VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

Karolis Pladas

KVARTALO/OBJEKTO APRŪPINIMO ŠILUMINE ENERGIJA VARIANTŲ ANALIZĖ

ANALYSIS OF VARIANTS OF HEAT SUPPLY FOR A DISTRICT/OBJECT

Baigiamasis magistro darbas

Energijos inžinerijos ir planavimo studijų programa, valstybinis kodas ***621E30003***
Energijos inžinerijos specializacija
Energetikos ir termoinžinerijos mokslo kryptis

Vilnius, 2014

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

_____
(Parašas)

_____
(Vardas, pavardė)

_____
(Data)

Karolis Pladas

KVARTALO/OBJEKTO APRŪPINIMO ŠILUMINE ENERGIJA VARIANTŲ ANALIZĖ

ANALYSIS OF VARIANTS OF HEAT SUPPLY FOR A DISTRICT/OBJECT

Baigiamasis magistro darbas

Energijos inžinerijos ir planavimo studijų programa, valstybinis kodas ***621E30003***

Energijos inžinerijos specializacija

Energetikos ir termoinžinerijos mokslo kryptis

Vadovas doc. dr. Giedrius Šiupšinskas _____ _____
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Lietuvių kalbos konsultantas lekt. Regina Žukienė _____ _____
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Vilnius, 2014

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

_____

(parašas)

Vytautas Martinaitis
(vardas, pavardė)

2014 _____mėn. __ d.

Energijos inžinerija studijų kryptis

Energijos inžinerija ir planavimas studijų programa,

valstybinis kodas ***621E30003***

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS
.....Nr. .....
Vilnius

Studentui (ei) Karolis Pladas
(vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Kvartalo/objekto aprūpinimo šilumine energija variantų analizė

Patvirtinta *2012 m. lapkričio 08 d.* Dekano įsakymu Nr. 342 ap

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas *2014 m. birželio mėn. 03 d.*

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Apibrėžti tyrimų srities aktualumą, suformuluoti problemą, tikslą ir spręstinus uždavinius. Atlikti literatūros apžvalgą susipažinti su tyrimo kryptimi, didesnis dėmesys skiriamas kogeneracinių jėgainių integravimo į centralizuotą šilumos ūkį integravimo galimybėms. Pasirinkti analizuojamą objektą, įvertinti energijos poreikį, pasiūlyti ir išnagrinėti kelis galimus kvartalo aprūpinimo energija variantus kai įvertinami skirtingi parduodamos elektros į tinklą tarifai. Gautus rezultatus palyginti tarpusavyje bei pasiūlyti geriausią pagal analizuojamus kriterijus variantą. Pagal pasirinktus kriterijus atlikti jautrumo analizę. Padaryti išsamias išvadas atsižvelgiant į tyrimo metu gautus rezultatus. Darbo rezultatus paskelbti mokslinėje konferencijoje.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai: …… *lekt. R. Žukienė*
..……
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Vadovas ..... dr. Giedrius Šiupšinskas
(parašas) (Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

……..
(parašas)

……..
(vardas, pavardė)

……..……...
(data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Pastatų energetikos katedra

ISBN ISSN
Egz. sk. .....
Data .....-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Energijos inžinerijos ir planavimo** programos magistro baigiamasis darbas 4 (energijos inžinerija)

Pavadinimas	**Kvartalo/objekto aprūpinimo šilumine energija variantų analizė**
Autorius	**Karolis Pladas**
Vadovas	**doc. dr. Giedrius Šiupšinskas**

Kalba:
lietuvių

Anotacija

Magistro baigiamajame darbe aptariamas Lietuvos ir Europos Sąjungos šalių energetikos sektorius. Apžvelgiamos direktyvos, strategijos, plėtros planai bei teisės aktai skirti energetikos plėtojimui šalyje. Tiriamuoju objektu pasirenkama Trakų Vokės katilinė, kuri aprūpina šiluma kvartalą degindama gamtines dujas vandens šildymo katiluose. Šiame darbe yra nagrinėjamos penkios alternatyvos: kogeneratorius ir dujiniai katilai, kogeneratorius su akumuliacine talpa ir dujiniais katilais, kogeneratorius su akumuliacine talpa ir biokuro katilais, kogeneratorius su akumuliacine talpa ir šilumos siurbliu, medienos dujofikavimo reaktorius su kogeneratoriumi ir vandens šildymo katilais. Alternatyvos yra nagrinėjamos dviem skirtingais scenarijais, kai kogeneratoriaus pagaminta elektra parduodama pagal VIAP tarifus ir pagal „Nord pool spot" Lietuva biržos kainas. Tiriamasis darbas atliekamas naudojantis „energyPRO" modeliavimo programa. Atlikus modeliavimą, sistemų veikimas įvertinamas pirminės energijos suvartojimu, ekologiniu ir ekonominiu požiūriais. Atliekama jautrumo analizė keičiant ekonominius rodiklius bei vertinant šilumos gamybą be kogeneracijos. Pagal gautus rezultatus suformuluojamos išvados.

Darbą sudaro 10 skyrių. Apimtis – 79 psl. teksto be priedų, 47 iliustracijų, 10 lentelių, 74 bibliografiniai šaltiniai.

Prasminiai žodžiai: aukštatemperatūris šilumos siurblys, biokuras, dujofikavimas, „energyPRO", kogeneracija, „Nord pool spot"

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Building Energetics

ISBN ISSN
Copies No. .....
Date .....-.....-.....

Master Degree Studies **Energy Engineering and Planning** study programme Master Graduation Thesis 4 (Energy Engineering)

Title	**Analysis of Variants of Heat Supply for a District/Object**
Author	**Karolis Pladas**
Academic supervisor	**Assoc Prof Dr Giedrius Šiupšinskas**

Thesis language:
Lithuanian

Annotation

In this master thesis, Lithuanian and European Union's countries energy sector was discussed. An overview was made on EU directives, Lithuanian strategies, development plans and legalizations. Investigation object was Trakų Vokė boiler house with its district heating system. In the boiler house heat produced by combusting natural gas. During the research five alternatives were analysed: cogeneration and heat only boilers, cogeneration with thermal storage and heat only boilers, cogeneration with thermal storage and biomass heat only boilers, cogeneration with thermal storage and high temperature heat pump, biomass gasification reactor with cogeneration and heat only boilers. Alternatives are analysed based on two scenarios, first on when cogeneration is working by fixed electricity tariffs and second when cogeneration is working by liberalized electricity market conditions. Thesis carried out using "energyPRO" modelling software. All modelled systems are assessed by techno-economic and ecological approach. A sensitivity analysis was made by changing economical values and assessing systems without cogeneration. Based on the results conclusion was formed.

Thesis includes 10 chapters. Size of work – 79 pages excluding appendixes, 47 pictures, 10 tables, 74 reference sources.

Keywords: high temperature heat pump, biomass, gasification, "energyPRO", cogeneration, "Nord pool spot"

Vilniaus Gedimino technikos universiteto egzaminų, sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo bei gynimo organizavimo tvarkos aprašo 2011-2012 m. m.
1 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Karolis Pladas, 20084330
(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)
Aplinkos inžinerijos fakultetas
(Fakultetas)
Energijos inžinerija ir planavimas, ENmf-12
(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO) SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2014 m. gegužės 29 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Kvartalo/objekto aprūpinimo šilumine energija variantų analizė" patvirtintas 2012 m. lapkričio 8 d. dekano potvarkiu Nr. 342ap, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Parenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: Regina Žukienė. Mano darbo vadovas doc. dr. Giedrius Šiupšinskas.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).

(Parašas) Karolis Pladas (Vardas ir pavardė)

Turinys

Įvadas ... 13

1. Pasirinktos tyrimo krypties būsenos apibūdinimas ... 16

2. Mokslinės literatūros apžvalga ... 18

2.1. Baigiamieji magistro darbai ... 18

2.2. Moksliniai straipsniai ... 19

3. Lietuvos elektros rinka ... 21

3.1. Viešuosius interesus atitinkančios paslaugos ... 21

3.2. Realaus laiko rinka „Nord Pool Spot“ Lietuva ... 23

4. Šalies alternatyvos importuojamai pirminei energijai ... 24

4.1. Suskystintos gamtinės dujos ... 25

4.2. Atsinaujinantys energijos šaltiniai ... 25

5. Aprūpinimo energija technologijos ... 28

5.1. Kogeneracija ... 28

5.2. Biokuro katilai ... 32

5.3. Aukštatemperatūriai šilumos siurbliai ... 37

5.4. Dujofikavimas ... 40

6. Modeliavimo priemonės pasirinkimas ... 42

7. Tyrimui reikalingų duomenų rinkimas ir sisteminimas ... 43

7.1. Nagrinėjamas objektas ... 43

7.2. Vietovės klimato duomenys ... 44

7.3. Šilumos poreikis ... 44

7.4. Elektros rinkos ... 47

7.5. Objekto energijos gamybos įrenginiai ... 48

7.5.1. Dujiniai vandens šildymo katilai ... 49

7.5.2. Vidaus degimo variklis ... 49

7.5.3. Akumuliacinė talpa ... 49

7.5.4. Biokuro katilai 49
7.5.5. Aukštatemperatūris šilumos siurblys 50
7.5.6. Medienos dujofikatorius 50
8. Naujų energiją generuojančių sistemų modeliavimas 50
8.1. Modeliavimo scenarijai, sistemų techninės bei ekonominės prielaidos 50
8.2. Modeliuojamų sistemų principinės schemos ir veikimo strategijos 51
8.3. Modeliavimo rezultatai 56
9. Nagrinėtų sistemų vertinimas 63
9.1. Pirminės energijos vertinimas 63
9.2. Ekologinis vertinimas 65
9.3. Ekonominis vertinimas 67
10. Jautrumo analizė 70
Išvados ir rekomendacijos 73
Literatūros sąrašas 75

Paveikslų sąrašas

1 pav. NPS rinkos sausio mėnesio apžvalga [34] 23
2 pav. Lietuvos geoterminio lauko rajonavimas [41] 27
3 pav. Vidaus degimo variklio principinė schema [37] 29
4 pav. Skagen kogeneracinė jėgainė su akumuliacine talpa [48] 30
5 pav. Skagen kogeneracinės jėgainės principinė schema [48] 31
6 pav. Principinė biokuro katilinės schema su ardynine pakura ir kondensaciniu ekonomaizeriu [52] 34
7 pav. Kondensacinio ekonomaizerio šiluminė galia, esant 10 MW katilo apkrovimui [52] ...35
8 pav. Naujosios Vilnios biokuro katilų efektyvumas 35
9 pav. Aukštų temperatūrų šilumos siurblių principinė panaudojimo kogeneracinėje jėgainėje schema [54 interpretuota autoriaus] 36
10 pav. R744 (CO_2) p-h diagrama [55] 38
11 pav. Lygiagrečių srautų dujofikavimo reaktorius [38] 40
12 pav. Harboøre kogeneracinės jėgainės principinė schema [56] 41
13 pav. Trakų Vokės centralizuotų šilumos tinklų schema [65] 42
14 pav. Karšto vandens poreikis gyvenamuosiuose pastatuose 44
15 pav. Karšto vandens poreikis darželyje ir mokykloje 45
16 pav. Karšto vandens poreikis darželyje ir mokykloje metų bėgyje 45
17 pav. Kvartalo šiluminės energijos poreikis nagrinėjamu laikotarpiu 46
18 pav. Pirmojo 2014 metų ketvirčio kainų svyravimai elektros biržoje 47
19 pav. Apskaičiuotų kainų svyravimai NPS biržoje metų bėgyje 47
20 pav. Principinė bazinio (B) varianto modeliuojama schema su dujiniais vandens šildymo katilais 50
21 pav. Principinė alternatyvos Nr. 1 modeliuojama schema 51
22 pav. Principinė alternatyvos Nr. 2 modeliuojama schema 51
23 pav. Principinė alternatyvos Nr. 3 modeliuojama schema 51
24 pav. Principinė alternatyvos Nr. 4 modeliuojama schema 52
25 pav. Principinė alternatyvos Nr. 5 modeliuojama schema 52
26 pav. Veikimo strategija S2A1 ir S2A2 variantams 53
27 pav. Veikimo strategija S2A3 variantui 54
28 pav. Veikimo strategija S2A4 variantui 55
29 pav. Veikimo strategija S2A5 variantui 55
30 pav. Bazinio varianto šilumos gamyba per metus 56
31 pav. S1A1 varianto šilumos gamyba per metus 57

32 pav. S1A2 varianto pagamintas šilumos gamyba per metus 57
33 pav. S1A3 varianto šilumos gamyba per metus 58
34 pav. S1A4 varianto šilumos gamyba per metus 58
35 pav. S1A5 varianto šilumos gamyba per metus 59
36 pav. S2A1 varianto šilumos gamyba per metus 59
37 pav. S2A2 varianto šilumos gamyba per metus 60
38 pav. S2A3 varianto šilumos gamyba per metus 60
39 pav. S2A4 varianto šilumos gamyba per metus 61
40 pav. S2A5 varianto šilumos gamyba per metus 62
41 pav. Kogeneratoriaus pagaminti energijos kiekiai ir veikimo valandų dalis metuose 63
42 pav. Sistemų palyginimas pagal pirminės ir antrinės energijos kiekius 63
43 pav. Sistemų CO_2 emisijų vertinimas 66
44 pav. Nagrinėjamų variantų pinigų srautai 69
45 pav. Diskonto normos kitimo vertinimas 70
46 pav. Investicijų dydžio kitimo vertinimas 71
47 pav. Subsidijos dydžio kitimo vertinimas 72

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Šaltnešio tipo išnaudojimo potencialas [46 interpretuota autoriaus].....38
2 lentelė. Vidutinės šildymo sezono temperatūros, ^{o}C 44
3 lentelė. Nagrinėjamo kvartalo duomenys.....44
4 lentelė. Techninės ir ekonominės prielaidos 51
5 lentelė. Kogeneratoriaus veikimo rezultatai 63
6 lentelė. Šilumos siurblio suvartota pirminė energija 64
7 lentelė. Nagrinėjamų sistemų pirminės energijos vertinimo rezultatai 64
8 lentelė. Nagrinėjamų sistemų CO2 emisijų vertinimas 66
9 lentelė. Ekonominio vertinimo rezultatai 68
10 lentelė. Jautrumo analizė be kogeneracijos 71

Santrumpos

AEI - atsinaujinantys energijos ištekliai

AT - akumuliacinė talpa

BK - biokuro katilai

CŠT - centralizuoti šilumos tinklai

DK - dujinis vandens šildymo katilas

GDV - grynoji dabartinė vertė

MD - medienos dujofikavimo reaktorius

NENS - Nacionalinė energetikos nepriklausomybės strategija

NPS - elektros energijos birža "Nord pool spot" Lietuva

S1A1 - dujiniai vandens šildymo katilai ir dujinis kogeneratorius, veikiantis pagal VIAP rinkos sąlygas

S1A2 - dujiniai vandens šildymo katilai ir dujinis kogeneratorius su akumuliacine talpa, veikiantis pagal VIAP rinkos sąlygas

S1A3 - biokuro vandens šildymo katilai ir dujinis kogeneratorius su akumuliacine talpa, veikiantis pagal VIAP rinkos sąlygas

S1A4 - šilumos siurbliai ir dujinis kogeneratorius su akumuliacine talpa, veikiantis pagal VIAP rinkos sąlygas

S1A5 - medienos dujofikavimo reaktorius, vandens šildymo katilais ir kogeneratorius su akumuliacine talpa, veikiantis pagal VIAP rinkos sąlygas

S2A1 - dujiniai vandens šildymo katilai ir dujinis kogeneratorius, veikiantis pagal NPS rinkos sąlygas

S2A2 - dujiniai vandens šildymo katilai ir dujinis kogeneratorius su akumuliacine talpa, veikiantis pagal NPS rinkos sąlygas

S2A3 - biokuro vandens šildymo katilai ir dujinis kogeneratorius su akumuliacine talpa, veikiantis pagal NPS rinkos sąlygas

S2A4 - šilumos siurbliai ir dujinis kogeneratorius su akumuliacine talpa, veikiantis pagal NPS rinkos sąlygas

S2A5 - medienos dujofikavimo reaktorius, vandens šildymo katilai ir kogeneratorius su akumuliacine talpa, veikiantis pagal NPS rinkos sąlygas

SGD - suskystintų dujų terminalas

ŠS - šilumos siurbliai

VDV - vidaus degimo variklis

VGN - vidinė grąžos norma

VIAP - viešuosius interesus atitinkančios paslaugos

Įvadas

Energija yra žmonijos ekonominės plėtros pagrindas. Be energijos neįmanoma pagerinti visuomenės gyvenimo, todėl vystantis šalims energijos poreikiai didėja. Didžiąją dalį suvartojamos pirminės energijos sudaro iškastinis kuras, kuris yra baigtinis ir nepaliaujamai senka, didėjant poreikiams kuro atsargos senka greičiau, tuo pačiu kyla ir kuro kainos. Augančios kainos turi neigiamą įtaką valstybės ekonomikai, o tuo pačiu ir žmonių socialinei gerovei.

Dar viena problema yra kasmet išmetami į aplinką dideli kiekiai teršalų. Tai turi didelę įtaką globalinei klimato kaitai bei padažnėjusioms gamtos stichinėms nelaimėms. Didėjant energijos suvartojimai atitinkamai didės ir į aplinką išmetamų teršalų kiekiai.

Šioms problemoms spręsti ir visuomenės tvariam vystymuisi užtikrinti nėra kitos alternatyvos kaip didinti energijos vartojimo (gamybos) efektyvumą bei stengtis naudoti alternatyvas iškastiniam kurui – atsinaujinančius energijos šaltinius.

Problematika, tikslai ir uždaviniai

Lietuvoje 2012 metais pirminės energijos sąnaudos siekė 84,89 TWh, tame tarpe 35,9% gamtinės dujos ir 34,2% naftos produktai [1,2]. Pagal Lietuvos šilumos tiekėjų asociacijos (LŠTA) 2012 metų ataskaitą šalies centralizuotų šilumos tinklų sistemose buvo pagaminta 9,62 TWh šiluminės energijos ir 1,07 TWh elektros energijos. Šio energijos kiekio gamybą sudaro 68,2 % gamtinių dujų suvartojimas [4] Lietuvos priklausomybė nuo importuojamo iškastinio kuro ne iš ES šalių yra 72,8% ir viršija ES vidurkį, kuris yra 54,1% [3]. Esant didelei priklausomybei nuolat augančios naftos ir dujų kainos daro neigiamą įtaką šalių ekonomikai, įmonėms, žmonėms.

Norinti mažinti priklausomybę nuo didelio pirminės energijos suvartojimo reikia didinti energijos efektyvumą tiek gamybos, tiek galutinio vartotojo posistemėje. Siekiant šio tikslo, suinteresuotos turi būti energijos gamintojų bei vartotojų grupės. Vadovaujantis ES direktyva dėl energijos vartojimo efektyvumo [7,8] Lietuva yra įsipareigojusi prisidėti prie Europos Sąjungos tikslo sumažinti galutinį energijos suvartojimą 2020 metais iki 17,14 mlrd. TWh. Taip pat prie energijos efektyvumo skatinimo yra priskiriama atsinaujinančių energijos šaltinių (AEI) panaudojimas energetikos sektoriuje. Šiuo metu Lietuvoje yra suvartojama 18,3 % AEI galutiniame energijos balanse [2], iki 2020 metų yra įsipareigojusi, kad galutiniame balanse bus suvartojama 23 % AEI [9].

Ne ką mažiau svarbesnė problema yra vis didėjantis aplinkos teršimas deginant iškastinį kurą ir šios priežasties pasekmės klimato kaita. Vystantis šalims ir didėjant energijos suvartojimams proporcingai didėja ir CO_2, NO_2 dujų ir kitų kenksmingų medžiagų išmetimai į atmosferą. Didžioji dalis išmetamų teršalų tenka elektros, šilumos gamybai bei transportui.

Lietuvoje pagal 2010 metų duomenis į atmosferą buvo išmesta 12,85 mln. tonų CO_2 ekv., iš kurių 62,5% sudarė energetikos sektorius [5]. Lyginant su ES šalių bendru teršalų išmetamu kiekiu,

kuris 2010 metais buvo 4 720,9 mln. tonų CO_2 ekv., Lietuvos emisijos sudaro 0,5% visų ES išmetamų teršalų. Vertinant pagal emisijas žmogui, Lietuvoje 6,6 t CO_2 ekv. /žmogui, o palyginimui Latvijoje 5,4 t CO_2 ekv. /žmogui per metus. [6] Numatyta, kad iki 2020 metų turi būti 20 % sumažintos emisijos, ES valstybėse lyginant su 2005 metais. Nepasiekus šio tikslo yra numatyta, kad teks valstybėms pirkti atmosferos taršos leidimus (ATL) rinkoje. Pasiekus rezultatus geresnius nei yra reikalaujama, galima bus parduoti neišnaudotus ATL.

Siekiant įvykdyti savo įsipareigojimus Lietuva yra parengusi Nacionalinę energetikos nepriklausomybės strategija (NENS) [11], kuri apibrėžia šalies energetikos sektoriaus raidos planus. Strategijoje yra numatyta iki 2020 metų užtikrinti šalies energetinę nepriklausomybę, 2030 metais užtikrinti konkurencingą ir darnų energetikos sektorių ir iki 2050 metų išvystyti darnų energetikos sektorių.

Pagrindiniai numatyti tikslai NENS šilumos energetikos sektoriui yra energijos vartojimo efektyvumo didinimas bei atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimas centralizuotuose šilumos tinkluose. Siekiant didinti pirminės energijos vartojimo efektyvumą gamyboje yra numatyta skatinti kogeneracijos plėtrą iš atsinaujinančių energijos šaltinių.

Taip pat strategijoje yra atsižvelgta į ES energetikos trečiąjį paketą, kuris apibrėžia tai, kad visos energijos šaltinių rinkos turi būti liberalizuotos. Vienas iš svarbiausių ES tikslų yra sukurti vienodas ir skaidrias konkurencines sąlygas visiems elektros gamintojams, tiekėjams ir vartotojams tam, kad elektra vartotojams būtų tiekiama maksimaliai efektyviai ir pigiai. Šiuo metu Lietuvoje elektra yra prekiaujama dviem būdais, rinkoje ir fiksuotais tarifais pagal dvišales sutartis. [12] Esant prekybai fiksuotais tarifais kogeneracijos plėtra kaip numatyta NENS yra galima be jokių suvaržymų, tačiau esant liberaliai rinkai, kurios kainos svyruoja dienos bėgyje, įrenginio darbas yra apribojamas superkamos elektros kainos [13]. Esant tokiai rinkai kogeneracijos plėtra gali būti apribota, dėl darbo su pertrūkiais. Siekiant efektyviai panaudoti kogeneraciją kvartalo šilumos aprūpinime reikia analizuoti sistemų derinius pagal elektros rinkos ir šilumos poreikio apribojimus.

Tikslas. Išanalizuoti sistemų, su kogeneracija, panaudojimo perspektyvas, aprūpinant kvartalą šiluma, esant skirtingoms elektros rinkos sąlygoms.

Uždaviniai. Siekiant įgyvendinti užsibrėžtus tikslus formuluojami uždaviniai:

1. Atlikti literatūros apžvalgą susipažįstant su tyrimo kryptimi, technologijomis bei jų panaudojimu kogeneracinėse jėgainėse. Rinkti ir sisteminti duomenis, vėliau juos panaudojant atliekamam tyrimui;
2. Apžvelgti ir pasirinkti tyrimo metodo bei modeliavimo priemonių;
3. Aprašyti ir aptarti nagrinėjamą objektą, jo šilumos ir elektros poreikius bei jų kitimą laike;

4. Parinkti energiją generuojančių technologijų derinius objekto poreikiams užtikrinti, sumodeliuoti jų darbą ir aptarti gautus rezultatus;
5. Gautus rezultatus išnagrinėti energiniu, ekonominiu ir ekologiniu požiūriu bei pateikti išvadas.

Tiriamojo darbo naujumas ir aktualumas yra tas, kad remiantis šiuo metu galiojančiais energetikos teisės aktais ir šiuo metu Lietuvoje veikiančiomis elektros rinkos sąlygomis yra nagrinėjamos kogeneracijos plėtros galimybės užtikrinant kuo didesnį šilumos poreikį metuose. Tuo pačiu siekiant įgyvendinti valstybės darnaus vystymosi tikslus.

Autorius: Karolis Pladas

1. Pasirinktos tyrimo krypties būsenos apibūdinimas

Patalpos mikroklimatas gali būti sukuriamas įvairiomis aprūpinimo energija sistemomis (elektra ar šiluma), kurių veikimas reikalauja vienaip ar kitaip tiekiamos pirminės energijos. Nuosekliai termodinamiškai analizuojant patalpų šildymo energijos poreikius, reikia atsižvelgti į visus energijos transformavimo procesus nuo pirminės energijos iki galutinės gaunamos ir panaudotos šilumos. Aprūpinimo energija sistemos apima visus įrenginius, kurie naudojami: pirminei energijai paversti į šilumą, galimiems tarpiniams transformavimams atlikti, šilumai transportuoti, jos sklaidai bei šiems procesams tinkamai reguliuoti. Prie tokių pirmiausia galima priskirti šilumos gamybos procesų visumą, atskirus komponentus - katilus, šilumokaičius, kompresorius, turbinas ir pan.

Pastaruoju metu vis daugiau dėmesio skiriama tradicinės aprūpinimo šiluma sistemos termodinaminio įvertinimo metodikai, tiesiogiai siejamai su darnaus vystymosi principais.

Aprūpinimo energija sistemų veikimui reikalinga pirminė energija, kilmės požiūriu ją sudaro:

- iškastinis kuras – nafta, gamtinės dujos, akmens anglys, branduolinis kuras, durpės bei gaminiai iš jų;
- geofizinė energija – saulės ir vėjo, taip pat apsuptyje susikaupusi energija;
- biomasė – įvairios kilmės (medžiai, krūmai) ir formos (rastigaliai, pjuvenos ir jų granulės, specialiai smulkinta) mediena, augalininkystės atliekos (šiaudai, lapai, spygliai ir pan.), specialūs energetiniai augalai (krūmai, rapsai ir kt.);
- atliekos bei šiukšlės – jų organinės frakcijos atskiriamos tiesioginiam deginimui ar biodujų gamybai.
- atliekinė šiluma – įmonių, pastatų apytakinių vandens aušinimo sistemų, nuotekų sistemų, su degimo produktais šalinama, vėdinimo sistemų šalinamo šilto oro, į katilines garo kondensatu negrąžinama šiluma [60].

Ekonominiu požiūriu visi šie pirminę energiją sudarantys ištekliai gali būti skirstomi į vietinius ir importuojamus energijos išteklius. Lietuvoje importuojama didžioji dalis, apie 87% naudojamos pirminės energijos. Kiti energijos ištekliai priskiriami vietiniams energijos ištekliams. Jie skirstomi į iškastinius vietinius, atsinaujinančius ir atliekinius energijos išteklius. Geofiziniai ir biomasė laikomi atsinaujinančiais energijos ištekliais (AEI).

Technologiniu energijos transformavimo požiūriu pirminiai energijos ištekliai visų pirma skirstomi į kurą ir geofizinę energiją.

Apžvelgiant LŠTA (Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija) parengtą 2012 metų ūkinės veiklos ataskaitą [4] galima daryti išvadas, kad norint mažinti priklausomybę nuo iškastinio kuro reikia diegti

AEI naudojančias technologijas. Ataskaitoje yra pateikta pagaminta šiluma įmonėse, kurios tiekia miestams centralizuotai šilumą (CŠT). Į CŠT buvo patiekta 9,6 TWh, nevertinant nuostolių. Net 72,6 % patiektos energijos buvo pagaminta naudojant iškastinį kurą. Remiantis statistika, bei NENS, galima teigti, kad didžiausią potencialą mažinti iškastinio kuro suvartojimą, diegiant AEI naudojančias technologijas, Lietuvoje turi būtent CŠT sektorius.

Centralizuotas šilumos tiekimas – vienas iš aprūpinimo šilumine energija būdų, kitas būdas, tai individualus. CŠT – kai šilumos gamybos šaltiniuose (kogeneracinėse elektrinėse, katilinėse) pagaminta šiluma į pastatus tiekiama šilumos perdavimo tinklu. Individualus – kai šiluma gaminama pastate įrengtuose šildymo įrenginiuose. Šiuo metu CŠT Lietuvoje apima maždaug 67 % [59]. Panašus santykis yra ir kaimyninėse Skandinavijos šalyse, kitose Baltijos valstybėse, Lenkijoje, Čekijoje ir kt. Tiek centralizuotas, tiek individualus šildymas gali būti skirstomas pagal naudojamą kurą ar kitą pirminę energiją (dujinis, skystas ar kietas organinis kuras, elektros, saulės, geoterminė energija ir kt.), pagal pagamintos šilumos pernešimo būdą (vandeninis, garinis, orinis, spindulinis).[4]

CŠT nauda gyventojams:

- pastate ar butuose nėra šilumos gamybos įrenginių (katilų) su dūmų šalinimo kaminais, pašalinamas gaisrų pavojus, kuris galimas deginant pastate bet kokį kurą;
- gyventojams nereikia rūpintis kuru, nereikia patiems eksploatuoti katilų ir kitų šildymo sistemos įrenginių;
- neužimamas naudingas patalpų plotas kuro deginimo įrenginiais bei kuro sandėliavimui;
- mažesnės kapitalinės investicijos į patalpų šildymo įrangą.

CŠT nauda valstybei bei miestams [4]:

- pirmiausiai panaudojami energetiniai resursai, tokie kaip: biokuras, geoterminė ar atliekinė įmonių šiluma, kurie kitais atvejais liktų neišnaudoti;
- didžioji dalis CŠT šilumos gamybos šaltiniuose įrengiamų kogeneracinių elektrinių gamina elektrą ir šilumą kartu ir tokiu būdu daug efektyviau panaudojamas kuras, jo mažiau sukūrenama ir santykinai mažiau išmetama NO_x, CO_2 ir kitų toksinių teršalų;
- centralizuota šilumos gamyba ir tiekimas padeda saugoti aplinką (miestuose nėra kaminų), kadangi šilumos gamybos šaltiniai paprastai statomi šalia miestų, juose įrengiami dūmų valymo įrenginiai, kurie mažina visuotinio atšilimo pavojų, nes centralizuotai gaminamos šilumos šaltinių teršalus daug lengviau kontroliuoti nei individualių šilumos šaltinių;
- galima efektyviau panaudoti šilumos gamybos įrenginius, reikia mažiau aptarnaujančio personalo;

- galima efektyviai panaudoti žemarūšį kurą, komunalines ir kitas įvairias atliekas; nelieka decentralizuotų šilumos gamybos šaltinių, nereikia į juos pristatyti kuro, sumažėja transporto kiekis ir miesto tarša;
- CŠT sistemos yra pakankamai lanksčios, todėl nesunkiai galima keisti jų režimus, atsižvelgiant į aplinkos faktorius, jomis tiekiama šiluma gali būti panaudota šildymui

ir vėsinimui. Dėl to šilumos, patiektos iš CŠT sistemų, kilovatvalandės kaina visada yra mažesnė lyginant su individualiai pastate gaminama šilumos kaina.

Centralizuotas šilumos ir vėsumos tiekimas vaidina ypač svarbų vaidmenį siekiant pasiekti ES 2020 m. ir 2050 m. užsibrėžtus pagrindinius energetikos sektoriaus tikslus, todėl ES valstybėse šis šilumos apsirūpinimo būdas yra sparčiai plečiamas [4].

2. Mokslinės literatūros apžvalga

2.1. Baigiamieji magistro darbai

Apžvelgus baigiamuosius magistro darbus susijusius su objekto aprūpinimu energija, pastebėta, kad dažniausiai formuluojamos problemos yra pirminės energijos suvartojimas, ekologija bei ekonomika. Šiuose darbuose pradžioje yra apžvelgiami nagrinėjamo objekto poreikiai, sudaromi energijos vartojimo grafikai. Visuose darbuose nagrinėjamas kompleksinis energijos aprūpinimas [14, 15, 16, 17, 19], išskyrus viename tik nagrinėjamas šilumos poreikio padengimas [18].

Du nagrinėti baigiamieji darbai sprendžia naujų kvartalų autonomiškumo užtikrinimo problemą. Viename iš šių darbų yra nagrinėjamas sistemų energinis efektyvumas, termodinaminis naudingumas bei ekonominis vertinimas [16], o kitame yra sistemos vertinamos techniniu ir socio-ekonominiu požiūriu [15]. Abiejuose darbuose yra nagrinėjama kogeneracija, kuri tenkina kvartalo poreikius, o antrame taip pat nagrinėjami AEI technologijų variantai.

Trys kiti nagrinėti baigiamieji magistro darbai sprendžia vieno objekto (pastato) aprūpinimo energija uždavinius [14, 17, 19]. Visuose šiuose darbuose yra nagrinėjami variantai naudojantys AEI. Viename iš šių darbų nagrinėjamas biodujų panaudojimas [17] savo reikmėms patenkinti. Objektas yra nuotekų valykla, būtent iš nuotekų yra nagrinėjama biodujų gamyba bei konversija į energiją. Yra vertinamas energijos vartojimas derinant su biodujomis veikiančio kogeneratoriumi, CŠT ir elektros tinklais. Kituose darbuose yra nagrinėjama daugiabučių modernizacija pritaikant AEI technologijas. Viename iš jų yra nagrinėjamas saulės energijos panaudojimas derinant saulės baterijas su kolektoriais [14], o kitame yra nagrinėjamos tarpusavyje derinamos šilumos siurblių su saulės kolektoriais [19]. Antrasis darbas nagrinėjantis daugiabučio modernizaciją su šilumos siurbliais ir saulės kolektoriais tyrimą atlieka remdamasis 3E kriterijumi [19], o kiti du darbai vertina sistemas energiniu ir ekonominiu požiūriais.

Artimiausias nagrinėtas baigiamasis magistro darbas yra susijęs su kvartalo šilumos poreikio užtikrinimu naudojant saulės kolektorius derinant su biokuro katilais. Sistemų vertinimas yra pasirinktas energinis, ekologinis bei ekonominis [18].

Beveik visi nagrinėti baigiamieji magistro darbai yra atlikti naudojantis „energyPRO“ modeliavimo priemone, išskyrus vieną darbą, kuriame yra sukuriamas matematinis sistemų modelis naudojantis MS EXCEL programa [16].

Aptarus baigiamuosius magistro darbus pastebėta, kad nagrinėjant kogeneraciją dažniausiai pagaminta elektra yra naudojama tik savoms reikmėms. Nuo objekto poreikio yra parenkamas įrenginio dydis ir jo veikimo diapazonas labai mažai svyruoja. Netolygus kogeneratoriaus veikimas yra aktualus esant tam tikriems suvaržymams, pavyzdžiui viename iš baigiamųjų darbe buvo nagrinėta kogeneratoriaus ir vėjo jėgainės derinys [15]. Šiame darbe pagal idėją turėtų būti įvertinti vėjo jėgainės pagaminamos energijos pikai, kai kogeneratorius turi nusikrauti, tačiau tai nebuvo įvertinta. Įrenginio energijos gamybos svyravimų įvertinimas yra reikalingas tam, kad būtų efektyviai gaminama energija bei patenkinami su kogeneratoriumi šilumos poreikiai. Panaši situacija yra nagrinėjant kogeneratoriaus veikimą pagal realaus laiko elektros energijos biržą.

2.2. Moksliniai straipsniai

Nagrinėjant mokslinius straipsnius didžiausias dėmesys buvo skiriamas AEI panaudojimo CŠT sistemose. Pastebėta, kad daugumoje straipsnių yra nagrinėjama aprūpinimo energija problema energiniu, ekonominiu ir kartais ekologiniu požiūriu. Tiriamos sistemos yra aprašomos matematiniais modeliais ar tiesiog sprendžiamos modeliavimo programomis.

Išnagrinėti du straipsniai susiję su biomasę naudojančiais kogeneratoriais. Viename straipsnyje yra nagrinėjamas garo katilas su garo turbina [24], o kitame kogeneracinė jėgainė pagrįsta organinio Renkino ciklu [23]. Abiejuose straipsniuose yra nagrinėjamas tam tikro objekto fiksuotas metinis šilumos poreikis, kurį siekiama užtikrinti naudojant kogeneraciją. Pirmojo straipsnio atveju yra nagrinėjama 75% efektyvumą turinti kogeneracinė jėgainė, kuri turi padengti 60,83 MWh šilumos poreikį. Gaunami rezultatai, kad kogeneratorius padengia 60% viso šio metinio šilumos poreikio, o įrenginio efektyvumas siekiai 47,5%. Toks mažas efektyvumas gautas, dėl to, kad kogeneratorius dalį šilumos utilizuoja, nes esant mažam šilumos poreikiui turi padengti elektros poreikį. Šiame straipsnyje yra nagrinėjama kogeneratoriaus veikimo efektyvumui nuo perteklinio oro kiekio, regeneracinio šilumokaičio įrengimo ir dydžio, šilumos nuostoliai perdavimo vamzdynuose. Taip pat yra vertinama gamtinėmis dujomis kūrenama jėgainė bei biokuru, gaunama, kad ekonomiškai patraukliau yra gamtinių dujų variantas [24]. Antrajame straipsnyje yra aprašoma kogeneracinė jėgainė kartu su akumuliacine talpa. Sistema vertinama energiniu ir ekonominiu požiūriu bei atliekama jautrumo analizė keičiant jėgainės galią, akumuliacinės talpos dydį, elektros kainą. Atlikus

analizę gauta, kad įrengus akumuliacinę talpą yra pasiekiamas 8,6% didesnis sistemos efektyvumas [23].

Taip pat nagrinėti straipsniai su medienos dujofikavimu, siekiant įvertinti kuo daugiau galimybių panaudoti AEI CŠT aprūpinime energija. Viename straipsnyje yra nagrinėjama trigeneracija su dujofikavimo reaktoriumi [21], o kitame yra nagrinėjami 6 skirtingi variantai [22]. Pirmame straipsnyje yra nagrinėjami 5 variantai trigeneracijos (su skirtingais absorbciniai čileriais, daugiau atliekinės šilumos panaudojimo). Šiame darbe nagrinėjamas sistemų pirminės energijos sutaupymas, vertinama ekonomika. Taip pat yra palyginama ar atitinka keliamus direktyvų reikalavimus. Vienas iš direktyvų reikalavimas yra efektyvios kogeneracijos plėtra, kai pirminės energijos panaudojama 90% (ne daugiau 10% pirminės energijos nuostolių). Gauta, kad maksimalus elektros gamybos efektyvumas 42,7 %, o bendras efektyvumas siekia 64,2%. Pirminės energijos nuostoliai 8,1 %. Teigiama, kad kuo daugiau bus išnaudota nereikalinga šiluma, tuo didesnis sistemos efektyvumas bus pasiektas.

Straipsnyje [22] susijusiame su dujofikavimu yra aptariami 6 scenarijai, skirti patenkinti šilumos poreikį Linkoping miesto. Straipsnyje sistemos vertinamos energiniu, ekonominiu bei ekologiniu požiūriais. Tyrimo rezultatai buvo gauti, kad ekonomiškai yra nepatrauklu įrenginėti dujofikavimo reaktorių su vidaus degimo varikliu, nors įrengus dujofikavimo reaktorių yra ženkliai sumažinamos CO_2 emisijos. Teigiama, kad medienos dujofikavimas yra gera priemonė siekti 2020 metams Europoje užsibrėžtų tikslų.

Siekiant diversifikuoti aprūpinimą šilumine energija panagrinėti straipsniai susiję su šilumos siurblių panaudojimu kogeneracinėse jėgainėse. B. Blarke publikuoti straipsniai aprašo kogeneracinės jėgainės darbą kartu su šilumos siurbliais. Nagrinėjami šilumos siurbliai, kaip šilumos šaltinius naudoja išmetamų dūmų temperatūrą bei geoterminę energiją. Viename iš darbų nagrinėjama šalčio akumuliacinė talpa, kuri veikia kartu su šilumos siurbliu atgaunančiu energiją iš išmetamų dūmų [25, 26]. Šiuose darbuose yra nagrinėjamas kogeneracinės jėgainės darbas priklausomai nuo svyruojančių elektros poreikių rinkoje. Šiuose dvejuose darbuose yra nagrinėjamos sistemos ekonominiu ir energiniu požiūriais. Aptariamos svyruojančios elektros energijos kainos priklausomai nuo vėjo jėgainių pagaminamos energijos kiekio. Pirmojo straipsnio [24] atveju yra lyginami du variantai: kogeneratorius ir šilumos siurbliu (naudojantis išeinančių dūmų temperatūrą kaip šilumos šaltinį) su šalčio talpa. Gaunami rezultatai, kad jėgainės efektyvumas padidėja 7,4% procentais.

Panašus straipsnis yra nagrinėtas su biokuro katilu, kurio išeinančių dūmų temperatūrą naudoja šilumos siurblys kaip energijos šaltinį [20]. Šiame literatūros šaltinyje nagrinėjami 10, 100 kW ir 10 MW katilai. Vertinimas energinis, ekonominis ir ekologinis. Apskaičiuota, kad su šilumos siurbliu galima atgauti nuo 7% iki 27% šiluminės energijos. Gautos išvados, kad katilams 10 MW ir

daugiau yra tikslinga ekonomiškai įrengti šilumos siurblį, o katilams su 10 kW dydžio yra nepatrauklu.

Aptarus nagrinėtus straipsnius pastebėta, kad įrenginėjant kogeneracines jėgaines su akumuliacinėmis talpomis ar šilumos siurbliais padeda sutaupyti pirminės energijos. Diegiant AEI naudojančias technologijas gaunami emisijų sutaupymai bei taip pat pirminės energijos sutaupymai. Pastebėta, kad nagrinėjant biomasės dujofikavimą reikia įvertinti galimybę panaudoti perteklinę šilumą naudojant ekonomaizerius ar kitokius šilumokaičius.

Išnagrinėjus mokslinius straipsnius nustatyta, kad labiausiai paplitęs yra energinis, ekonominis tyrimo metodas. Jis padeda išnagrinėti sistemų energinį efektyvumą bei investicijų finansinį patrauklumą. Tiriamajame darbe yra numatyta taip pat nagrinėti kvartalo aprūpinimą šilumine energija energiniu, ekonominiu bei ekologiniu požiūriais.

3. Lietuvos elektros rinka

Nagrinėjant kogeneraciją reikia numatyti elektros rinką, kurioje bus parduodama pagaminta įrenginyje elektros energija.

Elektros rinka – tai įvairių ūkio subjektų santykių, kurie formuojasi prekiaujant elektros energija, visuma. Ši rinka yra ypatinga tuo, kad elektros energija negali būti sandėliuojama, ji turi būti suvartojama tuo pačiu metu, kaip ir gaminama, o elektros perdavimas turi būti vykdomas kontroliuojant jos parametrus. Šiuo metu Lietuvoje elektros rinką sudaro didmeninė ir mažmeninė elektros prekyba. Didmeninėje prekyboje dalyvauja elektros gamintojai, kurie savo pagamintą elektros energiją parduoda nepriklausomiems tiekėjams. Taip pat šiai rinkai priklauso perdavimo ir skirstymo sistemų operatoriai, kurie įsigyja elektros energiją technologiniams nuostoliams perdavimo ir skirstymo tinkluose kompensuoti. Didmeninės prekybos dalyviai gali sudaryti dvišales sutartis tiesiogiai arba pirkti ir parduoti elektrą elektros biržoje. Mažmeninėje prekyboje dalyvauja nepriklausomi elektros tiekėjai ir elektros vartotojai, kurie su tiekėjais yra sudarę dvišales elektros prekybos sutartis.

Perdavimo sistemos operatorius užtikrina bendrą šalies elektros gamybos ir vartojimo balansą, administruoja reguliavimą ir balansavimą elektros energija rinkoje [27].

Šiuo metu šalyje yra prekiaujama fiksuotais tarifais bei realaus laiko elektros biržoje „Nord Pool Spot“ Lietuva.

3.1. Viešuosius interesus atitinkančios paslaugos

Viešieji interesai elektros energetikos sektoriuje – tai paslaugos, užtikrinančios ir didinančios nacionalinį energetinį saugumą ir elektros energijos, gaminamos iš atsinaujinančių išteklių, integraciją ir panaudojimą. Viešuosius interesus atitinkančių paslaugų (VIAP) sąrašą, teikėjus ir teikimo tvarką tvirtina Lietuvos Respublikos Vyriausybė ar jos įgaliota institucija,

vadovaudamasi viešaisiais interesais elektros energetikos sektoriuje. VIAP lėšos – tai lėšos, sumokamos VIAP paslaugų teikėjams [28].

Lietuvos Respublikos Vyriausybė yra nustačiusi, kad VIAP apima:

- elektros energijos gamybą naudojant atsinaujinančius energijos išteklius ir jos balansavimą;
- elektros energijos gamybą termofikaciniu režimu kombinuotojo elektros energijos ir šilumos gamybos ciklo elektrinėse, kai šios elektrinės tiekia šilumą į aprūpinimo šiluma sistemas ir sutaupomas toks kiekis pirminės energijos, kad bendrą šilumos ir elektros energijos gamybą galima laikyti efektyvia;
- elektros energijos gamybą nustatytose elektrinėse, kuriose elektros energiją gaminti būtina elektros energijos tiekimo saugumui užtikrinti;
- elektros energetikos sistemos rezervų užtikrinimą nustatytose elektrinėse, kurių veikla būtina valstybės energetiniam saugumui užtikrinti;
- elektros energijos gamybos pajėgumų, strategiškai svarbių elektros energetikos sistemos darbo saugumui ir patikimumui ar valstybės energetinei nepriklausomybei užtikrinti, plėtrą;
- strateginių elektros energetikos sektoriaus projektų, susijusių su energetinio saugumo didinimu, įrengiant jungiamąsias linijas su kitų valstybių elektros energetikos sistemomis ir (ar) sujungiant Lietuvos Respublikos elektros energetikos sistemas su kitų valstybių narių elektros energetikos sistemomis, įgyvendinimą;
- energetikos objektų darbo saugumo užtikrinimo, radioaktyviųjų atliekų tvarkymo veiklą;
- atsinaujinančių energijos išteklių elektrinių prijungimą prie elektros tinklų;
- elektros tinklų operatoriaus atliekamą elektros tinklų optimizavimą, plėtrą ir (ar) rekonstravimą, užtikrinančius gamybos naudojant atsinaujinančius energijos išteklius plėtrą [29]

Kiekvieniems metams yra numatomas VIAP biudžetas, kurio dydį nutaria Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija. 2014 metų biudžetas paskirstytas taip:

- bendriems šilumos ir elektros energijos gamintojams – 94,053 mln. Lt;
- elektros energijos gamyba Lietuvos elektrinėje, iš AEI ir balansavimas elektros tinkluose – 483,971 mln. Lt;
- strateginiai infrastruktūros projektai (NordBalt) – 80 mln. Lt;
- asmenims, už su saulės šviesos energijos elektrinių projektų plėtojimu susijusių išlaidų kompensavimą – 3,469 mln. Lt;[28, 30]

VIAP biudžetas yra padengiamas vartotojų sąskaita. Į galutinę suvartojamos elektros energijos kainą yra įskaičiuota VIAP dalis. 2014 metais yra numatyta 7,14 ct/kWh, o 2013 metais buvo 9,37 ct/kWh. Taip pat yra numatomos skirtingos kainos už superkamos elektros energijos kiekius iš skirtingų gamintojų. Pavyzdžiui didelėms kogeneracinėms dujinėms elektrinėms yra numatomas tam tikras elektros energijos kiekis, kuris gali būti pagaminamas per sezoną, už tam tikrą kainą. O biokurą deginanti kogeneracinė jėgainė gali prekiauti elektra be jokių suvaržymų ištisus metus už tą pačią kainą.

Apžvelgus elektros tarifus elektros energijai pagamintai iš atsinaujinančių energijos šaltinių galima pastebėti, kad yra mažinamas VIAP skiriamas biudžetas. Pavyzdžiui iš biomasės kogeneracinės jėgainės, virš 5 MW, superkamos elektros kaina nuo 2012 metų krito nuo 37 ct/kWh iki 28 ct/kWh, 2014 metais. Panaši tarifo mažėjimo tendencija yra matoma kitų energijos šaltinių tarifuose bei galutinėje VIAP [31].

3.2. Realaus laiko rinka „Nord Pool Spot“ Lietuva

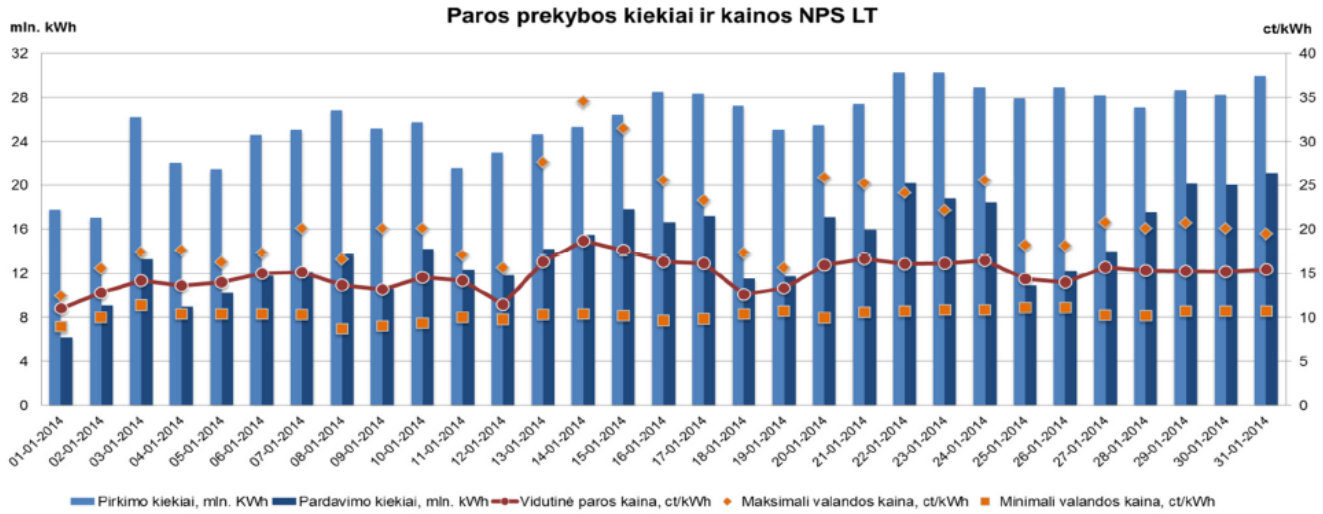
Remiantis trečiuoju ES energetikos paketu bei NENS, Lietuvoje veikia realaus laiko elektros energijos birža - „Nord Pool Spot“ (NPS). Tai yra viena iš priemonių siekiant užsibrėžtų tikslų sukurti bendrą Europos elektros rinką. Bendrą Europos elektros rinką intensyviai kuria ENTSO-E ir Europos elektros biržos, įgyvendindamos vadinamąjį regioninių rinkų sujungimo PCR (angl. Price coupling of regions) projektą. Šiame projekte aktyviai dalyvauja „Nord Pool Spot“ elektros birža, sėkmingai veikianti ir Lietuvoje. Kurdami bendrą Baltijos šalių elektros rinką, integruodami ją į Šiaurės šalių elektros rinką, tiesdami jungtis su Švedija ir Lenkija bei įgyvendindami ruošiamus tinklo kodeksus, siekiama tapti neatsiejama PCR ir bendros Europos elektros rinkos dalimi. Bendra Europos elektros rinka didins likvidumą, efektyvumą ir socialinę gerovę [32].

2012 m. birželio 18 d. Lietuvoje pradėjusi veikti „Nord Pool Spot“ elektros birža yra vienas svarbiausių elektros rinkos integracijos žingsnių. Atidarius „Nord Pool Spot“ Lietuvos prekybos zoną, tapome Europoje pirmaujančios ir skaidriai veikiančios Šiaurės šalių biržos dalimi. Elektros birža užtikrina vienodas taisykles rinkos dalyviams ir lygias sąlygas konkurencijai bei formuoja skaidrią elektros kainą [33].

Prekyba elektra biržoje vyksta „diena prieš“ ir „dienos eigos" principais. „Diena prieš" (Elspot) prekyba vyksta iš anksto, likus vienai dienai iki realios elektros gamybos ir vartojimo dienos. 2013 m. gruodį Lietuvos ir Latvijos prekybos zonose pradėjusi veikti dienos eigos elektros rinka (Elbas) leidžia rinkos dalyviams prekiauti elektra likus valandai iki jos tiekimo [33].

Dienos eigos rinka leidžia rinkos dalyviams efektyviau valdyti didmeninės elektros prekybos verslo rizikas, taip pat – subalansuoti elektros, pagaminamos iš atsinaujinančių šaltinių, prekybą. Dienos eigos rinka buvo įkurta 1999 m. ir veikia Šiaurės šalyse, Estijoje ir Vokietijoje. Dienos eigos prekybos instrumentai taip pat naudojami Belgijos ir Olandijos elektros biržose. „Nord

Pool Spot“ elektros prekybos sistemoje dienos eigos rinkoje vyksta 1-2 proc. visos didmeninės elektros prekybos sandorių [33].



1 pav. NPS rinkos sausio mėnesio apžvalga [34]

Pirmame paveiksle yra pateikiama NPS biržos sausio mėnesio veiklos apžvalga. Pateiktame grafike matomi įvykdyti pardavimų kiekiai elektros biržoje, jos vidutinė mėnesio kaina, dienos aukščiausios ir žemiausios kainos. Maksimali kaina biržoje siekė 35 ct/kWh, vidutinė mėnesio kaina 14,8 ct/kWh. Vidutinė kaina skyrėsi nuo 2013 metų vidutinės mėnesio kainos, kuri buvo 15,1 ct/kWh [34]. Elektros kainai biržoje turi įtakos daug veiksnių. Esant šiltam klimatui, energijos kaina ženkliai nekyla, o šąlant atvirkščiai, kyla. Tačiau esant didelėms kogenracinėms jėgainėms elektros kainos augimas yra apribojamas. Taip pat daug įtakos turi kitos klimato sąlygos, tokios kaip hidrologinės, ar vėjo įtaka. Šie veiksniai turi įtaką AEI naudojančioms jėgainėms, kurios į rinką tiekia pigią energiją. Dėl to prognozuoti tikslias kainas yra netikslinga, nes pasikeitus klimato sąlygoms ar atsitikus avarijai perdavimo tinkle ar tiesiog šiaip eiliniam remontui gali kilti kainos arba kristi. Taip pat kainai turi įtakos ir energijos vartojimo intensyvumas.

Esant dideliam kainų svyravimui, kai kuriems gamintojams gali būti sunku prisitaikyti esant nepalankiai energijos supirkimo kainai. Nukritus kainai biržoje kogeneracinės jėgainės tampa nepatrauklios, taip pat esant didelei kainai, bet mažam šilumos poreikiui. Mažas šilumos energijos poreikis kogeneracinei jėgainei gali trukdyti išvystyti maksimalų efektyvumą esant tinkamai kainai elektros biržoje. Būtent dėl šių suvaržymų kogeneracinės jėgainės tampa nepatrauklios ir yra įrengiamos vandens šildymo katilinės šilumos poreikiui padengti.

4. Šalies alternatyvos importuojamai pirminei energijai

Lietuvos NENS yra numatyta, kad siekiant šalies energetinės nepriklausomybės nuo kitų šalių reikia didinti vartojimą vietinių energijos šaltinių bei siekti naudoti kuro šaltinius iš kitų šalių.

Būtent šiuo metu yra statomas suskystintų gamtinių dujų terminalas, kurio tikslas yra diversifikuoti dujų rinką šalyje.

4.1. Suskystintos gamtinės dujos

Vadovaudamasi ES direktyva ir Nacionaline energetikos strategija, kurios didelį dėmesį skiria užtikrinti energetinį saugumą ir gamtinių dujų ilgalaikio tiekimo patikimumą, Lietuva nusprendė įgyvendinti suskystintųjų gamtinių dujų (SGD) terminalo projektą.

2012 m. birželio 12 d. Seimas priėmė Suskystintų gamtinių dujų terminalo įstatymą (Nr. XI-2053), kuriame numatyti SGD terminalo įrengimo, veiklos ir eksploatavimo bendrieji principai bei reikalavimai. Įstatymas taip pat numato teisines, finansines ir organizacines sąlygas SGD terminalo projektui įgyvendinti. Projekto užbaigimo terminas numatytas 2014 metų gruodžio 3 dieną. [35]

SGD terminalas Klaipėdoje leis Lietuvai įsivežti gamtines dujas iš įvairių tiekėjų. Per metus terminalo pajėgumas siektų 2-3 mlrd. m^3. Toks dujų kiekis galėtų patenkinti šalies metinį dujų poreikį.

Įgyvendinus SGD terminalo projektą Klaipėdoje:

- Bus diversifikuotas gamtinių dujų tiekimas ir šalis nebepriklausys nuo vienintelio išorinio dujų tiekėjo;
- Lietuva bus pajėgi savarankiškai apsirūpinti gamtinėmis dujomis, reikalingomis pirmojo būtinumo paklausai patenkinti;
- Bus sudarytos prielaidos susiformuoti šalies ir regioninei dujų rinkoms, atsiras galimybė ateityje tiekti dujas kaimyninėms valstybėms;
- Lietuva galės dalyvauti perkant dujas tarptautinėse dujų rinkose [36].

Įrengus alternatyvą gamtinėms dujoms iš Rusijos, šalyje neturėtų ženkliai mažėti dujų suvartojimas. Dėl to planuojant kvartalo aprūpinimą energija yra tikslinga vertinti ir gamtines dujas naudojančias technologijas.

4.2. Atsinaujinantys energijos šaltiniai

Lietuvoje šiluminės energijos gamybai daugiausia naudojama biomasė, kadangi tai yra mažiausiai investicijų reikalaujanti AEI rūšis. Pastaruoju metu pradėta naudoti geoterminę, saulės energiją bei biodujas. Šiame darbe yra nagrinėjamas nepertraukiamas centralizuotas šilumos tiekimas objektui, dėl to yra nenagrinėjama saulės energijos panaudojimas.

Viena iš pagrindinių AEI rūšių yra biomasė, tai žemės ūkio (įskaitant augalinės ir gyvūninės kilmės medžiagas), miškų ūkio ir kitų susijusių pramonės šakų produktai ir atliekos ar šių produktų bei atliekų biologiškai skaidoma dalis, taip pat pramoninių ir buitinių atliekų biologiškai skaidoma dalis. Gali būti augalinės ir gyvulinės kilmės. Taip pat biomasė skirstoma į sausą bei šlapią biomasę.

Biomasės atsiradimas ir jos suirimas – tai energijos virtimo į medžiagą ir medžiagos virtimo į energiją nuolatinio gamtos ciklinio proceso dalis. Augalas augdamas kaupia saulės išspinduliuotą energiją. Biomasė (mediena) degdama atiduoda augimo metu sukauptą saulės energiją. Saulės energijos konversija į biomasę vyksta fotosintezės proceso metu. Medienos biomasė atsiranda veikiama keturių veiksnių: saulės šviesos, kritulių, atmosferos (O_2, CO_2) ir dirvoje esančių maitinamųjų medžiagų ir vandens. [38]

Kalbant apie atsinaujinančius energijos šaltinius sąvoka biomasė yra labai plati. Tai:

- Mediena, jos ruošos bei apdirbimo atliekos;
- Žemės ūkio kultūros bei atliekos (rapsai, kviečiai, šiaudai ir t.t.);
- Gyvulininkystės atliekos (gyvulių ir paukščių mėšlas);
- Nutekamųjų vandenų dumble susikaupusios organinės medžiagos;
- Komunalinių atliekų organinė frakcija.

Biomasė kaip kuras gali būti kieta, skysta arba dujinė. Pirmuoju atveju pakanka minimalaus mechaninio apdirbimo, pavyzdžiui, smulkinimo. Norint iš biomasės gauti skystą ar dujinį kurą nepakanka vien mechaninio apdirbimo, bet būtina pasitelkti kur kas sudėtingesnius terminius, cheminius, biocheminius ir mikrobiologinius apdorojimo būdus. [39]

Viena iš biomasės rūšių – kietasis biokuras. Tai yra paprasta mediena ar jos atliekos, gali būti nedaug apdirbta (susmulkinta). Pagrindinė ir labiausiai naudojama kietojo biokuro rūšis yra mediena. Medienos naudojimą energetinėms reikmėms, lyginant su žoliniais energetiniais augalais, skatina keletas priežasčių: jie yra daugiamečiai (auginant energetikai, jų nereikia kiekvienais metais iš naujo sėti); pakankamai produktyvūs (hektaras našaus miško kasmet produkuoja 7-12 t sausos biomasės); kai kurios rūšys gerai atželia savaime (tokių miškų nereikia sodinti); mediena pasižymi gera energetine verte (degios medžiagos – vandenilis ir anglis – sudaro 54-58 % sausos masės); medieną patogu transportuoti ir laikyti (sandėliuoti); jos kuras pasižymi geru energijos balansu, t.y. santykiu tarp iš kuro gautos energijos ir energijos, sunaudotos auginimui, derliaus nuėmimui bei transportavimui. Pagrindinės medienos kuro rūšys yra malkos, medienos skiedros ir presuota mediena briketų ar granulių pavidalu. Žaliava medienos kuro gamybai susidaro kertant miškus ir apdirbant medieną pramonės įmonėse (lentpjūvėse, popieriaus ir celiuliozės fabrikuose, baldų gamybos įmonėse ir pan.). Kertant mišką pagaminama padarinė mediena, malkos ir susidaro kirtimo atliekos – medžių šakos, viršūnės, maži stiebai, o taip pat kelmai. Kirtimo atliekos smulkinamos į skiedras ir naudojamos kaip kuras tam tikslui pritaikytose kūryklose.

Medienos pramonės įmonių atliekos dažniausiai yra geresnės kokybės, lyginant su miško kirtimo atliekomis (mažesnė drėgmė). Iš jų gaminamas presuotas biokuras – granulės (dažniausiai 8-12 mm diametro ir 5-30 mm ilgio) ar briketai, o taip pat ir medienos skiedros.

Augančio miško ir miško kirtimo atliekos – pagrindiniai biokuro resursai artimiausioje ateityje. Vien tik kertant miškus kasmet lieka apie 2 mln. kietmetrių šakų, viršūnių. Dar vos ne milijoną kubinių metrų sudaro kelmai, kurie dėl nepakankamo technologijų lygio kol kas lieka nepanaudoti. Prognozuojama, kad 2011–2020 m. kirtimų apimtys sudarys apie 7,5 mln. m3 per metus. Tuo pačiu ženkliai daugės ir kirtimo atliekų. [40]

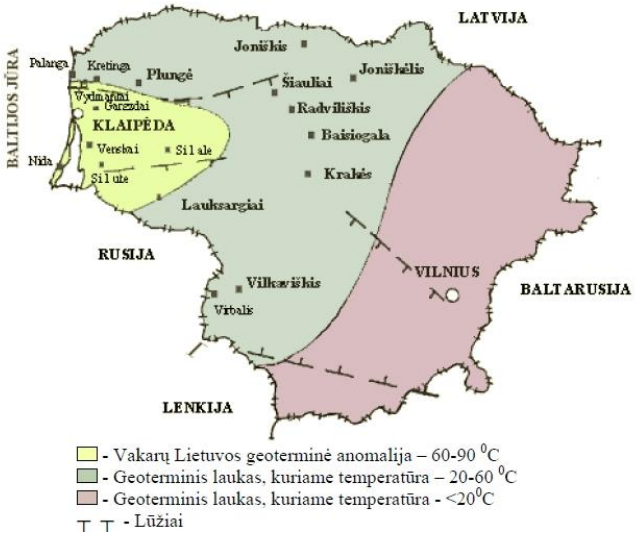
Didžiausią augalinės kilmės atliekų potencialą žemės ūkyje sudaro šiaudai. Jų derlingumas priklauso nuo grūdinių augalų rūšies, veislės, klimatinių sąlygų ir pan. Remiantis statistiniais duomenimis, Lietuvoje auginama apie 950 tūkst. ha javų. Šiaudų ir grūdų derlingumo santykis gali kisti nuo 0,6 iki 1,2%, priklausomai nuo augalų rūšies ir veislės. Įvairiais vertinimais nustatyta, kad metinis šiaudų gamybos potencialas siekia 4 mln. tonų. Apie 15-20% šio kiekio lieka laukuose, maždaug tiek pat sunaudojama pašarams ir kraikui, iki 1% sunaudojama kitoms reikmėms (daržininkystei ir energijos gamybai) ir apie 60% šiaudų derliaus nepanaudojama. Šis šiaudų kiekis – apie 2,4 mln. tonų) gali būti panaudotas energetinėms reikmėms (biokuro ir energijos gamybai). Galimų panaudoti šiaudų energetinė vertė sudaro apie 870 ktne per metus. 2006 m. biokuro katilinėse buvo sunaudota vos 5000 tonų šiaudų. Didžiausias Lietuvoje tokio kuro atsargas turi tos apskritys, kurios daugiausiai augina javų - tai Šiaulių, Panevėžio, Marijampolės ir Kauno apskritys. Kitų apskričių šiaudų atsargos kurui palyginti menkos.

Šiaudai priskiriami kurui, kurį deginant atmosferoje nepadidėja anglies dioksido (CO_2) kiekis, nes tas anglies dioksido kiekis kitais metais javams augant absorbuojamas iš oro. Šiaudų pelenų sudėtyje yra kalio, magnio, fosforo, kalcio ir kitų elementų, kurie gali būti naudojami kaip trąšos žemės ūkyje. Pelenuose būna nedidelis kiekis sunkiųjų metalų (vario, cinko, alavo, nikelio, chromo, kadmio ir kitų), todėl prieš nusprendžiant, ar jie tinka laukams tręšti, reikia atlikti jų cheminės sudėties analizę. Pagal šilumingumą 1 t šiaudų gali pakeisti 0,28 t mazuto. Sunaudojus visus kurui galimus naudoti 500 000 tonų šiaudų, kasmet šalyje būtų galima sutaupyti 140 000 t įvežtinio kuro [37, 38, 39]

Kita AEI rūšis nagrinėjama šiame darbe - geoterminė energija. Lietuva turi išskirtines geologines sąlygas, kurios ir skatina padidintą susidomėjimą galimu geoterminės energijos panaudojimu šalyje. Tokį išskirtinumą lemia Vakarų Lietuvos geoterminė anomalija, kur Žemės šilumos srautas yra dvigubai didesnis, nei įprastinis. Vakarų Lietuvoje šilumos srauto intensyvumas siekia 70-90 mW/m^2, tuo tarpu kai vidutinė Rytų Europos platformos reikšmė yra 43 mW/m^2. [42]

Taigi, geoterminis gradientas Vakarų Lietuvoje yra dvigubai didesnis, o tai reiškia, kad perspektyvios temperatūros elektros gamybai gali būti gręžiniais pasiektos dvigubai mažesniuose gyliuose. Kaip žinia, pagrindiniai geoterminės energetikos kaštai susiję su giliuoju gręžimu, tad tokios geoterminės anomalijos gali būti eksploatuojamos ekonomiškai naudingai, skirtingai nuo prastesnes geotermines sąlygas turinčių regionų. Dar prieš penkis metus perspektyviomis buvo laikomos 200°C

ir aukštesnės temperatūros. Gerėjant technologijoms ekonominė riba dabar jau siekia 120-150ºC ir ateityje dar mažės [42].



2 pav. Lietuvos geoterminio lauko rajonavimas [41]

Didžiausias temperatūrinis gradientas yra vakarinėje Lietuvos dalyje, kur jis siekia 40-45ºC/km, kituose Vakarų Lietuvos vietose jis kiek mažesnis – 32-38 ºC/km. Būtent šiuose dviejuose plotuose, pajūryje ir pietinėje Vakarų Lietuvos dalyje, yra didžiausia geoterminių jėgainių statybos perspektyva. Palyginimui, rytinėje Lietuvos dalyje geoterminis gradientas tėra 20-25 ºC/km [42].

5. Aprūpinimo energija technologijos

Tiriamajame darbe yra nagrinėjamas centralizuotas šilumos tiekimas kvartalui. Šiame skyriuje yra aptariamos nagrinėjamų sistemų specifikos, jų galimybės, privalumai bei trūkumai.

5.1. Kogeneracija

Kogeneracija –tai bendra šilumos ir elektros gamyba to paties energijos gamybos proceso metu. Kogeneracinė jėgainė, kurioje pagaminta šiluma panaudojama centralizuoto šilumos tiekimo sistemoje, dažnai vadinama termofikacine.

Šiluma šildymo poreikiams reikalinga tik šalčiausio periodu metu, o elektros energija naudojama ištisus metus, tad kogeneracijos metodo taikymas yra ribotas, nors šis energijos gamybos būdas yra labai efektyvus. Kadangi Lietuvoje yra gerai išplėtotos CŠT sistemos, kuriose galima panaudoti didelius šilumos kiekius, tai sudaro kogeneracijai palankias sąlygas. Tuo tarpu daugelyje kitų valstybių elektros energija gaminama stambiose šiluminėse (kondensacinėse) elektrinėse, kuriose didžioji dalis (iki 75 %) šilumos energijos neišvengiamai išmetama į aplinką (šildo ežerus, orą). Lietuvoje didžiausia kondensacinė elektrinė veikia Elektrėnuose. Visais atvejais būtina skatinti platesnį kogeneracijos naudojimą, siekiant taupyti pirminį kurą – tai daryti įpareigoja ir speciali ES direktyva.

Nepaliaujamai didėjantis iškastinio kuro vartojimas ir jo kainų augimas, gresiantis pasaulinis klimato atšilimas (dėl atmosferos teršimo CO_2 dujomis, kurių didžioji dalis išsiskiria šilumos ir elektros energijos gamybos procese) lemia tai, kad pastaraisiais dešimtmečiais užsienio valstybėse daug dėmesio ir milžiniškos lėšos skiriamos efektyvesnėms elektros bei šilumos gamybos sistemoms kurti. Viena svarbiausių krypčių – kogeneracijos technologijų tobulinimas ir CŠT sistemų plėtra, siekiant panaudoti kuo daugiau atliekinės šilumos, susidarančios elektros gamybos procese.

Atvejis, kai elektrinėje gaminama tik elektros energija, o šiluma – katilinėse, vadinamas atskiraja šilumos ir elektros energijos gamyba. Kuro degimo metu išsiskyrusią šilumos energiją laikant 100 % galima palyginti jos panaudojimo efektyvumą. Atskirai gaminant šilumą beveik visa kuro energija (apie 90 %) paverčiama į vartojimui tinkamą šilumos energiją. Tuo tarpu atskirai gaminant elektros energiją net 45–70 % iš kuro gautos energijos tiesiog prarandama. Nelygu naudojamoms technologijoms ir jėgainės parametrams. Pavyzdžiui, geros kondensacinės elektrinės energetinio naudingumo koeficientas 40 %. Tai reiškia, kad sudeginus 1 n.m³ gamtinių dujų, pavyks pagaminti 3,72 kWh elektros energijos, o likusi 5,57 kWh šilumos energijos dalis sudarys šilumos nuostolius – šiluma bus išmetama į aplinką. Didžiausia dalis pasaulyje suvartojamos elektros energijos pagaminama tradicinėse kondensacinėse elektrinėse. Jose gaminamas labai aukštų parametrų garas (iki 250 bar slėgio ir iki 600 ºC temperatūros), kurio energija suka turbiną ir su ja sujungtą elektros generatorių. Už turbinos įrengiamas šilumokaitis (kondensatorius), kuriame dėl staigios garų kondensacijos susidaro vakuumas. Dėl didžiulio slėgių skirtumo prieš turbiną ir už jos išgaunamas maksimaliai naudingas mechaninis darbas turbinoje. Kondensatoriaus aušinimui panaudojami didžiuliai vandens kiekiai, o paimta šiluma išmetama į ežerą, upę ar tiesiog į orą per vandens aušinimo bokštą ar kitą šilumokaitį [37].

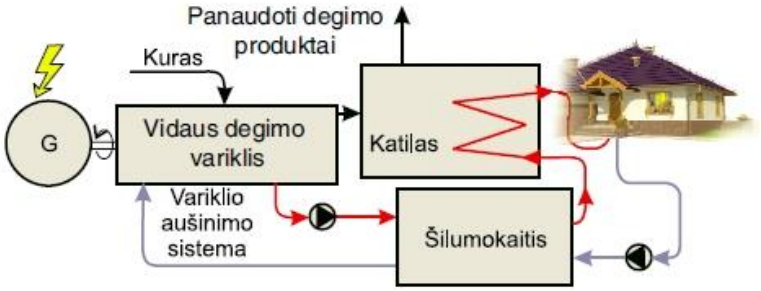
Kogeneracinių jėgainių šilumokaityje, analogiškame kondensatoriui, gaminama naudinga šilumos energija. Pavyzdžiui, apie 20 % kuro energijos panaudojama elektrai gaminti, o apie 60 % – šilumai, kuri naudojama pastatų šildymui. Tuomet bendras jėgainės energetinio naudingumo koeficientas – 80 %. Pavyzdžiui, kogeneracinėje jėgainėje sudeginus 1 n.m³ dujinio kuro galima pagaminti 1,85 kWh elektros ir papildomai bus pagaminta 5,57 kWh šilumos. Ji centralizuotais šilumos tinklais tiekiama gyventojams, tad termofikacinė elektrinė daug ekonomiškesnė už kondensacinę dirbant tomis pačiomis sąlygomis. Kogeneracija yra labai plėtojama ir jau sukurta daug technologijų: Stirlingo variklis, organiniu Renkino ciklu veikianti technologinė įranga, sraigtinis garo variklis, dujų turbinos, kombinuotojo ciklo elektrinė, vidaus degimo varikliai, mikroturbinos, kuro elementų paketai. Siekiama sukurti tokius kogeneracijos įrenginius, kad jie galėtų būti naudojami kuo platesnėse gyvenimo sferose: buityje, pramonėje, įvairių pastatų šildymui bei aušinimui [37].

Nagrinėjant kogeneraciją veikiančią pagal realaus laiko elektros biržos kainas yra tikslinga naudoti vidaus degimo variklius. Tai viena iš plačiausiai naudojamų technologijų, turinti gana aukštą

elektros generavimo efektyvumą. Šios technologijos panaudojimas su akumuliacine talpa realaus laiko biržoje yra aptariama literatūroje[43, 44].

Vidaus degimo varikliai, naudojami elektros generatoriui sukti – paplitusi ir puikiai pažįstama technologija. Tokių kogeneracinių jėgainių vienetinė elektrinė galia siekia 5 MW. Šilumai gaminti panaudojama išmetamų degimo produktų šiluma, juos praleidžiant per katilą-utilizatorių, kuriame pašildomas vanduo arba pagaminamas žemų parametrų garas. Be to, gali būti panaudojama variklio korpusą aušinančio vandens ir tepalo šiluma. Vidaus degimo varikliuose elektra gaminama efektyviau nei garo turbinose, tačiau labiau komplikuotas atliekinės šilumos panaudojimas, nes ji pasiskirsčiusi tarp variklio aušinimo sistemos ir išmetamųjų dujų. Kuro degimo energija transformuojama į veleno mechaninį darbą, kuris sunaudojamas elektros generatoriui sukti ir gaminti šiluminę energiją, kuri ne išmetama, kaip transporto priemonėse, o panaudojama prasmingai.

Kogeneracinėse jėgainėse dažniausiai naudojami Otto ciklu veikiantys stūmokliniai vidaus degimo varikliai, kuriuose degų mišinį uždega elektros kibirkštis. Tokiose jėgainėse paprastai naudojamos gamtinės dujos, biodujos arba lengvieji naftos kurai. Gali būti naudojami ir Dyzelio ciklu veikiantys varikliai, kurie labiau tinka darbui lengvaisiais mazutais. Dyzeliniuose varikliuose taip pat gali būti naudojamas mišrus kuras, t.y. gamtinės dujos su nedideliu kiekiu dyzelinio kuro, kurio reikia kuro mišiniui uždegti [37].



3 pav. Vidaus degimo variklio principinė schema [37]

Kogeneracinės jėgainės gaminamos kaip gamyklose surinkti blokai, kurie transportuojami į eksploatacijos vietą, prijungiami prie vietinių komunikacijų ir gana paprastai eksploatuojami. Didesnei galiai pasiekti naudojamas kelių blokų komplektas. Šio tipo kogeneracinė jėgainė pasižymi greitu paleidimu ir stabdymu, todėl dažnai naudojamos kaip rezervinis elektros tiekimo šaltinis. Į elektrą paverčiama iki 40 % kuro energijos, o bendras energetinis naudingumo koeficientas siekia 80–85 % [37].

Technologijos privalumai:

- aukštas elektros gamybos efektyvumas;
- greitas paleidimas;
- palyginti nedidelės montavimo išlaidos.

Technologijos trūkumai:

- didelė teršalų emisija į aplinkos orą;
- aukštas triukšmo lygis;
- didelės priežiūros sąnaudos;
- lyginant su dujų turbinomis, vidaus degimo varikliuose gaunam atliekinė šiluma yra žemų parametrų [45, 46].

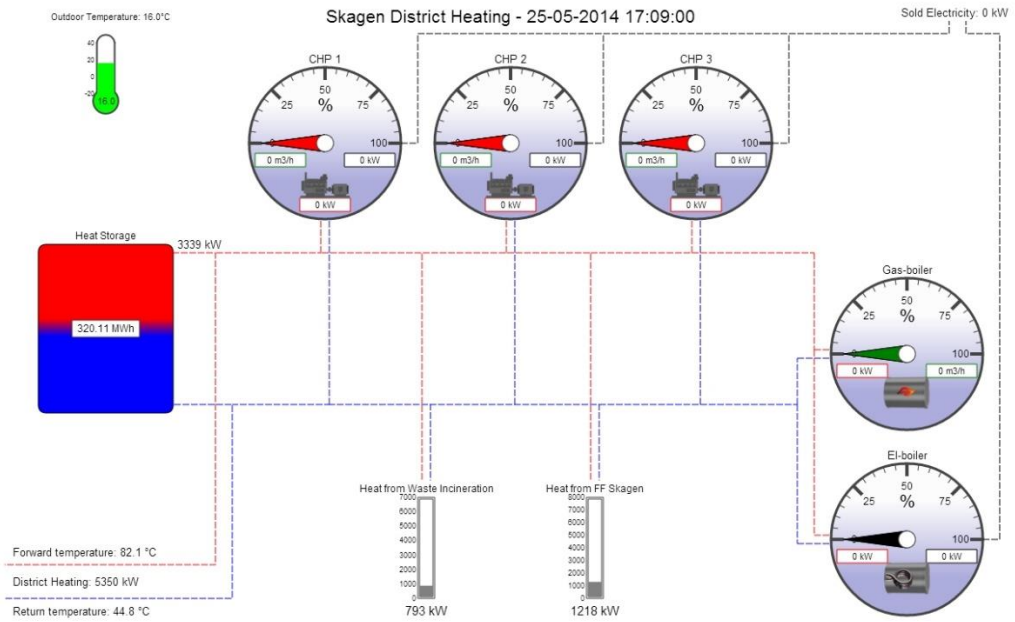
Vilniuje, Salininkų kvartalinėje katilinėje, yra įrengtas vidaus degimo variklis. Jis yra 600 kW elektros ir 900 kW galios, naudojamos gamtinės dujos. Iš variklio išeinančių dūmų ir variklio aušinimo skysčio šiluma utilizuojama, perduodant ją tinklų vandeniui. Vidaus degimo variklio veikimas priklauso nuo paskirtos elektros gamybos kvotos, t.y. kiekis elektros energijos kurį yra įsipareigojus valstybė supirkti už sutartą tarifą. 2014 metais VKEKK yra numačiusi 37,45 ct/MWh tarifą [47, 49].

Danijos Skagen miesto CŠT sistemoje yra integruoti 3 vidaus degimo varikliai, vienas elektrinis vandens šildymo katilas bei vienas. Visi įrenginiai, išskyrus elektrinį katilą, kaip pirminę energiją naudoja gamtines dujas. Vidaus degimo varikliai 4,7 MW (41 % efektyvumas) elektrinės galios bei 7,2 MW (63 % efektyvumas) šiluminės galios. Elektrinis katilas 11 MW, vandens šildymo katilai nuo 6,5 MW iki 11,4 MW galios (efektyvumas nuo 98% iki 104 %). Taip pat į CŠT sistemą yra tiekiama energija iš miesto žvejybos pramonės bei atliekų deginimo jėgainės. Jėgainėje yra įrengta 4150 m^3 akumuliacinė talpa [48].



4 pav. Skagen kogeneracinė jėgainė su akumuliacine talpa [48]

Ši jėgainė veikia pagal NPS rinkos kainas bei dalyvauja Danijos elektros tinklų balansavime. Tai yra pagaminta elektra, kuri padengia elektros energijos poreikį esant neužtektinai energijos gamybai iš AEI, ar dėl kitos priežasties. 5 paveiksle yra pateikiama principinė jėgainės schema. Šioje schemoje galima stebėti realiu laiku įrenginių veikimą.



5 pav. Skagen kogeneracinės jėgainės principinė schema [48]

Pateiktoje schemoje matoma, kad visas šilumos poreikis yra padengiamas nenaudojant nei vieno jėgainės įrenginio. Visas poreikis yra padengiamas naudojant suakumuliuotą šilumą.

Per metus šioje jėgainėje yra pagaminama ir patiekiama į CŠT sistemą apie 80 GWh šiluminės energijos, 30-35 GWh yra padengiamas kogeneratorių veikimo metu pagamintos šilumos, 2-7 GWh vandens šildymo katilais ir 15 GWh iš pramonės ir 28 GWh iš atliekų deginimo jėgainės. Kogeneratoriai per metus pagamina apie 24-30 GWh elektros energijos. Jėgainės metinis gamtinių dujų poreikis siekia maždaug 5-9 mln. nm^3 [48].

5.2. Biokuro katilai

Katilinė, kurioje deginamas biokuras, sudaryta iš tokių įrenginių:

- kuro sandėlio, kurį gali sudaryti keletas patalpų, pvz., priėmimo aikštelė, pagrindinis sandėlis, automatizuotas sandėlis arba automatizuotas pagrindinio sandėlio skyrius ir t. t.;
- kuro tvarkymo įrangos kuro padavimui iš pagrindinio sandėlio į automatizuotą sandėlį ir toliau – į kūryklą;
- katilo ir kūryklos;
- degimo produktų valymo įrangos (multiciklono, rankovinio filtro ir t. t.) ir dūmtraukio;
- pelenų tvarkymo įrangos;
- degimo oro ventiliatorių, degimo produktų traukos ventiliatoriaus, saugos ir kontrolės prietaisų.

Atsižvelgiant į didelę biokuro savybių įvairovę, šių kuro rūšių deginimui gali būti taikomos įvairios skirtingos technologijos:

- Sluoksninio deginimo ant ardynų technologijos – naudojami įvairių konstrukcijų ardynai, kuriuos galima suskirstyti į dvi grupes –stacionarieji ir judantys ardynai. Galingumas 0,05 iki 15 MW;
- deginimas verdančiame sluoksnyje – naudojamas verdantis arba cirkuliuojantis verdantis sluoksnis. Nuo 5 iki 20 ir daugiau MW;
- kuro gazifikacija ir deginimas dujomis arba mazutu kūrenamame katile. Galingumas nuo 0,3 iki 15 MW.

Yra kelios rūšys ardynų:

- stacionarieji;
- judamieji pasvirieji;
- grandininiai;
- specialūs ardynai specifinėmis savybėmis
- pasižyminčiam kurui, pvz., komunalinėms atliekoms.

Sluoksninio deginimo ant ardyno technologijos yra plačiausiai paplitusios vidutinės ir mažos galios katilinėse. Kūryklos yra su stacionariais ardynais ir mechaniniais. Dažniausiai stacionarus pasvirasis ardynas įtaisomas kūrykloje tam tikru kampu, kad kuras kristų veikiant sunkio jėgai iš ardyno džiovinimo zonos į anglies degimo zoną. Stacionaraus ardyno pasvirimo kampas apytiksliai lygus kuro kritimo kampui. Priklausomai nuo kuro tipo ir ardyno elementų konstrukcijos, ardynams rekomenduojami tokie nuolydžiai:

- stacionariems pasviriesiems ardynams su strypais natūraliai išdžiovintų gabalinių durpių, pjuvenų ir drožlių deginimui – 32–36°;
- laiptuotiesiems ardynams pjuvenų deginimui – 38–40°;
- laiptuotiesiems ardynams gabalinių durpių deginimui – 30° [50].

Lyginant kūryklas su stacionariaisiais ardynais, judamojo ardyno privalumas yra tas, kad dėl judančių ardyno elementų galima geriau kontroliuoti kuro sluoksnio judėjimą, kuro sluoksnis vienodžiau pasiskirsto ant ardyno, dėl to degimo procesas tampa efektyvesnis, o degimo produktuose sumažėja kenksmingų komponentų. Egzistuoja kombinuotas sprendimas – dvigubo ardyno konstrukcija su stacionaria viršutine dalimi džiovinimo ir pirolizės zonoms bei mažiau pasvirusiu judamuoju ardynu degimo zonai.

Siekiant aukšto deginimo efektyvumo bei minimalaus emisijų lygio, ypač svarbi yra optimalaus oro paskirstymo ir valdymo sistema, į kurią įeina oro padavimo ventiliatoriai su reguliuojamu sukimosi greičiu. Be to, naudojama kontroliuojama degimo produktų recirkuliacija,

leidžianti vartotojui kontroliuoti šilumos išsiskyrimą ardyne ir užtikrinanti švarų įvairių kuro rūšių deginimą su mažomis NOx ir CO emisijomis.

Verdančio sluoksnio kūryklos yra naudojamos, kai norima išgauti didesnį našumą katilo. Kadangi vis didėjant deginimui paduodamo oro srauto greičiui, gali būti pasiekta būsena, kai oras pakelia kuro sluoksnį ir kuro dalelės pakimba oro sraute. Atrodo, kad kuro sluoksnis pradeda virti, iš čia ir atsirado terminas „verdantis sluoksnis“. Aprašytasis verdantis sluoksnis vadinamas stacionariuoju verdančiu sluoksniu. Drėgmė, išsiskyrusios lakiosios medžiagos, pelenai ir smulkios kuro dalelės iš kuro sluoksnio išnešami. Smulkios kuro dalelės ir lakiosios medžiagos dega degimo kameroje virš verdančio sluoksnio. Kai oro srauto greitis išauga daugiau negu reikia stacionariam verdančiam sluoksniui susidaryti, degančios kuro dalelės išnešamos kartu su oro srautu. Ciklone – separatoriuje kietosios dalelės atskiriamos nuo oro bei dujų srauto ir sugrąžinamos atgal į kūryklą. Kadangi degantis kuras cirkuliuoja tarp kūryklos ir separatoriaus, šiai deginimo technologijai apibrėžti vartojamas terminas „cirkuliuojantis verdantis sluoksnis“. Deginimo technologijos ir stacionariajame, ir cirkuliuojančiame verdančiame sluoksnyje puikiai tinka biokuro, durpių ir atliekų deginimui [50].

Ardyninių pakurų privalumai:

- mažos investicijos katilinėms iki 20 MW;
- mažos eksploatacijos sąnaudos;
- mažos kietųjų dalelių emisijos išmetamuose dūmuose;
- mažiau jautresnės šlakavimuisi nei verdančio sluoksnio kūryklos.

Ardyninių pakurų trūkumai:

- negalima maišyti skirtingo tipo biomasės deginant;
- efektyviam NO_x mažinimui reikalingos specialios technologijos;
- didelis oro pertekliaus koeficientas kūrykloje mažina degimo efektyvumą;
- ne vienodos degimas visoje kūrykloje kaip verdančio sluoksnio kūrykloje;
- siekiant sumažinti emisijas veikiant katilui ne pilna apkrova reikalauja specifinio degimo reguliavimo.

Verdančio sluoksnio pakurų privalumai:

- nėra judančių mechaninių dalių kūrykloje;
- mažesnė neigiama įtaka katilo efektyvumui nuo kuro drėgnio ar kuro tipo;
- mažas oro pertekliaus koeficientas didina katilo efektyvumą ir susidarančių dūmų kiekį;

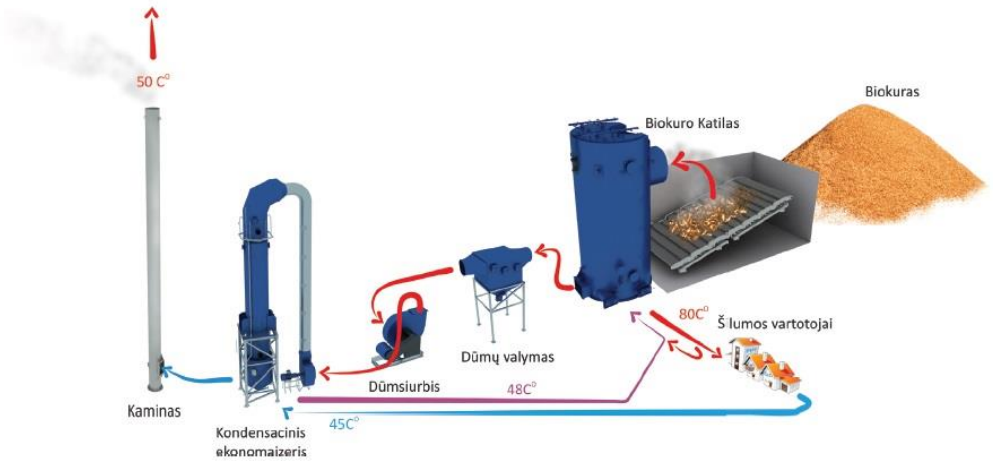
Verdančio sluoksnio pakurų trūkumai:

- didelės investicijos;
- didelės eksploatacijos išlaidos;

- didelis kiekis kietųjų dalelių išeinančiuose dūmuose;
- nesudegusio kuro praradimas kartu su pelenais [51].

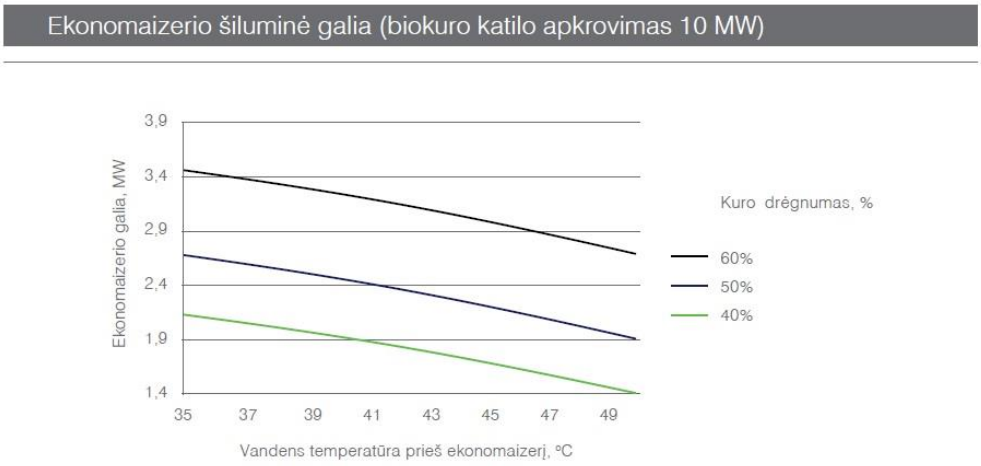
Siekiant padidinti katilinės efektyvumą yra naudojami šie būdai:

- kuro džiovinimas nuo 50 % iki 30 % drėgmės, gali padidinti maždaug 8,7 % šiluminį efektyvumą;
- deguonies (O_2) sumažinimas išeinančiuose dūmuose 1 %, gali padidinti maždaug 0,9 % šiluminį efektyvumą;
- sumažinus išeinančių dūmų temperatūrą 10 ^oC, gali padidinti 0,8 % šiluminį efektyvumą;
- naudojant medžio žievę kaip kurą, kuri turi nuo 10 % iki 5 % drėgmės, gali padidinti 0,3 % šiluminį efektyvumą;
- išeinančių dūmų kondensacija (lyginant su tradiciniais katilais be dūmų kondensacijos), gali padidinti vidutiniškai 17 % (maksimaliai 30 %) šiluminį efektyvumą [51].



6 pav. Principinė biokuro katilinės schema su ardynine pakura ir kondensaciniu ekonomaizeriu [52]

6 paveiksle yra pateikiama principinė biokuro katilinės schema su pagrindiniai pagalbiniai įrenginiais. Grįžtantis termofikacinis vanduo pirmiausia yra tiekiamas į kondensacinio ekonomaizerio šilumokaityje, kuriame yra pašildomas sukondensuotais iš katilo išeinančiais dūmais. Po to yra tiekiamas į biokuro katilą, kuriame yra pašildomas iki numatytos temperatūros ir tiekiamas atgal į CŠT sistemą.

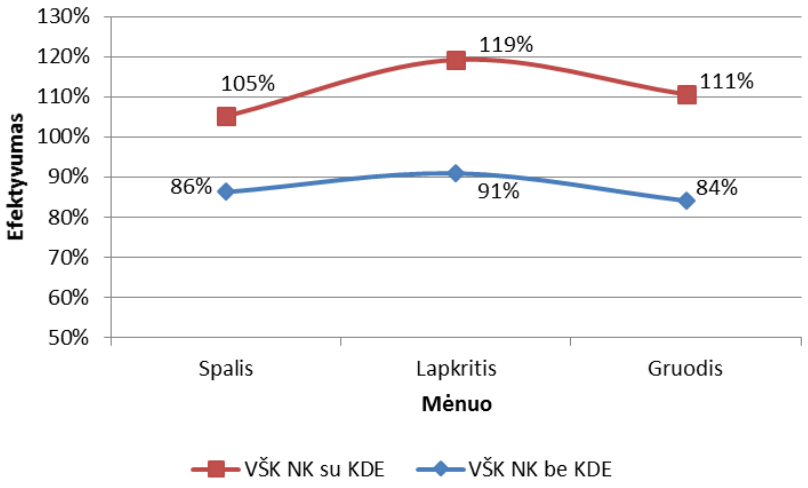


7 pav. Kondensacinio ekonomaizerio šiluminė galia, esant 10 MW katilo apkrovimui [52]

Pastebima 7 paveiksle, kad kylant grįžtančio vandens iš miesto tinklų temperatūrai ekonomaizerio galia mažėja. Atgaunamos šiluminės energijos kiekis priklauso nuo kuro drėgmės, deguonies koncentracijos dūmuose bei vandens temperatūros prieš ekonomaizerį [51].

Mokslinės veiklos praktikos metu buvo atlikta Naujosios Vilnios rajoninės katilinės (RK-2) biokuro katilų analizė. Šios katilinės principinė veikimo schema atitinka pateiktąją 6 paveiksle. Katilinėje yra įrengti du biokuru kūrenami vandens šildymo katilai po 6 MW galios ir 83 % šiluminio efektyvumo. Abiem katilams yra įrengtas vienas (1,5 MW) kondensacinis ekonomaizeris su pagalbiniais įrenginiais.

Praktikos metu remiantis gautais duomenimis, buvo apskaičiuoti katilo nuostoliai bei efektyvumas. Nagrinėti duomenys buvo 2012 metų paskutinio ketvirčio. Apskaičiuoti mėnesių efektyvumo rodikliai yra pateikiami 8 paveiksle.



8 pav. Naujosios Vilnios biokuro katilų efektyvumas

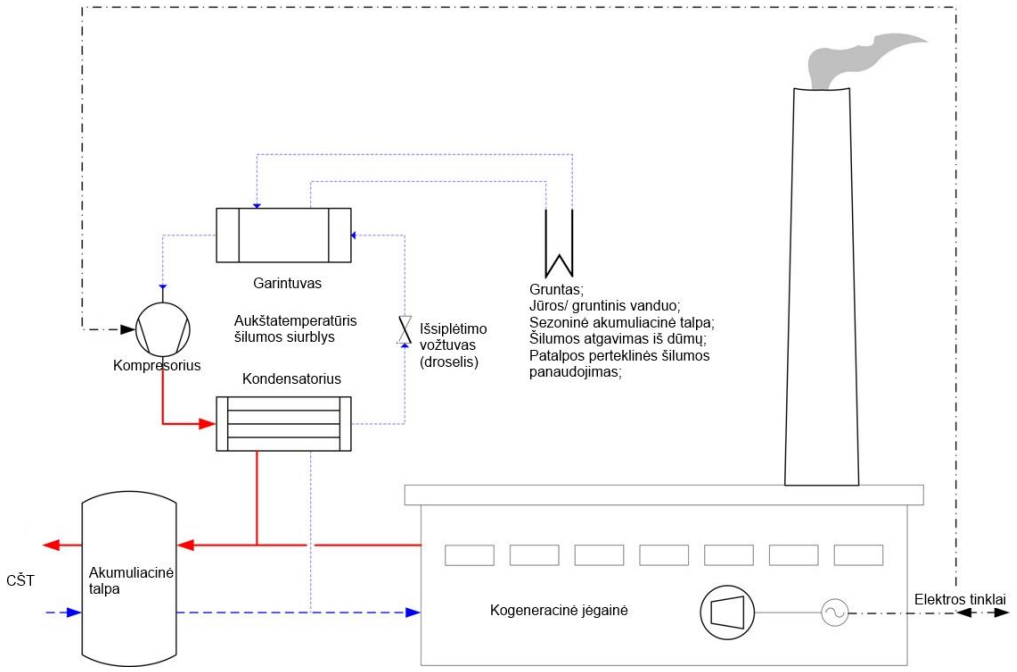
Matoma iš grafiko, kad kondensacinį ekonomaizerį įrengti yra tikslinga, siekiant efektyvios šilumos gamybos iš biokuro. Tačiau priklausomai nuo katilinės galios, skiriasi investicijos kondensacinius ekonomaizerius. Įrengiant kondensacinį ekonomaizerį į katilinę esančią iki 2 MW

šiluminės galios, ekonomaizerio kaina yra maždaug 50 % nuo katilų investicijų. Esant katilinei 5 MW ir daugiau, investicijos siekia 33 % nuo investicijų į katilus. Atsižvelgiant į tai, matoma, kad ekonomaizerio įrengimas į mažesnę katilinę išbrangina įrangos atsipirkimą ir projektas gali būti ekonomiškai nepatrauklus[53].

5.3. Aukštatemperatūriai šilumos siurbliai

Egzistuoja du tipai šilumos siurblių – absorbciniai ir kompresoriniai šilumos siurbliai. Absorbcinių šilumos siurblių veikimui reikalingas aukštų temperatūrų šilumnešis, o kompresoriniam šilumos siurbliui reikalinga elektra. Lietuvoje esant žemos temperatūros geoterminei energijai yra neefektyvu ją naudoti tiesiogiai, dėl to naudojami kompresoriniai šilumos siurbliai [38].

Nuolat tobulėjant technologijoms, šilumos siurblių efektyvumas per 25 metus padidėjo 50 % - 100 %. Įrenginio efektyvumas (COP) apskaičiuojamas pagal pagamintą šilumos energijos kiekį priklausomai nuo elektros sąnaudų.



9 pav. Aukštų temperatūrų šilumos siurblių principinė panaudojimo kogeneracinėje jėgainėje schema [54 interpretuota autoriaus]

9 paveiksle yra pateikiama principinė schema su šilumos siurblių panaudojimo galimybėmis kogeneracinėje jėgainėje. Aukštatemperatūriai šilumos siurbliai taip pat gali tiekti pašildytą vandenį tiesiai į miesto tinklus, nes įrenginiai vandenį gali pašildyti iki 100 ^{o}C. 1 lentelėje yra pateikiamos projektinės temperatūros priklausomai nuo šilumos šaltinio temperatūros ir naudojamo šaltnešio.

Aukštatemperatūriuose šilumos siurbliuose darbo agentu naudojami natūralūs šaltnešiai: amoniakas (NH_3), angliavandenilis (HC) ir anglies dvideginis (CO_2). Pagal šilumos siurblio panaudojimo paskirtį, našumą ar išgaunamas temperatūras yra parenkamas šaltnešis bei kompresoriaus tipas.

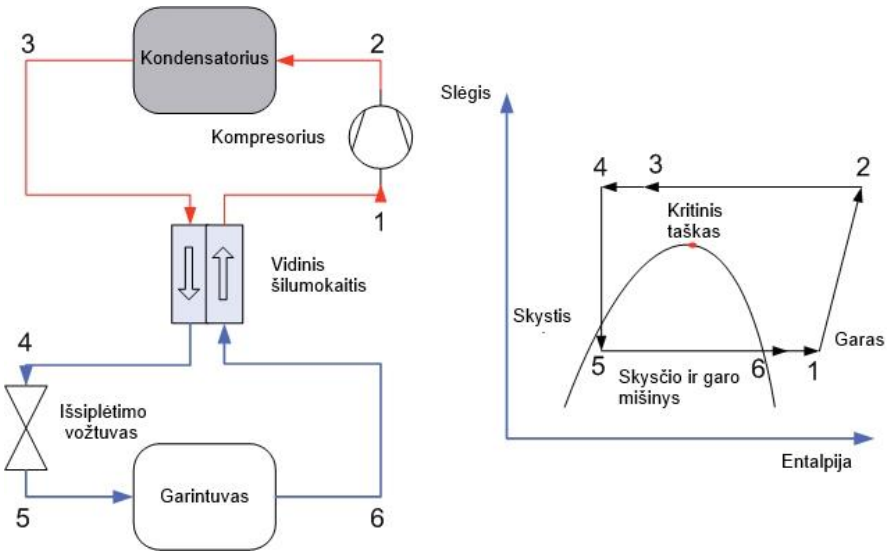
1 lentelė. Šaltnešio tipo išnaudojimo potencialas [46 interpretuota autoriaus]

Apytikslios COP reikšmės ir šaltnešio tipas		Vandens temperatūra CŠT sistemoje							
		30 - 70 °C	40 - 70 °C	30 - 80 °C	40 - 80 °C	30 - 90 °C	40 - 90 °C	30 - 100 °C	40 - 100 °C
Šilumos šaltinio temperatūra į/temperatūra iš šilumos siurblio	10 - 5 °C	3,2 -3,8 CO_2, NH_3	2,8 -3,4 CO_2, NH_3	3,1 -3,5 CO_2, NH_3	2,7 -3,2 CO_2, NH_3	2,9 -3,3 CO_2, NH_3	2,5 -3,1 CO_2, NH_3	-	-
	20 - 10 °C	3,4 -4,3 CO_2, NH_3	3,0 - 4,0 CO_2, NH_3	3,3 -4,0 CO_2, NH_3	2,9 -3,6 CO_2, NH_3	3,1 -3,7 CO_2, NH_3	2,7 -3,4 CO_2, NH_3	-	-
	30 - 10 °C	4,4 -4,8 Hibrid., NH_3	4,3 -4,7 Hibrid, NH_3	4,2 -4,6 Hibrid., NH_3	4,0 -4,4 Hibrid, NH_3	3,8 -4,3 Hibrid., NH_3	3,5 -3,8 Hibrid., NH_3	2,9 - 3,3 Hibrid.	2,8 - 3,2 Hibrid.
	30 - 20 °C	3,2 -3,8 CO_2, NH_3	3,2 -3,8 CO_2, NH_3	3,2 -3,8 CO_2, NH_3	3,2 -3,8 CO_2, NH_3	4,1 -4,5 NH_3	3,7 -4,1 NH_3	2,9 - 3,3 Hibrid.	2,8 - 3,2 Hibrid.
	40 - 10 °C	-	3,2 -3,8 CO_2, NH_3	-	3,2 -3,8 CO_2, NH_3	-	4,0 -4,4 Hibrid., NH_3	-	3,3 - 3,7 Hibrid.
	40 - 20 °C	-	3,2 -3,8 CO_2, NH_3	-	3,2 -3,8 CO_2, NH_3	-	4,2 -4,6 Hibrid., NH_3	-	3,4 - 3,8 Hibrid.
	40 - 30 °C	-	3,2 -3,8 CO_2, NH_3	-	3,2 -3,8 CO_2, NH_3	-	4,7 -5,1 NH_3	-	3,7 - 4,1 Hibrid.

1 lentelėje pateiktos COP reikšmės prie tam tikrų temperatūrų bei naudojant tam tikrą šaltnešį. Hibridiniu šaltnešiu yra vadinamas amoniako ir vandens mišinys (H_2O/NH_3). Galima pastebėti, kad didžiausios temperatūros yra gaunamos naudojant šilumos siurblius hibridiniu šaltnešiu, tačiau jos yra išgaunamos prie sąlyginai aukštesnės temperatūros šilumos šaltinio (10-30 °C).

Amoniakas (NH_3 arba R717) kaip šaltnešis kondensuojasi ir garuoja prie pastovios temperatūros, t.y. garavimo ar kondensavimosi metu temperatūra yra konstanta, karštoje ar šaltoje pusėje šilumos siurblio. Būtent dėl to, vienos pakopos amoniakinio šilumos siurblio potencialas nėra tinkamai išnaudojamas karštoje ir šaltoje pusėse. Jeigu yra poreikis didesnei temperatūrai šilumos siurblys turėtų būti kelių pakopų. Kiekviena pakopa keltų temperatūrą išnaudodama šaltnešio žemų temperatūrų potencialą. Maksimali temperatūra dabartinių amoniakiniu šilumos siurblių yra maždaug 90 °C, tačiau yra atliekami tyrimai siekiant pasiekti aukštesnių temperatūrų [46].

Anglies dvideginio (CO_2 arba R744) šilumos siurbliai veikia vadinamoje virš kritinėse slėgio ribose, tai reiškia, kad kondensuojantis šaltnešio (garai) temperatūra krenta, o garavimo metu temperatūra išlieka pastovi.



10 pav. R744 (CO_2) p-h diagrama [55]

10 paveiksle yra pateikiama principinė šilumos siurblio schema ir R744 šaltnešio p-h diagrama. Matoma, kad įrenginys veikai virš kritinio taško ir tarp taškų 2 – 4 vyksta garų aušinimas. Šio šaltnešio kritinio taško parametrai yra 31 ^oC ir maždaug 73 bar, antras taškas yra pasiekiamas maždaug prie 130 bar ir 160 ^oC. Tada pradedamas garų aušinimas, atiduodant šilumą šaltesniam objektui.

R744 šaltnešį panaudoti yra perspektyvu siekiant atgauti šilumą iš šaltinio, kurio temperatūra ne aukštesnė už 40 ^oC. Kalbant apie CŠT sistemą grįžtamo vamzdyno tinklų vandens temperatūra neturėtų viršyti šios temperatūros, norint išlaikyti gerą COP reikšmę. Sistema naudojanti R744 kaip šaltnešį gali išgauti apie 90 ^oC šilumos [46].

Pagal globalinio atšilimo potencialo vertinimą (angl. Global warming potential GWP) šimtui metų CO_2 įvertintas 1, o NH_3 yra neutralus – 0.

Aukštatemperatūrių šilumos siurblių privalumai:

- panaudojama žemos temperatūros energija;
- lengvai prisitaikantis veikimas prie kitų atsinaujinančių energijos šaltinių
- aplinkai nekenksmingi šaltnešiai.

Aukštatemperatūrių šilumos siurblių trūkumai:

- sudėtinga technologija;
- didelės investicijos į įrangą;
- naudojama elektros dažniausiai būna pagaminta iškastinį kurą deginančiose jėgainėse [46].

Pavyzdinė CŠT sistema su šilumos siurbliu naudojančiu amoniaką (R717) kaip šaltnešį yra miestas pietų Norvegijoje, 40 km nuo Oslo – Dramenas. Sistema pradėta eksploatuoti 2011 metais, joje yra integruoti 3 šilumos siurbliai po 5 MW ir jų bendra galia siekia 15 MW. Šios sistemos tiekiama temperatūra į tinklus yra 90^oC, šilumos šaltinis jūros vanduo +8 ^oC/+4 ^oC, COP=3,3 [54].

5.4. Dujofikavimas

Biomasės dujofikavimas yra termocheminė konversijos technologija. Pagal biomasės oksidavimui naudojamų medžiagų rūšį konversijos technologijos skirstomos taip:

- dujofikavimas ore, kai oksidavimui yra naudojamas atmosferos oras;
- dujofikavimas gryname deguonyje;
- dujofikavimas garuose [38].

Dujofikavimą tikslinga taikyti prastos kokybės kurui, kurio deginimas įprastu būdu yra neefektyvus. Blogos kokybės mažo kaloringumo kietojo kuro dujofikavimas dažniausiai naudojama dėl šių priežasčių:

- siekiant prastos kokybės kietąjį kurą naudoti pramonėje;
- siekiant gauti švarų kurą ypatingiems poreikiams (vidaus degimo varikliams);
- siekiant pritaikyti dujinį katilą dujofikuoto biomasės kuro naudojimui [38].

Šilumos gamybos požiūriu technologijas galima klasifikuoti į:

- autotermines, kai procesui reikalinga šiluma generuojasi oksidavimo fazėje
- alotermines, kai šiluma distiliavimo fazei tiekiama, pašildžius dujofikavimo agentą (pvz. garą).

Dujofikavimo procesas vyksta 4 etapais:

I. Džiovinimas;
II. Oksidacija (degimas);
III. Distiliavimas (pirolizė);
IV. Redukavimas (sunkiųjų biomasės molekulių irimas – dujofikavimas).

Naudojant deguonį kaip oksidantą, galutinis produktas formuojasi pagal šią lygtį:

$$C_6 H_{10}O_5 + O_2 = C_xH_z + C_nH_mO_y + CO + H_2 + \text{šiluma}$$

Iš šios lygties matyti, kad dujofikavimas yra degimas sumažinto oro (deguonies) tiekimo sąlygomis. Pagrindinis dujofikavimo produktas yra degios dujos, kurias sudaro anglies monoksido, anglies dioksido, vandenilio, metano, vandens garų mišinys [38].

Pagal šiluminę vertę (MJ/nm^3) dujofikavimo metu susidariusios medienos dujos skirstomos:

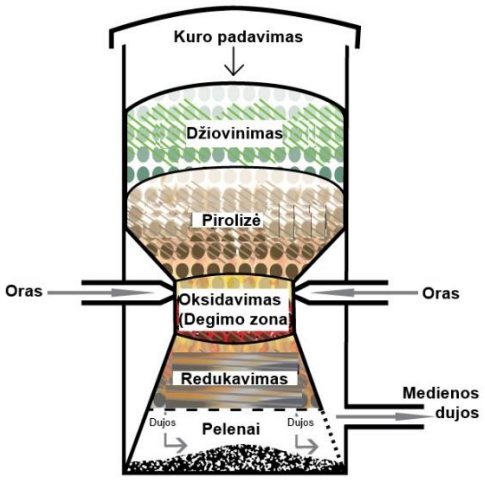
- žemo kalorignumo < 8 MJ/nm^3;
- vidutinio kaloringumo 8 – 14 MJ/nm^3;
- normalaus kaloringumo 14 – 20 MJ/nm^3;
- aukšto kaloringumo > 20 MJ/nm^3 [38].

Dujofikavimo procesas vyksta metaliniame bake, vadinamame reaktoriumi. Pagal dujų paskirtį reaktoriai skirstomi:

- Šilumos reaktoriai – jų pagamintos dujos degina-mos katilinėse, krosnyse, džiovyklose;
- Galios reaktoriai – jų pagamintos dujos naudojamos vidaus degimo varikliuose kombinuotai elektros gamybai.

Visos naudojamos biodujų dujofikavimo technologijos skirstomos į 5 grupes:

- lygiagrečių srautų reaktoriai;
- priešpriešinių srautų reaktoriai;
- kryžminių srautų reaktoriai;
- sklandančio kuro reaktoriai;
- nepertraukiamo kuro tiekimo reaktoriai.



11 pav. Lygiagrečių srautų dujofikavimo reaktorius [38]

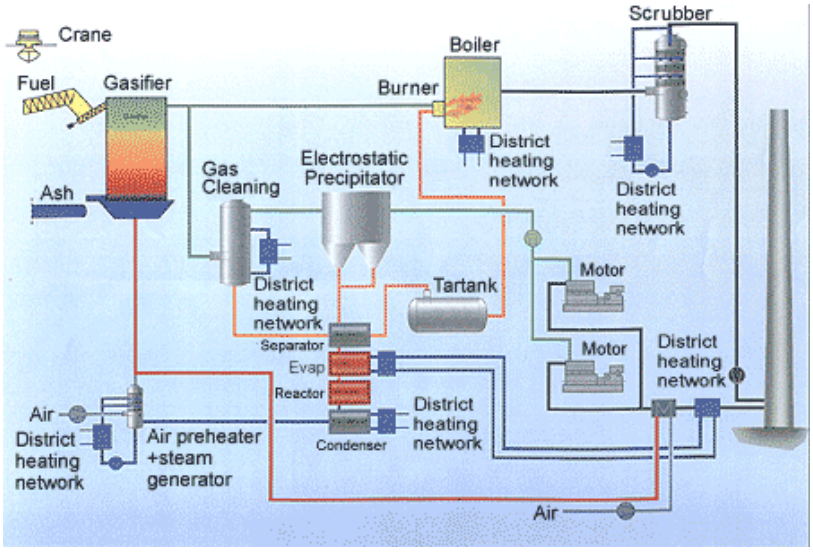
Į lygiagrečių srautų reaktorių (11 pav.) kuras ir oras nukreipiami ta pačia linkme. Kuras tiekiamas iš viršaus. Oras tiekiamas pusiaukelėje. Pasigaminusios dujos išeina apatiniame sluoksnyje.

Į priešpriešinių srautų reaktorių kuras ir oras tiekiami priešingomis kryptimis. Kuras tiekiamas iš viršaus, oras iš apačios. Dujos išeina iš viršutinio sluoksnio.

Į sklendžiančio kuro reaktorių oras tiekiamas iš šono, žemiau už tiekiamą kurą. Tada oro srovė pakelia biokurą, kuris sklando degimo zonoje. Naudojami dviejų tipų sklandančio kuro reaktoriai: kunkuliuojantys ir cirkuliuojančio oro srauto. Kunkuliuojantys reaktoriai turi gerai valdomą temperatūrą, aukštą konversijos koeficientą, nejautrūs dalelių dydžiui, maitinimo netolygumui ir drėgmei, tačiau jų dujų kokybė blogesnė – turi nemažai kietųjų priemaišų. Cirkuliuojantys reaktoriai pasižymi gera dujų kokybe. Jie tinka, kai įrenginio galia didesnė nei 10 MW [38].

Vienas iš medienos dujofikavimo panaudojimo pavyzdžių yra Danijoje, Harboøre mieste. Šiame mieste yra įrengta kogeneracinė jėgainė naudojanti medienos skiedras, kaip kurą. 1996 metais jėgainėje pastatytas lygiagrečių srautų dujofikavimo reaktorius. Katilinės nominali elektrinė galia

siekia 1 MW (28 % efektyvumas) ir 1,9 MW (53 % efektyvumas) šiluminės energijos. Jėgainės bendras efektyvumas siekia 94 %. Principinė jėgainės schema pateikiama 12 paveiksle.



12 pav. Harboore kogeneracinės jėgainės principinė schema [56]

6. Modeliavimo priemonės pasirinkimas

Planuojant centralizuotą kvartalo aprūpinimą šilumine energija reikia atlikti situacijos analizę. Patogiausias būdas tokioms sistemoms nagrinėti yra kompiuterinės programos, su kuriomis, galima lengvai ir tiksliai išanalizuoti daugybę variantų. Būtent tokiai analizei tinka TRNSYS bei „energyPRO“ programos.

Šios abi programos panašios tuo, kad su jomis galima modeliuoti objekto poreikius pagal tam tikras užsiduotas sąlygas, įvairiapusiškai įvertinti įvairių energiją gaminančių sistemų darbą.

TRNSYS – labai lanksti modeliavimo priemonė skirta imituoti ir grafiškai pavaizduoti sistemų elgseną. Šios programos pagalba galima išanalizuoti įvairias sistemas pradedant nuo energetinių sistemų ir energijos srautų jose, baigiant biologinių procesų modeliavimų. Modeliuojant sus šia programa, reikia puikiai išmanyti sistemos veikimo principą bei turėti programavimo sugebėjimų [57].

„EnergyPRO“ – tai programinė įranga gebanti analizuoti energiniu, ekonominiu požiūriu sistemas. Ši modeliavimo priemonė labiausiai tinkama planuojant teritorinį energijos aprūpinimą. Programa matematinėmis lygtimis leidžia aprašyti realias bei planuojamas energetines sistemas: jų techninius ir ekonominius rodiklius, procesus, kuro, energijos ir finansų srautus. Lyginant su TRNSYS ši programa skaičiuoja dar ekonominius rodiklius, tas paspartina darbą ir yra labai patogu, nes programa viską grafiškai pavaizduoja [58].

Abiejų programų galimybės sprendžiant baigiamojo darbo atvejį yra iš dalies vienodos, gauti rezultatai abejose programose neturėtų skirtis. Siekiant patogesnio ir paprastesnio naudojimo pasirenkama „energyPRO“ programa.

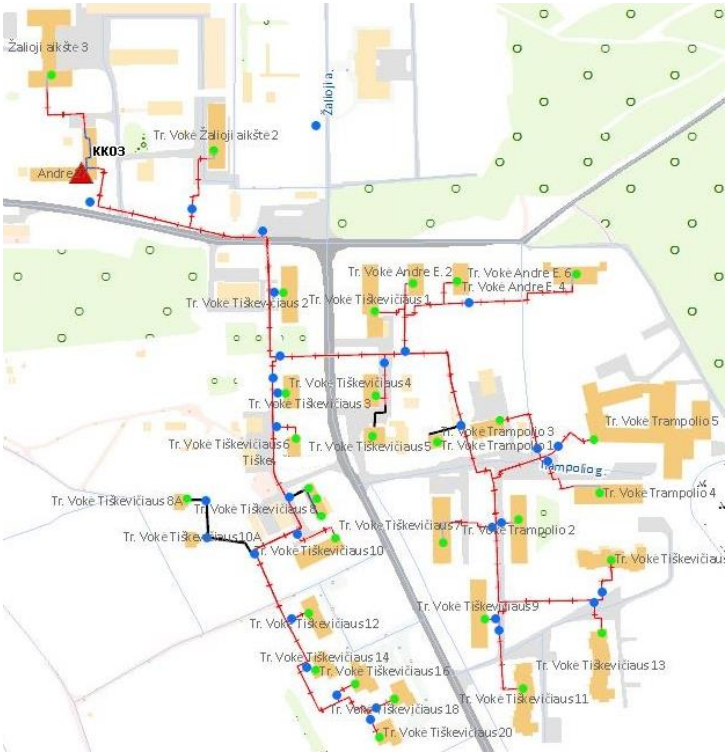
7. Tyrimui reikalingų duomenų rinkimas ir sisteminimas

Magistrinio baigiamojo darbo tikslui įgyvendinti reikalingas didelis kiekis įvairaus tipo duomenų. Šiuos duomenis sudaro nagrinėjamas objektas ir jo šilumos poreikiai, klimatinės sąlygos, įrenginių techninės charakteristikos bei elektros rinkų duomenys. Visi šie duomenys yra toliau naudojami analizuojant alternatyvų pritaikymą objekto šilumos gamybos procesui.

7.1. Nagrinėjamas objektas

Baigiamojo darbo nagrinėjamu kvartalu pasirinkta Trakų Vokė. Objektas yra nagrinėjamas, nes yra tipinis kvartalas, kuriame yra tiekiama šiluminė energija centralizuotais tinklais, o katilinė patenkinanti šilumos poreikį ištisus metus yra kūrenama tik gamtinėmis dujomis.

Trakų Vokė yra Vilniaus miesto dalis, esanti į pietvakarius nuo miesto centro bei priklausanti Panerių seniūnijai. Šiame mikrorajone yra vidurinė mokykla, vaikų darželis, Trakų Vokės Koplyčia, prekybos centrai, seniūnijos pastatas, maitinimo bei kitas paslaugas teikiančios įstaigos. Vyrauja mažaaukštė statyba ir privatūs namai. [61]



13 pav. Trakų Vokės centralizuotų šilumos tinklų schema [65]

Kvartale šilumos sektorius yra pasidalinęs į decentralizuotą ir centralizuotą šilumos tiekimą. Decentralizuotą šilumos tiekimą pastatams užtikrina individualūs dujiniai katilai (individualiuose namuose) bei elektriniai vandens šildymo šildytuvai. Centralizuotai šiluma yra tiekiama iš kvartalinės katilinės (KK-03), E. Andrė g. 27. Ši katilinė aprūpina šilumine energija 31 objektą. Objektai yra įvairaus tipo: administraciniai pastatai, gyvenamieji (daugiabučiai), mokykla, vaikų darželis 2 individualūs namai (kuriems tiekiama energija tik patalpų šildymui).

13 paveiksle pateikiama nagrinėjamo varianto šilumos tiekimo schema. CŠT sistema yra šakotinė. KK03 pažymėta katilinė, mėlyni taškai yra šiluminės kameros, žali taškai yra pastato šilumos punktai.

7.2. Vietovės klimato duomenys

Siekiant įvertinti šilumos poreikio kitimą nagrinėjimo laikotarpio metu turi būti įvertinta aplinkos temperatūra. Norint įvertinti šilumos poreikį nepriklausomai nuo tam tikrų metų yra naudojamos norminės aplinkos temperatūros. Šiame darbe, atliekant tiriamąją dalį, yra naudojamos Kauno miestui nustatytos norminės lauko oro temperatūros. 2 lentelėje yra pateikiamos šildymo sezono vidutinės mėnesio temperatūros.

2 lentelė. Vidutinės šildymo sezono temperatūros, ^{o}C

Sausis	Vasaris	Kovas	Balandis	Rugsėjis	Spalis	Lapkritis	Gruodis
-3,4	-2,6	0,5	7,6	12,1	7,2	2,3	-2,6

Šildymo sezono trukmė yra parinkta pagal RSN „Statybinę klimatologiją“. Priimta, kad šildymo sezonas prasideda nuo rugsėjo 23 iki gegužės 1 dienos. [62]

7.3. Šilumos poreikis

Kvartalo šilumos poreikių patalpų šildymui duomenys yra konvertuoti į norminius dydžius remiantis 2012 metų faktiniais duomenimis. Faktiniai patalpų šildymui sunaudotos energijos duomenys yra surinkti remiantis šilumos skaitikliais, esančiais šilumos punktuose. Duomenys buvo perskaičiuoti į norminius priimant, kad patalpų vidaus temperatūra yra 18 ^{o}C, [62]. Norminiai duomenys yra gaunami perskaičiuojant faktinį suvartojimą pagal faktinių ir norminių dienolaipsnių santykį [63]. Kvartalo karšto vandens ruošimo galios bei poreikiai apskaičiuoti remiantis „Pastatų karšto vandens sistemų įrengimo taisyklės“ metodika. [64]

3 lentelėje yra pateikiami kvartalo duomenys, suskirstyti į pastatų grupes.

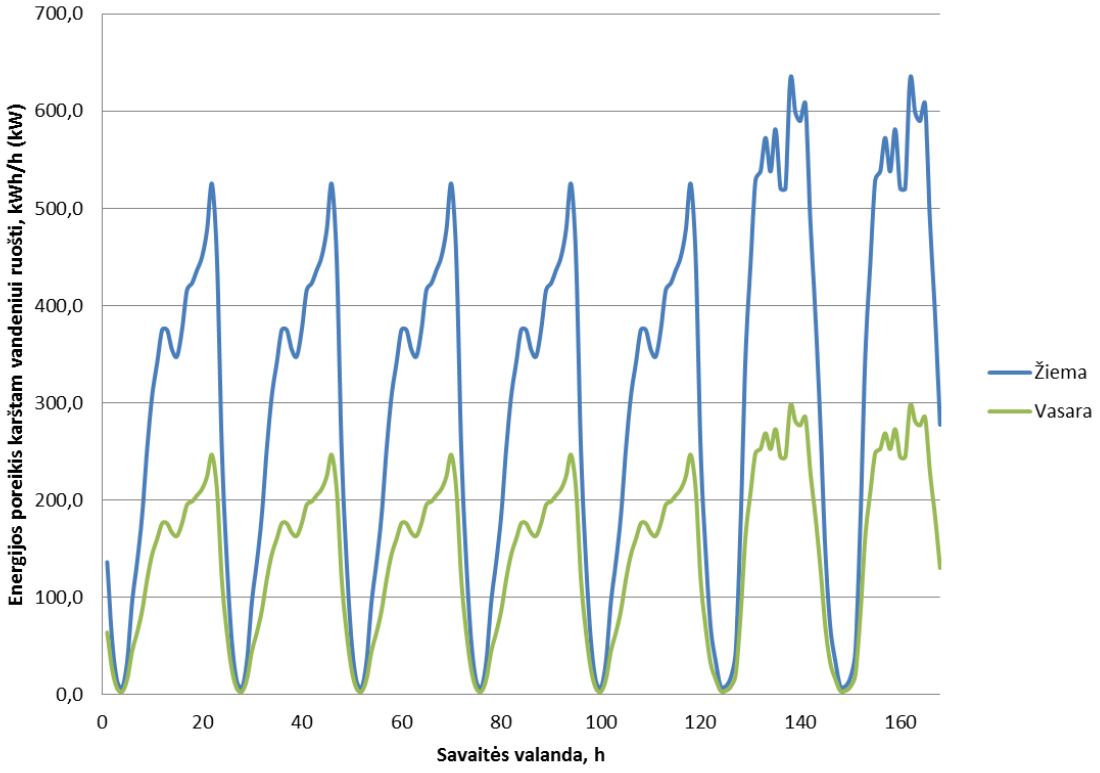
3 lentelė. Nagrinėjamo kvartalo duomenys

Pastato paskirtis	Naud. plotas, m^2	Vidaus temp., ^{o}C	DNL	Šildymo sezono dienos	Išorės vid. temp., ^{o}C	Paruošto k. v. kiekis, m^3	Šildymui suvartota energija, MWh	K.v. ruošimui suvartota energija, MWh	Lyg. Charakt. kWh/m^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gyvenamieji pastatai	17821	18	3720	200	-0,6	38323,3	2531,8	2031,13	142,1
Administraciniai pastatai	1357	18	3720	200	-0,6	-	263,6	-	194,3
Mokykla	3949	18	3720	200	-0,6	139,9	656,7	7,42	166,3
Darželis	832	18	3720	200	-0,6	246,7	114,5	13,08	137,6

Remiantis apskaičiuotais duomenimis matoma, kad metinis patalpų šildymui suvartojimas energijos kiekis yra 3566,6 MWh, o karšto vandens ruošimui suvartojama 2051,6 MWh. Stulpeliuose esantis brūkšnelis rodo, kad tas pastatas karštą vandenį ruošia elektriniais vandens šildytuvais. Kvartalo lyginamoji charakteristika yra 137,6 kWh/m^2. Taip pat remiantis statistiniais duomenimis, kad vidutiniai šilumos nuostoliai centralizuotuose tinkluose yra 16,1% [4], apskaičiuojami metiniai šilumos nuostoliai – 904,2 MWh.

Modeliuojant energiją gaminančias technologijas pagrindinis dalykas, kurį reikia įvertinti, tai vartotojo energijos poreikį. Žinant, kad energijos poreikis nėra pastovus, jis kinta tiek metų tiek dienos bėgyje, reikia šiuos svyravimus įvertinti. Vertinant turi būti sudaryti vartojimo grafikai, kurie apibūdina vartotojų energijos vartojimo tendencijas. Šios tendencijos turi didelę įtaką energiją generuojantiems įrenginiams, jų veikimui. Įvertinus tendencijas galima lengviau ir efektyviau planuoti gamybą atsižvelgiant į vartotojų poreikius.

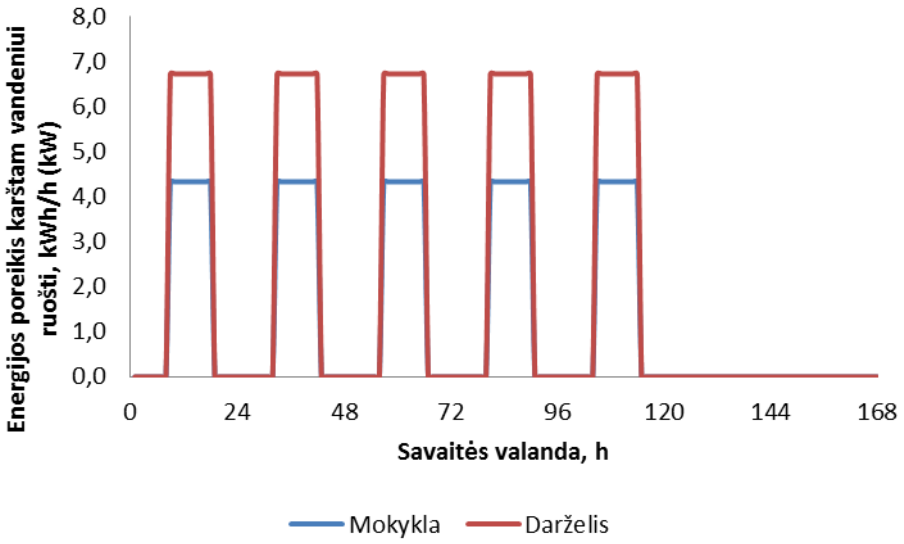
Darbe taip pat yra vertinamas valandinis energijos poreikis karštam vandeniui ruošti, kuris kinta nuo vartojimo tendencijų. Vertinant tendencijas ir kuriant energijos vartojimo grafikus yra vertinami koeficientai [16], kurie įvertina valandinius poreikius atitinkamais sezonais ir savaitės dienomis.



14 pav. Karšto vandens poreikis gyvenamuosiuose pastatuose

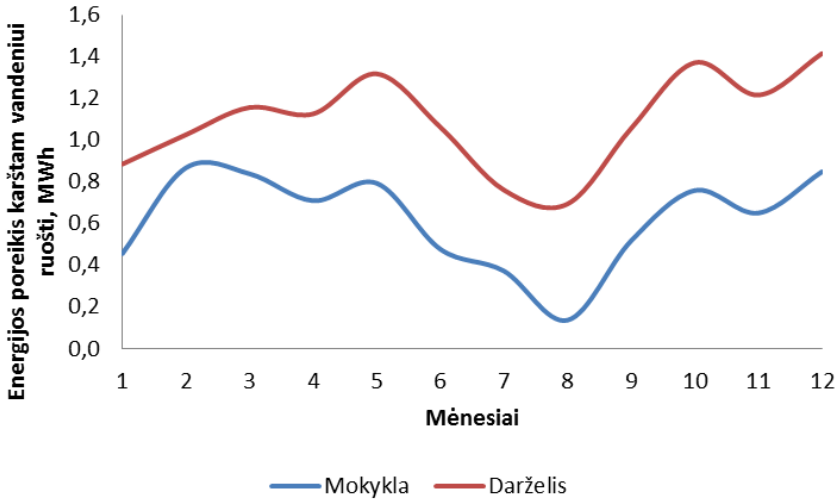
14 paveiksle pateikiama grafikas su vasaros ir žiemos energijos poreikio karšto vandens ruošimui. Grafikas yra pateiktas vienos savaitės, nuo pirmadienio iki sekmadienio. Galima matyti iš grafiko, kad didžiausias suvartojimas yra savaitgaliais. Sudarant grafikus nustatyta, kad

gyvenamuosiuose pastatuose metuose didžiausias energijos valandinis poreikis yra žiemą savaitgalio dienomis 17 valandą – 633,3 kWh/h (kW), o mažiausias poreikis yra vasarą darbo dienomis 3 valandą nakties – 3,2 kWh/h (kW).



15 pav. Karšto vandens poreikis darželyje ir mokykloje

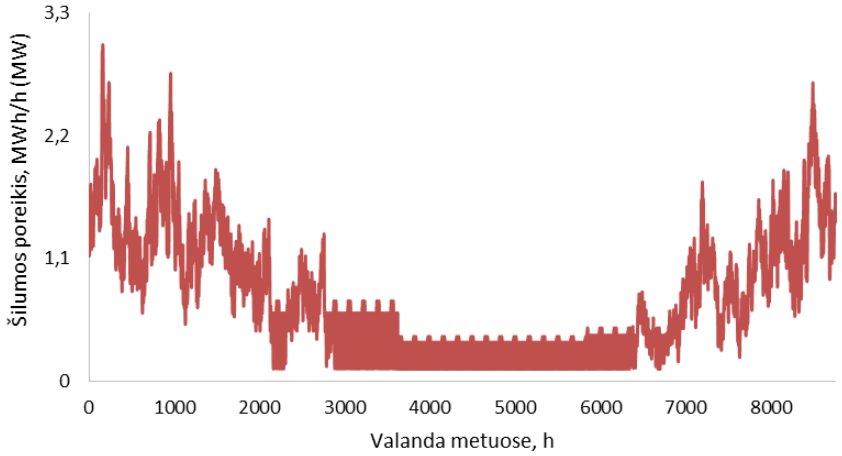
15 paveiksle yra pateikiami mokyklos ir darželio energijos poreikiai karštam vandeniui ruošti žiemos metu, kai vartojimas yra didžiausias per metus. Šiame grafike matoma, kad energija vartojama darbo dienomis, o savaitgaliais buvo įvertinta, kad karštas vanduo yra nevartojamas. Darbo dienomis vartojimas yra pastovus nuo 8 iki 17 valandos. Atitinkamai darželio ir mokyklos energijos poreikiai yra 6,7 kWh/h (kW) ir 4,3 kWh/h (kW). Šių vartotojų poreikiai kinta atitinkamai kiekvieną mėnesį.



16 pav. Karšto vandens poreikis darželyje ir mokykloje metų bėgyje

Pastebima, kad karšto vandens poreikis abejose vartotojų grupėse žemiausią tašką pasiekia rugpjūčio mėnesį, atitinkamai 0,1 ir 0,7 MWh. Didžiausias poreikis mokykloje yra pasiekiamas vasario mėnesį 0,9 MWh,o darželyje gruodžio mėnesį – 1,4 MWh.

Naudojant karšto vandens ir patalpų šildymo energijos poreikius sudaromas bendras grafikas, kuris bus naudojamas modeliuojant katilinės įrenginių veikimą.



17 pav. Kvartalo šiluminės energijos poreikis nagrinėjamu laikotarpiu

17 paveiksle pateiktame grafike matoma, kad didžiausias poreiki yra šildymo sezono metu, o kita metų dalis tik karšto vandens poreikis. Didžiausias poreikis yra pasiekiamas sausio 7 dieną 17 valandą – 3,01 MWh/h (MW), o mažiausias energijos poreikis vasarą, birželio 10 dieną 3 valandą nakties – 0,11 MWh/h (MW).

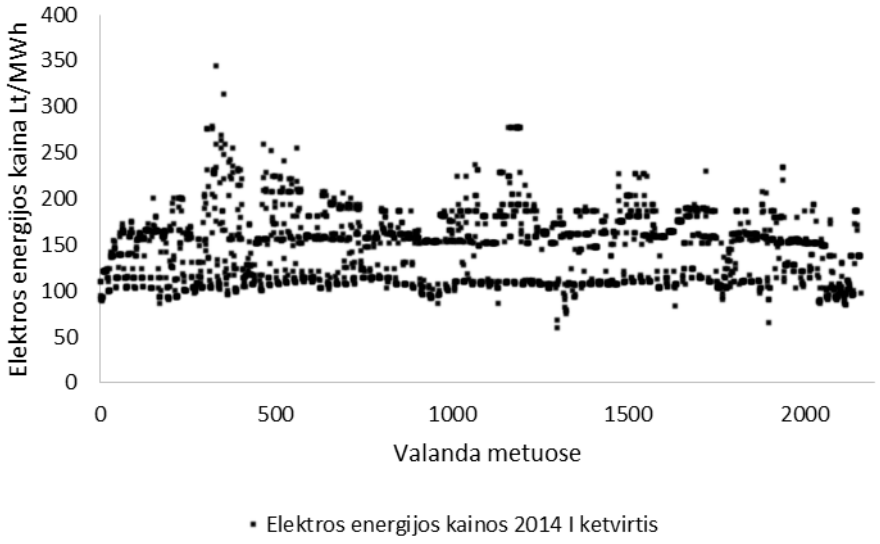
7.4. Elektros rinkos

Modeliuojant katilinėje įrengto kogeneratoriaus veikimą reikalinga apibrėžti rinkos sąlygas pagal, kurias veikia įrenginys. Baigiamajame darbe yra nagrinėjami du scenarijai, vienas yra, kai kogeneratorius veikia pagal valstybės rėmimo programą t.y. viešuosius interesus atitinkančios paslaugos (VIAP) ir realaus laiko rinką „Nord pool spot“ Lietuva (NPS).

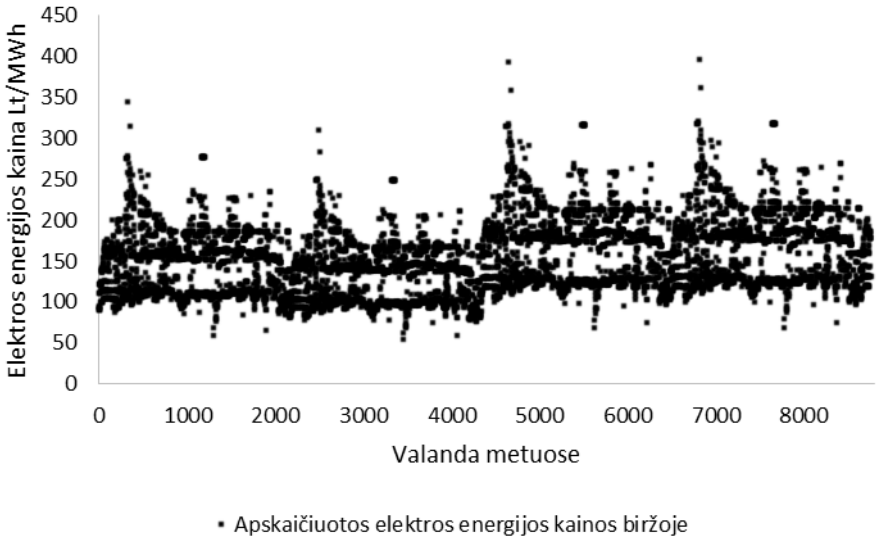
Siekiant sukurti panašias sąlygas į realias, veikiant kogeneratoriui pagal VIAP, yra priimama, kad įrenginyje energijos gamyba bus vykdoma tik šildymo sezono metu (nuo rugsėjo 23 dienos 24 valandos iki gegužės 1 dienos 24 valandos). Superkamos elektros kaina numatoma 37,45 ct/kWh, ši kaina yra nustatyta UAB „Vilniaus energija" Salininkų kvartalinės katilinės termofikacinei elektrinei, kurioje yra įrengtas vidaus degimo variklis [49]. Ši kaina yra parinkta, dėl to, kad šiame darbe taip pat yra numatomas vidaus degimo variklio įdiegimas į katilinę, kuri taip pat tiekia šilumą į CŠT tinklus.

Vertinant kogeneratoriaus veikimą elektros biržoje naudojami „Nord pool spot“ Lietuva faktiniai duomenys pritaikant korekcijos koeficientus. Šie koeficientai įvertina sezoniškumo įtaką elektros energijos kainoms rinkoje. Elektros energijos kainoms biržoje prognozuoti taikomi šie korekcijos koeficientai: I ketvirčiui – 1,00; II ketvirčiui – 0,90; III ketvirčiui – 1,14; IV ketvirčiui – 1,15. [43] Naudojant 2014 metų pirmojo ketvirčio (18 paveikslas) NPS kainų svyravimus buvo

apskaičiuotos visų metų elektros energijos valandinės kainos. Apskaičiuotų kainų kitimas laike matomas 19 paveiksle.



18 pav. Pirmojo 2014 metų ketvirčio kainų svyravimai elektros biržoje



19 pav. Apskaičiuotų kainų svyravimai NPS biržoje metų bėgyje

Įvertinus koeficientus yra gauta, kad I ketvirčio vidutinė kaina – 146,32 Lt/MWh, II ketvirčio – 131,33 Lt/MWh, III ketvirčio – 166,52 Lt/MWh ir IV ketvirčio – 168,06 Lt/MWh. Didžiausia kaina pasiekiama spalio 11 dieną 17 valandą, o mažiausia gegužės 25 dieną 2 valandą.

7.5. Objekto energijos gamybos įrenginiai

Esminis darbo tikslas yra surinkti planuojamų sistemų techninius duomenis ir juos paruošti įvedimui į modeliavimo sistemą. Šie duomenys yra surenkami iš įvairių firmų pateiktų brošiūrų ir nagrinėtų straipsnių. Kadangi planuojamo modelio poreikis technologijoms gali neatitikti, tai yra priimamos santykinės reikšmės, kurios yra pateikiamos literatūros šaltiniuose. Toliau yra aptariamos sistemos, kurios bus naudojamos tiriamajame darbe.

7.5.1. Dujiniai vandens šildymo katilai

Dujiniai vandens šildymo katilai (DK) yra įrengti esamoje katilinėje, kaip bazinis variantas. Katilinėje yra įrengti 3 dujiniai vandens šildymo katilai. 2 katilai „SUPERAC 930“ po 940 kW galios, jų efektyvumas siekia 92 % (toliau šie katilai minimi VŠK-1 ir VŠK-2). Ir vienas, taip pat, dujinis vandens šildymo katilas „PARCA G-MAXI“ 630 kW, kurio efektyvumo koeficientas siekia 94% (toliau VŠK-3). Katilinės darbo metu veikia visada VŠK-1 (arba VŠK-2), neužtenkant katilo galios leidžiasi į darbą VŠK-2 (arba VŠK-1), pasiekus antro katilo maksimalų apkrovimą leidžiamas pikinis VŠK-3. Visas katilinės veikimas priklauso nuo esančio kvartalo šilumos poreikio. [65]

7.5.2. Vidaus degimo variklis

Kadangi kogeneratoriaus veikimas yra planuojamas į VIAP bei NPS yra numatoma, kad bus įrengiamas vidaus degimo variklis (VDV), kadangi tai yra plačiausiai šiuo metu naudojamu mažos galios kogeneracijoje technologijų. Šio tipo įrenginiai pasižymi gana aukštu elektros generavimo efektyvumu (~40 %), greitu paleidimu ir santykinai nedidelėmis investicijomis, tenkančioms 1 kW_e.[44] Šiam įrenginiui modeliuoti naudojami duomenys iš ataskaitos parengtos LR Ūkio ministerijos užsakymu [45] ir energiją generuojančių įrenginių katalogo [46]. Šiuose literatūros šaltiniuose pateikiamos technologinės bei ekonominės prielaidos, kurios yra pagrįstos faktiniais duomenis. Norint pasiekti geresnį vidaus degimo variklio veikimą, tariama, kad kogeneratoriaus minimalus veikimo laikas 2 valandos. [44]

7.5.3. Akumuliacinė talpa

Vienas iš pagalbinių įrenginių siekiant efektyvaus kogeneratoriaus darbo – akumuliacinė talpa (AT). Kintant energijos poreikiams laike ir turint nepastovų energijos šaltinį, praktiškai sunku užtikrinti tokį energijos srautą, koks reikalingas kiekvienu momentu. Tokiu atveju energijos akumuliavimas gali padėti pagerinti energijos tiekimo ir naudojimo lankstumą, patikimumą bei efektyvumą. Šilumos akumuliavimas tampa ypač patrauklus, kai sistemoje apkrovos yra trumpalaikės, retos, ciklinės arba nesutampa su energijos šaltinio galimybėmis. Sistemos su šilumos akumuliavimu energijos sutaupymas susijęs su tuo, kad kai kurie energijos gamybos įrenginiai efektyviau išnaudoja kurą, veikdami nominalia galia, o ne daline apkrova.[44] Šiame darbe naudojamo įrenginio akumuliavimo efektyvumas siekia 95%, o temperatūrų skirtumas tarp viršaus ir apačios yra 40 ^oC.[46]

7.5.4. Biokuro katilai

Siekiant katilinės energijos gamyboje panaudoti atsinaujinančius energijos šaltinius yra diegiami biokuro katilai (BK). Šie katilai yra naudojami pakeisti dujinius katilus. Juose planuojama

deginti medienos skiedras, kurių šiluminė vertė yra 2,25 kg/kWh, drėgmės kiekis 50%, peleningumas 1-5%. [37, 66] Kadangi numatyto vartoti kuro drėgmės kiekis siekia 50% yra numatoma, kad katilai bus diegiami su kondensaciniu ekonomaizeriu, kuris atgauna dalį šilumos kiekio išeinančio su dūmais, taip padidindamas katilų efektyvumo koeficientą. [46] Taip pat kai kurie santykiniai techniniai ir investiciniai dydžiai yra naudojami UAB „Enerstena“ firmos duomenys. [52, 53]

7.5.5. Aukštatemperatūris šilumos siurblys

Šiame darbe naudojamas aukštatemperatūris kompresorinis šilumos siurblys (ŠS), naudojantis grunto šilumos potencialą. Į sistemą patiekiama tinklų vandens temperatūra po šilumos siurblio gali siekti 90°C.[46] Nagrinėjamam objektui tiekiamo į tinklus termofikacinio vandens temperatūra svyruoja nuo 70 ^{o}C iki 90 ^{o}C atitinkamai prie 10 ^{o}C ir -25 ^{o}C lauko oro temperatūros, o vasaros režimu siekia 67 ^{o}C. [65] Toks temperatūrinis grafikas sukuria galimybę panaudoti tokio tipo šilumos siurblį CŠT sistemoje. Įrenginio efektyvumas (COP) tiriamajame darbe yra priimamas 2,8, remiantis tuo, kad šilumos šaltinio vidutinė temperatūra būtų 5-10 ^{o}C. [46]

7.5.6. Medienos dujofikatorius

Medienos dujofikavimas (MD) naudojamas siekiant panaudoti gautas medienos dujas vidaus degimo variklyje. Panaudojus gautas dujas galima būtų gaminti tiek šilumos tiek ir elektros energiją iš atsinaujinančių energijos šaltinių. Įdiegiant dujofikavimo reaktorių keičiasi VDV darbo režimas priklausomai nuo VIAP rinkos sąlygų, kadangi valstybė yra įsipareigojusi supirkti visą elektros energiją pagamintą iš atsinaujinančių energijos šaltinių. Darbe yra priimama, kad veikiant pagal VIAP rinkos sąlygas pagaminta elektra iš atsinaujinančių energijos šaltinių yra superkama už 32 ct/kWh ir yra neribojama kogeneratoriaus gamyba visus metus. [49] Priimama, kad reaktorius naudoja tas pačias medienos skiedras kaip ir biokuro katilai. Reaktoriaus efektyvumas gaminant medienos dujas yra 95%, tai gaunama, kad iš 1 kg medienos galima pagaminti 2,14 kWh. [46]

8. Naujų energiją generuojančių sistemų modeliavimas

8.1. Modeliavimo scenarijai, sistemų techninės bei ekonominės prielaidos

Naujų sistemų modeliavimas yra atliekamas su „energyPRO“ programa. Modeliavimas atliekamas naudojant surinktus duomenis, technines ir ekonomines prielaidas, kurios yra pateikiamos 4 lentelėje.

Tiriamajame darbe yra modeliuojami du scenarijai, kurios apibrėžia kogeneratoriaus darbą skirtingose elektros rinkose. Pirmasis scenarijus (S1) yra kai pagaminta elektra yra superkama valstybės, pagal VIAP nustatytus tarifus. Gaminant elektrą naudojant gamtines dujas kaip kurą superkama už 37,45 ct/kWh ir kogeneratorius veikia tik šildymo sezono metu, o gaminant elektrą iš biokuro, elektros energija superkama už 32 ct/kWh, bet elektros gamyba yra neribojama ir

kogeneratorius gali veikti visus metus be pertraukų. Antrame scenarijuje (S2) pagaminta elektra parduodama „Nord pool spot“ Lietuva elektros biržoje, pagal tuo metu esančias kainas rinkoje. Modeliuojant šį scenarijų yra naudojamos apskaičiuotos elektros energijos kainos biržoje įvertinus korekcijos koeficientus (19 paveikslas).

4 lentelė. Techninės ir ekonominės prielaidos

Įrenginiai	DK	VDV	AT	BK	ŠS	MD
Efektyvumas	94%	48% šiluminis 40% elektrinis	95%	106%	COP 2,8	95%
Investicijos	-	3,45 mln. Lt/MW_{el}	897 Lt/m^3	1 mln. Lt/$MW_{šil}$	2,898 mln. Lt/$MWh_{šil}$	1,725 mln. Lt/MW_{kuro}
Eksploatacija	4,8 Lt/$MWh_{šil}$	25,53 Lt/MWh_{el}	-	22,63 Lt/$MWh_{šil}$	19,57 Lt/$MWh_{šil}$	16,57 Lt/MWh_{kuro}
Gyvavimo trukmė	-	20	20	20	25	20

Modeliuojant yra priimta, kad gamtinių dujų kaloringumas yra 9,3 kWh/m^3. [37] Naudojamo kuro kainos yra priimtos: gamtinės dujos 1209,49 Lt/1000 m^3, biokuro 728,09 Lt/tne. [67] Priimta, kad šilumos siurblys neveikiant kogeneratoriui naudos elektros energiją iš vidutinės įtampos tinklų, kurios kaina numatyta 394 Lt/MWh.[68] Numatyta superkama katilinėje pagaminta šilumos kaina – 260,7 Lt/MWh. [69]

8.2. Modeliuojamų sistemų principinės schemos ir veikimo strategijos

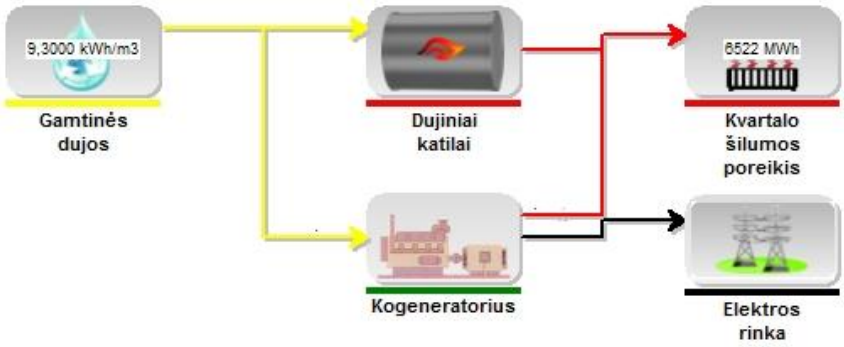
Modeliavimo programoje „energyPRO“ sudaromos nagrinėjamų sistemų principinės schemos. Numatoma veikimo strategija, įvertinami eksploatacijos kaštai, pagal anksčiau aptartas prielaidas.



20 pav. Principinė bazinio (B) varianto modeliuojama schema su dujiniais vandens šildymo katilais

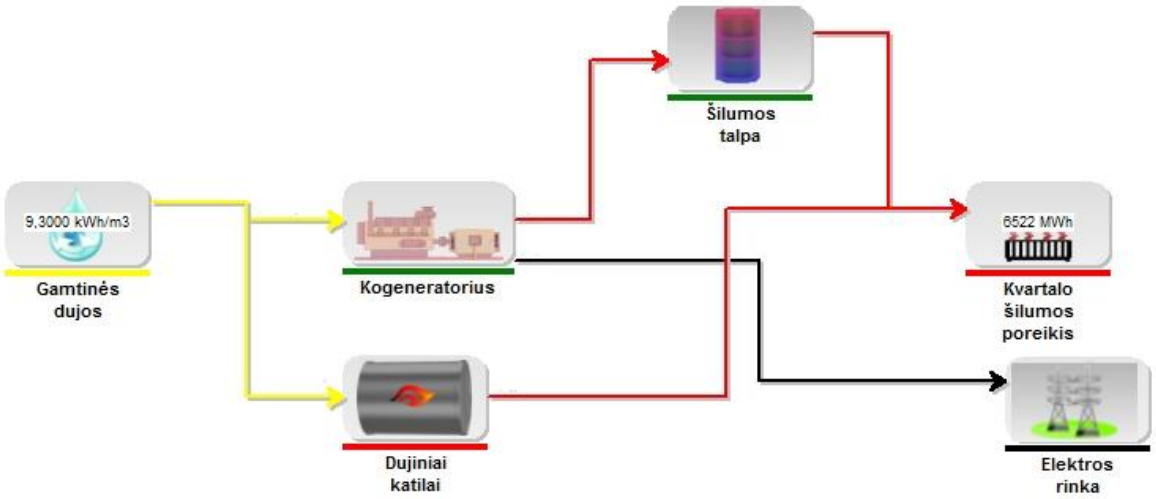
Bazinio varianto modeliuojamoje schemoje yra pateikiamas kuras, katilai bei poreikis. Šiame variante dujiniai katilai dengia visą kvartalo šilumos poreikį visus metus, nepertraukiamai.

21 paveiksle pateikiama alternatyva Nr. 1. (A1). Šioje schemoje pavaizduoti dujiniai katilai ir kogeneratorius. Abu įrenginiai dengia šilumos poreikį priklausomai nuo kogeneratoriaus veikimo strategijos bei kvartalo poreikio. Priimta, kad kogeneratorius gali veikti ne mažiau 30% savo maksimalios galios, o katilų galio nusikrovimas yra neribojamas. Įrenginys priklausomai nuo modeliuojamo scenarijaus veikia pagal VIAP arba NPS rinkos sąlygas.



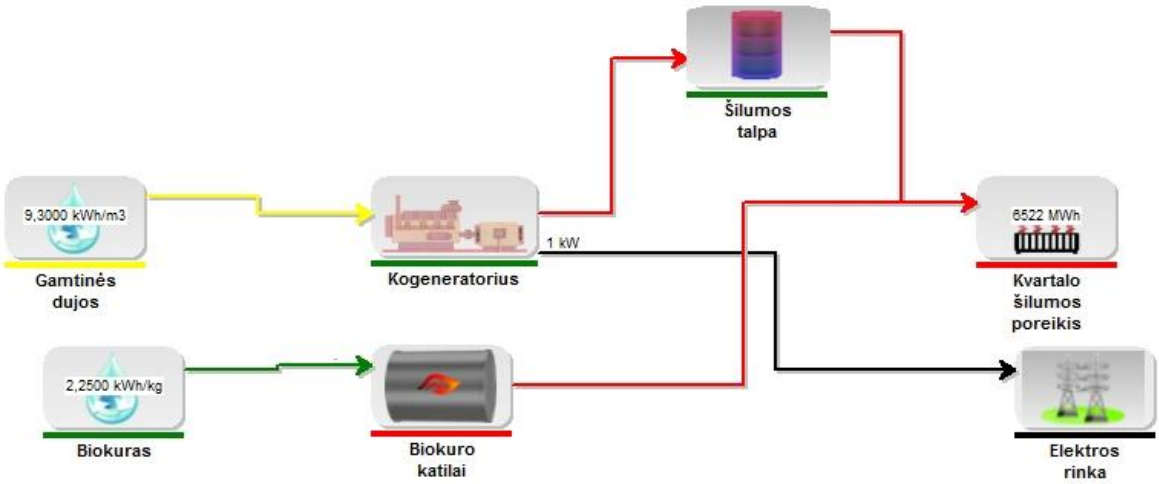
21 pav. Principinė alternatyvos Nr. 1 modeliuojama schema

22 paveiksle pateikiama alternatyva Nr. 2 (A2). Šioje schemoje kartu su kogeneratoriumi ir katilais yra įrengiama akumuliacinė talpa. Veikimas į talpą yra leidžiamas tik kogeneratoriui. Įrenginių veikimo strategija tokia pat kaip ir A1 variante.



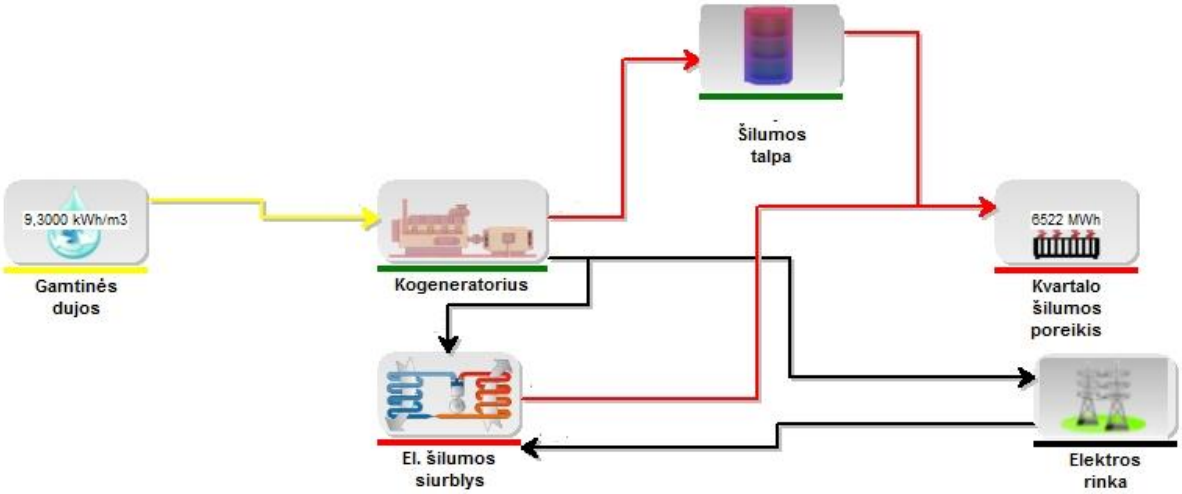
22 pav. Principinė alternatyvos Nr. 2 modeliuojama schema

23 paveiksle pateikiama alternatyva Nr. 3 (A3). Šioje schemoje yra pakeičiami dujiniai katilai į biokurą deginančius katilus. Įrenginių veikimo strategijos sąlygos lieka nepakitusios.

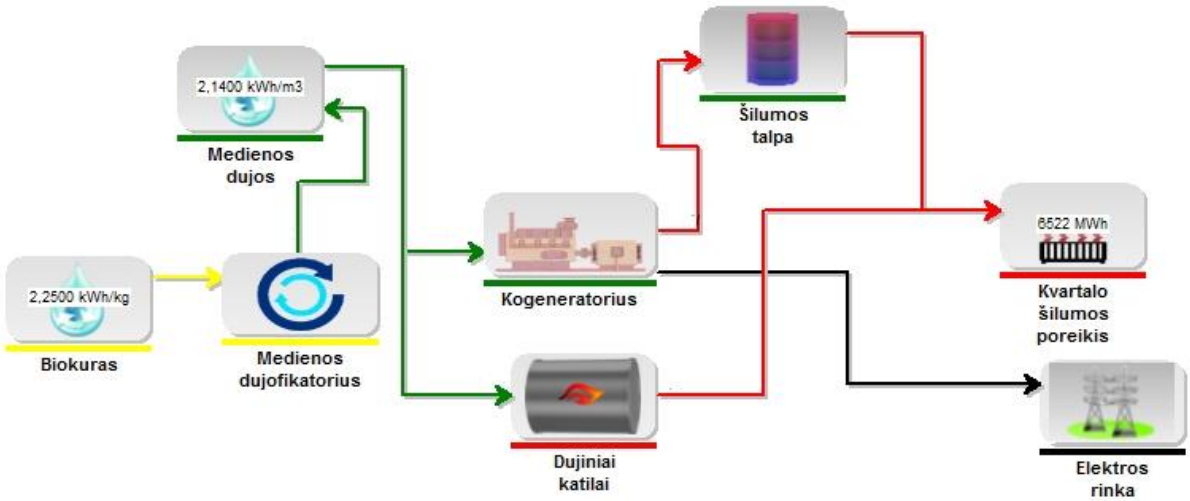


23 pav. Principinė alternatyvos Nr. 3 modeliuojama schema

24 paveiksle pateikiama alternatyva Nr. 4 (A4). Šioje schemoje yra pakeičiami katilai į elektrinį šilumos siurblį. Šilumos siurblys naudoja elektros energiją iš elektros tinklų, kai kogeneratorius neveikia, o kai veikia naudoja elektros energiją pagamintą kogeneratoriuje. Esant S1 atvejui šilumos siurbliui naudojama elektros energija yra perkama pagal fiksuotą tarifą visus metus, o esant S2 atvejui elektros kaina yra perkama pagal tuo metu biržoje esančias kainas. Įrenginių veikimo strategija lieka nepakitus, t.y. įrenginiai veikia atsižvelgiant į elektros rinkų sąlygas kogeneratoriui.



24 pav. Principinė alternatyvos Nr. 4 modeliuojama schema

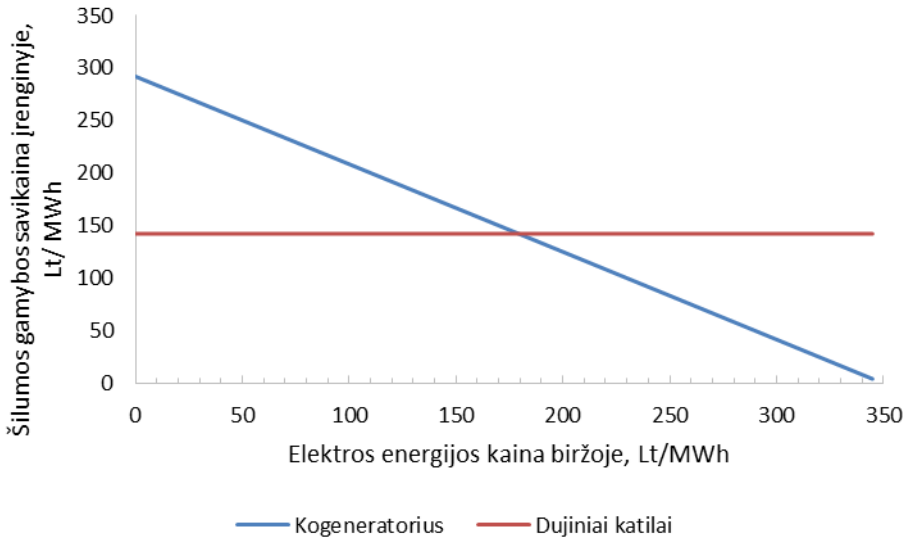


25 pav. Principinė alternatyvos Nr. 5 modeliuojama schema

25 paveiksle pateikiama alternatyva Nr. 5 (A5). Šioje alternatyvoje yra diegiamas medienos dujofikatorius, paliekant A2 įrenginius. Į medienos dujofikatorių yra tiekiamos medienos skiedros iš kurių yra pagaminamos medienos dujos, kurios išvalytos pagalbiniuose įrenginiuose yra tiekiamos į vidaus degimo variklį (kogeneratorių) ir dujinius katilus. Įrenginių veikimo strategija priklauso nuo elektros rinkos sąlygų kogeneratoriui.

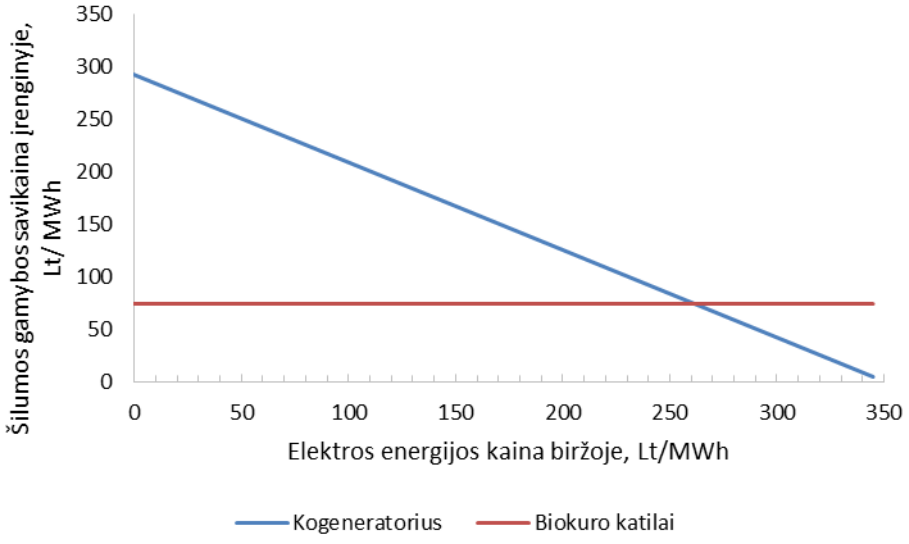
Modeliuojant antrąjį scenarijų su „energyPRO“ yra apskaičiuojama įrenginių veikimo strategija. Programos strategijos skaičiavimai yra pagrįsti įrenginių efektyvumu, eksploatacijos ir

kuro bei kaina elektros biržoje. Taip pat yra įvertinama ir įrenginio paleidimo kaina, kuri yra priimta 30 Lt/kartas. Pagal šiuos skaičiavimus yra priskiriami įrenginių veikimo prioritetai priklausomai nuo kainos elektros biržoje.



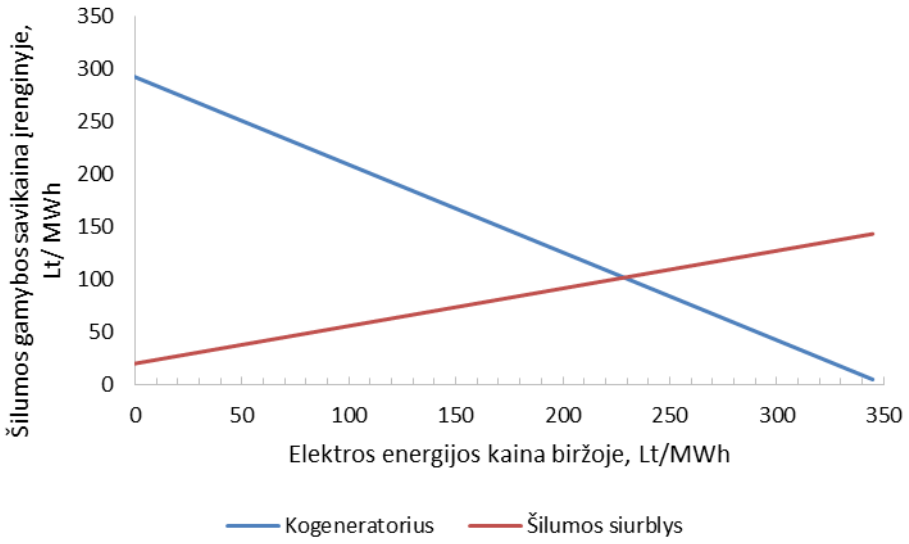
26 pav. Veikimo strategija S2A1 ir S2A2 variantams

26 paveiksle yra pateikiama antrojo scenarijaus pirmosios ir antrosios alternatyvų veikimo strategijų kreivės. Kogeneratoriaus veikimas apskaičiuojamas programos pagal grynosios gamybos išlaidos minimizavimo principą. Kylant kainai elektros biržoje įrenginio gamybos savikaina mažėja ir tuo pačiu didėja veikimo prioritetas. Katilų savikaina yra nepriklausoma nuo kainos elektros rinkoje dėl to visą laikotarpį yra tiesė. Šiuo atveju elektros rinkoje pakilus kainai iki maždaug 178 Lt/MWh$_{el}$ kogeneratoriaus bei katilų veikimo prioritetas susilygina, dėl to įsijungia kogeneratorius, o katilai išjungiami.



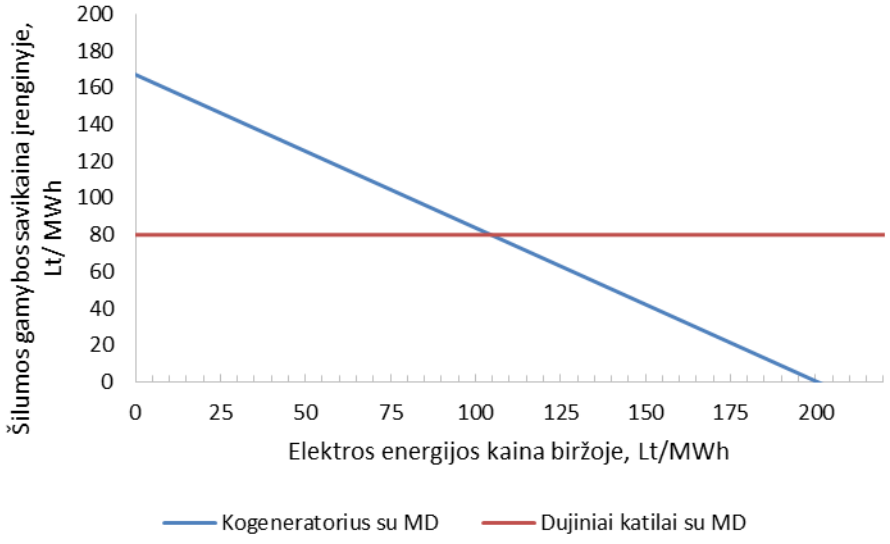
27 pav. Veikimo strategija S2A3 variantui

Šiuo atveju biokuro katiluose šilumos gamybos savikaina yra mažesnė, nei prieš tai nagrinėtame variante su dujiniais katilais. Būtent dėl šios priežasties kogeneratoriaus veikimas yra numatomas tik prie 258 Lt/MWh$_{el}$ kainos elektros biržoje.



28 pav. Veikimo strategija S2A4 variantui

28 paveiksle yra pateikiamas kogeneratoriaus veikimas kartu su šilumos siurbliu. Priešingai nei prieš tai buvusiose strategijose, abiejų įrenginių kreivės kinta priklausomai nuo kainos elektros biržoje. Šilumos siurblio veikimo prioritetas mažėja kylant elektros energijos kainai rinkoje, dėl to, kad tuo pačiu didėja ir įrenginio energijos gamybos sąnaudos. Šiuo atveju kogeneratoriaus veikimas yra galimas prie 226 Lt/MWh$_{el}$ kainos elektros biržoje.



29 pav. Veikimo strategija S2A5 variantui

Vertinant įrenginių veikimo prioritetus su įrengtu dujofikavimo reaktoriumi, įrenginių šilumos gamybos savikaina palyginus su ankstesniais variantais yra mažesnė. Esant panašioms eksploatacijos ir kuro išlaidoms tarp įrenginių yra pasiekiama galimybė įjungti kogeneratorių prie

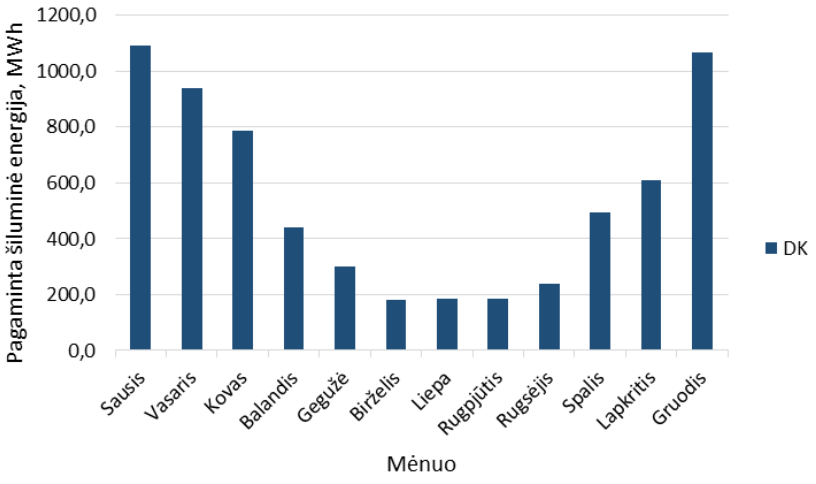
mažesnės elektros energijos kainos rinkoje. Šiuo atveju įrenginio įjungimas yra galimas prie 109 Lt/MWh$_{el}$.

Nustačius kainas biržoje pagal, kurias galimas kogeneratoriaus įjungimas galima planuoti įrenginio veikimo valandas per metus. Gaunamos preliminarios tokios veikimo valandos: S2A1 ir S2A2 2895 val., S2A3 144 val., S2A4 371 val., S2A5 7377 val. Tačiau tai yra tik preliminarios veikimo valandos, kadangi esant palankiai elektros energijos kainai biržoje gali būti, kad šilumos poreikis gali būti mažas ar akumuliacinė talpa užpildyta ir kogeneratoriaus darbas gali būti negalimas. Be to yra numatyta, kad įsijungus šiam įrenginiui jis minimaliai turi veikti bent 2 valandas. Tai irgi gali turėti įtaką įrenginio veikimo valandų skaičiui.

8.3. Modeliavimo rezultatai

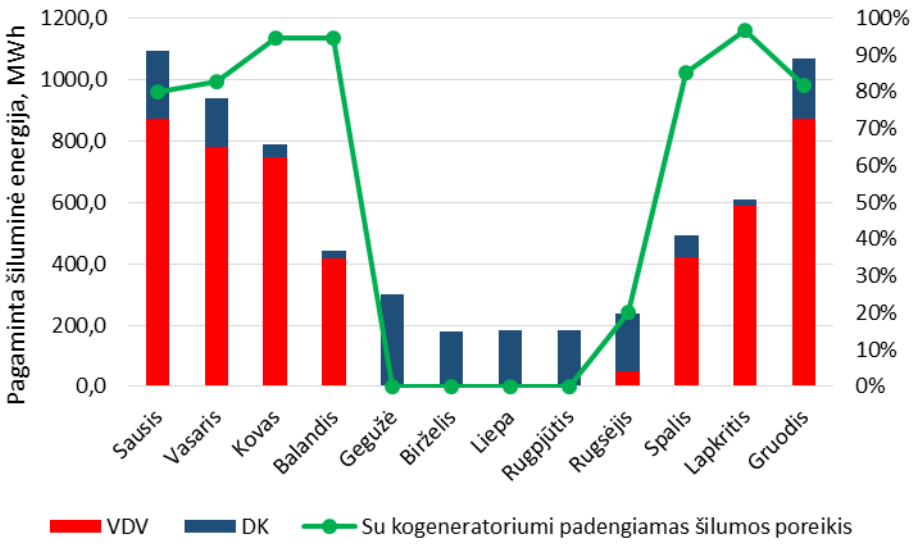
Suvedus visus reikiamus duomenis skirtus modeliavimui su „energyPRO“ programa buvo parinkti atitinkami įrenginių dydžiai. Modeliuojant sistemas su kogeneratoriumi buvo orientuotasi parinkti tokį įrenginio dydį, kad būtų padengiamas kuo didesnis kvartalo šilumos poreikis. Šio įrenginio dydis nustatytas remiantis S1A1 varianto skaičiavimais ir buvo naudotas kituose scenarijuose bei alternatyvose. Parinktas kogeneratoriaus dydis yra 1050 kW$_{el}$ elektrinės galios bei 1260 kW$_{š}$ šilumos galios. Likusią dalį dengia atitinkamai kiti įrenginiai pagal scenarijų ir alternatyvos numerį.

Siekiant palyginti alternatyvų rezultatus su baziniu variantu taip pat yra modeliuojamas bazinis variantas, kai visas kvartalo šilumos poreikis yra padengiamas su dujiniais vandens šildymo katilais.



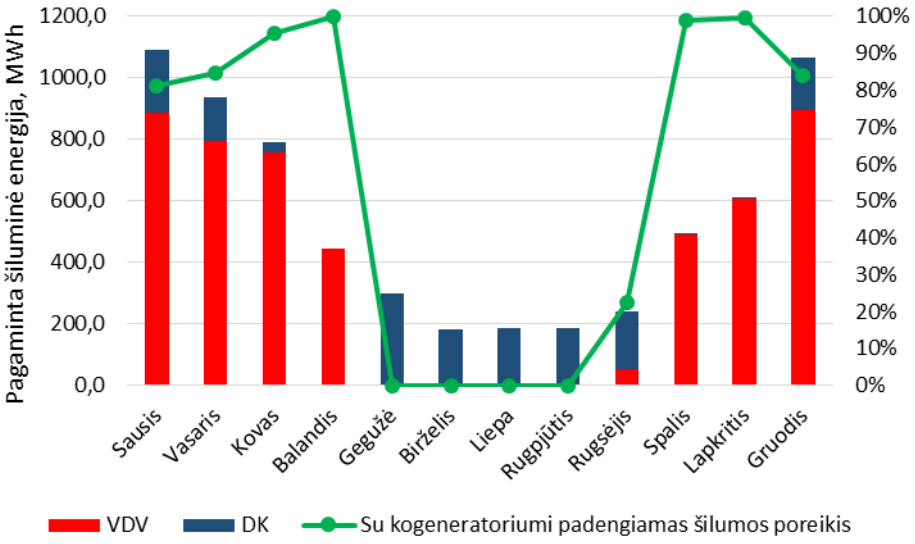
30 pav. Bazinio varianto šilumos gamyba per metus

Modeliuojant bazinį variantą gauta, kad 100 % šilumos poreikis yra padengiamas dujiniais vandens šildymo katilais. Per metus šiuose katiluose yra pagaminama 6522,4 MWh šiluminės energijos.



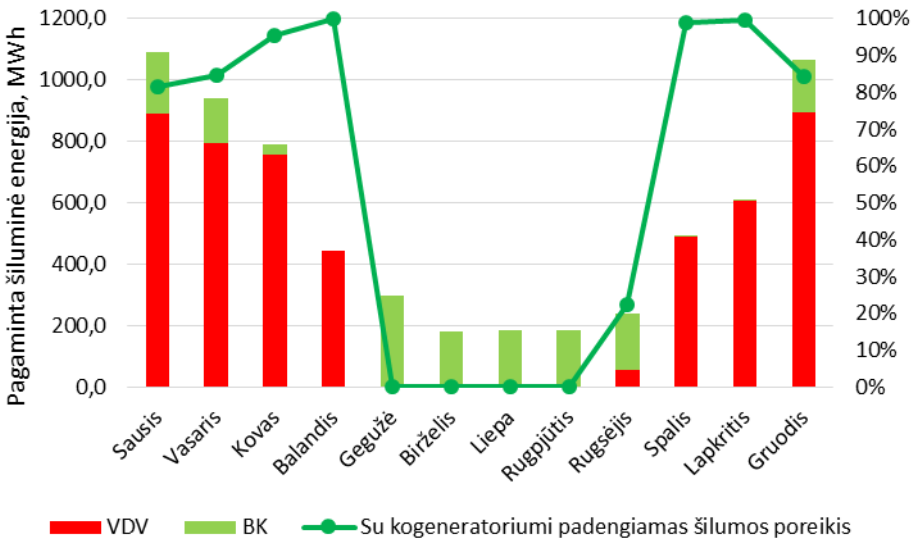
31 pav. S1A1 varianto šilumos gamyba per metus

Sumodeliavus S1A1 variantą gauta, kad kogeneratoriuje (VDV) pagaminta 4746 MWh šiluminės energijos, tai sudaro 73% viso šilumos poreikio. 31 paveiksle matoma, kad veikiant kogeneratoriui pagal VIAP rinkos sąlygas vidutiniškai per mėnesį padengia 79%. Įrenginio pagaminta šiluminė energija veikimo metu (t.y. šildymo sezono metu) dengia nuo 20% iki 97% viso poreikio tam tikrą mėnesį. Šiame variante pagamintas elektros energijos kiekis 3955 MWh.



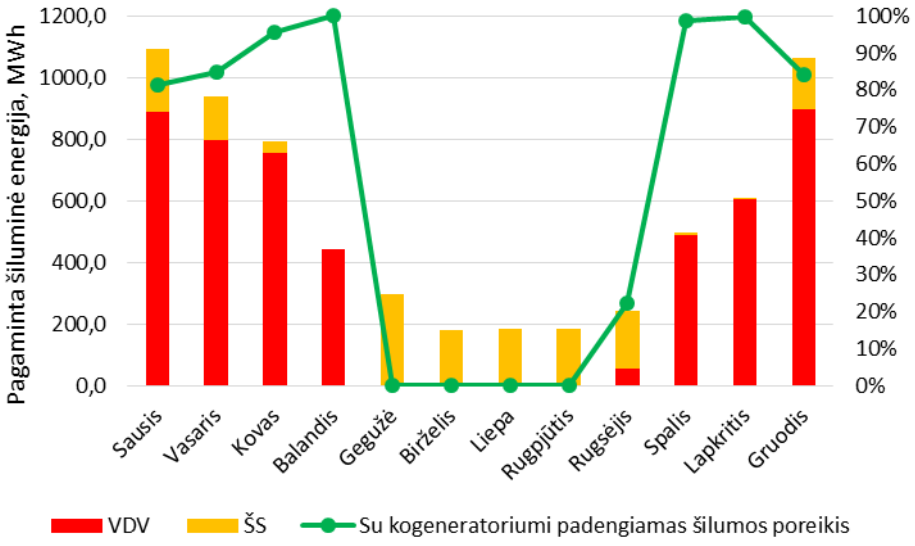
32 pav. S1A2 varianto pagamintas šilumos gamyba per metus

S1A2 modeliuotame variante įdiegiama 95 m^3 akumuliacinė talpa. Talpos dydis parenkamas atsižvelgiant į kogeneratoriaus pagaminamos energijos kiekio padidėjimą bei įvertinant ekonominius kaštus. Gauta, kad kogeneratoriaus padengiamas šilumos poreikio kiekis siekia 76% viso metinio šilumos poreikio. Įrenginys savo veikimo metu padengia nuo 22% iki 100% atitinkamo mėnesio poreikio. Šildymo sezono metu kogeneratorius pagamina 83% viso šilumos poreikio. Elektros energijos šiame variante pagaminama 4108,2 MWh.



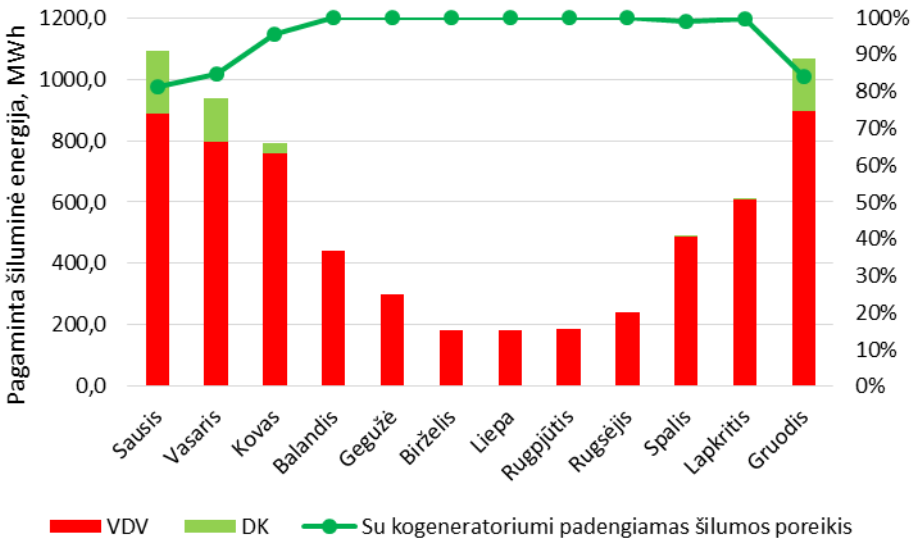
33 pav. S1A3 varianto šilumos gamyba per metus

Įrengus biokuro katilus S1A3 variante pagaminami energijos kiekiai nesikeičia nuo S1A2 varianto. Nauji biokuro katilai pagamina tą patį šiluminės energijos kiekį kaip ir dujiniai katilai – 1592,5 MWh.



34 pav. S1A4 varianto šilumos gamyba per metus

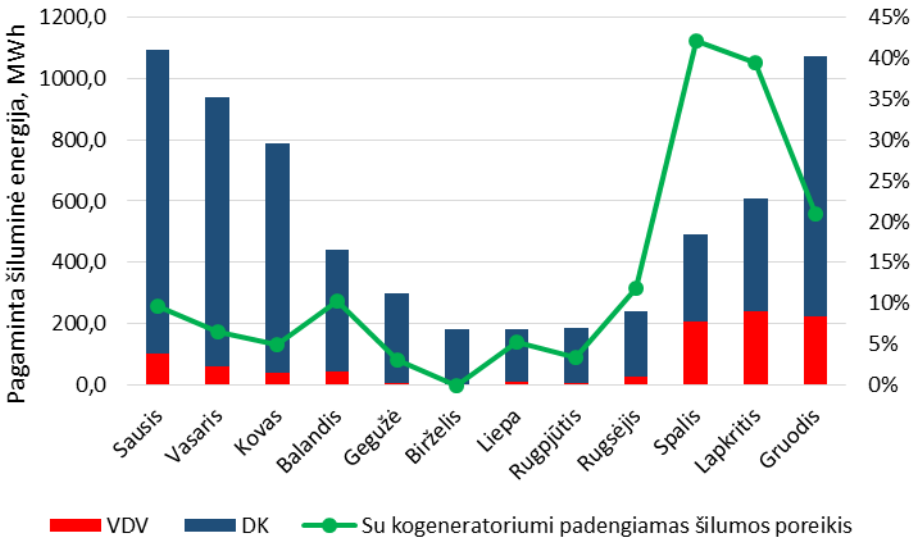
Įrengus šilumos siurblį S1A4 variante šilumos kiekiai pagaminami taip pat vienodi kaip ir prieš tai dviejuose variantuose. Kogeneratoriumi 4929,8 MWh (76% viso šilumos poreikio) ir 1592,5 MWh šilumos siurbliu. Per visą veikimo laikotarpį kogeneratorius pagamina 4108,2 MWh elektros energijos, o tuo tarpu šilumos siurblys suvartoja 565,5 MWh. Veikiant kogeneratoriui ir šilumos siurbliui vienu metu yra naudojama sava pagaminta elektros energija šilumos gamybai šilumos siurblyje. Išviso yra importuota 367 MWh elektros energijos ir sunaudota kogeneratoriaus 198,5 MWh elektros energijos.



35 pav. S1A5 varianto šilumos gamyba per metus

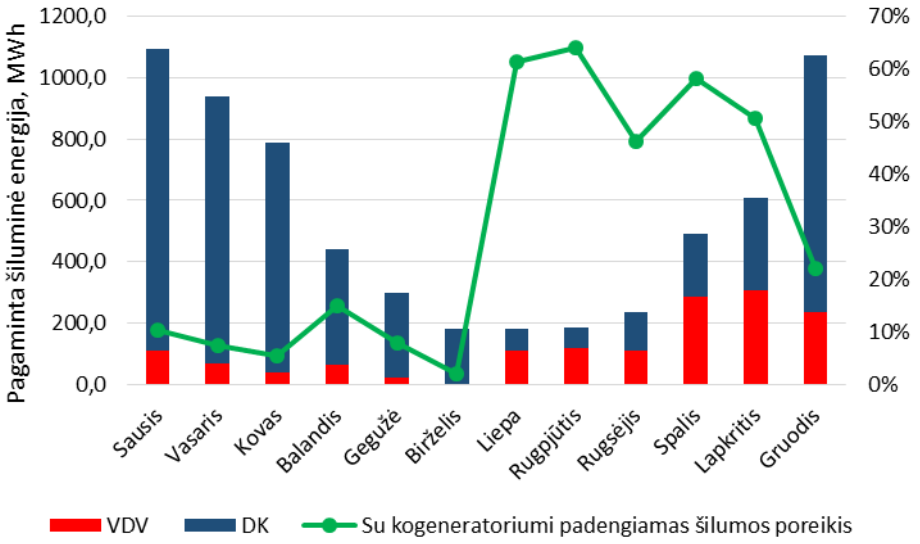
Įdiegus į S1A5 variantą medienos dujofikatorių gaunama, kad kogeneratorius veikia visus metus. 35 paveiksle matoma, kad kogeneratorius nuo balandžio iki lapkričio mėnesio dengia 100% šilumos poreikio, o visą metinį poreikį padengia 91,4 %. Su šiuo įrenginiu yra pagaminama 5963,4 MWh šiluminės energijos. Šiame variante pagaminama 4969,5 MWh elektros energijos.

Modeliuojant antrąjį scenarijų buvo atsižvelgiama į NPS rinkoje esančius kainos svyravimus, VDV įrenginio dydis naudojamas toks pat kaip ir pirmame scenarijuje. Sumodeliavus S2A1 variantą gauta, kad kogeneratorius per metus pagamina 976,2 MWh šiluminės energijos. Taip padengdamas 15% viso metinio šilumos poreikio. Didžiausią dalį įrenginys padengia 42% spalio mėnesį, kai rinkoje superkamos elektros vidutinė kaina siekia 172,3 Lt/MWh$_{el}$. šiame modeliuojamame variante per metus yra pagaminama 813,5 MWh elektros energijos.



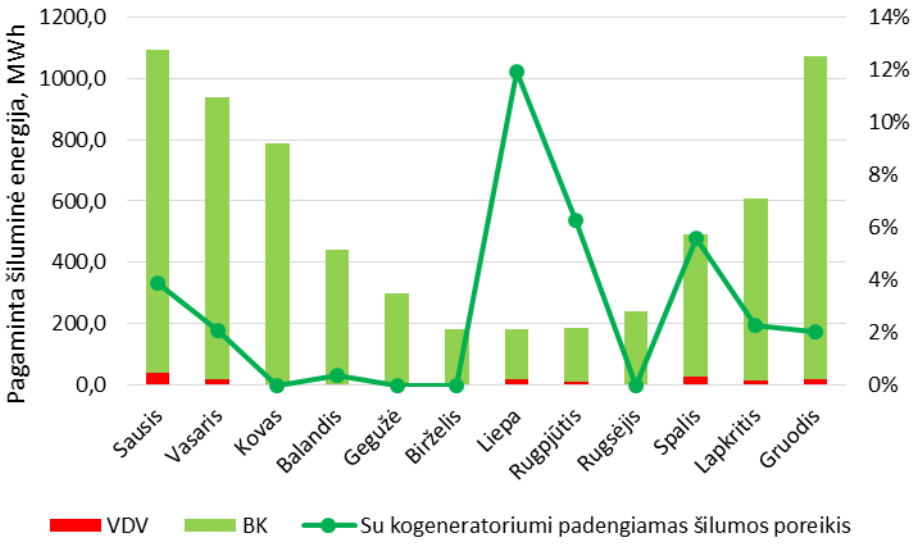
36 pav. S2A1 varianto šilumos gamyba per metus

S2A2 variante yra diegiama akumuliacinė talpa, kurios dydis yra parenkamas atsižvelgiant į investicijų atsiperkamumą. Parinktas talpos dydis yra 102 m^3, šis dydis yra naudojamas ir sekančiuose šio scenarijaus alternatyvų modeliavimuose.



37 pav. S2A2 varianto šilumos gamyba per metus

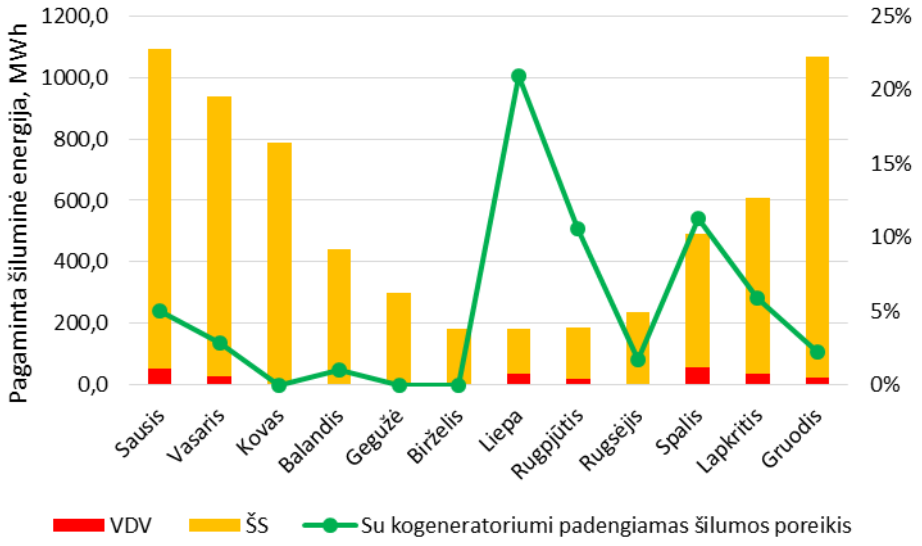
37 paveiksle matoma, kad įrengus akumuliacinę talpą VDV darbas tampa lankstesnis. Esant palankiai kainai biržoje, tačiau mažam šilumos poreikiui įrenginio pagaminta šiluma yra nukreipiama į talpą, kurioje yra akumuliuojama. Grafike matoma, kad AT yra ypatingai išnaudojama liepos, rugpjūčio bei spalio mėnesiais, būtent tada, kai biržoje kainos yra vienos iš aukščiausių (mėnesių vidurkiai svyruoja nuo 168,4 Lt/MWh_{el} iki 172,3 Lt/MWh_{el}), o šilumos poreikis yra žemas. VDV per analizuojamą laikotarpį padengia 22,9 % viso metinio šilumos poreikio, pagamindamas 1493,7 MWh. Šiame variante pagaminamos elektros energijos kiekis 1244,8 MWh.



38 pav. S2A3 varianto šilumos gamyba per metus

Trečiojoje alternatyvoje yra įdiegiami biokuro katilai, kurių šilumos gamybos savikaina yra mažesnė už dujinius katilus. Modeliuojamu laikotarpiu kogeneratorius kovo, gegužės, birželio ir rugsėjo mėnesiais nepagamina nei vienos megavatvalandės šiluminės energijos. Per visą laikotarpį įrenginys pagamina tik 2,5% viso metinio šilumos poreikio, pagamindamas 160,1 MWh. Didžiausią dalį kogeneratorius padengia liepos mėnesį – 12%.

Vietoje vandens šildymo katilų įrengus šilumos siurblį (S2A4) vėl pasikeičia veikimo strategija. Abu įrenginiai, tiek šilumos siurblio tiek ir kogeneratoriaus veikimas priklauso nuo esamų elektros energijos kainų biržoje.



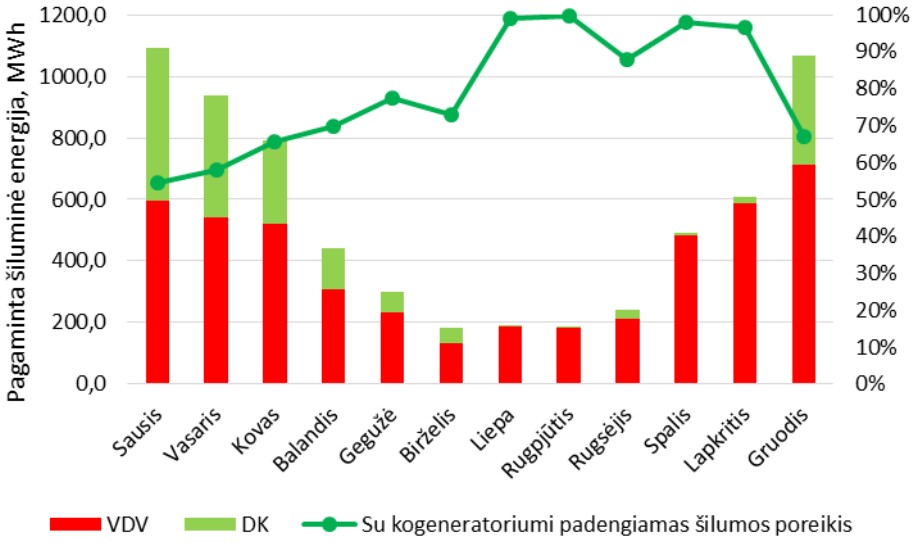
39 pav. S2A4 varianto šilumos gamyba per metus

Sumodeliavus variantą su šilumos siurbliu gauti geresni rezultatai kogeneratoriaus šilumos gamybos atžvilgiu lyginant su variantu su biokuro katilais. VDV pagamina 263,7 MWh šiluminės energijos taip padengdamas 4% viso metinio šilumos poreikio. Didžiausią mėnesinį šilumos poreikį padengia liepos mėnesį – 21%. Šilumos siurblys, analizuojamu laikotarpiu, savo veikimo metu suvartoja 2008,9 MWh elektros energijos importuotos iš NPS rinkos ir 37,1 MWh kogeneratoriaus pagamintos elektros. VDV šiame nagrinėjame variante pagamina 219,5 MWh elektros energijos, kurios 182,4 MWh eksportuoja į NPS rinką.

Antrame scenarijuje kaip ir pirmame didžiausią energijos kiekį kogeneratorius pagamino įrengus medienos dujofikavimo reaktorių. Sumažinus šilumos gamybos savikainą įrenginyje nuo 309 Lt/MWh$_{š}$ iki 184 Lt/MWh$_{š}$ esant 0 Lt/MWh$_{el}$ kainai elektros biržoje, išauga jo veikimo prioritetas lyginant su dujiniu katilu, kuris taip pat naudoja medienos dujas šilumos gamybai.

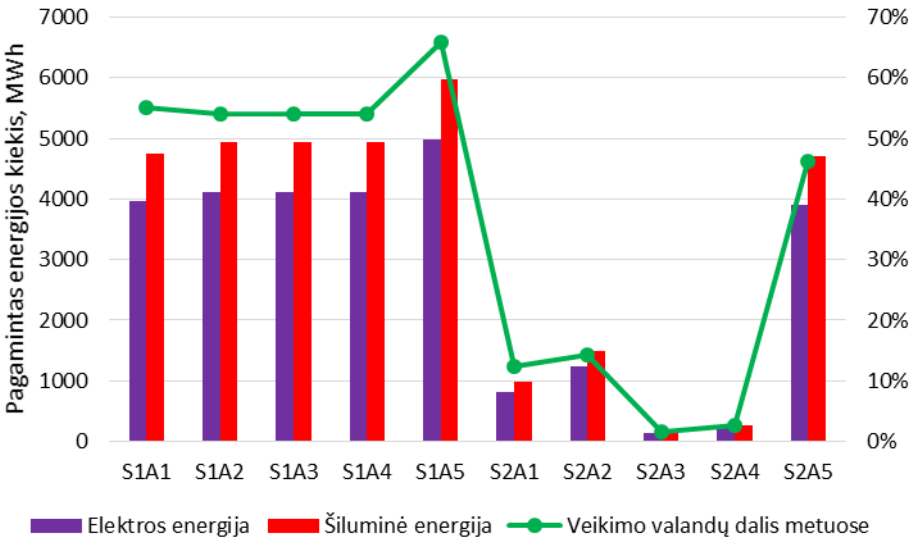
S2A5 modeliuotame variante gaunama, kad per visą analizuojamą laikotarpį kogeneratoriuje yra pagaminama 4694,5 MWh šiluminės energijos, 72% viso metinio kvartalo šilumos poreikio. Matoma 40 paveiksle, kad esant didžiausioms kainoms NPS rinkoje, nuo liepos iki lapkričio,

įrenginys padengia nuo 88% iki 100% mėnesinio šilumos poreikio. Įrenginys per savo veikimo laikotarpį pagamina 3911,8 MWh elektros energijos.



40 pav. S2A5 varianto šilumos gamyba per metus

Prieš modeliuojant, remiantis programos apskaičiuotomis veikimo strategijų šilumos gamybos savikainos kainomis, buvo preliminariai apskaičiuota kogeneratoriaus veikimo trukmė esant mažesnei arba lygiai kainai NPS rinkoje. Palyginimas gautų modeliuojant ir preliminariai apskaičiuotų veikimo valandų pateikiamas 5 lentelėje. 41 paveiksle yra pateikiami sumodeliuoti, pagal abu scenarijus, kogeneratoriaus pagaminti energijos kiekiai bei veikimo valandų dalis analizuojamuose metuose.



41 pav. Kogeneratoriaus pagaminti energijos kiekiai ir veikimo valandų dalis metuose

Iš pateiktos diagramos galima matyti, kad didžiausi energijos kiekiai yra pagaminami pirmojo scenarijaus atveju, kai yra superkama pagaminta elektra pagal VIAP rinkos sąlygas. Taip pat įrenginio veikimo valandų dalis metuose yra didžiausia pirmojo scenarijaus atveju. Diagramoje

galima pastebėti, kad geriausius veikimo rezultatus, atskiruose scenarijuose, pasiekia įrengus medienos dujofikavimo reaktorių (S1A5 ir S2A5). Taip pat galima pastebėti tai, kad S1 atveju įrengus AT yra sumažinamas įrenginio veikimo laikas, tačiau padidinamas energijos gamybos kiekis. Atvirkščiai dėl veikimo laiko yra S2 variante, kai įrengus AT yra padidinamas VDV veikimo laikas, bet tuo pačiu ir energijos gamybos kiekis padidėja.

5 lentelė. Kogeneratoriaus veikimo rezultatai

Variantai	S1A1	S1A2	S1A3	S1A4	S1A5	S2A1	S2A2	S2A3	S2A4	S2A5
Šilumos gamyba, MWh	4746,0	4929,8	4929,8	4929,8	5963,4	976,2	1493,7	160,1	263,7	4694,5
Elektros gamyba, MWh	3955	4108,2	4108,2	4108,2	4969,5	813,5	1244,8	133	219,5	3911,8
Preliminarios veikimo valandos	-	-	-	-	-	2895	2895	144	371	7377
Veikimo valandos	4818	4739	4739	4739	5767	1086	1253	140	228	4038
Veikimo valandų dalis metuose	55%	54%	54%	54%	66%	12%	14%	2%	3%	46%
Dengiamo šilumos poreikio dalis	73%	76%	76%	76%	91%	15%	23%	2%	4%	72%

Atsižvelgiant į gautus modeliavimo rezultatus, galima teigti, kad antrojo scenarijaus atvejais A1,A2,A3,A4 yra netikslinga įrenginėti kogeneracinį įrenginį, dėl jo mažo veikimo valandų bei pagaminamos energijos kiekių.

9. Nagrinėtų sistemų vertinimas

9.1. Pirminės energijos vertinimas

Pirminė energija tai energija, sutelkta gamtiniuose ištekliuose (anglis, gryna nafta, saulė, vėjas, uranas), kuri nėra transformuota ar kitaip pakeitė jos struktūrą, t. y. nebuvo paveikta žmogaus veiksmų.

Europos sąjunga yra numačiusi sumažinti 20% pirminės energijos suvartojimą iki 2020 metų [7, 8], dėl to šis rodiklis tampa vis aktualesnis siekiant palyginant tarpusavyje įvairių šalių energijos srautus. Tiriamajame darbe yra vertinimas pirminės energijos suvartojimas siekiant palyginti skirtingų sistemų suvartojamus energijos srautus dengiant šilumos ar elektros poreikius.

Nagrinėjamose sistemose yra diegiami įrenginiai, kurie naudoja iškastinius ir atsinaujinančius energijos išteklius, taip pat keliuose variantuose yra diegiamas šilumos siurblys, kuris naudoja dalį atsinaujinančios pirminės energijos iš grunto ir dalį antrinės energijos (elektros) šilumos gamybai. Visus suvartotus energijos srautus, šilumos ir elektros gamybai, išreiškus pirmine energija, galima palyginti skirtingas sistemas.

Visi pirminės energijos kiekiai gauti sumodeliavus su „energyPRO“ programa įvedus naudojamo kuro šilumines vertes. Modeliuojant vartoti medienos skiedros turinčios 2,25 kWh/kg šiluminę vertę bei gamtinės dujos su 9,3 kWh/m^3.

Šilumos siurblio suvartota importuota elektros energija yra perskaičiuojama į pirminę, o suvartota kogeneratoriaus pagaminta elektra yra nevertinama įrenginio pirminės energijos skaičiavimuose, nes jau yra įvertinta su sunaudoto kuro pirmine energija. ŠS suvartotos elektros pirminė energija apskaičiuojama priimant tai, kad importuota elektra buvo pagaminta gamtines dujas naudojančioje elektrinėje su 40% elektros efektyvumu ir elektros tinklo perdavimo nuostoliai 10,1 %. [70] Rezultatai yra pateikiami 6 lentelėje.

6 lentelė. Šilumos siurblio suvartota pirminė energija

Variantas	Suvartota elektra, MWh	Nuostoliai elektros tinkluose	Elektros gamybos efektyvumas	Suvartota pirminė energija, MWh
S1A4	367	10,1%	40%	1010,2
S2A4	2088,9	10,1%	40%	5749,7

Toliau 7 lentelėje yra pateikiami visų variantų pirminės energijos suvartojimai bei apskaičiuoti bendri energijos transformavimo koeficientai.

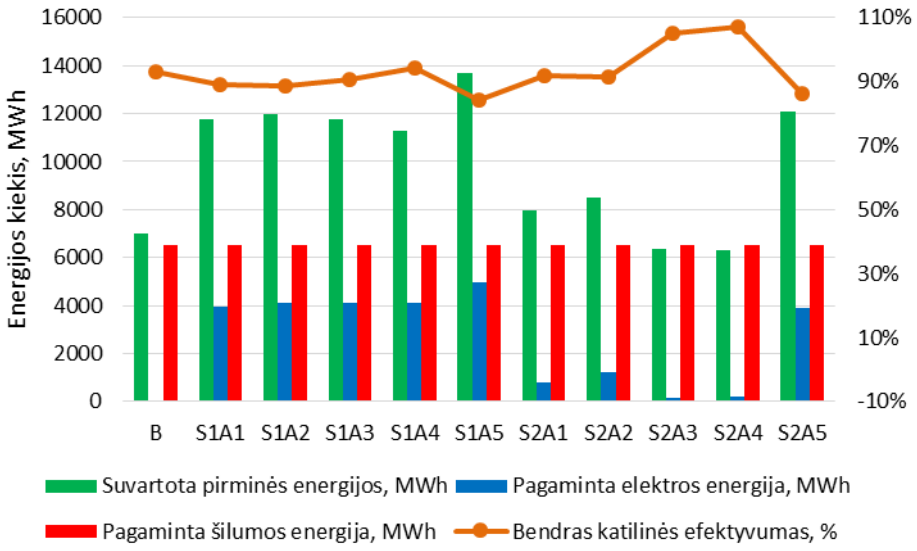
7 lentelė. Nagrinėjamų sistemų pirminės energijos vertinimo rezultatai

Varian-tas	Suvartota medienos skiedros, kg	Suvartota gamtinių dujų, nm^3	Pagaminta elektros energija, MWh	Pagaminta šilumos energija, MWh	Suvartota pagaminta elektra, MWh	Importuota elektra, MWh	Suvartota pirminės energijos, MWh	Bendras katilinės efekty-vumas
B		754057	-	6522,4	-	-	7012,7	93%
S1A1	0	1266529	3955,0	6522,4	-	-	11778,7	89%
S1A2	0	1286673	4108,2	6522,4	-	-	11966,1	89%
S1A3	313743	1104352	4108,2	6522,4	-	-	11745,1	91%
S1A4	0	1104352	4108,2	6522,4	565,5	367	11280,7	94%
S1A5	6075707	0	4969,5	6522,4	-	-	13670,3	84%
S2A1	0	857915	813,5	6522,4	-	-	7978,6	92%
S2A2	0	914196	1244,8	6522,4	-	-	8502,0	91%
S2A3	2667586	3575	133,0	6522,4	-	-	6334,6	105%
S2A4	0	59013	219,5	6522,4	37,1	2088,9	6298,5	107%
S2A5	5381903	0	3911,8	6522,4	-	-	12109,3	86%

Įvertinus pirminės energijos suvartojimus nagrinėjamose sistemos pastebima, kad S1 atveju, kai kogeneratorius, palyginus su S2, pagamina didesnį energijos kiekį bendras katilinės efektyvumas yra mažesnis bei yra suvartojama daugiau pirminės energijos. Pirmojo scenarijaus atveju alternatyvų pirminės energijos suvartojimas yra panašus visais atvejais išskyrus S1A5 atvejį. Įdiegus medienos dujofikavimo reaktorių išauga pirminės energijos suvartojimas iki 12,94 GWh, šiuo atveju yra sunaudojamas didžiausias pirminės energijos kiekis lyginant abu scenarijus, taip pat S2 atveju yra didžiausias pirminės energijos suvartojimas. Mažiausi pirminės energijos suvartojimo kiekiai gaunami S2 atveju, kai yra įdiegiami biokurai katilai ir šilumos siurblys. Atitinkamai yra sunaudojama 6334,6 MWh ir 6298,5 MWh pirminės energijos. Tačiau galima pastebėti, kad S2A4

yra pagaminamas didesnis kiekis elektros energijos. Nors šilumos siurblys suvartoja dalį šios pagamintos energijos, vis tiek yra eksportuojama daugiau nei S2A3 atveju.

Lyginant alternatyvas pirminės energijos suvartojimo atžvilgiu su baziniu variantu geresnius rezultatus parodo tik sistemos įrengtos su biokuro katilais bei šilumos siurbliais, kurios veikia pagal NPS rinkos sąlygas. Taip yra gaunama, nes kogeneratoriaus pagaminamos energijos dalis yra labai maža, o šių įrenginių efektyvumo rodikliai yra didesni už kogeneratoriaus.



42 pav. Sistemų palyginimas pagal pirminės ir antrinės energijos kiekius

42 paveiksle matoma, kad efektyviausias pirminės energijos panaudojimas yra gaunamas S2A3 ir S2A4 atvejais. Atitinkamai 105% ir 107%. Žemiausias efektyvumo rodiklis yra gaunamas S1A5 atveju, kai įrengus medienos dujofikavimo reaktorių kogeneratorius veikia visus metus. Šiuo atveju yra gaunamas 84% efektyvumas. Pirminės energijos vartojimo efektyvumas gaunamas mažesnis nei pačio kogeneratoriaus bendras efektyvumas (88%), nes prieš pateikiant kurą į įrenginį jis yra transformuojamas iš kietos biomasės į dujas su 95% efektyvumo medienos dujofikavimo reaktoriumi. Taip yra prarandama dar dalis kuro šiluminės vertės. S2A5 yra geresnis atvejis, nes rinkai ribojant kogeneratoriaus veikimą dalį šiluminės energijos pagamina 93% efektyvumo vandens šildymo katilai.

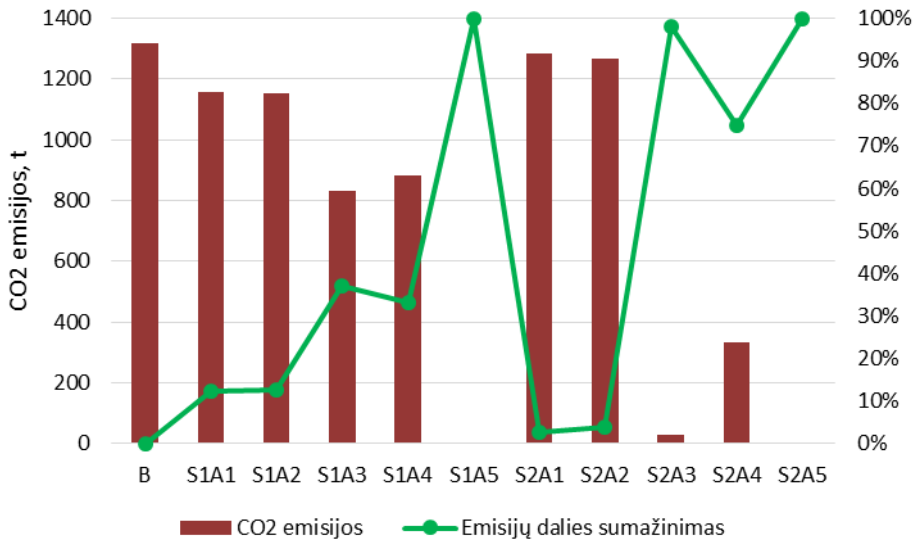
9.2. Ekologinis vertinimas

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimas ES valstybėse iki 2020 m. turi būti 20 proc. mažesnis negu 2005 metais. Jeigu šis rodiklis nebus pasiektas, tai atmosferos taršos leidimus (ATL) reikės pirkti rinkoje, o sumažinus daugiau negu reikalauja norminis rodiklis ATL galima bus parduoti ir gauti papildomų pajamų. Pagrindinis būdas to siekti – tai atsinaujinančių energijos išteklių plėtra energetikoje [10]. Atsižvelgiant į direktyvos numatytus tikslus nagrinėjant naują energetinį projektą

yra aktualu įvertinti CO_2 emisijas į aplinką. Šios emisijas sudaro didžiąją dalį šiltnamio efektą sukeliančių dujų.

Vertinant sistemas ekologiniu požiūriu yra priimamos prielaidos, kad įrenginiuose naudojančiuose gamtines dujas santykinis emisijų dydis 0,202 tCO_2/MWh. Kogeneratoriui šis dydis yra taikomas nuo pagamintos elektros energijos kiekio, o vandens šildymo katiluose nuo pagamintos šilumos. Šilumos siurbliui yra taikomas 0,153 tCO_2/MWh suvartotai elektros energijai įvertinus elektros tinklų nuostolius – 10,1%. [70, 71] Įvertinus prielaidas šilumos siurblys nagrinėjamu laikotarpiu S1 ir S2 atvejais atitinkamai išmeta 50,5 tCO_2 ir 287,3 tCO_2.

Vertinant įdiegtų biokuro katilų emisijas į aplinką yra priimta, kad CO_2 emisijos yra neutralios. Teigiama, kad į aplinką išmetamas toks anglies dioksido kiekis, kokį augalas įsisavino augimo metu.[72]



43 pav. Sistemų CO_2 emisijų vertinimas

8 lentelė. Nagrinėjamų sistemų CO_2 emsijų vertinimas

Variantas	VDV pagaminta elektra, MWh	DK pagaminta šiluma, MWh	BK pagaminta šiluma, MWh	ŠS suvartota elektra, MWh	CO_2 emisijos, t	Emisijų dalies sumažinimas
B	-	6522,4	-	-	1318	0%
S1A1	3955	1776,4	-	-	1158	12%
S1A2	4108,2	1592,5	-	-	1152	13%
S1A3	4108,2	-	1592,532	-	830	37%
S1A4	4108,2	-	-	367	880	33%
S1A5	4969,5	559,0	-	-	0	100%
S2A1	813,5	5546,1	-	-	1285	2%
S2A2	1244,8	5028,7	-	-	1267	4%
S2A3	133	-	6362,27	-	27	98%
S2A4	219,5	-	-	2088,9	332	75%
S2A5	3911,8	1827,9	-	-	0	100%

Įvertinus nagrinėjamų sistemų variantus galima pastebėti 43 paveiksle, kad efektyviausias CO_2 emisijų mažinimo būdas yra diegiant kietąją biomasę kaip kurą naudojančius įrenginius. Tai patvirtina S1A5, S2A3 bei S2A5 variantai. Su dujofikavimu yra sumažinama 100% emisijų, o diegiant biokuro katilus su gamtines dujas naudojančiu kogeneratoriumi pasiekiami prastesni rezultatai. S1A3 bei S2A3 atvejais diegiant biokuro katilus vietoje gamtines dujas deginančių katilų yra sumažinama atitinkamai 37% ir 98%. Gaunami skirtingi emisijų sumažėjimo dydžiai, dėl to, kad atskirais scenarijais yra kitaip planuojama gamtines dujas deginančio kogeneratoriaus veikimo strategija. Pirmojo scenarijaus atveju kogeneratorius padengia didžiąją dalį šilumos poreikio, o antrojo scenarijaus atveju didžiąją dalį padengia biokuro katilai. Mažiausias CO_2 emisijų sumažinimas yra gaunamas, kai sistemos sudarytos iš dujinių vandens šildymo katilų bei dujas naudojančio kogeneratoriaus. S2A1 ir S2A2 emisijų sumažinimai yra mažiausi atitinkamai 2% ir 4%. Šiuose variantuose didžiąją dalį šilumos poreikio padengia dujiniai vandens šildymo katilai, kurie yra ir baziniame variante, būtent dėl šios priežasties yra nedideli emisijų sumažinimai.

9.3. Ekonominis vertinimas

Sistemų ekonominis vertinimas yra atliekamas siekiant nustatyti projektų ekonominį efektyvumą bei patrauklumą. Atliekant ekonominį vertinimą yra pasirenkami du dažnai naudojami vertinimo dydžiai, grynoji dabartinė vertė ir vidinė grąžos norma.

Grynosios dabartinės vertės (GDV) rodiklis yra labiausiai paplitęs ir yra vienas iš svarbiausių investicijų efektyvumo finansinio vertinimo kriterijų. Rodiklio esmė – grynosios dabartinės vertės apskaičiavimas, iš diskontuotų iki investavimo pradžios momento pinigų įplaukų sumos atėmus diskontuotų iki to paties momento piniginių išlaidų sumą.

Kadangi pinigų srautai pasiskirstę laike, jie diskontuojami pagal tam tikrą procentinę normą:

$$GDV = -CF_0 + \sum_{t=1}^{T} \frac{CF_t}{(1+i)^t} \tag{1}$$

čia: CF_0 – pradinis investicijų dydis;

$CF_{1,2\ldots,t}$ – pinigų srauto reikšmė t-aisiais metais;

i – kapitalo kaina.

Remiantis grynąja dabartine verte, laikomasi tokios sprendimų priėmimo taisyklės:

- projektas pasirenkamas, jei GDV > 0;
- projektas atmetamas, jei GDV < 0;
- projektas atsiperka be pelno, jei GDV = 0.

Vidinės grąžos normos (VGN) metodas leidžia įvertinti investicinių projektų ekonominį efektyvumą ir palyginti tokių sprendimų patrauklumą. VGN (IRR) metodu apskaičiuojama

investicinio projekto grąžos norma IRR, kuri sutapatinama su diskonto norma, kuriai esant, visų iš projekto gaunamų pinigų srautų grynoji dabartinė vertė lygi nuliui:

$$-CF_0 + \sum_{t=0}^{T} \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = 0 \quad (2)$$

Remiantis vidine grąžos norma VGN, laikomasi tokios sprendimų priėmimo taisyklės:

- projektas priimtinas, jei VGN > diskonto norma;
- projektas atmetamas, jei VGN < diskonto norma;
- projektas atsiperka be pelno, jei VGN = diskonto norma.

Remiantis 2.1. skyrelyje aptartomis prielaidomis yra apskaičiuojami nagrinėtų scenarijų ekonominiai rodikliai. Skaičiavimuose yra priimta, Europos sąjunga siūloma reali diskonto norma - 5%.[73] Ekonominis vertinimas yra atliekamas per 20 metų laikotarpį, kuris yra daugumos įrenginių gyvavimo trukmė.

Ekonominio vertinimo rezultatai yra pateikiami 9 lentelėje.

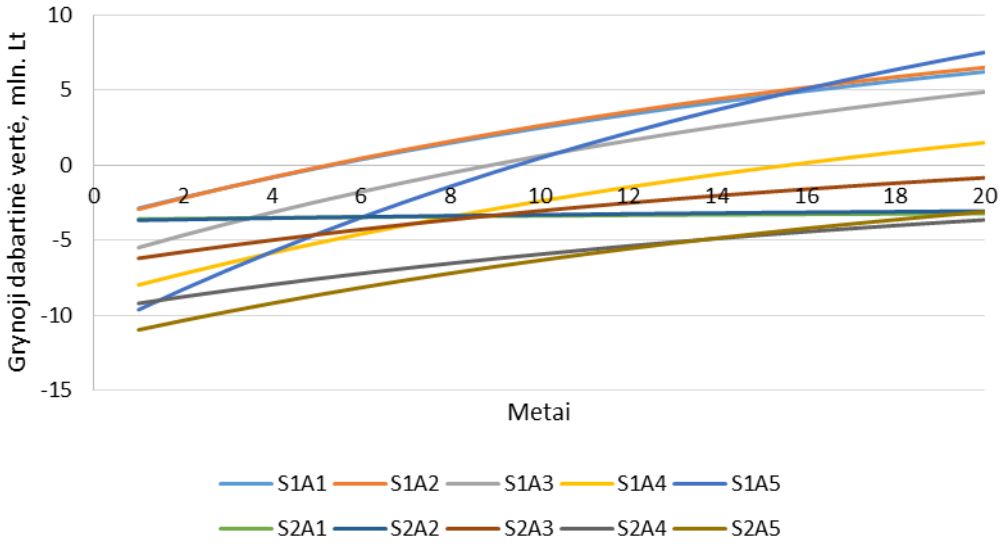
9 lentelė. Ekonominio vertinimo rezultatai

Variantas	Investicijos, tūkst.	Sutaupymai, tūkst.	Diskonto norma	GDV, tūkst.	VGN
S1A1	3622,5 Lt	788,2 Lt	5%	6200,6 Lt	16%
S1A2	3707,7 Lt	818,4 Lt	5%	6491,8 Lt	16%
S1A3	6332,7 Lt	897,8 Lt	5%	4856,2 Lt	8%
S1A4	8750,2 Lt	821,4 Lt	5%	1486,8 Lt	2%
S1A5	11031,03 Lt	1486,3 Lt	5%	7491,9 Lt	7%
S2A1	3622,5 Lt	32,37 Lt	5%	-3219,05 Lt	-17%
S2A2	3713,99 Lt	52,7 Lt	5%	-3056,69 Lt	-14%
S2A3	6638,99 Lt	465,1 Lt	5%	-842,88 Lt	-1%
S2A4	9654,89 Lt	482,2 Lt	5%	-3645,6 Lt	-5%
S2A5	11605,8 Lt	682,2 Lt	5%	-3104,29 Lt	-3%

Apskaičiavus ekonominius nagrinėjamų sistemų variantus, gauta, kad didžiausios investicijos yra reikalingos į variantus su medienos dujofikavimo reaktoriumi. S1A5 11,03 mln. Lt ir S2A5 11,61 mln. Lt. Mažiausios investicijos yra reikalingos diegiant tik kogeneratorių bei akumuliacinę talpą. S1A1,S2A1 po 3,62 mln. Lt, o S1A2 ir S2A2 atitinkamai 3,707 mln. Lt ir 3,13 mln. Lt. Antrame scenarijuje yra diegiama didesnė akumuliacinė talpa, taip pat ir galingesni katilai bei šilumos siurbliai, dėl to gaunami kainų skirtumai tarp scenarijų variantų.

Didžiausi metiniai sutaupymai lyginant su baziniu variantu yra gaunami pirmojo scenarijaus atveju, kadangi elektros gamyba yra didesnė bei superkamos elektros kaina yra aukštesnė už NPS rinkos kainas. Geriausias rezultatas sutaupymų yra S1A5 varianto, kadangi veikiant kogeneratoriui visus metus yra gaminama elektros bei šilumos energija. Šiuo atveju yra sutaupoma 1,49 mln. Lt. Taip pat antro scenarijaus atveju didžiausi sutaupymai irgi gaunami įrengus dujofikavimo reaktorių

(S2A5). Šiuo atveju yra sutaupoma per metus 682 tūkst. Lt. Toks geras rezultatas, palyginus tarp visų S2 variantų, yra gaunamas dėl to, kad elektros gamybos savikaina yra mažesnė už kitų S2 variantų.



44 pav. Nagrinėjamų variantų pinigų srautai

44 paveiksle matomas nagrinėjamų variantų diskontuotas atsiperkamumas. Matoma, kad greičiausiai atsiperka S1A1 ir S1A2 variantai. Esant mažiausioms investicijoms bei brangiai superkamos elektros kainai. Sistemos atsiperka per 6 metus. Antrame scenarijuje nagrinėjamos sistemos neatsiperka per visą nagrinėjamą laikotarpį.

Didžiausias GDV rodiklis yra pasiekiamas įrengus dujofikavimo reaktorių su kogeneratoriumi (S1A5) veikiančiu pagal VIAP tarifus. Šio varianto GDV yra 7,49 mln. Lt. Tačiau dėl didelių investicijų šio varianto VGN yra tik 7%, kuris nėra didžiausias iš nagrinėtų variantų. Šios sistemos atsiperkamumo laikotarpis siekia 10 metų. Antrojo scenarijaus visų sistemų GDV rodikliai yra neigiami per nagrinėjamą laikotarpį, geriausias šio scenarijaus rezultatas yra pasiekiamas S2A5 variante, tačiau irgi gaunamas neigiamas GDV rodiklis.

Siekiant įvertinti, kuri sistema yra ekonomiškai efektyviausia tenka remtis VGN rodikliu. Kadangi esant S1A5 varianto GDV rodikliui didžiausiam galima teigti, kad tai yra patraukliausias variantas, tačiau didelės investicijos mažina projekto patrauklumą nepaisant didelių metinių sutaupymų. Šį projekto trūkumą pabrėžia VGN rodiklis. Didžiausias VGN rodiklis yra pasiekiamas S1A1 ir S1A2 variantuose – 16%. Šių variantų GDV rodikliai atitinkamai yra 6,2 mln. