



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Linas Liubinas

**SKYSTOJO KATILŲ KURO AUGALINIO ALIEJAUS PAGRINDU
GAMYBOS IR NAUDOJIMO LIETUVOJE PERSPEKTYVŲ
TECHNINĖ EKONOMINĖ ANALIZĖ**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Antanas Rimantas Sudintas

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

**SKYSTOJO KATILŲ KURO AUGALINIO ALIEJAUS PAGRINDU
GAMYBOS IR NAUDOJIMO LIETUVOJE PERSPEKTYVŲ
TECHNINĖ EKONOMINĖ ANALIZĖ**

Baigiamasis magistro projektas

Termoinžinerija (621E30001)

Vadovas

Doc.dr. Antanas Rimantas Sudintas

Recenzentas

Doc.dr. Rolandas Jonynas

Projektą atliko

Stud. Linas Liubinas

KAUNAS, 2016

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

Tvirtinu: _____

Šilumos ir atomo
energetikos
katedros vedėjas

(parašas, data)

doc. dr. E. Puida

(vardas, pavardė)

**MAGISTRANTŪROS UNIVERSITETINIŲ STUDIJŲ BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS
Studijų programa TERMOINŽINERIJA**

Magistrantūros studijų, kurias baigus įgyjamas magistro kvalifikacinis laipsnis, baigiamasis darbas yra mokslinio tiriamojo arba taikomojo pobūdžio darbas (projektas). Jam atlikti ir apginti skiriama 30 kreditų. Šiuo darbu studentas parodo, kad yra pagilinęs ir papildęs pagrindinėse studijose įgytas žinias, turi pakankamai gebėjimų formuluoti ir spręsti aktualią problemą, turėdamas ribotą ir (arba) prieštaringą informaciją, geba savarankiškai atlikti mokslinius ar taikomuosius tyrimus ir tinkamai interpretuoti duomenis. Taip pat jis parodo, kad yra kūrybingas, geba taikyti fundamentines mokslo žinias, išmano socialinės bei komercinės aplinkos, teisės aktų ir finansines galimybes, turi informacijos šaltinių paieškos ir kvalifikuotos jų analizės, skaičiuojamųjų metodų ir specializuotos programinės įrangos bei bendrosios paskirties informacinių technologijų naudojimo, taisyklingos kalbos vartosenos įgūdžių, geba tinkamai formuluoti išvadas.

1. Darbo tema: Skystojo katilų kuro augalinio aliejaus pagrindų gamybos ir naudojimo Lietuvoje perspektyvų techninė ekonominė analizė.

.....
Patvirtinta 2016 m. gegužės mėn. 03 d. dekanų įsakymu Nr. V25-11-7

2. Darbo tikslas: Rapsų aliejaus galimybių naudoti kaip energetinį kurą buitiniuose skystojo kuro katiluose tyrimas

.....
3. Darbo struktūra: Darbą sudaro du skyriai. Pirmajame skyriuje atlikta skystojo kuro naudojimo šildymo katiluose analizė ir ištirtos naudojimo tendencijos. Šioje dalyje išanalizuoti biodegalai iš aliejinių medžiagų, jų naudojimas, auginimo apimtys Europoje ir Lietuvoje, biodegalų gamyba bei galimybės naudoti Lietuvoje kaip katilų kurą, jo pakaitalą ar priedą.

Antrojoje dalyje atlikti rapsų aliejaus kaip skystojo kuro naudojimo katiluose tyrimai ir analizė. Šiame skyriuje nustatytos rapsų aliejaus ir dyzelino mišinių savybės, atliktas jų tarpusavio sluoksniavimosi tyrimas, mišinių deginimas, suodžių susidarymo tyrimas, adiabatinės temperatūros nustatymas, ekonominis įvertinimas bei tyrimo rezultatų palyginimas ir apibendrinimas.

.....
4. Reikalavimai ir sąlygos: Rengiant baigiamąjį darbą prisilaikyti Lietuvos respublikos norminių aktų bei bakalauro baigiamojo darbo apiforminimo reikalavimų

5. Užbaigto darbo pateikimo terminas: 2016 m. gegužės mėn. 24 d.

Užduotis išduota 2016 m. vasario mėn. 01 d.

6. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo darbo dalis.

Išduota studentui Linui Liubinui

Užduotį gavau

(studento vardas, pavardė)

.....

(parašas)

(data)

Vadovas

.....



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino

(Fakultetas)

Linas Liubinas

(Studento vardas, pavardė)

Terminžinerija (621E30001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Skystojo katilų kuro augalinio aliejaus pagrindu gamybos ir naudojimo Lietuvoje perspektyvų techninė ekonominė analizė“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 16 m. gegužės 24 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Lino Liubino**, baigiamasis projektas tema „Skystojo katilų kuro augalinio aliejaus pagrindu gamybos ir naudojimo Lietuvoje perspektyvų techninė ekonominė analizė“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Turinys

ĮVADAS.....	1
1. SKYSTOJO KURO NAUDOJIMO ŠILDYMO KATILUOSE ANALIZĖ IR TENDENCIJOS 3	
1.1. Skystojo kuro rūšys.....	3
1.2. Skystojo kuro savybės	4
1.3. Biokuras ir biodegalai iš aliejinių medžiagų	6
1.3.1 Biodyzelinas	6
1.3.2 Biobenzinas	8
1.3.3 Kiti biodegalai	8
1.4. Biodegalų naudojimas, rapsų ir kitų aliejinių augalų ūkio apimtys Europoje.....	9
1.5. Biodyzelino gamyba	11
1.6. Rapsų auginimas Lietuvoje ir galimybių naudoti kaip katilų kurą įvertinimas.....	12
2. RAPSŲ ALIEJAUS KAIP SKYSTOJO KURO NAUDOJIMO KATILUOSE TYRIMAI IR ANALIZĖ.....	16
2.1. Rapsų aliejaus ir dyzelino mišinių savybių nustatymas	17
2.2. Dyzelino ir rapsų aliejaus mišinių sluoksniavimosi tyrimas	20
2.3. Tiriamojo darbo įrangos aprašymas.....	21
2.4. Tiriamojo darbo rezultatai	25
2.5. Katilo kuro sąnaudos	28
2.6. Suodžių susidarymo katilo degimo kameroje tyrimas.....	31
2.7. Adiabinės degimo temperatūros nustatymas	33
2.8. Ekonominis vertinimas	36
2.9. Degimo produktų tyrimo rezultatų analizė ir apibendrinimas.....	37
IŠVADOS.....	43
LITERATŪRA	44
PRIEDAI	45
1 priedas. Rapsų aliejaus tyrimų protokolas.....	45
2 priedas. Bandymų rezultatai	46
3 priedas. Adiabinės degimo temperatūros grafikas.....	47

Lentelių turinys

1 lentelė. Kai kurios skystojo kuro savybės	4
2 lentelė. DIN 51605 standartas	8
3 lentelė. Rapsų auginimo Lietuvoje statistika.....	13
4 lentelė. Rapsų auginimo galimybių ekonominis įvertinimas	14
5 lentelė. Kai kurių kuro rūšių vartojimo savikainos vertinimas	14
6 lentelė. Rapsų aliejų tyrimų rezultatai	18
7 lentelė. Nustatytos dyzelino ir rapsų aliejaus mišinių savybės	18
8 lentelė. Skystojo kuro katilo parametrai.....	21
9 lentelė. Dūmų analizatoriaus matuojamieji parametrai	23
10 lentelė. Degimo produktų tyrimo rezultatai	26
11 lentelė. Emisijų palyginimas procentinėmis dalimis deginant skirtingus mišinius.....	28
12 lentelė. Kuro sąnaudų pokytis	31
13 lentelė. Katilo kuro išpurškimo sistemos parametrai	32
14 lentelė. Degimo produktų komponentų specifinės šilumos.....	34
15 lentelė. Adiabatinė degimo temperatūra esant skirtingiems oro pertekliaus koeficientams	35
16 lentelė. Energijos gamybos savikaina naudojant dyzelino ir RA mišinius	37
17 lentelė. Tiriamų mišinių elementinė sudėtis.....	37
18 lentelė. Teorinių kuro komponentų skaičiavimų rezultatai	41

Paveikslu turinys

1 pav. Rapsų aliejaus ir dyzelino kinematinės klampos priklausomybė nuo temperatūros	5
2 pav. Galima kuro pašildymo katilė schema.....	5
3 pav. Biodegalų suvartojimas Europos Sąjungoje	9
4 pav. Biodegalų suvartojimas pagal rūšį.....	10
5 pav. Rapsų aliejaus produkcija Europos Sąjungoje.....	10
6 pav. Principinė RRME gamybos schema	11
7 pav. Kuro suvartojimas Lietuvos namų ūkiuose 2014m.	15
8 pav. Reikiamos kuro pašildymo galios priklausomybė nuo kuro suvartojimo	17
9 pav. Įvairių santykių rapsų aliejaus sumaišymo su dyzelinu įtaka klampai	17
10 pav. Tankio matavimo prietaisas.....	19
11 pav. Kapiliarinis viskozimetras su pašildymo vonele	19
12 pav. Mišinio sluoksniavimosi tyrimas esant 15 °C aplinkos temperatūrai.....	20
13 pav. Mišinio sluoksniavimosi tyrimas esant 1 °C aplinkos temperatūrai.....	20
14 pav. Mišinio sluoksniavimosi tyrimas esant -18 °C aplinkos temperatūrai	21
15 pav. Skystojo kuro katilas „Rotex A1“	22
16 pav. Dūmų analizatorius „Multilyzer NG“.....	22
17 pav. Skystojo kuro katilas ir dūmų analizatorius	23
18 pav. Katilo kuro siurbimo sistema.....	24
19 pav. Skystojo kuro katilo ir šilumos atidavimo kontūro schema	25
20 pav. CO ₂ emisijų lygis deginant skirtingus mišinius.....	26
21 pav. Oro pertekliaus koeficiento palyginimas deginant skirtingus mišinius.....	27
22 pav. NO pokytis deginant skirtingus mišinius.....	27
23 pav. Azoto oksidų emisijų palyginimas deginant skirtingus mišinius	27
24 pav. Teorinis kuro sąnaudų palyginimas	30
25 pav. Suodžių sluoksniavimosi įtaka kuro energijos nuostoliams.....	31
26 pav. Suodžių susidarymo tyrimas.....	32
27 pav. Katilo kuro išpurškimo sistemos schema	32
28 pav. Ugnies fakelo palyginimas	33
29 pav. Adiabatinių temperatūros priklausomybė nuo oro pertekliaus koeficiento.....	35
30 pav. CO ₂ emisijų palyginimas	41
31 pav. Azoto oksidų emisijų palyginimas	41

Liubinas, Linas. Skystojo katilų kuro augalinio aliejaus pagrindu gamybos ir naudojimo Lietuvoje perspektyvų techninė ekonominė analizė. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Antanas Rimantas Sudintas; Kauno technologijos universitetas, mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Energetikos inžinerija

Reikšminiai žodžiai: energetika, biodegalai, rapsai, degimas, atsinaujinantys energijos šaltiniai.

Kaunas, 2016. 47 p.

SANTRAUKA

Šio baigiamojo magistro projekto tikslas - rapsų aliejaus galimybių naudoti kaip energetinį kurą buitiniuose skystojo kuro katiluose tyrimas.

Darbe atlikta naujai siūlomo katilų skystojo kuro gamybos bei panaudojimo Lietuvoje bei Europoje analizė, kuri parodė, kad šis kuras, dėl savo žaliavos paplitimo bei paprastos gamybos, lyginant su dyzelinu, Lietuvoje yra perspektyvus panaudoti skystojo kuro katiluose. Eksperimentiniu būdu nustatytos dyzelino ir rapsų aliejaus bei jų mišinių savybės, atliktas rapsų aliejaus ir sintetinio dyzelino mišinio sluoksniavimosi tyrimas, kuris parodė, jog šie artimų savybių skysčiai tarpusavyje nesisluoksniuoja skirtingų temperatūrų sąlygomis ir yra tinkami naudoti esant ir neaukštai neigiamai aplinkos temperatūrai. Atliktas sumaišytų įvairiais santykiais dyzelino ir rapsų aliejaus mišinių deginimas ir degimo produktų analizė. Deginimo procesų katilė tyrimai parodė, jog esant iki 30 % rapsų aliejaus kiekiui dyzeline, skystojo kuro katilas gali veikti sklandžiai ir be pastebimų trikdžių, o degimo produktų sudėtis kinta neženkliai.

Atliktas kuro suvartojimo katilė tyrimas, kai rapsų aliejaus kiekis dyzeline kinta nuo 10 % iki 40 %, kuris parodė, jog tokiu atveju kuro sąnaudos padidėja 3-6 %, kurį lemia nedidelis šių atskirų kuro rūšių kaloringumo skirtumas.

Siekiant įvertinti kuro išpurškimo efektyvumą ir suodžių susidarymo galimybes degimo kameroje, atlikti 70%D:30%RA mišinio vidutinės trukmės deginimo tyrimai. Jie parodė, kad ir esant 113 % didesnei už gryną dyzeliną mišinio kinematinei klampai, deginamas mišinys išpurškiamas efektyviai ir suodžiai ant katilo šildomų paviršių nesusidaro.

Atlikus adiabatines degimo temperatūros skaičiavimus nustatyta, kad rapsų aliejaus kiekiui dyzeline kintant 10-40 % ribose, adiabatine degimo temperatūra, lyginant su grynu dyzelinu, sumažėja iki 2 %, oro pertekliaus koeficiento α reikšmei esant 1. Didėjant oro pertekliaus koeficientui, adiabatine degimo temperatūra mažėja.

Apskaičiavus 1 kWh savikainą, deginant mišinius, kai rapsų aliejaus kiekis dyzeline kinta 20-40 %, nustatyta, kad pagaminamos šiluminės energijos kaina didėja atitinkamai 8-18 %.

Šiame darbe atlikti trumpalaikio mišinių deginimo tyrimai. Norint gauti išsamesnius deginimo duomenis, būtini ilgalaikiai tyrimai, didesni kuro kiekiai ir atitinkamos lėšos.

Liubinas, Linas. Analysis of technical and economic prospects of vegetable oil-based boiler liquid fuel production and usage in Lithuania. Master's final project/ supervisor assoc. prof. Antanas Rimantas Sudintas. The Faculty of mechanical engineering and design, Kaunas University of Technology.

Studies area: Energy engineering

Key words: energy, biofuel, rapeseed, combustion, renewable energy sources.

Kaunas, 2016. 47 p.

SUMMARY

A goal of this master's final project is the analysis of rapeseed oil and the prospects of its usage as energy fuel in household liquid fuel boilers. In this project, some properties of liquid fuel were analysed, also the production of the fuel and its usage in Lithuania and in Europe which showed that this fuel has a lot of raw material and a simple process of making it compared to pure diesel fuel. The properties of rapeseed oil and diesel mixture were introduced, their layering test was performed, which showed, that these two fluids mix well with each other and is proper to use in lower temperatures. The analysis of combustion and flue gas of the various mixtures of diesel and rapeseed oil was made, which showed that up to 30 % rapeseed oil content in diesel, liquid fuel boiler can operate without significant interference and the composition of combustion products varies slightly.

The analysis of the fuel consumption of the boiler was also made, which showed, that 10-40 % amount of rapeseed oil in diesel increases boiler fuel consumption by 3-6 %.

In order to evaluate the efficiency of boiler fuel injection system and the probability of soot formation in the combustion chamber, 5 liters of 70 % diesel and 30 % rapeseed oil mixture were burned, which showed that, when the kinematic viscosity of the mixture is 113 % higher than pure diesel, the fuel mixture is sprayed efficiently and any formation of soot wasn't noticed.

Adiabatic combustion temperature calculation showed, that 10-40 % amount of rapeseed oil in diesel decreases adiabatic flame temperature up to 2 %, when air excess ratio $\alpha=1$. With increasing air excess ratio, the adiabatic flame temperature decreases.

Calculation of the cost of 1kWh by burning diesel and rapeseed oil mixtures showed that 20-40 % amount of rapeseed oil increases the production of thermal energy cost by 8-18 %.

In this final project the short-term studies and analysis were made. In order to get more reliable results, it is necessary to make long-term combustion tests at various ambient conditions and combustion parameters.

IVADAS

Šiandieniniame pasaulyje dėl visuotinės klimato kaitos, griežtėjančių reikalavimų dėl šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo į aplinką mažinimo bei technologijų pažangos vis labiau skatinama energijos gamyba iš atsinaujinančių energijos išteklių. Tas ypač aktyviai daroma Europos Sąjungoje, kuri yra išleidusi nemažai direktyvų, apibrėžiančių, kokios energetikos strategijos turėtų laikytis jos narės. Viena iš tokių direktyvų yra Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2014/94/ES dėl alternatyviųjų degalų infrastruktūros diegimo, kurioje užsibrėžtas tikslas didinti konkurencingumą ir energetinį saugumą, efektyviau naudojant išteklius ir energiją, skatinant ieškoti švaraus kuro rūšių, galinčių pakeisti iškastinį kurą. Lietuva, būdama Europos Sąjungos narė privalo vykdyti šią strategiją taip prisidėdama prie tvarios energetikos kūrimo.

Atsižvelgiant į Lietuvos geografinę padėtį, mes turime puikias galimybes kurti naujas kuro rūšis energijai gaminti ne tik transporte bet ir šildymo įrenginiams, naudojamiems skystąjį kurą. Be jau tapusių tradicinėmis, tokių kaip saulės, vėjo, vandens, geoterminės energijos, atrandama daug naujų pirminių energijos šaltinių, priskiriamų atsinaujinantiems ištekliams. Vienas iš tokių yra įvairių rūšių aliejai, gaunami iš įvairiai apdorotų aliejingų augalų, kurie gali būti panaudoti kaip skystasis kuras. Tokie augalai mūsų kraštuose yra soja, saulėgrąžos ir rapsai.

Pastaruoju metu iš aliejų pagaminti biodegalai (RREE, RRME) dažniausiai naudojami tik transporto srityje ir kaip priedai - nors jų potencialas yra kur kas didesnis. Toks skystasis biokuras galėtų būti naudojamas ir kituose pramonės ir energetikos sektoriuose. Vienas tokių, esantis tarp didžiausių teršalų šaltinių pasaulyje – šilumos ir elektros energetikos sektorius. Jo infrastruktūra, kaip ir transporto srities, apima ženklią dalį planetos, todėl biodegalų panaudojimas šioje srityje galėtų būti gana didelis, jei kartu būtų sprendžiami ekonominiai ir technologiniai tokio kuro gamybos klausimai. Svarbus faktas plėtojant skystojo biokuro gamybą yra ir tas, kad šie augalai yra paplitę po didžiąją dalį planetos, kur yra išvystytas transportas, tai leidžia biodegalus kaip priedus ar pakaitalus gaminti vietinėje rinkoje ir tiekti mažais atstumais. Taip pat svarbu tokį kurą kurti ir gaminti ten, kur vartotojai yra nutolę nuo ekonominių ir pramonės centrų bei gali auginti ar augina šiuos augalus ir gali patys jį naudoti.

Taigi pakeitus bent dalį tradicinio iškastinio kuro, naudojamo energetikoje į biokurą iš augalinių aliejinių medžiagų, būtų ne tik sumažinama aplinkos tarša, bet ir skatinama atsinaujinanti energetika bei konkurencija degalų rinkoje visame pasaulyje, o tai yra mokslo ir žmonijos pažangos bei darnumo su gamta bruožas.

Skystasis katilų kuras iš aliejinių medžiagų arba jo priedai sintetiniam dyzelinui gali būti labiau ekologiško kuro alternatyva skystojo kuro katilinėms miestuose ir miesteliuose,

ligoninėse, ekologiškuose ūkiuose ir panašiai. Juose daug kur naudojamas dyzelinas, skalūnų alyva.

Lietuvoje auginama pakankamai žaliavos, tinkamos šiam kurui gaminti ir turimos visos galimybės sukurti naują alternatyvaus kuro rinką. Lietuvoje labiausiai paplitusi žaliava, kuri gali būti naudojama gaminti biodegalus yra rapsai. Jų derlius iki 2012 metų sparčiai augo ir nuo to laiko keičiasi nežymiai ir vidutiniškai yra 550 tūkst. tonų per metus. Panaudojus bent dalį šio kiekio alternatyvių biodegalų gamybai, būtų galima mažiau suvartoti ne tik iškastinio kuro, bet ir sumažinti darbo bei medžiagų sąnaudas, kadangi skystojo kuro iš rapsų aliejaus gamybos procesas yra kur kas paprastesnis lyginant su naftos skaidymo į frakcijas procesais. Tokiu būdu taip pat būtų sumažinamas ir neigiamas poveikis aplinkai.

