



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Kęstutis Kvedaravičius

BIOKURO KATILŲ EKSPLOATACINIŲ PARAMETRŲ
ANALIZĖ

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Kęstutis Buinevičius

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
ŠILUMOS IR ATOMO ENERGETIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas
Doc. dr. Egidijus Puida

BIOKURO KATILŲ EKSPLOATACINIŲ PARAMETRŲ
ANALIZĖ

Baigiamasis magistro projektas
Termoinžinerija (kodas 621E30001)M

Vadovas
Doc. dr. Kęstutis Buinevičius

Recenzentas
Doc. dr. Egidijus Puida

Projektą atliko
Kęstutis Kvedaravičius

KAUNAS, 2015

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

Tvirtinu:
Šilumos ir atomo energetikos
katedros vedėjas

(parašas, data)
Doc. E. Puida

(vardas, pavardė)

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

Universitetinių pagrindinių studijų, kurias baigus įgyjamas magistro kvalifikacinis laipsnis, baigiamasis darbas yra taikomojo arba tiriamojo pobūdžio 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 katilų eksploatacinių parametrų analizė"**

.....
Patvirtinta 201_ ... m. mėn. d. dekanų įsakymu Nr.

2. Darbo tikslas: **atlikti biokuro katilų eksploatacinių parametrų analizę, ištirti katilo efektyvumo rodiklių priklausomybes nuo kuro bei kitų parametrų rodiklių, atlikti efektyvumo bei nuostolių su dūmų šiluma skaičiavimus priklausomai nuo išeities duomenų. Pateikti rekomendacijas katilo diagnostikai pagal technologinius parametrus.**

.....
3. Darbo struktūra: **1. Įvadas ir darbo tikslų suformulavimas. 2. Literatūros apžvalga – kurą deginančių įrenginių efektyvumo nustatymo metodika, faktoriai įtakojantys biokuro katilo efektyvumą ir jų įvertinimo metodika. 3. Atlikti katilo, ekonomizerio efektyvumo rodiklių skaičiavimus, priklausomai nuo kuro ir eksploatacinių parametrų. Atlikti eksperimentinius tyrimus, matuojant realių biokuro katilų parametrus, keičiant režimus. Matavimų duomenis apdoroti nustatant įrenginių efektyvumą. Aprašyti matavimų, skaičiavimų metodikas. 4. Atlikti rezultatų apdorojimą ir analizę, parengti katilo parametrų modeliavimo ir diagnostikos metodiką. 5. Parengti išvadas ir rekomendacijas.....**

4. Reikalavimai ir sąlygos: **išmokti dirbti su matavimo prietaisais, įsisavinti duomenų apdorojimo, skaičiavimo metodikas, atlikti įrenginių parametrų matavimus nustatant efektyvumą ir galimus efektyvumo pasikeitimus pasikeitus parametrams,**

.....
5. Užbaigto darbo pateikimo terminas: **2015 m. gegužės mėn. 30 d.**

6. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo darbo dalis.

Išduota studentui **Kęstutis Kvedaravičius**.....

Užduotį gavau **Kęstutis Kvedaravičius**.....
(studento vardas, pavardė)

..... **2014.02.02**
(parašas) (data)

Vadovas: **doc. Kęstutis Buinevičius**
(pareigos, vardas, pavardė)

..... **2014.02.02**
(parašas) (data)



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

(Fakultetas)

Kęstutis Kvedaravičius

(Studento vardas, pavardė)

Termoinžinerija 621E30001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Biokuro katilų eksploatacinių parametų analizė“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2015 _____

Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Kęstučio Kvedaravičiaus** baigiamasis projektas tema „Biokuro katilų eksploatacinių parametų analizė“ 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)

Kvedaravičius, K. Analysis of operating parameters of the biofuel boilers. Final master paper / academic supervisor doc. dr. Kęstutis Buinevičius; Kaunas university of technology, Faculty of mechanical engineering and design, Department of thermal and nuclear energy.

Kaunas, 2015. 66 p.

SUMMARY

The master thesis analyzing the biofuel boiler equipment efficiency influencing parameters such as efficiency and electric power indicator, the calculation methods of these parameters. In this paper was compared two different types of biofuel boilers calculation of the technological parameters, and gives recommendation for their improvement. For calculations were used gas analyzer, moisture gauge and thermal imaging cameras.

As well as a master`s thesis analyzed dry and condensing economizers. Performed analysis and given suggestions of the economizers heat generation process optimization. The heat loss to the atmosphere calculations depending on the thickness of the thermal insulation thickness to ensure the fastest possible payback time. Carried out the emissions of gas, analysis of the mitigation measures ant implemented in practice. Was take measurements of oxygen than concentrated carbon monoxide and nitrogen oxide concentration. As well measurement taken of gas recirculation effect on the concentration of nitrogen oxide. Established the concentration of oxygen in the gas influence the efficiency of the boiler ant condensing economizer heat generation process. Completed analysis of two separated condensate treatment systems and explained principles of the schemes. Found formula by which to calculate the quantity of condensate in condensation economizer. Analyzed the possibility of use condensate to thermal water networks and explained such a system scheme.

TURINYS

<u>IVADAS</u>	1
1. BIOKURO KATILO NAUDINGUMO KOEFICIENTO APSKAIČIAVIMO METODIKA ...	1
1.1. Šilumos nuostoliai su išeinančiais dūmais	2
1.2. Šilumos nuostoliai dėl cheminio nesudegimo	5
1.3. Šilumos nuostoliai su pelenais	5
1.4. Šilumos nuostoliai į aplinką	5
2. KATILINĖS ELEKTROS RODIKLIS	7
2.1. Elektros rodiklio skaičiavimas katilinėje	7
2.2. Dūmų kondensacinio ekonomizaizerio elektros rodiklio optimizavimas	8
3. SKIRTINGŲ KATILŲ NAUDINGUMO KOEDICIENTO PALYGINIMAS	10
4. Dūmų kondensacinis ekonomizaizeris	13
4.1. Kondensacinio ekonomizaizerio ekonominis efektyvumas	14
5. SAUSO TIPO EKONOMAIZERIS	15
6. RASOS TAŠKAS	16
6.1. Rasos taško svarba sauso tipo ekonomizaizeryje	18
6.2. Kondensacinio ekonomizaizerio šilumos generavimo proceso optimizavimas	19
6.3. Kondensacinio ekonomizaizerio šilumos generavimo proceso optimizavimo programos sudarymas	23
7. KATILO DKVR TECHNOLOGINIŲ PARAMETRŲ SKAIČIAVIMAS	25
7.1. Katilo darbo schemos efektyvumo skaičiavimas	28
7.2. Elektros suvartojimo skirtingo tipo ekonomizaizeriuose skaičiavimas	29
7.3. Gamintojo reikalavimų užtikrinimas	32
8. ŠILUMOS NUOSTOLIAI Į APLINKĄ	33
8.1. Optimalaus šilumos izoliacijos storio parinkimas	40
9. TERŠALAI BIOKURO KATILINĖSE	43
9.1. Anglies monoksido ir azoto oksidų mažinimo priemonės	45
9.2. Teršalų koncentracijų dūmuose tyrimų metodika	46
9.3. Anglies monoksido ir azoto oksidų koncentracijų kitimas priklausomai nuo deguonies koncentracijos dūmuose	48
9.4. Dūmų recirkuliacijos įtaka azoto oksidams	49
9.5. Deguonies koncentracijos įtaka katilo naudingumo koeficientui	51
9.6. Deguonies koncentracijos įtaka kondensacinio ekonomizaizerio šilumos procesui	53
10. KONDENSATO SUSIDARYMAS DŪMŲ KONDENSACINIAME EKONOMAIZERIJE	54

10.1. Kondensato valymo sistemos	55
10.2. Susidarančio kondensato kiekio skaičiavimas	58
10.3. Kondensato panaudojimas termofikacinio vandens tinklų papildymui	59
10.4. Kondensato panaudojimo sistema termofikacinio vandens tinklų papildymui	61
IŠVADOS	63
LITERATŪROS SĄRAŠAS	65
A PRIEDAS. Skaičiavimų rezultatai.	67
A1. Elektros rodiklių skaičiavimo rezultatai.....	67
A2. Kondensacinio ekonomizerio šilumos generavimo proceso optimizavimo skaičiavimų duomenys	69
A3. Šilumos nuostolių su šilumos izoliacija Paroc Wired Mat 65 skaičiavimų rezultatai	70
A4. Šilumos nuostolių su šilumos izoliacija Paroc Pro Wired Mat 80 skaičiavimų rezultatai	71
A5. Teršalų koncentracijų dūmuose skaičiavimų rezultatai.....	72
A6. Dūmų analizatoriaus techniniai parametrai	73
A7. Termoviziniai matavimai	74
B PRIEDAS. Publikacijų kopijos.....	77
B1. K. Kvedaravičius. K. Buinevičius. Kondensacinio ekonomizerio šilumos generavimo proceso optimizavimas.....	77

IVADAS

Biokuro naudojimas centralizuoto šilumos tiekimo (ČŠT) sistemoje kasmet auga. Pagal Lietuvos biomasės energetikos asociacijos (Litbioma) duomenis biokuro dalis ČŠT sistemoje nuo ~ 1,2 % 1997 m. padidėjo iki ~ 44 % 2014 m. Skaičiuojama, kad 2015-2016 m. bus persvaros metai, kai biokuro dalis persvers pusę ir sudarys ~ 60 % ČŠT sistemoje. Planuojamas realus panaudojimas 2020 m. - ~ 70 %. Galima dar daugiau - ~ 80 % [21].

Svarbu, kad naujai statomose biokuro deginimo katilinėse ar elektrinėse būtų diegiamos naujausios ir pažangiausios biokuro degimo technologijos, kurios leistų pasiekti didžiausią naudingumo koeficientą (NVK) bei užtikrinti kaip galima mažesnę oro taršą. Šiuo metu neatsiejama biokuro katilo dalimi tampa dūmų kondensacinis ekonomizeris (DKE).

Katilinės efektyvus darbas yra vienas svarbiausių dalykų, kadangi optimizavus esamus įrenginius ar diegiant naujus efektyvesnius įrenginius galima pasiekti didesnę katilo NVK taip padidinant katilinės konkurencinį pranašumą bei sumažinant šilumos kainą vartotojui.

Šiuo metu visuose didžiuose Lietuvos miestuose privataus verslo atstotai (nepriklausomi šilumos gamintojai - NŠG) stato biokuro katilines ir tiekia šilumą į bendrą miesto centralizuotą šilumos tinklą. Taip susidaro konkurencija tarp šilumos gamintojų ko pasekoje gamintojai priversti pigiau parduoti savo gaminamą šilumą. Šildymo sezono metu šilumos poreikis yra žymiai didesnis nei nešildymo sezono metu todėl galimybę parduoti šilumą turi beveik visi NŠG tačiau prasidėjus nešildymo sezono metui kada šilumos poreikis ženkliai sumažėja galimybę gaminti šilumą ir ją tiekti į ČŠT turi tik tie šilumos gamybos šaltiniai kurie šilumą parduoda pigiausiai. Netgi dešimtųjų euro centų dalių šilumos kainos skirtumas gali reikšti ar katilinė apskritai šį mėnesį ties šilumą ir gaus pajamų ar ne. Todėl labai svarbu, kad būtų pasiekiamas kaip galima didesnis įrenginių efektyvus išnaudojimas.

1. BOKURO KATILO NAUDINGUMO KOEFICIENTO APSKAIČIAVIMO METODIKA

Katilo naudingumo koeficientas (NVK) yra procentinis dydis nurodantis kaip efektyviai dirba katilas. Norint nustatyti katilo naudingumo koeficientą reikia apskaičiuoti visus nuostolius kur prarandamas tam tikras šilumos kiekis dirbant katilui, t.y.:

- Šilumos nuostoliai su išeinančiais dūmais;
- Šilumos nuostoliai dėl cheminio nesudegimo;
- Šilumos nuostoliai į aplinką;
- Šilumos nuostoliai su pelenais.

Katilo naudingumo koeficientas (NVK) skaičiuojamas pagal (1.1) formulę:

$$NVK = 100 - q_2 - q_3 - q_4 - q_5 \%; \quad (1.1)$$

Čia:

q_2 – šilumos nuostoliai su išeinančiais dūmais, %;

q_3 - šilumos nuostoliai dėl cheminio nesudegimo, %;

q_4 – šilumos nuostoliai su pelenais, %;

q_5 – šilumos nuostoliai į aplinką, %.

1.1. Šilumos nuostoliai su išeinančiais dūmais

Šilumos nuostoliai su išeinančiais dūmais priklauso nuo kuro komponentinės sudėties, išeinančių dūmų temperatūros, deguonies koncentracijos dūmuose bei kuro žemutinės degimo šilumos [16].

Šilumos nuostoliai su išeinančiais dūmais apskaičiuojami prieš tai apskaičiuojant kiekvienos dūmų komponentės šilumos nuostolius. Šie nuostoliai bus lygūs [1]:

$$Q_2 = Q_{O_2} + Q_{N_2} + Q_{RO_2} + Q_{H_2O} \text{ kJ}; \quad (1.2)$$

Čia:

Q_{O_2} - šilumos nuostoliai su pašildytu oru, kJ;

Q_{N_2} - šilumos nuostoliai dėl azoto, kJ;

Q_{RO_2} - šilumos nuostoliai su triatomėmis dujomis, kJ;

Q_{H_2O} - šilumos nuostoliai su vandens garais.

Šilumos nuostoliai su pašildytu oru skaičiuojami pagal (1.3) formulę:

$$Q_{O_2} = V_0^t \times C_{p_{O_2}} \times \Delta t_{i\check{s}} \text{ kJ}; \quad (1.3)$$

Čia:

V_{O_2} – 1 kg kuro sudeginti reikalingas oro tūris, m^3/kg ;

$C_{p_{O_2}}$ - specifinė šiluma, $kJ/kg \cdot K$;

$\Delta t_{i\check{s}}$ - temperatūrų skirtumas tap tiekiamo oro ir išeinančių dūmų, $^{\circ}C$.

Pagal masę ore yra 23 % deguonies. Oro tankis normaliomis sąlygomis $\rho=1,293 \text{ kg/m}^3$. Todėl teoriškai degimui reikalingo oro tūris vienam kg kietojo kuro randamas pagal (1.4) formulę:

$$V_0^t = 0,0899(C^n + 0,375S_d^n) + 0,265H^n - 0,033O^n \text{ m}^3/\text{kg}; \quad (1.4)$$

Šilumos nuostoliai dėl azoto skaičiuojami pagal (1.5) formulę:

$$Q_{N_2} = V_{N_2}^t \times C_{p_{N_2}} \times \Delta t_{i\check{s}} \text{ kJ}; \quad (1.5)$$

Azoto tūris esant oro pertekliui apskaičiuojamas pagal (1.6) formulę:

$$V_{N_2}^t = 0,79V_0^t + 0,008N^n \text{ m}^3/\text{kg}; \quad (1.6)$$

Triatomų dujų tūris apskaičiuojamas pagal (1.7) formulę:

$$V_{RO_2} = 0,01866(C^n + 0,375S_d^n) \text{ m}^3/\text{kg}; \quad (1.7)$$

Čia:

C^n – anglies koncentracija kure, %;

S_d^n – sieros koncentracija kure, %.

Šilumos nuostoliai su triatomėmis dujomis skaičiuojami pagal (1.8) formulę:

$$Q_{RO_2} = V_{RO_2} \times C_{p_{RO_2}} \times \Delta t_{i\check{s}} \text{ kJ}; \quad (1.8)$$

Vandens garų tūris apskaičiuojamas pagal (1.9) formulę:

$$V_{H_2O} = 0,111H^n + 0,0124W^n + 0,0161V_0^t \text{ m}^3/\text{kg}; \quad (1.9)$$

Čia:

H^n – vandenilio koncentracija kure, %;

W^n – drėgmės koncentracija kure, %.

Šilumos nuostoliai su vandens garais skaičiuojami pagal (1.10) formulę:

$$Q_{H_2O} = V_{H_2O} \times C_{p_{H_2O}} \times \Delta t_{iš} \text{ kJ}; \quad (1.10)$$

Išėinančių dūmų tūris skaičiuojamas pagal (1.11) formulę:

$$V_{iš}^d = (V_{RO_2} + V_{N_2}^t + V_{H_2O}) + (\alpha - 1) \times V_0^t \text{ m}^3/\text{kg}; \quad (1.11)$$

Čia:

α – oro pertekliaus koeficientas.

Išėinančių sausų dūmų tūris skaičiuojami pagal (1.12) formulę:

$$V_{s.d.}^d = (V_{RO_2} + V_{N_2}^t) + (\alpha - 1) \times V_0^t \text{ m}^3/\text{kg}; \quad (1.12)$$

Norint gauti procentinę šilumos nuostolių su išmetamais dūmais išraišką reikia apskaičiuoti valandinį kuro suvartojimą pagal (1.13) formulę:

$$B_{val.med.} = \frac{\beta \times Q}{\eta \times Q_z^n} \text{ kg/h}; \quad (1.13)$$

Čia:

β – koeficientas įvertinantis šilumos nuostolius į aplinką, $\beta = 1,02$;

Q – katilo galia, kcal/h;

η – katilo naudingumo koeficientas;

Q_z^n – kuro žemutinis šilumingumas, kcal/kg.

Šilumos nuostoliai su kuru apskaičiuojami pagal (1.14) formulę:

$$Q_{kuro} = \frac{Q_{katilo}}{NVK} \text{ kW}; \quad (1.14)$$

Čia:

Q_{katilo} – katilo galia, kW.

Procentinė šilumos nuostolių išraiškai apskaičiuojama pagal (1.15) formulę:

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q_{kuro}} \%; \quad (1.15)$$

1.2. Šilumos nuostoliai dėl cheminio nesudegimo

Šilumos nuostoliai dėl cheminio nesudegimo apskaičiuojami naudojantis dūmų analizatoriumi išmatavus anglies monoksido (CO) koncentraciją dūmuose (mg/m^3). Šilumos nuostoliai dėl cheminio nesudegimo apskaičiuojami pagal (1.16) formulę:

$$Q_3 = Q_{CO} * \frac{CO}{1000000} * V_{s.d.} \text{ kJ}; \quad (1.16)$$

Čia:

Q_{CO} – CO kaloringumas, 10110 J/kg;

CO – CO koncentracija dūmuose, mg/m^3 ;

$V_{s.d.}$ – sausų dūmų tūris, m^3/kg .

Procentinė šilumos nuostolių išraiška apskaičiuojama pagal (1.17) formulę:

$$q_3 = \frac{Q_3}{Q_{kuro}} \% ; \quad (1.17)$$

1.3. Šilumos nuostoliai su pelenais

Šilumos nuostoliai su šalinamais pelenais skaičiuojami pagal (1.18) formulę:

$$q_4 = 0,1 \times z \times (B_{kuro.val.} \times A_k) \% ; \quad (1.18)$$

Čia:

z – koeficientas kuris lygus 0,2;

A_k – kuro peleningumas, %;

$B_{kuro.val.}$ – suvartojamas valandinis kuro kiekis, kg/val .

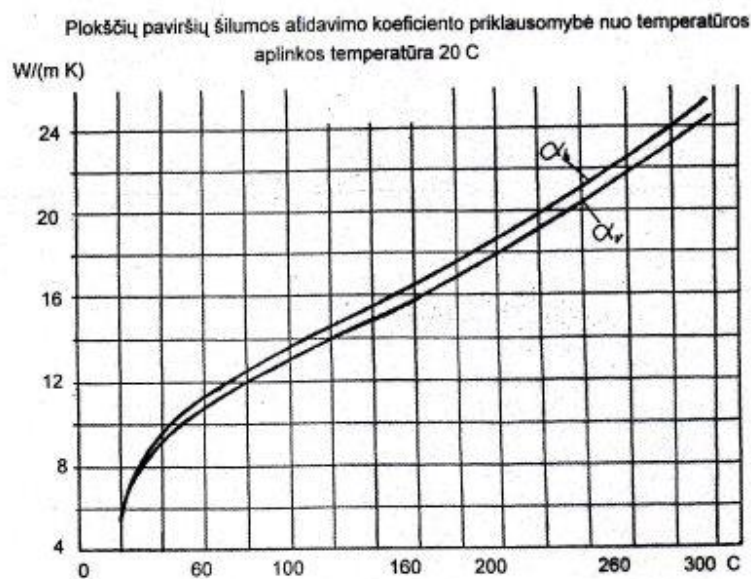
Kadangi šilumos nuostoliai su pelenais kinta priklausomai nuo suvartojamo kuro kiekio kintant katilo galiai. Todėl į formulę papildomai įvedamas suvartojamo kuro kiekis.

1.4. Šilumos nuostoliai į aplinką

Šilumos nuostoliai į aplinką skaičiuojami atlikus katilo ir pakuros termovizinę analizę.

Skaičiuojami nuostoliai nuo katilo ir pakuros paviršių. Norint apskaičiuoti šiuos nuostolius reikia žinoti tikslias katilo ir pakuros sienelių temperatūras.

Taip pat reikia žinoti plokščių paviršių šilumos atidavimo koeficientą, kuris randamas pagal 1.1 pav. pateiktą grafiką.



1.1 pav. Plokščių paviršių šilumos atidavimo koeficientas.

Šilumos nuostoliai į aplinką skaičiuojami pagal (1.19) formulę:

$$Q_5 = F_i \times \alpha_i \times (t_i - t_{apl.}) \text{ kJ}; \quad (1.19)$$

Čia:

F_i – sienelės plotas, m^2 ;

α_i – šilumos atidavimo koeficientas, W/m^2K ;

t_i – paviršiaus temperatūra, $^{\circ}C$;

$t_{apl.}$ – aplinkos temperatūra, $^{\circ}C$.

Priimama, kad mažėjant katilo apkrovimui šilumos nuostoliai į aplinką proporcingai didėja.

Procentinė šilumos nuostolių išraiška apskaičiuojama pagal (1.20) formulę:

$$q_5 = \frac{Q_5}{Q_{kuro}} \% ; \quad (1.20)$$

2. KATILINĖS ELEKTROS RODIKLIS

Biokuro katilo pagalbiniai įrenginiai tokie kaip oro ventiliatoriai, dūmsiurbiai, transporteriai, hidraulinės stotelės ir kiti įrengimai vartoja tam tikrą elektros energijos kiekį, nusakyti kaip efektyviai katilinė vartoja elektros energiją yra skaičiuojamas elektros rodiklis. Elektros rodiklis yra dydis parodantis kiek katilinėje yra suvartojama elektros energijos pagaminti tam tikrai šilumos kiekiui. Dažniausiai elektros rodiklis yra matuojamas kWh/MWh, tai parodo kiek kWh elektros energijos yra suvartojama pagaminti 1 MWh šilumos.

Elektros rodiklis apskaičiuojamas pagal (2.1) formulę:

$$R = \frac{Q_{elektros}}{Q_{šilumos}} \text{ kWh/MWh}; \quad (2.1)$$

Čia:

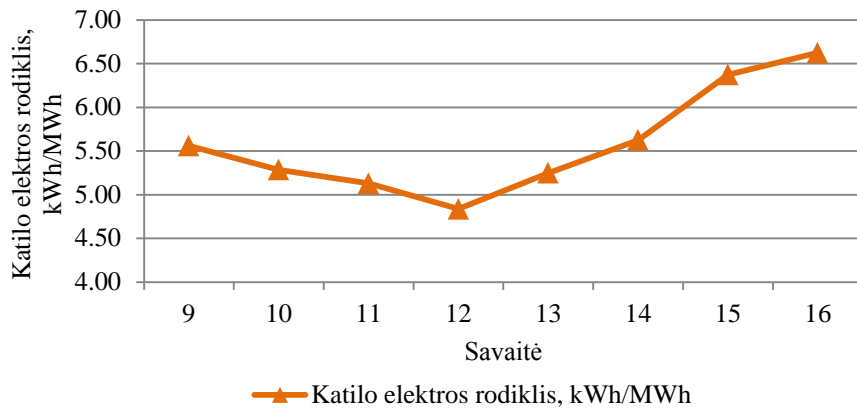
$Q_{elektros}$ - suvartotas elektros energijos kiekis, kWh;

$Q_{šilumos}$ – pagamintas šilumos kiekis, MWh.

2.1. Elektros rodiklio skaičiavimas katilinėje

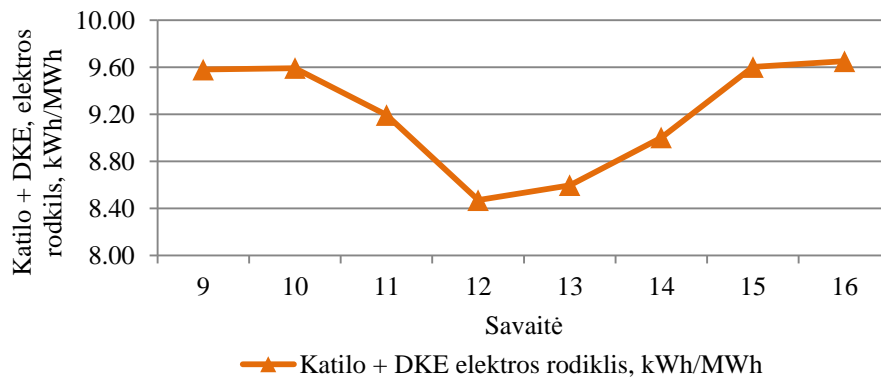
Šiame darbe buvo atlikta katilinės analizė norint nustatyti katilinės elektros rodiklį bei optimizuoti įrengimus, kad būtų pasiektas geriausias katilinės elektros rodiklis. Laikotarpiu nuo 2015-02-23 iki 2015-04-19 kiekvieną darbo dieną 8 val. nuo šilumos ir elektros energijos skaitiklių buvo nurašomi katilinėje pagaminto šilumos kiekio bei suvartoto elektros energijos kiekio duomenys. Elektros energijos kiekis bei pagamintas šilumos kiekis buvo nurašomas atskirtai DKE ir katilo, kad būtų galima apskaičiuoti šių įrengimų atskirus ir bendrus elektros rodiklius. Suvedus duomenis buvo apskaičiuotas DKE ir katilo elektros rodiklis bei jų bendras rodiklis ir DKE efektyvumas priklausomai nuo katilės pagamintos šilumos. Gauti rezultatai pateikti A1 priede.

2.1 pav. pateikti gautų rezultatų duomenys kaip kinta katilo elektros rodiklis tam tikromis savaitėmis. Nuo 12 savaitės elektros rodiklis šiek tiek išaugo tam įtakos galėjo turėti mažesnis kuro kaloringumas ko pasekoje padažnėjo kuro sistemos bei kitų įrenginių darbas. Nustatytas vidutinis katilo elektros rodiklis šiuo laikotarpiu 5,59 kWh/MWh.



2.1 pav. Katilo elektros rodiklio kitimas tam tikromis savaitėmis

Apskaičiavus bendrą katilo ir DKE elektros rodiklį tam tikromis savaitėmis nustatyta jog vidutinis katilo su DKE elektros rodiklis 9,21 kWh/MWh.



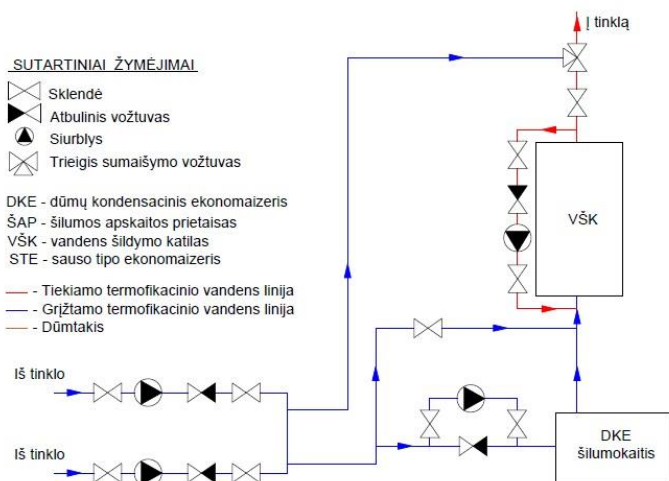
2.2 pav. Katilo kartu su DKE elektros rodiklio kitimas tam tikromis savaitėmis

2.2. Dūmų kondensacinio ekonomizerio elektros rodiklio optimizavimas

Atliekant elektros rodiklio duomenų analizę buvo pastebėta jog DKE termofikacinio vandens siurblys per parą suvartoja apie 150 kWh. Jo paskirtis palaikyti užduotą temperatūrų skirtumą per DKE šilumokaitį (analizės metu užduotis buvo 7 °C). Buvo pastebėta, kad palaikant tokį temperatūrų skirtumą ne visas grįžtamas termofikacinis vanduo praeina per DKE šilumokaitį, dalis vandens yra praleidžiama per DKE termofikacinio vandens apėjimo liniją tam, kad siurblys palaikytų užduotą temperatūrų skirtumą per DKE šilumokaitį (schema pateikta 2.3 pav.). Tačiau yra žinoma, kad pagal šilumokaičio balanso lygtį (2.2 formulė) jeigu kondensate yra susikaupęs tam tikras šilumos kiekis nesvarbu ar visą termofikacinį vandenį praleisti per DKE šilumokaitį ir turėti mažesnę temperatūrų skirtumą ar praleisti mažesnę termofikacinio vandens kiekį tačiau didesnę temperatūrų skirtumą vis tiek bus generuojamas toks pats šilumos kiekis.

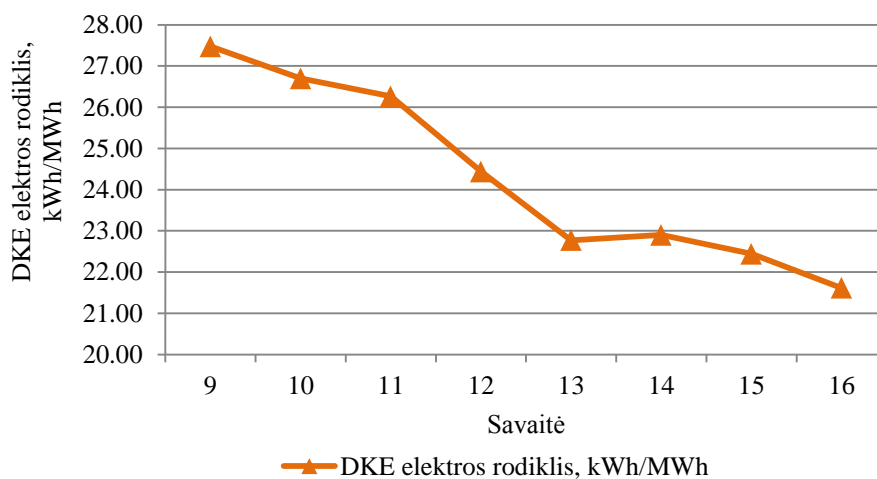
Šilumokaičio šilumos balanso lygtis:

$$q_1 \times c_{p1} \times (t'_1 - t''_1) = q_2 \times c_{p2} \times (t'_2 - t''_2) \quad (2.2)$$



2.3 pav. DKE ir katilo termofikacinio vandens schema

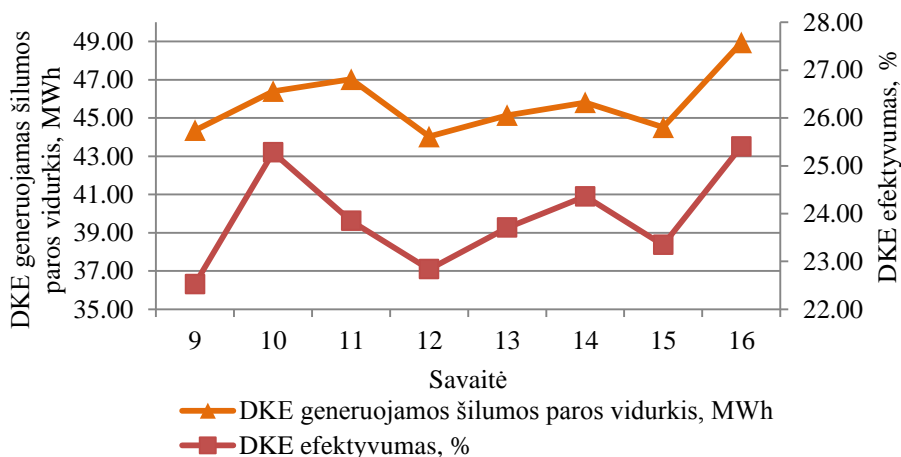
Todėl nuo 2015-03-17 (12 savaitė) buvo nuspręsta išjungti DKE termofikacinio vandens siurblių ir stebėti kaip kinta elektros rodiklis bei generuojamas šilumos kiekis DKE.



