

BIODEGALŲ IŠPURŠKIMO PROCESO TYRIMAS

Birutė Skukauskaitė¹, Tomas Mickevičius²*Aleksandro Stulginskio universitetas**El. paštas: ¹birute.skukauskaite@gmail.com; ²t.mickevicius@yahoo.com*

Santrauka. Šio darbo tikslas buvo ištirti į dyzelinio variklio degimo kamerą įpurškiamos rapsų aliejaus čiurkšlės kitimo ypatumus, lyginant su mineraliniu dyzelinu. Tyrimams sukonstruotas standas, kuriame buvo imituojamos sąlygos (oro tankis), esančios variklio degimo kameroje. Analizuojant spartaus filmavimo vaizdo kamera gautus vaizdus, buvo išmatuotas degalų čiurkšlės įsiskverbimo į degimo kamerą dydis, apskaičiuotas čiurkšlės fronto judėjimo greitis. Nustatyta, kad įpurškiamo rapsų aliejaus čiurkšlė į degimo kamerą įsiskverbia giliau, negu mineralinio dyzelino čiurkšlė. Įpurškiamų degalų čiurkšlės parametrams didesnės įtakos turi įpurškimo slėgis nei aplinkos dujų tankis.

Reikšminiai žodžiai: dyzelinis variklis, rapsų aliejus, dyzeliniai degalai, degalų čiurkšlės įsiskverbimo gylis.

Įvadas

Didėjant dyzelinių degalų poreikiui ir kainai, vidaus degimo varikliams vis plačiau naudojami biodegalai, gaunami iš aliejinių kultūrų. Populiariausi biologinės kilmės degalai Europoje yra rapsų aliejaus metilo esteris (RME). Tačiau taip pat naudojamas ir šalto spaudimo žalias rapsų aliejus.

Augalinių aliejų kaip degalų naudojimo dyzeliniams varikliams idėja nėra nauja, ją jau XIX amžiaus pabaigoje inicijavo Rudolfas Dyzelis. Tačiau juos greitai išstūmė pigesni mineralinės kilmės degalai. 1930–1940 m. ir Antrojo Pasaulinio karo metu augaliniai aliejai buvo naudojami tik kritiškais atvejais ir izoliuotose teritorijose (Agarwal, Rajamanoharan 2009).

Aliejaus kaip degalų pranašumą reikia paminėti nesudėtingą gamybą nenaudojant nuodingų ir agresyvių medžiagų, o technologinio proceso metu gautos atliekos gali būti naudojamos ir kaip pašaras, ir kaip kuras. Naudojant gryną rapsų aliejų, daugiausia problemų kyla dėl to, kad jo klampa, palyginti su mineraliniais dyzeliniais degalais, daugiau kaip 10 kartų didesnė. Klampus rapsų aliejus (RA) blogiau išpurškiamas ir paskirstomas degimo kameroje, todėl neišviskai sudega, ypač esant mažoms variklio apkrovoms ir mažiems sūkiams. Mažesnis cetaninis skaičius (≈ 44) lemia blogesnį rapsų aliejaus užsiliepsnojamumą. Tačiau rapsų aliejų (RA) sumaišius su dyzeliniais degalais, mažinama aliejaus klampa ir gerinama techninės degalų savybės (McDonnell *et al.* 2000; Nwafor, Rice 1996).

Rapsų aliejaus ir mineralinio dyzelino mišinių savybių tyrimai esant žemoms temperatūroms parodė, kad šalto filtro užsikimšimo temperatūra (CFPP) beveik tiesiškai priklauso nuo dyzelino kiekio mišinyje. 95 % rapsų aliejaus ir 5 %

dyzelino mišinio CFPP temperatūra buvo lygi 15 °C, o 50 % rapsų aliejaus ir 50 % dyzelino mišinio – –20 °C (Dukulis *et al.* 2010). Pažymima, kad CFFP temperatūrą šiuo atveju nulemia ne kristalų formavimasis, o kritiškai didėjanti rapsų aliejaus klampa, trikdanti degalų filtravimo procesą.

RA tepamosios savybės, palyginti su dyzeliniais degalais, yra puikios ir jos pastebimos daugiau kaip 20 % (tūrio) aliejaus ir dyzelinių degalų mišiniuose (Altin *et al.* 2001). Daugelio tyrimų rezultatai rodo, kad varikliui veikiant rapsų aliejumi, dėl mažesnio jo šilumingumo sumažėja variklio efektyvioji galia ir didėja lyginamosios degalų sąnaudos (McDonnell *et al.* 2000; Altin *et al.* 2001; Wang *et al.* 2006). Daugeliu atvejų, kai variklis yra nemodifikuotas, terminis naudingumo koeficientas gaunamas mažesnis.

Aliejus termiškai nedistilijuojamas, todėl dalis sudėtingų molekulių neišgaruoja ir nesudega. Taip galima aiškinti intensyvų purkštukų koksavimąsi vidutinės apkrovos srityje. Kai apkrova didelė, RA frakcijos išgaruoja ir sudega, nepalikdamos ant dyzelinio variklio vidinių detalių nuodegų ir suodžių (Labeckas *et al.* 2008).

Rapsų aliejaus naudojimas tiesioginio įpurškimo dyzeliniuose varikliuose nėra visiškai išanalizuotas ir ištirtas. Degalams sudegti degimo kameroje didelę įtaką turi jų įpurškimo kokybė ir pasiskirstymas degimo kameroje. Todėl tikslinga tirti degalų aparatūros darbo pokyčius, ypač degalų išpurškimo srityje. Degalų įpurškimo kokybė priklauso nuo jų klamos, tankio ir paviršiaus įtempimų, įpurškimo slėgio dydžio, purkštukų skylių formos, matmenų ir skaičiaus, suslėgto oro tankio, jo sukuriavimo pobūdžio ir intensyvumo (Labeckas, Slavinskas 2005).

Ankstesniais eksperimentiniais tyrimais buvo nustatyta, kad tradicinė degalų aparatūroje įpurškiant mineralinį dyzeliną ir jo mišinius su rapsų aliejumi, slėgis prie purkštuvo viršija slėgį prie siurblio, o įpurškiant gryną rapsų aliejų, slėgis prie purkštuvo buvo gautas mažesnis už slėgį prie siurblio. Be to, įpurškiant gryną rapsų aliejų, ciklinis degalų kiekis sumažėjo 10–14 % (Skukauskaitė, Slavinskas 2010).

Darbo tikslas – ištirti į dyzelinio variklio degimo kamerą įpurkštos rapsų aliejaus čiurkšlės kitimo ypatumus.

Eksperimentinių tyrimų atlikimo metodika

Tyrimai atlikti Aleksandro Stulginskio universitete, Transporto ir jėgos mašinų katedros Degalų aparatūros laboratorijoje. Degalų įpurškimo procesui tirti buvo pagamintas stendas, kurio bendras vaizdas pateiktas 1 pav., o principinė schema – 2 pav.

