

Slėginio uždegimo variklio, veikiančio pirmos ir antros kartos biodyzelinu, ekologinių rodiklių vertinimas

Donatas Kriauciūnas*, Alfredas Rimkus, Saulius Stravinskas, Petras Kaikaris,
Vydenis Kučinskas

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija
Olandų g. 16, 01100 Vilnius, el. paštas d.kriauciunas@vtdko.lt

(Gauta 2019 m. sausio mėn.; atiduota spaudai 2019 m. balandžio mėn.; prieiga internete nuo 2019 m. gegužės 10 d.)

Anotacija

Šiame straipsnyje nagrinėjama slėginio uždegimo variklio, veikiančio naudojant pirmos (RME – rapeseed methyl ester, liet. rapsų metilo esteris) ir antros (HVO – hydrotreated vegetable oil, liet. hidrintas augalinis aliejus) kartos biodyzelino, ir dyzelino (atitinkančio LST EN 590 standartą) mišinius, ekologiniai parametrai. Aprašoma tyrimo metodika, naudota įranga ir bandymo rezultatai. Nustatyta, kad naudojant biodyzelino ir dyzelino mišinius sumažėja dūmingumas, didžiausias pokytis užfiksuotas naudojant RME50/HVO50 mišinį.

Reikšminiai žodžiai: slėginio uždegimo variklis, rapsų metilo esteris, hidrintas augalinis aliejus, dyzelinas.

Abstract

This article examines compression ignition engine, working with the first generation (RME – rapeseed methyl ester) and the second generation (HVO – hydrotreated vegetable oil) biodiesel and diesel (compliant with LST EN 590 standard) mixtures, ecological parameters. The article describes the research methodology, the equipment used and the test results. It has been found that the use of biodiesel and diesel blends reduces soot, the highest change is recorded using the RME50 / HVO50 mixture.

Key words: Compression ignition engine, rapeseed methyl ester, hydrotreated vegetable oil, diesel

Įvadas

Europos komisija siekia kontroliuoti bei mažinti aplinkos taršą ir šiltnamio efektą Europoje. Iki 2050 metų ES baltojoje knygoje numatyta iki 60 proc. sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją palyginti su 1990 m. Statistikos departamento duomenimis Lietuvoje 2015 metais transportas į aplinką išskyrė 25,4 proc. visų šiltnamio efektą sukeliančios dujų, anglies dioksido (CO₂) ekvivalentu (Lietuvos statistikos departamentas 2017). Todėl siekiant sumažinti aplinkos taršą vis labiau griežtinami reikalavimai ir kelių transportui.

Vienas iš galimų sprendimo būdų yra atsakyti automobilių su vidaus degimo varikliais ir naudoti elektrinius ar kuro celių automobilius, tačiau valstybinės įmonės *Regitra* duomenimis 2018 metais iš visų Lietuvoje pirmą kartą užregistruotų lengvųjų automobilių (198960 vnt.) elektromobiliai sudaro tik 0,20 proc., o dyzeliniai automobiliai sudaro 65,07 proc. (Lietuvos statistikos departamentas, 2019). Dėl esamos situacijos vis daugiau tyrimų atliekama bandant sumažinti esamų automobilių kenksmingų išmetamųjų dujų koncentracijas. Viena iš kryptų – įvairių kartų biodegalų naudojimas. Pirmos kartos biodegalai yra gaminami iš maistinės kilmės medžiagų (kukurūzų, rapsų, cukranendrių), o ketvirtos kartos biodegalai – genetiškai modifikuoti mikroorganizmai, pavyzdžiui: mikrodumbliai, mielės, grybai ar cianobakterijos (Alalwan H., Alminshid A., Aljaafari H. 2019).

Biodyzelino ir dyzelino palyginamąjį tyrimą atliko JAV *Iowa* universiteto mokslininkai Song ir Anne. Ištyrė dyzelino ir biodegalų mišinius (B0, B10, B20, B100), jie nustatė, kad didėjant biodyzelino kiekiui degaluose, anglies monoksido (CO) koncentracija išmetamosiose dujose mažėja, tačiau azoto oksidų (NO_x) – padidėja. Tai paaiškinama biodyzelino sudėtyje esančiomis papildomomis deguonies molekulėmis bei didesniu cetaniniu skaičiumi (Charng Kong S., Kimber A. 2008).

Levent Yuksek tirdamas RME įtaką variklio alyvos savybėms bei išmetamosioms dujoms priėjo prie išvados, kad RME naudojimas dyzeliniuose varikliuose mažina variklio alyvos

klampumą bei alyvos TBN (total base number), todėl blogėja alyvos tepumo savybės, labiau dyla variklis. Tačiau naudojant RME sumažėja angliavandenilių (HC) bei CO koncentracija išmetamosiose dujose. Kaip teigia tyrimo autorius, CO ir HC emisijų sumažėjimą galima paaiškinti pagerėjusia degimo kokybe dėl deguonies esančio RME. Tačiau dėl tos pačios priežasties pastebimas NO_x koncentracijos išmetamosiose dujose padidėjimas. Efektyvumo rodikliai, išskyrus degalų sąnaudas, išliko analogiški su visais bandomais mišiniais. Biodegalų sąnaudų padidėjimą lėmė mažesnis (apie 10-15 proc.) šilumingumas ir didesnis degalų tankis (Yukse L., et al. 2009). RME ir dyzelino fizikinės ir cheminės savybės pateiktos 1 lentelėje.

Shahabuddin ir kiti tyrėjai nagrinėjo dyzelino ir pirmos kartos biodyzelino mišinius nustatė, kad dėl mažesnio biodyzelino žemutinio šilumingumo, mažesnio užsiliepsnojimo gaišties periodo ir didesnės klampos maksimalus šilumos išsiskyrimo greitis (HRR) bei maksimalus slėgis cilindre naudojant biodyzeliną sumažėja. Varikliui veikiant naudojant mišinius su biodyzelinu sumažėja CO, HC ir kietųjų dalelių (PM) koncentracijos išmetamosiose dujose, tačiau dėl ankstesnio degalų išpurškimo ir mažesnio užsiliepsnojimo gaišties periodo padidėja NO_x koncentracija (Shahabuddin L., et al. 2013).

1 lentelė. Degalų fizinės ir cheminės savybės
Table 1. Physical and chemical properties of fuel

Pavadinimas	I kartos biodyzelinas (RME100)	II kartos biodyzelinas (HVO100)	Dyzelinas (D100)
Aukštutinis šilumingumas, MJ/kg	40,13	47,19	45,89
Žemutinis šilumingumas, MJ/kg	37,47	43,63	42,83
Ribinė filtruojamumo temperatūra, °C	-14	-44	-22
Ribinė tankumo temperatūra, °C	-33	< -50	-39
Dinaminė Klampa 40 °C, mPa·s	3,830	2,198	2,412
Kinematinė Klampa, 40 °C, eSt	4,421	2,876	2,9401
Tankis, 15 °C, g/ml	0,884	0,782	0,8302
Dinaminė Klampa, 15 °C, mPa·s	7,317	4,014	4,441
Kinematinė Klampa, 15 °C, eSt	8,274	5,136	5,302
Tankis, 40 °C, g/ml	0,866	0,764	0,820
Oksidacinis stabilumas, min	27,00	76,16	98,00
Vandens kiekis, % V/V	0,0288	0,0021	0,0028
Tepumas, μm	166	344	406
Cetatinis skaičius	51,7	74,3	~ 53
Pliūpsnio temperatūra, °C	110	65,0	74,8
Elementinė sudėtis, H %	11,82	15,62	13,31
Elementinė sudėtis, C %	77,52	84,38	86,69
Elementinė sudėtis, O %	10,66	-	-
Elementinė sudėtis, N, S %	Žemiau aptikimo ribos		

Šaltinis: Klaipėdos universiteto laboratorija
Source: laboratory of Klaipėda University

Mokslininkų gauti rezultatai ir dviprasmiškas išmetamųjų dujų koncentracijos kitimas skatina giliau nagrinėti biodegalų pritaikymo galimybes. Taip pat nėra išsamiai aprašoma, kaip kinta vidaus degimo variklio ekologiniai parametrai naudojant I ir II kartos biodyzelino mišinius. Todėl bus atliekamas variklio, veikiančio pirmos ir antros kartos biodegalų mišiniais, charakteristikos tyrimas.

Lietuvoje degalinėse parduodamuose degaluose jau yra iš anksto įmaišytų biodegalų. Vasariniame dyzeline yra apie 7 proc. RME, kuris priskiriamas pirmos kartos biodyzelinui, o jo cheminė sudėtis ir fiziologiniai parametrai apibrėžti EN 14214:2014 standarte. RME palyginti su paprastu dyzelinu turi papildomas deguonies (O₂) molekules, kurios lemia pilnesnį biodyzelio degimą, dėl to, palyginti su dyzelinu, sumažėja anglies monoksido ir angliavandenilių koncentracija išmetamosiose dujose. Papildomas deguonis padeda suintensyvinti degimo procesą, taip užtikrinant aukštesnę degimo temperatūrą cilindruose, tačiau dėl to padidėja azoto oksidų koncentracija (Семёнов В.Г., Рудаченко С.В., 2010). RME pasižymi didesniu tankiu ir kinematinė klampa. Dėl

didesnio tankio padidėja masinė degalų dalis, kuri yra įpurškiama į cilindrą, tai lemia didesnę degalų sunaudojimą. Dėl didesnės kinematinės klamos RME blogina išpurškimo savybes ir mažina purkštuvų tikslumą, ypač esant šaltesnėms aplinkos sąlygoms. Kuo mažesnė klampa, tuo lengviau degalų sistemai tiekti degalus ir juos išpurkšti (Demirbas A. 2008);

Taip pat galima įsigyti apie 45 proc. antros kartos biodyzelino – HVO ir dyzelino mišinį parduodamą pavadinimu *Pro Diesel*. Hidrintas augalinis aliejus yra antros kartos biodyzelinas, kurio gamyba remiasi atliekų (maisto, žuvalų) ir nemaistinių augalinių aliejų perdirbimu. Lyginant su RME HVO turi didesnę žemutinę šilumingumą, kuris svyruoja tarp 42 ir 44 MJ/kg, didesnę filtruojamumo ribinę temperatūrą – 44 °C, didelį cetaninį skaičių nuo 70 iki 99 bei mažą tankį nuo 0,77 iki 0,83 g/ml (1 lentelė). Be to, HVO biodyzeliną galima naudoti varikliuose gryną, neatliekant jokių modifikacijų (Stravinskas S., 2017).

Kadangi šie pirmos ir antros kartos biodyzelinai yra maišomi su standartiniu dyzelinu ir parduodami rinkoje, būtų aktualu tolimesniems tyrimams pasirinkti būtent šiuos biodyzelinus. Bandymams bus paruošiami mišiniai su HVO ir RME.

Tyrimo metodika ir šaltiniai

Tiriant pirmos ir antros kartos biodyzelino charakteristikas eksperimentiniai tyrimai buvo atlikti Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijoje, Automobilių diagnostikos laboratorijoje (1 pav), bandymams naudotas automobilis AUDI A6 C5, turintis 6 cilindrų, 2496 cm³ darbinio tūrio TDI slėginio uždegimo variklį. Išvystoma maksimali variklio galia 110 kW prie 4000 min⁻¹, maksimalus sukimo momentas 310 Nm prie 1500 min⁻¹. Tyrimui buvo naudotas grynas dyzelinas (D100), *Neste Pro Diesel* (ProD), dyzelino ir RME mišinys lygiomis dalimis – D50/RME50, bei HVO ir RME mišinys lygiomis dalimis – HVO50/RME50.



1 pav. Kompiuterizuotą lengvųjų automobilių traukos stendą CARTEC LPS 2510. 1 – automobilis AUDI A6 C5; 2 – kompiuterizuotą lengvųjų automobilių traukos stendą CARTEC LPS 2510; 3 – degalų sąnaudų matuoklis; 4 – išmetamųjų dujų analizatorius TECNOTEST

Fig. 1. Computerized dynamometer stand for cars CARTEC LPS 2510. 1 – test vehicle AUDI A6 C5; 2 – CARTEC LPS 2510 computerized stand for passenger cars; 3 – fuel consumption meter; 4 – TECNOTEST exhaust gas analyser

Išmetamųjų dujų koncentracijos matavimas buvo atliekamas automobiliui važiuojant ant kompiuterizuoto lengvųjų automobilių traukos stendo CARTEC LPS 2510, pagrindiniai techniniai duomenys pateikti 2 lentelėje, važiuojant ketvirta pavara pastoviu 70, 80, 90 ir 100 km/h greičiu ratus stabdant $F = 500$ N apkrova.

2 lentelė. Automobilių traukos stendo techniniai duomenys
Table 2. Computerized dynamometer CARTEC LPS 2510 technical data

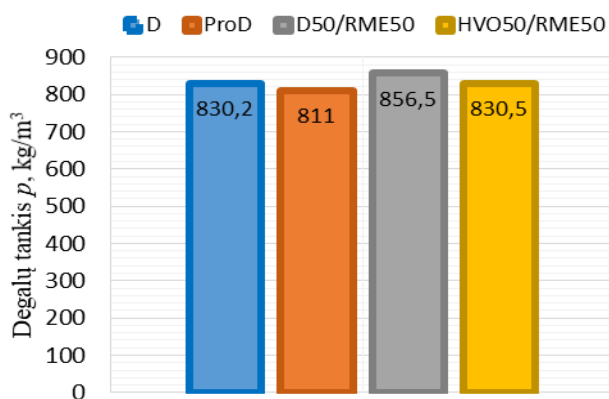
Parametras	Įrenginys	Automobilio traukos stendas CARTEC LPS 2510
Apkrovos įrenginys		Elektromagnetinis sukurinių srovių stabdys
Maksimali matuojama apkrova, t		3,5
Didžiausia stendo matavimo galia, kW		400
Didžiausia stendo stabdymo galia, kW		360
Matavimo paklaida		± 2

Šaltinis / Source: *Snap-on Equipment GmbH, CARTEC Chassis dynamometers LPS for cars. Germany*

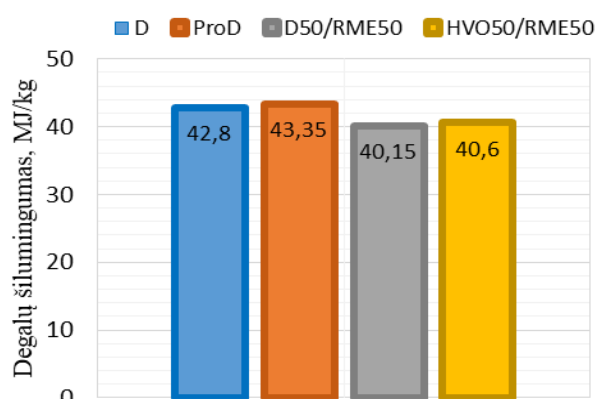
Dūmingumui matuoti naudotas dūmomatis LCS 2400, kurio optinio kelio ilgis – 364 mm (\div 1 mm), vamzdžio temperatūra – 70...100 °C, matuojamų dujų temperatūros diapazonas – 10...150 °C, matavimo paklaida \div 1 % (Sensors-inc, 2013). Išmetamųjų dujų koncentracijos matuotos išmetamųjų dujų analizatoriumi TECNOSTEST Mod. 488, kurio matuojami parametrai: CO \rightarrow 0 \div 9,9 proc.; CO₂ \rightarrow 0 \div 19,9 proc.; HC \rightarrow 0 \div 9999 ppm; O₂ \rightarrow 4 \div 25,0 proc.; NO_x \rightarrow 0 \div 2000 ppm; Lambda \rightarrow 0,5 \div 2,000 (tikslumas 0,001). Kai variklis veikė kiekvienu nustatytu režimu, atlikti trys pakartotini bandymai. Baigus visą mišinio tyrimą, pakeičiami degalų filtrai, degalai bei išvaloma maitinimo sistema.

