



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Aurimas Skikas

ĮVAIRIAUS TIPO KONDENSACINIŲ EKONOMAIZERIŲ
EFEKTYVUMO TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Termoinžinerija (621E30001)

Vadovas

Doc. dr. J. Gudzinskas

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Įvairaus tipo kondensacinių ekonomaizerių efektyvumo tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Termoinžinerija (621E30001)

Vadovas

Doc. dr. Juozas Gudzinskas

Recenzentas

Prof. dr. Vytautas Dagilis

Projektą atliko

A. Skikas

KAUNAS, 2016

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

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

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

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

1. Darbo tema **Įvairių tipų kondensacinių ekonomizerių efektyvumo tyrimas**

Efficiency analysis of various types of condensing economizers

Patvirtinta 2016 m. gegužės mėn. 3 d. dekanų įsakymu Nr.V25-1 1-7

2. Darbo tikslas: **Atlikti šalies šilumos tiekimo įmonėse naudojamų kondensacinių ekonomizerių darbo efektyvumo analizę ir bandyti įvertinti jų privalumus ir trūkumus, siekiant palyginti tiek darbo efektyvumą, tiek instaliacinius kustus kiekvieno tipo įrenginiams.**

3. Darbo struktūra

Įvadas

Literatūros apžvalga.

Esamos situacijos apžvalga. Kondensacinių ekonomizerių darbo efektyvumo priklausomybė nuo įtakojančių faktorių - grįžtančio termofikacinio vandens temperatūros, kuro drėgnumo, oro pertekliaus koeficiento ir t.t.

Skirtingų tipų kondensacinių ekonomizerių techninis - ekonominis įvertinimas

Išvados.

4. Reikalavimai ir sąlygos: **rengiant baigiamąjį; darbą prisilaikyti Lietuvos Respublikos norminių aktų reikalavimą bei magistro baigiamojo darbo apiforminimo reikalavimų.**

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

6. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo darbo dalis Aurimui Skikui

Užduotį gavau	Aurimas Skikas..... (studento vardas, pavardė)	2016.02.01 (parašas) (data)
Vadovas doc.	J. Gudzinskas	2016.02.01 (parašas) (data)



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

(Fakultetas)

Aurimas Skikas

(Studento vardas, pavardė)

Termoinžinerija (621E30001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Įvairaus tipo kondensacinių ekonomaizerių efektyvumo tyrimas“

AKADEMINIO SAŽINGUMO DEKLARACIJA

20 ____ m. _____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Aurimo Skiko**, baigiamasis projektas tema „**Įvairaus tipo kondensacinių ekonomaizerių efektyvumo tyrimas**“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Turinys

Įvadas	11
1. AB „Panevėžio energija“ šilumos gamybos sektoriaus apžvalga.....	12
1.1. Esama situacija šilumos gamybos sektoriuje	12
1.2. Degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių taikymas įmonėje	16
1.3. Esamų degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių charakteristikos ir veikimo principai.....	18
2. Techniniai ekonominiai degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių darbo aspektai	33
2.1. Panevėžio PRK1 sumontuotas degimo produktų kondensacinis ekonomaizeris Nr.1.....	33
2.2. Rokiškio ŠT katilinė.....	38
2.2.1. Rokiškio ŠT katilinėje sumontuotas Nr.2	41
2.2.2. Rokiškio ŠT katilinėje sumontuotas degimo produktų kondensacinis ekonomaizeris Nr.3.....	43
3. Degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių darbo efektyvumo analizė, jų skirtingų tipų techninis – ekonominis įvertinimas	45
4. Išvados	55
5. Literatūra.....	56

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Panevėžio rajoninės katilinės įrenginių techniniai duomenys

2 lentelė. Rokiškio rajoninės katilinės įrenginių techniniai duomenys

3 lentelė. PRK1 degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio šilumos gamybos rodikliai

4 lentelė. Rokiškio ŠT degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio šilumos gamybos rodikliai

5 lentelė. Rokiškio ŠT degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio šilumos gamybos rodikliai

6 lentelė. Katilų n.v.k padidėjimas

7 lentelė. Degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių įrengimo kaina

Paveikslų sąrašas

1 pav. Papildoma šiluminės energijos gamyba bei efektyvumo padidėjimas, įdiegus kondensacinį šilumokaitį medieną deginančioje katilinėje, esant įvairiam kuro drėgnumui [7]

2 pav. Degimo nuostolių su degimo produktais priklausomybė nuo oro pertekliaus koeficiento ir nuo degimo produktų temperatūros [7]

3 pav. Degimo produktų paskirstymo principinė schema

4 pav. Degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio principinė schema (var.1)

5 pav. Degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio principinė schema (var.2)

6 pav. Degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio principinė schema (var.3)

7 pav. Degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio ir kondensato valymo technologinė principinė schema

8 pav. Degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio principinė schema (var.4)

9 pav. Degimo produktų kontaktinio tipo kondensacinio ekonomaizerio (kondensacija vyksta ant išpurkštų vandens lašelių paviršiaus) principinė schema

10 pav. Degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio su įkrova principinė schema

11 pav. Degimo produktų nekontaktinio tipo kondensacinio ekonomaizerio (kartu su oro pašildymui skirtu šilumokaičiu) principinė schema

12 pav. Degimo produktų nekontaktinio tipo kondensacinio ekonomaizerio (kartu su oro pašildymui skirtu šilumokaičio pjūviu) principinė schema

13 pav. Kuro balansas PRK–1 2011–2014 metais

14 pav. Panevėžio PRK–1 principinė schema

15 pav. Kuro balansas RRR–1 2012–2015 metais

16 pav. Rokiškio RK–1 principinė schema

17 pav. Degimo produktų rasos taško temperatūros t_{Dr} priklausomybė nuo oro pertekliaus koeficiento λ

18 pav. Degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių pagamintos energijos kiekis ir termofikacinio vandens temperatūra T_2 atskiromis mėnesio dienomis

19 pav. Degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių pagamintos energijos kiekis ir kuro drėgnumas atskiromis dienomis

20 pav. Degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių galios priklausomybė nuo oro kiekio degimo produktuose

21 pav. Per kondensacinius ekonomaizerius pratekėjusio termofikacinio vandens srautas, m^3 /parą

22 pav. Degimo produktų kondensacinio ekonomizerio Nr. 1 ir katilų n.v.k

23 pav. Degimo produktų kondensacinio ekonomizerio Nr. 2 ir katilų n.v.k

24 pav. Degimo produktų kondensacinio ekonomizerio Nr. 3 ir katilų n.v.k

25 pav. Degimo produktų kondensacinio ekonomizerio galingumo išnaudojimo koeficientas

26 pav. Degimo produktų kondensacinių ekonomizerių MW įrengimo kaina

Skikas, Aurimas. Įvairaus tipo kondensacinių ekonomaizerių efektyvumo tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. J. Gudzinskas. Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Termoinžinerija (621E30001)

Reikšminiai žodžiai: *Dūmai, kondensacija, ekonomaizeris, katilinė, biokuras, efektyvumas.*

Kaunas, 2016. 56 p.

SANTRAUKA

Magistro baigiamajame darbe atliktas kelių tipų degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių efektyvumo tyrimas biokurą naudojančiose katilinėse. Šalyje tik prieš gerą dešimtmetį pradėti diegti degimo produktų kondensaciniai ekonomaizeriai, nes tam atsirado techninės prielaidos – į katilines grąžinamo termofikacinio vandens temperatūra tapo pakankamai žema, kad galėtų gana intensyviai vykti garų, esančių degimo produktuose, kondensacija. Taigi šalyje per minėtą laikotarpį instaliuota įvairios galios bei įvairių konstrukcijų degimo produktų kondensaciniai ekonomaizeriai, kurie dirba katilinėse, deginančiose įvairių kurą – medienos drožles, šiaudus, durpes, gamtines dujas, buitines atliekas ir t.t.

Atliekant literatūros šaltinių apžvalgą, nustatyta, jog iki dabar nebuvo įvairių konstrukcijų ir tipų degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių darbo efektyvumo tyrimų realaus darbo sąlygomis ir įvairių degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių tipų tyrimų rezultatų palyginimo. Kadangi degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių kaina yra didelė, šilumos tiekimo įmonėms svarbu teisingai įvertinti techninius – ekonominius degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių parametrus – ne tik kainą, bet ir efektyvumą, eksploatacinius kaštus ir t.t.

Šiame darbe analizuojami degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių gamybiniai rodikliai, užfiksuoti realiose AB „Panevėžio energijos“ katilinėse. Darbe aprašyti šių katilinių katilai ir kiti pagrindiniai katilinių įrenginiai, o apibendrinti duomenys pateikti paveikslėliuose ir lentelėse. Gamybiniams rodikliams palyginti pasirinktas vienas 2015 m. – 2016 m. šildymo sezono mėnuo, apibendrinti duomenys taip pat pateikti paveikslėliuose ir lentelėse.

Kaip rodo atlikta eksploatacinių rodiklių analizė, įvairaus tipo Degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių efektyvumo rodikliai yra panašūs, taigi sunku išskirti aiškų „lyderį“ efektyvumo prasme. Taip pat svarbu pažymėti, jog analizuoti degimo produktų kondensaciniai ekonomaizeriai yra įrengti skirtinguose miestuose, juos eksploatuoja skirtingą patirtį turintis personalas, jie yra skirtingo galingumo. Be to, šie įrenginiai yra prijungti prie skirtingų modifikacijų ir parametrų katilų, kurie išskiria skirtingų parametrų degimo produktus. Akivaizdu, jog norint gauti tikslesnius palyginimo duomenis, reikėtų analizuoti vienoje katilinėje įrengtus skirtingo tipo, tačiau vienodo galingumo degimo produktų kondensacinius ekonomaizerius, kuriuos aptarnautų aukštos kvalifikacijos personalas.

Skikas, Aurimas. Efficiency analysis of various types of condensing economizers. Project of the master's degree / supervisor doc. dr. J. Gudzinskas. The Faculty of Mechanical engineering and design, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Thermo engineering (621E30001)

Key words: smoke, condensation, economizer, boiler, biofuel, efficiency

Kaunas, 2016. 56 p.

SUMMARY

The research on the efficiency of some types of combustion products condensing economizers in the biofuel – fired boilers has been carried out in this master thesis. Just a decade ago the country started the installation of combustion products condensing economizers as a result of technical assumptions: the temperature of reversionary heating-system water became fairly low to have sufficiently intensive condensation of vapour present in combustion products. Therefore, during the aforementioned period the country has installed condensing economizers of diverse capacity and various designs, which operate in boiler plants using different fuel: wood – chips, straws, peat, natural gas, municipal waste, etc.

After the review of the sources of literature it was established that so far no researches on the efficiency of various designs and types of combustion products condensing economizers under real operating conditions have been carried out and no comparison of the research results of various types of condensing economizers has been made. Since the price of combustion products condensing economizers is high, it is important for heat supply companies to properly evaluate the technical – economic parameters of condensing economizers – not only the price but also the efficiency, the operating costs, etc.

The thesis analyses the industrial indicators of combustion products condensing economizers registered in existing boiler plants of public company „Panevėžio energija“. The boilers as well as other major devices of the boiler plants have been described in this thesis and aggregate data has been presented in figures and tables. For the purpose of comparison of industrial indicators, one heating season of the year 2015-2016 has been selected and the aggregate data has been shown in figures and tables.

As the performed analysis of the operational indicators shows, the indicators of the efficiency of various types of combustion products condensing economizers are similar, so it is difficult to single out one obvious „leader“ in terms of efficiency. Also it is worth noting that the described combustion products condensing economizers are of different capacity and they are equipped in diverse cities and operated by the staff having different experience. Moreover, these devices are connected to the boilers having different modifications and parameters, which pass combustion products of different parameters. It is obvious that in order to get more accurate data of comparison, it is necessary to analyse combustion products condensing economizers, installed in one boiler plant, which are of different types but of equal capacity and they should be served by highly qualified personnel.

Įvadas

Energijos taupymas yra svarbi Lietuvos Respublikos ir Europos Sąjungos energetikos politikos dalis. Lietuvoje iki 2020 m. atsinaujinančių energijos išteklių (AEI) dalis bendrajame energijos suvartojime turi sudaryti ne mažiau kaip 23 proc.[1]. Reikia skatinti tvarų energijos išteklių naudojimą, nes tai – reikšmingas būdas, didinantis energetinę nepriklausomybę ir mažinantis energetikos poveikį aplinkai. Iki 2020 m. ES valstybės įpareigos 20 proc. sumažinti anglies dvideginio dujų išmetimus, lyginant su 2005 m. [2].

Lietuvoje šilumos ir elektros gamybai naudojami atsinaujinantys energijos ištekliai – biomasė, geoterminė ir saulės energija. Didžiausią dalį šių išteklių sudaro biokuras. Šildymui daugiausia naudojami biomasės ištekliai yra mediena ir jos atliekos. Siekiant didinti biomasės panaudojimą energijos tikslams, reikia skatinti nepakankamai panaudotų išteklių: šiaudų, biodujų, miško kirtimo atliekų, trumpos rotacijos želdinių, komunalinių atliekų, – panaudojimą energetikai [3].

Biokure drėgmė svyruoja apie 30 – 60 procentų. Išgarinant tokį kiekį drėgmės, suvartojama tam tikras kiekis energijos, kuri garų pavidalu pašalinama kartu su degimo produktais. Nuostoliai dėl nepanaudotos energijos, priklausomai nuo kuro drėgmės, gali sudaryti iki 35 procentų [4]. Mažinant nuostolius, su degimo produktais katilinėse įrengiami degimo produktų kondensaciniai ekonomaizeriai, degimo produktai vėsunami žemiau rasos taško temperatūros, panaudojama aušinamų degimo produktų fizinė šiluma ir degimo produktuose esančių vandens garų kondensacijos šiluma, taupomas kuras, mažėja aplinkos oro tarša [5].

Iki 2015 m. pabaigos šilumos ūkio sektoriaus biokuro katilinių ir kogeneracinių elektrinių instaliuota šiluminė galia šilumos tiekimo įmonių ir nepriklausomų šilumos gamintojų katilinėse yra apie 1450 MW. Degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių instaliuota šiluminė galia yra 236 MW [10] [11].

Darbo tikslas – išanalizuoti degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių darbo duomenis. Analizuojami degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių gamybinių rodiklių realiose katilinėse duomenys. Įvertinamos darbo sąlygos ir jų priklausomybė nuo įrenginio darbo efektyvumo. Šios sąlygos – katilo galia, kuro rūšis, grįžtamo termofikacinio vandens temperatūra, oro pertekliaus koeficientas ir t. t.

1. AB „Panevėžio energija“ šilumos gamybos sektoriaus apžvalga

1.1. Esama situacija šilumos gamybos sektoriuje

Panevėžio šilumos tinklų įmonė įkurta 1963 – 1964 m., plečiant gamybinius pajėgumus, prie Panevėžio šilumos tinklų įmonės prijungtos „Ekran“ gamyklos ir Stiklo fabriko rajoninės katilinės. 1966 m. į šilumos tinklų įmonę buvo integruotos Kėdainių miesto „Smilgos“, 1968 m. – Rokiškio, 1969 m. – Utenos „Trikotažo“, 1978 m. – „Utenos mėsos kombinato“, 1985 m. – Kėdainių, 1994 m. Biržų, Pasvalio, Zarasų, Panevėžio, Kupiškio rajoninės katilinės ir šilumos tinklai [6].

1997 m., reorganizavus AB „Lietuvos energija“, atskiriant šilumos tiekimo filialus, liepos 1 d. Panevėžio šilumos tinklų įmonė tapo specialios paskirties akcine bendrove „Panevėžio šilumos tinklai“. Reorganizavimo metu buvo atskirti Biržų ir Utenos šilumos tinklų rajonai [6].

2002 m. „Panevėžio šilumos tinklai“ pakeitė pavadinimą ir šiuo metu vadinami AB „Panevėžio energija“ [6].

AB „Panevėžio energija“ gamina ir tiekia šilumą, karštą vandenį Panevėžio, Kėdainių, Pasvalio, Kupiškio, Rokiškio, Zarasų miestų ir rajonų vartotojams, prižiūri pastatų šildymo bei karšto vandens sistemas, buitinius karšto vandens skaitiklius ir teikia įvairias kitas paslaugas [6].



Pagrindinė bendrovės akcijų dalis priklauso Panevėžio miesto, Kėdainių, Rokiškio, Zarasų, Pasvalio, Kupiškio, Panevėžio rajonų savivaldybėms. Likusios akcijos yra privačių akcininkų nuosavybė [6].

Iš viso eksploatuojamos 36 katilinės, sumontuota 100 įvairaus tipo šilumos energijos gamybos įrenginių: 16 garo, 84 vandens šildymo katilai. Bendras katilų našumas 529,5 MW. 2014 metais 77 proc. (569,3 tūkst. MWh) šilumos buvo pagaminta nuosavuose šilumos gamybos šaltiniuose, 23 proc. (168,9 tūkst. MWh) – pirкта iš nepriklausomų šilumos gamintojų. 2014 metais į tinklus patiekta 738,2 tūkst. MWh šilumos energijos. Šilumos tiekimas termofikaciniu vandeniu sudaro 90 proc., garo tiekimas – 10 proc. Eksploatuojamų šilumos tinklų ilgis yra 344,5 km. [6].

AB „Panevėžio energija“ suskirstyta į šešis šilumos tinklų rajonus. Pažymėtos katilinės naudoja biokurą.

Pasvalio šilumos tinklų rajonas:

- Šilumos energijos gamyba, vartotojų šilumos ir karšto vandens sistemų eksploatavimas.
- Pasvalio ŠTR priklauso Pasvalio rajoninė katilinė, Joniškėlio miesto ir mokyklos katilinės, Ažuolyno, Pajiešmenių, Narteikių, Mikoliškio katilinės.
- Bendras katilinių galingumas – 41,31 MW [6].

Kupiškio šilumos tinklų rajonas:

- Šilumos energijos gamyba, vartotojų šilumos ir karšto vandens sistemų eksploatavimas.
- Kupiškio ŠTR priklauso Subačiaus, Šepetos, Noriūnų katilinės.
- Bendras katilinių našumas – 9,78 MW [6].

Rokiškio šilumos tinklų rajonas:

- Šilumos energijos gamyba, vartotojų šilumos ir karšto vandens sistemų eksploatavimas.
- Rokiškio ŠTR priklauso Rokiškio rajoninė katilinė ir Bajorų katilinė.
- Bendras šilumos šaltinių galingumas sudaro 70,5 MW.

Nuo šių metų visa reikiama šilumos energija pagaminama iš biokuro. Mazutas lieka kaip rezervinis kuras [6].

Zarasų šilumos tinklų rajonas:

- Šilumos energijos gamyba, vartotojų šilumos ir karšto vandens sistemų eksploatavimas.
- Zarasų šilumos tinklų rajonas – tai dvi Zarasų miesto katilinės ir Užtiltės gyvenvietės katilinė.
- Bendras katilinių našumas sudaro 28,68 MW.

Visa reikiama šilumos energija pagaminama iš biokuro. Mazutas lieka kaip rezervinis kuras [6].

Kėdainių šilumos tinklų rajonas:

- Šilumos energijos gamyba, vartotojų šilumos ir karšto vandens sistemų eksploatavimas.
- Kėdainių ŠTR eksploatuoja Kėdainių rajoninę katilinę, Vilainių, Josvainių, Gudžiūnų, Tiskūnų, Šlapaberžės, Akademijos, Kaplių, Šėtos mokyklos, Truskavos mokyklos, Gudžiūnų mokyklos, dvi Šėtos g. ir Sinagogos katilines Kėdainių mieste.
- Bendras katilinių galingumas sudaro 76,29 MW [6].

Panevėžio šilumos tinklų rajonas susideda:

- Šilumos ir elektros energijos gamyba, vartotojų šilumos ir karšto vandens sistemų eksploatavimas.

Panevėžio rajoninė katilinė Nr.1:

- Šilumos ir elektros energijos gamyba.
- Panevėžio rajoninėje katilinėje Nr.1 sumontuotų garo ir vandens šildymo katilų bendras našumas sudaro 130 MW.
- Katilinės elektrinė galia – 2,5 MW.
- Panevėžio rajoninėje katilinėje Nr.1 eksploatuoja Įmonių g. 19C, Tinklų g. 11, J. Janonio g. 8 ir J. Janonio g. 7, Liūdynės katilines.
- Bendras katilinių galingumas sudaro 2,25 MW [6].

Panevėžio rajoninė katilinė Nr.2:

- Šilumos ir elektros energijos gamyba.
- Panevėžio rajoninėje katilinėje Nr.2 sumontuotų garo ir vandens šildymo katilų bendras našumas sudaro 140 MW.
- Elektrinė galia – 35 MW [6].

Pažymėtos katilinės visą arba didžiąją dalį šilumos energijos pagamina naudodamos biokurą.

