

Automobilių taršos emisijų pokytis iškastinius degalus pakeičiant dvejopais biodegalais: tyrimų apžvalga

Edvinas Bučinskas, Alfredas Rimkus*, Laurynas Trukšinas

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Technikos fakultetas
Olandų g. 16, LT-01100 Vilnius, el. paštas a.rimkus@vtdko.lt

(Gauta 2020 m. sausio mėn.; atiduota spaudai 2020 m. kovo mėn.; prieiga internete nuo 2020 m. gegužės 11 d.)

Anotacija

Straipsnyje apžvelgiami kitų tyrėjų atlikti darbai, nagrinėjantys slėginio uždegimo variklių, naudojančių dviejų rūšių degalus, išmetamųjų deginių emisijų pokyčius. Iškastinių degalų naudojimas transporto sektoriuje turi didelę įtaką šiltnamio efektą sukeliančių dujų formavimuisi. Siekiant sumažinti iškastinių degalų naudojimą dyzelinas pakeičiamas biodyzelinu, gamtinės dujos pakeičiamos biodujomis. Biodujų savybės gerinamos naudojant vandenilio priedą. Straipsnyje analizuojamas degimo proceso pokyčio bei degalų sudėties įtaka išmetamųjų deginių sudėčiai. Pateikiamos apibendrintos išvados.

Reikšminiai žodžiai: biodyzelinas, biodujos, vandenilis, emisijos, dvejopi degalai.

Abstract

Usage of fossil fuels in transport sector has an enormous impact on formation of greenhouse gases. In this article an overview of other researchers works are given, parameters such as change in emissions of compression ignition engine working in dual fuel mode are reviewed. In order to decrease usage of fossil fuels, diesel is changed by biodiesel and natural gas is changed by biogas. Properties of biogas are improved by adding hydrogen. Fuel burning process change and fuel composition impact on emissions are analyzed. Summarized conclusions are given at the end of the article.

Key words: Biodiesel, biogas, hydrogen, emissions, dual fuel

Įvadas

Nepaisant vis griežtesnių aplinkos apsaugos keliamų reikalavimų dyzeliniams automobilių vidaus degimo varikliams, dyzelinu varomi automobiliai išlieka populiariausia transporto priemonė. Lietuvoje 2018 metų pabaigoje dyzelinu varomi automobiliai sudarė net 67,7 % viso lengvųjų automobilių skaičiaus (Kelių transporto, 2020). Siekiant sumažinti dyzelinių variklių išmetamųjų teršalų kiekį yra atlikta nemažai tyrimų naudojant alternatyvius degalus. Slėginio uždegimo vidaus degimo varikliams, kaip alternatyvius degalus, galima naudoti biodyzeliną, taip pat įvairius degalų mišinius. Vienas iš tokių mišinių yra dyzelino ir biodujų mišinys. Skysti ir dujiniai degalai tiekiami atskirai. Toks degalų tiekimo būdas vadinamas dvejopu degalų tiekimu (angl. dual fuel). Siekiant sumažinti išmetamųjų dujų emisijas būtų tikslinga naudoti atsinaujinančius alternatyvius degalus.

Šio straipsnio tikslas – aptarti galimybes sumažinti dyzelinu varomų variklių teršalų emisijas naudojant alternatyvius atsinaujinančius dviejų rūšių degalus.