Rezultatai ir jų aptarimas

Aptariant gautus rezultatus tikslinga paminėti ir tirtų mišinių tankį bei šilumingumą, nes šios dvi degalų savybės daro įtaką degalų išpurškimo tikslumui, degimo kokybei, degalų sąnaudoms ir naudingumo koeficientui. 2 paveiksle pavaizduotas naudotų mišinių tankis, o 3 paveiksle – šilumingumas. Kaip galima matyti, didžiausias tankis yra D50/RME50 mišinio – 856,5 kg/m³, mažiausias ProD – 811 kg/m³. Didžiausias šilumingumas yra ProD – 43,35 MJ/kg bei dyzelino – 42,8 MJ/kg. Mažiausias D50/RME50 mišinio – 40,15 MJ/kg.

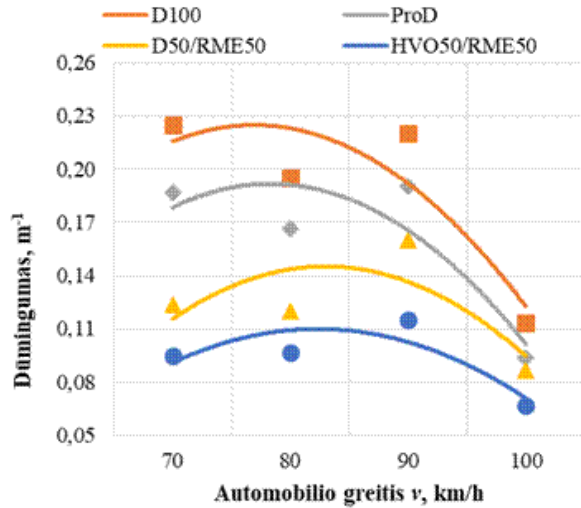


2 pav. Naudotų mišinių tankis
Fig. 2. Density of used mixtures

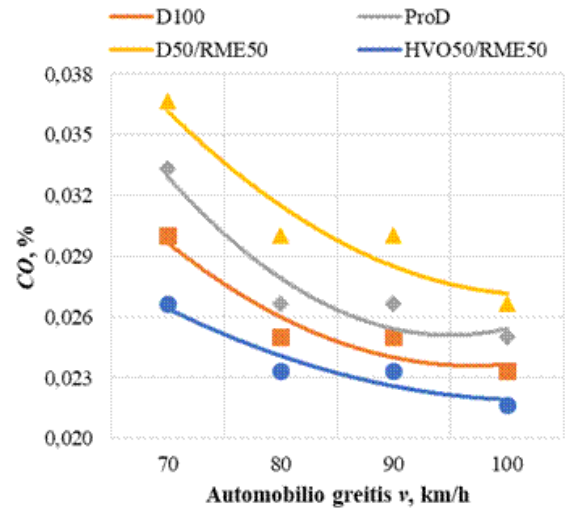


3 pav. Naudotų mišinių šilumingumas
Fig. 3. Lower heating value of used mixtures

Atlikus visų mišinių bandymus, kai ratas stabdė 500 N apkrovos jėga nustatyta, kad visi tirti mišiniai sumažino variklio dūmingumą palyginti su dyzelinu (4 pav.). Mažiausias dūmingumas užfiksuotas, kai variklis veikė HVO50/RME50 mišiniu, didžiausias kai D100. Palyginus su D100, dūmingumas varikliui veikiant HVO50/RME50 mišiniu sumažėjo ~ 48 proc., D50/RME50 ~ 33 proc., ProD ~ 15 proc. Gautus rezultatus galima paaiškinti tuo, kad tirtuose mišiniuose santykinai mažesnis elementinio anglies kiekis bei RME savo sudėtyje turi deguonies, kuris pagerina degimo procesą. CO koncentracijos išmetamosiose dujose kitimo tendencija pateikta 5 paveiksle.



4 pav. Dūmingumo priklausomybė nuo važiavimo greičio
Fig. 4. Smoke dependence on driving speed

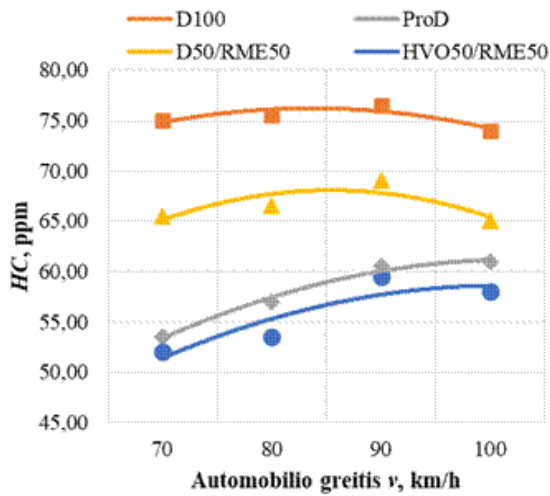


5 pav. CO koncentracija išmetamosiose dujose
Fig. 5. CO concentration in the exhaust gas

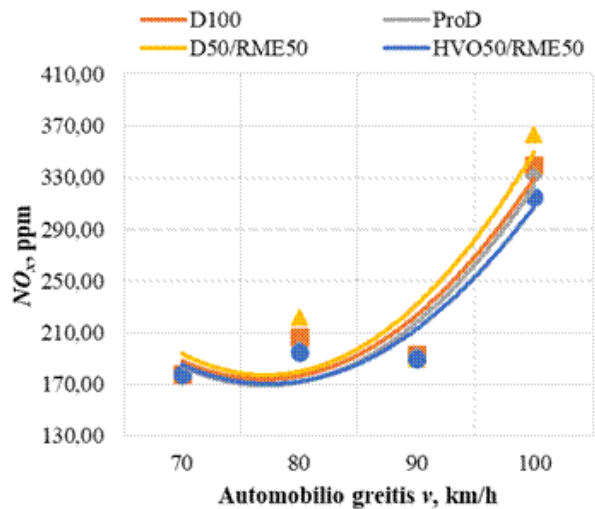
Galima teigti, kad varikliui veikiant HVO50/RME50 mišiniu CO kiekis sumažėjo ~ 7,9 proc. dėl mažiausio C/H santykio ir geresnio degimo, lyginant su dyzelinu. Tačiau naudojant kitus mišinius CO koncentracija išmetamosiose dujose padidėjo. Varikliui veikiant ProD CO padidėjo ~ 8 proc. dėl didesnių degalų sąnaudų ir mažesnės deguonies koncentracijos degaluose, D50/RME50 ~ 19 proc. dėl didesnių degalų sąnaudų ir sudėtingesnės RME molekulinės grandinės.

Didžiausia HC koncentracija, gauta naudojant mineralinius degalus, naudojant biodyzelino mišinius HC koncentracija išmetamosiose dujose, sumažėjo visame matuotame diapazone (6 pav.). Naudojant D50/RME50 mišinį HC koncentracija sumažėjo ~ 12, proc., ProD ~ 23 proc., daugiausiai HC koncentracija sumažėjo naudojant HVO50/RME50 mišinį ~ 26 proc. Angliavandenilių koncentracijos sumažėjimas, naudojant ProD, paaiškinamas didesniu degalų prisotinimu deguonimi ir geresniu degaluose esančių angliavandenilių degimu. HVO50/RME50 mišinio geriausią rezultatą lėmė tai, kad mišinys turi mažesnę C/H santykį, didelį cetaninį skaičių ~ 63 bei turi deguonies, kuris lemia pilnesnį biodegalų mišinio sudegimą.

