

BIODEGALŲ IR JŲ MIŠINIŲ SU PADANGŲ PIROLIZĖS ALIEJUMI TEPUMO SAVYBIŲ TYRIMAS

Tautvydas PRANCKEVIČIUS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas tautvydas.pranckevicius@vdu.lt

Tomas MICKEVIČIUS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas tomas.mickevicius1@vdu.lt

Santrauka

Straipsnyje analizuojami dyzelinių degalų (DD), biodegalų (HVO) ir jų mišinių su padangų pirolizės aliejumi (PPA15, PPA30, PPA60 ir PPA100) tepumo savybių tyrimo rezultatai. Tepumo tyrimai atlikti naudojant HFFR aukšto dažnio slankiojamo judesio stendą. Degalų tepumas buvo nustatomas pagal nudilimo pėdsaką, susidarantį ant švytuojančio rutuliuko dėl kontakto su stacionariai įtvirtinta plokšte, panardinta į degalus. Bandymas atliktas pagal tarptautinį standartą ISO 12156. Analizuojant gautus rezultatus buvo nustatyta, kad didžiausias nudilimo skersmuo 0,343 mm gautas naudojant gryną padangų pirolizės aliejų, mažiausias nudilimo skersmuo 0,185 mm užfiksuotas naudojant grynus dyzelinius degalus. Darbe buvo nagrinėtos skirtingos sudėties degalų, tankio ir kinematinės klampos priklausomybės nuo temperatūros. Atlikus tyrimus buvo nustatyta, kad tankis didėja didėjant PPA kiekiui biodegalų mišinyje ir mažėja didėjant temperatūrai. Tankio priklausomybė buvo gauta tiesiška. Priklausomai nuo degalų sudėties, kinematinė klampa mažėjo didėjant temperatūrai. Buvo gauta, kad padangų pirolizės aliejaus kinematinė klampa didesnė negu įprastinių dyzelinių degalų.

Reikšminiai žodžiai: dyzeliniai degalai, biodyzelinas, padangų pirolizės aliejus, tepumas,

Įvadas

Transporto priemonių vidaus degimo variklių (VDV) konstrukcija ir eksploataciniai parametrai buvo tobulinami efektyviai dirbti su mineraliniais degalais (Labeckas ir kt., 2008). Tačiau mineralinių degalų ištekliai riboti ir neatsinaujinantys. Didėjant transporto priemonių skaičiui, žaliavinės naftos atsargos mažėja, o sunaudojimo poreikis didėja. Didėja ir atmosferoje išsiskiriančių teršalų kiekis. Mažėjantys mineralinių degalų resursai, nestabilios naftos produktų kainos ir vis labiau augančios aplinkosauginės problemos verčia pasaulio mokslininkus ieškoti atsinaujinančių ir alternatyvių energijos šaltinių.

Aplinkosauginiai reikalavimai nuolatos nagrinėjami įvairiose Europos Sąjungos (ES) Komisijose. ES transporto priemonių deginių emisija pradėta reguliuoti nuo 1970 m., o 1990 m. patvirtinti Euro standartai dyzelinius degalus ir benzinau naudojamam transportui ir varikliams. Šiuos standartus turi atitikti visos transporto priemonės, kuriomis prekiaujama ES šalyse. Standartai buvo įvesti tam tikrais etapais: pirmas etapas „Euro-1“ ES buvo įgyvendintas 1992–1995 m., antras „Euro-2“ – 1996–1999 m., trečias „Euro-3“ – 2000–2004 m., ketvirtas „Euro-4“ – 2005–2007 m., penktas „Euro-5“ – 2008–2012 m., šeštas „Euro-6“ – 2013 m. (Singh et al., 2022). ES valstybėse formuojamos mažos taršos zonos. Daugelyje šalių taršių automobilių kriterijai vertinami pagal jų pagaminimo metus ir pagal EURO deginių emisijos standartus.

Pirmos kartos biodegalams kaip žaliavai naudojami maistiniai augalai, turintys lengvai išgaunamų cukrų, krakmolo ir aliejaus. Gamybos metu cukrūs sufermentuojami į bioetanolį, o iš riebalinių rūgščių transesterifikacijos būdu gaminamas biodyzelinas. Kaip populiariausi biodegalai ES šalyse plačiai naudojamas biodyzelinas. Antros kartos biodegalai kaip žaliavą naudoja lignoceliuliozės turinčią biomasę. Šiuo atveju biodyzelinas (HVO; NExBTL) gaunamas hidrinimo būdu iš augalinių aliejų ir gyvūninių riebalų, medienos ir pramoninių atliekų (Engman et al., 2016).

Atliekų pavertimas degalais turi didžiulį potencialą. Kietosios atliekos pasaulyje yra rimta problema, dėl kurios kyla ekologinės ir ekonominės problemos. Kasmet pasaulyje susikaupia didelė dalis nudėvėtų padangų. Antrosios kartos degalus pagal gamybos būdą galima suskirstyti į grupes. Degalus, sintetinus iš dujų, gaunamus pirolizės ir Kocho būdais. Šiuos gamybos būdus galima taikyti tokioms žaliavoms kaip anglis, plastikas, dumblas, alkanų, alkenų ir aromatinių dujų mišiniams. Į atskirą grupę grupuojami skystieji degalai iš gamtinių dujų, biodujų. Jų sintezės produktai – metanolis, dimetileteris, benzinas, dyzelinas. Trečiajai grupei priskiriami skystieji degalai iš biomasės (žaliavos: mediena, šiaudai, durpės); gaunami sintezės produktai – Fišerio-Tropšo biodyzelinas, biometanolis, bio-DME (Binod et al., 2019).

Atsinaujinančių biodegalų ir alternatyvių degalų naudojimas gerina ekologinę situaciją, tačiau kitų problemų, atsirandančių VDV, pašalinti negali. Šiam tikslui reikia tirti degalų tiekimo, degalų išpurškimo ir lašelių išskaidymo procesus, jų pasiskirstymą degimo kameros tūryje ir pasienio srityje, tobulinti degiojo mišinio ruošimą ir savaiminį užsiliepsnojamumą, optimizuoti degimo ir šilumos išsiskyrimo charakteristikas (Labeckas ir kt., 2008). Pritaikant variklio maitinimo sistemas darbu su netradiciniais degalais, degalai privalo patenkinti vieną iš svarbiausių reikalavimų – negadinti maitinimo sistemos aparatūros detalių. Nagrinėjant mokslininkų šia tema atliekamus tyrimus pasigendama

mokslinių tyrimų, kurie būtų susiję su atsinaujinančių ir alternatyvių degalų cheminių bei fizikinių savybių daroma įtaka transporto priemonių variklių maitinimo sistemos darbui, yra mažiau.

Tyrimo tikslas – ištirti naudojamų degalų sudėties įtaką tepumo savybėms.

Tyrimo uždaviniai

1. Nustatyti įvairios procentinės sudėties (pagal tūrį) antros kartos biodegalų (HVO) ir padangų pirolizės aliejaus mišinių tankio ir kinematinės klampos priklausomybę nuo temperatūros;
2. Atlikti eksperimentinius tepumo savybių tyrimus naudojant dyzelinius degalus, antros kartos biodegalus (HVO) ir jo mišinius su padangų pirolizės aliejumi (PPA).

Tyrimų objektas ir metodai

Vytauto Didžiojo universitete, Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros Aplinkos technologijos cheminių ir biocheminių tyrimų laboratorijoje, buvo tyrinėjamas skirtingos sudėties degalų ir jų mišinių tankis ir kinematinė klampa. Fizinėms degalų savybėms nustatyti buvo naudojamas *Anton Paar* firmos prietaisas SVM 3000 (matavimo paklaidos atitinkamai 0,0002 g/cm³ ir 0,1%).

Tyrimo buvo panaudoti šeši skirtingos sudėties degalų mišiniai, kurių sudėtis yra tokia:

1. 100 % HVO – hidrinimo būdu iš augalinių aliejų ir gyvūninių riebalų, medienos ir pramoninių atliekų gauti dyzeliniai degalai (Malinowski et al., 2013);
2. 100 % – padangų pirolizės aliejus (PPA100);
3. 15 % HVO ir 85 % padangų pirolizės aliejus (PPA15);
4. 30 % HVO ir 70 % padangų pirolizės aliejus (PPA30);
5. 60 % HVO ir 40 % padangų pirolizės aliejus (PPA60);
6. DD – mineralinis dyzelinas.

Naudotų gryną degalų fizinės cheminės savybės pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė. Naudotų degalų fizinės ir cheminės savybės (Robert Bosch GmbH., 2004)

Table 1. Properties of different fuels

Savybių rodikliai	Vertinimo metodas	DD	HVO	PPA	EN590
Tankis esant 15°C, kg/m ³	EN ISO 12185:1999	832,7	779,8	910	800 – 845
Kinematinė klampa, mm ² /s	EN ISO 3104+AC:2000 at 40 °C	2,13	2,92	3,77	1,5 – 4
Tepumo savybės patikslintos pagal skersmens nusidėvėjimą (HFRR), (wsd 1.4) esant 60 °C, μm	EN ISO 12156-1	-	-	-	Max: 460
Cetanis skaičius	EN ISO 5165:1999	51,4	78,9	39	Min: 51
Degunies kiekis, max wt%	-	0	0	1,76	
Anglies ir vandenilio masės santykis (C/H)	-	6,62	5,58	1,48	
Stechiometrinis oro ir degalų santykis, kg/kg	-	14,5	15,1	13,46	
Žemutinis šilumingumas, MJ/kg	EN ISO 8217:2012	43	43,82	38,10	

Degalų tepumo eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Mechanikos, energetikos ir biotechnologijų inžinerijos katedros Tribologijos bandymų laboratorijoje.

Tyrimai buvo atlikti su HFFR aukšto dažnio slankiojamo judesio stendu. Degalų tepumas buvo nustatomas pagal nudilimo pėdsaką, susidarantį ant švytuojančio rutuliuko dėl kontakto su stacionariai įtvirtinta plokšte, panardinta į degalus. Bandymas atliktas pagal tarptautinį standartą ISO 12156 (ASTM D6079-99 Standard). Bandymo metu degalų temperatūra buvo 60 °C. Tyrimai buvo atliekami 3 pakartojimais.

Rutuliukų nudilimo pėdsakų vaizdai buvo gauti naudojant optinį mikroskopą *Nikon Elipse MA100*. Gautos nuotraukos priartintos 200 kartų. Gautiems eksperimentų duomenims apdoroti naudota *Excel 2016* programa iš standartinio *MS Office* paketo.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

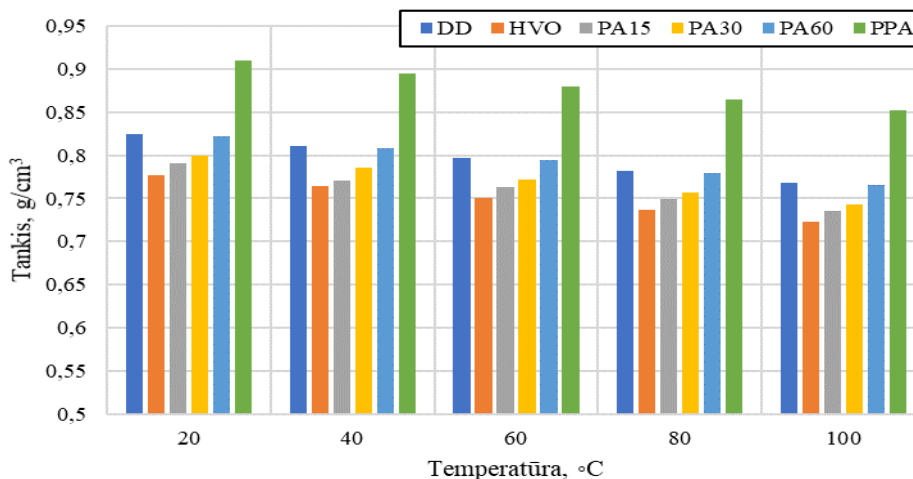
Dyzelino kokybės reikalavimus Europoje nustato EN 590 standartas. Svarbiausi rodikliai: tankis klampa, tepumas, cetanis skaičius, cetanis indeksas, virimo sritis, filtravimosi riba, plyksnio taškas, sieros kiekis, polinkis kokuotis, bendras užterštumas, vandens kiekis. Naudojant skirtingos sudėties degalus ir jų mišinius keičiasi naudojamų degalų savybės. Energijos kiekis degalų tūrio vienetu didėja didėjant tankiui. Naudojant didesnio tankio, kuris priklauso nuo degalų rūšies, degalus, padidėja variklio galia ir dūmingumas. Todėl reikalaujama, kad degalų tankis, atsižvelgiant į degalų rūšį, mažai kistų (Robert Bosch GmbH., 2004).

Padangų pirolizės aliejaus įmaišymas į biodyzeliną keičia degalų tankį (1 pav.). Atlikus tyrimus buvo nustatyta, kad tankis didėja didėjant PPA kiekiui biodegalų mišinyje ir mažėja didėjant temperatūrai. Naudojant gryną biodyzeliną ir jo mišinius PPA15, PPA30 ir PPA60 su padangų pirolizės aliejumi ir esant 20 °C temperatūrai, tankis atitinkamai 6 ,

4,3 , 3,2 ir 1 % mažėjo, lyginant su dyzeliniais degalais. Esant 60 °C temperatūrai, dyzelinių degalų ir padangų pirolizės aliejaus tankis buvo gautas atitinkamai 6,1 ir 17,2 % didesnis negu gryno antros kartos biodyzelino.

Skysčio vidaus trintį įvertinanti degalų savybė yra kinematinė klampa. Tai vienas iš pagrindinių rodiklių, charakterizuojančių tekumą. Degalų klampa turi įtakos degalų išpurškimo kokybei ir maitinimo sistemos darbo sąlygoms. Kai degalų klampa maža, blogiau sutepamos plunžerinės poros, degalai purškiami smulkesniais lašeliais. Šių lašelių kinetinė energija mažesnė, todėl jie lieka arčiau purkštuvo, blogiau ruošiamas degusis mišinys, variklis gali dūminti. Kai degalų klampa didesnė, lašeliai formuojasi didesni, jie lekia toliau, bet lėčiau garuoja.

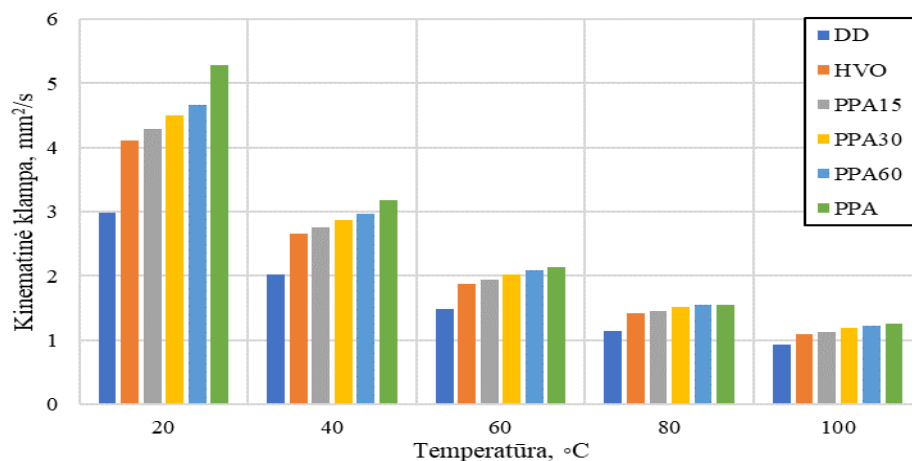
2 paveiksle pateikta skirtingos sudėties degalų kinematinės klamos priklausomybė nuo temperatūros. Esant 40 °C temperatūrai, biodyzelino ir jo mišinių PPA15, PPA30 ir PPA60 su padangų pirolizės aliejumi kinematinė klampa gauta atitinkamai 31,5 , 36,1 , 42,5 % ir 47,2 %, didesnė negu įprastinių dyzelinių degalų.