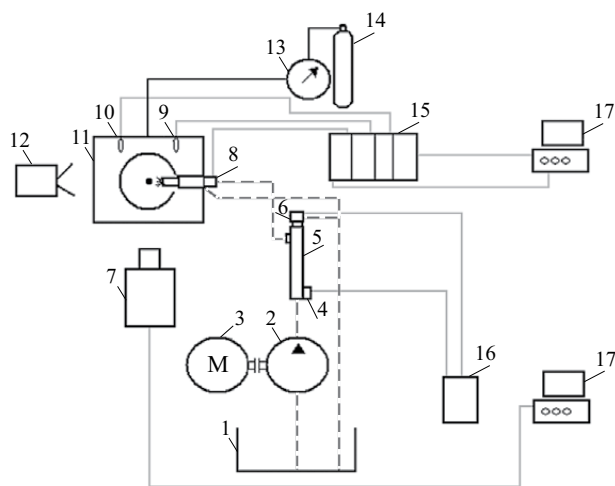


1 pav. Degalų įpurškimo tyrimų stendas

Fig. 1. A test stand for fuel injection

Degalai buvo purškiami į didelio slėgio kamerą 11, kurioje buvo imituojamos sąlygos (oro tankis), esančios variklio cilindre. Kamera iki reikiamo slėgio buvo užpildoma inertinėmis dujomis – azotu. Degalų tiekimo liniją sudarė degalų bakas, „Common rail“ sistemos didelio slėgio siurblys CP3, degalų akumuliatorius su slėgio jutikliu 4 ir slėgio reguliatoriumi 6 ir elektromagnetinis purkštukas 8 su šešių srautų purkštuku. Sistemai valdyti ir dujų parametrams matuoti buvo naudojama „NI cRIO“ sistema su reikiama moduliais. Purkštukas buvo valdomas „Drivven DI“ moduliui. Dujų temperatūra didelio slėgio kameroje buvo matuojama k tipo termopora, sujungta su „NI 9211“ moduliui, o slėgis – „Trafag NAT250,0V“ jutikliui, sujungtu su „NI 9205“ moduliui. Matavimo sistemai sudaryti naudota „NI LabView“ programinė įranga.

Tyrimai atlikti naudojant mineralinius dyzelinius degalus ir gryną rapsų aliejų, esant 40,0 ir 60,0 MPa įpurškimo slėgiui ir 2,0 ir 4,0 MPa dujų slėgiui kameroje (dujų tankis kameroje buvo lygus atitinkamai 24,2 ir 48,4 kg/m³).

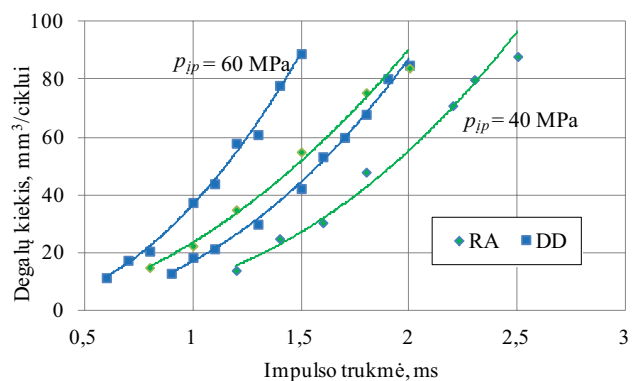


— N₂ dujų linija; — Signalų linija; -- Degalų tiekimo linija
— N₂ gas line; — Signal line; -- Fuel line

2 pav. Degalų išpurškimo proceso tyrimo stendo schema: 1 – degalų bakas; 2 – degalų siurblys; 3 – el. variklis; 4 – degalų slėgio reguliatorius; 5 – degalų akumuliatorius; 6 – degalų slėgio jutiklis; 7 – greitaieigė vaizdo kamera; 8 – purkštukas; 9 – slėgio jutiklis; 10 – temperatūros jutiklis; 11 – didelio slėgio kamera; 12 – halogeninis šviestuvai; 13 – slėgio reguliatorius; 14 – N₂ balionas; 15 – NIcRIO sistema; 16 – degalų slėgio valdymo blokas; 17 – asmeninis kompiuteris

Fig. 2. Scheme for fuel injection testing stand: 1 – fuel tank; 2 – fuel pump; 3 – electric motor; 4 – fuel pressure regulator; 5 – rail; 6 – fuel pressure sensor; 7 – high-speed video camera; 8 – injector; 9 – pressure sensor; 10 – temperature sensor; 11 – high pressure chamber; 12 – halogen lamp; 13 – pressure regulator; 14 – N₂ balloon; 15 – NIcRIO system; 16 – fuel pressure control unit; 17 – PC

Tyrimų pradžioje atliktas purkštuko kalibravimas, t. y. nustatyta įpurškiamo ciklinio degalų kiekio priklausomybė nuo purkštuko valdymo impulso trukmės, esant reikiamam įpurškimo slėgiui (3 pav.).