2.4 pav. DKE elektros rodiklio kitimas atitinkamomis savaitėmis

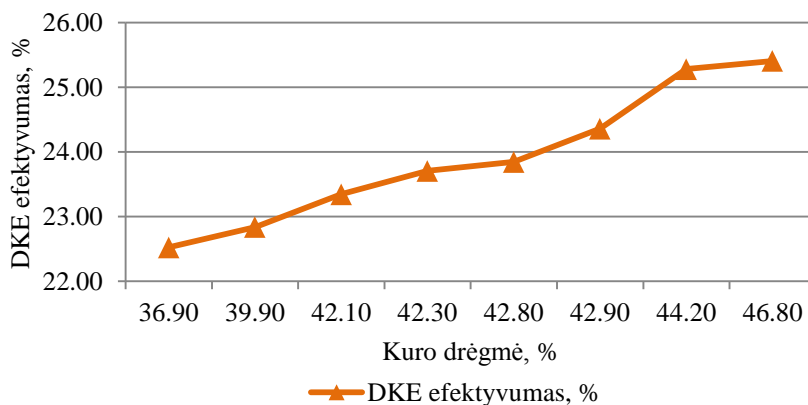
Atlikus analizę nustatyta, kad būtent nuo 12 savaitės kuomet buvo išjungtas DKE termofikacinio vandens siurblys DKE elektros rodiklis pagerėjo nuo 26,26 kWh/MWh kas buvo 11 savaitę iki 22,77 kWh/MWh kas buvo 13 savaitę. Vadinasi šiuo atveju buvo sutaupyta 3,49 kWh/MWh. Jeigu schema būtų nepakitusi ir būtų dirbama su DKE termofikacinio vandens siurbliu 13 savaitę būtų prarasta 1011,69 kWh elektros energijos kas būtų 130,5 EUR per savaitę (jei elektros kaina 0,129 EUR). Nustatytas vidutinis DKE elektros rodiklis šiuo laikotarpiu 24,33 kWh/MWh.

2.5 pav. pateikti duomenys kaip kinta DKE generuojamos šilumos paros vidurkis bei DKE efektyvumas atitinkamomis savaitėmis. Išanalizavus gautus duomenis galima teigti, kad generuojamas šilumos kiekis DKE nepakito išjungus DKE termofikacinio vandens siurblij.



2.5 pav. DKE generuojamos šilumos paros vidurkio bei DKE efektyvumo kitimas tam tikromis savaitėmis

Nustatyta DKE efektyvumo priklausomybė nuo kuro drėgmės, gauti rezultatai pateikti 2.6 pav. Tačiau negalima teigti, kad DKE efektyvumas priklauso vien nuo kuro drėgmės, DKE efektyvumas taip pat priklauso nuo grįžtamo termofikacinio vandens temperatūros, deguonies koncentracijos dūmuose, dūmų temperatūros. Nustatytas vidutinis DKE efektyvumas šiuo laikotarpiu 23,91 %.



2.6 pav. DKE efektyvumo kitimas priklausomai nuo kuro drėgmės

3. SKIRTINGŲ KATILŲ NAUDINGUMO KOEFICIENTO PALYGINIMAS

Pagal 1 skyriuje pateiktą katilo NVK skaičiavimo metodiką atlikta dviejų skirtingų katilų surinktų duomenų analizė norint nustatyti katilų NVK bei jį labiausiai įtakojančius parametrus. Pirmasis katilas KOMFORTS su medienos deginimo pakura, 3.1 pav. pateikta šio katilo

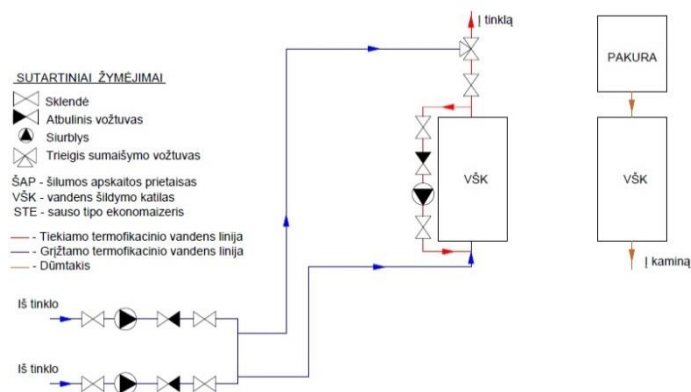
termofikacinio vamzdyno bei dūmtakių schema. Šiuo atveju NVK nustatytas tik pačiam katilui, kadangi po šio katilo dūmai patenka tiesiai į kaminą.

Antrasis katilas DKVR su medienos deginimo pakura, šis katilas suprojektuotas dirbti kartu su sauso tipo ekonomaizeriu, 3.2 pav. pateikta katilo termofikacinio vamzdyno bei dūmtakių schema. Šiuo atveju NVK nustatytas katilui bei katilui dirbant su sauso tipo ekonomaizeriu.

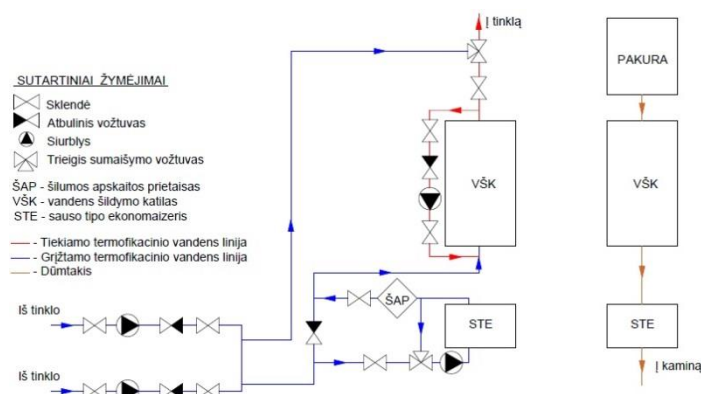
Lyginamų katilų technologiniai parametrai pateikti 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė. Lyginamų katilų technologiniai parametrai

Parametras	DKVR su medienos deginimo pakura	KOMFORTS su medienos deginimo pakura
Katilo galia, MW	9,0	8,0
Vandens talpa, m ³	13,9	21,9
Maksimalus slėgis, bar	13,0	10,0
Ekspluatacinis slėgis, bar	6,0	10,0
Maksimali vandens temperatūra, °C	110,0	130,0
Minimali vandens temperatūra, °C	70,0	90,0
Katilo išmatavimai, m	7,0 x 3,9 x 5,2	3,5 x 7,5
Pakuros išmatavimai, m	12,71 x 3,32 x 3,85	9,0 x 6,0 x 3,3



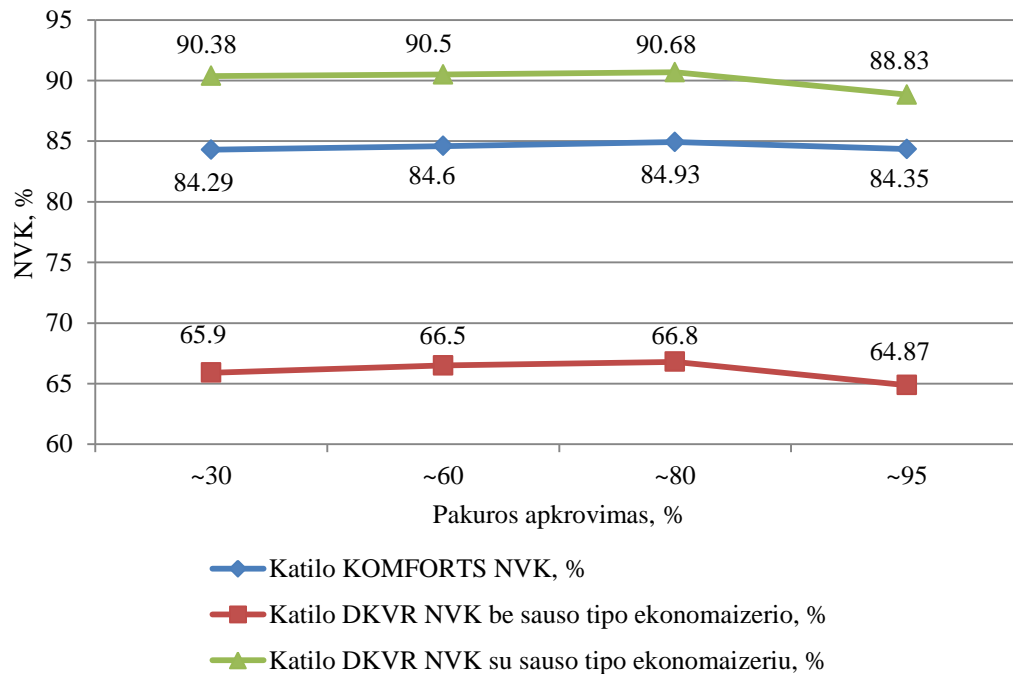
3.1 pav. Katilo KOMFORTS termofikacinio vandens ir dūmtakių schema



3.2 pav. Katilo DKVR termofikacinio vandens ir dūmtakių schema

3.2 lentelė. NVK skaičiavimų rezultatai

		Katilas KOMFORTS				Katilas DKVR be sauso tipo ekonomaizerio				Katilas DKVR su sauso tipo ekonomaizeriu			
Katilo apkrovimas	MW	2.5	4.0	6.0	8.0	4.5	6.5	8.3	9	4.5	6.5	8.3	9
Išeinančių dūmų temperatūra	°C	148.0	154.0	157.0	165.0	242.6	253.6	271.4	292.2	104.0	108.0	113.0	126.0
Deguonies kiekis dūmuose	%	9.9	8.1	6.9	6.1	11.0	9.8	8.0	7.2	11.0	9.8	8.0	7.2
Pakuros apkrovimas	%	~30	~60	~80	~95	~30	~60	~80	~95	~30	~60	~80	~95
α	-	1.89	1.63	1.52	1.41	2.1	1.88	1.62	1.52	2.1	1.88	1.62	1.52
V_O^t	m³/kg	2.60	2.60	2.60	2.60	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55
V_{N_2}	m³/kg	3.88	3.34	3.12	2.89	4.23	3.78	3.25	3.07	4.23	3.78	3.25	3.07
V_{RO_2}	m³/kg	0.51	0.51	0.51	0.51	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
V_{H_2O}	m³/kg	1.01	1.00	0.99	0.99	1.02	1.01	1.00	1.00	1.02	1.01	1	1
Q_{N_2}	kJ	223.43	207.05	196.2	202.74	538.81	511.75	483.65	502.67	106.14	105.92	103.26	126.69
Q_{RO_2}	kJ	38.71	41.69	43.18	47.15	84.1	89.46	98.13	108.27	16.57	18.52	20.95	27.29
Q_{H_2O}	kJ	111.94	119.23	122.77	133.61	250.77	264.34	286.91	315.33	49.4	54.71	61.26	79.47
Q_{O_2}	kJ	0.49	0.34	0.27	0.22	0.59	0.47	0.33	0.28	0.59	0.47	0.33	0.28
Q_{Kuro}	kJ	2941.18	4705.88	7058.82	9411.76	5625	8125	10375	11250	5625	8125	10375	11250
$B_{Kuro.Val.}$	kg/h	1074.81	1719.69	2579.54	3439.38	1973.34	2850.39	3639.72	3946.69	1973.34	2850.39	3639.72	3946.69
Q_2	kJ	374.57	368.31	362.42	383.72	874.27	866.02	869.02	926.55	172.7	179.62	185.8	233.73
q_2	%	13.69	13.46	13.24	14.02	30.67	30.38	30.49	32.50	6.06	6.30	6.52	8.20
CO kiekis	mg/m3	151	127	96	14	306	242	106	98	98	242	161	306
Q_3	kJ	7.39	6.21	4.70	0.68	15.15	11.98	5.25	4.85	4.66	11.50	7.65	14.55
q_3	%	0.27	0.23	0.17	0.03	0.53	0.42	0.18	0.17	0.16	0.40	0.27	0.51
q_4	%	0.21	0.34	0.52	0.69	0.39	0.57	0.73	0.79	0.39	0.57	0.73	0.79
Q_5	kJ	57.39	43.51	32.99	25.01	47.73	47.73	47.73	47.73	47.73	47.73	47.73	47.73
q_5	%	1.54	1.37	1.14	0.91	2.51	2.13	1.80	1.67	2.51	2.13	1.80	1.67
NVK	%	84.29	84.6	84.93	84.35	65.9	66.5	66.8	64.87	90.38	90.5	90.68	88.83



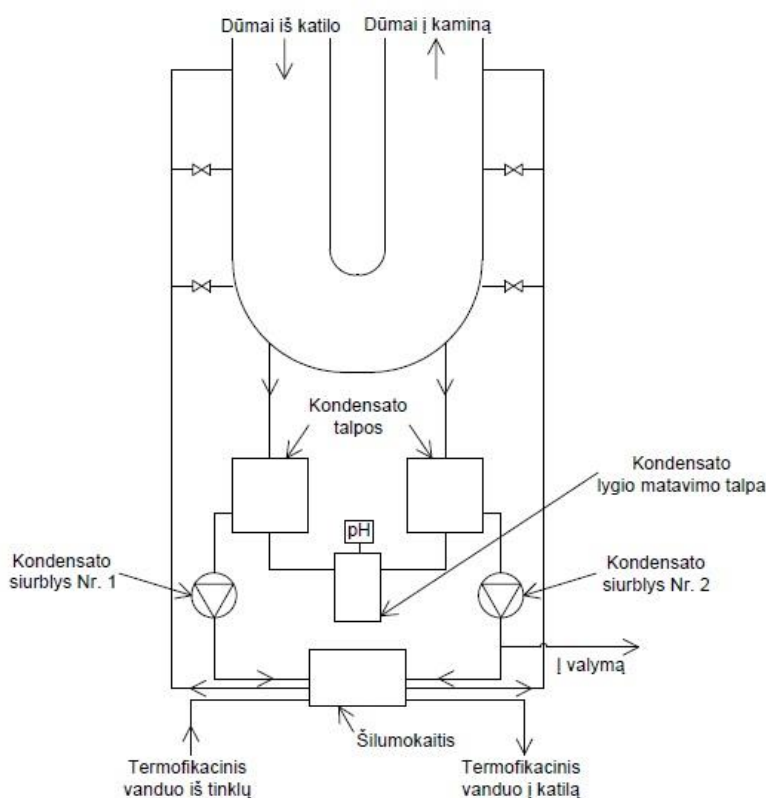
3.3 pav. Katilų NVK priklausomybė nuo pakuros apkrovimo

Atlikus skaičiavimus nustatyta jog dirbant katilui DKVR be sauso tipo ekonomizaierio maksimalus NVK pasiekiamas kuomet pakuros apkrovimas ~80 % šiuo atveju NVK – 66,80 %, dirbant su šiuo katilu ir sauso tipo ekonomizaieriu maksimalus pasiekiamas NVK – 90,68 %. Esant nominaliam katilo apkrovimo (9 MW) NVK sumažėja iki 64,87 % dirbant be sauso tipo ekonomizaierio ir 88,83 % dirbant su sauso tipo ekonomizaieriu. Dirbant katilui KOMFORTS maksimalus NVK pasiekiamas kuomet pakuros apkrovimas ~80 % šiuo atveju NVK – 84,93 %. Esant nominaliam katilo apkrovimui (8 MW) NVK sumažėja iki 84,35 %.

4. DŪMŲ KONDENSACINIS EKONOMAIZERIS

Šiuo metu neatsiejama biokuro katilo dalimi tampa dūmų kondensacinis ekonomizaieris (DKE). Šis įrenginys panaudoja iš biokuro katilo išeinančių dūmų likutinę šilumą. Šiluminė energija DKE gaunama tiek dūmų fizinės, tiek dūmuose esančių vandens garų kondensacinės šilumos sąskaita. DKE šilumos mainų paviršiaus plotą tarp dūmų ir kondensato sudaro vandens lašelių, sukurtų purkštukų pagalba, plotas. Bendras vandens lašelių plotas yra be galo didelis, tuo metu kai lašeliai dideliu greičiu patenka į dūmus. Vandens lašelius sugeriantis paviršius atlieka mechaninio šilumos nešėjo vaidmenį [12]. Dūmų šiluma kondensato vandeniui perduodama į kondensato surinkimo talpą, o toliau kondensato siurblių pagalba į šilumokaitį, kur pašildo grįžtamą termofikacinį vandenį, taip perduodant šilumos energiją iš dūmų į termofikacinį vandenį. Naudojant DKE nesudeginus papildomo kiekio kuro tik iš dūmų likutinės šilumos

galima sugeneruoti papildomai 15 – 30 % šiluminės energijos, be to po DKE dūmų temperatūra yra labai artima grįžtamo iš tinklų termofikacinio vandens temperatūrai kas yra apie 40 °C, ko pasekoje yra ženkliai sumažinami šilumos nuostoliai su išeinančiais dūmai bei padidėja NVK. Be to DKE dūmus apipurškus vandeniu yra sumažinama kietųjų dalelių koncentracija dūmuose, nes kietosios dalelės yra nusodinamos kartu su kondensatu kur vėliau praėjus per kondensato valymo įrenginius yra atskiriamos nuo kondensato ir neutralizuojamos, o išvalytas kondensatas pašalinamas į kanalizaciją. Taigi naudojant DKE yra sugeneruojamas papildomas šilumos kiekis nesudeginant papildomo kiekio kuro, padidinamas biokuro katilo agregato NVK, bei sumažinama kietųjų dalelių koncentracija dūmuose.



4.1 pav. Kondensacinio ekonomizaizerio principinė schema

4.1. Kondensacinio ekonomizaizerio ekonominis efektyvumas

Dūmai išėję iš katilų KOMFORTS ir DKVR po sauso tipo ekonomizaizerio kurie yra išmetami per kaminą vis dar yra pakankamai aukštos (atitinkamai 165 °C ir 126 °C) temperatūros todėl prarandamas nemažas šilumos kiekis. Jeigu dūmai po šių katilų prieš išeidami į aplinką dar patektų į kondensacinį ekonomizaizerį kur būtų atvėsunami žemiau rasos taško temperatūros taip būtų sugeneruojamas papildomas šilumos kiekis nesudeginant papildomo kiekio kuro.

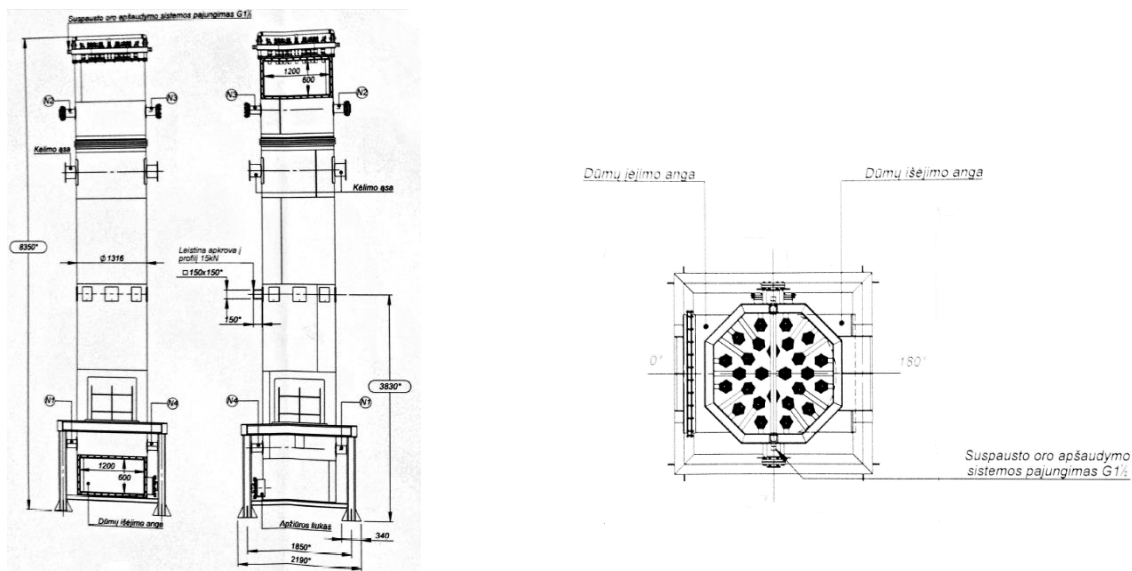
Atliktas skaičiavimas katilui DKVR norint nustatyti koks papildomas šilumos kiekis būtų galimas sugeneruoti kondensaciniame ekonomizaizeryje. Šiuo atveju priimama, kad dūmai iš pakuros patenka į katilą, toliau į sauso tipo ekonomizaizerį ir po jo į DKE. Skaičiavimas atliekamas katilui dirbant nominaliu našumu t.y. 9 MW. Priimama, kad dūmai bus vėsunami iki 40 °C. Prie esamų duomenų gaunama jog kondensaciniame ekonomizaizeryje papildomai galima sugeneruoti 1813,19 kWh šilumos. Jeigu priimant, kad šis katilas dirba nominaliu našumu 8000 darbo valandų per metus, DKE papildomai galima sugeneruoti 14505,5 MWh šilumos. Priėmus, kad parduodamos šilumos kaina 0,03 EUR/kWh per metus DKE uždirbtų 435165,5 EUR. Kadangi DKE nėra kurą deginant įrenginys, o jame šilumai gaminti naudojama dūmų likutinė šiluma kuro sąnaudų galima nevertinti, elektros sąnaudos DKE priimamos 25 kWh/MWh (25 kWh elektros reikalinga sugeneruoti 1 MWh šilumos), vadinasi šiam metiniam šilumos kiekiui pagaminti bus suvartota 362,64 MWh elektros energijos, priėmus elektros energijos kainą 0,129 EUR/kWh per metus bus suvartota elektros energijos už 46780,3 EUR. Įvertinus eksploatacijos išlaidas (susidėvėjusių dalių keitimą, chemines medžiagas, darbuotojų atlyginimus), kas galėtų sudaryti maždaug 20 % bus 87033,1 EUR tokiu atveju pelnas būtų 301352,1 EUR per metus.

5. SAUSO TIPO EKONOMAIZERIS

Dūmų šilumos panaudojimui gali būti įrengiamas paviršinis ekonomizaizeris (sauso tipo ekonomizaizeris - STE). Su dūmais sąveikaujančio ekonomizaizerio dalys yra iš nerūdijančio plieno. Kad ekonomizaizeryje būtų išvengta dūmų kondensato susidarymo įeinančio į STE termofikacinio vandens temperatūra turi būti aukštesnė už rasos taško temperatūrą. Termofikacinio vandens temperatūros reguliavimui ekonomizaizeryje numatytas termofikacinio vandens siurblys ir trijų eigių reguliuojantis vožtuvas su elektros pavara. STE termofikacinio vandens schema pateikta 3.2 pav.

5.1 lentelė. Sauso tipo ekonomizaizerio techniniai duomenys

Darbiniai parametrai	Vamzdeliuose	Tarpvamzdyje
Tūris, l	-	4000
Maksimalus slėgis, bar	-	10
Maksimali temperatūra, °C	300	100
Darbinė terpė	Dūmai	Vanduo



5.1 pav. Sauso tipo ekonomaizerio vaizdas iš galo, priekio ir viršaus

6. RASOS TAŠKAS

Rasos taškas yra temperatūra, kurioje vandens garai, esantys dūmuose, virsta sočiaisiais (t.y., dūmai turintys pradinę temperatūrą ir sąlyginį drėgnį, daugiau nebegali priimti drėgmės). Rasos taške yra pusiausvyra tarp garavimo ir kondensacijos procesų. Naudojant DKE tikslas yra pasiekti rasos taško temperatūrą įpurškiant į dūmus vandenį žemesnės už rasos taško temperatūros. Dažniausiai į dūmus įpurškiamo vandens temperatūra yra artima grįžtančio iš tinklų termofikacinio vandens temperatūrai, o išeinančių dūmų temperatūra iš DKE dažniausiai būna keliais laipsniais aukštesnė už grįžtamo iš tinklų termofikacinio vandens temperatūrą [3].

Norint apskaičiuoti rasos taško temperatūrą reikia žinoti deginamo kuro komponentinę sudėtį, deguonies kiekį dūmuose bei dūmų temperatūrą. Žinant šiuos dydžius pagal toliau pateiktas formules apskaičiuojama rasos taško temperatūra.

Sausų dūmų masė skaičiuojama pagal (6.1) formulę:

$$m_{s.d.} = V_{s.d.} \times \rho_{s.d.} \quad (6.1)$$

Vandens garų masė apskaičiuojama pagal (6.2) formulę:

$$m_{H_2O} = V_{H_2O} \times \rho_{H_2O} \text{ g/kg}; \quad (6.2)$$

Dūmuose esantis drėgmės kiekis, tenkantis 1 kg sausų dūmų randamas pagal (6.3) formulę:

$$d_1 = \frac{m_{H_2O}}{m_{sd}} \text{ g/kg}; \quad (6.3)$$

Rasos taškas randamas pagal (6.4) formulę:

$$t_r = 37,6 \times \lg(250 \times d_1) \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (6.4)$$

Generuojamas šilumos kiekis DKE apskaičiuojamas pagal (6.5) formulę:

$$Q_{DKE} = \frac{\Delta d}{1000} \times \frac{m_{i\check{s}}^d \times B_{val.}}{3600} \times r \text{ kJ/s}; \quad (6.5)$$

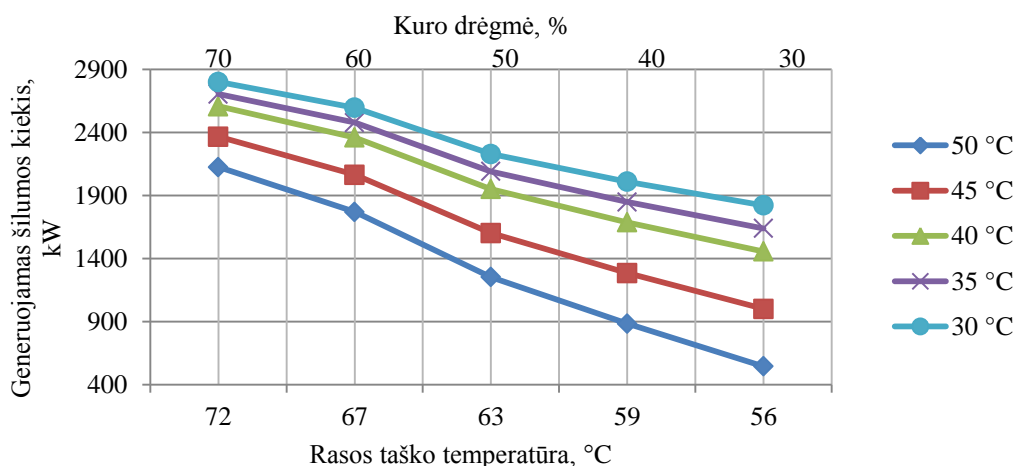
Čia:

$m_{i\check{s}}^d$ – išeinančių dūmų masė, kg;

Δd – drėgmės kiekis dūmuose pagal I-d diagramą, g/kg;

$B_{val.}$ – valandinis kuro suvartojimas, kg;

r – slaptoji garavimo (kondensacijos šiluma), kJ/kg.



6.1 pav. Rasos taško priklausomybė nuo kuro drėgmės, bei šilumos kiekio DKE kitimas priklausomai nuo dūmų atvėsinimo temperatūros

6.1 pav. atlikus skaičiavimus atvaizduoti rezultatai kaip kintant kuro drėgmei keičiasi rasos taško temperatūra, bei kaip kinta generuojamas šilumos kiekis DKE priklausomai iki kokios temperatūros yra aušinami dūmai. Šiame skaičiavime priimta, kad deginamas biokuras – medienos skiedros, dūmų temperatūra į DKE – 160 °C, deguonies kiekis dūmuose 6 %, suvartojama 3500 kg/h kuro. Pagal 1 pav. žinant kuro drėgmę bei iki kokios temperatūros yra vėsinami dūmai galima parinkti kokia yra rasos taško temperatūra bei koks galimas sugeneruoti šilumos kiekis DKE.

6.1. Rasos taško svarba sauso tipo ekonomizaizeryje

STE paviršių temperatūra negali būti žemesnė už rasos taško temperatūrą, kadangi priešingu atveju prasidės kondensacija ir STE paviršiai bus užnešti pelenais. Tačiau dirbant kuo arčiau rasos taško temperatūros galima daugiau atvėsinti dūmus ir taip pasiekti geresnį NVK.

Apskaičiuojama rasos taško temperatūra pagal 6 skyriuje pereinamą skaičiavimo metodiką. Šiuo atveju dūmų temperatūra prieš ekonomizaizerį 216,8 °C, deguonies kiekis dūmuose 10,6 %, o išmatuota kuro drėgmė 42 %. Apskaičiavus rasos taško temperatūrą ekonomizaizeryje 53,91 °C.

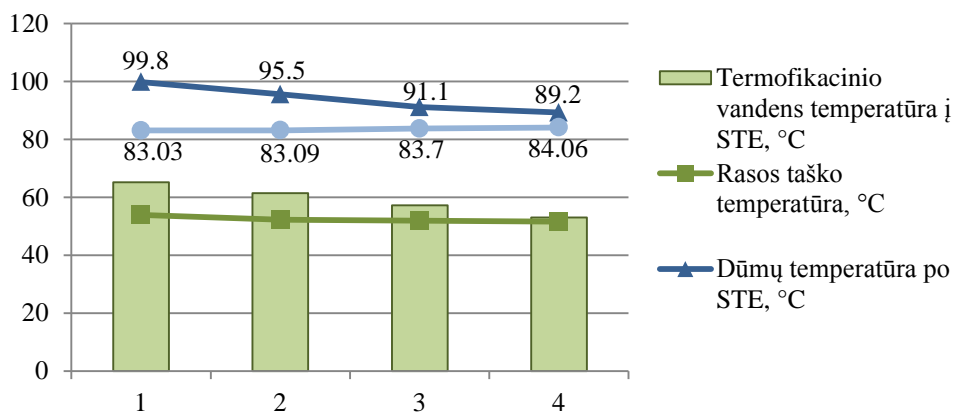
Į ekonomizaizerį tiekiamo vandens temperatūra 65,2 °C. Tačiau apskaičiuota rasos taško temperatūra 53,91 °C, vadinasi į ekonomizaizerį paduodamo vandens temperatūrą galima mažinti iki artimo rasos taško temperatūros.

Sumažinus tiekiamo vandens temperatūrą į ekonomizaizerį iki 61,4 °C rasos taškas ekonomizaizeryje 52,27 °C, vadinasi galima dar mažinti tiekiamo vandens temperatūrą į ekonomizaizerį.

Sumažinus tiekiamo vandens temperatūrą į ekonomizaizerį iki 57,2 °C rasos taškas ekonomizaizeryje 51,87 °C vadinasi galima dar mažinti tiekiamo vandens temperatūrą ekonomizaizerį.

6.1 lentelė. STE optimizavimo rezultatai

Eil. Nr.	Dūmų temperatūra prieš ekonomizaizerį, °C	Dūmų temperatūra po ekonomizaizerio, °C	Vandens temperatūra į ekonomizaizerį, °C	O ₂ kiekis, %	Rasos taškas ekonomizaizeryje, °C	NVK, %
1.	216,8	99,8	65,2	10,6	53,91	83,03
2.	208,0	95,5	61,4	11,3	52,27	83,09
3.	204,4	91,1	57,2	11,5	51,87	83,70
4.	202,3	89,2	53	11,5	51,58	84,06



6.2 pav. Atlikto tyrimo rezultatai atvaizduoti grafiškai

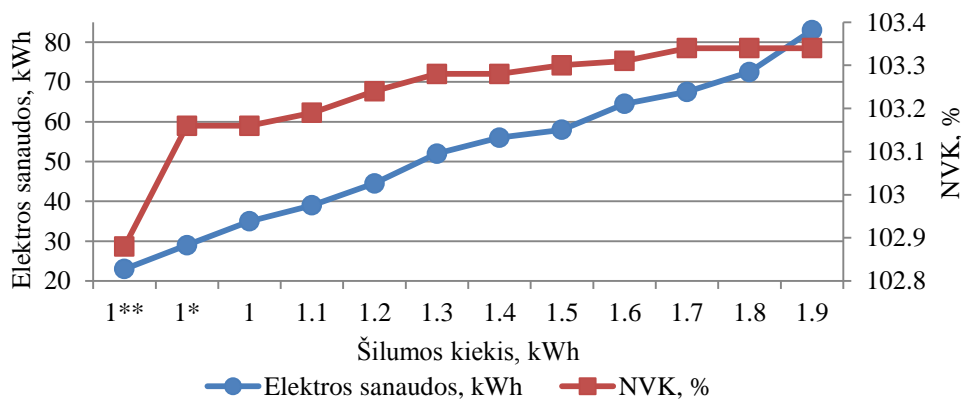
Maksimaliai sumažinta termofikacinio vandens temperatūra į STE 51,58 °C kadangi rasos taškas šiuo atveju 53,0 °C. To pasekoje padidintas NVK nuo 83,03 % iki 84,06 %.

6.2. Kondensacinio ekonomaizerio šilumos generavimo proceso optimizavimas

DKE didžiausią elektros energijos kiekį suvartoja du kondensato siurbliai kurių instaliacinė galia po 45 kW, šie siurbliai reguliuoja išpurškiamo kondensato slėgį į dūmus. Žinoma, kad didinant kondensato siurblių slėgį bus suvartota daugiau elektros energijos tačiau sugeneruotas didesnis kiekis šilumos todėl atliekamas skaičiavimas nustatyti optimaliam šių siurblių darbo režimui.

Atlikta dirbančio 8 MW galios biokuro katilo su medienos deginimo pakura ir dūmų kondensaciniu ekonomaizeriu surinktų duomenų analizė. Buvo atlikti matavimai kaip kinta agregato NVK, generuojamos šilumos kiekis, elektros sąnaudos priklausomai nuo kondensato slėgio į kondensato išpurškimo purkštukus. Šiuo atveju deguonies kiekis dūmuose 7,2 %, kuro drėgmė 40,18 %, dūmų temperatūra į DKE – 159,15 °C, rasos taško temperatūra 56,86 °C.

Atliktų matavimų duomenys pateikti A2 priede.



6.3 pav. Agregato NVK ir elektros sąnaudų kitimas priklausomai nuo kondensato slėgio į purkštukus

Paaiškinimai:

*1** - slėgis į purkštukus 1 bar, uždarytos dvi pusės kondensato išpurškimo sklendės;*

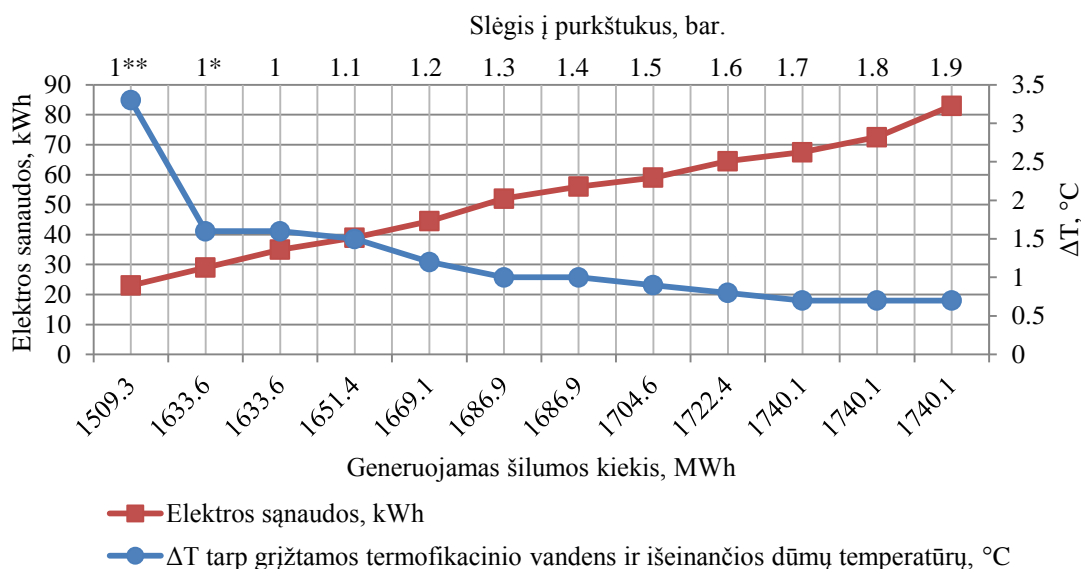
1 - slėgis į purkštukus 1 bar, uždaryta viena šaltos pusės kondensato išpurškimo sklendė;*

1 – slėgis į purkštukus 1 bar, toliau visos kondensato išpurškimo sklendės atidarytos, keičiamas kondensato slėgis į purkštukus.

6.3 pav. pateikti duomenys, kaip kinta elektros sąnaudos ir agregato NVK priklausomai nuo kondensato slėgio į purkštukus. Kaip matyti 6.3 pav. didinant kondensato slėgį į purkštukus

agregato NVK didėja, tačiau taip pat didėja ir suvartojamos elektros energijos sąnaudos. Šiuo atveju slėgį padidinus iki 1,7 bar agregato NVK atitinkamai 103,34 %, toliau didinant slėgį agregato NVK nesikeičia, bet didėja elektros energijos sąnaudos, todėl didinti išpurškiamo kondensato slėgį daugiau nei 1,7 bar nenaudinga.

6.4 pav. pateikti duomenys kaip daugiau aušinant dūmus t.y. mažinant temperatūrų skirtumą tarp grįžtančios termofikacinio vandens temperatūros ir išeinančios dūmų temperatūros galima sugeneruoti didesnę šilumos kiekį kondensaciniame ekonomizažeryje, taip pat atitinkamais momentais pateikti elektros suvartojimo duomenys. Kaip matyti 6.4 pav. mažiausias temperatūrų skirtumas 0,7 °C, kur ir yra didžiausias agregato NVK.



6.4 pav. Pagaminamo šilumos kiekio priklausomybė nuo temperatūrų skirtumo tarp grįžtamo termofikacinio vandens ir išeinančios dūmų temperatūros, ir elektros sąnaudų

Taigi didinant slėgį į kondensato išpurškimo purkštukus NVK pagerėja nuo 102,88 % iki 103,34 %, kadangi dūmų ataušinimo temperatūra atitinkamai sumažėja nuo 41,2 °C iki 38,3 °C, tačiau elektros sąnaudos padidėja nuo 23 kWh iki 83 kWh. Vadinasi NVK pagerėja 0,46 %, dūmų ataušinimo temperatūra nukrenta 2,9 °C, tačiau elektros sąnaudos padidėja 60 kWh.

Tam, kad apskaičiuoti kada efektyviausia dirbti į skaičiavimus įvedamos piniginės vartojamos elektros energijos ir parduodamos šilumos energijos išraiškos. Išvedama formulė pelno efektui EUR apskaičiuoti:

$$P = Q_{DKE} \times K_{kWh} \times \frac{NVK}{100} - Q_{el.} \times K_{el.kWh}. \text{ EUR}; \quad (6.6)$$

Čia:

Q_{Katilo} – esamo katilo galia, kW;

Q_{DKE} – dūmų kondensacinio ekonomizaizerio pagaminama šiluma, kWh (skaičiuojama pagal I-d);

K_{kWh} - parduodamos pagamintos šilumos kWh kaina, EUR;

K_{kuro} – perkamo kuro kaina, EUR/t;

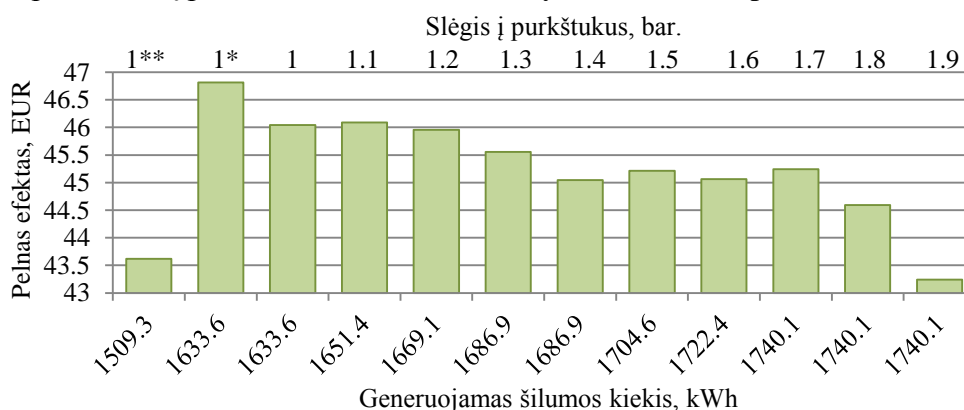
NVK – agregato naudingumo koeficientas (katilas + ekonomizaizeris), %;

$Q_{el.}$ – suvartotas elektros kiekis atitinkamam šilumos kiekius DKE pagaminti, kWh;

$K_{el.kWh}$ – elektos kWh kaina, EUR.

Pagal 6.6 formulę įsivedus į skaičiavimą pinigines išraiškas, kur elektros kaina 0,129 EUR/kWh [20], parduodamos šilumos kaina 0,03 EUR/kWh (kuro kainos galima nevertinti, kadangi DKE nėra kurą deginantis įrenginys), gaunami rezultatai jog efektyviausia dirbti antruoju atveju t.y. laikant vieną „šaltos“ pusės kondensato išpurškimo sklendę uždarytą, o slėgį į purkštukus 1 bar nes tuo atveju pelno efektas yra didžiausias. Rezultatai atvaizduoti 6.5 pav.

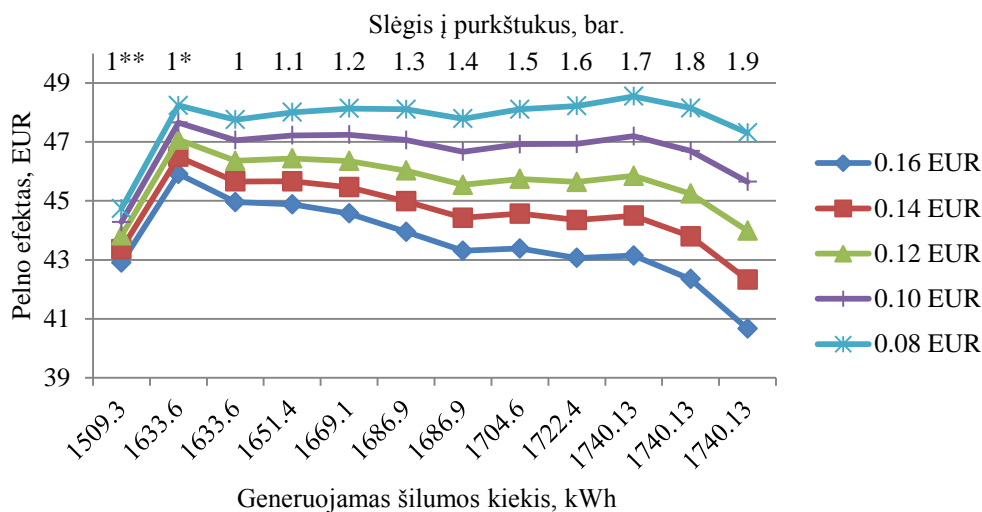
Išanalizavus gautus duomenis nustatyta jog šiuo atveju efektyviausia dirbti laikant uždarytą vieną „šaltos“ pusės kondensato išpurškimo sklendę ir nustačius slėgį į purkštukus 1 bar, kadangi šiuo atveju pelno efektas didžiausias. Sakykime jeigu dirbama pačiu neoptimaliausiu variantu kai slėgis į purkštukus 1,9 bar, pelno efektas 43,24 EUR, o optimaliausiu atveju pelno efektas – 46,81 EUR, vadinasi per valandą prarandama 3,57 EUR ir jeigu katilas dirba 8000 valandų per metus kaip dažniausiai nurodoma projektinėse sąlygose per metus atitinkamai prarandama 28560 EUR. Jeigu slėgis į purkštukus 1,3 bar kur pelno efektas 45,55 EUR per valandą prarandama 1,26 EUR, kas yra 10080 EUR per metus.



6.5 pav. Esamuoju atveju pelno efekto kitimas priklausomai nuo kondensato slėgio į purkštukus

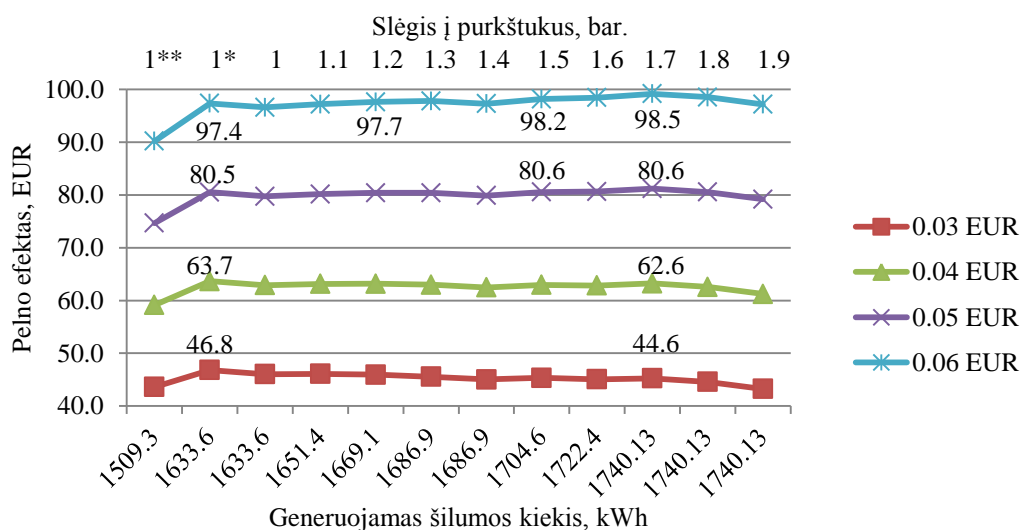
Tačiau pasikeitus parduodamos šilumos arba vartojamos elektros energijos kWh kainai pelno efekto optimalumo taškas gali pasikeisti. Toliau grafikuose atvaizduoti skaičiavimų rezultatai kaip keistūsi pelno efekto optimalumo taškas priklausomai nuo elektros kWh kainos ir parduodamos šilumos kWh kainos.

6.6 pav. apskaičiuota kaip kinta pelnas priklausomai nuo vartojamos elektros energijos kainos. Kaip matyti 6.6 pav. vartojant pigią elektros energiją labiau apsimoka pagaminti didesnį šilumos kiekį nors ir sunaudojant gerokai didesnį elektros energijos kiekį. Elektros energijos kWh kainai atpigus iki 0,08 EUR/kWh pasikeičia pelno efekto optimalumo taškas. Šiuo atveju priimta, kad kinta tik elektros kaina, šiluma parduodama už 0,03 EUR/kWh.



6.6 pav. Pelno efektas besikeičiant elektros energijos kainai

6.7 pav. parodyta kaip priklauso pelnas nuo parduodamos kWh kainos. Didėjant parduodamos kWh kainai svarbiausia tampa pagaminti kuo daugiau šilumos ir suvartojamos elektros energijos kaina nebeturi tokios didelės įtakos todėl pelno efekto optimalaus taško pozicija pasikeičia.



6.7 pav. Pelno efektas besikeičiant parduodamos šilumos kainai

Parduodamos šilumos energijos kWh kainai pasiekus 0,05 EUR/kWh pelno efekto optimalumo taškas pasikeičia ir tampa pelningiau gaminti didesnį šilumos kiekį sunaudojant

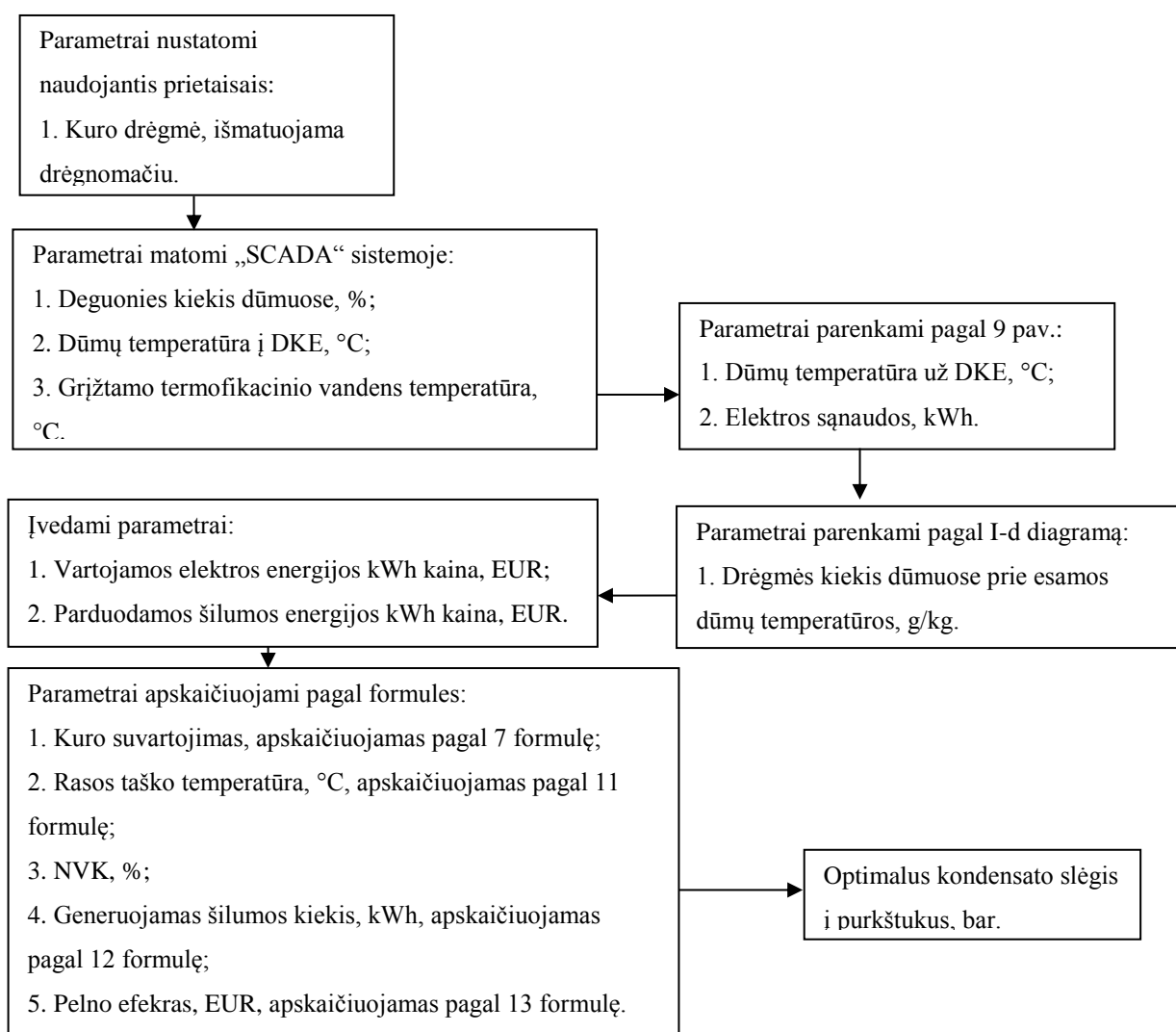
daugiau elektros energijos, šiuo atveju priimta, kad elektros kaina 0,129 EUR/kWh, skaičiavimuose keičiama tik parduodamos šilumos energijos kaina.

6.3. Kondensacinio ekonomizerio šilumos generavimo proceso optimizavimo programos sudarymas

Kaip minėta 6.2 poskyryje dirbant su kondensaciniu ekonomizeriu ne pačiu optimaliausiu režimu yra prarandama nemaža dalis pelno efekto. Tam tikslui, kad kondensacinis ekonomizeris visada dirbtų pačiu optimaliausiu režimu galima sudaryti programą kurios tikslas nustatyti koks šiuo metu galimas didžiausias pelno efektas priklausomai nuo visų jį įtakančių parametru.

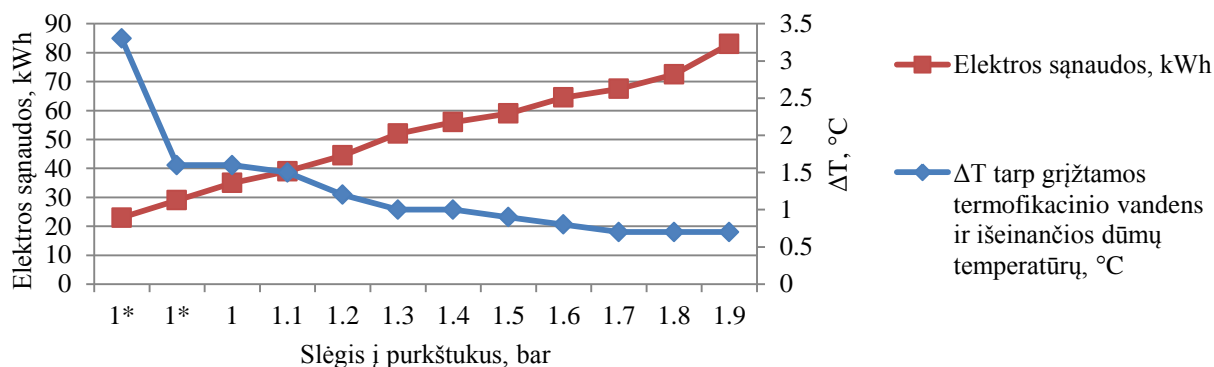
Įvedus visus duomenis ir skaičiavimus į kompiuterinį variantą yra įmanoma sudaryti programą kuri atlikus tam tikrus skaičiavimus automatiškai parinktų koku kondensato išpurškimo slėgiu esamu atveju efektyviausia dirbti ir kada pelno efektas didžiausias.

Toliau pateikiamas tokios programos sudarymo modelis.



6.8 pav. Optimizavimo programos modelis

Pritaikant 6.9 pav. Pateiktą grafiką ir žinant grįžtamo termofikacinio vandens temperatūrą galima sužinoti kokia bus išeinančių dūmų temperatūra priklausomai nuo kondensato slėgio į purkštukus bei kokios bus elektros energijos sąnaudos.

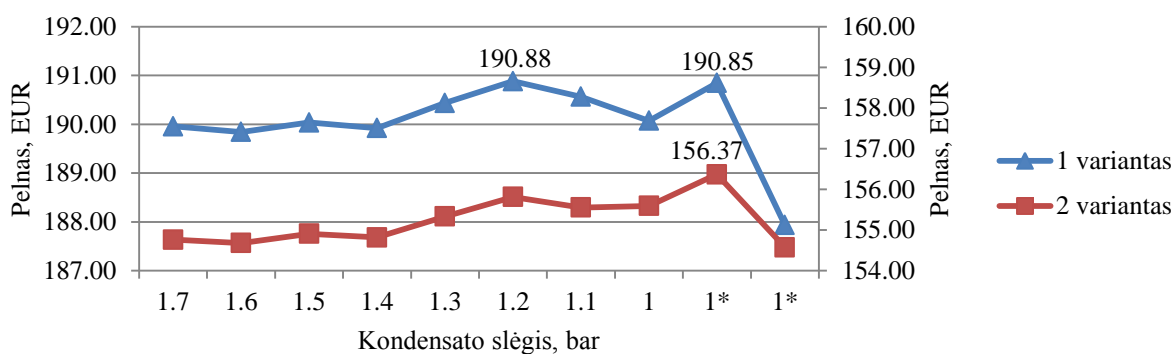


6.9 pav. Elektros sąnaudų ir temperatūrų skirtumo tarp grįžtamo termofikacinio vandens ir išeinančios dūmų temperatūros priklausomybė nuo kondensato slėgio į purkštukus

Pelno efekto optimalumo taškas gali pasikeisti netik pakitus elektros energijos ar parduodamos šilumos kainoms, tačiau ir kinkant besikeičiant katilo apkrovimui, kintant dūmų temperatūrai, deguonies kiekiui ar kuro drėgmei. 6.9 pav. pateikiami duomenys kaip nekintant vartojamos elektros energijos ar parduodamos šilumos energijos kainai pasikeičia pelno efektas. 6.2 lentelėje pateikti esamų režimų duomenys.

6.2 lentelė. Esamų režimų duomenys

Eil. Nr.	Rasos taško T, °C	Kuro drėgmė, %	O ₂ , %	Dūmų T į DKE, °C	Grįžtama vandens T, °C	NVK, %	Δd, g/kg	Q, kWh
1	59,63	50	8	170	39	102,89	113	1861,86
2	53,41	41	9	140	42	102,85	45	689,90



6.10 pav. Pelno efekto optimalumo taško kitimas nekintant vartojamas elektros energijos ir parduodamos šilumos kainai

Kaip matyti 6.10 pav. 1 atveju optimaliausia dirbti nustačius kondensato slėgį į purkštukus 1,2 bar. 2 atveju – 1 bar ir uždaryti vieną purkštukų sklendę nes tuo atveju pelno efektas bus didžiausias.

7. KATILO DKVR TECHNOLOGINIŲ PARAMETRŲ SKAIČIAVIMAS

Pagal 3.2 lentelėje pateiktus katilų NVK skaičiavimų rezultatus pastebina, kad dūmų temperatūra po katilo KOMFORTS yra beveik du kartus žemesnė nei po katilo DKVR taip yra dėl to, kad nagrinėjamu atveju katilas DKVR yra 1962 m. gamybos, o katilas KOMFORTS 2014 m. gamybos. Vadinasi katilą DKVR pakeitus tokiu pat kaip katilas KOMFORTS ženkliai sumažėtų šilumos nuostoliai su išeinančiais dūmais bei šilumos nuostoliai į aplinką.

Įvertinus, kad po katilo KOMFORTS dūmai patenka tiesiai į kaminą, o po katilo DKVR dūmai prieš patekdami į katilą patenka į sauso tipo ekonomaizerį. Tokiu atveju ženkliai sumažės dūmų temperatūra po sauso tipo ekonomaizerio kuri gali būti artima rasos taško temperatūrai. Tačiau STE ir DKE vyksta skirtingo tipo šilumos generavimo procesai todėl norint sužinoti kuriame iš šių ekonomaizerių geriau pagaminti didesnę šilumos kiekį atliekamas skaičiavimas katilą DKVR pakeitus nauju dūmavamzdžiu katilu nustatyti.

Atlikus STE analizę buvo nustatyta jog vidutinis sauso tipo ekonomaizerio efektyvumas 6,2 % nuo katilo galios, dirbant su katilu DKVR, tačiau esant nominaliam katilo našumui dūmų temperatūra po katilo buvo 292,2 °C, pakeitus katilą DKVR į tokį patį kaip katilas KOMFORTS dūmų temperatūra po katilo esant nominaliam našumui 165 °C, todėl sauso tipo ekonomaizerio efektyvumas turėtų sumažėti. Apytiksliai koks bus sauso tipo ekonomaizerio efektyvumas nuo katilo galio galima apskaičiuoti pagal (7.1) formulę:

$$\frac{Q_2}{Q_1} \cong \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} \quad (7.1)$$

Čia:

Q_1 – generuojamas šilumos kiekis STE dibant katilui Nr. 1, kWh;

Q_2 – generuojamas šilumos kiekis STE dibant katilui Nr. 2, kWh;

Δt_1 – vidutinių termofikacinio vandens ir dūmų temperatūrų skirtumas STE dirbant katilui Nr. 1, °C;

Δt_2 – vidutinių termofikacinio vandens ir dūmų temperatūrų skirtumas STE dirbant katilui Nr. 2, °C.

Vidutinių termofikacinio vandens ir dūmų temperatūrų skirtumas STE apskaičiuojamas pagal (7.2) formulę:

$$\Delta t = t_{vid.dūmų} - t_{vid.vandens} \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (7.2)$$

Čia:

$t_{vid.dūmų}$ – dūmų prieš ir po STE temperatūrų skirtumas, $^\circ\text{C}$;

$t_{vid.vandens}$ – termofikacinio vandens prieš ir po STE temperatūrų skirtumas, $^\circ\text{C}$.

Žinoma, kad dirbant katilui DKVR dūmų temperatūra po katilo 292,2 $^\circ\text{C}$, sauso tipo ekonomaizerio efektyvumas 6,2 % nuo katilo galios kas sudaro 558 kW.

Žinoma, kad dirbant su katilu KOMFORTS nominaliu našumu dūmų temperatūra po katilo 165 $^\circ\text{C}$, vadinasi sauso tipo ekonomaizerio efektyvumas turėtų sumažėti proporcingai dūmų temperatūros sumažėjimui kas yra 1,77 karto. Vadinasi dirbant su katilu KOMFORTS sauso tipo ekonomaizerio efektyvumas būtų 3,5 % nuo katilo galios kas sudaro 280 kW. Katilų KOMFORTS ir DKVR termofikacinio vandens temperatūros bei dūmų temperatūros turėtų būti proporcingos kurios apskaičiuojamos pagal (7.2) formulę:

$$\Delta t_2 = (292,2 - 124,3) - (74,04 - 64) \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (7.2)$$

$$\Delta t_2 = 157,86 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (7.2)$$

Termofikacinio vandens temperatūra į STE priimama 64 $^\circ\text{C}$, nes šiuo atveju rasos taško temperatūra 63,43 $^\circ\text{C}$. Termofikacinio vandens temperatūra po STE apskaičiuojama pagal (7.3) formulę.

Toliau pagal (7.1) formulę apskaičiuojama Δt_1 :

$$\frac{558}{280} \cong \frac{157,86}{\Delta t_1} \quad (7.1)$$

Tuomet Δt_1 bus:

$$1,99 = \frac{157,86}{\Delta t_1} \quad (7.1)$$

$$\Delta t_1 = 79,39 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (7.1)$$

Pagal (7.3) formulę apskaičiuojama kokia bus termofikacinio vandens temperatūra po STE:

$$Q = 1.163 * q * (t_2 - t_1) \text{ kW}; \quad (7.3)$$

Čia:

Q – ekonomaizerio galia, kW;

q – termofikacinio vandens srautas, m^3 (47,8 m^3 esant nominaliam katilo našumui);

t_1 – termofikacinio vandens temperatūra prieš STE, °C;

t_2 – termofikacinio vandens temperatūra po STE, °C.

Apskaičiuojama termofikacinio vandens temperatūra po STE esamu atveju:

$$t_2 = \frac{Q + 1,163 * q * t_1}{1,163 * q} \text{ °C}; \quad (7.3)$$

$$t_2 = 66.03 \text{ °C}. \quad (7.3)$$

Atlikus dirbančio STE duomenų analizę nustatyta jog vidutinis termofikacinio vandens srautas per STE – 47,8 m^3 . Termofikacinio vandens temperatūra prieš STE turi būti aukštesnė už rasos taško temperatūrą, kad neprasidėtų kondensacija ir šildymo paviršiai nebūtų užnešti pelenais. Esant katilo galiai 8 MW (pagal NVK skaičiavimą 3.2 lentelėje) rasos taško temperatūra 60,16 °C, todėl termofikacinio vandens temperatūra prieš STE priimama 61 °C.

Žinant t_2 bei Δt_2 galima apsiskaičiuoti kokia bus dūmų temperatūra po STE:

$$\Delta t_2 = (165 - x) - (66.03 - 61) \text{ °C}; \quad (7.2)$$

$$79.39 = (165 - x) - 5.03 \text{ °C}; \quad (7.2)$$

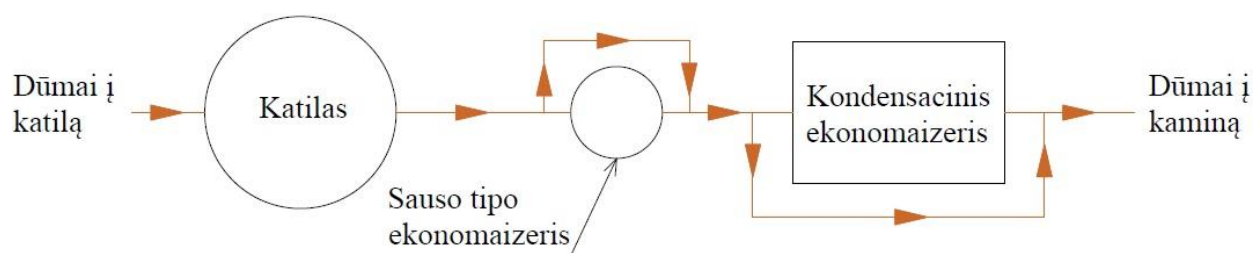
$$x = 80.58 \text{ °C}. \quad (7.2)$$

Rezultate gaunama jog pakeitus katilą DKVR nauju dūmavamzdžiu katilu kurio darbo parametrai būtų analogiški katilui KOMFORTS, dūmų temperatūra po sauso tipo ekonomaizerio bus 80,58 °C, termofikacinio vandens temperatūra – 65,03 °C. Sauso tipo ekonomaizeryje bus sugeneruojama 280 kWh šilumos.