1 pav. Skirtingos sudėties degalų tankio priklausomybė nuo temperatūros

Fig. 1. Temperature dependence of fuel density of different compositions

Atliekant duomenų analizę buvo pastebėta, kad priklausomai nuo įmaišyto PPA kiekio, naudojamų degalų ir jų mišinių, kinematinė klampa mažėja didėjant temperatūrai. Kaip matyti grafike, esant 60 °C temperatūrai, biodyzelino ir padangų pirolizės aliejaus kinematinė klampa gauta atitinkamai 26,6 ir 43,5 % didesnė, lyginant su dyzeliniais degalais.

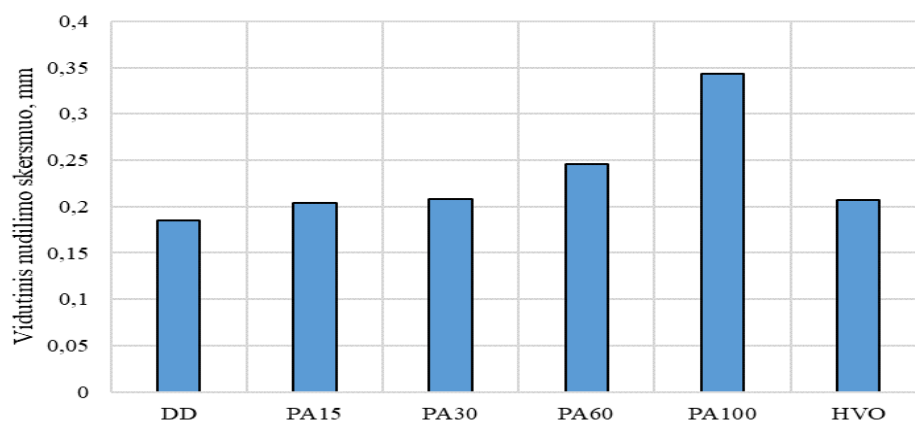


2 pav. Skirtingos sudėties degalų kinematinės klamos priklausomybė nuo temperatūros

Fig. 2. Dependence of kinematic viscosity of fuels of different composition on temperature

Degalų tepumas nustatomas atliekant dilimo testą. Tvirtai įtvirtintas plieninis rutuliukas degaluose dideliu dažniu trinamas į plokštę. Susidariusios plokštumos dydis parodo nudilimą, todėl yra degalų tepumo matas (Robert Bosch GmbH., 2004). 3 paveiksle pateikti rutuliuko vidutiniai nudilimo skersmenys naudojant dyzelinius degalus, biodyzeliną ir jo mišinius PPA15, PPA30, PPA60 ir PPA100 su padangų pirolizės aliejumi.

Analizuojant gautus rezultatus buvo nustatyta, kad pats didžiausias nudilimo skersmuo 0,345 mm užfiksuotas naudojant gryną padangų pirolizės aliejų (PA100). Mažiausias nudilimo skersmuo 0,185 mm buvo gautas naudojant dyzelinius degalus. O naudojant augalinį aliejų (HVO), nudilimo skersmuo buvo gautas 0,207 mm. Didėjant padangų pirolizės aliejaus kiekiui mišinyje, nudilimo skersmuo didėjo. Iš grafiko galima matyti, kad tiriamų skirtingos sudėties degalų vidutinio nudilimo skersmens reikšmės atitinka dyzeliniams degalams keliamus standarto reikalavimus.