Šio baigiamojo magistro darbo tikslas yra ištirti gryno ir degumuoto (iš dalies išvalyto) rapsų aliejaus savybes, nustatyti jo kokybės rodiklius, taip pat apžvelgti esamą ir galimą šio kuro rinką Europoje ir Lietuvoje, išanalizuoti plėtros galimybes, nustatyti problemas, kylančias norint naudoti šį kurą energetiniams tikslams. Tiriamosios darbo dalies tikslas yra atlikti gryno dyzelinio kuro ir šio aliejaus mišinių degimo tyrimus skystojo kuro katilė, maišant šiuos degalus įvairiais santykiais ir padaryti išvadas, kokių santykiu šį mišinį kurą galima būtų naudoti kaip energetinį kurą buitiniame skystojo kuro katilė, esant įvairiomis degimo ir aplinkos sąlygomis.

1. SKYSTOJO KURO NAUDOJIMO ŠILDYMO KATILUOSE ANALIZĖ IR TENDENCIJOS

1.1. Skystojo kuro rūšys

Skystasis kuras iš dalies gali būti skirstomas į degalus varikliams ir kurą katilams. Didžiąją dalį skystojo kuro sudaro atskirti naftos frakcijos produktai - benzinas, žibalas, dyzelinas, mazutas, suskystintos naftos dujos taip pat skalūnų alyva. Kaip skystas katilų kuras naudojamas dyzelinas, skalūnų alyva, kūrenamasis mazutas, rečiau žibalas.

Iš biomasės pastaruoju metu gaminami populiarūs pakaitalai degalams - biodyzelinai, bioetanolis.

Kai kuris kuras gali būti naudojamas ir varikliams ir kaip katilų kuras, pvz. dyzelinas, biodyzelinai, mazutas, kuro alyvos (angl. fuel oils). Dyzelinas yra vienas iš plačiausiai naudojamų kuro rūšių, kuris tinka ir varikliams, ir skystojo kuro katilams, ypač tinkamas ir iš esmės ekonomiškai nedidelės galios šilumos gamybai.

Dyzelinai arba dyzeliniai degalai yra naftos distiliacijos produktas, sudarytas iš kelių dyzelino frakcijos angliavandenilinių komponentų bei tam tikrų priedų ir naudojamas kaip įvairios paskirties dyzelinių variklių degalai ir kaip krosnių kuras.

Dyzelino gamybai Lietuvoje taikomas LST EN 590 standartas, apibrėžiantis dyzelino gamybai nustatytas bendrąsias charakteristikas.

Specialiai dažomas ir žymimas yra šildymui skirtas kuras – krosnių kuras. Jo savybės tokios pat kaip ir dyzelino, tik papildomai jis yra žymimas ir dažomas.

Ypatingų kokybės reikalavimų šiam kurui nėra. Pagrindiniai rodikliai – šilumingumas, kuris turi būti ne mažesnis kaip 41,5 MJ/kg. Stingimo temperatūra šaltuoju metų laikotarpiu ne mažesnė kaip -15 °C, o šiltuoju - ne mažiau kaip -5 °C. Ribojamas ir sieros junginių kiekis - ne didesnis kaip 0,2 masės procento. Kai kurios dyzelino bei kitų skystojo kuro rūšių charakteristikos pateiktos 1 lentelėje [2].

Kalbant apie skysto kuro deginimą šildymo tikslams, specialiai žymėtas dyzelinas dėl savo lengvo kaip kuro prieinamumo šiuo metu yra pats populiariausias kuras, naudojamas skysto kuro katiluose, tačiau brangus. Be to, atsižvelgiant į degimo produktų poveikį aplinkai, šis kuras nėra ekologiškas. Siekiant sumažinti išmetamų teršalų kiekį į aplinką, į dyzeliną gali būti įmaišoma biokomponentų, pavyzdžiui iš rapsų gaminamo rapsų metilesterio, kuris dar yra vadinamas biodyzelinu. Tokiu būdu yra sumažinamas neigiamas poveikis aplinkai.

Kitas dažnai naudojamas skystasis kuras yra mazutas. Tai yra naftos distiliacijos sunkiųjų frakcijų skystasis produktas, skirtas naudoti kaip katilinių pagrindinis ar rezervinis kuras. Kaip

kuras mazutas vis rečiau naudojamas dėl savo sudėtingos paruošimo deginti technologijos, kadangi mazutą prieš naudojant būtina pašildyti, todėl tiek talpykloje, tiek terminale turi būti įrengta speciali įranga ir eikvojama šiluma. Tai sunkina mazuto naudojimą, daro jį mažiau ekonomiškai efektyvų. Dėl išvardintų savybių mazutą ekonomiškai apsimoka deginti tik didelėse jėgainėse.

Dar vienas skystas kuras, kur kas rečiau naudojamas deginti katiluose, yra žibalas. Kai kuriose šalyse jis dar vadinamas parafinu. Skurdesnėse šalyse žibalas naudojamas kaip lempų kuras, kur nėra elektros ar jį per brangi naudoti.

Kaip kuras namams šildyti, žibalas labai paplitęs Japonijoje. Jo praktiškai galima įsigyti bet kurioje degalinėje arba jis gali būti pristatytas tiesiai į namus. Jungtinėje Karalystėje žibalas dažnai naudojamas ten, kur nėra gamtinių dujų tinklo. Europoje, dėl savo kainos ir poveikio aplinkai šis kuras energetikoje praktiškai nenaudojamas.

1 lentelė. Kai kurios skystojo kuro savybės

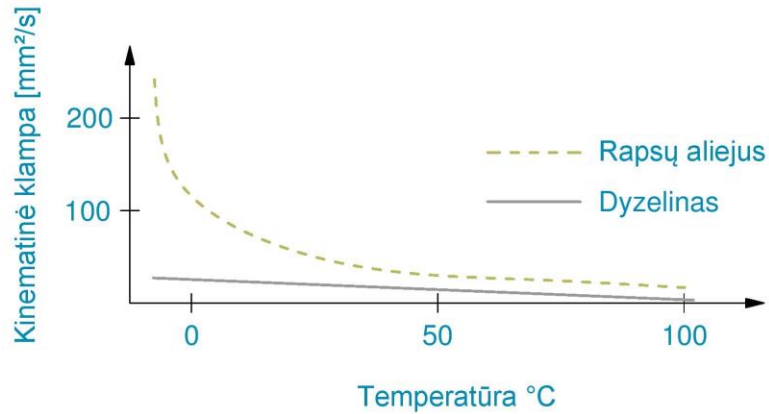
Charakteristika	Mato vnt.	Dyzelinas	Mazutas	Žibalas
Kinematinė klampa	mm ² /s	1,8-6,0 (40 °C)	6,0-55,0 (100 °C)	>8 (-20 °C)
Tankis	kg/m ³	800-860	950-1010 (20 °C)	790-820
Šilumingumas	MJ/kg	42,7-43,1	40-41	46,2
Savaiminio užsidegimo temperatūra	°C	300-330	>400	220
Pliūpsnio temperatūra	°C	<55	>60	37-65
Cetanis skaičius	-	48-55	-	-

1.2. Skystojo kuro savybės

Deginant skystąjį kurą katiluose tenka spręsti tam tikras specifines problemas, kylančias dėl skystojo kuro fizikinių savybių.

Viena iš pagrindinių problemų yra kuro klampa, kuri sukelia problemas kuro išpurškimo procesui, todėl projektuojant skystojo kuro katilą, jis dažniausiai yra pritaikomas deginti tik tam tikrą klampą turintį kurą.

Kinematinės klamos problema yra ypač aktuali deginant augalinės kilmės skystąjį kurą, kadangi jo klampa, mažėjant temperatūrai, didėja daug intensyviau nei įprastai deginimui naudojamam dyzelino. Tai grafiškai galima pavaizduoti 1 pav [3].

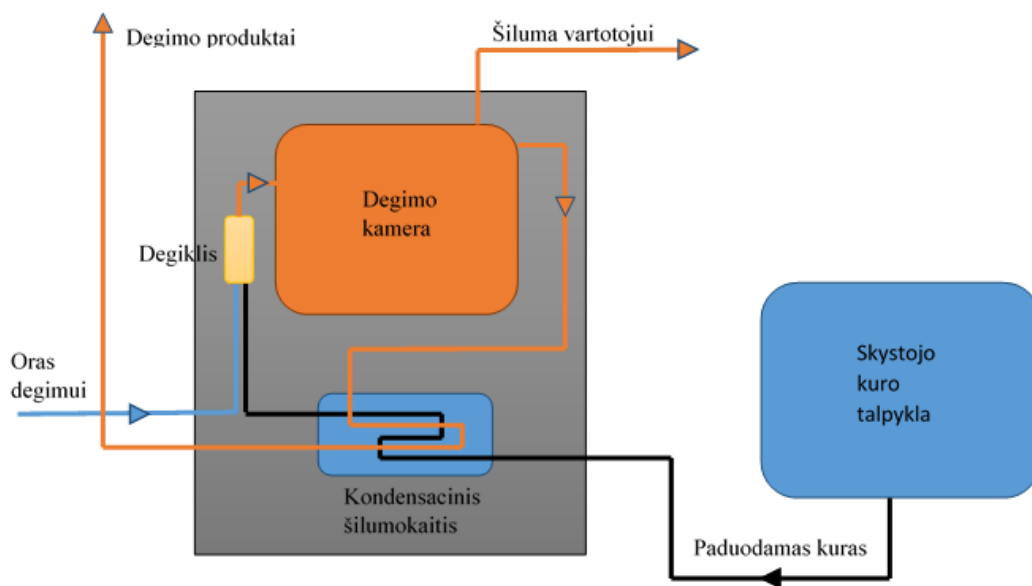


1 pav. Rapsų aliejaus ir dyzelino kinematinės klamos priklausomybė nuo temperatūros

Iš grafiko matome, kad siekiant sumažinti skysčio klampą reikia prieš išpurškiant jį pašildyti. Įvertinant katilo konstrukciją ir veikimo technologiją, tą galima padaryti keliais būdais.

Paprasčiausias būdas, kuris šiuo metu naudojamas, yra kuro pašildymas elektros energija. Šio metodo privalumas yra tai, kad nereikia jokio kito papildomo įrenginio kuro pašildymui ir taip sumažinami katilo gabaritai. Tačiau šiam procesui eikvojama papildoma energija, o tai mažina bendrą katilo efektyvumą.

Optimaliausias variantas kurui pašildyti prieš išpurškimo procesą būtų panaudoti degimo produktuose esančią vandens garų kondensacijos šilumą. Taigi kurui pašildyti nereikia naudoti papildomos energijos, dėl to padidėtų katilo naudingas veikimo koeficientas. Principinė tokios technologijos schema pavaizduota 2 paveiksle.



2 pav. Galima kuro pašildymo katile schema

1.3. Biokuras ir biodegalai iš aliejinių medžiagų

ES reikalavimai diegti ir plėtoti atsinaujinančių išteklių energijos naudojimą, griežtėjantys aplinkosauginiai reikalavimai, susiję su šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų bei atliekų mažinimu, verčia kuo plačiau panaudoti vietinius atsinaujinančius energijos išteklius, tarp jų ir biodegalus. Biodegalų gamyba skatina naudoti vietinius energijos išteklius, taip sumažinant importuojamo iškastinio kuro vartojimą, taip pat atsiranda galimybė plėtoti žemės ūkį, negaminant maisto produktų. Vietinių atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimas sumažina ūkio subjektų priklausomybę nuo mineralinių išteklių ir padeda išvengti pasekmių, susijusių su energijos aprūpinimo sutrikimais.

Biodegalai yra iš biomasės gaminamas kuras, paprastai naudojamas kaip kuras transportui, tačiau pastaruoju metu pradedamas naudoti ir kaip kuras energetinėms reikmėms. Dyzelino ir benzino analogai biodyzelinas ir bioetanolis – labiausiai paplitusios jo rūšys. Biodyzelinas paprastai gaminamas iš augalinių aliejų ar gyvulinės kilmės riebalų (Lietuvoje – iš rapsų aliejaus), o bioetanolis – iš krakmolo ar cukraus turinčių žaliavų (Lietuvoje – daugiausia iš kvietrugių ar kviečių).

Šiuo metu pasaulyje didžioji biodegalų dalis pagaminama iš maistinių kultūrų – javų, runkelių, sojų, cukranendrių, rapsų, palmių ir pan. Tai taip vadinamas pirmosios kartos kuras (angl. *first generation*) - bioetanolis ir biodyzelinas. Antrosios kartos biokuras (benzinas ir dyzelinas) jau pradedamas gaminti iš bet kokios biomasės, įskaitant šiukšles ir dumblis, taikant sudėtingesnes šiuolaikines technologijas.

Tačiau kol kuriamos efektyvios ir pigesnės skystojo biokuro gamybos technologijos, tikslinga efektyviau išnaudoti energetikai aliejinių augalų potencialą ir ieškoti galimybių sukurti alternatyvias skystojo biokuro rūšis, ypač šilumos energetikoje.

1.3.1 Biodyzelinas

Siekiant padidinti biokuro dalį transporto priemonių naudojamuose degaluose, į mineralinį (pagamintą iš naftos) dyzeliną, įmaišoma biopakaitalų. Tokie iš biomasės pagaminti alternatyvūs dyzelino pakaitalai yra iš rapsų aliejaus gautas rapsų metilesteris (RME), rapsų etilesteris (REE), taip pat iš kitų augalinės kilmės žaliavų – saulėgrąžų, sojų ir kt. aliejaus gaminami metilo ar etilo esteriai (monoalkilesteriai). RME, REE ir kitos augalinės kilmės degiosios medžiagos, pasižyminčios panašiomis charakteristikomis kaip ir dyzelinas, vadinamos biodyzelinu. Šiuo metu teisės aktai leidžia maišyti dyzeliną su biodyzelinu santykiu 95:5. Naudojant biodyzeliną galima:

- mažiau naudoti mineralinio dyzelino;
- sumažinti kenksmingų degimo produktų kiekį ir aplinkos taršą;
- pagerinti kai kurias dyzelinio variklio darbo charakteristikas.

Riebalų rūgščių metilesteris (RRME) ir riebalų rūgščių etilsesteris (RREE) bei kiti monoalkilesteriai šiuo metu yra plačiausiai naudojami alternatyvūs dyzelinui biodegalai.

RRME ir RREE tinka naudoti nemodifikuotuose dyzeliniuose varikliuose, taip pat kituose techniniuose energijos gamybos įrenginiuose. Tyrimai rodo, kad RRME ir RREE į dyzeliną galima įmaišyti iki 7 %, nepakenkiant automobilio varikliui ir nekeičiant jo konstrukcijos [4]. Kai kurių tyrimų duomenimis net iki 30 % RRME mažai turi įtakos dyzelinių variklių darbui. Siekiant į degalų mišinį įdėti daugiau esterių arba naudoti visai gryną RRME ar RREE, dyzeliniai varikliai turi būti perdirbami.

RRME ir RREE yra alternatyvūs degalai, kurių teršalų išlakos atitinka sveikatos apsaugos (JAV aplinkos apsaugos agentūros duomenys) bei Lietuvos Respublikos higienos normų HN: 35:1998 “Gyvenamosios aplinkos orą teršiančių medžiagų leidžiama koncentracija” reikalavimus. Bendras smogo (aplinkos oro vietinio užterštumo kenksmingomis dujomis) susidarymo potencialas, naudojant RRME ir RREE, yra apie 50 % mažesnis nei naudojant dyzeliną.

Naudojant RRME ir RREE, sieros oksidų ir sulfatų (pagrindinių rūgščiojo lietaus komponentų) išlakų, palyginti su jų išlakomis naudojant dyzeliną, yra labai mažai arba beveik jų nėra. Gerokai mažiau (30 %) būna ir žmogaus sveikatai pavojingiausių kietųjų dalelių išlakų.

2010 metų rugsėjo mėnesį Vokietijos standartizacijos institutas išleido standartą DIN 51605 „Kuras biodegalams deginti pritaikytuose varikliuose – kuras iš rapsų – reikalavimai ir bandymo metodika“. Ši atnaujinta metodika pakeitė iki tol galiojusį standartą DIN V51605, kuris galiojo nuo 2006 metų liepos mėnesio [5]. Atnaujinant šį standartą buvo atsižvelgiama į didėjančius reikalavimus biodegalus deginantiems varikliams su modernia degimo produktų išmetimo sistema.

Šis standartas galioja tik rapsų aliejui. Šiuo metu Vokietijos standartizacijos institutas išleidęs standartą DIN 54623, kuris apibrėžia reikalavimus skystiems biodegalams iš bet kokių aliejingų augalų.

Pagrindiniai DIN 51605 kokybės standarto reikalavimai dalinai išvalytam rapsų aliejui pateikiami 2 lentelėje [5].

2 lentelė. DIN 51605 standartas

Kokybės parametrai	Matavimo vienetai	Ribinė vertė	Bandymo metodas
Tankis (15 °C)	kg/m ³	900-930	DIN EN ISO 12185
Pliūpsnio taškas	°C	min.220	DIN EN ISO 2719
Kinematinė klampa (40 °C)	mm ² /s	maks. 36,0	DIN EN ISO 3104
Žemutinė šiluminė vertė	KJ/kg	maks. 36,000	DIN 51 900-2
Cetaninis skaičius	%	min. 39	IP 498
Anglies likutinė masė	% (m/m)	maks. 0,40	DIN EN ISO 10370
Jodo skaičius	g Jod/100g	95-125	DIN EN 14111
Sieros kiekis	mg/kg	maks. 10	DIN EN ISO 20884
Užterštumas	mg/kg	maks. 24	DIN EN 12662
Eruko rūgštis	mg KOH/g	maks. 2,0	DIN EN 14104
Oksidacijos stabilumas (110 °C)	h	maks. 6,0	DIN EN 14112
Fosforo kiekis	mg/kg	maks. 12	DIN EN 14107
Šarminių metalų kiekis (Ca+Mg)	mg/kg	maks. 20	E DIN EN 14538
Oksido pelenų kiekis	% (m/m)	maks. 0,01	ISO 6245
Vandens kiekis	mg/kg	maks.750	DIN EN ISO 12937
Kaloringumas	MJ/kg	37,6	

1.3.2 Biobenzinas

Biobenzinas arba dar vadinamas bioetanolis, gaminamas fermentuojant turinčias daug cukraus ar krakmolo žaliavas – grūdus, cukrinius runkelius, bulves ar kitus augalus. Paprastai jis 5 % santykiu maišomas su benzinu ir gali būti naudojamas įprastiniuose nemodifikuotuose varikliuose. Modifikuotuose varikliuose prisiderinančiuose prie degalų, bioetanolio dalis gali sudaryti iki 85-100 % viso degalų kiekio.

Bioetanolio energetinė vertė sudaro 2/3 benzino vertės, todėl jo suvartojamas kiekis yra didesnis.

Kalbant apie aplinkosauginę naudą, 100 % bioetanolio naudojimas taršą sumažintų 50-60 %, lyginant su tradiciniu iškastiniu kuru. 5 % mišinys taršą apytikriai sumažina apie 2,5-3 %.

Kadangi biobenzinas kaip energetinis kuras katiluose mažai naudojamas, todėl šiame darbe nuodugniau nenagrinėjamas.

1.3.3 Kiti biodegalai

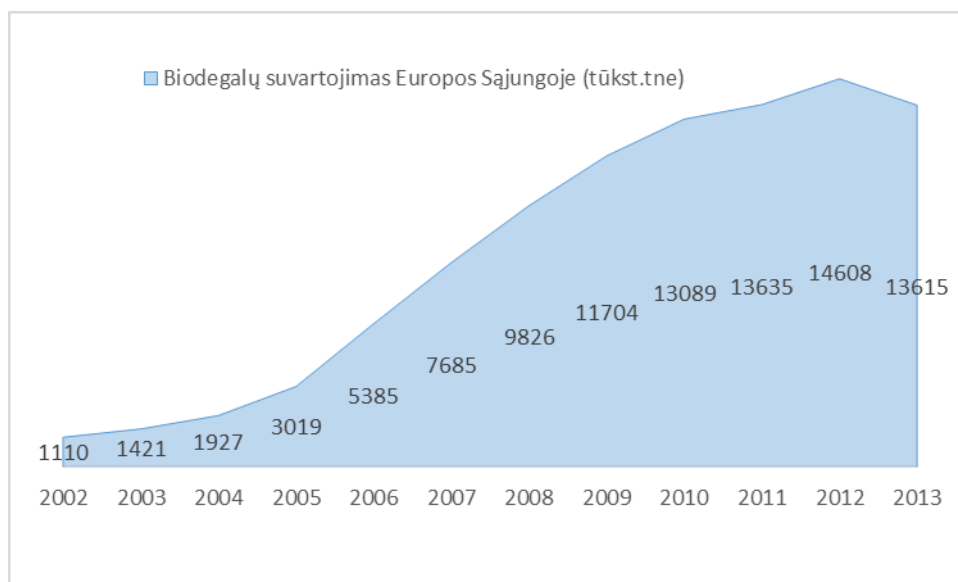
Prie kitų biodegalų priskiriamas augalinis aliejus, taip pat vandenilis, pagamintas iš biomasės, biodujos. Jie naudojami tik perdirbtuose ar pritaikytuose varikliuose. Neseniai paskelbta apie ketinimus biokurui panaudoti gyvulinius riebalus. Mažėjant iškastinio kuro rezervams ir brangstant jo gavybai bei gamybai, biokuro panaudojimas transporte suteikia šias teigiamas galimybes:

- demonopolizuojama degalų tiekimo rinka, dažnai priklausanti nuo užsienio ekonominių ir politinių faktorių.
- degalų gamyba vyksta netoli jų vartojimo, todėl sumažėja pačių degalų transportavimo išlaidos.
- suteikiamos naujos galimybės žemės ūkio įmonėms.
- svarbiausia – mažinama tiesioginė aplinkos tarša. Tyrimai parodė, kad naudojant aukštos etanolio koncentracijos kurą (pvz., E85, 70–85 % etanolio, plačiai naudojamas Švedijoje, plinta JAV), išskiriama mažiau kancerogeninių medžiagų nei naudojant įprastą kurą, taip pat mažesnės šiltnamio dujų emisijos, tačiau išsiskiria žymiai daugiau acetaldehido, kuris veikiamas saulės šviesos išskiria ozoną, kuris savo ruožtu skatina žmogui kenksmingo smogo susidarymą.

