**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

**MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

**Vytenis Praninskas**

# BIOKURO KATILINĖS EFEKTYVUMĄ ĮTAKOJANČIŲ PARAMETRŲ TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Doc. dr. Egidijus Puida

**KAUNAS, 2015**

# KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

## MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

**ŠILUMOS IR ATOMO ENERGETIKOS KATEDRA**


TVIRTINU

Katedros vedėjas

Doc. dr. Egidijus Puida

# BIOKURO KATILINĖS EFEKTYVUMĄ ĮTAKOJANČIŲ PARAMETRŲ TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

**Termoinžinerija (kodas 621E30001)M**


**Vadovas**

Doc. dr. Egidijus Puida

**Recenzentas**

Doc. dr. Juozas Gudzinskas

**Projektą atliko**

Vytenis Praninskas



**KAUNAS, 2015**

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

**Tvirtinu:** _____
*(parašas, data)*
Šilumos ir atomo energetikos katedros vedėjas Doc. E. Puida
*(vardas, pavardė)*

**PAGRINDINIŲ 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 projektu studentas parodo, kad yra sukaupęs pakankamai žinių, turi pakankamai gebėjimų ir nemažą pasirinktos studijų krypties analitinio ar projektavimo darbo patirtį. Taip pat jis parodo, kad yra kūrybingas, išmano socialinės ir komercinės aplinkos, teisės aktų ir finansines galimybes, turi informacijos šaltinių paieškos ir jų analizės, projektavimo ir inžinerinės analizės, informacinių technologijų naudojimo ir rašytinio bendravimo, taisyklingos kalbos vartosenos įgūdžių, giliai suvokia nagrinėjamą temą, geba tinkamai formuluoti išvadas.

**1.** Darbo tema: **Biokuro katilinės efektyvumą įtakojančių parametrų tyrimas.**
**Analysis of parameters influencing the efficiency of biofuel boiler house.**

Patvirtinta 2015 m. 05 mėn. 11 d. dekano įsakymu Nr. ST17-F-11-2

2. Darbo tikslas – ištirti pasirinktos biokuro katilinės parametrų priklausomybes. Atlikti parametrų teorinius skaičiavimus bei juos palyginti su išanalizuotais tiriamojoje katilinėje. Nustatyti veiksnius kurie lemia analizuojamos sistemos efektyvumą. Ištirti naudingumo koeficiento kitimą šildymo sezono metu, kintant kalinės galiai bei kitiems parametrams: kuro drėgnumui, oro pertekliaus koeficientui, dūmų temperatūrai.

3. Darbo struktūra

Biokuro katilinių ir jų įrangos apžvalga; analizuojamos sistemos aprašymas; pradinių katilinės duomenų analizė; biokuro sudėties reikšmė degimo produktams; katilinės, be dūmų kondensacinio ekonomaizerio, efektyvumo skaičiavimas atvirkštinio balanso metodu; DKE susigrąžinamos šilumos dalies radimas; katilinės su DKE efektyvumo nustatymas; ekologinis katilinės išleidžiamų dūmų į aplinką įvertinimas;

4. Reikalavimai ir sąlygos.

Rengiant baigiamąjį darbą prisilaikyti Lietuvos respublikos norminių aktų bei metodologinių magistrinio darbo apiforminimo reikalavimų.

5. Užbaigto darbo pateikimo terminas: 2015 m. 06 mėn. 01 d.

6. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo darbo dalis.

Išduota studentui Vyteniui Praninskui
Užduotį gavau Vytenis Praninskas ..... .....
(studento vardas, pavardė) (parašas) (data)

Vadovas Doc. dr. Egidijus Puida ..... .....
(pareigos, vardas, pavardė) (parašas) (data)

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

**MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

(Fakultetas)

Vytenis Praninskas

(Studento vardas, pavardė)

Termoinžinerija (kodas 621E30001)M

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Biokuro katilinės efektyvumą įtakojančių parametrų tyrimas“

# AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2015 gegužės 30 d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Vytenio Praninsko** baigiamasis projektas tema „Biokuro katilinės efektyvumą įtakojančių parametrų tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o 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)

Praninskas, V. Analysis of parameters influencing the efficiency of biofuel boiler house. project of the master's degree / supervisor doc. dr. Egidijus Puida; Kaunas Technology University, faculty of Mechanical Engineering and Design, department of Thermal and Nuclear Energy.

Kaunas, 2015. 53 p.

## SUMMARY

Master's thesis explores a biofuel boiler-house. The paper researches parameters determining the operation of the selected boiler-house. The paper explores a correlation between parameters, how would they change if one of the parameters of the boiler-house (such as: excess air ratio, fuel moisture, the temperature of supplied hot water, etc.) is altered. Once the correlation between the parameters of the boiler-house was determined a chart was created in which all the parameters were recalculated according to the average external temperature of a day. The exploratory boiler-house always operates according to the mentioned chart. The change of external temperature alters the parameters of the boiler-house. A coefficient of estimated useful operation of the boiler-house was calculated during the heating season of 2013-2014, depending on the ambient temperature, without an evaluation of the smoke condensing economizer (SCE). SCE research was conducted and discovered the factors which determine the effectiveness of the device. The calculation of estimated useful operation of the boiler-house was repeated including SCE and the results were presented graphically. The results obtained enable a moderate determination of moisture of the stoked fuel during the analyzed period in the selected boiler-house.

**TURINYS**

ĮVADAS ..... 10

1. BIOKURO KATILINĖS ..... 11

2. ANALIZUOJAMOS SISTEMOS APRAŠYMAS ..... 15

2.1. Biokuro katilo su pakura aprašymas ..... 15

2.2. Dūmų kondensacinio ekonomaizerio aprašymas ..... 19

3. SKAIČIAVIMAI ..... 20

3.1. Analizuojamos katilinės parametrai ..... 20

3.2. Kuro savybių analizė ..... 26

3.3. Kuro šilumingumo nustatymas ..... 28

3.4. Dūmų komponenčių susidarymo tyrimas ..... 28

3.5. Analizuojamo katilo su pakura naudingumo koeficiento priklausomybių tyrimas ..... 32

3.6. Katilinės su DKE naudingumo koeficientą lemiančių parametrų analizė ..... 41

3.6.1 Rasos taško priklausomybės analizė ..... 41

3.6.2 DKE generuojamos šilumos tyrimas ..... 42

3.6.3 Analizuojamos sistemos su DKE efektyvumo radimas ..... 44

3.7. Praktinių rezultatų palyginimas su teoriniais ..... 46

4. EKOLOGINIS VERTINIMAS ..... 49

IŠVADOS ..... 51

LITERATŪRA ..... 52

A PRIEDAI oro taršos matavimų protokolai ..... 54

B PRIEDAI kuro parametrų tyrimo protokolai ..... 64

**Paveikslų sąrašas**

1.1 pav. Šilumos kainos kitimas [9] ..... 11

1.2 pav. Biokuro ir dujų panaudojimas centralizuotam šilumos tiekimui Lietuvos miestuose [10] ..... 12

1.3 pav. Kietos įkrovos formų tipai: (k) sferiniai ir (s) balno formos pagal medžiagas, iš kurios yra pagaminti (K – keramika, KS – plastikas, M – metalas, ir SF – specifinės formos bei medžiagos.) [16]. ..... 14

2.1 pav. Ardyninė biokuro pakura [3] ..... 16

2.2 pav. Katilo skaičiuojamoji schema ..... 18

2.3 Analizuojamo DKE plastikinės kietos įkrovos forma ..... 19

3.1 pav . Suvidurkinti Baisogalos katilinės parametrų duomenys ..... 20

3.2 pav. Temperatūros $T_2$ priklausomybė nuo $T_1$ ..... 21

3.3 pav. Santykinės paklaidos ..... 22

3.4 pav. Katilinės galios priklausomybė nuo lauko oro temperatūros ..... 23

3.5 pav. 2013–2014 šildymo sezono DKE galios priklausomybė nuo grįžtamo termofikacinio vandens temperatūros $T_2$ ..... 23

3.6 pav. Išeinančių dūmų bei termofikacinio vandens iš DKE priklausomybė nuo grįžtamo termofikacinio vandens temperatūros ..... 24

3.7 pav. $T_{DA}$ ir $T_3$ palyginimas su $T_2$ ..... 25

3.8 pav. Degimui reikiamo oro kiekio, dūmų komponenčių sudėties bei kuro kaloringumo priklausomybė nuo kuro drėgmės ..... 31

3.9 pav. Katilo nuostoliai su dūmais kintant α, esant pastoviai kuro drėgmei W = 30 % ..... 34

3.10 pav. Katilo nuostoliai su dūmais kintant α, esant pastoviai kuro drėgmei W = 40% ..... 34

3.11 pav. Katilo nuostoliai su dūmais kintant α, esant pastoviai kuro drėgmei W = 50% ..... 35

3.12 pav. Katilo nuostoliai su dūmais kintant α, esant pastoviai kuro drėgmei W = 60% ..... 35

3.13 pav. Katilo nuostoliai su dūmais kintant kuro drėgmei, esant pastoviai α = 1,4 ..... 35

3.14 pav. Nuostoliai dėl nepilno degimo produktų susidarymo (CO) ..... 37

3.15 pav. Katilinės be DKE naudingo veiksmo kitimas, kintant kuro drėgmei α = 1,4 ..... 39

3.16 pav. Katilinės be DKE naudingo veiksmo kitimas, kintant kuro drėgmei α = 1,6 ..... 39

3.17 pav. Rasos taško priklausomybė nuo kūrenamo kuro drėgmės bei oro pertekliaus koeficianto ..... 41

3.18 pav. Kondensacinio ekonomaizerio efektyvumas esant kuro drėgmei W=30% ..... 43

3.19 pav. Kondensacinio ekonomaizerio efektyvumas esant kuro drėgmei W=40% ..... 43

3.20 pav. Kondensacinio ekonomaizerio efektyvumas esant kuro drėgmei W=50% ..... 44

3.21 pav. Kondensacinio ekonomaizerio efektyvumas esant kuro drėgmei W=60% ..... 44

3.22 pav. Katilinės su DKE naudingo veiksmo kitimas, kintant katilinės galiai bei kuro drėgnumui, esant pastoviai oro pertekliaus koeficiento reikšmei α = 1,4 ..... 46

3.23 pav. Katilinės su DKE naudingo veiksmo kitimas, kintant katilinės galiai bei kuro drėgnumui, esant pastoviai oro pertekliaus koeficiento reikšmei α = 1,6 ..... 46

3.24 pav. Apskaičiuota DKE susigrąžinamos šilumos dalis, priklausomai nuo kuro drėgnumo, kai oro pertekliaus reikšmė yra pastovi α = 1,4, palyginima su realiais 2013–2014 metų šildymo sezono duomenimis ..... 47

3.25 pav. Apskaičiuota DKE susigrąžinamos šilumos dalis, priklausomai nuo kuro drėgnumo, kai oro pertekliaus reikšmė yra pastovi α = 1,6, palyginima su realiais 2013–2014 metų šildymo sezono duomenimis ..... 47

**Lentelių sąrašas**

1.1 lentelė. Lietuvos biokuro ištekliai per metus [10] ..... 12

1.2 lentelė. Įvairaus kuro kainų kitimas [12] ..... 13

2.1 lentelė. Katilo su pakura gamintojo pateiktos techninės charakteristikos ..... 17

3.1 lentelė. Analizuojamos katilinės 2013–2014 šildymo sezono vidutiniai parametrai ..... 26

3.2 lentelė. Vidutinė cheminė medienos sudėtis % sausojoje masėje [17] ..... 27

3.3 lentelė. Perskaičiuota kuro sudėtis %, esant skirtingam kuro drėgnumui ..... 27

3.4 lentelė. Teoriškai apskaičiuotų ir laboratorijoje ištirtų kuro šilumingumų reikšmių palyginimas ..... 28

3.5 lentelė. Degimo produktų masinė sudėtis, kai $\alpha = 1,4$ ..... 30

3.6 lentelė. Sudeginto kuro savybės bei degimo produktų tūrinė sudėtis, kai $\alpha = 1,4$ ..... 30

3.7 lentelė. Baisogalos katilinės išmetamų teršalų tyrimų rezultatai ..... 36

3.8 lentelė. Susidarantis sausų dūmų kiekis, esant $\alpha = 1,4$ ..... 37

3.9 lentelė. Katilinės be DKE naudingo veiksmo kitimas ..... 40

3.10 lentelė. Suskaičiuotas katilinės su DKE naudingo veiksmo koeficiento kitimas ..... 45

4.1 lentelė. Leistinos teršalų normos [7]. ..... 49

4.2 lentelė. Baisogalos katilinės į aplinką išmetamų teršalų tyrimų rezultatai ..... 49

# ĮVADAS

Atsižvelgiant į šalies energetinės nepriklausomybės tematikos aktualumą, šiame darbe gilinamasi į vieną iš energetinės nepriklausomybės būdų – vietinių biokuro išteklių panaudojimą. Šiuo metu nemaža dalis šalies miestelių ir miestų jau yra apsirūpinę biokuro katilinėmis, tačiau ne visose yra dūmų kondnensaciniai ekonomaizeriai. Naujai projektuojamose, statomose ar modernizuojamose biokuro katilinėse siekiant efektyviau panaudoti prastos kokybės (šlapią) kurą yra įrengiami dūmų kondensaciniai ekonomaizeriai (DKE). Baigiamajame darbe pasirinkta analizuoti biokuro katilinę, kurioje 2013 metais buvo papildomai pastatytas dūmų kondensacinis ekonomaizeris.

Siekiant išsiaiškinti, ar efektyviai veikia biokuro katilinė, reikia atlikti katilinės parametrų analizę; nustatyti parametrų tarpusavio ryšius; išsiaiškinti, kokia dalis katilinės šiluminės galios buvo generuojama DKE; bei išsiaiškinti kaip ši dalis kito, keičiantis katilinės parametrams.

Analizuojant biokuro katilinę reikalinga ištirti kūrenamo kuro sudėtį, kadangi pagal kuro sudėtį yra atliekami dūmų komponenčių skaičiavimai. Kuro parametrus lemianti kuro drėgmė yra nepastovi. Kintanti dūmų sudėtis lemia katilo bei dūmų kondensacinio ekonomaizerio efektyvumų kitimą.

Siekiant palyginti, kaip pasikeitė katilinės naudingumas pastačius DKE, bei ištirti, nuo kokių parametrų ir kaip keičiasi šis dydis, reikalinga apskaičiuoti katilo be DKE naudingumo koeficientą.

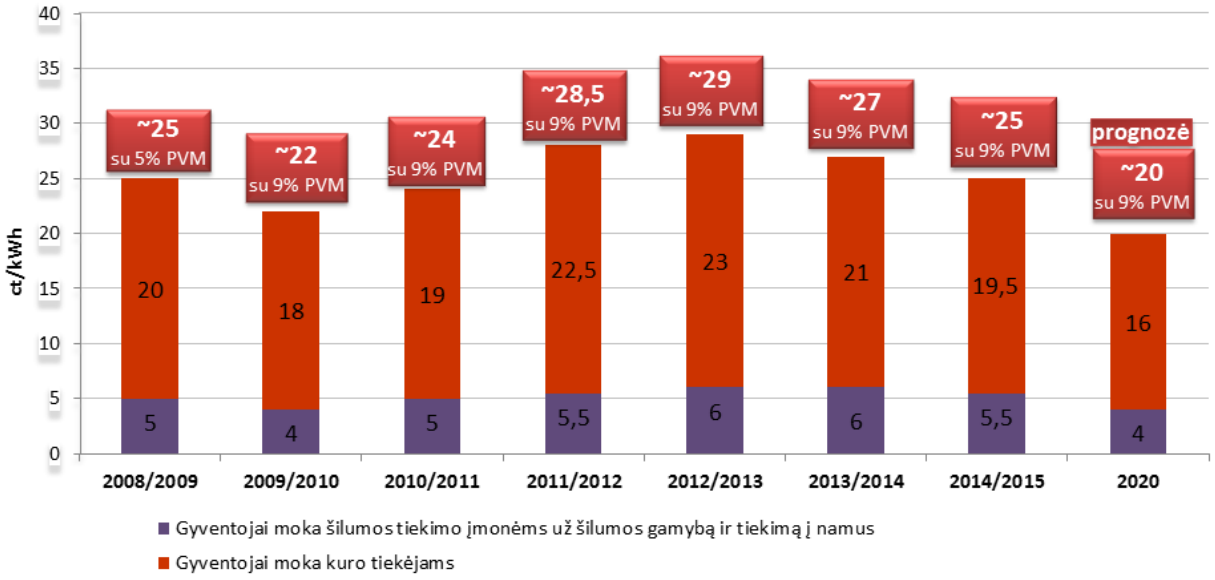
Šiuo darbu siekiama nustatyti, nuo kokių parametrų priklauso rasos taško temperatūra. Atliekama dūmų kondensacinio ekonomaizerio veikimą lemiančių parametrų analizė. Tam nustatoma, kaip keičiasi DKE efektyvumas kintant kuro drėgmei, oro pertekliaus koeficiento reikšmei bei termofikacinio vandens temperatūrai.

Išanalizavus biokuro katilinės veikimą gauti rezultatai palyginami su realiais pradiniais duomenimis tam, kad būtų nustatyta, kokio galimo drėgnumo kuras buvo kūrenamas analizuojamu laikotarpiu.

Apžvelgiamas DKE efektyvumas aplinkosauginiu aspektu, kaip pasikeitė išleidžiamų dūmų į plinką kietųjų dalelių kiekis, įrengus skruberio tipo dūmų kondensacinį ekonomaizerį.

# 1. BIOKURO KATILINĖS

Biokuro katilinės generuojamo produkto (šilumos) kainos didžiąją dalį sudaro biokuro kaina. Vidutinės centralizuotos šilumos kainos kitimas 2008-2020 metų laikotarpiu yra pateiktos 1.1 paveiksle. Katilinėse, kuriose yra kūrenamas tik biokuras, kuro kaina yra mažesnė, už šiame paveiksle parodytą. Prognozuojama, kad 2020 metais šilumos kaina Lietuvoje sumažės dėl didėjančio ir efektyvesnio biokuro panaudojimo šalies centralizuoto šilumos tiekimo sektoriuje.




1.1 pav. Šilumos kainos kitimas [9]

Biokuras pagal Lietuvos Respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymą (2011) [11] yra apibrėžiamas kaip:

„Biokuras – iš biomasės pagaminti degieji dujiniai, skystieji ir kietieji produktai, naudojami energijai gaminti“.

O biomasė, iš kurios gaunamas biokuras, yra „biologiškai skaidžios biologinės kilmės žemės ūkio, miškų ūkio ir susijusių pramonės šakų, įskaitant žuvininkystę ir akvakultūrą, žaliavos, atliekos ir liekanos, įskaitant augalines ir gyvūnines medžiagas, taip pat biologiškai skaidžios pramoninės ir komunalinės atliekos“ [11].

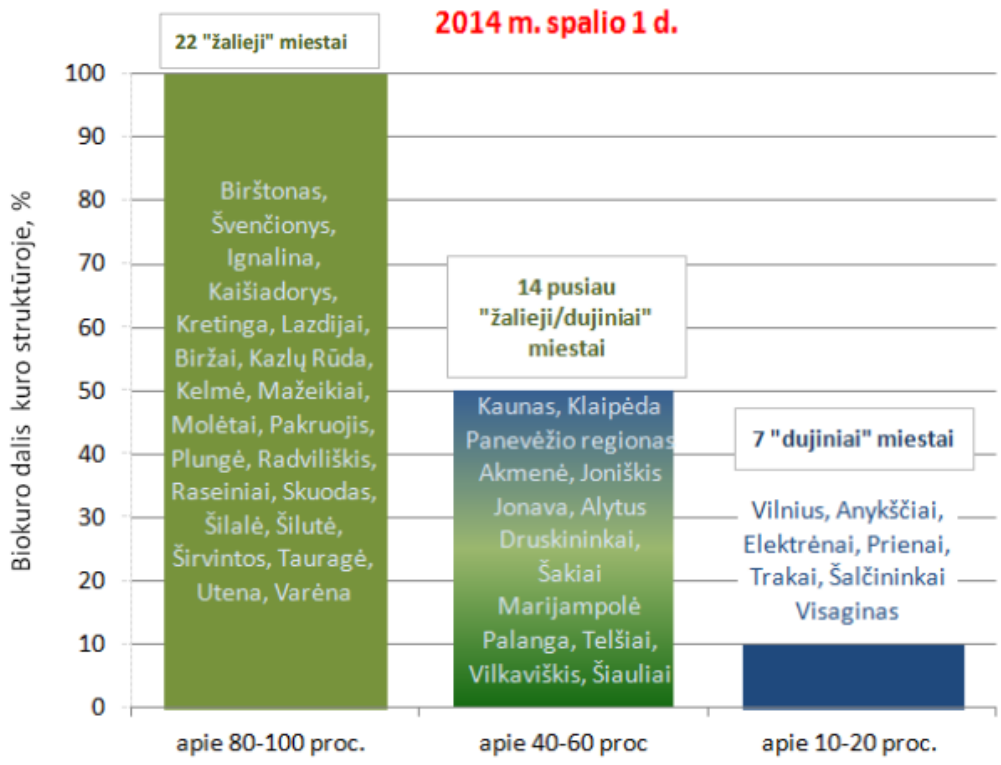
Remiantis Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerijos duomenimis [18], trečdalis (33,3 %) Lietuvos teritorijos yra apaugusi mišku, kuris užaugina didelį medienos prieaugį kiekvienais metais. Mediena yra naudojama baldų, popieriaus, statybinių medžiagų gamyboje. Šio proceso metu gaunamos medienos atliekos yra naudojamos šilumos energijos gamyboje Lietuvoje. Derlingi ūkiai užaugina grūdus bei kitą produkciją, kurių atliekas (šiaudus, grudų išvalas) taip pat galima panaudoti kaip kurą biokuro katilinėse. Tačiau šiaudai dėl savo sandaros reikalauja

specifinių kūrenimo technologijų, dėl to šios biokuro rūšies panaudojimas Lietuvos biokuro katilinėse yra menkas. Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija (LŠTA) vertina Lietuvos biokuro išteklius (žr. 1.1 lent.).

1.1 lentelė. Lietuvos biokuro ištekliai per metus [10]

| Biokuro rūšis | Kubinių metrų ($m^3$) | Tonų naftos ekvivalento (tne) |
|---|---|---|
| Malkinė mediena | 3.218.000 | 565.000 |
| Medžio pramonės atliekos | 1.627.000 | 283.000 |
| Miško kirtimo atliekos | 1.085.000 | 185.000 |
| Energetinės plantacijos | | 70.000 |
| Šiaudai | 2.400.000 | 840.000 |
| Iš viso: | 8.330.000 | 1.943.000 |

Pateikti duomenys parodo, kad Lietuva turi didelį biokuro potencialą, dėl to gali panaudoti savo vietinį atsinaujinančių išteklių kurą. Remiantis Lietuvos energetikos instituto duomenimis [10], šiuo metu Lietuvos biokuro poreikis šilumos gamybai siekia tik 360.000 tne, kas sudaro nedidelę turimų resursų dalį. Lietuvoje veikia apie 805 MW biokuro įrenginių, kurie skirti centralizuoto šildymo tiekimui, šilto vandens ruošimui bei elektros kogeneraciniai gamybai.




1.2 pav. Biokuro ir dujų panaudojimas centralizuotam šilumos tiekimui Lietuvos miestuose [10]

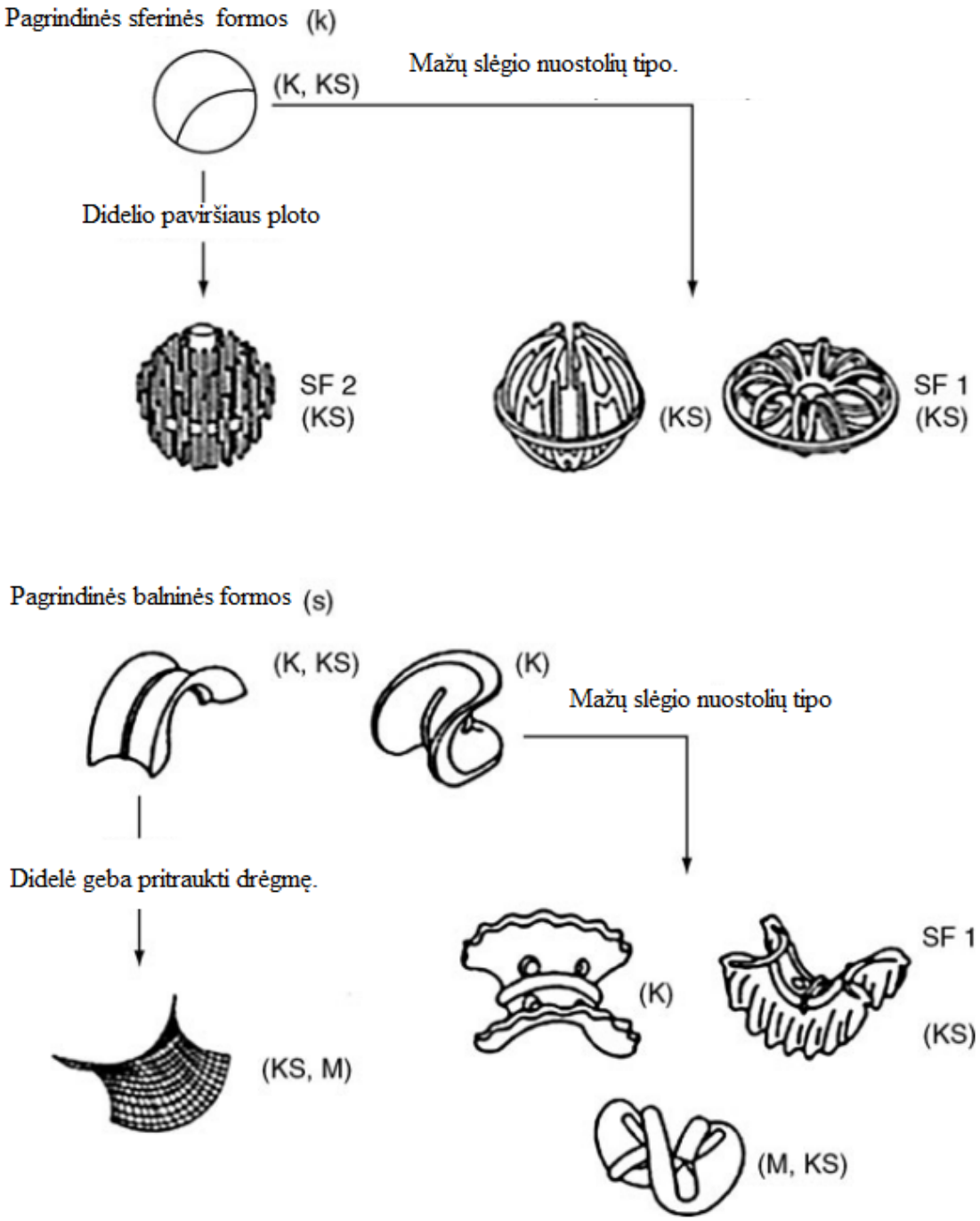
Biokuro katilinės yra priskiriamos atsinaujinančios energetikos sričiai, todėl biokuro katilinės nemoka taršos mokesčio. Dėl šios priežasties šilumos kaina vartotojams yra mažesnės.