3 pav. Rutuliukų vidutiniai nudilimo skersmenys naudojant skirtingos sudėties degalus
Fig. 3. Average wear diameters of balls using different fuel compositions

Išvados

1. Dyzelinių degalų ir padangų pirolizės aliejaus tankis, esant 60 °C temperatūrai, buvo gautas 6,1 ir 17,2 % didesnis negu antros kartos biodyzelino..
2. Biodyzelino ir padangų pirolizės aliejaus kinematinė klampa, esant 60 °C temperatūrai, gauta 26,6 ir 43,5 % didesnė, palyginti su dyzelinių degalų atveju.
3. Mažiausias vidutinis nudilimo skersmuo gautas 0,185 mm naudojant dyzelinius degalus, didžiausias 0,345 mm – naudojant gryną padangų pirolizės aliejų.
4. Tyrinėtų skirtingos sudėties degalų tepumo savybės pagal skersmens nusidėvėjimą (HFRR) gautos reikšmės atitinka dyzeliniams degalams keliamus (EN590) standarto reikalavimus.

Literatūra

1. ASTM D6079-99 Standard Test Method for Evaluating Lubricity of Diesel Fuels by the High-Frequency Reciprocating Rig (HFRR).
2. Binod, P., Gnansounou, E., Sindhu, R., Pandey, A. 2019. Enzymes for second generation biofuels: recent developments and future perspectives. *Bioresource Technology Reports*, Vol. 5, p. 317–325.
3. Engman, A., Hartikka, T., Honkanen, M., Kiiski, U., Kuronen, L., Lehto, K., Saikkonen, P. 2016. Neste renewable diesel handbook. *Neste Proprietary Publication, Espoo*.
4. Labeckas, G., Slavinskas, S., Kirka, A. 2008. Biodegalų ir bioalyvų inžinerija: Mokomoji knyga aukštosioms mokykloms.
5. Malinowski, A.; Czarnocka, J.; Biernat, K. 2013. An Analysis of Physico-Chemical Properties of the Next Generation Biofuels and Their Correlation with the Requirements of Diesel Engine. *Biodiesel - Feedstocks, Production and Applications*, p. 435–459.
6. Robert Bosch GmbH. 2004. Diesel-engine management (Vol. 112). Brill Academic Publishers.
7. Singh, S., Kulshrestha, M. J., Rani, N., Kumar, K., Sharma, C., Aswal, D. K. 2022. An Overview of Vehicular Emission Standards. *MAPAN*, p. 1–23.

STUDY OF THE LUBRICABILITY PROPERTIES OF BIOFUELS AND THEIR MIXTURES WITH TIRE PYROLYSIS OIL

Summary

The article analyzes the results of the study of the lubrication properties of diesel fuel (DD), biofuel (HVO) and their mixtures with tire pyrolysis oil (PPA15, PPA30, PPA60 and PPA100). Lubricity tests were performed using the HFFR high-frequency sliding motion bench. Fuel lubricity was determined by the wear mark formed on the glowing ball due to contact with a stationary plate immersed in fuel. The test was performed in accordance with the international standard ISO 12156. Analyzing the results, it was found that the maximum wear diameter of 0.343 mm was obtained using pure tire pyrolysis oil, the minimum wear diameter of 0.185 mm was recorded when using pure diesel fuel. The article examined the temperature dependences of fuel with different compositions, density and kinematic viscosity. Studies have shown that density increases with increasing PPA content in the biofuel blend and decreases with increasing temperature. The density dependence was obtained linearly. Depending on the fuel composition, the kinematic viscosity decreased with increasing temperature. It was found that the kinematic viscosity of tire pyrolysis oil is higher than that of conventional diesel fuel.

Keywords: tire pyrolysis oil; lubricity, mineral diesel fuel, biodiesel.