

ANGLIES NANODALELIŲ PRIEDO BIODYZELINE ĮTAKA DYZELINIO VARIKLIO DEGINIŲ EMISIJOS RODIKLIAMS

Domas BENESEVIČIUS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas domas.benesevicius@vdu.lt

Arvydas PAULIUKAS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas arvydas.pauliukas@vdu.lt

Santrauka

Atsinaujinantys degalai yra vienas iš ekologiškesnių pasirinkimų transporto sistemoje. Straipsnyje nagrinėtos anglies pagrindu nanomedžiagos pasižymi puikiais savybėmis, kurios leidžia jas naudoti kaip degalų priedus, siekiant sumažinti kenksmingą dyzelino išmetimo emisiją. Nanodalelės dėl unikalaus šilumos laidumo plačiai naudojamos įvairiose srityse. Straipsnyje apžvelgiama nanomedžiagų (anglies plokštelių) įtaka ir poveikis dyzelinių variklių išmetimo emisijoms, tokioms kaip CO₂, CO, NO_x, NO₂, NO.

Reikšminiai žodžiai: biodyzelinas, anglies nanodalelės, deginių emisija.

Įvadas

2019 m. transporto sektoriuje buvo išskirta beveik ketvirtadalis viso Europos Sąjungos išskiriamo CO₂ kiekio, o 71,7 proc. šio kiekio sudarė keliuose išmetamas CO₂. Transportas yra vienintelis sektorius, kuriame išmetamųjų dujų kiekis per paskutinius tris dešimtmečius (nuo 1990. iki 2019 m.) išaugo – 33,5 proc. . 2023 metų vasario 15d. Europos Parlamentas pritarė įstatymo projektui, kuriuo nuo 2035 metų draudžiama naujų automobilių pardavėjams prekiauti transporto priemonėmis, turinčiomis vidaus degimo variklį. Šis naujasis teisės aktas yra Europos Sąjungos kovos su klimato kaita projekto dalis. Tačiau transportą sudaro ne tik lengvieji automobiliai, bet ir sunkiasvorės transporto priemonės, žemės ūkio, miškų ūkio, jūrų sektoriaus transportas, kur, panašu, elektrifikacija bus kur kas lėtesnė, tai ilgalaikis procesas. Šios transporto priemonės daugiausia naudoja iškastinį kurą – dyzeliną. Dyzeliniame variklyje degimo procesas ir jo priderinimas turi didžiausią įtaką pasiekiamai galiai, degalų sąnaudoms ir nuodingų medžiagų emisijoms (Bosch, 2009). Siekdami sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išsiskyrimą mokslininkai tiria įvairius alternatyviųjų degalų pasirinkimus. Pastaraisiais (2018–2022) metais labai išaugo biodyzelino, pagaminto iš aliejaus turinčios maistinės biomasės, panaudojimas (Ahmedas ir kt., 2023). Vienas iš populiariausių alternatyviųjų degalų pasirinkimų yra biodyzelinas. Mokslininkai atlieka tyrimus su biodyzelinu, pagamintu iš įvairios biomasės: palmių, rapsų, ryžių, jūrų ir gėlavandenių dumblių, žuvų atliekų, kokosų, tyrinėja ir atlieka eksperimentus su pagamintu biodyzelinu (Kiehadroudzinezhad ir kt., 2023, Ahmedas ir kt., 2023; Wang ir kt., 2023).

„Pastebima, kad alternatyviųjų degalų naudojimas dyzeliniuose varikliuose sukelia ir neigiamų padarinių, tokių kaip padidėjusios degalų sąnaudos ir NO_x (azoto oksidų) emisija, sumažėjusi variklio galia, užstrigę stūmoklio žiedai ir kartais šalto variklio užvedimo problemos. Šių nepageidaujamų reiškinių galima išvengti tinkamai kontroliuojant degimą ir naudojant tinkamus degalų priedus“ (Slavinskas, Jokubynienė, 2022).

Pastaraisiais metais pastebima, kad vis daugiau mokslininkų atlieka tyrimus su nanomedžiagomis (NM). Tai labai perspektyvus dyzelinių degalų priedas, kurį galima naudoti dyzeliniuose varikliuose. N. Saba ir kt. (2019) teigia, kad CN (anglies nanodalelės) yra viena iš paprasčiausių cheminių kompozicijų ir atominių jungčių konfigūracijų, gaunamų, kai grafeno lakštų struktūros yra valcuojamos cilindro pavidalu.

Tyrimo tikslas – įvertinti anglies nanodalelių priedo biodyzeline įtaką dyzelinio variklio deginių emisijų rodikliams.

Tyrimo uždaviniai:

1. Paruošti eksperimentinius biodyzelino (B) ir anglies nanodalelių priedo (CPL) mišinius;
2. Ištirti biodyzelino ir jo mišinių BCPL50, BCPL100 ir BCPL150 su anglies nanodalelėmis įtaką dyzelinio variklio deginių emisijai.

Tyrimų objektas ir metodai

Variklio eksperimentiniai bandymai su biodyzelinu ir anglies nanodalelėmis buvo atlikti Vytauto Didžiojo universiteto (VDU) Žemės ūkio akademijos Mechanikos, energetikos ir biotechnologijų inžinerijos katedros laboratorijoje. Tyrimai atlikti su dyzeliniu FIAT 192A1000 varikliu, kurio pagrindinės konstrukcijos ypatybės ir veikimo parametrai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Pagrindiniai variklio techniniai parametrai

Table 1. Technical parameters of the engine

Variklio tipas	Keturių cilindrų, linijinis su turbopripūtimu, JTD
Variklio įpurškimo sistema	Common rail, tiesioginio įpurškimo (CRDI)
Variklio darbinis tūris	1910 cm ³
Cilindro skersmuo stūmoklio eiga	82 x 90.4
Suspaudimo laipsnis	18,0±0,45:1
Galia	85 kW (115 HP)
Maksimalus sukimo momentas	255 Nm (EEC), esant 2500 min ⁻¹ sukiamas
Tuščios eigos greitis	850±20 min ⁻¹
Maksimalus įpuškimo slėgis	1400 bar (140±0,5 MPa)

Tyrimui atlikti buvo naudojami degalų mišiniai, kurių sudėtis:

- rapsų aliejaus riebalinių rūgščių metilo esteris biodyzelinas (B) (LST EN 14214, Ltd *Rapsoila*),
- nano plokštelės (*Carbon nanofibers; politically stripped, platelets (conical)*), >98 % carbon basis, D x L 100 nm x 20–200 nm) (CPL).

Anglies nanomedžiagų CPL charakteristikos pateiktos 2 lentelėje.

2 lentelė. Anglies nanodalelių specifikacija

Table 2. Specification of carbon nanoparticles

Cheminis pavadinimas	Dydis DxL	Tankis g/cm ³	Savitas paviršiaus dengimo plotis	Išvaizda
CPL	100 nm x 20–200 μm	1.9	54 m ² /g	Juodos spalvos

Eksperimentiniame tyrime degalų mišiniai buvo ruošiami tokiomis proporcijomis: 50 ppm, 100 ppm ir 150 ppm maišant su biodyzelinu. Mišinių kiekiai ir žymėjimai pateikti 3 lentelėje.

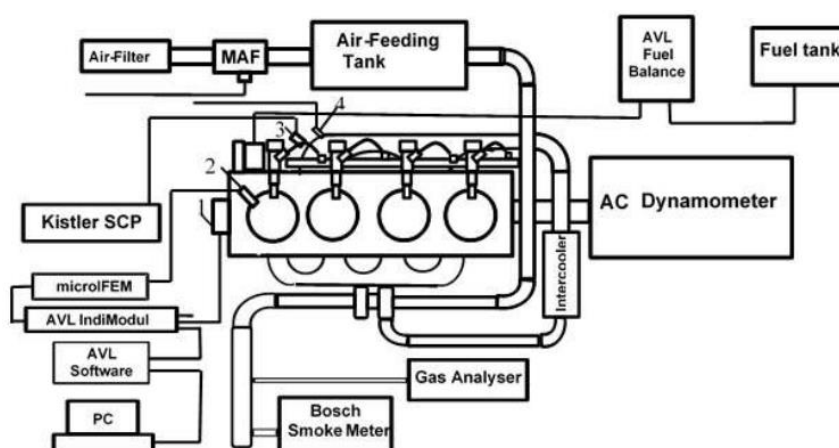
3 lentelė. Degalų mišinių sudedamosios dalys