1.2 lentelė. Įvairaus kuro kainų kitimas [12]

| **Metai** | **Biokuras (Lt/tne)** | **Gamtinės dujos (Lt/tne)** | **Akmenis anglis (Lt/tne)** |
|---|---|---|---|
| 2015-04 | 494,36 | 87,75 Lt/MWh | 623,48 |
| 2015-03 | 590,63 | 94,05 Lt/MWh | 673,23 |
| 2014-10 | 593,75 | 1374,75 | 667,45 |
| 2013-10 | 571,25 | 1521,03 | 778,61 |
| 2012-10 | 642,38 | 1365,83 | 783,28 |
| 2011-10 | 742,14 | 1264,59 | 746,73 |
| 2010-10 | 622,34 | 895,59 | 620,43 |

Turimi šalies biokuro ištekliai yra kur kas didesni ir lenkia esamą biokuro paklausą, be to pastaruoju metu mažėjanti biokuro kaina didina šios kuro rūšies konkurencingumą lyginant su gamtinėmis dujomis ir anglies anglimis (žr. 1.2 lent.). Ieškant efektyvesnių būdų kaip deginti biokurą, buvo tobulinamos biokuro deginimo technologijos, taip buvo pradėti naudoti dūmų kondensaciniai ekonomaizeriai. DKE panaudojimas leidžia katilinei susigrąžinti kur kas didesnę dalį šiluminės energijos iš dūmų, lyginant su ne kondensaciniais ekonomaizeriais, kadangi DKE veikia žemiau rasos taško. Europos sąjunga remia iš dalies finansuodama dūmų kondencacinių ekonomaizerių diegimą katilinėse, kadangi tai skatina atsinaujinančios energetikos plėtrą regione.

Biokuro katilinėse yra naudojami keleto tipų kondensaciniai ekonomaizeriai. Jie gali būti su kietą įkrova ir vamzdiniai. Analizuojamoje sistemoje yra naudojamas dūmų kondensacinis ekonomaizeris su kieta įkrova. Žemiau (žr. 1.3 pav.) yra pateikti keli kondensacinių ekonomaizerių įkrovų tipai, kurie skirstomi pagal formą ir medžiagas, iš kurių yra pagaminti. Priklausomai nuo to, kokios formos ir iš kokios medžiagos pagaminta kieta įkrova, keičiasi šilumos mainai bei kondensacinio ekonomaizerio veikimas. Keičiant įkrovos tipą, keičiasi įkrovos tūris siekiant pasiekti tą patį naudingą paviršiaus plotą. Šiame darbe įkrovos reikšmė kondensacinio ekonomaizerio veikimui nėra vertinama, o priimama, kad kieta įkrova yra parinkta teisingai ir maksimaliai efektyviai.




1.3 pav. Kietos įkrovos formų tipai: (k) sferiniai ir (s) balno formos pagal medžiagas, iš kurios yra pagaminti (K – keramika, KS – plastikas, M – metalas, ir SF – specifinės formos bei medžiagos.) [16].

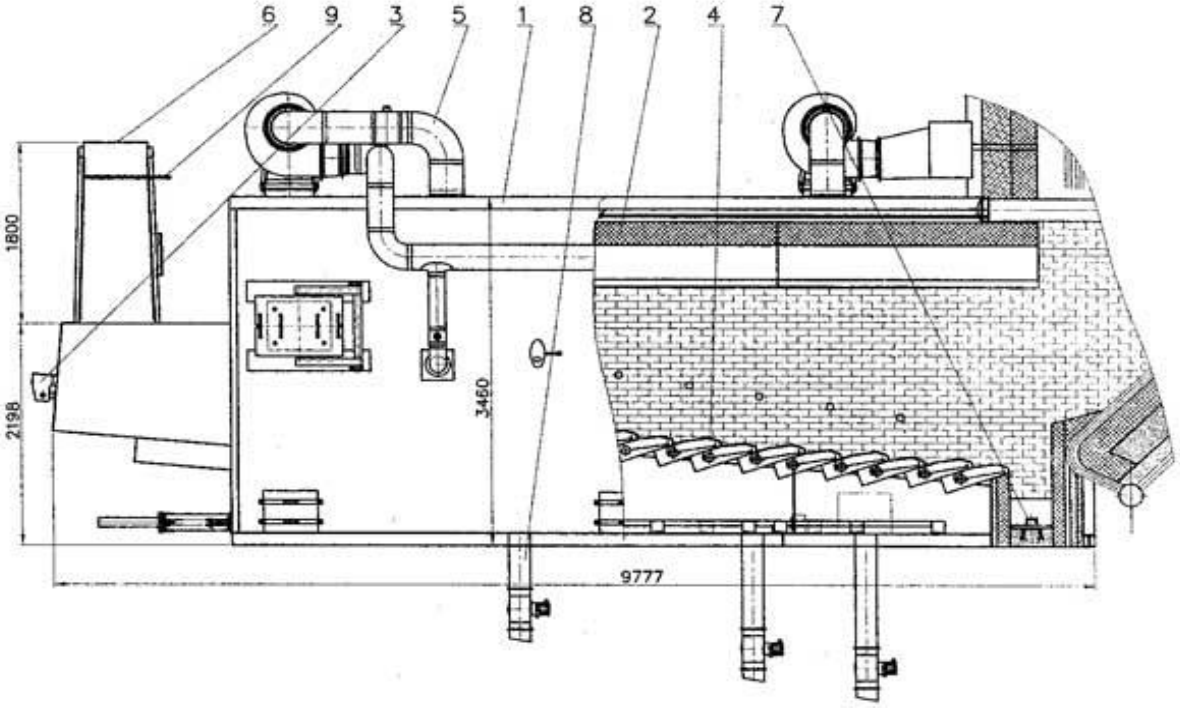
## 2. ANALIZUOJAMOS SISTEMOS APRAŠYMAS

Buvo pasirinkta analizuoti katilinę, kuri generuoja visą Baisogalos miesteliui reikalingą šilumos kiekį. Katilinėje yra sumontuotas 4 MW galios vandens šildymo katilas su pakura, kurių parametrai pateikti 2.1 lentelėje. Vandens šildymo katilas su pakura (VŠKP-4MA), skirtas kūrenti susmulkintą medieną, medienos dirbinių atliekas (drožles, pjuvenas), durpes, granules ir kitą biokurą. Šilto vandens katilinė neruošia. Nuo 2013 metų katilinėje įrengtas 0,837 MW galios dūmų kondensacinis ekonomaizeris. Bendra katilinės schema pateikta 2.2 paveiksle.

Pakūroje sudegęs kuras išskiria šilumos kiekį $Q_k$ (kW). Katile ši šiluma yra panaudojama sušildyti termofikacinį vandenį iki temperatūros $T_5$. Į katilą tiekiamo termofikacinio vandens temperatūra $T_4$ ir iš katilo išeinančio termofikacinio vandens temperatūra $T_5$ yra pastovios. $T_5$ temperatūros vanduo yra maišomas tam tiktu santykiu su iš dūmų kondnensacinio ekonomaizerio ištekėjusiu $T_3$ temperatūros termofikaciniu vandeniu, kad susidarytų reikiamos temperatūros $T_1$ termofikacinis vanduo. $T_1$ temperatūros termofikacinis vanduo yra paduodamas į trasas šilumos vartotojams. Iš trasų grįžęs $T_2$ temperatūros termofikacinis vanduo patenka į dūmų kondensacinio ekonomaizerio plokštelinį šilumokaitį, kuriame pašyla iki $T_3$ temperatūros. Dalis šio vandens ($T_3$) yra maišoma su išeinančio iš katilo termofikacinio vandeniu $T_5$ tam, kad susidarytų reikiamos $T_4$ (72°C) temperatūros vanduo, kuris yra tiekiama į katilą. Likusi $T_3$ temperatūros vandens dalis yra maišoma su $T_5$ temperatūros vandeniu tam, kad susidarytų $T_1$. Tokiu būdu keičiant pratekančio per katilą $T_3$ temperatūros vandens kiekį yra keičiama katilinės galia.

### 2.1. Biokuro katilo su pakura aprašymas

Biokuras į ardyninę pakurą, kurios principinis vaizdas pateiktas žemiau (žr. 2.1 pav.), tiekiamas grandikliniu transporteriu iš kuro sandėlio. Maksimalus kuro, talpinamo kuro sandėlyje, kiekis gali užtikrinti maksimalų katilinės veikimą vienai parai, todėl kuro sandėlis yra nuolatos papildomas kuru iš kuro saugojimo aikštelės. Iki 50 % šildymo sezono kuro į kuro saugojimo aikštelę yra suvežama vasaros metu, o kūrenimo sezono metu kuro atsargos nuolatos papildomos atvežamu biokuru iš miškų ar medienos perdirbimo įmonių. Degimui reikalingas oras yra tiekiamas dviem oro pūtimo ventiliatoriais, kurie orą ima iš aukščiausios katilinės vietos. Skaičiavimuose nepriklausomai nuo katilo galios yra naudojama vidutinė aplinkos oro temperatūra 25℃. Vienas oro pūtimo ventiliatorius yra skirtas pirminiam orui, o antrasis – antriniam. Pirminis oras panaudojamas kuro džiovinimui, ardyno aušinimui, bei degimui; antrinis oras naudojamas tik degimo stabilizavimui. Dūmai iš katilo yra šalinamu dūmsiurbe.



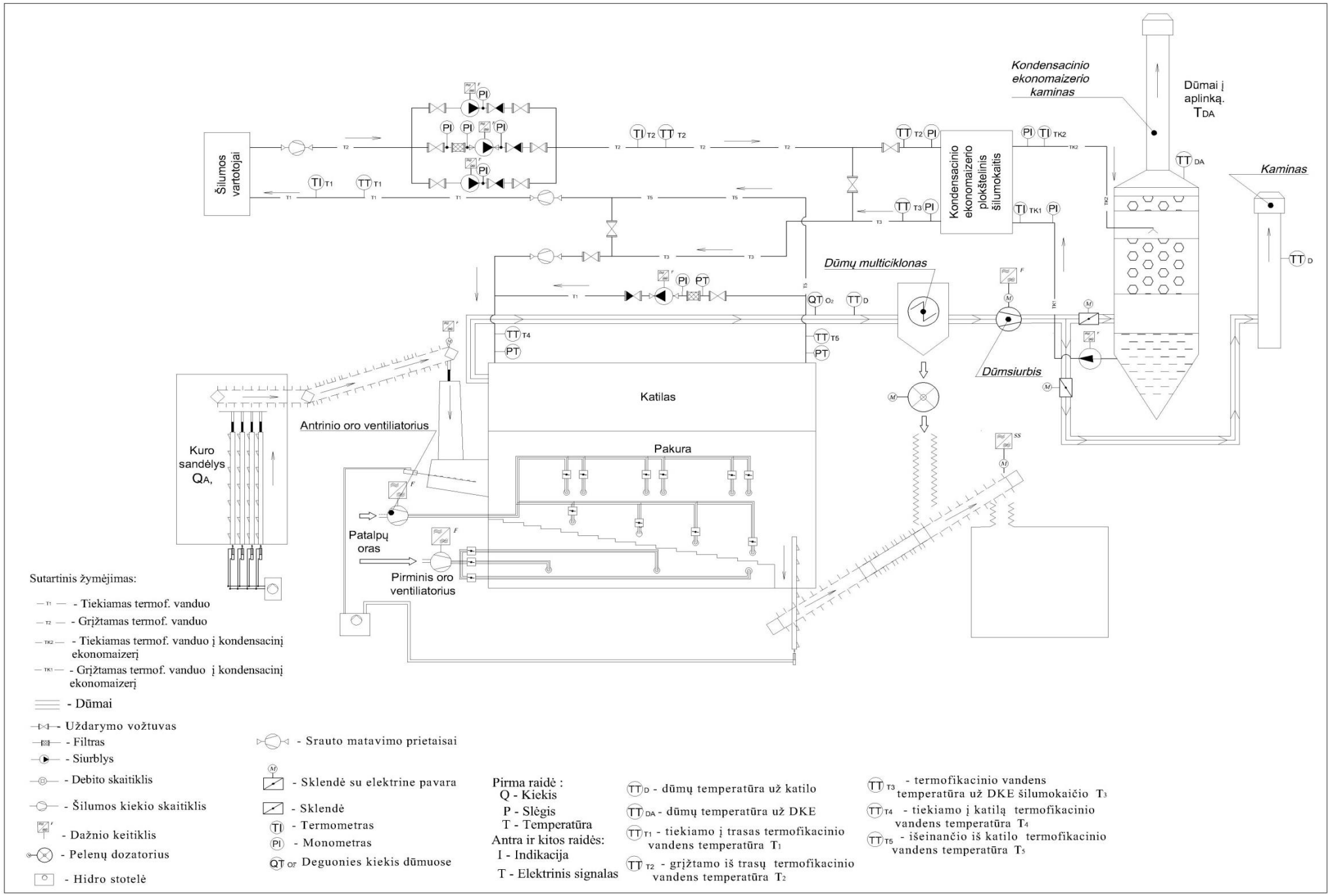

2.1 pav. Ardyninė biokuro pakura [3]

2.1 paveiksle parodytą standartinę ardyninę pakurą sudaro: 1 – pakuros korpusas, kuris skirtas izoliuoti pakurą nuo aplinkos veiksnių; 2 – pakuros mūras su termoizoliacija skirti tam, kad degimo metu išsiskyrusi šiluma liktų pakuroje; 3 – žertuvinis maitintuvas skirtas biokuro tiekimui į pakurą; 4 – pakuros ardynas, skirtas tolygiai paskirstyti biokuro sluoksnį per visą pakuros plotą, tiekti pirminį orą ir džiovinti kurą; 5 – oro vamzdynas skirtas tiekti reikiamą oro kiekį į pakurą (pirminį, antrinį ir tretinį); 6 – kuro bunkeris yra tarpinis indas tarp kuro sandėlio ir pačios pakuros; 7 – pelenų pašalinimo kanalas skirtas galutinai sudegusio kuro pašalinimui iš pakuros; 8 – pelenų pašalinimo iš po ardelių kanalai, kuriuose renkasi ne tik pelenai, bet ir mechaniškai prabyrėjęs nesudegęs kuras; 9 – priešgaisrinė bunkerio sistema, kurios paskirtis užgesinti kuro bunkerį, jeigu šis užsidegtų.

Pakuros poardelinis tūris suskirstytas į tris zonas: I – džiovinimo zoną; II – dujofikacijos ir degimo zoną; III – galutinio degimo ir pelenų surinkimo zoną. Ši deginimo technologija, naudojant pirminį ir antrinį oro kiekį, leidžia gauti generatorinį degimo procesą. Katile su pakura galima deginti 30–60 % drėgnumo kurą. Katilą galima laikyti paviršiniu nepertraukiamo veikimo šilumokaičiu, kuriame šiluma yra paimama iš aukštesnės temperatūros degimo produktų (dūmų) ir perduodama žemesnės temperatūros darbo kūnui – termofikaciniam vandeniui. Šilumos mainai tarp šių agentų vyksta jiems tiesiogiai nesimaišant, kadangi juos atskiria šildomieji paviršiai. Toks šilumokaitis vadinamas nepertraukiamo veikimo, nes abu darbo kūnai: tiek šaltasis, tiek karštasis, vienu metu nepertraukiamai juda.

2.1 lentelė. Katilo su pakura gamintojo pateiktos techninės charakteristikos

| Nr. | Parametras | Reikšmė (Aprašymas) |
|---|---|---|
| 1. | Katilo tipas | VŠKP-4MA vandens šildymo katilas su pakura (būgninis, kaitrinių vamzdžių, plieninis) |
| 2. | Nominalus šiluminis našumas | 4 (3,44) MW (Gcal/h) |
| 3. | Kuro rūšis | medienos atliekos, rapso šiaudai |
| 4. | Kuro drėgnumas | 30–50 % |
| 5. | Kuro, kurio drėgnumas 40 %, sunaudojimas esant nominaliam galingumui | ne daugiau 2350 (3,35) kg/h ($m^3$/h) |
| 6. | Kuro pelningumas | iki 5,5 % |
| 7. | Katilo su pakura naudingo veikimo koeficientas | ne mažiau 0,85 |
| 8. | Vandens darbinis slėgis | 0,6 (6,0) MPa (kgf/cm2) |
| 9. | Vandens temperatūra | prieš katilą 60 ºC; po katilo 110 ºC |
| 10. | Per katilą pratekančio vandens minimalus debitas | 60 t/h |
| 11. | Per katilą pratekančio vandens darbinis debitas | 70 t/h |
| 12. | Hidraulinis pasipriešinimas | 0,05 (0,5) M Pa (kgf/$cm^2$) |
| 13. | Išeinančių iš pakuros degimo produktų temperatūra | 900–1100 $^oC$ |
| 14. | Išeinančių iš katilo degimo produktų temperatūra, | 160–180 $^oC$ |
| 15. | Katilo vandens talpa | 12,4 $m^3$ |
| 16. | Katilo šildymo paviršius | 336 $m^2$ |
| 17. | Gabaritiniai matmenys | ilgis, L-5320 (mm)<br>plotis, B-2460 (mm)<br>aukštis, H-3800 (mm) |




2.2 pav. Katilo skaičiuojamoji schema

## 2.2. Dūmų kondensacinio ekonomaizerio aprašymas

Analizuojamoje katilinėje yra naudojamas dūmų kondensacinis ekonomaizeris ($Q_{nom.}$= 0,837 MW) su kieta į krova (žr. 2.3 pav). Dūmai, išėję iš katilo, keliauja per multicikloną, iš kurio patenka į kondensacinį ekonomaizerį. DKE dūmai apiplauna kietą įkrovą, kuriai perduoda savyje turimą šilumą, šio proceso metu vyksta dūmuose esančios drėgmės kondensacija. Ant kietos įkrovos yra purškiamas vanduo, kuris dėl nepilnų šilumos mainų yra apytiksliai vienu laipsniu šiltesnis negu grįžtamas termofikacinis vanduo ($T_{k2} = T_2 + 1$). Dūmai yra atšaldomi iki $T_{k2}$ temperatūros ($T_{k2} = T_{DA}$). Šiuo būdu dūmai atšaldomi žemiau rasos taško temperatūros, vykstant kondensacijai susigrąžinama šiluminės galios dalis, kuri buvo sunaudota kuro drėgmės išgarinimui degimo metu.

2.3 Analizuojamo DKE plastikinės kietos įkrovos forma

Ant kietos įkrovos išpurkštas vanduo nuplauna ir surenka prie kietos įkrovos prilipusias kietąsias daleles, atkeliavusias su dūmais iš katilo. Dėl šios priežasties reikalinga nuolatos valyti kondensatą. Kondensacijos metu išsiskiria papildomas vandens kiekis, kurio perteklių reikalinga šalinti iš sistemos. Kondensato perteklius keliauja į pH balansinę talpą, kuriame yra neutralizuojamas šarminiu tirpalu. Po šios proceso kondensatas yra leidžiamas į slėginį filtrą, kuriame yra išfiltruojamos kietos dalelės. Po to kondensatas yra atšaldomas oro kaloriferiais iki leistinos temperatūros, kuri pagal higienos normas yra iki ≤40 °C, ir išleidžiamas į drenažą. Slėginis filtras yra ciklišKai išplaunamas. Susikaupęs dumblas yra surenkamas dumblo rezervuare, kuriame dumblas nusėda ant dugno, o perteklinis vanduo iš dumblo rezervuaro yra grąžinamas į pH balansinę talpą, kurioje yra dar kartą neutralizuojamas iki leistinos normos ir išleidžiamas į drenažą.

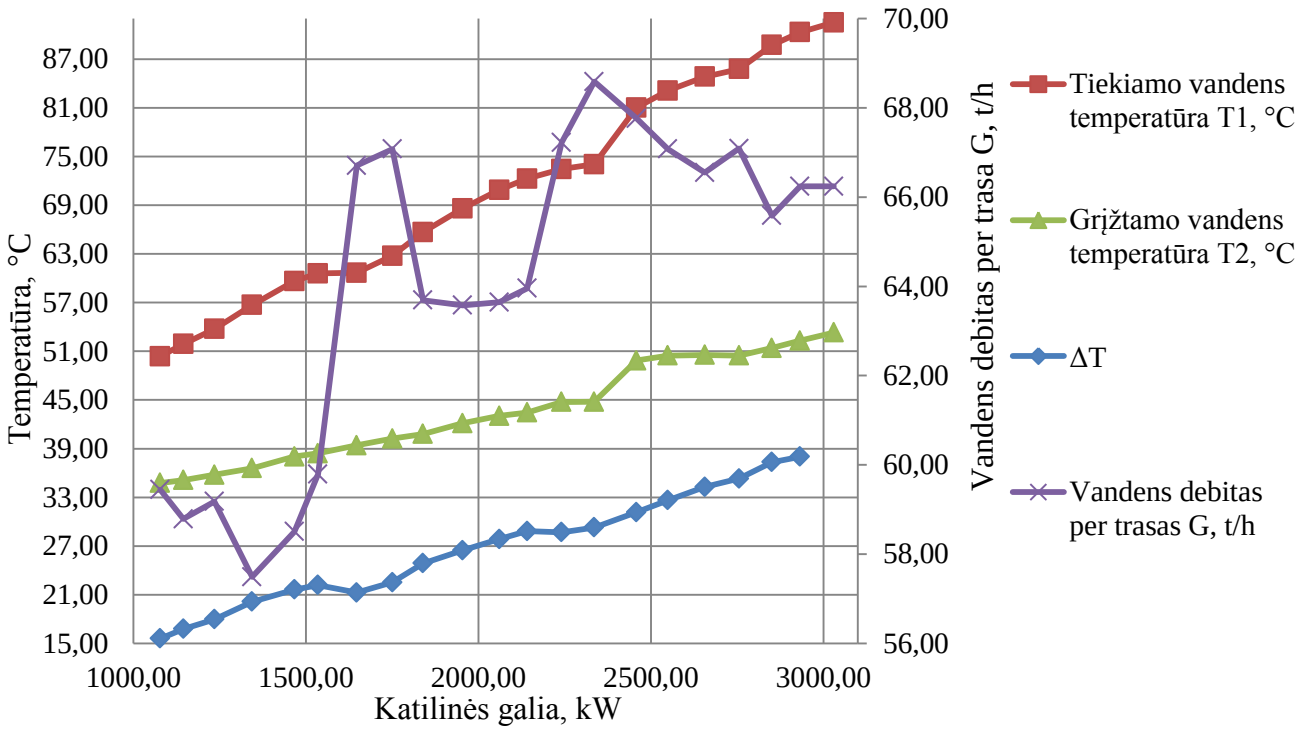
Kartu su DKE yra naudojamas plokštelinis šilumokaitis, kuris yra skirtas šilumos iš dūmų kondensacinio ekonomaizerio perdavimui grįžtamam termofikaciniam vandeniui be tiesioginio sąlyčio.

## 3. SKAIČIAVIMAI

Skaičiavimai pradedami nuo pradinių parametrų priklausomybių radimo. Analizuojama katilinė dirba pagal temperatūrinį grafiką, kuris nurodo, kokios temperatūros termofikacinis $T_1$ vanduo turi būti tiekiamas į trasas šilumos vartotojams. Tačiau nėra aišku, kokia bus grįžtamo termofikacinio vandens temperatūra $T_2$, todėl reikia išanalizuoti katilinės kūrenimo sezono duomenis ir atrasti priklausomybę $T_2$ nuo $T_1$. Skirtingų sezonų duomenys turėtų skirtis, dėl trasų tvarkymo bei namų renovacijų.

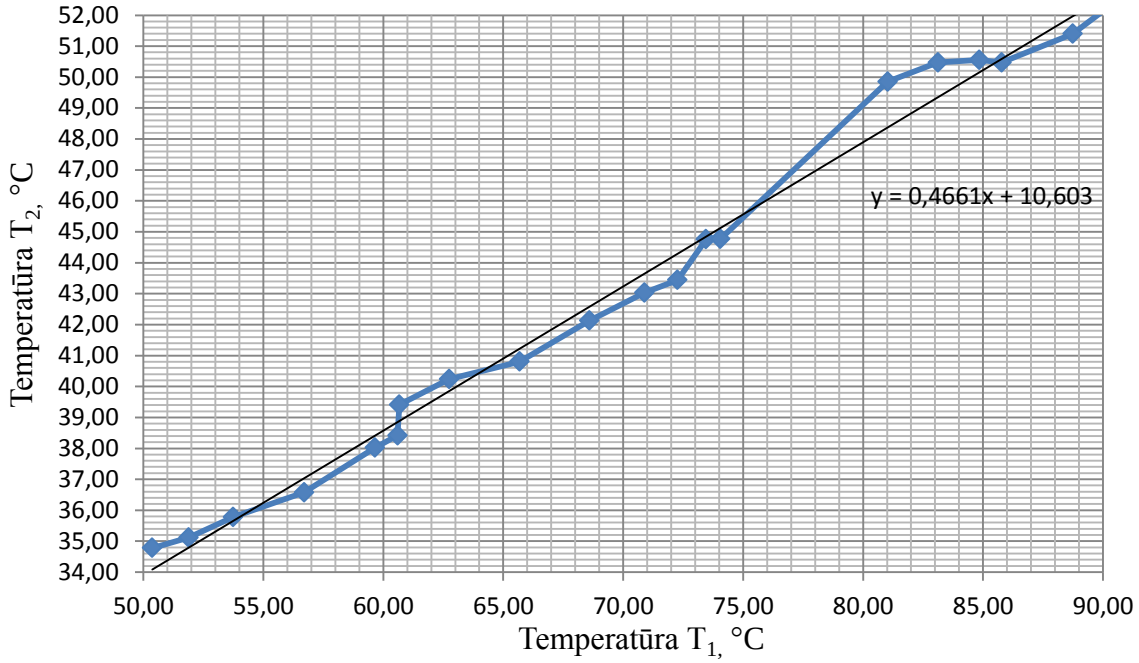
### 3.1. Analizuojamos katilinės parametrai

Išanalizavus 2013–2014 metų šildymo sezono katilinės parametrų duomenis (iš viso 321520 eilučių) buvo gautos vidutinės šios katilinės parametrų reikšmės. Skaičiavimams buvo sudaryti katilinės darbo intervalai po 100 kW, kadangi katilinės galia nuolatos kinta.