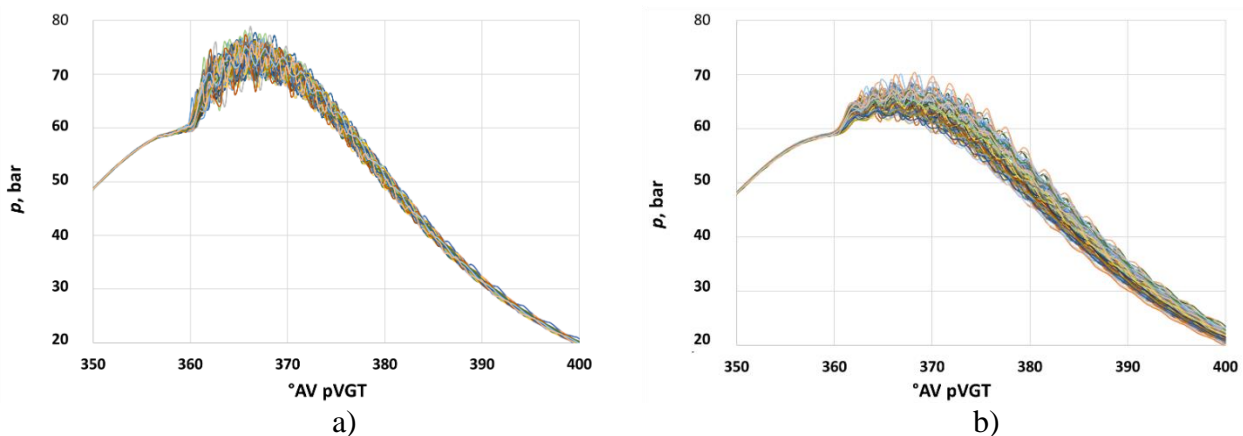
Biodujos gaunamos kaip anaerobinio skaidymo produktas. Kaip žaliava biodujų gamybai gali būti panaudojamos maisto atliekos, augalų atliekos, mėšlas ar netgi pramonėje riebalų gaudyklų (angl. fat traps) surinkti riebalai. Pagrindinį biodujų energijos kiekį sudaro metanas. Priklausomai nuo to, kokia žaliava naudojama gamybai, biodujose metano gali susidaryti nuo 50 iki 75 procentų. Kitas biodujų komponentas – anglies dioksido (CO₂) dujos. Biodujų sudėtyje CO₂ gali būti nuo 25 iki 50 procentų. Taip pat nedideliais kiekiais biodujose yra vandens garų, deguonies bei sieros junginių, tokių kaip vandenilio disulfidas (H₂S). Biodujas išvalius gaunami dujiniai degalai vidaus degimo varikliams, kogeneracinėms jėgainėms. Pašalinus dalį anglies dioksido, gaunamas biometanas, kurio sudėtyje yra apie 98 % metano. Šios dujos savo savybėmis panašios į suslėgtas gamtines dujas (CNG) (Da Costa Gomez, 2013).

Varikliui veikiant dvejopų degalų principu – įpurškiamo dyzelino kiekis sumažinamas ir papildomai tiekiamos biodujos. Slėginio uždegimo varikliui dyzeliną naudojant kaip bandomojo uždegimo degalus ir papildomai tiekiant biodujas, galima pasiekti gerų rezultatų: varikliui veikiant

2500 min⁻¹ sūkiams ir 60 Nm apkrova, tiekiant biodujas, kuriose yra 30 % metano, pasiekiamas toks pat šiluminis naudingumas kaip ir naudojant gryną dyzeliną, tačiau dyzelino sunaudojimas sumažėja 1,5 karto. Azoto oksidų (NO_x) emisijos sumažėja 1,5 karto, tačiau palyginti nedaug išauga anglies monoksido (CO) ir nevisiškai sudegusių angliavandenilių (CH) emisijos (Makarevičienė et al., 2013).

