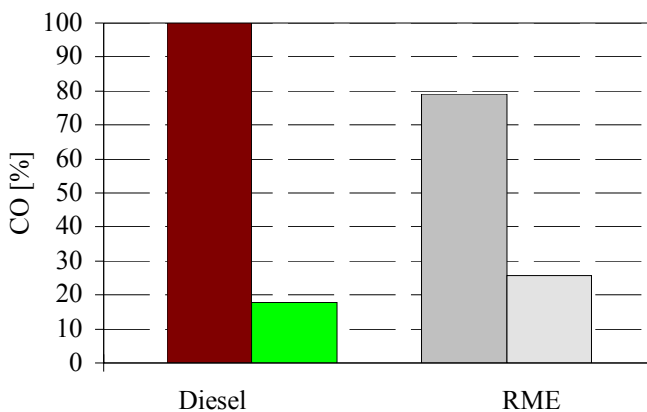


Slika 3. Specifične potrošnje goriva u odnosu na potrošnju Diesel goriva

6.2 Ugljični monoksid

Smanjenje emisije ugljičnog monoksida od 21% posljedica je činjenice da metilni ester repičinog ulja u svom sastavu već sadrži 11% kisika. Pri pogonu Diesel gorivom i uporabom oksidacijskog katalizatora izmjereno je smanjenje emisije ugljičnog monoksida od 80%.

Smanjenjem emisije ugljičnog monoksida pri pogonu metilnim esterom repičinog ulja od 65 % ostvaren je 15 % slabiji stupanj korisnosti katalizatora za što nema nema pravog objašnjenja.



Slika 4. Relativna emisija ugljičnog monoksida

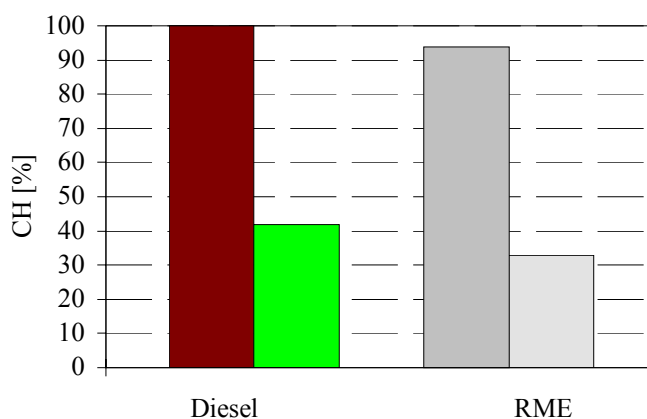
6.3. Ugljikovodici

Smanjenje emisije ugljikovodika pri pogonu metilnim esterom repičinog ulja za $7 \div 8 \%$ ne treba smatrati značajnom prednošću, jer se nepotpuno izgorjeli spojevi ugljikovodika talože na partikulama (česticama čađe), te na taj način dolazi do smanjenja emisije ugljikovodika, a povećanja emisije partikula.

Uporabom oksidacijskog katalizatora kod oba goriva postižu se izvrsni rezultati, jer se s oba goriva postiže redukcija emisije ugljikovodika za 60 do 65 %.

U nizu mjerenja provedenih s istim motorima i metilnim esterom repičinog ulja različitih kvaliteta pri približno jednakim režimima, izmjerene su razlike u emisiji ugljikovodika od $\pm 30 \%$. U literaturi se također pronalazi značajno rasipanje vrijednosti podataka o promjeni emisije ugljikovodika uporabom metilnog estera repičinog ulja.

Razlog za takovo odstupanje emisije ugljikovodika je dvojak, jer s jedne strane emisija zbog visoke temperature isparivanja metilnog estera repičinog ulja jako ovisi o temperaturi izgaranja tj. o opterećenju, a s druge strane relativno male promjene u pripremi smjese značajno utječu na emisiju ugljikovodika.

