



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

**Biokogeneracijos įdiegimo AB „Šiaulių energija“ šiluminėje
katilinėje techninė ir ekonominė analizė**

Baigiamasis magistro projektas

Laurynas Stagis

Projekto autorius

Prof. Vytautas Dagilis

Vadovas

Kaunas, 2021



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Biokogeneracijos įdiegimo AB „Šiaulių energija“ šiluminėje katilinėje techninė ir ekonominė analizė

Baigiamasis magistro projektas

Energijos technologijos ir ekonomika (6211EX073)

Laurynas Stagis

Projekto autorius

Prof. Vytautas Dagilis

Vadovas

Doc. Egidijus Puida

Recenzentas

Kaunas, 2021



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Laurynas Stagis

Biokogeneracijos įdiegimo AB „Šiaulių energija“ šiluminėje katilinėje techninė ir ekonominė analizė

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau–Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Laurynas Stagis

Patvirtinta elektroniniu būdu

Stagis, Laurynas. Biokogeneracijos įdiegimo AB „Šiaulių energija“ šiluminėje katilinėje techninė ir ekonominė analizė. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Vytautas Dagilis; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): energijos inžinerija (inžinerijos mokslai).

Reikšminiai žodžiai: organinis Rankino ciklas, Rankino ciklas, kogeneracija, biokogeneracija, ekonominė analizė, techninė analizė, ORC, RC.

Kaunas, 2021. 69 p.

Santrauka

Šiame baigiamajame darbe analizuojamas biokogeneracijos įdiegimas AB „Šiaulių energija“ katilinėje Kuršėnų mieste. Siekiant padidinti būsimos kogeneracinės elektrinės galią įvertinama galimybė sujungti atskirus Kuršėnų miesto tinklus į bendrą tinklą, taip padidinant šilumos poreikį tinkluose. Sujungimo pagrindimui atliekami hidrauliniai ir šilumos nuostolių skaičiavimai. Nustačius šilumos energijos poreikį optimizuotame tinkle, atsižvelgiant į investicijas, atsipirkimo laiką bei grynąją projekto vertę, parenkamas tinkamiausias kogeneracinis įrenginys. Sumodeliuojama situacija, kurioje matosi vidutinis šilumos tinklų apkrovimas dienos eigoje bei skirtingų šilumos įrenginių generuojama galia. Įvertinamas investicijų, į tinklų rekonstrukcija bei biokogeneracijos įrenginį, atsipirkimo laikas ir grynąją projekto vertę. Pateikiamos išvados apie kogeneracijos įdiegimą Kuršėnų mieste.

Stagis, Laurynas. Technical and Economical Analysis of Biocogeneration Implementation in "Šiaulių energija", AB Thermal Boiler House. Master's Final Degree Project / supervisor prof. dr. Vytautas Dagilis; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): power engineering (engineering science).

Keywords: organic Rankine cycle, Rankine cycle, cogeneration, biocogeneration, economical analysis, technical analysis, ORC, RC.

Kaunas, 2021. 69.

Summary

This final work analyzes the implementation of biocogeneration in the boiler house of AB "Šiaulių energija" in Kuršėnai. In order to increase the capacity of the future cogeneration power plant, the possibility of connecting separate networks of Kuršėnai city to the common network is assessed, thus increasing the heat demand in the networks. Hydraulic and heat loss calculations are performed to substantiate the connection. Once the heat energy demand in the optimized network has been determined, the most suitable cogeneration unit is selected, taking into account the investment, payback time and net project value. A situation is modeled in which the average load of heating networks during the day and the power generated by different heating devices are seen. The payback time and net value of the investment in the reconstruction of the networks and the biocogeneration unit are assessed. Conclusions on the introduction of cogeneration in Kuršėnai city are presented.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Įvadas.....	11
1. Energetikos sektorių apžvalga.....	13
1.1. Elektros energetikos sektorius	13
1.2. Šilumos energijos sektorius	14
1.3. Skyriaus apžvalga	16
2. Esama situacija	17
2.1. Vietovės geografinė padėtis	17
2.2. Klimatologiniai duomenys	17
2.3. Šilumos gamyba Kuršėnų mieste	18
2.3.1. Tilvyčio g. katilinė.....	18
2.3.2. Daugėlių katilinė	20
2.3.3. Ventos katilinė.....	21
2.3.4. Pavenčių katilinė	22
2.4. Esamas šilumos energijos poreikis	23
2.4.1. Tilvyčio katilinė.....	23
2.4.2. Daugėlių katilinė	24
2.5. Skyriaus išvados	26
3. Tinklų sujungimas į bendrą tinklą.....	27
3.1. Naujo šilumos tiekimo tinklo klojimas.....	27
3.1.1. Pramoniniu būdu izoliuoti vamzdynai.....	27
3.1.2. Vamzdžio skersmens nustatymas naujai klojamiems ir rekonstruojamiems tinklams.....	28
3.1.3. Terminų nuostolių skaičiavimas.....	34
3.2. Prognozuojamas šilumos energijos poreikis po tinklų sujungimo	39
3.3. Skyriaus išvados	40
4. Galimi biokogeneracijos variantai.....	41
4.1. Rankino ciklo elektrinė.....	41
4.1.1. Garo ciklo schema	41
4.1.2. Garo Rankino ciklo efektyvumas	42
4.1.3. Kondensaciniu ekonomizaizeriu atgaunamos šilumos skaičiavimas	45
4.1.4. RC ekonominis vertinimas	48
4.2. ORC kogeneracinė elektrinė.....	51
4.2.1. ORC istorija.....	51
4.2.2. Biokogeneracinių ORC elektrinės esama padėtis ir ateitis.....	52
4.2.3. Biokuru kūrenamos ORC elektrinės schema, trūkumai bei privalumai	54
4.2.4. ORC kogeneracinių elektrinių efektyvumas	56
4.2.5. Ekonominis vertinimas	59
5. Situacija po modernizacijos.....	63
6. Galima būsimo ORC kogeneracinės elektrinės įrengimo vieta	66
Išvados	67
Literatūros sąrašas	68

Priedai.....	70
1 priedas. 500 kW RC elektrinės balansas	70
2 priedas. 750 kW RC elektrinės balansas	71
3 priedas. 1 MW RC elektrinės balansas	72
4 priedas. 500 kW ORC elektrinės balansas	73
5 priedas. 750 kW ORC elektrinės balansas	74
6 priedas. 1 MW ORC elektrinės balansas	75
7 priedas. 500 kW ORC elektrinės + tinklų rekonstrukcija balansas	76

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Tilvyčio katilinės techniniai duomenys [3]	19
2 lentelė. Daugėlių katilinės techniniai duomenys.....	20
3 lentelė. Ventos katilinės techniniai duomenys	21
4 lentelė. Pavenčių katilinės techniniai duomenys.....	22
5 lentelė. Pramoniniu būdu izoliuotų vamzdžių matmenys [2].....	28
6 lentelė. Optimizuotas diametras ir slėgio nuostoliai atkarpose	34
7 lentelė. Investicija į šilumos tiekimo tinklų rekonstrukciją	34
8 lentelė. Skirtingų terpių temperatūra.....	35
9 lentelė. Grunto šilumos laidumo koeficientas [7]	36
10 lentelė. Esamo tinklo atkarpos A-A1 nuostoliai	37
11 lentelė. Optimizuotos atkarpos A-A1 nuostoliai.....	38
12 lentelė. Nuostoliai prieš ir po optimizacijos.....	39
13 lentelė. Biokuro sudėtis [18]	45
14 lentelė. RC elektrinės kapitaliniai kaštai [21]	48
15 lentelė. RC elektrinės apkrovimo lygis	50
16 lentelė. Pagrindiniai techniniai ekonominiai RC parametrai	50
17 lentelė. Įrengtų ORC įrenginių pasiskirstymas pagal šalis [10].....	53
18 lentelė. Organinių junginių naudojimas pagal skirtingas technologijas [11].....	56
19 lentelė. ORC įrenginio techniniai duomenys [15].....	58
20 lentelė. ORC įrenginio kapitaliniai kaštai [10]	60
21 lentelė. Gamybos kaštų analizė [15]	61
23 lentelė. ORC elektrinės apkrovimo lygis	61
24 lentelė. Pagrindiniai techniniai ekonominiai ORC parametrai	61
26 lentelė. Sudeginamo kuro dalies pokytis.....	64

Paveikslų sąrašas

1 pav. Elektros energijos balansas Lietuvoje [28]	13
2 pav. Elektros energijos poreikio, gamybos ir importo balanso prognozė iki 2028 m. [28]	14
3 pav. Naudojamų kuro rūšių dalis šildymo sektoriuje [29]	14
4 pav. CO ₂ išmetimo į aplinką kaita [29]	15
5 pav. Šilumos energijos poreikis [30]	15
6 pav. Nuostoliai šilumos tiekimo tinkluose [29]	16
7 pav. Kuršėnų miesto katilinės	17
8 pav. Dienolaipsniai pamečiui lyginant su projektiniais	18
9 pav. Tilvyčio katilinės šilumos tiekimo tinklai	19
10 pav. Daugėlių katilinės šilumos tiekimo tinklai	20
11 pav. Ventos katilinės šilumos tiekimo tinklai	21
12 pav. Pavenčių katilinės šilumos tiekimo tinklai	22
13 pav. Šiluminės galios poreikis priklausomai nuo lauko oro temperatūros Tilvyčio katilinėje ...	23
14 pav. Pagaminta šilumos energija Tilvyčio katilinėje pamečiui	24
15 pav. Kuro suvartojimas Tilvyčio katilinėje pamečiui	24
16 pav. Šiluminės galios poreikis priklausomai nuo lauko oro temperatūros Daugėlių katilinėje ...	25
17 pav. Pagaminta šilumos energija Daugėlių katilinėje pamečiui	25
18 pav. Kuro suvartojimas Daugėlių katilinėje pamečiui	26
19 pav. Rekonstruojamas tinklas A-B ir C-D bei naujai klojamas tinklas B-C	27
20 pav. Optimizuojama atkarpa A-B	31
21 pav. Prognozuojamas šilumos galios poreikis nuo lauko oro temperatūros	39
22 pav. Vidutinė 3 metų šilumos gamyba Tilvyčio katilinėje, Daugėlių katilinėje ir po sujungimo	40
23 pav. Garo ciklo T-S diagrama	41
24 pav. Ciklo T-S diagramos naudojant kondensacine ir galinio slėgio turbinas	42
25 pav. Skaičiuojamo ciklo T-S diagrama	43
26 pav. ORC ir garo ciklo efektyvumo lankstumas nuo apkrovos lygio [25]	45
27 pav. RC elektrinės energetinės analizės schema	48
28 pav. Įvairių biomasę deginančių elektrinių savitieji kaštai [23]	49
29 pav. ORC technologijos naudojimas skirtingose srityse [10]	52
30 pav. Įrengtų ORC elektrinių skaičius pagal gamintoją [13]	52
31 pav. Biomasę deginančių ORC elektrinių pasiskirstymas pagal galią [10]	53
32 pav. ORC kogeneracinių elektrinių plėtra pagal naudojamą šilumos šaltinį [13]	54
33 pav. Organinio Rankino ciklo principinė schema ir T-S diagrama [12]	55
34 pav. Regeneratoriaus įtaka termodinaminiam ciklo efektyvumui [15]	57
35 pav. NETO elektros generavimo efektyvumas nuo elektrinės apkrovimo [15]	57
36 pav. ORC elektrinės energetinės analizės schema	59
37 pav. ORC elektrinių santykiniai kaštai [27]	59
38 pav. Elektrinių kapitalinių kaštų indeksas [9]	60
39 pav. 500 kW, 750 kW ir 1,5 MW ORC tipo elektrinių palyginamasis finansinis balansas 20 metų laikotarpiui	62
40 pav. Vidutinis šilumos tinklo apkrovimas dienos bėgyje Tilvyčio katilinėje	63
41 pav. Vidutinis šilumos tinklo apkrovimas dienos bėgyje Daugėlių katilinėje	63
42 pav. Vidutinis šilumos tinklo apkrovimas dienos bėgyje po ORC įdiegimo	64
43 pav. Modernizacijos balansas	64

44 pav. Tilvyčio katilinės teritorija ir būsima vieta	66
--	----

Įvadas

Spartus ledynų tirpimas, sausrų intensyvėjimas, kritulių kiekio pasikeitimai bei vis dažniau pasireiškiantys ekstremalūs reiškiniai skatina imtis priemonių siekiant pažaboti vis prastėjančią situaciją. Didžiausia problema į aplinką išmetami degimo produktai, kurių sudėtyje yra šiltnamio efektą sukeliančios dujos. Todėl, Europos Sąjunga užsibrėžė tikslą iki 2030 metų sumažinti išmetamų ŠESD kiekį 55%. Siekiant įrodyti, kad tai ne pažadas apyvartinių taršos leidimų kainos kilo į dar neregėtas aukštumas. Europoje daugiausiai ŠESD išmeta anglimi kūrenamos elektrinės, o toks ATL augimas, kaip priemonė, siejamas su noru išstumti iškastinį kurą kūrenančias jėgaines iš rinkos. Negana to energijos poreikis kasmet vis didėja, kuro poreikis taip pat, dėl ko kuro kainos kasmet auga. Visa tai atkreipė pasaulio dėmesį į efektyvesnių bei švaresnių energijos generavimo technologijų diegimą ir vystymą. Bene efektyviausia technologija yra kogeneracija, kurios metu gaminama elektros energija, o šalutinis produktas – šiluma tiekama į centralizuotų šilumos tinklų sistemą vartotojų poreikiams patenkinti. Ši technologija mažina sunaudojamo kuro kiekį maksimaliai išnaudodama jo potencialą, kogeneracinių elektrinių efektyvumas viršija 100% vertinant pagal viršutinį kuro šilumingumą. Todėl, nenuostabu, kad ši technologija vienas svarbiausių veiksnių kovojant su vis didėjančiu ŠESD išmetimu į aplinką.

Prieš dešimtmetį išibėgėjus atsinaujinančių energijos šaltinių diegimui Europoje, tuo pat metu prasidėjo ir dujų kainų augimas. Dėl to Lietuvoje nukeliauta lengviausiu keliu ir plačiai įrengti tik šilumą gaminantys biokuro vandens šildymo katilai, tokiu būdu nepilnai išnaudojamas biokuro šilumos potencialas elektros energijos gamyboje. Žinoma, šilumos kaina sumažėjo perpus, energetikos sektoriuje padaugėjo darbo vietų, o CO₂ išmetimas šilumos sektoriuje sumažėjo apie 3 kartus. Tačiau, elektros gamybos sektorius pradėjo traukis. Didžiausią įtaką padarė Ignalinos atominės elektrinės sustabdymas, o dėl brangstančių dujų ir pigesnės importuojamos elektros energijos pradėtos uždarinėti dujomis kūrenamos kogeneracinės jėgainės. Nutiesta jungtis su Skandinavijos šalimis dar labiau sumažino elektros energijos kainas, kad net Kruonių hidroakumuliacinė elektrinė pradėjo dirbti nuostolingai. Visa tai lėmė, kad Lietuva tapo priklausoma nuo importuojamos elektros energijos.

Vienas iš galimų būdų gerinti susiklosčiusią elektros energijos priklausomumo situaciją yra šilumos energijos sektoriaus tobulinimas. Atsižvelgiant į tai, kad mažuose miesteliuose įrengti šik šilumos energiją gaminantys biokuro katilai, reikia imtis priemonių - juos pakeičiant kogeneraciniais įrenginiais. Lietuvoje kaip tik prasideda nedidelės galios biokuro kogeneracijos skatinimas, taip siekiama finansuoti naujų didelio efektyvumo biokogeneracijos įrenginių statybą ir esamų šilumos energija gaminančių įrenginių keitimą kogeneraciniais. Įgyvendinant projektus bus didinami elektros energijos nepriklausomumo rodikliai, skatinama efektyvesnė energijos gamybą bei atsinaujinančių energijos išteklių naudojimas.

Darbe analizuojama galimybė įdiegti biokogeneraciją AB „Šiaulių energija“ šiluminėje katilinėje, Kuršėnų mieste. Siekiant padidinti jėgainės galią įvertinama, atskirų šilumos tiekimo tinklų sujungimo į bendrą tinklą, galimybė. Parenkamas tinkamiausias kogeneracijos variantas, Rankino ciklas arba organinis Rankino ciklas. Atliekamas modernizacijos projekto ekonominis vertinimas, įvertinant būtinausias investicijas, atsipirkimo laiką bei grynąjį projekto pelną.

Darbo tikslas – įvertinti biokogeneracijos įdiegimo galimybes Kuršėnų mieste bei parinkti tinkamiausią variantą mažos galios elektrinių segmente.

Darbe keliami uždaviniai:

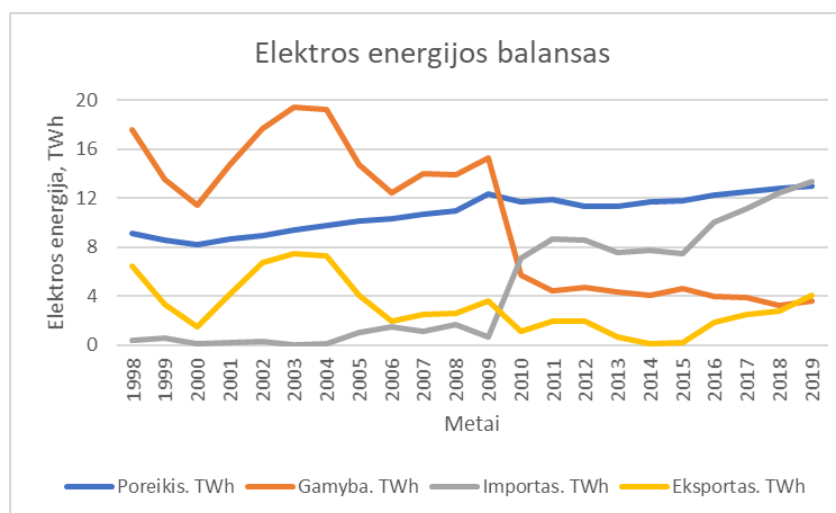
1. išanalizuoti esamą situaciją Kuršėnų miesto šilumos tiekimo tinkluose;
2. įvertinti galimybę sujungti atskirus šilumos tiekimo tinklus į bendrą tinklą, siekiant padidinti šilumos energijos poreikį tinkle;
3. palyginti galimus biokogeneracijos variantus bei parinkti patraukliausią mažos galios elektrinių segmente;
4. įvertinti ar projektas ekonomiškai naudingas.

1. Energetikos sektorių apžvalga

Nuo pat pirmųjų nepriklausomybės dienų Lietuva susiduria su energetiniu saugumu ir energetiniu nepriklausomumu. Pirmas toks potyris įvyko vos tik buvo paskelbta nepriklausomybė, kai Maskva nutraukė naftos tiekimą Lietuvai siekdama išsaugoti vientisumą. Po 16 metų įvykiai pasikartojo, kuomet buvo sustabdytas vamzdynas „Družba II“. Įstojusi į Europos Sąjungą energetinio saugumo rodikliai pagerėjo, tačiau Lietuva įsipareigojo uždaryti Ignalinos atominę elektrinę. Taip pat dėl didėjančių aplinkosaugos reikalavimų reikėjo rekonstruoti ir esamas šiluminės elektrines arba jos bus uždarytos. 2012 metais dėl vykdomos Gazprom kainų politikos dujų kainos Lietuvoje pasiekė neregėtas aukštumas, tai lėmė dujomis kūrenamų kogeneracinių elektrinių stabdymą, nes taip gaminti elektros energiją tapo nuostolinga. Dėl šių priežasčių išaugo elektros energijos importas, o milžiniškos sąskaitos už nerenovuotų namų šildymą piktino gyventojus. Tuo pat metu išibėgėjo atsinaujinančių energijos šaltinių diegimas Europoje, siekiant sumažinti gamtinių dujų vartojimą Lietuvoje nueita lengviausiu keliu ir mažuose miesteliuose įrengti tik šilumą gaminantys biokuro vandens šildymo katilai, taip neišnaudojant biokuro potencialo elektros energijos gamyboje. Žinoma, šilumos kaina sumažėjo perpus, energetikos sektoriuje padaugėjo darbo vietų, o CO₂ išmetimas šilumos sektoriuje sumažėjo apie 3 kartus. Visa tai lėmė, kad Lietuva tapo priklausoma nuo elektros energijos importo.

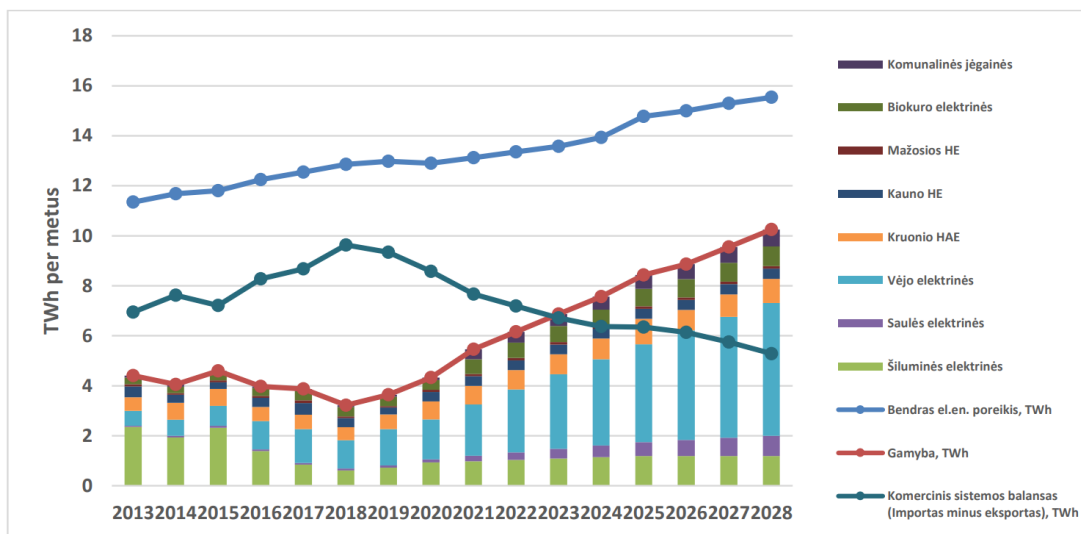
1.1. Elektros energetikos sektorius

Pirmame paveiksle pateiktas elektros energijos balansas 1998-2019 metais. Akivaizdus gamybos mažėjimas ir importo didėjimas 2010 m. po Ignalinos atominės elektrinės antrojo bloko uždarymo. Elektros energijos poreikis Lietuvoje stabiliai augo iki 2009 m. ekonominės krizės, kuomet poreikis krito 0,7 TWh. Po ekonominės krizės ir toliau fiksuojamas stabilus augimas, dėl ko kyla ir importuojamos elektros energijos kiekis.



1 pav. Elektros energijos balansas Lietuvoje [28]

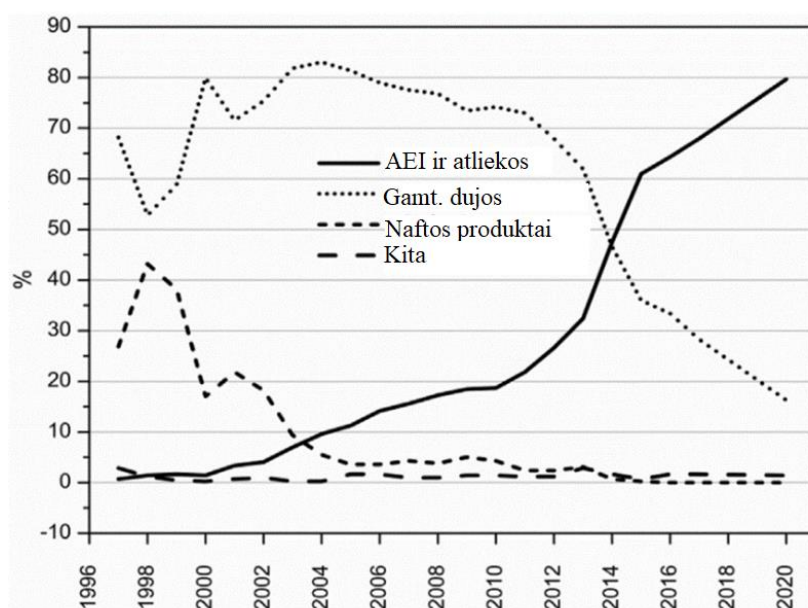
Litgrid duomenimis [28] elektros energijos poreikis Lietuvoje augs ir 2028 m. turėtų kilti virš 15 TWh (2 pav.). Tačiau prognozuojamas ir gamybos augimas iki 10,25 TWh. Naudojant atsinaujinančius energijos šaltinius bus pagaminta net 67% elektros energijos: vėjo jėgainėse ir biokurą naudojančiose elektrinėse atitinkamai 51,78% ir 7,67%, šiluminėse elektrinėse 11,63%, Kruonių hidroakumuliacinėje elektrinėje 9,46%, Kauno hidroelektrinėje 3,97%, saulės ir atliekų deginimo jėgainėse būtų pagaminta atitinkamai 7,89% ir 6,61%, o mažosiose elektrinėse tik 0,99%.



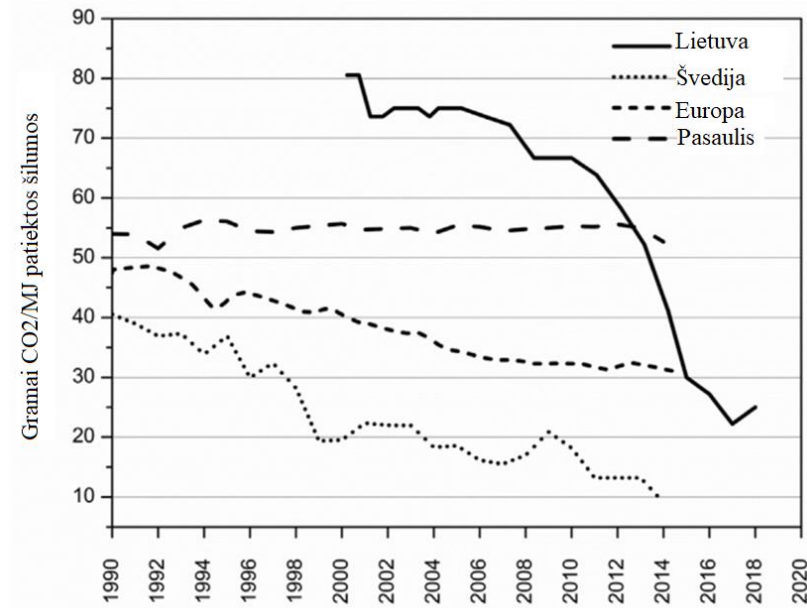
2 pav. Elektros energijos poreikio, gamybos ir importo balanso prognozė iki 2028 m. [28]

1.2. Šilumos energijos sektorius

Nuo nepriklausomybės atgavimo šilumos tiekimo sektorius smarkiai patobulėjo. Remianti 3 paveikslu matosi, kad 1996-2002 m. dominavo šilumos energijos gamybą iš gamtinių dujų ir tik 2014 metais biokuras tapo pagrindinių energijos šaltiniu. Tai lėmė Gazprom vykdoma kainų politika, kuomet 2012 m. gamtinių dujų kaina pasiekė neregėtas aukštumas. Žinoma, Lietuva reagavo į susiklosčiusią situaciją ir skubėjo gamtines dujas pakeisti biokuru. Šilumos kaina sumažėjo perpus, energetikos sektoriuje padaugėjo darbo vietų, o CO₂ išmetimas šilumos sektoriuje sumažėjo apie 3 kartus (4 pav.). Tačiau, biokuro potencialas elektros gamyboje liko neišnaudotas nes mažu miestų katilinėse buvo įrenginėjami tik šilumos energiją gaminantys katilai. 2016 metų duomenimis biokuru kūrenamose kogeneracinėse jėgainėse pagaminta 3,6 TWh šilumos energijos ir tai sudaro 41% nuo viso pagaminto šilumos energijos kiekio [29].

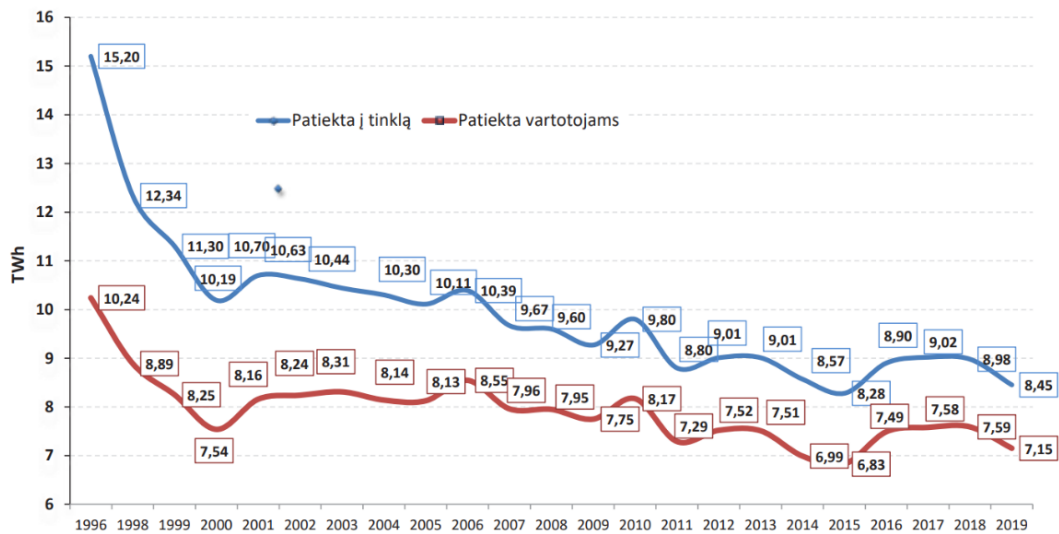


3 pav. Naudojamų kuro rūšių dalis šildymo sektoriuje [29]

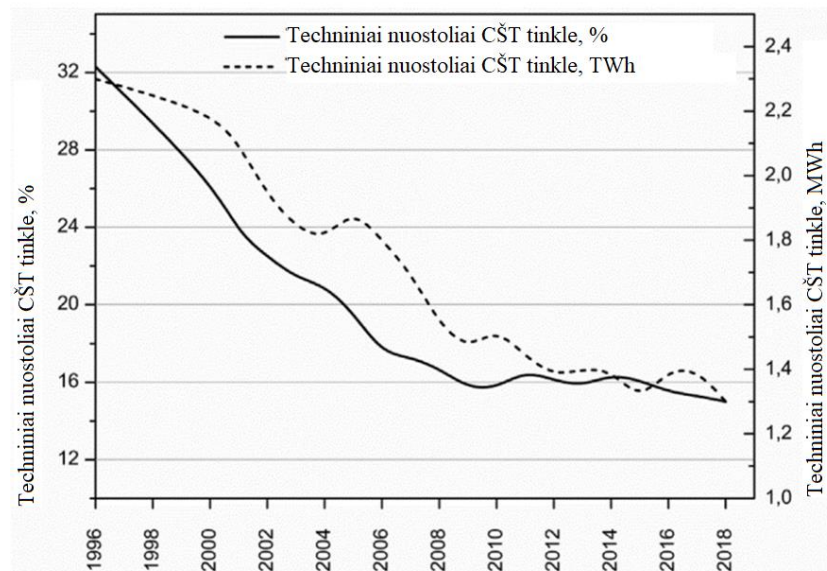


4 pav. CO₂ išmetimo į aplinką kaita [29]

Pagal autorių pateiktą informaciją (5 pav.), matomas šilumos energijos gamybos mažėjimą, tai sietina su nuostolių tinkle sumažėjimu (6 pav.) ir pastatų renovacija. Tokių nuostolių mažėjimą lemia spartus šilumos tiekimo tinklų modernizavimas, kuomet optimizavus tinklo diametrą klojami nauji pramoniniu būdu izoliuoti vamzdynai. Žinoma, modernizavimą skatina finansinės paramos.



5 pav. Šilumos energijos poreikis [30]



6 pav. Nuostoliai šilumos tiekimo tinkluose [29]

1.3. Skyriaus apžvalga

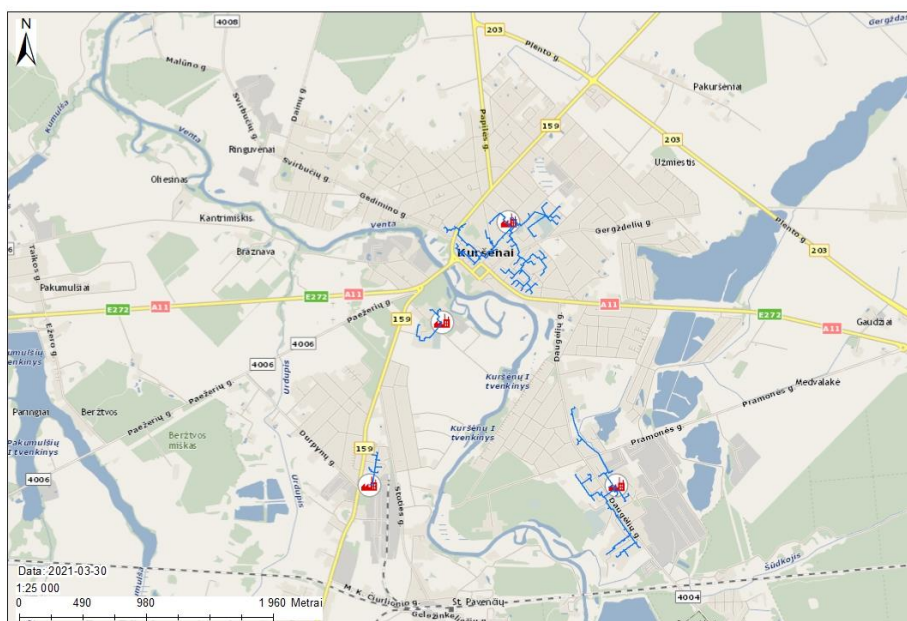
Šiuo metu Lietuvos elektros energijos nepriklausomumo situacija labai prasta, nes importuojamos elektros energijos kiekis padengia visą šalies poreikį. Tačiau ateities prognozės džiugina nepaisant augančio energijos poreikio gamybos pajėgumai augs ir sieks 10,25 TWh metinio suvartojimo, o iš atsinaujinančių energijos šaltinių bus pagaminta net 67% viso kiekio. Elektros energijos importas turėtų smarkiai sumažėti ir sieks apie 5 TWh. Akivaizdu, kad Lietuvos planuose energijos nepriklausomumo rodiklių gerinimas. Atsižvelgiant į šilumos tiekimo sektoriuje susiklosčiusią situaciją, kuomet mažuose miestuose įrengti tik šilumą gaminantys biokuro vandens šildymo katilai, reikia imtis priemonių modernizuojant tokio tipo katilines į mažos galios kogeneracines jėgaines. Tai gerintų ne tik energetinio nepriklausomumo rodiklius, bet ir skatintų efektyvesnę energijos gamybą bei atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimą.

2. Esama situacija

2.1. Vietovės geografinė padėtis

Kuršėnai – miestas Šiaulių rajone, 25 kilometrų atstumu nuo Šiaulių. Tai didžiausias miestas Lietuvoje, kuris nėra savivaldybės centras. Kuršėnų miesto seniūnija yra kaimiškos seniūnijos centras. Miestas išsikūręs abipus Ventos, prie kelio Šiauliai – Palanga. Kuršėnai suskirstyti į du priemiesčius – Daugėliai ir Pavenčiai.

Kuršėnuose 2020 m. duomenimis gyvena 10831 žmonės.



7 pav. Kuršėnų miesto katilinės

2.2. Klimatologiniai duomenys

Klimatinės sąlygos Kuršėnų r. sav. remiantis RSN 156-94 Statybinė klimatologija (arčiausia stotis Šiauliai): vidutinė metinė oro temperatūra 6,0 °C, maksimali oro temperatūra 34,3 °C, minimali oro temperatūra -36,4 °C, metinis vidutinis santykinis oro drėgnumas – 80%, vidutinis metinis vėjo greitis – 3,2 m/s, maksimalus vėjo greitis – 30 m/s, vidutinis metinis kritulių kiekis 600 mm, maksimalus paros kritulių kiekis 63,1 mm, vidutinis sniego dangos storis per žiemą 18 cm, maksimalus sniego dangos storis per žiemą 48 cm, maksimalus dirvožemio išalimo gylis (cm) (arčiausia stotis Šiauliai), galimas vieną kartą per 10 metų – 83 cm, maksimalus dirvožemio išalimo gylis (cm), galimas vieną kartą per 50 metų – 115 cm.

Darbe atliekamiems šilumos sąnaudų skaičiavimams reikalinga oro temperatūra šildymo sezono metu. Statybinėje klimatologijoje nurodyta:

- Projektinė minimali aplinkos oro temperatūra šildymo sezono metu Kuršėnuose (remiantis artimiausia Šiaulių miesto metrologijos stotimi) $t_{oro, min.} = -22$ °C;
- Dienolaipsnių skaičius šildymo sezono metu, kai vidutinė paros oro temperatūra žemesnė kaip +10 °C, yra lygus 4081; pereinamosios rudenį rugsėjo 26 d, pavasarį – gegužės 6 d. Trukmė – 222 paros.



8 pav. Dienolaipsniai pamečiui lyginant su projektiniais

Lyginant praėjusių šildymo sezonų dienolaipsnių skaičių matyti, jog pastarųjų sezonų dienolaipsnių skaičiai nesiekia projektinės 4081 vertės, nurodytos RSN 159-94. Todėl, siekiant tikslesnių skaičiavimų rezultatų apie pagamintus metinius šilumos kiekius ir techninį–ekonominį projekto pagrindimą, bus naudojamos pastarųjų 3 metų situacijos.

2.3. Šilumos gamyba Kuršėnų mieste

Kuršėnų mieste veikia keturios atskiros katilinės su tik joms priskirtais termofikacinio vandens tinklais:

1. Tilvyčio katilinė;
2. Daugėlių katilinė;
3. Ventos katilinė;
4. Pavenčių katilinė.

Bendra Kuršėnų miesto šilumos gamybos įrenginių galia $P_{max}=26,044 MW$, eksploatuojamų šilumos tiekimo tinklų ilgis $L=11,342 km$. Šios sistemos užtikrina šilumos energijos tiekimą 118 pastatų.

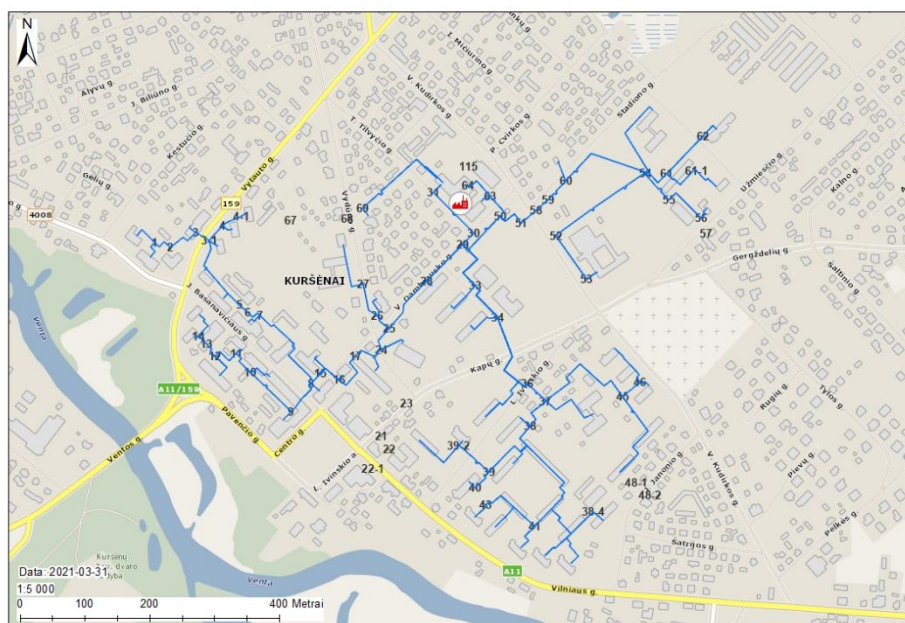
2.3.1. Tilvyčio g. katilinė

Tilvyčio katilinė–tai pagrindinė katilinė Kuršėnų mieste, tiekianti šilumos energiją 67 pastatams, tai yra, didžiajai daliai miesto vartotojų. Ši katilinė vienintelė Kuršėnuose, dirbanti su budinčiu personalu. Katilinės techniniai duomenys pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Tilvyčio katilinės techniniai duomenys [3]

Šilumos generavimo įrenginio duomenys			Instaliuota šilumos generavimo galia
Šilumos generavimo įrenginio pavadinimas ir numeris	Įrenginio tipas	Eksplotacijos pradžia	MW
Vandens šildymo katilas Nr.1	TRINOx 4300	2005	5,00
Kondensacinis ekonomizeris Nr.1	Totaleco Type 56	2005	0,50
Vandens šildymo katilas Nr.2	VK-21	1994	1,86
Vandens šildymo katilas Nr.3	VK-21	1979	1,86
Kondensacinis ekonomizeris Nr.2	Totaleco Type 32	2008	0,372
Vandens šildymo katilas Nr.4	BMK-2000	2015	2
Vandens šildymo katilas Nr.5	BMK-1000	2015	1
Kondensacinis ekonomizeris Nr.3	CH recovery OY P130-1	2015	0,589
Iš viso:			13,181

Maksimali šilumos įrenginių galia $P_{max}=13,181 MW$. Tilvyčio katilinės eksploatuojamų šilumos tiekimo tinklų ilgis $L=6,451 km$, iš jų rekonstruota tik 2,7%. Šilumos tiekimo tinklų schema pateikta paveikslėlyje.



9 pav. Tilvyčio katilinės šilumos tiekimo tinklai

Katilinės šilumos tiekimo tinklai šildymo sezono metu eksploatuojami prie tiekiamo šilumnešio slėgio $P_t=40 m. v. st$, grąžinamo šilumnešio slėgio $P_g=20 m. v. st$, maksimali tiekiamo ir grąžinamo šilumnešio temperatūra, kai $t_{lauko}=-22 ^\circ C$, yra $t_t=87 ^\circ C$ ir $t_g=60 ^\circ C$. Ne šildymo sezono metu tinklai

eksploatuojami prie tiekiamo šilumnešio slėgio $P_t=20 \text{ m. v. st.}$, grąžinamo šilumnešio slėgio $P_g=11 \text{ m. v. st.}$, stabili tiekiamo ir grąžinamo šilumnešio temperatūra $t_t=70 \text{ }^\circ\text{C}$ ir $t_g=45 \text{ }^\circ\text{C}$.

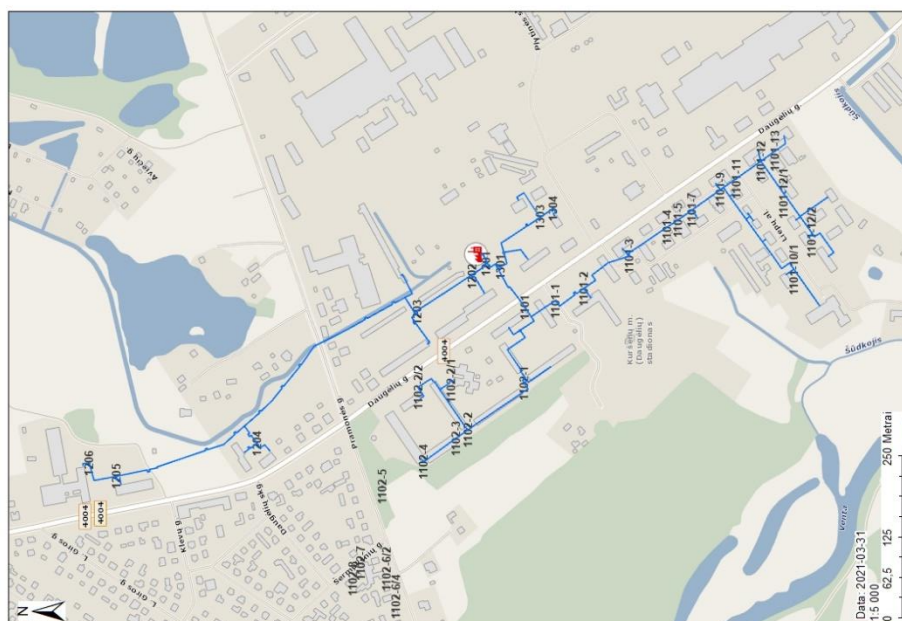
2.3.2. Daugėlių katilinė

Iki 2006 m. buvusi Daugėlių statybinių medžiagų kombinato katilinė, po įmonės likvidavimo 2006 m. eksploatuoti perėmė AB „Šiaulių energija“. Tais pačiais metais atlikta rekonstrukcija, vietoje senos katilinės pastatyta nauja, visiškai automatizuota, nereikalaujanti nuolatos budinčio personalo. Ši katilinė šilumos energija aprūpina didelę dalį vartotojų, 37 pastatus, kurių didžioji dalis gyvenamieji daugiabučiai pastatai. Katilinės techniniai duomenys pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. Daugėlių katilinės techniniai duomenys

Šilumos generavimo įrenginio duomenys			Instaliuota šilumos generavimo galia
Šilumos generavimo įrenginio pavadinimas ir numeris	Įrenginio tipas	Eksplotacijos pradžia	MW
Vandens šildymo katilas Nr.1	TRINOx 3000	2006	3,5
Kondensacinis ekonomizeris Nr.1	Totaleco Type 32	2006	0,350
Vandens šildymo katilas Nr.2	TRINOx 1200	2006	1,43
Kondensacinis ekonomizeris Nr.2	Totaleco Type 10	2006	0,143
Iš viso:			5.423

Maksimali šilumos įrenginių galia $P_{max}=5,423 \text{ MW}$. Daugėlių katilinės eksploatuojamų šilumos tiekimo tinklų ilgis $L=3,428 \text{ km}$, iš jų rekonstruota 10,4%. Šilumos tiekimo tinklų schema pateikta paveikslėlyje.



10 pav. Daugėlių katilinės šilumos tiekimo tinklai

Katilinės šilumos tiekimo tinklai šildymo sezono metu eksploatuojami prie tiekiamo šilumnešio slėgio $P_t=40$ m. v. st, grąžinamo šilumnešio slėgio $P_g=24$ m. v. st, maksimali tiekiamo ir grąžinamo šilumnešio temperatūra, kai $t_{lauko}=-22$ °C, yra $t_t=87$ °C ir $t_g=60$ °C. Ne šildymo sezono metu tinklai eksploatuojami prie tiekiamo šilumnešio slėgio $P_t=20$ m. v. st, grąžinamo šilumnešio slėgio $P_g=11$ m. v. st, stabili tiekiamo ir grąžinamo šilumnešio temperatūra $t_t=70$ °C ir $t_g=45$ °C.

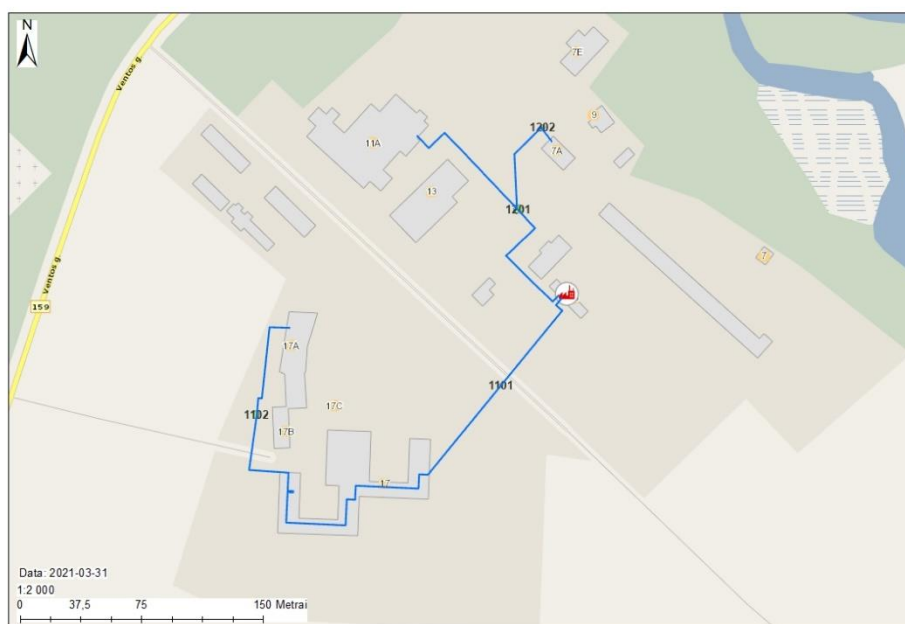
2.3.3. Ventos katilinė

Mažiausia AB „Šiaulių energija“ eksploatuojama katilinė Kuršėnų mieste aprūpinanti šilumos energija tik 5 pastatus. Ši katilinė yra automatizuota ir jai nereikia papildomo personalo. Katilinės techniniai duomenys pateikti 3 lentelėje.

3 lentelė. Ventos katilinės techniniai duomenys

Šilumos generavimo įrenginio duomenys			Instaliuota šilumos generavimo galia
Šilumos generavimo įrenginio pavadinimas ir numeris	Įrenginio tipas	Eksplotacijos pradžia	MW
Vandens šildymo katilas Nr.1	VK-21	1994	1,86
Vandens šildymo katilas Nr.2	VK-21	1998	1,86
Iš viso:			3,72

Maksimali šilumos įrenginių galia $P_{max}=3,72$ MW. Ventos katilinės eksploatuojamų šilumos tiekimo tinklų ilgis $L=0,71$ km, o bendras tinklų amžius apie 40 metų. Šilumos tiekimo tinklų schema pateikta 5 paveikslėlyje.



11 pav. Ventos katilinės šilumos tiekimo tinklai

Katilinės šilumos tiekimo tinklai šildymo sezono metu eksploatuojami prie tiekiamo šilumnešio slėgio $P_t=40$ m. v. st, grąžinamo šilumnešio slėgio $P_g=20$ m. v. st, maksimali tiekiamo ir grąžinamo

šilumnešio temperatūra, kai $t_{lauko}=-22\text{ }^{\circ}\text{C}$, yra $t_t=81\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir $t_g=65\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ventos katilinė vasaros sezono metu neeksploatuojama.

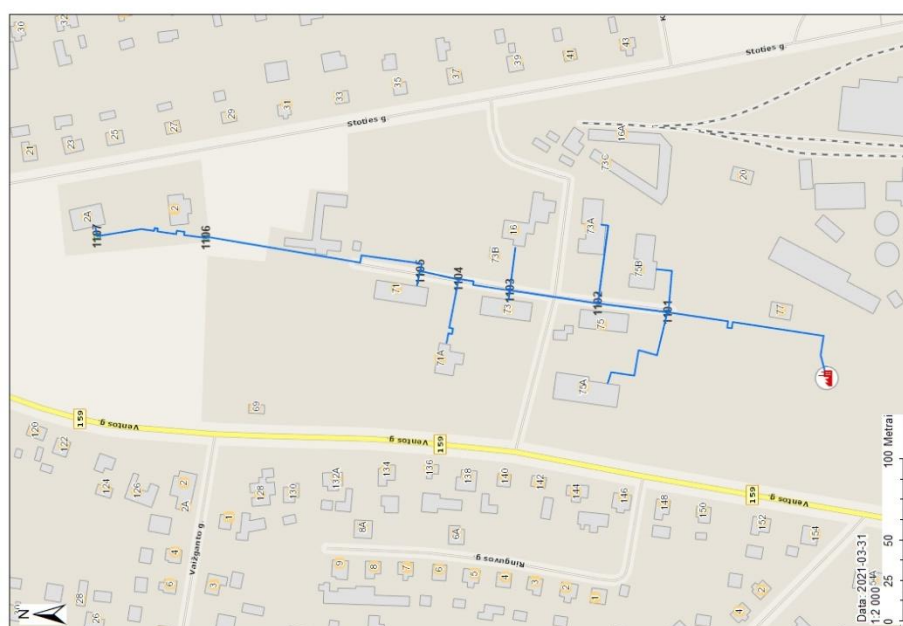
2.3.4. Pavenčių katilinė

Pavenčių katilinė šilumos energija aprūpina 9 pastatus. 2004 metais katilinė buvo automatizuota, nebereikalauja būdinčio personalo. Katilinės techniniai duomenys pateikti 4 lentelėje.

4 lentelė. Pavenčių katilinės techniniai duomenys

Šilumos generavimo įrenginio duomenys			Instaliuota šilumos generavimo galia
Šilumos generavimo įrenginio pavadinimas ir numeris	Įrenginio tipas	Eksplotacijos pradžia	MW
Vandens šildymo katilas Nr.1	VK-21	1998	1,86
Vandens šildymo katilas Nr.2	VK-21	1998	1,86
Iš viso:			3,72

Maksimali šilumos įrenginių galia $P_{max}=3,72\text{ MW}$. Pavenčių katilinės eksploatuojamų šilumos tiekimo tinklų ilgis $L=0,762\text{ km}$, iš jų rekonstruota 25,3%. Šilumos tiekimo tinklų schema pateikta 6 paveikslėlyje.



12 pav. Pavenčių katilinės šilumos tiekimo tinklai

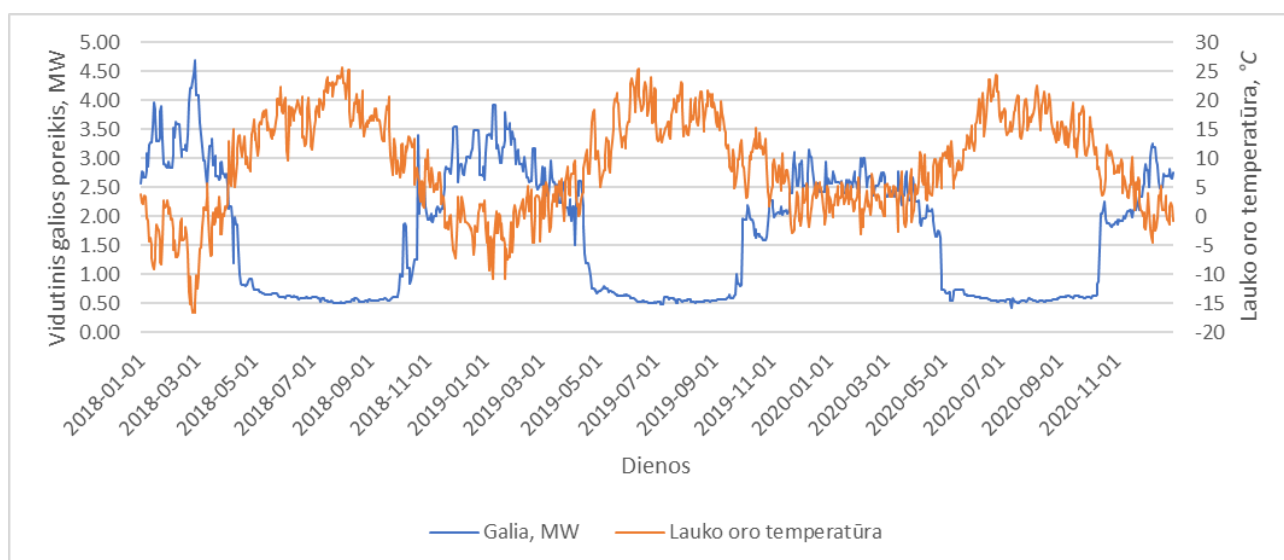
Katilinės šilumos tiekimo tinklai šildymo sezono metu eksploatuojami prie tiekiamo šilumnešio slėgio $P_t=35\text{ m. v. st}$, grąžinamo šilumnešio slėgio $P_g=20\text{ m. v. st}$, maksimali tiekiamo ir grąžinamo šilumnešio temperatūra, kai $t_{lauko}=-22\text{ }^{\circ}\text{C}$, yra $t_t=87\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir $t_g=60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pavenčių katilinė vasaros sezono metu neeksploatuojama.

2.4. Esamas šilumos energijos poreikis

Kadangi darbe svarstoma galimybė apie biokogeneracijos įdiegimą Kuršėnų miesto Tilvyčio ir Daugėlių katilinėse, sujungiant abiejų katilinių šilumos tiekimo tinklus, toliau darbe analizuojamos tik šios dvi katilines. Katilinių rodikliai gauti iš įmonės apskaitos, o lauko oro temperatūra iš Šiaulių metrologinės stoties.

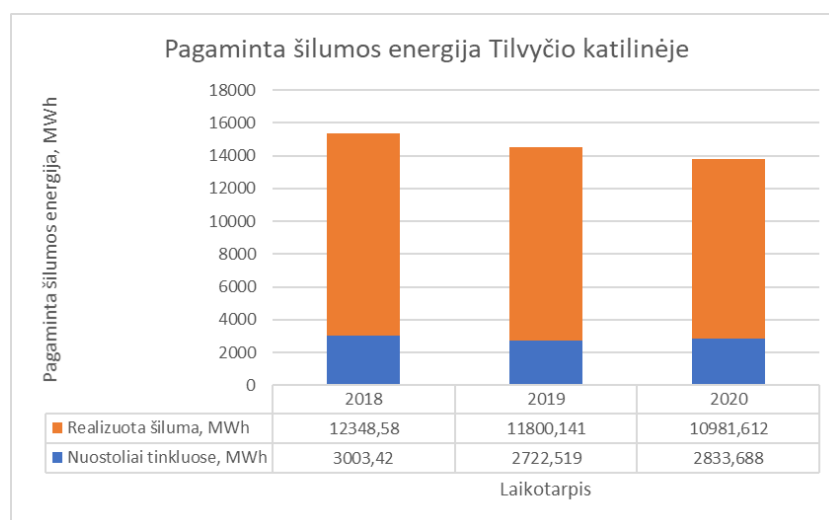
2.4.1. Tilvyčio katilinė

AB „Šiaulių energija“ šiluminėje katilinėje įrengta maksimali galia $P_{max}=13,181 MW$, kas leidžia užtikrinti patikimą ir kokybišką šilumos tiekimą vartotojams Kuršėnų mieste. Visa šilumos energija Tilvyčio katilinės šilumos tiekimo sistemai tiekama iš biokuru ir dujomis kūrenamų šilumos gamybos įrenginių. Biokurą deginančių įrenginių galia $P_b=3 MW + 0,589 MW$ (kondensacinis ekonomazeris), dujas deginančių įrenginių galia $P_d=8,72 MW + 0,872 MW$ (kondensacinis ekonomazeris). Grafike pateikiamas vidutinis šilumos galios poreikis 2018–2020 metais.