Table 3. Properties of fuel mixtures

Biodyzolinių degalų mišiniai			
Pavadinimas	BCPL50	BCPL100	BCPL150
SPAN 80, [ppm] / nanodalelės [ppm]	50/50	100/100	150/150

Anglies nanodalelės yra miltelių pavidalo, todėl atliekant tokio tipo eksperimentinius tyrimus svarbu tiksliai ir kruopščiai juos sumaišyti su biodyzelinu, kad dalelės vienodai pasiskirstytų degaluose. Tam į biodyzelino ir anglies nanodalelių mišinį pilama rišamoji medžiaga SPAN80. Ruošiant mišinius maišymo procesas buvo vykdomas 2 etapais: pirmojo etapo metu mišinys buvo maišomas 20 min. magnetinėje maišyklėje, antrojo etapo metu mišinys buvo maišomas 30 min. ultragarsinėje vonelėje.

Eksperimentų metu naudoto bandymo stendo, įrangos ir matavimo aparatūros scheminis vaizdas parodytas 1 pav.



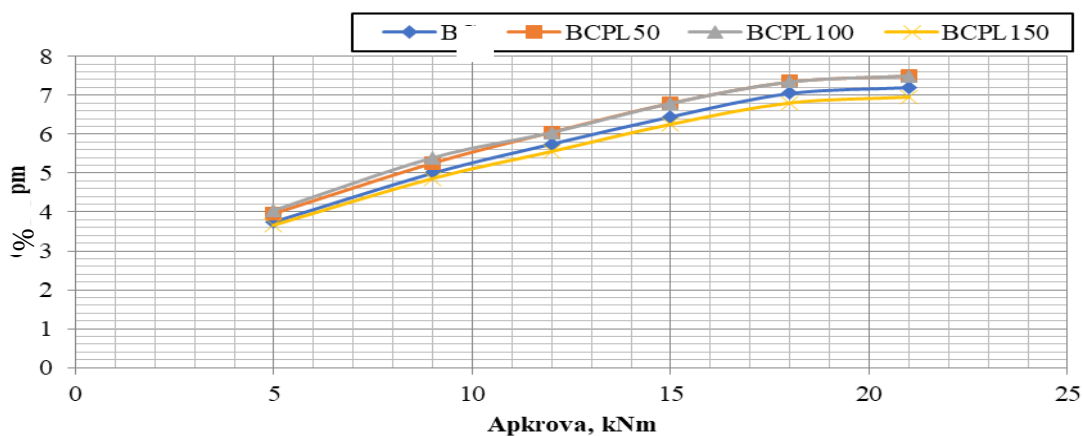
1 pav. Scheminis variklio bandymo stendo išdėstymas: (1) AVL alkūninio veleno padėties jutiklis; (2) pjezoelektrinis cilindro slėgio keitiklis; (3) degalų aukšto slėgio linijos keitiklis prie purkštuko; (4) oro slėgio jutiklis įsiurbimo kolektoriuje [1]

Fig.1. Schematic layout of the engine test bench: (1) AVL crank angle sensor; (2) piezoelectric cylinder pressure transducer; (3) fuel high pressure line transducer to injector; (4) air pressure sensor in the intake manifold [1]

Variklio deginių NO (azoto monoksido), NO₂ (azoto dioksido), NO_x (azoto oksidų), CO (anglies monoksido) ir CO₂ (anglies dioksido) emisijos išmatuotos *Testo 350-XL* dujų analizatoriumi. Variklio bandymai buvo atlikti esant pastoviam 2500 min⁻¹ sūkių dažniui, keičiant apkrovą nuo 5 kNm iki 21 kNm.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