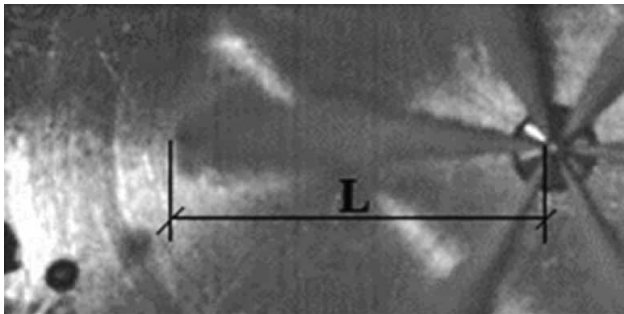


3 pav. Įpurškiamų degalų kiekio priklausomybė nuo purkštuko valdymo impulso trukmės

Fig. 3. Dependency of injected fuel content on the duration of impulses for controlling an injector

Degalų čiurkšlės formavimasis buvo registruojamas spartaus filmavimo vaizdo kamera PHOTRON FASTCAM-1024PCI. Pasirinktas filmavimo greitis buvo lygus 18 000 kadrų per sekundę, t. y. laiko tarpas tarp atskirų vaizdų lygus 55,55 μ s. Analizuojant gautus vaizdus, buvo matuojamas čiurkšlės ilgis (4 pav.) ir apskaičiuojamas čiurkšlės fronto judėjimo greitis. Vaizdų analizė ir matavimai buvo atliekami NI „Vision Assistant“ programine įranga.

Tyrimuose naudoto dyzelino ir įmonėje „Rapsola“ pagaminto rapsų aliejaus (RA) cheminės ir fizikinės savybės pateiktos 1 lentelėje.



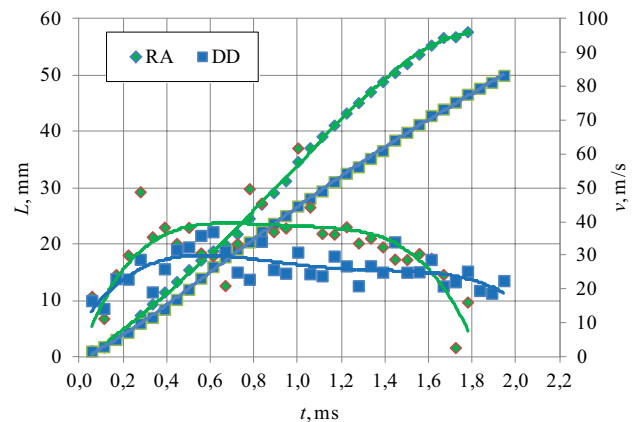
4 pav. Degalų čiurkšlės vaizdas
Fig. 4. Development of fuel spray

1 lentelė. Dyzelinių degalų ir rapsų aliejaus techninės savybės
Table 1. Technical properties of diesel fuel and rapeseed oil

Savybių rodikliai	Dyzeliniai degalai (Klasė C)	Rapsų aliejus
Cheminė formulė	$C_{13}H_{24}$	$C_{57}H_{105}O_6$
Tankis esant 15 $^{\circ}C$, kg/m^3	842	916
Klampa esant 40 $^{\circ}C$, mm^2/s	2,94	38,0
Plyksnio temperatūra atvirame tiglyje (FP), $^{\circ}C$	68	220–300
Garingumas, min 95 %, esant $^{\circ}C$	360	–
Savainimis užsiliepsnojimas, $^{\circ}C$	250	320
Šalto filtro užsikimšimo taškas (CFPP), $^{\circ}C$	–5	+15
Stingimo temp. (PP), $^{\circ}C$	0	+20
Cetanis skaičius	51,6	44–48
Sieros kiekis, mg/kg	33	2
Jodo skaičius, $(J_2g)/100 g$	6	111
Rūgštingumas, $(mg KOH)/g$	0,06	2,0
Deguonies kiekis, max %	0,4	10,8
Anglies ir vandenilio masės santykis, kg/kg	6,9	6,5
Žemutinis šilumingumas, MJ/kg	42,55	36,87
Stechiometrinis oro ir degalų santykis, kg/kg	14,45	12,63
Bendras užterštumas, mg/kg	0,2	25
Suodžių kiekis, masės %	0,01	0,01
Vandens kiekis, mg/kg	28	75

Eksperimentinių tyrimų rezultatų analizė

5 pav. pateikti mineralinio dyzelino ir rapsų aliejaus čiurkšlių įsiskverbimo gylio į degimo kamerą ir greičio kitimo kreivės, degalus įpurškiant esant 40,0 MPa slėgiui į kamerą su 24,2 kg/m^3 tankio azoto dujomis (2,0 MPa). Kaip matyti iš grafikų, įpurškto rapsų aliejaus lašelių greitis yra didesnis, jie lėčiau stabdomi, todėl per tą patį laiką čiurkšlė giliau įsiskverbia į degimo kamerą. Tai galima paaiškinti blogesniu įpurškimu dėl didesnės rapsų aliejaus klampos ir didesnių paviršiaus įtempimo jėgų. Didesnių didesnio tankio lašelių pradinė kinetinė energija yra didesnė, todėl jie lėčiau stabdomi. Praėjus 1,78 ms nuo įpurškimo pradžios, rapsų aliejaus degalų čiurkšlės frontas pasiekia kameros sienelę ($L = 58 mm$). Per tą laiką įpurškiami 48 mm^3 degalų. Tuo tarpu mineralinio dyzelino čiurkšlės frontas per tą patį laiką nueina 46,5 mm, t. y. 19,8 % mažesni, kelią. Tačiau degalų šiuo atveju įpurškiami 41,7 % daugiau – 68 mm^3 . Tai rodo geresnį jų pasiskirstymą degimo kameroje.

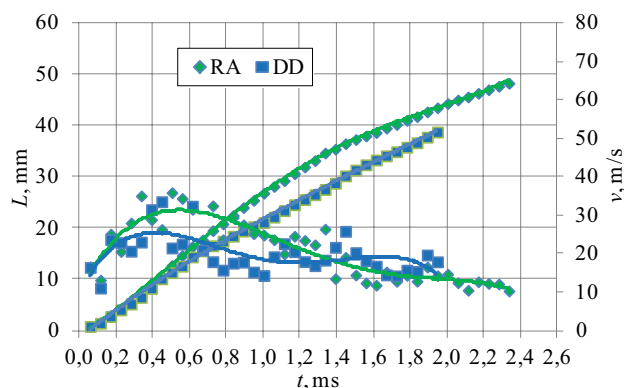


5 pav. Įpurškiamų degalų čiurkšlės ilgio ir greičio kitimas:
 $p_{inj} = 40 MPa$, $\rho_0 = 24,2 kg/m^3$
Fig. 5. Changes in the length and velocity of fuel injection:
 $p_{inj} = 40 MPa$, $\rho_0 = 24,2 kg/m^3$

Įpurškimo kameroje padidinus dujų tankį iki 48,4 kg/m^3 (tai atitinka 4 MPa slėgį variklio cilindre suspaudimo takto pabaigoje), skirtumas tarp abiejų degalų čiurkšlių sklaidimo sumažėjo (6 pav.). Tačiau ir šiuo atveju rapsų aliejaus lašelių greitis buvo didesnis. Įpurškus tą patį mineralinio dyzelino kiekį (68 mm^3), čiurkšlės ilgis buvo lygus 35,9 mm, t. y. 22,8 % mažesnis. Per tą patį laiką (1,78 ms) rapsų aliejaus čiurkšlės frontas nuėjo didesni kelią – 41,1 mm, t. y. 14,5 % didesni nei dyzelino, bet 29,1 % mažesni, nei įpurškus rapsų aliejaus į 24,2 kg/m^3 tankio aplinką. Įpurškto rapsų aliejaus kiekis kaip ir pirmuoju atveju buvo lygus 48 mm^3 . Purkštuvu atidarymo trukmę prailginus iki 2,15 ms, įpurškiamas toks pat kiekis rapsų aliejaus kaip ir dyzelinių degalų. Čiurkšlės ilgis padidėja iki 46,4 mm ir 29 % viršija dyzelino čiurkšlės ilgį.