Tyrimų apžvalga

Nemažai tyrimų yra atlikta slėginio uždegimo degimo procesui, naudojant dviejų rūšių degalus, ištirti. Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos mokslininkai ištyrė, kokią įtaką degimo procesui ir variklio stabilumui daro papildomas dujų (metano ir biometano) tiekimas. Tyrėjai suformulavo išvadą, jog ir metano, ir biometano priedas didina vidutinio indikatorinio slėgio variaciją, todėl mažėja variklio darbo stabilumas. Taip pat dėl šių dujų lėtesnio palyginus su dyzelinu degimo greičio ir mažesnio kaloringumo mažėja cilindre susidarantis slėgis darbo takto metu, taip pat užsitęsia degimas (1 pav.). Esant tokiai sąlygai tyrėjai degimo procesą siūlo koreguoti – keisti dyzelino įpurškimo algoritmą (Rimkus et al., 2019). Yoon et al. tyrė variklio darbo bei emisijų parametrus varikliui naudojant dviejų rūšių degalus – biodyzeliną ir biodujas. Tyrėjai nustatė, jog maksimalus slėgis cilindre sumažėja naudojant biodujas, tačiau pastebėjo sutrumpėjusį užsiliepsnojimo laiko periodą. Trumpesnį laiko periodą tyrėjai paaikšino didesniu cetaniniu biodyzelino skaičiumi (Yoon et al., 2011).



1 pav. Indikatorinio slėgio variacija variklyje, veikiančiame dyzelinu (a); veikiančiame naudojant dviejų rūšių degalus (b) (Rimkus et al., 2019)

Fig. 1. Variation of indicated pressure while engine works on diesel (a); In dual fuel mode (b) (Rimkus et al., 2019)

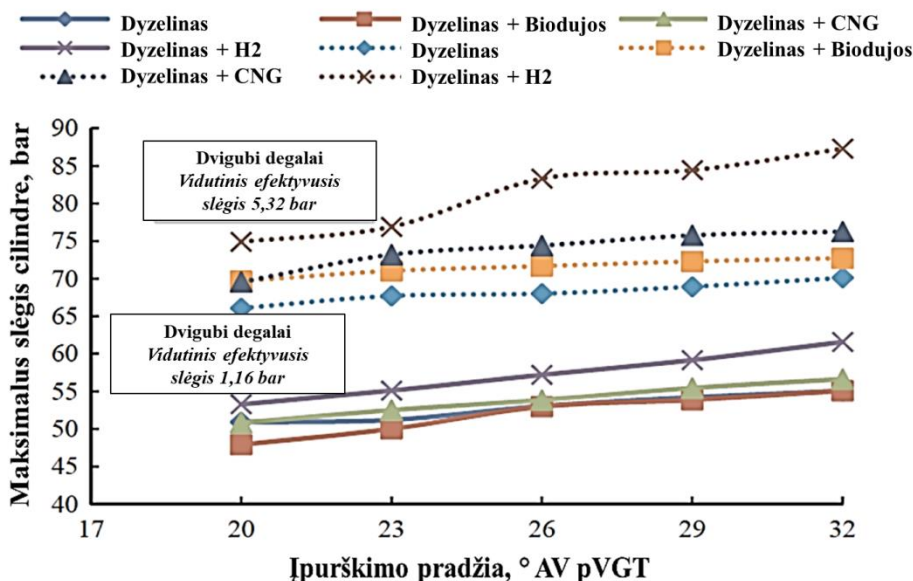
Verma et al. ištyrė biodyzelinu ir biodujomis veikiančio slėginio uždegimo variklio darbo parametrų ir emisijų pokyčius papildomai tiekiant vandenilį, nustatė, jog vandenilio priedo panaudojimas padidina slėgį cilindre (2 pav.) bei itin sumažina nesudegusių angliavandenilių kiekį, anglies monoksido bei anglies dioksido kiekius, tačiau dėl padidėjusios degimo temperatūros stipriai išaugo azoto oksidų kiekis (Verma et al., 2017). Tyrimams naudotas keturtaktis, tiesioginio degalų įpurškimo slėginio uždegimo variklis Kirloskar TAF1. Variklio parametrai pateikiami 1 lentelėje. Variklis aprūpintas MICO BOSCH degalų purkštuvu, turinčiu 3 įpurškimo skylutes, gebančias degalus išpurkšti 116 laipsnių kampu. Degimo kamera yra stūmoklio dugne. Variklio apkrova sudaroma kintamos srovės generatoriumi, elektrinėmis varžomis apkraunant generatorių. Slėginio uždegimo variklis yra modifikuotas darbui dvejopų degalų režimu. Dujiniai degalai iš dujų balionų tiekiami per slėgį mažinančius reduktorius, dujų srauto matuoklius. Siekiant sumažinti dujų srauto netolygumą naudojamas dujų maišymosi indas. Siekiant apsisaugoti nuo dujų užsidegimo tiekimo magistralėje, įrengti atbuliniai vožtuvai bei liepsnos uždoriai (angl. Flame trap). Išmetamosioms dujoms matuoti naudotas AVL DIGAS išmetamųjų dujų analizatorius. Variklio parametrai ištirti varikliui dirbant dviem režimais: veikiančiomis tik dyzelinu ir dyzelino bei dujų mišiniu.