Azoto oksidų koncentracijos mažiausias kiekis buvo užfiksuotas naudojant HVO50/RME50 mišinį (7 pav.), lyginant su D, NO_x sumažėjo ~ 3,72 proc., naudojant ProD ~ 2,26 proc., o naudojant D50/RME50 mišinį NO_x koncentracija išaugo ~ 3,4 proc.



6 pav. Angliavandenilių koncentracija išmetamosiose dujose
Fig. 6. Concentration of hydrocarbons in the exhaust gas



7 pav. NO_x koncentracija išmetamosiose dujose
Fig. 7. NO_x concentration in the exhaust gas

Tokius rezultatus galima paaiškinti tuo, kad ProD ir HVO50/RME50 mišiniai turi didesnį cetaninį skaičių ir mažesnę šilumos išsiskyrimo intensyvumą pirminėje degimo stadijoje. NO_x koncentracijos padidėjimą D50/RME50 mišinyje daugiausiai lemia deguonis, esantis RME molekulėje, kuris suintensyvina degimo procesą, taip užtikrinant aukštesnę degimo temperatūrą cilindruose, todėl didėja NO_x kiekis išmetamosiose dujose.

Apibendrinant atliktus bandymus galima teigti, kad naudojant pirmos ir antros kartos biodyzelino išmetamųjų dujų koncentracijos sumažėjo daugiausiai, palyginti su mineraliniais degalais. Dūmingumas sumažėjo ~ 48 proc., CO ~ 7,9 proc., HC ~ 26 proc., NO_x ~ 3,72 proc.

Apibendrinimas ir išvados

Atlikus slėginio uždegimo variklio, veikiančio skirtingais dyzelino bei biodyzelino mišiniais, ekologinių variklio parametrų matavimus automobiliui važiuojant 70, 80, 90 ir 100 km/h greičiu esant 500 N apkrovos jėgai galima teigti kad:

- 1) varikliui veikiant ProD mišiniu, kuriame HVO dalis siekia apie 45 proc., ekologiniai parametrai artimi dyzelinui, nors dūmingumas ir sumažėjo ~ 15 proc., o HC ~ 23 proc., tai lėmė padidėjęs mišinio šilumingumas ir cetaninis skaičius, tačiau ~ 8 proc. padidėjo CO koncentracija;
- 2) D50/RME50 mišinys sumažino dūmingumą ~ 33 proc., palygintisu dyzelinu, nes RME turi santykinai mažesnę elementinio anglies bei didesnę deguonies kiekį, kuris pagerina degimo procesą, tačiau ~ 19 proc. padidėjo CO koncentracija dėl didesnių degalų sąnaudų ir sudėtingesnės RME molekulinės grandinės;

HVO50/RME50 mišinys dėl didelio cetaninio skaičiaus, esančio deguonies ir pasikeitusio degimo intensyvumo pirminėje fazėje, sumažino variklio dūmingumą, palyginti su dyzelinu – 48 proc., CO – 7,9 proc., HC – 26 proc., NO_x – 3,72 proc.