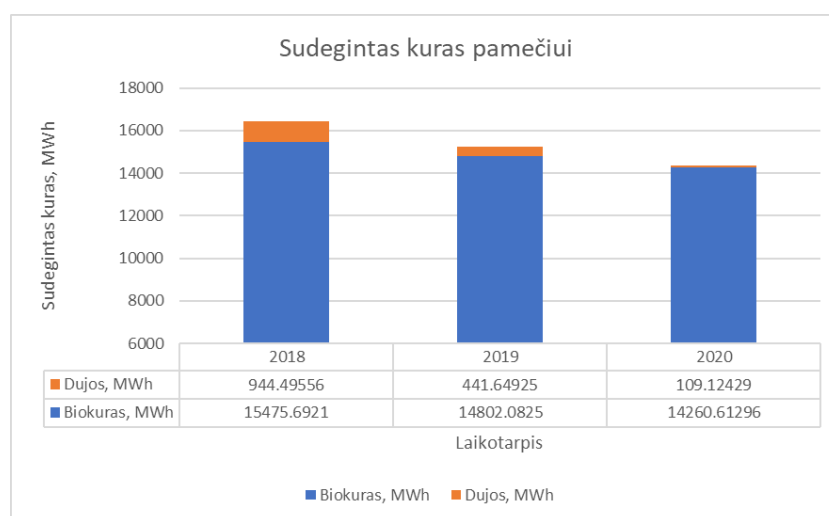
13 pav. Šiluminės galios poreikis priklausomai nuo lauko oro temperatūros Tilvyčio katilinėje

Grafike matomas staigus katilinės apkrovimas bei staigus apkrovimo sumažėjimas, tai siejama su šildymo sezono pradžia ir pabaiga. Iš grafiko galima teigti, kad įdiegtos, biokurą deginančių įrenginių, galios pakanka tinklo poreikiams patenkinti kol lauko oro temperatūra nėra žemesnė nei $t=-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lauko oro temperatūrai nukritus žemiau $t=-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, paleidžiami pikiniai gamtines dujas deginantys įrenginiai. Didžiausias apkrovimas fiksuotas kovo mėnesį, kuomet buvo naudojama 4,7 MW arba 35% Tilvyčio katilinės maksimalios įrengtos galios. Maksimalus šilumos tiekimo tinklų galios poreikis 6 MW (nustatyta pagal proporciją, kai projektinė lauko oro temperatūra $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$). Pagal pateiktus duomenis galima teigti, kad vasaros sezono metu, kuomet šiluma tiekama tik karštam vandeniui ruošti, veikia 1 MW galios biokuru kūrenamas vandens šildymo katilas apkrautas apie 50% su atjungtu ekonomazeriu. Akivaizdus šildymo sezonų švelnėjimas, 2019–2020 metų šildymo sezono metu vidutinė dienos lauko oro temperatūra nei kart nesiekė $t=-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, kas stipriai įtakojo šilumos gamybą. Šilumos gamybos pokytis pateikiamas 8 paveiksle.



14 pav. Pagaminta šilumos energija Tilvyčio katilinėje pamečiui

2018 metai buvo šalčiausi, vidutinė šildymo sezono temperatūra buvo $t=1,45\text{ }^{\circ}\text{C}$, lyginant su 2019 metų $t=3,59\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir 2020 metų $t=4,43\text{ }^{\circ}\text{C}$. Toks šildymo sezono temperatūros pokytis puikiai atsispindi šiluminės energijos gamyboje, skirtumas tarp 2018 ir 2020 metų apie $Q=1500\text{ MWh}$. Pateiktoje diagramoje matomi ir nuostoliai šilumos tinkluose jie apytiksliai sudaro 19,6% nuo pagaminto šilumos kiekio.

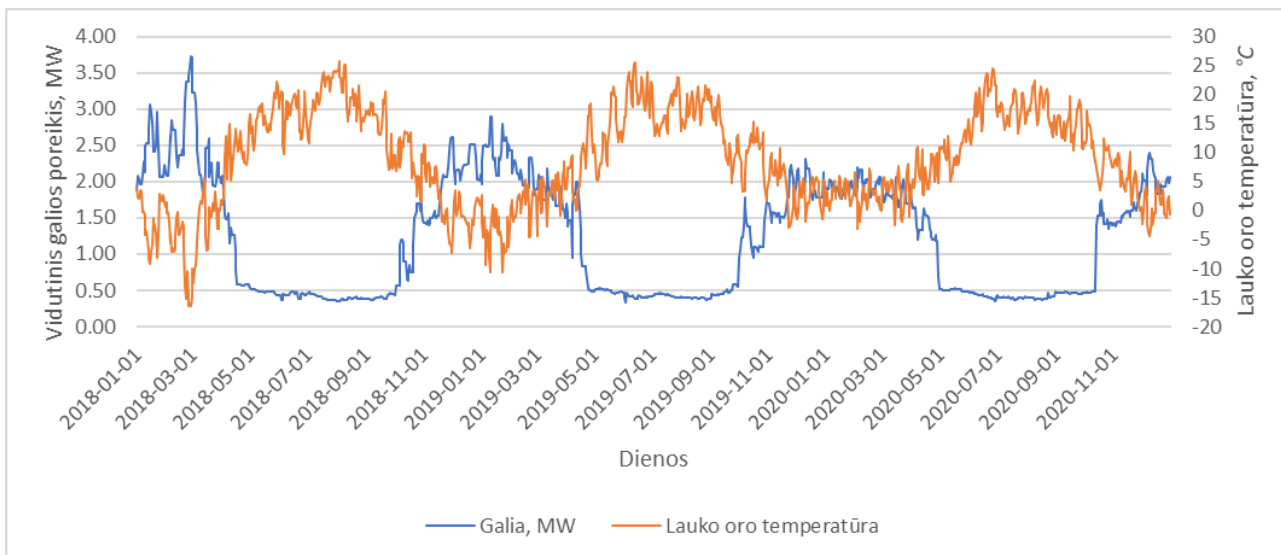


15 pav. Kuro suvartojimas Tilvyčio katilinėje pamečiui

15 paveiksle pateikti duomenys apie Tilvyčio katilinės suvartojamo kuro balansą pamečiui (pagal apatinį šilumingumą). Nustatyta tendencija, kad gamtinių dujų suvartojimas kasmet gerokai mažėja, tai reiškia, kad pikiniai gamtinėmis dujomis kūrenami katilai užkuriami vis rečiau. Taip pat pastebimas nežymus sudeginto biokuro kiekio mažėjimas, tam taip pat įtakos turi šildymo sezonų švelnėjimas. Kuršėnų miesto Tilvyčio katilinė aprūpina vartotojus patikima ir kokybiška šilumos energija pagaminta iš biokuro 97% ir gamtinių dujų 3%.

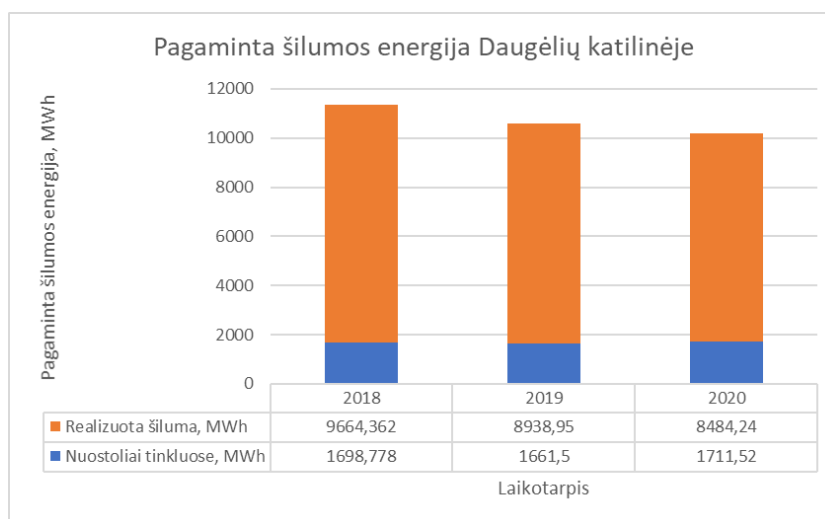
2.4.2. Daugėlių katilinė

Daugėlių katilinėje įrengti du dujomis kūrenami katilai su kondensaciniais ekonomizeriais, maksimali įrenginių galia $P_{max}=5,423\text{ MW}$, kas leidžia užtikrinti patikimą ir kokybišką šilumos energiją vartotojams. 16 paveiksle pateikiamas vidutinis paros galio poreikis per 2018-2020 metus.



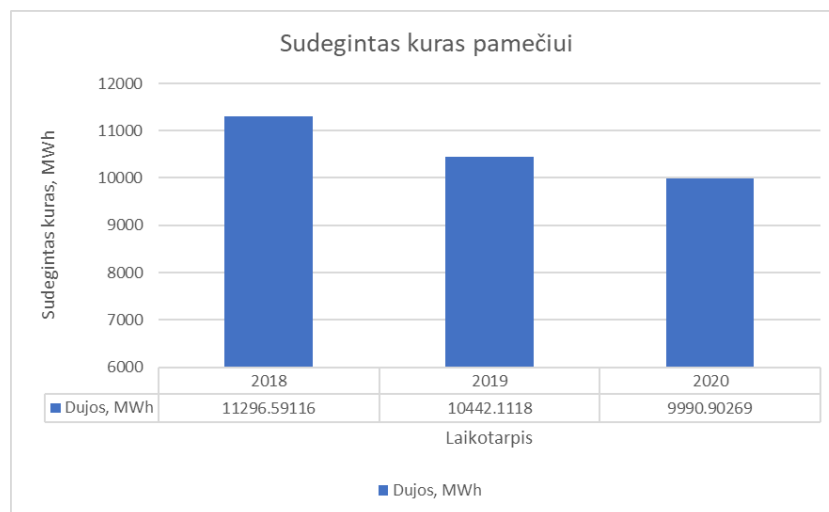
16 pav. Šiluminės galios poreikis priklausomai nuo lauko oro temperatūros Daugėlių katilinėje

Kaip ir Tilvyčio katilinės grafike pastebėta šildymo sezonų pradžią ir pabaigą išduodančius apkrovimo padidėjimus, sumažėjimus. Taip pat akivaizdi šildymo sezonų švelnėjimo įtaka šiluminės energijos gamyboje. Per pastaruosius metus katilinė maksimaliai nebuvo apkrauta, didžiausiais apkrovimas buvo 69% 2018 metų kovo mėnesį. Šilumos gamybos pokytis pateikiamas 17 paveiksle.



17 pav. Pagaminta šilumos energija Daugėlių katilinėje pamečiui

Grafike nustatyta tokia pati tendencija kaip ir Tilvyčio katilinėje, dėl šiltėjančios šildymo sezono lauko oro temperatūros mažėja pagamintos šilumos energijos kiekis, lyginant 2018 ir 2020 metus energijos kiekis sumažėjo apie $Q=1200$ MWh. Pateiktoje diagramoje matomi ir nuostoliai šilumos tinkluose jie apytiksliai sudaro 15,8% nuo pagaminto šilumos kiekio.



18 pav. Kuro suvartojimas Daugėlių katilinėje pamečiui

Iš pateikto Daugėlių katilinės metinio suvartoto kuro balanso, akivaizdu, jog dėl švelnėjančių šildymo sezono sąlygų kuro sunaudojama vis mažiau. Remiantis 17 ir 18 paveikslais nustatyta, kad sudeginto kuro yra mažiau, nei pagaminta šilumos, taip yra todėl, nes sudegintas kuras suskaičiuotas pagal apatinį kuro šilumingumą. Kondensaciniu ekonomazeriu grąžinama atliekinė dūmų šiluma.

2.5. Skyriaus išvados

Šiame skyriuje atlikus AB „Šiaulių energija“ Tilvyčio ir Daugėlių katilinių analizę, galima pateikti šias išvadas:

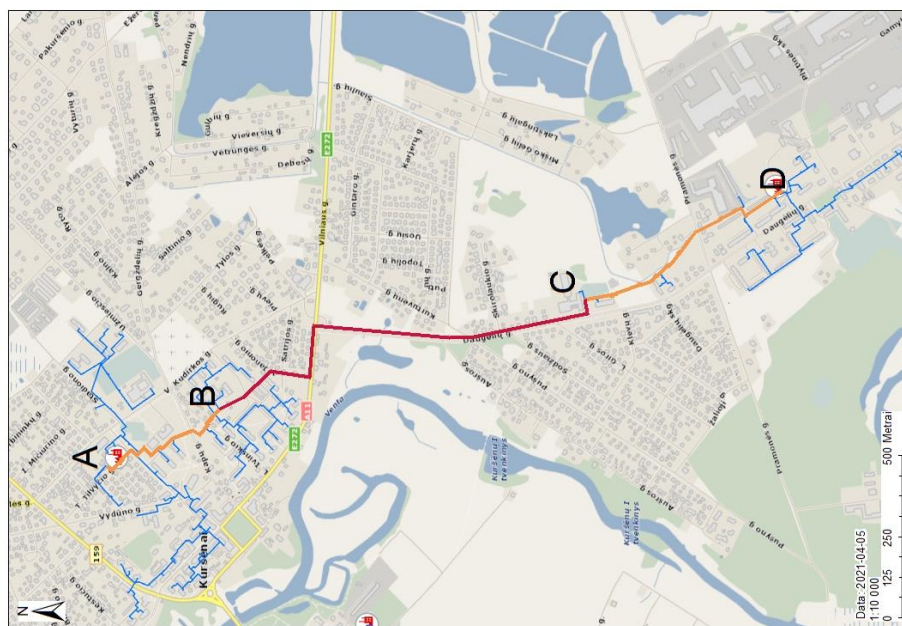
1. Tilvyčio ir Daugėlių katilinės geba visiškai aprūpinti Kuršėnų miesto vartotojus kokybiška ir patikima šilumos energija. Įrengtos galio pakanka patikimam energijos tiekimui, per pastaruosius tris metus didžiausias Tilvyčio katilinės aprovimas buvo 35% nuo įrengtos galios, o Daugėlių katilinės 69% nuo įrengtos galios.
2. Abiejose katilinėse, regimas, akivaizdus šildymo sezonų švelnėjimas, dėl ko mažėja šilumos energijos gamyba bei kuro suvartojimas. Jei ir toliau išliks tokia tendencija Tilvyčio katilinė, gali aprūpinti vartotojus šiluma, gaunama vien tik iš biokuro.
3. Nuostoliai tinkluose Tilvyčio katilinėje sudaro 19,6% nuo pagamintos šilumos energijos, Daugėlių katilinėje šiek tiek mažesni 15,8%. Toks skirtumas sietinas su rekonstruotais šilumos tinklais, Daugėlių katilinėje renovuotų tinklų procentinė dalis didesnė, atitinkamai 10,4% ir 2,7%.

3. Tinklų sujungimas į bendrą tinklą

Kuršėnų mieste yra keturios šilumos tiekimo tinklų sistemos nutolusios nedideliu atstumu viena nuo kitos. Kadangi darbe nagrinėjama galimybė įdiegti biokogeneraciją Kuršėnų mieste svarstyti variantas sujungti atskiras tinklų sistemas į bendrą tinklą siekiant padidinti sistemos galios poreikį. Deja, Ventos ir Pavenčių katilinės aprūpina nedidelį šilumos vartotojų kiekį ir vasaros sezono metu neeksploatuojamos, todėl nutiesta jungtis į šias tinklų sistemas neracionali, atkarpa neatsipirks, o ir šilumos energijos nuostoliai tinkle bus didesni nei vartotojams patiektas energijos kiekis. Todėl toliau darbe nagrinėjamas Tilvyčio katilinės ir Daugėlių katilinės tinklų sujungimas į vieną bendrą tinklą, tai leis ne tik padidinti būsimos kogeneracinės elektrinės galią, bet leis optimizuoti įmonės veiklą sutelkiant šilumos gamybos objektus į vieną vietą bei sumažins įmonės gamtinių dujų suvartojimą.

3.1. Naujo šilumos tiekimo tinklo klojimas

Kadangi abi katilinės yra nutolusios nedideliu atstumu viena nuo kitos, svarstyti variantas jas sujungti į vieną bendrą tinklą, tokiu atveju reikėtų nutiesti apie 1,37 km naujo tinklo B-C bei rekonstruoti esamą tinklą 0,54 km A-B ir 0,74 km C-D. Naujam ir rekonstruotam tinklui naudojami pramoniniu būdu izoliuoti vamzdžiai.



19 pav. Rekonstruojamas tinklas A-B ir C-D bei naujai klojamas tinklas B-C

3.1.1. Pramoniniu būdu izoliuoti vamzdynai

Pramoniniu būdu izoliuoti vamzdynai – tai gaminiai, naudojami įrengiant požeminio šilumotiekio vamzdynus. Izoliuotus vamzdynus sudaro:

- Pagrindinio eksploatacinio vamzdžio pagrindas – plieninis vamzdis, kuris pagamintas iš P235GH plieno;
- Šilumos izoliacijos poliuretano putų sluoksnis – visiškai užtikrina vienalytės termoizoliacinės medžiagos gavimą per visą vamzdžio ilgį. Komponentų sudėtis netoksiška ir atitinka tarptautinės aplinkosaugos organizacijos reikalavimus. Reakcijos metu išorinis apvalkalas – polietileno vamzdis ir plieno vamzdis patikimai vienas su kitu sutvirtinami.

- Polietileno (išorinis) apvalkalas – gaminamas iš didelio tankio polietileno, atitinkančio izoliuotiems vamzdžiams keliamus reikalavimus, turi hidroapsaugą iš izoliacinio sluoksnio dangos;

Normaliomis sąlygomis ir esant pastoviai šilumnešio temperatūrai 120 °C vamzdyno tarnavimo laikas ne mažiau 30 metų. Lentelėje pateikiami duomenys apie pramoniniu būdu izoliuotus vamzdžius.

5 lentelė. Pramoniniu būdu izoliuotų vamzdžių matmenys [2]

Plieninis vamzdis			Polietileninis apvalkalas				Izoliacijos storis	
DN, mm	d, mm	s, mm	D, mm	S, mm	Dp, mm	Sp, mm	I	Ip
100	114	4.5	200	5	225	4.5	38	51
125	133	5	225	4.5	250	4.5	41.5	54
150	159	6	250	4.5	315	5.5	41	72.5
200	219	7	315	5.5	400	7.5	42.5	83
250	273	7	400	7.5	450	7.5	56	81
300	325	8	450	7.5	500	10	55	76.5

Dėl ypatingai gerų šiluminių ir hidroizoliacinių savybių, pramoniniu būdu izoliuotų vamzdžių sistemos klojamos į bekanales, lengvai įrengiamas tranšėjas.

3.1.2. Vamzdžio skersmens nustatymas naujai klojamiems ir rekonstruojamiems tinklams

Užtikrinant patikimą šilumos energiją vartotojams, sujungiant tinklus būtina parinkti tinkamus vamzdžių skersmenis, kad išvengtume didelių slėgio nuostolių atkarpose. Dėl neteisingai parinktų vamzdžių skersmenų į vartotojų sistemas pateks netinkamų parametru šilumnešis, dėl ko sistemos dirbs nepatikimai.

Tilvyčio ir Daugėlių katilinės šildymo sezono metu dirba patikimai, kai tiekiamo šilumnešio slėgis $P_t=40$ m. v. st. Sujungus abi sistemas į vieną, reikia užtikrinti, kad per jungtį Daugėlių katilinės šilumos tinklams bus užtikrinamas 4 bar slėgis, tokiu atveju Tilvyčio katilinėje tiekiamo šilumnešio vamzdynų slėgis bus pakeltas iki 5 bar. Priimu, kad leidžiami slėgio nuostoliai nuo A–D yra $\Delta p=1$ bar, o tinklai nuo A iki D magistraliniai tinklai. Leidžiami slėgio nuostoliai nustatomi, remiantį Lietuvos respublikos energetikos ministro įsakymu Nr. 1-160 „Dėl Šilumos tiekimo tinklų ir šilumos punktų įrengimo taisyklių patvirtinimo“ 56 punkt. „rekomenduojama magistraliniuose tinkluose neviršyti 80 Pa/m, o kvartaliniuose–300 Pa/m slėgio nuostolių.“

Visų pirma apskaičiuojamas maksimalus šilumnešio debitas tiekiamas į šilumos tinklus, pagal formulę:

$$G = \frac{Q \cdot 3600}{c_p \cdot \rho \cdot \Delta t}, \quad (1)$$

G–šilumnešio srautas, m^3/h ;

Q–šilumos galia, kW;

ρ –šilumnešio tankis, kg/m^3 ;

c_p –savitoji šiluma, $kJ/kg^\circ C$;

Δt –temperatūrų skirtumas, Δt .

Šilumnešio tekėjimo greitis apskaičiuojamas pagal:

$$V = \frac{G}{3600 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2}; \quad (2)$$

Iš šios formulės išreiškiamas ir vamzdžio skersmuo:

$$d = \sqrt{\frac{G}{3600 \cdot V} \cdot \frac{4}{\pi}}; \quad (3)$$

V –šilumnešio tekėjimo greitis, m/s ;

d –vamzdžio skersmuo, mm .

Slėgio nuostoliams apskaičiuoti naudojama:

$$\Delta p = \frac{\mu \cdot l \cdot V^2 \cdot \rho}{2d}; \quad (4)$$

μ –trinties koeficientas;

l –vamzdžio ilgis, m .

Trinties koeficiento apskaičiavimui, pirmiausia sužinome Reynoldso skaičių:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}; \quad (5)$$

ν –kinetinis klampumas, $m^2 s^{-1}$;

D –vamzdžio skersmuo, m .

Jei tekėjimas turbulentinis $Re > 4000$, trinties koeficientas apskaičiuojamas pagal:

$$\mu = 0,11 \left(\frac{\varepsilon}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{\frac{1}{4}}; \quad (6)$$

ε –šiurkštumas, mm .

Atkarpa B–D:

Kadangi atkarpoje C-D yra tik keli vartotojai jie turės nedidelę įtaką pratekančiam šilumnešio kiekiui atkarpoje, priimta, kad atkarpoje B-D vamzdžio skersmuo išliks vienodas.

Šilumos galios poreikis prilyginamas įrengtai katilinės galiai, tai yra $Q = 5,423 \text{ MW}$. Žinoma, kad šilumnešis yra vanduo, todėl $c_p = 4,2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ ir $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$. Iš ankščiau aptarto skyriaus žinoma, kad Daugėlių katilinės maksimali tiekiamo ir grąžinamo šilumnešio temperatūra, kai $t_{lauko} = -22 \text{ }^\circ\text{C}$, yra $t_i = 87 \text{ }^\circ\text{C}$ ir $t_g = 60 \text{ }^\circ\text{C}$, todėl $\Delta t = 87 - 60 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$. Įstačius gaunama:

$$G = \frac{5423 \cdot 3600}{4,2 \cdot 1000 \cdot 27} = 172 \text{ m}^3/h;$$

Toliau apskaičiuojamas vamzdžio skersmuo. Vamzdžio atkarpos B–D ilgis $l=2,11 \text{ km}$. Apsibrėžiama, kad šilumnešio tekėjimo greitis *nežinomas*, o maksimalūs slėgio nuostoliai atkarpoje $\Delta p=0,7 \text{ bar}=70000 \text{ Pa}<2110\cdot 80=168800 \text{ Pa}$.

Toliau sprendžiama priartėjimo principu, priimta, kad $V=0,5 \text{ m/s}$:

$$d = \sqrt{\frac{172}{3600 \cdot 0,5} \cdot \frac{4}{3,14}} = 0,349 \text{ m} = 349 \text{ mm};$$

Atliekamas patikrinimas ar tenkina slėgio nuostoliai atkarpoje, kai $d=349 \text{ mm}$:

Priimta, kad šilumnešio temperatūra $t=87 \text{ }^\circ\text{C}$, todėl klampumas prie tokios temperatūros $\nu=0,336\cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ [5]. Apskaičiuojamas Reynoldso skaičius:

$$Re = \frac{0,5 \cdot 0,349}{0,336 \cdot 10^{-5}} = 51919;$$

Tekėjimas yra turbulentinis $Re>4000$. Vamzdžio paviršiaus šiurkštumas žinomas ir yra $\varepsilon=0,045 \text{ mm}$. Apskaičiuojamas trinties koeficientas:

$$\mu = 0,11 \left(\frac{0,045}{349} + \frac{68}{51919} \right)^{\frac{1}{4}} = 0,0214;$$

Apskaičiuojami slėgio nuostoliai:

$$\Delta p = \frac{0,0214 \cdot 2110 \cdot 0,5^2 \cdot 1000}{2 \cdot 0,349} = 16195 \text{ Pa} = 0,16 \text{ bar};$$

Gauti slėgio nuostoliai daug mažesni nei užsiduoti leistini. Vamzdis, kurio skersmuo $d=349 \text{ mm}$ tinka, deja tokį vamzdį kloti yra neracionalu ir brangu.

Toliau atliekami skaičiavimus, kai $\nu=0,8 \text{ m/s}$:

$$d = \sqrt{\frac{172}{3600 \cdot 0,8} \cdot \frac{4}{3,14}} = 0,276 \text{ m} = 276 \text{ mm}$$

Apskaičiuojami slėgio nuostoliai prie $d=275 \text{ mm}$:

$$Re = \frac{0,8 \cdot 0,276}{0,336 \cdot 10^{-5}} = 65673;$$

$$\mu = 0,11 \left(\frac{0,045}{276} + \frac{68}{65673} \right)^{\frac{1}{4}} = 0,0204;$$

$$\Delta p = \frac{0,0204 \cdot 2110 \cdot 0,8^2 \cdot 1000}{2 \cdot 0,276} = 50102 \text{ Pa} = 0,5 \text{ bar};$$

Taikant šilumnešio tekėjimo greitį $\nu=0,8 \text{ m/s}$ gauta, kad slėgio nuostoliai artimi užduotiems maksimaliems. Nustatyta, kad tinka vamzdis, kurio vidinis skersmuo $d=276 \text{ mm}$, tokio skersmens vamzdis pagal standartą DIN 2448 negaminamas, remiantis 5 lentele parenkamas artimiausias vamzdis $DN=250 \text{ mm}$, kurio vidus $d=273-7-7=259 \text{ mm}$.

Perskaičiuojami slėgio nuostoliai sumažinus skersmenį:

$$V = \frac{172}{3600 \cdot 3,14 \cdot \left(\frac{0,259}{2}\right)^2} = 0,907 \text{ m/s};$$

$$Re = \frac{1,44 \cdot 0,205}{0,336 \cdot 10^{-5}} = 69927;$$

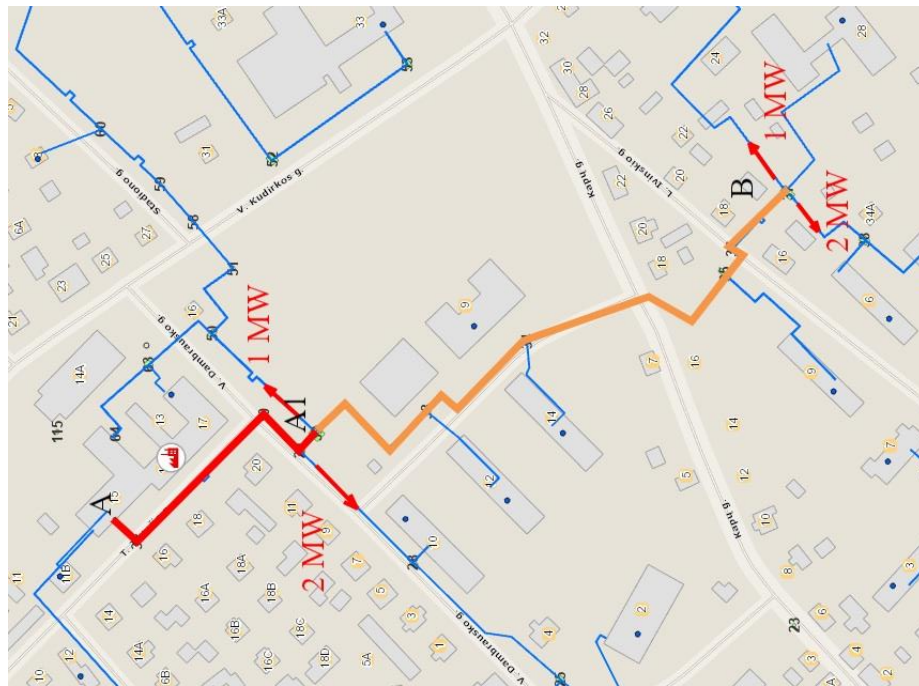
$$\mu = 0,11 \left(\frac{0,045}{205} + \frac{68}{68920} \right)^{\frac{1}{4}} = 0,0202;$$

$$\Delta p = \frac{0,0205 \cdot 1370 \cdot 1,44^2 \cdot 1000}{2 \cdot 0,205} = 67810 \text{ Pa} = 0,68 \text{ bar};$$

Gauti rezultatai rodo, kad vamzdis DN250 tinkamas atkarpai B–D, nes gauti slėgio nuostoliai neviršija ir artimi užduotiems maksimaliems.

Atkarpa A-B

Kadangi atkarpoje yra išsišakojimai į kvartalus, ji buvo suskirstyta į mažesnes, kaip pateiktame paveikslėlyje. Kiekvieno kvartalo galios poreikis buvo parinktas proporcingai, pagal jo dydį. Priimta, kad pavieniai objektai didelės įtakos neturi.



20 pav. Optimizuojama atkarpa A-B

Atkarpa A–A1

Atkarpos A–A1 ilgis $l=145 \text{ m}$. Priimta, kad leistini slėgio nuostoliai atkarpoje $\Delta p=0,1 \text{ bar}=10000 \text{ Pa} < 145 \cdot 80=11600 \text{ Pa}$. Atliekame skaičiavimus maksimaliam šilumnešio srautui, tiekiamam iš katilinės, nustatyti. Maksimalus šiluminės galios poreikis sujungus Tilvyčio ir Daugėlių šilumos tinklus yra $P_{max}=6+5,423=11,423 \text{ MW}$.

$$G = \frac{11423 \cdot 3600}{4,2 \cdot 1000 \cdot 27} = 363 \text{ m}^3/\text{h};$$

Pagal 3 formulę apskaičiuojamas vamzdžio skersmuo, priimta, kad $V=0,5 \text{ m/s}$:

$$d = \sqrt{\frac{363}{3600 \cdot 0,5} \cdot \frac{4}{3,14}} = 0,507 \text{ m} = 507 \text{ mm};$$

Patikrinama ar slėgio nuostoliai leidžiami, kai vamzdžio $d=0,507 \text{ m}$:

$$Re = \frac{0,5 \cdot 0,507}{0,336 \cdot 10^{-5}} = 75425;$$

$$\mu = 0,11 \left(\frac{0,045}{507} + \frac{68}{75425} \right)^{\frac{1}{4}} = 0,0195;$$

$$\Delta p = \frac{0,0195 \cdot 145 \cdot 0,5^2 \cdot 1000}{2 \cdot 0,507} = 698 \text{ Pa} = 0,007 \text{ bar};$$

Gauti slėgio nuostoliai daug mažesni nei leidžiami, todėl tokį vamzdį kloti yra neracionalu.

Tolimesni skaičiavimai atlikti, kai $V=1,5 \text{ m/s}$:

$$d = \sqrt{\frac{363}{3600 \cdot 1,5} \cdot \frac{4}{3,14}} = 0,293 \text{ m} = 293 \text{ mm};$$

Patikrinama ar slėgio nuostoliai leidžiami, kai vamzdžio $d=0,293 \text{ m}$:

$$Re = \frac{1,5 \cdot 0,293}{0,336 \cdot 10^{-5}} = 130639;$$

$$\mu = 0,11 \left(\frac{0,045}{293} + \frac{68}{130639} \right)^{\frac{1}{4}} = 0,0177;$$

$$\Delta p = \frac{0,0177 \cdot 145 \cdot 1,5^2 \cdot 1000}{2 \cdot 0,293} = 9881 \text{ Pa} = 0,099 \text{ bar};$$

Taikant šilumnešio tekėjimo greitį $v=1,5 \text{ m/s}$ gauta, kad slėgio nuostoliai artimi užduoties leistiniams. Nustatyta, kad tinka vamzdis, kurio vidinis skersmuo $d=293 \text{ mm}$, tokio skersmens vamzdis pagal standartą DIN 2448 negaminamas, remiantis 5 lentele parenkamas artimiausias vamzdis $DN=300 \text{ mm}$, kurio vidus $d=325-8-8=309 \text{ mm}$.

Perskaičiuojami slėgio nuostoliai padidinus skersmenį:

$$V = \frac{363}{3600 \cdot 3,14 \cdot \left(\frac{0,309}{2}\right)^2} = 1,345 \text{ m/s};$$

$$Re = \frac{1,345 \cdot 0,309}{0,336 \cdot 10^{-5}} = 123706;$$

$$\mu = 0,11 \left(\frac{0,045}{309} + \frac{68}{123706} \right)^{\frac{1}{4}} = 0,0179;$$

$$\Delta p = \frac{0,0179 \cdot 145 \cdot 1,345^2 \cdot 1000}{2 \cdot 0,309} = 7581 \text{ Pa} = 0,0758 \text{ bar};$$

Gauti rezultatai rodo, kad vamzdis DN300 tinkamas atkarpai A–A1, nes gauti slėgio nuostoliai neviršija ir artimi užduoties leistiniams.

Atkarpa A1-B

Atkarpos A1-B ilgis $l=359$ m. Priimta, kad leistini slėgio nuostoliai atkarpoje $\Delta p=1-0,68-0,076=0,244$ bar= 24400 Pa < $359 \cdot 80=28720$ Pa. Šilumos galios poreikis atkarpoje apskaičiuojamas iš maksimalaus katilinės apkrovimo atimant kvartalų (taške A1) poreikį, gauname $P_{A1-B}=11,423-2-1=8,423$ MW.

$$G = \frac{8423 \cdot 3600}{4,2 \cdot 1000 \cdot 27} = 267 \text{ m}^3/\text{h};$$

Pagal formulę apskaičiuojamas vamzdžio skersmuo, priimta, kad $V=0,5$ m/s:

$$d = \sqrt{\frac{267}{3600 \cdot 0,5} \cdot \frac{4}{3,14}} = 0,435 \text{ m} = 435 \text{ mm};$$

Atliekamas patikrinimas ar slėgio nuostoliai leidžiami, kai vamzdžio $d=0,435$ m:

$$Re = \frac{0,5 \cdot 0,435}{0,336 \cdot 10^{-5}} = 64735;$$

$$\mu = 0,11 \left(\frac{0,045}{435} + \frac{68}{64735} \right)^{\frac{1}{4}} = 0,02;$$

$$\Delta p = \frac{0,02 \cdot 359 \cdot 0,5^2 \cdot 1000}{2 \cdot 0,435} = 2091 \text{ Pa} = 0,021 \text{ bar};$$

Gauti slėgio nuostoliai daug mažesni nei leidžiami, todėl tokį vamzdį kloti yra neracionalu.

Tolimesni skaičiavimai atliekami, kai $V=1,5$ m/s:

$$d = \sqrt{\frac{267}{3600 \cdot 1,5} \cdot \frac{4}{3,14}} = 0,251 \text{ m} = 251 \text{ mm};$$

Patikrinama ar slėgio nuostoliai leidžiami, kai vamzdžio $d=0,251$ m:

$$Re = \frac{1,5 \cdot 0,251}{0,336 \cdot 10^{-5}} = 112124;$$

$$\mu = 0,11 \left(\frac{0,045}{251} + \frac{68}{112124} \right)^{\frac{1}{4}} = 0,0184;$$

$$\Delta p = \frac{0,0184 \cdot 359 \cdot 1,5^2 \cdot 1000}{2 \cdot 0,251} = 29614 \text{ Pa} = 0,296 \text{ bar};$$

Taikant šilumnešio tekėjimo greitį $v=1,5$ m/s gauta, kad slėgio nuostoliai artimi užduotiems leistiniams. Nustatyta, kad tinka vamzdis, kurio vidinis skersmuo $d=251$ mm, tokio skersmens vamzdis pagal standartą DIN 2448 negaminamas, parenkamas artimiausias vamzdis $DN=250$ mm, kurio vidus $d=273-7-7=259$ mm.

Atliekamas patikrinimas kaip kito slėgio nuostoliai padidinus skersmenį:

$$V = \frac{267}{3600 \cdot 3,14 \cdot \left(\frac{0,259}{2}\right)^2} = 1,408 \text{ m/s};$$

$$Re = \frac{1,408 \cdot 0,259}{0,336 \cdot 10^{-5}} = 108631;$$

$$\mu = 0,11 \left(\frac{0,045}{259} + \frac{68}{108631} \right)^{\frac{1}{4}} = 0,0185;$$

$$\Delta p = \frac{0,0185 \cdot 359 \cdot 1,408^2 \cdot 1000}{2 \cdot 0,259} = 25391 \text{ Pa} = 0,254 \text{ bar};$$

Gauti rezultatai rodo, kad slėgio nuostoliai, kai vamzdis DN250, yra truputi didesni nei užduoti, tačiau skirtumas tik 4%. Priimame, kad vamzdis DN250 tinkamas atkarpai A1–B.

Rezultatai

Gauti rezultatai patvirtina, kad Tilvyčio ir Dagėlių katilinių tinklų sujungimas galimas. Tilvyčio katilinėje padidinus tiekiamo vamzdyno slėgį iki 5 bar, per rekonstruotus ir naujai paklotus vamzdynus, bus užtikrinamas 4 bar slėgis Daugėlių katilinės šilumos tinklams, kad vartotojai gautų patikimą šilumos energijos tiekimą. Gauti rezultatai pateikiami lentelėje:

6 lentelė. Optimizuotas diametras ir slėgio nuostoliai atkarpose

Atkarpa	Ilgis, m	Esamo tinklo skersmuo DN, mm	Optimizuoto / naujo tinklo skersmuo DN, mm	Slėgio nuostoliai, bar
A - A1	145	200	300	0.0758
A1 - B	359	300	250	0.254
B - C	1370	-	250	0.68
C - D	740	125	250	
Viso:				1.0098

Investicija į rekonstruojamus ir naujai klojamus tinklus apskaičiuota remiantis [26] šaltiniu, jame pateikti sustambinti statybos kainų apskaičiavimo rodikliai. Statybos darbų kainos apskaičiuotos įvertinus medžiagų, gaminių, įrenginių, mechanizmų poreikį bei orientacinę darbų trukmę žmogaus darbo valandomis. Priimta, kad parama 50%. Investicija į tinklus pateikta lentelėje:

7 lentelė. Investicija į šilumos tiekimo tinklų rekonstrukciją

Atkarpa	Ilgis, m	Esamas DN, mm	Naujas DN, mm	Statinio rūšis	Kaina, Eur/m	Suma, Eur.	Parama, Eur.	Įmonės investicija, Eur.
A-A1	145,00	200	300	Rekonstr.	1 255,82	182 093,64	91 046,82	91 046,82
A1-B	359,00	300	250	Rekonstr.	798,26	286 576,94	143 288,47	143 288,47
B-C	1 370,00	0	250	Nauja statyba	748,61	1 025 597,85	512 798,93	512 798,93
C-D	740,00	125	250	Rekonstr.	798,26	590 715,70	295 357,85	295 357,85
						2 084 984,13	1 042 492,07	1 042 492,07

3.1.3. Terminų nuostolių skaičiavimas

Labai svarbu įvertinti kaip kis šilumos tiekimo tinklų terminiai nuostoliai po rekonstrukcijos ir naujos jungties nutiesimo. Nuostoliai skaičiuojami remiantis Lietuvos Respublikos energetikos ministro 2016 m. vasario 5 d. įsakymu Nr. 1-26 „Dėl Šilumos tiekimo vamzdynuose patiriamų šilumos nuostolių nustatymo metodikos patvirtinimo“ [7]. Siekiant tikslių rezultatų naudosime 3 metų grunto temperatūra, faktinę tiekiamo ir gražinamo šilumnešio temperatūrą. Reikalingi duomenys pateikti lentelėje:

8 lentelė. Skirtingų terpių temperatūra

Mėnuo	Lauko oro temperatūra, °C				Grunto 1,6 m gylįje temperatūra, °C				Šilumėsio temperatūra, °C							
									2018		2019		2020		Vidurkis	
	2018	2019	2020	Vidurkis	2018	2019	2020	Vidurkis	Tt	Tg	Tt	Tg	Tt	Tg	Tt	Tg
Sausis	-1.64	-4.05	3.02	-0.89	5.1	5	6	5.37	70.29	42.65	70.09	43.63	70.05	39.75	70.14	42.01
Vasaris	-6.70	1.29	2.37	-1.01	3.8	4.1	5.3	4.40	73.10	45.86	69.80	41.44	69.91	40.36	70.94	42.55
Kovas	-1.92	3.06	3.31	1.48	3.2	4.2	5.2	4.20	70.45	43.84	68.56	42.13	68.93	39.96	69.31	41.98
Balandis	9.51	8.26	6.80	8.19	4.2	5.3	5.7	5.07	69.57	43.74	67.50	44.86	69.23	39.73	68.77	42.78
Gegužė	16.26	12.64	10.40	13.10	8.1	7.8	7.4	7.77	69.06	45.21	69.98	44.82	68.49	42.93	69.18	44.32
Birželis	17.03	20.23	18.81	18.69	11.1	11	10.1	10.73	67.99	44.87	68.05	45.71	68.08	44.20	68.05	44.93
Liepa	20.25	16.95	16.98	18.06	12.9	12.8	12.8	12.83	67.66	45.03	67.41	44.45	68.07	45.28	67.71	44.92
Rugpjūtis	19.37	18.03	17.85	18.42	14.6	13.7	13.9	14.07	68.58	44.97	67.68	44.76	68.12	44.39	68.13	44.71
Rugsėjis	14.70	12.81	14.73	14.08	13.7	13.3	13.4	13.47	68.81	43.76	70.09	43.15	68.73	44.57	69.21	43.83
Spalis	8.81	9.24	9.81	9.28	11.7	11.3	11.9	11.63	69.06	40.01	69.89	38.72	69.31	42.01	69.42	40.25
Lapkritis	2.75	4.69	5.35	4.26	9.5	9.7	9.8	9.67	69.51	41.03	70.14	39.60	69.11	41.12	69.59	40.58
Gruodis	-0.67	2.65	0.37	0.78	6.6	7.3	6.8	6.90	69.75	41.90	69.87	40.49	69.29	42.81	69.64	41.73
			Vidurkis:	8.70			Vidurkis:	8.84					Vidurkis:	69.17	42.88	

Šilumos nuostoliai apskaičiuojami nustačius vamzdyno atiduodamą šilumos srautą nuo 1 m ilgio atkarpos paviršiaus (skaitine reikšme yra lygūs šilumos nuostoliams per valandą Wh) ir yra apskaičiuojami pagal:

$$q = \frac{\Delta t}{R}; \quad (7)$$

Δt –temperatūrų skirtumas, K;

R–bendra varža, $m \cdot K/W$.

Cilindrinio paviršiaus šiluminė varža apskaičiuojama pagal:

$$R_p = \frac{1}{\pi d \alpha}; \quad (8)$$

d–vamzdžio vidinis diametras, m;

α –šilumos atidavimo koeficientas, $W/(m^2 \cdot K)$.

Skaiciuojant kanalo šiluminę varžą, vietoje skersmens įrašomas ekvivalentinis skersmuo d_{ek} :

$$d_{ek} = \frac{2(a+b)}{\pi}; \quad (9)$$

a–kanalo aukštis, m;

b–kanalo plotis, m.

Cilindro konstrukcijos atskirų sluoksnių varža apskaičiuojama pagal:

$$R_{ck} = \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}; \quad (10)$$

λ –šilumos laidumo koeficientas, $W/(m \cdot K)$;

d_1 –vamzdžio išorinis skersmuo, m;

d_2 –išorinis konstrukcijos skersmuo, m.

Grunto šiluminė varža apskaičiuojama pagal:

$$R_g = \frac{1}{2\pi\lambda_g} \ln \left(2 \frac{h}{d_{iz}} + \sqrt{\frac{4h^2}{d_{iz}^2} - 1} \right);$$

h –atstumas nuo grunto paviršiaus iki vamzdžio, m ;

d_{iz} –izoliuoto vamzdžio skersmuo, m .

Jei grunte greta pakloti du vamzdiniai, tuomet grunto varža apskaičiuojama kiekvienam vamzdynui atskirai pagal:

$$R_{g1} = \frac{\left(\frac{\lambda_{gr}}{\lambda_{iz}} \ln \frac{d_{iz2}}{d_2} + \ln \frac{h_2}{d_{iz2}}\right) \left(\frac{\lambda_{gr}}{\lambda_{iz}} \ln \frac{d_{iz1}}{d_1} + \ln \frac{h_1}{d_{iz1}}\right) + \ln \sqrt{\frac{s^2 + (h_1 + h_2)^2}{s^2 + (h_1 - h_2)^2}}}{2\pi\lambda_{gr} \left(\frac{\lambda_{gr}}{\lambda_{iz}} \ln \frac{d_{iz2}}{d_2} + \ln \frac{h_2}{d_{iz2}} - \frac{t_{fe} - t_a}{t_{fa} - t_a} \ln \sqrt{\frac{s^2 + (h_1 + h_2)^2}{s^2 + (h_1 - h_2)^2}}\right)}, \quad (11)$$

s –atstumas tarp vamzdžio ašių, m ;

t_{fe} , t_{fa} –tiekiama arba grąžinamo šilumnešio temperatūra, °C;

d_n –vamzdžio išorinis skersmuo, m ;

d_{izn} –izoliacijos išorinis skersmuo, m .

Temperatūra kanale, kai yra du ir daugiau vamzdžių, apskaičiuojama pagal:

$$t_k = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{t_1 + t_2 + t_3}{R_1 + R_2 + R_3}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3}}, \quad (12)$$

t_1 , t_2 , t_3 –atskirų terpių temperatūra, °C;

R_1 , R_2 , R_3 –atskirų terpių šiluminės varžos, $m \cdot K/W$.

Esami nuostoliai

Priimta, kad tiekiamo ir grąžinamo šilumnešio vamzdynai yra identiški, todėl vamzdynų bendroji varža vienoda, mineralinės vatos šilumos laidumo koeficientas $\lambda_{iz}=0,045 W/mK$, šilumos atidavimo nuo žemės paviršiaus į aplinką koeficientas $\alpha=10 W/m^2 \cdot K$ ir nuo izoliacijos kanalo orui ir iš oro kanalo sienai $\alpha=12 W/m^2 \cdot K$, grunto šilumos laidumo koeficientas parenkamas pagal 9 lentelę:

9 lentelė. Grunto šilumos laidumo koeficientas [7]

Eil. Nr.	Grunto tipas	Grunto šilumos laidumo koeficientas, W/(mK)
1	Sausa smėlis	1
2	Priemolis	1.75
3	Drėgnas smėlis arba molis	2
4	Šlapias smėlis arba molis	2.5

Atkarpa A–A1

Pavyzdyje apskaičiuojami sausio mėnesio nuostoliai vamzdyne, kitų mėnesių nuostoliai bus pateikti lentelėje. Remiantis 5 lentele nustatomi vamzdžio DN 200 $d_1=219 mm$, $d_2=359 mm$. Apskaičiuojama bendroji vamzdynų varža pagal sujungtas 8 ir 10 formules:

$$R_b = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,045} \ln \frac{0,359}{0,219} + \frac{1}{3,14 \cdot 0,359 \cdot 12} = 1,981 \text{ m} \cdot \text{K/W};$$

Remiantis energetikos ministro įsakymu Nr. 1-160 „Dėl Šilumos tiekimo tinklų ir šilumos punktų įrengimo taisyklių patvirtinimo“ 4 priedu, nustatomi nepereinamo kanalo matmenys atsižvelgiant į diametrą, remiantis Kauno gelžbetonio suteikta informacija jie patikslinami [8]. Gaunama, kad DN125 nepraeinamo kanalo matmenys plotis $a=1,16 \text{ m}$, aukštis $b=0,53 \text{ m}$. Priimu, kad grunto tipas yra priemolis, o atstumas nuo grunto paviršiaus iki vamzdžio ašies $h=1,6 \text{ m}$. Apskaičiuojamas kanalo ekvivalentinis skersmuo:

$$d_{ek} = \frac{2(1,16+0,53)}{3,14} = 1,376 \text{ m};$$

Tuomet bendra grunto varža skaičiuojama pagal formules:

$$R_{gr} = \frac{1}{3,14 \cdot 1,376 \cdot 12} + \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,75} \ln \left(2 \frac{1,6}{1,376} + \sqrt{\frac{4 \cdot 1,6^2}{1,376^2} - 1} \right) = 0,155 \text{ m} \cdot \text{K/W};$$

Apskaičiuojama oro temperatūra kanale:

$$t_k = \frac{\frac{70,29}{1,981} + \frac{42,65}{1,981} + \frac{5,1}{0,155}}{\frac{1}{1,981} + \frac{1}{1,981} + \frac{1}{0,155}} = 12,037 \text{ }^\circ\text{C};$$

Nustatomi atskirų vamzdžių nuostoliai:

$$q_1 = \frac{70,29 - 12,037}{1,981} = 29,405 \text{ W/m};$$

$$q_2 = \frac{42,65 - 12,037}{1,981} = 15,453 \text{ W/m};$$

Apskaičiuojami atkarpos nuostoliai per sausio mėnesį:

$$Q = (q_1 + q_2) \cdot l \cdot T = (29,405 + 15,453) \cdot 145 \cdot 744 = 4839270 \text{ Wh} = 4,839 \text{ MWh};$$

Rezultatai pateikti lentelėje:

10 lentelė. Esamo tinklo atkarpos A-A1 nuostoliai

Mėnuo	Atkarpa A - A1																						
	Bendra				2018					2019					2020								
	Rb1, m·K/W	Rb2, m·K/W	Rgr, m·K/W	Valandos, h	tk, °C	q1, W/m	q2, W/m	qb, W/m	Q, MWh	tk, °C	q1, W/m	q2, W/m	qb, W/m	Q, MWh	tk, °C	q1, W/m	q2, W/m	qb, W/m	Q, MWh				
Sausis	1.981	1.981	0.155	744.000	12.037	29.405	15.453	44.858	4.839	11.937	29.355	15.998	45.353	4.893	12.868	28.864	13.570	42.434	4.578				
Vasaris	1.981	1.981	0.155	672.000	11.319	31.186	17.436	48.622	4.738	11.355	29.502	15.186	44.688	4.354	12.095	29.184	14.268	43.451	4.234				
Kovas	1.981	1.981	0.155	744.000	10.484	30.269	16.837	47.106	5.082	11.222	28.943	15.602	44.545	4.805	11.971	28.752	14.128	42.880	4.626				
Balandis	1.981	1.981	0.155	720.000	11.283	29.422	16.383	45.805	4.782	12.095	27.967	16.539	44.506	4.646	12.517	28.628	13.737	42.364	4.423				
Gegužė	1.981	1.981	0.155	744.000	14.721	27.429	15.390	42.819	4.619	14.524	27.993	15.293	43.286	4.670	14.152	27.429	14.527	41.955	4.526				
Birželis	1.981	1.981	0.155	720.000	17.221	25.627	13.957	39.584	4.133	17.137	25.690	14.423	40.112	4.188	16.416	26.079	14.025	40.104	4.187				
Liepa	1.981	1.981	0.155	744.000	18.767	24.680	13.257	37.938	4.093	18.663	24.606	13.017	37.623	4.059	18.624	24.959	13.455	38.415	4.144				
Rugpjūtis	1.981	1.981	0.155	744.000	20.295	24.373	12.455	36.829	3.973	19.456	24.343	12.773	37.115	4.004	19.615	24.484	12.506	36.990	3.991				
Rugsėjis	1.981	1.981	0.155	720.000	19.450	24.916	12.271	37.187	3.882	19.191	25.693	12.094	37.787	3.945	19.236	24.983	12.788	37.771	3.943				
Spalis	1.981	1.981	0.155	744.000	17.484	26.034	11.371	37.405	4.035	17.194	26.600	10.866	37.465	4.042	17.626	26.089	12.308	38.397	4.142				
Lapkritis	1.981	1.981	0.155	720.000	15.681	27.172	12.796	39.968	4.173	15.896	27.381	11.965	39.346	4.108	15.886	26.866	12.738	39.604	4.135				
Gruodis	1.981	1.981	0.155	744.000	13.247	28.521	14.463	42.985	4.637	13.861	28.272	13.442	41.714	4.500	13.333	28.246	14.879	43.125	4.652				
	Viso:								52.986	Viso:								52.214	Viso:				51.581

Vidutiniai trijų metų atkarpos nuostoliai $Q=52,260 \text{ MWh}$.

Rekonstruoti ir naujai paklotų tinklų nuostoliai

Vamzdžiai izoliuoti pastorinta poliuretano puta, kurios šilumos laidumo koeficientas $\lambda_{iz}=0,03 \text{ W/mK}$, šilumos atidavimo nuo žemės paviršiaus į aplinką koeficientas $\alpha=10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, grunto šilumos laidumo koeficientas parenkamas pagal praeitame poskyryje pateiktą lentelę:

Atkarpa A–A1

Pavyzdyje taip pat apskaičiuojami sausio mėnesio nuostoliai vamzdyne, kitų mėnesių nuostoliai bus pateikti lentelėje. Remiantis 2.1.1. poskyryje pateikta 5 lentele nustatome vamzdžio DN 300 $d_1=325 \text{ mm}$, $d_2=500 \text{ mm}$. Nauji tinklai klojami į sausą smėlį. Vamzdyno paviršiaus gylis iki vamzdžio ašies $h=0,975 \text{ m}$, atstumas tarp vamzdžio ašių $s=0,7 \text{ m}$.

Apskaičiuojam bendra grunto ir izoliacijos sluoksnio šiluminė varža atskirai kiekvienam vamzdžiui:

$$R_{g1} = \frac{\left(\frac{1}{0,03} \ln \frac{0,5}{0,325} + \ln \frac{0,975}{0,5}\right) \left(\frac{1}{0,03} \ln \frac{0,5}{0,325} + \ln \frac{0,975}{0,5}\right) + \ln \sqrt{\frac{0,75^2 + (0,975 + 0,975)^2}{0,75^2 + (0,975 - 0,975)^2}}}{2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot \left(\frac{1}{0,03} \ln \frac{0,5}{0,325} + \ln \frac{0,975}{0,325} - \frac{70,29 - 5,1}{42,65 - 5,1} \ln \sqrt{\frac{0,75^2 + (0,975 + 0,975)^2}{0,75^2 + (0,975 - 0,975)^2}}\right)} = 2,726 \text{ m} \cdot \text{K/W};$$

$$R_{g2} = \frac{\left(\frac{1}{0,03} \ln \frac{0,5}{0,325} + \ln \frac{0,975}{0,5}\right) \left(\frac{1}{0,03} \ln \frac{0,5}{0,325} + \ln \frac{0,975}{0,5}\right) + \ln \sqrt{\frac{0,75^2 + (0,975 + 0,975)^2}{0,75^2 + (0,975 - 0,975)^2}}}{2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot \left(\frac{1}{0,03} \ln \frac{0,5}{0,325} + \ln \frac{0,975}{0,325} - \frac{42,65 - 5,1}{70,29 - 5,1} \ln \sqrt{\frac{0,75^2 + (0,975 + 0,975)^2}{0,75^2 + (0,975 - 0,975)^2}}\right)} = 2,502 \text{ m} \cdot \text{K/W};$$

Gautos šiluminės varžos įstatomos į 7 formulę ir gaunami šilumos nuostoliai:

$$q_1 = \frac{70,29 - 5,1}{2,726} = 20,955 \text{ W/m};$$

$$q_2 = \frac{42,65 - 5,1}{2,502} = 13,026 \text{ W/m};$$

Apskaičiuojami atkarpos nuostoliai per sausio mėnesį:

$$Q = (q_1 + q_2) \cdot l \cdot T = (20,955 + 13,026) \cdot 145 \cdot 744 = 3665791 \text{ Wh} = 3,666 \text{ MWh};$$

Rezultatai pateikti lentelėje:

11 lentelė. Optimizuotos atkarpos A-A1 nuostoliai

Mėnuo	Valandos, h	Atkarpa A - A1																	
		2018					145	2019					145	2020					145
		R1, m·K/W	R2, m·K/W	q1, W/m	q2, W/m	qb, W/m		Q, MWh	R1, m·K/W	R2, m·K/W	q1, W/m	q2, W/m		qb, W/m	Q, MWh	R1, m·K/W	R2, m·K/W	q1, W/m	
Sausis	744	2.726	2.502	20.955	13.026	33.980	3.666	2.716	2.505	20.995	13.386	34.381	3.709	2.761	2.493	20.361	11.744	32.105	3.463
Vasaris	672	2.708	2.507	22.410	14.562	36.972	3.603	2.731	2.501	21.085	12.959	34.044	3.317	2.749	2.496	20.617	12.188	32.804	3.196
Kovas	744	2.709	2.507	21.737	14.072	35.809	3.863	2.718	2.504	20.743	13.146	33.890	3.656	2.747	2.497	20.349	12.081	32.430	3.499
Balandis	720	2.709	2.507	21.131	13.691	34.822	3.635	2.692	2.513	20.217	13.671	33.888	3.538	2.754	2.495	20.239	11.835	32.073	3.348
Gegužė	744	2.707	2.508	19.720	12.846	32.566	3.513	2.715	2.505	20.064	12.826	32.890	3.548	2.723	2.503	19.659	12.321	31.980	3.450
Birželis	720	2.716	2.505	18.351	11.701	30.052	3.137	2.707	2.508	18.448	12.016	30.464	3.180	2.719	2.504	18.683	11.820	30.502	3.184
Liepa	744	2.720	2.504	17.640	11.138	28.778	3.105	2.724	2.503	17.567	10.977	28.543	3.079	2.719	2.504	17.808	11.259	29.066	3.136
Rugpjūtis	744	2.735	2.500	17.302	10.544	27.846	3.004	2.727	2.502	17.349	10.775	28.124	3.034	2.735	2.500	17.378	10.586	27.964	3.017
Rugsėjis	720	2.747	2.497	17.597	10.448	28.045	2.928	2.762	2.493	18.047	10.388	28.435	2.969	2.735	2.500	17.738	10.821	28.559	2.982
Spalis	744	2.789	2.487	18.073	9.872	27.944	3.015	2.814	2.483	18.318	9.577	27.895	3.009	2.763	2.493	18.239	10.479	28.718	3.098
Lapkritis	720	2.762	2.493	19.069	10.972	30.042	3.136	2.788	2.488	19.049	10.425	29.475	3.077	2.760	2.494	18.859	10.898	29.757	3.107
Gruodis	744	2.738	2.499	20.226	12.258	32.484	3.504	2.758	2.494	19.908	11.546	31.454	3.393	2.726	2.502	20.088	12.491	32.579	3.515
						Viso:	40.109					Viso:	39.510					Viso:	38.995

Vidutiniai trijų metų atkarpos nuostoliai $Q=39,538 \text{ MWh}$.

Rezultatai

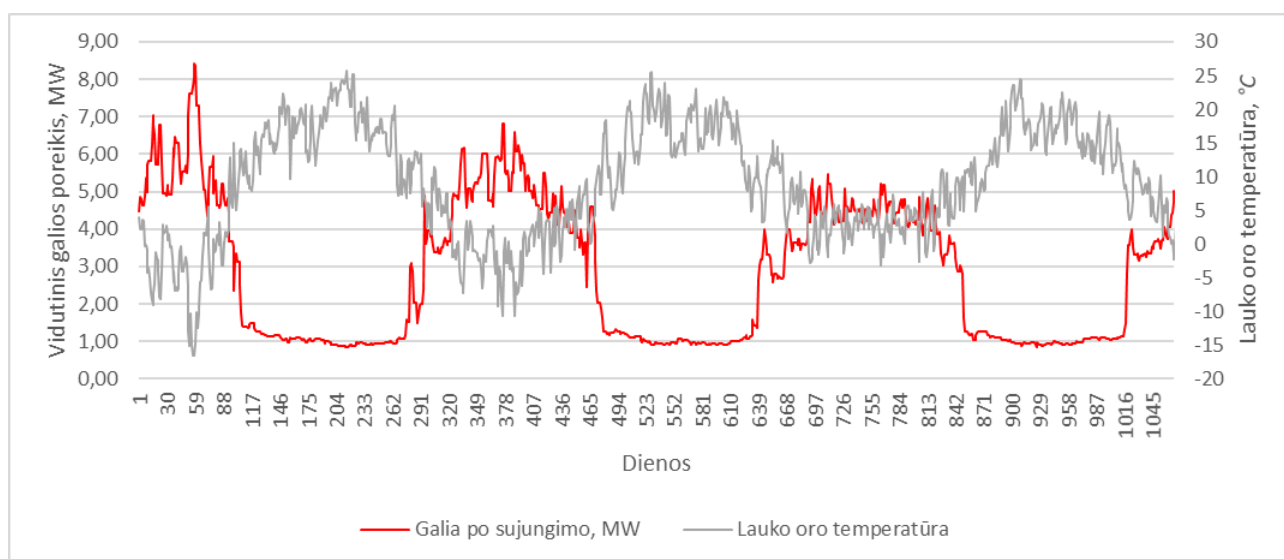
Keičiant senus šilumos tiekimo tinklus visuomet sumažėja terminiai nuostoliai bei padidėja šilumos tiekimo patikimumas vartotojams. Pagal gautus duomenis (lentelė 12) terminiai nuostoliai po rekonstrukcijos sumažėjo atkarpose A–A1 ir A1–B atitinkamai 24% ir 42%, atkarpoje C–D pastebimas nežymus nuostolių, apie 2% mažėjimas, tai lėmė, kad šilumos tiekimo tinklo diametras po optimizacijos padidėjo nuo DN125 iki DN250. Deja sumažėję rekonstruotų tinklų nuostoliai neatperka prisidėjusių naujos jungties nuostolių, po Tilvyčio ir Daugėlių katilinių šilumos tiekimo tinklų sujungimo šilumos nuostoliai atnaujinamoje atkarpoje padidėjo 67% (286,34 MWh).

12 lentelė. Nuostoliai prieš ir po optimizacijos

Atkarpa	Ilgis, m	Esamo tinklo skersmuo DN, mm	Esamo tinklo terminiai nuostoliai, MWh	Optimizuoto/naujo tinklo skersmuo DN, mm	Optimizuoto/naujo tinklo terminiai nuostoliai, MWh	Nuostolių pokytis, %
A-A1	145	200	52.260	300	39.538	-24
A1-B	359	300	168.708	250	97.891	-42
B-C	1370	-	-	250	373.567	
C-D	740	125	205.470	250	201.781	-2
		Viso:	426.437	Viso:	712.777	67

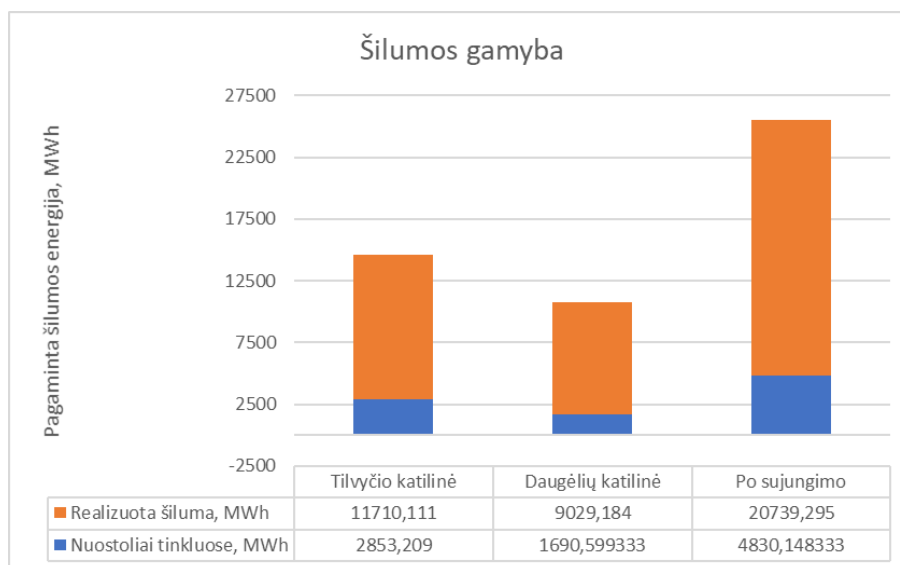
3.2. Prognozuojamas šilumos energijos poreikis po tinklų sujungimo

Prognozuojamas šilumos tiekimo tinklo apkrovimas po sujungimo gaunamas sudėjus abiejų katilinių 3 metų apkrovimus, rezultatai pateikti 21 paveiksle. Iš pateiktų duomenų aiškiai pastebimos šildymo sezonų pradžios ir pabaigos. Vidutinis šildymo sezono apkrovimas $P_{vid}=4,61 MW$, kuomet vidutinė šildymo sezono lauko oro temperatūra 3,15 °C, vidutinis apkrovimas ne šildymo sezono metu $P_{vid}=1,05 MW$. Didžiausias šilumos energijos poreikis fiksuojamas prie -15 °C oro temperatūros ir yra $P_{max}=8,42 MW$.



21 pav. Prognozuojamas šilumos galios poreikis nuo lauko oro temperatūros

Po sujungimo metinė šilumos gamyba siekia $Q_{gam.}=25569 MWh$, gauta apskaičiavus 3 metų vidurkį, prie šio skaičiaus pridėti ir dėl jungties padidėję terminiai nuostoliai $Q_{nuost.}=286,34 MWh$. Šilumos nuostoliai tinkle po sujungimo sudaro 18,9%.



22 pav. Vidutinė 3 metų šilumos gamyba Tilvyčio katilinėje, Daugėlių katilinėje ir po sujungimo

3.3. Skyriaus išvados

Šiame skyriuje atlikus tinklų sujungimo vertinimą, galima pateikti šias išvadas:

1. Atlikus tinklų rekonstrukciją slėgio nuostoliai nuo taško A iki taško D $1,01 \text{ bar}$ (pav. 19). Siekiant užtikrinti tinkamų parametų šilumnešį taške D, reikia padidinti tiekiamo šilumnešio slėgį iki 5 bar.
2. Terminiai nuostoliai tinkluose po sujungimo padidėja $Q_{nuost.}=286,34 MWh$ per metus, nes sumažėję nuostoliai rekonstruotuose tinkluose neatperka išaugusių nuostolių naujai paklotoje jungtyje, ir sudaro 18,9% nuo pagamintos šilumos energijos. Ateityje, dėl rekonstruojamų pastatų, nuostoliai proporcingai didės, nes šilumos poreikis mažės, o nuostoliai išliks.
3. Po sujungimo vidutinis metinis šilumos gamybos poreikis tinklams siekia $Q=25569 MWh$, maksimali šilumos energijos galia prie $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ lauko oro temperatūros siekia $P_{max}=8,42 MW$, vidutinis šildymo sezono apkrovimas, kuomet vidutinė lauko oro temperatūra šildymo sezono metu yra $3,15 \text{ }^\circ\text{C}$, yra $P_{vid}=4,61 MW$, o vidutinis apkrovimas ne šildymo sezono metu $P_{vid}=1,05 MW$.
4. Tinklų sujungimas galimas, nes užtikrinamas 4 bar slėgis Daugėlių šilumos tinklų vartotojams, o dėl jungties atsiradę nuostoliai sudaro tik 6% nuo viso tinklo nuostolių.

4. Galimi biokogeneracijos variantai

4.1. Rankino ciklo elektrinė

4.1.1. Garo ciklo schema

Garo ciklas, dar vadinamas paprastuoju Rankino ciklu naudojamas elektros energijos generavimui, iš sudeginto kuro. Didelės galios elektrinėse paprastai naudojamas iškastinis kuras (anglis, gamtinės dujos) vidutinės ir mažos galios elektrinėse naudojami atsinaujinantys energijos šaltiniai (biokuras, saulės energija). Taip yra todėl, kad siekiant išgauti kuo daugiau energijos bei pasiekti kuo didesnį efektyvumą, reikalingas kuo didesnis temperatūrų skirtumas tarp šilumos šaltinio ir kondensatoriaus, deja naudojant atsinaujinančius energijos šaltinius aukštos ciklo temperatūros nepasiekiamos.

Rankino cikle vyksta keturi pagrindiniai procesai, kurie pateikti 23 paveikslėlyje:

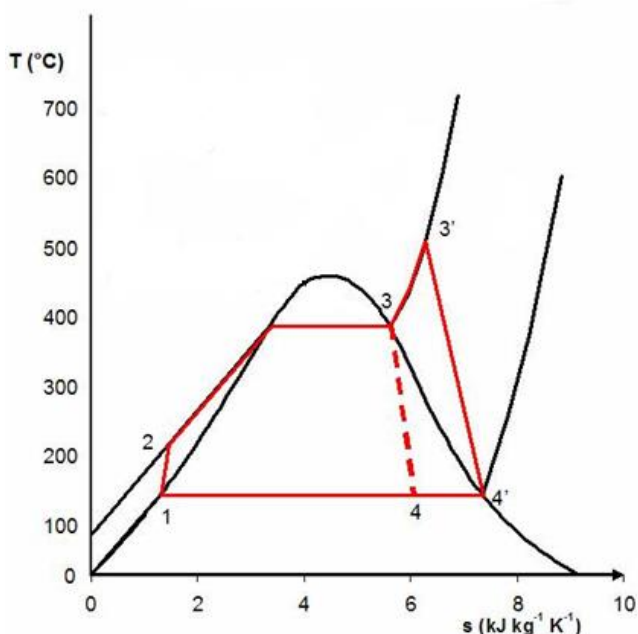
1-2 Naudojant aukšto slėgio maitinimo siurblių kondensatas suspaudžiamas iki reikiamo slėgio ir paduodamas į katilą.;

2-3 Aukšto slėgio vanduo patenka į garo katilą, kur šildomas palaikant pastovų slėgį iki kol virsta sausu garu.;

3-3' Palaikant pastovų slėgį garas perkaitinamas iki reikiamos temperatūros;

3-4 Sausas vandens garas, plėsdamasis turbinoje, atlieką darbą.

4-1 Drėgnas garas po turbinos patenka į kondensatorių, kuriame virsta skysčiu.

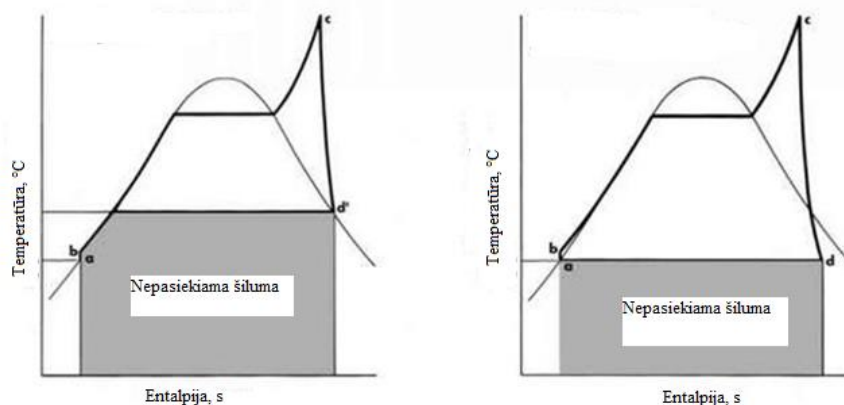


23 pav. Garo ciklo T-S diagrama

Šiuolaikinėse, iškastinį kurą deginančiose elektrinėse garo temperatūra gali viršyti 600 °C, o slėgis net 300 bar, tokių katilinių generuojama elektros galia viršija net 800 MW, o efektyvumas siekia 35-38%. Tuo tarpu mažų biokuru kūrenamų kogeneracinių elektrinių garo temperatūra siekia apie 400-450 °C, o slėgis tik 20-40 bar, tokių elektrinių elektros gamybos efektyvumas iki 20%.

Tokie dideli skirtumai atsiranda dėl turbinos žemo termodinaminio efektyvumo, didelės galios turbinose jis varijuoja 70-90% ribose, o pagal [21] šaltinį 500 kW galios turbinos izoentropinis koeficientas siekia tik 50%, paprastai šis dydis iki 70%. Siekiant didinti tokių turbinų efektyvumą, jas reiktų įsukti didesniu nei įprasta greičiu, o tai verstų mažinti gabaritus. Dėl mažesnių gabaritų atsirastų didesni garo nuostoliai per radialinį tarpelį, o dėl išaugusių sūkių per minutę padidėtų trinties nuostoliai guoliuose, kurie didėja proporcingai sukimosi greičio kvadratui.

Šiuolaikinėse didelės galios elektrinėse naudojamos ekstraktinio tipo turbinos, deja jas naudoti racionalu tik nuo tam tikro galios lygio, kuris keletą kartų viršija 1-3 MW_{el}. Todėl, mažos galios elektrinėse naudojamos impulsinio tipo, galinio slėgio turbinos. Jos pasižymi tuo, kad garas jose išplečiamas iki slėgio, kuris atitinka kondensacijos temperatūrą, reikalingą termofikaciniam vandeniui pašildyti. Tokios turbinos sukimosi greitis priklauso nuo generuojamos galios ir gali viršyti įprastus 3000 apsisukimų per minutę iki 10 kartų. Paveikslėlyje pateiktas ciklo palyginimas, kuomet naudojama ekstraktinio ir galinio slėgio turbinos.



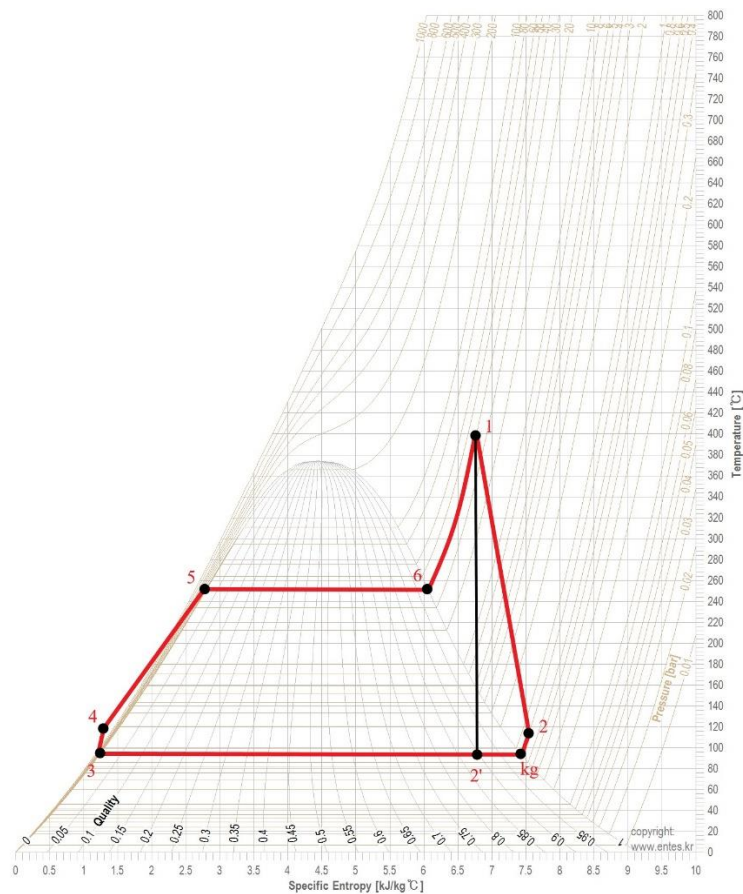
24 pav. Ciklo T-S diagramos naudojant kondensacine ir galinio slėgio turbinas

Nors Rankino ciklo efektyvumas priklauso nuo garo slėgio ir temperatūros, negalima didinti kiekvieno parametro atskirai. Pavyzdžiui jei didintume tik slėgį, o temperatūrą paliktume tą pačią, turbina išties atliktų didesnę darbą, tačiau išsiplėtusiame gare būtų daugiau skysčio. Jei skysčio dalis garuose viršija 10% turbinos mentelės patiria eroziją, dėl lašelių atsitrenkimo į jas.

4.1.2. Garo Rankino ciklo efektyvumas

Paprastojo Rankino ciklo elektrinių, dirbančių kogeneracinių režimu, efektyvumas priklauso ne vien nuo slėgio ir temperatūros. Labai didelę įtaką efektyvumui turi šilumos energijos poreikis tinkluose bei kokios temperatūros termofikacinis vanduo turi būti tiekiamas. Žinoma, efektyvumą stipriai įtakoja ir elektrinės dydis, nuo ko sudėtingėja naudojamos technologijos, tačiau didelėms elektrinėms tai greitai atsiperka.

Darbe nagrinėjama biokuro kogeneracinė elektrinė priskiriama prie mažų. Naudojama turbina yra galinio slėgio, impulsinio tipo, o jos izoentropinis koeficientas 60%. Į turbiną patenkančio garo slėgis 40 bar, o temperatūra 400 °C. Garas išplečiamas iki 0,8 bar slėgio ir 94 °C temperatūros.



25 pav. Skaičiuojamo ciklo T-S diagrama

Siekiant nustatyti elektrinės efektyvumą pirmiausia reikia apskaičiuoti termodinaminį ciklo efektyvumą, kuris nusako atlikto mechaninio darbo turbinoje santykį su ciklui sunaudota šiluma.

Termodinaminis ciklo efektyvumas apskaičiuojamas pagal:

$$\eta_T = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{h_1 - h_4}; \quad (13)$$

h_n – taško entalpija kJ/kg.

Entalpiją taške h_1 surasti lengva nes žinomi į turbiną patenkančio garo parametrai $p=40 \text{ bar}$, $T=400 \text{ }^\circ\text{C}$. Naudojantis TLV toolbox programa nustatoma, kad entalpija šiame taške $h_1=3214 \text{ kJ/kg}$. Entalpiją taške h_2 yra drėgnų garų zonoje, todėl ji priklauso nuo to kokią dalį garuose sudaro skystis. Drėgmės kiekis garuose šiuo atveju priklauso ne vien nuo garo slėgio ir temperatūros prieš turbiną, bet ir nuo izoentropinio koeficiento. Entalpija taške h_2 apskaičiuojama pagal:

$$h_2 = h_1 - (h_1 - h_{2'}) \cdot \eta_{iz}; \quad (14)$$

η_{iz} – izoentropinis koeficientas;

$h_{2'}$ – vandens garo entalpija po idealaus išsiplėtimo.

Entalpija taške $2'$ apskaičiuojama pagal:

$$h_{2'} = h_3 + (h_{kg} - h_3) \cdot \frac{s_1 - s_3}{s_{kg} - s_3}; \quad (15)$$

s_n - entropija $\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$.

Iš entropijų skirtumo $\frac{s_1-s_3}{s_{kg}-s_3}$ galima apskaičiuoti garo dalį mišinyje x

Naudojant Coolbox programą nustatomos entropijos taškuose:

$$s_1 = 6771 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K}); s_{kg} = 7436 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K}); s_3 = 1240 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K});$$

Tuomet apskaičiuojama entalpiją taške 2':

$$h_{2'} = 394 + (2666 - 394) \cdot \frac{6771-1240}{7436-1240} = 2422 \text{ kJ/kg};$$

Surandama tikroji entalpiją po realaus išsiplėtimo turbinoje taške 2:

$$h_2 = 3214 - (3214 - 2422) \cdot 0,6 = 2739 \text{ kJ/kg};$$

Pasinaudojant entropijų skirtumu $x = \frac{s_1-s_3}{s_{kg}-s_3}$ ir išraiška $h_2 = h_3 + (h_{kg} - h_3) \cdot x$, išreiškiama:

$$x = \frac{h_2-h_3}{h_{kg}-h_3}; \quad (16)$$

Apskaičiuojamas garo kiekis mišinyje, kuris turi būti ne mažesnis nei 0,9:

$$x = \frac{2739-394}{2666-394} = 1,03;$$

Nustatyta, kad koeficientas daugiau už 1, tai reiškia, kad garas vis dar perkaitintų garų būsenoje. Dėl mažo turbinos izoentropinio koeficiento perkaitinto garo potencialas ne pilnai išnaudotas elektros energijos gamyboje.

Termodinaminiam efektyvumui apskaičiuoti reikalinga entalpija taške 4. Tai kondensato entalpija, po aukšto slėgio maitinimo siurblio slėgimo, kuri apskaičiuojama pagal:

$$h_4 = h_3 + \frac{\Delta p \cdot v_3}{1000 \cdot \eta_{ms}}; \quad (17)$$

Δp - slėgių skirtumas prieš ir po siurblio, *bar*;

v - kondensato savitasis tūris, m^3/kg .

Priimta, kad slėgio nuostoliai sistemoje nevertinami, todėl $\Delta p = 40 - 0,8 = 39,2 \text{ bar} = 39,2 \cdot 10^5 \text{ Pa} \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right)$.

Iš programos TLV toolbox randamas kondensato savitasis tūris $v_3 = 0,00104 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Priimta, kad siurblio efektyvumas $\eta_{ms} = 0,75$.

Apskaičiuojama entalpiją po siurblio:

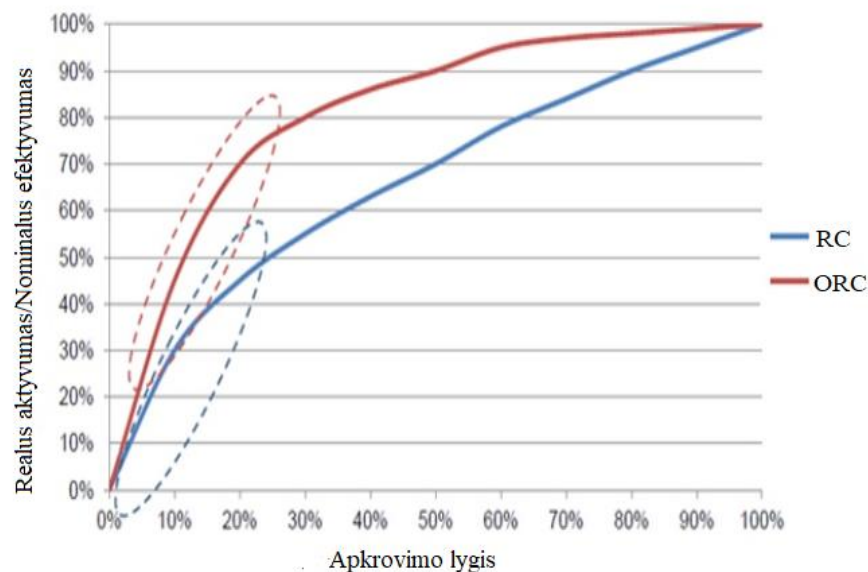
$$h_4 = 394 + \frac{39,2 \cdot 0,00104}{1000 \cdot 0,75} = 399 \text{ kJ/kg};$$

Įstačius gautas reikšmes apskaičiuojamas termodinaminis efektyvumas:

$$\eta_T \frac{(3214-2739)-(399-394)}{3214-399} = 0,17;$$

Gautas termodinaminis efektyvumas gana žemas, todėl, kad turbina ne pilnai išnaudojo perkaitinto garo potencialą elektros gamyboje, dėl savo žemo izoentropinio koeficiento.

Kadangi elektrinė dirbs centralizuoto šilumos tiekimo tinkle, kai elektros gamybą reguliuoja šilumos poreikis, labai svarbi elektros gamybos efektyvumo priklausomybė nuo dalinio apkrovimo. [25] šaltinyje pateikta ORC ir garo ciklo efektyvumo priklausomybė nuo dalinio apkrovimo. ORC elektrinių lankstumas daug aukštesnis nei garo ciklo, kurio kreivė primena tiesę. Atitinkamai prie 50% apkrovimo ORC ciklo efektyvumas sumažėja 10%, o RC 30%.



26 pav. ORC ir garo ciklo efektyvumo lankstumas nuo apkrovos lygio [25]

4.1.3. Kondensaciniu ekonomazeriu atgaunamos šilumos skaičiavimas

Priimta, kad naudingas garo katilo darbas Q_d , tai RC ciklui reikalingas suteikti šilumos kiekis 1 MW_{el} galios įrenginiui $Q_d=5,88 \text{ MW}$. Išeinanti dūmų temperatūra $190 \text{ }^\circ\text{C}$, dėl nepakankamo dūmų atvėsimo, kai į katilą tiekiamo maitinimo vandens temperatūra $94 \text{ }^\circ\text{C}$. Oro pertekliaus koeficientas $\alpha=1,5$, o bendras katilo efektyvumas $\eta_{kat}=80\%$. Vidutinė deginamo kuro cheminė sudėtis sausoje masėje ir perskaičiuota cheminė sudėtis prie 50% drėgmės, pateikta lentelėje:

13 lentelė. Biokuro sudėtis [18]

C, %	H, %	O, %	N, %	A, %	W, %
49,4	6,1	42	0,7	1,8	0
24,247	2,994	20,615	0,344	1,8	50

Apskaičiuojamas kuro apatinis šilumingumas, kuris parodo išskiriamą šilumos kiekį sudeginus 1kg kuro. Jis apskaičiuojamas pagal Mendelejevo formulę [19]:

$$Q_A^n = 339 \cdot C + 1035 \cdot H - 109 \cdot O - 25 \cdot W; \quad (18)$$

$$Q_A^n = 339 \cdot 24,247 + 1035 \cdot 2,994 - 109 \cdot 20,615 - 25 \cdot 50 = 7821,488 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}};$$

Kondensacinio ekonomaizerio efektyvumo skaičiavimuose reikalinga dūmų masė:

$$m_d = \frac{11}{3} \cdot \frac{C}{100} + m_{H_2O} + 0,768 \cdot \alpha \cdot m_{min}^{oro} + \frac{N}{100} + 0,23 \cdot (\alpha - 1) \cdot m_{min}^{oro}; \quad (19)$$

Nustatoma minimali oro masė reikalingą degimui:

$$m_{min}^{oro} = \frac{\frac{8}{3} \frac{C}{100} + 8 \frac{H}{100} - \frac{O}{100}}{0,232}; \quad (20)$$

$$m_{min}^{oro} = \frac{\frac{8}{3} \frac{24,247}{100} + 8 \frac{2,994}{100} - \frac{20,615}{100}}{0,232} = 2,931 \text{ kg/kg}_{kuro};$$

Oro masė įvertinus oro pertekliaus koeficientą:

$$m^{oro} = \alpha \cdot m_{min}^{oro}; \quad (21)$$

$$m^{oro} = 1,5 \cdot 2,931 = 4,397 \text{ kg/kg}_{kuro};$$

Susidariusi vandens garų masė:

$$m_{H_2O} = 9 \cdot \frac{H}{100} + \frac{W}{100} + 0,014 \cdot \alpha \cdot m_{min}^{oro}; \quad (22)$$

$$m_{H_2O} = 9 \cdot \frac{2,994}{100} + \frac{50}{100} + 0,014 \cdot 1,5 \cdot 2,931 = 0,831 \text{ kg/kg}_{kuro};$$

Dūmų masė:

$$m_d = \frac{11}{3} \cdot \frac{24,247}{100} + 0,831 + 0,768 \cdot 1,5 \cdot 2,931 + \frac{0,344}{100} + 0,23 \cdot (1,5 - 1) \cdot 2,931 = 5,437 \text{ kg/kg}_{kuro};$$

Siekiant apskaičiuoti dūmų kondensacinio ekonomaizerio efektyvumą, reikia iširti kondensacijai reikalingas sąlygas: kuro drėgmę, kuri pavirs garais, bei temperatūrą, nuo kurios ataušinti dūmai pradeda kondensuotis.

Dūmuose esanti drėgmės kiekio dalis apskaičiuojama pagal:

$$d = \frac{m_{H_2O}}{m_d - m_{H_2O}}; \quad (23)$$

$$d = \frac{0,831}{5,437 - 0,831} = 0,180;$$

Rasos taško temperatūra randama pagal:

$$T_r = 37,6 \cdot \log(250 \cdot d); \quad (24)$$

$$T_r = 37,6 \cdot \log(250 \cdot 0,180) = 62,161 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Grąžinamo šilumnešio, šildymo sezono metu, vidutinė temperatūra apie 42 °C. Skaičiavimai pagrindžia, kad kondensatorius veiks tinkamai, nes grąžinamo šilumnešio temperatūra žemesnė nei rasos taško temperatūra. Priimu, kad dūmai neataušinami iki grąžinamo šilumnešio temperatūros, o skirtumas tarp išeinančių dūmų ir grąžinamo termofikacinio vandens yra 5 °C [23].

Žemiau rasos taško temperatūros ataušintuose dūmuose vis dar lieka drėgmės, toks drėgmės kiekis apskaičiuojamas pagal:

$$d_{H_2O} = 0,004 \cdot e^{0,062 \cdot T_{DA}}; \quad (25)$$

$$d_{H_2O} = 0,004 \cdot e^{0,062 \cdot 47} = 0,074;$$

Kondensaciniame ekonomizaizeryje atgautą šilumos kiekį, kai dūmų temperatūra atvėsinama nuo 190 °C iki 47 °C temperatūros, o kuro $W=50\%$, $\alpha=1,5$, apskaičiuojamas pagal:

$$Q_{DKE} = c_{pD} \cdot T_D + (L_{TD} + c_{pH_2O} \cdot T_D) \cdot d - c_{pDA} \cdot T_{DA} - (L_{TD} + c_{pH_2O} \cdot T_{DA}) \cdot d_{H_2O}; \quad (26)$$

Čia:

c_{pH_2O} – vandens garų specifinė šiluma, $1,996 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$;

c_{pD}, c_{pDA} – savitoji dūmų šiluma prie T_D ir T_{DA} , atitinkamai $1,094 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ ir $1,0526 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$;

L_{TD} – slaptoji garavimo šiluma, 2260 kJ/kg .

Kondensaciniame ekonomizaizeryje atgautas šilumos kiekis:

$$Q_{DKE} = 1,094 \cdot 190 + (2260 + 1,996 \cdot 190) \cdot 0,180 - 1,0526 \cdot 47 - (2260 + 1,996 \cdot 47) \cdot 0,074 = 459,269 \text{ kJ/kg};$$

Nustatoma kondensacinio ekonomizaizerio sugrąžinama šilumos energijos dalis, nuo kuro apatinio šilumingumo:

$$q_{DKE} = \frac{Q_{DKE} \cdot (m_d - m_{H_2O})}{Q_A^n} \cdot 100; \quad (27)$$

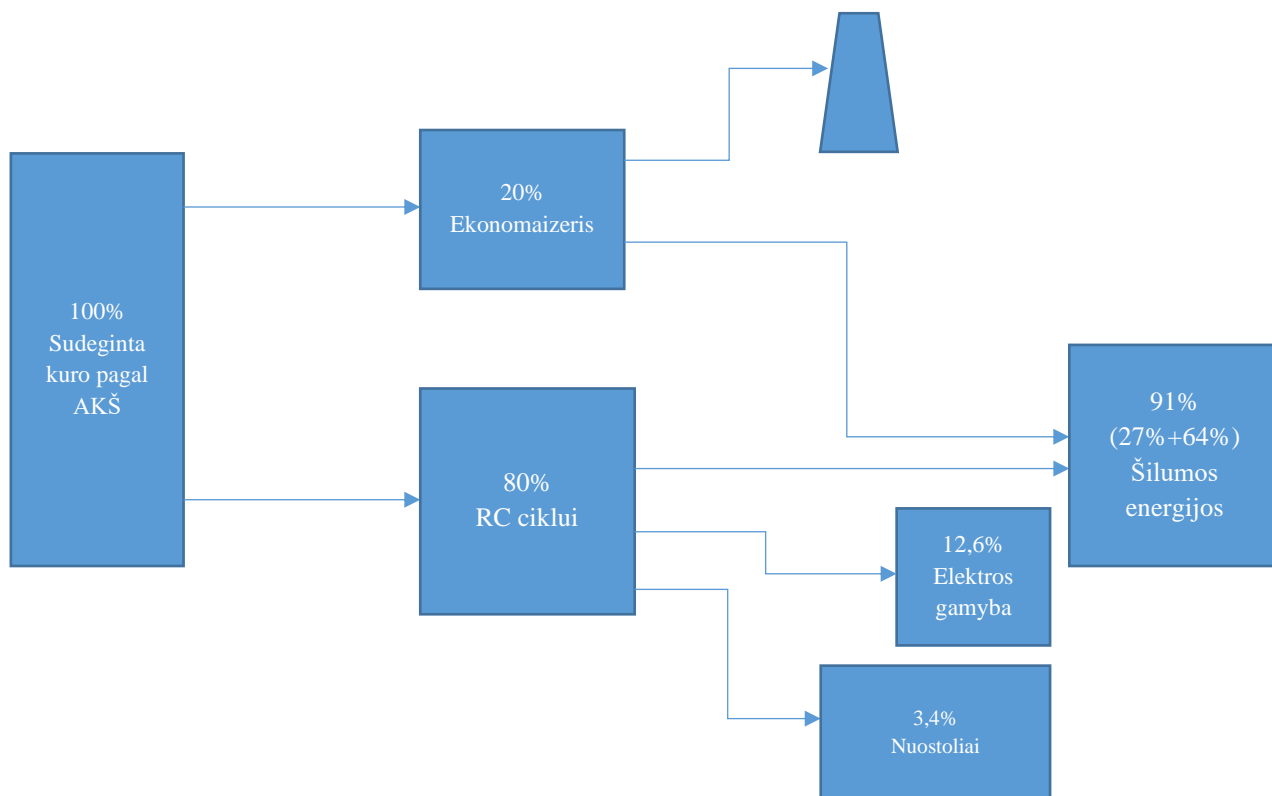
$$q_{DKE} = \frac{459,269 \cdot (5,437 - 0,831)}{7821,488} \cdot 100 = 27,05\%;$$

Apskaičiuojamas katilo efektyvumą, kai naudojamas kondensacinis ekonomizaizeris:

$$\eta_k = \eta_{kat} + q_{DKE}; \quad (28)$$

$$\eta_k = 80 + 27 = 107\%;$$

Kadangi aiškus katilo, ekonomizaizerio bei RC ciklo efektyvumas galima sudaryti energetinės analizės schemą elektrinei (21 pav.). Elektros suvartojimas savo reikmėms sudaro 1%.



27 pav. RC elektrinės energetinės analizės schema

Iš schemos matoma, kad bendras ciklo efektyvumas yra 103,6%. Biokogeneracinė RC elektrinė gamina 12,6% elektros energijos nuo sunaudoto kuro pagal apatinį šilumingumą. Įrengus ekonomaizerį šilumos gamyba padidėjo net 27% ir iš viso siekia 91%.

4.1.4. RC ekonominis vertinimas

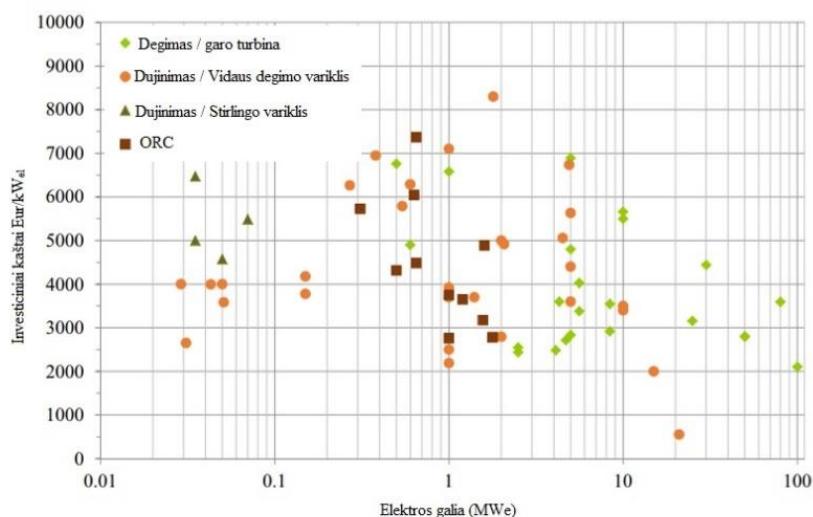
Investiciniai kaštai labai nepalankūs mažoms RC tipo elektrinėms. Mažėjant elektrinės galiai kaštai kinta netiesiškai, o nukritus žemiau 1 MW turi ir eksponentinį didėjimą. Puikiai tai atspindi [21] šaltinyje pateikta lentelė. Kapitaliniai kaštai 5,6 MW ir 8,4 MW galios elektrinėms skiriasi nežymiai, atitinkamai 4630 $\$/kW_{el}$ =3809 Eur/ kW_{el} ir 4000 $\$/kW_{el}$ =3290 Eur/ kW_{el} , drastiškas pokytis pastebimas 500 kW elektrinės galios lygmenyje, kuomet kapitaliniai kaštai siekia net 9260 $\$/kW_{el}$ =7617 Eur/ kW_{el} . Deja duomenys pateikti 2007 metų kainomis per 14 metų laikotarpį technologija galėjo patobulėti, o investiciniai kaštai atpigti.

14 lentelė. RC elektrinės kapitaliniai kaštai [21]

Biokuro suvartojimas, t	100	600	900
Biokuro aikštelė, \$	2 639 660	5 430 000	7 110 000
Garo katilas, \$	1 991 000	18 000 000	23 250 000
Galinio slėgio turbina (kogeneracijai)			
Turbinos galia, MW	0,5	5,6	8,4
Turbinos kaina, \$	425 000	2 500 000	3 250 000
Kapitaliniai kaštai su galinio slėgio turbina, \$	4 630 660	25 930 000	33 610 000

Savitieji kaštai, \$/kW _{el}	9 260	4 630	4 000
Kondensacinė turbina (elektros gamybai)			
Turbinos galia, MW	-	16	23
Turbinos kaina, \$	-	5 425 000	7 575 000
Kapitaliniai kaštai su kondensacine turbina, \$	-	28 855 000	37 935 000
Savitieji kaštai, \$/kW _{el}	-	1 860	1 630

Šaltinyje [23] pateikta 2019 metų statistika apie įvairių biokogeneracinių elektrinių kapitalinių kaštų kainas Europoje Eur/kW_{el}. Pateiktuose duomenyse taip pat matomas eksponentinis kainos augimas peržengus 1 MW_{el} galios ribą. 2-6 MW_{el} galios ribose kapitaliniai kaštai apie 2500 Eur/kW_{el}, galiai sumažėjus žemiau 1 MW_{el}, 600 kW_{el} elektrinės kaštai siekia beveik 5000 Eur/kW_{el}, o 500 kW_{el} elektrinei siekia apie 6800 Eur/kW_{el}. Priimu, kad 0,5-1,5 MW_{el} galios ribose, investiciniai kaštai 6000 Eur/kW_{el}.



28 pav. Įvairių biomasę deginančių elektrinių savitieji kaštai [23]

Atliekant ekonominę vertinimą šių duomenų neužtenka, reikia įvertinti ir gamybos kaštus, kurie pateikti [24] šaltinyje. Metiniai eksploataavimo kaštai nurodyti tarp 5% ir 6,5% nuo investicinių kaštų mažos galios elektrinėms.

Palyginimui naudojamos 3 RC kogeneracinės elektrinės: 500 kW, 750 kW ir 1 MW elektrinės galios. Atliekant kaštų palyginamąją analizę priimta, kad skirtingų parametrų elektrinės dirbs lentelėje pateiktais apkrovimais, o elektros energijos gamybos efektyvumas priklauso nuo elektrinės apkrovimo lygio, kurį reguliuoja šilumos poreikis. Priimta, kad 50% investicijų sumos gauta iš banko paskolos ir ji išmokama per 15 metų, taikant 7% palūkanų normą. Elektrinės eksploataavimo trukmė 20 metų, eksploataavimo kaštai 5%.

15 lentelė. RC elektrinės apkrovimo lygis

1 MW	Apkrovimas, %:	22	30	60	80	90	100	100+20 eko	100+80 eko
	Laikas, val.:	3429	631	240	727	575	679	879	1599
750 kW	Apkrovimas, %:	30	40	60	80	100	100+50 eko	100+100 eko	
	Laikas, val.:	3429	583	152	136	727	1255	2478	
500 kW	Apkrovimas, %:	45	60	80	100	100+50eko	100+100eko		
	Laikas, val.:	3429	583	48	104	136	4460		

Atlikus ekonominius skaičiavimus nustatyta (priedas 1, 2, 3), kad tik 500 kW RC elektrinės atsipirkimas laikas 19,11 metų, o kitų dviejų atsipirkimo laikas viršija eksploataavimo laiką. Taip yra todėl, kad mažos galios RC elektrinės kapitaliniai kaštai labai dideli, o turbinos efektyvumas smarkiai reaguoja į besikeičiantį apkrovimą. Siekiant, kad tokio tipo elektrinė atsipirktų, ją reikėtų eksploatuoti pilnu apkrovimu ištikus metus. Deja kogeneracinės elektrinės dirbančios centralizuoto šilumos tiekimo tinkluose tokios galimybės neturi, todėl privalo gebėti keisti apkrovimą smarkiai nemažinant efektyvumo.

16 lentelė. Pagrindiniai techniniai ekonominiai RC parametrai

Techniniai ekonominiai parametrai	500 kW	750 kW	1 MW
Net elektrinė galia, MW _{el}	0,50	0,75	1,00
Ciklo net elektros gamybos efektyvumas pagal apatinį kuro šilumingumą	0,13	0,13	0,13
Suvartojama šiluminė galia, Q _{in} , MW	3,47	5,95	7,94
Pagamintos elektros kiekis per metus, MWh	2623,76	3959,93	4709,16
Kondensatoriaus šiluminė galia, MW	2,22	3,81	5,08
Ekonomaizerio šiluminė galia, MW	0,94	1,61	1,74
Šilumos gamybos galia, MW	3,16	5,42	6,82
Maksimalus pagamintos šilumos kiekis per metus, Q _T , MWh	19244,52	28614,21	30362,24
Elektrinės santykiniai investiciniai kaštai, €/kW _{el}	6000,00	6000,00	6000,00
Elektrinės investiciniai kaštai, €	3000000,00	4500000,00	6000000,00
Finansinė parama, procentais nuo investicinių kaštų	50	50	50
Pastoviosios gamybos išlaidos, €/metus	150000,00	225000,00	300000,00
Išlaidos kurui, € per metus (13€/MWh)	299135,69	458212,93	551307,10
Kasmetinis paskolos gražinimas, €	164691,94	247037,91	329383,87
Viso išlaidų, € per metus	613827,62	930250,84	1180690,97
Pajamos pardavus elektrą, € per metus (45€/MWh)	118068,98	178196,85	211912,35
Pajamos pardavus šilumos energiją €/metus (28€/MWh)	538846,65	801197,82	850142,68
Viso pajamų, € per metus	656915,63	979394,67	1062055,03
Pajamų išlaidų balansas, €	43088,01	49143,83	-118635,94
Elektrinės atsipirkimo laikas (metais), įskaitant statybos metus	19,11	20,11	37,68

4.2. ORC kogeneracinė elektrinė

4.2.1. ORC istorija

Alternatyvių šilumnešių atsiradimas sietinas su leistinų slėgių apribojimais XIX a. katiluose, dėl ko nebuvo išgaunamos maksimalios ciklo temperatūros, taip pat dėl prastų sandarumų kondensatoriuje buvo sunku pasiekti priimtina vakuumą jame, dėl ko susidariusio kondensato temperatūra buvo gana aukšta, o tai blogino ciklo efektyvumą. Atliekinės šilumos po kondensatoriaus panaudojimas ir yra organinio darbo agento kilmė. 1829 metais Ainger pasiūlė pakopinius ciklus su skirtingos virimo temperatūros šilumnešiais–kiekvienam šilumnešiui buvo atskiras šilumokaitis kaip kondensatorius sekančiam darbo agentui išgarinti, todėl šilumos šaltinis buvo reikalingas išgarinti tik aukščiausios virimo temperatūros darbo agentą. Pirmas komercinis organinio skysčio panaudojimas yra 1853 metų Du Trembley kombinuotų garų sistema pritaikyta laivo varomajai jėgai generuoti, tuomet organinis šilumnešis buvo išgarinamas panaudojant vandens garą, papildomai galiai išgauti. Vėliau XIX a. pabaigoje XX a. pradžioje visiškai nesusiję mokslininkai Yarrow, Escher Wyss ir Ofeldt paleido panašias sistemas laivams, kuomet naftos produktai buvo naudojami kaip kuras, tepalas ir darbo skystis. Sistema pasižymėjo greitu pasileidimu, reikalavo mažiau priežiūros bei įrangos svoris buvo mažesnis nei garo variklių. Tai, kad sistema buvo varoma ne vandens garu leido apeiti įstatymus, dėl ko operatoriais galėjo būti nekvalifikuoti inžinieriai. Ši sistema buvo komercinis pasisekimas, parduota apie 1900 vienetų, iki kol atsirado vidaus degimo varikliai, kurie buvo patikimesni ir lengvesni.

Buvo naudojami ir kiti darbo agentai tokie kaip eteris, chloroformas, amoniakas, anglies disulfidas ir sieros dioksidas. Nepaisant to, spartus vidaus degimo variklių konstrukcijų tobulėjimas bei aukšto slėgio turbinų atsiradimas lėmė organinio Rankino ciklo vystymosi sustojimą. Per pusę amžiaus buvo tik keli ORC pritaikymo variantai ir visi naudojant saulės energiją.

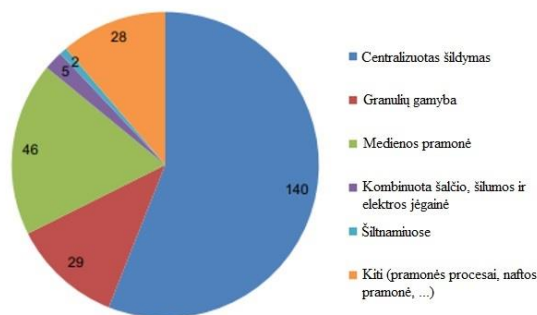
ORC atgimimas prasidėjo 1935 metais, kuomet Neapolio universitete Prof. Luigi D' Amelio įdarbino organinį darbo agentą į realią turbinos sistemą, taip pat jis buvo pirmasis kuris pastebėjo didelės molekulinės masės skysčiu pranašumą mažinant turbinos sukčius per minutę bei turbinos išsiplėtimo lygius, vietoje to, kad susikoncentruotų prie išgarinimo slėgio. D' Amelio tyrimai 1935 metais padėjo sukurti mažą saulės energija varomą siurblių. Vėliau, 1940 metais D' Amelio suprojektavo geotermine elektrinę Citaroje, Iskijos saloje, kuri naudoja etileną kaip darbo agentą.

D' Amelio įžvalgos apie didelę organinių junginių molekulinę masę susidomėjo Nacionalinė Izraelio fizikos laboratorijos mokslininkai Tabor ir Bronicki, kurie tuo metu tyrinėjo mažų variklių pritaikymą saulės energetikoje. Jų nuostolių, lemiančių mažą saulės elektrinių efektyvumą lyginant su Karno ciklu mažuose varikliuose, analizė leido padaryti išvadą, kad saulės elektrinės efektyvumas bus didesnis naudojant turbiną o ne stūmoklinį variklį. Kadangi iš saulės energijos aukštų parametrų vandens garas neišgaunamos, buvo nuspręsta naudoti organinius darbo agentus. Fizikinės skysčių savybės buvo parinktos atsižvelgiant į šilumos šaltinį ir aušintuvą bei išvystomą įrenginio galią. Svarbiausios savybės buvo atomų skaičius molekulėje, kuris lemia izotropinio išsiplėtimo drėgnumą (<10 atomų molekulėje) arba sausumą (>10), ir terminis / cheminis stabilumas prie 150 °C. Buvo pastebėta, kad didelės molekulinės masės junginiai linkę į sausą išsiplėtimą (išsiplėtęs garas turbiną palieka aukštos temperatūros). Aukšta darbo agento temperatūra padeda išvengti erozijos, tačiau lemia didelius negrįžtamus nuostolius. Todėl 1961 metais Taboras ir Borneckis pristatė naują Rankino ciklą, kuriame naudojamas rekuperatorius, jo dėka padidėjo ciklo efektyvumas

nepriklausomai nuo parinkto organinio skysčio. Rekuperatorius taip pat grąžina dalį sistemos šilumos nuostolių.

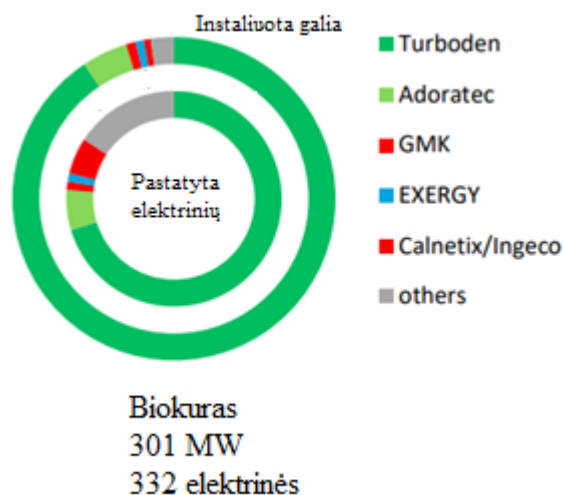
4.2.2. Biokogeneracinių ORC elektrinės esama padėtis ir ateitis

Biokogeneracinės ORC elektrinės pagrinde siejamos su centralizuoto šildymo sistemomis (pav. 29). Biokuro katilinės šilumos gamybai centralizuotam šildymui žinomos jau dešimtmečius. Atsižvelgiant į tai, kad yra tūkstančiai biokuro katilinių, kurios gamina tik šilumą, ORC technologija turi potencialą perdaryti jas į biokogeneracines jėgaines nereikalaujant papildomos erdvės ar personalo.



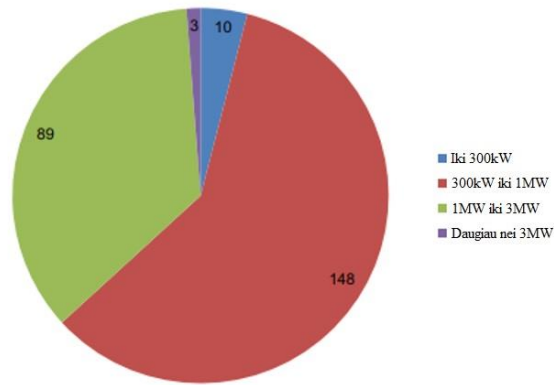
29 pav. ORC technologijos naudojimas skirtingose srityse [10]

Šiuo metu centralizuoto šilumos tiekimo tinklai žengia į naują etapą, kurio esmė sumažinti eksploatuojamo šilumos tinklo temperatūrą iki 60 °C. Sumažinus tinklo temperatūrą atsiranda galimybė padidinti termodinaminio ciklo elektros gamybos efektyvumą. Dėl to, galimai, bus gaminama daugiau elektros energijos su tuo pačiu šilumos energijos poreikiu. [10]



30 pav. Įrengtų ORC elektrinių skaičius pagal gamintoją [13]

2017 metų duomenimis [13] eksploatuojamų biomasę deginančių ORC elektrinių yra 332, o jų bendra galia siekia 301 MW. Remiantis 31 paveikslu nustatyta, kad didžioji dalis, apie 59% ORC tipo elektrinių galia tarp 300 kW ir 1 MW, tarp 1 MW ir 3 MW 36%, virš 3 MW galios elektrinių yra tik 1,2%.



31 pav. Biomasę deginančių ORC elektrinių pasiskirstymas pagal galią [10]

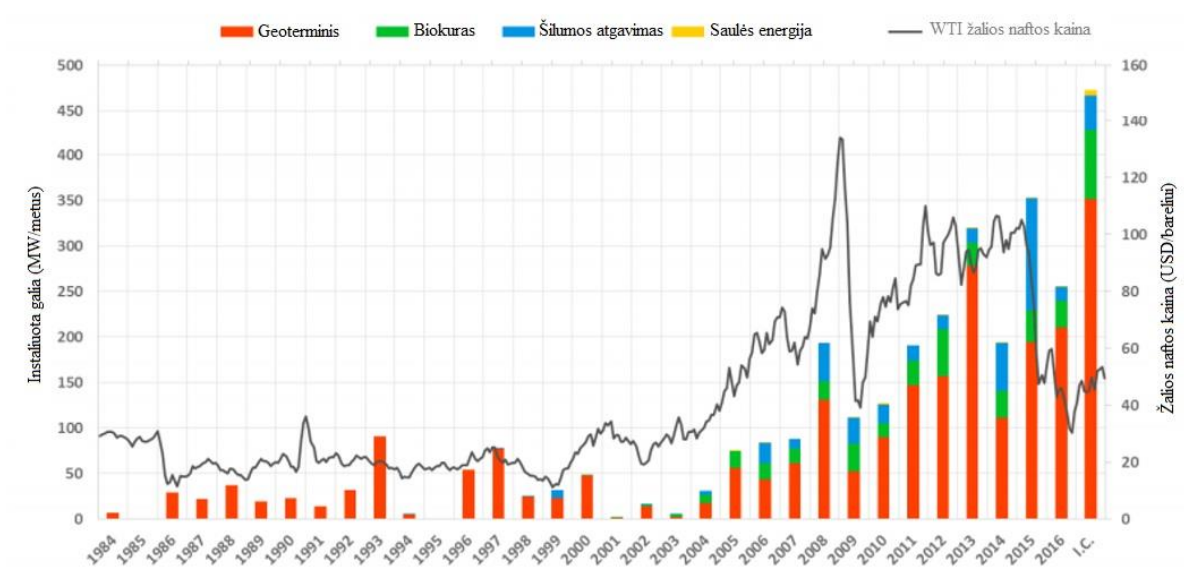
17 lentelėje pateikti 2017 metų duomenys apie veikiančias ORC tipo elektrines centralizuoto šilumos tiekimo sistemose skirtingose valstybėse. Pagrindė vyrauja iki 1 MW galios ORC kogeneracinės elektrinės, lyderis, pagal elektrinių skaičių ir instaliuotą galią, yra Vokietija. Galima teigti, kad tokio tipo kogeneracinės elektrinės eksploatuojamos mažesnių miestelių centralizuoto šilumos tiekimo sistemose, perdarant vien šilumą gaminančias biokuro katilines.

17 lentelė. Įrengtų ORC įrenginių pasiskirstymas pagal šalis [10]

Šalis	ORC elektrinių skaičius	Įrengta galia, MW
Vokietija	40	40,1
Italija	37	32,7
Latvija	11	11
Austrija	10	9,4
Šveicarija	6	4
Lenkija	5	4,9
Baltarusija	4	8,9
Čekija	3	3,1
Estija	2	3,2
Rusija	2	3,2
Suomija	2	2
Švedija	1	2,2
Bulgarija	1	1,2
Olandija	1	1,1
Danija	1	0,7
Graikija	1	0,3

32 paveiksle galima stebėti kaip keitėsi ORC kogeneracinių elektrinių instaliuota galia, pagal šilumos šaltinį, nuo 1984 m. iki 2017 m. Iš pateiktų duomenų nustatyta, kad biokuro kūrenamos ORC kogeneracinės elektrinių statyba prasidėjo tik pačioje XX a. pabaigoje, o instaliuojama metinė galia

per pastarąjį dešimtmetį išlieka stabili. Tačiau ateityje autorius pranašauja ORC technologijos ir atskirai biokurą kūrenančių ORC kogeneracinių elektrinių piką.

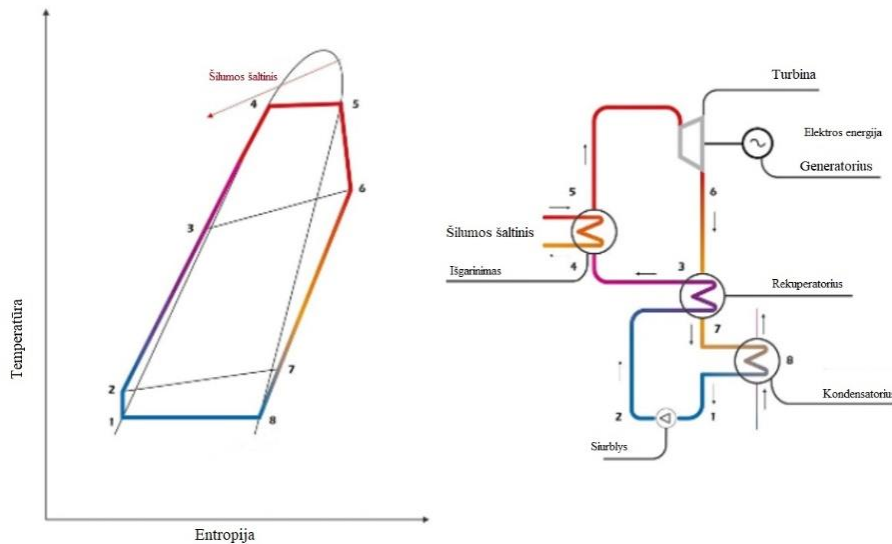


32 pav. ORC kogeneracinių elektrinių plėtra pagal naudojamą šilumos šaltinį [13]

Eksponentinis ORC elektrinių skaičiaus didėjimas parodo, kad elektrinės komerciškai paklausios, o susidariusi situacija centralizuoto šilumos tiekimo sistemose, kuomet didžioji dalis šilumos gaminama vien šilumą gaminančiuose biokuro katilinėse, neišnaudoja atsinaujinančios energijos išteklių potencialo. Modernizuojant tokio tipo katilines panaudojant ORC technologiją būtų išgaunama ne tik šiluma, bet ir elektros energija. Tarp mažos galios elektrinių ORC ir RC efektyvumai susilygina, tačiau ORC turi kitų pranašumų, kurie bus aptarti sekančiame poskyryje.

4.2.3. Biokuru kūrenamos ORC elektrinės schema, trūkumai bei privalumai

Supaprastinta ciklo schema pateikiama 33 paveiksle. Karštas tepalas iš biokuro katilo keliauja į organinio Rankinio ciklo garintuvą darbo agento išgarinimui 4>5. Kitame etape organinis skystis išsiplečia turbinoje 5>6, generuodamas elektros energiją, po išsiplėtimo nukreipiamas į rekuperatorių 6>7, kur pašildo kondensatą, galiausiai ciklo darbo agentas patenka į kondensatorių 7>8>1, kur garai atvėsina ir virsta skysčiu. Skysčio pavidalo darbo agentas siurblio pagalba suspaudžiamas 1>2 ir nukreipiamas į rekuperatorių 2>3>4, pradiniam organinio junginio pašildymui.



33 pav. Organinio Rankino ciklo principinė schema ir T-S diagrama [12]

ORC elektrinėse ekonomizeris paprastai nenaudojamas, vietoje jo montuojamas regeneratorium, kuris dūmus atvėsina nuo 300 °C iki 150 °C temperatūros, tuo metu pašildydamas į katilą tiekiamą orą. Nors regeneratorium išties naudingas jis nesugeba dūmų atvėsinti iki žemos temperatūros. Todėl verta apsvarstyti kondensacinio ekonomizerio įrengimą.

Pagrindinis RC ir ORC skirtumas ir trūkumas tai papildomas termonešėjo darbo ratas, kuris reikalingas dėl organinio junginio savybių. Pavyzdžiui, virinant vandenį pasiekiamas aukštas šilumos perdavimo koeficientas, kuris esant aukštam slėgiui dar labiau padidėja. Todėl nėra grėsmės, kad dėl prasto aušinimo katilo vamzdžių sienelės pradegs. Taip pat reikia atsižvelgti į virimo krizes, kurios aušinimo procesą gali sumažinti keletą kartų, tačiau vandeniui, dėl išskirtinių termodinaminių savybių, nėra baisios. Deja organiniai junginiai tokiomis savybėmis nepasižymi, o pradegimo rizika yra daug didesnė, nes organiniai junginiai degūs dėl ko gali įvykti sproginimas degimo kameroje. Taip pat dėl papildomo sistemos elemento atsiranda termodinamiai nuostoliai, papildomos materialinės bei energetinės sąnaudos.

Šaltinyje [12] kaip trūkumas minimas kondensato siurblio sąnaudos. Siurblio sąnaudos proporcingos pratekančio skysčio debitui ir slėgių skirtumui prieš ir po siurblio. Toks santykis išreiškiamas kaip atgalinio darbo santykis (angl. Back Work Ratio-BWR), kuris apibūdinamas kaip siurblio galia / turbinos generuojamos galios. Paprastame Rankino cikle, vandens debitas gana mažas, o BWR tipiška 0,4%. Aukštos temperatūros ORC BWR apie 2–3%, žemos temperatūros aukštesnis nei 10%.

Vienas iš pagrindinių ORC pranašumų prieš RC, tai, kad ORC ciklui nereikalingas garo perkaitinimas. Vandens garo cikle garas į turbiną turi patekti aukštesnės nei 400 °C temperatūros, kad būtų išvengta vandens lašelių formavimosi dėl garo išsiplėtimo. Tai lemia didesnę terminę stresą katilui ir turbinos mentelėms, o tai, žinoma, didina išlaidas. Tačiau, organiniai junginiai išlieka garų pavidalu iki pat išsiplėtimo pabaigos, o kondensacijos nebuvimas mažina erozijos riziką ant mentelių, dėl to turbinos tarnavimo laikas pailgėja iki 30 metų vietoje 15–20 metų vandens garo cikle.

Taip pat kaip pranašumas [12] šaltinyje pateikiamas kondensacijos slėgis, kuris ORC nėra artimas vakuumui ir viršija atmosferos slėgį, ne taip kaip paprastame Rankino cikle. Dėl to išvengiamos

papildomos investicijos į darbo agento valymo įrenginius, o deguonies nebuvimas cikle ilgina įrenginių tarnavimo laiką.

Garų ciklo įrangos dydis daug didesnis nei organinio Rankino ciklo. Taip yra dėl ekstremaliai mažo tankio žemo slėgio zonose. Kadangi slėgio nuostoliai vamzdyne didėja nuo skysčio greičio antruoju laipsniu, todėl esantis didelis tūrio debitas reikalauja vamzdyno diametro ir šilumokaičių matmenų didinimo. Tuo pačių turbinos dydis proporcingas tūrio debitui. Dėl didelės organinio junginio molekulių masės tūris skysčio ir dujų būsenoje mažai skiriasi, todėl įrangos dydis smarkiai sumažėja.

Garų cikle slėgio ir entalpijos kritimas abiem atvejais labai didelis, o tai įtakoja turbinos su keliais išsiplėtimo lygiais naudojimą. ORC entalpijos kritimas daug mažesnis, todėl naudojamos vieno arba dviejų lygių turbinos. Be to nedidelis entalpijos kritimas įtakoja mažesnę turbinos sukimosi ir mentelių galiukų greitį. Mažesnis sukimosi greitis leidžia turbinos sukčius tiesiogiai perduoti generatoriui, nenaudojant reduktoriaus, o mažesnis mentelių galiukų greitis mažina įtempius ir supaprastina turbinos konstrukciją.

Bene didžiausias privalumas yra darbo agentas, kuris gali būti parenkamas atsižvelgiant į ciklo parametrus. Svarbiausi parametrai tai maksimali temperatūra, kai neperžengiama stabilumo riba, bei kondensacijos temperatūra. 18 lentelėje pateikti pavyzdžiai apie rekomenduojamų organinių junginių panaudojimą skirtingose technologijose, atsižvelgiant į technologijos parametrus.

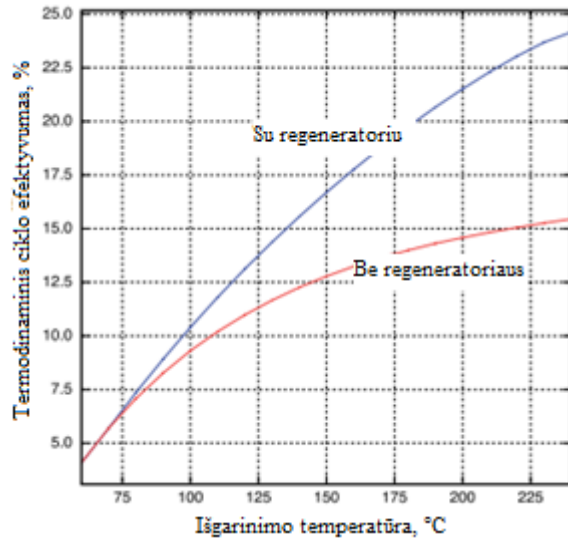
18 lentelė. Organinių junginių naudojimas pagal skirtingas technologijas [11]

Organinis junginys	Panaudojimas	$T_{gr}, ^\circ C$	$T_{kd}, ^\circ C$
Amoniakas	Geoterminis ORC	70-90	30
Butilbenzenas	Kogeneracinis ORC	250-350	90
R152a, R600, R290	Saulės ORC	60-100	35
R113	Atliekinės šilumos ORC	100-210	25

4.2.4. ORC kogeneracinių elektrinių efektyvumas

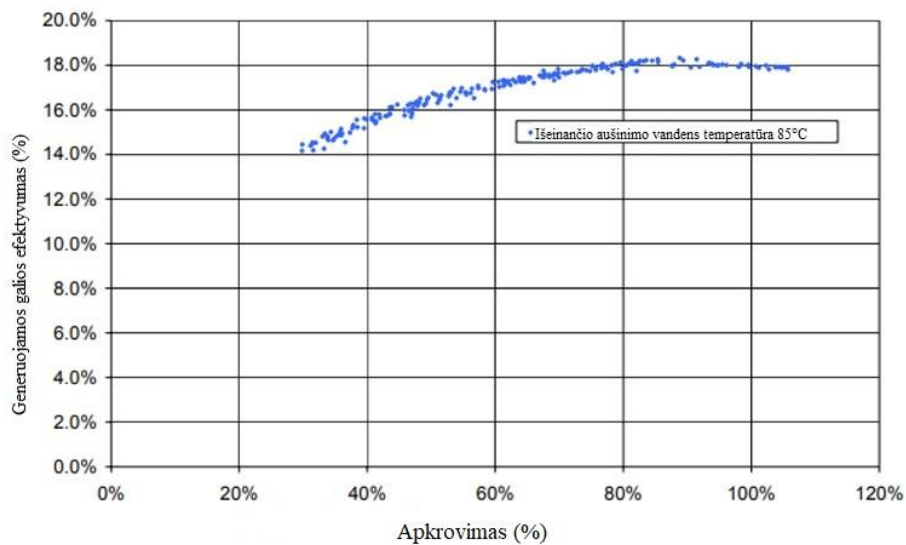
Pagrindiniai apribojimai, kodėl negalima pasiekti didesnio elektros gamybos efektyvumo yra leistina darbo agento temperatūra, kuri varijuoja nuo pasirinkto organinio junginio, ir mažesnio nei 20-30 bar slėgio. Viršijus leistiną organinių junginių temperatūrą jie pradeda irti bei tampa nestabilūs, dėl tokioje temperatūroje prasidedančių cheminių reakcijų. Žemesni slėgiai palaikomi nes ORC elektrinėse nėra rizikos, kad plečiantis organiniams junginiams susidarys lašeliai, kurie sukels mentelių eroziją, be to aukštas slėgis nedidina elektrinės efektyvumo taip kaip RC elektrinėse. Tačiau, dėl mažesnių slėgių sistemoje įrenginiai pigesni ir paprastesni.

Dėl žemų termodinaminių parametrų Karno ciklo efektyvumas labai žemas, jei ne nemokamas ar labai pigus energijos šaltinis (atliekinė, geoterminė, saulės), elektros gamyba būtų ekonomiškai nenaudinga. Paprastai žemos temperatūros ORC įrenginiuose rekuperatorius nenaudojamas, tačiau biokuru kūrenamose ORC elektrinėse jis privalomas. Rekuperatorius gražina šilumą atgal į ciklą pakeldamas kondensato temperatūrą prieš garintuvą, dėl ko termodinaminis ciklo efektyvumas padidėja beveik dvigubai. Dar vienas aspektas padedantis ORC konkuruoti su RC yra turbina, jos efektyvumas ORC siekia net 90%.



34 pav. Regeneratoriaus įtaka termodinaminiam ciklo efektyvumui [15]

Aukštas turbinos efektyvumas įtakoja aukštus galios ir efektyvumo lankstumo parametrus. Kaip pateikta 35 paveiksle elektros gamybos efektyvumas apie 18%, kuomet įrenginys dirba apkrautas 50% nuo nominalios galios elektros gamybos efektyvumas apie 17%. Tai patvirtina tobulą ORC elektrinės efektyvumo lankstumą, kuris pateiktas paveikslėlyje. Kadangi, centralizuoto šilumos tiekimo sistemos kontroliuojamos pagal šilumos poreikį toks efektyvumo lankstumas labai naudingas. Pavyzdžiui, ne šildymo sezono metu, kuomet šiluma gaminama tik karšto vandens ruošimui, tokio tipo elektrinė gali būti apkrauta 50%, taip bus sunaudojama dvigubai mažiau biokuro, o elektros energijos gamybos efektyvumas beveik nepasikeičia.



35 pav. NETO elektros generavimo efektyvumas nuo elektrinės apkrovimo [15]

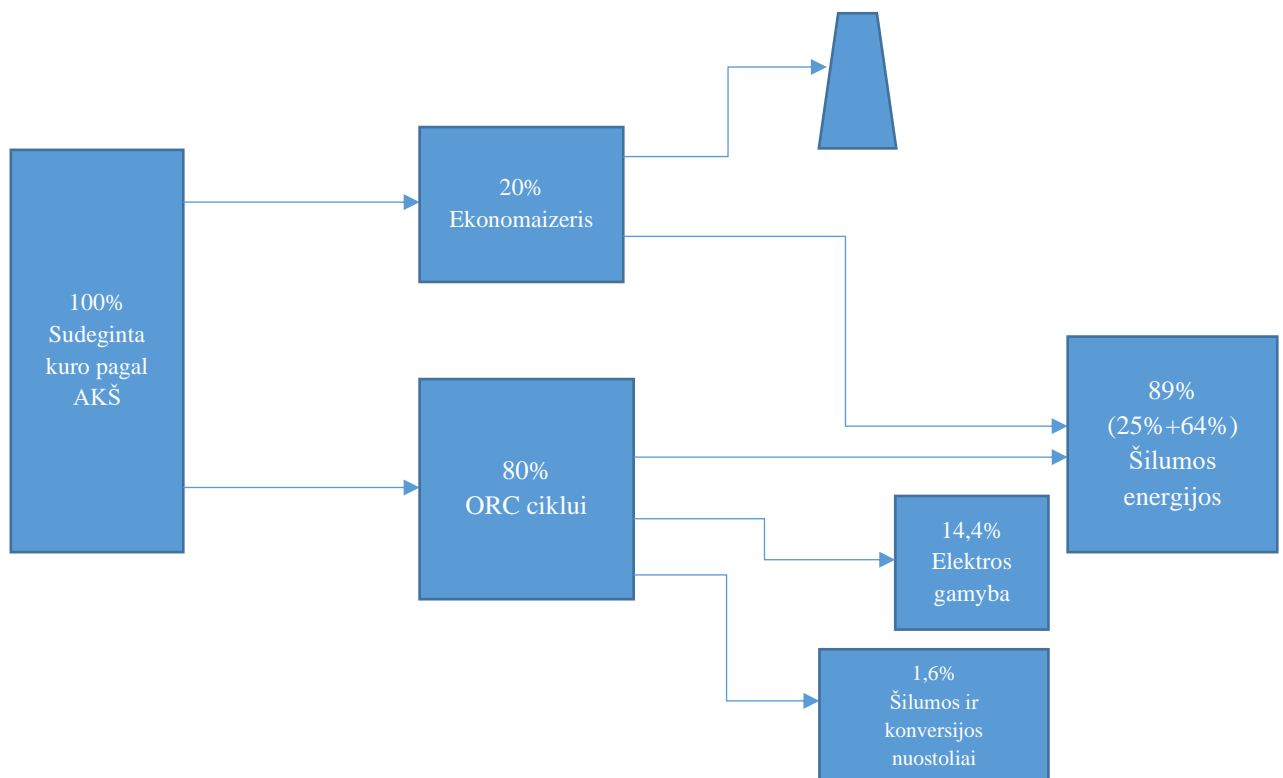
Šaltinyje [15] pateikti techniniai ORC elektrinės, naudojančios OMTS silikoninį tepalą, parametrai. Iš duomenų matoma, kad 1 MW_{el} galios ORC kogeneracinei elektrinei reikia suteikti $5,56 \text{ MW}$ šilumos, ORC ciklo elektros generavimo efektyvumas 18%, o nuostoliai sudaro tik 2%.

19 lentelė. ORC įrenginio techniniai duomenys [15]

Šilumnešis	Terminis tepalas
Temperatūra prieš	300 °C
Temperatūra po	250 °C
Darbo agentas	Silikoninis tepalas
Šaltnešis	Vanduo
Darbo agento temperatūra prieš	80 °C
Darbo agento temperatūra po	60 °C
Reikalinga šilumos galia	5,56 MW
Generuojama elektros energija	1 MW
Kondensatoriaus šilumos galia	4,44 MW
NETO elektros gamybos efektyvumas	18%
Šilumos gamybos efektyvumas	80%
Elektros ir terminiai nuostoliai	2%

Deja lentelėje pateikti duomenys tik apie ORC modulio efektyvumą. Bendras ciklo efektyvumas priklausys nuo biokuro katilo, kuris kaitina termotepalą, techninių parametrų. Didžiausią įtaką turi pro kaminą išeinantys aukšto potencialo dūmai, todėl reikia apgalvoti kondensacinio ekonomaizerio įrengimą.

Priimta, kad naudingas katilo darbas Q_d , tai ORC įrenginiui reikalingas suteikti šilumos kiekis 1 MW_{el} galios įrenginiui $Q_d=5,56 \text{ MW}$. Išeinanti dūmų temperatūra 150 °C , oro pertekliaus koeficientas $\alpha=1,5$, o bendras katilo efektyvumas $\eta_{kat}=80\%$. Remiantis 3.1.3. poskyrio metodika apskaičiuota, kad ekonomaizeris grąžina 25% šilumos. Sudarome energetinės analizės schemą.

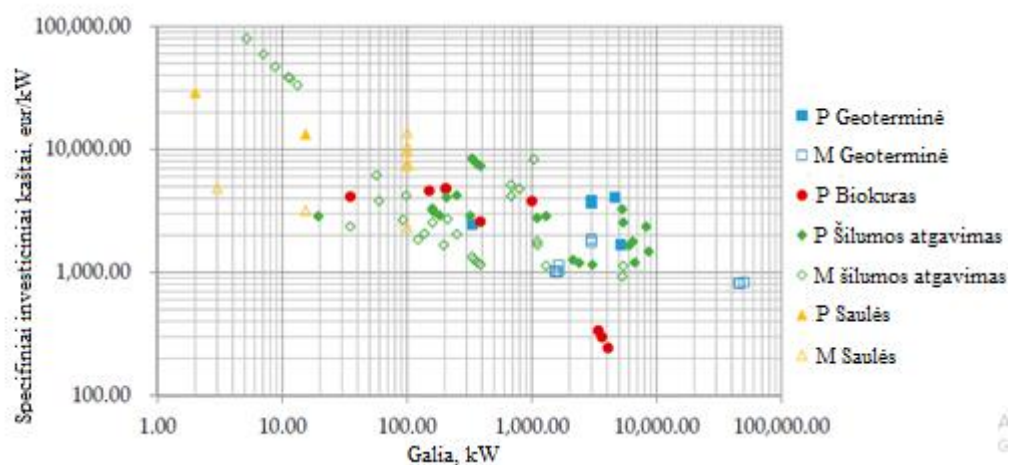


36 pav. ORC elektrinės energetinės analizės schema

Nustatyta, kad bendras ciklo efektyvumas yra 103,4%. Biokogeneracinė ORC elektrinė gamina 14,4% elektros energijos nuo sunaudoto kuro pagal apatinį šilumingumą. Įrengus ekonoaizerį šilumos gamyba padidėjo ir iš viso siekia 89%.

4.2.5. Ekonominis vertinimas

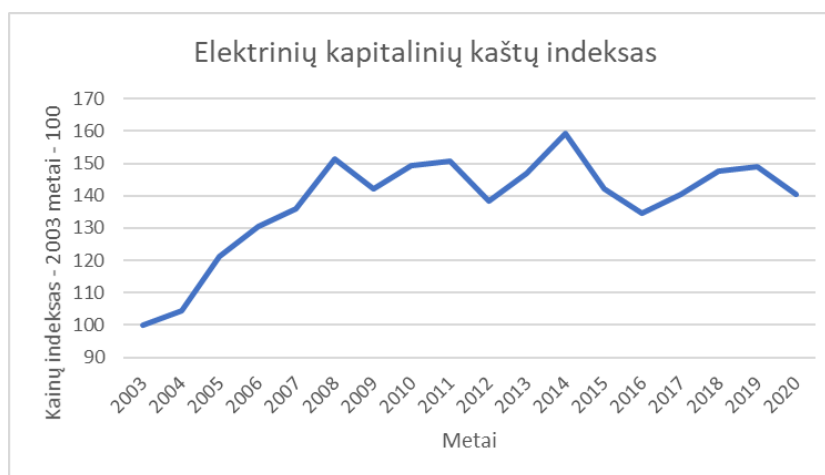
Organinio Rankino ciklo elektrinės, kaip ir kitų elektrinių, santykiniai kaštai priklauso nuo elektrinės galios. Remiantis lentelėje pateikta informacija apie ORC santykinę kaštų priklausomybę nuo elektros galios ir energijos šaltinio galima teigti, kad pigiausios yra atliekinę šilumą ar biokurą naudojančios elektrinės, kadangi šiluma dažniausiai būna patogios formos: garo, skysčio ar sotaus garo, brangesnės yra saulės ir geoterminę energiją naudojančios elektrinės.



37 pav. ORC elektrinių santykiniai kaštai [27]

Lentelėje pateiktos ORC modulių (tuščiaviduriai) ir pilno projekto (pilnaviduriai) kainos. Pilno projekto kaina apima patalpų įrengimą, biokuro katilinės kaštus bei elektrinės paleidimą ilgalaikiam darbui, dėl ko modulių kaštai yra mažesni. Atsižvelgiant į pateiktas kainas iki 2 MW_{el} galios galima teigti, kad 1 kW_{el} galios įrengimo kaina apie 4000 Eur/kW_{el}.

Deja kainos pateiktos 2014 metų kainomis, kuomet 1 MW_{el} elektrinės įrengimas kainavo 4 mln. eurų. Remiantis elektrinių kapitalinių kaštų indeksu lentelė matoma, kad indeksas nuo 2014 iki 2020 metų krito nuo 1,6 iki 1,4 apie 0,2. Tai reiškia, kad kapitaliniai kaštai galimai sumažėjo ir 1 MW_{el} galios elektrinė kainuoja 3,48 mln. eurų.



38 pav. Elektrinių kapitalinių kaštų indeksas [9]

Šaltinyje [10] autoriai pateikia išsamią 1 MW_{el} galios elektrinės investicinių kaštų lentelę 2017 metų kainomis. Pateikti investiciniai kaštai sutampa su anksčiau, pagal elektrinių kapitalinių kaštų indeksą, paskaičiuotais kaštais 3,48 mln. eurų. Todėl, galime teigti, kad 1 kW_{el} galios elektrinėje įrengimas kainuoja apie 3500 eurų. Todėl primame, kad 1 MW_{el} galios elektrinės investiciniai kaštai yra 3,5 mln. Eurų.

20 lentelė. ORC įrenginio kapitaliniai kaštai [10]

Tepalo šildymo katilas	700 000 €
Tepalo darbo ratas	300 000 €
Įrengimas	100 000 €
ORC įrenginys	1 300 000 €
Elektros darbai	150 000 €
Inžineriniai darbai	100 000 €
Bendri darbai	500 000 €
Viešieji darbai	350 000 €
Viso:	3 500 000 €

Atliekant elektrinės ekonominį vertinimą neužtenka vien kapitalinių kaštų. Šaltinyje [15] pateikta išsami elektros gamybos kaštų analizė. Pagal pateiktus duomenis nustatyta, kad aptarnavimo kaštai

sudaro 2% nuo investicinių kaštų per metus, o eksploatacinės medžiagos 0,3%. Atliktame tyrime deklaruojama, kad personalo darbo valandos tik 400 valandų per metus, taip yra dėl to, kad elektrinė valdoma ne vien automatika ir kompiuteriu, bet ir interneto ryšiu. 2002 metais vienos valandos kaštai buvo 30 €/val, naudojantis infliacijos apskaičiavimo įrankiu „InflationTool“ nustatyta, kad 2021 metais tokios sumos vertė 40 €/val. Lentelėje taip pat pateikti duomenys apie kitas išlaidas, kurias sudaro administracinės ir draudimo sąnaudos, jos sudaro 0,7% nuo investicinių kaštų.

21 lentelė. Gamybos kaštų analizė [15]

Eksploatacinės medžiagos (nuo kapitalinių kaštų per metus)	0,03%
Personalo sąnaudos (400 val./metus)	30 €/val.
Aptarnavimo sąnaudos (nuo kapitalinių kaštų per metus)	2%
Administracinės ir draudimo sąnaudos (nuo kapitalinių kaštų per metus)	0,70%

Palyginimui naudosime 3 ORC kogeneracines elektrines: 500 kW, 750 kW ir 1 MW elektrinės galios. Atliekant kaštų palyginamąją analizę priimta, kad skirtingų parametrų elektrinės dirbs lentelėje pateiktais apkrovimais. Elektros energijos gamybos efektyvumas priklauso nuo elektrinės apkrovimo lygio, kurį reguliuoja šilumos poreikis. Priimta, kad 50% investicijų sumos gauta iš banko paskolos ir bus gražinta per 15 metų su 7% palūkanų norma. Elektrinės eksploataavimo trukmė 20 metų.

22 lentelė. ORC elektrinės apkrovimo lygis

1 MW	Apkrovimas, %:	22	30	60	80	90	100	100+20 eko	100+80 eko
	Laikas, val.:	3429	631	240	727	575	679	879	1599
750 kW	Apkrovimas, %:	30	40	60	80	100	100+50 eko	100+100 eko	
	Laikas, val.:	3429	583	152	136	727	1255	2478	
500 kW	Apkrovimas, %:	45	60	80	100	100+50eko	100+100eko		
	Laikas, val.:	3429	583	48	104	136	4460		

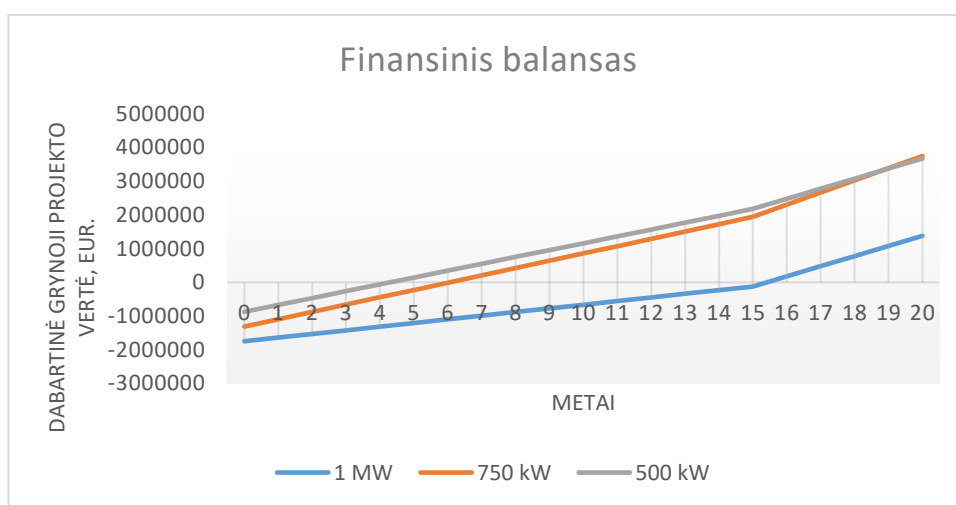
Pateiktoje techninėje ekonominėje analizėje nustatyta, kad greičiausias atsipirkimas yra 500 kW_{el} galios kogeneracinė ORC elektrinė 4,3 metai, 750 kW_{el} galios elektrinė atsipirkimo laikas 6,05 metai. 1 MW_{el} galios elektrinė atsipirkimas trunka net 16,14 metų, taip yra todėl, kad kogeneracinė elektrinė centralizuoto šilumos tiekimo tinkle dirba pagal esamą šilumos poreikį, o ne siekiant pagaminti kuo daugiau elektros energijos. Todėl 1 MW_{el} galios elektrinė yra per didelė Kuršėnų miesto vartotojų poreikiams aprūpinti.

23 lentelė. Pagrindiniai techniniai ekonominiai ORC parametrai

Techniniai ekonominiai parametrai	500 kW	750 kW	1 MW
Net elektrinė galia, MW _{el}	0,50	0,75	1,00
Ciklo net elektros gamybos efektyvumas pagal apatinį kuro šilumingumą	0,14	0,14	0,14
Suvartojama šiluminė galia, Q _{in} , MW	3,47	5,21	6,94
Pagamintos elektros kiekis per metus, MWh	3218,12	4240,82	5041,93

Kondensatoriaus šiluminė galia, MW	2,22	3,33	4,44
Ekonomaizerio šiluminė galia, MW	0,87	1,30	1,74
Šilumos gamybos galia, MW	3,09	4,64	6,18
Maksimalus pagamintos šilumos kiekis per metus, QT, MWh	18654,72	23783,27	24181,03
Elektrinės santykiniai investiciniai kaštai, €/kWel	3500,00	3500,00	3500,00
Elektrinės investiciniai kaštai, €	1750000,00	2625000,00	3500000,00
Finansinė parama, procentais nuo investicinių kaštų	50	50	50
Pastoviosios gamybos išlaidos, €/metus	52500,00	78750,00	105000,00
Išlaidos personalui, €	16000,00	16000,00	16000,00
Išlaidos kurui, € per metus (13€/MWh)	299135,69	400961,72	482393,71
Kasmetinis paskolos gražinimas, €	96070,30	144105,44	192140,59
Viso išlaidų, € per metus	463705,98	639817,17	795534,30
Pajamos pardavus elektrą, € per metus (45€/MWh)	144815,51	190837,00	226886,88
Pajamos pardavus šilumos energiją €/metus (28€/MWh)	522332,16	665931,59	677068,92
Viso pajamų, € per metus	667147,67	856768,60	903955,79
Pajamų išlaidų balansas, €	203441,68	216951,43	108421,49
Elektrinės atsipirkimo laikas (metais), įskaitant statybos metus	4,30	6,05	16,14

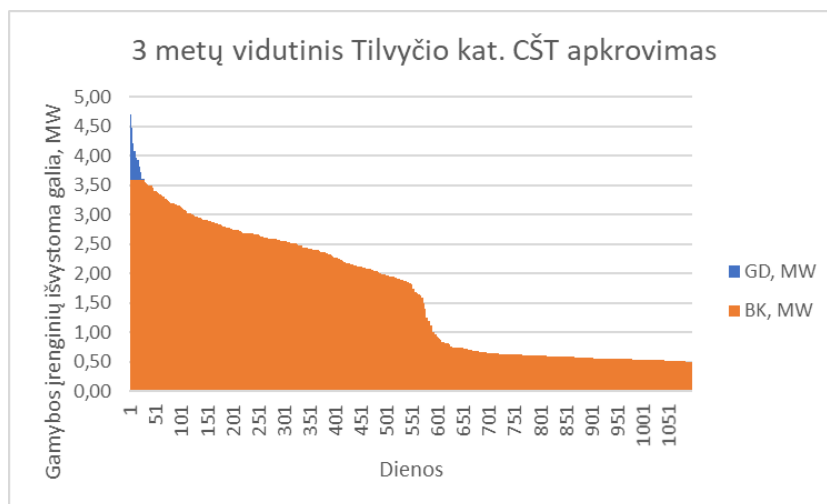
Siekiant nuspręsti, kuri elektrinė finansiškai labiau apsimoka reikia įvertinti elektrinių dabartinę grynąją vertę, kuri pateikta grafike. Iš pateiktų duomenų (priedas 4, 5, 6) nustatyta, kad 1 MWel elektrinės viso laikotarpio grynoji vertė tik apie 1,37 mln. €. 750 kW ir 500 kW elektrinių grynoji vertė eksploatacijos pabaigoje supanašėja, atitinkamai 3,74 mln. € ir 3,67 mln. €. Dėl panašių gryno projekto reikšmių, reikia įvertinti elektrinės išnaudojimo potencialą. Remiantis apkrovimų lentele nustatyta, kad 750 kW elektrinė net 3429 valandas per metus dirba 30% apkrovimu, o 500 kW elektrinė 3429 valandas dirba 45% apkrovimu. Taip pat šildymo sezono metu 750 kW elektrinė savo pilną galią su ekonomaizeriu išnaudoja 2478 valandas per metus, atitinkamai 500 kW elektrinė 4460 valandų per metus. Todėl, geriausias sprendimas statyti 500 kW ORC tipo elektrinę.