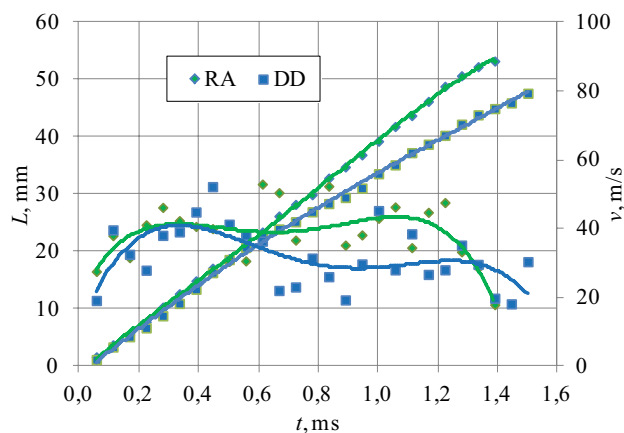
Įpurškimo slėgį padidinus iki 60,0 MPa, to paties kiekio (68 mm³) rapsų aliejaus įpurškimas truko 1,69 ms, o dyzelino – 1,34 ms. Skirtumai tarp išpurškiamų abiejų degalų čiurkšlių šiuo atveju yra mažesni (7 pav.). Purškiant į 24,2 kg/m³ tankio aplinką, pradžioje abi čiurkšlės paplinta beveik vienodai, tačiau, praėjus ~0,4 ms nuo išpurškimo pradžios, mineralinio dyzelino lašelių greitis tampa mažesnis už rapsų aliejaus lašelių; šių degalų čiurkšlė pradeda atsilikti. Įpurškus minėtą degalų kiekį rapsų aliejaus čiurkšlė, kaip ir purškiant 40,0 MPa slėgiu, pasiekė kameros sienelę. Mineralinio dyzelino čiurkšlės ilgis buvo lygus 43,7 mm.

Įpurškimo kameroje padidinus slėgį iki 4,0 MPa ($\rho_o = 48,4 \text{ kg/m}^3$) ir įpurškus tą patį degalų kiekį, rapsų aliejaus čiurkšlės ilgis buvo lygus 44,8 mm, t. y. tik 1,6 mm mažesnis, nei purškiant 40,0 MPa slėgiu (8 pav.). Dyzelino čiurkšlės ilgis buvo lygus 32,5 mm, t. y. 3,4 mm mažesnis.



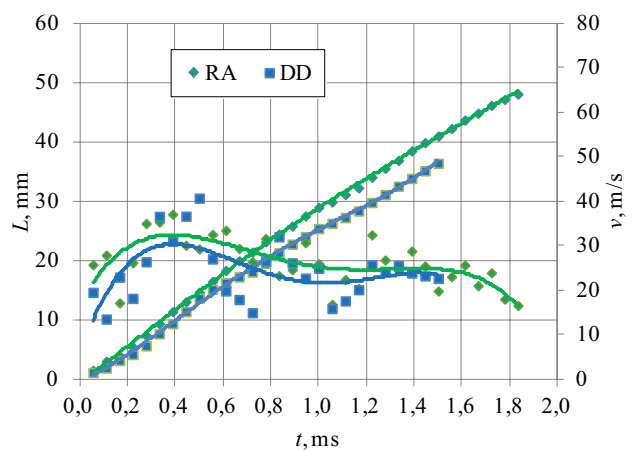
6 pav. Įpurškėtų degalų čiurkšlės ilgio ir greičio kitimas: $p_{inj} = 40 \text{ MPa}$, $\rho_o = 48,4 \text{ kg/m}^3$

Fig. 6. Changes in the length and velocity of injected fuel: $p_{inj} = 40 \text{ MPa}$, $\rho_o = 48,4 \text{ kg/m}^3$



7 pav. Įpurškiamų degalų čiurkšlės ilgio ir greičio kitimas: $p_{inj} = 60 \text{ MPa}$, $\rho_o = 24,2 \text{ kg/m}^3$

Fig. 7. Changes in the length and velocity of fuel injection: $p_{inj} = 60 \text{ MPa}$, $\rho_o = 24,2 \text{ kg/m}^3$



8 pav. Įpurškiamų degalų čiurkšlės ilgio ir greičio kitimas: $p_{inj} = 60 \text{ MPa}$, $\rho_o = 48,4 \text{ kg/m}^3$

Fig. 8. Changes in the length and velocity of fuel injection: $p_{inj} = 60 \text{ MPa}$, $\rho_o = 48,4 \text{ g/cm}^3$

Didėjant įpurškimo slėgiui, rapsų aliejaus išpurškiamas smulkesniais lašeliais, todėl aerodinaminė sąveika tarp aplinkos dujų ir čiurkšlės įtaka yra didesnė. Rapsų aliejaus lašelių kaip ir dyzelino, greitis mažėja ir abiejų čiurkšlių sklaida supanašėja.