Dirbant dyzelino ir dujų mišinio režimu, pagrindiniams degalams naudojamos biodujos, suslėgtos gamtinės dujos (SGD) ir vandenilis (H_2). Šiuo atveju dyzelinas naudojamas kaip bandomieji degalai. Visais degalų mišinių atvejais variklio parametrai buvo stebimi esant dviem skirtingoms variklio apkrovoms: vidutinis efektyvusis slėgis 1,16 bar ir vidutinis efektyvusis slėgis 5,32 bar. Taip pat buvo tiriama degalų įpurškimo ankstinimo efektas, tam tikslui bandymai buvo atlikti esant skirtingiems degalų įpurškimo paskubos kampams: 20° , 23° , 26° , 29° ir 32° alkūninio veleno (AV) prieš VGT. Šiame darbe aptariami rezultatai esant fiksuotam degalų įpurškimo paskubos kampui 20° prieš VGT.

1 lentelė. Tyrimui naudoto variklio parametrai (Verma et al., 2017)

Table 1. Parameters of the engine used in investigation (Verma et al., 2017)

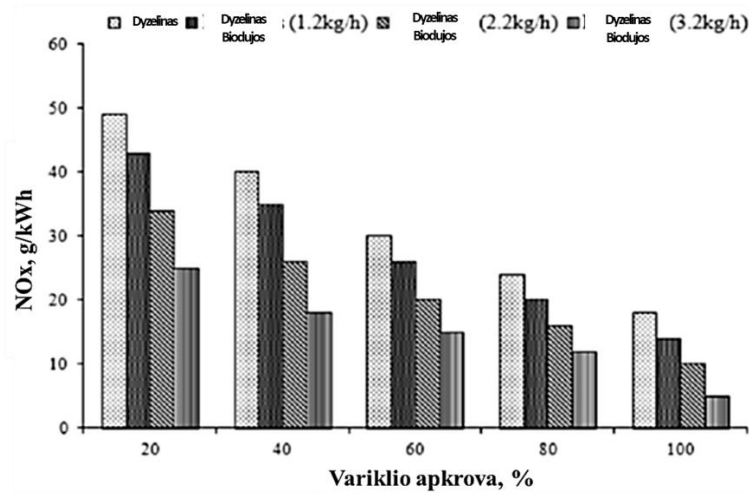
| | |
|-----------------------------------|------------------------|
| Markė ir modelis | Kirloskar TAF1 |
| Tipas | Vieno cilindro |
| Stūmoklio skersmuo ir eiga | 87,5 x 110 mm |
| Darbinis tūris | 661 cm ³ |
| Suspaudimo laipsnis | 17,5:1 |
| Nominali galia | 6 AJ/4,4 kW |
| Alkūninio veleno sukimosi greitis | 1500 min ⁻¹ |
| Įsiurbimo vožtuvas atsидaro | 4,50°AV prieš VGT |
| Įsiurbimo vožtuvas užsidaro | 35,50°AV po AGT |
| Išmetimo vožtuvas atsидaro | 35,50°AV prieš AGT |
| Išmetimo vožtuvas užsidaro | 4,50°AV po VGT |