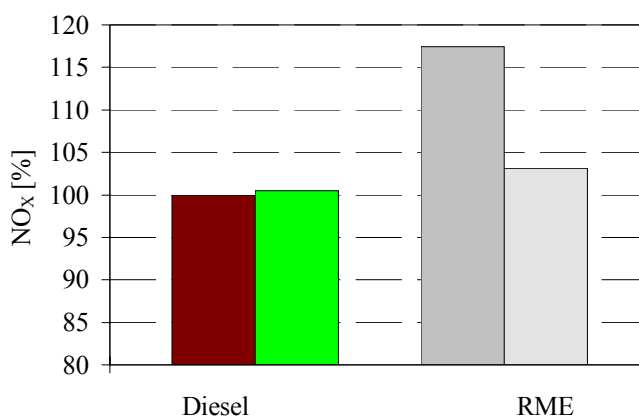


Slika 5. Relativna emisija ugljikovodika

6.4. Dušični oksidi

Pri pogonu metilnim esterom repičinog ulja emisija dušičnih oksida veća je za oko 17 %. Analizom koncentracija dušičnih oksida po radnim točkama utvrđeno je da povišenje koncentracije dušičnih oksida u ispušnom plinu značajno raste pri višim i punim opterećenjima motora.

Uporabom oksidacijskog katalizatora pri pogonu Diesel gorivom praktički ne dolazi do promjene emisije. Pri pogonu metilnim esterom repičinog ulja utvrđena je redukcija emisije dušičnih oksida od 7 %, što nije za očekivati jer je riječ o običnom



Slika 6. Relativna emisija dušičnih oksida

oksidacijskom katalizatoru. Ta neočekivana redukcija najvjerojatnije je uzrokovana jednim od slijedeća tri razloga:

1. Pri različitim mjerenjima uočeno je da pri uporabi novih katalizatora u prvih nekoliko sati rada dolazi do neznatne apsorpcije, što bi i ovdje moga biti slučaj jer je korišten potpuno novi katalizator.
2. Unatoč znatnom višku zraka u katalizatoru dolazi u manjoj mjeri do konverzije tj. do raspada dušičnih oksida.
3. Zbog povećanog protutlaka u ispušnoj cijevi dolazi do relativno male interne recirkulacije ispušnog plina što se očituje smanjenjem emisije.

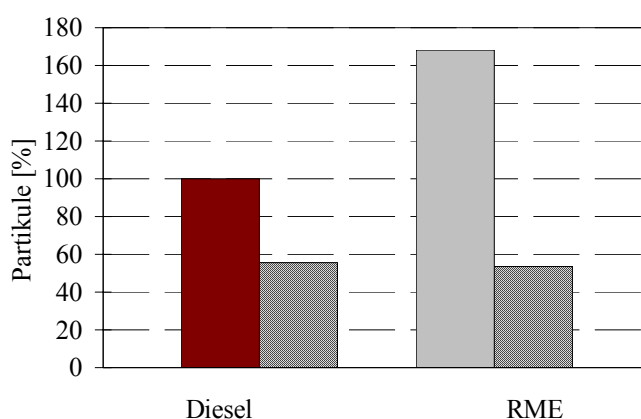
6.5. Partikule

Kao što je vidljivo iz dijagrama 7 pri pogonu metilnim esterom repičinog ulja dolazi do 65 % više emisije partikula, što je posljedica višeg položaja krivulje isparivanja metilnog estera repičinog ulja i već opisanog mehanizma taloženja ugljikovodika na partikulama.

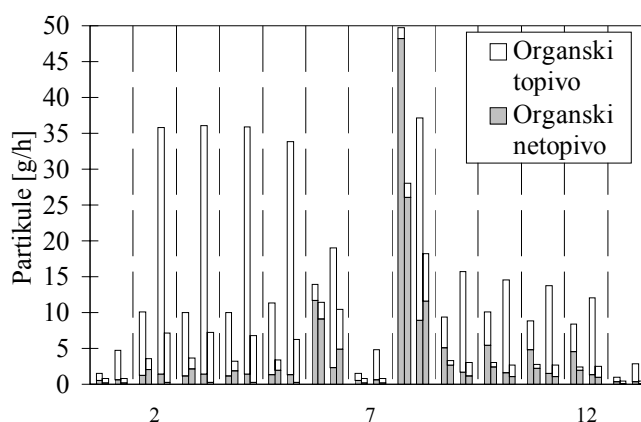
Uporaba oksidacijskog katalizatora djeluje izuzetno povoljno na emisiju partikula. Uporabom oksidacijskog katalizatora kod Diesel goriva emisija se smanjuje za skoro 50 %, a pri uporabi metilnog estera repičinog ulja i katalizatora zbog visokog udjela (nataloženih) ugljikovodika u sastavu partikula dolazi do smanjenja emisije partikula od oko 70 %.