Literatūra

1. Alalwan, H., Alminshid, A., Aljaafari, H. Promising evolution of biofuel generations. Subject review. *Renewable Energy Focus*. Volume 28. 2019. P. 127-139.
2. Charng Kong, S., Kimber, A. *Effects of biodiesel blends on the performance of large diesel engines*. USA: Society of Automotive Engineering, 2008.
3. Demirbas, A. *A realistic fuel alternative for diesel engines*. London, 2008.
4. Europos komisija. *BALTOJI KNYGA*. Briuselis: ES, 2011.
5. Yuksek, L.; et al. *The Effect and Comparison of Biodiesel-Diesel Fuel on Crankcase Oil, Diesel Engine Performance and Emissions*. s.l.: FME Transactions, 2009.
6. Lietuvos statistikos departamentas. *Lietuva skaičiais 2017*. Vilnius, 2017.
7. Lietuvos statistikos departamentas. Pirmą kartą šalyje įregistruotų kelių transporto priemonių skaičius. 2019 [Interaktyvus]. Prieiga internetu: <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?indicator=S5R011#/>.
8. Sensors-inc. LCS 2400. 2013 [Interaktyvus]. Prieiga internetu: <http://sensors-inc.com/Portals/0/brochures/LCS2400.pdf>.
9. Shahabuddin, M., Liaquat, AM., Masjuki, HH., Kalam, MA., Mofijur, M. Ignition delay, combustion and emission characteristics of diesel engine fueled with biodiesel. *Renew Sustain Energy Rev*. 2013. P. 623-632.
10. Snap-on Equipment GmbH. *CARTEC Chassis dynamometers LPS for cars*. Germany.
11. Stravinskas, S. *Skirtingų atsinaujinančio biodyzelino rūšių palyginimas*. Kaunas: KTK, 2017.
12. Семёнов, В.Г., Рудаченко, С.В. Биодизель: влияние на двигатель и на экологию. 2010 [Interaktyvus] Prieiga internetu: http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=1203.

Evaluation of Ecological Parameters of a Compression-Ignition Engine Working on the First and Second Generation Biodiesel

(Received in January, 2019; Accepted in April, 2019; Available Online from 10th of May, 2019)

Summary

The European Commission aims to control and reduce environmental pollution and greenhouse gas emissions. In Europe, with in 2050 greenhouse gas emissions should be reduced by 60 percent compared to 1990 levels. As a result, environmental pollution requirements for road transport are increasing. One possibility to reduce emissions in road transport is the use of biofuels of different generations, where the first generation biofuels are made from nutritional origin materials (maize, rape, sugar cane) and the fourth generation biofuels are genetically modified micro-organisms such as microbes, yeasts, fungi or cyanobacteria.

The AUDI A6 C5 with 6-cylinder, 2496 cc TDI compression ignition engine was used for experiments. The maximum engine power is 110 kW at 4000 rpm, maximum torque is 310 Nm at 1500 rpm. Regular summer diesel (D100), Neste Pro Diesel (ProD), diesel and RME mixture – D50/RME50, and HVO and RME mixture – HVO50/RME50 at equal proportions were used for the study. Measurement of exhaust gas concentration was carried out while driving car on the CARTEC LPS 2510, a computerized dynamometer stand at a constant speed of 70, 80, 90 and 100 km/h when the driving wheel's load was set to be 500 N.

Discussing the obtained results, it is worth mentioning the density and calorific value of the mixtures. Mixture with the highest 856.5 kg/m³ density – D50/RME50, with the lowest ProD – 811 kg/m³. ProD also had the highest lower heating value (LHV) of 43.35 MJ/kg, diesel fuel LHV just slightly lower – 42.8 MJ/kg. The lowest LHV had D50/RME50 mixture – 40.15 MJ/kg. The experiments have shown that the engine working on ProD mixture, where HVO is about 45 percent, ecological parameters are close to diesel, although the smoke has decreased by ~ 15 percent and HC ~ 23 percent, which is influenced by the increased LHV and cetane number of the mixture. However, CO concentration increased by ~ 8 percent. When testing the D50/RME50 mixture, the smoke decreased by ~ 33 percent compared to diesel because RME has relatively lower carbon and higher oxygen elemental content, which improves the combustion process. However, CO concentration increased by ~ 19 percent due to higher fuel consumption and more complex RME molecular structure. When testing the HVO50/RME50 mixture, due to the high cetane number, higher oxygen elemental content and change in combustion intensity lead to reduced engine smoke compared to diesel – 48 percent, CO – 7.9 percent, HC – 26 percent, NO_x – 3,72 percent.