Pagal gautus rezultatus kurie pateikti 7.1 lentelėje nustatyta jog dūmų temperatūra po STE prie bet kokio katilo apkrovimo visada yra aukštesnė už rasos taško temperatūrą, todėl jaudintis, kad šildymo paviršiai bus užnešti pelenais neverta.

7.1. Katilo darbo schemos efektyvumo skaičiavimas

Kadangi sauso tipo ir kondensaciniame ekonomizaizeryje yra skirtingi šilumos generavimo principai buvo atliktas skaičiavimas ar tikslingiau dūmus po katilo praleisti pro STE ir tada per DKE ar suprojektuoti dūmų apėjimo liniją STE ir dūmus po per apėjimo liniją iškarto praleisti per DKE (schema parodyta 7.1 pav.). Atlikus skaičiavimą nustatyta, kad jeigu dūmai po STE prieš patekdami į aplinką pateks į DKE tokiu atveju papildomai iš dūmų likutinės šilumos DKE bus sugeneruojama (rasos taškas 57,07 %) 1033,07 kWh, vadinasi bendrai (esant katilo galiai 8 MW) bus $8000 + 280 + 1033,07 = 9313,07$ kWh, jei dūmai eitų per sauso tipo ekonomizaizerio apėjimą būtų sugeneruojama $8000 + 1322,22 = 9322,22$ kWh.

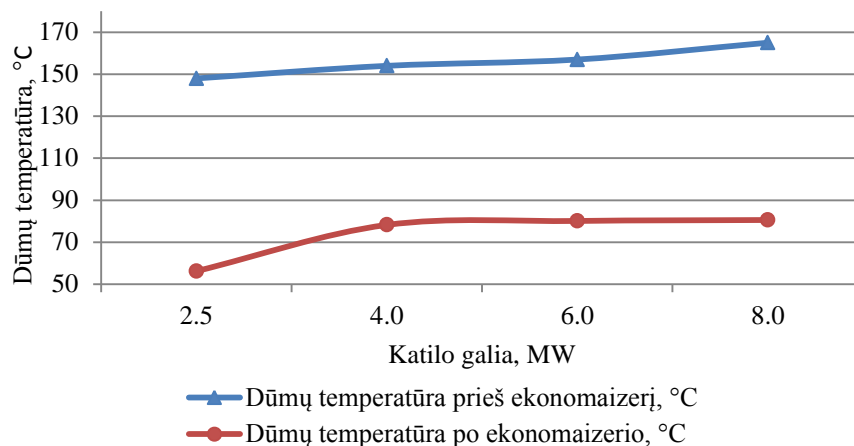


7.1 pav. Principinė katilinės dūmtakių schema

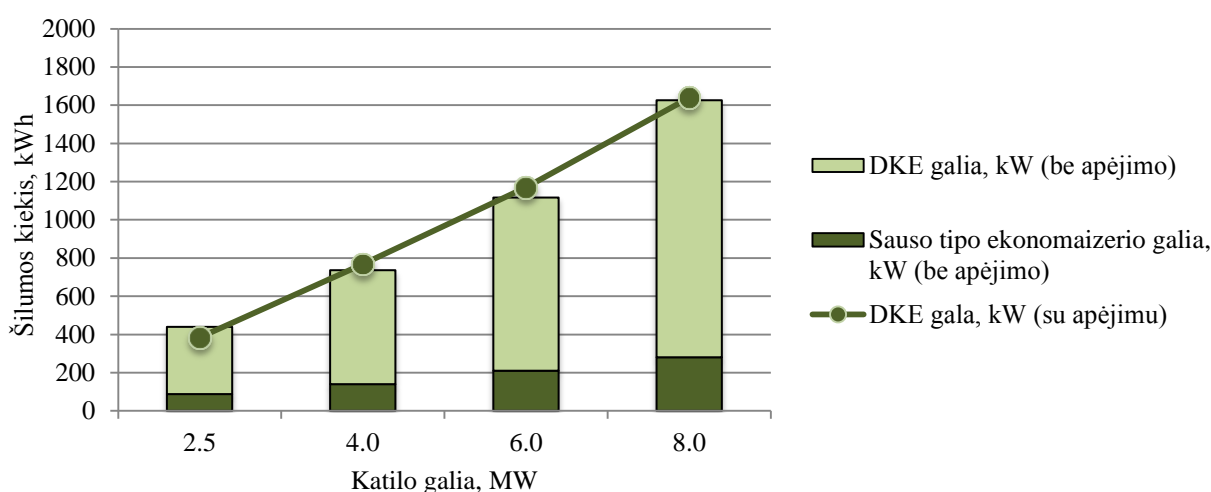
Skaičiavimo rezultatai pateikiami 7.1 lentelėje. Nustatyta, kad dūmus leidžiant iškarto į DKE pagaminamas šiek tiek didesnis šilumos kiekis visais katilo darbo režimais. Tačiau skirtumas yra nedidelis todėl galima teigti, kad pagaminamas kiekis yra vienodas tačiau yra skaičiavimų paklaida.

7.1 lentelė. Katilo darbo schemos skaičiavimų rezultatai

Katilo galia, MW	Rasos taško temperatūra, °C	STE galia, kW	Termofikacinio vandens srautas per STE, m ³	Termofikacinio vandens temperatūra prieš STE, °C	Termofikacinio vandens temperatūra po STE, °C	Dūmų temperatūra prieš STE, °C	Dūmų temperatūra po STE, °C	Generuojamas šilumos kiekis DKE, kWh (be apėjimo)	Generuojamas šilumos kiekis DKE, kWh (su apėjimu)	Generuojamas šilumos kiekis, kWh (be apėjimo)	Generuojamas šilumos kiekis, kWh (su apėjimu)
2,5	53,26	87,5	14,9	54	59,05	148,00	56,21	264,62	384,05	2852,12	2884,05
4,0	56,57	140	23,9	57	62,04	154,00	78,23	595,99	768,03	4735,99	4768,03
6,0	58,72	210	35,9	59	64,03	157,00	80,12	907,12	1169,57	7117,12	7169,57
8,0	60,16	280	47,8	61	66,03	165,00	80,58	1346,51	1639,39	9626,51	9639,39



7.2 pav. Dūmų temperatūrų prieš ir po sauso tipo ekonomizaizerio kitimas priklausomai nuo katilo galios



5 pav. Generuojamos likutinės šilumos panaudojimo galimybės

7.2. Elektros suvartojimo skirtingo tipo ekonomizaizeriuose skaičiavimas

Pagal 7.1 poskyryje gautus duomenis nustatyta jog nesvarbu ar dūmai praeis per STE ir toliau per DKE ar dūmai po katilo per STE dūmų apėjimo liniją pateks tiekiai į DKE vis tiek bus sugeneruotas tas pats šilumos kiekis. Tačiau STE ir DKE šilumos generuoti vartoja tam tikrą elektros energijos kiekį todėl tą įvertinus atliekamas skaičiavimas kuriame įrenginyje optimaliau gaminti šilumą.

Pagal A1 priede pateiktus gautus DKE elektros suvartojimo rodiklius nustatyta jog vidutinės elektros sąnaudos DKE yra 25 kWh/MWh.

Norint teoriškai nustatyti STE elektros suvartojimą reikia įvertinti visus STE generuojamam šilumos kiekiui reikalingus įrenginius vartojančius elektros energiją. Įrenginių parametrai pateikti 7.2 lentelėje. Atliekant skaičiavimą priimama, kad katilas dirba 8,0 MW galia, STE galia 0,28 MW, DKE galia 1,35 MW.

7.2 lentelė. STE pagalbinių įrenginių technologiniai parametrai

Eil. Nr.	Įrenginys	Našumas, m ³ /h	Elektros variklio galia, kW
1.	Dūmsiurbis	31200	75,0
2.	Ekonomaizerio recirkuliacinis siurblys	125	11,0
3.	Oro kompresorius	0,96	7,5

Dūmsiurbio elektros suvartojimas.

Žinoma jog katilo DKVR visų įrenginių aerodinaminis pasipriešinimas ~2200 Pa. STE pasipriešinimas ~300 Pa. Šiuo atveju dūmsiurbio suvartojama elektros energija preliminariai ~60 kW, pakeitus katilą nauju aerodinaminis pasipriešinimas sumažės, katilo KOMFORTS įrenginių aerodinaminis pasipriešinimas ~1000 Pa. Taigi dūmsiurbio suvartojama elektros energiją pakeitus katilą nauju dirbant be STE bus 27,27 kW, o su STE - 35,45 kW.

Ekonomaizerio recirkuliacinio siurblio elektros suvartojimas.

Žinoma jog srautas per ekonomaizerį skaičiuojamu atveju 47,8 m³, vadinasi elektros suvartojimas bus 4,21 kW.

Oro kompresoriaus suvartojama elektros energija:

Oro kompresorius naudojamas STE dūmų vamzdžių apipūtimo sistemai, kadangi STE kaip ir dūmavamzdžiame katile reikalinga dūmų vamzdžius nupūsti suspaustu oru taip nuvalant susikaupusias sąnašas. Oro kompresorius dirba apie pusę laiko vadinasi elektros suvartojimas bus 3,75 kW.

Susumavus gautus rezultatus gauta jog STE norint pagaminti 280 kW šilumos reikia sunaudoti 16,14 kWh. Vadinasi STE elektros rodiklis 57,6 kWh/MWh.

Tačiau sauso tipo ekonomaizeryje gaunama aukštesnio potencialo šiluma. Kadangi po STE išeina aukštesnės temperatūros termofikacinis vanduo nei DKE, tačiau mažesnis vandens srautas.

1 atvejis jei dirbama su STE ir DKE ir katilu.

Esamu atveju jei generuojamas šilumos kiekis katile 8000 kWh, STE – 280 kWh, DKE - 1346,51 kWh. Grįžtama termofikacinio vandens temperatūra 40°C, paduodama termofikacinio vandens temperatūra 70 °C, grįžtamas termofikacinio vandens srautas 276 m³.

Pagal (7.3) formulę apskaičiuota, kad tokiu atveju termofikacinio vandens temperatūra po DKE bus 44,2 °C.

Pagal (7.4) formulę apskaičiuojama kokias bus termofikacinio vandens temperatūra prieš katilą:

$$\frac{t_{Po STE} * q_{STE}}{q_{bendras}} + \frac{t_{Po DKE} * q_{DKE}}{q_{bendras}} = t_{Prieš katilą} \text{ } ^\circ\text{C} \quad (7.4)$$

$$\frac{66,03 \cdot 47,8}{276} + \frac{44,2 \cdot 276}{276} = 55,64 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (7.4)$$

Čia:

$t_{Po STE}$ – termofikacinio vandens temperatūra po STE, $^\circ\text{C}$;

$t_{Po DKE}$ – termofikacinio vandens temperatūra po DKE, $^\circ\text{C}$;

q_{STE} – termofikacinio vandens srautas per STE, $\text{m}^3/\text{val.}$;

q_{DKE} – termofikacinio vandens srautas per DKE, $\text{m}^3/\text{val.}$;

$q_{bendras}$ – termofikacinio vandens srautas per katilo agregatą, $\text{m}^3/\text{val.}$

Atlikus skaičiavimą nustatyta jog termofikacinio vandens temperatūra prieš katilą bus 55,64 $^\circ\text{C}$.

Tačiau prieš katilą reikia palaikyti termofikacinio vandens temperatūrą ne žemesnę kaip 90 $^\circ\text{C}$. Tam naudojama termofikacinio vandens recirkuliacija. Pagal (7.5) formulę apskaičiuojamas reikalingas recirkuliacijos debitas palaikyti šiai temperatūrai.

$$\frac{t_{Po DKE} \cdot q_{DKE}}{q_{bendras} + q_{rec}} + \frac{t_{Po katilo} \cdot q_{rec}}{q_{bendras} + q_{rec}} = t_{Prieš katilą} \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (7.5)$$

Čia:

$t_{Po katilo}$ - termofikacinio vandens temperatūra po katilo (primama 120 $^\circ\text{C}$), $^\circ\text{C}$;

$t_{Prieš katilą}$ - termofikacinio vandens temperatūra prieš katilą (primama 90 $^\circ\text{C}$), $^\circ\text{C}$.

$$\frac{55,64 \cdot 276 + 120 \cdot q_{rec.}}{276 + q_{rec.}} = 90 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (7.5)$$

$$q_{rec.} = 315 \text{ } \text{m}^3/\text{val.} \quad (7.5)$$

Čia:

$q_{rec.}$ – recirkuliuojamo termofikacinio vandens debitas, $\text{m}^3/\text{val.}$

2 atvejis jei dirbama DKE ir katilu.

Šiuo atveju katile pagaminama 8000 kWh, o DKE – 1639 kWh. Pagal (7.3) formulę apskaičiuojama termofikacinio vandens temperatūra po DKE. Termofikacinio vandens temperatūra prieš katilą bus lygi termofikacinio vandens temperatūrai po DKE, kadangi šiuo atveju dirbama be STE.

Pagal (7.5) formulę apskaičiuojamas reikalingas recirkuliacijos debitas:

$$\frac{45,11 \cdot 276 + 120 \cdot q_{rec.}}{276 + q_{rec.}} = 90 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (7.5)$$

$$q_{rec.} = 412 \text{ m}^3/\text{val}. \quad (7.5)$$

Dirbant su STE reikalingas mažesnis recirkuliuojamo termofikacinio vandens debitas norint pakelti temperatūra prieš katilą iki reikiamos, ko pasekoje recirkuliacinis siurblys suvartos mažiau elektros energijos. Apskaičiavus recirkuliacinio siurblio prie esamų debitų elektros suvartoją nustatyta:

1 atveju esant recirkuliacijos debitui 315 m^3 bus suvartota 7,7 kWh elektros energijos.

2 atveju esant recirkuliacijos debitui 412 m^3 bus suvartota 10,07 kW elektros energijos.

Atlikus skaičiavimus nustatyta, kad dirbant kartu su DKE ir STE suvartojamas elektros energijos kiekis 57,58 kWh, o dirbant per STE dūmų apėjimo liniją suvartojama 51,07 kWh elektros. Apskaičiuota, kad abiem atvejais sugeneruojamas toks pats šilumos kiekis, vadina dirbti su STE yra ekonomiškai nenaudinga.

7.3. Gamintojo reikalavimų užtikrinimas

Tačiau pagal šio tipo DKE gamintoją dūmų temperatūra į ekonomazerį negali būti žemesnė nei $90 \text{ } ^\circ\text{C}$, o gavus rezultatus ji visuomet yra žemesnė už šia ribą. DKE gamintojas teigia, kad tokia temperatūros riba yra nes esant žemesnei dūmų temperatūrai susidaro juodos dervos kvapo putos. Užtikrinti, kad būtų laikomasi gamintojo reikalavimų atliekamas skaičiavimas priimant, kad dūmų temperatūra po sauso tipo ekonomazerio negali būti žemesnė už $100 \text{ } ^\circ\text{C}$. Tokia temperatūra priimama todėl nes kintant kuro kaloringumui bei kitiems parametrams dūmų temperatūra po katilo gali pasikeisti todėl norint užtikrinti, kad dūmų temperatūra po sauso tipo ekonomazerio nepasiektų $90 \text{ } ^\circ\text{C}$, skaičiavimuose priimam $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ temperatūros riba.

Pagal (7.2) formulę priėmus minimalią dūmų temperatūra po sauso tipo ekonomazerio $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ apskaičiuojamas galimas sugeneruoti šilumos kiekis sauso tipo ekonomazeriye.

$$\Delta t_2 = (165 - 100) - (66.03 - 61) \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (7.2)$$

$$\Delta t_2 = 59,97 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (7.2)$$

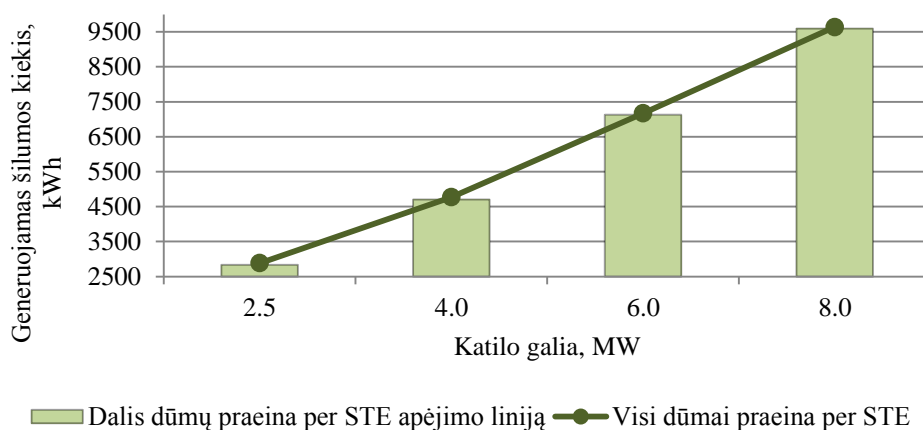
$$\frac{558}{Q_1} \cong \frac{157.86}{59,97} \quad (7.1)$$

$$Q_1 = 216,1 \text{ kW}; \quad (7.1)$$

Tačiau esant katilo apkrovimui 8 MW susidaręs šilumos kiekis kurį galima sugeneruoti sauso tipo ekonomizaizeryje 280 kW, vadinasi nereikalingus 63,9 kW reikia nukreipti per sauso tipo ekonomizaizerio apėjimo liniją. Skaičiavimų rezultatai pateikiami 7.3 lentelėje.

7.3 lentelė. Gamintojo reikalavimų užtikrinimo skaičiavimų rezultatai

Katilo galia, MW	Rasos taško temperatūra, °C	Termofikacinio vandens srautas per STE, m ³	Termofikacinio vandens temperatūra prieš STE, °C	Termofikacinio vandens temperatūra po STE, °C	Dūmų temperatūra prieš STE, °C	Dūmų temperatūra po STE, °C	Generuojamas šilumos kiekis DKE, kWh	Generuojamas šilumos kiekis STE, kWh	Generuojamas šilumos kiekis, kWh (su apėjimu)
2,5	53,26	14,9	54,0	56,63	148,0	100,0	270,44	64,7	2835,14
4,0	56,57	23,9	57,0	62,84	154,0	100,0	601,28	101,2	4702,48
6,0	58,72	35,9	59,0	64,03	157,0	100,0	983,49	147,5	7130,99
8,0	60,16	47,8	61,0	66,03	165,0	100,0	1380,53	216,1	9596,63



7.3 pav. Generuojamo šilumos kiekio palyginimas daliai dūmų praeinant per STE apėjimo liniją ir visiems dūmams praeinant per STE

Esant tokiems gamintojo reikalavimams be dūmų apėjimo linijos apie STE neišsiverčiama. Tokiu atveju galima suprojektuoti sistemą kurioje būtų dūmų apėjimo linija apie sauso tipo ekonomizaizerį kurioje reikėtų įrengti dūmų užsklanda ir padaryti, kad ši dūmų užsklanda būtų valdoma pagal dūmų temperatūrą po sauso tipo ekonomizaizerio. Dūmų temperatūrai po sauso tipo ekonomizaizerio krentant žemiau užduotos ribos dūmų užsklanda būtų atidaroma daugiau, kad pakelti šią temperatūrą. Temperatūrai kylant virš užduotos ribos dūmų užsklanda būtų pridaroma, kad pasiekti reikiamą temperatūrą.

8. ŠILUMOS NUOSTOLIAI Į APLINKĄ

Atliekant 8 MW galios biokuro katilo su kondensaciniu ekonomizaizeriu analizę buvo pastebėta, kad tarp dūmų temperatūros po katilo ir prieš DKE yra temperatūrinis skirtumas. Šis

temperatūrų skirtumas atsiranda dūmams praėjus per 39,46 m ilgio vamzdyną bei multicikloną kur prarandamas tam tikras šilumos kiekis.

Tam, kad apskaičiuoti kokį šilumos kiekį yra sukaupę dūmai prie tam tikros jų temperatūros skaičiuojama dūmų entalpija.

Kurui degant išsiskyrusi šiluma naudojama degimo produktams šildyti, t.y. jų entalpijai didinti. Degimo produktų entalpija sutarta vadinti šilumos kiekį, kurį reikia sunaudoti pastovaus slėgio procese, kad kuro kiekio vieneto (kg ar m³) degimo produktų temperatūra pakiltų nuo 0°C iki t °C. Kadangi degimo produktų komponentų savitosios šiluminės talpos nevienodos, tai jų entalpijas reikia apskaičiuoti atskirai, o po to sudėti [13-19].

Degimo produktų entalpija sudegus 1 kg kuro kai $\alpha = 1$, apskaičiuojama pagal (8.1) formulę:

$$I_d^t = (V_{RO_2} \times C_{RO_2} + V_{N_2}^t \times C_{N_2} + V_{H_2O}^t \times C_{H_2O}) \times t_d; \text{ kJ/kg}; \quad (8.1)$$

Čia:

V_{RO_2} – triatomų dujų turis, m³/kg;

$V_{N_2}^t$ – azoto tūris kai $\alpha = 1$, m³/kg;

$V_{H_2O}^t$ – vandens garų tūris, m³/kg;

$C_{RO_2}, C_{N_2}, C_{H_2O}$ – tūrinė specifinė šiluma esant pastoviam slėgiui ir temperatūra;;

t_d – dūmų temperatūra., °C.

Teorinio oro kiekio entalpija apskaičiuojama pagal (8.2) formulę:

$$I_0^t = V_0^t \times C_0^{dr} \times t_d; \text{ kJ/kg}; \quad (8.2)$$

Degimo produktų entalpija sudegus 1 kg kuro, kaip $\alpha > 1$, apskaičiuojama pagal (8.3) formulę:

$$I_d = I_d^t + (\alpha - 1) \times I_0^t; \text{ kJ/kg}; \quad (8.3)$$

Šilumos nuostolių srautas (W/m) apskaičiuojamas pagal (8.4) formulę:

$$q = \frac{\pi(t_f - t_a)}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{2\lambda_k} \ln \frac{d_{k+1}}{d_k} + \frac{1}{\alpha d_{n+1}}} \text{ W/m}; \quad (8.4)$$

Čia:

t_f – vamzdžių tekančios terpės temperatūra, °C;

t_a – aplinkos temperatūra, °C;

λ_k – šilumos laidumo koeficientas, W/(m*K);

d_k – vamzdžio išorinis skersmuo, m;

d_{k+1} – vamzdžio išorinis skersmuo kartu su izoliacija, m;

α – šilumos atidavimo koeficientas.

Šilumos atidavimo koeficientas apskaičiuojamas pagal (8.5) formulę:

$$\alpha = 9,4 + 0,052(t_p - t_a) \quad (8.5)$$

Čia:

t_p – vamzdyno paviršiaus temperatūra, °C;

t_a – aplinkos temperatūra, °C.

Šilumos nuostoliai nuo plokščio paviršiaus apskaičiuojami pagal (8.6) formulę:

$$Q_5 = F_i \times \alpha_i \times (t_i - t_{apl.}) \text{ kJ}; \quad (8.6)$$

Čia:

F_i – sienelės plotas, m².

α_i – šilumos atidavimo koeficientas, W/m*K.

t_i – paviršiaus temperatūra, °C.

$t_{apl.}$ – aplinkos temperatūra, °C.

Dūmų srauto greitis apskaičiuojamas, apskaičiuojant dūmtakio skersmens plotą pagal (8.7) formulę:

$$S = \pi \times r^2 \text{ m}^2; \quad (8.7)$$

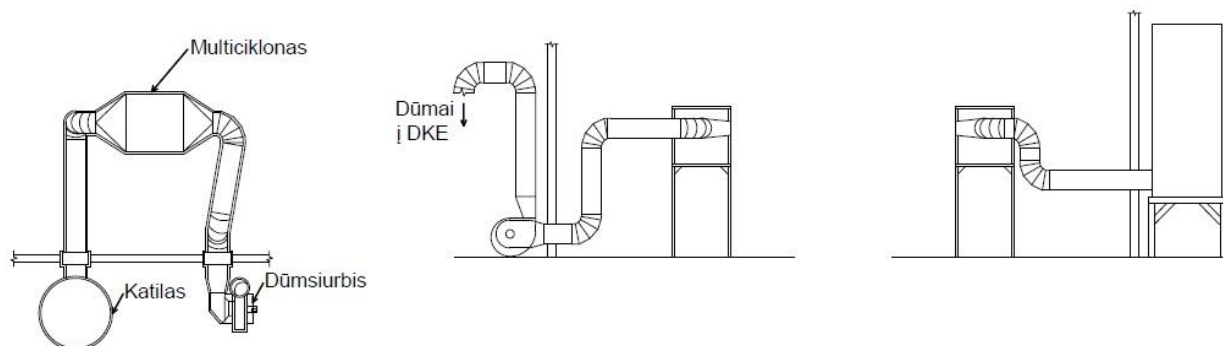
Valandinis dūmų srautas pratekantis dūmtakiu apskaičiuojamas pagal (8.8) formulę:

$$Q_{dūmų} = \frac{V_d \cdot B_{val}}{3600} \text{ m}^3/\text{h}; \quad (8.8)$$

Dūmų greitis apskaičiuojamas pagal (8.9) formulę:

$$V = \frac{Q_{dūmų}}{S} \text{ m/s;} \quad (8.9)$$

Atliekami skaičiavimai norint nustatyti koki yra esami nuostoliai per dūmų kanalą bei multicikloną kol dūmai iš katilo patenka į DKE.



8.1 pav. Esama situacija katilinėje

Skaičiavimai atlikti naudojant surinktus dirbančio katilo 2015 m. Sausio, Vasario, Kovo ir Balandžio mėn. duomenis. Skaičiavimuose priimta parduodamos šilumos kaina 0,03 EUR/kWh.

Skaičiavimai atlikti dviem atvejais priimant dvi skirtingas dūmtakių šilumos izoliacijas:

- Šilumos izoliacija armuotas demblis PAROC Wired Mat 65, kur šilumos laidumo koeficientas 0,0637 W/(m*K);
- Šilumos izoliacija armuotas demblis PAROC Pro Wired Mat 80 kur šilumos laidumo koeficientas 0,0586 W/(m*K).

2015 m. Sausio mėn. duomenys:

Katilo galia 8 MW, deguonies koncentracija dūmuose 6,73 %, dūmų temperatūra už katilo 169,18 °C, lauko oro temperatūra -0,3 °C, kuro drėgmė 41,89 %, kuro peleningumas 1,85 %, kuro kaloringumas 2299,59 kcal/kg, kuro suvartojimas 3478,25 kg/h, darbo valandos sausio mėn. – 744 val.

2015 m. Vasario mėn. duomenys:

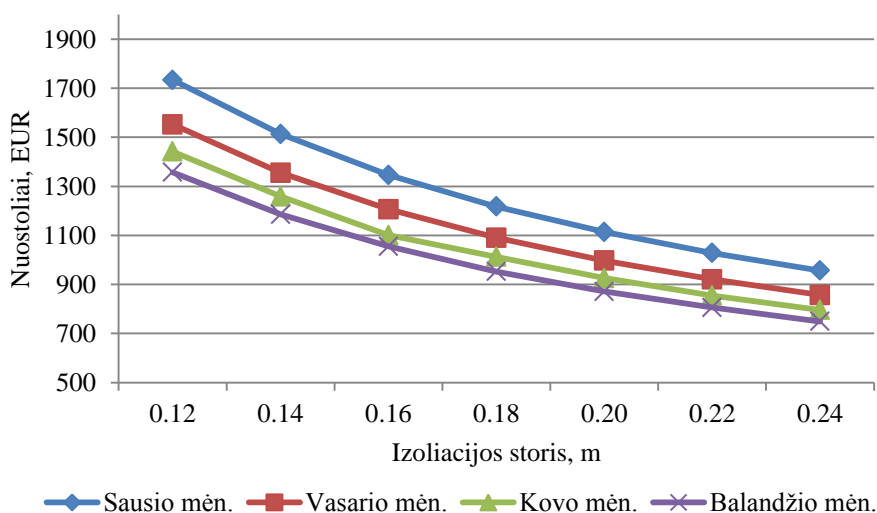
Katilo galia 8 MW, deguonies koncentracija dūmuose 6,71 %, dūmų temperatūra už katilo 166,30 °C, lauko oro temperatūra 0,1 °C, kuro drėgmė 40,33 %, kuro peleningumas 1,80 %, kuro kaloringumas 2384,47 kcal/kg, kuro suvartojimas 3354,44 kg/h, darbo valandos vasario mėn. – 672 val.

2015 m. Kovo mėn. duomenys:

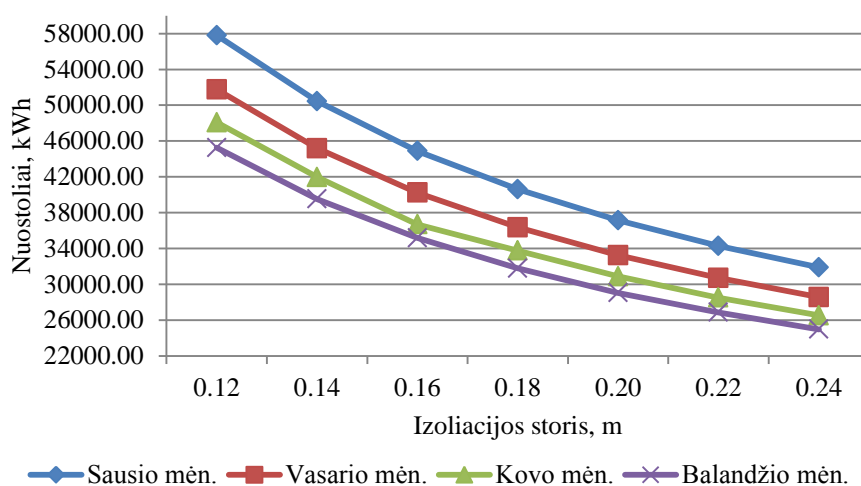
Katilo galia 8 MW, deguonies koncentracija dūmuose 6,65 %, dūmų temperatūra už katilo 162,50 °C, lauko oro temperatūra 5,3 °C, kuro drėgmė 42,05 %, kuro peleningumas 2,03 %, kuro kaloringumas 2390,60 kcal/kg, kuro suvartojimas 3391,91 kg/h, darbo valandos kovo mėn. – 744 val.

2015 m. Balandžio mėn. duomenys:

Katilo galia 8 MW, deguonies koncentracija dūmuose 6,82 %, dūmų temperatūra už katilo 171,48 °C, lauko oro temperatūra 6,9 °C, kuro drėgmė 43,30 %, kuro peleningumas 1,73 %, kuro kaloringumas 2223,70 kcal/kg, kuro suvartojimas 3596,96 kg/h darbo valandos balandžio mėn. – 720 val.



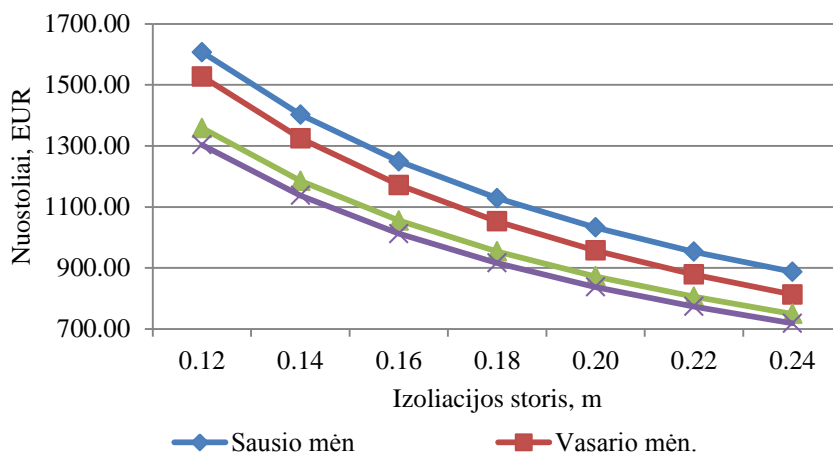
8.2 pav. Šilumos nuostoliai EUR priklausomai nuo šilumos izoliacijos storio (šilumos izoliacija PAROC Wired Mat 65)



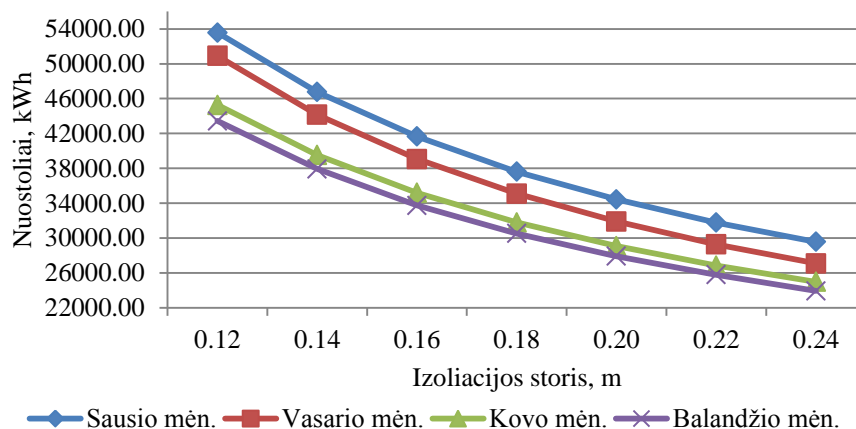
8.3 pav. Prarandamas šilumos kiekis kWh priklausomai nuo šilumos izoliacijos storio (šilumos izoliacija PAROC Wired Mat 65)

Atlikus skaičiavimus nustatyta jog esant šilumos izoliacijai PAROC Wired Mat 65 padidinus šilumos izoliacijos storį nuo 0,12 m iki 0,24 m šilumos nuostoliai per mėnesį

vidutiniškai sumažėja nuo 50717,81 kWh per mėnesį iki 27990,44 kWh kas sudarytų 22727,37 kWh, pinigine išraiška būtų sutaupoma 681,82 EUR per mėnesį. Skaičiavimų rezultatai pateikti A3 priede.



8.4 pav. Šilumos nuostoliai EUR priklausomai nuo šilumos izoliacijos storio (šilumos izoliacija PAROC Pro Wired Mat 80)



8.5 pav. Prarandamas šilumos kiekis kWh priklausomai nuo šilumos izoliacijos storio (šilumos izoliacija PAROC Pro Wired Mat 80)

Atlikus skaičiavimus nustatyta jog esant šilumos izoliacijai PAROC Pro Wired Mat 80 padidinus šilumos izoliacijos storį nuo 0,12 m iki 0,24 m šilumos nuostoliai per mėnesį vidutiniškai sumažėja nuo 48303,08 kWh per mėnesį iki 26393,17 kWh kas sudarytų 21909,91 kWh, pinigine išraiška būtų sutaupoma 657,30 EUR per mėnesį. Skaičiavimų rezultatai pateikti A4 priede.

Pagal gautus rezultatus nustatyta, kad prarandamas šilumos kiekis kWh mažėja didėjant šilumos izoliacijos storiui. Skaičiuojant šilumos nuostolius EUR, parduodamos šilumos kaina priimta 0,03 EUR/kWh.

Trečiuoju atveju apskaičiuota koki būti metiniai šilumos nuostoliai šiame dūmtakyje. Priimti duomenys 2015 m. pirmų keturių mėnesių katilo darbo parametru vidurkiai, lauko oro

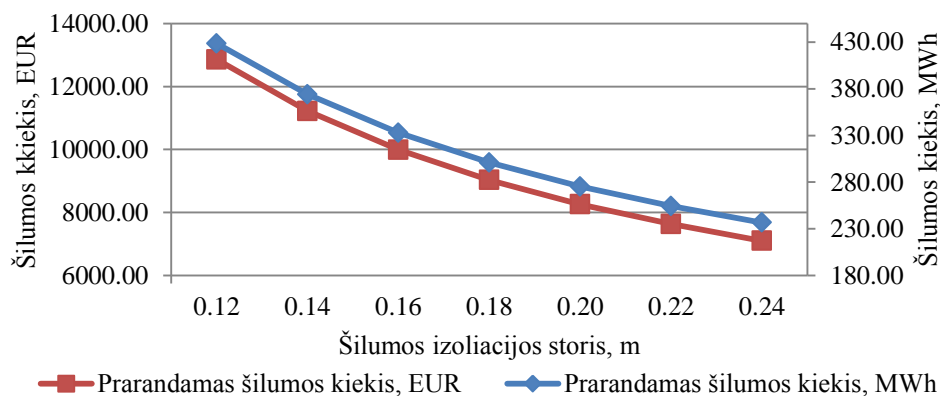
temperatūra priimta 2014 m. Vidutinė lauko oro temperatūra 7 °C. Kiti duomenys: katilo galia 8 MW, deguonies koncentracija dūmuose 6,72 %, dūmų temperatūra už katilo 169,18 °C, kuro drėgmė 41,79 %, kuro peleningumas 1,84 %, kuro kalingumas 2299,46 kcal/kg, kuro suvartojimas 3478,03 kg/h. Priimama, kad katilas dirbs 8000 darbo valandų per metus.

8.1 lentelė. Šilumos izoliacija armuotas demblis PAROC Wired Mat 65

Izoliacijos storis, m	Dūmų temperatūra iš katilo, °C	Šilumos nuostoliai per dūmų vamzdyną, kWh	Šilumos nuostoliai per multicikloną, kWh	Dūmų entalpija, kJ/kg	Galima dūmų temperatūra į DKE, °C	Prarandamas šilumos kiekis, kWh (kovo mėn)	Prarandamas šilumos kiekis, EUR
0.12	169.18	53.57	16.24	1096.18	160.450	428.56	12856.80
0.14	169.18	46.75	14.17	1103.24	161.490	374.00	11220.00
0.16	169.18	41.62	12.62	1108.54	162.260	332.96	9988.80
0.18	169.18	37.62	11.40	1112.69	162.860	300.96	9028.80
0.20	169.18	34.41	10.43	1116.01	163.360	275.28	8258.40
0.22	169.18	31.80	9.64	1118.71	163.760	254.40	7632.00
0.24	169.18	29.58	8.97	1121.01	164.090	236.64	7099.20

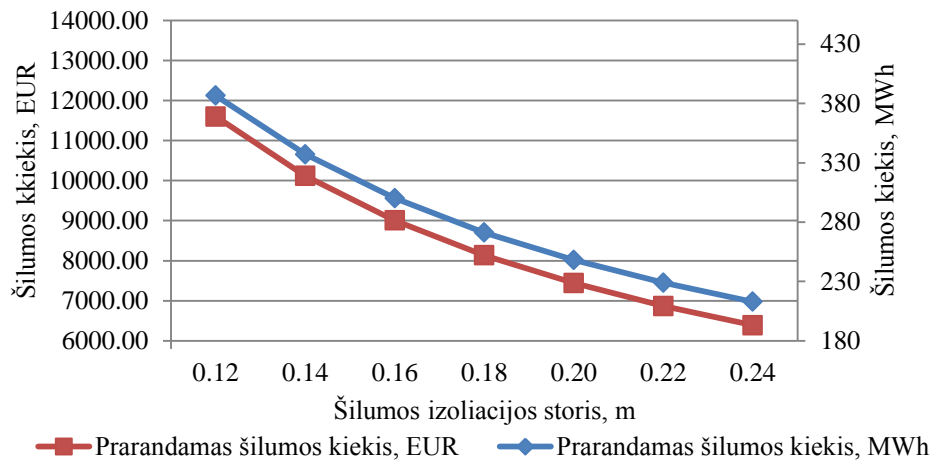
8.2 lentelė. Šilumos izoliacija armuotas demblis PAROC Pro Wired Mat 80

Izoliacijos storis, m	Dūmų temperatūra iš katilo, °C	Šilumos nuostoliai per dūmų vamzdyną, kWh	Šilumos nuostoliai per multicikloną, kWh	Dūmų entalpija, kJ/kg	Galima dūmų temperatūra į DKE, °C	Prarandamas šilumos kiekis, kWh (kovo mėn)	Prarandamas šilumos kiekis, EUR
0.12	169.18	48.33	16.24	1101.60	161.240	386640.00	11599.20
0.14	169.18	42.15	14.16	1108.00	162.190	337200.00	10116.00
0.16	169.18	37.52	12.61	1112.79	162.880	300160.00	9004.80
0.18	169.18	33.90	11.39	1116.54	163.440	271200.00	8136.00
0.20	169.18	31.01	10.42	1119.52	163.880	248080.00	7442.40
0.22	169.18	28.62	9.62	1122.00	164.400	228960.00	6868.80
0.24	169.18	26.61	8.94	1124.08	164.540	212880.00	6386.40



8.6 pav. Šilumos nuostoliai EUR ir MWh priklausomai nuo šilumos izoliacijos storio (šilumos izoliacija PAROC Wired Mat 65)

Atlikus skaičiavimus nustatyta jog esant šilumos izoliacijai PAROC Wired Mat 65 padidinus šilumos izoliacijos storį nuo 0,12 m iki 0,24 m šilumos nuostoliai per metus sumažėja nuo 428,56 MWh per metus iki 236,64 MWh kas sudarytų 191,92 MWh, pinigine išraiška būtų sutaupoma 5757,6 EUR per metus.



8.7 pav. Šilumos nuostoliai EUR ir MWh priklausomai nuo šilumos izoliacijos storio (šilumos izoliacija PAROC Pro Wired Mat 80)

Atlikus skaičiavimus nustatyta jog esant šilumos izoliacijai PAROC Pro Wired Mat 80 padidinus šilumos izoliacijos storį nuo 0,12 m iki 0,24 m šilumos nuostoliai per metus sumažėja nuo 386,64 MWh per metus iki 212,88 MWh kas sudarytų 173,76 MWh, pinigine išraiška būtų sutaupoma 5212,80 EUR per metus.

8.1. Optimalaus šilumos izoliacijos storio parinkimas

Šiame darbe buvo apskaičiuoti šilumos nuostoliai prie skirtingų šilumos izoliacijos storių esant dvejoms skirtingoms šilumos izoliacijoms. Pagal gautus duomenis nustatyta, kad mažiausia dalis šilumos praranda tuomet kada šilumos izoliacija 0,24 m, tačiau norint tokio storio izoliacija padengti dūmtakius reikalingos didelės investicijos.

Atliekamas skaičiavimas nustatyti optimaliam šilumos izoliacijos storiui renkant dvi skirtingas šilumos izoliacijos kuomet yra greičiausias atsipirkimo laikas.

Atliekant skaičiavimą įvertinamos šilumos izoliacijos kainos priklausomai nuo šilumos izoliacijos storio kurios pateiktos 8.3 lentelėje.

8.3 lentelė. Šilumos izoliacijų kainos

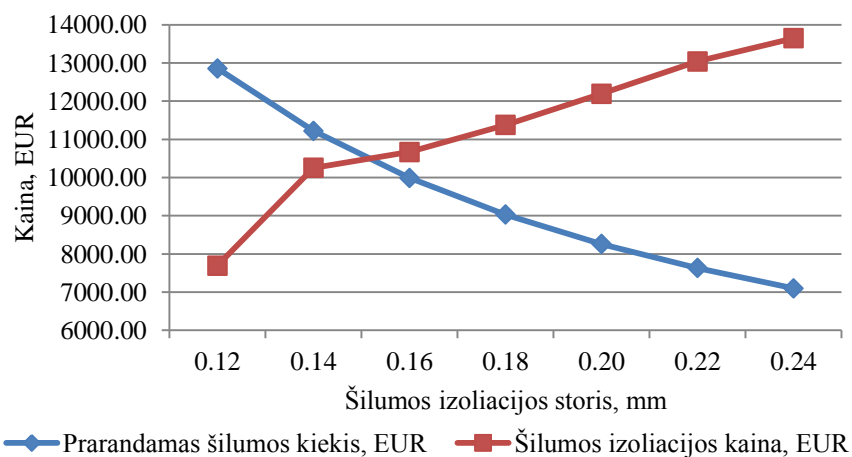
Šilumos izoliacijos storis, m	Šilumos izoliacija Paroc Wired Mat 65 kaina, EUR/m ²	Šilumos izoliacija Paroc Pro Wired Mat 80 kaina, EUR/m ²
0.02	4.79	5.37
0.04	5.40	5.98
0.06	7.13	8.31
0.08	9.20	10.50
0.10	11.27	12.53
0.12	12.39	14.78

Izoliavimo darbų kaina priimama 25 EUR/m².

Atlikus skaičiavimą norint nustatyti koks būtų optimalus šilumos izoliacijos storis esamu atveju nustatyta, kad kuomet šilumos izoliacija PAROC Wired Mat 65 pagal gautus skaičiavimus optimalus šilumos izoliacijos storis 0,16 m. Skaičiavimų rezultatai pateikti 8.4 lentelėje ir 8.8 pav.

8.4 lentelė. Paroc Wired Mat 65 šilumos izoliacijos įrengimo kaina

Izoliacijos storis, m	Reikalingas šilumos izoliacijos kiekis, m ²	Šilumos izoliacijos kaina, EUR/m ²	Šilumos izoliacijos kaina visam vamzdynui, EUR	Bendra suma su izoliavimo darbais, EUR
0.12	205.83	12.39	2549.50	7695.18
0.14	243.12	17.17	4175.36	10253.25
0.16	249.33	17.78	4433.58	10666.83
0.18	255.54	19.51	4986.09	11374.71
0.20	261.76	21.59	5650.65	12194.64
0.22	267.97	23.66	6339.46	13038.81
0.24	274.19	24.77	6792.55	13647.27

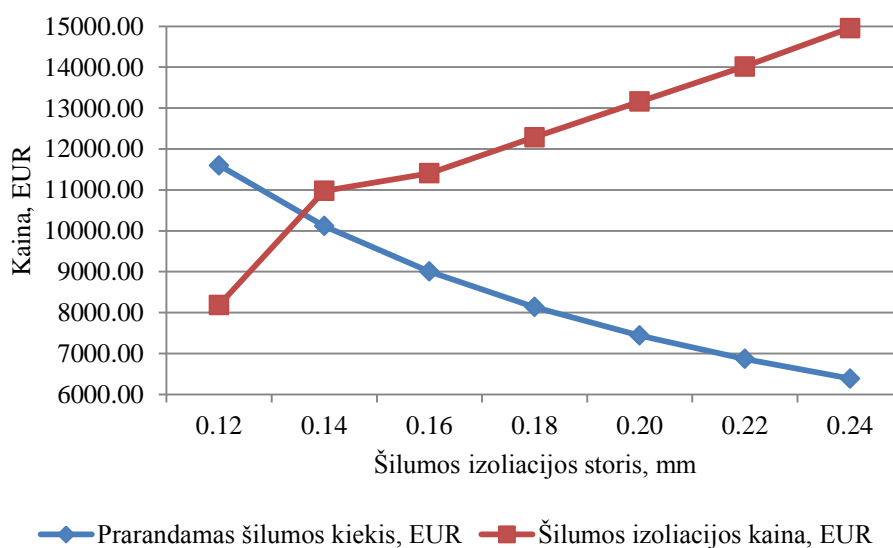


8.8 pav. Prarandamo šilumos kiekio ir šilumos izoliacijos kaina priklausomai nuo šilumos izoliacijos storio (šilumos izoliacija PAROC Wired Mat 65)

Atlikus skaičiavimą norint nustatyti koks būtų optimalus šilumos izoliacijos storis esamu atveju nustatyta, kad šilumos izoliacija PAROC Pro Wired Mat 80 pagal gautus skaičiavimus optimaliausias šilumos izoliacijos storis 0,14 m. Skaičiavimų rezultatai pateikti 8.6 lentelėje ir 8.9 pav.

8.6 lentelė. Paroc Pro Wired Mat 80 šilumos izoliacijos įrengimo kaina

Izoliacijos storis, m	Reikalingas šilumos izoliacijos kiekis, m ²	Šilumos izoliacijos kaina, EUR/m ²	Šilumos izoliacijos kaina visam vamzdynui, EUR	Bendra suma su izoliavimo darbais, EUR
0.12	205.83	14.78	3041.34	8187.02
0.14	243.12	20.15	4897.64	10975.53
0.16	249.33	20.75	5174.32	11407.57
0.18	255.54	23.08	5898.33	12286.95
0.20	261.76	25.28	6617.03	13161.02
0.22	267.97	27.31	7317.09	14016.45
0.24	274.19	29.55	8102.92	14957.63



8.9 pav. Prarandamo šilumos kiekio ir šilumos izoliacijos kaina priklausomai nuo šilumos izoliacijos storio (šilumos izoliacija PAROC Pro Wired Mat 80)

Kuomet šilumos izoliacija PAROC Wired Mat 65 optimalus izoliacijos storis 0,16 m, šios izoliacijos įrengimo kaina 10666,83 EUR, esant šiai izoliacijai per metus prarandamas šilumos kiekis už 9988,80 EUR (esant parduodamos šilumos kaina 0,03 EUR).

Kuomet šilumos izoliacija PAROC Pro Wired Mat 80 optimalus izoliacijos storis 0,14 m, šios izoliacijos įrengimo kaina 10975,53 EUR, esant šiai izoliacijai per metus prarandamas šilumos kiekis už 10116,00 EUR (esant parduodamos šilumos kaina 0,03 EUR).

Atlikus skaičiavimus galima teigti jog esant parduodamos šilumos kaina 0,03 EUR ir norint greičiausio atsipirkimo optimaliau rinktis šilumos izoliaciją Paroc Wired Mat 65.

9. TERŠALAI BOKURO KATILINĖSE

Deginant biokurą (medienos skiedras) degimo metu išsiskiria teršalai (toksogenai) kurie yra išmetami į aplinką. Išsiskiriantys teršalai [4-6]:

Sieros oksidai (SO₂) – šis toksogenas gali pakenkti žmogaus sveikatai priklausomai nuo jo koncentracijos atmosferos ore ir poveikio laiko. SO₂ gali sukelti kvėpavimo takų, akių bei gleivinės erzinimą, taip pat sutrikdyti kvėpavimo organų funkcijas. Esant didelei SO₂ padidėja hospitalizacija ir mirtingumas. Tačiau deginant medienos skiedras šis toksogenas atsiranda tik deginant sieringą medieną arba sieros turinčias medienos kuro priemaišas.

SO₂ gerokai žalingesnis augmenijai. Jis suardo lapuose ir spygliuose esantį chlorofilą, o dėl to pažeidžiamas lapų ir spyglių paviršius. SO₂ mažiau kenkia lapuočiams medžiams, kasmet numetantiems lapus. Spygliuočiams medžiams SO₂ sutrikdo fotosintezę ir medžiai per 2 – 3 metus nudžiūna.

Azoto oksidai (NO_x) – degimo procese daugiausia susidaro azoto monoksido (NO) apie 70 – 90 % tačiau patekęs į katilo dūmtakius jis iš dalies oksiduojasi į NO₂ ir yra išmetama per kaminą. Sausos radiacijos ir ozono įtakoje atmosferoje jis visiškai virsta į labiau pastovų junginį NO₂, kuris ir sudaro atmosferos užteršimą. Toksogenas ir NO, tačiau žymiai silpnesnis. Kadangi atmosferoje vyrauja NO₂ tai į jį sąlyginai perskaičiuojamas ir dūmuose esantis NO, o jų suma žymima NO_x.

NO_x yra pavojingas toksogenas žmogaus sveikatai nes jis veikia kvėpavimo takus, plaučių alveoles, sukelia plaučių pabrinkimą taip pat NO_x sutrikdo organizmo aprūpinimą deguonimi.

NO_x taip pat pavojingas augalams, kadangi gali sukelti chlorozę (gelsta lapai), taip pat dėl NO_x susidaro rūgštūs lietūs ir taip teršiamas žemės paviršius ir vanduo bei sumažėja derlingumas.

Anglies monoksidas (CO) – yra nevisiško degimo produktas. Žmogaus organizmą jis veikia per kraują taip pat kaip ir azoto oksidai. CO poveikiui ypač jautrūs žmonės, sergą širdies nepakankamumu, taip pat vaikų organizmas. CO gali sukelti psichikos sutrikimus, galvos skausmus, padidinti jautrumą, širdies plakimą, o didesnės koncentracijos ilgesnį laiką – mirtį.

Kietosios dalelės (KD) – šio toksogeno poveikis žmogui daugiausia pasireiškia tuo, kad sustiprina toksogenų žalingą poveikį. Dulkės erzina ir suardo odą, ypač kvėpavimo takus bei akis, ir tuo pagreitina patogeninių mikrobu patekimą į organizmą. Smulkios dalelės, ilgai

veikdamas organizmą, gali užkimšti odos poras ir tuo sutrikdyti prakaitavimą. Nuo 10 iki 30 % dulkių, praėjusių kvėpavimo metu per nosį, nusėda plaučiuose, kaupiasi alveolėse, pažeisdamos jų funkciją.

Atmosferoje esančios dulkės veikia žemės klimatą, nes atspindi dalį saulės radiacijos, taiga, žemė gauna mažiau šilumos, pažeminio oro temperatūra mažėja.

Visi šie degimo metu išsiskiriantys teršalai yra daugiau ar mažiau pavojingi žmogaus sveikatai bei gamtai. Norint užtikrinti, kad kuras būtų deginamas efektyviai bei naudojami moderniausi dūmų valymo įrenginiai šie teršalai yra normuojami pagal LAND 43-2013 „Išmetamų teršalų iš kurų deginančių įrenginių normos“. 9.1 lentelėje pateikti duomenys šiuo metu galiojančių išmetamų teršalų normų [22].

9.1 lentelė. Iš kurų deginančių įrenginių, kurių nominali galia lygi arba viršija 1 MW, bet nesiekia 50 MW, išmetamų teršalų ribinės vertės

Kuro rūšis	Kurų deginančio įrenginio nominali šiluminė galia, MW	Išmetamų teršalų ribinė vertė, mg/Nm ³								Standartinė O ₂ koncentracija, tūrio proc.
		SO ₂		NO _x		CO		KD		
		esamas įrenginys	naujas įrenginys	esamas įrenginys	naujas įrenginys	esamas įrenginys	naujas įrenginys	esamas įrenginys	naujas įrenginys	
Dujinis kuras	1 ≥ MW < 50	-	35 ¹	350	350	400	400	-	20 ⁵	3 %
Skystasis kuras	1 ≥ MW < 20	1700 ²	1700	650	450 ³	500	500	250	200	3 %
	20 ≥ MW < 50	1700 ²	1700	650	450 ³	400	400	250	100	3 %
Kietasis kuras	1 ≥ MW < 20	2000	2000	650 ³	650 ³	2000 ⁴	1000 ⁴	700	400	6 %
	20 ≥ MW < 50	2000	2000	650 ³	650 ³	1500	1000	500	300	6 %

Paaiškinimai:

¹ Deginant mažo kaloringumo dujas, gazifikacijos būdu gautas iš atliekų perdirbimo, kokso krosnių dujas, aukštakrosnių dujas – 800 mg/Nm³.

² Dūmavamzdžių katilams – 750 mg/Nm³.

³ Deginant biokurą – 750 mg/Nm³.

⁴ Deginant biokurą – 4 000 mg/Nm³.

Tačiau pagal „Europos parlamento ir tarybos direktyvą dėl tam tikrų teršalų, išmetamų į orą iš vidutinio dydžio kurų deginančių įrenginių, kiekio apribojimo“ šios išmetamų teršalų normos bus griežtinamos. Realus šios direktyvos įsigaliojimo laikas apie 2017 metus. Naujų normų duomenys pateikti 9.2 lentelėje [9].

9.2 lentelė. Numatomos išmetamų teršalų ribinės vertės.

Kuro rūšis	Įrenginio nominali šiluminė galia, MW	SO ₂ , mg/Nm ³	NO _x , mg/Nm ³	KD, mg/Nm ³	CO, mg/Nm ³
Kietasis kuras	1 ≥ MW < 50	200	300	30	-

9.1. Anglies monoksido ir azoto oksidų mažinimo priemonės

Anglies monoksidas ir nesudegę angliavandeniliai į aplinką išmetami dėl nepilno sudegimo, kurio priežastimis gali būti [9]:

- per žema degimo temperatūra;
- per trumpas išbuvimo laikas degimo zonoje;
- oro trūkumas arba didelis perteklius.

Efektyvus šių problemų sprendimas dažniausiai užtikrina mažesnius anglies monoksido išmetimų kiekius.

Azoto oksidai susidaro trijų pagrindinių procesų metu, kurie priklauso nuo azoto būsenos ir aplinkos, kurioje vyksta reakcija.

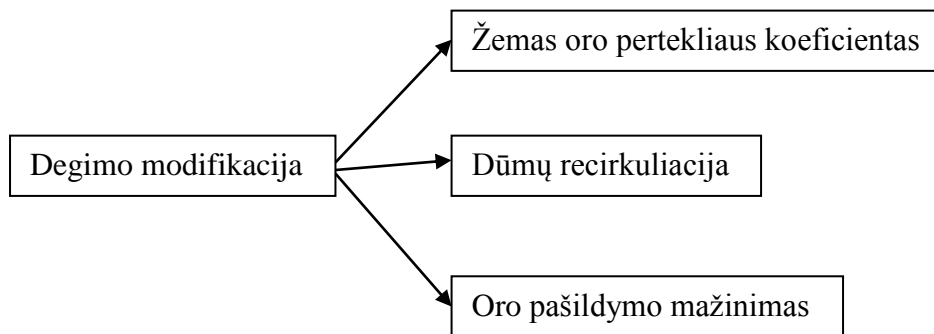
Terminiai NO_x susidaro reaguojant deguoniui su ore esančiu azotu, jų susidarymas labai priklauso nuo temperatūros. Jeigu degimas vyksta žemesnėje nei 1000 °C temperatūroje, į orą išmetama žymiai mažiau NO_x. Tokio degimo metu susidaręs NO_x pagrinde priklauso nuo kure esančio azoto.

Kuro NO_x susidaro iš kure esančio azoto, jų susidarymas priklauso nuo kure esančio azoto ir deguonies kiekio reakcijos aplinkoje.

Greitieji NO_x susidaro liepsnoje iš molekulinio azoto, esant tarpiniams angliavandeniliams. NO_x dalis, kurią sudaro greitieji NO_x yra mažiausia, palyginus su kitais jų susidarymo keliais

NO_x susidarymas priklauso nuo dujų temperatūros ir azoto kiekio kure, kas ir nusako NO_x susidarymo kelius. Terminiai NO_x susidarymas gali būti kontroliuojamas sumažinus liepsnos temperatūrą (pvz.: ribojamas degimo kameros apkrovimas).

Yra žinoma visa eilė techniškai išbandytų procesų ir deginimo technologijos modifikavimo priemonių, siekiant sumažinti azoto oksidų susidarymą: oro kiekio padavimo į kūryklą, liepsnos temperatūros, kuro ir oro proporcijų mišinyje kontrolė ir panašiai. Azoto oksidų susidarymo degimo proceso metu sumažinimui galima priskirti pagrindines pirmines priemones kurios pateiktos 9.1 pav.



9.1 pav. Pirminės NO_x mažinimo priemonės.

Mažas oro pertekliaus koeficientas:

Oro pertekliaus koeficiento sumažinimas yra lengvai įgyvendinama priemonė azoto oksidams sumažinti. Sumažinti deguonies kiekį degimo zonoje galima iki minimalios, reikalingo pilnam degimo procesui įvykti, reikšmės. Mažesnio intensyvumo kure esančių azoto junginių oksidavimasis ir sumažinami terminio NO_x formavimosi mastai.

Tiekiamo degimui oro temperatūros mažinimas

Ši priemonė yra veiksminga, tačiau pagrindinis jos trūkumas yra kuro deginimo įrenginio naudingumo koeficiento sumažėjimas. Oro temperatūros mažinimas, siekiant pagerinti ekologines degimo sąlygas, yra pateisinamas tik išskirtiniais atvejais, nes blogina kuro išdegimo sąlygas.

Dūmų recirkuliacija:

Ši NO_x mažinimo priemonė yra gana efektyvi. Čia degimo produktai gražinami į degimo zoną per katilo išorę.

Recirkuliuojant degimo produktus į kūryklą, degimo zonoje sumažėja deguonies kiekis ir taip pat yra atšaldomas fakelas, tokiu būdu kiek pristabdomas kuro azoto oksidavimas ir sumažinamas terminių NO_x susidarymas. Dalis išmetamųjų dujų (20 – 30 % apie 150 – 200 °C ar žemesnės temperatūros) yra paimama iš dūmtakių už katilo ir tiekama į katilą.

Kurui, kuris turi azoto junginių kaip pvz. mazutas ar anglis, dūmų recirkuliacija kaip NO_x mažinimo priemonė yra mažiau veiksminga, lyginant su dujinio kuro deginimu, tačiau praktikoje ši priemonė yra plačiai naudojama, nes yra efektyvi, o įrengimo kaštai nėra labai dideli.

9.2. Teršalų koncentracijų dūmuose tyrimų metodika

Šiame darbe buvo atlikti teršalų koncentracijų dūmuose matavimai. Darbo tikslas buvo naudojantis esamais katilinės įrengimais optimizuoti degimo procesą praktiškai įgyvendinant pirmines teršalų mažinimo priemones.

Matavimai buvo atlikti dūmų pavyzdžių paėmimo vietoje (dūmų pavyzdžių paėmimo vieta parodyta 9.2 pav.) naudojantis „TESTO 350 XL“ dūmų analizatoriumi (dūmų analizatoriaus specifikacija pateikta A6 priede).

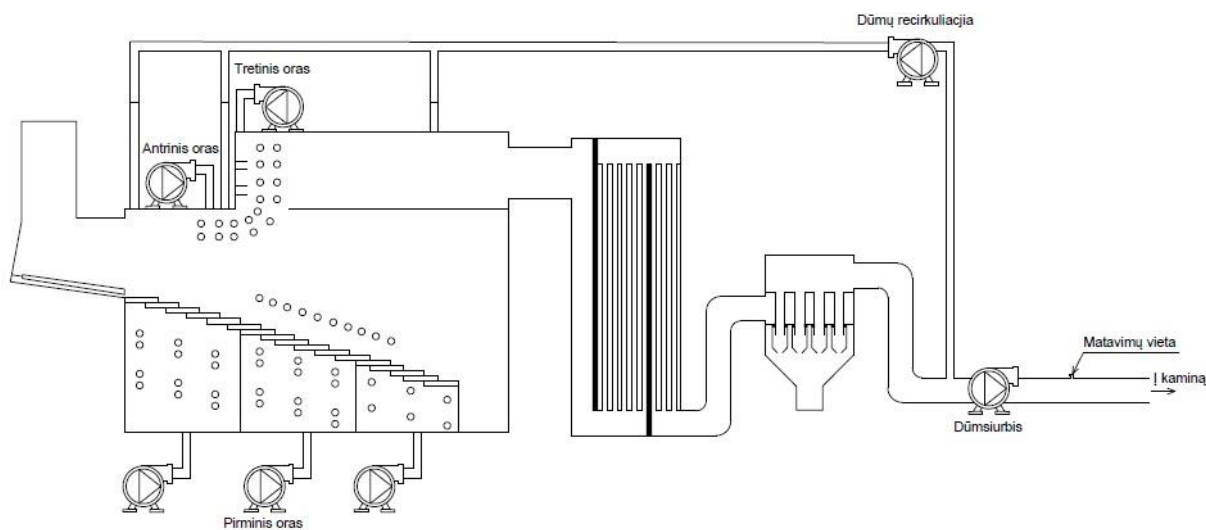
Darbe buvo atlikti matavimai kaip kinta CO ir NO_x koncentracijos dūmuose priklausomai nuo deguonies koncentracijos dūmuose. Buvo atlikta 20 matavimų keičiant tretinio oro ventiliatoriaus apkrovimą ir to pasekoje mažinant deguonies koncentraciją dūmuose. Norint užtikrinti, kad kitų parametru kitimas nesudarytų įtakos matavimų rezultatams, pakuros apkrovimo reguliavimas buvo pervestas iš automatinio į rankinį režimą ir nustatytas 90 %.

Taip pat atlikti matavimai kaip kinta NO_x koncentracijos dūmuose priklausomai nuo recirkuliuojamų dūmų vietos. Buvo atlikti trys matavimai. Pirmu atveju dūmai recirkuliuojami po ardynu t.y. kur paduodamas pirminis oras. Antru – dūmai recirkuliuojami virš ardyno t.y. kur paduodamas antrinis oras. Trečiu – dūmai recirkuliuojami į degimo kamerą t.y. kur paduodamas tretinis oras. Atlikti 8 matavimai keičiant dūmų recirkuliacijos slėgį į skirtingas zonas.

Taip pat vienas iš tyrimo tikslų buvo sumažinti NO_x koncentraciją dūmuose kuri būti mažesnė už naujų teršalų išmetimo normų reikalavimus, taip pat padidinti katilo NVK kaip galima sumažinant šilumos nuostolius su išmetamais dūmais bei padidinti generuojamą šilumos kiekį DKE.

Atliekant katilo NVK palyginamąjį skaičiavimą priklausomai nuo deguonies koncentracijos dūmuose skaičiavimų duomenys priimti pagal 3.2 lentelę kuomet katilas KOMFORTS dirba 8 MW galia.

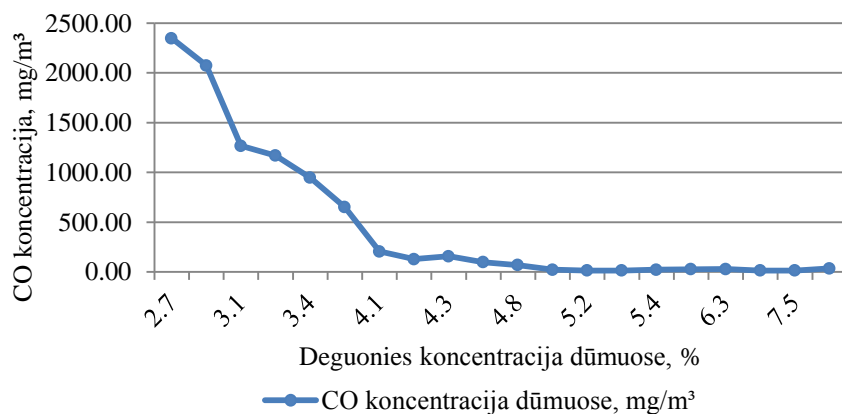
Atlikus matavimus gauti rezultatai pateikiami A5 priede bei grafiškai.



9.2 pav. Dūmų kelio schema

9.3. Anglies monoksido ir azoto oksidų koncentracijų kitimas priklausomai nuo deguonies koncentracijos dūmuose

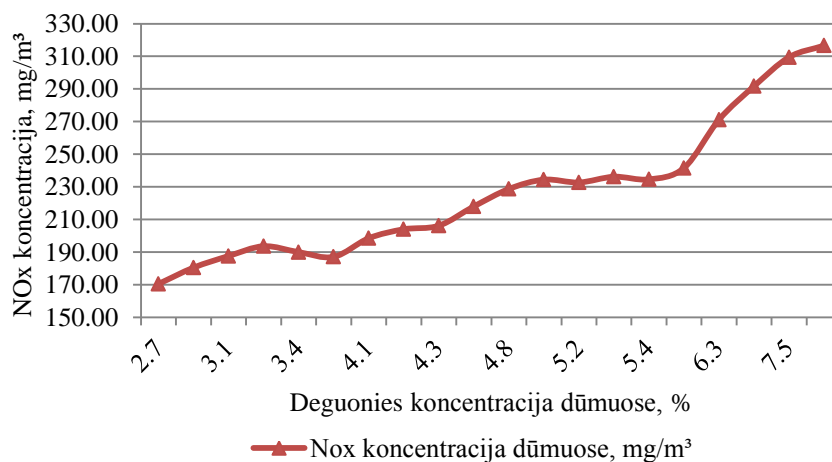
Atlikus surinktų duomenų analizę buvo nustatyta, kad didėjant deguonies koncentracijai dūmuose didėja ir CO koncentracija dūmuose. Didžiausia CO koncentracija (2348 mg/m^3) dūmuose buvo kuomet deguonies koncentracija 2,7 %. Padidinus deguonies koncentraciją iki 5,2 % buvo sumažinta CO koncentracija dūmuose iki 13 mg/m^3 . Nustatyta, kad deguonies koncentracija dūmuose turi labai didelę įtaką CO išmetimams. Gautų rezultatų duomenys pateikti 9.3 pav. ir A5 priede.



9.3 pav. CO koncentracijos priklausomybė nuo deguonies koncentracijos dūmuose

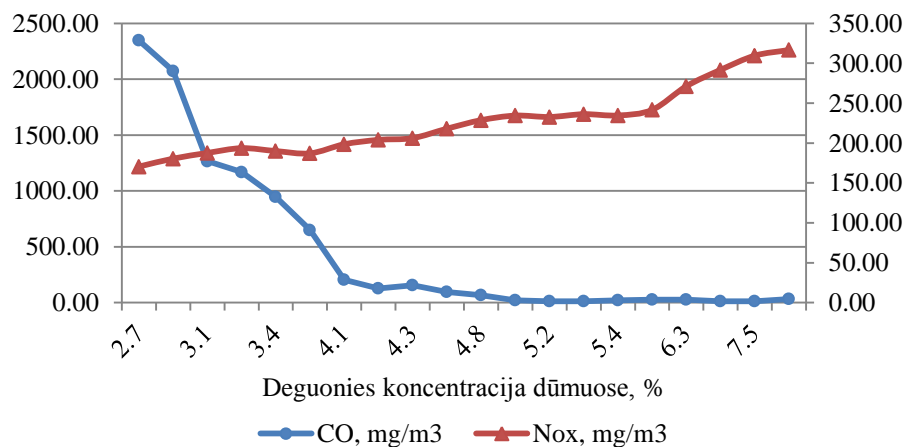
Išanalizavus surinktus duomenis nustatyta jog mažinant deguonies koncentraciją dūmuose (tuo pačiu mažinamas oro pertekliaus koeficientas) NO_x koncentracija mažėja.

Didžiausia NO_x koncentracija ($316,6 \text{ mg/m}^3$) dūmuose buvo kuomet deguonies koncentracija 7,6 %. Sumažinus deguonies koncentraciją iki 2,7 % buvo sumažinta NO_x koncentracija dūmuose iki $170,5 \text{ mg/m}^3$.



9.4 pav. NO_x koncentracijos priklausomybė nuo deguonies koncentracijos dūmuose.

Išanalizavus gautus duomenis buvo nustatyta, kad mažėjant deguonies koncentracijai dūmuose CO koncentracija išauga tačiau sumažėja NO_x koncentracija. Pagal 9.5 pav. pateiktą grafiką galima nusakyti optimalų tašką kur susikerta šios kreivės. Nustatyta optimali vieta kuomet deguonies koncentracija dūmuose 3,1 %. Tuomet CO – 1267 mg/m³, NO_x – 187,6 mg/m³. Tačiau ši CO koncentracija yra pakankamai didelė, esant šiai koncentracijai gali padidėti kietųjų dalelių išmetimai bei naudojant kondensacinį ekonomizerį putoti kondensatas. Todėl parenkamas kitas optimalus taškas kuomet deguonies koncentracija dūmuose 4,2 %, CO – 128 mg/m³, NO_x – 204 mg/m³.

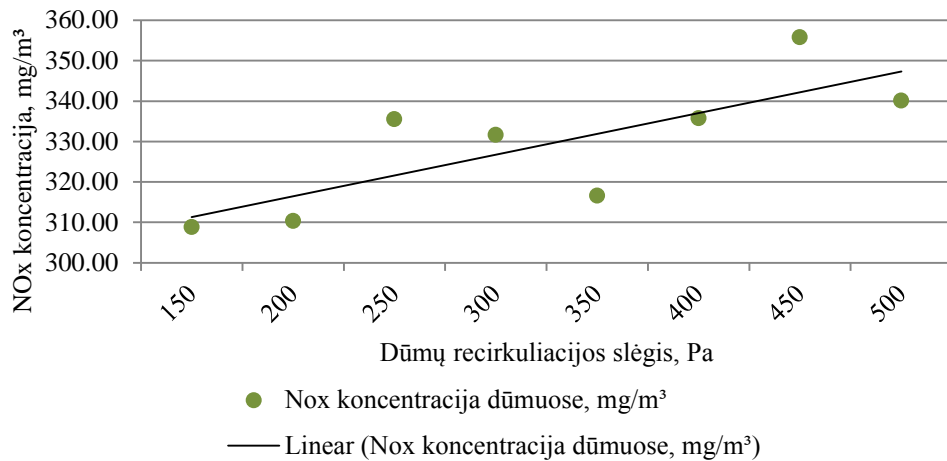


9.5 pav. Azoto oksido ir anglies oksido koncentracijos dūmuose priklausomybė nuo deguonies koncentracijos dūmuose

Atlikus tyrimą nustatyta CO ir NO_x koncentracijų kitimas priklausomai nuo deguonies koncentracijos dūmuose, taip pat sumažinta NO_x koncentracija nuo 316,6 mg/m³ iki 204 mg/m³. Pasiektas darbo tikslas sumažinti NO_x koncentraciją iki naujų normų reikalavimų kas turi būti mažiau už 300 mg/m³.

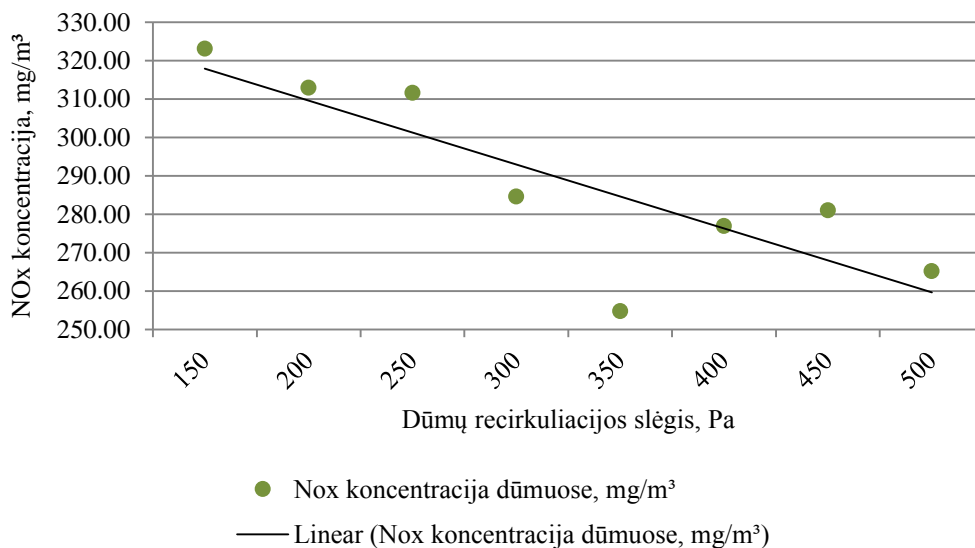
9.4. Dūmų recirkuliacijos įtaka azoto oksidams

Atlikus matavimus recirkuliuojant dūmus po ardynu nustatyta jog didėjant recirkuliuojamų dūmų slėgiui po ardynu NO_x koncentracija dūmuose didėja. Galima teigti jog taip yra dėl to kad tiekiant recirkuliuojamus dūmus po ardynu yra aktyvinamas degimas ir padidėja kuro NO_x susidarymas.



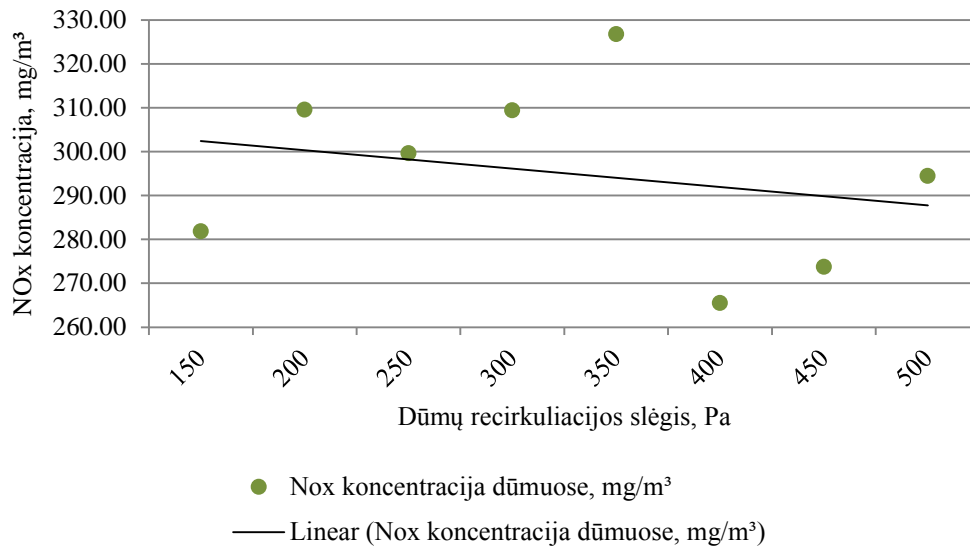
9.6 pav. Azoto dioksidų koncentracijos dūmuose priklausomybė nuo dūmų recirkuliacijos slėgio (recirkuliuojami dūmai po ardynu)

Recirkuliuojant dūmus virš ardyno nustatyta jog didėjant recirkuliuojamų dūmų slėgiui virš ardyno NO_x koncentracija dūmuose mažėja. Galima teigti jog taip yra dėl to, kad tiekiant recirkuliuojamus dūmus po ardynu yra atšaldomas degimo fakelas ir taip mažinamas terminių NO_x susidarymas.

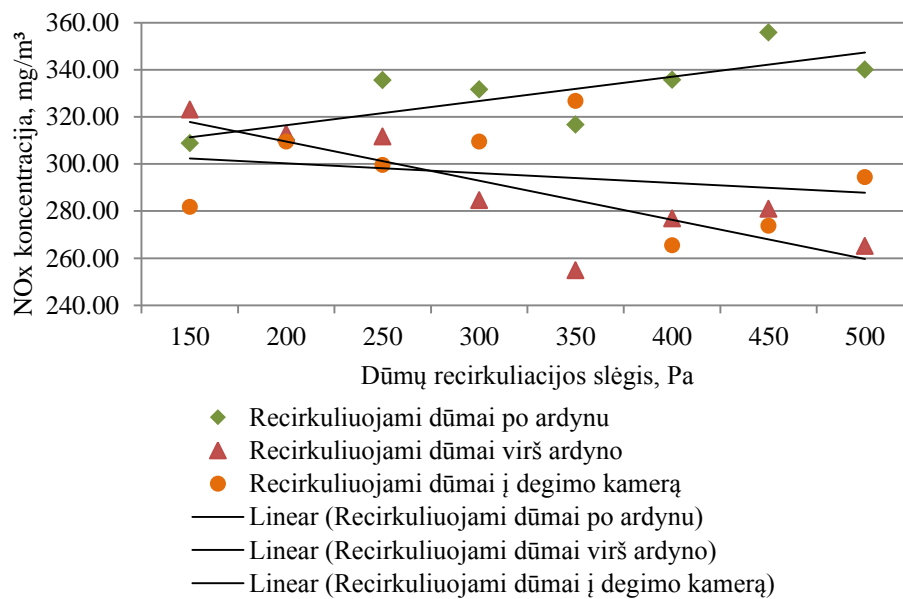


9.7 pav. Azoto dioksidų koncentracijos dūmuose priklausomybė nuo dūmų recirkuliacijos slėgio (recirkuliuojami dūmai virš ardyno)

Recirkuliuojant dūmus į degimo kamerą nustatyta jog didėjant recirkuliuojamų dūmų slėgiui NO_x koncentracija dūmuose išlieka panaši. Galima teigti jog taip yra dėl to kad tiekiant recirkuliuojamus dūmus į degimo kamerą ten jau nebevyksta degimas todėl nėra įtakojamas NO_x susidarymas.



9.8 pav. Azoto dioksidų koncentracijos dūmuose priklausomybė nuo dūmų recirkuliacijos slėgio (recirkuliuojami dūmai į degimo kamerą)



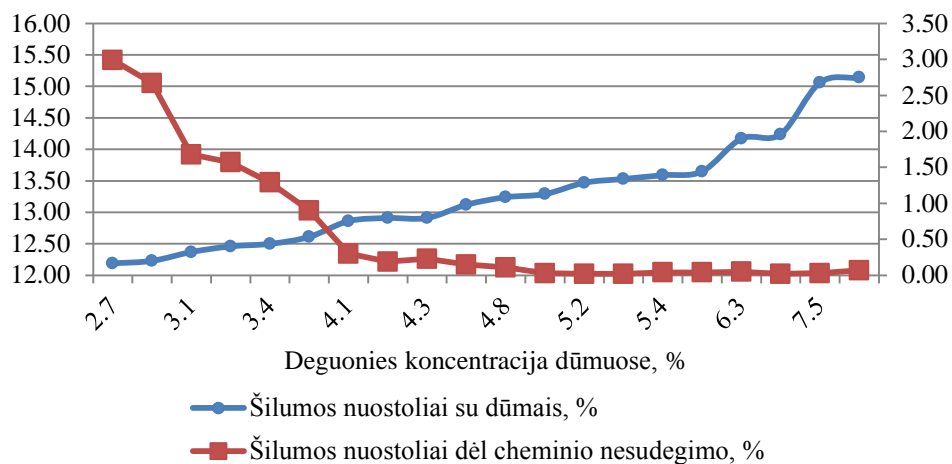
9.9 pav. NO_x koncentracijų priklausomybė nuo recirkuliuojamų dūmų vietos ir slėgio

Apibendrinus gautus duomenis nustatyta, kad didžiausią efektą dūmų recirkuliacija pasiekia kuomet dūmai recirkuliuojami virš ardyno. Recirkuliuojant dūmus po ardynu neverta nes tuomet išauga NO_x koncentracija. Recirkuliuojant dūmus į degimo kamerą NO_x koncentracijų didėjimas ar mažėjimas pastebėtas nežymus.

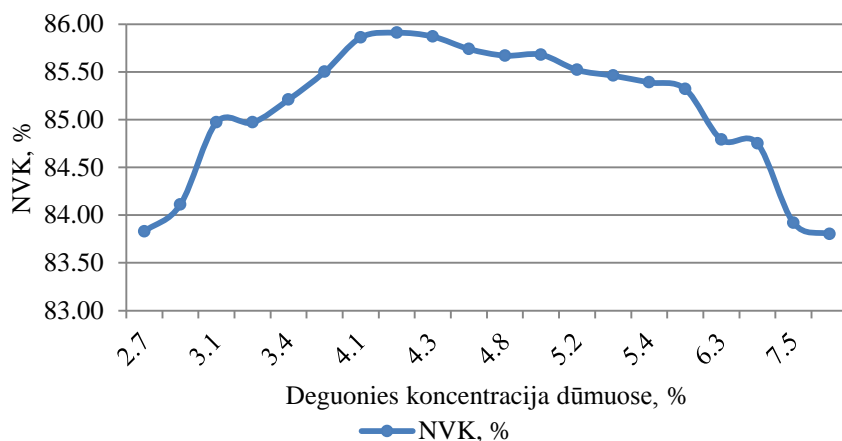
9.5. Deguonies koncentracijos dūmuose įtaka katilo naudingumo koeficientui

Sumažinus deguonies koncentraciją dūmuose atitinkamai sumažėja ir oro pertekliaus koeficientas kas leidžia pasiekti didesnę katilo NVK. Tačiau mažinant deguonies koncentraciją

dūmuose didėja CO koncentracija ko pasekoje padidėja nuostoliai dėl cheminio nesudegimo. Šių nuostolių pasiskirstymas pateiktas 9.10 pav.



9.10 pav. Šilumos nuostolių su dūmais ir dėl cheminio nesudegimo priklausomybė nuo deguonies koncentracijos dūmuose



9.11 pav. Katilo NVK priklausybė nuo deguonies ir anglies monoksido koncentracijos dūmuose

. Atlikus gautų duomenų analizę bei apskaičiavus katilo NVK prie tam tikrų deguonies koncentracijų dūmuose nustatyta jog didžiausias galimas pasiekti katilo NVK (85,91 %) yra kuomet deguonies koncentracija dūmuose 4,2 %, šiuo atveju CO koncentracija – 128 mg/m³, NO_x koncentracija – 204 mg/m³.

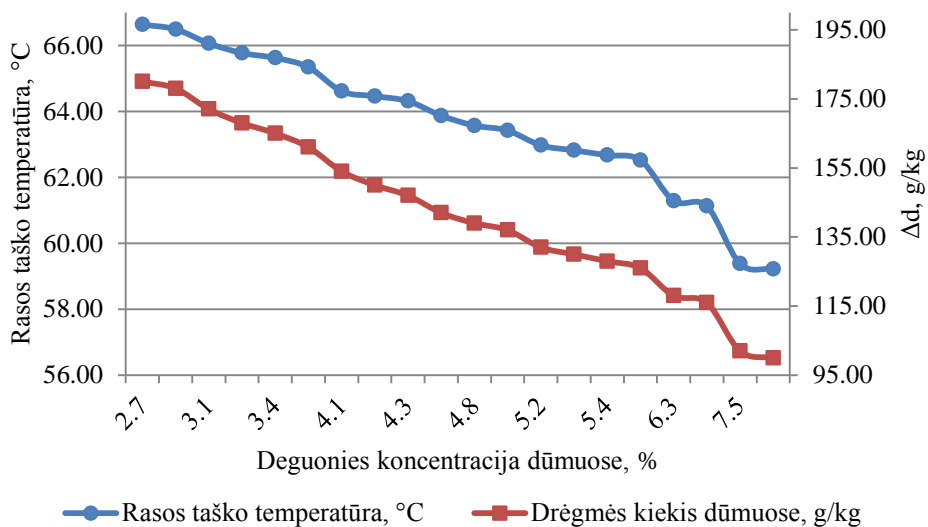
Pagal NVK skaičiavimą (1 skyrius) deguonies koncentracija dūmuose 6,1 %, CO kiekis 14 mg/m³, tokiu atveju NVK – 84,35 %, šilumos nuostoliai su dūmais – 14,02 %, šilumos nuostoliai dėl cheminio nesudegimo – 0,03 %.

Atlikus degimo režimo modifikaciją nustatyta: deguonies koncentracija dūmuose 4,2 %, CO kiekis 128 mg/m³, NO_x – 204 mg/m³, tokiu atveju NVK – 85,91 %, šilumos nuostoliai su dūmais – 12,91 %, šilumos nuostoliai dėl cheminio nesudegimo – 0,19 %.

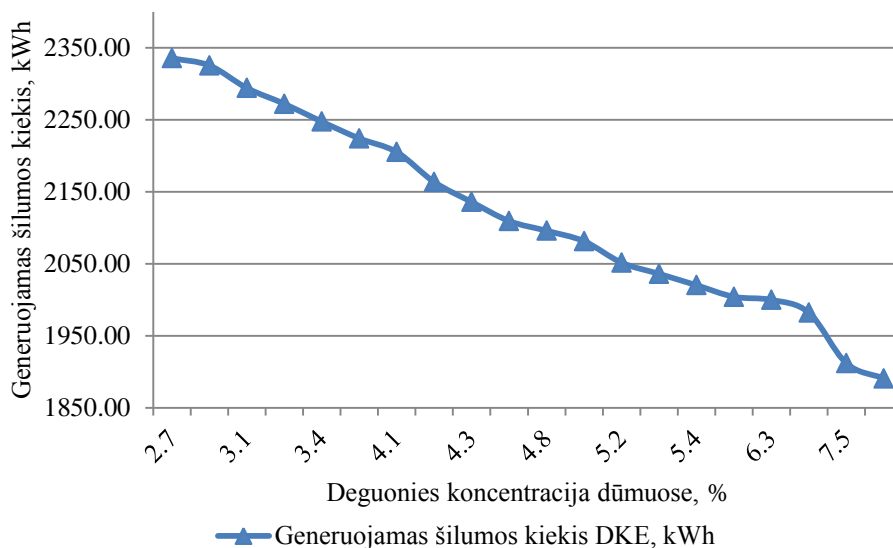
Vadinasi NVK pagerintas 1,56 %, kadangi sumažėja šilumos nuostoliai su dūmais 1,11 %, tačiau nuostoliai dėl cheminio nesudegimo padidėja 0,16 %.

9.6. Deguonies koncentracijos įtaka kondensacinio ekonomizerio šilumos generavimo procesui

Sumažinus deguonies koncentraciją dūmuose padidėja generuojamos šilumos kiekis DKE, kadangi padidėja rasos taško temperatūra ir ko pasekoje padidėja dūmuose esantis drėgmės kiekis.



9.12 pav. Rasos taško ir drėgmės kiekio dūmuose priklausomybė nuo deguonies koncentracijos dūmuose



9.13 pav. Galimo sugeneruoti šilumos kiekio DKE priklausomybė nuo deguonies koncentracijos dūmuose

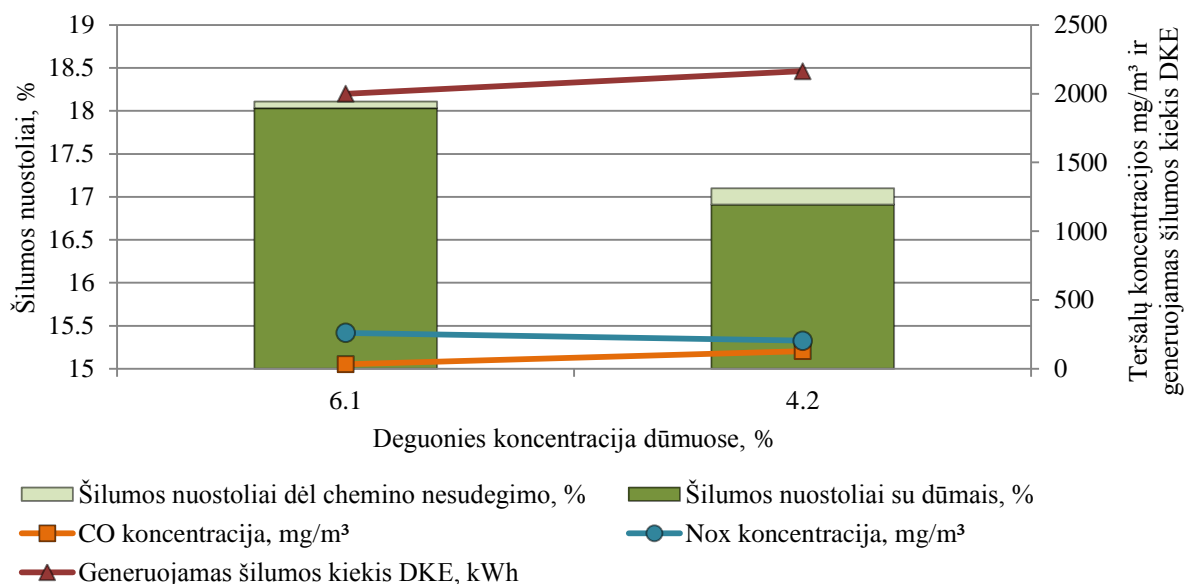
Sumažinus deguonies koncentraciją dūmuose nuo 7,6 iki 2,7 % generuojamas šilumos kiekis DKE nuo 1890,68 kWh padidėja iki 2335,52 kWh.

Didžiausias galimas pasiekti DKE generuojamas šilumos kiekis 2335,52 tačiau šiuo atveju nėra pasiekiamas optimalus katilo NVK bei teršalų koncentracijos. Pasirinkus optimaliu

atveju, kada yra didžiausias katilo NVK (deguonies koncentracija dūmuose 4,2 %) bei optimalios teršalų koncentracijos dūmuose generuojamas šilumos kiekis DKE - 2163,52 kWh.

Šiuo atveju padidintas generuojamas šilumos kiekis DKE nuo 1999,83 kWh (prie 6,1 % deguonies koncentracijos dūmuose kas nurodyta režiminėje kortelėje) iki 2163,52 kWh optimaliu režimu. Taigi generuojamas šilumos kiekis DKE padidėja – 163,69 kWh.

9.14 pav. pateikti apibendrinti tyrimo rezultatai.



9.14 pav. Gautų rezultatų apibendrinimas grafiškai

10. KONDENSATO SUSIDARYMAS DŪMŲ KONDENSACINIAME EKONOMAIZERYJE

Katilinėje įrengus kondensacinį ekonomazerį papildomai sugeneruojamas didelis šilumos kiekis iš dūmų likutinės šilumos. Išpurškiant kondensatą į dūmus jie atvėsunami žemiau rasos taško temperatūros ir susikondensavę vandens lašeliai pratekėję per šilumokaitį atiduoda savo šilumą grįžtamam iš tinklų termofikaciniam vandeniui taip jį pašildydami. Tačiau DKE susidaro perteklinis kondensato kiekis kurį reikia šalinti. Priklausomai nuo kondensato valymo sistemos efektyvumo kondensatas gali būti šalinamas į lietaus arba nuotekų kanalizaciją. Kondensato valymo įranga kurios išvalytą kondensatą galima išleisti į lietaus nuotekų kanalizaciją yra brangesnė tačiau sutaupoma nemokant už nuotekų išleidimą į fekalinę kanalizaciją, be to tokį kondensatą galima panaudoti kitiems tikslams. Kondensato valymo sistemų parašymai pateikti 10.1 poskyryje.

10.1. Kondensato valymo sistemos

Pirmoji kondensato valymo sistema yra pakankamai efektyvi, kadangi gamintojas teigia jog šioje sistemoje kondensatas gali būti išleidžiamas į lietaus nuotekų kanalizaciją.

Šioje sistemoje nereikalingas atskiras šilumokaitis kadangi pats ekonomaizeris veikia kaip šilumokaitis, o susikondensavę vandens garai patenka į kondensato talpą, o dūmai patenka į dūmtraukį, užterštas kondensatas renkasi ekonomaizerio kondensato surinktuvo kūginėje dalyje. Dūmai negali būti užteršti kietomis abrazivinėmis dalelėmis kadangi jos labai sutrumpina o dažnai ir sugadina įrangą. Pastovus kondensato lygis surinktuvo kūginėje dalyje matuojamas lygio kolonėlėje lygio matavimo prietaiso pagalba ir palaikomas automatiškai.

Jeigu ekonomaizeryje kondensuojasi daugiau kondensato negu jo išmetama į kanalizaciją kondensato lygis neišvengiamai kyla, tuomet yra būtina padidinti siurblio dažnį. Taip kondensato lygis yra atstatomas. Kondensato lygiui nukritus 30% žemiau palaikomos ribos (80 %), atidaromas papildymo vožtuvas ir sistema papildoma švariu vandeniu (pildoma kol pasiekiamas lygis 60%). Normalaus ekonomaizerio darbo metu papildymo švariu vandeniu nereikia.

Besikaupiantis dūmų išleidimo kameroje kondensatas siurbliu tiekiamas valymui. Pradinis kondensato valymo etapas – cheminis kondensato apdorojimas. Kondensato cheminio apdorojimo sistemos paskirtis yra chemiškai apdoroti kondensatą taip, kad po jo nusodinimas vyktų efektyviau ir būtų pasiektas geresnis kondensato išvalymo nuo priemaišų laipsnis.

Valymo sistemos siurblys turi užtikrinti nuolatinį kondensato srautą į kondensato valymo sistemą. Kondensato srautas turi būti ne mažesnis, nei susidarantis naujo kondensato kiekis.

Cheminiam apdorojimui kondensatas paduodamas iš ekonomaizerio kondensato rinktuvo siurbliu į valymo sistemą per pirminį mechaninį filtrą į koagulianto sumaišymo talpą, į kurią dozuojama koagulianto tirpalas, kuris yra skirtas cheminiam kondensato valymui.

Kondensatas ir dozuojami tirpalai maišomi lėtaeige maišykle. Maišyklė turi užtikrinti nuolatinį koagulianto tirpalo sumaišymą talpoje su valomu kondensatu. Maišyklei numatytas 24 val./parą darbas.

Kondensatas iš talpos savitaka teka į flokulianto sumaišymo talpą į kurią dozuojama flokuliantas, kuris yra skirtas smulkių dalelių surišimui.

Talpoje vyksta papildomas maišymas lėtaeige maišykle. Maišyklė turi užtikrinti nuolatinį flokulianto tirpalo sumaišymą talpoje su valomu kondensatu.