1.4. Biodegalų naudojimas, rapsų ir kitų aliejinių augalų ūkio apimtys Europoje

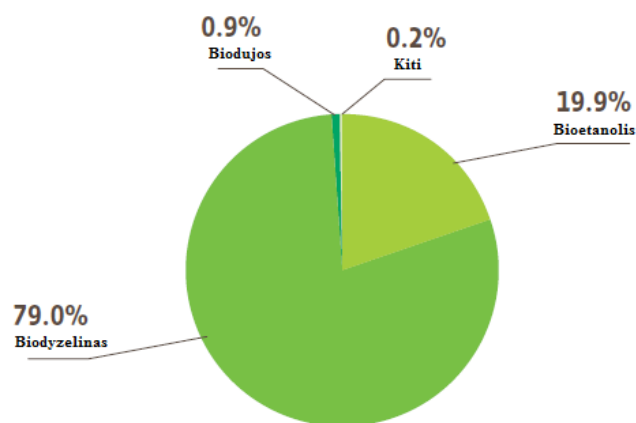
Jau 2007 metais, daugiau nei vienas milijonas tonų 100 % koncentracijos biodegalų buvo pagaminta iš maždaug 600 biodegalų gamyklų visoje Europoje, dalinai padengiant iškastinio dyzelino poreikius. Šiuo kuru naudojosi bent 40000 sunkiojo transporto priemonių, traktorių, laivų ir lokomotyvų, kas leido per metus sumažinti CO₂ emisijas apie 2,6 mln. tonų [6].

Bendras biodegalų suvartojimas Europoje transportui augo per pastaruosius metus ir nukrito per 1 mln.tne. tarp 2012 ir 2013 metų. Biodegalų suvartojimo tendencija pavaizduota 3 pav [6].



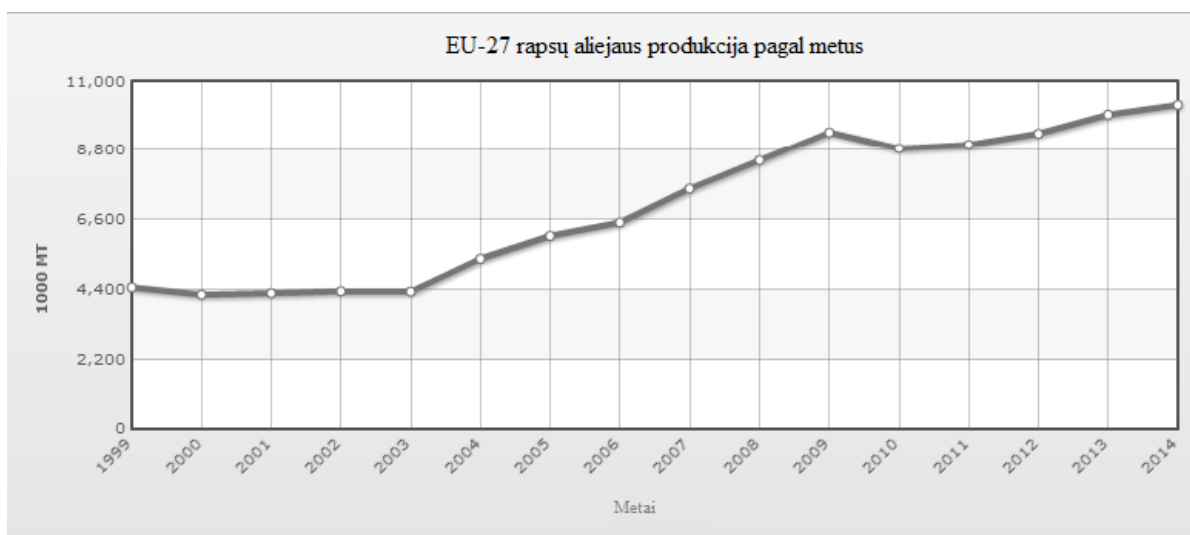
3 pav. Biodegalų suvartojimas Europos Sąjungoje

Atskirų biodegalų rūšių naudojimas bendrame biodegalų suvartojime Europos Sąjungoje 2013 metais pavaizduotas 4 pav [6].



4 pav. Biodegalų suvartojimas pagal rūšį

Kalbant apie rapsų auginimą, Europos Sąjungoje jų auginimo apimtys per pastaruosius metus didėjo labiausiai visame pasaulyje. Ši augimo tempo didėjimą galima glaudžiai susieti su Europos Sąjungos energetikos strategija, kuri numato energijos iš atsinaujinančių energijos išteklių vartojimo didinimą. Rapsų auginimo apimtis Europos Sąjungoje atspindi aliejaus iš šių augalų gamybos apimtys, kurios pavaizduotos 5 paveiksle [7].



5 pav. Rapsų aliejaus produkcija Europos Sąjungoje

Pagal Europos Sąjungos augalinių aliejų pramonės federacijos duomenis, bendra 2013 metų aliejinių augalų produkcija Europos Sąjungoje siekė virš 31 milijono tonų. Į šį kiekį įskaityta sojų pupelių, rapsų, saulėgrąžų, medvilnės, sėmenų išspaudos. Europos komisijos duomenimis, 2010 metais Europos Sąjungoje buvo 5,8 Mha efektyvaus rapsų auginimo ploto.

1.5. Biodyzelino gamyba

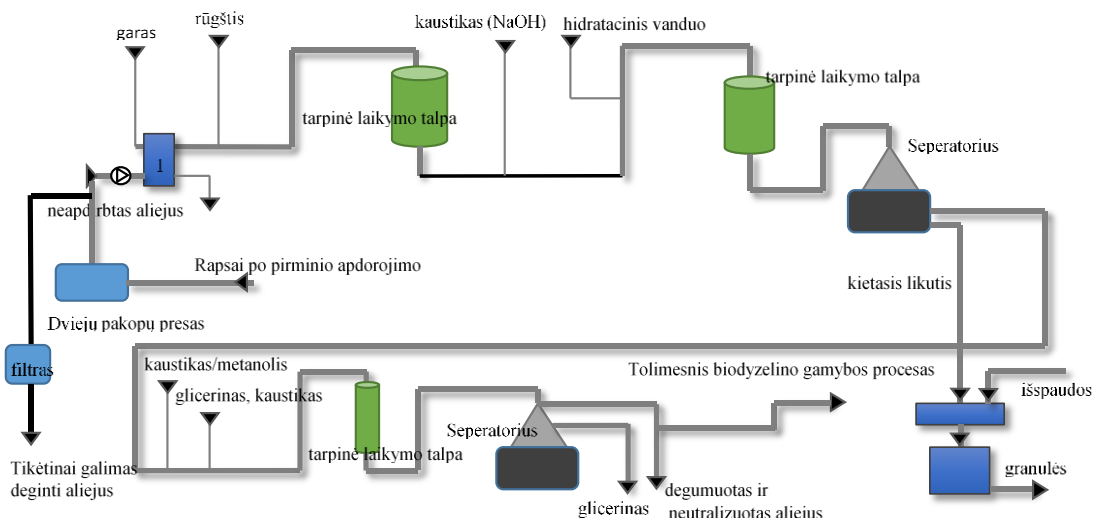
Nagrinėjant skystojo kuro iš aliejinių medžiagų gamybos galimybes, būtina išnagrinėti biodyzelino gamybos ciklą, kuriame aliejus praeina kelis apdirbimo etapus. Būtent šio proceso metu gaunamos aliejaus frakcijos, kurios gali būti labai tinkamos skystajam katilų kurui gaminti.

Šiuo metu egzistuoja nemažai biodyzelino gamybos technologijų. Panagrinėsime vieną iš jų. Biodyzelino gamybos procesas iš esmės susideda iš dviejų pagrindinių etapų: specialiosios degumacijos arba dervų pašalinimo ir alkoholio neutralizacijos. Kaip šalutinis procesas dar vykdoma granuliacija. Degumacija yra paruošiamasis procesas neapdirbtam aliejui, kuris toliau bus apdirbtas iki biodyzelino. Granuliavimas šiuo atveju yra šalutinis procesas, kuriame kietasis likutis yra atskiriamas nuo neapdirbto aliejaus ir sumaišomas su rapsų išspaudomis, kurios gaunamos po dviejų pakopų presavimo proceso. Sumaišyta masė vėliau patenka į granuliatorių, kuriame supresuojama į granulių formą.

Kadangi darbas sutelktas ties kuro naudojimu energetinėms reikmėms, schemoje pateikti procesai iki degumacijos, kadangi galutinai gaunamas biodyzelinas naudojamas transporte ir jo panaudojimas energetinėms reikmėms būtų per brangus.

Pateiktoje schemoje gaunamas dalinai išvalytas rapsų aliejus yra visiškai tinkamas deginti katiluose ir atitinka LST EN 14214:2003 standartą. Tačiau čia atsiranda galimybė tolimesniems tyrimams. Kaip matome, schemas pabaigoje gaunamas dalinai išvalytas rapsų aliejus prieš tai praeina daug procesų, kuriuose yra kondicionuojamas, naudojant įvairias chemines medžiagas. Tai atitinkamai brangina šį kurą ir daro jį mažiau konkurencingą.

Išanalizavus schemą galima teigti, kad teoriškai būtų galima paimti aliejų dar prieš jį papildant šilumokaityje 1 ir pabandyti jį ištirti deginant, prieš tai atlikus elementarų mechaninį filtravimą. Jei tokie samprotavimai nepasitvirtintų, galima būtų atlikti bandymus su aliejumi po sekančių apdirbimo etapų.



6 pav. Principinė RRME gamybos schema

1.6. Rapsų auginimas Lietuvoje ir galimybių naudoti kaip katilų kurą įvertinimas

Šiuo metu Lietuvoje veikia keturios biodyzelino gamyklos. Stambi biodyzelino gamykla „Mestilla“, veikianti Klaipėdoje, per metus pagamina apie 100 tūkst. tonų biodyzelino. Metilo esteris gaminamas iš rapsų aliejaus. Priklausomai nuo rapsų sėklų aliejingumo iš tonos rapsų gaunama apie 340–390 kg. rapsų aliejaus. Gamykloje kasmet pagaminama apie 12166 tonų kalio sulfato, kuris naudojamas kompleksinių trąšų gamybai. Šios bendrovės gaminamas biodyzelinas kasmet net 300 000 tonų sumažina anglies dvideginio (CO₂) išmetimą į atmosferą.

Kita didelė biodyzelino gamykla yra Mažeikių rajone esanti UAB „Rapsoila“, kurios metinės gamybos apimtys sudaro apie 30 tūkst. tonų biodyzelino.

UAB „Arvi cukrus“ – gamybos apimtys sudaro apie 24 tūkst. tonų per metus. Aliejus spaudžiamas šaltuoju būdu. Įmonėje vykdomi riebalų rūgščių esterinimo ir peresterinimo procesai. Tai suteikia galimybę naudoti ir blogesnės kokybės žaliavas bei riebalingas atliekas, turinčias daug laisvųjų riebalų rūgščių. Rapsų išspaudos naudojamos pašarams.

KB „SV Obeliai“ gamybos apimtys sudaro apie 20 tūkst. tonų per metus. Biodyzelinas gaminamas perdirbant augalinės kilmės riebalus.

Rapsų sėklų aliejus (RA) yra kaloringas kuras, jo degimo šiluma (kaloringumas) sudaro maždaug 90% nuo naftos produktų arba sąlyginio kuro tne (tonos naftos ekvivalentu). Jei 1 tne. kaloringumas laikomas lygus 41800 kJ/kg, tai rapsų aliejaus 1 kg degdamas išskiria apie 35000-36000 kJ/kg.

Siekiant RA pradėti naudoti kaip katilų kurą, turi būti atlikta daug darbų.

1. Visų pirmą šis kuras turi būti teisiškai įnormintas, nustatytos ir apibrėžtos jo charakteristikos, visa tai turėtų būti reglamentuota valstybės teisės aktu (taip kaip kiti kurai bei degalai).

Lietuvoje galioja Ūkio ministerijos taisyklės "Privalomieji kuro kokybės rodikliai"- tai dokumentas, kuriame išvardytos visos naudojamo ir importuoti leidžiamo kuro ir degalų rūšys bei jų ribiniai parametrai, ir kurių turi laikytis visi kuro gamintojai bei tiekėjai. Jame šiuo metu RA nėra. Todėl atlikus tyrimus ir nustačius arba pasiūlius reikiamas RA kuro charakteristikas, kad jos tiktų katilams normaliai dirbti, po to kuras turėtų būti įteisintas atitinkamomis teisinėmis priemonėmis.

2. Būtina išnagrinėti užsienio šalių patirtį naudojant rapsų aliejų (kokiose šalyse, kokio tipo, markės, standarto, pvz. DIN 51605), kur šis kuras/degalai naudojamas.

Atlikti ekonominę rapsų aliejaus kaip žaliavos analizę, kuri leistų padaryti išvadas apie ekonominį pagrįstumą/nepagrįstumą gaminti kurą. (rapsų aliejus yra naudojamas pagrindinai trimis kryptimis - maistui, RME ar REE gamybai, bei kaip skystasis katilų kuras).

Ištirti ir pateikti duomenis apie pasaulines rapsų aliejaus kaip kuro (DIN 51605) prekybos apimtis, šalis - gamintojas. Apžvelgti pagrindines šio kuro charakteristikas. Atlikti informacijos paiešką dėl prastesnės kokybės rapsų aliejaus, neatitinkančio DIN 51605 charakteristikų, naudojimo.

Ištirti rapsų aliejaus gamybos (spaudimo) technologijas, jų kainą. Atkreipti dėmesį į tai, kad technologijos gali būti paprastos, galimos naudoti pas rapsų augintojus.

Atlikti mokslinių darbų apie rapsų deginimą ir kaip kuro naudojimo techninių problemų tyrimą.

Išnagrinėti rapsų auginimo Lietuvoje situaciją ir galimybes auginimui padidinti. Išsiaiškinti kokios yra auginimo problemos, užaugintų rapsų sėklų savikaina. Išsiaiškinti kokios naudojamos sėklos, kokios labiau derlingos ar genetiškai modifikuotos sėklos galėtų būti panaudotos derlingumui padidinti. Aptarti, kokia yra teisinė situacija Lietuvoje dėl genetiškai modifikuotų augalų auginimo.

Būtina išsiaiškinti RA, spaudžiamo Lietuvos įmonėse dėl RME ir REE gamybos, technologiją, reikia ištirti fizines energetines rapsų aliejaus, skirto energetinėms reikmėms, savybes. Tolimesniame etape būtini papildomi Lietuvoje spaudžiamo RA fizinių ir cheminių savybių tyrimai, svarbūs kaip skystojo katilų kuro įteisinimui. Būtina atlikti deginimo tyrimus, kartu sprendžiant šio kuro tinkamumo naudoti skystojo kuro degikliuose galimas problemas.

Paties kuro savybių tyrimai yra būtini reglamentuojant jį kaip katilų kurą. Šio kuro tyrimų rezultate neabejotinai būtų gauti naudingi rezultatai.

Lietuvos mokslininkai nustatė, kad kai kurie net ir ne itin derlingose dirvose augantys vienamečiai ir daugiamečiai, mažai priežiūros reikalaujantys augalai galėtų būti Lietuvos bioenergetinės augalininkystės pagrindas. Tai ne tik išspręstų iki šiol vis dar dirvonuojančių Lietuvos laukų klausimą – skaičiuojama, kad dabar nedirbama maždaug 0,5 mln. ha žemdirbystei tinkamos žemės, bet ir skatintų energetikos decentralizaciją. Biokuro gamybai naudojami rapsai Lietuvoje auginami 37,4 tūkst. ha plote, tačiau „Rapsų auginimo plėtojimo ir gyventojų aprūpinimo aliejumi programoje“ nurodoma, kad Lietuvoje rapsus galima auginti 240–390 tūkst. ha plote. Rapsų auginimo plotai ir derliaus rodikliai pateikti 3 lentelėje [9].

3 lentelė. Rapsų auginimo Lietuvoje statistika

Nuimtas plotas, tūkst. ha		Derlius, tūkst. tonų		Derlingumas, 100 kg/ha	
2013	2014	2013	2014	2013	2014
259,0	215,1	550,6	501,5	21,3	23,3

Rapsų supirkimo kainos Lietuvoje yra labai panašios ir jų vidurkis yra apie 320 eur/t. Vertinant ekonominį rapsų auginimo efektyvumą remiamės „Linas Agro“ įmonių grupės

pateiktais duomenimis apie vasarinių rapsų auginimą, juos tręšiant kompleksine trąša NPK 15-15-15+8S. Duomenys pateikti 4 lentelėje [10].

4 lentelė. Rapsų auginimo galimybių ekonominis įvertinimas

Tręšimo variantai (kg ha ⁻¹ fiziniu svoriu)	Derlius t ha ⁻¹	Sėklų savikaina Lt t ⁻¹	Galimas gauti pelnas, esant skirtingoms sėklų kainoms Lt t ⁻¹		
			1300	1450	1600
2012 metai					
1. 500	2,45	1131	415	780	1150
2. 750	3,29	989	1022	1670	2464
3. 1000	4,04	916	1550	2158	2764

Vienas iš pagrindinių faktorių lemiantis kuro konkuravimą rinkoje yra jo kaina. Norint nustatyti, kaip rapsų aliejus gali konkuruoti su kitomis kuro rūšimis būtina jo naudojimo ekonominė analizė. Žemiau lentelėje pateikta vienos kilovatvalandės savikaina deginant kelias skirtingas kuro rūšis.

5 lentelė. Kai kurių kuro rūšių vartojimo savikainos vertinimas

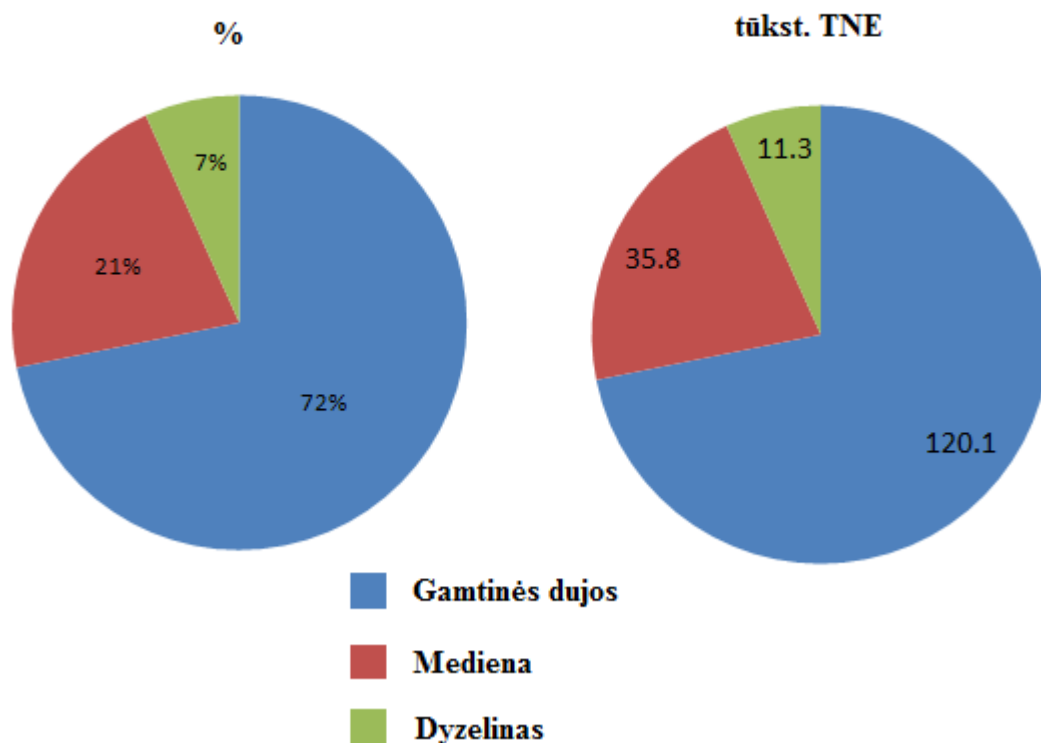
Kuro pavadinimas	Žemutinė kuro šiluminė vertė	Vidutinė kuro kaina	1 kWh savikaina
	MJ/kg		eur ct/kWh
Šildymui skirtas dyzelinas	43,1	0,60 eur/ltr	6,0
Dyzelinas	43,1	1,0 eur/ltr	10,0
RRME (riebalų rūgščių metilo esteris)	37,6	0,8 eur/kg	7,65
Dalinai išvalytas rapsų aliejus	36,0	0,7 eur/kg	7,0
Buitinės medienos granulės	17,28	0,15eur/kg	3,26

Kaip pavyzdys pateikiamas šildymui skirto dyzelino šilumos savikainos skaičiavimas. Žinant, jog 1 kWh=3,6 MJ gauname, jog degant iš vieno kilogramo mišinio išsiskiria 11,972 kWh šilumos. Taigi proporcingai gauti vienai kWh energijos kiekiui sudeginti reikia 0,0835 kg mišinio. Įvertinant tai, kad mišinio tankis yra 830 kg/m³ gauname, kad vienas litras mišinio sveria 0,83 kg. Taigi gauti vieną kilovatvalandę šilumos reikia sudeginti 0,1 litro mišinio, kas kainuos 6 eurct.

Atitinkamai suskaičiuojamos ir kitų mišinių deginimo savikainos. Iš gautų rezultatų matome, jog dalinai išvalytas rapsų aliejus prie duotų parametrų yra konkurencingas su visomis išvardyto kuro rūšimis, išskyrus kietąjį biokurą.

Kalbant apie rapsų aliejaus deginimą jo deginimo savikaina gali šiek tiek skirtis dėl kelių priežasčių. Visų pirma skaičiavimams kaloringumas naudojamas minimalus, esantis standarte DIN 51605. Tobulėjant aliejaus perdirbimo technologijoms galima bus pasiekti geresnių rezultatų. Antra, šio aliejaus kaina gali būti sumažinta, kai būtų atlikti tyrimai, leidžiantys apibrėžti minimalius šio aliejaus tinkamumo deginti katiluose kokybės reikalavimus.

Kuro suvartojimas Lietuvos namų ūkiuose 2014m.



7 pav. Kuro suvartojimas Lietuvos namų ūkiuose 2014m.

Išnagrinėjus kuro suvartojimą Lietuvos namų ūkiuose matyti, kad populiariausias kuras yra gamtinės dujos. Tačiau jos naudojamos ten, kur yra nutiestas dujotiekis. Lietuvoje vis dar yra daug vietovių, kur dujotiekio nėra ir šildymui naudojamas kitoks kuras. Pagal Lietuvos statistikos departamento duomenis, 7 % viso namų ūkiuose sunaudojamo kuro sudaro dyzelinas. Nors jo dalis ir nėra didelė, tačiau ji sudaro 11,3 tūkst.tne. arba 131419.0 MWh. Tai sudarytų 10851 tonas dyzelino per metus. Tokį kiekį būtų galima pakeisti ekologišku kuru, kurio dalį sudarytų rapsų aliejus.

2. RAPSŲ ALIEJAUS KAIP SKYSTOJO KURO NAUDOJIMO KATILUOSE TYRIMAI IR ANALIZĖ

Pagrindinės problemos, kurios iškyla norint deginti rapsų aliejų yra santykinai didelė skysčio kinematinė klampa ir pačio skysčio išpurškimo proceso optimizavimas.

Augalinės kilmės aliejai turi santykinai didelę klampą (vidutiniškai 35 mm²/s esant 40° palyginant su 3,0 mm²/s vidutine dyzelino klampa), kas sukelia problemą šį mišinį efektyviai išpurkšti buitiniuose katiluose sumontuotais slėgiminiais pulverizaciniais degikliais. Šiai problemai spręsti naudojami keli būdai.

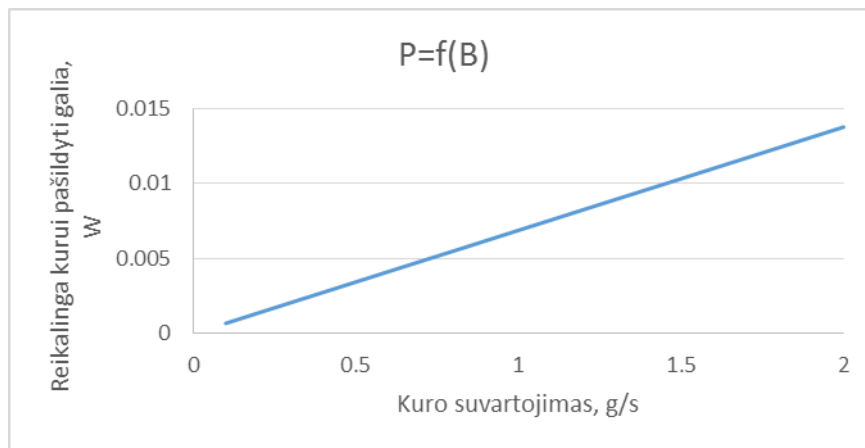
Pats paprasčiausias būdas yra aliejaus sumaišymas su dyzelinu taip jį praskiedžiant ir gaunant optimalią klampą, kuri leidžia efektyviai išpurkšti mišinį į katilo degimo kamerą. Kinematinės klamos pokytis, keičiantis rapsų aliejaus sumaišymo santykiui su dyzelinu pavaizduotas 7 pav [11]. Tokiu būdu galima tinkamai parinkti rapsų aliejaus ir dyzelino sumaišymo santykį pagal degiklio veikimo charakteristikas.

Kitas dažnai naudojamas būdas yra aliejaus pašildymas. Pašildžius mišinį ženkliai sumažėja jo klampa tokių būdu palengvinant išpurškimo procesą. Kaip kinta rapsų aliejaus klampa keičiantis temperatūrai pavaizduota 1 paveiksle.

Šioje vietoje galime atlikti elementarius skaičiavimus, norėdami sužinoti, kiek šiluminės energijos reikia suteikti vienam kilogramui rapsų aliejaus, norint gauti panašią klampą kaip dyzelino, jam esant aplinkos temperatūros (20 °C). Tam pasinaudosime 1 pav. duomenimis. Iš grafiko galime vizualiai nustatyti, jog 20 °C temperatūros dyzelino klampą apytikriai atitinka rapsų aliejus, kurio temperatūra yra apie 90 °C. Taigi, norint pasiekti tokią klampą kaip dyzelino, jam esant prie 20 °C temperatūros, rapsų aliejaus temperatūrą reikia pakelti 70 °C. Rapsų aliejui specifinė šiluma išskaičiuojama iš formulės $C_p = 1.9330 + 0.0026T$. Tokiu būdu gauname savitąją šilumą rapsų aliejui $C_{RA} = 2.076$ kJ/kg·K. Turėdami šiuos duomenis galime atlikti skaičiavimą.

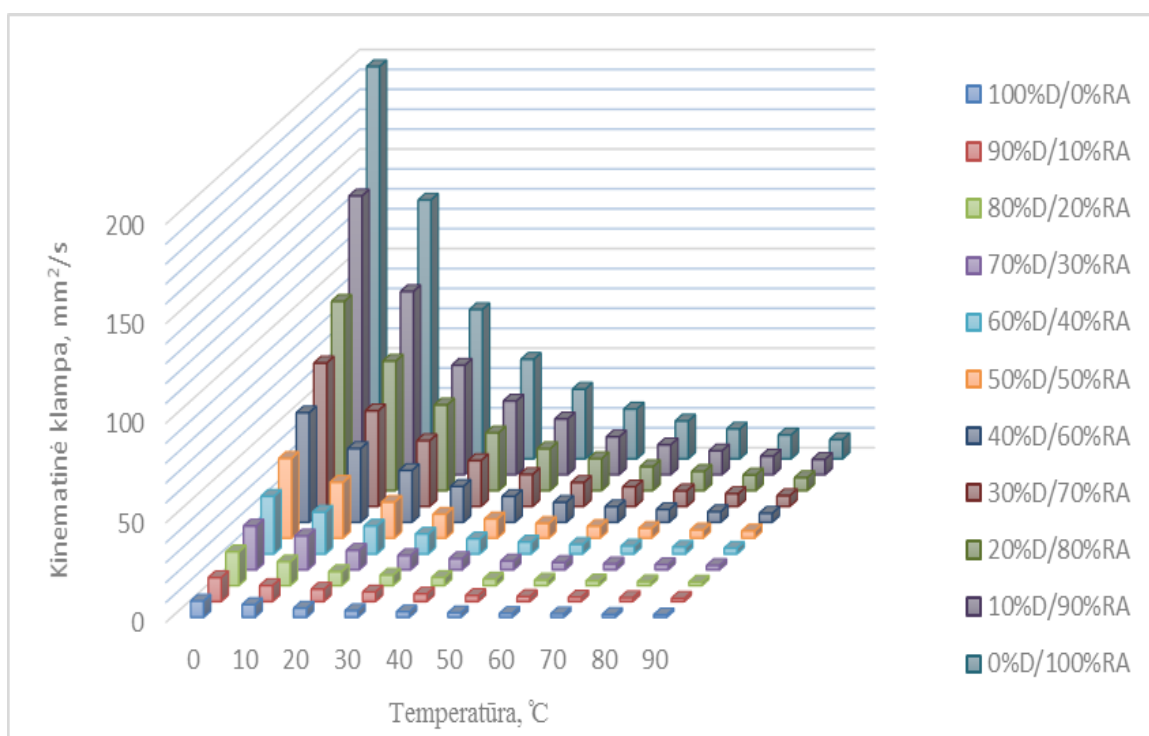
$$Q = C_{RA} \cdot m \cdot \Delta T = 2.076 \cdot 1 \cdot 70 = 145.32 \text{ KJ.}$$

Taigi norint prieš degimo procesą pašildyti vieną kilogramą rapsų aliejaus iki artimos dyzelinui klamos, reikės sunaudoti apytikriai 145,32 KJ arba 0,04 kWh energijos. Turint šiuos duomenis, galima apskaičiuoti ir pavaizduoti grafiškai šildymo galią, sąlyginiam rapsų aliejaus srauto kiekiui per sekundę.



8 pav. Reikiamos kuro pašildymo galios priklausomybė nuo kuro suvartojimo

Kitas būdas sumažinti klampą yra transesterifikacijos procesas, tačiau jis ženkliai pabrangina visą biodyzelino išgavimo technologiją.



9 pav. Įvairių santykių rapsų aliejaus sumaišymo su dyzelinu įtaka klampai

Dėl didelės mišinio klamos įtakos išpurškimo procesui pastaruoju metu atliekama vis daugiau mokslinių tyrimų. Pagrindiniai šių tyrimų tikslai yra rapsų aliejaus klamos įtakos išpurškimo sistemoje ir pasiskirstymo degimo kameroje analizė. Šie tyrimai duoda daug naudos projektuojant išpurškimo sistemas, skirtas klampesniai kurui deginti.

2.1. Rapsų aliejaus ir dyzelino mišinių savybių nustatymas

Tyrimams pasirinktas grynas ir dalinai išvalytas rapsų aliejus. Šio augalo galima rasti visuose Lietuvos regionuose. Toks paplitimas reiškia didelį šio kuro potencialą panaudojimui kaip skystam biokurui.

Tyrimams atlikti panaudotas grynas (šalto spaudimo ir filtruotas) rapsų aliejus (RA) bei rapsų aliejus su iš dalies pašalintomis dervomis – tai aliejus, artimas aliejui pagal DIN 51605, naudojamas kaip tiesioginė žaliava biodyzelino (riebalų rūgščių metilo esterio, RRME) gamybai. Aliejai tyrimams buvo gauti iš Mažeikių rajone esančios biodyzelino gamyklos “Rapsoila” [8]. Aliejaus tyrimai atlikti Šilumos ir atomo energetikos katedroje bei Šiaulių naftos produktų bandymų laboratorijoje [12]. Tyrimų rezultatai pateikti 6 lentelėje. Pilnas tyrimo protokolas pateiktas 1 priede.

6 lentelė. Rapsų aliejų tyrimų rezultatai

Tiriamąo objekto tiriamieji parametrai, matavimo vienetai	Tyrimų metodas	Tyrimų rezultatai	
		Dalinai išvalytas RA	Rapsų aliejus
Tankis, esant 15 ⁰ C, kg/m ³	LST EN ISO 12185:1999	919,4	921,0
Sieros kiekis, mg/kg	LST EN ISO 20846:2012	3,8	7,9
Klampa esant 40 ⁰ C, mm ² /s	LST EN ISO 3104+AC:2000	31,54	34,66
Klampa esant 100 ⁰ C, mm ² /s	LST EN ISO 3104+AC:2000	7,568	7,963
Vandens kiekis, mg/kg	LST EN ISO 12937:2002	811	896
Bendrasis priemaišų kiekis, mg/kg	LST EN 12662:2008	93,7	75,0
Atsparumas oksidacijai, esant 110 ⁰ C, h	LST EN 14112:2004	6,6	15,0
Fosforo kiekis, mg/kg	LST EN 14107:2004	0,46	10,62

Iš tyrimų galima padaryti išvadas, jog dalinai išvalius rapsų aliejų labiausiai pastebimas yra sieros ir fosforo kiekio sumažėjimas. Taip pat pastebimas ir tankio bei kinematinės klamos sumažėjimas, kas šiek tiek pagerina degimo procesą.

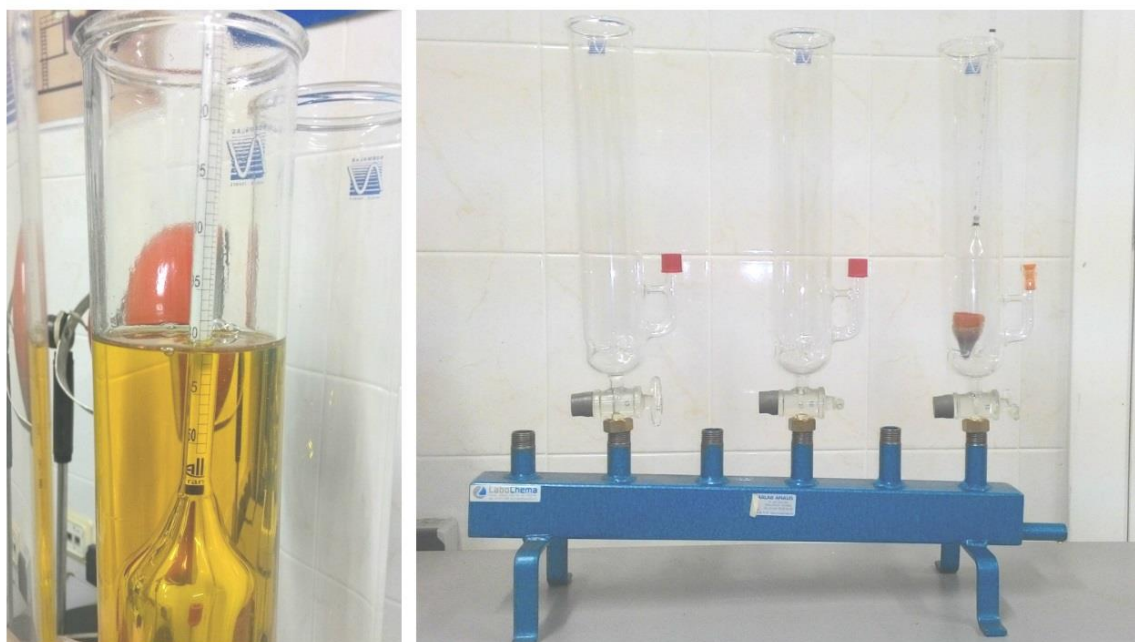
Deginimui skystojo kuro katile pasirinkti rapsų aliejaus bei dalinai išvalyto RA mišiniai su dyzelinu, į pastarąjį įmaišius 10, 20 ir 30 % rapsų aliejaus bei dalinai išvalyto RA. Tokie santykiai pasirinkti norint užtikrinti sklandų degimo procesą turint galvoje tai, kad katilas nėra pritaikytas deginti daug didesnės klamos skysčiams nei dyzelinis kuras. Tokiu būdu neženkliai padidinus išpurškiamo į degimo kamerą skysčio klampą bei sudėtį galima stebėti, kaip keičiasi degimo produktų sudėtis bei pats katilo darbas.

Atlikti sumaišytų mišinių tankio ir klamos tyrimai, pagrindinės savybės pateiktos 7 lentelėje.

7 lentelė. Nustatytos dyzelino ir rapsų aliejaus mišinių savybės

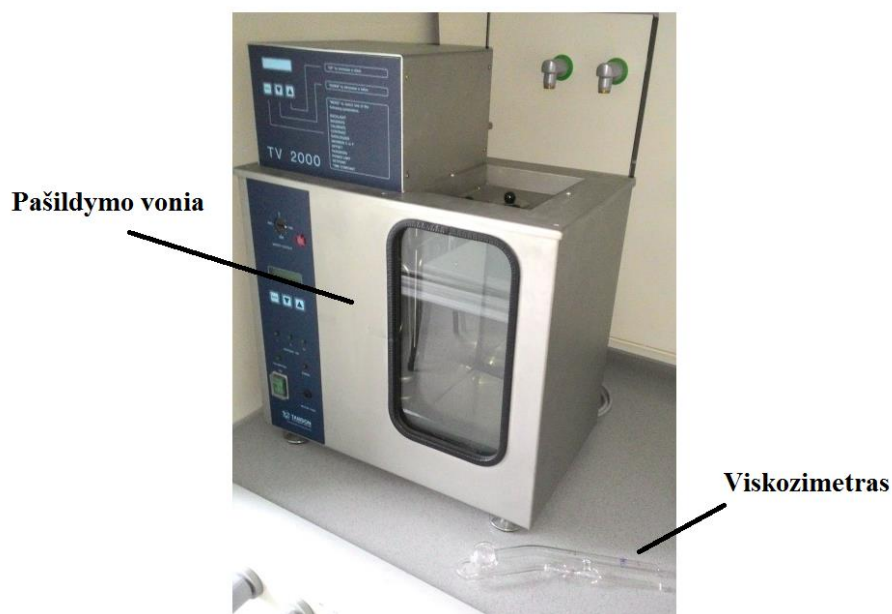
Parametras	Dyzelinas	10% RA	20% RA	30% RA	10% dalinai išvalyto RA	20% dalinai išvalyto RA	30% dalinai išvalyto RA
Tankis, esant 15-20 ⁰ C, kg/m ³	832	842	848	850	840	845	857
Klampa, esant 15-20 ⁰ C, mm ² /s	4,6	6,2	7,1	9,8	4,6	7,09	9,8

Mišinių tankio matavimas buvo atliktas naudojant areometrą. Užpildžius indą tiriamu mišiniu į jį panardinama plūdė, turinti matavimo skalę iš kurios nustatomas skysčio tankis. Prietaisas pavaizduotas 10 paveiksle.



10 pav. Tankio matavimo prietaisas

Kinematinei klampai matuoti buvo panaudotas kapiliarinis viskozimetras, pagamintas iš U formos vamzdžio. Vienoje vamzdžio pusėje yra tiriamojo skysčio rezervuaras, o kitoje pusėje, aukščiau rezervuaro lygio – kapiliarinis vamzdelis. Vienoje vamzdžio pusėje pakėlus skystį kapiliaru aukštyn, veikiamas sunkio jėgos jis pradeda tekėti žemyn. Išmatavus laiką, per kurį skystis prateka kapiliaru, galima apskaičiuoti skysčio kinematinę klampą. Viskozimetras pavaizduotas 11 pav.



11 pav. Kapiliarinis viskozimetras su pašildymo voniele

2.2. Dyzelino ir rapsų aliejaus mišinių sluoksniavimosi tyrimas

Viena iš galimų problemų, sumaišant du skirtingo tankio skysčius yra jų tarpusavio sluoksniavimasis. Siekiant išsiaiškinti ar sumaišyti dyzelino ir rapsų aliejaus bei dalinai išvalyto RA mišiniai nesisluoksniuoja, jie buvo supilti į stiklinius indus, sumaišyti ir palikti stovėti kambario temperatūroje apie dvi savaites laiko. Stebint bandinius per visą minėtą laikotarpį jokio sluoksniavimosi nepastebėta, todėl galima daryti išvadą, kad šie mišiniai talpoje gali būti laikomi ir ilgesnį laiką.



12 pav. Mišinio sluoksniavimosi tyrimas esant 15 °C aplinkos temperatūrai

Analogiški tyrimai su bandiniais buvo atlikti su 70%D:30%RA mišiniu, esant 1 °C bei -18 °C temperatūroms. Mišiniai šaldytuve laikyti savaitę laiko. Stebint mišinį, laikytą 1 °C aplinkoje nepastebėta jokių tarpusavio sluoksniavimosi požymių.



13 pav. Mišinio sluoksniavimosi tyrimas esant 1 °C aplinkos temperatūrai

Atšaldžius mišinį iki $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ jis pavirsta į tirštą masę, kuri būdama 200 ml. inde pereina į skystąją fazę per apytikriai 15 minučių. Mišiniui esant tiek tarpinėje agregatinėje būsenoje tarp kietos ir skystos tiek esant skystai fazinei būsenai mišinio sluoksniavimosi požymių neužfiksuota



14 pav. Mišinio sluoksniavimosi tyrimas esant $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ aplinkos temperatūrai

Iš atliktų stebėjimų galima padaryti išvadą, jog dyzelinas ir rapsų aliejus tarpusavyje nesisluoksniuoja esant išbandytomis sąlygomis ($-18 \div +15\text{ }^{\circ}\text{C}$). Tačiau laikant tokį kurą neigiamos temperatūros aplinkos sąlygomis, reiktų kuro talpą izoliuoti arba naudoti kuro pašildymo mechanizmą, norint išvengti mišinio stingimo.

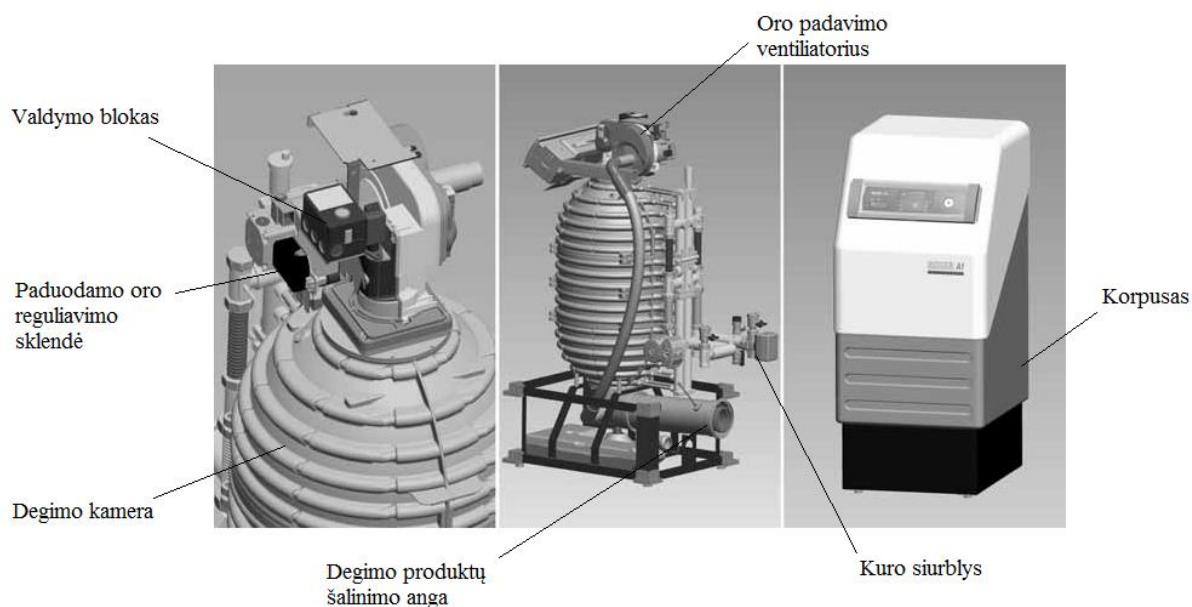
2.3. Tiriamojo darbo įrangos aprašymas

Paruoštiems rapsų aliejaus bei dalinai išvalyto RA ir dyzelino mišiniams deginti panaudotas Kauno technologijos universiteto šilumos ir atomo energetikos katedros laboratorijoje esantis kondensacinis skystojo kuro katilas Rotex A1. Katilo parametrai pateikti 8 lentelėje [13].

8 lentelė. Skystojo kuro katilo parametrai

Rotex A1 B0 27i	
Nominali galia	25 kW
Leistinas darbinis slėgis	4 bar
Didžiausia vandens temperatūra	80 $^{\circ}\text{C}$
Didžiausias efektyvumas	105 %
Dūmų temperatūra	38-89 $^{\circ}\text{C}$
Katilo svoris	58 kg
Ilgis	72 cm
Plotis	62,5 cm
Aukštis	122 cm
Dūmtraukio diametras	80/125 mm

Katilas veikia automatinu režimu, jį įjungus vyksta katilo prapūtimas ir paskui automatinis paleidimas. Principinė katilo schema pavaizduota 13 paveiksle [13].



15 pav. Skystojo kuro katilas „Rotex A1“

Degimo metu susidarę degimo produktai išmatuoti naudojant dūmų analizatorių „Multilyzer NG“, 5 pav. Prieš atliekant matavimus dūmų analizatorius automatiškai sukalibruojamas, tada pasirenkama kuro rūšis ir atliekami degimo produktų matavimai analizatoriaus zondą patalpinus dūmų išmetimo vamzdyje.



16 pav. Dūmų analizatorius „Multilyzer NG“

Aparato parametrai ir matavimo galimybės pateiktos 9 lentelėje [14].

9 lentelė. Dūmų analizatoriaus matuojamieji parametrai

Techninė specifikacija	
Matuojamos vertės	
Dūmų temperatūra, $T_{dūmų}$	°C
Aplinkos temperatūra, $T_{aplinkos}$	°C
Degunies kiekis, O_2	%
Anglies monoksido kiekis, CO	ppm, mg/m^3
Azoto monoksidas, NO	ppm, mg/m^3
Sieros dioksidas, SO_2	ppm, mg/m^3
Apskaičiuojamos vertės	
Anglies dioksidas, CO_2	%
Degimo efektyvumas	%
Oro pertekliaus koeficientas, α	-
Nuostoliai	%
Azoto oksidai, NO_x	ppm, mg/m^3
Temperatūrų skirtumas, $T_{skirt.}$	°C

Tyrimo metu kondensaciniame skystojo kuro katile „Rotex A1“ buvo deginami šeši rapsų aliejaus ir dalinai išvalyto RA mišiniai, kurie buvo sumaišyti su dyzelinu ir supilti į 1,5 ltr. talpas. Degimo metu dūmų analizatoriumi „Multilizer NG“ buvo analizuojama degimo produktų sudėtis ir iš to sprendžiama, ar mišiniai pilnai ir kokybiškai sudega. Visas bandymo stendas parodytas 17 paveiksle.



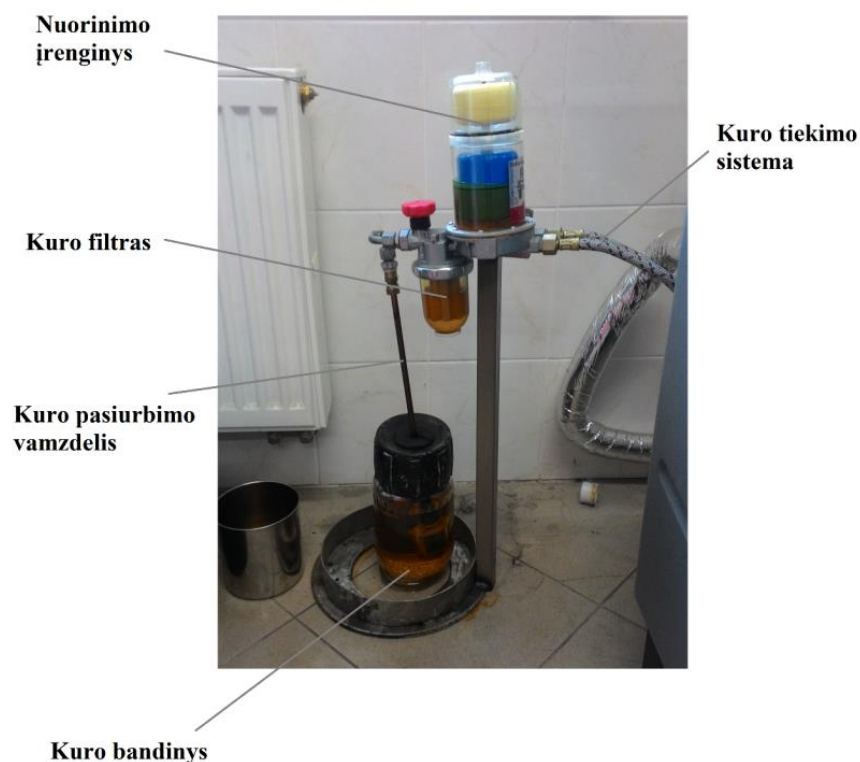
17 pav. Skystojo kuro katilas ir dūmų analizatorius

Prieš atliekant matavimus tyrimo metu keičiant skystojo kuro mišinius deginimui katilo kuro pasiurbimo sistema, pavaizduota 18 pav. buvo visiškai užpildyta mišiniu ir duotas laiko tarpas katilui padirbti nauju kuru.

Tam, kad mišinių degimo kokybės palyginimas būtų kiek galima tikslesnis, visi matavimai buvo atlikti prie kiek galima vienodų parametrų ir sąlygų. Šiluma, gauta degant kurui atiduota įrengtai šildymo sistemai. Kadangi šildymo sistema pagal katilo galingumą įrengta per maža, buvo atliekamas papildomas vandens aušinimas įrengtu kaloriferiu ir rekuperaciniu šilumokaičiu.

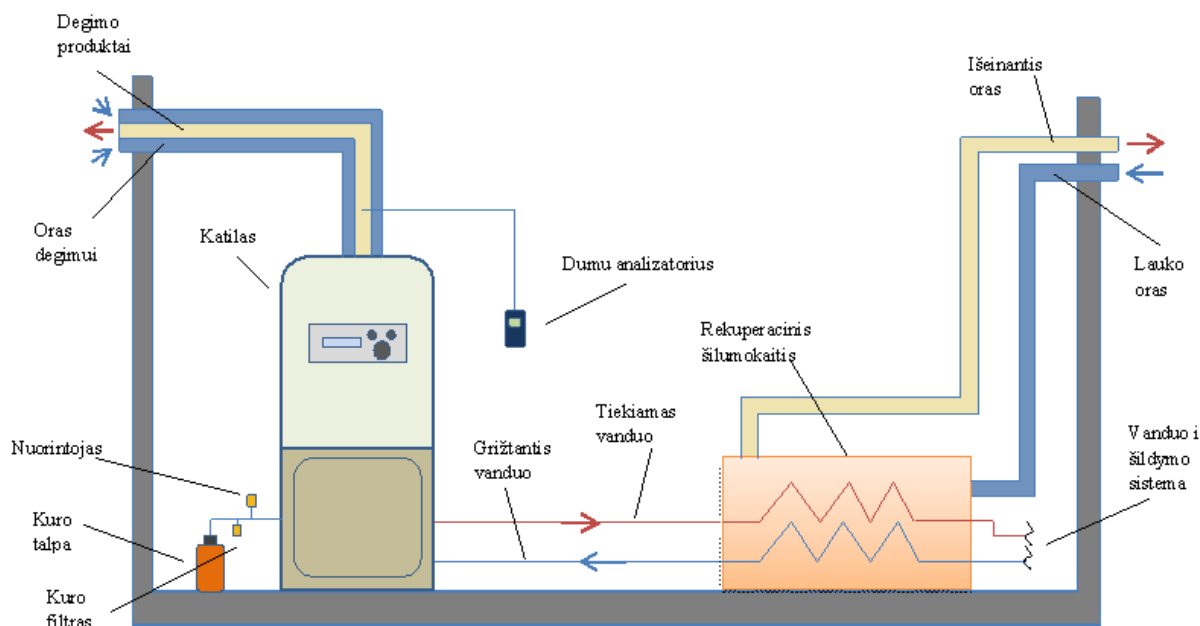
Matavimai buvo atlikti prie užsiduotos išeinančio iš katilo vandens temperatūros $T_{\text{vandens}}=70^{\circ}\text{C}$. Visi matavimai atlikti katilui dirbant nominaliu galingumu, $P_{\text{katilo}}=25\text{ kW}$, kadangi reguliuoti katilo galios galimybės nėra.

Degimo produktų sudėties matavimai atliekami patalpinus dūmų analizatoriaus zondą į degimo produktų šalinimo kanalą, zondo jautrųjį elementą išlaikant ties vamzdžio centru. Matavimas vyksta tada, kai matuojamos degimo produktų reikšmės nusistovi ir nekinta ar kinta labai nežymiai.



18 pav. Katilo kuro siurbimo sistema

Taip pat pavaizduojama katilo ir šildymo sistemos schema. Išeinantis iš katilo pašildytas vanduo patenka į rekuperacinį šilumokaitį, kur per šilumokaičio šilumos mainų paviršių atiduoda dalį šilumos iš lauko siurbiamam orui ir toliau tiekiamas į šildymo sistemą.



19 pav. Skystojo kuro katilo ir šilumos atidavimo kontūro schema

2.4. Tiriamojo darbo rezultatai

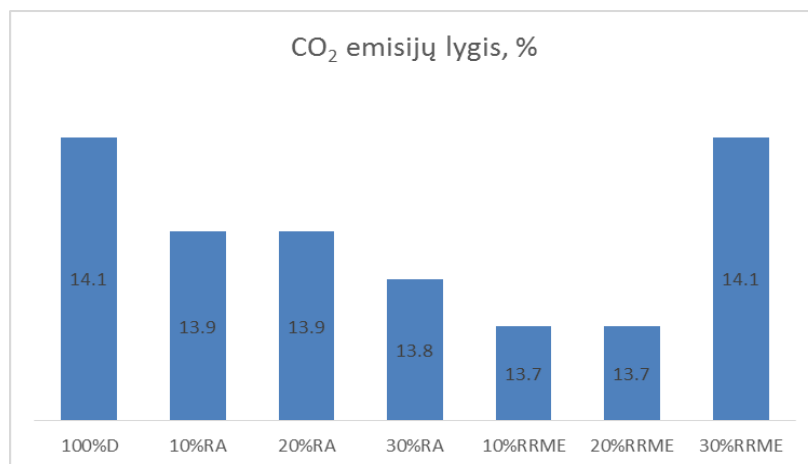
Prieš pradėdant deginti numatytus kuro mišinius, katilas kurį laiką kūrenamas dyzelinu, kol iš katilo išeinančių degimo produktų kitimas nusistovi. Nusistovėjus degimo produktų parametrams užfiksuojamos jų reikšmės ir bandymai atliekami su paruoštais dyzelino ir rapsų aliejaus mišiniais, pradėdant mišiniu 90 % dyzelino ir 10 % rapsų aliejaus. Vėliau deginamas mišinys su atitinkamu komponentų santykiu 80/20 % ir 70/30 %. Sudeginus šiuos bandinius analogiškai deginami dalinai išvalyto RA ir dyzelino mišiniai.

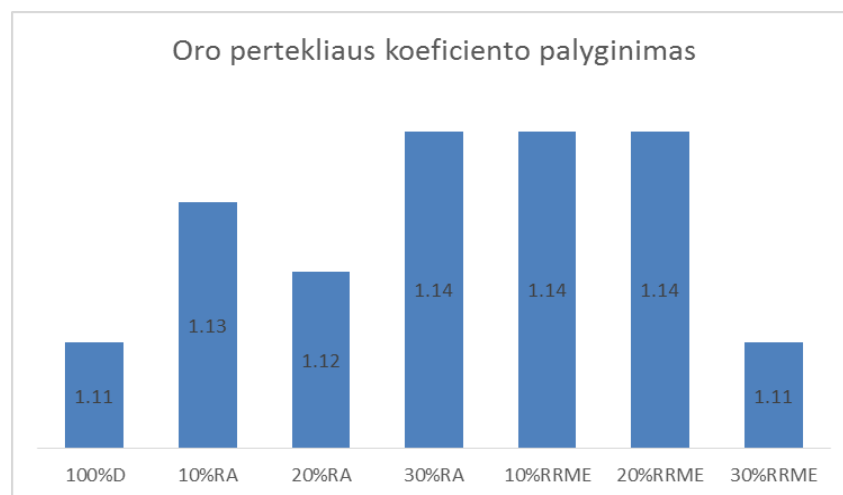
Bandymų rezultatai pateikti 10 lentelėje.

10 lentelė. Degimo produktų tyrimo rezultatai

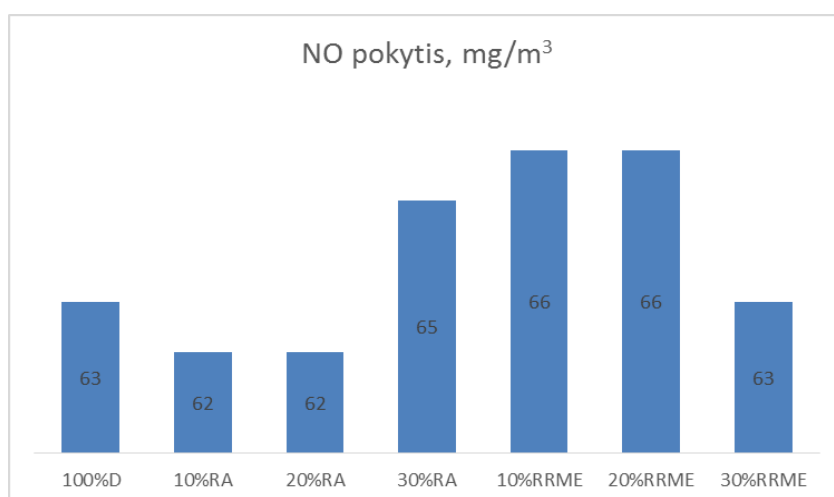
		Dyzelinas	10% RA	20% RA	30% RA	10% dalinai išvalyto RA	20% dalinai išvalyto RA	30% dalinai išvalyto RA
O ₂	%	2.1	2.4	2.3	2.5	2.6	2.6	2.1
CO	mg/m ³	0	0	0	0	0	0	0
T _{dūmų}	°C	78	78	77	78	76	78	78
CO ₂	%	14.1	13.9	13.9	13.8	13.7	13.7	14.1
Nuostoliai	%	2.60	2.7	2.6	2.7	2.6	2.7	2.6
NO	mg/m ³	63	62	62	65	66	66	63
SO ₂	mg/m ³	0	0	0	0	0	0	0
NO _x	mg/m ³	100	97	99	103	104	104	99
CO _{norm.}	ppm	0	0	0	0	0	0	0
NO _{norm.}	ppm	47	46	47	49	49	49	47
NO _{xnorm.}	ppm	48	47	48	50	50	51	48
SO _{2norm.}	ppm	0	0	0	0	0	0	0
Oro pertekliaus koeficientas	-	1.11	1.13	1.12	1.14	1.14	1.14	1.11
T _{kamb.}	°C	14.2	14.2	14	14.4	14.6	14.5	14.4
T _{skirt.}	°C	63.8	63.8	63	63.6	61.4	63.5	63.6
Efektyvumas	%	97.4	97.3	97.4	97.3	97.4	97.3	97.4
Rasos taško temperatūra	°C	49.6	49.3	49.4	49.2	49.1	49.1	49.6
CO _{maks}	ppm	76	65	57	60	60	60	60

Kai kuriuos svarbiausius rezultatus patogiu pavaizduoti grafike, tada juos lengviau įvertinti ir palyginti. 20 pav. pavaizduotas anglies dvideginio emisijų lygis procentais degimo produktuose, sudeginus minėtus mišinius. Oro pertekliaus koeficiento reikšmės deginant skirtingus dyzelino ir rapsų aliejaus mišinius pavaizduotos 21 pav. Azoto monoksidų ir oksidų pokytis pavaizduotas atitinkamai 22 ir 23 pav.

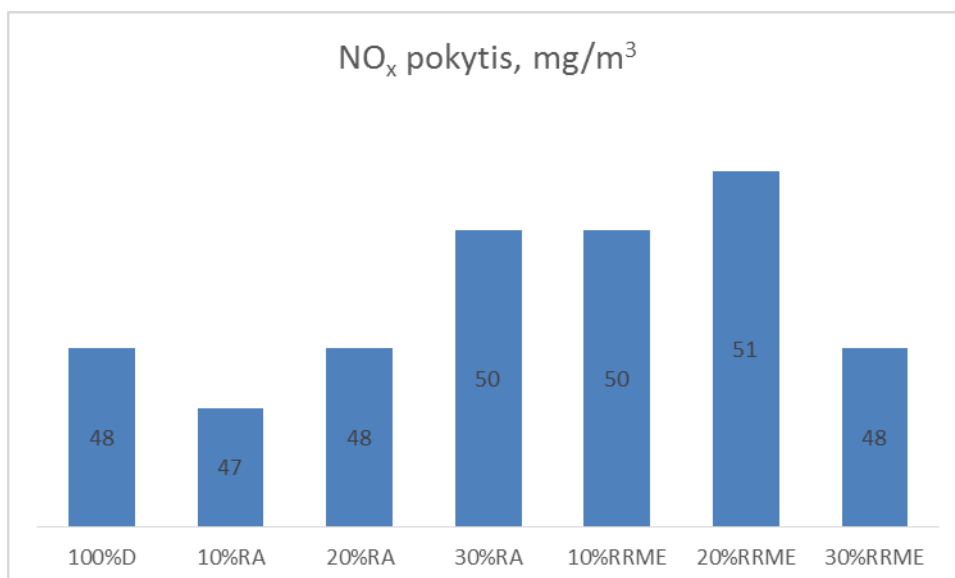
20 pav. CO₂ emisijų lygis deginant skirtingus mišinius



21 pav. Oro pertekliaus koeficiento palyginimas deginant skirtingus mišinius



22 pav. NO pokytis deginant skirtingus mišinius



23 pav. Azoto oksidų emisijų palyginimas deginant skirtingus mišinius

Pavaizduojamas procentinis degimo produktų emisijų pokytis, sudeginus minėtus dyzelino ir rapsų aliejaus mišinius.

11 lentelė. Emisijų palyginimas procentinėmis dalimis deginant skirtingus mišinius

Emisijų palyginimas su dyzeliniu kuru, %						
Parametras	90% dyzelinas+ 10% RA	80% dyzelinas+20% RA	70% dyzelinas+ 30% RA	90% dyzelinas+ 10% dalinai išvalyto RA	80% dyzelinas+ 20% dalinai išvalyto RA	70% dyzelinas+ 30% dalinai išvalyto RA
CO ₂ pokytis, %	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0
NO pokytis, %	1	1	-2	-3	-3	0
NO _x pokytis, %	3	1	-3	-4	-4	1

Atliekant matavimus esamomis sąlygomis, galima nedidelę gaunamų rezultatų sklaidą, deginant skirtingus mišinius. Šios paklaidos susidaro dėl to, jog degant mišiniui, rankiniu būdu reikia sureguliuoti deguonies paduodamą kiekį, kuris yra tarp 2-3 %. Vykstant degimui šis kiekis taip pat nėra pastovus, dėl katilo automatikos vykdomos savireguliacijos. Kiekvieno bandinio deginimo metu katilo automatika degimą sureguliuoja optimaliam režimui.

Įvertinus visus šiuos faktorius galima teigti, jog degimo produktų vertės, deginant skirtingos koncentracijos rapsų aliejaus, dalinai išvalyto RA ir dyzelino mišinius skiriasi labai mažai. Apibendrinant visus bandymus galima padaryti išvadą, jog tiek rapsų aliejaus tiek dalinai išvalyto RA įmaišymas į dyzelinį kurą iki 30% aliejaus koncentracijos įtakos degimo produktų formacijai skystojo kuro katilė „Rotex A1“ praktiškai neturi, lyginant su dyzelino deginimu.

Norint patikrinti tyrimo rezultatus, bandymas buvo pakartotas antrą kartą po kelių parų, esant kitomis aplinkos atmosferos sąlygomis. Bandymo metu buvo sudeginta 10÷40 % koncentracijos dyzelino ir rapsų aliejaus mišiniai. Bandymo duomenys išliko panašūs, jų rezultatai pateikti priede Nr.2

Vizualiai stebint katilo darbą, deginant dyzelino ir 10÷30 % koncentracijos rapsų aliejaus mišinius nepastebėta jokių kuro tiekimo ir katilo darbo sutrikimų.

Tačiau pradėjus deginti dyzelino ir 40 % koncentracijos rapsų aliejaus mišinį vizualiai buvo galima pamatyti, kad yra sumažėjęs filtro pralaidumas dėl padidėjusios šio mišinio kinematinės klamos. Daugiau sistemos darbe sutrikimų nepastebėta.

2.5. Katilo kuro sąnaudos

Siekiant palyginti katilo tiekiamos šiluminės energijos savikainą, katilą kūrenant dyzelinu bei dyzelino ir rapsų aliejaus mišiniais, yra tikslinga atlikti katilo kuro suvartojimo tyrimą.

Katilo kuro suvartojimas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$B = \frac{D(h_2 - h_1) \cdot 1000}{Q_z^n \cdot \eta_k}, \frac{kg}{s} \quad (1)$$

čia: D – vandens srautas, išeinantis iš katilo, kg/s

h_2 – išeinančio iš katilo vandens entalpija, kJ/kg·K

h_1 – paduodamo į katilą vandens temperatūra, kJ/kg·K

Q_z^n – žemutinis kuro šilumingumas, kJ/kg·K

η_k – katilo naudingumo koeficientas

Vandens srautui, išeinančiam iš katilo apskaičiuoti, naudojama formulė:

$$D = \frac{P}{(c_p \cdot \rho \cdot \Delta t)} \cdot 1000, \frac{kg}{s} \quad (2)$$

čia: P – vardinė katilo galia, kW

c_p – vandens šiluminė talpa, kJ/kg·K

ρ – vandens tankis, kg/m³

Δt – išeinančio ir paduodamo vandens temperatūrų skirtumas, °C

Katilo vardinis galingumas yra žinomas, P=25 kW, vandens šiluminė talpa vidutinei katilo vandens temperatūrai (5-80 °C) yra $c_p=4,18$ kJ/kg·K, vandens tankis priimamas $\rho=1000$ kg/m³ išeinančio ir paduodamo vandens temperatūrų skirtumas priimamas laikant, kad katilas tiekia 70°C vandenį, o iš sistemos jis grįžta 40°C.

Žemutinės kuro šilumingumo vertės apskaičiuojamos žinant dyzelino ir rapsų aliejaus šilumingumą bei šių dviejų komponentų procentines dalis mišinyje. Dyzelino apatinis šilumingumas $Q_{dyzelinas}=43600$ kJ/kg [3]. Rapsų aliejaus šilumingumas $Q_{RA}=37300$ kJ/kg [4]. Turint šiuos duomenis apskaičiuojamas mišinių kaloringumas.

$$Q_{10\%RA}=Q_D \cdot 0,9 + Q_{RA} \cdot 0,1 = 42970 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{20\%RA}=Q_D \cdot 0,8 + Q_{RA} \cdot 0,2 = 42340 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{30\%RA}=Q_D \cdot 0,7 + Q_{RA} \cdot 0,3 = 41710 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{40\%RA}=Q_D \cdot 0,6 + Q_{RA} \cdot 0,4 = 41080 \text{ kJ/kg}$$

Ištekannčio vandens entalpija $h_2=293,156$ kJ/kg ir įtekančio vandens entalpija $h_1=125,923$ kJ/kg randama iš literatūros [1]. Katilo naudingumo koeficientas remiantis atliktais bandymais $\eta_k=97\%$.

Turint šiuos duomenis apskaičiuojamas vandens srautas išeinantis iš katilo, jam dirbant nominaliu režimu:

$$D = \frac{25}{(4,18 \cdot 1000 \cdot 30)} \cdot 1000 = 0,199 \text{ kg/s}$$

Turint šį dydį galima apskaičiuoti katilo kuro suvartojimą, degant dyzelinui ir išbandytiems mišiniam:

$$B_{dyz} = \frac{0,199 \cdot (293,156 - 125,923) \cdot 100}{43600 \cdot 97} = 0,000787 \frac{kg}{s} = 0,787 \frac{g}{s}$$

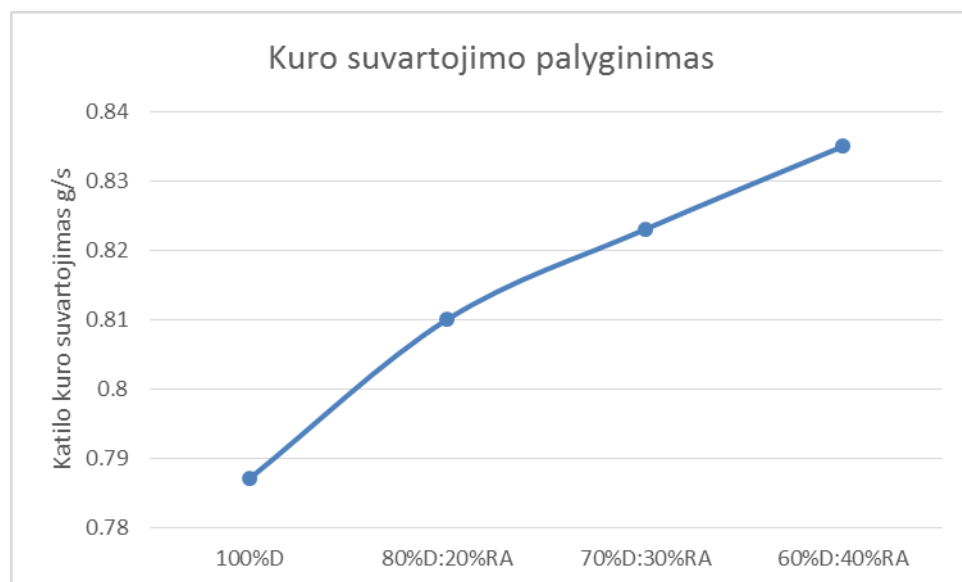
$$B_{10\%RA} = \frac{0,199 \cdot (293,156 - 125,923) \cdot 100}{42970 \cdot 97} = 0,000798 \frac{kg}{s} = 0,798 \frac{g}{s}$$

$$B_{20\%RA} = \frac{0,199 \cdot (293,156 - 125,923) \cdot 100}{42340 \cdot 97} = 0,000810 \frac{kg}{s} = 0,810 \frac{g}{s}$$

$$B_{30\%RA} = \frac{0,199 \cdot (293,156 - 125,923) \cdot 100}{41710 \cdot 97} = 0,000823 \frac{kg}{s} = 0,823 \frac{g}{s}$$

$$B_{40\%RA} = \frac{0,199 \cdot (293,156 - 125,923) \cdot 100}{41080 \cdot 97} = 0,000835 \frac{kg}{s} = 0,835 \frac{g}{s}$$

Iš gautų rezultatų galima teigti, jog dyzeliniame kure didėjant rapsų aliejaus kiekiui, katilo kuro suvartojimas neženkiai padidėja. Akivaizdu, jog toks rezultatas gaunamas dėl sumažėjusio mišinio kaloringumo. Katilo kuro suvartojimas deginant minėtus mišinius pavaizduotas 22 paveiksle.



24 pav. Teorinis kuro sąnaudų palyginimas

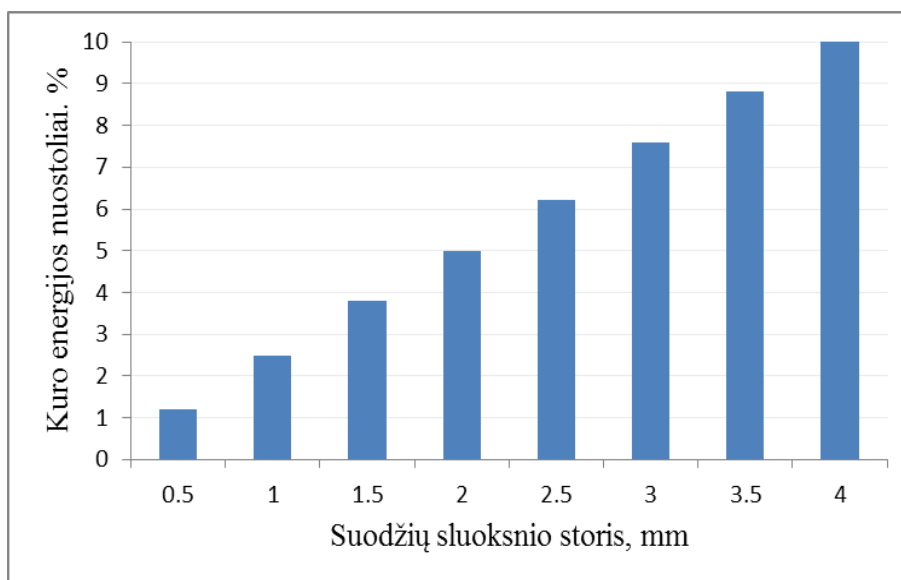
Iš grafiko matyti, jog kuro suvartojimo priklausomybė nuo atitinkamos rapsų aliejaus dalies dyzeline yra beveik tiesinė, taigi galima padaryti išvadas, jog didėjant rapsų aliejaus kiekiui dyzeline, katilo kuro suvartojimas nežymiai didėja. Kuro suvartojimo pasikeitimas procentinėmis dalimis pavaizduotas 12 lentelėje.

12 lentelė. Kuro sąnaudų pokytis

Mišinys	Kuro suvartojimo padidėjimas lyginant su dyzelinu
Dyzelinas 90 proc + 10% RA	1,34 %
Dyzelinas 80 proc + 20% RA	2,92 %
Dyzelinas 70 proc + 30% RA	4,57 %
Dyzelinas 60 proc + 40% RA	6,10 %

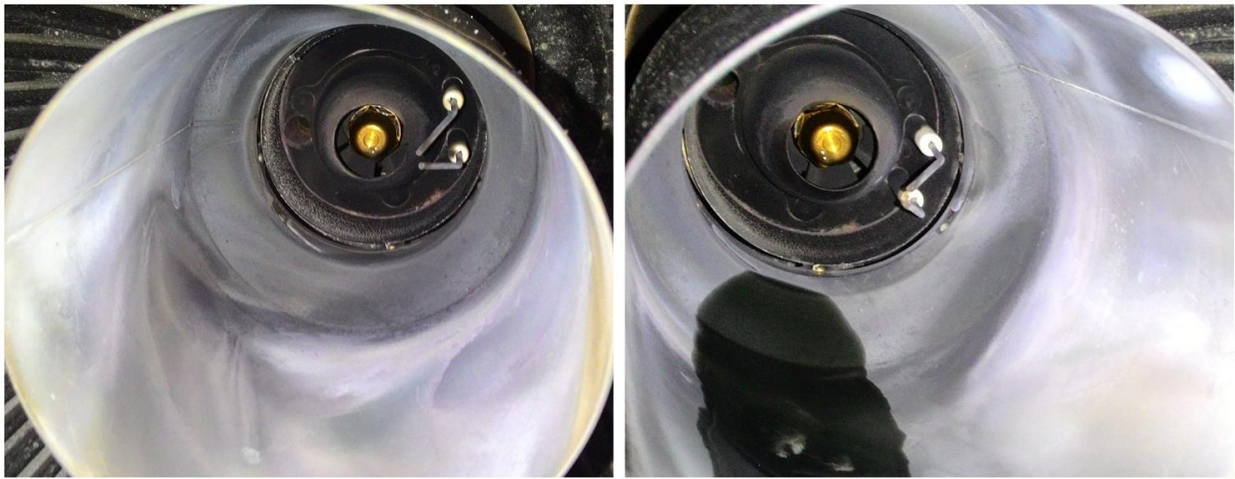
2.6. Suodžių susidarymo katilo degimo kameroje tyrimas

Viena iš galimų problemų, deginant didesnę klampą turintį kurą, yra galimas suodžių susidarymas ant katilo vidinio paviršiaus. To priežastis yra netinkamas kuro išpurškimas, dėl netinkamai kurui parinkto purkštuko ar atvirksčiai. Kuro išpurškimo metu, purkštuke kuras yra nepakankamai ištaškomas ir į degimo kamerą patenka mažų ir didesnių lašelių pavidale. Mažesni lašeliai judėdami link degimo kameros centro fakele pilnai sudega, o didesni lašeliai, nespėję sudegti, nusėda ant katilo kaitinamų paviršių ir suformuoja suodžius, kurie daugiausiai susideda iš anglies. Suodžiai, sudarydami tam tikro storio sluoksnį ant katilo degimo kameros paviršiaus, mažina šilumos perdavimo intensyvumą per katilo šildomus paviršius. Taip pat dėl nesudegusiam kure esančių sieros bei deguonies junginių padidėja katilo metalinių paviršių korozijos tikimybė, kas trumpina katilo tarnavimo laiką. Susidarant suodžiams didėja reikalingo kuro kiekis, būtinas pagaminti tą patį šilumos kiekį, kas pabrangina šildymo kainą.



25 pav. Suodžių sluoksnio įtaka kuro energijos nuostoliams

Todėl siekiant išlaikyti katilo efektyvų darbą ir ilgą tarnavimo laiką, labai svarbu atsižvelgti į tai, kokio diapozono kinematinės klampos kurą gali efektyviai išpurkšti katilo purkštukas.

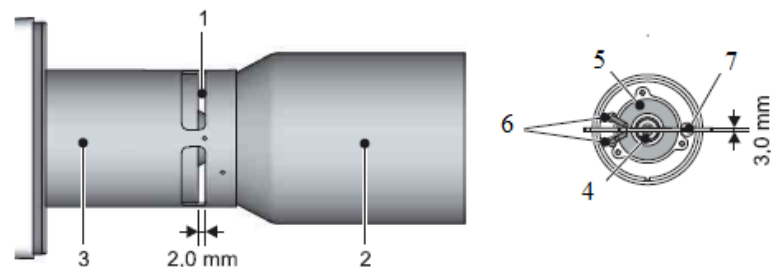


Prieš deginimą

Po deginimo

26 pav. Suodžių susidarymo tyrimas

Tyrimams naudotame katile sumontuotas purkštukas skirtas deginti dyzelinui ir jam artimos klamos kurui [17], todėl labai svarbu išsiaiškinti ar deginant klampesnę kurą degimo kameroje nesusidaro suodžiai.



- 1 - Recirkuliacijos anga
- 2 - Ugnies fakelo anga
- 3 - Recirkuliacijos kamera

- 4 - Kuro padavimas
- 5 - Oro padavimas
- 6 - Uždegimo elektrodai
- 7 - Rankinio oro padavimo vožtuvas

27 pav. Katilo kuro išpurškimo sistemos schema

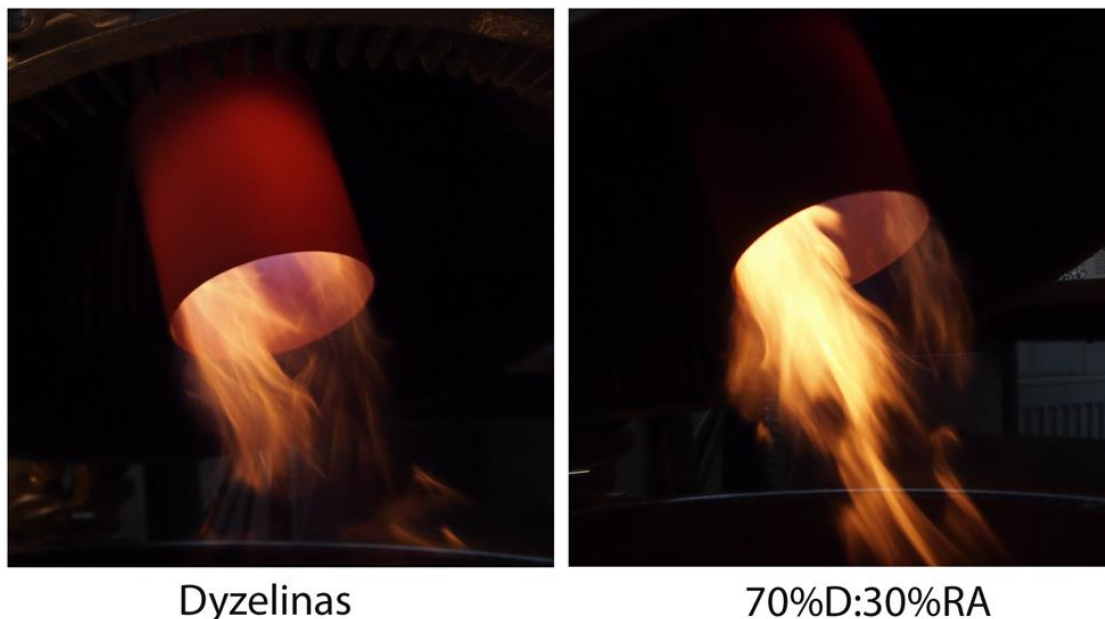
13 lentelė. Katilo kuro išpurškimo sistemos parametrai

Katilo galia	Oro padavimo anga	Kuro išpurškimo anga	Kuro siurblio slėgis	Kuro siurblio našumas	Atstumas tarp kuro/oro padavimo taškų	Orapūtės slėgis
kW	∅, mm	∅, mm	bar	kg/h	mm	mbar
25	24	0.55	11.5	2.16	4	6.9

Tam tikslui buvo deginamas 70%D30%RA mišinys ir stebėta, ar degimo proceso metu neusidaro suodžiai. Vizualus degimo kameros paviršiaus palyginimas parodytas 26 paveiksle. Iš jo matyti, jog sudeginus 6 litrus dyzelino ir rapsų aliejaus mišinio, kurio kinematinė klampa 9,8 mm²/s, t.y 2,13 karto didesnė už dyzelino, vizualiai nepastebima jokių suodžių susidarymo

požymių, kas leidžia daryti išvadą, kad tokios klampos kuras yra tinkamas naudojimui šiame katile šildymo tikslams.

Palyginus ugnies fakelo geometriją, degant dyzelinui ir rapsų aliejui, vizualiai jokių pokyčių nepastebėta, kuro mišinys abiem atvejais išpurškiamas tolygiai ir smulkiai, didesnių ir nesudegusių kuro lašų taip pat neužfiksuota. Šiek tiek (iki 25-30 proc.) padidėja fakelo ilgis, kas



28 pav. Ugnies fakelo palyginimas

rodo didesnę lakiųjų degimo komponentų formacijos tikimybę.

Atlikus suodžių susidarymo tyrimą skystojo kuro katile „Rotex A1“, sudeginant 6 litrus mišininio kuro neužfiksuota jokių suodžių susidarymo požymių arba jie yra labai nežymūs ir per tokį trumpą deginimo laiką (3-4 val.) nepastebimi.