Tiriamajame darbe pasirinkta analizuoti PRK–1 ir Rokiškio ŠTR Rokiškio rajoninėje katilinėje įrengtų degimo produktų kondensacinių ekonomizerių efektyvumą dėl to, kad šiose katilinėse yra pastatyti skirtingo tipo degimo produktų kondensaciniai ekonomizeriai ir galima bus pasiekti tikslų, kurie buvo įvardinti baigiamojo darbo užduotyje. 1 ir 2 lentelėse pateikiami katilinių katilų techniniai duomenys.

1 lentelė. Panevėžio rajoninės katilinės įrenginių techniniai duomenys

Eil. Nr.	Katilo markė	Katilo tipas	Naudojamo kuro rūšis	Projektinė šiluminė galia, MW	Eksploatacijos pradžios metai
1.	Thermax heater	VŠK	Dujos, mazutas	16,0	2005
2.	B–25/15GM	Garas	Dujos, mazutas	18,9	1965
3.	B–25/15GM	Garas	Dujos, mazutas	18,9	1967
5.	PTVM–50	VŠK	Dujos, mazutas	45	1974
6.	Danstoker TDC – F ¹	Garas	Biokuras	8,0	2012
7.	Danstoker TDC – F ¹	Garas	Biokuras	8,0	2012
8.	Kondensacinis ekonomizeris ¹	–	–	4,0	2012
9.	AGRO	VŠK	Biokuras	12,0	2015

1 – Garo katilai Danstoker TDC – F dirba kartu su degimo produktų kondensaciniu ekonomizeriu.

2 lentelė. Rokiškio rajoninės katilinės įrenginių techniniai duomenys

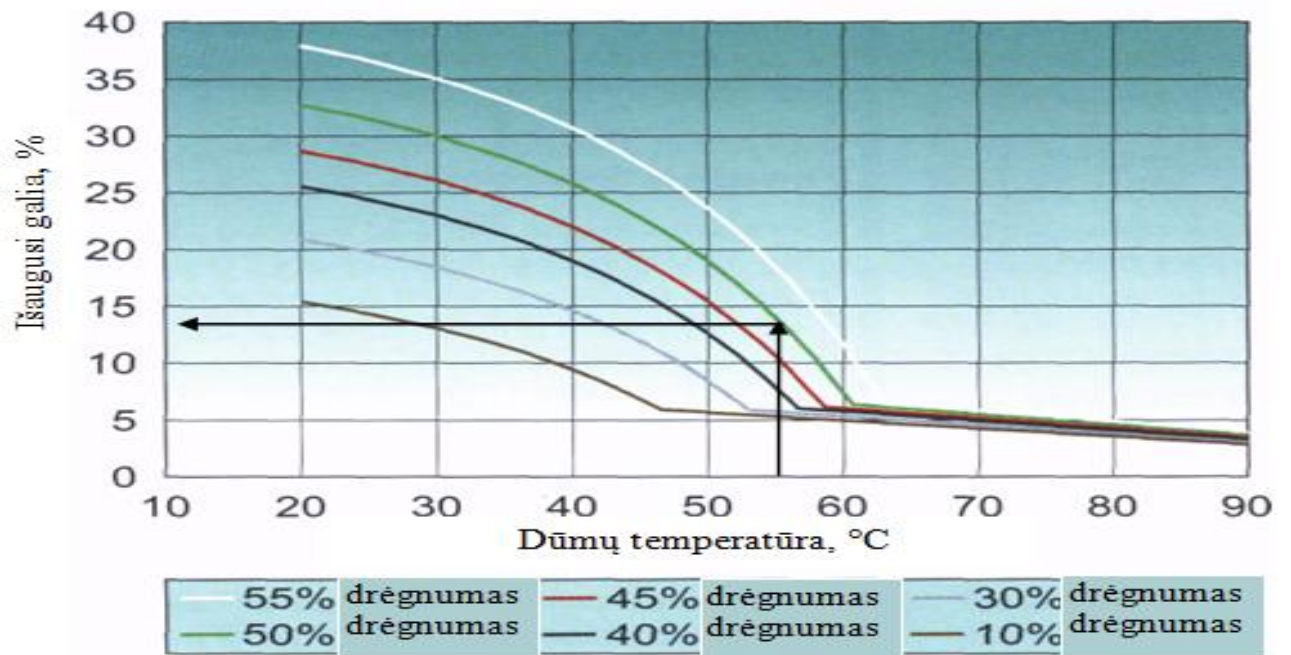
Eil. Nr.	Katilo markė	Katilo tipas	Naudojamo kuro rūšis	Projektinė šiluminė galia, MW	Eksploatacijos pradžios metai
1.	DKVR–10/13	Garų	Mazutas	7,0	1974
2.	DKVR–10/13 ¹	Garų	Biokuras	7,0	2001
3.	DKVR–10/13 ¹	Garų	Biokuras	7,0	2003
5.	DKVR–10/13 ¹	Garų	Biokuras	7,0	2008
6.	KVV.5.13 ²	VŠK	Biokuras	5,0	2015
7.	KVV.5.13 ²	VŠK	Biokuras	5,0	2015
8.	PTVM–30M–4	VŠK	Mazutas	34,9	1978
9.	Kondensacinis ekonomizeris ²	–	–	2,5	2015
8.	Kondensacinis ekonomizeris ¹	–	–	4,35	2008

1 – Garų katilai DKVR–10/13 dirba kartu su degimo produktų kondensaciniu ekonomizeriu 4,35 MW.

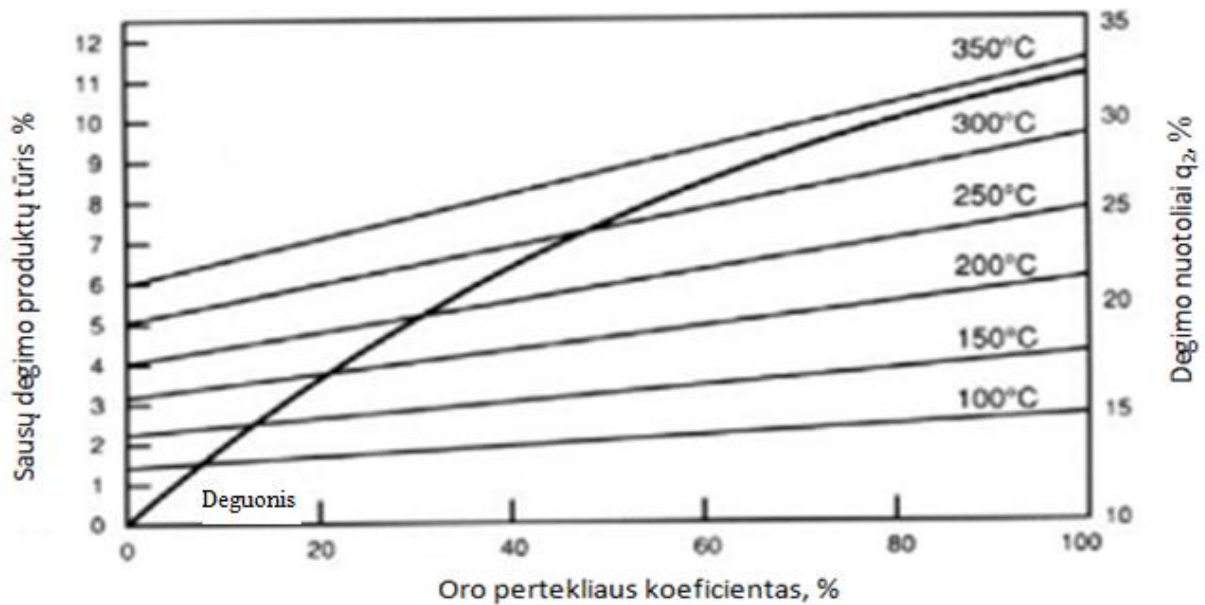
2 – Vandens šildymo katilai KVV.5.13 dirba kartu su degimo produktų kondensaciniu ekonomizeriu 2,5 MW.

1.2. Degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių taikymas įmonėje

AB „Panevėžio energija“, siekdama mažinti priklausomybę nuo didėjančių iškastinio kuro kainų ir kartu mažinti ar stabilizuoti vartotojams parduodamos šilumos kainą, aktyviai įgyvendina biokuro naudojimą šilumos ir elektros gamyboje. Grafikuose (žr.1 pav. ir 2 pav.) pavaizduotos bendrosios priklausomybės, kurios iliustruoja potencialiai galimą gauti naudą įrengiant degimo produktų kondensacinius ekonomaizerius.



1 pav. Papildoma šiluminės energijos gamyba bei efektyvumo padidėjimas, įdiegus kondensacinių šilumokaitį medieną deginančioje katilinėje, esant įvairiam kuro drėgnumui [7]



2 pav. Degimo nuostolių su degimo produktais priklausomybė nuo oro pertekliaus koeficiento ir nuo degimo produktų temperatūros [7]

Degimo produktų kondensaciniai ekonomaizeriai AB „Panevėžio energijoje“ pastatyti trijose katilinėse. Degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių bendra instaliuota galia yra 12,65 MW. Katilų, prie kurių sumontuoti degimo produktų kondensaciniai ekonomaizeriai, instaliuota galia – 55 MW, iš kurių 37 MW garo katilai ir 18 MW vandens šildymo katilai. Su garo katilais instaliuota degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių galia – 8,35 MW, su vandens šildymo katilais instaliuota degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių galia – 4,30 MW.

2007–2008 m. pirmasis 4,35 MW galios degimo produktų kondensacinis ekonomaizeris Rokiškio katilinėje buvo instaliuotas kartu su rekonstrukcijos metu modernizuotu esamu DKVR 10/13 7 MW galios mazutą naudojančiu katilu, pritaikytu naudoti biomasės kurą. Buvo išplėstas biokuro ūkis (kuro padavimo bei sandėliavimo įrengimai), įrengti nauji garo/vandens šilumokaičiai, leidžiantys biokuro katiluose pagamintą šilumą perduoti termofikaciniam vandeniui. Modernizacijos metu prie degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio buvo prijungti du DKVR 10/13 7 MW galios mazutą naudojančios katilai, pritaikyti naudoti biokurą, bei įrengtas biokuro ūkis (kuro padavimo bei sandėliavimo įrengimai), modernizuoti atitinkamai 2001 m. ir 2003 m.

2010–2012 m. modernizuojant Panevėžio rajoninę katilinę, vietoje seno garo katilo pastatyti du nauji garo katilai Danstoker TDC – F, kurių galia – 16 MW, ir 4 MW degimo produktų kondensacinis ekonomaizeris. Šalia katilinės pastato įrengta dengta biokuro išpylimo ir sandėliavimo aikštelė su privažiavimo keliais ir kita reikalinga infrastruktūra. Katilinėje galima

naudoti kelias kuro rūšis: šiaudus iki 5 %, durpes iki 30 %, medienos granules iki 5 % ir medienos atliekas.

2010–2012 m. modernizuojant Zarasų katilinę pastatytas naujas 4 MW galios vandens šildymo katilas Kalvis – 4000 MK ir 1,3 MW galios degimo produktų kondensacinis ekonomaizeris, naudojamas kuras - mazutas - pakeistas į biokurą. Įrengtas biokuro ūkis (kuro padavimo bei sandėliavimo įrengimai).

2014–2015 m. modernizuojant Zarasų katilinę rekonstrukcijos metu išmontuotas mazutu kūrenamas katilas, pastatyti du nauji KB – PM – 1,5 MW ir KB – PM – 2,5 MW galios biokuro katilai ir 0,5 MW degimo produktų kondensacinis ekonomaizeris, išplėstas biokuro ūkis (kuro padavimo bei sandėliavimo įrengimai), atlikti kiti katilinės rekonstrukcijos darbai [6].

1.3. Esamų degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių charakteristikos ir veikimo principai

AB „Panevėžio energijoje“ naudojami keturių konstrukcinių tipų degimo produktų kondensaciniai ekonomaizeriai. Kondensacijos sistemos paprastai yra dviejų tipų – tiesioginio kontakto arba netiesioginio.

Didesnis veiksmingumas tai kuro taupymas, efektyvus įrangos veikimas visą jos naudojimo laiką, darbo efektyvumas. Norėčiau aptarti šiluminių procesų optimizavimą ir energijos taupymą, pasiekiamus naudojant šilumos energijos atgavimo įrenginius.

Didėjant energijos sąnaudoms reikia ieškoti galimybių efektyvinti šiluminius procesus, tai padės stabilizuoti didėjančią energijos sąnaudų poveikį. Ekonominiai ir aplinkosaugos reikalavimai nusako, kad turime gauti didžiausią galimą gamybos efektyvumą.

Kondensaciniai paviršiai (ekonomaizeriai arba oro šildytuvai) skirti katilų išmetamiesiems degimo produktams ataušinti ir dideliame papildomame šilumos kiekiui atgauti nuo ištekančių degimo produktų. Išmetami degimo produktai, susidarantys katilinėse deginant durpes, medienos atliekas, šiukšles ar gamtines dujas, turi didelį vidinės energijos kiekį dėl dūmuose sukauptos vandens garavimo šilumos. Vykstant degimo procesui kaip šalutinis produktas susidaro vandens garai.

Įprastinės technologijos katilinėse degimo produktai išmetami pro kaminą esant 100–150 °C ar dar didesnei temperatūrai ir vandens garavimo šiluma negrįžtamai prarandama. Su degimo produktais vandens garai išeina į atmosferą. Garavimas – medžiagos virsmas iš skystos į dujinę agregatinę būseną. Garavimui priešingas procesas yra kondensacija. Garai yra iš skysto išlėkusių molekulių: jei atomo (molekulės) kinetinė energija viršija skysto paviršinio atomo (molekulių)

energiją, jis palieka skystį. Jeigu tokius degimo produktus papildomai ataušinus tiek, kad vandens garai, esantys dūmuose, taptų prisotinti (santykinė drėgmė 100 %), prasideda jų kondensacija ir išsiskiria jų kondensacijos šiluma (apie 2200–2400 kJ energijos, susikondensuojant 1 kg garo). Tokia būklė susidaro degimo produktus ataušinus iki vandens garų rasos taško temperatūros. Paviršinė kondensacija vyksta, kai sotusis garas susiliečia su paviršiumi, kurio temperatūra yra žemesnė už soties temperatūrą. Kondensacija – atvirkščias virimui procesas. Deginant dujinį ar biologinį kurą, rasos taško temperatūra yra apie 40–60 °C, priklausomai nuo degimo produktų sudėties, t. y. nuo to, kokia degimo produktuose yra vandens garų koncentracija. Kartu sudėjus fizinę degimo produktų ataušinimo šilumą ir vandens garų kondensacijos šilumą, kondensaciniuose paviršiuose dažniausiai galima papildomai pagaminti apie 7–14 % šiluminės energijos, deginant gamtines dujas, ir apie 20–30 % - deginant medienos atliekas. 1 pav. pateikiama diagrama, liudijanti, kiek gali išaugti katilinės galia dėl degimo produktų šilumos utilizavimo papildomai juos ataušinus kondensaciniuose įrenginiuose, deginant biokurą, priklausomai nuo jo drėgnumo ir ataušintų degimo produktų temperatūros. Pasiiekus vandens garų kondensacijos būklę, šilumos išskiriama kur kas daugiau.

Degimo produktų kondensacinis ekonomizaizeris mažina nuostolius išeinančios šilumos su degimo produktais q_2 . Nuo naudojamos įrangos ir kuro rūšies nuostoliai su degimo produktais gali kisti. Vidutiniškai jie sudaro apie 10–20 %. Tai yra didžiausi nuostoliai, susidarantys eksploatuojant šilumos įrenginius, turi būti skiriama daug dėmesio jiems mažinti.

Didėjant oro pertekliaus koeficientui mažėja kondensacijos temperatūra. Todėl gali atsitikti taip, kad neleistinai padidėjus oro pertekliaus koeficientui, degimo produktų kondensaciniame ekonomizaizeryje kondensacijos procesas nebevyks.

Degimo produktų kondensacinis ekonomizaizeris gali pridėti 20–30 % šiluminės galios prie biokuro katilo galios. Sukondensavus 1 kg garo gaunama 2200 – 2400 kJ energijos – apie 6 kartus daugiau energijos, negu reikėtų 1 kg vandens pašildyti nuo 0 °C iki virimo. Garai degimo produktuose atsiranda iš kuro degimo reakcijų ir kuro drėgmės $C_nH_n + O_2 = CO_2 + H_2O +$ kuro drėgmė. Degimo produktų, iš kondensacinio ekonomizaizerio patenkančių į kaminą, temperatūra - apie 50 °C. Minimalios energetinės sąnaudos – apie 10 kWh elektros energijos 1 MWh šilumos pagaminti [8].

Naudojant degimo produktų kondensacinius ekonomizaizerius, galima užtikrinti mažesnę aplinkos taršą - iš degimo produktų galima pašalinti 90–95 % kietųjų dalelių, iki 90 % SO_x, iki 90 % HCl (deginant šiaudus, durpes), iki 90 % amoniako ir kitų kvapų turinčių medžiagų. Kadangi

degimo produktų kondensacinis ekonomizeris komplektuojamas kartu su kondensato valymo sistema, į kanalizaciją išleidžiamas tik išvalytas ir neutralizuotas vanduo [8].

Visas „kondensacinis“ degimo produktų traktas turi būti gaminamas iš rūgštims atsparių medžiagų, nes susidarantis kondensatas paprastai yra rūgštus dėl naudojamame kure esančių priemaišų ir jame ištirpstančio dūmuose esančio anglies dvideginio ir susidariusių oksidų. Susidaro agresyvi terpė – vyksta korozija.

Sudėtingesni ir įvairesni kondensaciniai paviršiai naudojami kietojo kuro katilinėse, nes čia degimo produktų sraute yra įvairių priemaišų (pelenu, suodžių, įvairesnių cheminių junginių). Juose, kaip įprasta, vanduo (kondensatas) įpurškiamas į degimo produktų srautą siekiant kuo greičiau pasiekti vandens garų prisotinimo būklę ir pagerinti šilumos perdavimą nuo degimo produktų aušinamam vandeniui.

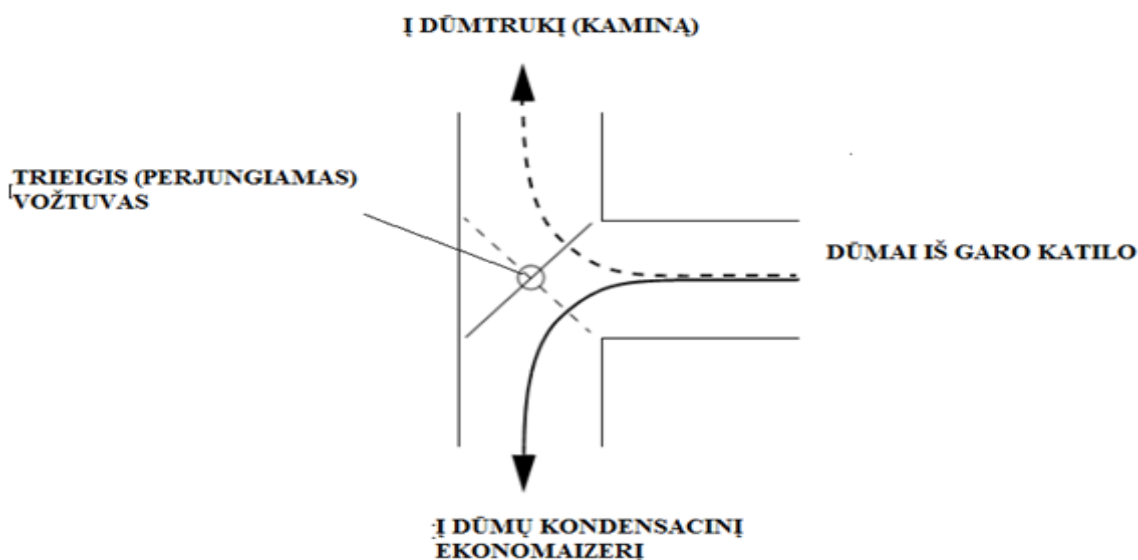
Degimo produktų kondensacinio ekonomizerio šilumos mainų paviršiaus plotą tarp degimo produktų ir kondensato sudaro vandens lašelių, sukurtų purkštukų pagalba, plotas. Bendras vandens lašelių plotas yra labai didelis tuo metu, kai lašeliai dideliu greičiu patenka į degimo produktus. Degimo produktai yra intensyviai apipurškiami vandeniu (kondensatu) per purkštukus. Vandens – kondensato lašelių – absorbuojantis paviršius atlieka mechaninio šilumokaičio funkciją. Vanduo – kondensatas – absorbuoja išeinančių degimo produktų šilumą, kuri kondensato vandeniu perduodama į kondensato surinkimo talpą, o toliau kondensato siurblių pagalba į šilumokaitį, kur pašildo grįžtamą termofikacinį vandenį, taip perduodama šilumos energija iš degimo produktų į termofikacinį vandenį.

Intensyviai apipurškiant degimo produktus vandeniu – kondensatu, degimo produktų kondensacinis ekonomizeris efektyviai atlieka ir degimo produktų filtro funkciją. Dulkių dalelės yra išvalomos iš degimo produktų ir su kondensatu nukreipiamos į kondensato valymo sistemos įrenginius.

Degimo produktų kondensaciniai ekonomizeriai, kurių paskirtis utilizuoti drėgnų degimo produktų slaptąją garavimo šilumą, kuri nenaudojant degimo produktų kondensacinio ekonomizerio yra išmetama per kaminą į aplinką. Degimo produktų kondensacinio ekonomizerio veikimas yra pagrįstas sferinėmis vandens dalelėmis, sukuriančiomis labai didelį šilumos mainų paviršių. Per specialiai drėgmei garinti suprojektuotus paviršius degimo proceso metu susidariusios drėgmės energija perduodama į kondensatą. Degimo produktai iš katilų patenka į dūmtraukį (kaminą) arba į degimo produktų kondensacinį ekonomizerį. Išeinantys iš katilų degimo produktai patenka į degimo produktų kondensacinį ekonomizerį (gali patekti į skruberį arba tiesiai į degimo produktų kondensacinį ekonomizerį, (žr.4 pav. ir 5 pav.) paveikslėliuose pavaizduotais atvejais

neturi galimybės apeiti skruberio), pratekėdami per nuolaidžius degimo produktų kanalus. Skruberinio tipo degimo produktų degimo produktų kondensaciniame ekonomizaizeryje (kontaktinis degimo produktų kondensacinis ekonomizaizeris) degimo produktai kontaktuoja su įpurškiamais vandens lašeliais ir kondensuojasi.

Prieš (žr.4 pav. ir 5 pav.) degimo produktų kondensacinius ekonomizaizerius įrengiamas skruberis. Tai įrenginys, kuris dalinai išvalo degimo produktus ir sumažina degimo produktų temperatūrą iki kondensacijos temperatūros. Skruberyje sumontuoti purkštukai, kurie apipurškia degimo produktus, taip mažinama degimo produktų temperatūra. Degimo produktuose esantys vandens garai baigia kondensuotis degimo produktų kondensaciniame ekonomizaizeryje. Kondensatas į skruberį tiekiamas siurblių pagalba, kai dalis kondensato patenka į skruberį, o kita dalis į degimo produktų kondensacinį ekonomizaizerį. Kondensatas iš skruberio teka į kondensato surinkimo talpas ir proceso siurbliais tiekiamas į plokštelinį šilumokaitį, kuriame šiluma perduodama centralizuotai šildymo sistemai. Mažoji dalis kondensato patenka į skruberį, o didesnė dalis išpurškiama aušinti degimo produktų ir patenka į degimo produktų kondensacinio ekonomizaizerio kondensato surinkimo talpas. Pagrindiniai degimo produktų kondensacinio ekonomizaizerio elementai yra pasvirę šilumos mainų vamzdžiai (žr.4 pav.), kurių šonuose sumontuoti purkštuvai, kondensato talpos, plokšteliniai tinklo šilumokaičiai. Degimo produktų kondensacinių ekonomizaizerių, pateiktų 5 pav., principinė schema skiriasi nuo anksčiau vardintų tuo, kad šilumos mainų vamzdžiai yra dėžės pavidalo, sumontuoti „dėžėje“ (žr.5 pav.), purkštukai sumontuoti viršuje vamzdžių. Degimo produktai pirmiausia patenka į karštą pusę, prateka pro karštą dalį ir patenka į šaltą pusę. Vamzdžiuose degimo produktai apipurškiami kondensatu. Degimo produktams pratekant pro kondensatą, jų temperatūra mažėja ir juose esantis vanduo kondensuojasi. Į degimo produktus nuolat intensyviai purškiamas vanduo (kondensatas) išvalo nuo dulkių bei kietų dalelių. Degimo produktų kondensacinis ekonomizaizeris taip pat veikia kaip veiksmingas degimo produktus valantis įrenginys. Stambios kietos dalelės yra pašalinamos iš degimo produktų kartu su vandeniu ir nukreipiamos į vandens valymo įrenginius. Galima teigti, kad degimo produktų kondensacinis ekonomizaizeris yra labai ekonomiškąs įrenginys visos jėgainės bei katilinės atžvilgiu. Jo dėka slaptoji garavimo šiluma, gauta iš degimo produktų kondensato pagalba, leidžia pašildyti termofikacinį vandenį, reikalingos mažesnės kuro sąnaudos bei vartotojui mažesnė kWh kaina.



3pav. Degimo produktų paskirstymo principinė schema [12]

Degimo produktai, pratekėję degimo produktų kondensacinį ekonomaizerį, nukreipiami į kaminą. Kad būtų įveiktas aerodinaminis išpurkšto vandens srauto pasipriešinimas, degimo produktų kondensaciniame ekonomaizeryje papildomai įrengtas dūmsiurblys. Prieš dūmsiurblių yra įrengtas lašų gaudytuvas. Reikia stebėti slėgio kritimą už lašų gaudytuvo, nes užsikimšęs lašų gaudytuvas didina aerodinaminį pasipriešinimą ir sistemos nuostolius. Norint išvalyti lašų gaudytuvą reikia stabdyti degimo produktų kondensacinį ekonomaizerį.

Pateikiamoje schemoje (žr.3 pav.) atvaizduotas degimo produktų įvadas, proceso (kondensato) siurblys, pH palaikymo įranga, kuri pagal poreikį dozuoja rūgštį ar natrio šarmą, elektromagnetinis įrenginys prieš nuovirų susidarymą, kondensato surinkimo talpa, šilumokaitis, pirminiai vamzdžiai ir kondensato srautas.

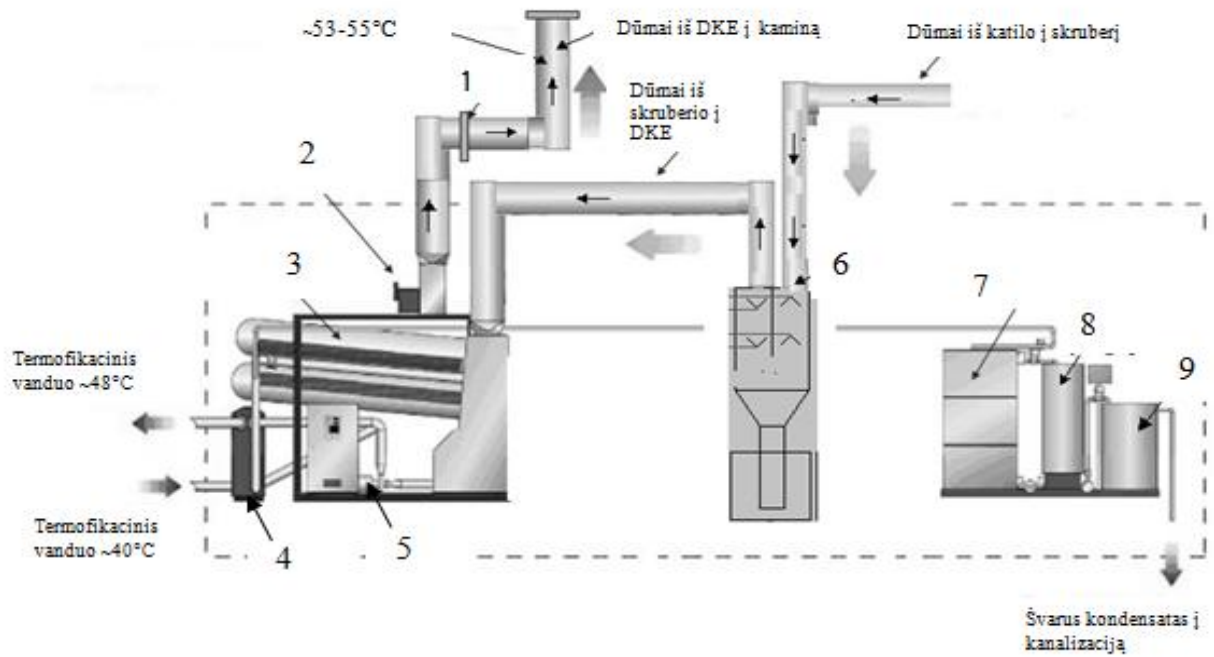
Kondensatas kondensato siurbliais yra pumpuojamas iš kondensato surinkimo bako į šilumokaitį, kuriame grįžtamam termofikaciniam vandeniui atiduodama šiluma. Didžioji dalis ataušinto vandens, ištekėjusi iš šilumokaičio, nukreipiami į paskirstymo vamzdžio kolektorius ir išpurškiama per purkštukus degimo produktų vamzdžiuose. Iš degimo produktų perėmęs šilumą ir surinkęs dulkių daleles, vanduo pro gaudyklę teka į baką. Nedidelė dalis vandens teka į kondensato valymo sistemą, o išvalytas vanduo – atgal į degimo produktų kondensacinį ekonomaizerį kondensato baką. Kondensato pH automatinio palaikymo sistema kondensato sraute matuoja ir koreguoja pH lygį.

Purkštukai degimo produktų įvade yra naudojami tuomet, kai yra aukšta degimo produktų temperatūra arba jei neveikia kondensato sistema. Šiems purkštukams maitinti naudojamas vandentiekio vanduo. Šie purkštukai naudojami vandens lygiui virš minimalios ribos palaikyti.

Degimo produktų skląščiai (užsklandos) naudojamos degimo produktų nukreipimui per degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio sistemą arba tiesioginiam jų išleidimui į kaminą.

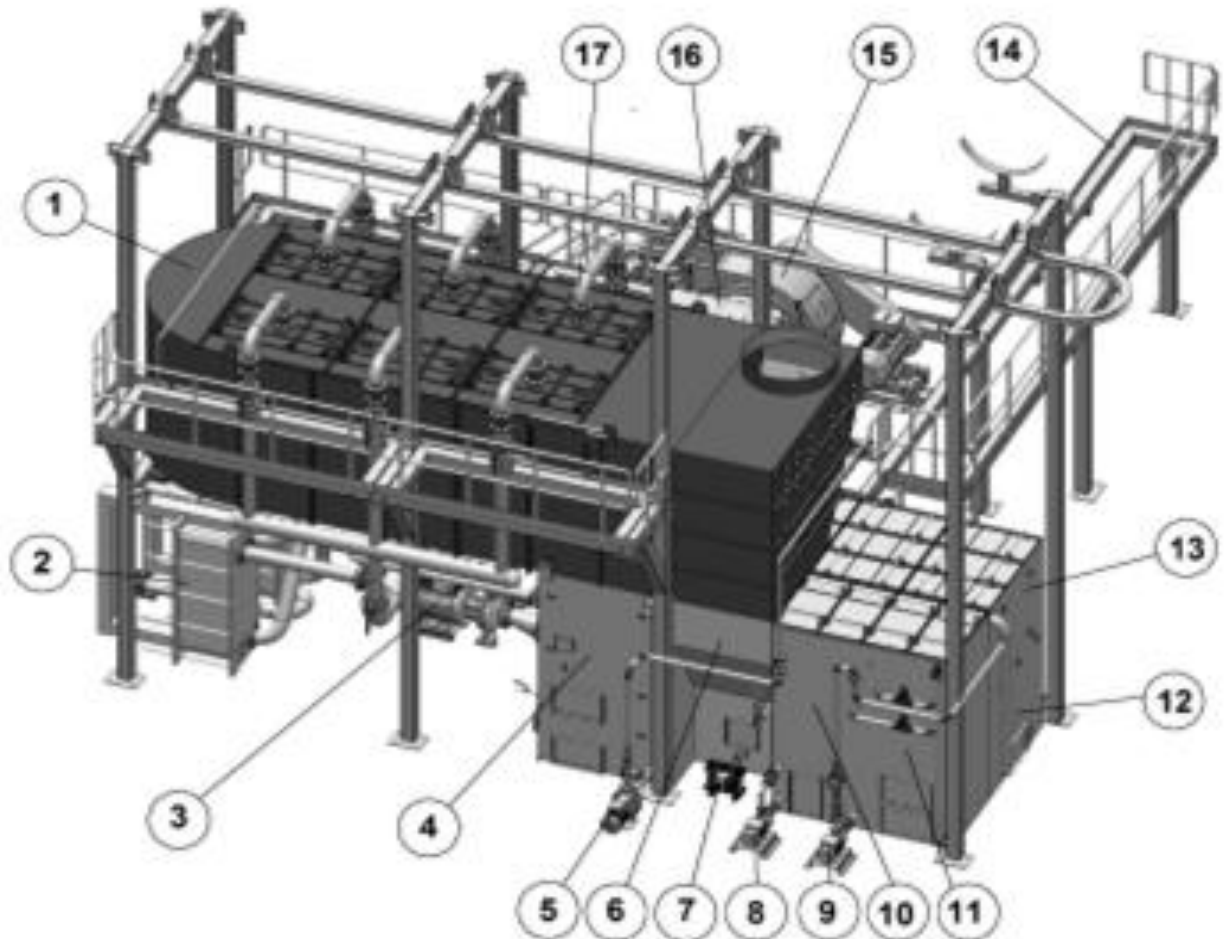
Prieš paleidžiant degimo produktų kondensacinį ekonomaizerį, kondensato surinkimo talpos užpildomos vandeniu. Dirbant degimo produktų kondensaciniam ekonomaizeriui, į degimo produktus išpurškiamas vanduo, o vėliau – iš degimo produktų susidaręs kondensatas. Kondensatas ataušina degimo produktus iki žemesnės nei kondensacija temperatūros, kondensacijos metu išsiskiria šiluma, kuri plokšteliniuose šilumokaičiuose perduodama grįžtančio termofikacinio vandens srautui.

Tiesioginio kontakto degimo produktų kondensaciniuose ekonomaizeriuose į degimo produktų srautą įpurškiamas kondensatas sudaro didelį šilumos masės mainų plotą. Degimo produktai gali būti ataušinami iki 38 °C. Pagrindinis trūkumas yra tas, kad naudojamas vanduo užteršiamas degimo produktuose esančiais teršalais. Reikalingas antrinis šilumokaitis, kuriame kondensatas atiduoda šilumą termofikaciniam vandeniui. Suprantama, neišvengiami tam tikri energijos nuostoliai.



4 pav. Degimo produktų kondensacinio ekonomizerio principinė schema (var. 1) [12]

1 – lašelių gaudytuvas, 2 – dūmsiurbliis, 3 – ekonomizeris, 4 – plokštelinis šilumokaitis, 5 – proceso siurblys, 6 – skruberis, 7 – nusodintuvo talpa, 8 – smėlio valymo įrenginys, 9 – švaraus kondensato talpa.



5pav. Degimo produktų kondensacinio ekonomizaierio principinė schema (var.3) [13]

1 – ekonomizaierio degimo produktų kamera, 2 – šilumokaitis, 3 – kondensato siurblys, 4 – kondensato bakas, 5 – skruberio siurblys, 6 – skruberis, 7 – skruberio purvo siurblys, 8 – smėlio filtro siurblys, 9 – kondensato drenažo siurblys, 10 – švaraus kondensato talpa, 11 – smėlio filtras, 12 – filtro praplovimo talpa, 13 – nusodintuvų talpos, 14 – aptarnavimo aikštelės, 15 – dūmų ventiliatorius, 16 – lašelių gaudytuvas, 17 – purkštukų blokas.

Netiesioginio kontakto sistemos (žr. pav. Nr.6) degimo produktų aušinimui paprastai naudoja termofikacinį vandenį uždara sistema, kurioje cirkuliuoja termofikacinis vanduo (apie 32 °C–50 °C). Šiuo atveju antrinis šilumokaitis nereikalingas. Per šio tipo degimo produktų kondensacinius ekonomizaierius gali tekėti visas arba dalis termofikacinio vandens srauto. Maždaug prie 140 °C prasideda rūgštinės terpės kondensacija. Netiesioginio kontakto degimo produktų kondensacinių ekonomizaierių degimo produktų traktas paprastai yra vienos eigos, o termofikacinio vandens kelių eigų.

Kaip degimo produktų kondensacinis ekonomizaieris biokuro katilinėse dažnai naudojamas vertikalus dūmavamzdis šilumokaitis (korpusinis – vamzdelinis), kurio vamzdeliais teka degimo produktai, o tarpvamzdine erdve cirkuliuoja aušinamasis (šildomas) vanduo. Tai svarbiausia degimo produktų kondensacinio ekonomizaierio sistemos dalis, kurioje degimo produktų šiluma perduodama vandeniui. Išmetami degimo produktai įteka į viršutinę ekonomizaierio dalį, teka

žemyn vamzdelių vidumi ir išteka ekonomazerio apačioje, kaip parodyta 6 paveiksle. Grįžtantis termofikacinis aušinamasis vanduo įteka į apatinę ekonomazerio dalį, teka darydamas keletą eigių tarp vamzdelinėje erdvėje skersai vamzdelių ir išteka iš ekonomazerio jo viršuje. Pratekėję per ekonomazerio vamzdelius, degimo produktai atvėsta iki temperatūros, kuri vos keliais laipsniais aukštesnė už termofikacinio vandens, įtekančio į ekonomazerį, temperatūrą.

Ekonomazerio viršutinė retinė yra nuolat apipurškiama kondensatu. Apipurškimas reikalingas tam, kad viršutinė retinė išliktų švari, taip išvengiama vamzdelių užsikimšimo. Purkštukai pastovų vandens kiekį įpurškia pagal režiminę lentelę.

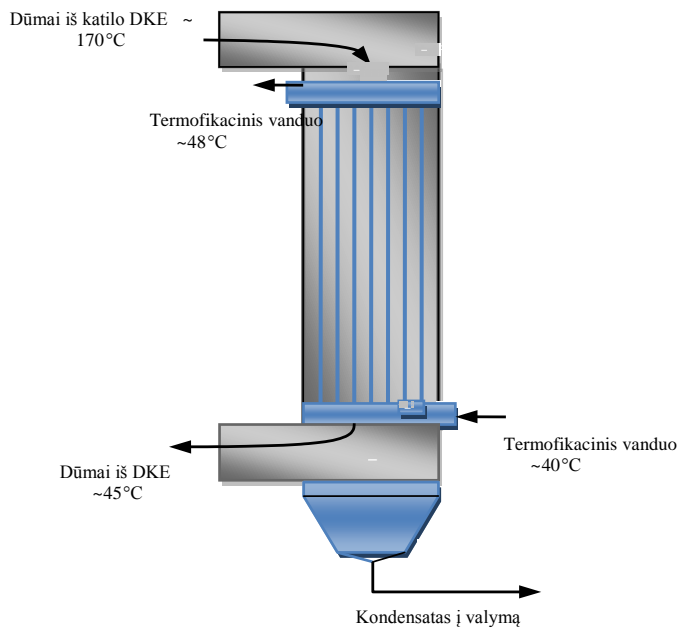
Praėję per ekonomazerį, ataušę degimo produktai yra prisotinti drėgmės ir smulkių kondensato lašelių. Didžiąją dalį dūmuose esančių kietų dalelių ekonomazeryje absorbuoja kondensatas, todėl susidarę kondensato lašeliai yra užteršti kietosiomis dalelėmis. Tokie užteršti degimo produktai negali būti išmetami per dūmtraukį, todėl iškart už ekonomazerio prateka per S formos lašelių gaudytuvus, kuriuose lašeliai sulaikomi. Kad būtų išvengta gaudytuvų užsinešimo, jie apiplaunami kondensatu. Lašelių gaudytuvus, stovintis iškart už degimo produktų išleidimo kameros, yra labiausiai apkrautas, todėl periodiškai apiplaunamas kondensatu. Po jo einantis antras lašelių gaudytuvus taip pat apiplaunamas periodiškai, bet trumpesniu periodu.

Išpurškimui reikalingas kondensatas yra imamas iš kondensato rinktuvo. Pagrindinį kondensato srautą siurblys tiekia į purkštukus ekonomazerio viršuje. Šių purkštukų pagalba kondensatu apipurškiama viršutinė retinė. Stabilus vandens tiekimas purkštukams yra vienas svarbiausių sistemos darbą užtikrinančių veiksnių.

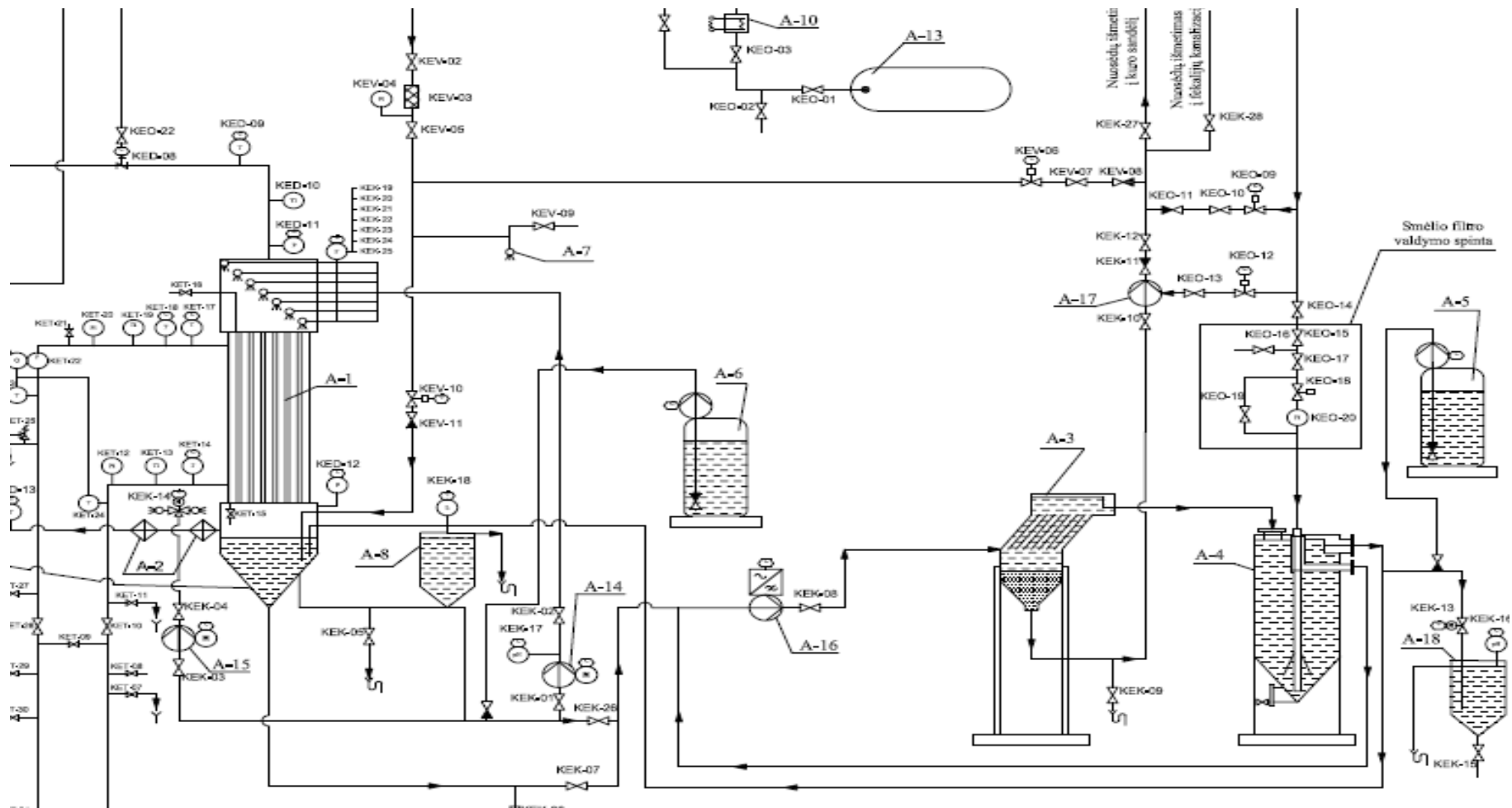
Per cikloną perėję degimo produktai nėra visiškai išvalyti nuo kietųjų dalelių. Kietųjų dalelių koncentracija dūmuose priklauso nuo medienos sudegimo pakuroje kokybės ir multiciklono darbo. Nesant apiplovimo, net ir esant nedidelėms kietųjų dalelių koncentracijoms, siauri ekonomazerio vamzdeliai neišvengiamai užsikimštų.

Suintensyvinami šilumos mainai. Purkštukai paskirsto kondensatą po visą retinės plotą, ir kondensatas kartu su degimo produktais teka ekonomazerio vamzdeliais žemyn. Virš retinės išpurškiamas kondensatas, praėjęs per ekonomazerio vamzdelius ir pasipildęs kondensatu iš dūmuose esančių garų, sukrenta į kondensato rinktuvą. Dėl išpurškimo svarbos į purkštukus tiekiamo vandens debitas yra matuojamas debitomačiais, debitų vertės turi būti nuolat stebimos. Nuolatinis kondensato išpurškimas ant viršutinės ekonomazerio rietinės realizuojamas siurbliu ir purkštukais. Išpurškiamas kondensatas mažina vamzdelių užsikimšimo riziką.

Kita dalis kondensato, skirto išpurškimui, siurbliu tiekama į purkštukus lašų gaudytuvų nuplovimui. Lašų gaudytuvų nuplovimas reikalingas norint išvengti jų užsikimšimo. Užsikimšimo pavojus kyla dėl to, kad kondensato lašeliuose, kuriuos degimo produktai neša per gaudytuvus, yra ištirpusių kietųjų dalelių. Užsikimšę lašų gaudytuvai padidina aerodinaminius pasipriešinimus taip apkraudami dūmsiurbį. Labiausiai apkraunamas pirmas lašų gaudytuvas (įrengtas iškart už ekonomizaizerio), kuris apiplaunamas periodiškai, bet ilgiau negu antras gaudytuvas. Po jo einantis antras gaudytuvas taip pat yra apiplaunamas periodiškai.

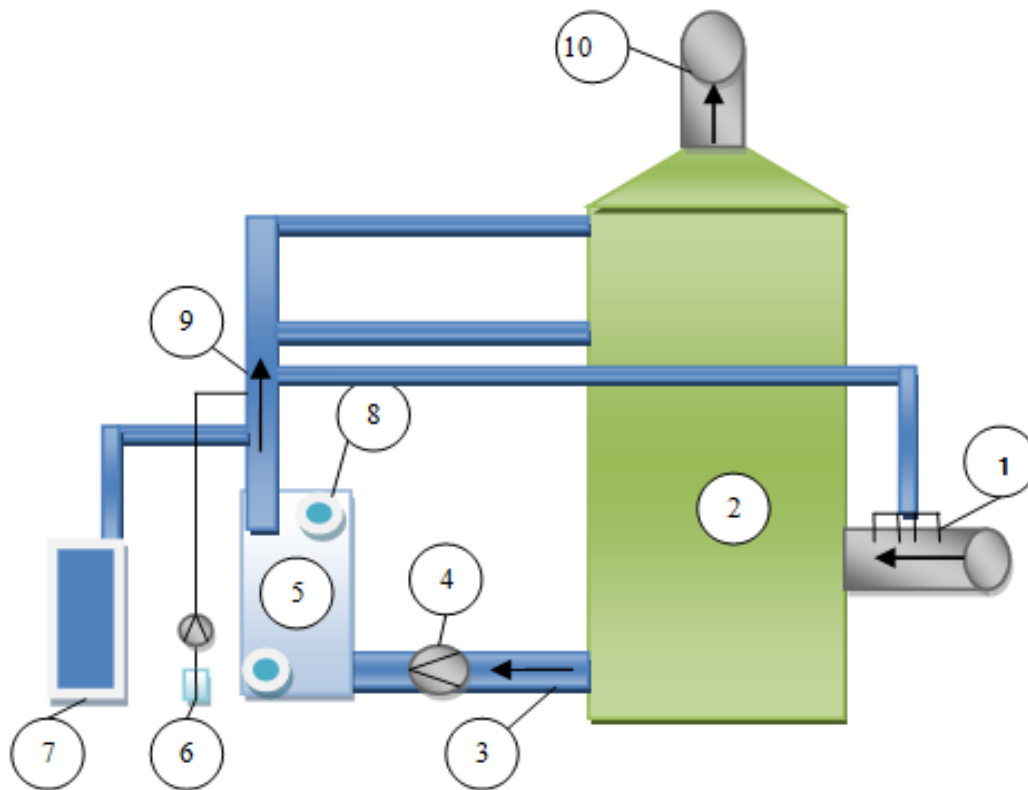


6 pav. Degimo produktų kondensacinio ekonomizaizerio principinė schema (var. 4) [14]



7 pav. Degimo produktų kondensacinio ekonomizerio ir kondensato valymo technologinė principinė schema

1 – kondensacinis ekonomizeris, 2 – lašų gaudytuvas, 3 – plokštelinis nusodintuvas, 4 – smėlio filtras, 5 – 6 – tirpalo dozatoriai su bakais, 7 – avarinis dušas, 8 – lygio matavimo bakas, 9 – šilumos kiekio apskaita, 10 – oro sausintuvas, 11 – kaminas, 12 – dūmsiurbis, 13 – oro kompresorius, 14 – išpurškimo sistemos siurblys, 15 – lašų gaudytuvo siurblys, 16 – valymo sistemos siurblys, 17 – nuosėdų siurblys, 18 – pH neutralizavimo sistemos siurblys.



8 pav. Degimo produktų kondensacinio ekonomizerio principinė schema (var. 4) [15]

1 – dūmai į kondensacinį ekonomizerį, 2 – skruberis su stacionaria įkrova, 3 – kondensatas į plokštelinį šilumokaitį, 4 – kondensato siurblys, 5 – plokštelinis šilumokaitis, 6 – pH neutralizavimo sistemos siurblys ir reagentų talpos, 7 – kondensato valymo įrenginys, 8 – termofikacinis vanduo, 9 – kondensatas išpurškimui, 10 – dūmai iš kondensacinio ekonomizerio.

Tokiame degimo produktų kondensaciniame ekonomizeryje degimo produktai iš katilo prateka įkrovą ir yra apiplaunami kondensatu. Įkrovos sluoksnyje degimo produktai atiduoda slaptąją garavimo šilumą ir yra apvalomi. Vyksta priešpriešinis šilumnešių kontaktas, o tai gerina šilumos mainus. Stacionarios įkrovos naudojimas leidžia šalinti kietąsias daleles, kurių dydis iki $1\mu\text{m}$. Skruberyje gali būti įrengti keli apiplovimo taškai. Pratekėję įkrovą degimo produktai patenka į kaminą. Kondensatas renkasi talpos apačioje ir kondensato siurblio pagalba patenka į plokštelinį šilumokaitį, kur pašildomas termofikacinis vanduo. Dalis kondensato patenka į valymo įrenginius, kur išvalomas ir švarus išleidžiamas į kanalizaciją, o dalis išvalyto kondensato grąžinama atgal. Didžioji kondensato dalis yra tiekama degimo produktų apiplovimui.

Prie $\sim 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ kondensacijos metu susidaro rūgšti agresyvi terpė, dėl to degimo produktų kondensaciniai ekonomizeriai gaminami iš korozijai atsparių medžiagų: anglies pluošto, nerūdijančio plieno, vario, aliuminio, stiklo plastiko.

Kai drėgni degimo produktai įpurškiant skystį yra aušinami, pasiekiamas rasos taškas ir dūmuose esantys vandens garai kondensuojasi, t.y. iškrenta kaip skystis. Kuo daugiau degimo

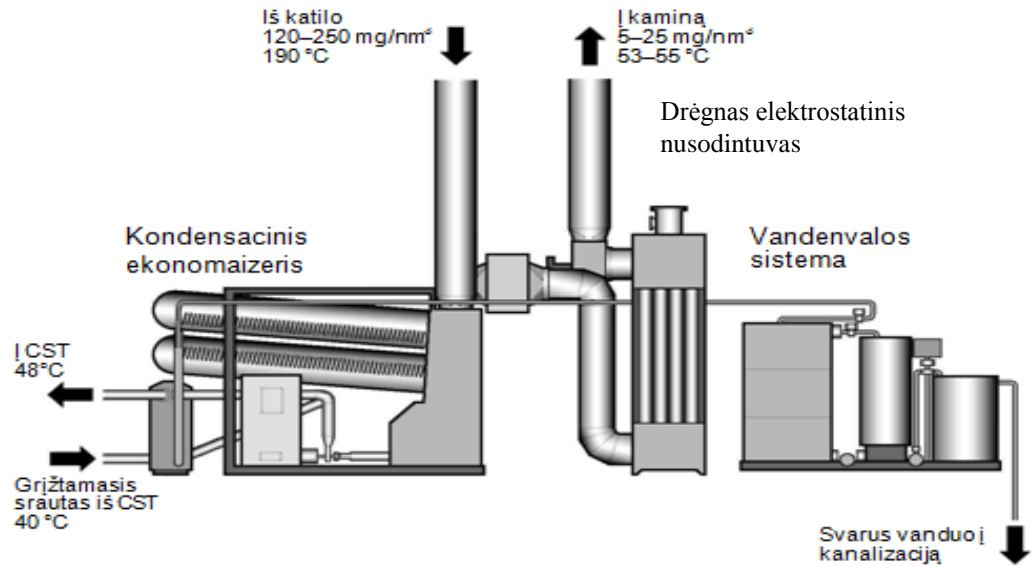
produktai yra aušinami, tuo daugiau susidaro kondensato. Kondensato kiekį galima laikyti šilumos regeneravimo matu. Matuojant kondensato tūrį, galima paskaičiuoti perduotos energijos kiekį. Kondensatas yra naudojamas kaip technologinis vanduo, kuris aušina degimo produktus uždarose sistemoje. Perteklinis kondensatas yra išvalomas vandens valymo moduluose ir pašalinamas iš sistemos. Dėl intensyvaus degimo produktų apipurškimo, kondensatas taip pat veikia kaip valantis filtras. Stambios dulkių dalelės yra pašalinamos iš degimo produktų kondensato pagalba.

Kondensato surinkimo talpoje matuojamas ir reguliuojamas kondensato pH, dozuojant į kondensatą atitinkamai šarmą arba rūgštį. Degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio kondensato valymo įrenginiuose kondensatas išvalomas, ataušinamas, jei reikia neutralizuojamas ir išleidžiamas į kanalizaciją. Kad dumblas būtų surištas į didesnes daleles, dozuotai įpurškiami fagulantai, koguliantai. Reikalui esant, skiriami reagentai vandens nuskaidrinimui, naudojami antiputokšliai.

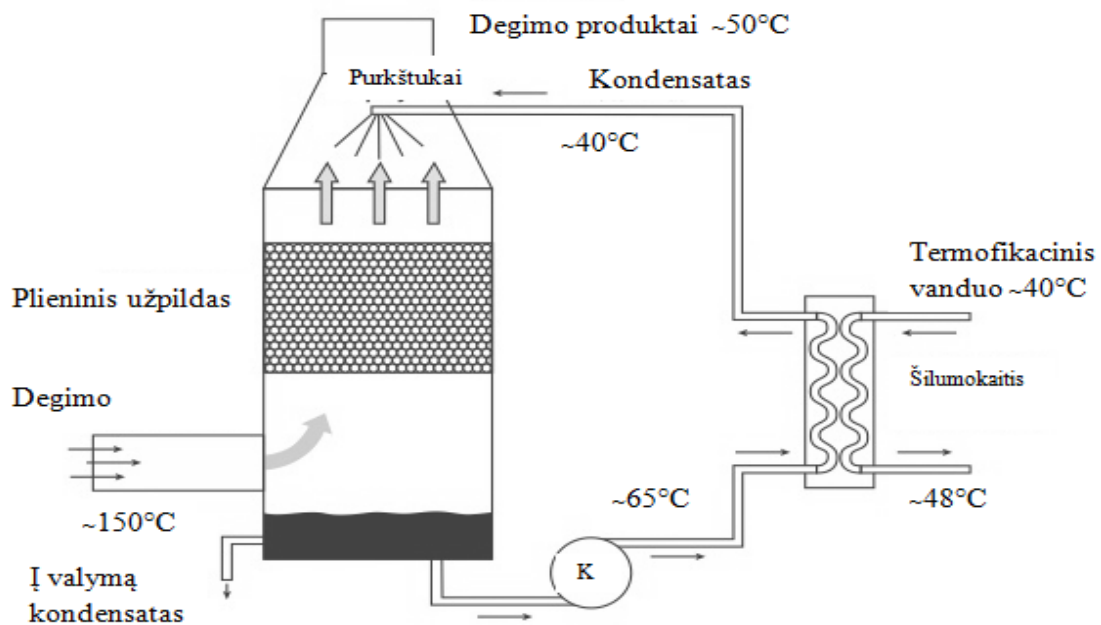
Degimo produktų trakte įrengtas papildomas šilumokaitis ir kiti įrenginiai reikšmingai didina aerodinaminį pasipriešinimą, kuriam įveikti paprastai įrengiamas papildomas dūmsiurbis. Dūmsiurbis įrengiamas prieš arba už ekonomaizerio. Aerodinaminį pasipriešinimą iki degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio paprastai įveikia katilo(ų) dūmsiurbis(ai).

Labai svarbu, kiek apvalyti degimo produktai patenka į degimo produktų kondensacinį ekonomaizerį. Užtikrintas efektyvus multiciklonų, elektrostatiinių, rankovinių filtrų darbas sąlygoja ilgesnį darbą be stabdymų, dėl to efektyviau išnaudojamas įrenginys. Svarbu ir kuro kokybė – kuras turi atitikti nustatytus reikalavimus.

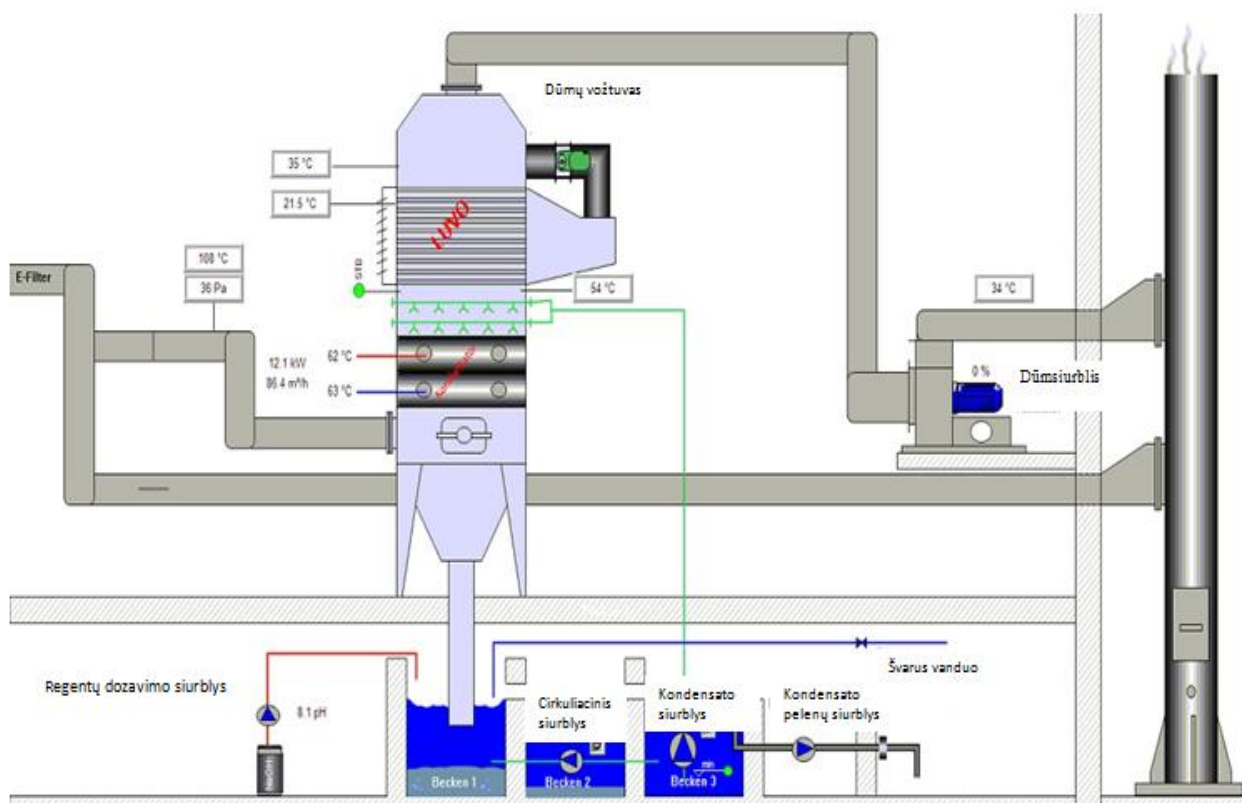
Kitos galimos degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių schemas:



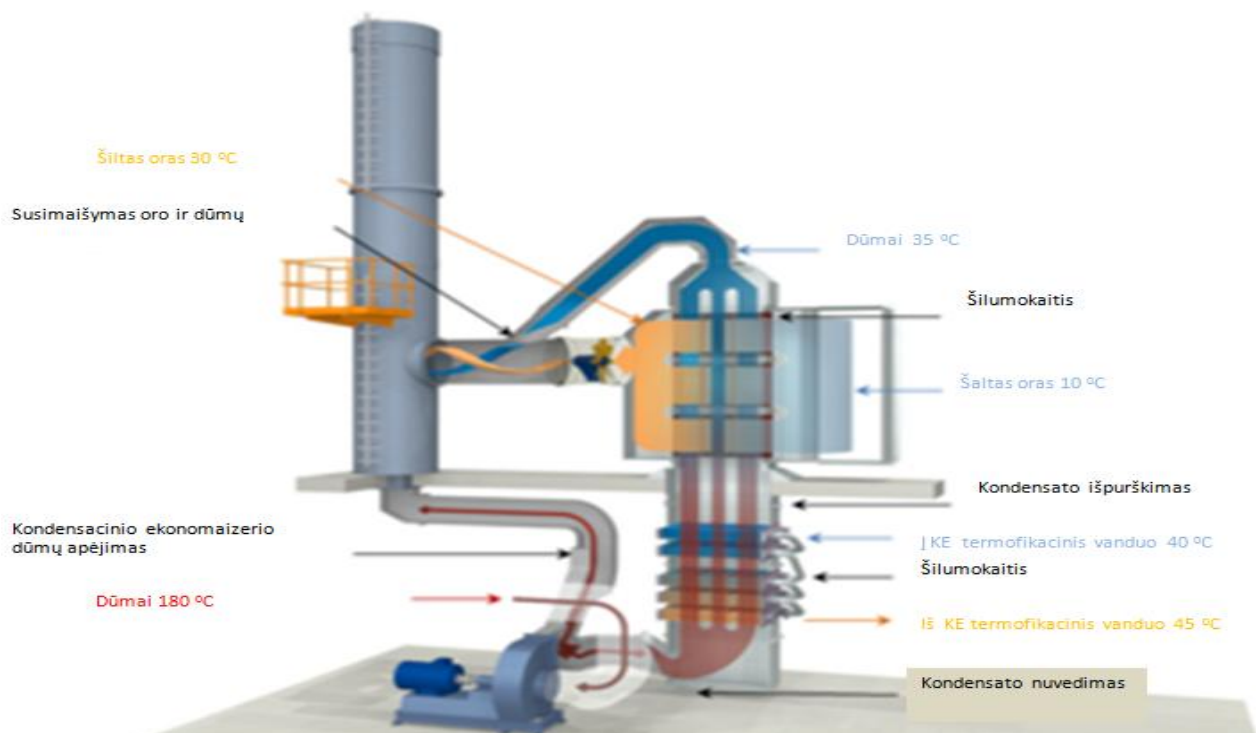
9 pav. Degimo produktų kontaktinio tipo kondensacinio ekonomaizerio (kondensacija vyksta ant išpurkštų vandens lašelių paviršiaus) principinė schema [12]



10 pav. Degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio su įkrova principinė schema [16]



11 pav. Degimo produktų nekontaktinio tipo kondensacinio ekonomizaierio (kartu su oro pašildymui skirtu šilumokaičiu) principinė schema [17]



12 pav. Degimo produktų nekontaktinio tipo kondensacinio ekonomizaierio (kartu su oro pašildymui skirtu šilumokaičio pjūviu) principinė schema [17]

Tokio tipo degimo produktų kondensaciniai ekonomaizeriai (žr.10 pav. ir 11 pav.) turi atskirą dūmų traktą kiekvienam katilui atskirai. Taip pat turi atskirą kondensato išpurškimo kontūrą ir atskirą termofikacinio vandens kontūrą. Kondensato valymo ir kondensato padavimo išpurškimui sistema bendra. Atskiri traukos ventiliatoriai. Kaminas suskirstytas į atskiras dalis kiekvienam įrenginiui.

2. Techniniai ekonominiai degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių darbo aspektai

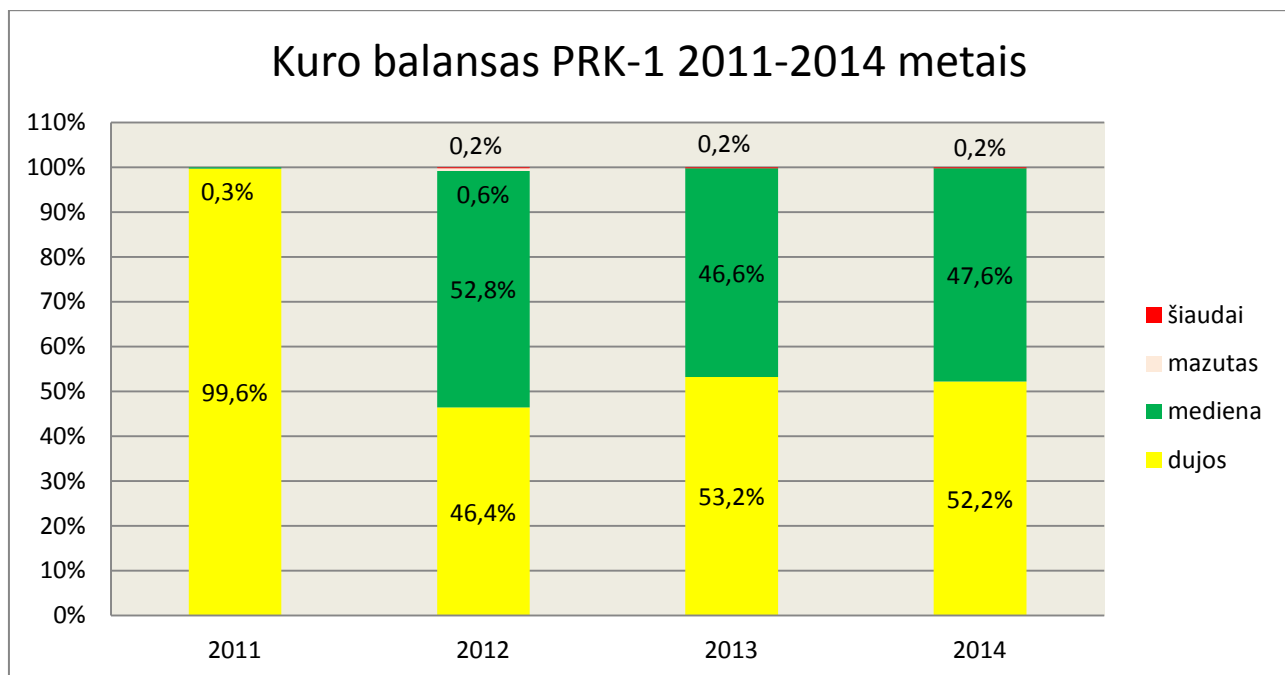
2.1. Panevėžio PRK1 sumontuotas degimo produktų kondensacinis ekonomaizeris Nr. 1

Vienas didžiausių (pagal instaliuotą šiluminę galią) Panevėžio miesto šilumos energijos šaltinių yra Panevėžio rajoninė katilinė PRK–1 (Pušaloto g. 191, Panevėžys), tiekianti šilumą ir karštą vandenį Panevėžio miestui. PRK–1 yra sudėtinė Panevėžio miesto šilumos tiekimo dalis. Joje yra įrengti 3 vandens šildymo bei 4 garo katilai, 1 kondensacinis degimo produktų ekonomaizeris darbui su katilais GK–6 ir GK–7. Šiuo metu instaliuota katilinės galia yra 129,8 MW. Katilinės bendras maksimalus šalto vandens poreikis yra apie 150 m³/h, o metinis poreikis apie 135500 m³.

Katilinėje įrengti 3 kaminai: kamino Nr.001 aukštis yra 100 m, žiočių skersmuo – 3,50 m; kamino Nr.002 aukštis – 100 m, žiočių skersmuo – 4,20 m; kamino Nr.003 aukštis – 40 m, žiočių skersmuo – 1,25 m; kamino Nr.004 aukštis 55 m, žiočių skersmuo – 1,45 m.

Biokuras sandėliuojamas 2933,1 m³ medienos sandėlyje ir 189 m³ tūrio uždarame šiaudų sandėlyje. Mazuto ūkį sudaro kuro siurblynė bei trys mazuto rezervuarai: vienas 2000 m³ tūrio ir du po 10000 m³ tūrio. Galimas kuro rezervas: mazuto – 22000 m³ (mazutas kaip avarinis kuras), biokuro – keturios intensyviausio vartojimo paros. Gamtinių dujų įvado skersmuo 325 mm, slėgis įvade 3 bar. Dujų reguliavimo punkte vamzdynas perskirtas į dvi linijas su dviem apskaitos prietaisais. Po dujų apskaitos prietaisų dujų vamzdynas perskirtas į keturias atskiras slėgio reguliavimo linijas, skirtas vandens šildymo katilams ir garo katilams.

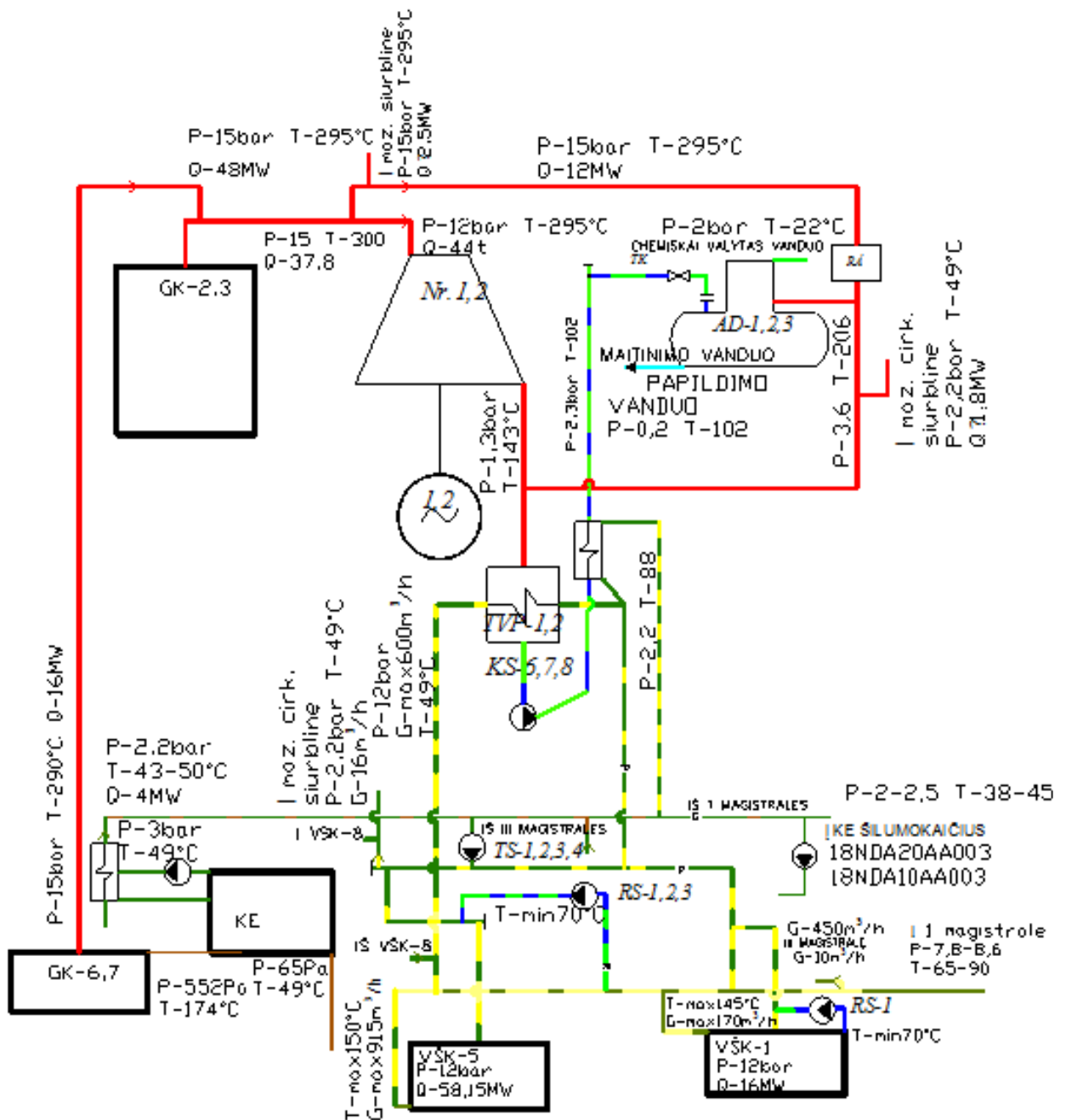
Iki 2012 metų pagrindinis kuras šilumos energijos gamybai buvo gamtinės dujos, 2012 metais pradėjus eksploatuoti du naujus po 8,0 MW galingumo biokuro garo katilus ir kondensacinį degimo produktų ekonomaizerį 16 MW biokuro katilų galiai, apie pusė šilumos energijos katilinėje pagaminama deginant biokurą, kuris šiltuoju metų laiku sudaro iki 78 % katilinės kuro balanso (žr.12 pav.). Likę du vandens šildymo bei du garo katilai, kurių bendras galingumas 97,8 MW, kūrenami gamtinėmis dujomis (rezervinis kuras – mazutas).



13 pav. Kuro balansas PRK–1 2011–2014 metais

Visų katilinės šilumos energijos gamybos įrenginių valdymas ir paleidimas yra automatizuotas: vandens šildymo katilų VŠK–1, VŠK–5, VŠK–8 paleidimas ir valdymas automatinis; garo katilo GK–3 paleidimas pusiau automatinis, o valdymas automatinis; garo katilų GK–2, GK–6 ir GK–7 paleidimas ir valdymas automatinis.

Panevėžio PRK–1 principinė schema pateikta 1 paveikslėlyje



14 pav. Panevėžio RK–1 principinė schema

Katilinėje įrengtas degimo produktų kondensacinis ekonomaizeris dirba kartu su garo katilais GK–6 ir GK–7. Grįžtantis termofikacinis vanduo, tekantis į degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio plokštelines šilumokaičius, imamas prieš tinklo siurblius ir degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio termofikacinio vandens siurblių pagalba ir grąžinamas prieš tinklo siurblius.

Nagrinėjamoje sistemoje degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio Nr.1 galia – 4 MW, kai dirba kartu su garo katilais, kurių bendra galia 16 MW. Degimo produktų kondensacinio

ekonomaizerio galia yra 25 % katilų galios. (Katilai – Danstoker TDC – F, apie 4 metai. Panevėžio PRK1).

Garų katilų tipas – dūmavamzdis 3 – jų eigių horizontalus su garų perkaitintuvu ir ekonomaizeriu 2 – jų eigių – vertikalus. Garų katilas vertikalčiai sujungtas su biokuro pakura. Degimo produktai iš pakuros patenka į katilą, praeina per katilo pirmos eigos kanalą, katilo gale pasisuka ir 2 eigos dūmavamzdžiais grįžta į katilo priekį, pratekėję pro garų perkaitintuvą ir 3 eigos dūmavamzdžius išeina katilo galinėje dalyje ir per degimo produktų kanalą patenka į katilo ekonomaizerį. Po ekonomaizerio dūmai patenka į multicikloną. Pratekėję multicikloną dūmai patenka į bendrą kanalą, toliau tekėdami patenka į degimo produktų kondensacinį ekonomaizerį.

Katilų ir kondensacinio ekonomaizerio eksploatacijos pradžia 2012 m. Katilai ir degimo produktų kondensacinis ekonomaizeris dirba visus metus. Stabdomi reguliariai – apžiūrai ir valymui. Valomas katilų degimo produktų traktas, vandens traktas nevalomas. Degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio valomas degimo produktų ir kondensato traktas.

Degimo metu palaikoma pastovi O_2 , apie 6,6 % koncentracija degimo produktuose už katilo. Degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio galingumo išnaudojimo koeficientas – apie 64 %. Termofikacinio vandens temperatūros, tiekiamos į kondensacinį ekonomaizerį, metinis vidurkis yra $T_1=38,30$ °C, iš degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio – $T_2=43,3$ °C. Katilų metinis n.v.k. vidurkis 85 %, dirbant su degimo produktų kondensaciniu ekonomaizeriu – 100 %. Lentelėje 3 pateikiami degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio darbo duomenys.

3 lentelė. Panevėžio RK1 degimo produktų kondensacinio ekonomizaizerio šilumos gamybos rodikliai

DKE Nr. 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Viso Vid.
KE kond. ekonom., MWh	49	52	47	54	55	55	60	62	60	64	65	66	70	69	67	68	67	66	67	67	70	64	68	68	62	58	56	57	62	66	74	1932
Pagam. šiluma be kond. ekon., MWh	367	365	353	358	355	355	359	352	343	359	361	356	337	349	359	350	355	361	369	337	355	357	365	374	355	371	374	356	354	364	367	11094
Pagam. šiluma su kond. ekon., MWh	416	417	400	412	410	410	419	413	403	422	426	422	407	418	426	418	422	427	436	404	425	421	433	442	416	429	430	413	416	429	441	13026
KE (4 MW) %	51,1	54	49	56	57	57	63	64	62	66	67	68	73	72	69	71	70	69	70	69	73	66	71	71	64	61	58	59	64	68	77	64
O ₂ : %	6,5	6,6	6,7	6,6	6,5	6,8	6,4	6,5	6,7	6,5	6,8	6,5	6,4	6,6	6,4	6,5	6,8	6,7	6,6	6,4	6,3	6,4	6,5	6,8	6,7	6,5	6,6	6,8	6,6	6,5	6,7	6,6
Kuro drėgnumas, %	41,1	39,3	40,5	39,3	39,6	39,6	39,6	39,0	42,5	41,4	41,7	41,7	41,7	41,7	39,7	38,5	39,1	39,7	39,7	39,7	40,0	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	40,5	40,8	40,4	40,0	
GK n.v.k., %	88	85	82	79	83	81	82	88	92	86	87	79	75	77	85	83	82	81	83	78	81	87	88	92	87	93	96	90	92	88	86	85
GK + KE n.v.k., %	100	98	93	90	96	94	96	104	108	102	103	94	90	93	100	99	98	96	98	94	97	103	104	109	103	108	111	104	108	104	103	100
T ₁ kond. ekonom., °C	40,9	41,2	41,9	40,6	38,4	38,2	37,2	37,0	36,8	37,2	37,7	37,3	36,5	36,1	36,2	36,0	36,3	36,2	36,0	36,1	36,7	36,8	36,0	35,7	37,9	41,3	41,7	41,8	41,6	43,3	39,7	38,3
T ₂ kond. ekonom., °C	44,8	45,4	45,7	45,0	42,9	42,7	42,1	42,0	41,7	42,4	43,0	42,6	42,2	41,1	41,2	41,3	41,6	41,7	40,5	41,6	42,5	42,1	41,6	41,3	43,0	46,0	46,2	46,3	46,6	48,7	45,7	43,3
KE., m ³	10659	10665	10658	10674	10644	10588	10601	10631	10682	10659	10655	10631	10567	10597	10424	10573	10459	10404	10464	10434	10612	10597	10603	10533	10473	10638	10849	10840	10574	10568	10633	328589

2.2. Rokiškio ŠT katilinė

Rokiškio rajoninė katilinė tiekia šilumą ir garą Rokiškio miestui ir pramonei. Joje yra įrengti 3 vandens šildymo katilai bei 4 garo katilai, 2 kondensaciniai degimo produktų ekonomizaizeriai. Šiuo metu instaliuota katilinės galia yra 80 MW.

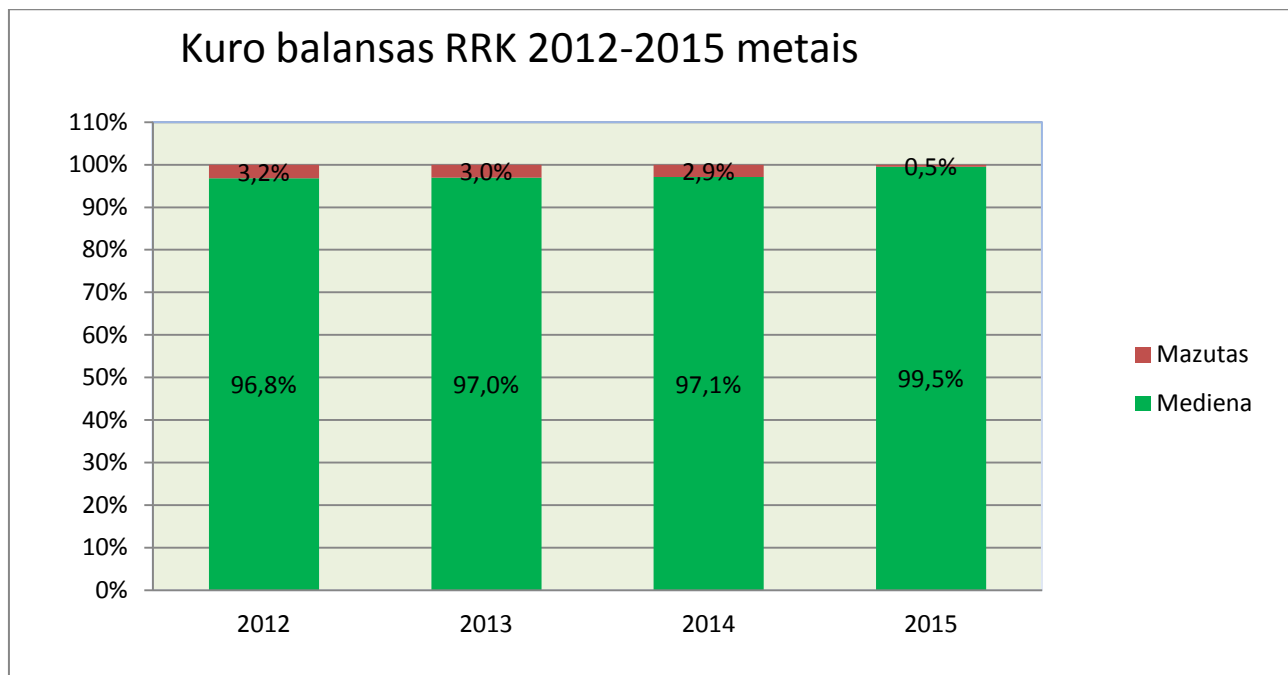
Katilinėje įrengti 3 kaminai: Nr.001 aukštis – 80 m, žiočių skersmuo – 3 m; kamino Nr.002 aukštis – 35 m, žiočių skersmuo – 1,41 m; kamino Nr.003 aukštis 30 m, žiočių skersmuo – 1,35 m.

Biokuras sandėliuojamas ~1500 m³ medienos sandėlyje. Mazuto ūkį sudaro kuro siurblinė bei trys mazuto rezervuarai po 2000 m³ tūrio. Galimas kuro rezervas: mazuto – 6000 m³ (mazutas nuo 2015–2016 m. lieka kaip rezervinis kuras), biokuro – keturios intensyviausio vartojimo paros.