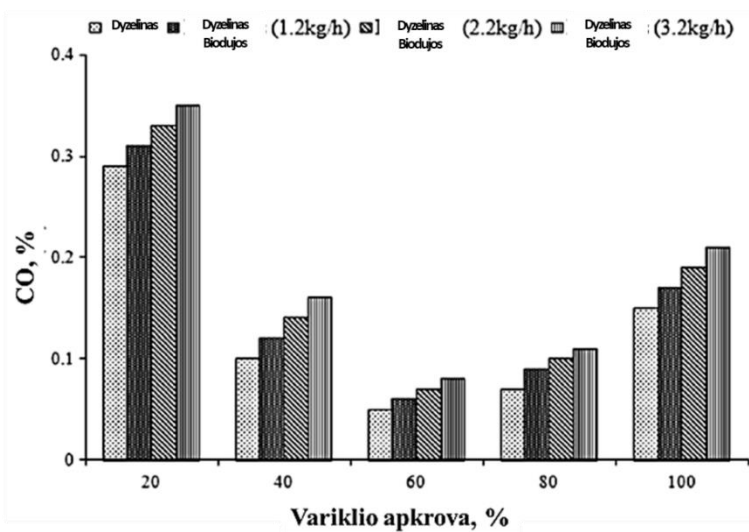
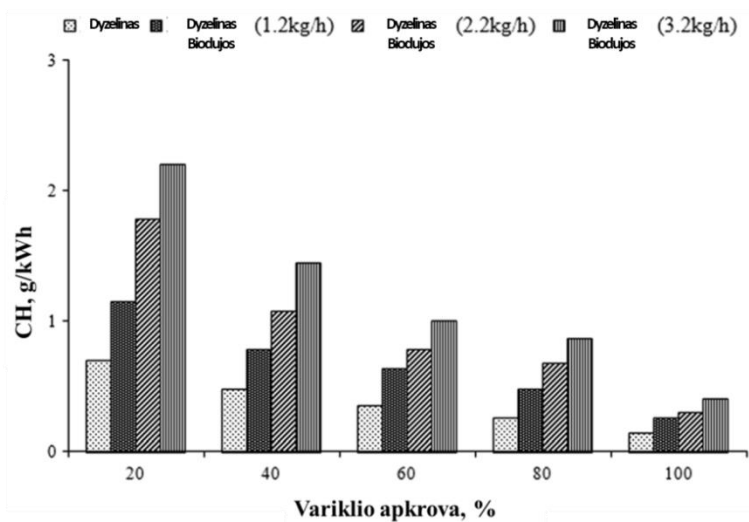
2 pav. Cilindro slėgio priklausomybė nuo naudojamų degalų esant skirtingiems įpurškimo pradžios kampams (Verma et al., 2017)

Fig. 2. Cylinder pressure dependency on fuel and injection timing (Verma et al., 2017)

Atsižvelgiant į tyrimų rezultatus aiškėja, jog biodujų ir biodujų mišinio su vandeniliu įtaka išmetamųjų deginių emisijoms skirtinga. Tam įtakos turi dujų cheminė sudėtis, kuri itin lemia degimo proceso parametrus. Papildomai tiekiant tik biodujas pastebimas slėgio cilindre sumažėjimas. Tai paaiškinama tuo, jog biodujose anglies dioksido yra apie 40 % pagal tūrį, visiškai nedalyvaujančio degimo procese. Taip pat anglies dioksidas pasižymi didele šilumine talpa, todėl krenta degimo temperatūra. Tai turi įtakos mažesniems azoto oksidų kiekiams išmetamosiose dujose (3 pav.). Papildomai tiekiant biodujas mažėja cilindro pripildymas šviežio oro, todėl degalai nevisiškai sudega, taip išauga nesudegusių angliavandenilių bei anglies monoksido (4 pav.) emisijos (Mahla et al., 2018).