2.7. Adiabinės degimo temperatūros nustatymas

Deginimo temperatūra yra svarbus parametras tiriant kuro degimo savybes, degimo produktų susidarymą, taip pat norint įvertinti šilumos perdavimą katilo ekraniniams paviršiams bei šilumos mainų intensyvumui nustatyti. Adiabinė temperatūra yra teoriškai galima fakelo temperatūra degant kurui, kai nėra jokių nuostolių į aplinką.

Kurui degant išsiskyrusi šiluma visų pirma naudojama degimo produktams šildyti, t.y jų entalpijai didinti. Kadangi degimo produktų komponentų specifinės šilumos nevienodos, tai jų entalpijas reikia skaičiuoti atskirai ir po to susumuoti.

Teorinio dūmų tūrio entalpija (kJ/m^3), kai temperatūra t , apskaičiuojama:

$$H_d^t = (V_{\text{RO}_2} \cdot c_{\text{CO}_2} + V_{\text{N}_2^t} \cdot c_{\text{N}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}}) \cdot t_d \quad (3)$$

čia, V_{RO_2} – triatomų dujų kiekis, m^3/kg

$V_{\text{N}_2^t}$ – azoto kiekis dūmuose, m^3/kg

V_{H_2O} – vandens kiekis dūmuose, m^3/kg

c_{CO_2} , c_{N_2} , c_{H_2O} - degimo produktų komponentų specifinės šilumos, $kJ/m^3 \cdot K$.

Randamos iš literatūros [1].

t – išeinančių dūmų temperatūra. Paimamas dūmų analizatoriaus parodymų vidurkis.
 $t_d=77,5 \text{ } ^\circ C$.

14 lentelė. Degimo produktų komponentų specifinės šilumos

c, $kJ/m^3 \cdot K$	
CO ₂	1.749
N ₂	1.314
H ₂ O	1.492
O	1.325

Degimo produktų komponentų tūriai yra žinomi, jų skaičiavimai pateikti 2.9 skyriuje. Turint šiuos duomenis galima apskaičiuoti sudegintų mišinių teorinio dūmų tūrio entalpiją.

$$H_d^{t(100\%D)}=(1.589 \cdot 1.749+ 8.717 \cdot 1.314+ 1.644 \cdot 1.492) \cdot 77.5=1293.94 \text{ kJ/kg}$$

$$H_d^{t(80\%D:20\%RA)}=(1.567 \cdot 1.749+ 8.456 \cdot 1.314+ 1.572 \cdot 1.492) \cdot 77.5=1255.94 \text{ kJ/kg}$$

$$H_d^{t(70\%D:30\%RA)}=(1.549 \cdot 1.749+ 8.362 \cdot 1.314+ 1.569 \cdot 1.492) \cdot 77.5=1243.69 \text{ kJ/kg}$$

$$H_d^{t(60\%D:40\%RA)}=(1.532 \cdot 1.749+ 8.266 \cdot 1.314+ 1.565 \cdot 1.492) \cdot 77.5=1231.00 \text{ kJ/kg}$$

Kadangi degimas vyksta su oro pertekliumi α , dūmų entalpija padidėja oro pertekliaus entalpijos dydžiu:

$$H_d=H_d^t+(\alpha-1) \cdot H_0^t \quad (4)$$

Šioje lygtyje $H_0^t=V_0^t \cdot c_0 \cdot t$ – teorinio oro kiekio entalpija, kJ/m^3

$$H_0^{t(100\%D)}= 11,032 \cdot 1,325 \cdot 77,5=1133 \text{ kJ/m}^3$$

$$H_0^{t(80\%D:20\%RA)}= 10,702 \cdot 1,325 \cdot 77,5=1099 \text{ kJ/m}^3$$

$$H_0^{t(70\%D:30\%RA)}= 10,584 \cdot 1,325 \cdot 77,5=1087 \text{ kJ/m}^3$$

$$H_0^{t(60\%D:40\%RA)}= 10,462 \cdot 1,325 \cdot 77,5=1074 \text{ kJ/m}^3$$

Turint šiuos duomenis galima apskaičiuoti dūmų entalpiją H_d , esant bandymų metu dūmų analizatoriaus užfiksuotam oro pertekliaus koeficientui α .

$$H_d(100\%D)=1293.94+(1.11-1) \cdot 1133=1418 \text{ kJ/kg}$$

$$H_d(80\%D:20\%RA)= 255.94+(1.12-1) \cdot 1099=1396 \text{ kJ/kg}$$

$$H_d(70\%D:30\%R)=1243.69+(1.14-1) \cdot 1087=1387 \text{ kJ/kg}$$

$$H_d(60\%D:40\%RA)=1231.00+(1.14-1) \cdot 1074=1381 \text{ kJ/kg}$$

Analogiškai skaičiavimai atliekami oro pertekliaus koeficiento α reikšmėms esant 1;1.3;1.4. Kai $\alpha=1$, $H_d=H_d^t$.

Kai $\alpha=1.3$

$$H_d(100\%D)=1293.94+(1.3-1) \cdot 1133=1633 \text{ kJ/kg}$$

$$H_d(80\%D:20\%RA)= 255.94+(1.3-1) \cdot 1099=1585 \text{ kJ/kg}$$

$$H_{d(70\%D:30\%R)}=1243.69+(1.3-1)\cdot 1087=1569 \text{ kJ/kg}$$

$$H_{d(60\%D:40\%RA)}=1231.00+(1.3-1)\cdot 1074=1553 \text{ kJ/kg}$$

Kai $\alpha=1.4$

$$H_{d(100\%D)}=1293.94+(1.4-1)\cdot 1133=1747 \text{ kJ/kg}$$

$$H_{d(80\%D:20\%RA)}= 255.94+(1.4-1)\cdot 1099=1695 \text{ kJ/kg}$$

$$H_{d(70\%D:30\%R)}=1243.69+(1.4-1)\cdot 1087=1678 \text{ kJ/kg}$$

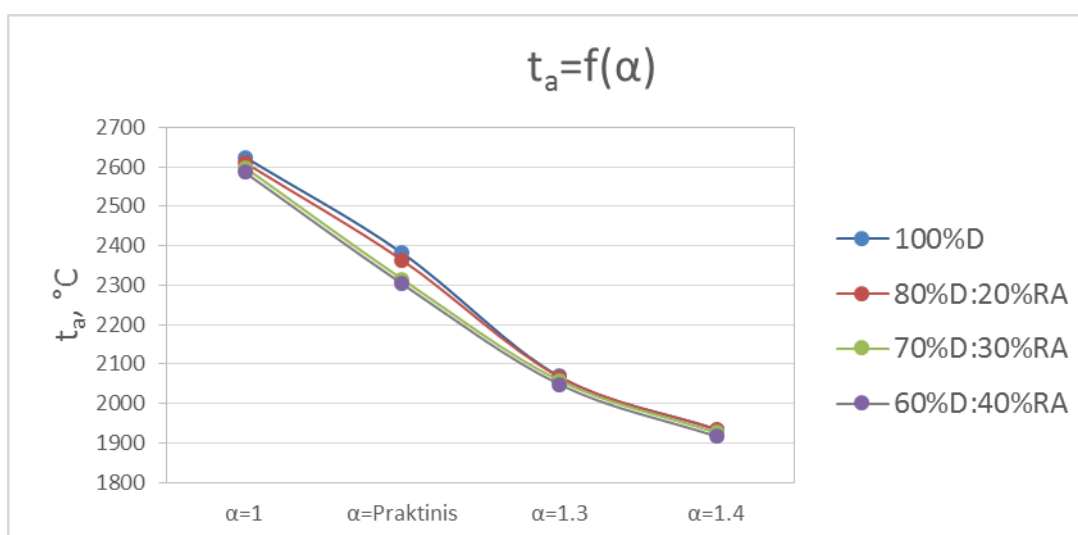
$$H_{d(60\%D:40\%RA)}=1231.00+(1.4-1)\cdot 1074=1660 \text{ kJ/kg}$$

Naudojantis išvestomis formulėmis, sudaromas dūmų entalpijos grafikas įvairiomis galimomis oro pertekliaus koeficiento reikšmėms. Grafike atidėjus dūmų entalpiją H_d ir žinant išeinančių dūmų temperatūrą t_d galima rasti adiabatines degimo temperatūros reikšmę t_a . Gautos reikšmės parodytos 15 lentelėje. Pilnas grafikas pateiktas 3 priede.

15 lentelė. Adiabatinė degimo temperatūra esant skirtingiems oro pertekliaus koeficientams

Adiabatinė degimo temperatūra, °C				
	$\alpha=1$	α =Praktinis	$\alpha=1.3$	$\alpha=1.4$
100%D	2625	2382	2069	1935
20%RA	2611	2364	2068	1934
30%RA	2599	2316	2059	1926
40%RA	2586	2304	2049	1917

Iš grafiko matyti, jog dyzeliniame kure didėjant rapsų aliejaus kiekiui, neženkiai mažėja išeinančių dūmų entalpija bei adiabatinė degimo temperatūra. Gauti rezultatai pavaizduojami grafiškai 29 paveiksle.



29 pav. Adiabatines temperatūros priklausomybė nuo oro pertekliaus koeficiento

Atlikus skaičiavimus galima padaryti išvadą, jog degimo proceso metu oro pertekliaus koeficientui α nukrypstant nuo optimalaus, gan ženkliai sumažėja adiabatine degimo temperatūra, dėl ko taip pat sumažėja ir pats degimo proceso efektyvumas. Tačiau lyginant adiabatine degimo temperatūrą dyzelino ir dyzelino ir rapsų aliejaus mišinių, esant vienodam oro pertekliaus koeficientui, ji kinta labai nežymiai, 1-2 %. Tai parodo, kad į dyzeliną iki 30% sudėties įmaišytas rapsų aliejus beveik nekeičia adiabatines degimo temperatūros ir pats degimo procesas išlieka beveik nepakitęs.

Šis tyrimas parodo, kad dyzelino ir rapsų aliejaus mišinys dega ir atiduoda šilumą beveik taip pat gerai kaip ir grynas dyzelinas ir yra tinkamas ir perspektyvus pakaitalas ar priedas dyzelinio kuro naudojimui skystojo kuro katiluose.

2.8. Ekonominis vertinimas

Žinant kuro šilumingumą esant skirtingiems rapsų aliejaus dyzeline mišiniams ir jų kiekiams galime įvertinti koks yra kainų skirtumas kaip kurą naudojant dyzeliną ir dyzelino ir rapsų aliejaus mišinius. Norint apskaičiuoti kainų skirtumus pirmiausiai reikia žinoti šių degalų kainas. Šiuo metu vidutinė kaina dyzelino, skirto šildymui yra 0,6 Eur/ltr. Tuo tarpu rapsų aliejaus kainos svyruoja. Jos priklauso nuo daugybės faktorių, tokių kaip derliaus kokybė, rinkos ar elektros kainos. Tačiau vidutinė kaina už toną šiuo metu yra apytikriai 750 Eur. Tada rapsų aliejaus gamyklinio pardavimo kaina būtų apie 0,75 Eur/ltr.

Turint šiuos duomenis ir žinant mišinių parametrus galima apskaičiuoti, kiek kainuos pasigaminti 1 kWh šilumos katilė deginant rapsų aliejaus ir dyzelino mišinius.

1 kWh šilumos savikainai skaičiuoti naudojama formulė:

$$S = \left(\frac{3,6}{Q} \cdot \frac{\rho}{1000} \right) \cdot K \cdot 100, [\text{eurocentai/kWh}] \quad (5)$$

čia, Q – kuro mišinio kaloringumas, MJ/kg

ρ – mišinio tankis, kg/m³

K – preliminari mišinio kaina, eur/ltr.

$$S_{100\%D} = \left(\frac{3,6}{43,6} \cdot \frac{842}{1000} \right) \cdot 0,6 \cdot 100 = 4,17 [\text{eurocentai/kWh}]$$

$$S_{80\%D:20\%RA} = \left(\frac{3,6}{42,3} \cdot \frac{848}{1000} \right) \cdot ((0,6 \cdot 0,8) + (0,75 \cdot 0,2)) \cdot 100 = 4,54 [\text{eurocentai/kWh}]$$

$$S_{70\%D:30\%RA} = \left(\frac{3,6}{41,7} \cdot \frac{850}{1000} \right) \cdot ((0,6 \cdot 0,7) + (0,75 \cdot 0,3)) \cdot 100 = 4,73 [\text{eurocentai/kWh}]$$

$$S_{60\%D:40\%RA} = \left(\frac{3,6}{41,08} \cdot \frac{853}{1000} \right) \cdot ((0,6 \cdot 0,6) + (0,75 \cdot 0,4)) \cdot 100 = 4,93 [\text{eurocentai/kWh}]$$

Rezultatai surašomi į lentelę.

16 lentelė. Energijos gamybos savikaina naudojant dyzelino ir RA mišinius

Mišinys	1 kWh savikaina, Eurct/kWh
Dyzelinas 100%	4,17
Dyzelinas 80% + 20% RA	4,54
Dyzelinas 70% + 30% RA	4,73
Dyzelinas 60% + 40% RA	4,93

Iš rezultatų galime daryti išvadas, jog didėjant rapsų aliejaus kiekiui dyzeliniame kure, jo pagaminamos šiluminės energijos savikaina taip pat neženkiai didėja.

Reikia pabrėžti, kad gautos kainos apytikslės, kadangi toks dalinai apdirbtas rapsų aliejus šiuo metu nėra pardavinėjamas rinkoje ir jo kaina gamintojo nurodyta kaip galimai tikėtina.

Būtina paminėti ir tai, kad tokiu atveju, kada gamyba būtų sutelkta tik į rapsų išspaudų išgavimą, galutinio produkto kaina tikėtina būtų žemesnė dėl naudojamų skirtingų technologijų.

2.9. Degimo produktų tyrimo rezultatų analizė ir apibendrinimas

Siekiant palyginti praktinius degimo tyrimo rezultatus su teoriniais skaičiavimais reikia analitiniu būdu nustatyti teorinius degimo produktų kiekius ir atlikti palyginamąją analizę su analogiškais duomenimis, gautais eksperimentiškai tiriant išeinančius iš katilo dūmus. Norint tai padaryti, reikia žinoti kuro sudėtį. Tam tikslui buvo atlikti kuro mišinių elementinės sudėties tyrimai. Jų rezultatai pateikti 17 lentelėje. Turint šiuos duomenis galima apskaičiuoti kuro mišinio degimo metu išsiskiriančių degimo produktų kieki.

17 lentelė. Tiriamų mišinių elementinė sudėtis

	N	C	H	S	O	A	W
100%D	0.25	85.2	13.21	0	1.28	0.00	0.05
100%RA	0.13	77.35	11.58	0	10.9	0.01	0.03
20%RA	0.13	84	12.61	0	3.204	0.01	0.046
30%RA	0.12	83.06	12.6	0	4.166	0.01	0.044
40%RA	0.13	82.11	12.58	0	5.128	0.01	0.042

Teoriškai degimui reikalingas oro tūris (m^3/kg) apskaičiuojamas pagal formulę:

$$V_0^t = \frac{100 \cdot M_{O_2}}{23 \cdot 1.293} = 0,0889(C^n + 0,375 \cdot S_d^n) + 0,265 \cdot H^n - 0,0333 \cdot O^n; \quad (6)$$

$$V_0^t(100\%D) = 0,0889(85,2 + 0,375 \cdot 0) + 0,265 \cdot 13,21 - 0,0333 \cdot 1,28 = 11,03 \frac{m^3}{kg}$$

$$V_0^t(20\%RA) = 0,0889(84 + 0,375 \cdot 0) + 0,265 \cdot 12,61 - 0,0333 \cdot 3,20 = 10,58 \frac{m^3}{kg}$$

$$V_0^t(30\%RA) = 0,0889(83,06 + 0,375 \cdot 0) + 0,265 \cdot 12,6 - 0,0333 \cdot 4,166 = 10,58 \frac{m^3}{kg}$$

$$V_0^t(40\%RA) = 0,0889(82,11 + 0,375 \cdot 0) + 0,265 \cdot 12,58 - 0,0333 \cdot 5,12 = 10,46 \frac{m^3}{kg}$$

Tada paskaičiuojamas bendras degimo produktų tūris, sudegus 1 kg kuro.

Triatomų dujų tūris:

$$V_{RO_2} = 3,66 \cdot \frac{C^n}{100} \cdot \frac{22,4}{44} + 2 \cdot \frac{S_d^n}{100} \cdot \frac{22,4}{64} = 0,01866(C^n + 0,375 \cdot S_d^n); \quad (7)$$

$$V_{RO_2}(100\%D) = 0,01866(85,2 + 0,375 \cdot 0) = 1,59 \frac{m^3}{kg}$$

$$V_{RO_2}(20\%RA) = 0,01866(84 + 0,375 \cdot 0) = 1,57 \frac{m^3}{kg}$$

$$V_{RO_2}(30\%RA) = 0,01866(83,06 + 0,375 \cdot 0) = 1,55 \frac{m^3}{kg}$$

$$V_{RO_2}(40\%RA) = 0,01866(82,11 + 0,375 \cdot 0) = 1,53 \frac{m^3}{kg}$$

Kadangi triatomų dujų tūris susideda iš CO₂ ir SO₂ tūrių, o SO₂ tūrio dedamoji lygi 0, galima padaryti išvadą, jog apskaičiuotas triatomų dujų tūris yra degimo metu išsiskiriančio anglies dioksido CO₂ tūris.

Azoto tūris dūmuose apskaičiuojamas pagal formulę:

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot \alpha \cdot V_0^t + 0,008 \cdot N^n; \quad (8)$$

Oro pertekliaus koeficiento α reikšmė paimama iš degimo metu paimtų dūmų analaizatoriaus parodymų. Tada azoto kiekis dūmuose bus:

$$V_{N_2}^t(100\%D) = 0,79 \cdot 1,11 \cdot 11,03 + 0,008 \cdot 0,25 = 8,71 \frac{m^3}{kg}$$

$$V_{N_2}^t(20\%RA) = 0,79 \cdot 1,12 \cdot 10,70 + 0,008 \cdot 0,13 = 8,45 \frac{m^3}{kg}$$

$$V_{N_2}^t(30\%RA) = 0,79 \cdot 1,14 \cdot 10,58 + 0,008 \cdot 0,12 = \frac{8,36m^3}{kg}$$

$$V_{N_2}^t(40\%RA) = 0,79 \cdot 1,14 \cdot 10,46 + 0,008 \cdot 0,13 = 8,27 \frac{m^3}{kg}$$

Vandens garų, išeinančių su degimo produktais kiekis randamas pagal formulę:

$$V_{H_2O} = 0,0111 \cdot H^n + 0,0124 \cdot W^n + 0,0161 \cdot \alpha \cdot V_0^t; \quad (9)$$

$$V_{H_2O}(100\%D) = 0,0111 \cdot 13,21 + 0,0124 \cdot 0,05 + 0,0161 \cdot 1,11 \cdot 11,03 = 1,64 \frac{m^3}{kg}$$

$$V_{H_2O}(20\%RA) = 0,0111 \cdot 12,61 + 0,0124 \cdot 0,046 + 0,0161 \cdot 1,12 \cdot 10,70 = 1,57 \frac{m^3}{kg}$$

$$V_{H_2O}(30\%RA) = 0,0111 \cdot 12,60 + 0,0124 \cdot 0,044 + 0,0161 \cdot 1,14 \cdot 10,58 = 1,57 \frac{m^3}{kg}$$

$$V_{H_2O}(40\%RA) = 0,0111 \cdot 12,58 + 0,0124 \cdot 0,042 + 0,0161 \cdot 1,14 \cdot 10,46 = 1,56 \frac{m^3}{kg}$$

Tada bendras dūmų tūris apskaičiuojamas pagal formulę:

$$V_d = V_{RO_2} + V_{N_2} + (\alpha - 1) \cdot V_o^t; \quad (10)$$

$$V_d(100\%D) = 1,59 + 8,71 + (1,11 - 1) \cdot 11,03 = 13,16 \frac{m^3}{kg}$$

$$V_d(20\%RA) = 1,57 + 8,45 + (1,12 - 1) \cdot 10,70 = 13,16 \frac{m^3}{kg}$$

$$V_d(30\%RA) = 1,55 + 8,36 + (1,14 - 1) \cdot 11,032 = 10,58 \frac{m^3}{kg}$$

$$V_d(40\%RA) = 1,53 + 8,26 + (1,14 - 1) \cdot 11,032 = 10,46 \frac{m^3}{kg}$$

Turint šiuos skaičiavimus galima nustatyti teorinį CO₂ kiekį dūmuose (%).

$$CO_2(100\%D) = (V_{RO_2} \cdot 100) / V_d = (1,59 \cdot 100) / 13,16 = 12,07 \%$$

$$CO_2(20\%RA) = (1,56 \cdot 100) / 12,89 = 12,07 \%$$

$$CO_2(30\%RA) = (1,55 \cdot 100) / 12,96 = 12,07 \%$$

$$CO_2(40\%RA) = (1,53 \cdot 100) / 14,143 = 12,83 \%$$

Bendram kuro azoto oksidų kiekio skaičiavimui naudojama formulė :

$$M_{NO_x} = 0,34 \cdot 10^{-4} \cdot K \cdot B \cdot Q_i^n \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \beta_1 (1 - \varepsilon_1 \cdot r) \beta_2 \beta_3 \varepsilon_2 \quad (11)$$

čia, K – koeficientas, apibūdinantis susidarančių azoto oksidų kiekį, tenkantį 1t sutartinio kuro, kg/t.