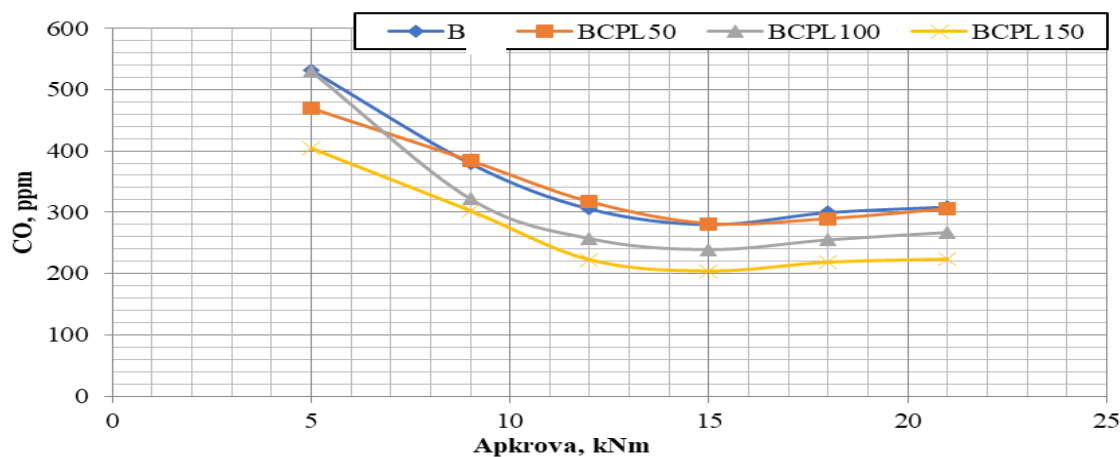
2 paveiksle pateikti anglies dvideginio (CO₂) emisijos kitimo rezultatai. Tyrimo rezultatai rodo, kad mažiausiai CO₂ emisijos buvo išmesta naudojant biodyzelino ir nanodalelių priedo BCPL150 mišinį. Išskiriamas CO₂ kiekis, varikliui veikiant vidutine apkrova, sumažėja 3,5 proc., lyginant su varikliu, dirbančiu su grynu biodyzelinu. Naudojant biodegalų BCPL50 mišinį išskiriamas CO₂ kiekis, veikiant varikliui vidutine apkrova, padidėja 4,9 proc., o naudojant BCPL100 mišinį – 5,18 proc., lyginant su biodyzelinu. Didėjant apkrovai didėja degalų sąnaudos, taip pat didėja ir išmetamos CO₂ emisijos kiekis.



2 pav. Anglies dvideginio (CO₂) emisijos priklausomybė nuo apkrovos

Fig. 2. Dependency of carbon dioxide (CO₂) on engine load

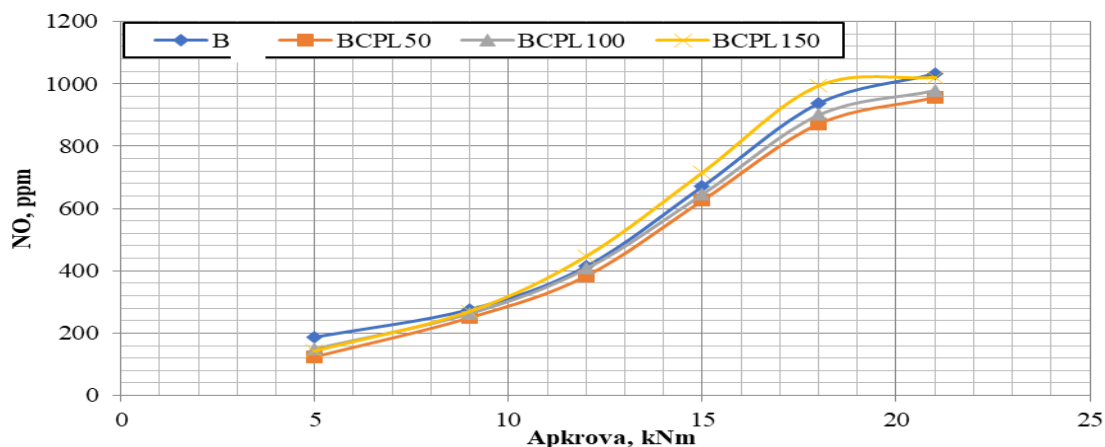
3 paveiksle pateikti anglies monoksido (CO) emisijos kitimo rezultatai, varikliui dirbant biodyzelinu ir jo mišiniais su anglies nanodalelėmis. Kaip matyti, esant mažai variklio apkrovai, didžiausią CO emisijos kiekį generuoja grynu biodyzelinu dirbantis variklis.



