



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS

AUTOMOBILIŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Justas Martišauskas

**PIRMOSIOS IR ANTROSIOS KARTOS BIODYZELINO MIŠINIŲ
NAUDOJIMO SLĖGINIO UŽDEGIMO VARIKLIUOSE EFEKTYVUMO
TYRIMAS**

**USAGE EFFICIENCY RESEARCH OF THE FIRST AND SECOND
GENERATION BIODIESEL BLENDS IN COMPRESSION IGNITION
ENGINES**

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621E20003

Transporto inžinerijos vadybos specializacija

Sausumos transporto inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2018

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS

AUTOMOBILIŲ INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

Saugirdas Pukalskas

(Vardas, pavardė)

(Data)

Justas Martišauskas

**PIRMOSIOS IR ANTROSIOS KARTOS BIODYZELINO MIŠINIŲ
NAUDOJIMO SLĖGINIO UŽDEGIMO VARIKLIUOSE EFEKTYVUMO
TYRIMAS**

**USAGE EFFICIENCY RESEARCH OF THE FIRST AND SECOND
GENERATION BIODIESEL BLENDS IN COMPRESSION IGNITION
ENGINES**

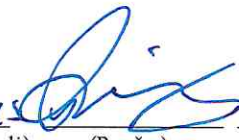
Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621E20003

Transporto inžinerijos vadybos specializacija

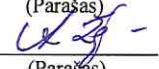
Sausumos transporto inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

dr. doc. Alfredas Rimkus  2018-05-10
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

dr. Aušra Zeušienė
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

 - 2018-05-16
(Parašas) (Data)

Vilnius, 2018

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
AUTOMOBILIŲ TRANSPORTO KATEDRA

Sausumos transporto inžinerijos studijų kryptis

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621E20003

Transporto inžinerijos vadybos specializacija

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

Saugirdas Pukalskas

(Vardas, pavardė)

2016-02-08

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

2016-11-21. Nr. ...12.....

Vilnius

Studentui (ei)

Justui Martišauskui

(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema:

Pirmosios ir antrosios kartos biodyzelino mišinių naudojimo slėginio uždegimo varikliuose efektyvumo tyrimas

patvirtinta 2016 m. spalio mėn. 27 d. dekanų potvarkiu Nr. 438ti.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2018 m. gegužės mėn. 18 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

1. Panaudojant mokslinę literatūrą atlikti pirmosios kartos biodyzelino (RME) ir antrosios kartos biodyzelino (NexBTL) panaudojimo efektyvumo apžvalgą. Formuluoti tyrimo problemą, tikslą, sprendimo būdus.
2. Ištirti RME ir NexBTL ir dyzelino mišinių fizines bei chemines savybes.
3. Parengti eksperimentinių tyrimų metodiką, atlikti variklio, veikiančio RME ir NexBTL mišiniais, energetinių bei ekologinių rodiklių standinius tyrimus ir aptarti rezultatus.
4. Įvertinti pirmosios kartos biodyzelino (RME) ir antrosios kartos biodyzelino (NexBTL) mišinių naudojimo transporto sektoriuje ekonominę efektyvumą.
5. Apibendrinti atliktus tyrimus ir pateikti išvadas.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

lekt. Mindaugas Melaiša

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas

.....

(Parašas)

dr. doc. Alfredas Rimkus

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

.....

(Parašas)

Justas Martišauskas

(Vardas, pavardė)

2016-02-09

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Transporto inžinerijos fakultetas
Automobilių inžinerijos katedra

ISBN ISSN
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Transporto inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas

Pavadinimas **Pirmosios ir antrosios kartos biodyzelino mišinių naudojimo slėginio uždegimo varikliuose efektyvumo tyrimas**

Autorius **Justas Martišauskas**

Vadovas **Alfредas Rimkus**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Šiame darbe analizuojama naftinės kilmės dyzelino, pirmos (I) kartos biodyzelino (RME – Rapsų metilo esteris), antros (II) kartos biodyzelino (BTL – Biomase į skystį) ir jų mišinių panaudojimo slėginio uždegimo varikliuose ekologinis bei energetinis efektyvumas. Apžvelgiamos I ir II kartos biodyzelino gamybos technologijos, šių degalų privalumai, trūkumai. Darbe aprašoma tyrimo metodika, pateikiami bandymo metu gauti rezultatai: valandinės degalų masės ir tūrio sąnaudos, lyginamosios efektyviosios degalų masės ir tūrio sąnaudos, efektyvusis naudingumo koeficientas, išmetamų teršalų (CO₂, CH ir NO_x) koncentracija bei dūmingumas. Taip pat darbe įvertinamos biodyzelino gamybos išlaidos ir pateikiami aplinkos taršos mokesčio skaičiavimo rezultatai. Atlikta tyrimo rezultatų analizė, pateiktos išvados.

Darbo apimtis be priedų – 61 puslapis, 31 iliustracija, 25 lentelės, 29 literatūros šaltiniai.

Prasminiai žodžiai: aplinkos tarša, BTL, efektyvumas, RME, teršalai.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Transport Engineering
Department of Automobile Engineering

ISBN ISSN
Copies No.
Date-.....-.....

Master Degree Studies **Transport Engineering** study programme Master Graduation Thesis

Title **Usage efficiency research of the first and second generation biodiesel blends in compression ignition engines**

Author **Justas Martišauskas**

Academic supervisor **Alfredas Rimkus**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

This paper analyzes the ecological and energy efficiency of petroleum diesel, first (I) generation biodiesel (RME – Rapeseed methyl ester), second (II) generation biodiesel (BTL – Biomass to liquid) and their mixtures usage in compression ignition engines. The I and II generation biodiesel production technologies, the advantages and disadvantages of these fuels are overviewed. The paper describes the research methodology, the results obtained during the test are presented: hourly fuel masses and volumes costs, comparative effective fuel masses and volumes costs, effective utility coefficient, emissions (CO₂, CH₄ ir NO_x) concentration and smoke. Therefore biodiesel production costs are evaluated and environmental pollution tax calculation results are presented. The analysis of the research results is performed, conclusions are presented.

The volume of the thesis without attachments – 61 pages, 31 illustrations, 25 tables, 29 references.

Keywords: BTL, efficiency, environment pollution, pollutants, RME.

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	7
LENTELIŲ SĄRAŠAS	8
SANTRUMPOS	9
ĮVADAS	10
1. LITERATŪROS ŠALTINIŲ APŽVALGA	12
1.1. Vidaus degimo variklio išmetamų teršalų poveikis sveikatai ir aplinkai	12
1.2. Pirmos kartos biodyzelinas	13
1.3. Antros kartos biodyzelinas.....	14
1.4. Pirmosios ir antrosios kartos biodyzelino naudojimas slėginio uždegimo varikliuose	15
2. TYRIMŲ METODIKA	27
2.1. Naudojamos įrangos aprašymas.....	27
2.1.1. Slėginio uždegimo variklis.....	28
2.1.2. Variklio apkrovos įrenginys	28
2.1.3. Oro srauto masės matuoklė BOSCH HFM 5	29
2.1.4. Išmetamųjų dujų matavimo įranga.....	29
2.1.5. Išiurbiamo oro ir išmetamų dujų temperatūros matavimas.....	30
2.1.6. Variklio keliamo triukšmo matavimas	30
2.1.7. Automobilio traukos standas.....	31
2.2. Eksperimentinių tyrimų metodika ir rodiklių nustatymas	31
3. TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ VERTINIMAS	34
3.1. Degalų mišinių tyrimo rezultatai	34
3.2. Variklio energetinių ir ekologinių rodiklių tyrimo rezultatai	36
4. EKONOMINIS EFEKTYVUMAS	51
4.1. Įsipareigojimai oro taršos mažinimui	51
4.2. Taršos mokesčio skaičiavimas.....	52
4.3. Biodyzelino gamybos kaina.....	55
IŠVADOS	58
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	59
PRIEDAI	62

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Peresterinimo reakcija	13
1.2 pav. Degalų sąnaudos	17
1.3 pav. CO, CH, NO _x emisijos	18
1.4 pav. Lyginamosios išmetamųjų teršalų vertės	20
1.5 pav. Variklio ir optinių prietaisų išdėstymas	23
1.6 pav. GTL ir RME degalų degimo vaizdai iš apačios	24
1.7 pav. GTL, REF ir RME degalų degimo vaizdai iš šono	24
1.8 pav. Vidutinės emisijos HVO ir EN590-30 degalų, lyginant su EN 590 degalais	26
2.1 pav. Tyrimo įrangos schema	27
2.2 pav. 1,9 TDI (1Z tipo) slėginio uždegimo dyzelinis variklis	28
3.1 pav. Degalų masės apatinis šilumingumas	35
3.2 pav. Degalų tankis	35
3.3 pav. Degalų tūrio apatinis šilumingumas	35
3.4 pav. Valandinės degalų masės sąnaudos	36
3.5 pav. Lyginamosios degalų masės sąnaudos	37
3.6 pav. Valandinės degalų tūrio sąnaudos	38
3.7 pav. Lyginamosios degalų tūrio sąnaudos	39
3.8 pav. Valandinės degalų masės ir tūrio sąnaudos keičiant degalų įpurškimo paskubos kampą ..	40
3.9 pav. Lyginamosios efektyviosios degalų masės ir tūrio sąnaudos keičiant degalų įpurškimo paskubos kampą	41
3.10 pav. Efektyvusis naudingumo koeficientas	42
3.11 pav. Efektyvusis naudingumo koeficientas keičiant degalų įpurškimo paskubos kampą	43
3.12 pav. CO ₂ koncentracija	44
3.13 pav. CH koncentracija	45
3.14 pav. NO _x koncentracija	46
3.15 pav. Dūmingumo koncentracija	47
3.16 pav. NO _x ir dūmingumo koncentracijos keičiant degalų įpurškimo paskubos kampą	48
3.17 pav. Variklio triukšmas	49
3.18 pav. Variklio triukšmas keičiant degalų įpurškimo paskubos kampą	49
3.19 pav. Galios bandymų rezultatai	50
4.1 pav. Lietuvoje įregistruotų M1 klasės lengvųjų automobilių skaičius pagal degalų rūšį iki 2018 m. balandžio 1 d.	51
4.2 pav. Įsipareigojimai oro taršos sumažinimu	52

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Pirmos ir antros kartos biodyzelino gamybos technologijos	15
1.2 lentelė. Automobilio ir variklio techniniai duomenys	16
1.3 lentelė. Degalų savybės	17
1.4 lentelė. HVO degalų savybės	19
1.5 lentelė. OM 904 LA ir OM 906 LA variklių specifikacija	19
1.6 lentelė. Degalų savybės	20
1.7 lentelė. Variklio specifikacija	21
1.8 lentelė. NO _x ir KD emisijų vertės (g/kW h)	21
1.9 lentelė. CO ir CH emisijų vertės (g/kW h)	21
1.10 lentelė. Variklio ir įpurškimo sistemos specifikacija	22
1.11 lentelė. Degalų savybės	23
1.12 lentelė. Degalų savybės	25
2.1 lentelė. Tyrimo metu naudoto 1,9 TDI (1Z tipo) variklio techninė specifikacija	28
2.2 lentelė. Variklio apkrovos stendas KH-5543	29
2.3 lentelė. Oro srauto masės matuoklės BOSCH HFM 5 techninė specifikacija	29
2.4 lentelė. Deginių analizatoriaus AVL DiCom 4000 techninė specifikacija	29
2.5 lentelė. K tipo termoporos techninė specifikacija	30
2.6 lentelė. Triukšmomačio Cirrus CR:261S A techninė specifikacija	30
2.7 lentelė. Automobilio traukos stendas CARTEC LPS 2510	31
2.8 lentelė. Tyrimams naudotų tiriamų degalų mišinių santykiai ir žymėjimas	32
2.9 lentelė. Tyrimo metu fiksuoti parametrai	32
3.1 lentelė. Degalų savybės	34
4.1 lentelė. Mokesčio tarifai už aplinkos taršą iš mobiliųjų taršos šaltinių	54
4.2 lentelė. Mokesčio už aplinkos teršimą iš mobiliųjų taršos šaltinių koregavimo koeficientai	54
4.3 lentelė. BTL degalų gamybos kaštai	56

SANTRUMPOS

BTL – biomasė į skystį (angl. *biomass to liquid*);
CH – angliavandeniliai;
CH₄ – metanas;
CO – anglies monoksidas;
CO₂ – anglies dioksidas;
CS – cetaninis skaičius;
CTL – anglis į skystį (angl. *coal to liquids*);
DOC – dyzelino oksidacijos katalizatorius (angl. *diesel oxidation catalysts*);
DPF – dyzelino suodžių filtras (angl. *diesel particulate filter*);
ECU – variklio valdymo blokas (angl. *engine control unit*);
EGR – išmetamųjų dujų recirkuliacija (angl. *exhaust gas recirculation*);
ES – Europos Sąjunga;
FAME – riebalų rūgščių metilo esteriai (angl. *fatty acid methyl esters*);
FT – Fišerio-Tropscho sintezė (angl. *Fischer-Tropsch synthesis*);
GTL – dujos į skystį (angl. *gas to liquid*);
HVO – hidrintas augalinis aliejus (angl. *hydrotreated vegetable oil*);
IR – infraraudonieji spinduliai;
KD – kietosios dalelės;
N₂O – diazoto monoksidas;
NExBTL – antros kartos biodyzelinas;
NO_x – azoto oksidai;
O₂ – deguonis;
RME – rapsų metilo esteris (angl. *rapeseed methyl ester*);
SO₂ – sieros dioksidas;
UV – ultravioletiniai spinduliai;
VDV – vidaus degimo variklis;

IVADAS

Transportas turi didelę įtaką gyvenimo kokybei bei ekonomikos augimui. Vargu, ar visuomenė įsivaizduoja savo kasdienę veiklą be transporto. Remiantis Europos Sąjungos (toliau – ES) transporto politikos „Baltąja knyga“, iškastinės naftos gavyba artimiausiais dešimtmečiais mažės, o likusi nafta bus tiekiamą iš nepatikimų šaltinių. Norint sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių teršalų emisijas, valstybės turi naudoti švaresnę energiją, ieškoti alternatyvių degalų ir stengtis pakeisti iškastinio kuro degalus. ES ragina gerokai sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą ir užtikrinti, kad iki 2050 m., palyginti su 1990 m., išmetamų teršalų kiekis transporto sektoriuje būtų sumažintas bent iki 60 %, iki 2030 m., palyginti su 2008 m., šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos turi būti sumažintos 20 %. Nors ir pasiekus šiuos numatytus rezultatus, dėl paskutiniaisia dešimtmečiais smarkiai išaugusio transporto skaičiaus išmetamų teršalų kiekis būtų 8 % didesnis negu 1990 m. (*Baltoji knyga* 2011).

Vienas iš didžiausių taršos sukėlėjų yra transportas, o ypač didelis dėmesys skiriamas dyzelinėms transporto priemonėms. Lietuvoje dyzelinių automobilių populiarumas išlieka ganėtinai didelis: remiantis VĮ „Regitra“ duomenimis, M1 klasės transporto priemonių, kurių kuro rūšis dyzelinas, 2017 m. įregistruota 13,8 % daugiau negu 2016 m.

Mažėjant iškastinio kuro kiekiui ir brangstant jo gavybai, šiuos degalus bandoma iš dalies arba visiškai pakeisti alternatyviais biodegalais. Biodegalų naudojimas transporto sektoriuje mažina priklausomybę nuo iškastinio kuro, taip pat mažina šiltnamio efektą, efektyviai mažina išmetamų teršalų aplinkai daromą žalą. Šiuo metu dažniausiai naudojami pirmos ir antros kartos biodyzelinas. Pirmos kartos biodyzelino gamyboje kaip žaliava naudojama maisto produktų įvairovė, o antros kartos biodyzelino gamyboje kaip žaliava naudojama biomasa.

Europos Sąjungos aplinkos politika siekia sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas. ES priima Europos Parlamento ir tarybos reglamentus, kuriuose yra nustatomos išmetamų teršalų emisijų ribinės vertės. Didėjantis dėmesys aplinkos taršai yra viena iš pagrindinių priežasčių skatinanti transporto priemonių ir degalų gamintojus ieškoti bei kurti naujas technologijas, kurios leistų sumažinti degalų gamyboje ir jų naudojime esančių teršalų kiekį. Siekiant, kad varikliai atitiktų griežtus jiems taikomus ekologinius reikalavimus, transporto priemonių bei degalų gamintojai ieško galimybių kaip šiuos reikalavimus įvykdyti, dėl to pradėta ieškoti alternatyvių degalų ir skirtas didesnis dėmesys jiems kurti, tobulinti ir gamybos mastui padidinti. Tuo pačiu transporto priemonių gamintojai irgi turi kurti ir gaminti mažiau aplinką teršiančias transporto priemones. Tyrėjai atlieka bandymus su skirtingų gamintojų biodegalais siekdami iširti, sukurti alternatyvius degalus. Didžiausias dėmesys skiriamas pirmos ir antros karto biodyzelino tyrimams (paskutiniu metu vis didesnis dėmesys skiriamas antros kartos

biodyzelinui, jo gamybai bei panaudojimui). Biodyzelinas yra alternatyvus kuras, kurio naudojimu siekiama sumažinti vidaus degimo variklių sukeliamas emisijas.

Darbo tikslas – atlikti slėginio uždegimo variklio, veikiančio skirtingais pirmosios ir antrosios kartos biodyzelino mišiniais, energetinių bei ekologinių rodiklių standinius tyrimus, įvertinti šių degalų panaudojimo galimybę slėginio uždegimo variklyje ir įvertinti degalų efektyvumą.

Darbo tikslui pasiekti iškelti šie uždaviniai:

- Išanalizavus mokslinę literatūrą atlikti pirmosios kartos biodyzelino (RME) ir antrosios kartos biodyzelino (NExBTL) efektyvumo apžvalgą.
- Ištirti RME, NExBTL ir dyzelino mišinių fizines bei chemines savybes.
- Parengti eksperimentinių tyrimų metodiką.
- Atlikti variklio, veikiančio tiriamų degalų mišiniais, energetinių bei ekologinių rodiklių standinius tyrimus.
- Įvertinti tyrime naudojamų degalų mišinių naudojimo transporto sektoriuje ekonominį efektyvumą.
- Apibendrinti atliktus tyrimus ir pateikti išvadas.

1. LITERATŪROS ŠALTINIŲ APŽVALGA

1.1. Vidaus degimo variklio išmetamų teršalų poveikis sveikatai ir aplinkai

Atmosferą teršiantys šaltiniai yra mobilieji ir stacionarūs. Didžiausią įtaką oro taršai daro mobiliųjų taršos šaltinių emisijos. Mobilieji taršos šaltiniai – kelių, oro, vandens, geležinkelių ir kitos transporto priemonės, naudojančios benzina, suskystintas dujas, suslėgtas gamtines dujas, dyzeliną, reaktyvinį kūrą. Taigi transportas yra vienas iš didžiausių oro taršos šaltinių. Didžioji dalis teršalų susidaro veikiant vidaus degimo varikliui degimo proceso metu, kurio metu susidaro aplinkos oro teršalai: sieros dioksidas, azoto oksidas, anglies monoksidas, kietosios dalelės. Nevisiškai sudegus degalams dyzeliniuose varikliuose yra išskiriamos suodžių ir kvapiųjų medžiagų emisijos (Denafas 2000).

Aplinkos tarša – tai medžiagos, galinčios sukelti trumpalaikį arba ilgalaikį žemės ekologinės pusiausvyros pažeidimą. Tai cheminiai, fizikiniai ir biologiniai aplinkos pokyčiai, kurie neigiamai veikia žmonių sveikatą, kitus gyvus organizmus bei aplinką (Rutkoviienė, Sabienė 2008).

Dėl didelės taršalų koncentracijos atmosferoje kinta ozono sluoksnis, saulės ultravioletinio spinduliavimo intensyvumas, o tai gali paveikti žmonių sveikatą bei ekosistemą. Ozono sluoksnio kitimas ir didėjantis saulės ultravioletinio spektro spinduliuotės poveikis žmogui gali sukelti odos vėžio susirgimus ir turi poveikį žmogaus imuninei sistemai.

Pagrindiniai junginiai ir medžiagos galinčios turėti poveikį ozono sluoksniui: 1) anglies junginiai: anglies monoksidas (CO), anglies dioksidas (CO₂), metanas (CH₄), 2) azoto junginiai: diazoto monoksidas (N₂O), azoto oksidai (NO_x), 3) chloro turinčios medžiagos, 4) bromo turinčios medžiagos, 5) vandenilio turinčios medžiagos (*Vienos konvencija dėl...* 1985).

Paskutiniu metu pastebimi dideli klimato pokyčiai. Pagrindinė klimato kaitos priežastis yra žmonių ūkinė veikla, kuri didina šiluminę taršą. Miškų naikinimas ir žemės paviršiaus keitimai pakeičia deguonies ir anglies dioksido pusiausvyrą atmosferoje. Įvairios dujos, kurias išmeta transportas, pramoninė technika ir kt. kaupiasi atmosferoje. Susikaupusios antropogeninės dujos praleidžia saulės spindulius, bet sulaiko šilumą, sklindančią nuo žemės paviršiaus. Keičiantis klimatui pasireiškia tokie neigiami poveikiai kaip: oro temperatūros pokyčiai, kritulių kiekio pasikeitimai, upių potvyniai, sausras, kiti ekstremalūs reiškiniai. Nuo XX a. pradžios pasaulio oro temperatūra pakilo 0,7 °C, Europoje apie 1 °C. Dideli oro temperatūros svyravimai turi didelę reikšmę ūkinei veiklai ir pasaulio ekonomikos vystymuisi (*Klimato kaitos priežastys...* 2018).

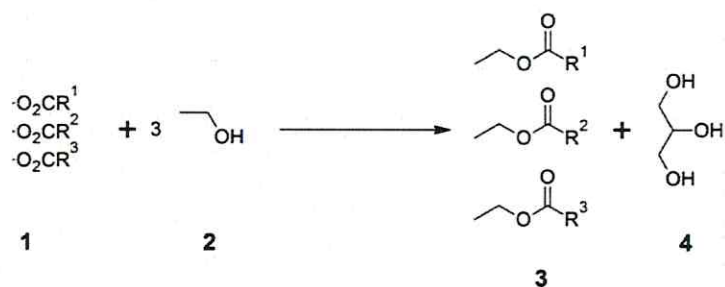
Oro tarša daro poveikį žmonių sveikatai – didelė teršalų koncentracija ore sukelia sveikatos sutrikimus – dažniausiai kvėpavimo sistemos pažeidimus. Vieni didžiausių kenksmingų teršalų sveikatai yra kietosios dalelės – šių teršalų koncentracija ore turi didelę įtaką sergamumui širdies,

kraujagyslių ir kvėpavimo takų ligomis. Esant didelei NO_x , didėja plaučių jautrumas kitiems teršalams. CO poveikis žmogaus organizmui pasireiškia širdies, kraujagyslių ir kitomis ligomis, didesnis šių teršalų koncentracijos gali turėti poveikį žmogaus centrinei nervų sistemai (*Oro užterštumo poveikis sveikatai* 2018).

1.2. Pirmos kartos biodyzelinas

Pirmos kartos biodyzelinas gaminamas iš augalinių išteklių – aliejinių augalų: rapsų, saulėgrąžų ir gyvulinės kilmės riebalų. Degalų gamybai yra daugiau kaip 350 aliejinių augalų, identifikuojamų kaip galimų šaltinių (*Singer et al.* 2015).

Dažniausia pirmos kartos biodyzelinui kaip pagrindinė žaliava yra naudojamas rapsų aliejus, nes degalai, pagaminti iš šios medžiagos, pasižymi geriausiomis savybėmis ir yra tinkamiausi naudoti atšiauriomis sąlygomis. Dėl savo biologinės kilmės daugiau kaip 90 % rapsų metilo esterio patekus į dirvą suyra per 21 parą. Gaminant metilo esterį iš augalinio aliejaus, pirmiausia iš augalų sėklų išgaunamas aliejus, kuris vėliau, naudojant katalizatorius, yra peresterinamas alkoholiais ir šio proceso metu nuo metilo esterio atsiskiria glicerolis, kuris yra šalutinis produktas (1.1 pav.). Naudoti gryną RME be papildomo variklio modifikavimo negalima, nes degalai turi savybę tirpdyti susikaupusias nuosėdas esančias kuro bakuose ir filtruose ir padidėjęs teršalų kiekis gali užkimšti filtrus, taip pat biodyzelinas gali sukelti guminių detalių irimą (*Biodegalai* 2018). RME degalai pasižymi tuo, kad jie tirštėja – atlikti tyrimai parodė, kad pirmos kartos biodyzeline greičiau susidaro dumbliai lyginant su antros kartos biodyzelinu (*Singer et al.* 2015). RME degalų savybės yra panašios į dyzelino – jo pagrindinė savybė yra didesnis kiekis O_2 palyginti su įprastiniu kuru (*Mancaruso et al.* 2013). Degalai iš augalinių aliejų yra pagaminti esterifikacijos proceso būdu ir yra vadinami FAME arba RME, esterio tipo biodyzelinas atitinka degalų standartą EN 14214.



1.1 pav. Peresterinimo reakcija: 1 – trigliceridai; 2 – reaguoja su alkoholiu; 3 – gaunamas biodyzelinas 4 – glicerolis (*What's the Difference...* 2018)

Riebalų rūgščių metilo esteriai pristatomi kaip atsinaujinantis kuras. Šie degalai maišomi su dyzelinu iki 20 % (*Singer et al.* 2015). Primos kartos biodyzelino gamybos apimtys yra ribotos, nes degalų gamybai yra naudojami maisto produktų įvairovė, kuri yra naudojama žmogaus maisto

grandinėje. Taip pat šių degalų gamyba yra brangesnė negu degalų gamyba iš iškastinio kuro (*Biodegalai* 2018).

1.3. Antros kartos biodyzelinas

Antros kartos biodyzelinas – tai degalai, kuriems kaip žaliava yra naudojama lignoceliuliozės turinti biomasė – medienos bei žemės ūkio atliekos bei kita žaliava, kurios kiekiai yra pakankamai dideli. Antros karto biodyzelino gamybai sunaudojama visa žaliava. Pirmos ir antros kartos biodyzelino gamybos technologijos pateikiamos 1.1 lentelėje. Antros kartos biodegalai gali būti gaminami dviem procesais. Pirmasis – tai biocheminis procesas, kurio metu fermentai ir kiti mikroorganizmai skaido celiuliozės ir hemiceliuliozės komponentus į cukrus, o jie vėliau yra fermentuojami į etanolį (*Biodegalai* 2018).

Antrasis procesas – tai termocheminis procesas, kurio metu, pasitelkiant pirolizės ar gazifikacijos technologijas, iš biomasės yra gaminamos sintezės dujos – anglies monoksido ir vandenilio dujų mišinys, panaudojant Fisher-Tropsch metodą sintetinės dujos polimerizuojamos į angliavandenilius – biodyzeliną (*Biodegalai* 2018).

HVO – hidrintas augalinis aliejus. Šie degalai gaminami iš atliekų ir kitų augalinės kilmės medžiagų. Degalų gamybos procese vandenilis naudojamas pašalinti deguonį iš trigliceridų augalinio aliejaus molekulių ir padalinti trigliceridus į tris atskiras grandis, tokiu būdu sukuriant angliavandenilius, kurie yra panašūs į esančius dyzeline, taigi tai leidžia maišyti degalus neprarandant jų kokybės. Neste Corporation šiuos degalus vadina „Neste Renewable Diesel“ arba NExBTL, o šie degalai atitinka parafininių dyzelinių degalų standartą EN 15940:2016. Šis standartas apima sintetinius degalus: GTL, BTL, CTL gaminamus Fischer-Tropsch proceso būdu, taip pat ir HVO degalus. NExBTL turi daug daugiau panašumų į dyzeliną gaminamą iš iškastinio kuro negu pirmos kartos biodyzelinas, o antros kartos biodyzelino savybės yra labai panašios į sintetinius degalus. Dėl parafininių prigimtės ir žemos virimo temperatūros, atsinaujinančio dyzelino tankis yra mažesnis negu iškastinio kuro, o degalų tankis turi įtaką variklio galiai bei kuro sąnaudoms. HVO priklauso angliavandenilių grupei, kuri maišosi su degalų angliavandenilių junginiais, todėl šiuos degalus galima maišyti su dyzelinu (*Neste Renewable Diesel... 2016*).

Hidrinimu valytas produktas yra modernus būdas gaminti aukštos kokybės biologiškus degalus, lyginant su pirmos kartos biodyzelinu. HVO neturi neigiamo poveikio, kaip esterio tipo biodyzelinas – NO_x emisijos, nuosėdų susidarymas, laikymo sąlygų problemos, spartesnis variklio alyvos senėjimas ir blogos šaltų degalų savybės. HVO yra linijinės formos grandinės parafininiai angliavandeniliai, kurie yra be aromatinių junginių ir sieros. HVO degalai turi labai didelį cetaninį skaičių ir visos kitos savybės yra labai panašios į GTL, BTL (*Aatola et al. 2008*).

Biodyzelinas gaminamas FT sintezės būdu, kurio metu sintetinės dujos paverčiamos skystu kuru dažniausia koduojamas kaip Xtl, (x – šaltinio žaliavą, tl – pavertimas skysta faze). Žaliava gali būti iš atsinaujinančios biomasės (BTL), gamtinių dujų (GTL), arba akmens anglies (CTL). Cheminės kilmės kuras suteikia geresnes degalų savaiminio užsiliepsnojimo ir geresnes variklio degimo charakteristikas, lyginant su pirmos kartos biodyzelinu (Mancaruso *et al.* 2013).

1.1 lentelė. Pirmos ir antros kartos biodyzelino gamybos technologijos (Aatola *et al.* 2008)

Didelio masto gamyba	Procesas	Produktas	Žaliavos kiekis ir kaina	Produkto kokybė	Gamyklų investicijos
≈ 1995 ...	Esterinimas	Biodyzelinas Esteris FAME, RME	-	-	+
2007 ...	Hidrinimas	Atsinaujinantys degalai C_nH_{2n+2} HVO	+	+++	-
≈ 2015 ...	Dujinimas + Fischer- Tropsch	Atsinaujinantys degalai C_nH_{2n+2} FT-BTL	+++	+++	---

1.4. Pirmosios ir antrosios kartos biodyzelino naudojimas slėginio uždegimo varikliuose

Dyzelinis variklis yra savaiminio užsiliepsnojimo variklis, o variklyje susidariusi degimo šiluma – tai mechaninis darbo šaltinis. Norint, kad visiškai sudegtų 1 kg dyzelino, reikia 14,5 kg oro. Dyzeliniam variklyje suslėgimo pabaigoje temperatūra turi būti didesnė negu užsiliepsnojimo temperatūra. Norint pasiekti stabilų užsiliepsnojamą, suslėgimo takto pabaigoje oro temperatūra turi būti 850–1000 °C, o slėgis cilindre 2,5–5,5 MPa. Dyzelinio variklio įsiurbimo sistemoje hidrauliniai nuostoliai yra mažesni negu benzininio variklio, todėl cilindras geriau prisipildo oro, be to dėl didesnio suslėgimo cilindre lieka mažiau deginių (Jurevičius, Nanevičius 2008).

Gera sumaišytas degalų ir oro mišinys yra pagrindinė sąlyga siekiant, kad visiškai sudegtų degalai. Norint pasiekti kuo geresnių rezultatų, į cilindrą įpurškiami degalai turi būti labai smulkūs – vidutinis lašelių skersmuo neturi viršyti keliasdešimties mikronų ir degalai turi būti įpurškiami labai dideliu greičiu. VDV degalai yra įpurškiami į cilindre suspaustą (3–5,5 Mpa) ir įkaitusį orą (400–900 °C), nuo aukšto slėgio ir temperatūros degalai užsiliepsnoja savaime. Dyzelinių variklių išmetamosios dujos nėra tokios kenksmingos kaip benzininių, juose mažiau monoksido, nesudegusių angliavandenilių, bet yra nustatyta, kad dyzelių dūmai yra kancerogeniški (Jurevičius, Nanevičius 2008). Pagrindinė dyzelino savybė – savaiminis užsiliepsnojimas, dyzelinas turi labai lengvai užsiliepsnoti, o užsiliepsnojimo savybės įvertina CS. Didelio oktaninio skaičiaus degalai turi mažą CS, todėl dyzeliniam varikliui netinka. Pagal DIN

EN 590, mažiausias CS turi būti 49, naudojant degalus žiemą reikalingi papildomi priedai, kurie gerintų degalų filtravimą (Gerigk *et al.* 2006). Kuo didesnis degalų CS, tuo greičiau užsiliepsnoja degalai, variklis lengviau užsiveda, sukelia mažiau triukšmo, išmeta mažiau dūmų (Jurevičius, Nanevičius 2008).

Tyrėjai siekia sukurti ir ištirti degalus, kurių gamyboje nebūtų naudojamas iškastinis kuras, degalų gamybos metu būtų išmetama mažiau teršalų. Alternatyvių degalų naudojimas būtų mažiau kenksmingas aplinkai. Taip pat siekiama, kad naudojant alternatyvius degalus VDV, būtų išmetama mažiau kenksmingų teršalų, biodegalų naudojimas pagerintų variklio darbą ir ekonomiją. Pagrindinė priežastis ieškoti alternatyvių degalų yra tapti mažiau priklausomiems nuo iškastinio kuro ir sumažinti VDV sukeltą aplinkos taršą.

Tyrėjai atliko eksperimentą su EURO 4 taršos lygio NISSAN Qashqai 2,0 dCI automobiliu, kuriame sumontuotas 4 cilindrų variklis su tiesioginiu Common-Rail įpurškimu ir kintamos geometrijos turbokompresoriumi. Papildomai į automobilį buvo sumontuotas aušinamas EGR, DOC ir DPF. Ši įranga yra naudojama automobiliuose, kurių taršos lygis atitinka Euro 5. Tyrėjų naudoto automobilio techniniai duomenys pateikti 1.2 lentelėje (Ramos *et al.* 2016).

1.2 lentelė. Automobilio ir variklio techniniai duomenys (Ramos *et al.* 2016)

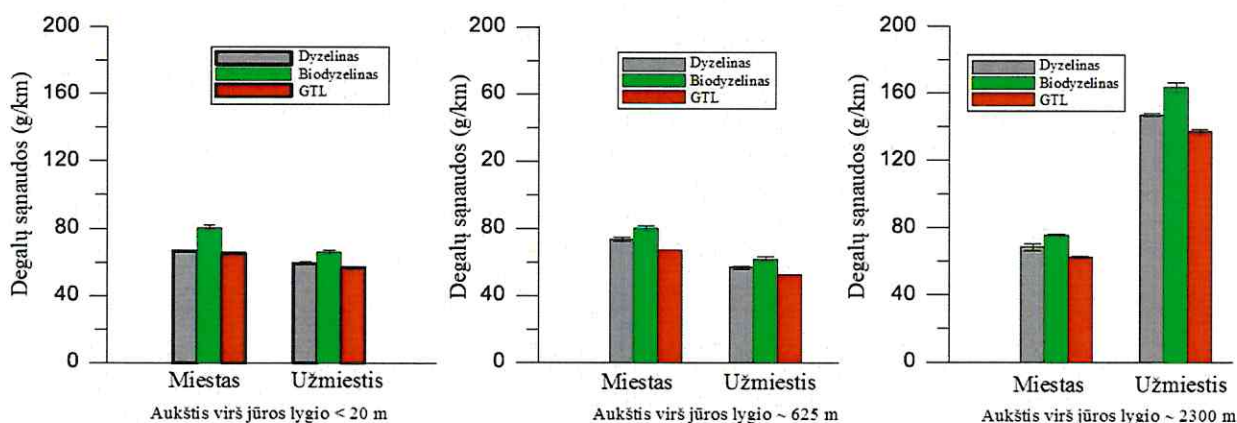
Automobilis	
Masė su įranga	2025 kg
Padangos	215/65R16
Variklis	
Cilindrų skaičius	4
Darbinis tūris, cm ³	1994
Cilindrų skersmuo, mm	84
Stūmoklio eiga, mm	90
Maksimali galia, kW	110
Maksimalus variklio sukimo momentas, Nm/min ⁻¹	323/2000
Transmisija	
Transmisijos tipas	Mechaninė, 6 pavarų

Tyrimui buvo naudojami dviejų tipų alternatyvūs degalai: pirmos kartos biodyzelinas, antros kartos biodyzelinas (GTL) ir naftinės kilmės dyzelinas, kuriame buvo 5,8 % biodyzelino. Degalų savybės pateikiamos 1.3 lentelėje. Tyrimo metu naudojant specialią įrangą buvo matuojamos CO, NO_x ir CH emisijos. Eksperimentas buvo atliekamas realiomis vairavimo sąlygomis važiuojant skirtingais Ispanijos miestų ir užmiesčių keliais, kurie yra skirtingame aukštyje virš jūros lygio: Siera Nevada (~2300 m.), Ciudad Realis (~625 m.) ir Valensija (< 20 m.). Tyrėjų gauti degalų sąnaudų ir išmetamų teršalų emisijų rezultatai pateikiami 1.2 ir 1.3 pav.

1.3 lentelė. Degalų savybės (Ramos *et al.* 2016)

Parametras	Dyzelinas	Biodyzelinas	GTL
Molekulinė formulė	$C_{14.62}H_{26.87}O_{0.08}$	$C_{18.41}H_{37.23}O_2$	$C_{16.89}H_{35.77}$
Molekulinė masė, g/mol	203,7	290,7	238,9
H/C santykis	1,84	2,02	2,12
Stechiometrinio kuro/oro santykis	1/14,45	1/12,70	1/14,95
C, %	86,14	76,14	84,82
H, %	13,20	12,83	15,18
O, %	0,66	11,03	0
Tankis, esant 15 °C, kg/m ³	845	877	774
Klampa, esant 40 °C, cSt	2,51	4,03	2,34
Apatinis degalų šilumingumas, MJ/kg	42,43	36,83	44,03
Šalto filtro užsikimšimo temperatūra, °C	-16	3	-7
Cetaninis skaičius	54,2	65,6	89,2

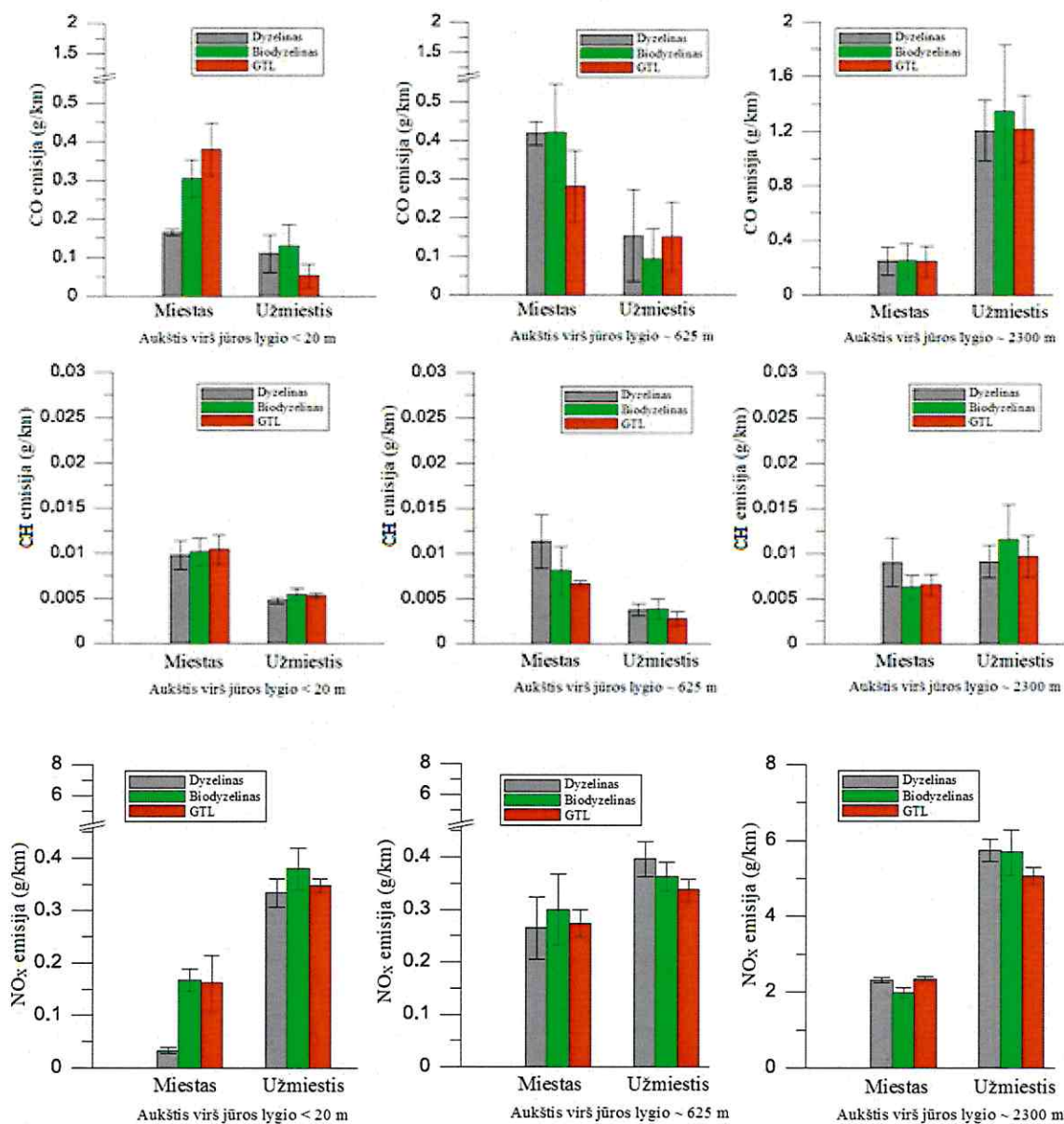
Tyrimo metu buvo nustatyta, kad degalų sąnaudos tiesiogiai priklauso nuo transporto priemonės dinamikos. Važiuojant miesto režimu kuro sąnaudos skiriasi nežymiai, užmiestio kelyje sąnaudos skirtumas buvo akivaizdesnis (1.2 pav.). ~2300 m. virš jūros lygio aukštyje degalų sąnaudos buvo gerokai didesnės. Tyrėjai pastebėjo, kad gautiems rezultatams didelį poveikį daro atmosferos slėgis – variklis dėl mažo atmosferos slėgio dideliame aukštyje veikia be EGR. Miesto sąlygomis dideliame aukštyje pailgėja degimo proceso trukmė visų degalų rūšių, ypač dyzelino. Nustatyta, kad abiejų tyrime naudotų biodyzelino degalų degimo pradžia buvo greičiausia ir trumpiausia. Tokie rezultatai gaunami dėl aukšto degalų cetaninio skaičiaus. Degimo pabaigos trukmė trumpiausia dyzelinio ir biodyzelino (Ramos *et al.* 2016).



1.2 pav. Degalų sąnaudos (Ramos *et al.* 2016)

Taip pat buvo nustatyta, kad <20 m. ir ~625 m. virš jūros lygio aukštyje CO ir CH emisijos mieste buvo gerokai didesnės nei užmiestyje. ~2300 m. virš jūros lygio aukštyje CH ir CO emisija buvo žymiai didesnė užmiestio kelyje (1.3 pav.). Tyrimų metu pastebėta, kad DPF turi didelę

poveikį CH, CO ir kietųjų dalelių emisijoms. DPF dirbant dideliu efektyvumu, degalų poveikis kietosioms dalelėms nebuvo pastebėtas, emisijos yra labai mažos, palyginus su varikliu be DPF. Jeigu variklis yra be DPF arba jis neveikia, pastebimas alternatyvių degalų pranašumas, kietųjų dalelių emisijos buvo mažiausios naudojant GTL ir biodyzeliną. NO_x išmetamų teršalų bandymai parodė, kad EGR vožtuvas yra tiesiogiai susijęs su NO_x teršalų mažinimu. Dideliame aukštyje su uždarytu EGR emisijos smarkiai padidėjo, miesto bandymuose NO_x emisijos buvo apie tris kartus didesnės (Ramos *et al.* 2016).



1.3 pav. CO, CH, NO_x emisijos (Ramos *et al.* 2016)

Singeris ir kt. (2015) atliko tyrimus su sunkiasvorių ir lengvųjų transporto priemonių varikliais. Bandymai buvo atliekami naudojant grynus degalus ir jų mišinius. Kadangi Vokietijoje dyzelinas maišomas su 7 % RME, tyrėjai nusprendė atlikti tyrimus su skirtingais pirmos ir antros

kartos biodyzelino mišiniais, o šį projektą pavadino „Diesel regenerativ“. Tyrimo metu HVO degalai, kurių savybės pateikiamos 1.4 lentelėje, buvo maišomi su biodyzelino mišiniu – 93 % HVO ir 7 % biodyzelino (HVOB7) bei 98 % HVO ir 2 % biodyzelino (HVOB2). HVO degalai pasižymi dideliu CS ir susideda iš daug parafininių angliavandenilių. Tyrėjai su specialia įranga fiksavo išmetamų teršalų: azoto oksidų, angliavandenilių ir anglies monoksidų emisijas.

1.4 lentelė. HVO degalų savybės (Singer *et al.* 2015)

Klampa prie 40°C, mm ² /s	3
Tankis prie 15 °C, kg/m ³	780
Savaiminio užsiliepsnojimo temperatūra, °C	250–320
Cetaninis skaičius	84–99
Apatinis degalų šilumingumas, MJ/kg	44

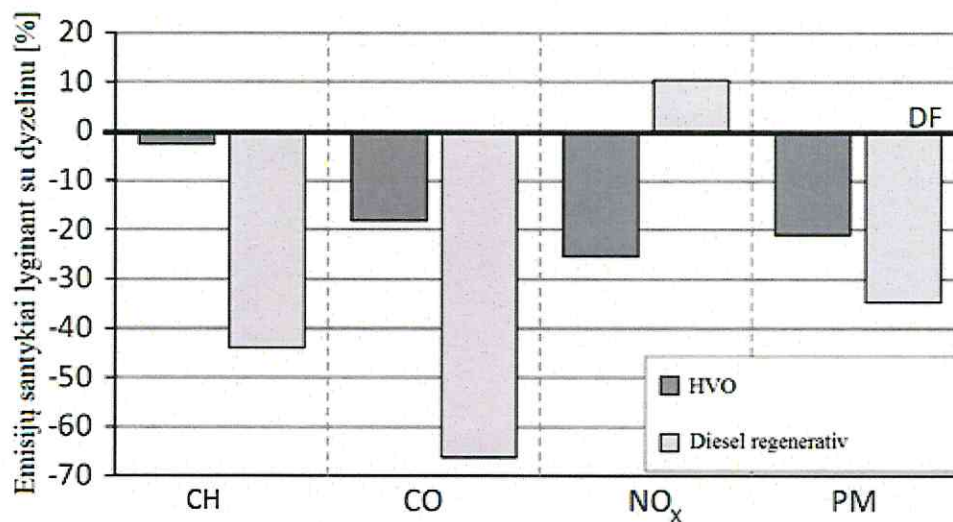
Sunkiasvorių transporto priemonių tyrimams buvo naudojami du DAIMLER AG varikliai OM 906 LA ir OM 904 LA (variklis su papildomu katalizatoriumi, kuris naudoja karbamido tirpalą AdBlue). Variklių specifikacijos pateikiamos 1.5 lentelėje. Tyrimai buvo atlikti su HVO ir RME degalais. Taip pat buvo atlikti tyrimai su 11 skirtingų lengvųjų automobilių – tyrimo metu buvo naudoti Volkswagen, AUDI ir Skoda markės automobiliai, kuriuose buvo skirtingo darbinio tūrio ir galios varikliai: 1,9 L Diesel (74 kW); 1,9 TDI (77 kW); 2,5 L Diesel (96 kW) ir (132 kW); 2,0 Diesel (103 kW); 2,7 TDI (140 kW). Keturiems automobiliams buvo pilamas degalų mišinys HVOB2, likusiems septyniems automobiliams buvo pilamas mišinys HVOB7.

1.5 lentelė. OM 904 LA ir OM 906 LA variklių specifikacija (Singer *et al.* 2015)

Variklio tipas	OM 904 LA	OM 906 LA
Cilindro eiga, mm	130	130
Cilindro skersmuo, mm	102	102
Cilindrų skaičius	4	6
Darbinis tūris, cm ³	4250	6370
Galia, kW	130	205
Maksimalus variklio sukimo momentas $M_{e\ max}$, Nm/min ⁻¹	675/ 1200–1600	1100/1300
Papildomas išmetamų teršalų apdorojimas	SCR katalizatorius	-
Išmetamų teršalų lygis	EURO IV	EURO III

Atlikus sunkiasvorių transporto priemonių variklių tyrimus, tyrėjai nustatė, kad visuose bandymuose emisija sumažėja naudojant HVO lyginant su dyzelinu, taip pat mažesnis NO_x kiekis ir itin ryškus teršalų emisijų sumažėjimas yra naudojant variklį OM 904 LA, kuris atitinka išmetamų teršalų lygį EURO IV. Kietųjų dalelių emisijos sumažėjo apie 30 %. Naudojant variklį OM 906 LA kietųjų dalelių emisija sumažėjo apie 10 %. Tyrėjai nustatė, kad dėl didelio HVO

degalų CS naudojant HVOB7 degalų mišinį lengvuosiuose automobiliuose išmetamų teršalų kiekis CH ir CO sumažėjo 35–90 % (1.4 pav.). Taip pat iki 5 % sumažėjo anglies dvideginio emisijos, nes HVOB7 turi mažiau anglies lyginant su dyzelinu. NO_x emisijos naudojant HVOB7 lyginant su dyzelinu padidėja iki 20 %. Tyrėjai pastebėjo, kad sunkiasvorių transporto priemonių NO_x emisija sumažėjo naudojant HVO lyginant su dyzelinu, lengvuosiuose automobiliuose matoma priešinga tendencija, NO_x emisija padidėjo (Singer *et al.* 2015).



1.4 pav. Lyginamosios išmetamųjų teršalų vertės (Singer *et al.* 2015)

Tyrėjai (Singh *et al.* 2015) atliko eksperimentą su sunkiasvorės transporto priemonės varikliu. Tyrimo naudoto variklio specifikacija pateikiama 1.7 lentelėje. Tyrimai buvo atliekami su antros kartos biodyzelinu (HRD) ir pirmos kartos biodyzelinu (B100). Tyrėjų naudotų degalų savybės pateikiamos 1.6 lentelėje. Tyrėjų tikslas buvo nustatyti alternatyvių degalų panaudojimo galimybę vietoje iškastinio kuro. Dėl prasto pirmos kartos biodyzelino oksidacijos stabilumo ir prastų šalto kuro savybių, tyrėjai nusprendė atlikti tyrimus su alternatyviais degalais. HRD degalai pasižymi aukštu CS, geresnės šaltų degalų srauto savybės, oksidacinis stabilumas ir šilumingumas lyginant su B100. Tyrėjai fiksavo degalų sąnaudos ir išmetamųjų teršalų: CO, CH, NO_x ir kietųjų dalelių emisijas.

1.6 lentelė. Degalų savybės (Singh *et al.* 2015)

Degalų savybės	Dyzelinas	HRD	B100
Tankis prie 15 °C, kg/m ³	831	804	870
Klampumas prie 15 °C, mm ² /s	3,18	3,43	4,6
Pliūpsnio temperatūra, °C	65	122,7	171
Šilumingumas, MJ/kg	42,26	43	37,7
Cetatinis skaičius	51	>74	59,4
Deguonis	-	87 ppm	12 %
Vandens kiekis, ppm	59	46	410
Sieros kiekis, ppm	481	-	-

1.7 lentelė. Variklio specifikacija (Singh *et al.* 2015)

Variklio tipas	6 cilindrų, Euro 3 taršos lygio, dyzelinis variklis su turbokompresoriumi
Darbinis tūris, cm ³	5,9
Uždegimo eiliškumas	1-5-3-6-2-4
Galia, AG	180
Sukimo momentas, Nm	675

Tyrėjų gauti išmetamų teršalų rezultatai pateikiami 1.8 ir 1.9 lentelėse. Tyrėjai nustatė, kad biodyzelino naudojimas žymiai sumažina kietųjų dalelių, anglies monoksido ir angliavandenilių emisijas, bet naudojant biodyzeliną NO_x emisijos padidėja. Tyrėjai nustatė, kad naudojant HRD degalus kietųjų dalelių emisijos sumažėja 27 %, naudojant B100 emisijos sumažėja 43% lyginant su dyzelinu. Suodžių susiformavimas degimo metu priklauso nuo kuro ir oro santykio, uždegimo vėlavimo ir degalų sudėties. Esant trumpesniam degimui, susidaro mažiau suodžių. B100 degalai turi daugiau deguonies negu HRD degalai. Naudojant HRD ir B100 degalus CO ir CH emisijos lyginant su dyzelinu yra mažesnės, CH išmetamų teršalų kiekis priklauso nuo kuro ir oro mišinio kokybės. Lyginant su dyzelinu, naudojant HRD CO ir CH emisijos sumažėjo 16 %, naudojant B100 CO emisijos sumažėjo 27 %, CH emisijos sumažėjo 41%. Tyrimo metu pastebėta, kad CO ir CH išmetamų teršalų kiekis yra susijęs su variklio apkrova. Naudojant HRD degalus NO_x padidėjo 26 %, naudojant B100 padidėjo 77 % lyginant su dyzelinu. Tyrėjai pastebėjo, kad naudojant B100 fiksuojamos didesnės NO_x emisijos, tokie rezultatai gali būti dėl didesnio angliavandenilių neprisotinimo ir 12 % deguonies buvimo. HRD yra daugiau prisotintų angliavandenilių ir mažiau deguonies, dėl to šių degalų mažesnės NO_x emisijos lyginant su B100. Degalų sąnaudos nustatytos mažiausios varikliui dirbant HRD degalais (Singh *et al.* 2015).

1.8 lentelė. NO_x ir KD emisijų vertės (g/kW h) (Singh *et al.* 2015)

Degalai	NO _x	Neapibrėžtumas	KD	Neapibrėžtumas
Dyzelinas	5,26	±0,28	0,077	±0,015
HRD	6,64	±0,11	0,056	±0,003
B100	9,31	±0,15	0,044	±0,001

1.9 lentelė. CO ir CH emisijų vertės (g/kW h) (Singh *et al.* 2015)

Degalai	CO	Neapibrėžtumas	CH	Neapibrėžtumas
Dyzelinas	0,50	±0,02	0,060	±0,020
HRD	0,42	±0,05	0,050	±0,012
B100	0,37	±0,01	0,035	±0,010

Šiais laikais yra sukurta daug naujų technologijų, kurių pagalba tyrėjai gali stebėti natūralius reiškinius vykstančius vidaus degimo varikliuose ir aprašyti reiškinius, vykstančius variklyje ar degimo kameroje. Šių parametų stebėjimas leidžia stebėti ir kontroliuoti variklio

darbą. Viena iš naujos kartos technologijų yra optinė diagnostika, mikroskopinė ir makroskopinė cilindre vykstančių procesų analizė, leidžia rinkti svarbią informaciją apie degimo raidą. Galimybė stebėti reiškinius infraraudonųjų spindulių diapazone leidžia tirti sritį už matomo spektro, kurioje vyksta daug įvairių reakcijų. Kiekvienas kūnas kurio temperatūra didesnė už 0 K skleidžia energiją kaip elektromagnetinę spinduliuotę visame spektriniame diapazone nuo ultravioletinių (UV) iki infraraudonųjų (IR) spindulių. Matomas diapazonas yra nuo 380 iki 750 nm, todėl žmogaus akys negali užfiksuoti energijos skleidžiamos prie aukštesnių ar žemesnių bangos ilgių. Infraraudonųjų spindulių kameros gali aptikti radiaciją, kurių bangų ilgis yra ilgesnės kaip 750 nm, infraraudonųjų spindulių diapazonas yra nuo 750 nm iki 1000 μm . IR spindulių kamerų naudojimas dyzeliniame variklyje leidžia rinkti informaciją apie kuro užsiliepsnojamą ir fiksuoti liepsnos būklę (Mancaruso *et al.* 2013).

Tyrėjai atliko bandymus su keturių taktų prailgintu vieno cilindro optiniu variklio stendu su degimo sistemos struktūra ir keturių cilindrų 1.9 L varikliu, atitinkančiu Euro 5 taršos lygį, kuriame yra aukšto slėgio įpurškimo sistema, kurią valdo visiškai atidarytas ECU. Įsiurbiamo oro slėgio tiekimui buvo naudojamas išorinis oro kompresorius, įsiurbiamas oras prieš pasiekdamas įsiurbimo kolektorių buvo filtruojamas, sausinamas ir pakaitinamas. Duomenys buvo fiksuojami varikliui veikiant 1500 min^{-1} . Variklio ir įpurškimo sistemos specifikacija pateikiama 1.10 lentelėje (Mancaruso *et al.* 2013).

1.10 lentelė. Variklio ir įpurškimo sistemos specifikacija (Mancaruso *et al.* 2013)

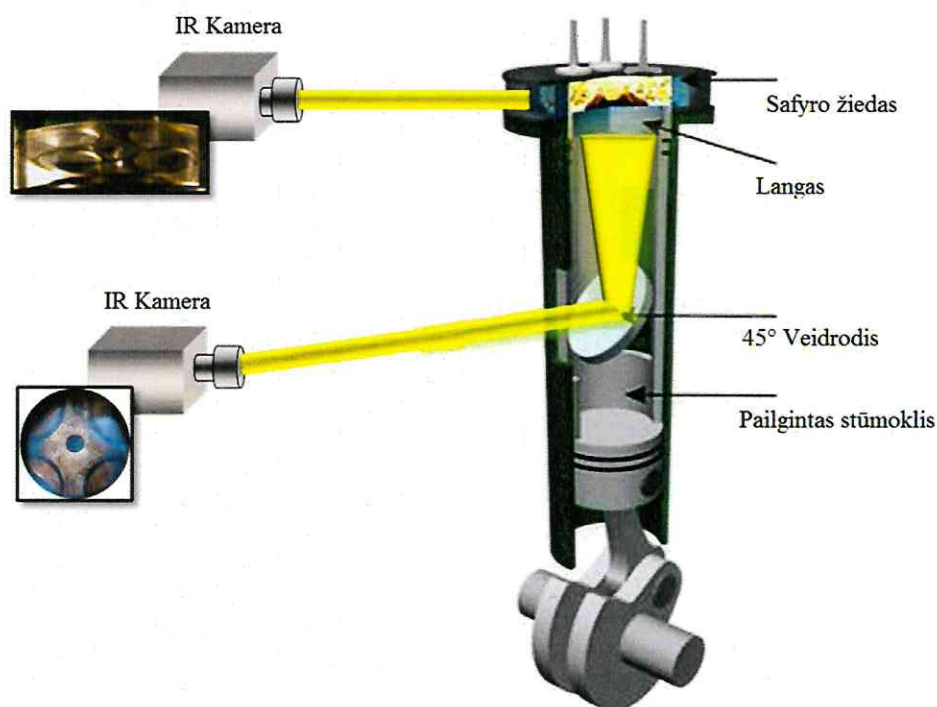
Variklio tipas	Keturtaktis dyzelinis vieno cilindro
Cilindro skersmuo, mm	85
Stūmoklio eiga, mm	92
Darbinis tūris, cm^3	522
Suspaudimo laipsnis	16.5:1
Įpurškimo sistema	Common rail
Purkštuko skylių skaičius	7
Purkštuko skylės diametras, mm	0,141
Kuro purkštuko ašies kampas	148°
Nominalus srautas prie 100 bar, cm/s	440/30

IR vaizdai buvo fiksuojami iš dviejų skirtingų vietų, vienas vaizdas iš cilindro apačios, kitas iš šono, vaizdo šviesumas buvo apdorojamas vaizdo apdorojimo priemonėmis. Tyrimo tikslas buvo užfiksuoti reakcijas vykstančias cilindre, priklausomai nuo degalų savybių. Bandymams buvo naudojamos trys skirtingos degalų rūšys: komercinis dyzelinas (REF), antros kartos biodyzelinas (GTL) ir pirmos kartos biodyzelinas (RME). Degalų savybės pateikiamos 1.11 lentelėje.

1.11 lentelė. Degalų savybės (Mancaruso *et al.* 2013)

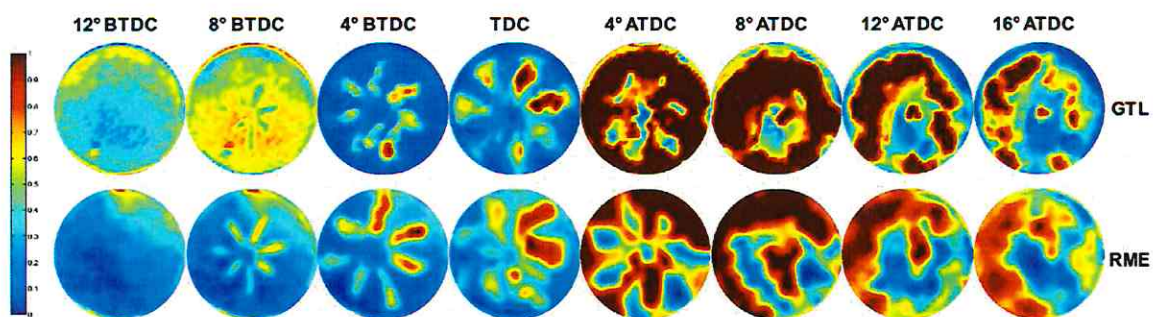
Degalų rūšis	Tankis 15 °C, kg/m ³	Klampumas 40 °C, mm ² /s	Oktaninis skaičius	Apatinis degalų šilumingumas
REF	840	3,14	51,8	43,11
GTL	777	2,56	73,9	43,53
RME	883	3,26	52,3	37,35

Tyrimo metu degalai buvo įpurškiami 615 bar slėgiu dvejomis injekcijomis per vieną ciklą. Dėl mažesnės šiluminės vertės, lyginant su kitais bandomais degalais RME degalų injekcija yra ilgesnė. 1.5 pav. pavaizduotas tyrime naudoto variklio ir optinių prietaisų išdėstymas. Optiniame variklyje naudojamas prailgintas stūmoklio lizdas, kurio viršuje yra safyro langas, taip pat cilindro viršuje įmontuotas safyro žiedas. Siekiant užfiksuoti degimo reakciją, stūmoklio lizde 45° kampu įmontuotas IR veidrodis. IR nuotraukoms atlikti naudojama (320x256 pikselių) greita kamera, galinti užfiksuoti šviesos diapazoną nuo 1.5–5 μm.

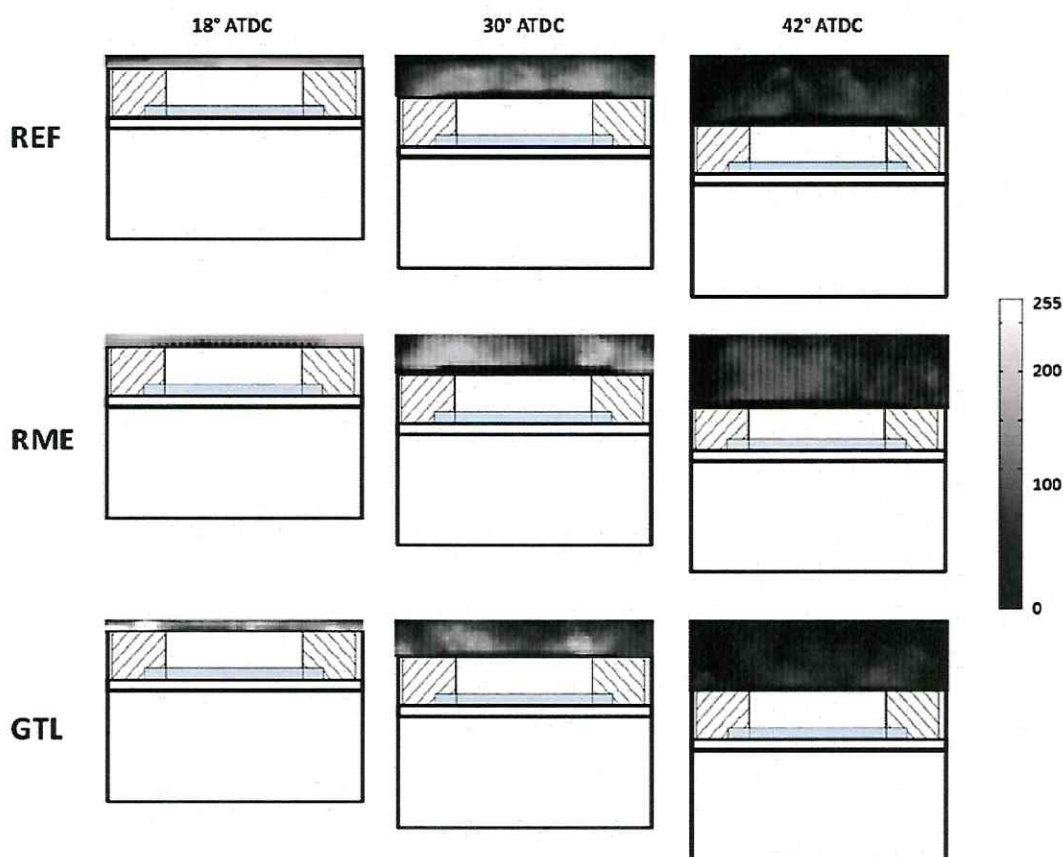


1.5 pav. Variklio ir optinių prietaisų išdėstymas (Mancaruso *et al.* 2013)

Tyrėjai IR kameromis užfiksavo degalų degimo raidos vaizdus, kurie pateikiami 1.6 ir 1.7 pav. Cilindre esantis slėgis davė makroskopinę informaciją apie alternatyvių degalų degimo raidą.



1.6 pav. GTL ir RME degalų degimo vaizdai iš apačios (Mancaruso *et al.* 2013)



1.7 pav. GTL, REF ir RME degalų degimo vaizdai iš šono (Mancaruso *et al.* 2013)

Išanalizavus degimo raidą ir šilumos išsiskyrimą tyrėjai nustatė, kad ankščiausia iš visų tirtų degalų užsiliepsnoja GTL degalai turintys didžiausią cetaninį skaičių, bet GTL degalai turi mažiau laiko susimaišyti su oru, todėl degimo metu išskiria daugiau suodžių. Taip pat buvo pastebėta, kad degalų degimo piko metu visų tyrime naudotų degalų spaudimas buvo apie 50 bar, GTL pasiekė didžiausią vertę 51 bar, tai priklauso nuo didelio degalų CS, kuris leidžia greitesnes chemines reakcijas degimo metu. Dėl žemiausio RME degalų šilumingumo, ilgesnio degalų savaiminio užsiliepsnojimo ir didesnės masės, šių degalų degimo trukmė buvo ilgesnė (Mancaruso *et al.* 2013).

Norėdami nustatyti GTL ir RME degalų sąnaudų ir išmetamų teršalų: CO, CH, NO_x emisijas, tyrėjai atliko bandymus su 6,37 L, 6 cilindrų dyzeliniu varikliu, variklio galia 205 kW (Hassaneen *et al.* 2012).

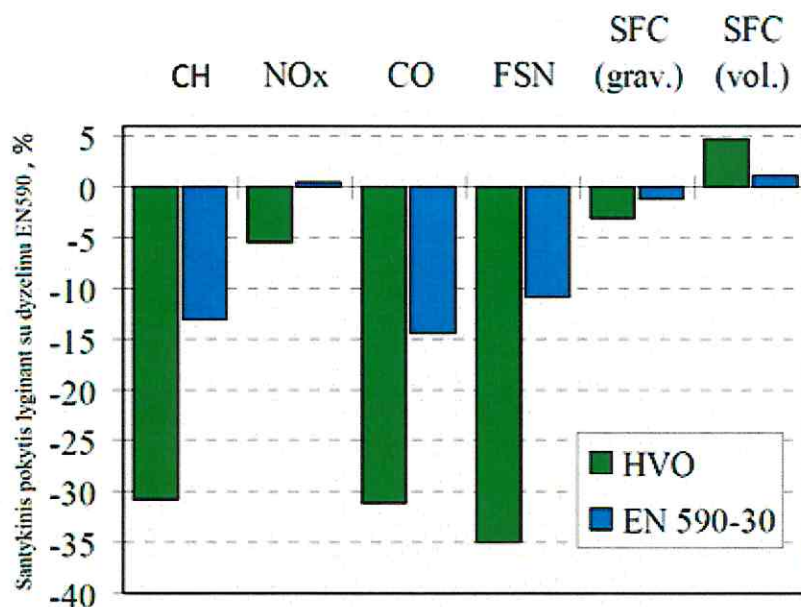
Tyrimo metu nustatyta, kad didžiausia RME degalų klampa gali turėti įtaką degalų išpurškimui, o tai įtakoja visą degimo procesą ir sąnaudas, todėl didžiausios degalų sąnaudos buvo nustatytos naudojant RME degalus – 15 % didesnės negu kitų tyrime naudotų degalų. CO emisijos nustatytos iki 70 % mažesnės negu dyzelino. RME degalų kietųjų dalelių emisijos buvo 60 % mažesnės negu dyzelino ir GTL. CH emisijos nustatytos mažiausios naudojant RME degalus. Naudojant RME degalus prie didelių apkrovų NO_x emisijos padidėjo 10–30 %, tyrėjų nuomone tokius rezultatus gali lemti anksčiau įpurškiami degalai. GTL degalų CO₂ emisijos buvo 5 % mažesnės negu kitų degalų (Hassaneen *et al.* 2012).

Kiti tyrėjai atliko tyrimą su skirtingai degalais ir jų mišiniais: 100 % HVO ir degalų mišiniu 30 % HVO su 70 % dyzelino (EN 590-30), gautus rezultatus palygino su dyzelinu EN 590, degalų savybės pateikiamos 1.12 lentelėje (Aatola *et al.* 2008).

1.12 lentelė. Degalų savybės (Aatola *et al.* 2008)

Kiekis	EN 590	HVO	EN 590-30
EN 590 dyzeliniai degalai, %	100	0	70
HVO, %	0	100	30
Anglis, %	85,9	84,8	85,8
Vandenilis, %	13,5	15,2	14,0
Anglies ir Vandenilio santykis	6,4	5,6	6,1
Siera, mg/kg	5	<3	3
Azotas, mg/kg	28	1,5	20
Parafinai, %	29	100	49
Vanduo, mg/kg	20	7	18
Tankis (esant 15°C), kg/m ³	843	779,7	824
Pliūpsnio temperatūra, °C	68	99	74
Klampumas (esant 40 °C), mm ² /s	3,208	3,087	3,165
Cetaninis skaičius	54,6	>70	>65

Bandymai buvo atliekami su 8,4 L darbinio tūrio, 6 cilindrų, 4 taktų tiesioginio įpurškimo dyzeliniu varikliu, variklio galia 225 kW, variklis be EGR. Tyrimai buvo atliekami varikliui veikiant skirtingu sukimosi dažniu ir esant skirtingai variklio apkrovai. Tyrimo metu buvo matuojamos CO, CH ir NO_x emisijos. Bandymu metu gauti rezultatai pateikiami 1.8 pav.



1.8 pav. Vidutinės emisijos HVO ir EN590-30 degalų, lyginant su EN 590 degalais (Aatola *et al.* 2008)

Tyrėjai nustatė, kad HVO leidžia sumažinti CH, CO ir NO_x emisijas. Naudojant 100 % HVO NO_x teršalų kiekis sumažėja 5 %, su degalų mišiniu EN 590-30 NO_x emisijos išlieka panašios kaip ir su EN 590. Tyrėjai pastebėjo, kad optimizuojant HVO degalų įpurškimo parametrus gali būti pasiekti dar geresni rezultatai. Esant pastovioms degalų sąnaudoms HVO degalų NO_x emisijos buvo 16 % mažesnės. Lyginant su EN 590, HVO išmetamųjų teršalų emisijos buvo 23 % mažesnės (Aatola *et al.* 2008).

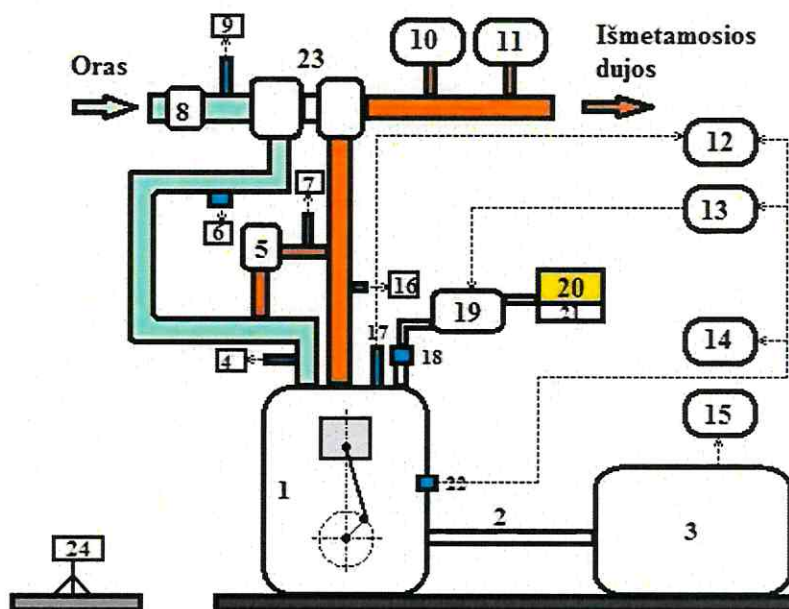
Atlikus pirmos ir antros kartos biodyzelino naudojimo slėginio uždegimo varikliuose literatūros ir atliktų tyrimų apžvalgą, galime pastebėti, kad didžioji dalis tyrėjų atlieka tyrimus su grynu pirmos ir antros kartos biodyzelinu, taip pat juos maišant su naftinės kilmės dyzelinu. Tačiau dėl prastų pirmos kartos biodyzelino savybių, šių degalų naudojimas be variklio modifikacijos negalimas, todėl pirmos kartos biodyzelinas gali būti maišomas su dyzelinu iki 20 %. Antros kartos biodyzelino cheminės savybės yra geresnės ir šių degalų savybės yra artimesnės dyzelinui. Tyrėjai nustatė, kad biodyzelino naudojimas mažina išmetamųjų teršalų: CO, CH emisijas, tačiau tyrimuose gaunami prieštaringi NO_x rodiklių rezultatai. Taip pat tyrimuose buvo nustatyta, kad EGR yra tiesiogiai susijęs su NO_x mažinimu.

Apžvelgus mokslinius straipsnius, pastebėta, kad buvo tik keletas tyrimų, atliktų maišant pirmos ir antros kartos biodyzeliną tarpusavyje. Antros kartos biodyzelinas turi daug daugiau panašumų į dyzeliną gaminamą iš iškastinio kuro, taigi šie degalai galėtų būti maišomi su pirmos kartos biodyzelinu vietoje naftinės kilmės dyzelino. Šiame darbe bus atliktas tyrimas su skirtingais pirmos ir antros kartos biodyzelino mišiniais, siekiant įvertinti jų panaudojimo galimybę slėginio uždegimo variklyje, įrodyti arba paneigti ir patvirtinti kitų panašių tyrimų gautus rezultatus.

2. TYRIMŲ METODIKA

2.1. Naudojamos įrangos aprašymas

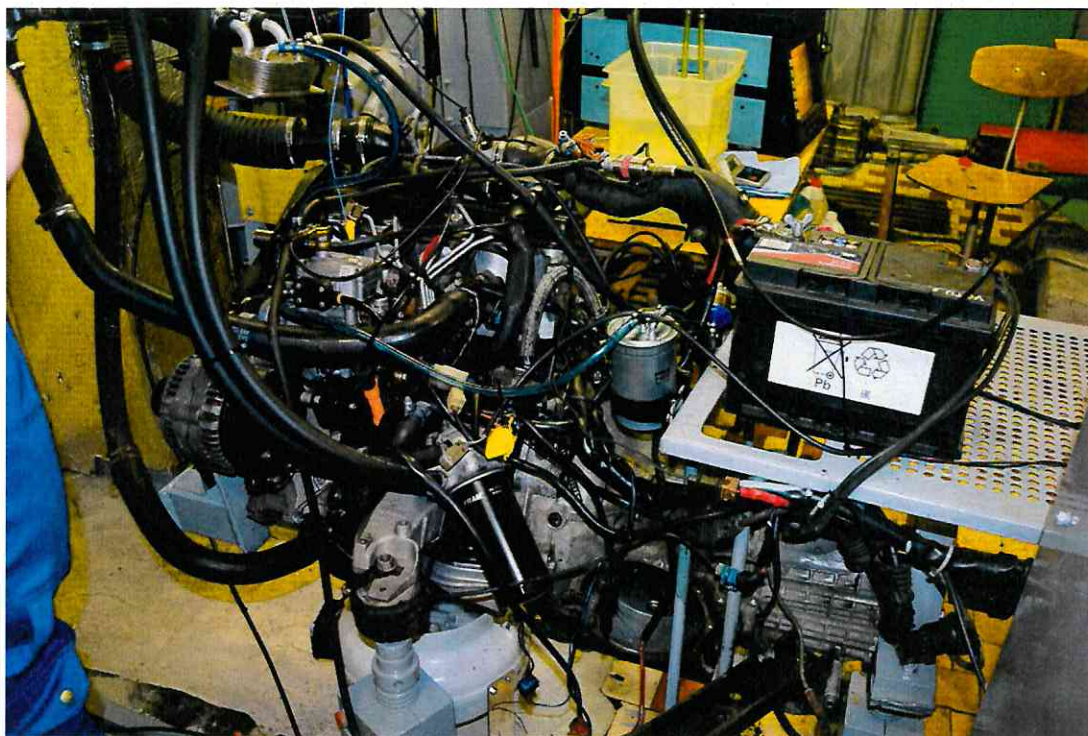
Tyrimai atlikti naudojant Vilniaus Gedimino technikos universiteto Transporto inžinerijos fakulteto Vidaus degimo variklių laboratorijoje esančia įrangą (2.1 pav.). Bandymams naudotas 1,9 TDI (1Z tipo) slėginio uždegimo variklis, kuris apkrautas elektriniu variklio apkrovos įrenginiu KI-5543. Papildomai yra sumontuota įrangą, davikliai, kurių pagalba yra nustatomi papildomi rodikliai. Degalų sąnaudos matuotos su elektroninėmis svarstyklėmis SK-5000. Įsiurbiamo oro ir išmetamųjų dujų temperatūra matuota naudojant K tipo termoporas. Turbokompresoriaus slėgis matuotas su slėgio davikliu OHM HD 2304,0. Išmetamųjų dujų (CO , CO_2 , CH , NO_x) emisijos matuotos deginių analizatoriumi AVL DiCom 4000, dūmingumas matuotas dūmomačiu AVL DiSmoke. Taip pat tyrimo metu buvo matuotas variklio keliamas triukšmas, slėgis cilindre.



2.1 pav. Tyrimo įrangos schema: 1 – variklis; 2 – jungiamasis velenas; 3 – variklio apkrovos plokštė; 4 – įsiurbiamo oro temperatūros jutiklis už turbokompresoriaus; 5 – EGR vožtuvas; 6 – įsiurbiamo oro slėgio jutiklis; 7 – gražinamųjų deginių temperatūros jutiklis; 8 – oro srauto masės matuoklė; 9 – įsiurbiamo oro temperatūros jutiklis; 10 – išmetamųjų dujų analizatorius; 11 – dūmingumo analizatorius; 12 – cilindro slėgio įrašymo įranga; 13 – degalų įpurškimo kampo reguliavimo įranga; 14 – degalų įpurškimo momento įrašymo įranga; 15 – variklio sūkių ir apkrovos įrašymo įranga; 16 – išmetamųjų deginių temperatūros jutiklis; 17 – slėgio cilindre jutiklis; 18 – degalų įpurškimo laiko matavimo įranga; 19 – aukšto slėgio degalų siurblys; 20 – degalų talpa; 21 – degalų sąnaudų matavimo įranga; 22 – alkūninio veleno padėties jutiklis; 23 – turbokompresorius; 24 – triukšmomatis

2.1.1. Slėginio uždegimo variklis

Tyrimui buvo naudotas VGTU Transporto inžinerijos fakulteto Vidaus degimo variklių laboratorijoje esantis 1,9 TDI (1Z tipo) slėginio uždegimo dyzelinis variklis, variklio bendras vaizdas pateikiamas 2.2 pav., variklio techniniai duomenys pateikti 2.1 lentelėje.



2.2 pav. 1,9 TDI (1Z tipo) slėginio uždegimo dyzelinis variklis

2.1 lentelė. Tyrimo metu naudoto 1,9 TDI (1Z tipo) variklio techninė specifikacija

Parametras	Reikšmė
Variklio tipas	Slėginio uždegimo
Oro tiekimas	Pripūtimas ir tarpinis oro aušinimas (0,19 MPa)
Degaus mišinio ruošimo būdas	Vidinis degiojo mišinio susidarymas: tiesioginis degalų įpurškimas (tūrinis degiojo mišinio ruošimas)
Darbinis tūris V_H , cm ³	1896
Variklio galia P_e , kW	66 (4000 min ⁻¹)
Variklio sukimo momentas M_e , Nm	180 (2500 min ⁻¹)
Cilindrų skaičius	4
Suslėgimo laipsnis, ϵ	19,5
Stūmoklio eiga S , mm	95,5
Cilindro skersmuo D , mm	79,5
Dujų skirstymas	OHC
Aušinimo sistema	skystinė

2.1.2. Variklio apkrovos įrenginys

Tyrimo metu variklis apkrautas specialiu apkrovos įrenginiu KI-5543 su svarstykliniu dinamometru, kurio techninė specifikacija pateikiama 2.2 lentelėje.

2.2 lentelė. Variklio apkrovos stendas KИ-5543

Parametras	Reikšmė
Apkrovos įrenginys	Asinchroninis elektros variklis su faziniu rotoriumi
Maksimali matuojama apkrova, Nm	440
Maksimali stendo stabdymo galia, kW	186
Sūkių reguliavimo ribos, min ⁻¹	1600–3000
Matavimo paklaida, Nm	± 1,23

2.1.3. Oro srauto masės matuoklė BOSCH HFM 5

Variklyje buvo sumontuota BOSCH HFM 5 oro srauto masės matuoklė, kuria buvo matuojama oro masė patenkanti į variklio cilindrus, matuoklė techninė specifikacija pateikiama 2.3 lentelėje.

2.3 lentelė. Oro srauto masės matuoklės BOSCH HFM 5 techninė specifikacija

Parametras	Matavimo ribos
Temperatūros matavimo režimas	-40 ±120 °C
Oro srauto matavimo ribos	8–370 kg/h
Tikslumas	≤ 3 %

2.1.4. Išmetamųjų dujų matavimo įranga

Išmetamųjų dujų sudėtis matuota deginių analizatoriumi AVL DiCom 4000, įrenginio techninė specifikacija pateikiama 2.4 lentelėje. Šis įrenginys matuoja išmetamųjų dujų CO₂, CO, CH, NO_x koncentracijas ir oro pertekliaus koeficientą λ.

2.4 lentelė. Deginių analizatoriaus AVL DiCom 4000 techninė specifikacija

Parametras	Matavimo ribos	Paklaida
Anglies dioksidas, CO ₂	0–20 %	0,1 %
Anglies viendeginis, CO	0–10 %	0,01 %
Angliavandeniliai, CH	0–20000 ppm	1 ppm
Azoto oksidai, NO _x	0–5000 ppm	1 ppm
Degūnis, O ₂	0–25 %	0,01 %
Oro pertekliaus koeficientas, λ	0–9,999	0,001
Dūmingumas	0–99,99 m ⁻¹	0,01 m ⁻¹

2.1.5. Įsiurbiamo oro ir išmetamų dujų temperatūros matavimas

Variklio įsiurbiamo oro ir išmetamųjų dujų temperatūros matuojamas naudojant K tipo termoporas, kurių specifikacija pateikiama 2.5 lentelėje. K tipo termoporos pasižymi savo tikslumu, matavimo diapazonu ir gan paprastu dizainu.

2.5 lentelė. K tipo termoporos techninė specifikacija

Rodiklis	Matavimo ribos
Standartas	EN60584
Temperatūros matavimo režimas	0 ± 1250 °C
Tikslumas	$\pm 0,5$ %

2.1.6. Variklio keliamo triukšmo matavimas

Variklio keliamas triukšmas buvo matuojamas triukšmomačiu Cirrus CR:261S A, kurio techninė specifikacija pateikiama 2.6 lentelėje.

2.6 lentelė. Triukšmomačio Cirrus CR:261S A techninė specifikacija

Rodiklis	Reikšmė
Dažnios svertinis filtras	Db(A)
Laiko svertinis filtras	Fast (F, greitasis), atsako laikas 0,125 s
Matavimai	L_{AF} garso slėgio lygis išmatuotas su dažnio svertiniu filtru A ir greituoju laiko svertiniu filtru (F), dB L_{AFmax} maksimalus garso slėgio lygis išmatuotas su dažnio svertiniu filtru A ir greituoju laiko svertiniu filtru (F), dB
Mikrofonas	Kondensatorinis, 1+ tikslumo klasės prepoliarizuotas laisvo lauko $\frac{1}{2}$ colio. Nominalus jautris 50 mV/Pa esant 1000 Hz Talpa – 18 pF
Standartas	IEC 61672-1:2002, 1 klasė, X grupė (LST EN 61672-1:2003)
Matavimo ribos	60 dB (A) iki 130 dB (A) 1 tikslumo klasė 60 dB (C) iki 130 dB (C) 1 tikslumo klasė
Triukšmo slenkstis	54 dB (A) 1 tikslumo klasė 54 dB (C) 1 tikslumo klasė Prietaiso triukšmo slenkstis yra 6 dB žemiau apatinės matavimo ribos
Svoris	450 g
Aplinkos temperatūra	darbinė nuo -10 °C iki +50 °C saugojimo nuo -20 °C iki +60 °C
Aplinkos drėgmė	Iki 95 % RH be kondensato
Elektromagnetinis atitikimas	EN 55022:1998 EN 61000-4-2:1995 EN 61000-4-3:2002 EN 61000-4-8:1994

2.1.7. Automobilio traukos stendas

Degalų sąnaudų bei galios nustatymui buvo naudotas kompiuterizuotas lengvųjų automobilių traukos stendas CARTEC LPS 2510, kurio specifikacija pateikiama 2.7 lentelėje.

2.7 lentelė. Automobilio traukos stendas CARTEC LPS 2510

Parametras	Reikšmė
Apkrovos įrenginys	Elektromagnetinis sukurinių srovių stabdys
Didžiausia stendo matavimo galia, kW	400
Didžiausia stendo stabdymo galia, kW	360
Maksimali matuojama apkrova, t	3,5
Matavimo paklaida	± 2

2.2. Eksperimentinių tyrimų metodika ir rodiklių nustatymas

Tyrimas atliekamas siekiant išsiaiškinti dyzelinio variklio veikiančio skirtingai degalais – naftinės kilmės dyzelinu, pirmos ir antros kartos biodyzelinu bei jų mišiniais, degalų panaudojimo galimybes naudojant standartinį dyzelinį variklį ir nustatyti variklio išmetamų teršalų vertes bei degalų sąnaudas naudojant skirtingus degalus

Tyrimas atliktas naudojant antros klasės dyzeliną įsigytą degalinėje (šiam darbe žymimi D), gryną pirmos kartos biodyzeliną, kurie pagaminti iš rapsų metilo esterio (šiam darbe žymimi RME). Šių degalų kokybė atitinka Lietuvos ir Europos (LST EN 14214) standartą. Taip pat tyrime naudotas įmonės „Neste“ pagamintas grynas antros kartos biodyzelinas NExBTL (šiam darbe žymimi BTL). Tyrimo metu su turima įranga buvo fiksuojami pagrindiniai rodikliai, kurie pateikiami 2.9 lentelėje. Bandymai atlikti su 6 skirtingais šių degalų mišiniais, degalų mišinių santykiai ir žymėjimai pateikiami 2.8 lentelėje. Kiekvienas bandymas buvo kartojamas 5 kartus, siekiant gauti kuo tikslesnius rezultatus apskaičiuojant vidurkius.

Tyrimas atliktas VGTU Transporto inžinerijos fakulteto Vidaus degimo variklių laboratorijoje naudojant joje esančią įrangą. Tyrimas atliktas varikliui veikiant $n = 2000 \text{ min}^{-1}$ sukimosi dažniu, variklį apkraunant $M_e = 60 \text{ Nm}$, $M_e = 90 \text{ Nm}$ ir $M_e = 120 \text{ Nm}$ sukimo momentu. Bandymai atliekami su įjungtu bei išjungtu EGR vožtuvu. Buvo atlikti bandymai ir keičiant degalų įpurškimo paskubos kampą θ nuo -2 iki 18° alkūninio veleno (AV) 2° žingsniu. Šio bandymo metu EGR vožtuvas buvo išjungtas.

2.8 lentelė. Tyrimams naudotų tiriamų degalų mišinių santykiai ir žymėjimas

Degalų santykis	Žymėjimas
100 % Dyzelino	D
100 % NExBTL	BTL
100 % RME	RME
70 % RME – 30 % BTL	70RME/30BTL
50 % RME – 50 % BTL	50RME/50BTL
30 % RME – 70 % BTL	30RME70BTL

2.9 lentelė. Tyrimo metu fiksuoti parametrai

Parametrai
Turbo kompresoriaus slėgis p_{TC} , bar
Išsiurbiamo oro masė B_{oro} , kg/h
Išsiurbiamo oro temperatūra T_{is} , °C
Oro temperatūra išsiurbimo kolektoriuje T_{tc} , °C
EGR temperatūra T_{egr} , °C
Išmetamųjų dujų temperatūra T_{ex} , °C
Oro pertekliaus koeficientas, λ
Anglies viendeginio koncentracija deginiuose, CO, %
Anglies dioksido koncentracija, CO ₂ , %
Deguonies koncentracija, O ₂ , %
Angliavandenilių koncentracija, CH, ppm
Azoto oksidų koncentracija, NO _x , ppm
Dūmingumas, m ⁻¹
Alyvos temperatūra karteryje, T_{at} , °C
Triukšmas, dB
Sunaudotų degalų masė m_f , g
Laikas, per kurį sunaudota m_f degalų t , s

Atlikus stendinius bandymus, bei išmatavus pagrindinius parametrus pagal žemiau pateiktas formules apskaičiuojami papildomi rodikliai.

Variklio efektyvioji galia P_e (kW), apskaičiuojama pagal 2.1 formulę:

$$P_e = \frac{M_e \cdot n}{9549} \quad (2.1)$$

čia: M_e – variklio efektyvusis sukimo momentas, Nm; n – variklio sukimosi dažnis, min⁻¹.

Variklio valandinės degalų sąnaudos B_d (kg/h), apskaičiuojamos pagal 2.2 formulę:

$$B_d = \frac{m \cdot 3600}{t \cdot 1000} \quad (2.2)$$

čia: t – laikas, s; m – degalų masė, g.

Variklio valandinės litrinės degalų sąnaudos B_{d_l} (l/h) apskaičiuojamos pagal 2.3 formulę:

$$B_{d_l} = \frac{B_d \cdot 1000}{\rho_d} \quad (2.3)$$

čia: ρ_d – degalų tankis, kg/m³.

Variklio lyginamosios efektyviosios degalų sąnaudos b_e (g/kWh), apskaičiuojamos pagal 2.4 formulę:

$$b_e = \frac{1000 \cdot B_d}{P_e} \quad (2.4)$$

Įvertinus degalų sąnaudų matavimo įrangos (elektroninės svarstyklės SK-5000, kurių matavimo paklaida $\pm 0,5$ g ir elektroninio laikmačio, kurio matavimo paklaida $\pm 0,01$ s) tikslumą apskaičiuotas valandinių degalų sąnaudų matavimo tikslumas $\Delta B_d = \pm 0,034$ kg/h. Įvertinus vidutinės valandinės degalų sąnaudas visame bandymų diapazone, apskaičiuojame, kad degalų sąnaudų matavimo tikslumas yra 0,7 %.

Variklio efektyvusis naudingumo koeficientas η_e apskaičiuojamas pagal 2.5 formulę:

$$\eta_e = \frac{3600}{b_e \cdot H_a} \quad (2.5)$$

čia: b_e – efektyviosios degalų sąnaudos, g/kWh; H_a – degalų apatinis šilumingumas, MJ/l.

3. TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ VERTINIMAS

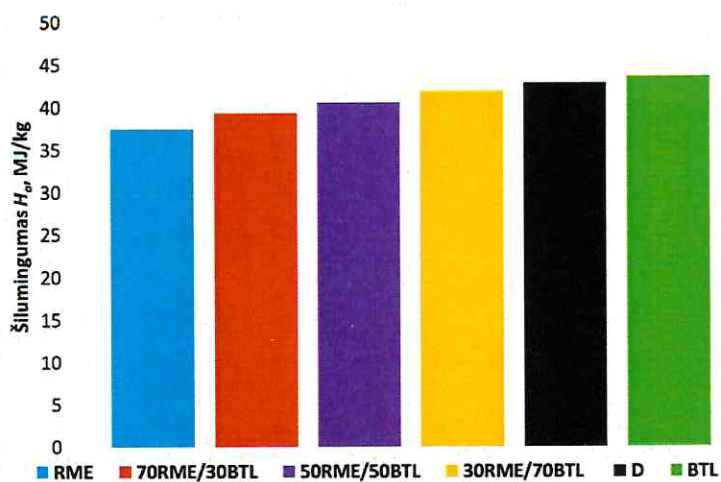
3.1. Degalų mišinių tyrimo rezultatai

Norint tinkamai įvertinti degalų bei jų mišinių poveikį VDV efektyvumui, Klaipėdos universiteto Jūros chemijos tyrimų laboratorijoje buvo atlikti RME, D ir BTL fizikinių bei cheminių savybių tyrimai, kurių duomenys pateikti 3.1 lentelėje.

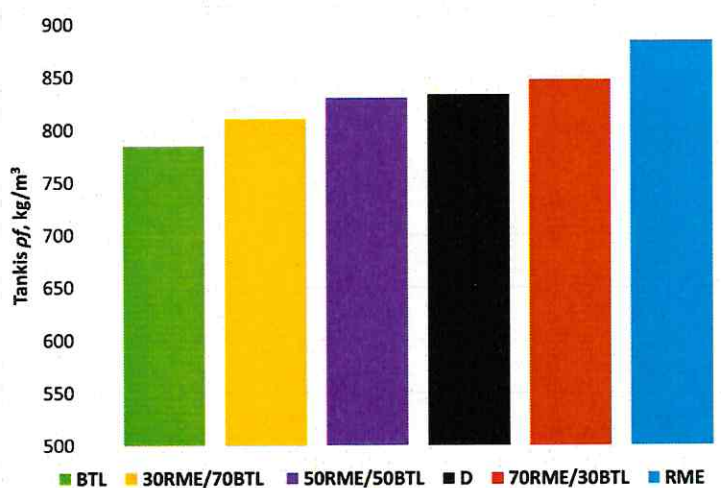
3.1 lentelė. Degalų savybės

Pavadinimas	RME	D	BTL
Aukštutinis šilumingumas, J/g	40024	45744	47063
Apatinis šilumingumas, J/g	37431	42825	43580
Ribinė filtruojamumo temperatūra, °C	-14	-31	-40
Ribinė takumo temperatūra, °C	-24	-40	<-50
Dinaminė klampa, 40 °C, mPa·s	3,8673	1,6625	2,2087
Kinematinė klampa, 40 °C, cSt	4,4661	2,0388	2,8782
Tankis, 15 °C, g/ml	0,8840	0,8332	0,7845
Dinaminė klampa, 15 °C, mPa·s	7,2579	2,8001	4,0414
Kinematinė klampa, 15 °C, cSt	8,2103	3,3607	5,1516
Tankis, 40 °C, g/ml	0,8659	0,8154	0,7674
Oksidacinis stabilumas, min	31,31	42,98	121,20
Vandens kiekis, %	0,0494	0,0051	0,0030
Tepumas, μm	164	488	302
Pliūpsnio temperatūra, °C	100,0	59,8	87,8
Elementinė sudėtis, H %	11,52	12,69	14,97
Elementinė sudėtis, C %	78,08	87,31	85,03
Elementinė sudėtis, N,S %	Žemiau aptikimo ribos		

Remiantis gautais degalų mišinių tyrimo rezultatais nubraižomos degalų masės apatinio šilumingumo (MJ/kg) (3.1 pav.) ir degalų tankio (kg/m³) (3.2 pav.) diagramos. Atlikus skaičiavimus nubraižomas degalų tūrio apatinio šilumingumo (MJ/l) (3.3 pav.) diagramos.



3.1 pav. Degalų masės apatinis šilumingumas



3.2 pav. Degalų tankis

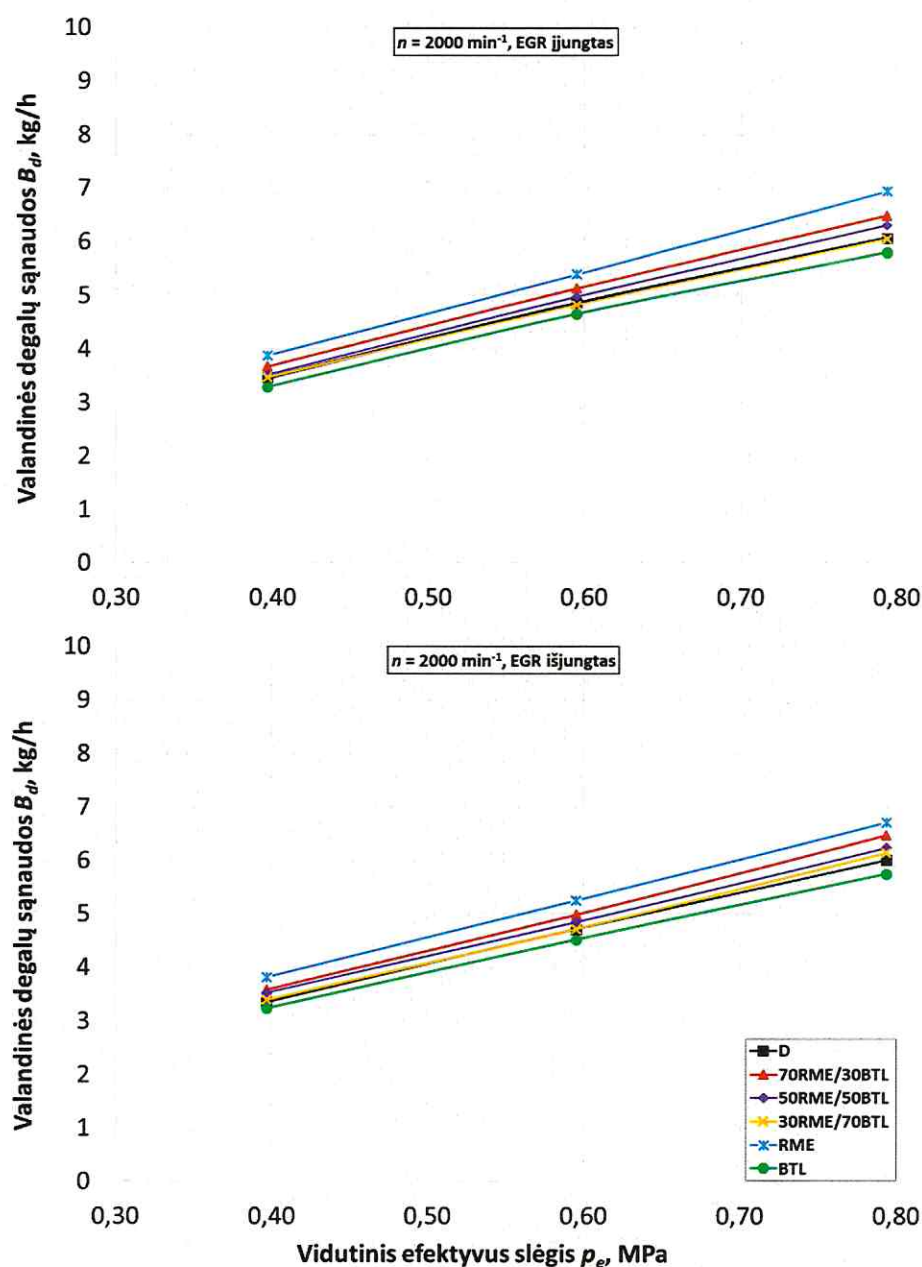


3.3 pav. Degalų tūrio apatinis šilumingumas

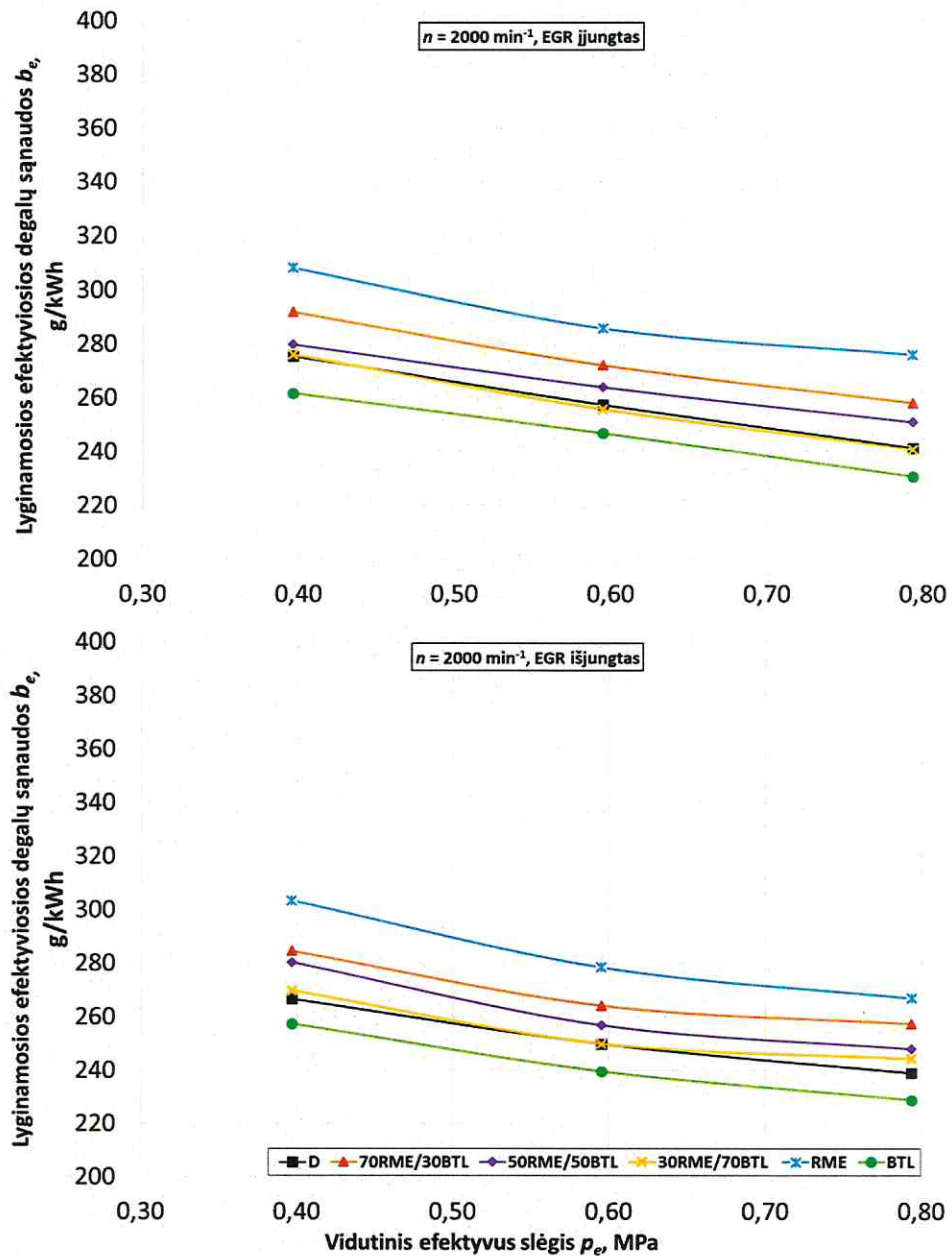
3.2. Variklio energetinių ir ekologinių rodiklių tyrimo rezultatai

Atlikus standinius tyrimus bei paskaičiavus papildomus parametrus visi duomenys buvo suvesti į bandymų lentelę ir remiantis gautais duomenimis buvo apskaičiuoti vidurkiai, pagal kuriuos buvo nubraižyti tiriamų rodiklių grafikai.

Iš gautų rezultatų (3.4 pav., 3.5 pav.) galime pastebėti, kad dėl mažo degalų apatinio šilumingumo (MJ/kg) (3.1 pav.) RME degalų valandinės masės sąnaudos yra didžiausios (iki 12,3 % didesnės už D), o naudojant BTL degalus mažiausios (iki 4,2 % mažesnės už D), nes šių degalų apatinis šilumingumas yra 16,4 % didesnis lyginant su RME ir 1,8 % didesnis už D.



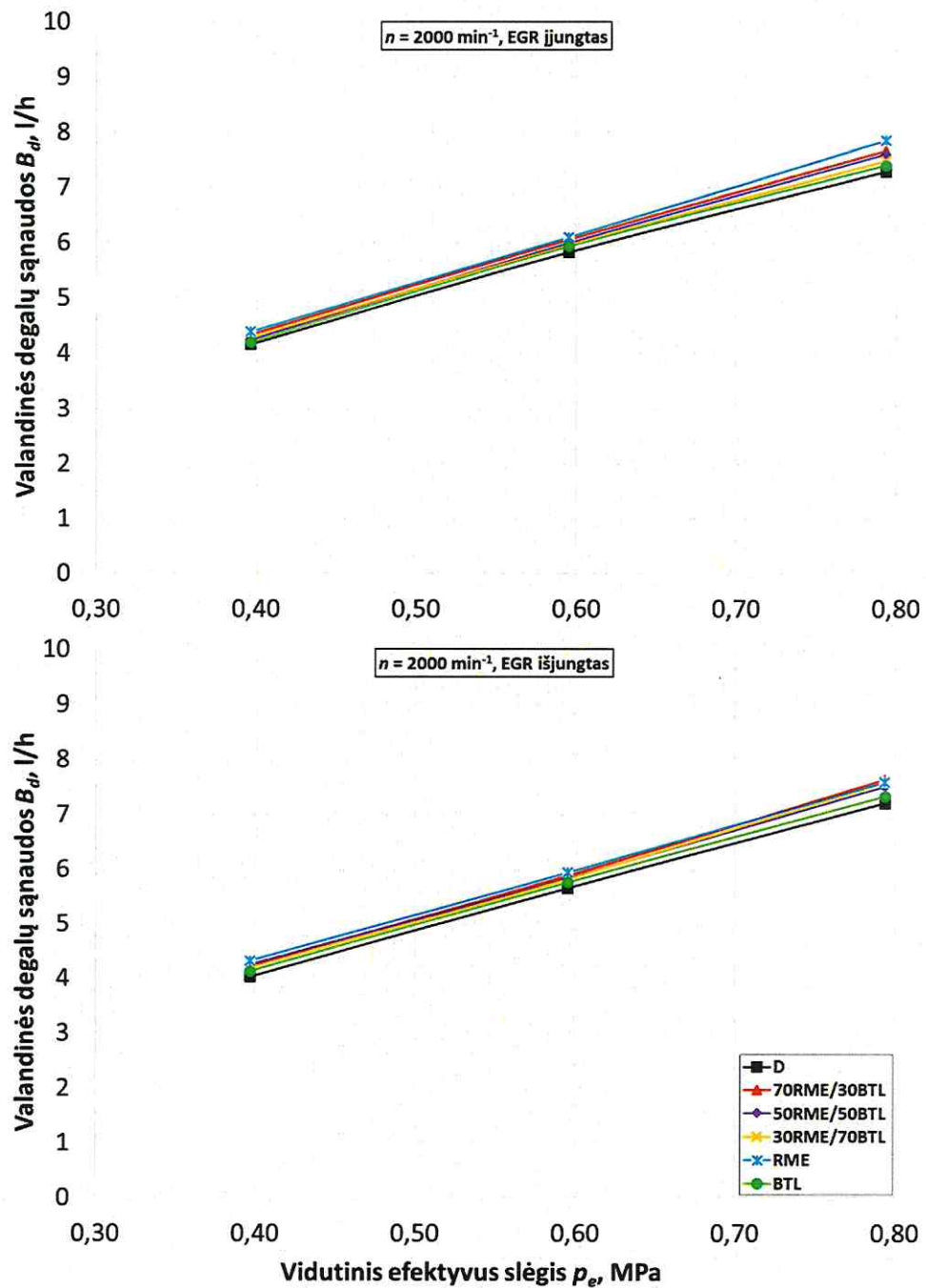
3.4 pav. Valandinės degalų masės sąnaudos



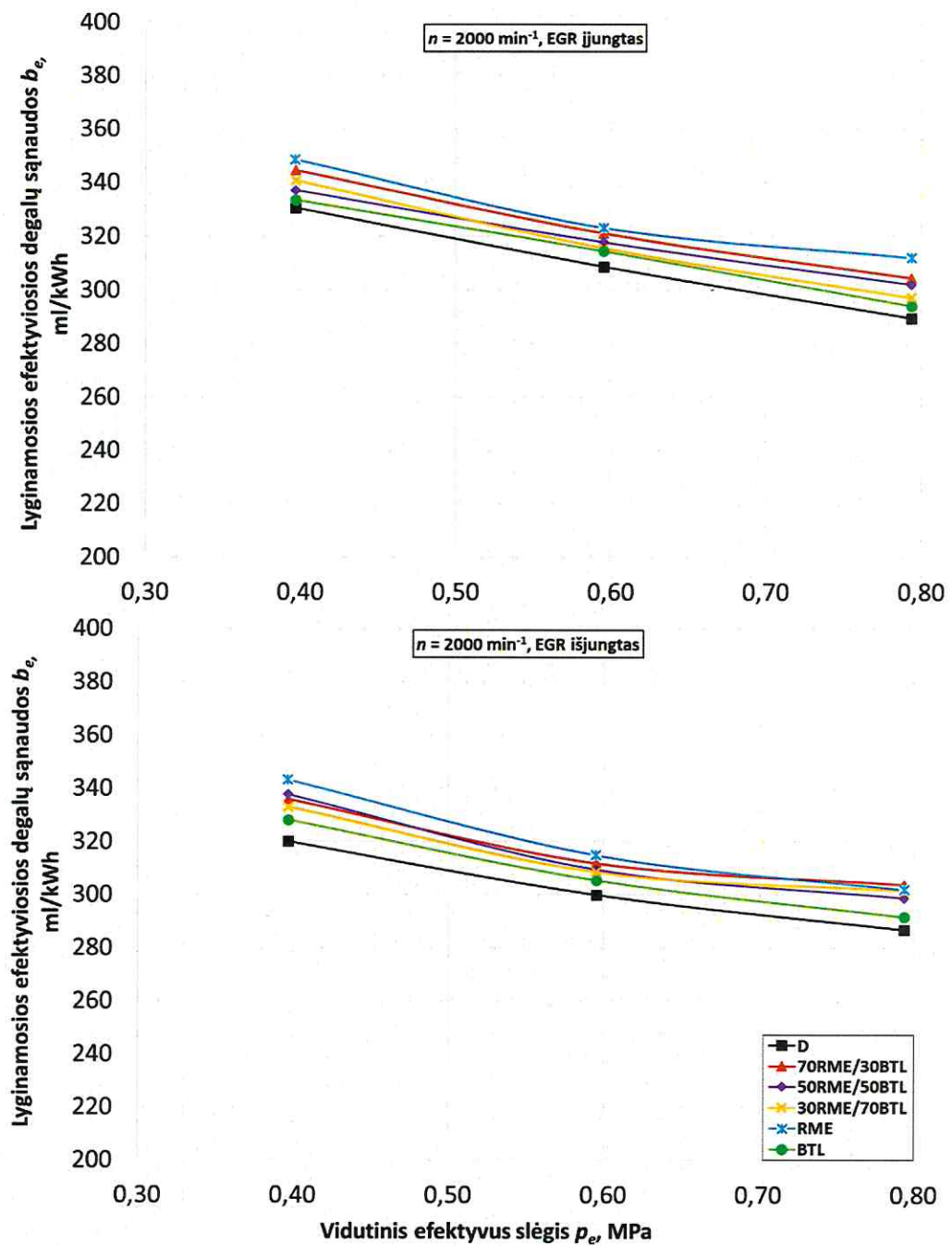
3.5 pav. Lyginamosios degalų masės sąnaudos

Degalų tūrinės sąnaudos mažiausios naudojant degalus D (3.6 pav., 3.7 pav.), didžiausios – RME degalų (iki 5,9 % didesnės už D). BTL tūrinės sąnaudos ~1,7 % didesnės už D. Tokius rezultatus lemia degalų tankis (3.2 pav.) ir degalų masės apatinis šilumingumas (3.1 pav.). RME degalų tankis yra didžiausias – 6,2 % didesnis už D ir 12,8 % didesnis už BTL, tačiau RME degalų šilumingumas mažiausias lyginant su kitais tyrime naudotais degalų mišiniais. Tai apibendrintai pademonstruoja apskaičiuotas degalų tūrio vieneto apatinis šilumingumas (MJ/l) (3.3 pav.). Mažiausios litro sąnaudos D degalų ir kuo didesnis kiekis RME tuo sąnaudos didėja. Aukščiausias tūrio vieneto apatinis šilumingumas yra D degalų, BTL žemesnis 4,2 %, RME žemesnis už D 7,3 %. EGR degalų sąnaudas nežymiai didino. Atlikus tyrimą matome, kad degalų sąnaudoms didelę

reikšmę turi naudojamų degalų tankis, šilumingumas ir degimo efektyvumas. Degalų mišinių sąnaudos priklauso nuo RME ir BTL koncentracijos mišinyje.

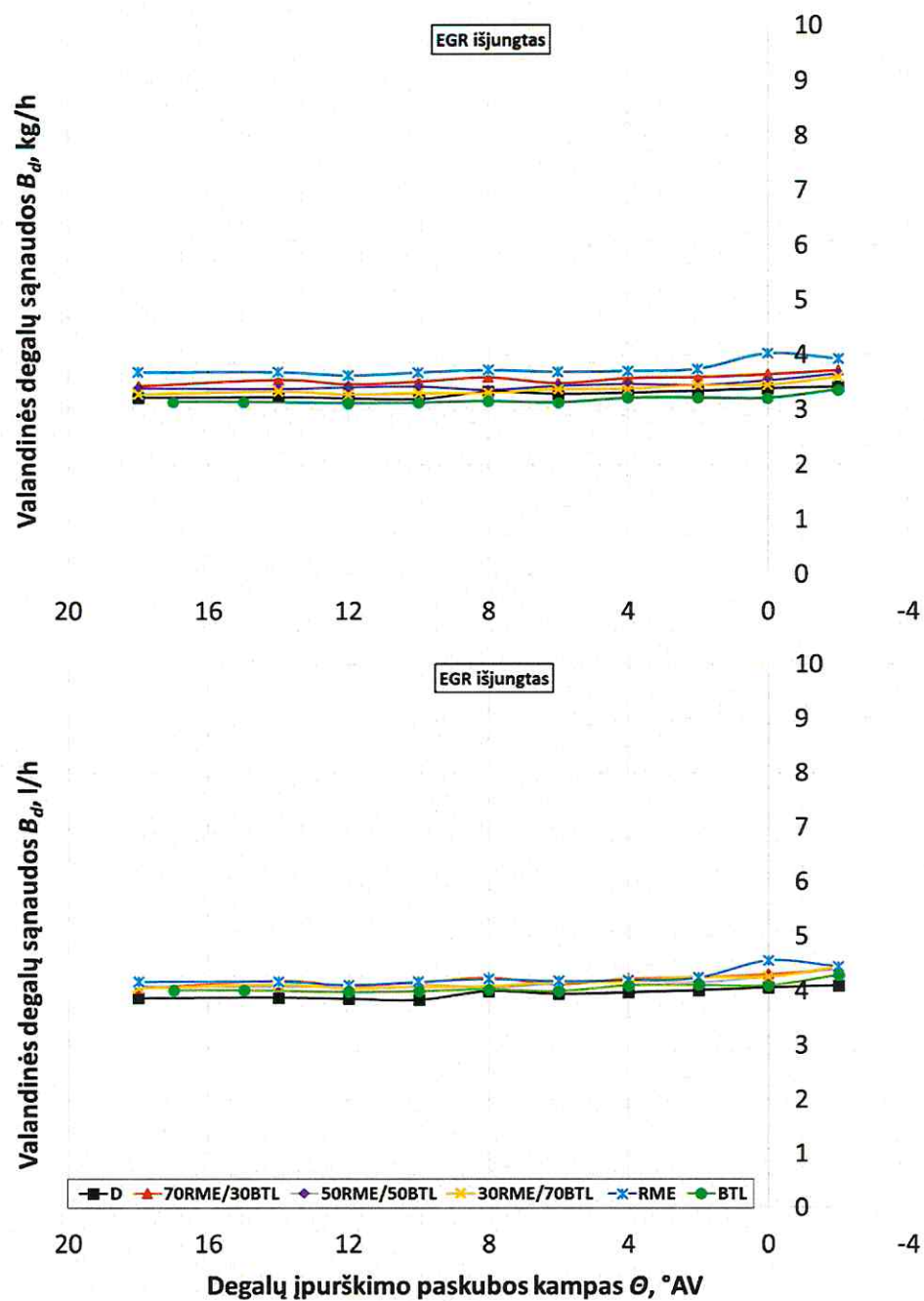


3.6 pav. Valandinės degalų tūrio sąnaudos



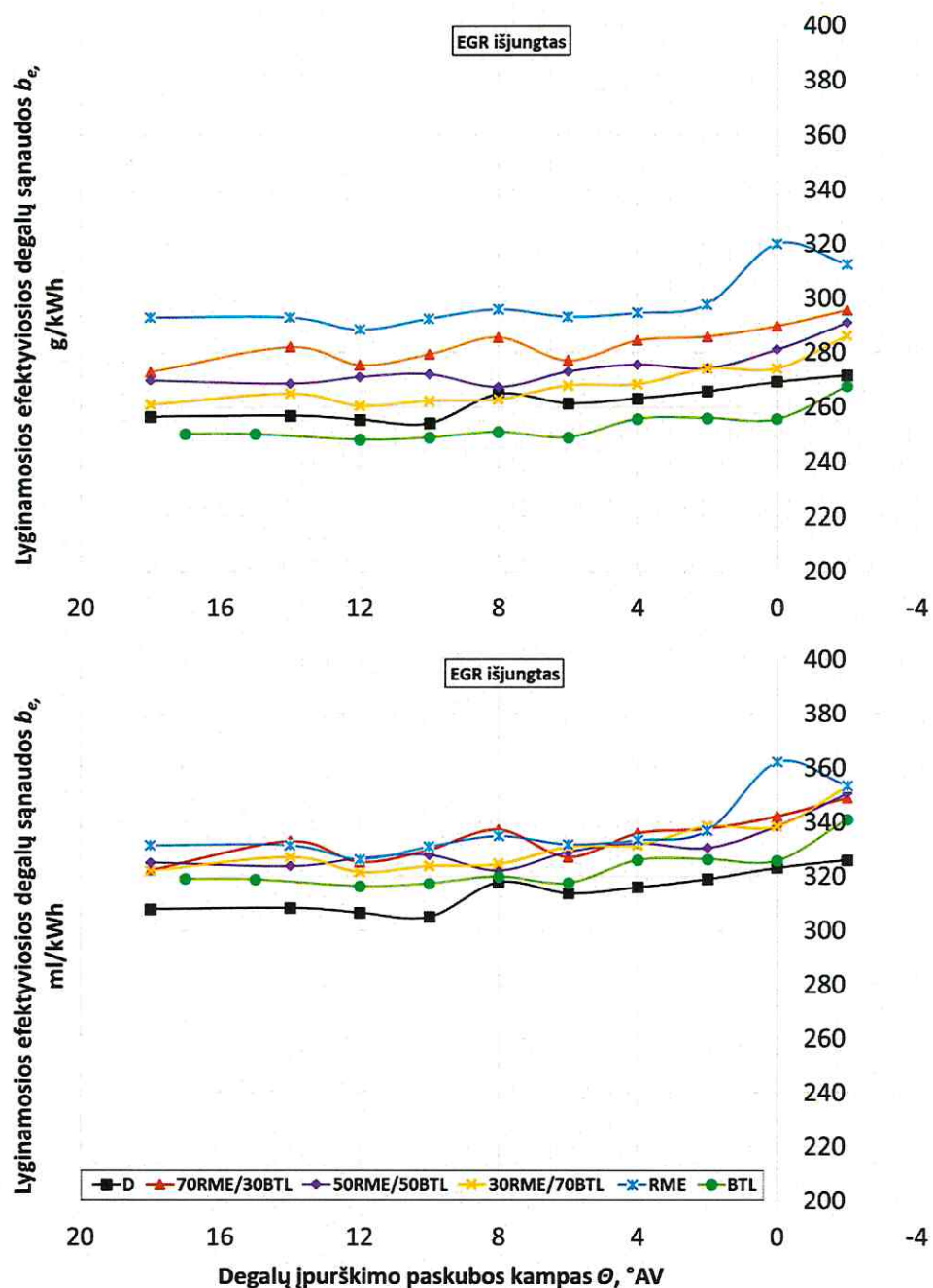
3.7 pav. Lyginamosios degalų tūrio sąnaudos

Ankstinant degalų įpurškimo paskubos kampą θ iki 12° , litrinės degalų sąnaudos mažėja (3.8 pav.), didėja naudingumo koeficientas (3.11 pav.).



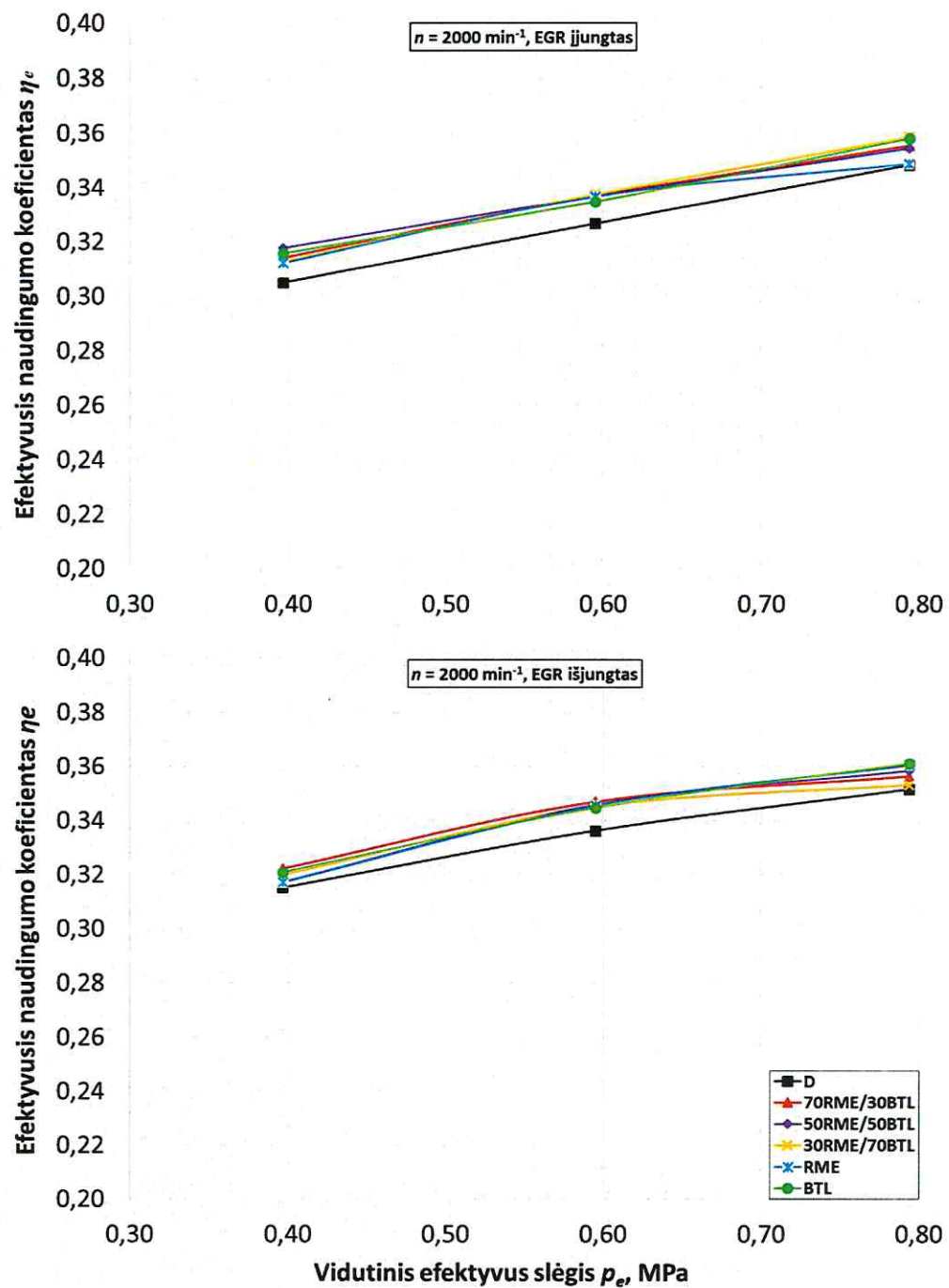
3.8 pav. Valandinės degalų masės ir tūrio sąnaudos keičiant degalų įpurškimo paskubos kampą

Lyginamosios efektyviosios degalų masės ir tūrio sąnaudos (3.9 pav.) kinta analogiškai kaip ir valandinės degalų masės ir tūrio sąnaudos (3.8 pav.)



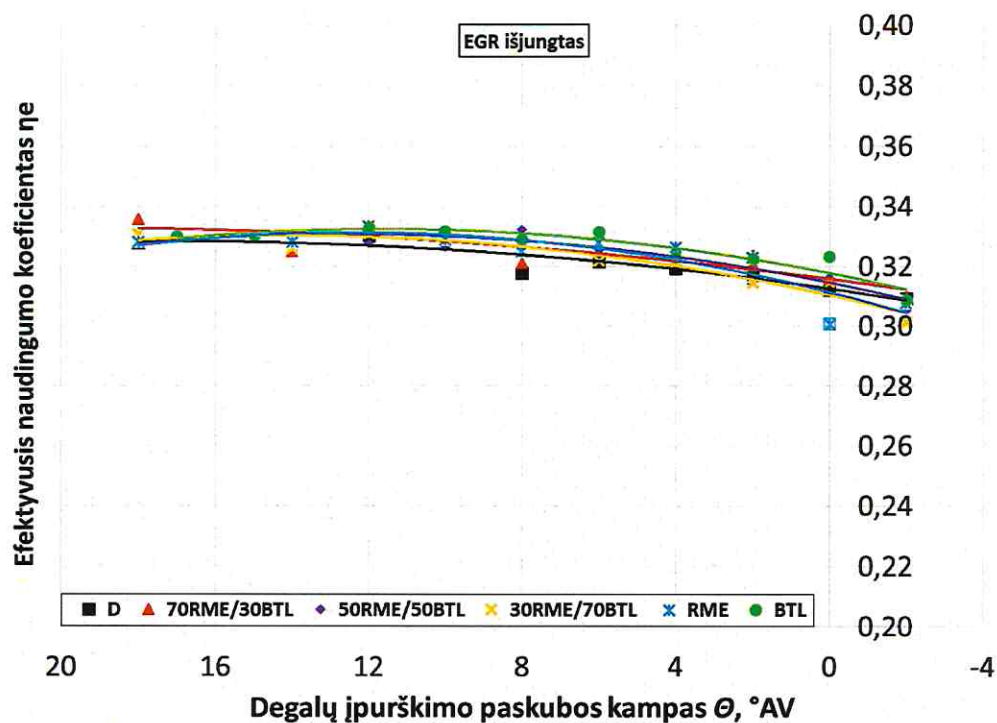
3.9 pav. Lyginamosios efektyviosios degalų masės ir tūrio sąnaudos keičiant degalų įpurškimo paskubos kampą

Visų tyrime naudojamų biodyzelino rūšių bei jų mišinių efektyvusis naudingumo koeficientas η_e yra didesnis už D (3.10 pav.), nes biodyzelinas efektyviau dega, sumažėja CH ir dūmingumo koncentracija (3.13 pav., 3.15 pav.). Didžiausias variklio veikimo efektyvumas pasiektas naudojant BTL degalus ir ~2,6 % viršija dyzelino efektyvųjį naudingumo koeficientą.



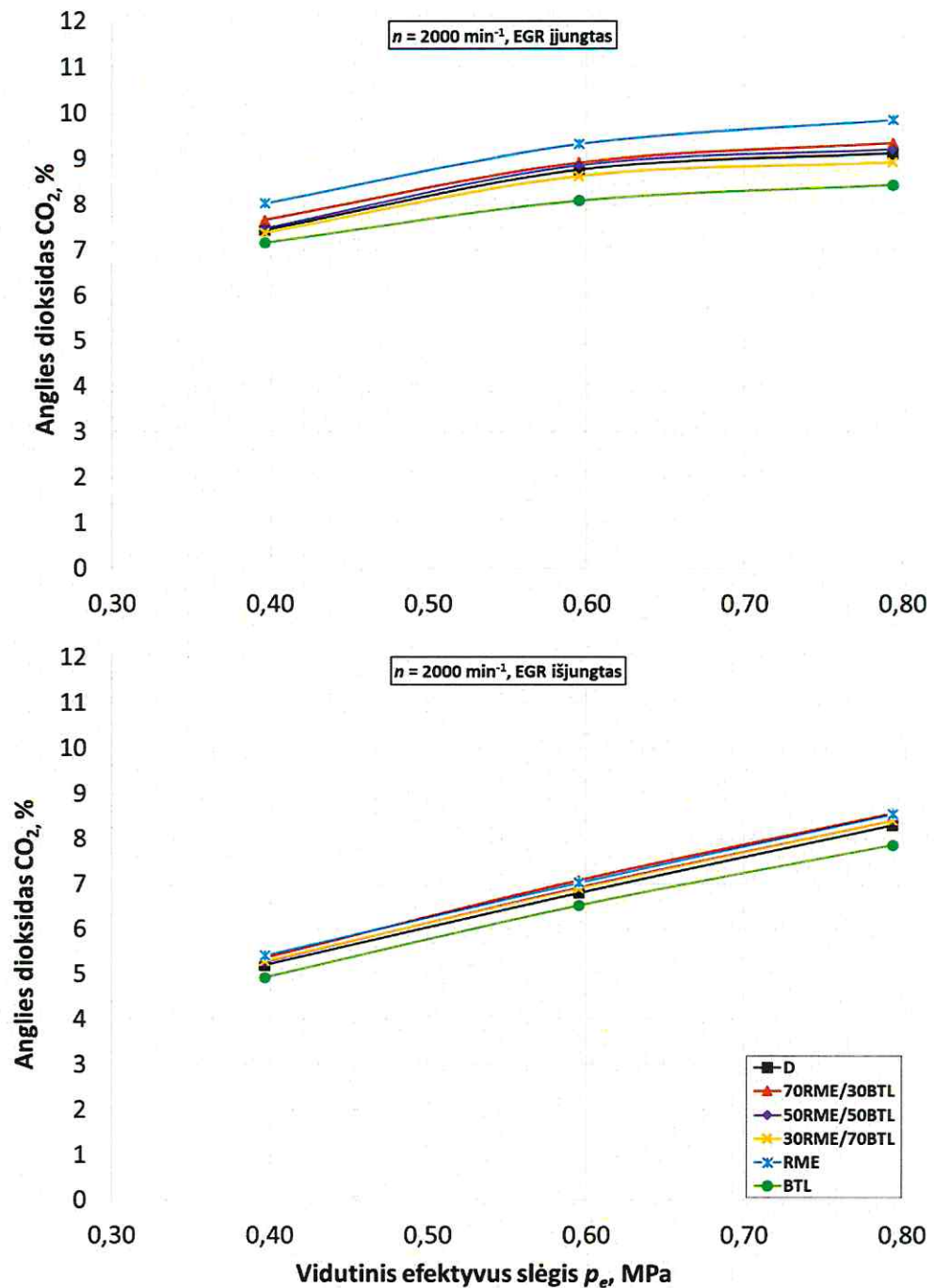
3.10 pav. Efektyvusis naudingumo koeficientas

Nustatyta, kad siekiant padidinti η_e reikia ankstinti degalų įpurškimo paskubos kampą iki 12° AV (3.11 pav.), bet keičiant degalų įpurškimo paskubos kampą nuo 4° AV iki 12° AV išauga visų degalų NO_x emisijos (BTL degalų NO_x koncentracija padidėja 2,3 karto). EGR variklio veikimo efektyvumą nežymiai ($\sim 2,1\%$) mažino (3.10 pav.)



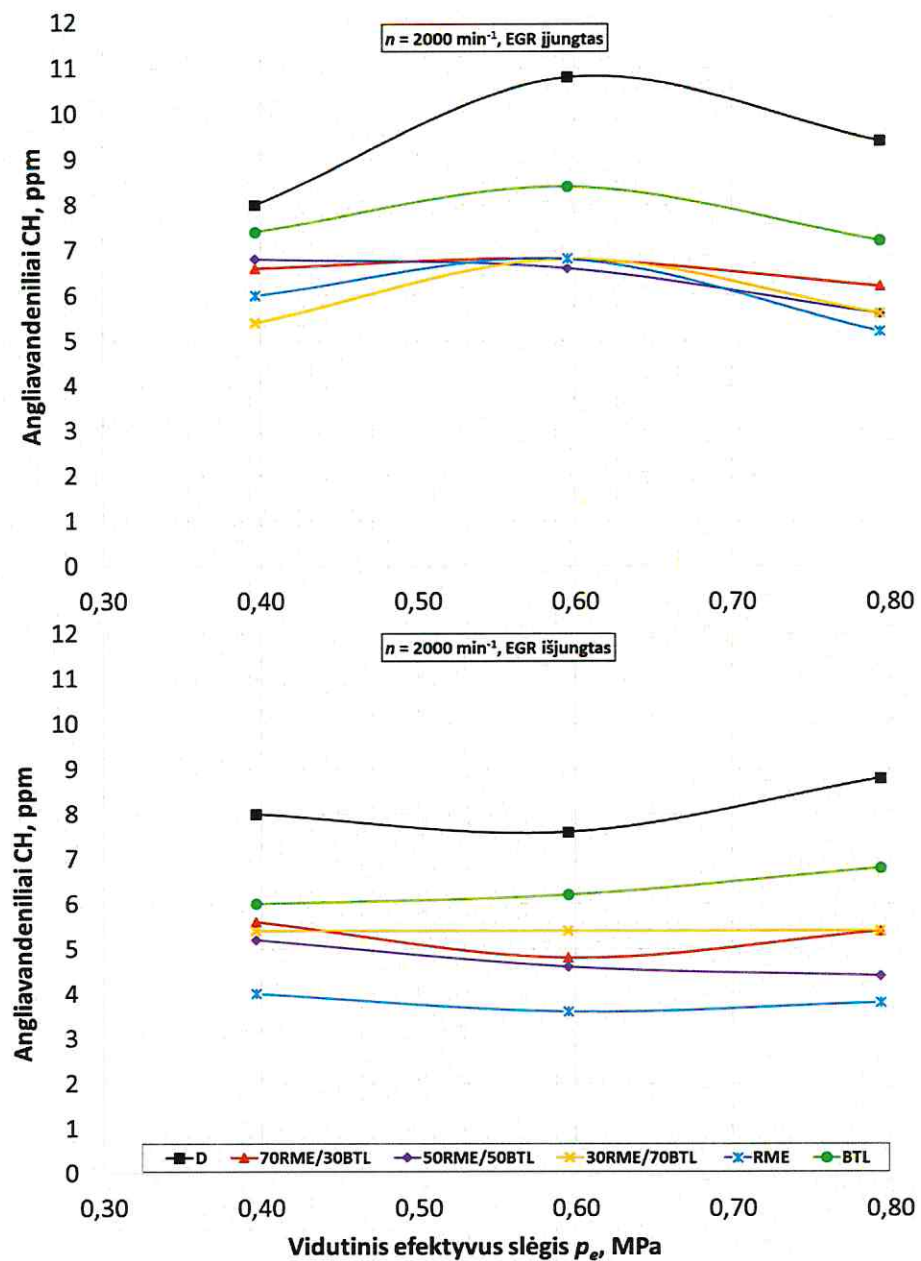
3.11 pav. Efektyvusis naudingumo koeficientas keičiant degalų įpurškimo paskubos kampą

Iš gautų ekologinių rodiklių galime pastebėti, kad varikliui veikiant visais degalų mišiniais su uždarytu EGR, anglies dioksido (CO_2) emisijų vertės užfiksuotos ~19 % mažesnės, nei varikliui veikiant su atidarytu EGR. BTL emisijos, esant uždarytam deginių recirkuliacijos vožtuvui, yra ~4,9 % mažesnės už D, RME ~3,3 % didesnės už D (3.12 pav.). Esant atidarytam EGR, BTL emisijos yra ~6,5 % mažesnės už D, o RME emisijos ~7,3 % didesnės už D. Naudojant BTL CO_2 koncentracija yra mažesnė, nes degaluose yra mažiausias C/H santykis bei mažesnės degalų sąnaudos. Įjungus EGR, cilindre sumažėja deguonies kiekis, krenta degimo temperatūra ir tai blogina angliavandenilių oksidaciją.



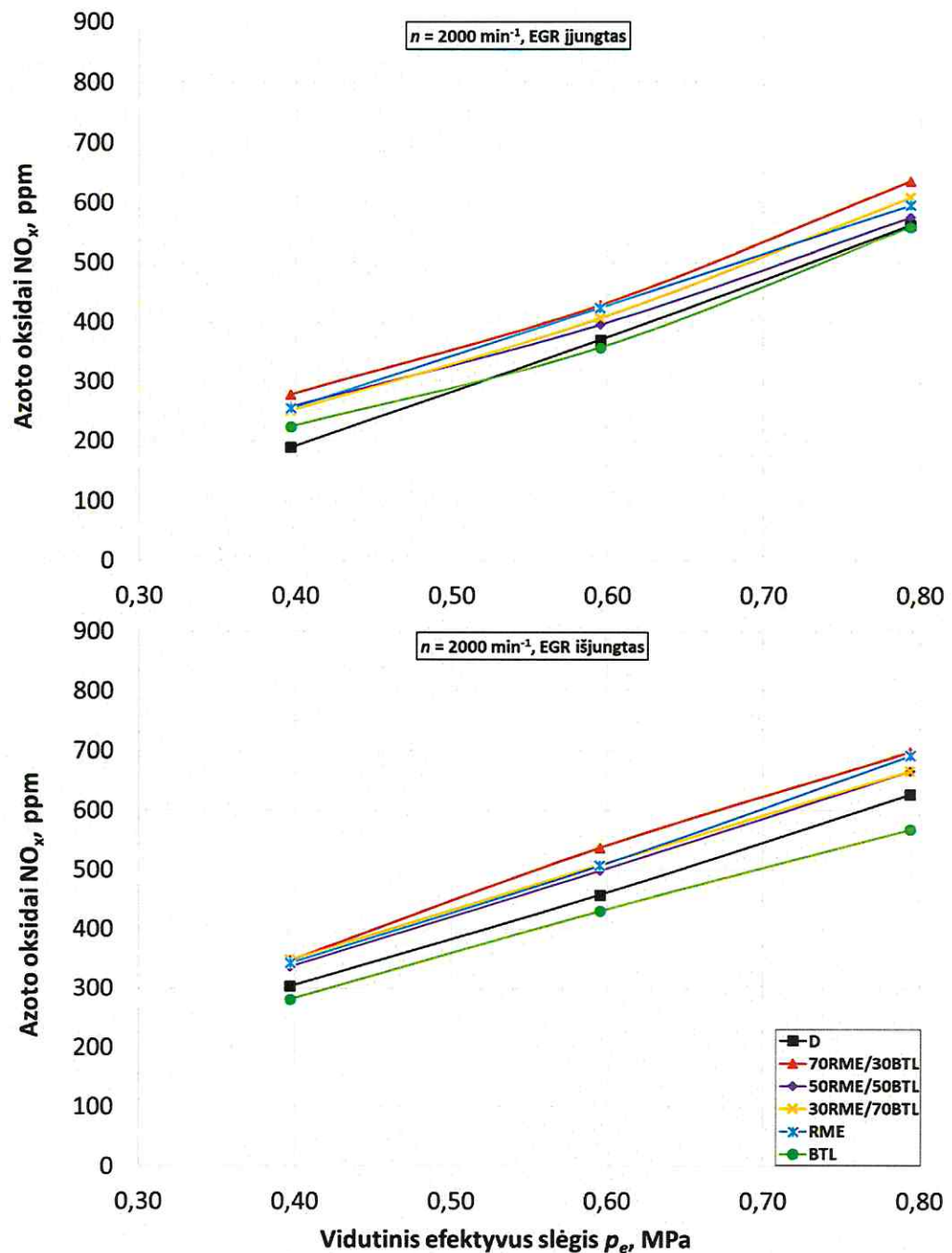
3.12 pav. CO₂ koncentracija

Iš gautų CH emisijų rezultatų, galime pastebėti, kad visų biodyzelino mišinių angliavandenilių emisijų vertės yra mažesnės už D (3.13 pav.), nes, dėl trumpesnės angliavandenilių molekulinės grandinės, angliavandeniliai geriau sudega. Daugiausia CH emisija sumažėja (~44 %) naudojant RME degalus. Esant išjungtam EGR, CH emisijų vertės yra ~19,6 % mažesnės negu su įjungtu EGR. Iš gautų CH emisijų matome, kad varikliui dirbant su atidarytu EGR ir sumažėjus degimo temperatūrai žymiai padidėja šių emisijų koncentracijos, bet sumažėja NO_x emisijos.



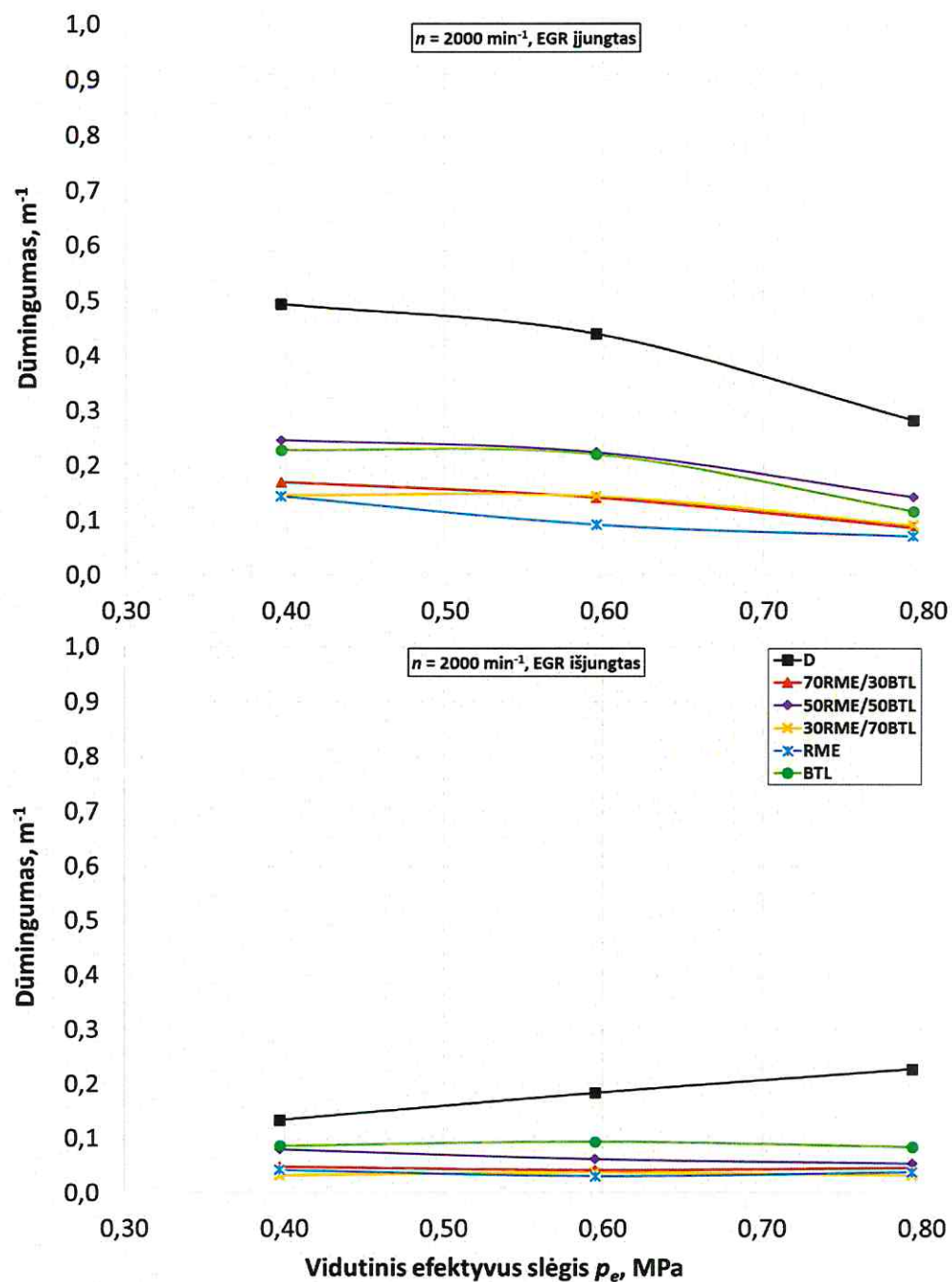
3.13 pav. CH koncentracija

NO_x emisijų rezultatai (3.14 pav.) parodė, kad varikliui veikiant su uždarytu EGR, BTL degalų NO_x koncentracija yra ~7,9 % mažesnė už D ir ~17 % mažesnė už RME. BTL emisijos mažiausios, nes degalai turi didžiausią CS, o tai sumažina užsidegimo gaišties periodą bei degimo intensyvumą ir temperatūrą kinetinėje degimo fazėje. Esant atidarytam EGR, BTL NO_x emisija buvo artima D degalų tačiau ~12 % mažesnė už RME. Esant uždarytam EGR visų tyrime naudotų mišinių NO_x emisijos padidėja ~19,6 %. Naudojant RME degalus ar jų mišinius NO_x emisijos išaugo, nes RME sudėtyje esantis deguonis didina degimo temperatūrą ir aktyvina ore esančio azoto oksidaciją.



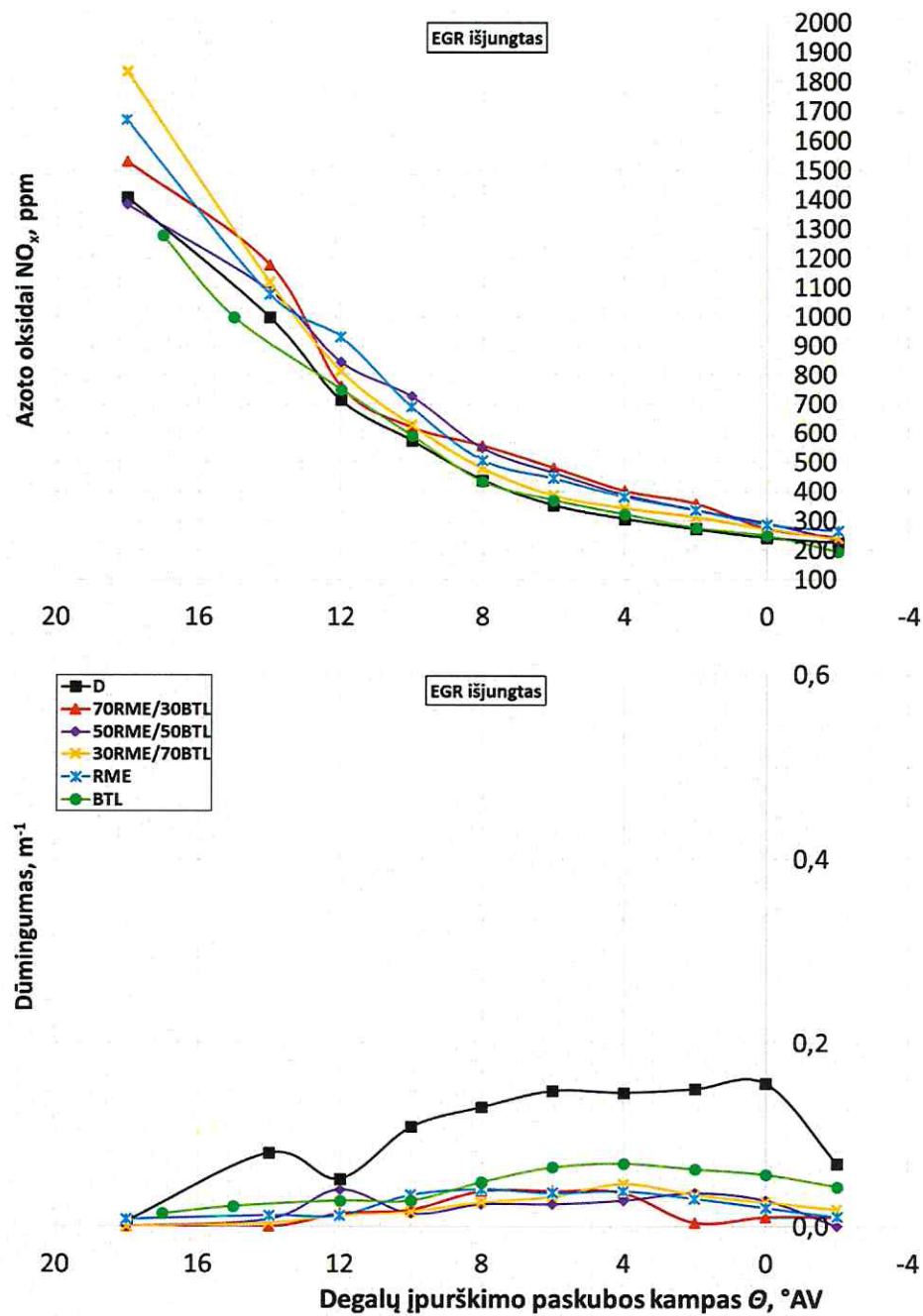
3.14 pav. NO_x koncentracija

Didžiausias dūmingumas užfiksuotas naudojant mineralinį dyzeliną (3.15 pav.; 3.16 pav.). Esant įjungtam EGR mažiausias dūmingumas nustatytas varikliui veikiant RME degalais (~75 % mažesnis už D). BTL degalų dūmingumas yra didesnis, dėl aukšto degalų CS. BTL degalai anksti užsiliepsnoja ir neturi laiko susimaišyti su oru. Esant išjungtam EGR, mažiausias dūmingumas buvo naudojant degalų mišinį 30RME/70BTL ir RME degalus (~80 % mažesnis už D). Su išjungtu EGR dūmingumas ~60 % mažesnis nei su įjungtu EGR, nes, įjungus EGR, sumažėjo deguonies koncentracija cilindre bei degimo temperatūra.



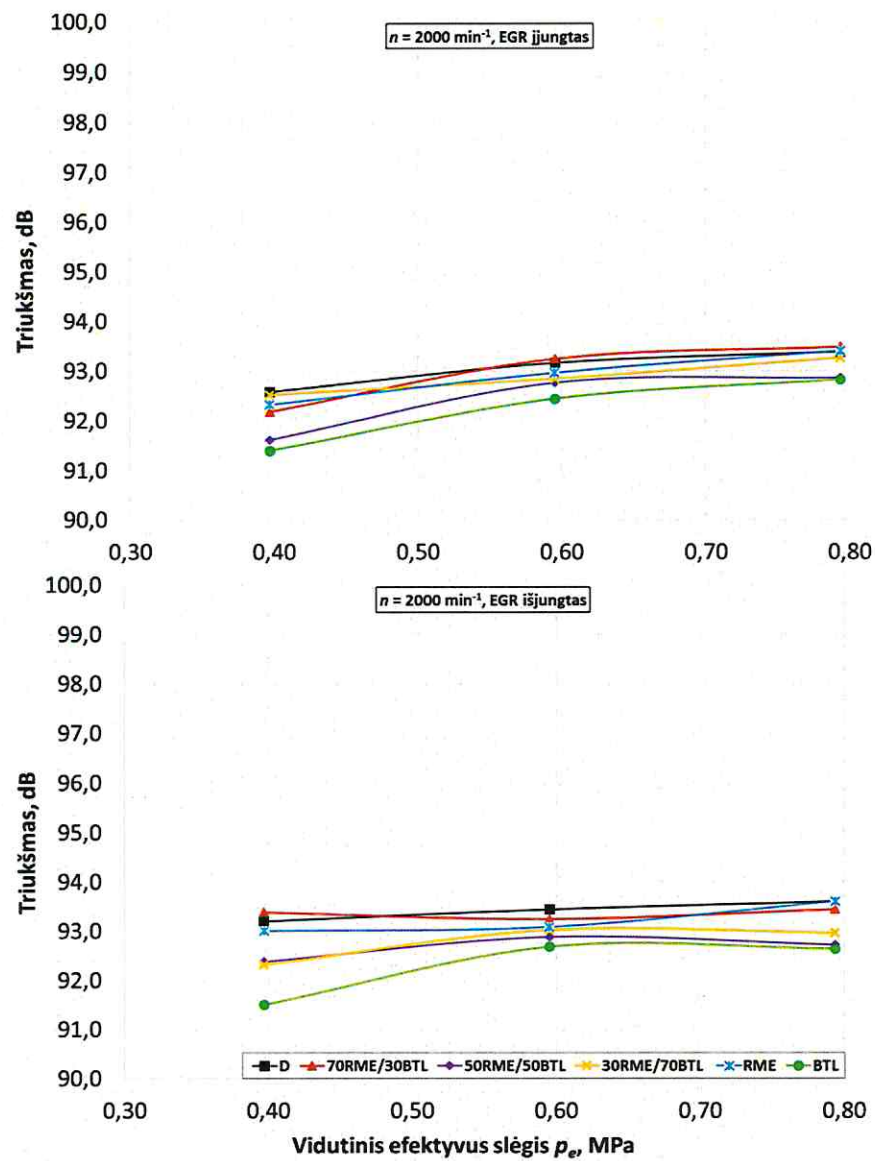
3.15 pav. Dūmingumo koncentracija

Ankstinant degalų įpurškimo paskubos kampą azoto oksidų koncentracija smarkiai padidėja, taip pat padidėja ir dūmingumo koncentracija. Ankstinant degalų įpurškimo paskubos kampą θ iki 12° azoto oksidų koncentracija padidėja iki 3 kartų (3.16 pav.).

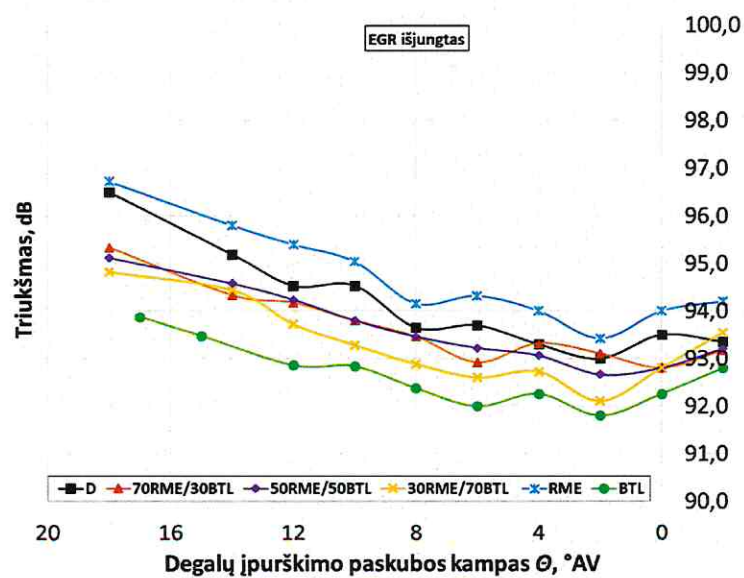


3.16 pav. NO_x ir dūmingumo koncentracijos keičiant degalų įpurškimo paskubos kampą

Triukšmo rezultatai (3.17 pav.) parodė, kad mažiausias triukšmas yra varikliui veikiant BTL degalais. Šių degalų tankis yra mažiausiais palyginus su kitais tirtais degalais, taip pat didesnis degalų masės apatinis šilumingumas, todėl degalai lengviau užsiliepsnoja ir variklis dirba tyliau. Keičiant degalų įpurškimo kampą variklio triukšmas pradeda didėti (3.18 pav.).

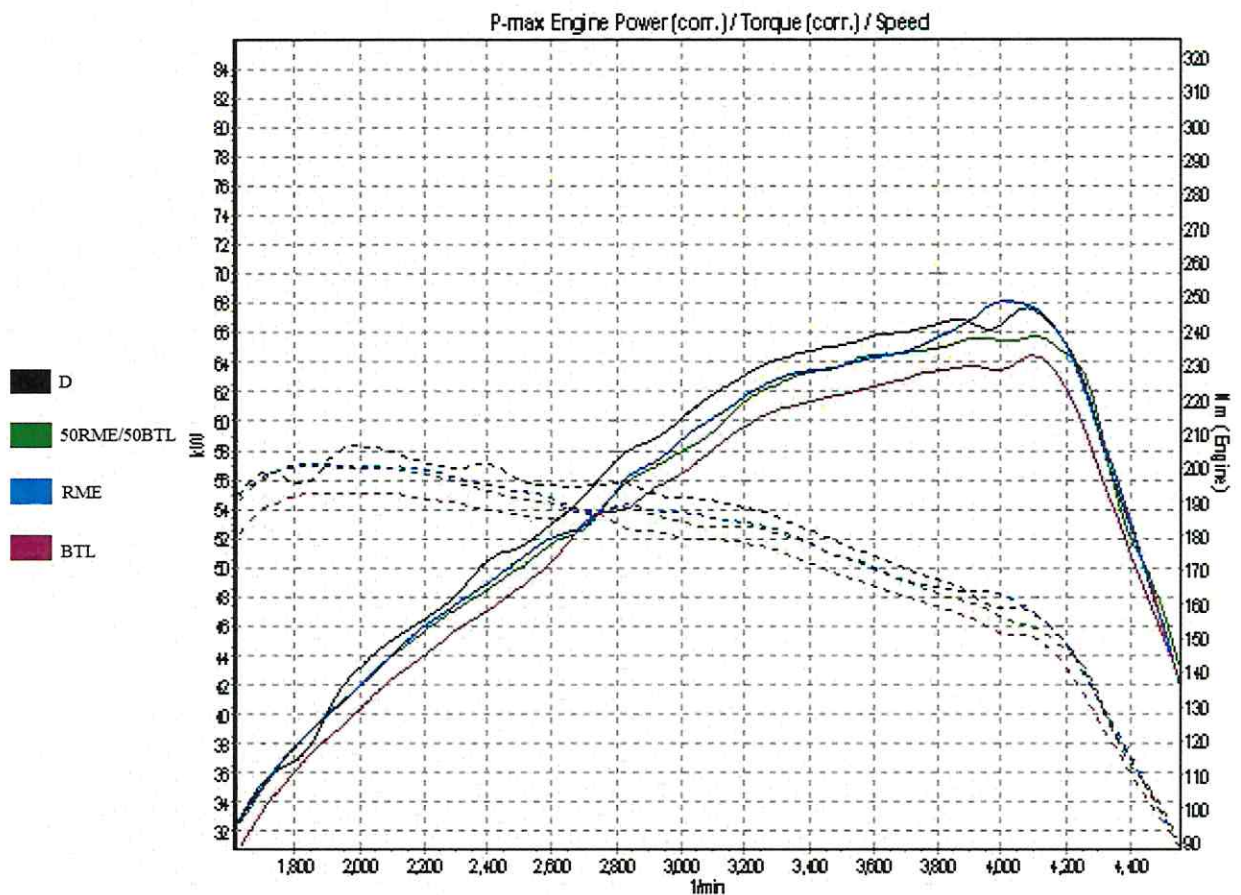


3.17 pav. Variklio triukšmas



3.18 pav. Variklio triukšmas keičiant degalų įpurškimo paskubos kampą

Naudojant kompiuterizuotą automobilių traukos stendą ir VW GOLF 1,9 66kW (1Z tipo variklis) automobilį buvo atlikti galios bandymai su skirtingais keturiais degalų mišiniais: D, BTL, RME, 50RME/50BTL. Tyrimai buvo atlikti naudojant traukos stendą CARTEC LPS 2510. Tyrimo metu gauti rezultatai pateikiami 3.19 pav.



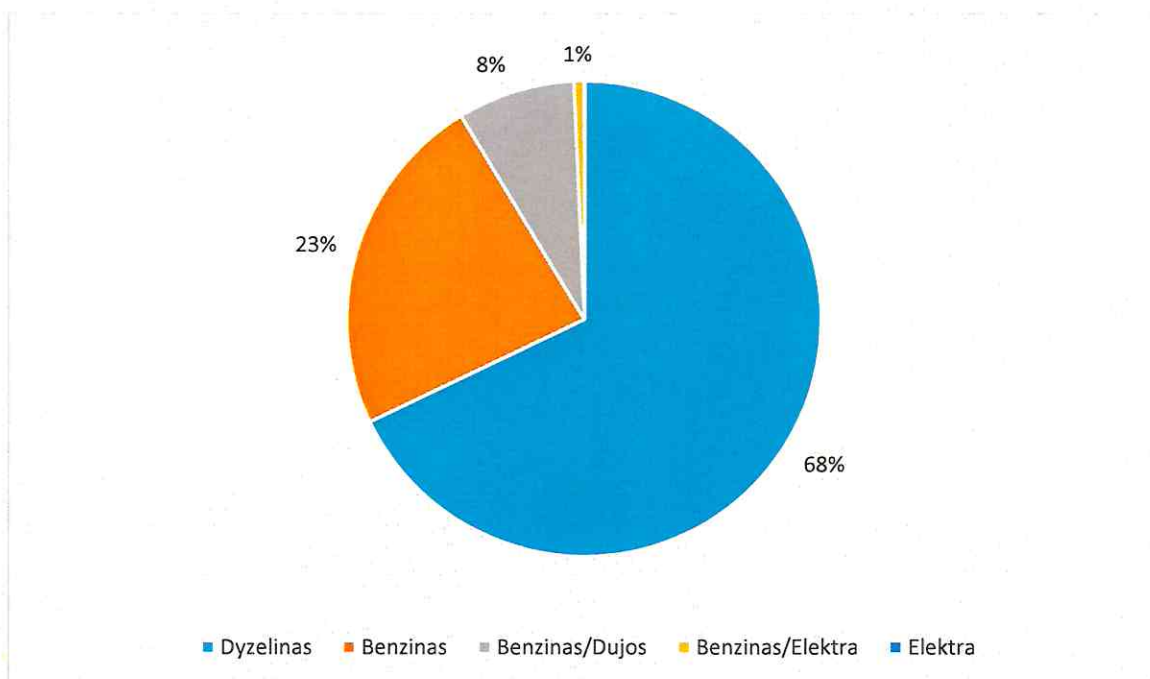
3.19 pav. Galios bandymų rezultatai

Iš gautų galios rezultatų matome, kad mažiausia galia yra naudojant BTL degalus, kuriuos naudojant galia sumažėjo ~5% lyginant su dyzelinu. Iki $\sim 3800 \text{ min}^{-1}$ didžiausia galia gaunama su D degalais. Didžiausia galia esant 4000 min^{-1} gaunama su RME degalais. Galimai tokie rezultatai gaunami dėl degalų sudėties. RME degalų sudėtyje yra iki 12 % deguonies, deguonis duoda teigiamą poveikį veikiant maksimaliai riebiam degalų mišiniui, kas pagerina degalų degimą.

4. EKONOMINIS EFEKTYVUMAS

4.1. Įsipareigojimai oro taršos mažinimui

Remiantis VĮ „Regitra“ balandžio mėnesio duomenimis Lietuvoje registruotų transporto priemonių neįskaitant O kategorijos transporto priemonių yra ~1,5 mln. Lietuvos transporto priemonių parkas pagal amžių yra gan senas: ~33 % transporto priemonių 11–15 metų senumo, ~29% transporto priemonių 16–20 metų. Didžioji dalis registruotų transporto priemonių yra lengvieji automobiliai. Remiantis pateiktais duomenimis apie įregistruotas M1 klasės transporto priemones pagal degalų rūšį iki 2018 m. balandžio 1 d. (4.1 pav.), matome, kad didžioji dalis registruotų M1 klasės transporto priemonių yra dyzelinės transporto priemonės, kurios sudaro net 68 % (*Transporto priemonės 2018*).



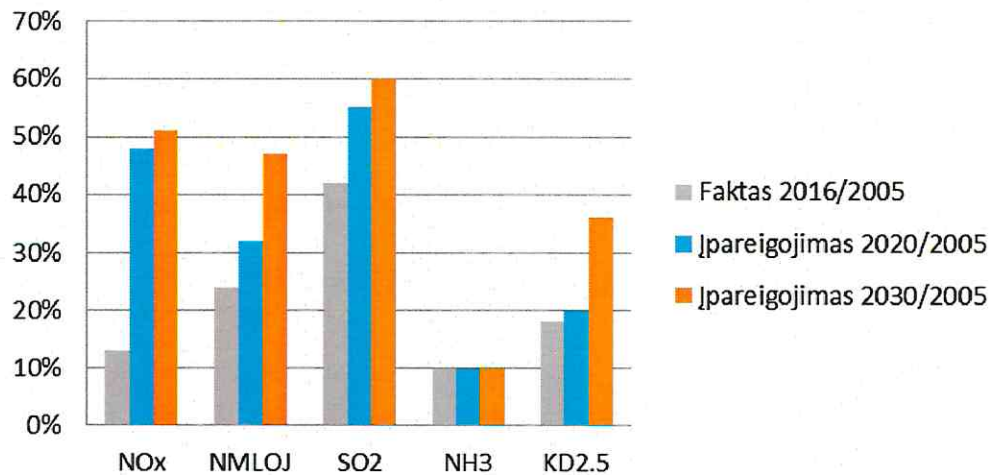
4.1 pav. Lietuvoje įregistruotų M1 klasės lengvųjų automobilių skaičius pagal degalų rūšį iki 2018 m. balandžio 1 d.

Lietuvoje dyzelinių automobilių populiarumas išlieka labai didelis: remiantis VĮ „Regitra“ duomenimis M1 klasės transporto priemonių, kurių kuro rūšis dyzelinas, 2017 m. įregistruota 13,8 % daugiau negu 2016 m.

Mobilieji taršos šaltiniai yra vienas didžiausių taršos sukėlėjų Lietuvoje. Aplinkos apsaugos agentūros duomenimis didžiausias NO_x teršalų šaltinis 2016 m. buvo kelių transportas – 59 %, pramonė – 11 %, elektra ir šilumos gamyba – 8 %. Didžiausi kietųjų dalelių teršalų šaltiniai 2016 m.: namų ūkis – 52 %, transportas – 25 %, veikla žemės ūkyje – 7 %.

Lietuva yra įsipareigojusi mažinti taršą. Nacionalinių oro teršalų direktyvoje numatyta, kad Lietuva iki 2020 m. lyginant su 2005 m., turi sumažinti SO₂ emisijas 55 %, NO_x 48 %, kietųjų

dalelių emisijos turi sumažėti 20 %. Iki 2030 m. SO₂ emisijos turi sumažėti 60 %, NO_x 51 %, kietųjų dalelių emisijos turi sumažėti 36 % (*Nacionalinės oro teršalų...* 2018).



4.2 pav. Įsipareigojimai oro taršos sumažinimui (*Nacionalinės oro teršalų...* 2018)

Iš Aplinkos apsaugos agentūros pateiktos informacijos apie oro taršos mažinimą (4.2 pav.) galime pastebėti, kad sunkiausiai sekasi mažinti NO_x emisijas, todėl šiems teršalams reikia skirti didžiausią dėmesį. Šiame tyrime buvo nustatyta, kad BTL degalų NO_x koncentracija yra ~7,9 % mažesnė už D, todėl šių degalų naudojimas padėtų vykdyti įsipareigojimus oro taršos mažinimui.

Kiekvienai metais skiriamas didelis dėmesys transporto priemonių skleidžiamai taršai, ypač daug dėmesio sulaukia naujų transporto priemonių gamintojai. Siekiant tinkamai reguliuoti naujai gaminamų transporto priemonių išmetamųjų teršalų emisijas, naujai pagamintos transporto priemonės turi atitikti tipo patvirtinimo reikalavimus, kurie turi būti suderinti skirtingose valstybėse, kad būtų užtikrinamas didelis aplinkos apsaugos lygis. Siekiant sumažinti motorinių transporto priemonių keliamą taršą yra priimamos direktyvos, reglamentai nustatantys reikalavimus naujų transporto priemonių gamintojams. Transporto priemonių gamintojai turi užtikrinti, kad bendrijoje parduodamos ir registruojamos transporto priemonės atitinka joms taikomus reikalavimus ir užtikrinti, kad būtų laikomasi tipo patvirtinimo procedūrų.

Nors yra daug aplinkos taršos mažinimą reglamentuojančių direktyvų, reglamentų ir kitų teisės aktų, visgi tiksliai įvertinti aplinkos taršos poveikį ūkiui, žmonių sveikatai yra sudėtinga, kadangi iš aplinkos taršos sukeliama globalinio atšilimo sąlygojamų oro permmainų, ūkiai, verslai patiria nuostolį, kuris gali būti sąlygojamas ir kitų veiksnių, o žmonės susiduria su sveikatos problemomis ir įvairiomis ligomis, kurių pagrindinį sukėlėją irgi nustatyti sunku.

4.2. Taršos mokesčio skaičiavimas

Lietuvoje išmetamieji į aplinką teršalai yra apmokestinami vadovaujantis Lietuvos Respublikos mokesčio už aplinkos teršimą įstatymu. Mokestis už aplinkos teršimą iš mobiliųjų

taršos šaltinių, išskyrus oro transporto priemones, mokamas už mokesčio mokėtojo mobiliuosiuose taršos šaltiniuose Lietuvos Respublikoje ir kitose valstybėse įsigytus degalus, bet Lietuvoje sunaudotus per mokestinį laikotarpį – kalendorinius metus sunaudotą degalų kiekį tonomis. Jeigu apskaita vykdoma litrais, kiekis iš tūrio vienetų turi būti perskaičiuojamas į masės vienetus taikant perskaičiavimo koeficientą, kuris yra nustatomas pagal gamintojo kokybės pažymėjime nurodytą degalų tankį. Jeigu nėra tikslaus perskaičiavimo koeficiento degalų kiekiui perskaičiuoti iš litrų į tonas, naudojami tokie perskaičiavimo koeficientai: benzinui – 0,75, dyzelinui – 0,84, suskystintoms naftos dujoms – 0,54, suslėgtoms gamtinėms dujoms – 0.69 (*Mokestis už aplinkos...* 2016).

Už aplinkos teršimą iš mobilių taršos šaltinių turi mokėti fiziniai ir juridiniai asmenys, teršiantys aplinką iš ūkinei ir komercinei veiklai naudojamų mobiliųjų taršos šaltinių. Šiam mokesčiui yra taikomos lengvatos ir nuo jo yra atleidžiami:

1) fiziniai ir juridiniai asmenys, teršiantys iš transporto priemonių, kuriose įrengtos ir veikia išmetamųjų dujų neutralizavimo sistemos. Asmenys norintys būti atleisti nuo šio mokesčio turi pateikti dokumentus (pažymą, tipo atitikties sertifikatą, atitikties liudijimą ir kt.) kurie įrodytu, kad transporto priemonėje yra sumontuota išmetamųjų dujų neutralizavimo sistema ir šie dokumentai turi būti pateikiami su galiojančia privalomosios techninės apžiūros dokumentu. Jeigu transporto priemonė varoma benzinu – gali būti pateikiamas techninės apžiūros įmonės išduota techninės apžiūros rezultatų kortelė, kurioje yra nurodyta anglies monoksido (CO) koncentracija ir ji neturi viršyti nustatytų normų. Taip pat mokesčio nereikia mokėti M1 ir N1 klasės transporto priemonėms su dyzeliniu varikliu pirmą kartą registruotoms Europos Sąjungos ir Europos ekonominės erdvės šalyse 2005 metais ir vėliau, kurios atitinka 1998 m. spalio 13 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyvoje 98/69/EEB nustatytus reikalavimus automobiliams su išmetamųjų teršalų norma Euro IV;

2) fiziniai ir juridiniai asmenys, teršiantys iš transporto priemonių, naudojamų žemės ūkio veiklai, jeigu jų pajamos iš šios veiklos sudaro 50 % visų gaunamų pajamų;

3) fiziniai asmenys, kurie verčiasi individualia veikla ir savo veikloje naudoja asmenines transporto priemones;

4) fiziniai ir juridiniai asmenys teršiantys iš transporto priemonių, naudojančių nustatytus standartus atitinkančius biodegalus, ir pateikę biodegalų sunaudojimą patvirtinančius dokumentus.

Skaičiuojant taršos mokestį iš mobiliųjų taršos šaltinių yra taikomi mokesčio tarifai (4.1 lentelė). Skaičiavimui reikalingas mokestinio laikotarpio indeksavimo koeficientas, nustatomas pagal Lietuvos statistikos departamento vartotojų kainų indeksą. Mokesčiui mokėti už 2017 m. buvo taikomas indeksavimo koeficientas 1,182.

4.1 lentelė. Mokesčio tarifai už aplinkos taršą iš mobiliųjų taršos šaltinių

Transporto priemonė	Degalų rūšis	Mokesčio tarifai, Eur/t
Kelių transporto priemonės ir kiti ne keliais judantys mechanizmai su vidaus degimo varikliais.	Benzinas	7
	Dyzelinas	8
	Suskystintos naftos dujos	7
	Suslėgtos gamtinės dujos	6

Skaičiuojant mokestį už aplinkos teršimą iš M2, M3, N2 ir N3 klasės transporto priemonių taikomas tarifų koregavimo koeficientas (4.2 lentelė), nustatytas Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2000 m. sausio 19 d. nutarimu Nr. 53 (*Mokesčio už aplinkos... 2017*).

4.2 lentelė. Mokesčio už aplinkos teršimą iš mobiliųjų taršos šaltinių koregavimo koeficientai

Transporto priemonės apibūdinimas	Koeficientai
Motorinės transporto priemonės turinčios variklį, atitinkantį Tarybos direktyvos 91/542/EEB (EURO I) reikalavimus	0,43
Motorinės transporto priemonės turinčios variklį, atitinkantį Tarybos direktyvos 91/542/EEB (EURO II) reikalavimus	0,37
Motorinės transporto priemonės turinčios variklį, atitinkantį Europos Parlamento ir Tarybos direktyvos 1999/96/EB (EURO III) reikalavimus	0,3
Motorinės transporto priemonės turinčios variklį, atitinkantį Europos Parlamento ir Tarybos direktyvos 1999/96/EB (EURO IV) reikalavimus	0,2
Motorinės transporto priemonės turinčios variklį, atitinkantį Europos Parlamento ir Tarybos direktyvos 2005/55/EB (EURO V) reikalavimus	0,12
Motorinės transporto priemonės turinčios variklį, atitinkantį Europos Parlamento ir Tarybos reglamento (EB) Nr. 595/2009 (EURO VI) reikalavimus	0,08

Mokestis už aplinkos teršimą iš mobiliųjų taršos šaltinių, išskyrus oro transporto priemones apskaičiuojamas pagal 4.1 formulę:

$$M = Q \cdot T \cdot I \cdot k \quad (4.1)$$

čia: M – mokėtinas mokestis už aplinkos teršimą iš mobiliųjų taršos šaltinių (Eur); Q – mobiliuosiuose taršos šaltiniuose per mokestinį laikotarpį sunaudotas degalų kiekis (t); T – mokesčio tarifas (Eur/t); I – mokestinio laikotarpio indeksavimo koeficientas, nustatomas pagal Lietuvos statistikos departamento vartotojų kainų indeksą; k – mokesčio už aplinkos teršimą iš mobiliųjų taršos šaltinių tarifų koregavimo koeficientas, taikomas motorinėms M2, M3, N2 ir N3 klasės transporto priemonėms.

Stendiniai tyrimai buvo atliekami su dyzeliniu varikliu, kuris neatitinka išmetamųjų teršalų normos Euro IV. Tyrimo metu buvo sunaudota 0,05 t gryno dyzelino. Apskaičiuojame taršos mokestį naudojant gryną dyzeliną:

$$M = 0,05 \cdot 8 \cdot 1,182 \approx 0,47 \text{ Eur}$$

Atlikus skaičiavimus nustatyta, kad 0,05 t gryno dyzelino yra apmokestinamas 0,47 Eur taršos mokesčiu.

Atliekame skaičiavimus darydami prielaidą, kad M1 klasės automobilis, neatitinkantis išmetamųjų teršalų normos Euro IV, per metus sunaudoja 1500 l gryno dyzelino:

$$M = \frac{1500 \cdot 0,84}{1000} \cdot 8 \cdot 1,182 \approx 11,91 \text{ Eur}$$

Iš gautų rezultatų matome, kad už vieno automobilio kalendoriniai metais sunaudotą degalų kiekį reikia sumokėti 11,91 Eur. taršos mokestį. Jeigu verslo vienetas (įmonė) turėtų 20 tokių automobilių, taršos mokestis būtų apie 238,30 Eur.

Taip pat atliekame skaičiavimą priimdami, kad įmonė turi 50 N3 klasės transporto priemonių, kurios atitinka EURO III reikalavimus ir darome prielaidą, kad per kalendorinius metus šios transporto priemonės sunaudoja 375000 l degalų. Apskaičiuojame kokį taršos mokestį reikės sumokėti įmonei:

$$M = \frac{375000 \cdot 0,84}{1000} \cdot 8 \cdot 1,182 \cdot 0,3 \approx 893,59 \text{ Eur}$$

Apskaičiavus skirtingų transporto priemonių sunaudotų degalų taršos mokestį, matome, kokį taršos mokestį turėtų mokėti fiziniai arba juridiniai asmenys naudojantys gryną dyzeliną. Lietuvos Respublikos mokesčio už aplinkos teršimą įstatyme yra numatyta mokesčio lengvata ir nuo šio mokesčio yra atleidžiami fiziniai ir juridiniai asmenys, transporto priemonėse naudojantys standartus atitinkančius biodegalus. Taigi, naudojant biodegalus fiziniai ir juridiniai asmenys ne tik, kad nemokėtų taršos mokesčio, bet ir būtų išmetama mažiau teršalų iš transporto priemonių.