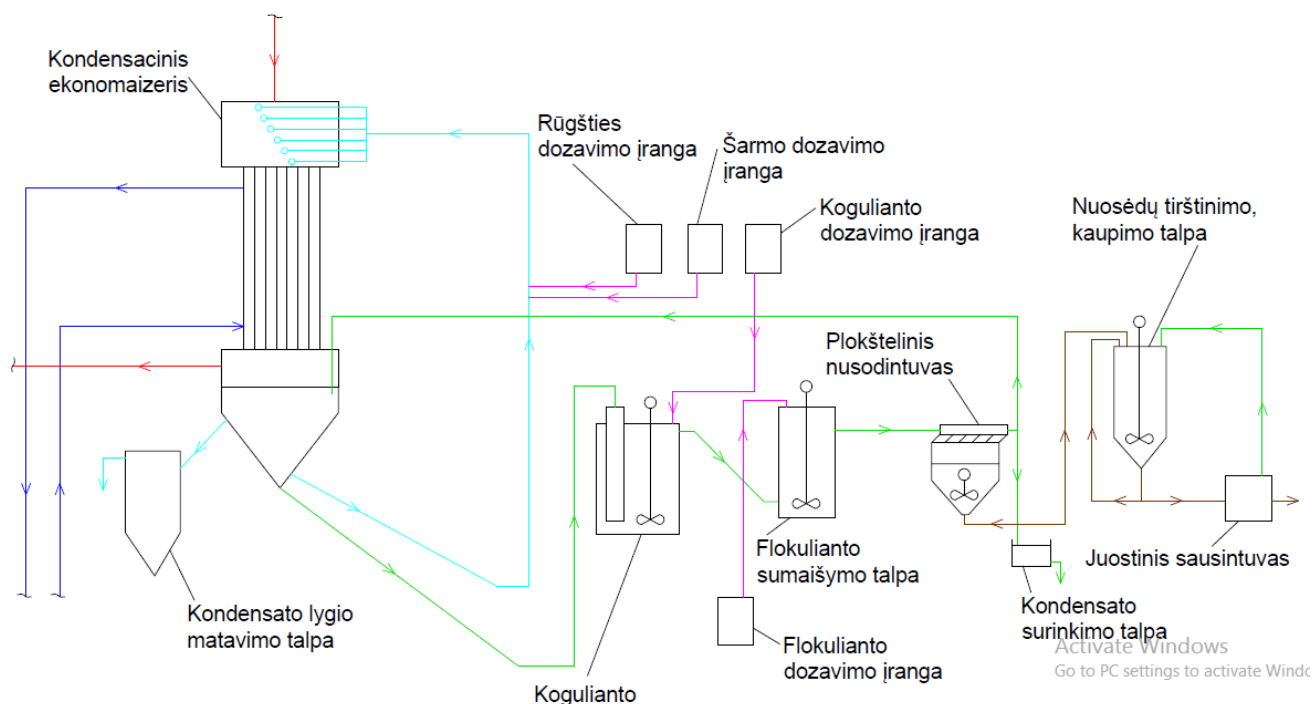
Kondensatas iš flokulianto sumaišymo talpos savitaka teka į plokštelinį nusodintuvą.

Kondensato perteklius yra šalinamas už nusodintuvo, reikiamas pastovus kondensato lygis pagal lygio jutiklį sistemoje yra palaikomas dviegiu vožtuvu, kuris dalį kondensato grąžina į kondensato sistemą, o perteklinį kondensatą per kondensato surinkimo talpą nukreipia į kanalizaciją, stebint išmetamų nuotekų kiekį debitomačiu.

Plokštelineame nusodintuve veikiančiame gravitacijos principu, susidariusios dalelės (flokulės) slenka žemyn ir kaupiasi nusodintuvo apačioje. Susidariusi masė nuolat judinama lėtaeigiu nusodintuvo grandikliu ir iš nusodintuvo membraniniu siurbliu šalinama į nuosėdų tirštinimo talpą, kur galutinai sutirštinamos. Lėtaeigis grandiklis turi užtikrinti nuolatinį dumblo judėjimą tirštinimo talpoje.

Nuosėdų siurblys dirba periodiškai pagal užduotą laiką. Nuosėdų siurblio darbo periodiškumas nustatomas eksploatacijos eigoje pagal nusodintuvo užsinešimą nuosėdomis ir turi būti keičiamas priklausomai nuo biokuro katilo apkrovimą ir į ekonomizaizerį patenkančių pelenų kiekio. Sraigtinis siurblys nuosėdas paima iš tirštinimo talpos dugno ir periodiškai tiekia atgal į viršutinę dalį. Dozatorius turi užtikrinti užduoto flokulianto tirpalo kiekio dozavimą už siurblio.

Tokiu būdu gaunamos tirštesnės nuosėdos. Sutirštintos nuosėdos tuo pačiu siurbliu tiekiamos į juostinį sausintuvą ir į konteinerį. Nuosėdos sudeginamos kartu su kuru biokuro katilų kūryklose ir pasišalina su katilų dugno pelenais arba sugaudomos multiciklonuose.



10.1 pav. Pirmosios kondensato valymo sistemos įrenginių principinė schema

Antroji sistema yra mažiau efektyvi, kadangi šioje sistemoje kondensatas išleidžiamas į fekalinę kanalizaciją.

Šioje sistemoje dūmai išėję iš katilo patenka į DKE kuriame įrengti du lygiaverčiai nuožulnūs dūmavamzdžiai kuriuose dūmai kontaktuoja su išpurškiamo vandens dalelėmis.

Dūmų eigos pirmame etape dūmai per dūmų kanalus patenka tiesiai į DKE pirmojo etapo dūmų valymo ir energijos rekuperativo kanalus. Dūmuose esanti drėgmė dalinai kondensuojasi.

Kondensatas utilizuoja šilumą ir dūmų vamzdžiu apačioje išteka atgal į kondensato talpą. DKE kondensato siurblys pumpuoja kondensatą iš kondensato talpos į šilumokaitį kur kondensatas atiduoda savo šiluminę energiją grįžtamam iš tinklų termofikaciniam vandeniui. Iš šilumokaičio atvėsęs kondensatas per purkštukus vėl patenka į DKE dūmų kanalus.

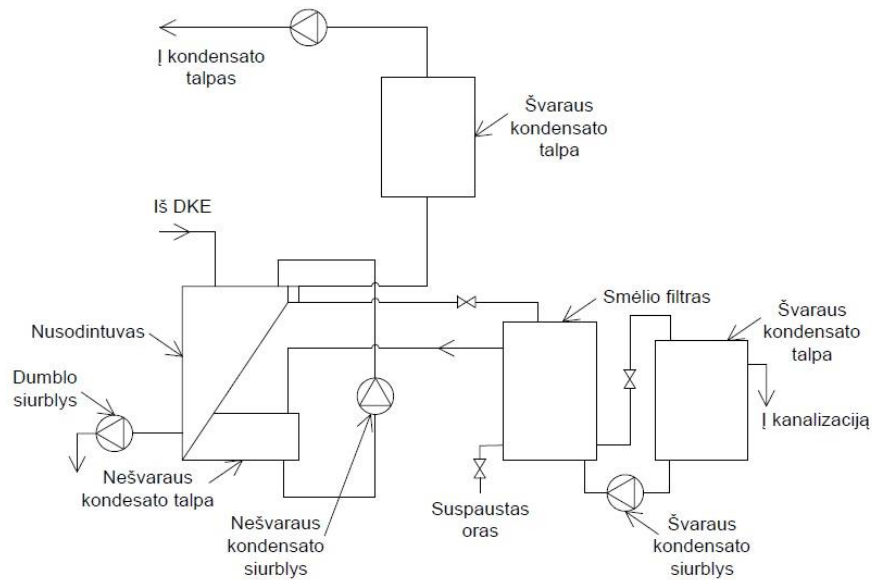
Dūmų eigos antrame etape išėję iš pirmos DKE eigos pusiau atvėsinti dūmai tęsia savo judėjimą link sukimosi taško kur pasisuka 180 ° kampu ir patenka į antrąją eigą. Antrame etape dūmai atvėsunami iki temperatūros tik šiek tiek viršijančios grįžtamo termofikacinio vandens temperatūrą, kadangi didžioji dalis jų šiluminės energijos jau būna atiduota. Antros eigos veikimo principas analogiškas pirmajai.

Kietųjų dalelių iš dūmų patekusių į kondensatą išvalymui naudojama kondensato valymo sistema. Kondensatas iš nuožulnių dūmavamzdžių kanalų grįžta į atskiras kondensato talpas tačiau jos sujungtos tarpusavyje.

Kondensatas valymui tiekiamas po siurblio esant per aukštam kondensato lygiui lygio matavimo talpoje. Pirmiausia kondensatas patenka į nusodintuvą. Jame didesnės dalelės atskiriamos ir nugrimzta į dugną. Nusodintuve sumontuotos metalinės plokštelės kurių paskirtis kondensate esančioms dalelėms sudaryti didesnę plotą ir prilipti. Kondensatui tekant pro plokšteles didesnės dalelės nugrimzta į nusodintuvo apačią. Iš nusodintuvo kondensatas nuolatiniu srautu išteka per viršutinę dalį ir pro paskirstymo dėžutę nukreipiamas atgal į DKE kondensato talpą. Dalis kondensato nukreipama į smėlio filtrą. Iš nusodintuvo dumblas šalinamas pneumo membraniniais dumblo siurbliais.

Slėgio filtro bakas užpildytas smėliu ir atlieka vandens filtravimo funkciją. Filtrui naudojamas dviejų frakcijų smėlis: stambesnė frakcija 3 – 5 mm supilta į smėlio talpos apačią ir smulkesnė frakcija 0,8 – 1,2 mm supilta ant apatinio sluoksnio. Nešvarumai sulaikomi smėlio sluoksnyje kuris praplaunamas atbuline vandens ir suspausto oro srove. Didžioji dalis nešvarumų per bako viršutinėje dalyje esantį piltuvą nukreipama į nešvaraus vandens talpą.

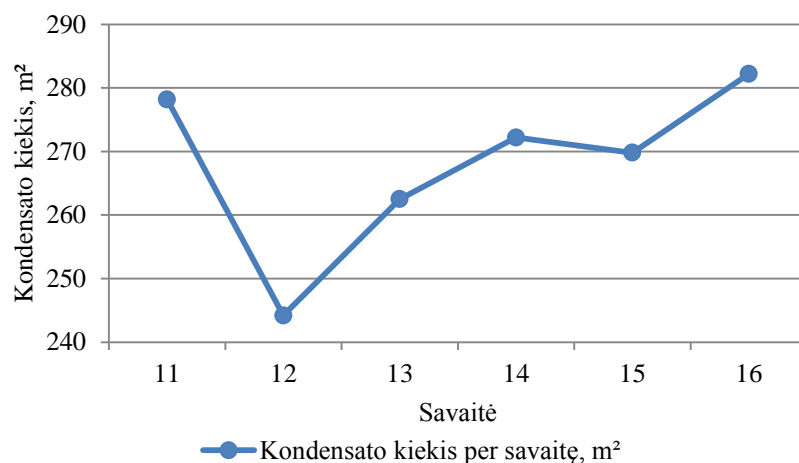
Išvalytas kondensatas iš smėlio filtrų leidžiamas į švaraus kondensato talpas, o iš jos į kanalizaciją. Po smėlio filtro valymo susikaupęs dumblinas vanduo atskiroje dumblo nusodinimo sekcijoje išpumpuojamas nešvaraus vandens siurbliu atgal į dumblo nusodintuvą.



10.2 pav. Antrosios kondensato valymo sistemos įrenginių principinė schema

10.2. Susidarančio kondensato kiekio skaičiavimas

Kadangi atlikus 8 MW galios biokuro katilo su kondensaciniu ekonomaizeriu tam tikromis savaitėmis surinktų duomenų analizę buvo nustatyta jog katilinėje susidaro pakankamai nemaži kondensato kiekiai (vidutiniškai $268,19 \text{ m}^3/\text{sav.}$) sudaroma formulė kondensato kiekiui apskaičiuoti.



10.3 pav. Susidarančio kondensato kiekis tam tikromis savaitėmis

Atlikus katilinėje susidarančio kondensato kiekio analizę nustatyta jog susidarančio kondensato kiekis nėra tiesiogiai proporcingai kuro drėgmei, kondensato kiekis priklauso nuo dūmuose esančios drėgmės, šį parametą galima sužinoti apskaičiavus rasos taško temperatūrą bei žinant iki kokios temperatūros yra vėsinami dūmai ir taip pagal I-d diagramą sužinoti dūmuose esantį drėgmės kiekį.

Susirancio kondensato kiekiui apskaičiuoti buvo sudaryta (10.1) formulė:

$$q_{kond.} = (t_{rasos.taško.} - t_{dūmų už DKE}) \times Q_{Katilo} \times K_{kond.} \text{ m}^3; \quad (10.1)$$

Čia:

$t_{rasos.taško.}$ – rasos taško temperatūra, °C;

$t_{dūmų už DKE}$ – išeinančių iš ekonomizerio dūmų temperatūra, °C;

Q_{Katilo} – pagamintas šilumos kiekis katilė už skaičiuojamą laikotarpį, MWh;

$K_{kond.}$ – pataisos koeficientas ($K_{kond.} = 0,011$).

Drėgmės kiekis susidaręs iš dūmų gali būti parenkamas pagal I-d diagramą, tačiau esantis kondensato kiekis yra tarp rasos taško temperatūros ir išeinančių dūmų temperatūros iš DKE, todėl formulėje tiesiog galime įvesti ne drėgmės kiekį dūmuose, o šių temperatūrų skirtumą.

10.1 lentelė. Susidarancio kondensato kiekį įtakančių parametru skaičiavimas

Savaitė	O ₂ , %	Dūmų temperatūra prieš DKE, °C	Dūmų temperatūra už DKE, °C	Kondensato kiekis išleistas į kanalizaciją, m ³	Kuro drėgmė, %	Rasos taško temperatūra, °C	Pagamintas šilumos kiekis katilė, MWh	Apskaičiuotas išleidžiamas kondensato kiekis, m ³	Paklaida, %
11	6.6	159.1	40.8	277.5	42.8	59.12	1380.6	278.2	0.2
12	6.6	161.5	41.4	237.3	39.9	57.85	1349.8	244.2	2.9
13	6.5	164.6	40.8	252.8	42.0	58.66	1335.9	262.5	3.8
14	6.7	159.2	40.3	269.6	42.9	59.09	1316.9	272.2	0.9
15	6.9	157.8	40.3	263.2	42.8	58.71	1332.3	269.8	2.5
16	6.9	158.7	40.5	282.7	44.2	59.53	1348.3	282.2	0.1
Vidurkiai	6.70	160.15	40.68	263.85	42.43	58.83	1343.97	268.19	1.73

10.3. Kondensato panaudojimas termofikacinio vandens tinklų papildymui

Pagal 10.1 lentelėje pateiktus duomenis nustatyta, kad katilinėje susidaro pakankamai nemažas kondensato kiekis (vidutiniškai 268,19 m³ per savaitę). Susidaręs kondensatas priklausomai nuo valymo sistemos išvalymo efektyvumo yra šalinamas į lietaus arba fekalinę kanalizaciją.

Jeigu kondensato valymo sistema yra pakankamai efektyvi, kad kondensatas gali būti išleidžiamas į lietaus kanalizaciją tokį kondensatą tinkamai apdorojus galima panaudoti termofikacinio vandens trasų papildymui.

Vvandu katilinėje turi būti paruoštas taip, kad nevyktų korozija, nesusidarytų nuovirų, nuogulų ir dumblo vidiniuose katilų garo ir vandens vamzdynuose, šilumą naudojančios įrangos ir šilumos tinklų paviršiuose ir būtų užtikrinta reikiamos kokybės vanduo bei garas [7].

Buvo atlikti katilinėje išleidžiamo kondensato ir gręžinio vandens laboratoriniai tyrimai. Gauti rezultatai pateikti 10.2 lentelėje.

10.2 lentelė. Kondensato ir gręžinio vandens parametrai

Vandens tipas	Bendras kietumas H_b $\mu\text{g-ekv}/\text{dm}^3$	Bendras šarmingumas \check{S}_b $\text{mg-ekv}/\text{dm}^3$	pH	Geležis $\mu\text{g}/\text{dm}^3$
Vanduo iš giluminio gręžinio	9560	7,0	7,0	2400
Kondensatas	2000	5,5	6,7	85

Pagal laboratorijoje ištirtus kondensato duomenis nustatyta jog kondensatas yra minkštesnis nei termofikacinio vandens tinklų papildymui naudojamas giluminio vandens gręžinio vanduo. Kondensatas yra 77,41 % minkštesnis nei giluminio gręžinio vanduo todėl galima teigti, kad tiek pat mažiau būtų suvartojama druskos jeigu kondensatas būtų naudojamas termofikacinio vandens tinklų papildymui. Pagal turimus duomenis paruošti 1 m³ giluminio gręžinio vandens sunaudojama 1,31 kg druskos (NaCl). Kadangi kondensatas yra minkštesnis tai 1 m³ kondensato paruošti būtų suvartojama 0,30 kg druskos.

Atlikus matavimus buvo nustatyta, kad vidutinė išleidžiamo į kanalizaciją kondensato temperatūra yra apie 42 °C.

Naudojant kondensatą tinklų papildymui prieš jį leidžiant į vandens cheminio paruošimo sistemą reikia jį atvėsinti iki 15 °C, kadangi pagal gamintoją į membraninį dearatorių negali patekti aukštesnės temperatūros vanduo, be to esant mažesnei vandens temperatūrai susidaro mažesnis deguonies kiekis vandenyje ko pasekoje suvartojama mažesnis azoto kiekis bei mažesnis deguonies kiekis patenka į šilumos trasas. Kondensato atvėsinimui numatomi kalorifieriai per kuriuos praėjęs kondensatas bus atvėsintas iki reikiamos temperatūros.

Reikiamo kalorifierio galia apskaičiuojama pagal (10.2) formulę:

$$Q = c_p \times q \times (t_1 - t_2) \text{ kW}; \quad (10.2)$$

Čia:

c_p – savitoji šiluma $\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$;

q – kondensato srautas, m^3 ;

t_1 – kondensato temperatūra, °C;

t_2 – reikiama kondensato temperatūra į cheminio vandens paruošimo sistemą, °C.

Apskaičiuojamas maksimalus galimas susidaryti kondensato kiekis per 1 valandą. Priima, kad maksimali kuro drėgmė 70 %, deguonies koncentracija 4 %, dūmų temperatūra į DKE – 140

°C, tuomet apskaičiuota rasos taško temperatūra – 74, 62 °C. Priimama, kad daugiausia dūmai gali būti atvėsunami iki 35 °C. Maksimali katilo galia 8,8 MW. Tuomet pagal (10.2) formulę apskaičiuotas maksimalus valandinis kondensato srautas 3,83 m³/h tokiu atveju reikalinga kalorifero galia – 120,27 kW.

Norint kondensatą naudoti trasų papildymui reikia iš jo ištraukti anglirūgštę (CO₂). Ji pašalinama membraniniame dearatoriuje deguonies ištraukimui iš vandens naudojant azotą, kadangi azotas išstumia anglirūgštę.

Taip pat tinklų papildymo vandens pH turi būti daugiau už 8,5, o didelė dalis CO₂ pašalinama kuomet pH pasiekia 8,3 [7-17].

10.4. Kondensato panaudojimo sistema termofikacinio vandens tinklų papildymui

Tačiau vidutiniškai per valandą susidarantis kondensato kiekis yra 1,6 m³ jei iš katilinės reikalaujama tiekti sakykim 5 m³ per valandą tinklų papildymo vandens vien tik naudojant kondensatą šio poreikio patenkinti nepavyks. Tam numatoma, kad tinklų papildymui būtų galima ruošti tiek kondensatą tiek giluminio gręžinio vandenį.

Jeigu būtų ruošiamas tik gręžinio vanduo druskos 5 m³ vandens paruošti būtų sunaudota už 1,31 EUR, jei būtų tiekiamas 1,6 m³ kondensato ir 3,4 m³ gręžinio vandens būtų sunaudota druskos už 0,986 m³, vadinasi sutaupoma 0,33 EUR per valandą. Jeigu toks papildymas vyksta visą parą tuomet sutaupoma 7,92 EUR, per savaitę 55,44 EUR.

Kad būtų užtikrintas reikiamas tinklų papildymo vandens kiekis suprojektuojama sistema kur kondensatas iš kondensato talpos siurblio pagalba tiekiamas per šilumokaitį kur atvėsamas iki reikiamos temperatūros, toliau kondensatas patenka į vandens nugeležinimo įrangą kur išvalomos kietos dalelės, geležis, manganas, sieros ir jos dariniai.

Toliau kondensatas patenka į vandens minkštinimo įrangą. Minkštinimo įrenginių veikimas pagrįstas karbonatinio kietumo šalinimu filtruojant vandenį per katijonito dervą. Derva regeneruojama druskos tirpalu.

Filtru yra užpildytas stipriai rūgštiniu katijonitu, kurio keitimo galia ne mažesnė kaip 1,2 gkv/l. Laikantis visų eksploatacijos taisyklių, VPI užtikrina likutinį vandens kietumą:

- Esant normaliam našumui – 0,05 – 0,02 mg-ekv/l;
- Esant maksimaliam našumui – 0,02 – 0,1 mg-ekv/l.

Įrangos veikimas pagrįstas jonų mainų procesu, kurio metu Na⁺ jonai pakeičia kalcio ir magnio jonus. Katijonitinis filtras dirba periodiškai: persijungdamas iš serviso režimo į regeneraciją ir atgal.

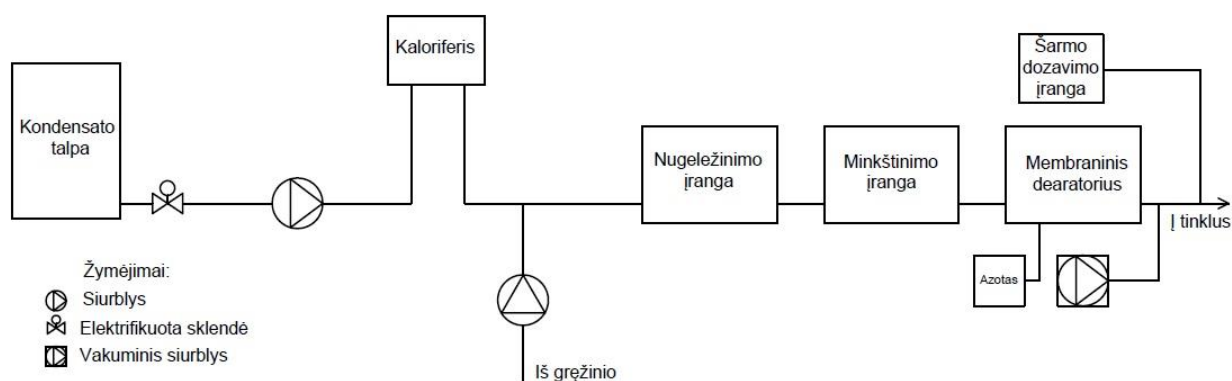
Jonitinė derva turi ribotą imlumą kalcio ir magnio jonams, dėl to po tam tikro laiko išvalyto vandens kiekio, yra atliekama filtro regeneracija. Stipriarūgštė katijonitinė derva yra regeneruojama druskos tirpalu. Regeneracijos metu Na^+ jonai pakeičia proceso metu sulaikytus kalcio ir magnio jonus, kurie pašalinami kartu praplovimo vandeniu į drenažą.

Koncentruotas druskos tirpalas susidaro tam tikro vandens kiekio ir tabletuotos druskos (NaCl) kontakto metu.

Regeneracijos metu pirma įvyksta atbulinis filtro praplovimas kuomet vandens srautas teka iš apačios į viršų. Šio proceso metu supurenama jonitinė derva bei pašalinamos susikaupusios nuosėdos. Toliau vyksta dervos apdorojimas druskos tirpalu bei lėtas praplovimas. Koncentruotas ~26 % druskos tirpalas siurbiamas iš bako ir skiedžiamas vandeniu iki 7-10 % koncentracijos. Toliau tirpalas paduodamas į filtrą (srautas teka iš viršaus į apačią). Toliau vyksta greitas praplovimas, kurio metu sutankinamas dervos sluoksnis, bei pašalinami likutiniai druskos tirpalo pėdsakai.

Po minkštینimo įrangos kondensatas patenka į membraninį dearatorių kur pašalinamas vandenyje ištirpęs deguonis bei kitos dujos. Dujos pašalinamos vakuuminio siurblio ir azoto dujų pagalba. Vakuuminis siurblys sudarydamas vakuumą per membraninio kontaktoriaus skylutes išraukia vandenyje ištirpusias dujas.

Galiausiai į vandenį pripumpuojama natrio šarmo, kad užtikrinti reikiamą pH ir toks paruoštas vanduo įleidžiamas į termofikacinio vandens tinklus.



10.4 pav. Tinklų papildymo vandens ir kondensato paruošimo tinklų papildymo vandeniui schema

IŠVADOS

1. Atlikta biokuro katilo ir dūmų kondensacinio ekonomizaizerio elektros rodiklio analizė. Aštuonias savaites rinkti veikiančių įrengimų šilumos pagaminimo ir elektros suvartojimo duomenys, pagal surinktus duomenis apskaičiuotas katilo bei DKE elektros rodiklis, apskaičiuoti jų vidutiniai elektros rodikliai analizuojamu laikotarpiu. Katilo elektros rodiklis analizuojamu laikotarpiu 5,59 kWh/MWh, katilo su DKE – 9,21 kWh/MWh, DKE – 24,33 kWh/MWh. Apskaičiuotas vidutinis DKE efektyvumas nuo katilo galios 23,91 %.

2. Atlikus analizę ir nustačius, kad DKE gali dirbti be DKE termofikacinio vandens siurblio. Išjungus šį siurblių buvo pagerintas DKE elektros rodiklis nuo 26,26 kWh/MWh iki 22,77 kWh ko rezultatas, kad sutaupoma 1011,69 kWh elektros energijos per savaitę pagaminant tą patį šilumos kiekį.

3. Atliktas dviejų skirtingų biokuro katilų naudingumo koeficiento skaičiavimas. Nustatyta, kad efektyviausiai katilai dirba kuomet jų apkrovimas apie 80 %. Skaičiuojant šilumos nuostolius į aplinką buvo atlikta katilo ir jo pagalbinių įrenginių termovizinė analizė. Skaičiuojant šilumos nuostolius dėl cheminio nesudegimo buvo naudotasi dūmų analizatoriumi išmatuojant anglies monoksido koncentraciją dūmuose.

4. Nustatytas didžiausias katilo KOMFORTS pasiekiamas NVK 84,93 %, katilo DKVR be sauso tipo ekonomizaizerio 66,8 %, su sauso tipo ekonomizaizerio 90,68 %.

4. Pateikta rasos taško skaičiavimų metodika bei analizuota rasos taško svarba sauso tipo ekonomizaizeryje.

5. Atlikus STE analizę nustatyta, kad esamu atveju dirbama ženkliai aukščiau rasos taško temperatūros. Sumažinus į STE įtekančio termofikacinio vandens temperatūra iki 53,0 °C padidintas naudingumo koeficientas 1,03 %.

6. Atliktas DKE šilumos generavimo proceso optimizavimas nustatant optimaliausią kondensatą slėgį į purkštukus kuomet yra didžiausias pelno efektas. Nustatyta, kad optimaliausias kondensato slėgis į purkštukus yra 1 bar ir kuomet uždaryta viena išpurkštimo sklendė.

7. Sudaryta formulė pelno efekto išraiškai nustatyti. Pateikti pelno efekto skaičiavimų rezultatai kintant vartojamos elektros energijos kainai bei parduodamos šilumos kainai.

8. Sudaryta DKE šilumos generavimo proceso optimizavimo programos modelis.

9. Apskaičiuoti katilo DKVR technologiniai parametrai pakeitus katilą nauju. Apskaičiuotas šilumos generavimo pasiskirstymas tarp DKE ir STE bei nustatyta kokia schema optimaliau dirbti. Nustatyta, kad esamu atveju neapsimoka dirbti su katilu ir STE, geriau dūmus praleisti per STE apėjimą tiesiai į DKE. Kadangi generuojamos šilumos kiekis išlieka toks pats

tačiau suvartojamas mažesnis elektros energijos kiekis. Sutaupoma 6,51 kWh per valandą katilui dirbant nominaliu našumu.

10. Apskaičiuoti šilumos nuostoliai į aplinką dūmams praėjus per 39,46 m ilgio vamzdyną bei multicykloną. Apskaičiuotas šių nuostolių kitimas priklausomai nuo šilumos izoliacijos storio pasirinkimo. Nustatytas optimalus šilumos izoliacijos storis esamu atveju. Esant šilumos izoliacijai Paroc Wired Mat 65 optimalus šilumos izoliacijos storis 0,16 m, esant izoliacijai Paroc Pro Wired Mat 0,14 m.

11. Apžvelgtos šiuo metu galiojančios bei naujos kurių realus įsigaliojimo laikas apie 2017 metus teršalų išmetimo normos iš kurų deginančių įrenginių.

12. Praktiškai išbandytos anglies monoksido bei azoto oksidų mažinimo priemonės. Atlikta analizė kaip kintant deguonies koncentracijai dūmuose kinta anglies monoksido ir azoto oksidų koncentracijos dūmuose. Sumažinta NO_x koncentracija nuo 316 mg/m³ iki 204 mg/m³.

13. Nustatyta, kad didžiausią įtaką azoto oksidų mažėjimui turi recirkuliuojami dūmai virš ardyno.

14. Nustatyta deguonies koncentracijos įraka katilo naudingumo koeficientui. Nustatyta, kad optimaliausia kuomet deguonies koncentracija dūmuose 4,2 %, kadangi šiuo atveju pasiekiamas didžiausias naudingumo koeficientas 85,91 %. Nuo pirminio varianto NVK pagerintas 1,56 %. Bei sumažinta NO_x koncentracija iki mažesnės nei naujos normos.

15. Sumažinus deguonies koncentraciją dūmuose padidintas DKE generuojamos šilumos kiekis 163,69 kWh.

16. Aprašytos dvi skirtingos kondensato valymo sistemos ir jų veikimo principai bei pateiktos schemas.

17. Atlikta šešių savaičių DKE susidarančio kondensato kiekio analizė bei nustatyta formulė kondensato kiekiui apskaičiuoti.

18. Išanalizuota galimybė kondensatą panaudoti termofikacinio vandens tinklų papildymui bei pateikta tokia sistema kurią naudojant būtų galima naudoti kondensatą termofikacinio vandens tinklų papildymui.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Gimbutis G., Kajutis K., Krukonis V., Pranckūnas A., Švenčianas P. Šiluminė technika. – Vilnius: Mokslo, 1993. – 78-332 p. ISBN 5-420-00751-7.
2. Martinaitis V., Lukoševičius V. Šilumos gamyba deginant kurą. – Vilnius: Technika, 2014. – 71-94 p. ISBN 978-609-457-633-1.
3. Marcinauskas K., Korsakienė I., Kuzmickas P. Žemiau rasos taško temperatūros vėsinaamų dūmų šilumos panaudojimo galimybių įvertinimas // Energetika. – Vilnius: Lietuvos mokslų akademija, 2006. p. 66-72.
4. Švenčianas P. Biosferos apsauga šiluminėje energetikoje. – Kaunas: Technologija, 1994. – 4-90 p. UDK 502.55;621.311; 621.928.
5. Gedgaudas M., Šležas A., Švedarauškas J., Tuomas E. Šilumos tiekimas. Kaunas: Aušros, 1992. – 254-283 p. UDK 658.264.
6. Daukšas J. Aplinkos apsaugos technologijos. – Šiauliai: Šiaulių universiteto leidykla, 2004. – 28-56 p. ISBN 998-38-425-3.
7. Lietuvos Respublikos ūkio ministerija. Elektrinių ir elektros tinklų eksploatavimo taisyklės. Vilnius, 2002.- 52-104 p. ISBN 9986-858-14-3.
8. Buinevičius K. Biokuro katilai šilumos gamybai.
9. Buinevičius K. Iš didelių kurą deginančių įrenginių aplinkos oro teršalų mažinimo galimybių studija. Kaunas, 2009.
10. Franceccato V. Wood fluels hanhbook. Italia, 2008.
11. Denafas G., Revoldas V. Experimentation of waste incineration in Lithuania and singularities of air pollutants formation. Kaunas, 2003.
12. Brazdeikis L. Biomasės deginių slaptosios šilumos įvertinimas. Kaunas, 2012.
13. Švenčianas P., Adomavičius A. Inžinerinė termodinamika. Kaunas: Technologija, 2011. – 48-52 p. ISBN 978-609-02-0047-6.
14. Dagilis V. Šilumos technologijos. Teorija. Kaunas: Technologija, 2013. – 6-8 p. e-ISBN 978-609-02-0910-3.
15. Puida E., Buinevičius K., Miliauskas G., Sudintas A. Kietojo kuro tyrimų laboratoriniai darbai. Kaunas: Technologija, 2012. – 4-22 p. ISBN 978-609-02-0748-2
16. Švenčianas P. Kuro degimo teorijos pagrindai. Kaunas: Technologija, 2011. -6-63 p. ISBN 995-09-547-4.
17. Rutkoviienė V., Sabienė N. Aplinkos tarša. Kaunas: Lietuvos žemės ūkio universitetas, 2008. -5-42 p. UDK 504(075.8).
18. UAB „Pajūrio planai“. Poveikio aplinkai vertinimo ataskaita. Šiauliai, 2014.