Iki 2001 metų kaip pagrindinis kuras šilumos energijos gamybai buvo mazutas, 2001 m. garo katilui sumontavus GK–2 DKVR 10/13 7 MW galios pakurą medienos kurui, katilinėje pradėtos kūrenti medienos atliekos. 2003 m. atlikta GK–3 DKVR 10/13 katilo rekonstrukcija. Sumontuota 7,0 MW našumo medienos deginimo pakura. 2008 m. GK–4 DKVR 10/13 katilo rekonstrukcija. Sumontuota 7,0 MW našumo medienos deginimo pakura. Rekonstrukcijos metu išplėstas esamas medžio kuro ūkis (kuro padavimo bei sandėliavimo įrengimai), įrengti nauji garo/vandens šilumokaičiai, leidžiantys biokuro katiluose pagamintą šilumą perduoti termofikaciniam vandeniui.

2015 m. rekonstruota Rokiškio katilinė. Rekonstrukcijos metu išmontuotas esamas mazutu kūrenamas katilas PTVM – 30M – 4 ir įrengti du po 5,0 MW galios vandens šildymo katilai, deginantys smulkintą medieną. Sumontuotas 2,5 MW galios degimo produktų kondensacinis ekonomizaizeris, kuris papildomai leis gauti iki 25 proc. šilumos iš išėinančių degimo produktų. Katilinės teritorijoje įrengtas dengto tipo biokuro sandėlis. Rekonstravus katilinę, mažės šilumos gamybos sąnaudos, iš dalies keisis kuro struktūra gaminant šilumą, didės biokuro naudojimas. Įgyvendinus projektą per metus į aplinką bus išmetama iki 2,7 tonų mažiau anglies dvideginio (CO₂), nei kūrenant katilus mazutu. Katilinėje pagaminama šiluma miestui ir garas pramonei bus 100 % iš biokuro.

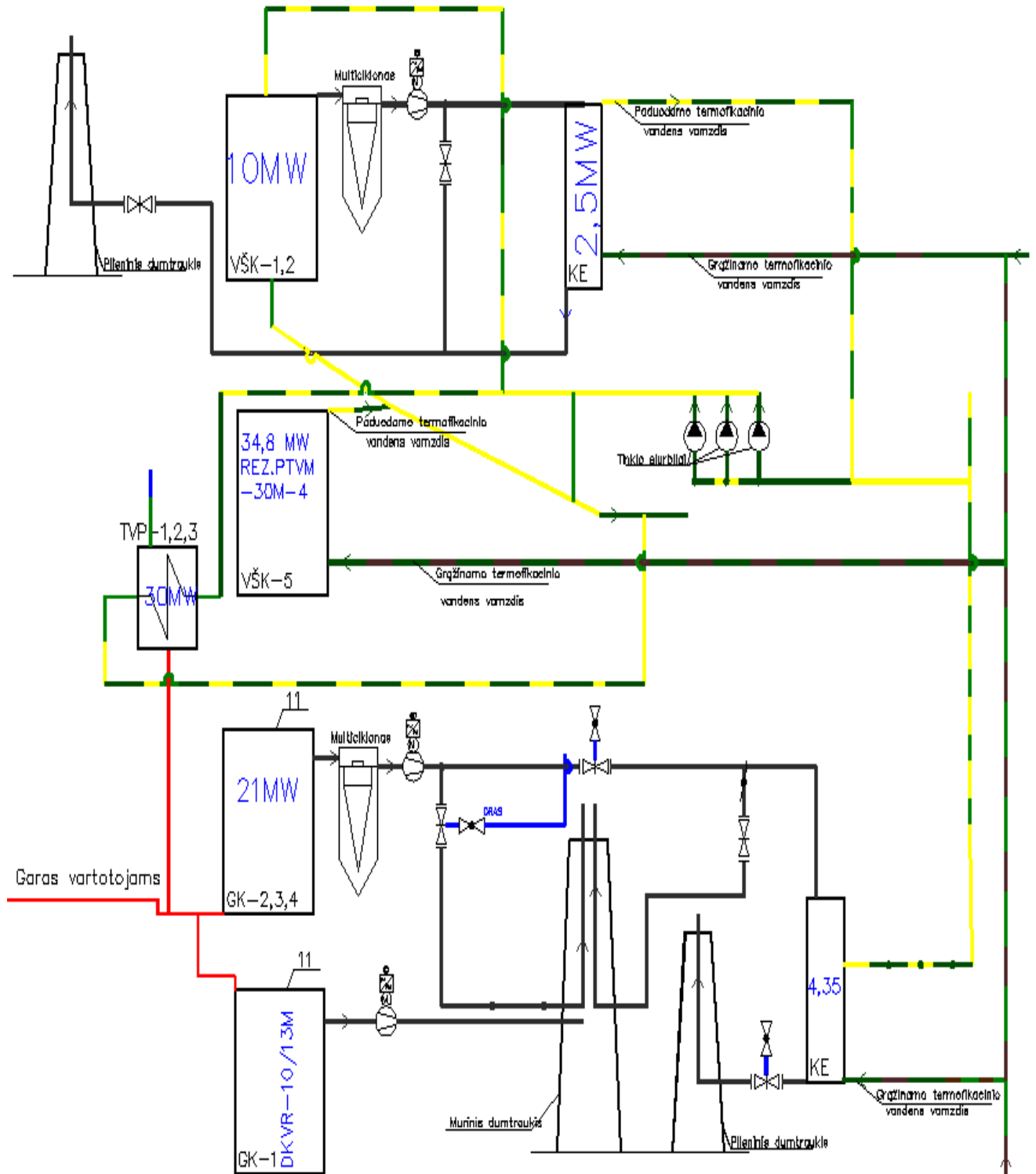
Katilinėje liko du katilai, kurie naudos mazutą, PTVM – 30M – 4 ir DKVR 10/13, jų bendras galingumas 42 MW. Mazutas lieka kaip rezervinis kuras.



15 pav. Kuro balansas RRK–1 2012 – 2015 metais

Visų katilinės šilumos energijos gamybos įrenginių valdymas ir paleidimas yra automatizuotas: vandens šildymo katilų VŠK–1, VŠK–2 paleidimas ir valdymas automatinis; vandens šildymo katilo VŠK–5 paleidimas ir valdymas pusiau automatinis; garo katilo GK–1 paleidimas ir valdymas pusiau automatinis; garo katilų GK–2, GK–3 ir GK–4 paleidimas ir valdymas automatinis.

Rokiškio RK-1 principinė schema pateikta 2 paveikslėlyje



16 pav. Rokiškio RK-1 principinė schema

2.2.1. Rokiškio ŠT katilinėje sumontuotas degimo produktų kondensacinis ekonomizaizeris Nr.2

Nagrinėjamoje sistemoje degimo produktų kondensacinis ekonomizaizeris Nr. 2 4,35 MW dirba kartu su garo katilais, kurių bendra galia 21 MW. Degimo produktų kondensacinio ekonomizaizerio galia yra 20,7 % katilų galios. (Katilai – DKVR 10/13. Rokiškis).

Garų katilas – vieno būgno su natūralia cirkuliacija. Pagrindiniai katilo elementai: pilnai ekranuota kūrykla, plieninis vandens ekonomizaizeris.

Garų katilas vertikaliai sujungtas su biokuro pakura. Degimo dujos iš pakuros patenka į kūryklą, katilo galinėje dalyje išteka ir per degimo produktų kanalą patenka į katilo ekonomizaizerį. Po ekonomizaizerio dūmai patenka į multicikloną. Pratekėję multicikloną dūmai patenka į bendrą kanalą, toliau tekėdami patenka į degimo produktų kondensacinį ekonomizaizerį.

Degimo produktų kondensacinio ekonomizaizerio eksploatacijos pradžia 2008 m. Degimo produktų kondensacinis ekonomizaizeris dirba visus metus. Stabdomas reguliariai – apžiūrai ir valymui. Valomas degimo produktų kondensacinio ekonomizaizerio degimo produktų ir kondensato traktas.

Katilų eksploatacijos pradžia 1974 m. Katilų kapitalinis remontas darytas prieš 20 m. Katilai dirba pagal poreikį.

Degimo metu palaikoma pastovi O_2 apie 7,1 % koncentracija degimo produktuose už katilo. Degimo produktų kondensacinio ekonomizaizerio galingumo išnaudojimo koeficientas – apie 53 %. Termofikacinio vandens temperatūros, tiekiamos į degimo produktų kondensacinį ekonomizaizerį, metinis vidurkis yra $T_1=35,90\text{ }^\circ\text{C}$, iš degimo produktų kondensacinio ekonomizaizerio – $T_2=54,3\text{ }^\circ\text{C}$. Katilų metinis n.v.k. vidurkis 73 %, dirbant su degimo produktų kondensaciniu ekonomizaizeriu – 89 %. Lentelėje 4 pateikiami degimo produktų kondensacinio ekonomizaizerio darbo duomenys.

4 lentelė. Rokiškio ŠT degimo produktų kondensacinio ekonomizerio Nr.1 šilumos gamybos rodikliai

DKE Nr. 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Viso / Vid.
Q KE kond. ekonom., MWh	55,7	66,2	61,5	61,8	54,5	57	54,6	62,7	61,7	60,3	56,2	50,2	51,1	55,7	55,4	54,3	54,3	56,9	54,5	57,8	52,8	59,2	56,3	54,7	56,7	53,4	46,5	45,1	52	52,1	40,4	1711
Pagam. šiluma be kond. ekon., MWh	227	271	254	255	227	237	240	270	253	266	255	243	243	249	250	219	237	237	216	224	235	212	221	218	208	188	230	247	245	309	279	7466
Pagam. šiluma su kond. ekon., MWh	283	337	315	316	281	294	295	333	315	326	312	294	294	305	306	273	291	294	271	282	288	272	277	272	265	241	276	292	297	361	320	9178
KE (4,35 MW) %	53	63	59	59	52	55	52	60	59	58	54	48	49	53	53	52	52	55	52	55	51	57	54	52	54	51	45	43	50	50	39	53
O ₂ %	7	6,9	7,2	7	7,3	6,9	7,4	7,2	7	7,1	6,8	7,4	7,2	7,3	7,1	7,2	7	6,9	7,2	7	6,9	7,2	7,4	7,2	7	7,1	7,2	7,1	7	7	7,1	7,1
Kuro drėgnumas, %	41,7	43,4	42,1	41,8	41,8	41,8	41,3	41,8	41,3	41,1	41,0	41,0	41,0	41,1	42,4	43,2	43,6	43,4	43,4	43,4	42,9	44,6	44,6	44,6	44,6	44,6	44,6	43,1	42,6	42,2	40,5	42,6
GK n.v.k., %	73	81	78	72	64	67	68	87	63	82	82	79	75	73	73	65	74	76	75	74	79	75	75	72	71	66	75	66	62	67	75	73
GK + KE n.v.k., %	90	100	97	89	79	83	84	107	79	100	99	95	90	89	90	81	90	95	94	93	97	96	94	90	90	84	90	78	76	79	85	89
T ₁ kond. ekonom., °C	35,9	36,1	35,1	35,0	34,8	34,2	34,8	36,6	36,3	35,9	36,1	35,7	35,0	35,9	36,6	36,1	36,3	34,9	34,5	34,0	34,3	34,4	34,0	34,5	35,0	35,1	35,9	38,3	38,4	40,9	41,6	35,9
T ₂ kond. ekonom., °C	51,3	53,4	51,5	51,1	51,0	51,1	50,4	51,5	51,2	50,0	50,1	45,5	49,3	50,8	51,2	51,6	52,6	50,4	51,5	51,2	50,5	51,9	52,4	50,9	52,0	51,9	53,7	56,0	54,9	55,2	54,3	51,6
KE., m ³	4038	4112	4116	4209	3696	3795	3923	4643	4507	4735	4468	4539	4028	4103	4178	3763	3638	4069	3547	3624	3619	3675	3299	3576	3573	3396	2791	2677	3361	3812	3380	118890

2.2.2. Rokiškio ŠT katilinėje sumontuotas degimo produktų kondensacinis ekonomaizeris Nr.3

Nagrinėjamoje sistemoje degimo produktų kondensacinis ekonomaizeris Nr. 3, esantis 2,5 MW šiluminės galios, dirba kartu su vandens šildymo katilais, kurių bendra galia 10 MW. Degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio galia yra 25 % katilų galios (katilai – KVV.05.13).

Vandens šildymo katilų tipas – dūmavamzdis 3 – jų eigių vertikalus. Vandens šildymo katilai horizontaliai sujungti su biokuro pakura. Degimo dujos iš pakuros patenka į katilo viršų, praeina per katilo pirmos eigos kanalą, katilo apačioje pasisuka ir antros eigos dūmavamzdžiais kyla į katilo viršų, pasisukusios ir pratekėjusios trečios eigos dūmavamzdžiais išeina katilo apačioje į degimo produktų kanalą patenka į multicikloną. Pratekėję multicikloną dūmai patenka į bendrą kanalą, kur toliau tekėdami patenka į degimo produktų kondensacinį ekonomaizerį.

Katilų ir degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio eksploatacijos pradžia 2015 m. Katilai ir degimo produktų kondensacinis ekonomaizeris dirba pagal poreikį. Stabdomi reguliariai – apžiūrai ir katilų degimo produktų trakto valymui. Vandens traktas nevalomas. Kondensaciniame ekonomaizeryje valomas degimo produktų ir kondensato traktas.

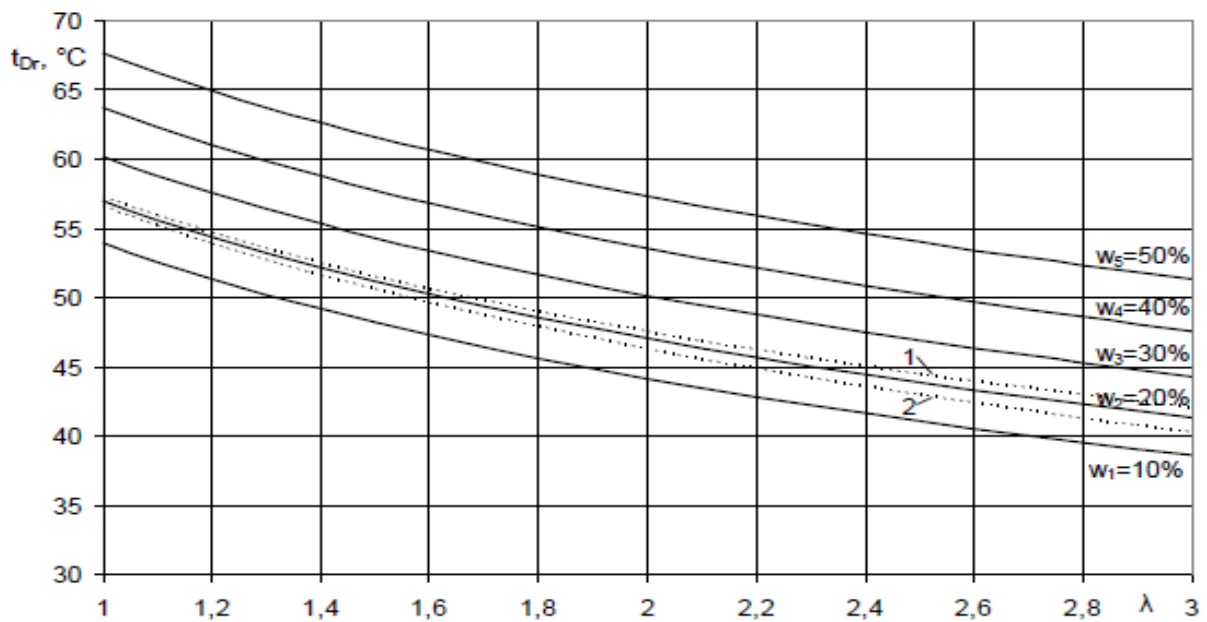
Degimo metu degimo produktuose už katilo palaikoma pastovi O_2 koncentracija – apie 6,2 %. Degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio galingumo išnaudojimo koeficientas – apie 41 %. Termofikacinio vandens temperatūros, tiekiamos į degimo produktų kondensacinį ekonomaizerį, metinis vidurkis yra $T_1=35,90\text{ }^\circ\text{C}$, iš degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio – $T_2=52,8\text{ }^\circ\text{C}$. Katilų n.v.k. metinis vidurkis 83 %, dirbant su degimo produktų kondensaciniu ekonomaizeriu – 99 %. Lentelėje 5 pateikiami degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio darbo duomenys.

5 lentelė. Rokiškio ŠT degimo produktų kondensacinio ekonomizerio Nr.2 šilumos gamybos rodikliai

DKE Nr. 3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Viso Vid.
Q KE kond. ekonom., MWh	25,8	22,4	17,9	16,1	17,5	15,5	24	23	20,3	21,5	23,4	23,1	23,9	25,6	25,3	30,3	27,4	17,8	16,3	17,4	18	18,8	19,9	25,5	23,4	29,2	37,6	44,8	37,8	37,5	37,8	764,8
Pagam. šiluma be kond. ekon., MWh	114	104	92	94	91	95	106	106	93	107	141	132	121	147	152	154	157	108	100	92	97	98	94	117	108	129	163	212	195	202	213	3932
Pagam. šiluma su kond. ekon., MWh	139	126	109	111	108	111	130	129	114	128	165	155	145	172	178	184	184	126	116	109	115	117	114	142	131	159	201	257	233	240	251	4697
KE (2,5 MW) %	43	37	30	27	29	26	40	38	34	36	39	39	40	43	42	50	46	30	27	29	30	31	33	43	39	49	63	75	63	63	63	41
O ₂ %	6	6,2	6,3	6,1	6,2	5,9	6	6,1	6,2	6,4	6,2	6,1	6,2	6,3	6	6,2	6,1	6,5	6,1	6	6,3	6,2	6,1	6	6,3	6,1	6,2	6,4	6,2	6,2	6,1	6,2
Kuro drėgnumas, %	43,4	42,6	42,1	41,7	41,7	41,7	42,7	42,5	42,9	42,4	41,9	41,9	41,9	39,0	39,6	39,1	38,3	38,3	38,3	38,3	37,2	38,0	39,5	39,5	39,5	39,5	39,5	39,5	41,3	42,3	43,1	40,7
GK n.v.k.,%	87	87	80	77	74	77	82	81	80	77	86	86	85	83	90	93	88	73	74	68	68	76	93	88	88	89	94	92	92	90	72	83
GK + KE n.v.k.,	107	105	95	91	89	90	101	98	98	93	100	101	102	98	105	111	104	85	86	81	80	90	113	108	107	109	116	112	110	107	85	99
T ₁ kond. ekonom., °C	35,9	36,1	35,1	35,0	34,8	34,2	34,8	36,6	36,3	35,9	36,1	35,7	35,0	35,9	36,6	36,1	36,3	34,9	34,5	34,0	34,3	34,4	34,0	34,5	35,0	35,1	35,9	38,3	38,4	40,9	41,6	35,9
T ₂ kond. ekonom., °C	52,4	54,4	52,6	52,2	52,0	52,4	51,6	52,6	52,5	51,2	51,2	46,7	50,4	51,8	52,4	52,8	53,8	51,6	52,6	52,3	51,6	53,0	53,6	51,9	53,1	53,0	54,9	57,2	56,1	56,3	55,4	52,8
KE., m ³	3134	2678	1865	1612	1980	1915	2245	2150	2019	2114	2013	2018	2704	2363	2395	2897	2608	1836	1655	1714	1758	1779	1818	2432	2271	2766	3620	4291	3649	3596	3532	75425