Išvados

1. Išpurškto į degimo kamerą rapsų aliejaus čiurkšlė pasklinda giliau, negu mineralinio dyzelino čiurkšlė.
2. Didėjant įpurškimo slėgiui ir aplinkos tankiui, dyzelino ir rapsų aliejaus išpurškiamų čiurkšlių kitimo skirtumai mažėja.
3. Įpurškėtų degalų čiurkšlės parametrų didesnės įtakos turi įpurškimo slėgis nei aplinkos dujų tankis.

Literatūra

- Agarwal, A. K.; Rajamanoharan, K. 2009. Experimental investigations of performance and emissions of Karanja oil and its blends in a single cylinder agricultural diesel engine, *Applied Energy* 86: 106–112. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.04.008>
- Altin, R.; Cetinkaya, S.; Yücesu, H. S. 2001. The potential of using vegetable oil fuels as fuel for Diesel engines, *Energy Conversion and Management* 42: 529–538. [http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904\(00\)00080-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904(00)00080-7)
- Dukulis, I.; Birkavs, A.; Birzietis, G. 2010. Investigation of flowability of rapeseed oil and diesel fuel blends in winter conditions, *Žemės ūkio inžinerija* 42(2–3): 204–213.
- Labeckas, G.; Slavinskas, S. 2005. Rapsų aliejaus ir jo mišinių su dyzeliniais degalais įtaka tiesioginio įpurškimo dyzelinio variklio rodikliams ir deginių emisijai, *Transport* 20(5): 186–194.

- Labeckas, G.; Slavinskas, S.; Kirka, A. 2008. *Biodegalų ir bioalyvų inžinerija*. Kaunas: Akademija. 107 p.
- McDonnell, K. P.; Ward, S. M.; McNultu, P. B.; Howard-Hildige, R. 2000. Results of engine and vehicle testing of semirefined rapeseed oil, *Transactions of the ASAE* 43(6): 1309–1316.
- Nwafor, O. M. I.; Rice, G. 1996. Performance of rapeseed oil blends in a diesel engine, *Applied Energy* 54(4): 345–354. [http://dx.doi.org/10.1016/0306-2619\(96\)00004-9](http://dx.doi.org/10.1016/0306-2619(96)00004-9)
- Skukauskaitė, B.; Slavinskas, S. 2010. Dyzelinių degalų įpurškimo aparatūros darbo rapsų aliejumi tyrimas, *Žemės ūkio inžinerija* 42(2–3): 222–223.
- Wang, Y. D.; Al-Shemmeri, T.; Eames, P.; McMullan, J.; Hewitt, N. 2006. An experimental investigation of the performance and gaseous exhaust emissions of a diesel engine using blends of a vegetable oil, *Applied Thermal Engineering* 26: 1684–1691. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2005.11.013>

RESEARCH ON THE PROCESS OF BIOFUEL INJECTION

B. Skukauskaitė, T. Mickevičius

Abstract

The purpose of this research was to examine penetration peculiarities of rapeseed oil injected into the combustion chamber of a diesel engine. For conducting tests, a stand imitating conditions (air density) for the engine combustion chamber was designed. The analysis of pictures obtained using a fast recording camera determined fuel injection into the chamber volume and calculated the velocity of spray head. It was established that fuel spray of injected rapeseed oil proceeds deeper into the combustion chamber than that of mineral diesel fuel. The parameters of fuel spray are mainly influenced by injection pressure rather than by the density of compressed gases.

Keywords: diesel engine, rapeseed oil, diesel fuel, penetration of fuel spray.