3.1 pav . Suvidurkinti Baisogalos katilinės parametrų duomenys

Remiantis gautais duomenimis buvo nustatytas ryšys tarp tiekiamo ($T_1$) ir grįžtamo ($T_2$) termofikacinio vandens temperatūrų (žr. 3.2 pav.).




3.2 pav. Temperatūros $T_2$ priklausomybė nuo $T_1$

Pagal gautus pradinius duomenis buvo atlikti skaičiavimai siekiant atrasti pačią tiksliausią formulę, kuri leistų suskaičiuoti šią priklausomybę. Šie skaičiavimai buvo atlikti pasinaudojus Mathcad skaičiavimo programa. Atlikti skaičiavimai 1–2–3–4 laipsnio polinomu ir gautos formulės:

Aproksimacija 1 laipsnio polinomu:

$$T_2(1) = 10{,}603 + 0{,}466 \cdot T_1 \quad (3.1)$$

Aproksimacija 2 laipsnio polinomu:

$$T_2(2) = 15{,}602 + 0{,}32 \cdot T_1 + 1{,}037 \cdot 10^{-3} \cdot T_1^2 \quad (3.2)$$

Aproksimacija 3 laipsnio polinomu:

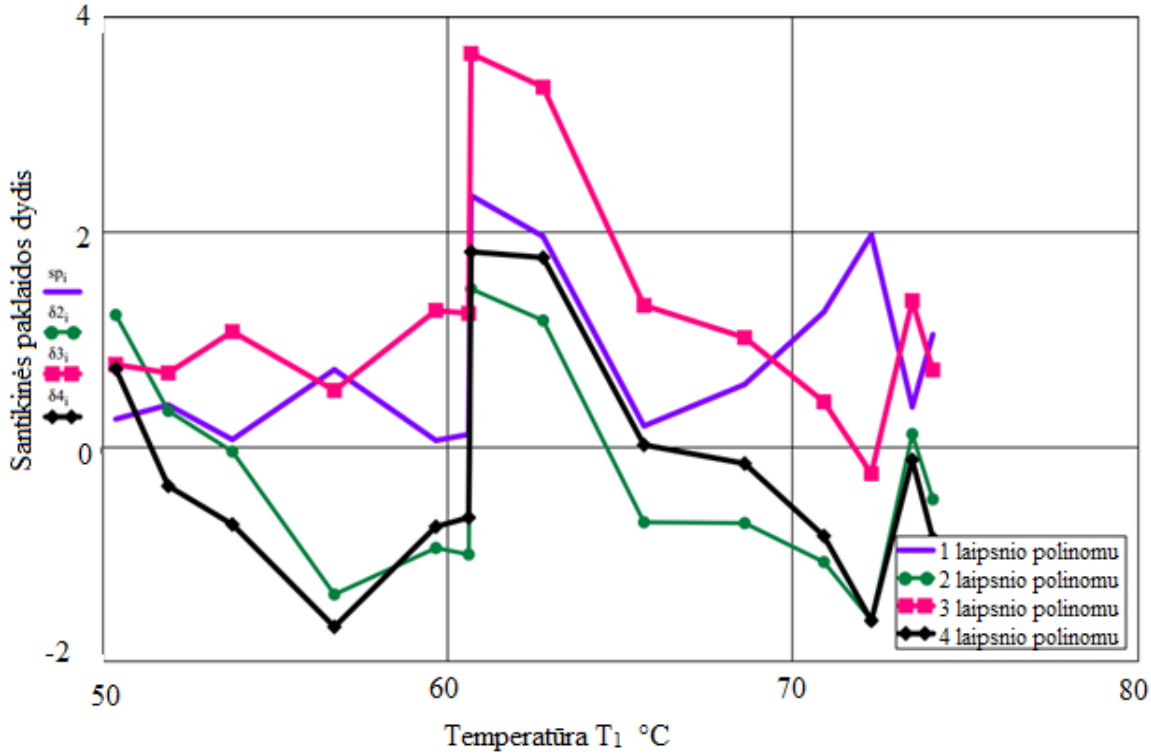
$$T_2(3) = 85{,}32 - 2{,}781 \cdot T_1 + 0{,}046 \cdot 10^{-3} \cdot T_1^2 - 2{,}147 \cdot 10^{-4} \cdot T_1^3 \quad (3.3)$$

Aproksimacija 4 laipsnio polinomu:

$$T_2(4) = -280{,}587 + 18{,}921 \cdot T_1 - 0{,}43 \cdot T_1^2 + 4{,}376 \cdot 10^{-3} \cdot T_1^3 - 1{,}632 \cdot 10^{-5} \cdot T_1^4; \quad (3.4)$$

čia:

T – į trasas tiekiamo termofikacinio ($T_1$) vandens temperatūra ◦C.

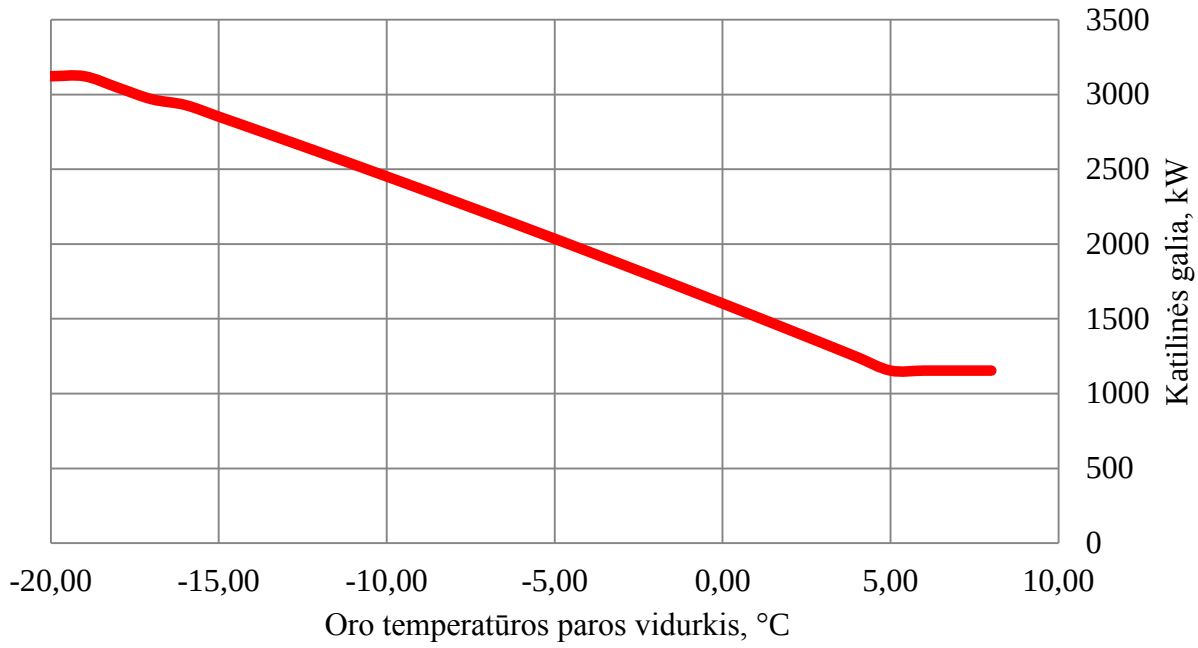



3.3 pav. Santykinės paklaidos

Gauti rezultatai buvo lyginami su katilinės išmatuotais dydžiais ir pagal tai gautos santykinės paklaidos (žr. 3.3 pav.). Grafinė medžiaga rodo, kad mažiausios paklaidos gaunamos skaičiavimams naudojant 2 laipsnio polinomo formulę, kadangi gaunama tiksliausia $T_2$ reikšmė. Todėl tolimesniems skaičiavimams buvo pasirinkta 2 laipsnio polinomo formulė.

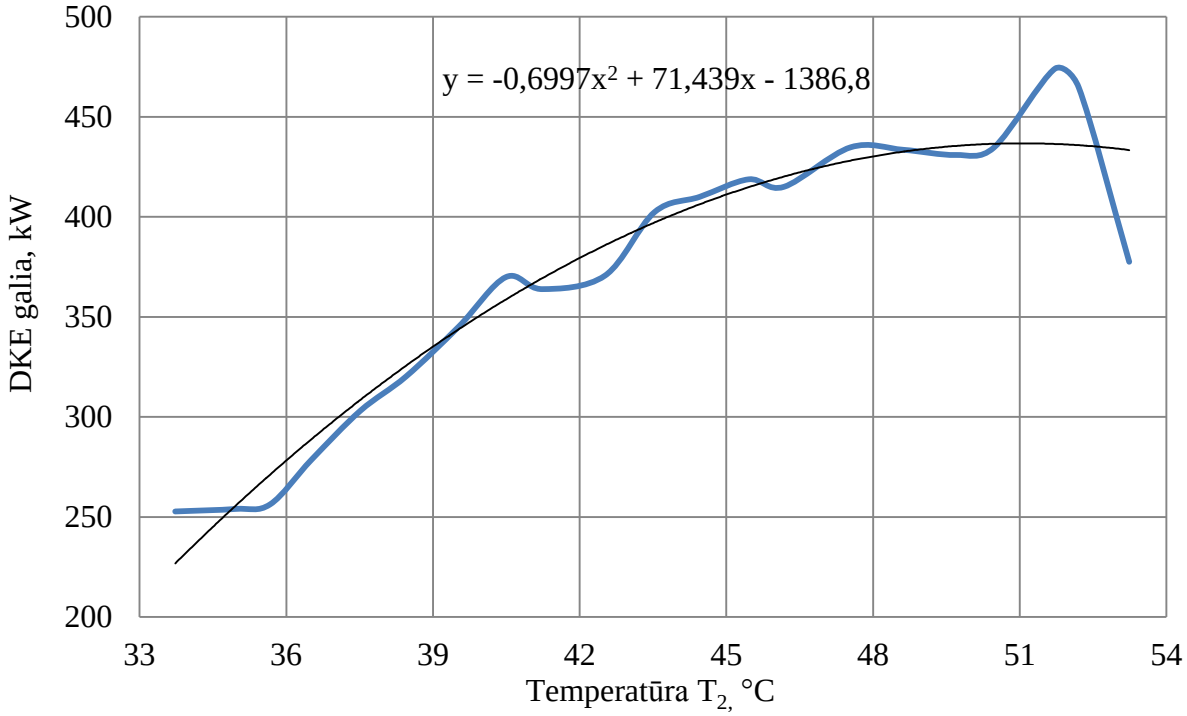
Dėl „išmaniųjų“ šilumos mazgų naudojimo, tiekiamo termofikacinio vandens debitas trasose kinta nepriklausomai nuo lauko temperatūros, todėl visiems skaičiavimams buvo priimta naudoti vidutinę debito reikšmę 18,89 kg/h. Naudojant 2 laipsnio polinomu gautą formulę (3.2) buvo atlikti katilinės galios skaičiavimai. Gauti rezultatai pateikiami 3.1 lentelėje. Pagal gautus duomenis galima sudaryti katilinės galios priklausomybę nuo lauko temperatūros (žr. 3.4 pav.).

Gautas katilinės galios priklausomybės nuo lauko oro temperatūros grafikas rodo, kad katilinės galia didėja mažėjant lauko temperatūrai. Kaip matyti iš gautų duomenų (žr. 3.1 lent.), maksimalus katilinės galios poreikis analizuojamo sezono metu buvo tik 3,1 MW. Maksimalus katilinės pajėgumas yra nepanaudojamas dėl šiltesnių žiemų bei šilumos poreikio sumažėjimo, kurį lėmė keletas faktorių: nuosavų namų atsijungimas nuo centralizuoto šilumos tinklo; daugiabučių namų renovacija; šiluminių trasų atnaujinimas.




3.4 pav. Katilinės galios priklausomybė nuo lauko oro temperatūros

Pateikiami DKE 2013–2014 kūrenimo sezono duomenys, kurie buvo vidurkinami pagal grįžtamo termofikacinio vandens temperatūrą $T_2$, nes ji turi didžiausią įtaką DKE darbui. Temperatūra $T_2$ tiesiogiai priklausoma nuo $T_1$.




3.5 pav. 2013–2014 šildymo sezono DKE galios priklausomybė nuo grįžtamo termofikacinio vandens temperatūros $T_2$

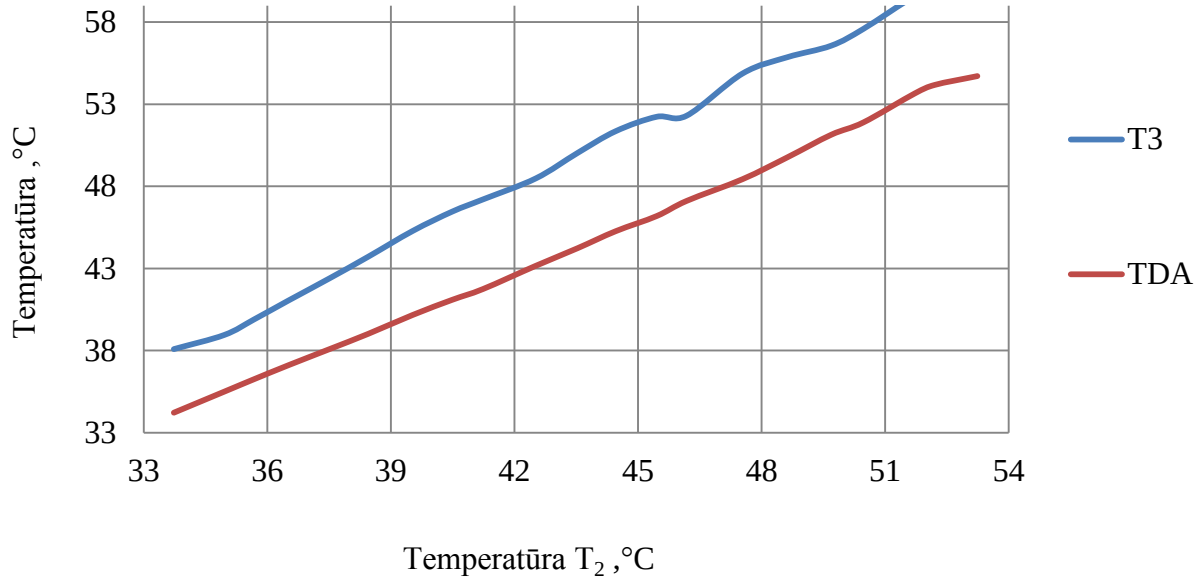
Dėl nuolatinių katilinės pereinamųjų procesų bei nuolatos besikeičiančios kuro drėgmės, šia kreivę reikalinga vidurkinti tam, kad būtų išsiaiškintos vidutinės reikšmės. Naudojant Excel

programinį paketą buvo gauta kreivė su ja aprašančia formule, kuri parodo, kaip keičiasi DKE generuojamas šilumos kiekis priklausomai nuo $T_2$ temperatūros.

$$DKE = -0{,}6997 \cdot T_2^2 + 71{,}439 \cdot T_2 - 1386{,}8\ ; \qquad (3.5)$$

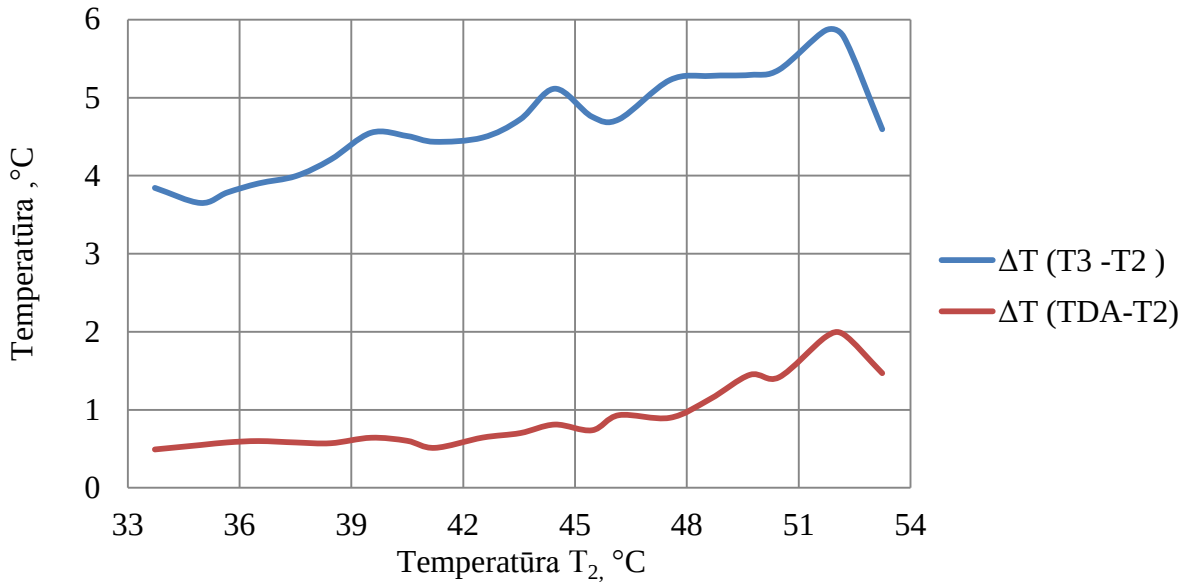
Pasinaudojus DKE generuojamos galios nustatymo formule galima nustatyti, kokią dalį katilinės šiluminės galios generuoja tik DKE. Gauti rezultatai pateikti 3.1 lentelėje. Rezultatai atskleidžia, kad didėjant grįžtamo termofikacinio vandens temperatūrai $T_2$ DKE efektyvumas mažėja. Nors grafikas 3.5 paveiksle rodo, kad didėjant $T_2$ nuolatos didėja ir DKE generuojama šiluminė galia, tačiau lyginant procentinį santykį su bendra katilinės galia matoma atvirkštinė efektyvumo kitimo tendencija.

Dūmų temperatūra, kuri išeina iš DKE $T_{DA}$ ir pašilusio termofikacinio vandens temperatūra $T_3$, kuri išeina iš DKE šilumokaičio, priklausomybė nuo grįžtamo iš tinklų termofikacinio vandens $T_2$ pateiktos žemiau (žr. 3.6 pav.):




3.6 pav. Išeinančių dūmų bei termofikacinio vandens iš DKE priklausomybė nuo grįžtamo termofikacinio vandens temperatūros

Išeinančių dūmų iš DKE $T_{DA}$ ir $T_2$ $\Delta T$ ($T_{DA} - T_2$) temperatūrų skirtumas yra pateikiamas 3.7 pav. paveiksle, kuris rodo, kad šis dydis didžiąją sezono dalį svyruoja apie 0,5 °C ir tik esant tam tikroms sąlygoms (galimai dėl šilumokaičio šiluminių paviršių užsiteršimo) padidėja iki 2 °C.




3.7 pav. $T_{DA}$ ir $T_3$ palyginimas su $T_2$

Didėjant $T_2$ didėja ir katilo galia taip pat turėtų didėti ir plokšteliniame šilumokaityje pašilusio vandens temperatūra $T_{3.}$ Tačiau 3.7 pav. pateikti duomenys rodo, kad $T_3$ dydis nėra tiesiškai priklausomas nuo $T_{2.}$ Tai galima paaiškinti termofikacinio vandens debito kiekio į trasas kitimu, kuris nuolatos kinta priklausomai nuo „išmaniųjų“ šilumos mazgų veikimo, t.y. šilumos poreikio.

Apdorojus 2013–2014 metų šildymo sezono analizuojamos katilinės parametrus buvo gautos priklausomybės, kurios pateiktos 3.1 lentelėje. Informacija apie iš katilo išeinančių dūmų temperatūros $T_D$ reikšmes analizuojamu 2013–2014 laikotarpiu neprieinama, todėl buvo priimta naudoti vidutines analizuojamos dūmų temperatūros reikšmes.

Kadangi nėra tikslių duomenų apie kuro, kuriuo buvo kūrenama katilinė analizuojamu laikotarpiu, savybes, tolimesni skaičiavimai buvo atlikti teoriškai keičiant biokuro savybes, taip siekiant nustatyti, kokio drėgnumo kuras buvo kūrenamas ataskaitiniu laikotarpiu.

3.1 lentelė. Analizuojamos katilinės 2013–2014 šildymo sezono vidutiniai parametrai

| Lauko oro temperatūra, °C | Paduodamo į tinklus vandens temperatūra $T_1$, °C | Perskaičiuotas pagal vidurkį $T_2$, °C | Vidutinis debitas **G,** kg/h | Vidutinė dūmų temperatūra $T_D$, °C | Nominali katilinės galia **P,** kW | DKE **P,** kW | Dūmų temperatūra po DEK, $T_{DA}$, °C | $\eta_{DKE}$, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 48 | 33,35 | 18,89 | 110,00 | 1153,83 | 254,00 | 33,60 | 22,01 |
| 7 | 48 | 33,35 | 18,89 | 110,00 | 1153,83 | 254,00 | 33,60 | 22,01 |
| 6 | 48 | 33,35 | 18,89 | 110,00 | 1153,83 | 254,00 | 33,60 | 22,01 |
| 5 | 48 | 33,35 | 18,89 | 110,00 | 1153,83 | 254,00 | 33,60 | 22,01 |
| 4 | 50 | 34,19 | 18,89 | 112,00 | 1244,95 | 254,00 | 34,49 | 20,40 |
| 3 | 52 | 35,05 | 18,89 | 114,00 | 1335,41 | 257,47 | 35,40 | 19,28 |
| 2 | 54 | 35,91 | 18,89 | 116,00 | 1425,21 | 276,20 | 36,32 | 19,38 |
| 1 | 56 | 36,77 | 18,89 | 118,00 | 1514,37 | 294,08 | 37,24 | 19,42 |
| 0 | 58 | 37,65 | 18,89 | 120,00 | 1602,86 | 311,05 | 38,18 | 19,41 |
| -1 | 60 | 38,54 | 18,89 | 122,00 | 1690,71 | 327,09 | 39,12 | 19,35 |
| -2 | 62 | 39,43 | 18,89 | 124,00 | 1777,90 | 342,17 | 40,07 | 19,25 |
| -3 | 64 | 40,33 | 18,89 | 126,00 | 1864,44 | 356,26 | 41,03 | 19,11 |
| -4 | 66 | 41,24 | 18,89 | 128,00 | 1950,33 | 369,33 | 42,00 | 18,94 |
| -5 | 68 | 42,16 | 18,89 | 130,00 | 2035,56 | 381,34 | 42,98 | 18,73 |
| -6 | 70 | 43,08 | 18,89 | 132,00 | 2120,14 | 392,27 | 43,97 | 18,50 |
| -7 | 72 | 44,02 | 18,89 | 134,00 | 2204,06 | 402,07 | 44,96 | 18,24 |
| -8 | 74 | 44,96 | 18,89 | 136,00 | 2287,34 | 410,73 | 45,97 | 17,96 |
| -9 | 76 | 45,91 | 18,89 | 138,00 | 2369,95 | 418,20 | 46,98 | 17,65 |
| -10 | 78 | 46,87 | 18,89 | 139,00 | 2451,92 | 424,45 | 48,01 | 17,31 |
| -11 | 80 | 47,84 | 18,89 | 140,00 | 2533,23 | 429,46 | 49,04 | 16,95 |
| -12 | 82 | 48,81 | 18,89 | 141,00 | 2613,89 | 433,18 | 50,08 | 16,57 |
| -13 | 84 | 49,80 | 18,89 | 142,00 | 2693,89 | 435,58 | 51,13 | 16,17 |
| -14 | 86 | 50,79 | 18,89 | 143,00 | 2773,24 | 436,62 | 52,18 | 15,74 |
| -15 | 88 | 51,79 | 18,89 | 144,00 | 2851,94 | 436,28 | 53,25 | 15,30 |
| -16 | 90 | 52,80 | 18,89 | 145,00 | 2929,99 | 434,52 | 54,33 | 14,83 |
| -17 | 91 | 53,31 | 18,89 | 146,00 | 2968,76 | 433,10 | 54,87 | 14,59 |
| -18 | 93 | 54,33 | 18,89 | 147,00 | 3045,83 | 429,14 | 55,96 | 14,09 |
| -19 | 95 | 55,36 | 18,89 | 148,00 | 3122,24 | 423,67 | 57,05 | 13,57 |
| -20 | 95 | 55,36 | 18,89 | 149,00 | 3122,24 | 423,67 | 57,05 | 13,57 |

## 3.2. Kuro savybių analizė

Norint apskaičiuoti dūmų komponentes reikalinga kuro sudėtis. Skirtingų medžių rūšių medienos degiosios masės sudėtis yra panaši: medienoje anglies yra apie 40–50 %, vandenilio 4–6 %, deguonies apie 36–43 %. Skirtingų medienos rūšių šiluminis vertingumas skiriasi dėl nevienodo jų specifinio tūrio, todėl norint gauti tokį patį efektyvumą reikalinga sukūrenti tokią pačią medienos masę. Biokuro katilinės yra kūrenamos susmulkintos medienos atliekomis ar iš

medienos apdirbimo įmonių gaunama antrine žaliava-pjuvenomis, todėl yra sudėtinga įvardyti, kokios medienos rūšies kuras yra naudojamas kūrenimo procese. Į katilinę vežamas įvairios kokybės biokuras, pavyzdžiui, susmulkintos šakos, ilgą laiką gulėjusios miške ant žemės. Atvežtas kuras sandėliuojamas po atviru dangumi katilinės aikštelėje, todėl biokuro pelenų kiekis kure gali siekti netgi iki 5 %. Naudojant prastesnės kokybės medieną reikia atlikti daugiau darbo, t.y. didesnis medienos tūris turi būti atvežtas į katilinės kuro saugyklą. Norint sumažinti kuro drėgmę, kuri pagal faktinius duomenis gali siekti iki 64 %, reikia sušildytų kurą, kad jame esanti drėgmė išgaruotų. Kaip pavyzdžiui, ką tik nukirstoje medienoje yra 50 % ir daugiau drėgmės. Be to, kaip buvo minėta, didžioji dalis biokuro saugyklų yra atviros, dėl to kuras ištisus metus yra veikiamas išorinių veiksnių (lietaus, sniego), todėl kuro drėgmė taip pat priklauso ir nuo meteorologinių sąlygų.

Tiriamuoju atveju duomenų apie kuro sudėtį nėra, todėl skaičiavimams naudota vidutinė absoliučiai sausos kuro masės procentinė sudėtis (žr. 3.2 lent.). Turimi duomenys apie kuro drėgnumą, pelenų kiekį kure bei šilumingumą rodo (žr. B priedą), kad analizuojamoje katilinėje naudojamo kuro drėgnumas kinta nuo 33 % iki 63 %, todėl skaičiavimams buvo naudotas drėgnumo intervalas kintantis nuo 30 % iki 60 % (žr. 3.3 bei 3.4 lent.).

3.2 lentelė. Vidutinė cheminė medienos sudėtis % sausojoje masėje [17]

| Elementas | Mediena |
|---|---|
| Anglis (C) | 49,4 |
| Vandenilis (H) | 6,1 |
| Deguonis (O) | 42 |
| Azotas (N) | 0,7 |
| Pelenai (A) | 1,8 |

Įvertinus kuro drėgmę buvo perskaičiuota kuro cheminė sudėtis, jos rezultatai pateikta 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė. Perskaičiuota kuro sudėtis %, esant skirtingam kuro drėgnumui

| Nr. | Medžiaga | Procentinė medžiagų dalis, esanti kure % | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $g_C$ | $g_H$ | $g_O$ | $g_N$ | $g_A$ | $g_W$ |
| 1 | Mediena | 34,86 | 4,27 | 30,1 | 0,49 | 1,8 | 30 |
| 2 | Mediena | 29,88 | 3,66 | 25,8 | 0,42 | 1,8 | 40 |
| 3 | Mediena | 23,904 | 2,928 | 20,64 | 0,336 | 1,8 | 50 |
| 4 | Mediena | 20,916 | 2,562 | 18,06 | 0,294 | 1,8 | 60 |

čia:

$g_C$ – anglies % dalis kure;

$g_H$ – vandenilio % dalis kure;

$g_O$ – deguonies % dalis kure;

$g_N$ – azoto % dalis kure;

$g_A$ – pelenų (nedegių medžiagų) % dalis kure;

$g_W$ – drėgmės % dalis kure.

### 3.3. Kuro šilumingumo nustatymas

Apatinis šilumingumas ($Q_a^n$) yra vadinamas šilumos kiekis, išsiskiriantis visiškai sudeginus 1 kg kietojo kuro.

Kuro apatinis šilumingumas (kJ/kg) pagal kieto kuro cheminių elementų sudėtį procentinėmis dalimis apskaičiuojamas pagal Mendelejevo formule [5]:

$$Q_A^n = 339 \cdot g_C + 1035 \cdot g_H - 109 \cdot g_O - 25 \cdot g_W; \quad (3.6)$$

Atliekant patikrinamuosius skaičiavimus, buvo palygintos teoriškai apskaičiuotos kuro šilumingumo reikšmės su laboratorijoje ištirtomis kuro šilumingumo reikšmėmis. Palyginus analizuojamoje katilinėje ištirtus kuro šilumingumus (žr. B priedą), priklausomus nuo kuro drėgmės, su teoriškai apskaičiuotais gautų paklaidų dydis tesiekė 1,85 % (žr. 3.4 lent.). Todėl galima teigti, kad pasirinkta procentinė kuro sudėtis bei skaičiavimo metodika buvo teisingos. Atliktų pasirinktų intervalų skaičiavimų reikšmės pateiktos 3.5 lentelėje.

3.4 lentelė. Teoriškai apskaičiuotų ir laboratorijoje ištirtų kuro šilumingumų reikšmių palyginimas

| Nr. | Kuro tipas | Kuro drėgmė W % | $Q_A$ apskaičiuota kJ/kg | $Q_A$ ištirta kJ/kg | Paklaida % |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Medžio skiedros | 33 | 11457,60 | 11249 | 1,85 |
| 2 | Pjuvenos | 44,7 | 9018,00 | 9006 | 0,13 |
| 3 | Pjuvenos | 63,9 | 5014,87 | 5109 | -1,84 |

### 3.4. Dūmų komponenčių susidarymo tyrimas

Teoriškai degimui reikalingas oro tūris ($V_o^t$) apskaičiuojamas pagal formulę $Nm^3/kg$ [13]:

$$V_o^t = 0{,}0889 \cdot g_C + 0{,}265 \cdot g_H - 0{,}0333 g_O; \quad (3.7)$$

$$V_o^t = 0{,}0889 \cdot 34{,}86 + 0{,}265 \cdot 4{,}27 - 0{,}0333 \cdot 30{,}1 = 3{,}228\ \frac{Nm^3}{kg};$$

Teorinis azoto ($V_{N_2}^t$) dujų tūris:

$$V_{N_2}^t = 0{,}768 \cdot \alpha \cdot V_o^t + 0{,}008 \cdot g_N; \quad (3.8)$$

$$V_{N_2}^t = 0{,}768 \cdot 1{,}4 \cdot 3{,}228 \ + 0{,}008 \cdot 0{,}49 = 3{,}475\ \frac{Nm^3}{kg};$$

Teorinis anglies dvideginio ($V_{CO_2}$) dujų tūris:

$$V_{CO_2} = 0{,}01866 \cdot g_C; \quad (3.9)$$

$$V_{CO_2} = 0{,}01866 \cdot 34{,}86 = 0{,}65\ \frac{Nm^3}{kg};$$

Teorinis vandens garų kiekis ($V_{H_2O}$), įvertinus iš oro paimtą drėgmę:

$$V_{H_2O} = 0{,}111 \cdot g_H + 0{,}0124 \cdot g_W + 0{,}02 \ \cdot \ \alpha \cdot V_o^t; \quad (3.10)$$

$$V_{H_2O} = 0{,}111 \cdot 4{,}27 + 0{,}0124 \cdot 30 + 0{,}02 \cdot \ 1{,}4 \cdot 3{,}251 \ = 0{,}937\ \frac{Nm^3}{kg};$$

Teorinis deguonies kiekis dūmuose ($V_{O_2}$):

$$V_{O_2} = 0{,}232 \cdot (\alpha - 1) \cdot V_o^t; \quad (3.11)$$

$$V_{O_2} = 0{,}232 \cdot (1{,}4 - 1) \cdot 3{,}251 \ = 0{,}302\,\frac{Nm^3}{kg};$$

Dūmų tūris sudeginus 1 kg kuro:

$$V_d = V_{CO_2} + V_{N_2}^t + V_{O_2} + V_{H_2O}; \quad (3.12)$$

$$V_d = 0{,}65 \ + 3{,}475 \ + 0{,}302 + 0{,}937 \ = 4{,}9136\ \frac{Nm^3}{kg};$$

Sausų dūmų tūris ($V_{S.D.}$) sudeginus 1 kg kuro, $Nm^3/kg$ :

$$V_{S.D.} = V_d - V_{H_2O} \quad (3.13)$$

Atliktus skaičiavimus, susijusius su tūrinėmis degimo produktų savybėmis, bei apskaičiavus kuro šilumingumus, gauti rezultatai pateikti 3.6 lentelėje.

Atliekant DKE efektyvumo skaičiavimus yra naudojamos dūmų masės, todėl pateikiama ir dūmų masės apskaičiavimo metodika ($m_d$) $kg/kg_{kuro}$ :

$$m_d = \frac{11}{3} \cdot \frac{g_c}{100} + m_{H_2O} + 0{,}768 \cdot \alpha \cdot m_{min}^{oro} + \frac{g_N}{100} + 0{,}23 \cdot (\alpha - 1) \cdot m_{min}^{oro}; \quad (3.14)$$

Minimali oro masė ($m_{min}^{oro}$) reikalinga degimui (kg/kg$_{kuro}$) nustatomas pagal:

$$m_{min}^{oro} = \frac{\frac{8}{3}\cdot\frac{g_C}{100} + 8\cdot\frac{g_C}{100} - \frac{g_O}{100}}{0{,}232}; \quad (3.15)$$

Oro masė ($m^{oro}$) įvertinus oro pertekliaus koeficientą (kg/ kg$_{kuro}$):

$$m^{oro} = \alpha \cdot m_{min}^{oro} \quad (3.16)$$

Susidarančių vandens garų masė ($m_{H_2O}$) (kg/ kg$_{kuro}$) :

$$m_{H_2O} = 9 \cdot \frac{g_H}{100} + \frac{g_W}{100} + 0{,}014 \cdot \alpha \cdot m_{min}^{oro}; \quad (3.17)$$

Atlikus supaprastintus dūmų komponenčių skaičiavimus gauti rezultatai, kurie bus naudojami skaičiuojant DKE efektyvumą, pateikti 3.5 lentelėje.

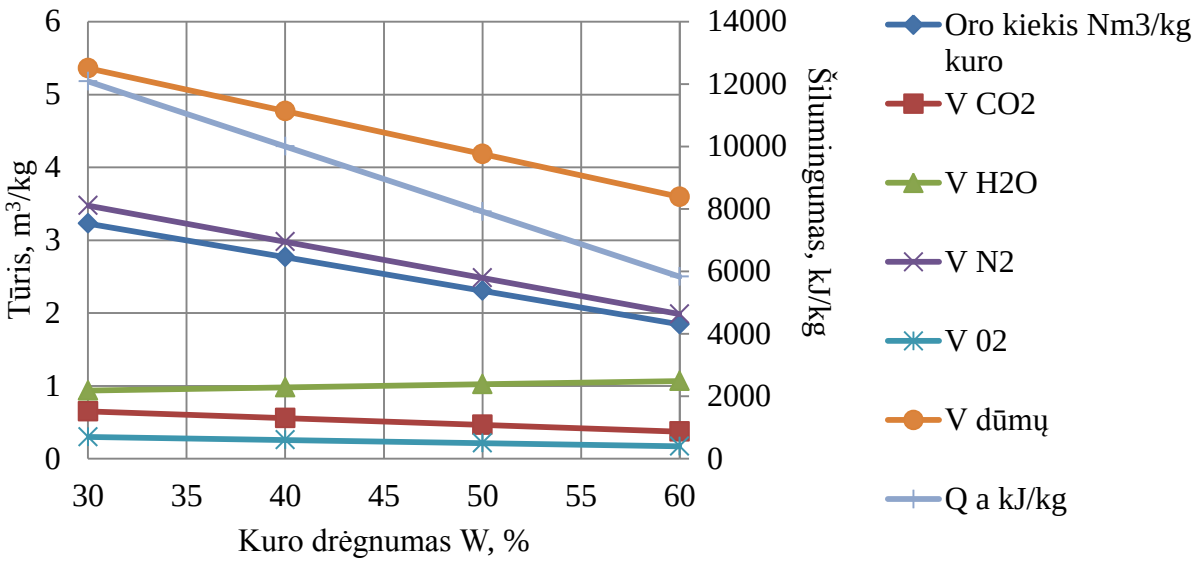
3.5 lentelė. Degimo produktų masinė sudėtis, kai α = 1,4

| **Nr.** | **Medžiaga** | kg$^{Oro}$/kg$_{kuro}$ | Dūmų komponentės kg/kg$_{kuro}$ | |
|---|---|---|---|---|
| | | | $m_{H2O}$ | $m_d$ |
| 1 | Mediena W=30% | 5,9 | 0,825 | 7,02 |
| 2 | Mediena W=40% | 5,05 | 0,85 | 6,163 |
| 3 | Mediena W=50% | 4,212 | 0,875 | 5,303 |
| 4 | Mediena W=60% | 3,37 | 0,9 | 4,442 |

3.6 lentelė. Sudeginto kuro savybės bei degimo produktų tūrinė sudėtis, kai α = 1,4

| Nr | Medžiaga | Oro kiekis Nm$^3$/kg kuro | Dūmų komponentės Nm3/kg kuro | | | | | $Q_A^n$ kJ/kg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $V_{CO_2}$ | $V_{H_2O}$ | $V_{N_2}^t$ | $V_{O_2}$ | $V_d$ | |
| 1 | Mediena (W = 30%) | 3,23 | 0,65 | 0,94 | 3,47 | 0,30 | 5,36 | 12090,14 |
| 2 | Mediena (W = 40%) | 2,77 | 0,56 | 0,98 | 2,98 | 0,26 | 4,77 | 10004,11 |
| 3 | Mediena (W = 50%) | 2,31 | 0,46 | 1,02 | 2,48 | 0,21 | 4,18 | 7918,08 |
| 4 | Mediena (W = 60%) | 1,84 | 0,37 | 1,07 | 1,99 | 0,17 | 3,60 | 5832,04 |

Pateikti duomenys rodo, kad didėjant kuro drėgmei, mažėja degimui reikalingas oro kiekis, tačiau drėgmės kiekis tūrine sudėtimi $V_{H_2O}$ didėja nežymiai, lyginant su dūmų kiekiu, kuris sumažėja 40 %, kintant kuro drėgmei nuo 30% iki 60 %.




3.8 pav. Degimui reikiamo oro kiekio, dūmų komponenčių sudėties bei kuro kaloringumo priklausomybė nuo kuro drėgmės

Tolimesniuose skaičiavimuose naudojama specifinė dūmų šiluma, kurią galima apskaičiuoti pagal atskirų komponenčių santykį. Remiantis Šiluminė technikos vadovėlyje [5] nurodytomis specifinių šilumų priklausomybių formulėmis, buvo apsiskaičiuotos vidutinės tūrinės degimo produktų masinės specifinės šilumos.

Tūrinės specifinės šilumos radimas, kai vidutinė skaičiuotina dūmų temperatūra 120 °C:

$$C_{pCO_2} = 1{,}7132 + 0{,}004723 \cdot T_D = 1{,}7132 + 0{,}0004723 \cdot 120 = 1{,}77 \ \frac{kJ}{m^{3\cdot}{}^{\circ}C} \quad (3.18)$$

$$C_{pN_2} = 1{,}306 + 0{,}0001107 \cdot T_D = 1{,}306 + 0{,}0001107 \cdot 120 = 1{,}32 \ \frac{kJ}{m^{3\cdot}{}^{\circ}C}; \quad (3.19)$$

$$C_{pH_2O} = 1{,}473 + 0{,}0002498 \cdot T_D = 1{,}473 + 0{,}0002498 \cdot 120 = 1{,}503 \ \frac{kJ}{m^{3\cdot}{}^{\circ}C}; \quad (3.20)$$

$$\mathrm{C_{pO_2}} = 1{,}287 + 0{,}000120 \cdot \mathrm{T_D} = 1{,}287 + 0{,}000120 \cdot 120 = 1{,}3014 \ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{m^{3\cdot}{}^{\circ}C}}; \quad (3.21)$$

Dūmų komponenčių tūrinės dalies sudėties apskaičiavimas:

$$X_{CO_2} = \frac{V_{CO_2}}{V_d} = \frac{0{,}56}{4{,}77} = 0{,}110 \quad (3.22)$$

$$X_{N_2} = \frac{V_{N_2}}{V_d} = \frac{2{,}98}{4{,}77} = 0{,}638 \quad (3.23)$$

$$X_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V} = \frac{0{,}98}{4{,}77} = 0{,}205 \quad (3.24)$$

$$X_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V_d} = \frac{0{,}26}{4{,}77} = 0{,}0505 \quad (3.25)$$

$$C_{pdūmų} = X_{O_2} \cdot C_{pO_2} + X_{H_2O} \cdot C_{pH_2O} + X_{H_2} \cdot C_{pN_2} + X_{CO_2} \cdot C_{pCO_2} \quad (3.26)$$

$$C_{pdūmų} = 0{,}0505 \cdot 1{,}3014 + 0{,}205 \cdot 1{,}503 + 0{,}638 \cdot 1{,}32 + 0{,}110 \cdot 1{,}77 = 1{,}41 \frac{kJ}{m^3 \cdot °C}$$

Tolimesniuose skaičiavimuose bus naudojama pastovi specifinės šilumos reikšmė:

$C_{pdūmų} = 1{,}41 \frac{kJ}{m^3 \cdot °C}$.

### 3.5. Analizuojamo katilo su pakura naudingumo koeficiento priklausomybių tyrimas

Katilo naudingumo koeficientu (n.k) yra vadinamas naudingai vandeniui šildyti sunaudotas šilumos ir (kuro degimo šilumos) sunaudotos šilumos santykis [5].

$$\eta_k = q_1 = \frac{Q_1}{Q_A^n} \cdot 100 = 100 - (q_2 - q_3 - q_4 - q_5); \quad (3.27)$$

čia:

$Q_1$ – naudingai sunaudota šiluma (kJ/kg);

$Q_A^n$ – kuro naudojamos masės apatinis šilumingumas (kJ/kg);

$q_1$ – naudingai sunaudota šiluma (%);

$q_2$ – iš katilo išeinančių dūmų šiluma (%);

$q_3$ – cheminio nevisiško sudegimo šilumos nuostoliai (%);

$q_4$ – mechaniniai nevisiško sudegimo šilumos nuostoliai (%);

$q_5$ – šilumos nuostoliai į aplinką (%).

Katilo naudingo veiksmo koeficientą galima nustatyti dviem būdais:

1. žinant katile pagaminto šilto vandens kiekį G (kg/s) bei įeinančio ir išeinančio vandens entalpijas, sudeginto kuro kiekį B (kg/s) ir kuro apatinį šilumingumą $Q_A^n$;
2. apskaičiuojant visus šilumos nuostolius.

$Q_1$ naudingai panaudota šiluma išreiškiama pagal tai, kiek vanduo perėmė šiluminės energijos, sukūrenus tam tikrą kiekį kuro:

$$Q_1 = \frac{G(h_2 - h_1) \cdot 100}{B} \quad (3.28)$$

čia:

G – vandens debitas per katilą (kg/s);

$h_2$ – išeinančio iš katilo vandens entalpija (kJ/kg);

$h_1$ – paduodamo į katilą vandens entalpija (kJ/kg);

B – sudeginamas kuro kiekis per sekunde (kg/s).

Kadangi analizuojamoje katilinėje momentinis sudeginamo kuro kiekis nėra žinomas, o vandens debetas per katilą kinta, priklausomai nuo aplinkos temperatūros, buvo pasirinktas antrasis katilo naudingo veiksmo koeficiento nustatymo būdais – apskaičiuojant visus katilinės nuostolius.

$q_2$ – iš katilo išeinančių dūmų išnešama šiluma. Išeinančių dūmų iš katilo temperatūra yra visuomet didesnė už aplinkos temperatūrą. Katile teoriškai dūmai galėtų būti ataušinti tik iki išeinančio iš katilo termofikacinio vandens temperatūros $T_4$, kuri yra 95 °C. Tai yra teorinis dydis esant idealioms sąlygoms. Tuo tarpu praktinis dydis kinta nuo 110 °C iki 150 °C. Atliekant tolesnius skaičiavimus buvo priimta, kad į katilą paduodamas aplinkos oras yra 25 °C temperatūros.

$$Q_2 = (I_D - I_o) \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) = (V_D c_D T_D - \alpha\, V_o c_o t_o) \cdot (1 - \frac{q_4}{100}) \qquad (3.29)$$

$Q_2$ – iš katilo kartu su dūmais išnešamas šilumos kiekis (kJ/kg);

$V_D$ – išeinančių dūmų tūris, esant oro pertekliaus koeficientui už katilo $\alpha$;

$c_D$ ir $c_o$ – apskaičiuotos dūmų ir paduodamo oro savitosios šilumos (kJ/m$^3$ K);

$T_D$ ir $t_o$ – dūmų ir paduodamo oro temperatūros (°C);

$1 - \frac{q_4}{100}$ – pataisa, kuria įvertinami mechaniniai nevisiško sudegimo šilumos nuostoliai;

$q_4$ – mechaniniai nevisiško sudegimo šilumos nuostoliai (%).

Apskaičiuotas $Q_2$ yra perskaičiuojamas į procentus:

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q_A^n} \cdot 100 \qquad (3.30)$$

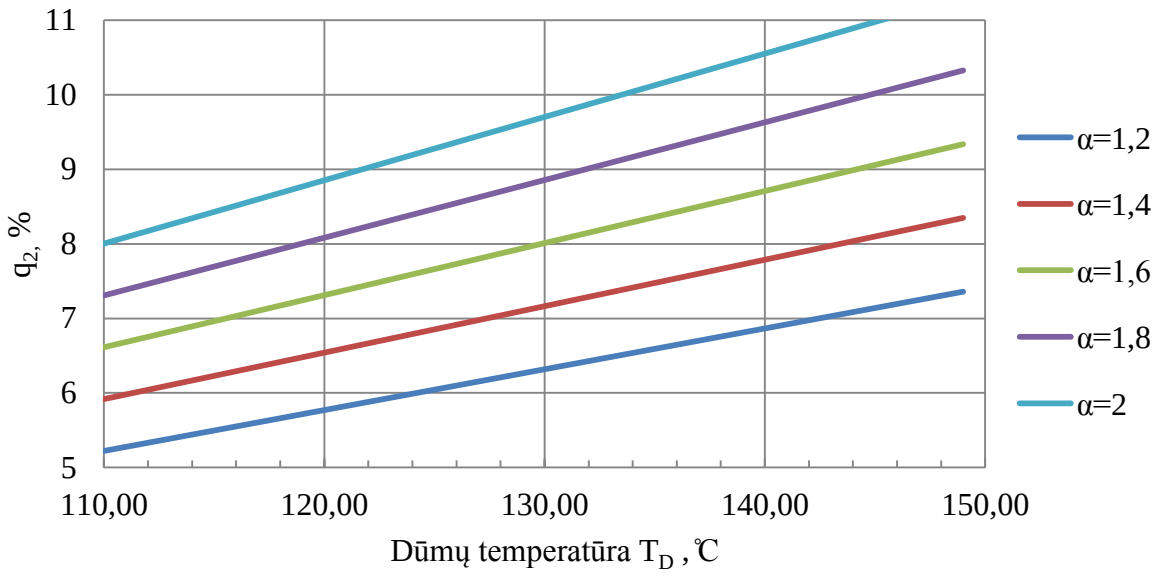
Iš lygties (3.30) matyti, kad kuo dūmų temperatūra ir jų tūris yra didesnis, tuo patiriami šilumos nuostoliai su išeinančiais dūmais yra didesni. Šilumos nuostoliai, atsirandantys dėl dūmuose esančios šilumos, sudaro didžiausius katilo nuostolius, kurie atskirais atvejais gali siekti 15–20% viso katilinės naudingo veiksmo koeficiento. Norint sumažinti šiuos nuostolius, reikia sumažinti į aplinką išmetamų dūmų temperatūrą, tam yra naudojami dūmų kondensaciniai

ekonomaizeriai. Išeinančių dūmų temperatūra taip pat didėja katilo šilumos mainų paviršiams užsinešus pelenais ar suodžiais, todėl katilai turi būti profilaktiškai išvalomi.

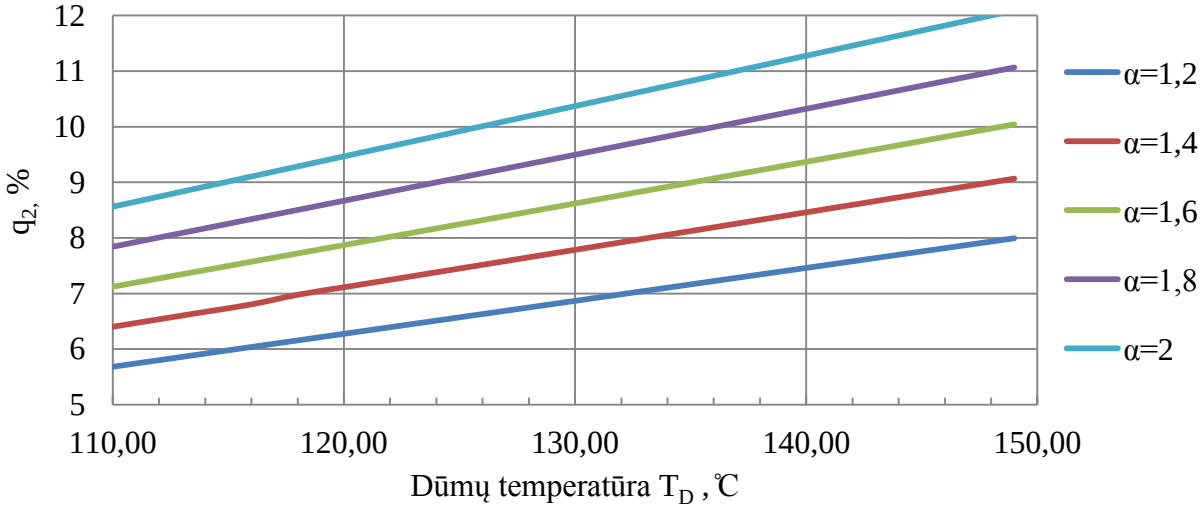
Išeinančių dūmų tūris tiesiogiai priklauso nuo oro pertekliaus koeficiento $\alpha$. Oro pertekliaus koeficiento dydis analizuojamoje katilinėje atskirais atvejais kito tarp 1,2–2.

Kitas veiksnys, mažinantis su dūmais išeinančią šilumą, yra oro pertekliaus mažinimas. Katilo sandarumas mažina oro pertekliaus koeficientą.

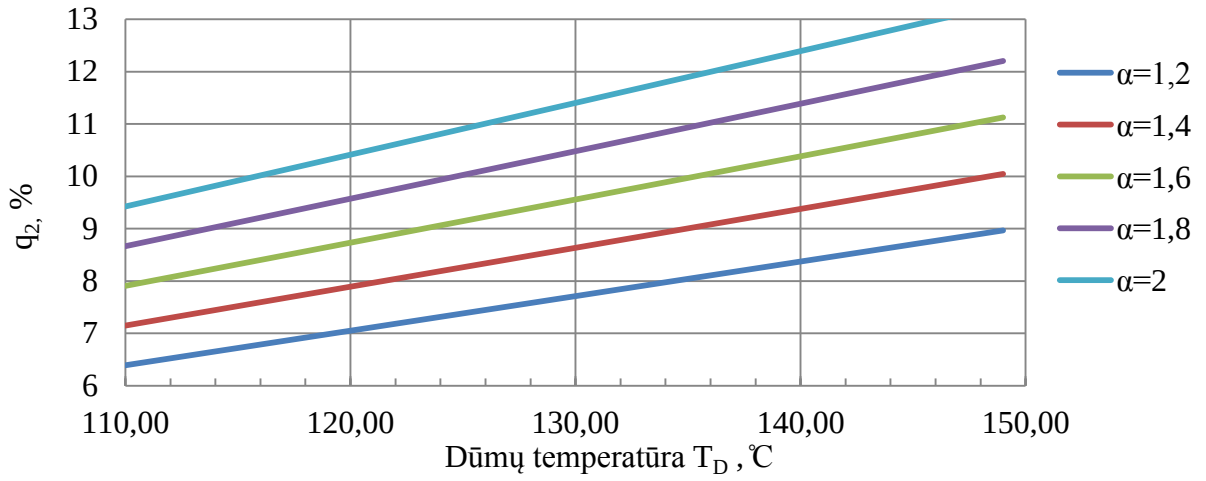
Skaičiavimai buvo atlikti priėmus, kad į kūryklą tiekiamo oro temperatūra yra pastovus dydis, o išeinančių iš katilo dūmų temperatūra didėja, didėjant katilo galiai (žr. 3.8 lent.). Atliktų skaičiavimų su skirtingo drėgnumo kuru rezultatai pateikti grafiškai (žr. 3.9 pav.; 3.10 pav.; 3.11 pav.; 3.12 pav.).



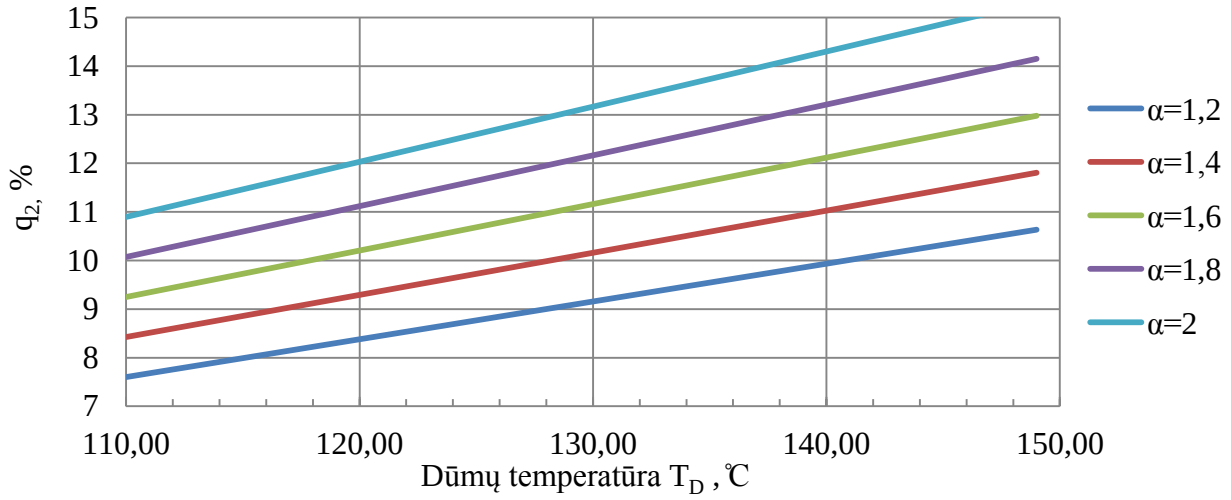

3.9 pav. Katilo nuostoliai su dūmais kintant α, esant pastoviai kuro drėgmei W = 30 %.



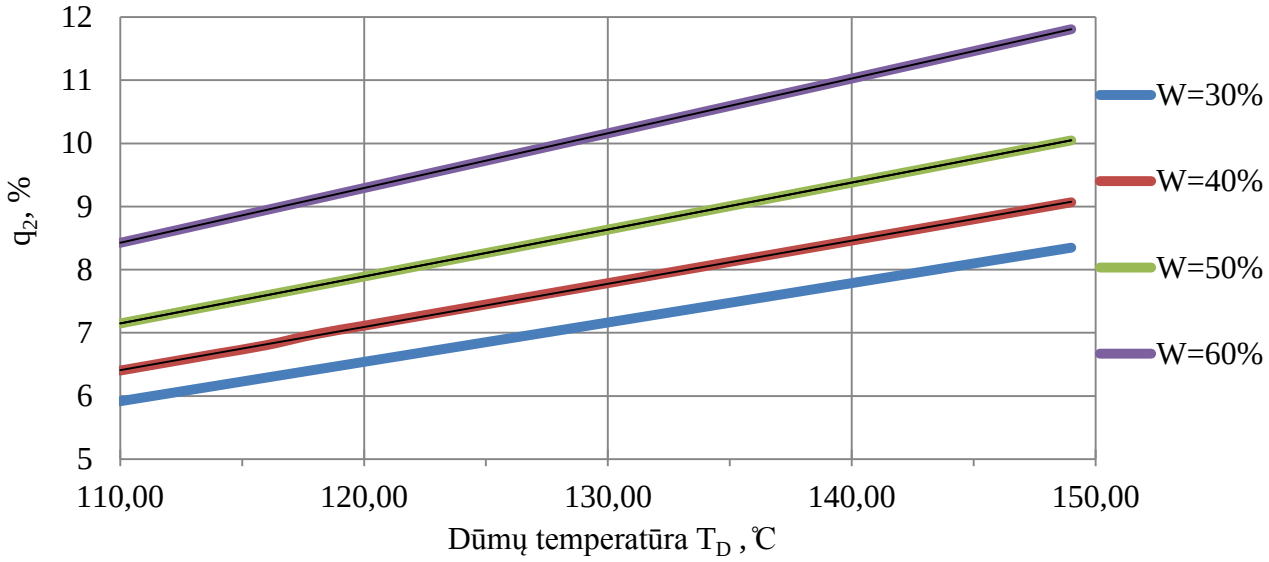

3.10 pav. Katilo nuostoliai su dūmais kintant α, esant pastoviai kuro drėgmei W = 40%




3.11 pav. Katilo nuostoliai su dūmais kintant α, esant pastoviai kuro drėgmei W = 50%.




3.12 pav. Katilo nuostoliai su dūmais kintant α, esant pastoviai kuro drėgmei W = 60%




3.13 pav. Katilo nuostoliai su dūmais kintant kuro drėgmei, esant pastoviai α = 1,4

Iš pateiktų grafikų matyti, kad didėjant išeinančių dūmų temperatūrai iš katilo, didėja ir šilumos nuostoliai. Didėjant oro pertekliaus koeficientui α, didėja katilinės be DKE nuostoliai. Kintat kuro drėgmei šilumos nuostoliai patenkantys į aplinką didėja neproporcingai (žr. 3.13 pav.).

$q_3$ – cheminiai nevisiško sudegimo šilumos nuostoliai. Nevisiškas cheminis sudegimas būna tada: kai kūrykloje trūksta oro; kai oras blogai susimaišo su kuru; kai temperatūra kūrykloje yra per žema. Tokiais atvejais kūrykloje atsiranda nevisiško sudegimo produktai CO, $H_2$. Prarastas šilumos kiekis, kuris būtų išsiskyręs, jei kuras būtų visiškai sudegęs, yra vadinamas nevisiško cheminio sudegimo šilumos nuostoliu.

$$Q_3 = V_{CO} \cdot Q_{CO} \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) = \frac{CO}{100} \cdot V_{S.D.} \cdot Q_{Co} \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \quad (3.31)$$

$V_{CO}$ – anglies viendeginio tūris ($Nm^3/kg$);

CO – anglies viendeginio tūrinis procentas sausuose dūmuose.

$Q_{CO}$ – 12700 ($kJ/Nm^3$) anglies viendeginio šilumingumas.

$$CO = \frac{CO_{Išmatuota}}{V_{S.D.}} \cdot 100 \quad (3.32)$$

Skaičiuojant šį dydį buvo remiamasi 2011-2014 laikotarpiu išmatuotu analizuojamos katilinės parametrų reikšmių vidurkiu (žr. 3.7 lent.).

3.7 lentelė. Baisogalos katilinės išmetamų teršalų tyrimų rezultatai

| Nr. | Matavimo data | Vidutinės teršalų koncentracijos perskaičiuotos prie stacionarios O2 (6%) reikšmės mg/Nm3 | |
|---|---|---|---|
| | | Kietosios dalelės | CO |
| 1 | 2011-12-15 | 640,3 | 1323,5 |
| 2 | 2012-12-11 | 574,3 | 1635,4 |
| 3 | 2013-11-22 | po ekonomaizerio 51,55 | 928,9 |
| 4 | 2014-03-06 | po ekonomaizerio 48,4 | 1348,2 |

Perskaičiuotos sausų dūmų tūrinės reikšmės pateiktos 3.8 lentelėje. Sausų dūmų kiekis, susidarantis sudeginus 1 kg kuro, kinta priklausomai nuo kuro drėgmės bei nuo oro pertekliaus koeficiento. Analizuojamu atveju anglies monoksido (CO) kiekis buvo perskaičiuotas pagal 6 % deguonies reikšmę, kuri atitinka α = 1,4.

3.8 lentelė. Susidarantis sausų dūmų kiekis, esant α = 1,4

| Nr. | Kuro drėgmė W % | Sausų dūmų kiekis $V_{s.D.}$ Nm3/kg | CO % |
|---|---|---|---|
| 1 | 30 | 4,4294 | 0,032412968 |
| 2 | 40 | 3,8823 | 0,036980656 |
| 3 | 50 | 3,2352804 | 0,04437637 |
| 4 | 60 | 2,5882 | 0,055470984 |

$$CO = \frac{(1323{,}5 \cdot 1635{,}4 \cdot 1348{,}2) \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 4{,}4294} \cdot 100 = 0{,}03241\ \%$$

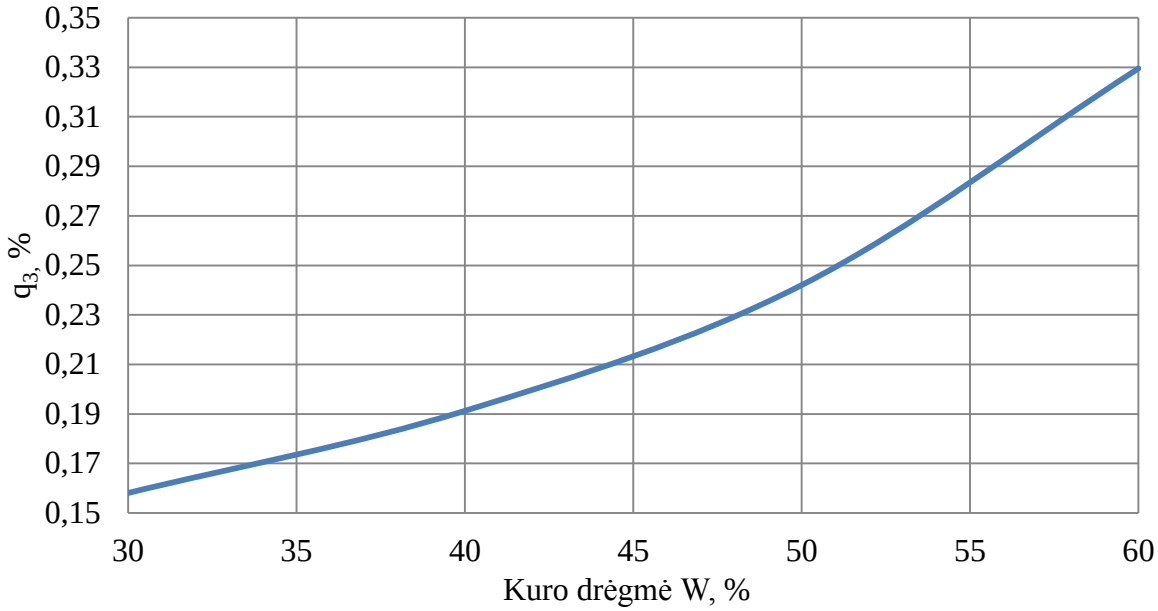
$$Q_3 = \frac{0{,}03241}{100} \cdot 4{,}4294 \cdot 12700 \cdot \left(1 - \frac{1}{100}\right) = 18{,}05\ \frac{kJ}{kg}$$

Suskaičiuojama $q_3$ reikšmė:

$$q_3 = \frac{Q_3}{Q_A^n} \cdot 100 \qquad (3.33)$$

$$q_3 = \frac{18{,}05}{12398} \cdot 100 = 0{,}128\ \%$$

Remiantis 3.32 formule $Q_3$ turėtų keistis priklausomai nuo oro pertekliaus koeficiento, kadangi didėjant oro kiekiui didėja $V_{s.D.}$ ir $Q_3$ reikšmės, tačiau CO dydis šioje formulėje tiesiogiai priklauso nuo $V_{s.D,}$ todėl jam kintant galutinė $Q_3$ reikšmė išlieka pastovi. $q_3$ dydį lemia tik kuro šilumingumas, kuris kinta nuo kuro drėgmės ir kuro sudėties.




3.14 pav. Nuostoliai dėl nepilno degimo produktų susidarymo (CO)

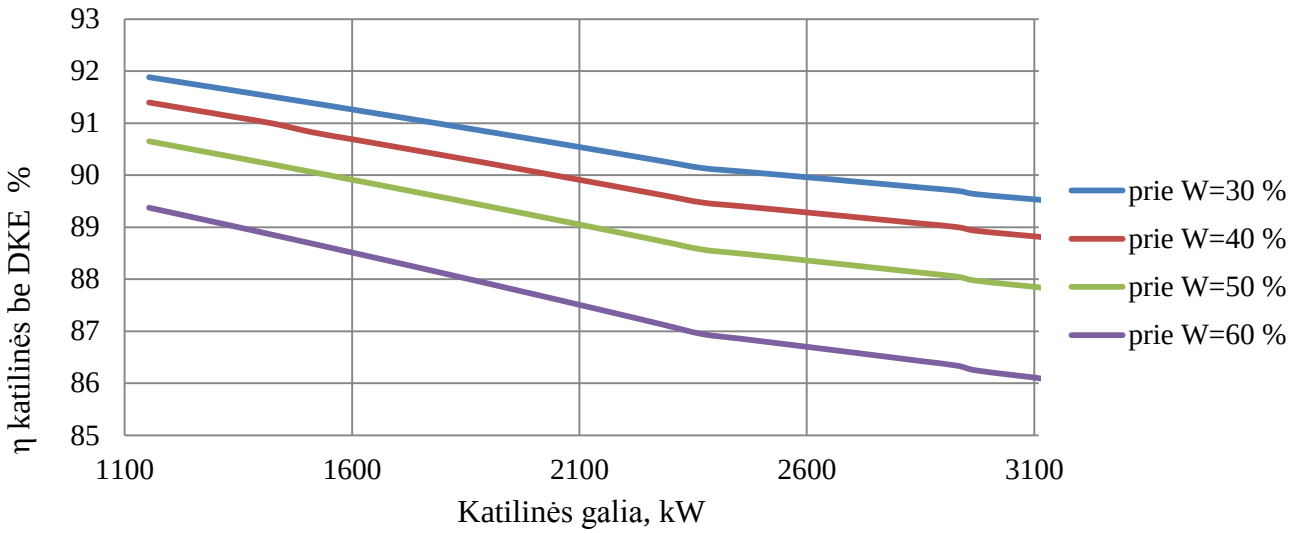
Analizuojamos katilinės atveju atliktų skaičiavimų rezultatai parodė, kad $q_3$ dydis priklauso tik nuo kuro drėgmės. Pagal teoriją [5]: gerai suprojektuotose bei teisingai eksploatuojamose kūryklose šie nuostoliai neturėtų viršyti 0,3–0,5 %. Atlikus skaičiavimus gauti rezultatai rodo, kad eksploatuojamoje katilinėje $q_3$ kinta nuo 0,16 % iki 0,33 %, priklausomai nuo kūrenamo kuro drėgmės.

$q_4$ – mechaniniai nevisiško sudegimo nuostoliai, atsirandantys tada, kai sudega ne visas į kūryklą teikiamas kietasis kuras, kai jo dalelės prabyra pro ardyną arba kai kuro dalelės, nespėjusios iki galo sudegti, pašalinamos kartu su pelenais, o pačios mažiausios ir lengviausios išeina iš pakuros kartu su dūmais. Sluoksninėse pakurose šis kiekis gali siekti netgi 5 %. Norint nustatyti šių nuostolių dydį veikiančiame katile, reikia žinoti sudeginto kuro, visų prabyru bei pelenų kiekį. Kadangi tokie tyrimai nebuvo atlikti, bei pelenuose beveik niekada nėra randama nepilnai sudegusio kuro. Tolimesniuose skaičiavimuose buvo priimta, kad mechaniniai nevisiško sudegimo nuostoliai sudaro 1 %.

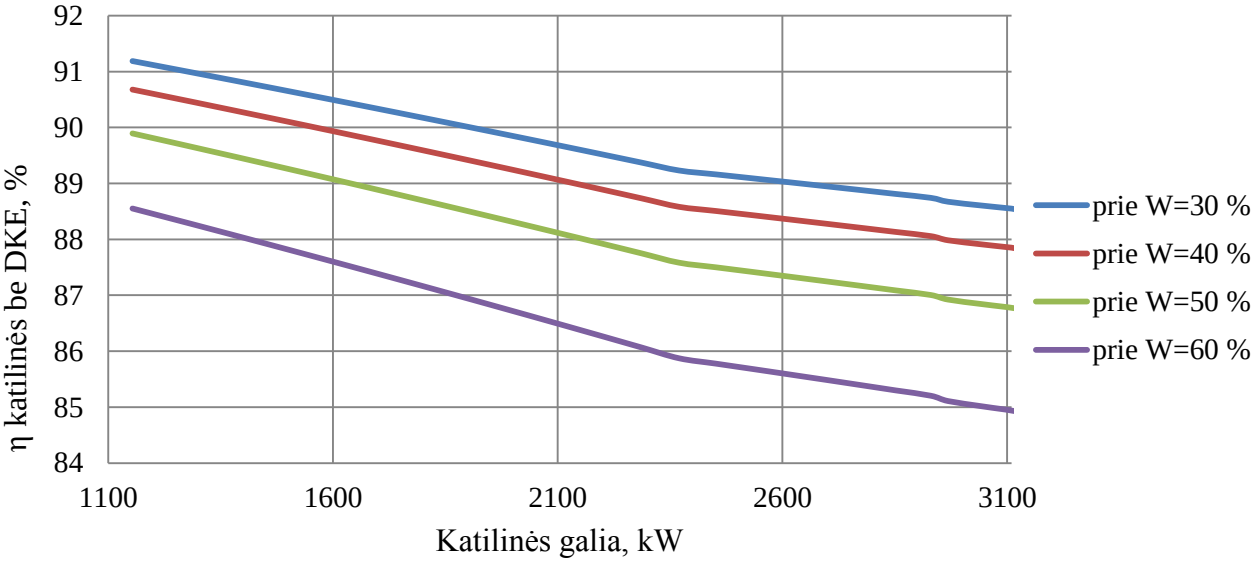
$q_5$ – šilumos nuostoliai į aplinką. Dėl katilo išorinio apmūrijimo taip pat dėl metalinių dalių bei vamzdžių izoliacijos paviršių nepilno šilumos sulaikymo, katilinės patalpų temperatūra visuomet didesnė už aplinkos temperatūrą. Šie nuostoliai priklauso nuo katilo apmūrijimo/apšiltinimo medžiagos savybių. Pagal teoriją [5], mažo bei vidutinio galingumo katilinėms šis dydis siekia iki 2 %, tolimesniems skaičiavimams buvo priimta, kad šilumos nuostoliai į aplinką sudaro 1 %.

Bendras katilo naudingumo koeficientas darbo metu keičiasi priklausomai nuo jo apkrovimo.

Skaičiavimo rezultatai atskleidžia, kaip kinta katilinės be kondensacinio ekonomaizerio naudingumas (žr. 3.7 lent.; 3.15 pav.; 3.16 pav.). Priklausomai nuo to, kokia galia dirba katilas, keičiasi iš pakuros išeinančių dūmų temperatūra. Todėl naudingo veiksmo koeficientas buvo perskaičiuotas priklausomai nuo katilinės šiluminės galio kitimo, sezono metu, jeigu nebūtų naudojamas kondensacinis dūmų ekonomaizeris.




3.15 pav. Katilinės be DKE naudingo veiksmo kitimas, kintant kuro drėgmei α = 1,4




3.16 pav. Katilinės be DKE naudingo veiksmo kitimas, kintant kuro drėgmei α = 1,6

3.9 lentelė. Katilinės be DKE naudingo veiksmo kitimas

| Lauko oro temperatūra ,°C | Paduodamo į tinklus vandens temperatūra $\mathbf{T_1}$, °C | Grąžinama iš tinklų vandens temperatūra $\mathbf{T_2}$, °C | Katilinės galia **P**, kW | Vidutinė dūmų temperatūra $\mathbf{T_D}$, °C | $\mathbf{q_2}$, % . Prie W=40 %, α=1,4 | $\mathbf{q_3}$, %. Prie W=40 %, α=1,4 | $\mathbf{q_4}$ ir $\mathbf{q_5}$ % | **η** katilinės be DKE, %. Prie W=40 %, α=1,4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 48 | 33,35 | 1153,83 | 110,00 | 6,41 | 0,20 | 2,00 | 91,36 |
| 7 | 48 | 33,35 | 1153,83 | 110,00 | 6,41 | 0,20 | 2,00 | 91,36 |
| 6 | 48 | 33,35 | 1153,83 | 110,00 | 6,41 | 0,20 | 2,00 | 91,36 |
| 5 | 48 | 33,35 | 1153,83 | 110,00 | 6,41 | 0,20 | 2,00 | 91,36 |
| 4 | 50 | 34,19 | 1244,95 | 112,00 | 6,55 | 0,20 | 2,00 | 91,22 |
| 3 | 52 | 35,05 | 1335,41 | 114,00 | 6,69 | 0,20 | 2,00 | 91,08 |
| 2 | 54 | 35,91 | 1425,21 | 116,00 | 6,82 | 0,20 | 2,00 | 90,95 |
| 1 | 56 | 36,77 | 1514,37 | 118,00 | 6,96 | 0,20 | 2,00 | 90,81 |
| 0 | 58 | 37,65 | 1602,86 | 120,00 | 7,10 | 0,20 | 2,00 | 90,67 |
| -1 | 60 | 38,54 | 1690,71 | 122,00 | 7,23 | 0,20 | 2,00 | 90,54 |
| -2 | 62 | 39,43 | 1777,90 | 124,00 | 7,37 | 0,20 | 2,00 | 90,40 |
| -3 | 64 | 40,33 | 1864,44 | 126,00 | 7,51 | 0,20 | 2,00 | 90,26 |
| -4 | 66 | 41,24 | 1950,33 | 128,00 | 7,64 | 0,20 | 2,00 | 90,13 |
| -5 | 68 | 42,16 | 2035,56 | 130,00 | 7,78 | 0,20 | 2,00 | 89,99 |
| -6 | 70 | 43,08 | 2120,14 | 132,00 | 7,92 | 0,20 | 2,00 | 89,86 |
| -7 | 72 | 44,02 | 2204,06 | 134,00 | 8,05 | 0,20 | 2,00 | 89,72 |
| -8 | 74 | 44,96 | 2287,34 | 136,00 | 8,19 | 0,20 | 2,00 | 89,58 |
| -9 | 76 | 45,91 | 2369,95 | 138,00 | 8,32 | 0,20 | 2,00 | 89,45 |
| -10 | 78 | 46,87 | 2451,92 | 139,00 | 8,39 | 0,20 | 2,00 | 89,38 |
| -11 | 80 | 47,84 | 2533,23 | 140,00 | 8,46 | 0,20 | 2,00 | 89,31 |
| -12 | 82 | 48,81 | 2613,89 | 141,00 | 8,53 | 0,20 | 2,00 | 89,24 |
| -13 | 84 | 49,80 | 2693,89 | 142,00 | 8,60 | 0,20 | 2,00 | 89,17 |
| -14 | 86 | 50,79 | 2773,24 | 143,00 | 8,67 | 0,20 | 2,00 | 89,10 |
| -15 | 88 | 51,79 | 2851,94 | 144,00 | 8,73 | 0,20 | 2,00 | 89,04 |
| -16 | 90 | 52,80 | 2929,99 | 145,00 | 8,80 | 0,20 | 2,00 | 88,97 |
| -17 | 91 | 53,31 | 2968,76 | 146,00 | 8,87 | 0,20 | 2,00 | 88,90 |
| -18 | 93 | 54,33 | 3045,83 | 147,00 | 8,94 | 0,20 | 2,00 | 88,83 |
| -19 | 95 | 55,36 | 3122,24 | 148,00 | 9,01 | 0,20 | 2,00 | 88,76 |
| -20 | 95 | 55,36 | 3122,24 | 149,00 | 9,08 | 0,20 | 2,00 | 88,69 |

Gauti rezultatai rodo, kad naudingo veiksmo koeficiento dydį lemia du pagrindiniai veiksniai: kuro drėgnumas bei oro pertekliaus koeficientas. Analizuojamoje sistemoje oro pertekliaus koeficientas yra programiškai nustatytas, bet dėl nuolatinių pereinamųjų procesų jis šiek tiek kinta. Todėl skaičiuojant katilinės galią buvo pasirinkta naudoti dvi šio dydžio reikšmes $\alpha = 1,4$ ir $\alpha = 1,6$.

### 3.6. Katilinės su DKE naudingumo koeficientą lemiančių parametrų analizė

Norint apskaičiuoti naudingumo koeficientą analizuojamoje katilinės su DKE, reikalinga suskaičiuoti, kokia dalis dūmuose esančios energijos gali būti susigrąžinama. Tam reikia suskaičiuoti, nuo kokių pradinių sąlygų pradės veikti DKE.

#### 3.6.1 Rasos taško priklausomybės analizė

Analizuojant dūmų kondensacinį ekonomaizerį reikia ištirti, ar susidaro kondensacijai reikalingos sąlygos. Tam reikia suskaičiuoti rasos tašką, kuris kinta nuo dviejų pagrindinių parametrų (neįvertinant slėgio):

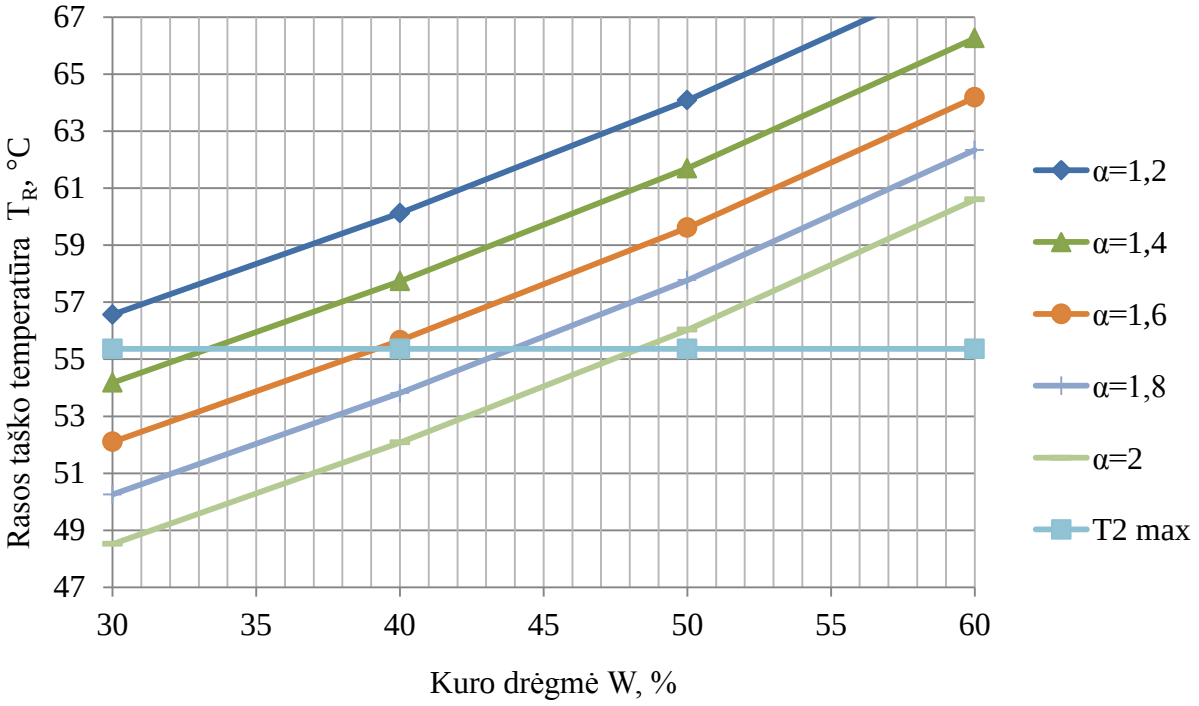
1. kuro drėgmės, kuri pavirs garais, kiekio;
2. temperatūros, iki kurios bus ataušinami dūmai.

Dūmuose esantis drėgmės kiekis, tenkantis sausiems dūmams, apskaičiuojamas masės dalimis pagal formulę [3]:

$$d = \frac{m_{H_2O}}{m_{d.} - m_{H_2O}}; \quad (3.34)$$

Rasos taško temperatūros radimas, esant tam tikriems katilo parametrams [13]:

$$T_R = 37{,}6 \cdot log(250 \cdot d)\ ; \quad (3.35)$$




3.17 pav. Rasos taško priklausomybė nuo kūrenamo kuro drėgmės bei oro pertekliaus koeficianto

### 3.6.2 DKE generuojamos šilumos tyrimas

Žemiau rasos taško temperatūros ataušintuose dūmuose likęs drėgmės kiekis apskaičiuojamas pagal formulę :

$$d_{H_2O} = 0{,}004e^{0{,}062 \cdot T_{DA}} \quad (3.36)$$

Šilumos kiekis, išsiskyręs dūmų kondensaciniame ekonomaizeryje (kJ/kg), 1 kg sausų dūmų ataušinus nuo $T_D$ iki $T_{DA}$ ir drėgmės kiekiui sumažėjus nuo d iki $d_{H_2O}$ randamas [3]:

$$Q_{DKE} = c_{pD} \cdot T_D + \left(L_{T_D} + c_{pH_2O} \cdot T_D\right)d - c_{pDA}T_{DA} - (L_{T_{DA}} + c_{pH_2O} \cdot T_{Da})d_{H_2O}; \quad (3.37)$$

čia:

$T_D$ – dūmų temperatūra už pakuros (°C);

$T_{DA}$ – į aplinką išmestų dūmų temperatūra po ekonomaizerio, (°C);

$c_{pDA} - c_{pD}$ – savitoji dūmų šiluma prie $T_D$ ir prie $T_{DA}$ temperatūrų (kJ/kg·K) reikšmės [6];

$c_{pH_2O}$– Vandens garų vidutinė masinė specifinė šiluma (kJ/kg·K) reikšmės [6];

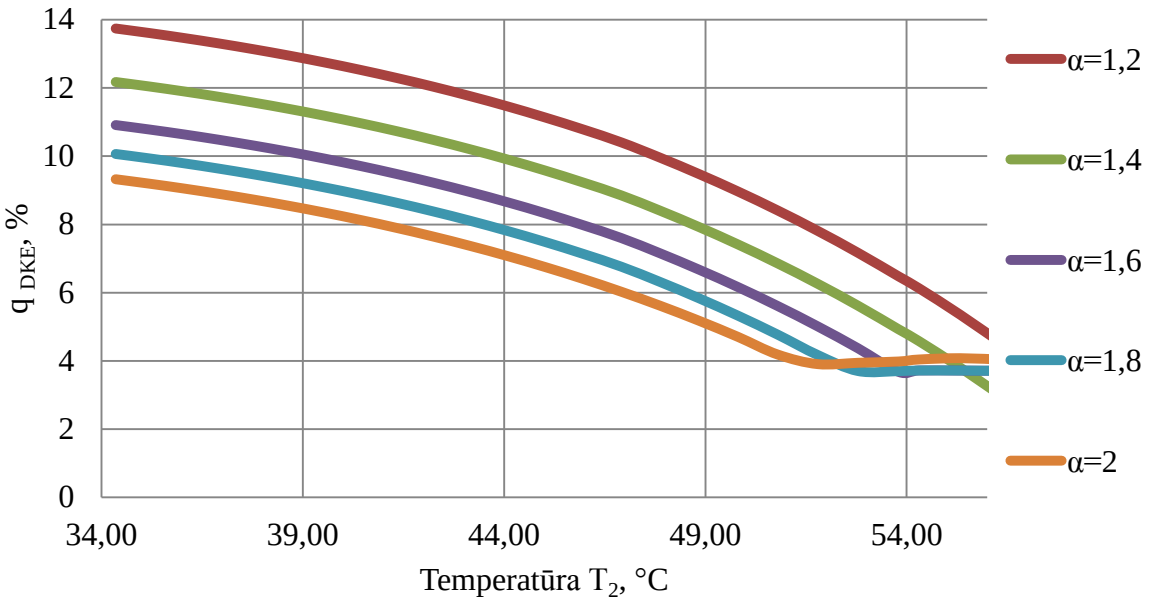
L – slaptoji garavimo šiluma (kJ/kg).

$$q_{DKE} = \frac{Q_{DKE} \cdot (m_{d.} - m_{H_2O})}{Q_A^n} \cdot 100; \quad (3.38)$$

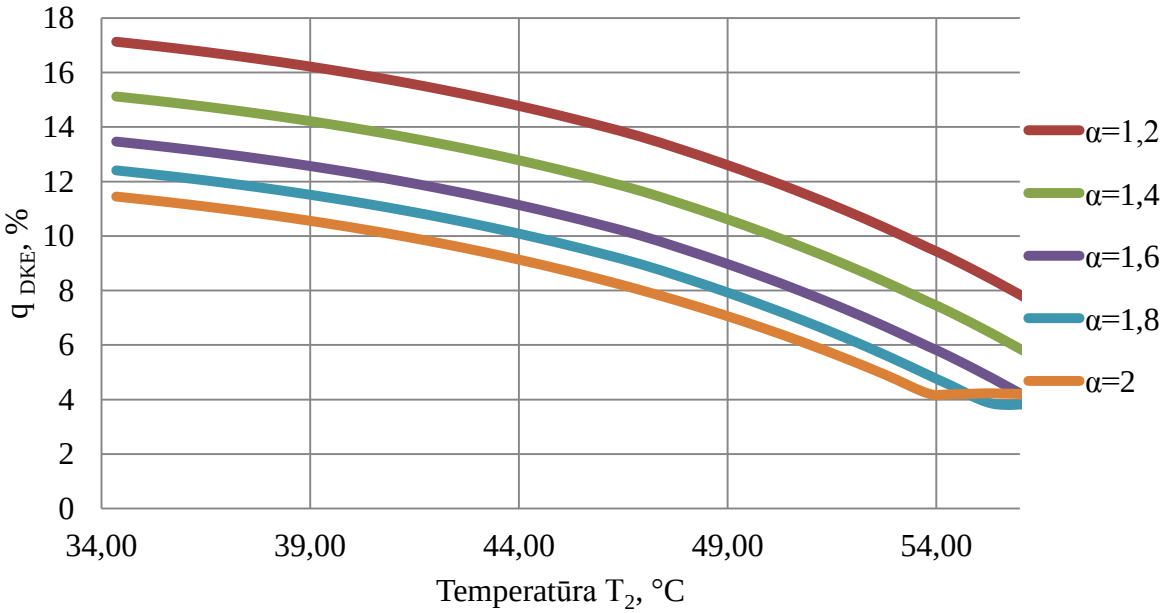
čia:

$q_{DKE}$ – kondensaciniame ekonomaizeryje susigrąžinama energijos dalis, nuo kuro apatinio šilumingumo (%).

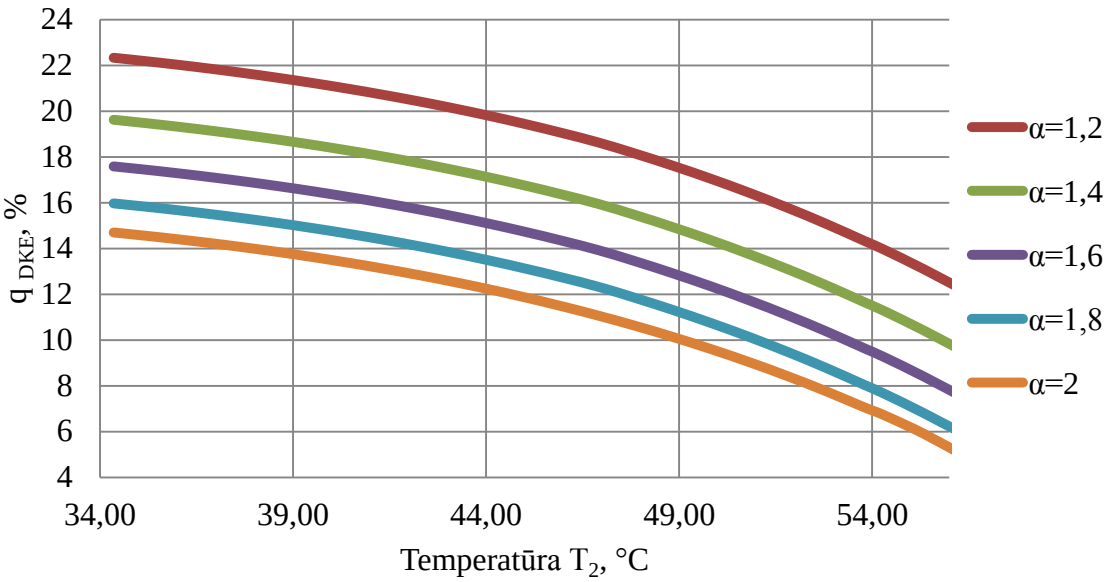
Atliktų skaičiavimų rezultatai rodo, kad tuo metu, kai katilinėje yra kūrenamas sausas kuras (W = 30 % ir mažesnė), gali susidaryti tokios sąlygos, kuomet kondensacija nebevyksta ($T_2$ didesnė už 50 °C, o oro pertekliaus koeficiento reikšmė didesnė už α = 1,6). Tuomet DKE dirba kaip paprastas ekonomaizeris, t.y. DKE atvėsina dūmus iki $T_{DA}$ temperatūros, bet nesusidaro rasos taškas. DKE efektyvumo priklausomybės nuo oro pertekliaus koeficiento, kuro drėgnumo ir termofikacinio vandens $T_2$ pateiktos grafiškai (žr. 3.18 pav.; 3.19 pav.; 3.20 pav.; 3.21 pav.).



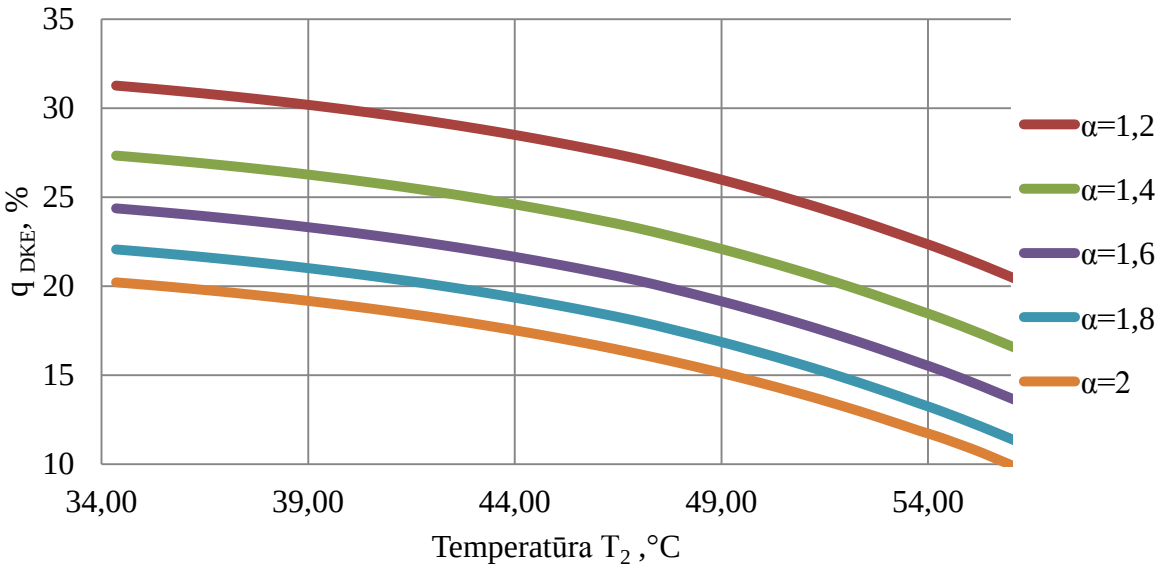

3.18 pav. Kondensacinio ekonomaizerio efektyvumas esant kuro drėgmei W=30%




3.19 pav. Kondensacinio ekonomaizerio efektyvumas esant kuro drėgmei W=40%




3.20 pav. Kondensacinio ekonomaizerio efektyvumas esant kuro drėgmei W=50%




3.21 pav. Kondensacinio ekonomaizerio efektyvumas esant kuro drėgmei W=60%

### 3.6.3 Analizuojamos sistemos su DKE efektyvumo radimas

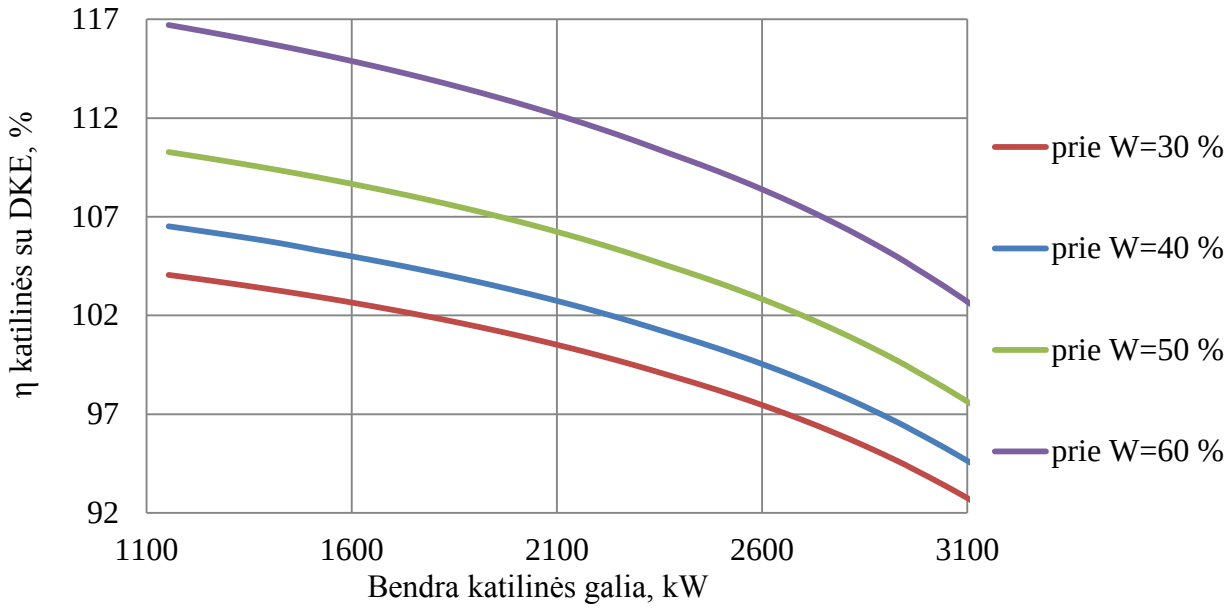
Katilinės su DKE efektyvumas buvo rastas naudojant katilinės naudingumo koeficiento apskaičiavimo formulę (3.10), prie kurios papildomai pridėta DKE generuojama energijos dalis ($q_{DKE}$):

$$\eta_k = 100 - (q_2 - q_3 - q_4 - q_5) + q_{DKE}\ (\%) \qquad (3.39)$$

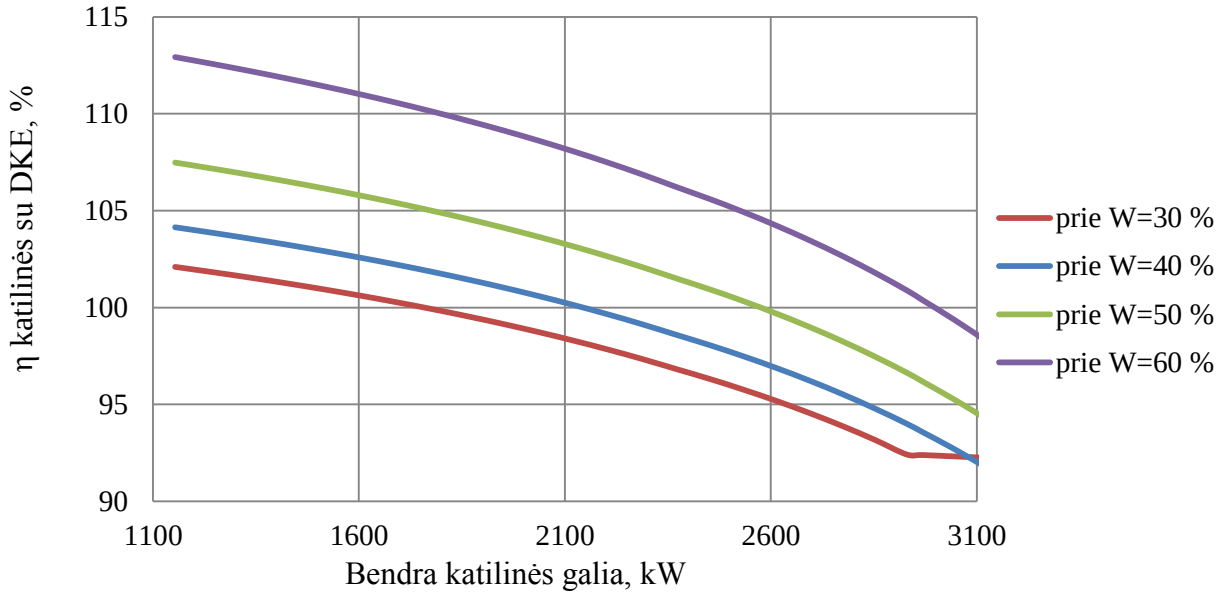
Gauti rezultatai pateikiami 3.10 lentelėje.

3.10 lentelė. Suskaičiuotas katilinės su DKE naudingo veiksmo koeficiento kitimas

| Lauko oro temperatūra, °C | Paduodamo į tinklus vandens temperatūra $T_1$, °C | Grąžinama iš tinklų vandens temperatūra $T_2$, °C | Katilinės galia **P**, kW | Vidutinė dūmų temperatūra $T_D$, °C | **η** katilinės be DKE, %. Prie W=40 %, α=1,4 | $q_{DKE}$ (%) Prie W=40 %, α=1,4 | **η** katilinės su DKE,%. Prie W=40 %, α=1,4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 48,00 | 33,35 | 1153,83 | 110,00 | 91,36 | 15,12 | 106,52 |
| 7 | 48,00 | 33,35 | 1153,83 | 110,00 | 91,36 | 15,12 | 106,52 |
| 6 | 48,00 | 33,35 | 1153,83 | 110,00 | 91,36 | 15,12 | 106,52 |
| 5 | 48,00 | 33,35 | 1153,83 | 110,00 | 91,36 | 15,12 | 106,52 |
| 4 | 50,00 | 34,19 | 1244,95 | 112,00 | 91,22 | 14,98 | 106,25 |
| 3 | 52,00 | 35,05 | 1335,41 | 114,00 | 91,08 | 14,83 | 105,96 |
| 2 | 54,00 | 35,91 | 1425,21 | 116,00 | 90,95 | 14,67 | 105,66 |
| 1 | 56,00 | 36,77 | 1514,37 | 118,00 | 90,81 | 14,49 | 105,31 |
| 0 | 58,00 | 37,65 | 1602,86 | 120,00 | 90,67 | 14,30 | 104,99 |
| -1 | 60,00 | 38,54 | 1690,71 | 122,00 | 90,54 | 14,09 | 104,64 |
| -2 | 62,00 | 39,43 | 1777,90 | 124,00 | 90,40 | 13,86 | 104,28 |
| -3 | 64,00 | 40,33 | 1864,44 | 126,00 | 90,26 | 13,62 | 103,90 |
| -4 | 66,00 | 41,24 | 1950,33 | 128,00 | 90,13 | 13,35 | 103,50 |
| -5 | 68,00 | 42,16 | 2035,56 | 130,00 | 89,99 | 13,06 | 103,08 |
| -6 | 70,00 | 43,08 | 2120,14 | 132,00 | 89,86 | 12,75 | 102,63 |
| -7 | 72,00 | 44,02 | 2204,06 | 134,00 | 89,72 | 12,42 | 102,16 |
| -8 | 74,00 | 44,96 | 2287,34 | 136,00 | 89,58 | 12,05 | 101,66 |
| -9 | 76,00 | 45,91 | 2369,95 | 138,00 | 89,45 | 11,66 | 101,13 |
| -10 | 78,00 | 46,87 | 2451,92 | 139,00 | 89,38 | 11,19 | 100,60 |
| -11 | 80,00 | 47,84 | 2533,23 | 140,00 | 89,31 | 10,70 | 100,04 |
| -12 | 82,00 | 48,81 | 2613,89 | 141,00 | 89,24 | 10,16 | 99,44 |
| -13 | 84,00 | 49,80 | 2693,89 | 142,00 | 89,17 | 9,59 | 98,79 |
| -14 | 86,00 | 50,79 | 2773,24 | 143,00 | 89,10 | 8,97 | 98,11 |
| -15 | 88,00 | 51,79 | 2851,94 | 144,00 | 89,04 | 8,30 | 97,37 |
| -16 | 90,00 | 52,80 | 2929,99 | 145,00 | 88,97 | 7,59 | 96,59 |
| -17 | 91,00 | 53,31 | 2968,76 | 146,00 | 88,90 | 7,23 | 96,16 |
| -18 | 93,00 | 54,33 | 3045,83 | 147,00 | 88,83 | 6,42 | 95,29 |
| -19 | 95,00 | 55,36 | 3122,24 | 148,00 | 88,76 | 5,56 | 94,36 |
| -20 | 95,00 | 55,36 | 3122,24 | 149,00 | 88,69 | 5,60 | 94,33 |



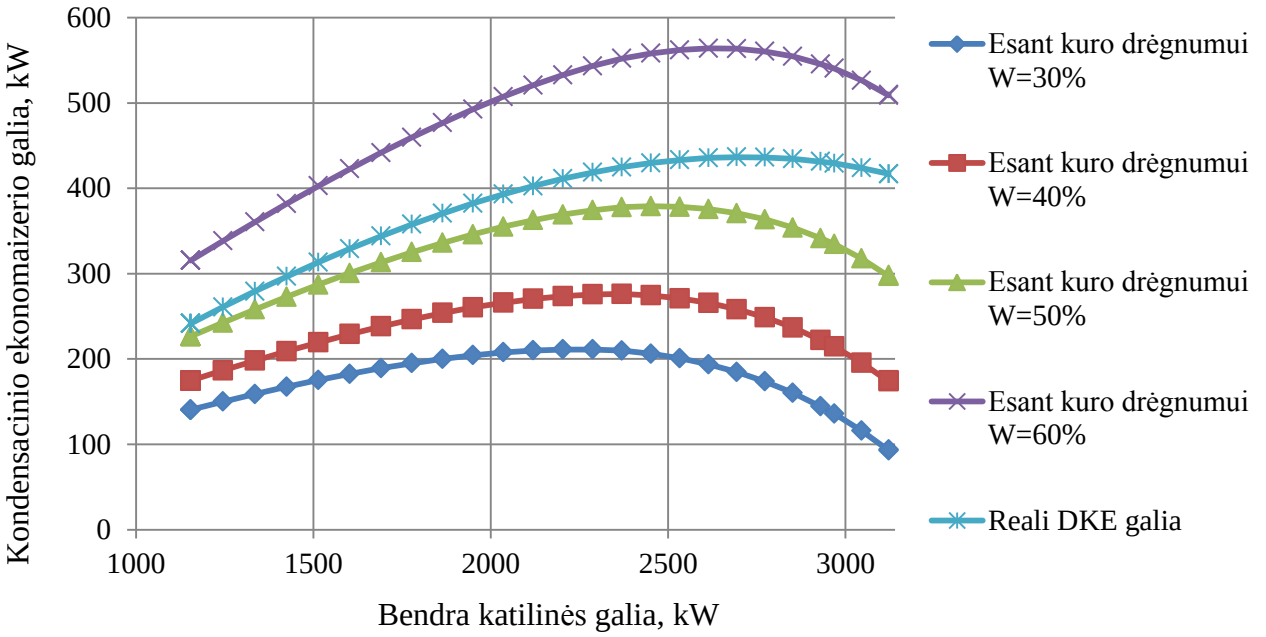

3.22 pav. Katilinės su DKE naudingo veiksmo kitimas, kintant katilinės galiai bei kuro drėgnumui, esant pastoviai oro pertekliaus koeficiento reikšmei α = 1,4



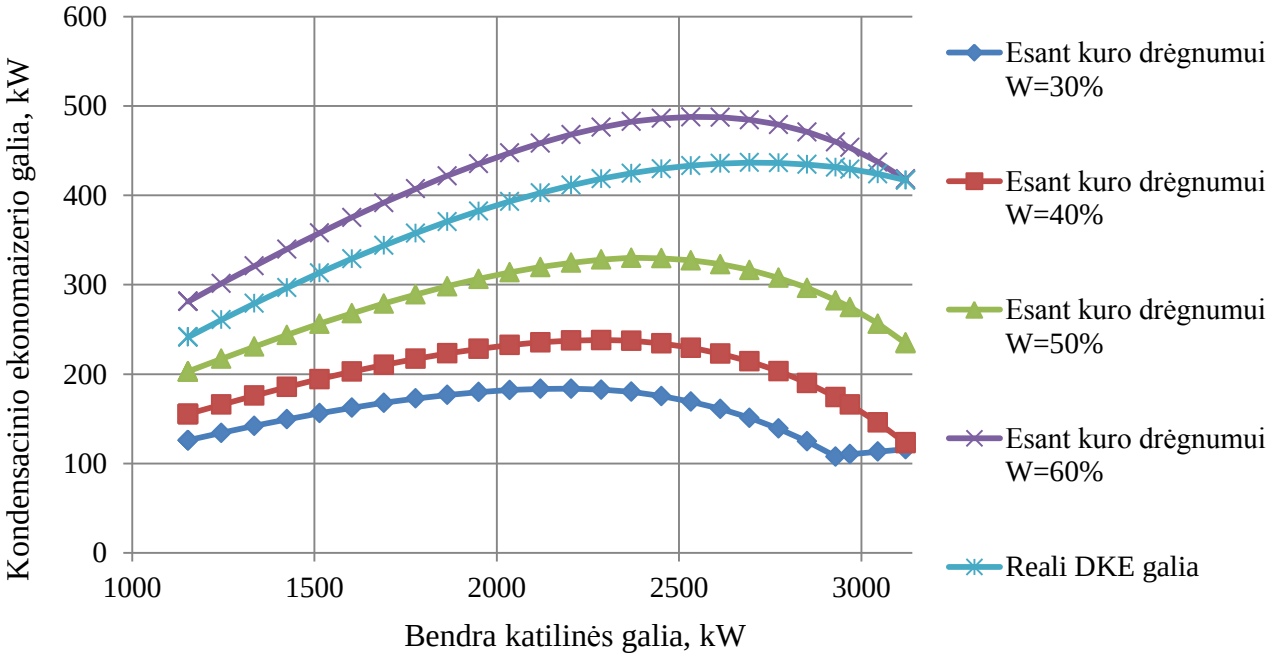

3.23 pav. Katilinės su DKE naudingo veiksmo kitimas, kintant katilinės galiai bei kuro drėgnumui, esant pastoviai oro pertekliaus koeficiento reikšmei α = 1,6

### 3.7. Praktinių rezultatų palyginimas su teoriniais

Atlikus skaičiavimus, galima apytiksliai nustatyti, kokio drėgnumo kuras buvo naudojamas ataskaitiniu laikotarpiu. Tam reikia palyginti DKE apskaičiuotas galios reikšmes su analizuojamos katilinės gautomis reikšmėmis. Kadangi analizuojamoje katilinėje oro perteklius visuomet kinta, skaičiavimams buvo pasirinktos realiam darbui artimiausios reikšmės. Skaičiavimų rezultatai, kai α = 1,4 (žr. 3.24 pav.) ir kai α = 1,6 (žr. 3.25 pav.), pateikti žemiau.




3.24 pav. Apskaičiuota DKE susigrąžinamos šilumos dalis, priklausomai nuo kuro drėgnumo, kai oro pertekliaus reikšmė yra pastovi α = 1,4, palyginima su realiais 2013–2014 metų šildymo sezono duomenimis




3.25 pav. Apskaičiuota DKE susigrąžinamos šilumos dalis, priklausomai nuo kuro drėgnumo, kai oro pertekliaus reikšmė yra pastovi α = 1,6, palyginima su realiais 2013–2014 metų šildymo sezono duomenimis

Grafiškai pavaizduoti skaičiavimų rezultatai rodo, kad analizuojamoje katilinėje kūrenamo kuro drėgnumas visais atvejais viršija 50 %. Priėmus sąlygą, kad oro pertekliaus koeficiento reikšmė yra pastovi $\alpha = 1,4$, katilinei dirbant 1,2 MW galia kuro drėgmė siekė 52 %, didėjant katilinės galiai kuro drėgmė turėjo didėti, kad būtų pasiektas faktinius duomenis atitinkantis efektyvumas. Analizuojant atvejį, kai oro pertekliaus reikšmė lygi $\alpha = 1,6$, kuro drėgmė visuomet turėjo viršyti 55 %. Esant šaltesniam orui ir didėjant galios poreikiui, kuro drėgmė turėjo padidėti iki 57 % tam, kad būtų pasiekta 2013–2014 m. šildymo sezono metu DKE generuojama šiluminė galia (žr. 3.24 pav., 3.25 pav.).

## 4. EKOLOGINIS VERTINIMAS

Vadovaujantis LR Aplinkos apsaugos ministro patvirtintomis 2013 m. balandžio 10 d. „Išmetamų teršalų iš kurą deginančių įrenginių normomis LAND 43–2013“, analizuojamoje katilinėje negali būti viršijamos didžiausios leistinos aplinkos oro teršalų koncentracijos.

4.1 lentelė. Leistinos teršalų normos [7].

| Taršos šaltiniai | | Teršalai | | Didžiausia leidžiama koncentracija. Prie standartinė $O_2$ koncentracijos, tūrio proc. 6 %. | |
|---|---|---|---|---|---|
| Pavadinimas | Nr. | Pavadinimas | Kodas | Matavimo vienetai. | Biokuras |
| Degimo produktų išmetimo kaminas | 001 | CO (A) | 177 | $mg/Nm^3$ | 4 000 |
| | | NOx (A) | 250 | $mg/Nm^3$ | 750 |
| | | K.D (A) | 6493 | $mg/Nm^3$ | 700 |

Kadangi azoto oksidai nelemia katilo naudingumo koeficiento, o analizuojamoje katilinėje išmatuotos reikšmės (žr. 4.2 lent.) yra mažesnės už normatyvuose nurodytas reikšmes (žr. 4.1 lent.), todėl šiame darbe azoto oksidai nebuvo analizuojami.

4.2 lentelė. Baisogalos katilinės į aplinką išmetamų teršalų tyrimų rezultatai

| Nr. | Matavimo data | Vidutinės teršalų koncentracijos perskaičiuotos prie stacionarios $O_2$ (6%) reikšmės mg/Nm3 | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Kietosios dalelės | CO | NOx |
| 1 | 2007-11-15 | 679,2 | 3745,9 | 53,9 |
| 2 | 2008-03-17 | 359,7 | 3001,1 | 336 |
| 3 | 2009-03-31 | - | 892,18 | - |
| 4 | 2010-04-07 | 311,48 | 176,7 | 368,7 |
| 5 | 2011-12-15 | 640,3 | 1323,5 | 111,2 |
| 6 | 2012-12-11 | 574,3 | 1635,4 | 75,3 |
| 7 | 2013-11-22 | po katilo 250 | - | - |
| 8 | 2013-11-22 | po ekonomaizerio 51,55 | 928,9 | 172 |
| 9 | 2014-03-06 | po ekonomaizerio 48,4 | 1348,2 | 229 |
| 10 | 2015-02-09 | po katilo 599,6 | - | - |
| 11 | 2015-02-09 | po ekonomaizerio 18,2 | - | - |

Analizuojamos sistemos teršalų koncentracijos matavimų rezultatai pateikti 4.2 lentelėje bei taršos matavimo protokoluose (žr. A Priedai) rodo, kad prieš pastatant DKE išmetamų teršalų normos priartėdavo prie maksimalios šiuo metu galiojančios LAND 43–2013 taršos ribos. Yra

žinoma, kad 2007–2008 laikotarpiu buvo kūrenami rapsų šiaudai, bei grūdų atsijos, todėl CO ir kietų dalelių kiekis buvo aukštas.

Pastačius skruberio tipo kondensacinį ekonomaizerį, kuris dirba nuosekliai su pelenų multiciklonu, galima pasiekti iki 14 kartų geresnę dūmų išvalymo nuo kietų dalelių reikšmę, negu yra reglamentuota pagal šiuo metu galiojantį įstatymą. Tai leidžia kūrenti bet kokių savybių biokurą, pavyzdžiui: grudų ar rapsų atsijas. 2010–2014 metų duomenys rodo, kad dėl neteisingo orų srauto sureguliavimo bei degimo procesų pulsacijos papildant kūryklą kuru vidutiniškai susidaro apie 1200 mg/Nm$^3$ CO dujų. Tačiau šis dydis nesudaro didelės reikšmės bendram katilinės darbui.

## IŠVADOS

1. Išanalizavus 2013–2014 šildymo sezono tiriamosios katilinės parametrus, nustatyta katilinės parametrų priklausomybė nuo aplinkos oro temperatūros pokyčio šildymo sezono metu.

2. Nustatyta, kad analizuojamoje katilinėje 2013–2014 metais įrengtas DKE generavo nuo 13,57 % iki 22 % bendros katilinės galios. DKE efektyvumas mažėjo, didėjant katilinės šiluminiam galingumui.

3. Skaičiavimai parodė, kad deginant katile biokurą, kurio drėgmė W = 40 %, ir palaikant katile oro pertekliaus koeficientą α = 1,4, nagrinėjamos katilinės be DKE naudingumo koeficiento reikšmė kinta nuo 91,35 % iki 88,69 %, o įvertinus ir DKE naudingumas kinta nuo 106,52 % iki 94,33 % didėjant katilinės šiluminiam apkrovimui.

4. Katilui dirbant pastovia galia 2,12 MW ir esant α = 1,4, katilinės be DKE efektyvumo mažėjimas nuo 90,5 % iki 87,5 % priklauso dėl tiekiamo kuro drėgmės padidėjimo nuo 30 % iki 60 %. Esant toms pačioms sąlygoms, kintant kuro drėgmei katilinės su DKE efektyvumas didėja nuo 101,54% iki 112 %.

5. Katilinės be DKE naudingumo koeficientas mažėja nuo 89,02 % iki 88,08 %, o su DKE šio koeficiento reikšmė mažėje nuo 106,12 % iki 103,16 % esant pastoviai katilinės galiai 2,12 MW bei pastoviam kuro drėgnumui W = 50 %, kai oro pertekliaus koeficiento reikšmė kinta nuo 1,4 iki 1,6.

6. Apskaičiuotos rasos taško pradinės sąlygos prie skirtingų oro pertekliaus koeficiento ir kuro drėgnumo reikšmių parodė, kad analizuojamoje katilinėje gali susidaryti tokios sąlygos, kad dūmų kondensacinis ekonomaizeris negeneruos kondensacijos šilumos. Šios sąlygos susidaro, kai katilinė dirba 2,93 MW ir didesne šilumine galia, kai pastovi oro pertekliaus koeficiento reikšmė yra lygi α = 1,6 ir kai kuro drėgnumas siekia W = 30 %.

7. Atlikti DKE skaičiavimai parodė, kad DKE efektyvumas mažėja kai:

- didėja grįžtamo termofikacinio vandens $T_2$ temperatūra;
- didėja oro pertekliaus koeficiento reikšmė α;
- mažėja dūmų temperatūra už katilo;
- mažėja naudojamo kuro drėgmė.

8. Lyginant DKE teorinių skaičiavimų rezultatus su praktiniais buvo nustatyta, kad tiriamuoju laikotarpiu 2013–2014 vidutinis kūrenamas kuras buvo 52–57 % drėgnumo.

9. Atlikta analizė ekologiniu aspektu parodė, kad analizuojamoje katilinėje kietų dalelių kiekis, išmetamas į aplinką po DKE, yra 14 kartų mažesnis už šiuo metu šalyje galiojančiame įstatyme (LAND 43-2013) nustatytą leidžiamą kiekį. CO kiekis dūmuose taip pat neviršija leistinų normų.

## LITERATŪRA


1. Baisogalos katilinės VŠK projektas.
2. Biokuro katilai. [interaktyvus]. [Žiūrėta 2015-05-20] Prieiga per internetą: http://www.enerstena.lt/lt/biokuro-katilini%C5%B3-%C4%AFranga
3. Biokuro katilinės. [interaktyvus]. [Žiūrėta 2014-12-08] Prieiga per internetą: http://www.axis.lt/lt/grupes-imones/axis-technologies/biokuro-katiliniu-iranga.html
4. Brazdeikis L. Biomasės deginių slaptosios šilumos įvertinimas. ISSN 1392-1134
5. Drobavičius A. Garbaravičius J. (et al.). Bendroji šiluminė technika. vadovėlis Vilnius: Mintis 1974. 570 p. M851(10)-74
6. Gimbutis G. Kajutis K. Krukonis V. Pranckūnas A. Švenčianas P. Šiluminė technika Vilnius: Mokslas 1993. 333 p. ISBN 5-420-00741-7
7. Išmetamų teršalų iš kurą deginančių įrenginių normomis LAND 43-2013 [interaktyvus]. [Žiūrėta2015-05-12] http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=446368&p_query=&p_tr2=2
8. Dūmų kondensacinio ekonomaizerio specifikacija.
9. Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija. Vidutinė šilumos kaina gyventojams [interaktyvus]. [Žiūrėta 2015-05-26] Prieiga per internetą: http://lsta.lt/lt/pages/apie-silumos-uki/silumos-kainos
10. Lietuvos šilumos ūkio apžvalga [interaktyvus]. [Žiūrėta 2015-03-08] Prieiga per internetą: http://lsta.lt/files/silumossuvartojimas/LSTA%20padetis%202014m.pdf
11. LR atsinaujinančios išteklių įstatymas. [interaktyvus]. [Žiūrėta 2013-12-08] Prieiga per internetą: http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=398874
12. Marcinauskas K., Korsakienė I. Žemiau rasos taško temperatūros vėsinamų dūmų šilumos panaudojimo galimybių įvertinimas. Lietuvos mokslų akademijos leidykla, 2006. ENERGETIKA. Nr . 4. P . 66–72
13. Martinaitis V. Lukoševičius V. Šilumos gamyba deginant kurą. Vilnius: Technika. 2014. ISBN 978-609-457-633-1
14. Švenčianas P. Kuro degimo teorijos pagrindai vadovėlis. Kaunas: Technika 2003. ISBN 9955-09-547-4
15. Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija. Vidutinė šalies kuro žaliavos kaina. [interaktyvus]. [Žiūrėta 2015-05-24] Prieiga per internetą: http://www.regula.lt/siluma/Puslapiai/kuro-ir-perkamos-silumos-kainos/vidutine-salies-kuro-zaliavos-kaina.aspx
16. VDI Gesellschaft. VDI Heat Atlas. Springer Heidelberg Dordrecht: London, New York. 2010 ISBN-13: 9783540778769

17. Villu Vares, Ülo Kask, Peeter Muiste, Tõnu Pihu, Sulev Soosaar. Biokuro naudotojo žinynas. Vilnius: 2007, ISBN 978-9986-34-180-2

18. Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerija. Bendra informacija.[interaktyvus]. [Žiūrėta 2015-05-26] Prieiga per internetą: http://www.am.lt/VI/rubric.php3?rubric_id=1040

## A PRIEDAI ORO TARŠOS MATAVIMŲ PROTOKOLAI

**STACIONARIŲ APLINKOS ORO TARŠOS ŠALTINIŲ IŠMETAMŲ TERŠALŲ**
**TYRIMŲ REZULTATŲ PROTOKOLAS NR. 08/125**

Mėginių paėmimo ir matavimų data : 2007-11-15 d.

UAB "Baisogalos bioenergija". Baisogalą, Maironio g.36a

(Objekto pavadinimas)

| Mėginių registr. laborat. Nr. | Matavimo laikas pradžia pabaiga | Taršos šaltinis | | Stacionarius degimo šaltinio šiluminis našumas, MW | Kuro rūšis | Teršalo pavadinimas | Nustatymo metodas | Išmatuota koncentracija, mg/Nm$^3$ | Išmatuota $O_2$ koncentracija, % | Standartinė $O_2$ koncentracija, % | Koncentracija, perskaičiuota prie st. $O_2$ konc. mg/Nm$^3$ | Vidutinė koncentracija, mg/Nm$^3$ | Išmetamų dujų kiekis, Nm$^3$/s | Ribinė vertė, mg/Nm$^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Nr | Pavadinimas | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 2780 | 9.00-9.02 | 001 | Katilinė Katilas VŠKP-4.0 MW | 4,0 | Kietas kuras, medienos pjuvenos | Kietosios dalelės | LAND 28-98/M-08 Svorio metodas | 364,0 | 12,2 | 6 | 620,4 | 679,2 | 3745,9 | 700 |
| 2781 | 9.15-9.17 | | | | | | | 431,5 | 12,8 | | 789,4 | | | |
| 2782 | 9.30-9.32 | | | | | | | 371,0 | 12,2 | | 632,5 | | | |
| 2783 | 9.45-9.47 | | | | | | | 481,2 | 10,3 | | 674,6 | | | |
| 2807 | 8.55 | | | | | Anglies monoksidas CO | Elektrocheminis Dujų analizatorius „Multilyzer„ aparatas | 2172,5 | 12,2 | | 3703,1 | | | 4000 |
| 2808 | 9.10 | | | | | | | 2501,3 | 12,8 | | 4575,5 | | | |
| 2809 | 9.25 | | | | | | | 2271,2 | 12,2 | | 3871,4 | | | |
| 28010 | 9.40 | | | | | | | 1903,8 | 10,3 | | 2668,8 | | | |
| 2811 | 9.55 | | | | | | | 2737,5 | 10,5 | | 3910,7 | | | |
| 2807 | 8.55 | | | | | Azoto oksidai $NO_x$ | Elektrocheminis Dujų analizatorius „Multilyzer„ aparatas | 24,6 | 12,2 | | 41,9 | 53,9 | 2,876 | 750 |
| 2808 | 9.10 | | | | | | | 24,6 | 12,8 | | 45,0 | | | |
| 2809 | 9.25 | | | | | | | 30,8 | 12,2 | | 52,41 | | | |
| 28010 | 9.40 | | | | | | | 59,4 | 10,3 | | 83,3 | | | |
| 2811 | 9.55 | | | | | | | 32,8 | 10,5 | | 46,9 | | | |

Matavimus ir skaičiavimus atliko : Laboratorijos vedėja Violeta Juknienė

Aplinkos inžinierius Audrius Drūlia

Direktorė: Agripina Čekauskienė

# STACIONARIŲ APLINKOS ORO TARŠOS ŠALTINIŲ IŠMETAMŲ TERŠALŲ TYRIMŲ REZULTATŲ PROTOKOLAS NR. 021

Mėginių paėmimo ir matavimų data : 2008-03-17 d.

UAB "Baisogalos bioenergija"

(Objekto pavadinimas)

| Mėginių registr. laborat. Nr. | Matavimo laikas pradžia pabaiga | Taršos šaltinis | | Stacionariaus degimo šaltinio šiluminis našumas, MW | Kuro rūšis | Teršalo pavadinimas | Nustatymo metodas | Išmatuota koncentracija, mg/Nm³ | Išmatuota $O_2$ koncentracija, % | Standartinė $O_2$ koncentracija, % | Koncentracija, perskaičiuota prie st. $O_2$ konc. mg/Nm³ | Vidutinė koncentracija, mg/Nm³ | Išmetamų dujų kiekis, Nm³/s | Ribinė vertė, mg/Nm³ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Nr | Pavadinimas | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 352 | 11.30-11.33 | 001 | Katilinė Katilas VŠKP-4.0 MW | 4,0 | Kietas kuras, medienos atliekos | Kietosios dalelės | LAND 28-98/M-08 Svorio metodas | 190,9 | 11,9 | 6 | 314,6 | 359,7 | 1,164 | 700 |
| 353 | 11.45-11.48 | | | | | | | 258,6 | 12,2 | | 440,7 | | | |
| 354 | 12.00-12.03 | | | | | | | 281,3 | 10,0 | | 384,0 | | | |
| 355 | 12.15-12.18 | | | | | | | 197,6 | 11,1 | | 299,5 | | | |
| 360 | 12.45 | | | | | Anglies monoksidas CO | Elektrocheminis Dujų analizator. „Multilyzer„ aprašas | 2157,5 | 11,1 | | 3268,9 | 3001,1 | 1,194 | 4000 |
| 361 | 12.55 | | | | | | | 5002,5 | 11,6 | | 7982,7 | | | |
| 362 | 13.05 | | | | | | | 1263,8 | 8,8 | | 1553,8 | | | |
| 363 | 13.15 | | | | | | | 2287,5 | 9,2 | | 2907,8 | | | |
| 364 | 13.25 | | | | | | | 932,5 | 9,6 | | 1226,9 | | | |
| 365 | 13.35 | | | | | | | 1023,7 | 10,9 | | 1520,4 | | | |
| 366 | 13.45 | | | | | | | 1800,0 | 10,4 | | 2547,2 | | | |
| 360 | 12.45 | | | | | Azoto oksidai $NO_X$ | Elektrocheminis Dujų analizator. „Multilyzer„ aprašas | 246,0 | 11,1 | | 372,7 | 336,0 | 1,194 | 750 |
| 361 | 12.55 | | | | | | | 92,3 | 11,6 | | 147,2 | | | |
| 362 | 13.05 | | | | | | | 284,9 | 8,8 | | 350,4 | | | |
| 363 | 13.15 | | | | | | | 319,8 | 9,2 | | 406,5 | | | |
| 364 | 13.25 | | | | | | | 264,5 | 9,6 | | 347,9 | | | |
| 365 | 13.35 | | | | | | | 233,7 | 10,9 | | 347,1 | | | |
| 366 | 13.45 | | | | | | | 268,5 | 10,4 | | 380,0 | | | |

Matavimus ir skaičiavimus atliko : Laboratorijos vedėja Violeta Juknienė

Aplinkos inžinierius Audrius Drūlia

Direktorė: Agripina Čekauskienė

LIETUVOS RESPUBLIKA UAB "Ekopartnerystė" A.V.

.B " Ekopaslauga" Įm. Kodas 300137906
Savanorių pr. 287-208, 50127 Kaunas
Tel. (8 -37) 311558, 8 618 24959, 8 623 44455
El. paštas: ekopaslauga@meganet.lt

**STACIONARIŲ APLINKOS ORO TARŠOS ŠALTINIŲ IŠMETAMŲ TERŠALŲ TYRIMŲ REZULTATŲ PROTOKOLAS NR.32**



Mėginių paėmimo ir matavimų data: **2009.03.31** Tyrimo atlikimo data: 2009.04.01

UAB "Baisogalos bioenergija", Baisogalos kvartilinė katilinė, Maironio g. 36A, Baisogala, Radviliškio r.

| Mėginių registracijos laboratorijoje Nr. | Matavimo laikas (pradžia, pabaiga) | Taršos šaltinio Nr., režimas | Katilo parametrai | Kuro rūšis | Teršalo pavadinimas | Nustatymo metodas | Koncentracija, mg/Nm3 | O2 koncentracija, tūrio % | Standartinė O2 koncentracija, tūrio % | Koncentracija, perskaičiuota prie standartinių sąlygų, mg/Nm3 | Vidutinė koncentracija, perskaičiuota prie standarti-nių sąlygų | Normatyvas pagal LAND 43-2001 | $t_{kamine}$, °C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 850 | 10.30 | 001 | VŠKP 4,0 MW | Kietas kuras | Anglies monoksidas (A) | elektrocheminis | 500,00 | 12,1 | 6 | 842,7 | 892,18 | 4000 | 142 |
| 851 | 10.35 | | | | | | 345,00 | 11,8 | | 562,5 | | | |
| 852 | 10.40 | | | | | | 475,00 | 11,1 | | 719,7 | | | |
| 853 | 10.45 | | | | | | 857,50 | 10,0 | | 1169,3 | | | |
| 854 | 10.55 | | | | | | 622,50 | 10,6 | | 897,8 | | | |
| 855 | 11.00 | | | | | | 1173,75 | 9,0 | | 1467,2 | | | |
| 856 | 11.05 | | | | | | 402,50 | 10,5 | | 575,0 | | | |
| 857 | 11.10 | | | | | | 545,00 | 12,1 | | 918,5 | | | |
| 858 | 11.15 | | | | | | 578,75 | 11,1 | | 876,9 | | | |

Laboratorijos leidimo, išduoto Aplinkos Apsaugos Agentūroje 2005 m. gruodžio 28d. Nr. 1AT-95

Matavimus ir skaičiavimus atliko : Lab.vedėja Violeta Juknienė
Aplinkos inžinierius Martynas Šimonis
Aplinkos inžinierius Aurimas Urbutis
Direktorė Agripina Čekauskienė

UAB "Ekopaslauga"

UAB " Ekopaslauga" Įm. Kodas 300137906
Savanorių pr. 287-208, 50127 Kaunas
Tel. (8 -37) 311558, 8 618 24959, 8 623 44455
El. paštas: ekopaslauga@meganet.lt

**STACIONARIŲ APLINKOS ORO TARŠOS ŠALTINIŲ IŠMETAMŲ TERŠALŲ TYRIMŲ REZULTATŲ PROTOKOLAS NR.48**

Mėginių paėmimo ir matavimų data: **2010.04.07** Tyrimo atlikimo data: 2010.04.08

UAB "Baisogalos bioenergija", Baisogalos kvartilinė katilinė, Maironio g. 36A, Baisogala, Radviliškio r.

| Mėginių registracijos laboratorijoje Nr. | Matavimo laikas (pradžia, pabaiga) | Taršos šaltinio Nr., rėžimas | Katilo parametrai | Kuro rūšis | Teršalo pavadinimas | Nustatymo metodas | Koncentracija, mg/Nm3 | O2 koncentracija, tūrio % | Standartinė O2 koncentracija, tūrio % | Koncentracija, perskaičiuota prie standartinių sąlygų, mg/Nm3 | Vidutinė koncentracija, perskaičiuota prie standarti-nių sąlygų | Normatyvas pagal LAND 43-2001 | $t_{kamine}$, °C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 680 | 9.45-9.50 | 001 | VŠKP | Kietas | Kietosios | Svorio | 168,9 | 13,4 | 6 | 333,33 | 311,48 | 700 | 105 |
| 681 | 10.02-10.07 | | 4,0 MW | kuras | dalelės | LAND | 145,0 | 14,1 | | 315,16 | | | |
| 682 | 10.16-10.21 | | | | | 28-98/M-08 | 148,7 | 13,2 | | 285,95 | | | |
| 683 | 9.35 | | | | Azoto | elektro- | 211,15 | 11,9 | | 348,0 | 368,7 | 750 | |
| 684 | 9.38 | | | | oksidai (A) | cheminis | 176,30 | 13,5 | | 352,6 | | | |
| 685 | 9.40 | | | | | | 209,10 | 13,0 | | 392,1 | | | |
| 686 | 9.48 | | | | | | 172,20 | 13,4 | | 339,9 | | | |
| 687 | 10.05 | | | | | | 170,15 | 14,1 | | 369,9 | | | |
| 688 | 10.20 | | | | | | 213,20 | 13,2 | | 410,0 | | | |
| 683 | 9.35 | | | | Anglies | | 60,00 | 11,9 | | 98,9 | 176,7 | 4000 | |
| 684 | 9.38 | | | | monoksi- | | 77,50 | 13,5 | | 155,0 | | | |
| 685 | 9.40 | | | | das (A) | | 100,00 | 13,0 | | 187,5 | | | |
| 686 | 9.48 | | | | | | 42,50 | 13,4 | | 83,9 | | | |
| 687 | 10.05 | | | | | | 110,00 | 14,1 | | 239,1 | | | |
| 688 | 10.20 | | | | | | 153,75 | 13,2 | | 295,7 | | | |

Laboratorijos leidimo, išduoto Aplinkos Apsaugos Agentūroje 2005 m. gruodžio 28d. Nr. 1AT-95

Matavimus ir skaičiavimus atliko : Aplinkos inžinierius Martynas Šimonis
Aplinkos inžinierius Linas Čekauskas
Direktorė Agripina Čekauskienė

UAB Ekopaslauga A.V KAUNAS

UAB " Ekopaslauga" Įm. Kodas 300137906
Savanorių pr. 287-208, 50127 Kaunas
Tel. (8 -37) 311558, 8 618 24959, 8 623 44455
El. paštas: ekopaslauga@meganet.lt

**STACIONARIŲ APLINKOS ORO TARŠOS ŠALTINIŲ IŠMETAMŲ TERŠALŲ TYRIMŲ REZULTATŲ PROTOKOLAS NR.206**

Mėginių paėmimo ir matavimų data: **2011-12-14** Tyrimo atlikimo data: 2011-12-15

UAB "Baisogalos bioenergija", Baisogalos kvartalinė katilinė, Maironio g. 36A, Baisogala, Radviliškio r. 1 lapas, viso 2

| Mėginių registracijos laboratorijoje Nr. | Mėginio paėmimo laikas (pradžia, pabaiga) | Taršos šaltinio Nr. | Katilo parametrai | Kuro rūšis | Teršalo pavadinimas | Nustatymo metodas | Koncentracija, mg/Nm³ | $O_2$ koncentracija, tūrio % | Standartinė $O_2$ koncentracija, tūrio % | Koncentracija, perskaičiuota prie standartinių sąlygų, mg/Nm³ | Vidutinė koncentracija, perskaičiuota prie standartinių sąlygų, mg/Nm³ | Normatyvas pagal LAND 43-2001 | $t_{aplink.}$, °C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4298 | 10.36-10.39 | 001 | VŠKP | Biokuras | Kietosios | LAND | 442,4 | 11,2 | 6,0 | 677,1 | 640,3 | 700 | 126 |
| 4299 | 10.52-10.55 | | 4,0 MW | (medienos | dalelės | 28-98/M-08 | 519,4 | 8,4 | | 618,4 | | | |
| 4300 | 11.04-11.07 | | | pjuvenos) | (A) | | 467,1 | 9,8 | | 625,5 | | | |
| 4301 | 10.21 | | | | Azoto | Dujų | 34,9 | 6,6 | | 36,3 | 111,2 | 750 | |
| 4302 | 10.26 | | | | oksidai (A) | analiza- | 36,9 | 6,7 | | 38,7 | | | |
| 4303 | 10.33 | | | | | toriaus | 32,8 | 6,5 | | 33,9 | | | |
| 4304 | 10.37 | | | | | "Multilyzer" | 121,0 | 11,2 | | 185,1 | | | |
| 4305 | 10.54 | | | | | darbo | 131,2 | 8,4 | | 156,2 | | | |
| 4306 | 11.05 | | | | | instrukcija | 162,0 | 9,8 | | 216,9 | | | |
| 4301 | 10.21 | | | | Anglies | | 2245,0 | 6,6 | | 2338,5 | 1323,5 | 4000 | |
| 4302 | 10.26 | | | | monoksi- | | 2252,5 | 6,7 | | 2362,8 | | | |
| 4303 | 10.33 | | | | das (A) | | 2256,3 | 6,5 | | 2334,1 | | | |
| 4304 | 10.37 | | | | | | 128,8 | 11,2 | | 197,1 | | | |
| 4305 | 10.54 | | | | | | 468,8 | 8,4 | | 558,0 | | | |
| 4306 | 11.05 | | | | | | 112,5 | 9,8 | | 150,7 | | | |

Laboratorijos leidimo, išduoto Aplinkos Apsaugos Agentūroje 2011 m. kovo 22d. Nr. 1AT-278

Matavimus ir skaičiavimus atliko : Aplinkos inžinierius Martynas Šimonis
Aplinkos inžinierius Linas Čekauskas
Direktorė Agripina Čekauskienė

UAB "Ekopaslauga" KALINAS

UAB " Ekopaslauga" Įm. Kodas 300137906
Savanorių pr. 287-208, 50127 Kaunas
Tel. (8 -37) 311558, 8 618 24959, 8 623 44455
El. paštas: ekopaslauga@meganet.lt

**STACIONARIŲ APLINKOS ORO TARŠOS ŠALTINIŲ IŠMETAMŲ TERŠALŲ TYRIMŲ REZULTATŲ PROTOKOLAS NR.158**

Mėginių paėmimo ir matavimų data: 2012-12-11 Tyrimo atlikimo data: 2012-12-12

**UAB "Baisogalos bioenergija", Baisogalos kvartalinė katilinė, Maironio g. 36A, Baisogala, Radviliškio r.** 1 lapas, viso 2

| Mėginių registracijos laboratorijoje Nr. | Mėginio paėmimo laikas (pradžia, pabaiga) | Taršos šaltinio Nr. | Katilo parametrai | Kuro rūšis | Teršalo pavadinimas | Nustatymo metodas | Koncentracija, mg/Nm$^3$ | $O_2$ koncentracija, tūrio % | Standartinė $O_2$ koncentracija, tūrio % | Koncentracija, perskaičiuota prie standartinių sąlygų, mg/Nm$^3$ | Vidutinė koncentracija, perskaičiuota prie standartinių sąlygų, | Normatyvas pagal LAND 43-2001 | $t_{kamino}$ °C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3274 | 9:20-9:23 | 001 | VŠKP 4,0 MW | Biokuras (medienos pjuvenos) | Kietosios dalelės (A) | LAND 28-98/M-08 | 494,5 | 7,0 | 6,0 | 529,8 | 574,3 | 700 | 122 |
| 3275 | 9:30-9:33 | | | | | | 552,7 | 7,2 | | 600,7 | | | |
| 3276 | 9:45-9:48 | | | | | | 549 | 7,1 | | 592,5 | | | |
| 3277 | 9:25 | | | | Azoto oksidai (A) | Dujų analizatoriaus "Multilyzer" darbo instrukcija | 51,25 | 7,0 | | 54,91 | 75,3 | 750 | |
| 3278 | 9:35 | | | | | | 71,75 | 7,2 | | 77,99 | | | |
| 3279 | 9:50 | | | | | | 86,10 | 7,1 | | 92,91 | | | |
| 3277 | 9:25 | | | | Anglies monoksida (A) | | 1500,00 | 7,0 | | 1607,1 | 1635,4 | 4000 | |
| 3278 | 9:35 | | | | | | 1515,00 | 7,2 | | 1646,7 | | | |
| 3279 | 9:50 | | | | | | 1531,25 | 7,1 | | 1652,4 | | | |

UAB " Ekopaslauga" Įm. Kodas 300137906
Taikos pr. 4, 50187 Kaunas
Tel. (8 -37) 311558, 8 618 24959, 8 623 44455
El. paštas: uabekopaslauga@gmail.com

**STACIONARIŲ APLINKOS ORO TARŠOS ŠALTINIŲ IŠMETAMŲ TERŠALŲ TYRIMŲ REZULTATŲ PROTOKOLAS NR. 140**

Mėginių paėmimo ir matavimų data: 2013-11-22 Tyrimo atlikimo data: 2013-11-25

**UAB "Baisogalos bioenergija", Baisogalos kvartalinė katilinė, Maironio g. 36A, Baisogala** 

| Mėginių registracijos laboratorijoje Nr. | Mėginio paėmimo laikas (pradžia, pabaiga) | Taršos šaltinio Nr. | Katilo parametrai | Kuro rūšis | Teršalo pavadinimas | Nustatymo metodas | Koncentracija, mg/Nm$^3$ | $O_2$ koncentracija, tūrio % | Standartinė $O_2$ koncentracija, tūrio % | Koncentracija, perskaičiuota prie standartinių sąlygų, mg/Nm$^3$ | Vidutinė koncentracija, perskaičiuota prie standartinių sąlygų, mg/Nm$^3$ | Normatyvas pagal LAND 43-2013 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2695 | 11.44 | 004 | "VŠK 4.0" | Biokuras | Azoto | Dujų | 100,45 | 6,6 | 6,0 | - | - | - |
| 2696 | 11.49 | po katilo | 4,0 MW | (medienos | oksidai (A) | analizatoriaus | 125,05 | 7,2 | | | | |
| 2697 | 11.54 | | | pjuvenos) | | "Multilyzer" | 164,00 | 7,8 | | | | |
| 2692 | 10.48 | 004 | | | | darbo | 147,60 | 7,3 | | | | |
| 2693 | 10.53 | po | | | | instrukcija | 141,45 | 8,6 | | | | |
| 2694 | 10.58 | ciklono | | | | | 157,85 | 6,3 | | | | |
| 2695 | 11.44 | 004 | | | Anglies | | 3466,25 | 6,6 | | - | - | - |
| 2696 | 11.49 | po katilo | | | monoksidas | | 1881,25 | 7,2 | | | | |
| 2697 | 11.54 | | | | (A) | | 282,50 | 7,8 | | | | |
| 2692 | 10.48 | 004 | | | | | 292,50 | 7,3 | | | | |
| 2693 | 10.53 | po | | | | | 297,50 | 8,6 | | | | |
| 2694 | 10.58 | ciklono | | | | | 1685,00 | 6,3 | | | | |

Laboratorijos leidimo, išduoto Aplinkos Apsaugos Agentūroje 2011 m. kovo 22d. Nr. 1AT-278

Matavimus ir skaičiavimus atliko : Aplinkos inžinierė Rūta Sabaliauskienė
Aplinkos inžinierius Linas Čekauskas
Direktorė Agripina Čekauskienė

UAB " Ekopaslauga" Įm. Kodas 300137906
Taikos pr. 4, 50187 Kaunas
Tel. (8 -37) 311558, 8 618 24959, 8 623 44455
El. paštas: uabekopaslauga@gmail.com

**STACIONARIŲ APLINKOS ORO TARŠOS ŠALTINIŲ IŠMETAMŲ TERŠALŲ TYRIMŲ REZULTATŲ PROTOKOLAS NR. 140**

Mėginių paėmimo ir matavimų data: 2013-11-22 Tyrimo atlikimo data: 2013-11-25

**UAB "Baisogalos bioenergija", Baisogalos kvartalinė katilinė, Maironio g. 36A, Baisogala**



| Mėginių registracijos laboratorijoje Nr. | Mėginio paėmimo laikas (pradžia, pabaiga) | Taršos šaltinio Nr. | Katilo parametrai | Kuro rūšis | Teršalo pavadinimas | Nustatymo metodas | Koncentracija, mg/Nm$^3$ | $O_2$ koncentracija, tūrio % | Standartinė $O_2$ koncentracija, tūrio % | Koncentracija, perskaičiuota prie standartinių sąlygų, mg/Nm$^3$ | Vidutinė koncentracija, perskaičiuota prie standartinių sąlygų, mg/Nm$^3$ | Normatyvas pagal LAND 43-2013 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2684 | 12.02-12.05 | 004 po katilo | "VŠK 4.0" 4,0 MW | Biokuras (medienos pjuvenos) | Kietosios dalelės (A) | LAND 28-98/M-08 | 250,6 | - | 6,0 | - | - | - |
| 2685 | 12.10-12.19 | | | | | | 286,0 | | | | | |
| 2698 | 12.30-12.33 | | | | | | 216,9 | | | | | |
| 2681 | 11.03-11.06 | .004 po ciklono | | | | | 191,5 | - | | - | - | - |
| 2682 | 11.17-11.20 | | | | | | 137,0 | | | | | |
| 2683 | 11.31-11.34 | | | | | | 183,3 | | | | | |
| 2678 | 10.01-10.11 | 004 po ekonomaizerio | | | | | 58,5 | 8,2 | | 68,53 | 51,55 | 700 |
| 2679 | 10.15-10.25 | | | | | | 54,3 | 5,8 | | 53,59 | | |
| 2680 | 10.29-10.39 | | | | | | 31,9 | 6,3 | | 32,53 | | |
| 2686 | 9.40 | | | | Azoto oksidai (A) | Dujų analizatoriaus "Multilyzer" darbo instrukcija | 155,80 | 8,3 | | 184,0 | 172,1 | 750 |
| 2687 | 9.45 | | | | | | 137,35 | 7,7 | | 154,9 | | |
| 2688 | 9.50 | | | | | | 131,20 | 7,9 | | 150.23 | | |
| 2689 | 10.06 | | | | | | 172,20 | 8,2 | | 201,8 | | |
| 2690 | 10.21 | | | | | | 161,95 | 5,8 | | 159,8 | | |
| 2691 | 10.34 | | | | | | 178,35 | 6,3 | | 182,0 | | |
| 2686 | 9.40 | | | | Anglies monoksidas (A) | | 287,50 | 8,3 | | 339,6 | 928,9 | 4000 |
| 2687 | 9.45 | | | | | | 540,00 | 7,7 | | 609,0 | | |
| 2688 | 9.50 | | | | | | 575,00 | 7,9 | | 658,4 | | |
| 2689 | 10.06 | | | | | | 128,75 | 8,2 | | 150,9 | | |
| 2690 | 10.21 | | | | | | 2791,25 | 5,8 | | 2754,5 | | |
| 2691 | 10.34 | | | | | | 1040,00 | 6,3 | | 1061,2 | | |

UAB " Ekopaslauga" Įm. Kodas 300137906
Taikos pr. 4, 50187 Kaunas
Tel. (8 -37) 311558, 8 618 24959, 8 623 44455
El. paštas: uabekopaslauga@gmail.com

**STACIONARIŲ APLINKOS ORO TARŠOS ŠALTINIŲ IŠMETAMŲ TERŠALŲ TYRIMŲ REZULTATŲ PROTOKOLAS NR. 34**

Mėginių paėmimo ir matavimų data: 2014-03-06 Tyrimo atlikimo data: 2014-03-07

**UAB "Baisogalos bioenergija", Baisogalos kvartalinė katilinė, Maironio g. 36A, Baisogala**

| Mėginių registracijos laboratorijoje Nr. | Mėginio paėmimo laikas (pradžia, pabaiga) | Taršos šaltinio Nr. | Katilo parametrai | Kuro rūšis | Teršalo pavadinimas | Nustatymo metodas | Koncentracija, mg/Nm$^3$ | $O_2$ koncentracija, tūrio % | Standartinė $O_2$ koncentracija, tūrio % | Koncentracija, perskaičiuota prie standartinių sąlygų, mg/Nm$^3$ | Vidutinė koncentracija, perskaičiuota prie standartinių sąlygų, mg/Nm$^3$ | Normatyvas pagal LAND 43-2013 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 635 | 11.20-11.30 | 004 po ekonomaizerio | "VŠK 4,0" 4,0 MW | Biokuras (medienos pjuvenos) | Kietosios dalelės (A) | LAND 28-98/M-08 | 44,4 | 8,3 | 6,0 | 52,40 | 48,40 | 700 |
| 636 | 11.32-11.42 | | | | | | 43,7 | 9,2 | | 55,60 | | |
| 637 | 11.45-11.55 | | | | | | 32,1 | 8 | | 37,10 | | |
| 638 | 11.10 | | | | Azoto oksidai (A) | Dujų analizatoriaus "Multilyzer" darbo instrukcija | 159,90 | 10,7 | | 232,9 | 229,0 | 750 |
| 639 | 11.15 | | | | | | 168,10 | 7,7 | | 189,6 | | |
| 640 | 11.20 | | | | | | 188,60 | 9,7 | | 250,4 | | |
| 641 | 11.25 | | | | | | 186,55 | 8,3 | | 220,3 | | |
| 642 | 11.37 | | | | | | 205,00 | 9,2 | | 260,6 | | |
| 643 | 11.50 | | | | | | 190,65 | 8,0 | | 220,0 | | |
| 638 | 11.10 | | | | Anglies monoksidas (A) | | 586,25 | 10,7 | | 853,8 | 1348,2 | 4000 |
| 639 | 11.15 | | | | | | 1766,25 | 7,7 | | 1992,0 | | |
| 640 | 11.20 | | | | | | 580,00 | 9,7 | | 769,9 | | |
| 641 | 11.25 | | | | | | 1718,75 | 8,3 | | 2030,0 | | |
| 642 | 11.37 | | | | | | 333,75 | 9,2 | | 424,3 | | |
| 643 | 11.50 | | | | | | 1750,00 | 8,0 | | 2019,2 | | |

Laboratorijos leidimo, išduoto Aplinkos Apsaugos Agentūroje 2011 m. kovo 22d. Nr. 1AT-278

Matavimus ir skaičiavimus atliko: Aplinkos inžinierė Rūta Sabaliauskienė
Aplinkos inžinierius Ainas Čekauskas
Direktorė Regina Čekauskienė

UAB "Ekopaslauga"

UAB " Ekopaslauga" jm. kodas 300137906
Taikos pr. 4, 50187 Kaunas
Tel. (8 -37) 311558, 8 618 24959, 8 623 44455
El. paštas: uabekopaslauga@gmail.com

**STACIONARIŲ APLINKOS ORO TARŠOS ŠALTINIŲ IŠMETAMŲ TERŠALŲ TYRIMŲ REZULTATŲ PROTOKOLAS NR. 21**

Mėginių paėmimo ir matavimų data: **2015-02-09** Tyrimo atlikimo data: 2015-02-10

**UAB "Baisogalos bioenergija", Baisogalos kvartalinė katilinė, Maironio g. 36A, Baisogala** 1 lapas iš 4

| Mėginių registracijos laboratorijoje Nr. | Mėginių paėmimo laikas (pradžia, pabaiga) | Kaltilas, apkrova | Matavimo vieta, taršos šaltinio Nr. | Teršalo pavadinimas | Nustatymo metodas | Koncentracija, mg/Nm$^3$ | Vidutinė koncentracija, mg/Nm$^3$ | $O_2$ koncentracija tūrio % | Koncentracija, perskaičiuota prie 6% $O_2$, mg/Nm$^3$ | Vidutinė konc., perskaičiuota prie 6% $O_2$, mg/Nm$^3$ | Sausų dujų tūrio debitas n.s., Nm$^3$/s | Tarša, g/s | Vidutinė tarša, g/s | Normatyvas pagal LAND 43-2013, mg/Nm3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 336 | $17^{45}$-$18^{05}$ | VŠK 4.0, katilo nominali galia 4 MW (matavimo metu ~1,5MW) | 004 po katilo | Kietosios dalelės (A) | LAND 28-98/M-08 | 448,9 | 599,6 | - | - | - | 1,156 | 0,51897 | 0,69312 | 700 |
| 337 | $18^{06}$-$18^{26}$ | | | | | 430,5 | | - | - | - | | 0,49768 | | |
| 338 | $18^{28}$-$18^{58}$ | | | | | 919,3 | | - | - | - | | 1,06270 | | |
| 339 | $17^{46}$-$17^{49}$ | | 004 po ekonomaizerio | | | 18,0 | 18,2 | 11,3 | 27,9 | 26,9 | 0,893 | 0,01608 | 0,01624 | |
| 340 | $18^{07}$-$18^{10}$ | | | | | 21,8 | | 10,4 | 30,8 | | | 0,01943 | | |
| 341 | $18^{30}$-$18^{33}$ | | | | | 14,8 | | 11,0 | 22,2 | | | 0,01321 | | |

| Matavimo vieta | Vidutinis srauto greitis, m/s | $t_{ortakyje}$, °C | $\Delta p_{statinis}$, hPa | Matavimo angos matmenys, m | Drėgmės kiekis, tūrio % | Valymo įrenginio efektyvumas, % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 004 po katilo | 5,43 | 113 | -3,765 | 0,45 x 0,75 | 9,87 | 97,7 |
| 004 po ekonom. | 3,82 | 42 | -0,202 | Ø 0,60 | 3,99 | |

## B PRIEDAI KURO PARAMETRŲ TYRIMO PROTOKOLAI

**AB „PANEVĖŽIO ENERGIJA“**
**GAMYBOS IR EKOLOGIJOS TARNYBA**

**PAŽYMA APIE KURO KOKYBĘ Nr. 2014/9**

2014 m. gruodžio 10d.

Kuro pavadinimas: PJUVENOS

Pavyzdį pristatė: UAB „Baisogalos bioenergija“
(UAB, AB, įmonės pavadinimas)

Gamybos ir ekologijos tarnybos chemijos laboratorijoje gauta 2014 m. gruodžio 4d.

**ANALIZIŲ DUOMENYS**

1. Kuro drėgnumas (pagal LST EN 14774-2:2010) (M) 44,7 %
2. Sausos masės peleningumas (pagal LST EN 14775:2010) ($A_S$) 1,4 %
3. Sausosios masės žemutinis šilumingumas (pagal LST EN 14918:2010) 4361 kcal/kg 18260 kJ/kg
4. Naudojamos masės žemutinis šilumingumas (pagal LST EN 14918:2010) 2151 kcal/kg 9006 kJ/kg

Analizė atlikta 2014 m. gruodžio 10d.

Pastaba: AB"Panevėžio energija" Gamybos ir ekologijos tarnybos chemijos laboratorija kuro kokybės nustatymui nėra akredituota.

Gamybos ir ekologijos tarnybos viršininkas Mindaugas Krikštanas

Gamybos ir ekologijos tarnybos inžinierė Jolanta Januškevičienė

Gamybos ir ekologijos tarnybos laborantė Nijolė Bernotavičienė

AB „PANEVĖŽIO ENERGIJA“ Gamybos ir ekologijos tarnyba

**AB „PANEVĖŽIO ENERGIJA“**
**GAMYBOS IR EKOLOGIJOS TARNYBA**

**PAŽYMA APIE KURO KOKYBĘ Nr. 2013/63**

2013 m. gruodžio 3d.

Kuro pavadinimas: Medžio skiedros

1.1 Kuro markė: _____

Pavyzdį pristatė: UAB „Baisiogalos bioenergija“
(UAB, AB, įmonės pavadinimas)

Gamybos ir ekologijos tarnybos chemijos laboratorijoje gauta 2013 m. lapkričio 29d.

**ANALIZIŲ DUOMENYS**

1. Kuro drėgnumas (pagal LST EN 14774-2:2010) (M) 33,0 %
2. Sausos masės peleningumas (pagal LST EN 14775:2010) ($A_S$) 5,8 %
3. Darbo kuro žemutinė šiluminė vertė 11249 kJ/kg 2687 kcal/kg
   (Medienos degios masės žemutinė šiluminė vertė – 19100 kJ/kg)

Analizė atlikta 2013 m. gruodžio 3d.

Pastaba: AB"Panevėžio energija" Gamybos ir ekologijos tarnybos chemijos laboratorija kuro kokybės nustatymui nėra akredituota.

Gamybos ir ekologijos tarnybos viršininkas Mindaugas Krikštanas

Gamybos ir ekologijos tarnybos inžinierė Jolanta Januškevičienė

Gamybos ir ekologijos tarnybos laborantė Regina Čiuikinienė

AB „PANEVĖŽIO ENERGIJA“
Gamybos ir ekologijos tarnyba

**AB „PANEVĖŽIO ENERGIJA“**
**GAMYBOS IR EKOLOGIJOS TARNYBA**

# PAŽYMA APIE KURO KOKYBĘ Nr. 2012/64

2012 m. gegužės 15d.

Kuro pavadinimas: Medžio pjuvenos

1.1 Kuro markė: _____

Pavyzdį pristatė: UAB „Baisogalos bioenergija“
(UAB, AB, įmonės pavadinimas)

Gamybos ir ekologijos tarnybos chemijos laboratorijoje gauta 2012 m. gegužės 11d.

## ANALIZIŲ DUOMENYS

1. Kuro drėgnumas (pagal LST CEN/TS 14774-3:2005en) (M) 63,9 %
2. Sausos masės peleningumas (pagal LST CEN/TS 14775:2005 en) (As) 1,7 %
3. Darbo kuro žemutinė šiluminė vertė 5109 kJ/kg 1220 kcal/kg
   (Medienos degios masės žemutinė šiluminė vertė - 18900kJ/kg)

Analizė atlikta 2012 m. gegužės 15d.

Pastaba: AB"Panevėžio energija" Gamybos ir ekologijos tarnybos chemijos laboratorija kuro kokybės nustatymui nėra akredituota.

Gamybos ir ekologijos tarnybos viršininkas Mindaugas Krikštanas

Gamybos ir ekologijos tarnybos inžinierė Jolanta Januškevičienė

Gamybos ir ekologijos tarnybos laborantė Regina Čiuikinienė

AB „PANEVĖŽIO ENERGIJA“
Gamybos ir ekologijos tarnyba