Za potvrđivanje pretpostavljenog mehanizma taloženja neizgorjelih ugljikovodika na partikulama provedeno je ispitivanje partikula na topive i netopive udjele što je vidljivo na slici 8.

U nižim područjima opterećenja motora, uslijed nižih temperatura izgaranja i slabijeg isparivanja, dolazi do pojačanog taloženja spojeva ugljikovodika s visokom temperaturom isparivanja na djelićima čađe. Pri tim režimima rada organski topivi udio čini najveći dio ukupne emisije, a kod pogona metilnim esterom repičinog ulja u odnosu na emisiju kod pogona



Slika 7. Relativna emisija partikula



Slika 8. Količina i udjeli organski topivih i netopivih dijelova u sastavu partikula po radnim točkama

Diesel gorivom dolazi do dva do tri puta veće emisije partikula.

Pri punom opterećenju razlike u ukupnoj emisiji partikula nisu toliko značajne. Kod Diesel goriva netopivi udio čini gotovo čitavu emisiju, dok kod metilnog estera repičinog ulja topivi udio čini još uvijek značajnu većinu.

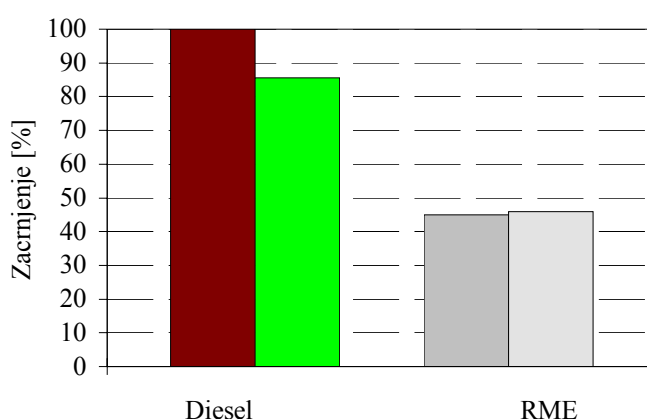
6.6 Zacrtnjenje ispušnog plina

Unatoč značajno višoj emisiji partikula pri pogonu metilnim esterom repičinog ulja izmjereno je oko 55 % niže zacrnjenje ispušnog plina.

U pogledu zacrnjenja ispušnog plina metilni ester repičinog ulja ima značajnu prednost nad Diesel gorivom jer u sebi već sadrži vezani kisik pa je nemoguće da se u prostoru za izgaranje stvaraju mjestimične zone s faktorom zraka $\lambda = 0$ što utječe na stvaranje čađe.

Značajniji utjecaj oksidacijskog katalizatora na zacrnjenje ispušnih plinova nije utvrđen, a neznatno više zacrnjenje ispušnog plina pri pogonu metilnim esterom repičinog ulja i uporabi katalizatora može se smatrati razlikom unutar granica točnosti mjerenja.

Analizom zacrnjenja ispušnog plina po radnim točkama pri pogonu metilnim esterom repičinog ulja utvrđeno je da u područjima srednjih i visokih opterećenja dolazi do značajnog smanjenja zacrnjenja ispušnog plina, dok u područjima malih opterećenja nisu utvrđene značajnije razlike.



Slika 9. Relativna zacrnjenost ispušnog plina

7. Zaključak

Uporabom metilnog estera repičinog ulja kao alternativnog goriva, ostvaruje se povoljan utjecaj na emisiju štetnih plinova Diesel motora. Tu ocjenu potvrđuju rezultati četiri provedena mjerenja, dva s Diesel gorivom i dva s metilnim esterom repičinog ulja, s i bez uporabe oksidacijskog katalizatora.

Mjerenjima je ustanovljeno da pri 14 % većoj specifičnoj potrošnji goriva pri pogonu metilnim esterom repičinog ulja u odnosu na Diesel gorivo dolazi do manje emisije ugljičnog monoksida, ugljikovodika i značajno manjeg zacrnjenja ispušnog plina. Nasuprot tih prednosti utvrđena je viša emisija dušičnih oksida i partikula.