β_1 – koeficientas, įvertinantis azoto kiekį kure. $\beta_1=1,0$

β_2 – degiklių konstrukciją įvertinantis koeficientas, primama $\beta_2=1$

β_3 – šlako pašalinimo būdą įvertinantis koeficientas, priimama $\beta_3=1,0$

ε_1 – koeficientas, įvertinantis recirkuliuojamų dūmų poveikį azoto oksidų susidarymui, priimama $\varepsilon_1=0,03$

ε_2 – koeficientas, įvertinantis azoto oksidų susidarymo sumažėjimą tiekiant dalį oro ne per degiklius, priimama $\varepsilon_2=1$

r – recirkuliuojamų dūmų dalis nuo išmetamų dūmų tūrio, priimama $r=0,2$

$$M_{NOx}(100\%D) = 0,34 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot \left(\frac{0,787}{1000}\right) \cdot 43600 \left(1 - \frac{2}{100}\right) 1(1 - 0,03 \cdot 0,2) 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,0011364 \frac{g}{s}$$

$$M_{NOx}(20\%RA) = 0,34 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot \left(\frac{0,81}{1000}\right) \cdot 42340 \left(1 - \frac{2}{100}\right) 1(1 - 0,03 \cdot 0,2) 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,0011358 \frac{g}{s}$$

$$M_{NOx}(30\%RA) = 0,34 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot \left(\frac{0,82}{1000}\right) \cdot 41710 \left(1 - \frac{2}{100}\right) 1(1 - 0,03 \cdot 0,2) 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,0011369 \frac{g}{s}$$

$$M_{NOx}(40\%RA) = 0,34 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot \left(\frac{0,83}{1000}\right) \cdot 41080 \left(1 - \frac{2}{100}\right) 1(1 - 0,03 \cdot 0,2) 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,0011361 \frac{g}{s}$$

Norint gauti azoto oksido kiekio dūmuose išraišką mg/m^3 , išvedama formulė:

$$M_{NOx} \left[\frac{mg}{m^3} \right] = \frac{M_{NOx} \left[\frac{g}{s} \right]}{V_d \left[\frac{m^3}{kg} \right] \cdot \left(\frac{B \left[\frac{g}{s} \right]}{1000} \right)} ;$$

Tada bendras kuro azoto oksidų kiekis degimo produktuose bus:

$$M_{NOx} \left[\frac{mg}{m^3} \right] (100\%D) = \frac{0,0011364}{13,16 \cdot \left(\frac{0,787}{1000}\right)} = 109,68 \frac{mg}{m^3}$$

$$M_{NOx} \left[\frac{mg}{m^3} \right] (20\%RA) = \frac{0,0011358}{12,89 \cdot \left(\frac{0,787}{1000}\right)} = 108,87 \frac{mg}{m^3}$$

$$M_{NOx} \left[\frac{mg}{m^3} \right] (30\%RA) = \frac{0,0011369}{12,96 \cdot \left(\frac{0,787}{1000}\right)} = 106,56 \frac{mg}{m^3}$$

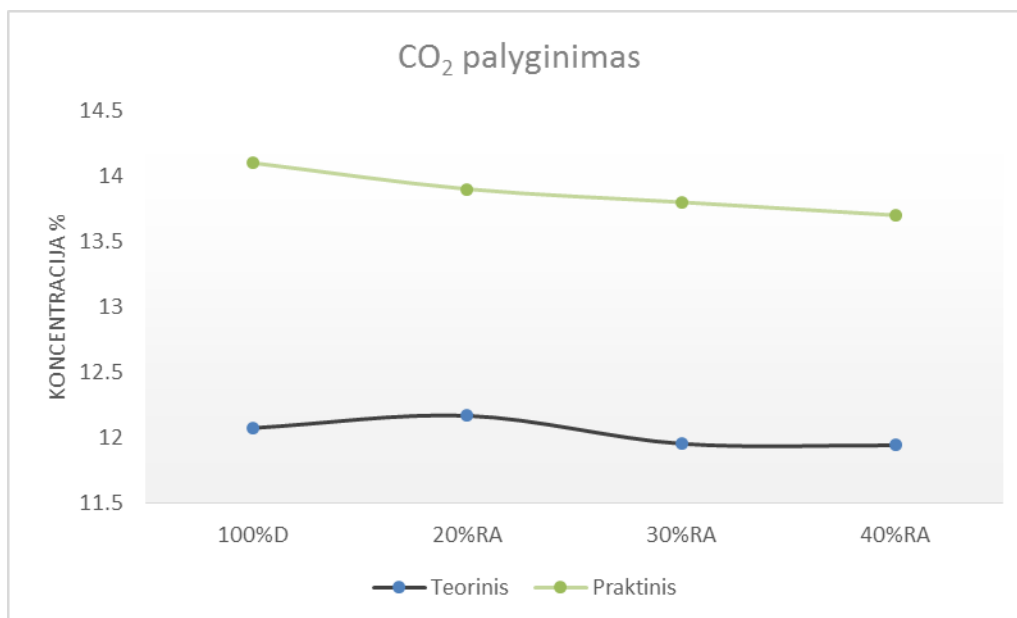
$$M_{NOx} \left[\frac{mg}{m^3} \right] (40\%RA) = \frac{0,0011361}{12,83 \cdot \left(\frac{0,787}{1000}\right)} = 106,06 \frac{mg}{m^3}$$

Visi apibendrinti rezultatai pateikiami 18 lentelėje.

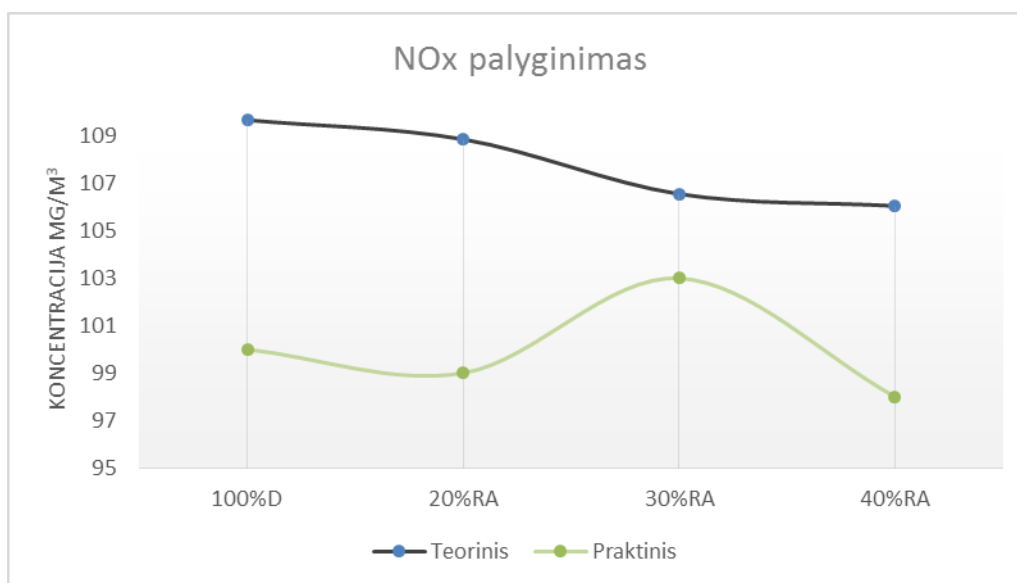
18 lentelė. Teorinių kuro komponentų skaičiavimų rezultatai

	V_0^t	V_{RO_2}	$V_{n_2^t}$	V_{H_2O}	V_d	NO_x	CO_2
100%D	11.03231	1.589832	8.717522	1.64455	13.16546	0.001136456	12.07578
20%RA	10.70256	1.56744	8.45606	1.572592	12.8804	0.001135866	12.16919
30%RA	10.58431	1.5499	8.362562	1.569553	12.96382	0.001136924	11.95558
40%RA	10.46252	1.532173	8.266428	1.565347	12.8287	0.001136078	11.94332
	m^3/kg	m^3/kg	m^3/kg	m^3/kg	m^3/kg	g/s	%

Turint teorinius ir praktinius rezultatus galima juos grafiškai palyginti:



30 pav. CO₂ emisijų palyginimas



31 pav. Azoto oksidų emisijų palyginimas

Iš rezultatų matyti, jog praktiškai gauti duomenys labai nežymiai skiriasi nuo teoriškai apskaičiuotų, todėl galima daryti išvadą, jog dyzelino ir rapsų aliejaus mišinių deginimo tyrimai atlikti tinkamu būdu.

Reikia pabrėžti, kad visi bandymai ir skaičiavimai buvo pritaikyti tyrimams, atliktiems kuro mišinius deginant kondensaciniame skystojo kuro katile „Rotex A1 B0 27i“. Deginant tos pačios sudėties mišinius kituose skystojo kuro deginimo įrenginiuose rezultatai skirsis dėl naudojamų skirtingų kuro mišinio išpurškimo bei kitų technologijų, lemiančių išeinančių degimo produktų parametrus.

Kitas svarbus dalykas yra ilgalaikio katilo darbo, iširtingais mišiniais įvertinimas. Dėl darbo apimties ir ribotų darbo sąlygų jis nebuvo atliktas, tačiau yra būtinas, norint visiškai įvertinti mišinio klampos įtaką degimo proceso kokybei bei katilo eksploatacijai. Toks ilgalaikis tyrimas leistų atsakyti į svarbius klausimus, susijusius su kuro išpurškimo sistema, mišinio pašildymu prieš išpurškimą bei nedegių junginių susidarymą degimo kameroje.

Taip pat būtina paminėti, kad yra reikalingi tolimesni tyrimai, susiję su kuro laikymo ar sandėliavimo klausimais, ypač šaltuoju metų laiku. Atlikti tyrimai parodė, jog esant -18°C temperatūrai mišinys visiškai sustingsta ir yra netinkamas deginti skystojo kuro katile. Tačiau reikalingi išsamesni tyrimai šiuo klausimu, norint žinoti tikslias temperatūros reikšmes, kada mišinys nebėra tinkamas naudoti kaip energetinis kuras. Žinant tokias kuro charakteristikas būtų galima atlikti deginimo tyrimus į mišinius įmaišant įvairių priedų, kurie pagerintų eksploatacines savybes esant žemomis temperatūromis, kas labai pagerintų kuro savybes bei galimybes jį panaudoti.

Apibendrinant darbe atliktus tyrimus, matavimus ir skaičiavimus galima padaryti išvadą, kad rapsų aliejaus, tiek mechaninio filtravimo, tiek degumuoto (dalinai išvalyto) įmaišymas į dyzeliną iki 30% mišinio masės dalies, neturi ar turi labai nedidelę įtaką skystojo kuro katilo darbui, bei degimo produktų sudėčiai, todėl galima teigti, kad toks mišininis kuras techniškai gali būti naudojamas šildymo tikslams skystąjį kurą deginančiuose įrenginiuose.

Nors pagaminamos energijos savikaina vidutiniškai yra 13% didesnė lyginant su dyzelinu, toks kuras galėtų būti naudojamas kaip ekologiškas pakaitalas skystojo kuro katiluose, nepakeičiant katilo konstrukcijos ir technologinės dalies.

IŠVADOS

1. Išanalizuotos galimybės rapsų aliejaus panaudojimui skystojo kuro katiluose. Nustatyta, kad Lietuvoje šis dyzelino ir rapsų aliejaus mišinys, atsižvelgiant rapsų užauginamus kiekius, derlių bei kainos tendencijas, turi geras perspektyvas būti panaudotas kaip alternatyvus katilų kuras ar jo priedas šildymui skystojo kuro katiluose.
2. Ištirtos dyzelino ir rapsų aliejaus mišinių savybės. Nustatyta, kad dyzeline didėjant rapsų aliejaus kiekiui nuo 10 iki 30 procentų, mišinio tankis padidėja nuo 1 iki 3 procentų, o kinematinė klampa nuo 34 iki 113 procentų. Kaloringumas, esant minėtiems rapsų aliejaus kiekiams dyzeline, sumažėja 3-6 % lyginant su grynu dyzelinu.
3. Atlikus mišinių sluoksniavimosi tyrimus $-18/+15^{\circ}\text{C}$ temperatūros diapozone nustatyta, kad dyzeline, rapsų aliejaus kiekiui esant 10-30 %, mišinys tarpusavyje nesisluoksniuoja. Atšaldžius mišinį, kurio dyzelino ir rapsų aliejaus santykis 70/30 iki $+1^{\circ}\text{C}$, jokių vizualių pakitimų nepastebėta. Temperatūrai pasikeitus iki -18°C , mišinys visiškai sustingsta.
4. Sudeginus mišinius skystojo kuro katile ištirta, kad dyzeliniame kure rapsų aliejaus kiekiui esant 10-30 %, degimo produktuose esančių CO_2 , NO , NO_x junginių kiekis, lyginant su dyzelinu kuru kinta 0-4 % ribose, o įvertinant tai, kad deginant skirtingus mišinius katile su turima įranga praktiškai nėra galimybių pasiekti identiškų degimo sąlygų, galima padaryti išvadą, jog šių junginių kiekis degimo produktuose, lyginant su dyzelinu nekinta ar kinta labai mažai.
5. Apskaičiavus katilo kuro suvartojimą nustatyta, kad katilui dirbant dyzelino mišiniu, kuriame rapsų aliejaus kiekis kinta 20-40%, katilo kuro suvartojimas, lyginant su dyzelinu padidėja nuo 3% iki 6%.
6. Atlikus mišinių adiabatines degimo temperatūros skaičiavimus ir palyginus, kaip jie kinta esant skirtingiems oro pertekliaus koeficientams nustatyta, kad padidėjus rapsų aliejaus kiekiui dyzeline 20-40 %, adiabatine degimo temperatūra sumažėja 2%, kai oro pertekliaus koeficientas $\alpha=1$. Oro pertekliui didėjant, adiabatine degimo temperatūra mažėja. Palaikant vienodas degimo sąlygas dyzelino ir rapsų aliejaus mišiniai išlaiko beveik tas pačias degimo savybes, lyginant su grynu dyzelinu, todėl galima daryti išvadą, kad šie mišiniai yra tinkami naudoti kaip pakaitalas ar priedas skystojo kuro katiluose.
7. Įvertinus energijos gamybos savikainas nustatyta, kad 1 kWh energijos savikaina, rapsų aliejaus kiekiui dyzeline didėjant 20-40%, atitinkamai padidėja 8-18 % lyginant su dyzelinu.

LITERATŪRA

1. „Šiluminė technika“. G. Gimbutis, K. Kajutis, V. Krukonis. Vadovėlis, 332 psl.
2. <https://www.dieselnet.com/standards/eu/fuel.php>
3. http://www.iea-amf.org/content/fuel_information/oils_fats
4. <http://www.apoil.lt/kokybes-sertifikatai/>
5. <http://lifeseedcapital.eu/condiciones/doc/LifeSC-AVP%20como%20combustible-119.htm>
6. http://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014_pocketbook.pdf
7. <http://www.fediol.eu/data/1440059439Stat%20seeds%20evolution.pdf>
8. <http://www.rapsoila.lt/>
9. <http://www.stat.gov.lt/home>
10. <http://www.rapsai.lt/agrotechnologiju-naujienos/mineraliniu-trasu-efektyvumo-vertinimai-2007-metais/>
11. “Rapsų aliejaus ir dyzelinių degalų mišiniais veikiančio variklio rodiklių tyrimas”, Magistrantūros studijų baigiamasis darbas, Paulius Garliauskas, LŽŪU, 2005.
12. <http://www.info.lt/pl/imonos/Valstybin%C4%97-ne-maisto-produkt%C5%B3-inspekcija-prie-%C5%AAkio-ministerijos-%C5%A0iauli%C5%B3-naftos-produkt%C5%B3-bandym%C5%B3-laboratorija/2379349>
13. http://www.rotex-heating.com/service/techdoc/archive/rotex-a1-oil-condensing.html?tx_damdownloads_pi1%5Bdownload%5D=1234
14. <http://www.kwelectronicsservice.com/index.php?section=Products&subs=Systronik%20Analyzers&page=Multilyzer%20NG.html>
15. <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-directive>
16. http://heating.danfoss.com/PCMPDF/BC_Kaupp_report_VFGIA102.pdf
17. https://www.google.lt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwj_p7XGxe_MAhVBiiwKHSRIB2EQFggaMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.rotex-heating.com%2Fservice%2Ftechdoc%2Fcurrent%2Frotex-a1-oil-condensing%2Fdownloads-file%2Frotex-a1-oil.html&usg=AFQjCNGO9q9rSpCC5hELAogIHspGA12d1Q&sig2=tvdMamgP2V0Qr2nbdL4gdw&bvm=bv.122448493,d.bGg&cad=rja

PRIEDAI

1 priedas. Rapsų aliejaus tyrimų protokolas

TYRIMŲ PROTOKOLAS

2015 m. spalio 27 d.

Šiauliai

Tiriamasis objektas Rapsų aliejus
(pavadinimas, techninės specifikacijos žymuo ir aprašymas)
pristatyto bandinio kiekis: 2x0,8 ltr,

Tiriamąjį objekto gavimo data:* 2015-10-07

Tyrimų rezultatai:

Tiriamąjį objekto tiriamieji parametrai, matavimo vienetai	Tyrimų metodai	Tyrimų rezultatai	
		Degumuotas RA	Rapsų aliejus
Tankis, esant 15 ⁰ C, kg/m ³	LST EN ISO 12185:1999	919,4	921,0
Sieros kiekis, mg/kg	LST EN ISO 20846:2012	3,8	7,9
Klampa esant 40 ⁰ C, mm ² /s	LST EN ISO 3104+AC:2000	31,54	34,66
Klampa esant 100 ⁰ C, mm ² /s	LST EN ISO 3104+AC:2000	7,568	7,963
Vandens kiekis, mg/kg	LST EN ISO 12937:2002	811	896
Bendrasis priemaišų kiekis, mg/kg	LST EN 12662:2008	93,7	75,0
Atsparumas oksidacijai, esant 110 ⁰ C, h	LST EN 14112:2004	6,6	15,0
Fosforo kiekis, mg/kg	LST EN 14107:2004	0,46	10,62

2 priedas. Bandymų rezultatai

10 % RA

Kauno TU
K. Donelaičio g. 20
LT-44029 Kaunas

MULTIYZER NG
Gaugkl. Nr. 193

Laikas 11:13:16
Data 12/12/15

KURAS
NR 2 skustas

O2	24 %
CO	6 mg/m ³
T dumu	78 °C
CO2	13.9 %
Nuost.	2.7 %
NO	62 mg/m ³
SO2	0 mg/m ³
NOx	97 mg/m ³
COnorm	5 ppm
NOnorm	40 ppm
NOxnorm	47 ppm
SO2norm	0 ppm
Or-o-pe	1.13 λ
T kamb	14.2 °C
T skirt	63.8 °C
Trauka	hPa
Efekt	97.3 %
Ras. ts	49.3 °C
COmaks	401 ppm
O2norm	3.0 %
T katilo	0 °C
Sudz in	
Kuro tasai	

20 % RA

Kauno TU
K. Donelaičio g. 20
LT-44029 Kaunas

MULTIYZER NG
Gaugkl. Nr. 193

Laikas 11:51:01
Data 12/12/15

KURAS
NR 2 skustas

O2	23 %
CO	0 mg/m ³
T dumu	77 °C
CO2	13.9 %
Nuost.	2.6 %
NO	62 mg/m ³
SO2	0 mg/m ³
NOx	99 mg/m ³
COnorm	0 ppm
NOnorm	47 ppm
NOxnorm	40 ppm
SO2norm	0 ppm
Or-o-pe	1.12 λ
T kamb	14.0 °C
T skirt	63.0 °C
Trauka	hPa
Efekt	97.4 %
Ras. ts	49.4 °C
COmaks	57 ppm
O2norm	3.0 %
T katilo	0 °C
Sudz in	
Kuro tasai	

30 % RA

Kauno TU
K. Donelaičio g. 20
LT-44029 Kaunas

MULTIYZER NG
Gaugkl. Nr. 193

Laikas 12:37:07
Data 12/12/15

KURAS
NR 2 skustas

O2	25 %
CO	0 mg/m ³
T dumu	78 °C
CO2	13.8 %
Nuost.	2.7 %
NO	65 mg/m ³
SO2	0 mg/m ³
NOx	103 mg/m ³
COnorm	0 ppm
NOnorm	50 ppm
NOxnorm	50 ppm
SO2norm	0 ppm
Or-o-pe	1.14 λ
T kamb	14.4 °C
T skirt	63.6 °C
Trauka	hPa
Efekt	97.3 %
Ras. ts	49.2 °C
COmaks	60 ppm
O2norm	3.0 %
T katilo	0 °C
Sudz in	
Kuro tasai	

Dyzelinas



Degumuotas RA 10 %



3 priedas. Adiabatinės degimo temperatūros grafikas