3 pav. Anglies monoksido (CO) emisijos priklausomybė nuo apkrovos

Fig. 3. Dependency of carbon monoxide (CO) on engine load

Esant vidutinei variklio apkrovai ir naudojant biodegalų BCPL150 mišinį, išmetamas CO kiekis buvo 27,5 proc. mažesnis negu varikliui dirbant grynu biodyzelinu. Daugiau CO išmetama varikliui veikiant 5 kNm apkrova, tai galima paaiškinti, kad varikliui dirbant mažos apkrovos režimu susidaro liesnesnis mišinys, o maišymasis su oru vyksta sunkiai, todėl sudega ne visi degalai. Esant mažoms apkrovoms sukuriama nepalankios degimo sąlygos ir liepsnos frontas užgęsta pirma laiko, dėl to padaugėja nevisiško degimo produkto – CO. Didėjant apkrovai gerėja degimo sąlygos (didėja temperatūra), geriau sudega degalai ir mažėja išmetamas anglies monoksido kiekis. Pateiktuose rezultatuose matyti, kad didžiausias CO emisijos skirtumas (27,8 proc.), gautas varikliui veikiant 21 kNm apkrova ir dirbant biodegalų BCPL150 mišiniu, lyginant su grynu biodyzelinu.

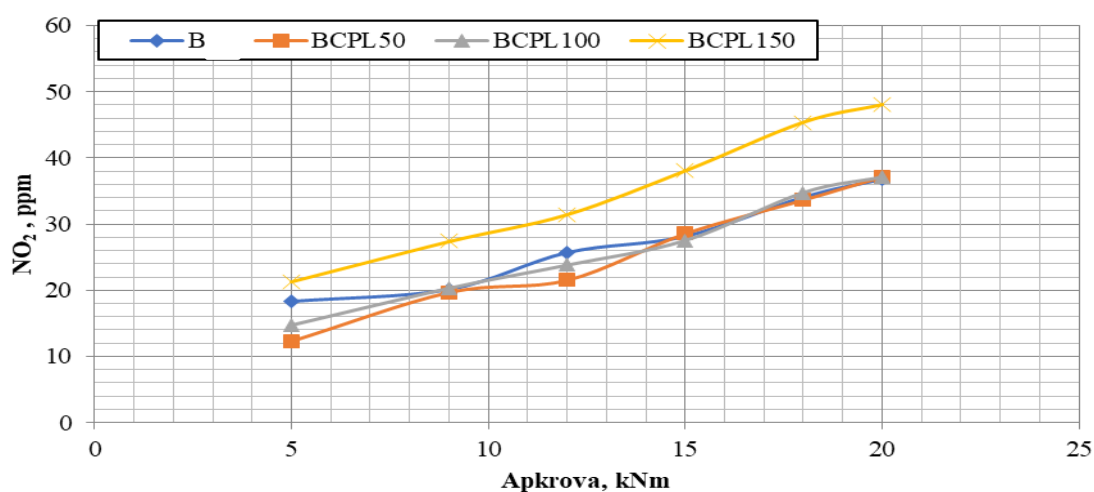


4 pav. NO (azoto monoksido) emisijos priklausomybė nuo apkrovos

Fig. 4. Dependency of nitrogen monoxide (NO) on engine load

Azoto viendeginio (NO) emisijos priklausomybė nuo apkrovos pateikta 4 paveiksle. Iš grafiku matyti, kad mažiausia NO emisija susidaro naudojant biodegalų BCPL50 mišinį. Didžiausias NO emisijos išmetimas, varikliui dirbant visais apkrovos režimais, buvo gautas naudojant biodegalų BCPL150 mišinį, lyginant su visais kitais tyrime naudotais biodegalų mišiniais. Varikliui dirbant vidutine apkrova su biodegalų BCPL150 mišiniu, NO emisija buvo 7,7 proc. didesnė, lyginant su grynu biodyzelinu. Tiriamam varikliui dirbant 5 kNm apkrova su biodegalų BCPL50 mišiniu NO emisijos išmetimas sumažėjo 33,7 proc. , lyginant su grynu biodyzelinu.

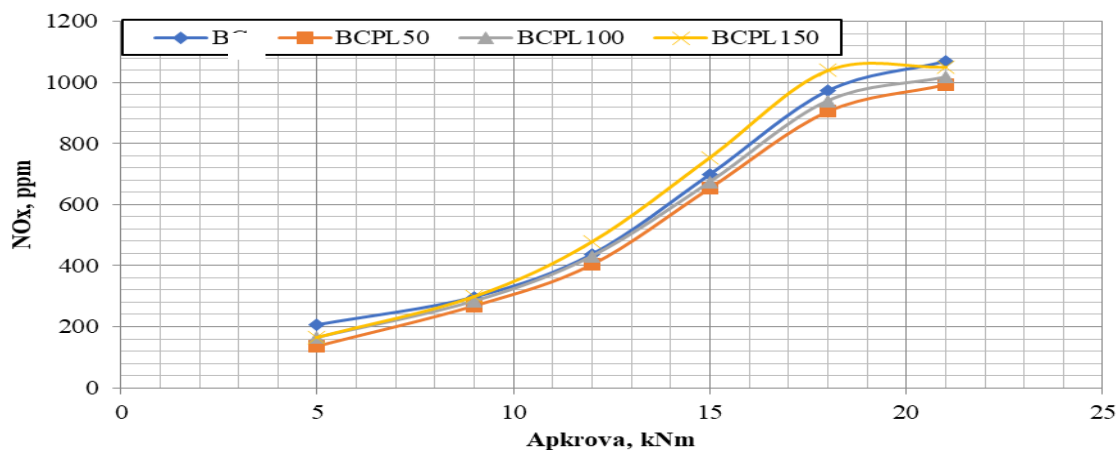
5 paveiksle pateikta azoto dvideginio (NO₂) emisijos priklausomybė nuo apkrovos. Kaip matyti, didžiausias NO₂ emisijos kiekis išsiskiriamas naudojant biodegalų BCPL150 mišinį. Variklį veikiant 9 kNm apkrova ir naudojant biodegalų BCPL150 mišinį, azoto dvideginio išmetimas padidėja 35,6 proc. , lyginant su grynu biodyzelinu. Panaudojus biodegalų BCPL50 mišinį ir varikliui veikiant 12 kNm apkrova, NO₂ emisija sumažėja 16,3 proc. , lyginant su grynu biodyzelinu. Naudojant biodegalų BCPL50 mišinį, azoto dvideginio emisija sumažėjo varikliui dirbant visais tirtais apkrovos režimais (nuo 5 kNm iki 21 kNm).



5 pav. NO₂ (azoto dioksido) emisijos priklausomybė nuo apkrovos

Fig. 5. Dependency of nitrogen dioxide (NO₂) on engine load

6 paveiksle pateikta bendroji azoto oksidų (NO_x) emisijos priklausomybė nuo apkrovos, varikliui dirbant biodyzelinu ir jo mišiniais BCPL50, BCPL100 ir BCPL150 su anglies nanodalelėmis. Iš pateiktų rezultatų matyti, kad mažiausia NO_x emisija susidaro naudojant biodegalų BCPL50 mišinį. Didžiausias NO_x emisijos išmetimas generuojamas naudojant biodegalų BCPL150 mišinį varikliui dirbant visais apkrovos režimais. Varikliui dirbant vidutine apkrova ir panaudojus biodegalų BCPL150 mišinį, NO_x emisija buvo 9,3 proc. didesnė, lyginant su grynu biodyzelinu. Esant tai pačiai variklio apkrovai ir naudojant biodegalų BCPL50 mišinį, azoto oksidų emisija buvo 7,7 proc. mažesnė, lyginant su grynu biodyzelinu. Naudojant biodegalų BCPL100 mišinį, azoto oksidų emisija buvo 1,4 proc. mažesnė, negu grynu biodyzelinu.