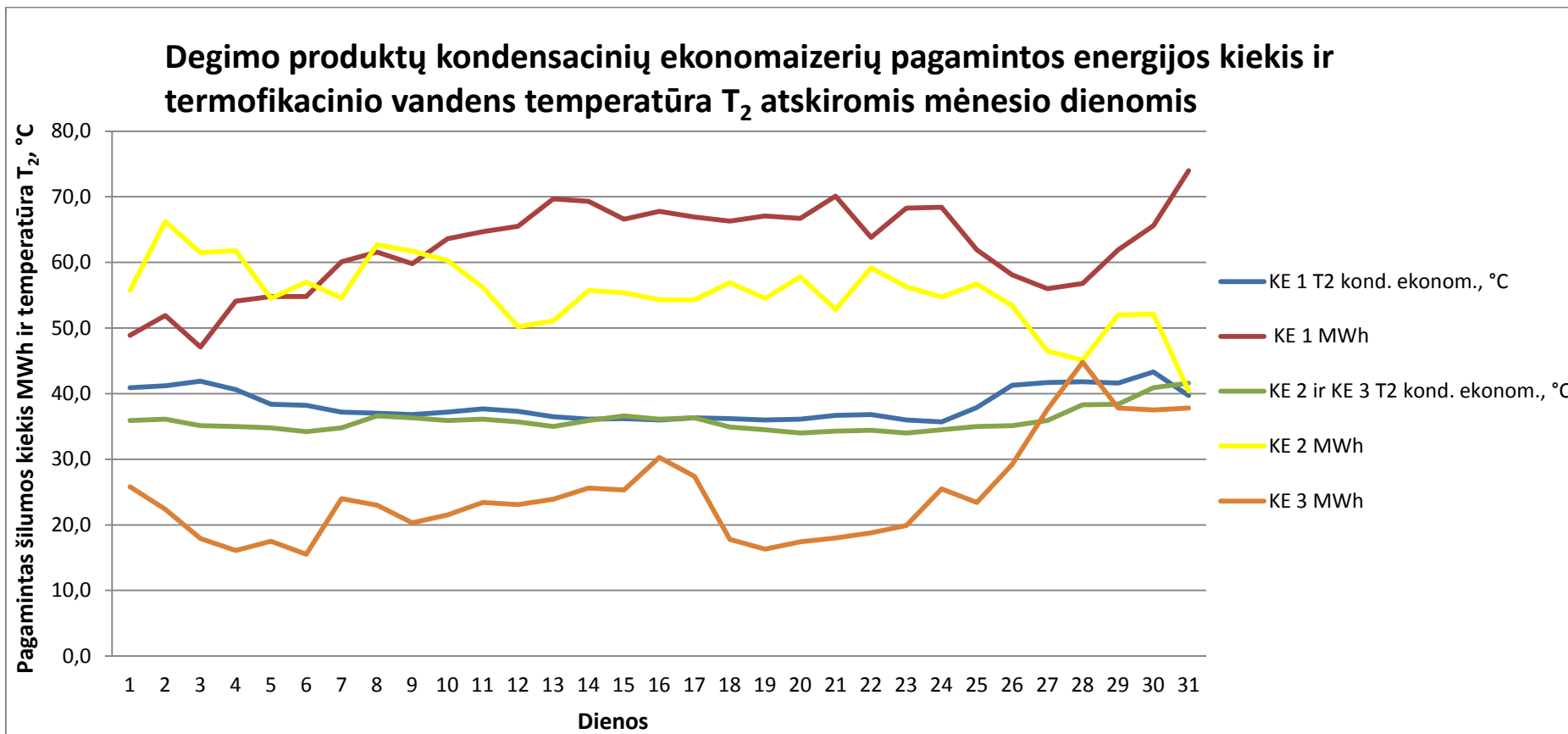
3. Degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių darbo efektyvumo analizė, jų skirtingų tipų techninis – ekonominis įvertinimas

Vertindamas degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio darbo efektyvumo priklausomybes, remiuosi [8] darbe pateiktais duomenimis ir nevertinu degimui naudojamo oro rodiklių, nes degimui reikalingo oro temperatūra ir santykinė drėgmė turi nežymią įtaką degimo produktų rasos taško temperatūrai. Šiame darbe priklausomybės apskaičiuotos kuro drėgnumui esant $w_1 = 10\%$, $w_2 = 20\%$, $w_3 = 30\%$, $w_4 = 40\%$, $w_5 = 50\%$. Degimui reikalingo oro parametrai: temperatūra $t = 15\text{ }^\circ\text{C}$ ir santykinis drėgnis $\varphi = 60\%$. Šios priklausomybės matomos 14 pav. Matome, kad didžiausią įtaką turi kuro drėgnumas ir oro pertekliaus koeficientas. Darbe atlikti skaičiavimai ir prie tokio pat kuro drėgnumo, bet skirtingo degimui reikalingo oro parametru 1 – priklausomybė, kai $w = 20\%$, oro temperatūra $t = 15\text{ }^\circ\text{C}$ ir santykinis drėgnis $\varphi = 80\%$; 2 – kai $w = 20\%$, $t = 5\text{ }^\circ\text{C}$ ir $\varphi = 60\%$ [8].



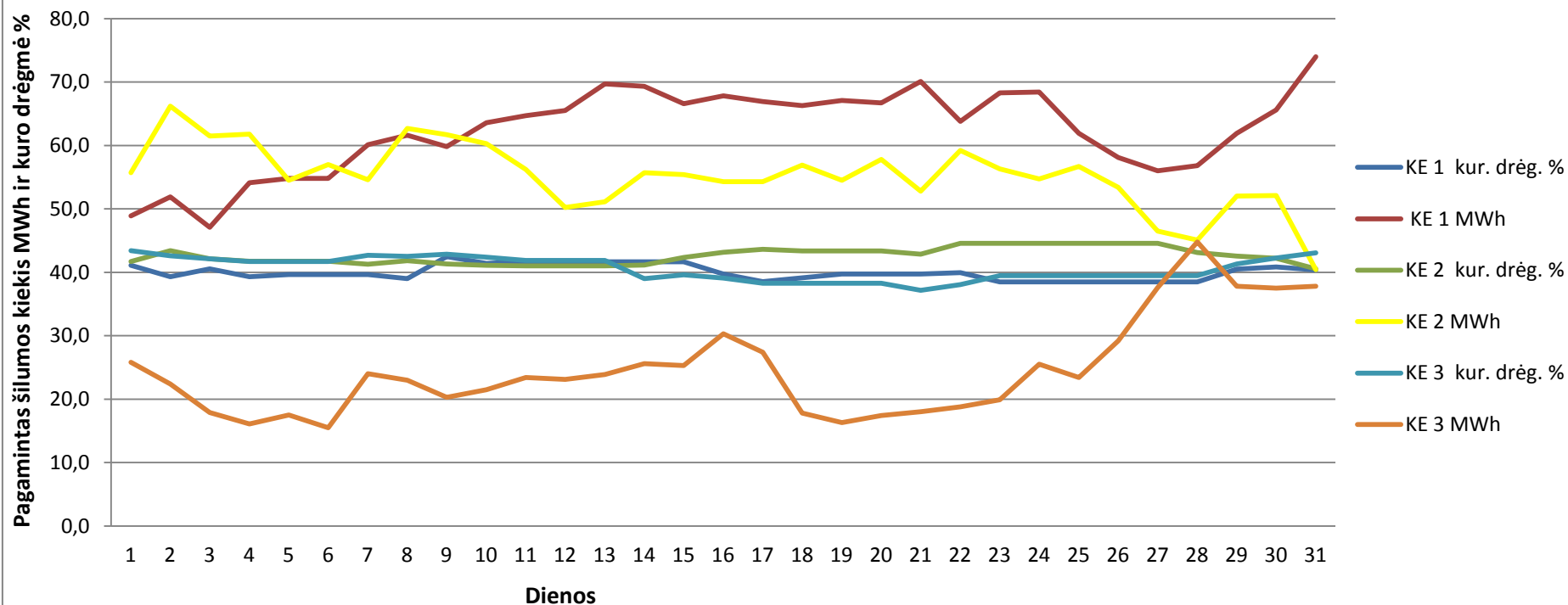
17 pav. Degimo produktų rasos taško temperatūros t_{Dr} priklausomybė nuo oro pertekliaus koeficiento λ [8]

Pagal duotą bazinę kreivę, kuri buvo skaičiuota, kai $w = 20\%$, $t = 15\text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi = 60\%$, kreivės 1 ir 2 skaičiuotos, kai $w = 20\%$, $t = 15\text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi = 80\%$ ir $w = 20\%$, $t = 5\text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi = 60\%$, 14 pav. matomas nuokrypis nuo bazinės kreivės neviršija $0,3\text{ }^\circ\text{C}$, kai $\lambda = 1$ ir $1,1\text{ }^\circ\text{C}$, kai $\lambda = 3$ [8].



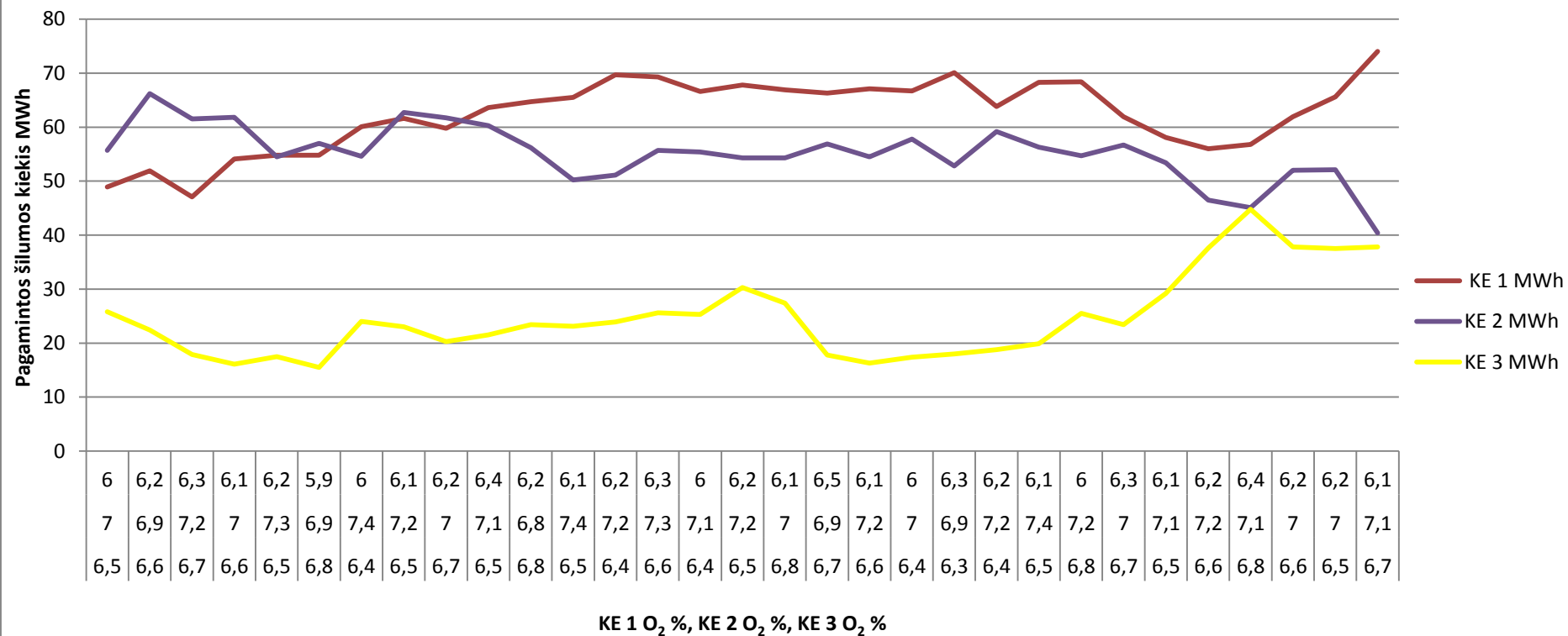
18 pav. Degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių pagamintos energijos kiekis ir termofikacinio vandens temperatūra T_2 atskiromis mėnesio dienomis

Degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių pagamintos energijos kiekis ir kuro drėgnumas atskiromis dienomis

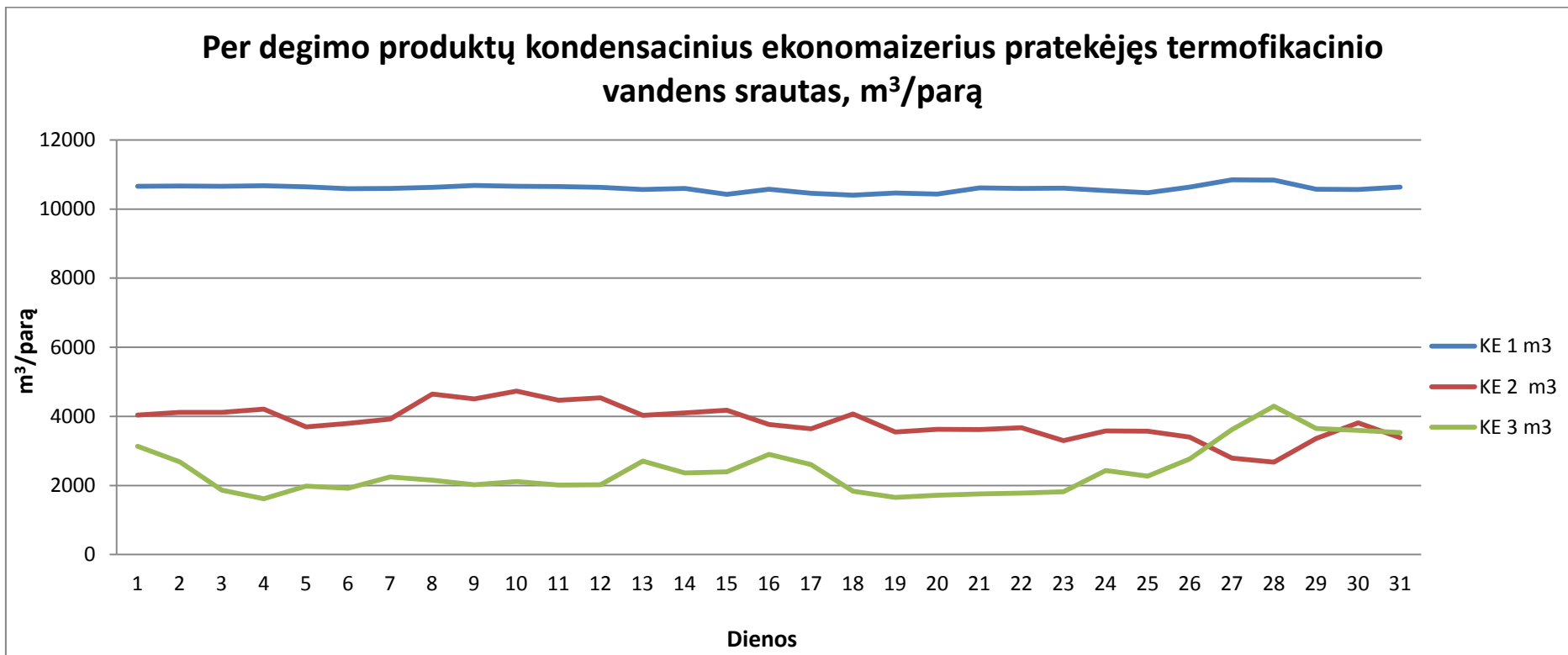


19 pav. Degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių pagamintos energijos kiekis ir kuro drėgnumas atskiromis dienomis

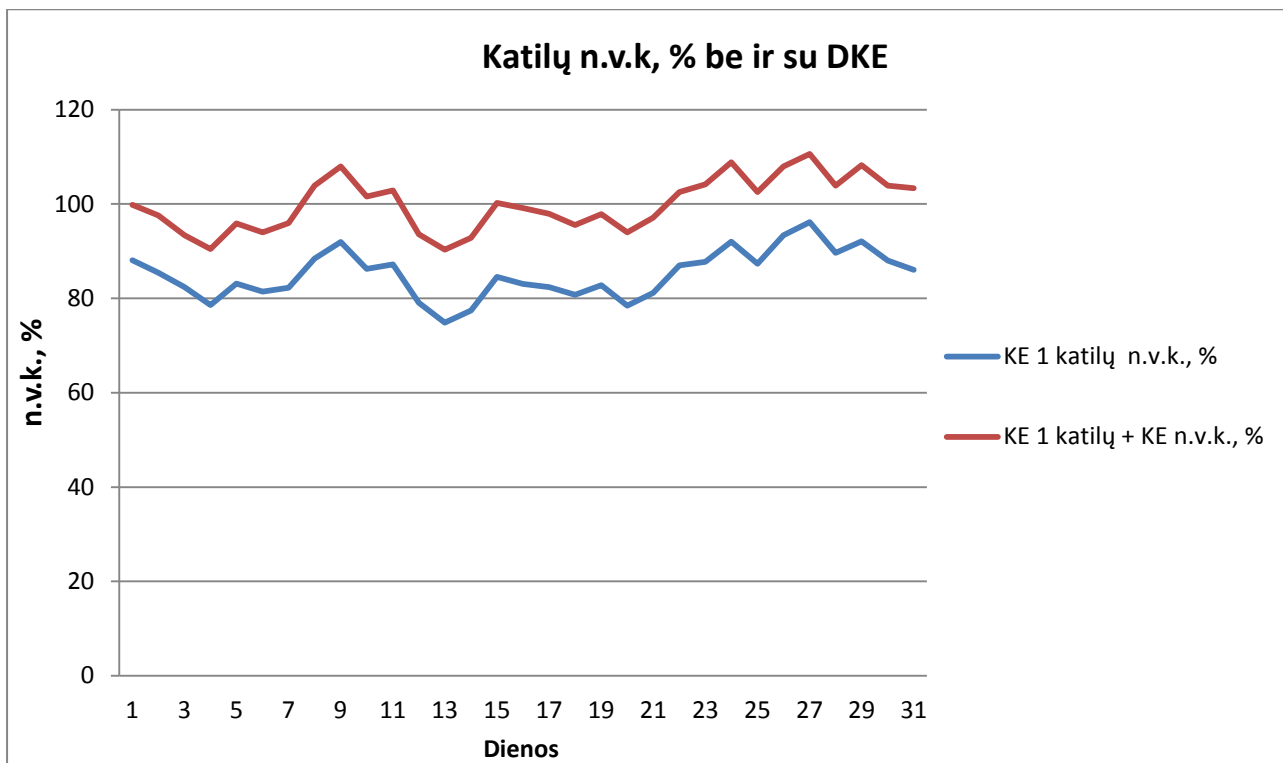
Degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių galios priklausomybė nuo oro kiekio degimo produktuose



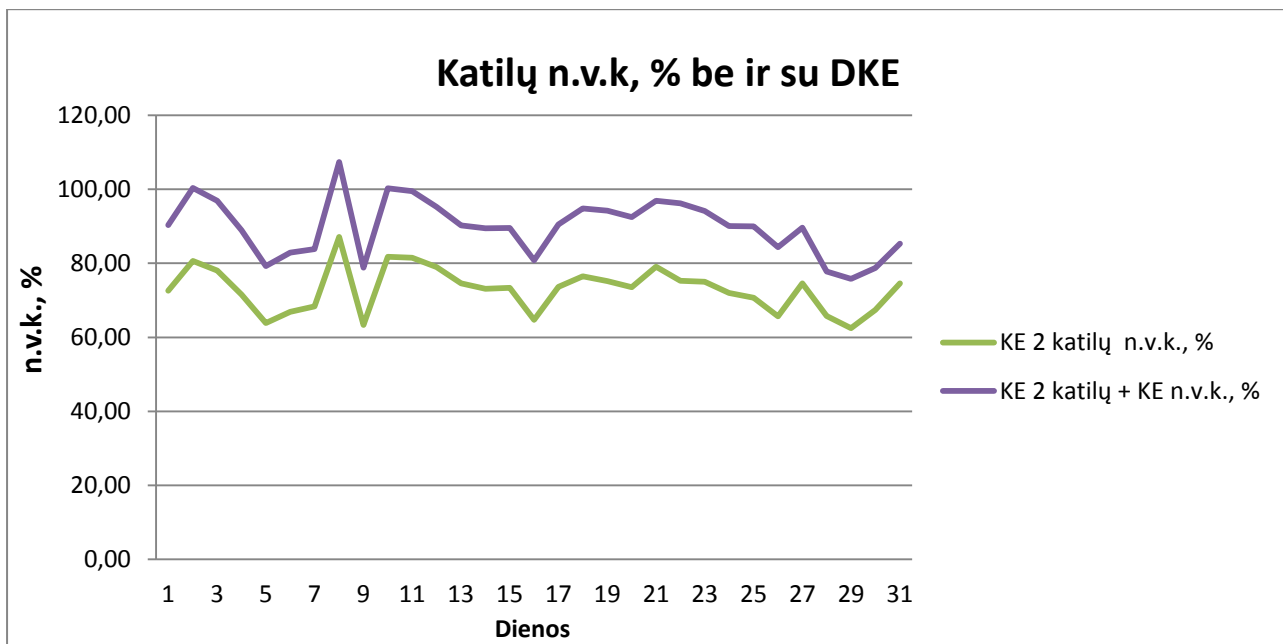
20 pav. Degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių galios priklausomybė nuo oro kiekio degimo produktuose



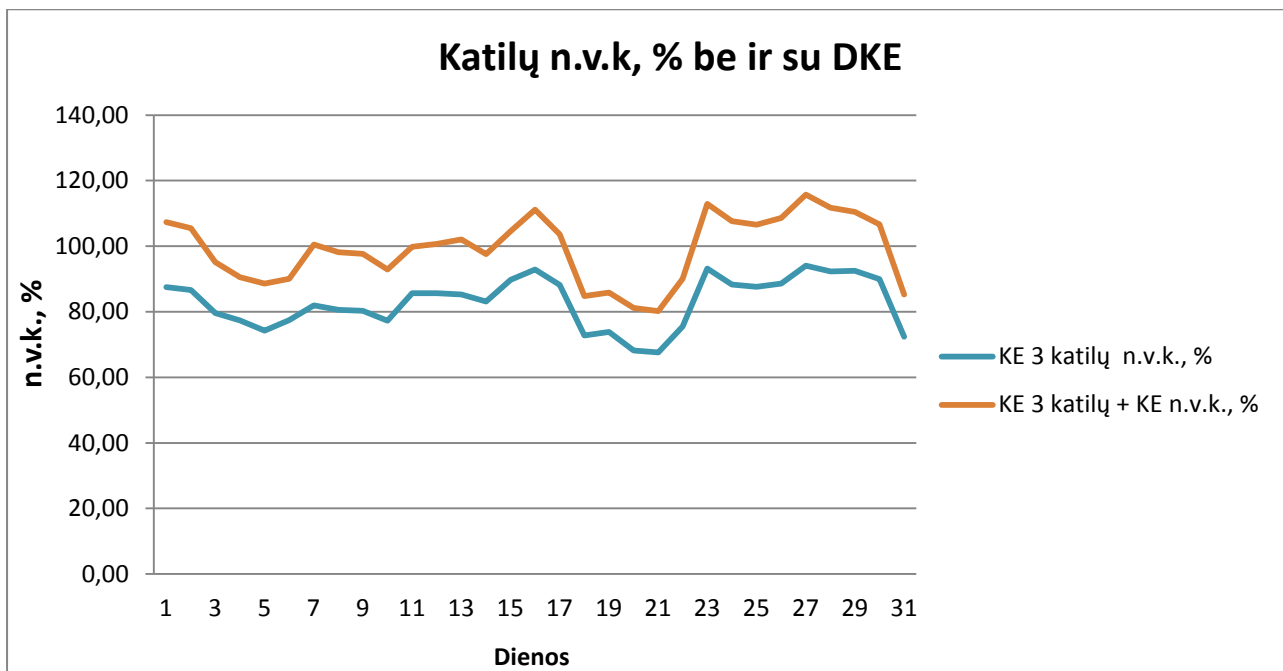
21 pav. Per degimo produktų kondensacinius ekonomaizerius pratekėjusio termofikacinio vandens srautas, m³/parą



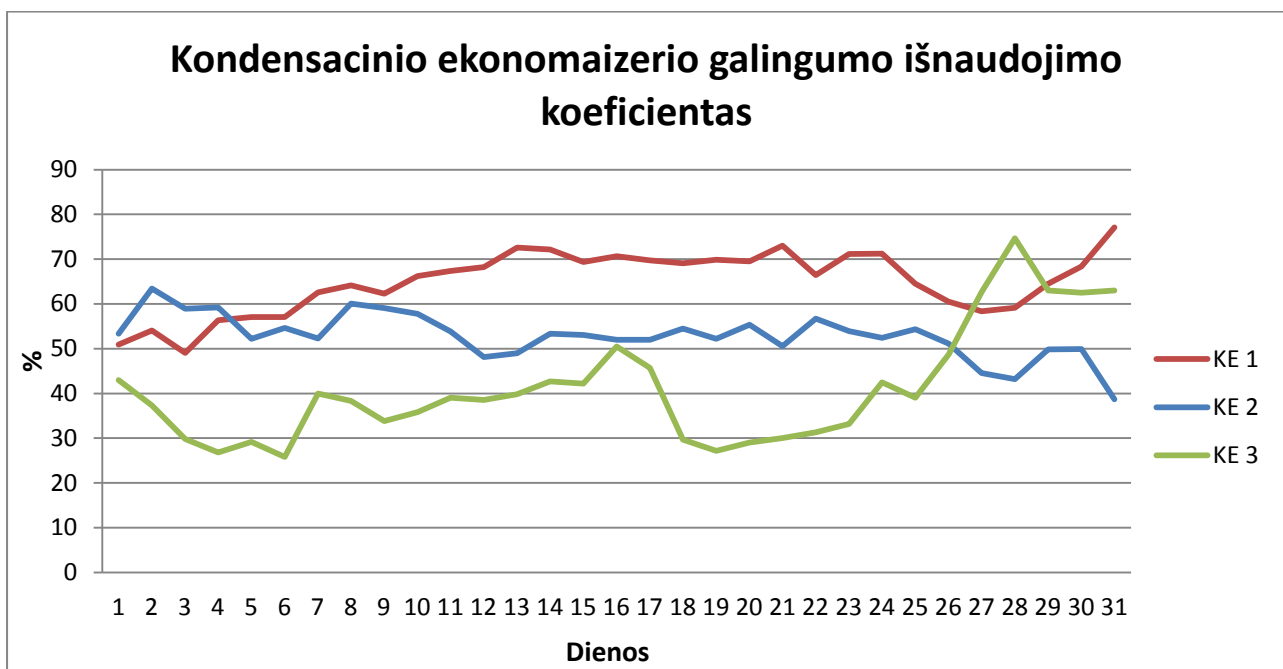
22 pav. Degimo produktų kondensacinio ekonomizerio Nr. 1 ir katilų n.v.k



23 pav. Degimo produktų kondensacinio ekonomizerio Nr. 2 ir katilų n.v.k



24 pav. Degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio Nr. 3 ir katilų n.v.k



25 pav. Degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio galingumo išnaudojimo koeficientas

Nr. 1 įrenginio galingumo išnaudojimo koeficientas yra didžiausias iš visų nagrinėtų ir svyruoja nuo 49 % iki 77 %. Pagaminta šilumos energijos atitinkamai 47 MWh ir 74 MWh. Didžiausią įtaką galėjo turėti grįžtamo termofikacinio vandens temperatūros skirtumas $\Delta T - 2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kiti rodikliai panašūs ir lemiamos įtakos neturėjo. Deguonies kiekis degimo produktuose nesiskyrė. Pratekėjusio termofikacinio vandens kiekis buvo didesnis 25 m^3 ir 0,1 %, kuro drėgnumas buvo didesnis blogesnę rodiklį turinčią dieną (žr.3 lentelė).

Nr. 2 įrenginio galingumo išnaudojimo koeficientas svyruoja nuo 39 % iki 63 %, pagaminta šilumos energijos atitinkamai 40,4 MWh ir 66,2 MWh. Didžiausią įtaką galingumo išnaudojimo koeficientui turėjo grįžtamojo termofikacinio vandens temperatūros skirtumas $\Delta T=5,5$ °C (žr.4 lentelė) ir pratekėjusio termofikacinio vandens kiekis (geresnį rodiklį turinčią dieną 732 m³ daugiau). Kiti rodikliai panašūs ir lemiamos įtakos neturėjo. Deguonies kiekis degimo produktuose buvo 0,2 % didesnis blogesnius rodiklius turinčią dieną. Kuro drėgnumas buvo 2,9 % didesnis geresnį rodiklį turinčią dieną (žr.4 lentelė).

Nr. 3 įrenginio galingumo išnaudojimo koeficientas svyruoja nuo 26 % iki 75 %, pagaminta šilumos energijos atitinkamai 15,5 MWh ir 44,8 MWh. Didžiausią įtaką galingumo išnaudojimo koeficientui turėjo pratekėjusio termofikacinio vandens kiekis geresnį rodiklį turinčią dieną - buvo 2376 m³ didesnis. Kiti rodikliai panašūs ir lemiamos įtakos neturėjo. Grįžtamo termofikacinio vandens temperatūros skirtumas $\Delta T=4,1$ °C. Deguonies kiekis degimo produktuose nesiskyrė – jis buvo 0,5 % didesnis blogesnį rodiklį turinčią dieną. Kuro drėgnumas buvo 2,2 % didesnis geresnį rodiklį turinčią dieną (žr.5 lentelė).

Išanalizavus gautus duomenis galima teigti, kad vieną didžiausių įtakų turi grįžtamo termofikacinio vandens temperatūra, nes kuo mažesnė grįžtamo termofikacinio temperatūra, tuo geresni degimo produktų kondensacinio ekonomizerio darbo rodikliai. Grįžtamo termofikacinio vandens temperatūra priklauso nuo šildomų pastatų charakteristikų ir tinkamo šilumos punktų įrangos suregulavimo. Vis tik reikia pabrėžti, jog visais nagrinėjamais atvejais grįžtamo termofikacinio vandens temperatūra skiriasi nežymiai.

Kuro drėgnumas tai pat turi nemažą įtaką degimo produktų kondensacinio ekonomizerio darbui. Deginant drėgną kurą reikia nemažai energijos išgarinti drėgmę, esančią kure, kuri garų pavidalu pašalinama kartu su degimo produktais. Dalį energijos, kuri būtų pašalinta su degimo produktais, absorbuoja degimo produktų kondensacinis ekonomizeris, mažindamas nuostolius degimo produktuose. Kuro drėgnumo vidurkis nagrinėjamais atvejais svyruoja Nr. 1 40,7 %, Nr. 2 42,6 %, Nr. 1 40 %. Kuo didesnė vandens garų koncentracija degimo produktuose, tuo daugiau energijos gali būti paimta degimo produktų kondensaciniame ekonomizeryje. Kintant drėgmei kure, kinta ir sunaudoto kuro kiekis.

Svarbus faktorius, įtakojantis degimo produktų kondensacinio ekonomizerio ekonominius rodiklius, yra degimo produktuose esantis deguonies kiekis O₂. Kuo didesnis O₂ kiekis degimo produktuose, tuo santykinė dūmų drėgmė mažesnė, o tai lemia blogesnes sąlygas kondensacijai vykti. Oro pertekliaus koeficientas derinimo metu nustatomas mažiausias ir palaikomas kiek galima mažesnis tam, kad būtų visai sudegintas kuras. Mažiausias O₂ kiekis degimo produktuose yra Nr. 3

6,2 %, Nr. 1 6,6 %, Nr. 2 7,1 %. Šiuos skirtumus lemia katilų ir pakurų ypatumai Nr. 3 yra 2015 m. statybos katilai su arkine pakura, o Nr. 2 rekonstruoti DKVR katilai, Nr. 1 katilų pakura be arkos.

Didžiausias skirtumas yra pratekėjusio aušinančio termofikacinio vandens kiekis atskiruose degimo produktų kondensaciniuose ekonomizaizuose. Pratekėjusio termofikacinio vandens kiekis atskiruose įrenginiuose yra: Nr. 1 – 328589 m³, Nr. 2 – 118890 m³, Nr. 3 – 75425 m³. Skiriasi eksploatacinės išlaidos elektrai, tačiau kadangi skiriasi įrenginių galingumas, lyginti eksploatacinės išlaidas būtų nekorektiška.

6 lentelė. Nustatyti katilų bei degimo produktų kondensacinių ekonomizaizierių ekonomiškumo rodikliai

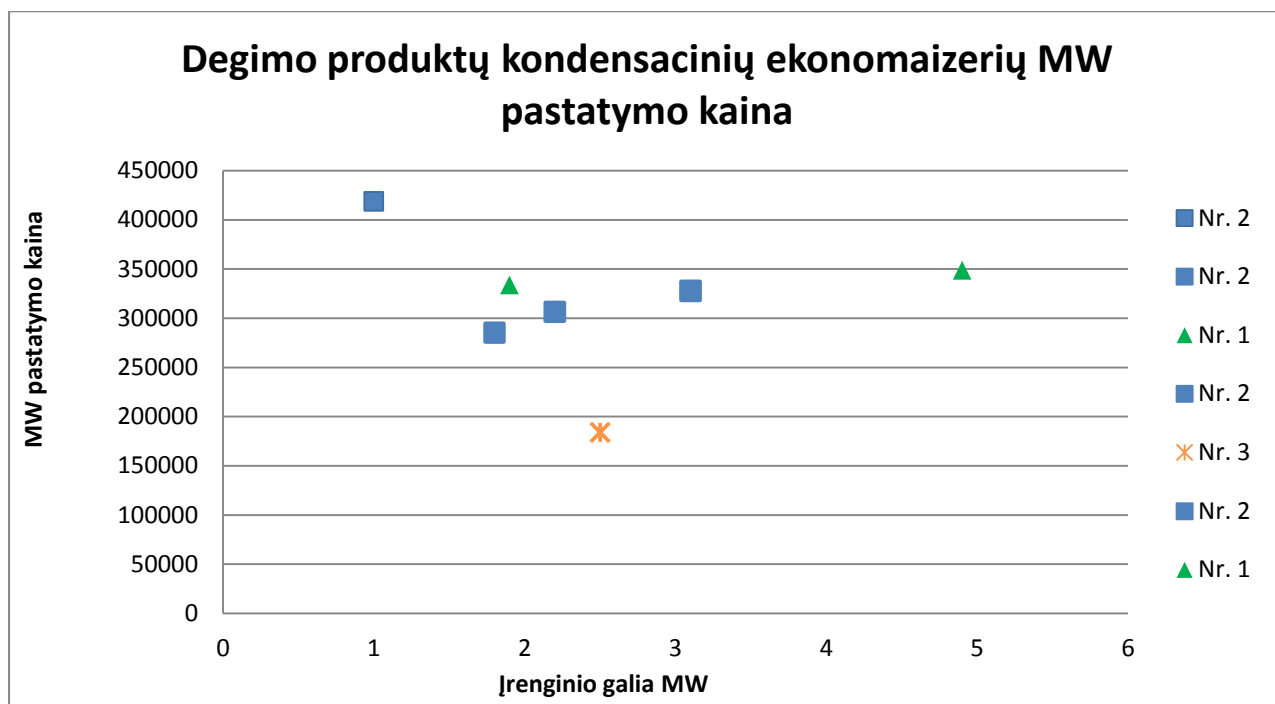
Nr.	Kondensaciniai ekonomizaizeriai Nr.	Katilų n.v.k %	Katilų + KE n.v.k %	n.v.k padidėjimas %
1	Nr. 1	85	100	15
2	Nr. 2	73	89	16
3	Nr. 3	83	99	16

Išanalizavus duomenis matoma, kad katilų efektyvumo padidėjimas, kuris priklauso nuo degimo produktų kondensacinių ekonomizaizierių darbo, antru ir trečiu atveju yra vienodas, o pirmas skiriasi nuo kitų įrenginių tik 1 % (žr. 6 lentelę). Taigi pagal šiame darbe turėtą surinktą informaciją nepavyko nustatyti įrenginio tipo, kurio darbo rodiklių rezultatai būtų ženkliai geresni nei kitų.

Pasinaudodamas šaltiniu [18] palyginsiu įrenginių pastatymo kainą.

7 lentelė. Degimo produktų kondensacinių ekonomizaizierių įrengimo kaina [18]

Eilės Nr.	Dūmų kondensacinio ekonomizaizierio tipas	DKE galia MW	Kaina įrenginio, €	Kuras mediena	Pastatymo metai	MW kaina, €
1	Nr. 1	1,9	634257	mediena	2008	333819
2	Nr. 1	4,9	1708758	mediena	2010	348726
3	Nr. 2	1	418776	mediena	2014	418776
4	Nr. 2	1,8	513757	mediena	2013	285420
5	Nr. 2	2,2	674380	mediena	2011	306536
6	Nr. 2	3,1	1016277	mediena	2010	327831
7	Nr. 3	2,5	460000	mediena	2015	184000



26 pav. Degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių MW įrengimo kaina

Tiek 6 lentelėje, tiek 25 paveiksle pateiktos degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių įrengimo santykinės kainos €/MW. Duomenys surinkti įvairių statybos metų, todėl sudėtinga tiksliai nustatyti įrenginio pastatymo pabrangimą laikui bėgant. Apie vienu metu statytus panašios galios įrenginius duomenų surinkti nepavyko, tačiau surinkus daugiau duomenų, būtų galima nustatyti tikslesnes įrenginių pastatymo kainas. Galima daryti prielaidą, kad gamintojas suskirsto įrenginius segmentais, kurie tinka tam tikram galios katilų segmentui, taip optimizuojamos gamybos sąnaudos.

Iš surinktų duomenų galima teigti, kad mažesnės galios įrenginys kainuoja brangiau, nei didesnės galios, arba kitaip tariant, vieno MW galios instaliavimui kaštai mažėja, statant galingesnius įrenginius.

Surinkę ir išanalizavę duomenis matome, kad kiekvieno įrenginio santykiniai įrengimo kaštai yra panašūs – ypač ši išvada tinka pirmo ir antro tipo degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių. Norint gauti tiksliausius duomenis reikėtų turėti didesnę kiekį duomenų apie vienodo galingumo įrenginius su vienodo tipo ir galingumo katilais ir jų pakuromis ir pagalbinais įrenginiais.

4. Išvados

1. Projektuojant katilinę su degimo produktų kondensaciniu ekonomaizeriu, būtina įvertinti technines sąlygas degimo produktų kondensacinio ekonomaizerio taikymui. Šios sąlygos – katilo galia, kuro rūšis, grįžtamo termofikacinio vandens temperatūra, oro pertekliaus koeficientas ir t.t.
2. Šiuo metu gaminami įvairių konstrukcijų degimo produktų kondensaciniai ekonomaizeriai, taigi statytojams atsiranda galimybė pasirinkti geriausiai tinkantį pagal konstrukciją, pagal kainą, pagal eksploatacinių išlaidų dydį ir t.t.
3. Šiame darbe buvo analizuojamos skirtingų tipų degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių techninės charakteristikos bei šių degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių realūs gamybiniai rodikliai realiose katilinėse.
4. Nustatyta, kad realiomis darbo sąlygomis, kurios paprastai pasižymi labai kintančiu apkrovimu paros bėgyje, visų nagrinėtų tipų degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių efektyvumai mažai skiriasi ir sudaro apie 15–16 proc. šilumos gamybos padidėjimą.
5. Akivaizdu, kad tikslesniam įvertinimui reikėtų lyginti didesnę degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių skaičių. Taip pat labai svarbu, kad nagrinėjami įrenginiai turėtų vienodas darbo sąlygas – kuro drėgnumą ir struktūrą, grįžtamą termofikacinio vandens temperatūrą, vienodą termofikacinio vandens debitą ir klimatinės sąlygas. Be abejo, labai svarbus faktorius yra aptarnaujančio personalo kompetencija ir profesionalumas, nes tai įtakoja maksimaliai efektyvų įrenginių darbą.
6. Darbe surinkti duomenys apie degimo produktų kondensacinių ekonomaizerių instaliuotos galios kainą €/MW leidžia teigti, kad vidutinė šio dydžio reikšmė yra apie 315 tūkst. €/MW. Pateikti šiuos skaičius atskirų tipų degimo produktų kondensaciniams ekonomaizeriams būtų nekorektiška, nes darbo autoriams nepavyko surinkti pakankamo kiekio duomenų, kad būtų galima šiuos skaičius apibendrinti bei pateikti kaip neginčijamas išvadas.

5. Literatūra

1. Direktyva 2009/28/EB „Dėl skatinimo naudoti atsinaujinančių išteklių energiją“.
2. Direktyva 2009/29/EB „Nustatanti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos leidimų sistemą“.
3. Nacionalinė energetinės nepriklausomybės strategija patvirtinta Lietuvos Respublikos Seimo 2012 m. birželio 26 d. nutarimu Nr. XI–2133.
4. Villu V., Ülo K., Peeter M., Tõnu P., Sulev S. Biokuro naudotojo žinynas. Vilnius. 2007m.
5. Jazdauskas A. Efektyvesnis ir ekologiškesnis biokuro panaudojimas. Žurnalas. Šiluminė technika. 2010/02.
6. [Žiūrėta 2015–01–20] Prieiga per: <http://www.pe.lt/lt>.
7. Danish Energy Management „Energijos vartojimo audito pramonės įmonėse vadovas“ 2004m.
8. Kęstutis Buinevičius „Biokuro katilai pramonės įmonėms“ [Žiūrėta 2015–04–17] Prieiga per: 2013 m. www.lsta.lt/files/events/2013.../18_Kestutis_BuineviciusEnerstena.pdf
9. Liudas Brazdeikis „Biomasės deginių slaptosios šilumos įvertinimas“ [Žiūrėta 2014–11–12] Prieiga per: 2012m. http://www.asu.lt/wp-content/uploads/2015/03/brazdeikis_1.pdf.
10. Vytautas Stasiūnas „Lietuvos šilumos ūkio modernizavimo eiga ir perspektyvos“ [Žiūrėta 2016–04–06] Prieiga per: 2014 m.
11. [Žiūrėta 2016–01–10] Prieiga per: <http://www.avei.lt/lt/component/energy/?task=map>
http://www.nep.lt/out_data/Vytautas%20Stasi%C5%ABnas.pdf
12. [Žiūrėta 2015–12–08] Prieiga per: <http://www.axis.lt/lt/>
13. [Žiūrėta 2015–10–20] Prieiga per: <http://www.e-energija.lt/lt/>
14. [Žiūrėta 2015–10–20] Prieiga per: <http://www.enerstena.lt/lt/>
15. [Žiūrėta 2015–12–20] Prieiga per: <http://www.condens.fi>
16. [Žiūrėta 2015–01–20] Prieiga per: <http://www.nwfpa.org>
17. [Žiūrėta 2015–01–22] Prieiga per: <http://www.agro-ft.at>
18. [Žiūrėta 2016–03–10] Prieiga per: <http://www.cvpp.lt/>
19. Vytautas Martinaitis, Valdas Lukoševičius „Šilumos gamyba deginant kurą“ 2014 m.
20. Lietuvos Respublikos Seimas „Nacionalinė energetinės nepriklausomybės strategija“ 2012m.
21. Panevėžio miesto šilumos ūkio specialusis planas 2004 m.
22. Petras Švenčianas, Teodoras Narbutas „Šiluminė technika“ 1997 m.
23. Petras Švenčianas, Arvydas Adomavičius „Inžinerinė termodinamika“ 2011 m.
24. „Šildytuvai Degimo produktų trakte“ LST EN 12952–1:2002m.
25. Michael J. Moran, Howard N. Shapiro, Bruce R. Munson, David P. DeWitt „Introduction to Thermal Systems Engineering: Thermodynamics, Fluid Mechanics, and Heat Transfer“ 2009 m.