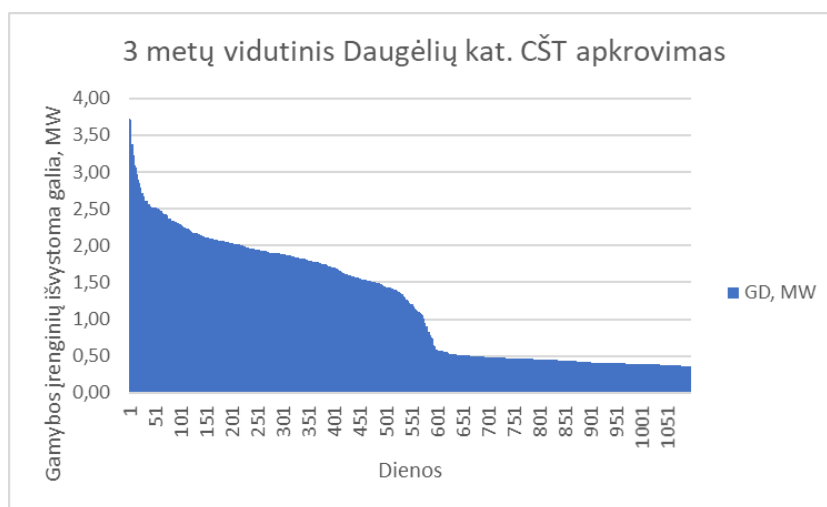
39 pav. 500 kW, 750 kW ir 1,5 MW ORC tipo elektrinių palyginamasis finansinis balansas 20 metų laikotarpiui

5. Situacija po modernizacijos

Situacija prieš modernizaciją pateikta 40 ir 41 paveiksluose. Tilvyčio katilinės diagramoje matosi, kad dujomis kūrenami įrenginiai užkuriami tik, kai viršijami biokuro katilų pajėgumai 3,589 MW, tokių dienų skaičius per trejus metus yra 20. Kitaip nei Tilvyčio katilinėje, Daugėlių katilinėje šiluma gaminama vien tik gamtinėmis dujomis.

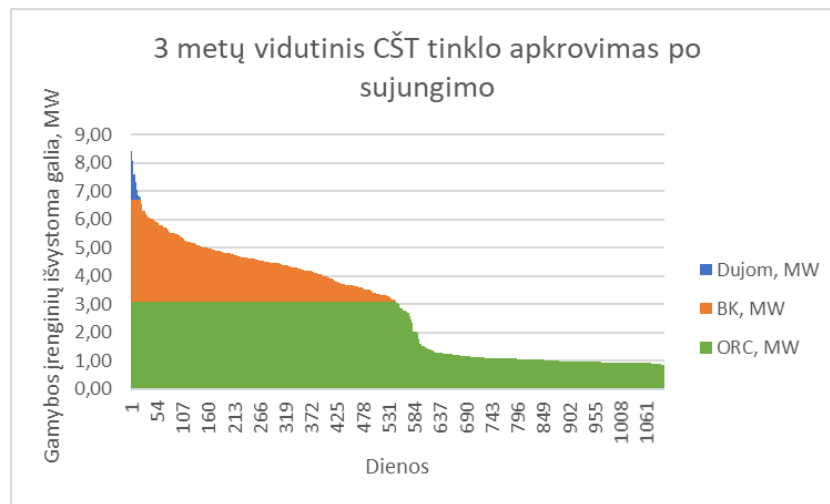


40 pav. Vidutinis šilumos tinklo apkrovimas dienos bėgyje Tilvyčio katilinėje



41 pav. Vidutinis šilumos tinklo apkrovimas dienos bėgyje Daugėlių katilinėje

Paveiksle 42 pateikta 3 metų situacija kuomet įdiegtas ORC įrenginys, o centralizuotos šilumos tiekimo sistemos sujungtos į bendrą tinklą. Pagal sumodeliuotą situaciją ne šildymo sezono metu dirbs tik 45% pajėgumu apkrauta ORC elektrinė. Šildymo sezono metu ORC elektrinė patenkins šilumos poreikį tinkluose iki 3 MW, viršijus ORC galią užkuriami esami 1 MW ir 2 MW biokuro vandens šildymo katilai. Vien biokuru bus patenkinamas net 6,5 MW šilumos poreikis ir tik labai retais atvejais, apie 20 dienų per 3 metus, užkuriami pikiniai gamtinės dujas deginantys įrenginiai.



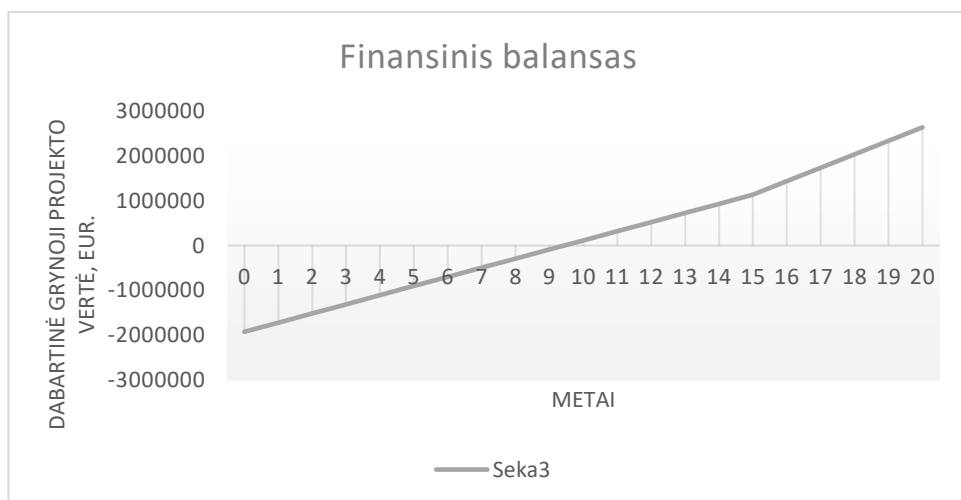
42 pav. Vidutinis šilumos tinklo apkrovimas dienos bėgyje po ORC įdiegimo

Lentelėje pateikti duomenys apie kuro pasiskirstymą prieš ir po modernizacijos 3 metų laikotarpiui. Prieš modernizaciją biokuro dalis Tilvyčio ir Daugėlių katilinėse sudaro tik 57% viso sudeginto kuro. Po modernizacijos biokuro dalis siekia beveik 100%, o gamtinių dujų suvartojimas sumažėjo nuo 32390 MWh iki 299 MWh. Toks pokytis naudingas gerinant aplinkosauginę šalies situaciją.

24 lentelė. Sudeginamo kuro dalies pokytis

Kuras	Prieš	Po
Biokuras MWh	43533,9	75624,1
Gamtinės dujos, MWh	32389,6	299,43
Biokuro dalis, %	57,34	99,61

Lentelėje pateikiamas visos modernizacijos balansas. Įvertinama investicija į šilumos tiekimo tinklus (1042492 Eur.) bei 500 kW ORC elektrinę (1750000 Eur.) su 50% paskola..



43 pav. Modernizacijos balansas

Nustatyta (Priedas 7), kad modernizacijos atsipirkimo laikotarpis 9,4 metai, o dabartinė grynoji projekto vertė 2,63 mln. Eur., vidinė gražos norma IRR=9%, pajamų ir išlaidų santykis B/C=1,4.

Žinoma, atsipirkimas ir grynoji vertė gali kisti, dėl galimai geresnių paskolos sąlygų bei didesnės paramos šilumos tinklų modernizacijai, be to galimas atvejis, kad parama bus skirta ir ORC elektrinės statyboms. Didelę įtaką turės ir konkurso paskelbimas rangovams, dėl ko modernizacijos kaštai gali mažėti.

6. Galima būsimos ORC kogeneracinės elektrinės įrengimo vieta

Planuojama ORC kogeneracinės elektrinės įrengimo vieta yra Tilvyčio katilinės teritorijoje, tai žymiai palengvina leidimų statyboms gavimą, nes naujo objekto šiluminė galia, kuro rūšis ir aplinkos tarša neviršys reikšmių, kurios nurodytos leidimuose vykdyti energijos gamybos veiklą.

Tilvyčio katilinės planas pateiktas 44 paveiksle. Mėlynai apibrėžto pastato plotas 560 m², jame šiuo metu įrengti dujomis kūrenami vandens šildymo katilai. Atsižvelgiant į tai, kad pastačius ORC kogeneracinę jėgainę dujomis kūrenamų įrenginių galia, per 3 metus, nesiekė 2 MW, galima svarstyti apie dalies jų demontavimą. Latvijoje, Kultigos mieste, esančios 0,7 MW ORC elektrinės užimamas plotas 600 m². Todėl, naujam 0,5 MW ORC įrenginiui vietos turėtų pakakti.



44 pav. Tilvyčio katilinės teritorija ir būsima vieta

Išvados

1. Išanalizavus esamą situaciją Kuršėnų mieste nustatyta, kad dirba keturios atskirus tinklus turinčios katilinės. Trys iš jų t. y. Daugėlių, Ventos ir Pavenčių yra pilnai automatizuotos, tik Tilvyčio katilinė dirba su budinčiu personalu. Automatizuotose katilinėse šilumos energija išgaunama deginant tik gamtines dujas, o Tilvyčio katilinėje 97% šilumos energijos pagaminta iš biokuro ir tik 3 % deginant gamtines dujas. Įvertinus tai, kad Tilvyčio ir Daugėlių katilinės yra mažai nutolusios viena nuo kitos ir veikia ištisus metus, nuspręsta sujungti jų šilumos tiekimo tinklus.
2. Atlikus hidraulinius ir terminių nuostolių skaičiavimus nustatyta, kad Tilvyčio ir Daugėlių katilinių šilumos tinklų sujungimas galimas. Padidinus tiekiamo šilumnešio slėgį iki 5 bar, optimizavus diametrus iš Tilvyčio katilinės bei nutiesus jungtį tarp tinklų užtikrinamas kokybiškas ir patikimas šilumos tiekimas vartotojams. Nuostoliai dėl nutiestos jungties padidėja 286,34 MWh ir sudaro 18,9% nuo pagamintos šilumos energijos.
3. Sumodeliavus situaciją po tinklų sujungimo nustatyta, kad metinis šilumos poreikis apie 25569 MWh, maksimalus šilumos galios poreikis prie lauko oro temperatūros -15 yra 8,42 MW. Vidutinis šildymo sezono apkrovimas 4,61 MW, ne šildymo sezono metu 1,05 MW.
4. Atliktas galimų kogeneracijos įrenginių techninis ekonominis vertinimas. Analizės rezultatai rodo, kad RC elektrinė neatsipirks iki techninio tarnavimo laiko, nes tokio tipo elektrinės kapitaliniai kaštai labai dideli, o turbinos efektyvumai priklauso nuo apkrovimo lygio. Norint, kad RC jėgainė atsipirktų ji turi dirbti ištisus metus pilnu apkrovimu. Tačiau, 500 kW_{el} ORC kogeneracinė elektrinė atsiperka per 4,3 metus, o dabartinė grynoji projekto vertė 3,67 mln. Eur. Todėl, rekomenduojama įrengti 500 kW ORC kogeneracinę elektrinę.
5. Sumodeliavus situaciją su ORC kogeneracine elektrine nustatyta, kad ORC įrenginys dirbs ištisus metus. Ne šildymo sezono metu ORC elektrinė dirbs 45% apkrovimu, dėl didelio lankstumo koeficiento elektros gamybos efektyvumas mažai pasikeis. Šildymo sezono metu ORC elektrinė su ekonomazeriu patenkins 3 MW šilumos poreikį, viršijus ši kiekį bus užkuriami esami 1 MW ir 2 MW galios biokuro vandens šildymo katilai, jei poreikis vis dar didesnis bus užkuriami dujas deginantys įrenginiai.
6. Modernizavus tinklą ir įdiegus kogeneraciją Kuršėnų mieste gamtinių dujų suvartojimas (vertinant Tilvyčio ir Daugėlių katilines) sumažėtų nuo 32389,6 MWh iki 299,43 MWh per metus.
7. Įvertinus visas modernizacijos projekto investicijas nustatyta, kad investicijos atsipirkimo laikas 9,4 metai, grynoji projekto vertė 2,63 mln. Eur., vidinė grąžos norma 9%, o pajamų ir išlaidų santykis 1,4. Galima teigti, kad projektas ekonomiškai naudingas.

Literatūros sąrašas

1. Šilumos ūkio šiaulių rajone specialusis planas.
<https://www.siauliuraj.lt/data/public/uploads/2019/12/siauliurajsprendiniai20120917.pdf>
(tikrinta 2021-05-19)
2. RSN 156-94 statybinė klimatologija
3. AB „Šiaulių energija“ šilumos gamybos šaltiniai.
<https://www.senergija.lt/silumos-gamybos-saltiniai/> (tikrinta 2021-05-19)
4. Pramoniniu būdu izoliuoti vamzdiniai.
https://www.lsta.lt/files/seminarai/120508_NEP%20seminaras/NEP%20zinynas%20E.pdf
(tikrinta 2021-05-19)
5. Vandens klampumas.
<https://www.de2.lt/naudinga-informacija/lentel%C4%97s/1921-vandens-kinetinis,-dinaminis-klampumas> (tikrinta 2021-05-19)
6. Šilumos tiekimo tinklų ir šilumos punktų įrengimo taisyklės.
<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.402279> (tikrinta 2021-05-19)
7. Šilumos tiekimo vamzdynuose patiriamų šilumos nuostolių nustatymo metodika.
<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/6f0f6b90cea711e59019a599c5cbd673?positionInSearchResults=3&searchModelUUID=f8623255-e76c-49c2-8da4-5278a663f246> (tikrinta 2021-05-19)
8. Šilumos tiekimo tinklų loviai.
<https://www.kaunogelzbetonis.lt/Produktas/siluminiu-kanalu-loviai/> (tikrinta 2021-05-19)
9. Elektrinių kapitalinių kaštų indeksas.
<https://fred.stlouisfed.org/series/PCU2211102211104> (tikrinta 2021-05-19)
10. Guercio A., Bini R. (2017). *Biomass-fired Organic Rankine Cycle combined heat and power systems*
11. Sylvan Quoilin, Martijn Van Den Broek, Sebastien Declayed, Pierre Dewallef, Vincent Lemort. (2013). *Techno-economic survey of Organic Rankine Cycle (ORC) systems*.
12. ORC ciklo supaprastinta schema.
<https://www.turboden.com/products/2463/orc-system> (tikrinta 2021-05-19)
13. Tartiere Th., Astolfi M. (2017). *A world overview of the Organic Rankine Cycle Market*.
14. ORC ciklo apibūdinimas.
<https://www.bios-bioenergy.at/en/electricity-from-biomass/orc-process.html> (tikrinta 2021-05-19)
15. Ingwald Obernberger, Peter Thonhofer, Erwin Reisenhofer. (2002). *Description and evaluation of the new 1,000 kW_{el} Organic Rankine Cycle process integrated in the biomass CHP plant in Lienz, Austria*
16. Ingwald Obernberger. (2003). *Biomasse-KWK auf basis des ORC-Prozesses-Vorstellung der EU-Demonstrationsprojekte Holzindustrie STIA/Admont and Fernheizkraftwerk Lienz (Osterreich)*
17. Arianna Sorrentino, Antonio M. Pantaleo, Niccolò LeBrun, Salvador Acha, Christos N. Markides, Giacobbe Braccio, Emanuele Fanelli, Sergio M. Camporeale. (2018). *Energy performance and profitability of biomass boilers in the commercial sector: A case study in the UK*

18. Villu Vares, Ülo Kask, Peeter Muiste, Tõnu Pihu, Sulev Soosaar.(2007). *Biokuro naudotojo žinynas*
19. Gimbutis G. Kajutis K. Krukoniš V. Pranckūnas A. Švenčianas P. (1993) *Šiluminė technika*
20. B. Vanslambrouck, I. Vankeirsbilck, M. van den Broek, S. Gusev, M. De Paepe (2012) *Efficiency Comparison between the Steam Cycle and the Organic Rankine Cycle for Small Scale Power Generation*
21. U. S. Environmental Protection Agency Combined Heat and Power Partnership. (2007). *Biomass Combined Heat and Power Catalog of Technologies*
22. Cortina M. (2006). *Flue Gas Condenser for Biomass Boilers*
23. Isabel Malico, Ricardo Nepomuceno Pereira, Ana Cristina Gonçalves, Adélia M.O. Sousa. (2019). *Current status and future perspectives for energy production from solid biomass in the European industry*
24. IEA-ETSAP and IRENA. (2015). *Biomass for heat and power*
25. Michael Welch. (2016). *Improving The Flexibility and Efficiency of Gas Turbine-Based Distributed Power Plant*
26. UAB „Sistela“. (2020). *Sustambinti statybos darbų kainų apskaičiavimai XXXVII*
27. Lemmens S. (2016). *Cost Engineering Techniques and Their Applicability for Cost Estimation of Organic Rankine Cycle System*
28. Valstybinė energetikos reguliavimo tarnyba (2020). Lietuvos elektros energetikos sistemos patikimumo įvertinimo ataskaita už 2019 metus
29. Rolandas Jonynas, Egidijus Puida, Robertas Poška, Linas Paukštaitis, Hussam Jouhara, Juozas Gudzinskas, Gintautas Miliauskas, Valdas Lukoševičius (2020). Renewables for district heating: The case of Lithuania
30. Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija (2020). Šiluminė technika.

Priedai

1 priedas. 500 kW RC elektrinės balansas

RC 500 kW										
Metai	Pajamos, Eur			Išlaidos, Eur					Balansas	
	Pajamos už elektrą	Pajamos už šilumą	Viso:	Investicija	Kuras	Eksplotavimo kaštai	Paskola	Viso:	Pelnas	Grynoji vertė
0				1500000				1500000	-1500000	-1500000
1	118069	538847	656916		299136	150000	164692	613828	43088	-1456912
2	118069	538847	656916		299136	150000	164692	613828	43088	-1413824
3	118069	538847	656916		299136	150000	164692	613828	43088	-1370736
4	118069	538847	656916		299136	150000	164692	613828	43088	-1327648
5	118069	538847	656916		299136	150000	164692	613828	43088	-1284560
6	118069	538847	656916		299136	150000	164692	613828	43088	-1241472
7	118069	538847	656916		299136	150000	164692	613828	43088	-1198384
8	118069	538847	656916		299136	150000	164692	613828	43088	-1155296
9	118069	538847	656916		299136	150000	164692	613828	43088	-1112208
10	118069	538847	656916		299136	150000	164692	613828	43088	-1069120
11	118069	538847	656916		299136	150000	164692	613828	43088	-1026032
12	118069	538847	656916		299136	150000	164692	613828	43088	-982944
13	118069	538847	656916		299136	150000	164692	613828	43088	-939856
14	118069	538847	656916		299136	150000	164692	613828	43088	-896768
15	118069	538847	656916		299136	150000	164692	613828	43088	-853680
16	118069	538847	656916		299136	150000		449136	207780	-645900
17	118069	538847	656916		299136	150000		449136	207780	-438120
18	118069	538847	656916		299136	150000		449136	207780	-230340
19	118069	538847	656916		299136	150000		449136	207780	-22560
20	118069	538847	656916		299136	150000		449136	207780	185220
									IRR=	1%
									Ts=	19,1
									B/C=	1,1

2 priedas. 750 kW RC elektrinės balansas

RC 750 kW										
Metai	Pajamos, Eur			Išlaidos, Eur					Balansas	
	Pajamos už elektrą	Pajamos už šilumą	Viso:	Investicija	Kuras	Eksploatavimo kaštai	Paskola	Viso:	Pelnas	Grynoji vertė
0				2250000				2250000	-2250000	-2250000
1	178197	801198	979395		458213	225000	247038	930251	49144	-2200856
2	178197	801198	979395		458213	225000	247038	930251	49144	-2151712
3	178197	801198	979395		458213	225000	247038	930251	49144	-2102569
4	178197	801198	979395		458213	225000	247038	930251	49144	-2053425
5	178197	801198	979395		458213	225000	247038	930251	49144	-2004281
6	178197	801198	979395		458213	225000	247038	930251	49144	-1955137
7	178197	801198	979395		458213	225000	247038	930251	49144	-1905993
8	178197	801198	979395		458213	225000	247038	930251	49144	-1856849
9	178197	801198	979395		458213	225000	247038	930251	49144	-1807706
10	178197	801198	979395		458213	225000	247038	930251	49144	-1758562
11	178197	801198	979395		458213	225000	247038	930251	49144	-1709418
12	178197	801198	979395		458213	225000	247038	930251	49144	-1660274
13	178197	801198	979395		458213	225000	247038	930251	49144	-1611130
14	178197	801198	979395		458213	225000	247038	930251	49144	-1561986
15	178197	801198	979395		458213	225000	247038	930251	49144	-1512843
16	178197	801198	979395		458213	225000		683213	296182	-1216661
17	178197	801198	979395		458213	225000		683213	296182	-920479
18	178197	801198	979395		458213	225000		683213	296182	-624297
19	178197	801198	979395		458213	225000		683213	296182	-328116
20	178197	801198	979395		458213	225000		683213	296182	-31934
									IRR=	0%
									Ts=	20,1
									B/C=	1,1

3 priedas. 1 MW RC elektrinės balansas

RC 1 MW										
Metai	Pajamos, Eur			Išlaidos, Eur					Balansas	
	Pajamos už elektrą	Pajamos už šilumą	Viso:	Investicija	Kuras	Eksploatavimo kaštai	Paskola	Viso:	Pelnas	Grynoji vertė
0				3000000				3000000	-3000000	-3000000
1	211912	850143	1062055		551307	300000	329384	1180691	-118636	-3118636
2	211912	850143	1062055		551307	300000	329384	1180691	-118636	-3237272
3	211912	850143	1062055		551307	300000	329384	1180691	-118636	-3355908
4	211912	850143	1062055		551307	300000	329384	1180691	-118636	-3474544
5	211912	850143	1062055		551307	300000	329384	1180691	-118636	-3593180
6	211912	850143	1062055		551307	300000	329384	1180691	-118636	-3711816
7	211912	850143	1062055		551307	300000	329384	1180691	-118636	-3830452
8	211912	850143	1062055		551307	300000	329384	1180691	-118636	-3949088
9	211912	850143	1062055		551307	300000	329384	1180691	-118636	-4067723
10	211912	850143	1062055		551307	300000	329384	1180691	-118636	-4186359
11	211912	850143	1062055		551307	300000	329384	1180691	-118636	-4304995
12	211912	850143	1062055		551307	300000	329384	1180691	-118636	-4423631
13	211912	850143	1062055		551307	300000	329384	1180691	-118636	-4542267
14	211912	850143	1062055		551307	300000	329384	1180691	-118636	-4660903
15	211912	850143	1062055		551307	300000	329384	1180691	-118636	-4779539
16	211912	850143	1062055		551307	300000		851307	210748	-4568791
17	211912	850143	1062055		551307	300000		851307	210748	-4358043
18	211912	850143	1062055		551307	300000		851307	210748	-4147295
19	211912	850143	1062055		551307	300000		851307	210748	-3936547
20	211912	850143	1062055		551307	300000		851307	210748	-3725799
									IRR=	-10%
									Ts=	37,7
									B/C=	0,9

4 priedas. 500 kW ORC elektrinės balansas

ORC 500 kW													
Metai	Pajamos, Eur			Išlaidos, Eur								Balansas	
	Pajamos už elektrą	Pajamos už šilumą	Viso:	Investicija	Kuras	Personalias	Aptarnavimas	ORC pridai	Kita	Paskola	Viso:	Pelnas	Grynoji vertė
0				875000							875000	-875000	-875000
1	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	-671558
2	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	-468117
3	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	-264675
4	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	-61233
5	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	142208
6	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	345650
7	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	549092
8	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	752533
9	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	955975
10	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	1159417
11	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	1362859
12	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	1566300
13	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	1769742
14	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	1973184
15	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	2176625
16	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250		367636	299512	2476137
17	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250		367636	299512	2775649
18	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250		367636	299512	3075161
19	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250		367636	299512	3374673
20	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250		367636	299512	3674185
												IRR=	23%
												Ts=	4,3
												B/C=	1,4

5 priedas. 750 kW ORC elektrinės balansas

ORC 750 kW													
Metai	Pajamos, Eur			Išlaidos, Eur								Balansas	
	Pajamos už elektrą	Pajamos už šilumą	Viso:	Investicija	Kuras	Personalias	Aptarnavimas	ORC pridai	Kita	Paskola	Viso:	Pelnas	Grynoji vertė
0				1312500							1312500	-1312500	-1312500
1	190837	665932	856769		400962	16000	52500	7875	18375	144105	639817	216951	-1095549
2	190837	665932	856769		400962	16000	52500	7875	18375	144105	639817	216951	-878597
3	190837	665932	856769		400962	16000	52500	7875	18375	144105	639817	216951	-661646
4	190837	665932	856769		400962	16000	52500	7875	18375	144105	639817	216951	-444694
5	190837	665932	856769		400962	16000	52500	7875	18375	144105	639817	216951	-227743
6	190837	665932	856769		400962	16000	52500	7875	18375	144105	639817	216951	-10791
7	190837	665932	856769		400962	16000	52500	7875	18375	144105	639817	216951	206160
8	190837	665932	856769		400962	16000	52500	7875	18375	144105	639817	216951	423111
9	190837	665932	856769		400962	16000	52500	7875	18375	144105	639817	216951	640063
10	190837	665932	856769		400962	16000	52500	7875	18375	144105	639817	216951	857014
11	190837	665932	856769		400962	16000	52500	7875	18375	144105	639817	216951	1073966
12	190837	665932	856769		400962	16000	52500	7875	18375	144105	639817	216951	1290917
13	190837	665932	856769		400962	16000	52500	7875	18375	144105	639817	216951	1507869
14	190837	665932	856769		400962	16000	52500	7875	18375	144105	639817	216951	1724820
15	190837	665932	856769		400962	16000	52500	7875	18375	144105	639817	216951	1941771
16	190837	665932	856769		400962	16000	52500	7875	18375		495712	361057	2302828
17	190837	665932	856769		400962	16000	52500	7875	18375		495712	361057	2663885
18	190837	665932	856769		400962	16000	52500	7875	18375		495712	361057	3024942
19	190837	665932	856769		400962	16000	52500	7875	18375		495712	361057	3385999
20	190837	665932	856769		400962	16000	52500	7875	18375		495712	361057	3747056
												IRR=	16%
												Ts=	6,0
												B/C=	1,3

6 priedas. 1 MW ORC elektrinės balansas

ORC 1 MW													
Metai	Pajamos, Eur			Išlaidos, Eur								Balansas	
	Pajamos už elektrą	Pajamos už šilumą	Viso:	Investicija	Kuras	Personalias	Aptarnavimas	ORC pridai	Kita	Paskola	Viso:	Pelnas	Grynoji vertė
0				1750000							1750000	-1750000	-1750000
1	226887	677069	903956		482394	16000	70000	10500	24500	192141	795534	108421	-1641579
2	226887	677069	903956		482394	16000	70000	10500	24500	192141	795534	108421	-1533157
3	226887	677069	903956		482394	16000	70000	10500	24500	192141	795534	108421	-1424736
4	226887	677069	903956		482394	16000	70000	10500	24500	192141	795534	108421	-1316314
5	226887	677069	903956		482394	16000	70000	10500	24500	192141	795534	108421	-1207893
6	226887	677069	903956		482394	16000	70000	10500	24500	192141	795534	108421	-1099471
7	226887	677069	903956		482394	16000	70000	10500	24500	192141	795534	108421	-991050
8	226887	677069	903956		482394	16000	70000	10500	24500	192141	795534	108421	-882628
9	226887	677069	903956		482394	16000	70000	10500	24500	192141	795534	108421	-774207
10	226887	677069	903956		482394	16000	70000	10500	24500	192141	795534	108421	-665785
11	226887	677069	903956		482394	16000	70000	10500	24500	192141	795534	108421	-557364
12	226887	677069	903956		482394	16000	70000	10500	24500	192141	795534	108421	-448942
13	226887	677069	903956		482394	16000	70000	10500	24500	192141	795534	108421	-340521
14	226887	677069	903956		482394	16000	70000	10500	24500	192141	795534	108421	-232099
15	226887	677069	903956		482394	16000	70000	10500	24500	192141	795534	108421	-123678
16	226887	677069	903956		482394	16000	70000	10500	24500		603394	300562	176884
17	226887	677069	903956		482394	16000	70000	10500	24500		603394	300562	477447
18	226887	677069	903956		482394	16000	70000	10500	24500		603394	300562	778009
19	226887	677069	903956		482394	16000	70000	10500	24500		603394	300562	1078571
20	226887	677069	903956		482394	16000	70000	10500	24500		603394	300562	1379133
												IRR=	5%
												Ts=	16,1
												B/C=	1,1

7 priedas. 500 kW ORC elektrinės + tinklų rekonstrukcija balansas

ORC 500 kW + tinklai													
Metai	Pajamos, Eur			Išlaidos, Eur								Balansas	
	Pajamos už elektrą	Pajamos už šilumą	Viso:	Investicija	Kuras	Personalias	Aptarnavimas	ORC pridai	Kita	Paskola	Viso:	Pelnas	Grynoji vertė
0				1917492							1917492	-1917492	-1917492
1	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	-1714050
2	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	-1510609
3	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	-1307167
4	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	-1103725
5	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	-900284
6	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	-696842
7	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	-493400
8	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	-289959
9	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	-86517
10	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	116925
11	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	320366
12	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	523808
13	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	727250
14	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	930692
15	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250	96070	463706	203442	1134133
16	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250		367636	299512	1433645
17	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250		367636	299512	1733157
18	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250		367636	299512	2032669
19	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250		367636	299512	2332181
20	144816	522332	667148		299136	16000	35000	5250	12250		367636	299512	2631693
												IRR=	9%
												Ts=	9,4
												B/C=	1,4