3 pav. Azoto oksidų emisijos priklausomybė nuo biodujų kiekio ir variklio apkrovos (Mahla et al., 2018)
 Fig. 3. Nitrogen oxides emissions dependency on biogas amount and engine load (Mahla et al., 2018)

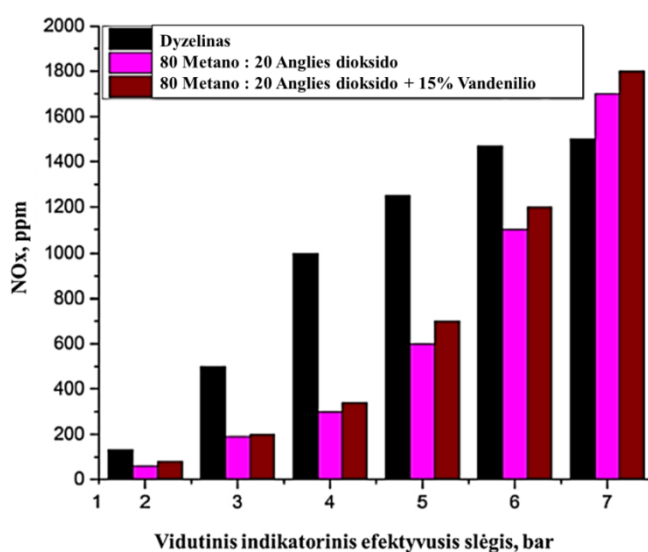


4 pav. Nesudegusių angliavandenilių ir anglies monoksido emisijos priklausomybė nuo biodujų kiekio ir variklio apkrovos (Mahla et al., 2018)
 Fig. 4. Unburn hydrocarbons and carbon monoxide emissions dependency on biogas amount and engine load (Mahla et al., 2018)

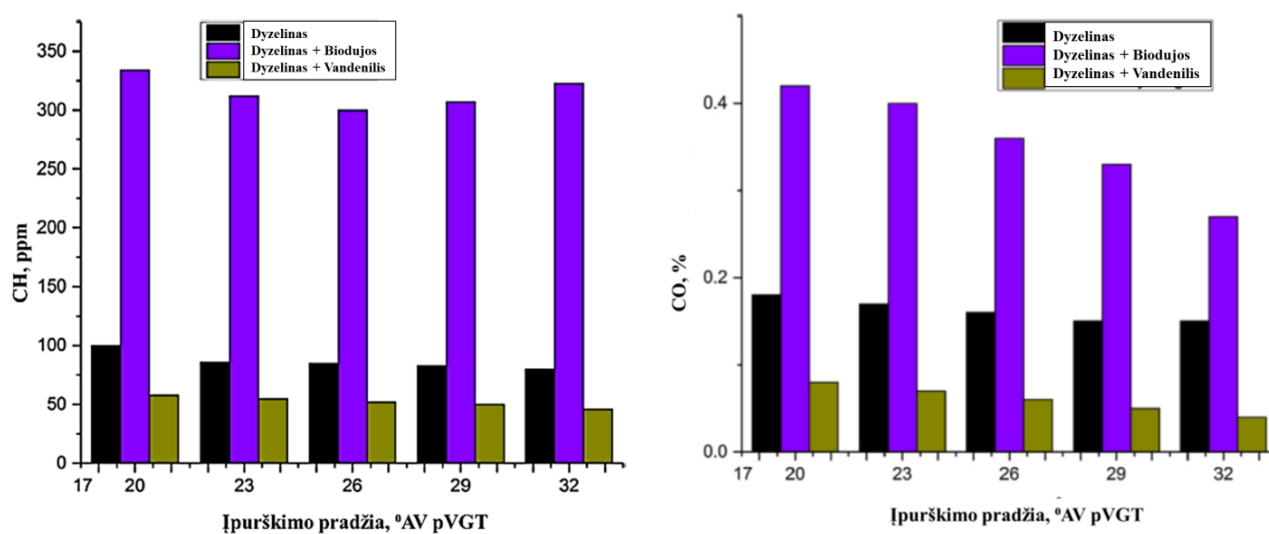
Papildomai su biodujomis tiekiant vandenilį net ir nedideliais kiekiais dėl aukštos vandenilio savitosios degimo šilumos išauga temperatūra cilindre. Cheminės degalų savybės pateikiamos 2 lentelėje.