Problem većih emisija može se umanjiti uporabom oksidacijskog katalizatora pri čemu se postiže manja emisija partikula nego kod Diesel goriva.

Treba napomenuti da su rezultati ovih mjerenja postignuti na motoru na kojem nisu izvršene nikakve preinake te da optimizacija kod pogona metilnim esterom repičinog ulja ostavlja još značajne mogućnosti za daljnje smanjivanje emisije štetnih ispušnih plinova.

Zbog povoljnije emisije štetnih ispušnih plinova te potpune i brze biološke razgradivosti, uporaba metilnog estera repičinog ulja može se preporučiti u ekološki osjetljivim područjima.

Literatura

- [1] Jeras D., Čerlek S., Utjecaj emisije automobila na čistoću okoliša i zdravlje ljudi, Sigurnost, 34 (1992), 3-4, s. 227-235
- [2] Jeras D., Alternativni izvori energije za pogon cestovnih vozila, Sigurnost, 36 (1994), 1, s. 21-34
- [3] Syassen O., Chancen und Problematik nachwachsender Kraftstoffe, Teil 1, MTZ Motortechnische Zeitschrift, 53 (1992), 11, s. 510-517
Syassen O., Chancen und Problematik nachwachsender Kraftstoffe, Teil 2, MTZ Motortechnische Zeitschrift, 53 (1992), 12, s. 560-567
- [4] Weidmann K., Anwendung von Rapsöl in Fahrzeug-Dieselmotoren, ATZ Automobiltechnische Zeitschrift, 97 (1995), s. 288-292
- [5] Winterhagen J., Die Kanzerogenität von Rußpartikeln im Dieselaabgas, MTZ Motortechnische Zeitschrift, 54 (1993), 10, s. 488-489
- [6] Kraßnig G., Sams Th., Rapsmethylester als Dieselmotoren-Kraftstoff, Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, 140 (1995), 3, s. 103-107
- [7] Sams Th., Wimmer A., Lulić Z., Änderung des Schadstoffverhaltenes eines direkteinspritzenden Dieselmotors bei Betrieb mit RME, Promet, 7 (1995), Supplement 3, s. 17-20
- [8] Heinrich W., Schäfer A., Rapsölfettsäuremethylester als Kraftstoff für Nutzfahrzeug-Dieselmotoren, ATZ Automobiltechnische Zeitschrift, 92 (1990), s. 168-173
- [9] Kampmann H.J., Dieselmotor mit Direkteinspritzung für Pflanzenöl, MTZ Motortechnische Zeitschrift, 54 (1993), 7-8, s. 378-383
- [10] FEE Fahrzeugtechnik EWG/ECE Loseblatt, Texte, Kommentare, Kirschbaum Verlag, Bonn-Bad Godesber, 1992
- [11] Sams Th., Tieber J., Einsatz von Raps- und Altspeiseöl-Methylester im realen Motorbetrieb, 5. Tagung "Der Arbeitsprozess des Verbrennungsmotors", Graz, 18. und 19. September 1995
- [12] W. I., Opel will RME 1995 freigeben, MTZ Motortechnische Zeitschrift, 56 (1995), 1, s. 14
- [13] G. O., RME-Nachrüstung für Golf und Vento von VW, MTZ Motortechnische Zeitschrift, 56 (1995), 5, s. 263
- [14] Burggraf J., Ullrich K., Die neuen ölgekühlten ECO-Pflanzenölmotoren MF-RTA von DMS, MTZ Motortechnische Zeitschrift, 56 (1995), 2, s. 101-103
- [15] Lulić Z., Utjecaj metilnog estera repičinog ulja kao goriva motora na emisiju štetnih plinova, Magistarski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb 1996.

mr. sc. Zoran Lulić, dipl. ing. stroj.
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Ivana Lučića 5
10000 Zagreb

Podaci korišteni u radu nastali su tijekom 1995. za vrijeme mog boravaka na Institutu za motore s unutrašnjim izgaranjem i termodinamiku, (Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik) u Grazu, te se na ovom mjestu želim zahvaliti prof. dr. Rudolfu Pischingeru što mi je omogućio boravak na Institutu.