6 pav. NO_x (azoto oksidų) emisijos priklausomybė nuo apkrovos

Fig. 6. Dependency of nitrogen oxides (NO_x) on engine load

NO_x emisijos naudojant biodegalų BCPL150 mišinį padidėja galimai dėl efektyvesnio degalų mišinio ruošimo ir degimo. Anglis aktyviai dalyvauja degimo reakcijoje didindama degimo temperatūrą ir slėgį. Aukštos degimo kameros temperatūros skatina NO_x susidarymą.

Išvados

1. Didinant variklio apkrovą (nuo 5 kNm iki 21 kNm), anglies dvideginio emisija didėjo. Naudojant biodegalų BCPL150 mišinį, CO₂ emisijos išmetimas buvo gautas atitinkamai 2,7 proc. ir 3,5 proc. mažesnis, lyginant su grynu biodyzelinu maitinamu varikliu.

2. Tyrimo metu nustatyta, kad naudojant biodegalų BCPL100 ir BCPL150 mišinius, CO emisija, sumažėja varikliui dirbant visais apkrovos režimais. Varikliui dirbant vidutine apkrova, CO emisija, buvo 27,5 proc. mažesnė, negu gryno biodyzelino.

3. Visais tirtais apkrovos režimais (nuo 5kNm iki 21kNm), panaudojus biodegalų BCPL150 mišinį, pastebėtas NO₂ emisijos padidėjimas. Varikliui veikiant 9 kNm apkrova ir naudojant biodegalų BCPL150 mišinį, NO₂ emisija buvo 35,6 proc. didesnė negu gryno biodyzelino.

4. Variklį veikiant 5 kNm apkrova ir naudojant biodegalų BCPL50 mišinį, azoto oksidų emisija buvo 34,1 proc. mažesnė, lyginant su grynu biodyzelinu veikiančiu varikliu.

Literatūra

1. Labeckas G., Slavinskas S., Kanapkienė I. 2020. *Labeckas, G., Slavinskas, S., & Kanapkienė, I. 2020. Investigation of the fuel oxygen of various origins-made effects on the combustion process in a turbocharged crdi diesel engine. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал.–Луцьк: Луцький НТУ, № 1 (14).–147 с., 5.*
2. Kiehadroudzehad, M., Merabet, A., Hosseinzadeh-Bandbafha, H. 2023. A life cycle assessment perspective on biodiesel production from fish wastes for green microgrids in a circular bioeconomy. *Bioresource Technology Reports*, Vol. 21, 101303.
3. Ahmed, M., Ahmad, K. A., Vo, D. V. N., Yusuf, M., Haq, A., Abdullah, A., . Athar, M. 2023. Recent trends in sustainable biodiesel production using heterogeneous nanocatalysts: Function of supports, promoters, synthesis techniques, reaction mechanism, and kinetics and thermodynamic studies. *Energy Conversion and Management*, Vol. 280, 116821.
4. Robert Bosch GmbH. Dyzelinių variklių valdymo sistemos. Kaunas: Smaltijos leidykla. 209.ISBN978-3-528-23873-9. 260-271, 322-331.
5. Saba, N., Jawaid, M., Fouad, H., Alothman, O. Y. 2019. Nanocarbon: Preparation, properties, and applications. *Nanocarbon and its Composites*, p. 327-354.
6. Slavinskas S., Jokubynienė V. 2022. Performance and Emissions Characteristics of Diesel Engine Fuelled with Carbon Nanoparticles Blended Diesel and Biodiesel.
7. Chen, Q., Wang, A., Quan, W., Gong, W. 2023. Efficient synthesis of biodiesel from Hyoscyamus niger L. seed oil by base catalysis. *Fuel Processing Technology*, Vol. 241, 107630.

EFFECT OF CARBON NANOPARTICLE ADDITIVE IN BIODIESEL ON DIESEL ENGINE FUEL EMISSION INDICATORS

Summary

Renewable fuels are one of the greener choices in the transportation system. The carbon-based nanomaterials discussed in the paper have excellent properties that allow them to be used as fuel additives to reduce harmful diesel

exhaust emissions. Nanoparticles are widely used in various fields due to their unique thermal conductivity. The paper reviews the influence and impact of nanomaterials (carbon plates) on diesel engine exhaust emissions such as CO₂, CO, O₂, NO_x, NO₂, NO.

Keywords: biodiesel, carbon nanoparticles, exhaust emissions