2 lentelė. Degalų cheminės savybės (Verma et al., 2018)
Table 2. Chemical parameters of various fuels (Verma et al., 2018)

| Parametras | Dyzelinas | Biodujos | Vandenilis |
|---|---|--|--|
| Cheminė sudėtis | Pagal masę: Anglis - 87,2 % Vandenilis – 12,7 % | Pagal tūrį: CH ₄ – 75,2 % CO ₂ – 19,7 % O ₂ – 1,2 % Kitos dujos – 3,9 % | Pagal tūrį: H ₂ – 99,9 % |
| Žemutinis degalų šilumingumas (MJ/kg) | 43,01 | 27,22 | 119,93 |
| Stechiometrinis oro ir degalų santykis | 14,6 | 8,93 | 34,36 |
| Tankis (esant 1 atm slėgiui ir 15° C temperatūrai) (kg/m ³) | 0,84 | 0,928 | 0,083 |



5 pav. Azoto oksidų emisijos priklausomybė nuo degalų rūšies ir variklio apkrovos (Deheri et al., 2020)
Fig. 5. Nitrogen oxides emissions dependency on fuel type and engine load (Deheri et al., 2020)



6 pav. Nesudegusių angliavandenilių ir anglies monoksido emisijos priklausomybė nuo degalų rūšies ir degalų įpurškimo pradžios momento (Deheri et al., 2020)
Fig. 6. Unburn hydrocarbons and carbon monoxide emissions dependency on fuel type and injection timing (Deheri et al., 2020)

Dėl išaugusios temperatūros stipriai padidėja išmetamųjų dujų NO_x koncentracija (5 pav.). Tačiau aukštesnė temperatūra pagerina degimo procesą, todėl pagerėja ir visiškas degalų oksidavimasis. Taip labai sumažėja CH bei CO emisijos (6 pav.) (Deheri et al., 2020).

Išvados

Apžvelgus dviejų rūšių degalais (dujomis ir dyzelinu) veikiančių slėginio uždegimo variklių ekologinių rodiklių tyrimų rezultatus, galima daryti šias išvadas:

1. Dėl didelės anglies dioksido, esančio biodujose, šiluminės talpos sumažėja dujų slėgis ir temperatūra cilindre. Temperatūros ir oro pertekliaus sumažėjimas daro įtakos NO_x emisijos sumažėjimui. Esant biodujų srautui 1,2 kg/h, 2,2 kg/h ir 3,2 kg/h, NO_x emisijos sumažėja atitinkamai 6,7 %, 26,7 % ir 46,7 % palyginti su grynu dyzelinu.
2. Dėl biodujų užimamo tūrio pablogėja cilindro pripildymas šviežio oro, todėl vyksta nepilnas degalų degimas. Tai lemia nesudegusių CH ir CO emisijų padidėjimą: CH emisija išauga beveik dvigubai, o CO emisija išauga vidutiniškai 30 %. Šių teršalų emisijos išauga ir dėl CO₂ dujų nulemtos žemesnės degimo temperatūros.
3. Su biodujomis papildomai tiekiant vandenilį dėl didelio vandenilio šilumingumo, didesnio degimo greičio slėgis cilindre ir temperatūra stipriai išauga, tai daro įtakos NO_x emisijoms, bei dėl pagerėjusio degimo proceso sumažėja nesudegusių CH ir CO emisijos atitinkamai vidutiniškai 33 % ir 55,5 %.
4. Maišant biogasus su vandeniliu ir bandomajam įpurškimui naudojant biodyzeliną, variklio degimo parametrus galima priartinti prie įprastiniu dyzelinu veikiančio variklio parametrų. Siekiant nustatyti degalų mišinio santykį reikia atlikti išsamesnius tyrimus.