4.3. Biodyzelino gamybos kaina

Pirmos kartos biodyzelino gamyba ir šių degalų naudojimas yra ribotas. Dažniausiai šių degalų gamyboje yra naudojami produktai, kurie daro poveikį maisto produktų balansui. Šie degalai yra gaminami ir Lietuvoje – vieni iš didžiausių gamintojų yra UAB „Rapsoila“, UAB „Mestilla“ ir šios įmonės biodyzeliną gamina iš rapsų. Lietuvoje 2015 m. buvo pagaminta 119,5 (tūkst. t) biodyzelino, 2016 – 103,1 (tūkst. t) biodyzelino (*Bioenergetika* 2018). Nemažai šių biodegalų yra eksportuojami į kitas šalis, didžioji dalis eksportuojama į Skandinavijos šalis.

Pirmos kartos biodyzelino gamybos kainai didelę reikšmę turi naudojama žaliava ir jos kaina, kuri sudaro apie 70–95% išlaidų. Žaliavos kaina priklauso nuo žaliavos kiekio, kuriam didelę įtaką duoda žemės ūkyje užauginta žaliava. Numatyti koks bus šios užaugintos žaliavos kiekis labai sudėtinga, nes derlius priklauso nuo gamtos sąlygų ir kitų veiksnių. Užauginta žaliava naudojama ne tik gaminti degalus, bet ir maisto pramonėje. Taip pat gaminamų degalų kainai didelę reikšmę turi degalų gamybos mastas. Remiantis skirtingais šaltiniais, šių degalų gamybos kaina yra apie 0,50 Eur/l (*Biodiesel* 2018). Atlikus pirmos kartos biodyzelino gamybos skaičiavimus (Haas *et al.* 2006) nustatė, kad biodyzelino gamybos kaštai yra 0,53 \$/l.

Tyrėjai atliko skaičiavimus ir apskaičiavo pirmos ir antros kartos biodyzelino pardavimo kainą. Tyrėjų skaičiavimais pirmos kartos biodyzelino kaina turėtų būti apie 1,28 Eur/l, o antros kartos biodyzelino kaina turėtų būti apie 1,94 Eur/l (Boutesteijn *et al.* 2017). Daugelyje šalių šių degalų gamybai, žaliavos auginimui bei degalų pardavimui taikomos subsidijos. Kai kurios šalys buvo panaikinusios pirmos kartos biodyzelino degalų mokestį, todėl šių degalų pardavimo kaina degalinėse 2005 m. buvo 0,85–0,90 Eur už litrą.

Pagal EP ir ET ILUC direktyvą (ES) 2015/1513 pirmos kartos biodegalų gamybą siūloma riboti ir į planuojamą 10 % biodegalų rodiklį įskaičiuoti 7 % šių degalų, o likusius 3 % naudoti antros kartos biodegalus. Didėjantis dėmesys antros kartos biodyzelinui ir mažėjančios ES skiriamoms subsidijos įmonėms, gaminančioms pirmos kartos biodyzeliną, daro įtaką gaminamo pirmos kartos biodyzelino kiekiui, todėl šių degalų gamintojai ieško naujų veiklų tokių kaip aliejaus gamyba. Įmonėms norinčioms gaminti antros kartos biodyzeliną reikalingos labai didelės investicijos ir be didelės valstybių paramos, arba didelio nuosavo kapitalo, įsigyti naujai įrangai, įmonės neturi galimybės gaminti antros kartos biodyzeliną.

Antros kartos biodyzelino (BTL) degalų kaina priklauso nuo išlaidų tenkančiai šių degalų gamybai, didžiąją kainos dalį sudaro biomasės išlaidos ir išlaidos tenkančios biomasės transportavimui. Šių degalų gamyba susideda iš biomasės išlaidų, biomasės transportavimo, saugojimo, degalų gamybos. Norėdami išsiaiškinti BTL degalų gamybos kainą tyrėjai atliko tyrimus kurie pateikiami 4.3 lentelėje.

4.3 lentelė. BTL degalų gamybos kaštai (Sunde *et al.* 2011)

Straipsnis	Žaliava	BTL litro kaina (Eur)	Dyzelino litro kaina (Eur)
Van Vliet et al. (2009)	Miško atliekos	1,12	0,41
Van Vliet et al. (2009)	Salixas	0,7–0,85	0,41
The German Energy Agency (2006)	Mediena	0,7–1,05	-
Seiler et al. (2010)	Mediena	0,7–1,2	-

Atlikus pirmos ir antros kartos biodyzelino gamybos savikainos apžvalgą, matome, kad pirmos kartos biodyzelino gamybos kaina yra apie 0,50 Eur. Antros kartos biodyzelino gamybos kaina yra nuo 0,7 Eur iki 1,2 Eur, degalų gamybos savikainai didelę reikšmę turi naudojama žaliava degalų gamyboje, jos kiekis ir brangesnė pačių degalų gamyba. Antros kartos biodyzelino gamybos kaina yra apie 2 kartus didesnė už pirmos kartos biodyzelino ir iki 3 kartų didesnė už dyzelino savikainą. Tyrėjai atliko skaičiavimus ir nustatė, kad pirmos kartos biodyzelino pardavimo kaina turėtų būti apie 1,28 Eur/l, antros kartos biodyzelino – 1,94 Eur/l. Rezultatai parodo, kad biodyzelino gamybos ir pardavimo kaina yra žymiai didesnė už dyzelino. Jeigu antros kartos biodyzelino gamyba būtų labiau išplėtota ir jų gamintojams būtų suteikiama parama šių degalų gamybai ar įrangos jai gaminti atnaujinimui, galimai šių degalų gamybos kaina būtų mažesnė. Taip pat, turėtų būti lengvatos šių degalų pardavimui.

IŠVADOS

1. BTL degalų masės sąnaudos iki 4,2 % mažesnės už D, RME degalų masės sąnaudos iki 12,3 % didesnės už D. Pagrindinė degalų masės sąnaudų skirtumo priežastis – BTL degalų masės apatinis šilumingumas 16,4 % didesnis lyginant su RME ir 1,8 % didesnis už D.
2. BTL tūrinės sąnaudos ~1,7 % didesnės už D, RME degalų tūrinės sąnaudos iki 5,9 % didesnės už D. Degalų tūrinių sąnaudų skirtumai yra maži, nes tokius rezultatus kompleksiškai lemia degalų tankis ir šilumingumas bei degimo efektyvumas. RME degalų tankis yra didžiausias – 6,2 % didesnis už D ir 12,8 % didesnis už BTL.
3. Dėl efektyvesnio biodyzelino degimo, šių degalų bei jų mišinių naudingumo koeficientas yra didesnis už D, nors η_e skirtumai yra maži. Efektyviausių BTL degalų η_e ~2,6 % viršija dyzelino efektyvumą. EGR variklio veikimo efektyvumą nežymiai (~2,1 %) sumažino, nes sumažėjo deguonies koncentracija degalų mišinyje ir pablogėjo degimas.
4. Naudojant BTL degalus nustatyta mažiausia CO₂ emisija (~6,5 % mažesnės už D), naudojant RME CO₂ emisijos išauga (~7,3 % didesnės už D). Su uždarytu EGR visų degalų CO₂ emisijų vertės užfiksuotos ~19 % mažesnės. Naudojant BTL, CO₂ koncentracija yra mažesnė, nes degaluose yra mažiausias C/H santykis ir mažesnės degalų sąnaudos.
5. Visų biodyzelino mišinių CH emisijų vertės yra mažesnės už D. Labiausiai CH emisija sumažėja (~44 %) naudojant RME, nes jų sudėtyje yra O₂, kuris gerina degimo procesą.
6. BTL degalų NO_x koncentracija yra ~7,9 % mažesnė už D ir ~17 % mažesnė už RME, nes BTL degalai turi didžiausią CS ir tai sumažina užsidegimo gaisties periodą, degimo intensyvumą ir temperatūrą kinetinėje degimo fazėje. Naudojant RME degalus ar jų mišinius, NO_x emisijos išaugo, nes RME sudėtyje esantis deguonis didina degimo temperatūrą ir aktyvina ore esančio azoto oksidaciją. Esant uždarytam EGR, visų tyrime naudotų mišinių NO_x emisijos padidėja ~19,6 %.
7. Mažiausias dūmingumas nustatytas naudojant RME degalus ir jų mišinius (~75 % mažesnis už D), nes šių degalų sudėtyje yra deguonies. Nors BTL degalų C/H santykis yra mažiausias, šių degalų dūmingumas yra didesnis, nes dėl aukšto CS BTL degalai anksti užsiliepsnoja ir neturi laiko susimaišyti su oru. Su įjungtu EGR dūmingumas ~60 % didesnis dėl sumažėjusios deguonies koncentracijos cilindre bei degimo temperatūros.
8. Didžiausia variklio galia pasiekta naudojant D, naudojant alternatyvius degalus galia mažėja, nes mažėja degalų energetinė vertė. Naudojant BTL galia sumažėja ~5 %.
9. Atlikus biodyzelino gamybos savikainos analizę, nustatyta, kad BTL gamybos kaina yra apie 2 kartus didesnė už RME degalų ir iki 3 kartų didesnė už dyzelino savikainą. Jeigu būtų labiau išplėtotą II kartos biodyzelino gamyba ir būtų skiriama parama šių degalų gamintojams, tikėtina, kad degalų gamybos kaina būtų mažesnė, sumažėtų taršos mokestis.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1985 m. Vienos konvencija dėl ozono sluoksnio apsaugos. Valstybės žinios. 1998-03-06, Nr. 23-570.

Aatola, H.; Larmi, M.; Sarjovaara, T.; Mikkonen, S. 2008. Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NO_x, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine, *SAE Technical Paper* [interaktyvus]. [žiūrėta 2018 m. gegužės 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.etipbioenergy.eu/images/SAE_Study_Hydrotreated_Vegetable_Oil_HVO_as_a_Renewable_Diesel_Fuel.pdf>.

Advanced Biofuels USA. *What's the Difference between Biodiesel and Renewable (Green) Diesel* [interaktyvus]. [žiūrėta 2018 m. balandžio 4 d.]. Prieiga per internetą: <https://advancedbiofuelsusa.info/wp-content/uploads/2011/03/11-0307-Biodiesel-vs_Renewable_Final_3_-JJY-formatting-FINAL.pdf>.

Aplinkos apsaugos agentūra. *Nacionalinės oro teršalų apskaitos ataskaitos* [interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2018 m. gegužės 5 d.]. Prieiga per internetą: <<http://oras.gamta.lt/cms/index?rubricId=aaa6bf9f-634d-49e5-9189-47e5f4def4d7>>.

Baltoji knyga 2011. Bendros Europos transporto erdvės kūrimo planas. Konkurencingos efektyviu išteklių naudojimu grindžiamos transporto sistemos kūrimas. Briuselis. KOM(2011) 144 galutinis.

Boutesteijn, C.; Drabik, D.; Venus, T. J. 2017. The interaction between EU biofuel policy and first - and second - generation biodiesel production, *Industrial Crops and Products* 106: 124–129.

Butkus, A. 2007. *Vidaus degimo varikliai*. Vilnius: Technika.

Denafas, G. 2000. *Atmosferos apsauga*. Kaunas: Technologija.

European Biomass Industry Association. *Biodiesel* [interaktyvus]. [žiūrėta 2018 m. balandžio 5 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.eubia.org/cms/wiki-biomass/biofuels-for-transport/biodiesel/>>.

Europos Parlamento ir Tarybos 2009 m. birželio 18 d. reglamentas (EB) Nr. 595/2009 dėl motorinių transporto priemonių ir variklių tipo patvirtinimo atsižvelgiant į sunkiųjų transporto priemonių išmetamų teršalų kiekį (euro VI) ir dėl galimybės naudotis transporto priemonių remonto ir priežiūros informacija. (2009) OJ, L188/1.

Gerigk, *et al.* 2006. *Automobiliai*. Kaunas: UAB „Jotema“.

Hass, M. J.; McAloon, A. J.; Yee, W. C.; Foglia, T. A. 2006. A process model to estimate biodiesel production costs, *Bioresource Technology* 97: 671–678.

Hassaneen, A.; Munack, A.; Ruschel, Y.; Schroeder, O.; Krahel, J. 2010. Fuel economy and emission characteristics of Gas-to-Liquid (GTL) and Rapeseed Methyl Ester (RME) as alternative fuels for diesel engines, *Fuel* 97: 125–130.

Jurevičius, V.; Nanevičius, L. 2008. *Automobilio variklis*. Vilnius: Profesinio mokymo metodikos centras.

Lietuvos energetikos institutas. *Biodegalai* [interaktyvus]. [žiūrėta 2018 m. balandžio 4 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.lei.lt/_img/_up/File/atvir/bioenerlt/index_files/Biodegalai_galut.pdf>.

Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba prie Aplinkos ministerijos. *Klimato kaitos priežastys ir pasekmės* [interaktyvus]. [žiūrėta 2018 m. balandžio 22 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.meteo.lt/klimato-kaita>>.

Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerija Alytaus regiono aplinkos apsaugos departamentas. *Mokestis už aplinkos teršimą iš mobiliųjų taršos šaltinių* [interaktyvus]. 2016. [žiūrėta 2018 m. gegužės 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://ard.am.lt/VI/rubric.php3?rubric_id=239>.

Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerija. *Mokesčio už aplinkos teršimą iš mobiliųjų taršos šaltinių tarifų koregavimo koeficientai* [interaktyvus]. 2017. [žiūrėta 2018 m. gegužės 3 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.am.lt/VI/article.php3?article_id=17989>.

Lietuvos Respublikos Aplinkos ministro ir Lietuvos Respublikos finansų ministro 2008 m. liepos 9 d. įsakymas Nr. D1-370/1K-230 „Dėl mokesčio už aplinkos teršimą apskaičiavimo ir mokėjimo tvarkos aprašų patvirtinimo“. Valstybės žinios. 2008-07-12, Nr. 79-3140.

Lietuvos Respublikos žemės ūkio ministerija. *Bioenergetika* [interaktyvus]. [žiūrėta 2018 m. gegužės 8 d.]. Prieiga per internetą: <<http://zum.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/zemes-ir-maisto-ukis/bioenergetika>>.

Mancaruso, E.; Sequino, L.; Vaglieco, B. M. 2013. GTL (Gas To Liquid) and RME (Rapeseed Methyl Ester) combustion analysis in a transparent CI (compression ignition) engine by means of IR (infrared) digital imaging, *Energy* 58: 185–191.

Neste Corporation. *Neste Renewable Diesel Handbook* [interaktyvus]. 2016. [žiūrėta 2018 m. balandžio 4 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.neste.com/sites/default/files/attachments/neste_renewable_diesel_handbook.pdf>.

Ramos, A.; García-Contreras, R.; Armas, O. 2016. Performance, combustion timing and emissions from a light duty vehicle at different altitudes fueled with animal fat biodiesel, GTL and diesel fuels, *Applied Energy* 18: 507–517.

Rutkoviienė, V. D.; Sabienė, N. 2008. *Aplinkos tarša*. Kaunas: Akademija.

Singer, A.; Schröder, O.; Pabst, C.; Munack, A.; Bünger, J.; Ruck, W.; Krahel, J. 2015. Aging studies of biodiesel and HVO and their testing as neat fuel and blends for exhaust emissions in heavy-duty engines and passenger cars, *Fuel* 153: 595–603.

Singh, D.; Subramanian, K. A.; Singal, S. K. 2015. Emissions and fuel consumption characteristics of a heavy duty diesel engine fueled with Hydroprocessed Renewable Diesel and Biodiesel, *Applied Energy* 155: 440–446.

Sunde, K.; Brekke, A.; Solberg, B. 2011. Environmental impacts and costs of woody Biomass-to-Liquid (BTL) production and use – A review, *Forest Policy and Economics* 13: 591–602.

Vilniaus miesto savivaldybė. *Oro užterštumo poveikis sveikatai* [interaktyvus]. [žiūrėta 2018 m. balandžio 22 d.]. Prieiga per internetą: <<http://aplinka.vilnius.lt/lt/index.php/aplinkos-kokybe/oras/uzterstumo-poveikis-sveikatai/>>.

VĮ „Regitra“. *Transporto priemonės* [interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2018 m. gegužės 5 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.regitra.lt/lt/atviri-duomenys/?datayear=2018&dataquery>>.

PRIEDAI

A priedas

2018 m. vykusios konferencijos „Inžinerinės ir edukacinės technologijos“ dalyvio pažymėjimas



PAŽYMĖJIMAS

JUSTAS MARTIŠAUSKAS

Dalyvavo mokslinėje konferencijoje „Inžinerinės
ir edukacinės technologijos“ ir parengė pranešimą
*„Pirmosios ir antrosios kartos biodyzelino mišinių
naudojimo slėginio uždegimo varikliuose
efektyvumo tyrimas“.*

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large circle followed by a series of horizontal strokes and a final vertical stroke, is positioned above the name and title of the official.

Nerijus Varnas
Kolegijos direktorius
2018-02-09

PIRMOSIOS IR ANTROSIOS KARTOS BIODYZELINO MIŠINIŲ NAUDOJIMO SLĖGINIO UŽDEGIMO VARIKLIUOSE EFEKTYVUMO TYRIMAS

Justas Martišauskas, Alfredas Rimkus

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius

Anotacija

Šiame darbe analizuojama naftinės kilmės dyzelino, pirmos (I) kartos biodyzelino (RME – Riebalų rūgščių metilo esteriai), antros (II) kartos biodyzelino (BTL – Biomass to liquid, angl.) ir jų mišinių panaudojimo slėginio uždegimo varikliuose ekologinis bei energetinis efektyvumas. Apžvelgiamos I ir II kartos biodyzelino gamybos technologijos, šių degalų privalumai, trūkumai. Darbe aprašoma tyrimo metodika, pateikiami bandymo metu gauti rezultatai: valandinės degalų masės ir tūrio sąnaudos, lyginamosios efektyviosios degalų masės ir tūrio sąnaudos, efektyvusis naudingumo koeficientas, išmetamų teršalų (CO_2 , HC ir NO_x) koncentracija bei dūmingumas. Atlikta tyrimo rezultatų analizė, pateiktos išvados.

Reikšminiai žodžiai: RME, BTL, teršalai, efektyvumas.

Ivadas

Transportas turi didelę įtaką gyvenimo kokybei, bei ekonomikos augimui. Remiantis ES transporto politikos „Baltąja knyga“ iškastinės naftos gavyba artimiausiais dešimtmečiais mažės, o likusi nafta bus tiekiama iš nepatikimų šaltinių. Norint sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių teršalų emisijas valstybės turi naudoti švaresnę energiją, ieškoti alternatyvių degalų ir stengtis pakeisti iškastinio kuro degalus. ES ragina ženkliai sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą, turi būti užtikrinta, kad iki 2050 m., lyginant su 1990 m., išmetamų teršalų kiekis transporto sektoriuje būtų sumažintas bent iki 60 proc., iki 2030 m. lyginant su 2008 m. šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos turi būti sumažintos 20 proc. (Europos komisija, 2011). Vienas iš didžiausių taršos sukėlėjų yra transportas, ypač didelis dėmesys skiriamas dyzelinėms transporto priemonėms. Lietuvoje populiarumas dyzeliniais automobiliais išlieka labai didelis, remiantis VĮ „Regitra“ duomenimis M1 klasės transporto priemonių, kurių kuro rūšis dyzelinas, 2017 m. įregistruota 13,8 proc. daugiau negu 2016 m.

Mažėjant iškastinio kuro kiekiui, bei brangstant jo gavybai, šiuos degalus bandoma iš dalies arba visiškai pakeisti alternatyviais degalais. Biodegalų naudojimas transporto sektoriuje mažina priklausomybę nuo iškastinio kuro. Taip pat biodegalų naudojimas mažina šiltnamio efektą, efektyviai mažina išmetamų teršalų aplinkai daromą žalą. Šiuo metu dažniausiai naudojami I ir II kartos biodyzelinas, šiais degalais siekiama sumažinti vidaus degimo variklių sukeliamas emisijas (Lietuvos energetikos institutas, 2010).

Biodyzelino panaudojimo efektyvumo apžvalga

Tyrėjai siekia sukurti ir ištirti degalus, kurių gamyboje nebūtų naudojamas iškastinis kuras, degalų gamybos metu būtų išmetama mažiau teršalų, alternatyvių degalų naudojimas būtų mažiau kenksmingas aplinkai. Vidaus degimo varikliuose (VDV) naudojant alternatyvius degalus išmestų mažiau kenksmingų teršalų, bei pagerintu variklio darbą ir ekonomiją, pagrindinė priežastis alternatyvių degalų paieškose, tapti mažiau priklausomiems nuo iškastinio kuro, bei sumažinti VDV sukeliamą aplinkos taršą (Europos komisija, 2011).

Dažniausia I kartos biodyzelinui kaip pagrindinė žaliava yra naudojamas rapsų aliejus, nes degalai pagaminti iš šios medžiagos pasižymi geriausiomis savybėmis. Riebalų rūgščių metilo esteriai (RME) pristatomi kaip atsinaujinantis kuras, šie degalai maišomi su dyzelinu iki 20 % (Singer *et al.*, 2015). Šių degalų apimtys yra ribotos, nes degalų gamybai naudojamos žaliavos, kurios gali būti naudojamos ir žmogaus maisto produktų gamybai. Be to šių degalų gamyba yra brangesnė, palyginus su degalų gamyba iš iškastinių žaliavų (Lietuvos energetikos institutas, 2010).

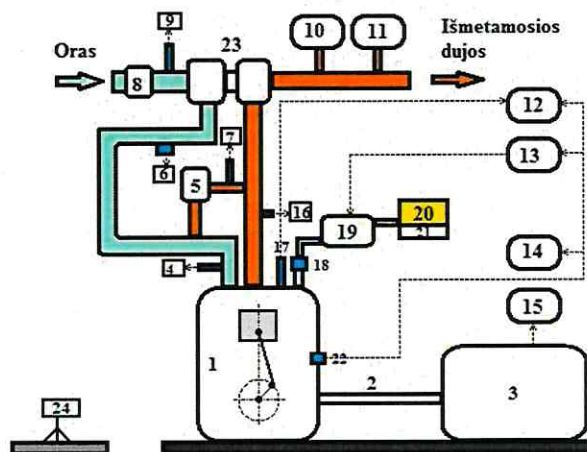
II kartos biodegalai tai degalai, kuriems, kaip žaliava yra naudojama biomasė, tame tarpe ir turinti lignoceliuliozės – medienos bei žemės ūkio atliekos ir kt. II kartos biodegalų gamybai žaliavos kiekiai yra pakankamai dideli, nesusidaro žaliavos atliekos. Dėl parafininių prigimties ir žemos virimo temperatūros, atsinaujinančio dyzelino tankis yra mažesnis negu iškastinio kuro, o degalų tankis turi įtaką variklio galiai bei degalų sąnaudoms (Neste Corporation, 2016). II kartos biodyzelinas gaminamas FT (Fischer-Tropsch, angl.) sintezės būdu, kurio metu sintetinės dujos paverčiamos skystu kuru dažniausia koduojamas kaip Xtl, x - šaltinio žaliavą, TL- pavertimas skysta faze. Žaliava gali būti iš atsinaujinančios biomasės (BTL) arba iškastinio kuro, iš gamtinių dujų (GTL – Gas to liquid, angl.) arba akmens anglies (CTL – Coal to liquid, angl.). Kaip II kartos

biodyzelinas gaminami ir HVO (hidrintas augalinis aliejus) degalai, kurie turi labai aukštą cetaninį skaičių (CS) ir visos kitos savybės yra labai panašios į GTL bei BTL. Cheminės kilmės kuras suteikia geresnes degalų savaiminio užsiliepsnojimo bei degimo charakteristikas, lyginant su I kartos degalais (Mancaruso *et al.*, 2013). Hidrinimu valytas produktas yra modernus būdas gaminti aukštos kokybės biologinius degalus, vietoj I kartos biodyzelino FAME (Fatty acid methyl esters, angl.) ir RME. HVO neturi neigiamo poveikio kaip esterio tipo biodyzelinas, tokio kaip NO_x emisijos, nuosėdų susidarymas, laikymo sąlygų problemos, spartesnis variklio alyvos senėjimas ir blogos šaltų degalų savybės. HVO yra linijinės formos grandinės parafininiai angliavandeniliai, kurie yra be aromatinių junginių ir sieros (Aatol *et al.*, 2008).

Mokslininkai iš viso pasaulio atlieka daugybę tyrimų stengdamiesi sukurti produktą kuriuo galėtų pakeisti naftinės kilmės degalus, tyrėjai atlieka tyrimus su skirtingų gamintojų I bei II kartos biodyzelinu, kurių metu bandoma ištirti jų efektyvumą ir panaudojimo galimybę. Tyrėjai nustatė, kad I ir II kartos biodyzelinas žymiai sumažina kietųjų dalelių, CO ir HC emisijas, bet NO_x emisijos lyginant su dyzelinu padidėja, degalų sąnaudos mažiausios naudojant II kartos biodyzeliną (Singh *et al.*, 2015). Analizuojant degalų degimo raidą ir šilumos išsiskyrimą tyrėjai nustatė, kad greičiausia užsiliepsnoja GTL degalai turintys aukščiausią cetaninį skaičių, bet GTL degalai turi mažiau laiko susimaišyti su oru, todėl degimo metu išskiria daugiau suodžių (Mancaruso *et al.*, 2013). Tyrimų metu nustatyta, kad naudojant II kartos biodyzeliną ir esant pastovioms degalų sąnaudoms išmetamųjų teršalų emisijos ~23 % mažesnės lyginant su dyzelinu (Aatol *et al.*, 2008). Gerai sumaišytas degalų ir oro mišinys yra viena iš pagrindinių sąlygų norint, kad visiškai sudegtų degalai. Daugelis tyrėjų atlikdami tyrimus pastebėjo, kad didelį poveikį išmetamoms emisijoms daro atmosferos slėgis, dėl ko variklis geriau dirba be EGR (Exhaust Gas Recirculation, angl.), o važiuojant automobiliu dideliame aukštyje pailgėja degimo proceso trukmė (Ramos *et al.*, 2016).

Tyrimo įranga ir metodika

Tyrimai atlikti naudojant Vilniaus Gedimino technikos universiteto Transporto inžinerijos fakulteto Vidaus degimo variklių laboratorijoje esančią įrangą (1 pav.). Bandymams naudotas 1,9 TDI (1Z tipo) slėginio uždegimo variklis (1 lentelė), kuris apkrautas elektriniu variklio apkrovos įrenginiu KI-5543 (matavimo paklaida ± 1,23 Nm). Degalų sąnaudos matuotos su elektroninėmis svarstyklėmis SK-5000 (matavimo paklaida ± 0,5 g). Išiurbiamo oro ir išmetamųjų dujų temperatūra matuota naudojant K tipo termoporas (matavimo tikslumas ± 0,5 %). Turbokompresoriaus slėgis matuotas su slėgio davikliu OHM HD 2304,0 (matavimo paklaida ± 0,0002 MPa). Teršalų (CO, CO₂, HC, NO_x) emisijos matuotos deginių analizatoriumi AVL DiCom 4000, dūmingumas matuotas dūmomačiu AVL DiSmoke. Taip pat tyrimo metu buvo matuotas variklio keliamas triukšmas, slėgis cilindre.



1 pav. Tyrimo įrangos schema: 1 - variklis; 2 - jungiamasis velenas; 3 - variklio apkrovos plokštė; 4 - įsiurbiamo oro temperatūros jutiklis už turbokompresoriaus; 5 - EGR vožtuvas; 6 - įsiurbiamo oro slėgio jutiklis; 7 - gražinamų deginių temperatūros jutiklis; 8 - oro srauto masės matuoklė; 9 - įsiurbiamo oro temperatūros jutiklis; 10 - išmetamųjų dujų analizatorius; 11 - dūmingumo analizatorius; 12 - cilindro slėgio įrašymo įranga; 13 - degalų įpurškimo kampo reguliavimo įranga; 14 - degalų įpurškimo momento įrašymo įranga; 15 - variklio sukčių ir apkrovos įrašymo įranga; 16 - išmetamųjų deginių temperatūros jutiklis; 17 - slėgio cilindre jutiklis; 18 - degalų įpurškimo laiko matavimo įranga; 19 - aukšto slėgio degalų siurblys; 20 - degalų talpa; 21 - degalų sąnaudų matavimo įranga; 22 - alkūninio veleno padėties jutiklis; 23 - turbokompresorius; 24 - triukšmomatis

Šaltinis: sudaryta autorių

Tyrimas atliekamas siekiant išsiaiškinti dyzelinio variklio veikiančio skirtingai degalais – naftinės kilmės dyzelinu, I ir II kartos biodyzelinu bei jų mišiniais, degalų panaudojimo galimybes, naudojant standartinį dyzelinį variklį ir nustatyti variklio išmetamų teršalų vertes bei degalų sąnaudas.

Tyrimas atliktas naudojant dyzeliną įsigytą degalinėje (šiam darbe žymimi D), grynais I kartos biodegalais, kurie pagaminti iš rapsų metilo esterio (šiam darbe žymimi RME). Šių degalų kokybė atitinka Lietuvos ir Europos (LST EN 14214) standartą. Taip pat tyrime naudoti kompanijos „Neste“ pagaminti grynai II kartos biodegalai NexBTL (šiam darbe žymimi BTL). Bandymai atlikti su 6 skirtingais šių degalų mišiniais (3 lentelė). Kiekvienas bandymas buvo kartojamas 5 kartus, siekiant gauti kuo tikslesnius rezultatus apskaičiuojant vidurkius.

Tyrimas atliktas varikliui veikiant $n = 2000 \text{ min}^{-1}$ sukimosi dažniu, variklį apkraunant $M_e = 60 \text{ Nm}$, $M_e = 90 \text{ Nm}$ ir $M_e = 120 \text{ Nm}$ sukimo momentu. Bandymai atliekami su įjungtu bei išjungtu EGR vožtuvu. Buvo atlikti bandymai ir keičiant degalų įpurškimo paskubos kampą θ nuo -2 iki 18° alkūninio veleno (AV) 2° žingsniu. Šio bandymo metu EGR vožtuvas buvo išjungtas.

Norint tinkamai įvertinti degalų bei jų mišinių poveikį VDV efektyvumui, Klaipėdos universiteto Jūros chemijos tyrimų laboratorijoje buvo atlikti RME, D ir BTL fizikinių bei cheminių savybių tyrimai, kurių duomenys pateikti 2 lentelėje.

1 lentelė

1,9 TDI (1Z tipo) variklio rodikliai

Parametras	Reikšmė
Variklio tipas	Slėginio uždegimo
Oro tiekimas	Pripūtimas ir tarpinis oro aušinimas (0,19 MPa)
Degaus mišinio ruošimo būdas	Vidinis degiojo mišinio susidarymas: tiesioginis degalų įpurškimas (tūrinis degiojo mišinio ruošimas)
Darbinis tūris V_H , cm^3	1896
Variklio galia P_e , kW	66 (4000 min^{-1})
Variklio sukimo momentas M_e , Nm	180 (2500 min^{-1})
Cilindrų skaičius	4
Suslėgimo laipsnis, ϵ	19,5
Stūmoklio eiga S , mm	95,5
Cilindro skersmuo D , mm	79,5
Dujų skirstymas	OHC
Aušinimo sistema	skystinė

2 lentelė

Degalų fizikinės-cheminės savybės

Pavadinimas	RME	D	BTL
Aukštutinis šilumingumas, J/g	40024	45744	47063
Žemutinis šilumingumas, J/g	37431	42825	43580
Ribinė filtruojamumo temperatūra, $^\circ\text{C}$	-14	-31	-40
Ribinė takumo temperatūra, $^\circ\text{C}$	-24	-40	<-50
Dinaminė klampa, 40 $^\circ\text{C}$, mPa·s	3,8673	1,6625	2,2087
Kinematinė klampa, 40 $^\circ\text{C}$, cSt	4,4661	2,0388	2,8782
Tankis, 15 $^\circ\text{C}$, g/ml	0,8840	0,8332	0,7845
Dinaminė klampa, 15 $^\circ\text{C}$, mPa·s	7,2579	2,8001	4,0414
Kinematinė klampa, 15 $^\circ\text{C}$, cSt	8,2103	3,3607	5,1516
Tankis, 40 $^\circ\text{C}$, g/ml	0,8659	0,8154	0,7674
Oksidacinis stabilumas, min	31,31	42,98	121,20
Vandens kiekis, % V/V	0,0494	0,0051	0,0030
Tepumas, μm	164	488	302
Pliūpsnio temperatūra, $^\circ\text{C}$	100,0	59,8	87,8
Elementinė sudėtis, H %	11,52	12,69	14,97
Elementinė sudėtis, C %	78,08	87,31	85,03
Elementinė sudėtis, N, S %	Žemiau aptikimo ribos		

3 lentelė

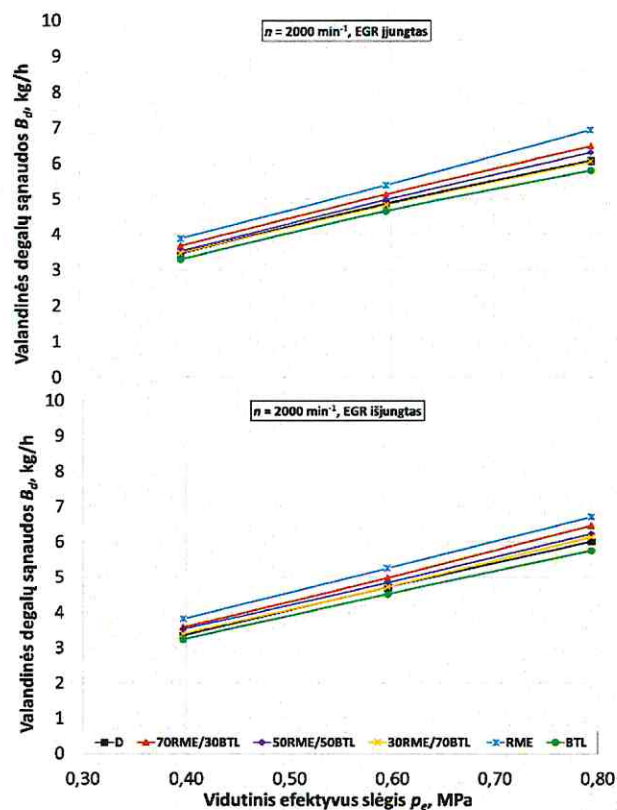
Degalų mišinių žymėjimas

Degalų santykis	Žymėjimas
100 % Dyzelino	D
100 % BTL	BTL
100 % RME	RME
70 % RME – 30 %BTL	70RME/30BTL
50 % RME – 50 %BTL	50RME/50BTL
30 % RME – 70 %BTL	30RME/70BTL

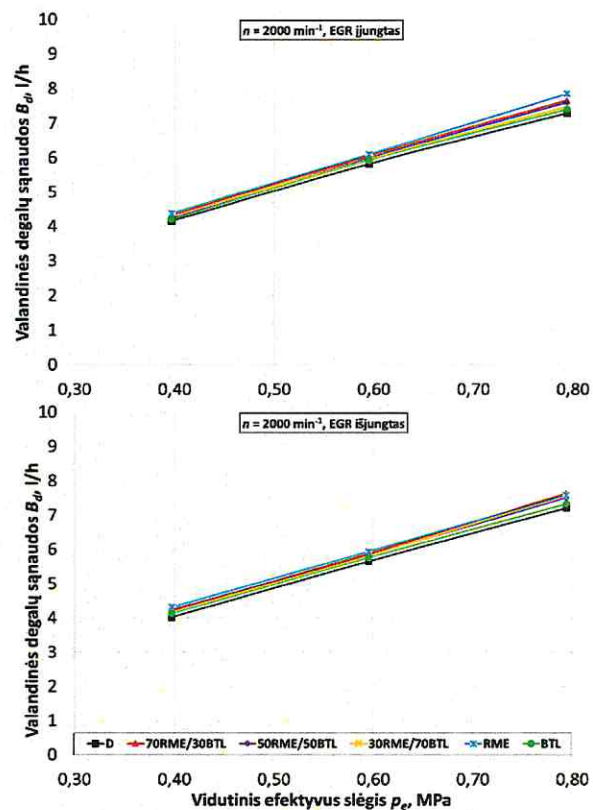
Šaltinis: Klaipėdos universiteto Jūros chemijos tyrimų laboratorija

Variklio energetinių ir ekologinių rodiklių tyrimo rezultatai

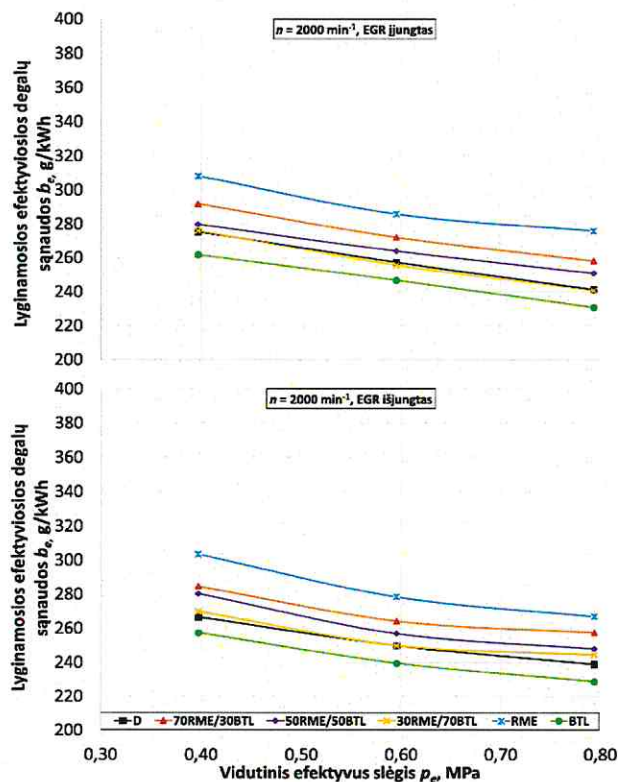
Iš gautų rezultatų (2 pav., 4 pav.) galime pastebėti, kad dėl mažo degalų šilumingumo (2 lentelė) RME degalų valandinės masės sąnaudos yra didžiausios (iki 12,3 % didesnės už D), o naudojant BTL degalus mažiausios (iki 4,2 % mažesnės už D), nes šių degalų žemutinis šilumingumas yra 16,4 % didesnis lyginant su RME ir 1,8 % didesnis už D. Degalų tūrinės sąnaudos mažiausios naudojant degalus D (3 pav., 5 pav.), didžiausios – RME degalus (iki 5,9 % didesnės už D). BTL tūrinės sąnaudos ~1,7 % didesnės už D. Tokius rezultatus lemia degalų tankis ir šilumingumas. RME degalų tankis yra didžiausias – 6,2 % didesnis už D ir 12,8 % didesnis už BTL, bet RME degalų šilumingumas mažiausias. EGR degalų sąnaudas neženkiai didino. Atlikus tyrimą matome, kad degalų sąnaudoms didelę reikšmę turi naudojamų degalų tankis, šilumingumas ir degimo efektyvumas. Degalų mišinių sąnaudos priklauso nuo RME ir BTL koncentracijos mišinyje.



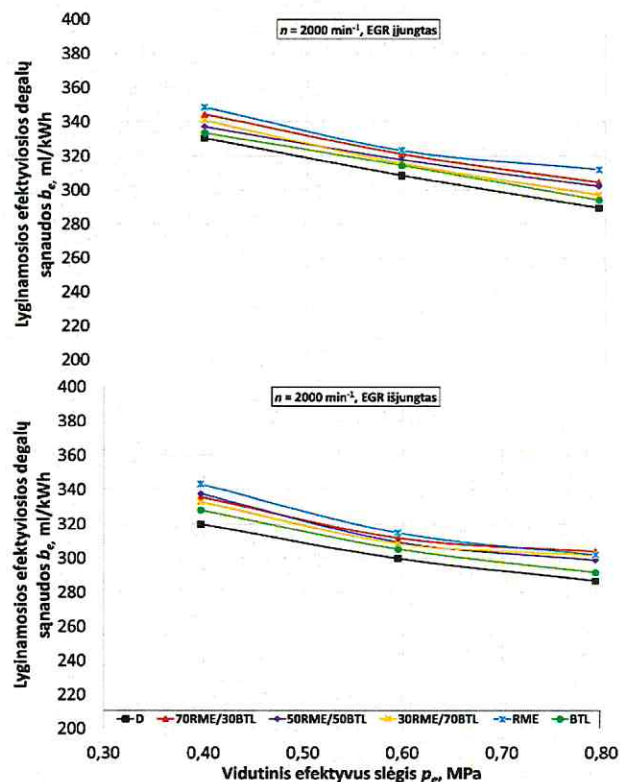
2 pav. Valandinės degalų masės sąnaudos
Šaltinis: sudaryta autorių



3 pav. Valandinės degalų tūrio sąnaudos
Šaltinis: sudaryta autorių



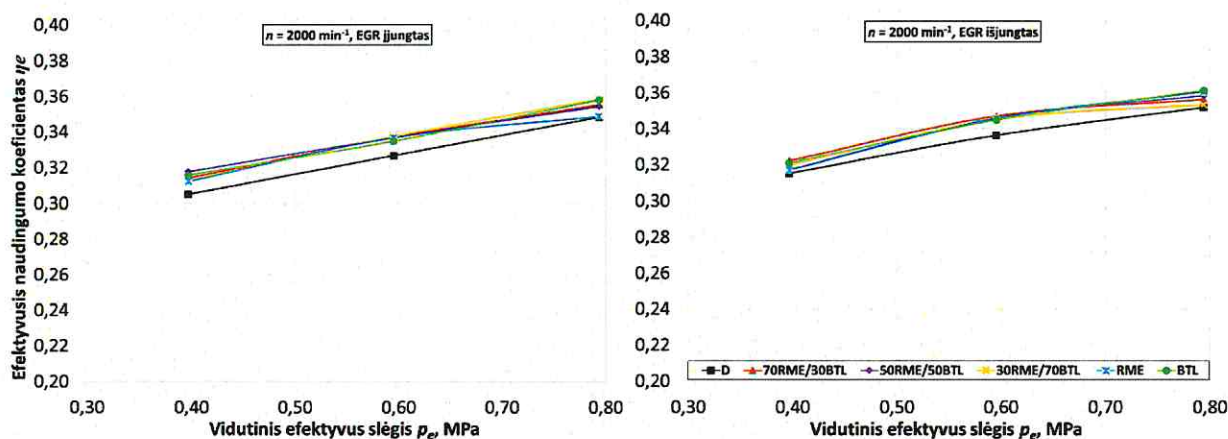
4 pav. Lyginamosios degalų masės sąnaudos
Šaltinis: sudaryta autorių



5 pav. Lyginamosios degalų tūrio sąnaudos
Šaltinis: sudaryta autorių

Visų tyrime naudojamų biodyzelino rūšių bei jų mišinių efektyvusis naudingumo koeficientas η_e yra didesnis už D (6 pav.), nes biodyzelinas efektyviau dega, sumažėja dūminingumo ir HC koncentracija (8 pav., 10 pav.). Didžiausias variklio veikimo efektyvumas pasiektas naudojant BTL degalus ir ~2,6 % viršija dyzelino efektyvųjį naudingumo koeficientą. Nustatyta, kad siekiant padidinti η_e reikia ankstinti degalų įpurškimo paskubos kampą iki 12° AV, bet keičiant degalų įpurškimo paskubos kampą nuo 4° AV iki 12° AV

išauga visų degalų NO_x emisijos (BTL degalų NO_x koncentracija padidėja 2,3 karto). EGR variklio veikimo efektyvumą neženkiai ($\sim 2,1\%$) mažino.

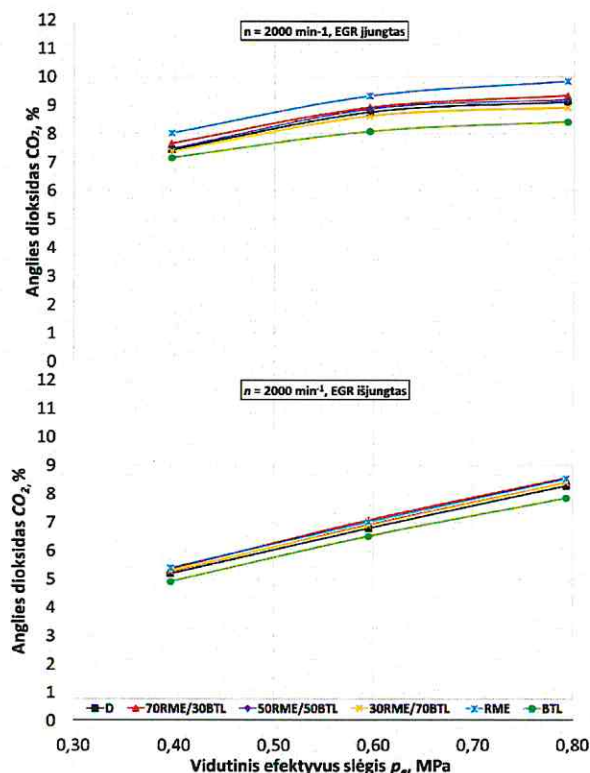


6 pav. Efektyvusis naudingumo koeficientas

Šaltinis: sudaryta autorių

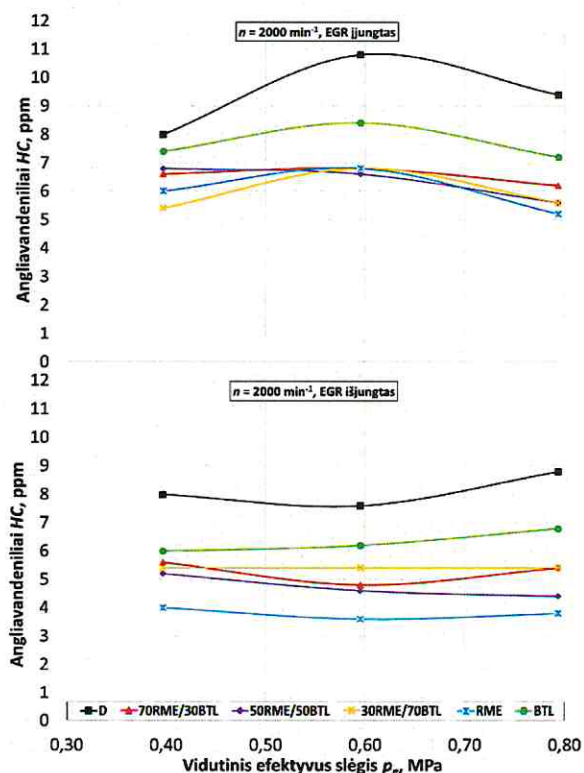
Iš gautų ekologinių rodiklių galime pastebėti, kad, varikliui veikiant visais degalų mišiniais su uždarytu EGR, anglies dioksido (CO_2) emisijų vertės užfiksuotos $\sim 19\%$ mažesnės, nei varikliui veikiant su atidarytu EGR. BTL emisijos, esant uždarytam deginių recirkuliacijos vožtuvui, yra $\sim 4,9\%$ mažesnės už D, RME $\sim 3,3\%$ didesnės už D (7 pav.). Esant atidarytam EGR, BTL emisijos yra $\sim 6,5\%$ mažesnės už D, o RME emisijos $\sim 7,3\%$ didesnės už D. Naudojant BTL CO_2 koncentracija yra mažesnė, nes degaluose yra mažiausias C/H santykis bei mažesnės degalų sąnaudos. Įjungus EGR, cilindre sumažėja deguonies kiekis, krenta degimo temperatūra ir tai blogina angliavandenilių oksidaciją.

Iš gautų HC emisijų rezultatų, galime pastebėti, kad visų biodyzelino mišinių angliavandenilių emisijų vertės yra mažesnės už D (8 pav.), nes, dėl trumpesnės angliavandenilių molekulinės grandinės, angliavandeniliai geriau sudega. Daugiausia HC emisija sumažėja ($\sim 44\%$) naudojant RME degalus. Esant išjungtam EGR, HC emisijų vertės yra $\sim 19,6\%$ mažesnės negu su įjungtu EGR. Iš gautų HC emisijų matome, kad varikliui dirbant su atidarytu EGR ir sumažėjus degimo temperatūrai ženkliai padidėja šių emisijų koncentracijos, bet sumažėja NO_x emisijos.



7 pav. CO_2 koncentracija

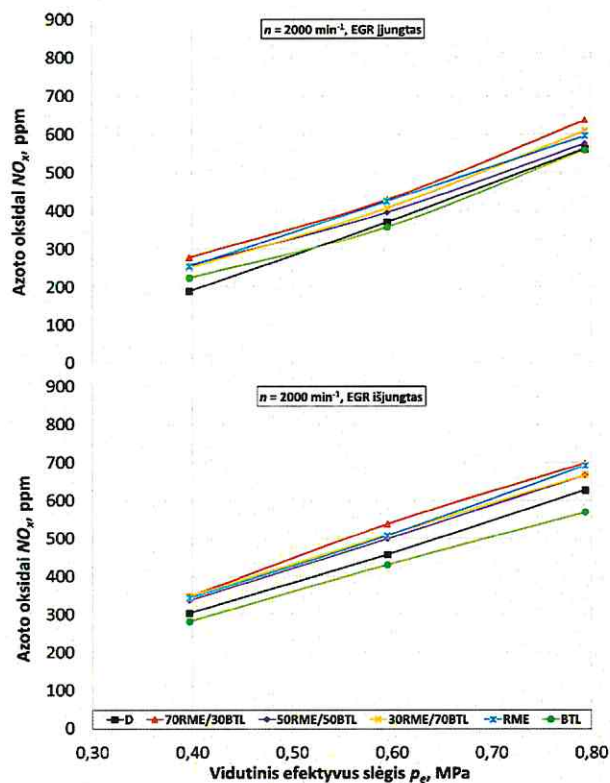
Šaltinis: sudaryta autorių



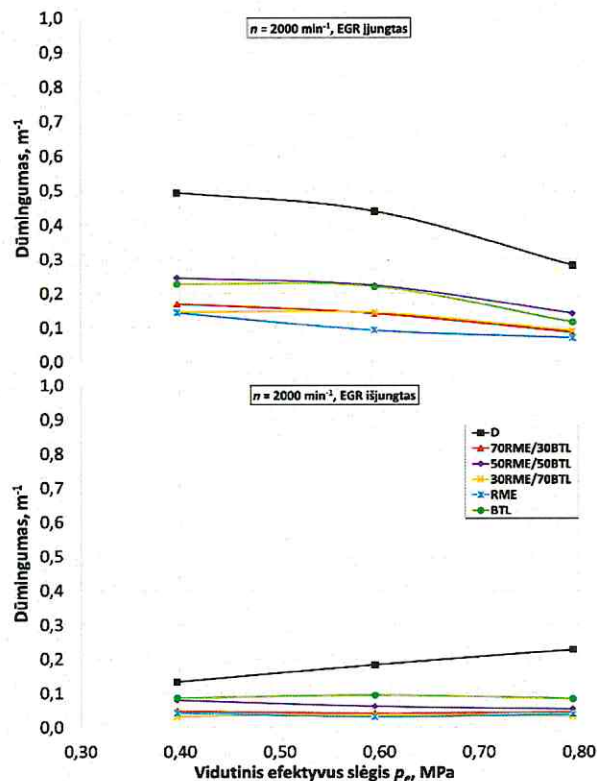
8 pav. HC koncentracija

Šaltinis: sudaryta autorių

NO_x emisijų rezultatai (9 pav.) parodė, kad, varikliui veikiant su uždarytu EGR, BTL degalų NO_x koncentracija yra ~7,9 % mažesnė už D ir ~17 % mažesnė už RME. BTL emisijos mažiausios, nes degalai turi didžiausią CS (2 lentelė), o tai sumažina užsidegimo gaisties periodą bei degimo intensyvumą ir temperatūrą kinetinėje degimo fazėje. Esant atidarytam EGR, BTL NO_x emisija buvo artima D degalų tačiau ~12 % mažesnė už RME. Esant uždarytam EGR visų tyrime naudotų mišinių NO_x emisijos padidėja ~19,6 %. Naudojant RME degalus ar jų mišinius NO_x emisijos išaugo, nes RME sudėtyje esantis deguonis didina degimo temperatūrą ir aktyvina ore esančio azoto oksidaciją.



9 pav. NO_x koncentracija
Šaltinis: sudaryta autorių



10 pav. Dūmingumas
Šaltinis: sudaryta autorių

Didžiausias dūmingumas užfiksuotas naudojant mineralinį dyzeliną (10 pav.). Esant įjungtam EGR mažiausias dūmingumas nustatytas varikliui veikiant RME degalais (~75 % mažesnis už D). BTL degalų dūmingumas yra didesnis, dėl aukšto degalų CS. BTL degalai anksti užsiliiepsnoja ir neturi laiko susimaišyti su oru. Esant išjungtam EGR mažiausias dūmingumas buvo naudojant degalų mišinį 30RME/70BTL ir RME degalus (~80 % mažesnis už D). Su išjungtu EGR dūmingumas ~60 % mažesnis nei su įjungtu EGR, nes, įjungus EGR, sumažėjo deguonies koncentracija cilindre bei degimo temperatūra.

Išvados

1. BTL degalų masės sąnaudos iki 4,2 % mažesnės už D, RME degalų masės sąnaudos iki 12,3 % didesnės už D. Pagrindinė degalų masės sąnaudų skirtumo priežastis – BTL žemutinis šilumingumas 16,4 % didesnis lyginant su RME ir 1,8 % didesnis už D.
2. BTL tūrinės sąnaudos ~1,7 % didesnės už D, RME degalų tūrinės sąnaudos iki 5,9 % didesnės už D. Degalų tūrinių sąnaudų skirtumai yra mažesni už degalų masės sąnaudų skirtumus, nes tokius rezultatus kompleksiškai lemia degalų tankis ir šilumingumas bei degimo efektyvumas. RME degalų tankis yra didžiausias – 6,2 % didesnis už D ir 12,8 % didesnis už BTL.
3. Dėl efektyvesnio biodyzelino degimo, šių degalų bei jų mišinių naudingumo koeficientas yra didesnis už D, nors η_e skirtumai yra maži. Efektyviausių BTL degalų η_e ~2,6 % viršija dyzelino efektyvumą. EGR variklio veikimo efektyvumą neženkliai (~2,1%) sumažino, nes sumažėjo deguonies koncentracija degalų mišinyje ir pablogėjo degimas.
4. Naudojant BTL degalus nustatyta mažiausia CO_2 emisija (~6,5 % mažesnės už D), naudojant RME CO_2 emisijos išauga (~7,3 % didesnės už D). Su uždarytu EGR visų degalų CO_2 emisijų vertės užfiksuotos ~19 % mažesnės. Naudojant BTL CO_2 koncentracija yra mažesnė nes degaluose yra mažiausias C/H santykis bei mažesnės degalų sąnaudos.

5. Visų biodyzelino mišinių angliavandenilių emisijų vertės yra mažesnės už D. Ženkiausiai HC emisija sumažėja (~44 %) naudojant RME degalus, nes jų sudėtyje yra deguonies, kuri gerina degimo procesą.
6. BTL degalų NO_x koncentracija yra ~7,9 % mažesnė už D ir ~17 % mažesnė už RME, nes BTL degalai turi didžiausią CS ir tai sumažina užsidegimo gaisties periodą bei degimo intensyvumą ir temperatūrą kinetinėje degimo fazėje. Naudojant RME degalus ar jų mišinius NO_x emisijos išaugo, nes RME sudėtyje esantis deguonis didina degimo temperatūrą ir aktyvina ore esančio azoto oksidaciją. Esant uždarytam EGR visų tyrime naudotų mišinių NO_x emisijos padidėja ~19,6 %.
7. Mažiausias dūmingumas nustatytas naudojant RME degalus ir jų mišinius (~75 % mažesnis už D), nes šie degalai savyje turi deguonies. Nors BTL degalų C/H santykis yra mažiausias, šių degalų dūmingumas yra didesnis, nes, dėl aukšto CS, BTL degalai anksti užsiliepsnoja ir neturi laiko susimaišyti su oru. Su įjungtu EGR dūmingumas ~60 % didesnis dėl sumažėjusios deguonies koncentracijos cilindre bei degimo temperatūros.

Literatūra

1. Aatola, H.; Larmi, M.; Sarjovaara, T.; Mikkonen, S. 2008. Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NO_x, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine. *SAE Technical Paper*: 2008-01-2500.
2. Mancaruso, E.; Sequino, L.; Vaglieco, B. M. 2013. GTL (Gas To Liquid) and RME (Rapeseed Methyl Ester) combustion analysis in a transparent CI (compression ignition) engine by means of IR (infrared) digital imaging. *Energy*. 58: 185–191.
3. Ramos, A.; García-Contreras, R.; Armas, O. 2016. Performance, combustion timing and emissions from a light duty vehicle at different altitudes fueled with animal fat biodiesel, GTL and diesel fuels. *Applied Energy*. 18: 507–517.
4. Singer, A.; Schröder, O.; Pabst, C.; Munack, A.; Bünger, J.; Ruck, W.; Krah, J. 2015. Aging studies of biodiesel and HVO and their testing as neat fuel and blends for exhaust emissions in heavy-duty engines and passenger cars. *Fuel*. 153: 595–603.
5. Singh, D.; Subramanian, K. A.; Singal, S.K. 2015. Emissions and fuel consumption characteristics of a heavy duty diesel engine fueled with Hydroprocessed Renewable Diesel and Biodiesel. *Applied Energy*. 155: 440–446.
6. Europos komisija, 2011. *Baltoji knyga*. [interaktyvus] [žiūrėta 2018 m. balandžio 3 d.]. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=celex%3A52011DC0144>
7. Lietuvos energetikos institutas, 2010. *Biodegalai*. [interaktyvus] [žiūrėta 2018 m. balandžio 4 d.]. Prieiga per internetą: http://www.lei.lt/_img/_up/File/atvir/bioenerlt/index_files/Biodegalai_galut.pdf
8. Neste Corporation, 2016. *Neste Renewable Diesel Handbook*. [interaktyvus] [žiūrėta 2018 m. balandžio 4 d.]. Prieiga per internetą: https://www.neste.com/sites/default/files/attachments/neste_renewable_diesel_handbook.pdf

RESEARCH OF THE FIRST GENERATION AND SECOND GENERATION BIODIESEL MIXTURES USAGE EFFICIENCY IN COMPRESSION IGNITION ENGINES

Summary

This paper analyzes the ecological and energy efficiency of petroleum diesel, first (I) generation biodiesel (RME - Fatty Acid Methyl Esters), second (II) generation biodiesel (BTL - Biomass to liquid) and their mixtures usage in compression ignition engines. The I and II generation biodiesel production technologies, the advantages and disadvantages of these fuels are overviewed. The paper describes the research methodology, the results obtained during the test are presented: hourly fuel masses and volumes costs, comparative effective fuel masses and volumes costs, effective utility coefficient, emissions (CO₂, HC ir NO_x) concentration and smoke. The analysis of the research results is performed, conclusions are presented.

Key words: RME, BTL, pollutants, efficiency.