19. Prieskienis Š. Technologinių šilumos energijos nuostolių normavimo šilumos kainodaros tikslais analizė. Vilnius, 2014.

20. UAB „Lesto“. Visuomeninės elektros energijos kainos eurais 2015 metais. Prieiga per internetą < <http://www.lesto.lt/lt/privatiems/elektros-energijos-kainos-ir-tarifu-planai/elektros-energijos-kainos-eurais-2015.html> > [žiūrėta 2015-04-22].

21. Lietuvos biomasės energetikos asociacija. Asociacijos Litbioma direktorės Vilmos Gaubytės pranešimas konferencijoje „Šilumos ir energetikos ūkio pertvarka“. Prieiga per internetą: <<http://www.biokuras.lt/lt/aktualijos/asociacijos-litbioma-direktores-vilmos-gaubytes-pranesimas-konferencijoje-silumos-ir-energetikos-ukio-pertvarka.html>> [žiūrėta 2015-04-05].

22. Lietuvos Respublikos ūkio ministerija. Išmetamų teršalų iš kurą deginančių įrenginių normos LAND 43-2003. 2013.

A PRIEDAS. SKAIČIAVIMŲ REZULTATAI

A1 priedas. Elektros rodiklių skaičiavimo rezultatai

Data	DKE el. suvartojimas, kWh	VŠK-5 el. suvartojimas, kWh	DKE pagaminta šiluma, MW	VŠK-5 pagaminta šiluma, MW	DKE rodiklis, kWh/mWh	VŠK-5 rodiklis, kWh/mWh	DKE + VŠK-5 rodiklis, kWh/mWh	DKE efektyvumas, %	Kuro dregmė, %
02.23	1226.3	1406.3	44.8	194.8	27.37	7.22	10.99	23.00	36,90
02.24	1173.0	976.0	40.7	191.9	28.82	5.09	9.24	21.21	
02.25	1227.0	1021.0	46.0	188.2	26.67	5.43	9.60	24.44	
02.26	1192.0	1016.0	41.9	196.2	28.45	5.18	9.27	21.36	
02.27	1234.0	1081.3	45.7	202.6	27.00	5.34	9.32	22.56	
02.28	1234.0	1081.3	45.7	202.6	27.00	5.34	9.32	22.56	
03.01	1234.0	1081.3	45.7	202.6	27.00	5.34	9.32	22.56	
03.02	1200.0	915.0	42.20	172.3	28.44	5.31	9.86	24.49	46,80
03.03	1200.0	915.0	42.20	172.3	28.44	5.31	9.86	24.49	
03.04	1200.0	915.0	42.20	172.3	28.44	5.31	9.86	24.49	
03.05	1200.0	915.0	42.20	172.3	28.44	5.31	9.86	24.49	
03.06	1267.9	1037.4	52.00	197.5	24.38	5.25	9.24	26.33	
03.07	1267.9	1037.4	52.00	197.5	24.38	5.25	9.24	26.33	
03.08	1267.9	1037.4	52.00	197.5	24.38	5.25	9.24	26.33	
03.09	1268.0	1028.0	47.60	202.3	26.64	5.08	9.19	23.53	42,80
03.10	1291.5	1017.5	50.40	196.8	25.63	5.17	9.34	25.61	
03.11	1291.5	1017.5	50.40	196.8	25.63	5.17	9.34	25.61	
03.12	1172.0	924.0	41.00	177.2	28.59	5.21	9.61	23.14	
03.13	1201.9	1030.7	46.60	202.5	25.79	5.09	8.96	23.01	
03.14	1201.9	1030.7	46.60	202.5	25.79	5.09	8.96	23.01	
03.15	1201.9	1030.7	46.60	202.5	25.79	5.09	8.96	23.01	
03.16	1279.0	1074.0	49.80	211.4	25.68	5.08	9.01	23.56	39,90
03.17	1136.0	915.0	49.80	185.5	22.81	4.93	8.72	26.85	
03.18	1042.0	880.0	41.50	185.5	25.11	4.74	8.47	22.37	
03.19	1015.0	932.0	39.90	187.8	25.44	4.96	8.55	21.25	
03.20	1017.9	910.7	42.40	193.2	24.01	4.71	8.19	21.95	
03.21	1017.9	910.7	42.40	193.2	24.01	4.71	8.19	21.95	
03.22	1017.9	910.7	42.40	193.2	24.01	4.71	8.19	21.95	
03.23	1029.00	999.00	43.50	198.50	23.66	5.03	8.38	21.91	42,30
03.24	1045.00	1049.00	46.30	194.60	22.57	5.39	8.69	23.79	
03.25	1013.50	892.00	41.15	177.60	24.63	5.02	8.71	23.17	
03.26	1013.50	892.00	41.15	177.60	24.63	5.02	8.71	23.17	
03.27	1022.00	1056.00	47.96	194.70	21.31	5.42	8.56	24.63	
03.28	1022.00	1056.00	47.96	194.70	21.31	5.42	8.56	24.63	
03.29	1022.00	1056.00	47.96	194.70	21.31	5.42	8.56	24.63	

03.30	1051.00	1102.00	50.60	197.50	20.77	5.58	8.68	25.62	42,90
03.31	1016.00	1018.00	43.10	187.60	23.57	5.43	8.82	22.97	
04.01	1035.00	1021.00	44.00	180.20	23.52	5.67	9.17	24.42	
04.02	1055.00	1077.00	46.70	178.50	22.59	6.03	9.47	26.16	
04.03	1057.60	1062.07	45.43	191.03	23.28	5.56	8.96	23.78	
04.04	1057.60	1062.07	45.43	191.03	23.28	5.56	8.96	23.78	
04.05	1057.60	1062.07	45.43	191.03	23.28	5.56	8.96	23.78	
04.06	1038.30	1191.00	44.00	187.70	23.60	6.35	9.62	23.44	42,10
04.07	1042.00	1242.00	43.10	190.70	24.18	6.51	9.77	22.60	
04.08	1029.60	1214.80	44.90	191.28	22.93	6.35	9.50	23.47	
04.09	1048.40	1214.80	44.90	191.28	23.35	6.35	9.58	23.47	
04.10	1048.40	1214.80	44.90	191.28	23.35	6.35	9.58	23.47	
04.11	1048.40	1214.80	44.90	191.28	23.35	6.35	9.58	23.47	
04.12	1048.40	1214.80	44.90	191.28	23.35	6.35	9.58	23.47	
04.13	1039.60	1217.00	43.10	190.70	24.12	6.38	9.65	22.60	44,20
04.14	1058.20	1286.00	49.92	192.93	21.20	6.67	9.65	25.87	
04.15	1058.20	1286.00	49.92	192.93	21.20	6.67	9.65	25.87	
04.16	1058.20	1286.00	49.92	192.93	21.20	6.67	9.65	25.87	
04.17	1058.20	1286.00	49.92	192.93	21.20	6.67	9.65	25.87	
04.18	1058.20	1286.00	49.92	192.93	21.20	6.67	9.65	25.87	
04.19	1058.20	1286.00	49.92	192.93	21.20	6.67	9.65	25.87	

A2 priedas. Kondensacinio ekonomaizerio šilumos generavimo proceso optimizavimo skaičiavimų duomenys

Eil. Nr.	O ₂ kiekis, %	Dūmų temperatūra prieš DKE, °C	Dūmų temperatūra po DKE, °C	Slėgis purkštukus, bar	DKE el. galia, kWh	Rasos taško temperatūra, °C	Δd, g/kg	Generuojama šiluma, kWh	NVK, %	Parduodamo šilumos kiekio kaina, EUR	Suvaltos elektros energijos kaina, EUR	Pelno efektas, EUR
1*	7.2	159,15	41.2	1**	23	56.86	85	1509.3	102.88	46.58	2.97	43.62
2*	7.2	159,15	39.4	1*	29	56.86	92	1633.6	103.16	50.56	3.74	46.82
3	7.2	159,15	39.4	1	35	56.86	92	1633.6	103.16	50.56	4.52	46.04
4	7.2	159,15	39.2	1.1	39	56.86	93	1651.4	103.19	51.12	5.03	46.09
5	7.2	159,15	38.9	1.2	44.5	56.86	94	1669.1	103.24	51.70	5.74	45.95
6	7.2	159,15	38.6	1.3	52	56.86	95	1686.9	103.28	52.27	6.71	45.56
7	7.2	159,15	38.6	1.4	56	56.86	95	1686.9	103.28	52.27	7.22	45.04
9	7.2	159,15	38.5	1.5	59	56.86	96	1704.6	103.30	52.83	7.61	45.34
10	7.2	159,15	38.4	1.6	64.5	56.86	97	1722.4	103.31	52.83	8.32	45.21
11	7.2	159,15	38.3	1.7	67.5	56.86	98	1740.1	103.34	53.38	8.71	45.06
12	7.2	159,15	38.3	1.8	72.5	56.86	98	1740.1	103.34	53.95	9.35	45.24
13	7.2	159,15	38.3	1.9	83	56.86	98	1740.1	103.34	53.95	10.71	44.60

Paaiškinimai:

*1** - slėgis į purkštukus 1 bar, uždarytos dvi šaltos pusės kondensato išpurškimo sklendės;*

1 - slėgis į purkštukus 1 bar, uždaryta viena šaltos pusės kondensato išpurškimo sklendė;*

1 – slėgis į purkštukus 1 bar, toliau visos kondensato išpurškimo sklendės atidarytos, keičiamas kondensato slėgis į purkštukus.

A3 priedas. Šilumos nuotolių su šilumos izoliacija PAROC Wired Mat 65 skaičiavimų rezultatai.

Izoliacijos storis, m	Dūmų temperatūra iš katilo, °C	Šilumos nuostoliai per dūmų vamzdyną, kWh	Šilumos nuostoliai per multicikloną, kWh	Dūmų entalpija, kJ/kg	Galima dūmų temperatūra į DKE, °C	Prarandamas šilumos kiekis, kWh (kovo mėn)	Prarandamas šilumos kiekis, EUR
2015 m. sausio mėn.							
0.12	169.18	57.01	20.67	1092.61	159.93	57796.90	1733.90688
0.14	169.18	49.76	18.04	1100.11	161.03	50443.29	1513.298599
0.16	169.18	44.27	16.05	1105.80	161.86	44877.90	1346.336998
0.18	169.18	40.05	14.52	1110.17	162.50	40599.95	1217.998571
0.20	169.18	36.64	13.28	1113.70	163.02	37143.13	1114.293824
0.22	169.18	33.82	12.26	1116.61	163.45	34284.40	1028.532127
0.24	169.18	31.46	11.41	1119.06	163.80	31892.00	956.7599264
2015 m. vasario mėn.							
0.12	166.30	56.60	20.42	1090.88	159.67	51754.75	1552.64
0.14	166.30	49.40	17.82	1098.60	160.81	45174.30	1355.23
0.16	166.30	43.99	15.87	1104.41	161.66	40222.50	1206.68
0.18	166.30	39.75	14.34	1108.96	162.32	36349.77	1090.49
0.20	166.30	36.36	13.12	1112.60	162.86	33247.92	997.44
0.22	166.30	33.57	12.11	1115.59	163.28	30697.49	920.92
0.24	166.30	31.24	11.27	1118.10	163.66	28565.89	856.98
2015 m. kovo mėn.							
0.12	169.75	47.36	17.25	1093.90	162.50	48067.61	1442.03
0.14	169.75	41.34	15.06	1100.09	163.42	41959.31	1258.78
0.16	169.75	36.15	13.17	1105.44	164.22	36690.41	1100.71
0.18	169.75	33.26	12.12	1108.42	164.66	33763.14	1012.89
0.20	169.75	30.42	11.08	1111.35	165.09	30875.45	926.26
0.22	169.75	28.09	10.23	1113.75	165.45	28508.46	855.25
0.24	169.75	26.14	9.52	1115.76	165.75	26530.21	795.91
2015 m. balandžio mėn.							
0.12	171.48	46.55	16.30	1105.03	161.50	45252.00	1357.56
0.14	171.48	40.65	14.23	1110.93	162.73	39516.52	1185.50
0.16	171.48	36.19	12.67	1115.40	163.70	35180.88	1055.43
0.18	171.48	32.68	11.44	1118.91	164.44	31768.75	953.06
0.20	171.48	29.88	10.46	1121.71	165.05	29046.83	871.40
0.22	171.48	27.64	9.68	1123.96	165.54	26869.29	806.08
0.24	171.48	25.69	9.00	1125.91	165.95	24973.66	749.21

A4 priedas. Šilumos nuotolių su šilumos izoliacija PAROC Pro Wired Mat 80 skaičiavimų rezultatai.

Izoliacijos storis, m	Dūmų temperatūra iš katilo, °C	Šilumos nuostoliai per dūmų vamzdyną, kWh	Šilumos nuostoliai per multicikloną, kWh	Dūmų entalpija, kJ/kg	Galima dūmų temperatūra į DKE, °C	Prarandamas šilumos kiekis, kWh (kovo mėn)	Prarandamas šilumos kiekis, EUR
2015 m. sausio mėn.							
0.12	169.18	51.34	20.67	1098.48	160.780	53578.42	1607.35
0.14	169.18	44.80	18.04	1105.25	161.780	46749.63	1402.49
0.16	169.18	39.91	16.07	1110.31	162.530	41646.82	1249.40
0.18	169.18	36.05	14.51	1114.30	163.110	37618.84	1128.57
0.20	169.18	32.99	13.28	1117.48	163.570	34425.68	1032.77
0.22	169.18	30.44	12.25	1120.11	163.960	31764.70	952.94
0.24	169.18	28.34	11.41	1122.29	164.270	29573.32	887.20
2015 m. vasario mėn.							
0.12	166.30	51.02	20.42	1096.87	160.560	53147.64	1594.43
0.14	166.30	44.53	17.82	1103.83	161.570	46388.41	1391.65
0.16	166.30	39.64	15.87	1109.08	162.340	41295.03	1238.85
0.18	166.30	35.82	14.34	1113.17	162.940	37321.59	1119.65
0.20	166.30	32.76	13.11	1116.46	163.420	34129.50	1023.89
0.22	166.30	30.25	12.11	1119.16	163.820	31509.37	945.28
0.24	166.30	28.14	11.26	1121.42	164.150	29318.45	879.55
2015 m. kovo mėn.							
0.12	169.75	43.605	17.25	1097.76	163.07	45276.12	1358.28
0.14	169.75	38.057	15.06	1103.47	163.92	39515.50	1185.46
0.16	169.75	33.882	13.40	1107.78	164.55	35180.50	1055.41
0.18	169.75	30.617	12.11	1111.15	165.06	31790.37	953.71
0.20	169.75	28.002	11.08	1113.84	165.46	29075.15	872.25
0.22	169.75	25.849	10.23	1116.06	165.80	26839.64	805.19
0.24	169.75	24.056	9.52	1117.91	166.07	24977.92	749.34
2015 m. balandžio mėn.							
0.12	171.48	42.09	16.30	1109.49	162.400	43442.16	1303.26
0.14	171.48	36.74	14.23	1114.85	163.190	37920.29	1137.61
0.16	171.48	32.69	12.66	1118.90	163.780	33740.18	1012.21
0.18	171.48	29.58	11.46	1122.02	161.240	30530.27	915.91
0.20	171.48	27.04	10.47	1124.56	164.610	27908.67	837.26
0.22	171.48	24.98	9.67	1126.64	164.920	25784.56	773.54
0.24	171.48	23.19	8.98	1128.41	165.170	23934.99	718.05

A5 priedas. Teršalų koncentracijų dūmuose skaičiavimų ir matavimų rezultatai

Eil. Nr.	O ₂ koncentracija, %	CO koncentracija, mg/m ³	NO koncentracija, mg/m ³	NO ₂ koncentracija, mg/m ³	NO _x koncentracija, mg/m ³	NVK	q ₂ , %	q ₃ , %	Generuojamas šilumos kiekis DKE, kWh	Rasos taško temperatūra, °C	Δd, g/kg
1	2.74	2348.00	167.00	3.50	170.50	79.83	16.19	2.99	2335.52	66.63	180.00
2	2.82	2075.00	177.00	3.50	180.50	80.11	16.23	2.67	2325.44	66.49	178.00
3	3.11	1267.00	184.00	3.60	187.60	80.97	16.37	1.68	2294.07	66.06	172.00
4	3.34	1169.00	190.00	3.60	193.60	80.97	16.46	1.57	2272.20	65.77	168.00
5	3.39	947.00	187.00	3.00	190.00	81.21	16.50	1.29	2247.35	65.62	165.00
6	3.57	650.00	184.00	3.10	187.10	81.50	16.61	0.90	2224.08	65.34	161.00
7	4.08	205.00	195.00	3.50	198.50	81.86	16.86	0.30	2205.11	64.61	154.00
8	4.15	128.00	201.00	3.00	204.00	81.91	16.91	0.19	2163.52	64.46	150.00
9	4.28	156.00	203.00	3.20	206.20	81.87	16.91	0.23	2135.80	64.31	147.00
10	4.61	97.00	214.00	4.00	218.00	81.74	17.12	0.15	2109.33	63.87	142.00
11	4.75	68.00	224.00	4.70	228.70	81.67	17.24	0.11	2095.83	36.57	139.00
12	4.90	22.00	229.00	5.40	234.40	81.68	17.29	0.03	2081.27	63.42	137.00
13	5.20	13.00	227.00	5.70	232.70	81.52	17.47	0.02	2051.52	62.97	132.00
14	5.30	14.00	230.00	6.20	236.20	81.46	17.53	0.02	2035.99	62.82	130.00
15	5.38	22.00	229.00	5.60	234.60	81.39	17.59	0.04	2020.18	62.67	128.00
16	5.53	27.00	236.00	5.60	241.60	81.32	17.65	0.04	2004.09	62.52	126.00
17	6.25	28.00	264.00	7.20	271.20	80.79	18.17	0.05	1999.83	61.29	118.00
18	6.40	13.00	282.00	9.70	291.70	80.75	18.24	0.02	1981.98	61.13	116.00
19	7.48	14.00	298.00	11.50	309.50	79.92	19.06	0.03	1911.76	59.38	102.00
20	7.58	34.00	304.00	12.60	316.60	79.80	19.14	0.07	1890.68	59.22	100.00

Testo 350 XL Portable Emissions Analyser



Key features

- Touchscreen operation for quick operation and input
- Built-in Printer and Internal Datalogger
- Battery and 240V mains operation
- Analysis unit with datalogging function allows measurement without control unit
- Highly accurate in lower ranges for CO and NO
- Optional outdoor case available on request

Applications

- Adjust industrial burners
- Measure concentrations in crude and clean gas over long periods
- Check the atmosphere of all types of process furnace
- Maintain stationary motors such as block-type thermal power stations
- Measure emissions from diesel engines and generators

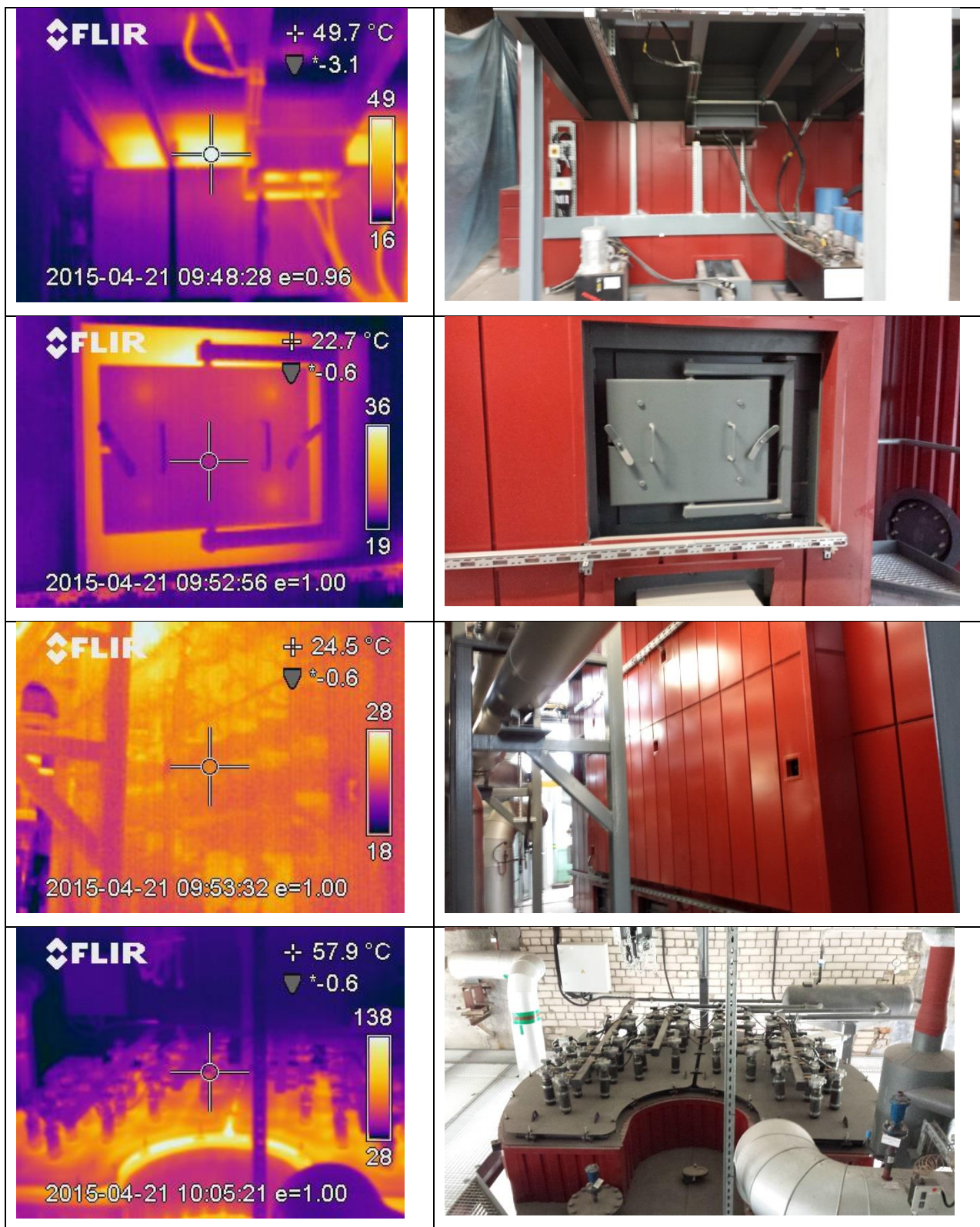
Now available on rental or hire from Ashtead Technology the Testo 350 XL. With sample conditioning technology and electrochemical sensors, the Testo 350 XL is designed for short-term industrial stack gas monitoring, combustion analysis and Flue Gas Monitoring. The analyser measures Oxygen (0 to 25%), Carbon Monoxide (0 to 10,000 ppm), Nitric Oxide (0 to 3,000 ppm), Nitrogen Dioxide (0 to 500 ppm), Sulfur Dioxide (0 to 5,000 ppm) and Temperature (-40 to 2,192 F) and calculates Carbon Dioxide (0 to CO2 max. volume %) and Efficiency (0 to 100%). The readings can be printed on board or saved by PC downloading. A complete Peltier gas preparation unit for controlled condensate removal is also standard.

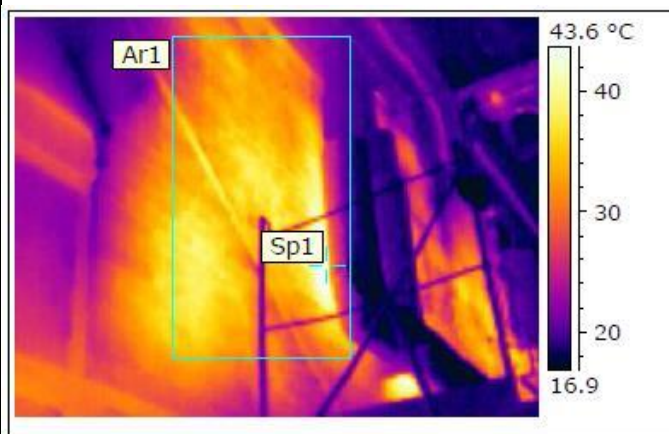
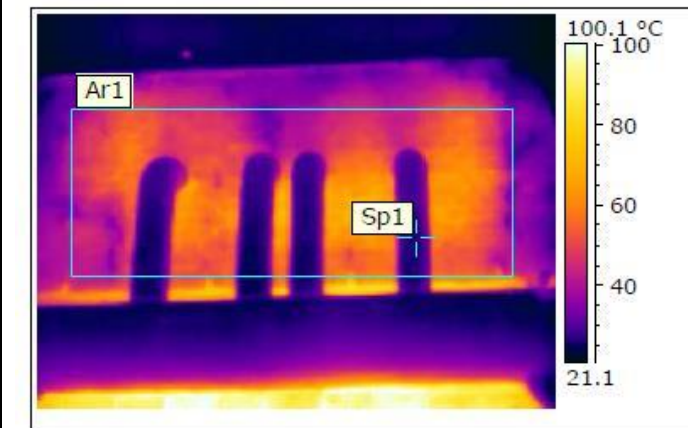
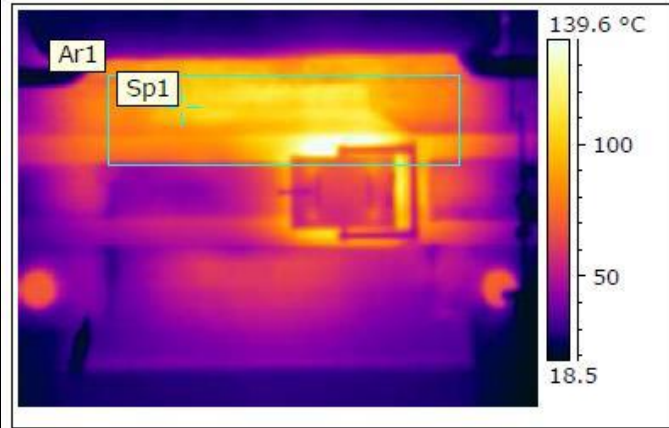
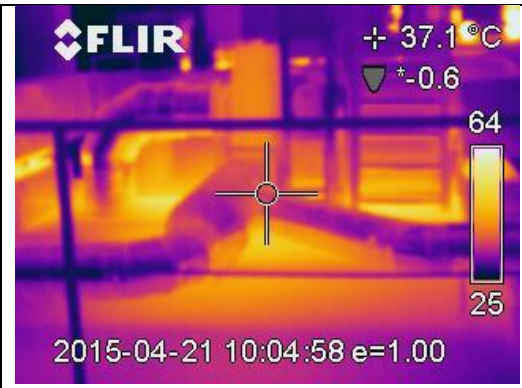
The Testo 350 XL Combustion Analyser rents with 12-inch heated probe with 7-foot hose, spare filters, software, certificate of calibration, operating manual and carrying case.

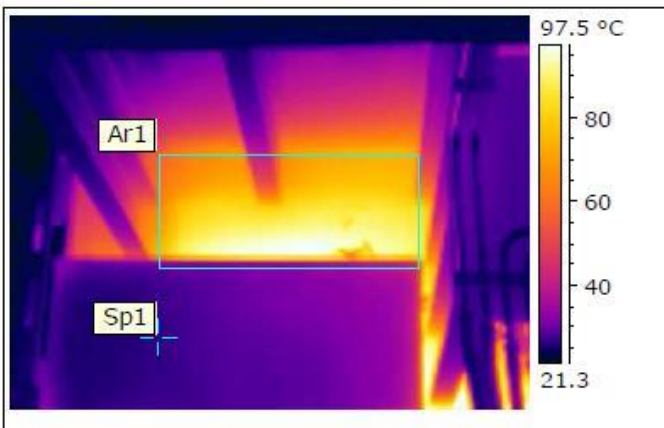
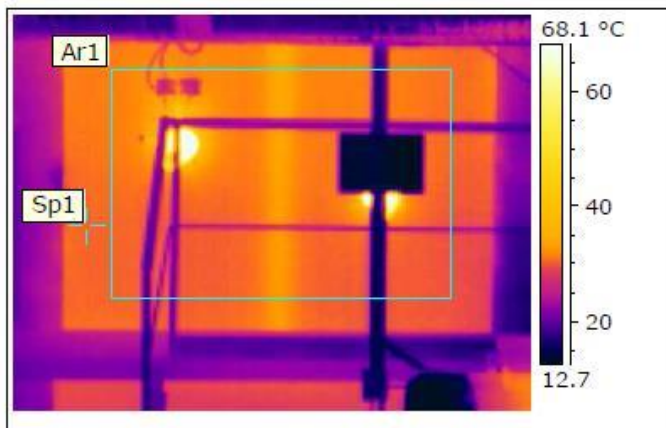
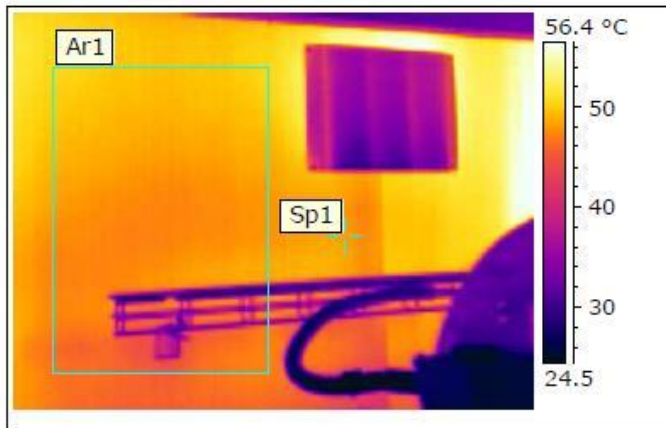
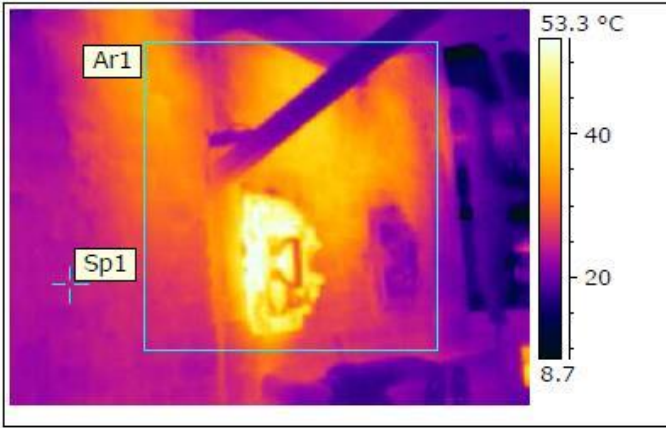
Technical specification

Power:	Rechargeable NiMH battery, up to 2 hours continuous operation or 115 VAC
Oxygen:	Range: 0 to 21% volume Resolution: 0.1% volume Accuracy: 2% of m.v
Carbon Monoxide:	Range: 0 to 10,000ppm (H2S compensated) Resolution: 1ppm Accuracy: 5ppm (0 - 99ppm), 5% m.v (100 - 2,000ppm), 10% m.v (2,001 - 10,000ppm)
Nitrogen Oxide:	Range: 0 to 3,000ppm Resolution: 1ppm Accuracy: 5ppm (0 - 99ppm), 5% m.v (100 - 2,000ppm), 10% m.v (2,001 - 10,000ppm)
Nitrogen Dioxide:	Range: 0 to 500ppm Resolution: 0.1ppm Accuracy: 5ppm (0 - 99ppm), 5% m.v (100 - 500ppm)
Sulphur Dioxide:	Range: 0 to 500ppm Resolution: 0.1ppm Accuracy: 5ppm (0 - 99ppm), 5% m.v (100 - 500ppm)
Temperature:	Range: -40°C to +1,200°C Accuracy: 0.5°C (-40°C to +99°C), 0.5% m.v (+100°C to +1,200°C)
Carbon Dioxide:	Range: 0 to CO2 max volume % Resolution: 0.1% volume Accuracy: Calculated from Oxygen
Efficiency:	Range: 0 to 100%
Power:	Rechargeable NiMH (2hours operation) or 240V AC mains

A7 PRIEDAS. TERMOVIZINIAI MATAVIMAI







B PRIEDAS. PUBLIKACIJŲ KOPIJOS

Tyrimų rezultatai paskelbti mokslinėse konferencijose:

Kvedaravičius. K., Buinevičius K. Kondensacinio ekonomizerio šilumos generavimo proceso optimizavimas. Jaunųjų mokslininkų konferencija „Pramonės inžinerija 2015“. KTU, 2015-05-14.