Literatūra

1. Da Costa Gomez, C. (2013). Biogas as an energy option. In *The Biogas Handbook: Science, Production and Applications*. <https://doi.org/10.1533/9780857097415.1>
2. Deheri, C., Acharya, S. K., Thatoi, D. N., & Mohanty, A. P. (2020). A review on performance of biogas and hydrogen on diesel engine in dual fuel mode. *Fuel*, 260(October 2019), 116337. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116337>
3. Yoon, S. H., & Lee, C. S. (2011). Experimental investigation on the combustion and exhaust emission characteristics of biogas-biodiesel dual-fuel combustion in a CI engine. *Fuel Processing Technology*, 92(5), 992–1000. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.12.021>
4. Kelių transporto priemonių skaičius metų pabaigoje. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://osp.stat.gov.lt/lt/statistiniu-rodikliu-analize?hash=1ab3e14f-f017-47eb-8b94-7bb79184a0dd>
5. Mahla, S. K., Singla, V., Sandhu, S. S., & Dhir, A. (2018). Studies on biogas-fuelled compression ignition engine under dual fuel mode. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(10), 9722–9729. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1247-4>
6. Makareviciene, V., Sendzikiene, E., Pukalskas, S., Rimkus, A., & Vegneris, R. (2013). Performance and emission characteristics of biogas used in diesel engine operation. *Energy Conversion and Management*, 75, 224–233. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.06.012>
7. Rimkus, A., Bučinskas, E., Stravinskas, S., Matijošius, J. (2019). Dyzelinio variklio, veikiančio dvigubais degalais, indikatorinio slėgio variacijos tyrimas. *Technologijos ir menas*, 10 (2019), 28 - 33. https://vtdko.lt/images/VTDK/Karjeros_centras/Tech_ir_menas/Technologijos%20ir%20menas%202019_10.pdf
8. Verma, S., Das, L. M., Bhatti, S. S., & Kaushik, S. C. (2017). A comparative exergetic performance and emission analysis of pilot diesel dual-fuel engine with biogas, CNG and hydrogen as main fuels. *Energy Conversion and Management*, 151(September), 764–777. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.09.035>
9. Verma, S., Das, L. M., Kaushik, S. C., & Tyagi, S. K. (2018). An experimental investigation of exergetic performance and emission characteristics of hydrogen supplemented biogas-diesel dual fuel engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(4), 2452–2468. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.12.032>

Change in Automobile Emissions by Replacing Fossil Fuels with Biofuels: An Overview

(Received in January, 2020; Accepted in March, 2020; Available Online from 11th of May, 2020)

Summary

In this article, by means of other researchers experimental and mathematical modeling researches, change of automobile emissions after fossil fuels were replaced with biodiesel was analyzed. The particularity of this research is that parameters of compression ignition engines working in dual fuel mode were analyzed: liquid fuel (diesel or biodiesel) was used for igniting gaseous fuel (pilot fuel injection). Gaseous fuels were provided into an intake manifold; therefore energy of gaseous fuel was converted to efficient work. Natural gases can be replaced with biogas, collected from renewable resources. Analysis shows, that carbon dioxide (CO₂) (Biogas contains 50 to 70 percent of CO₂) significantly impacts combustion process, therefore emissions of unburn hydrocarbons are doubled and carbon monoxide increased by about 30%. Reduction of nitrogen oxides could be reached up to 50 % by using biogas. Supplementing biogas with hydrogen improves combustion process; however emission of nitrogen oxides is increasing. To determine optimal composition of fuel, comprehensive experimental and mathematical modeling researches of dual fuel engines must be made.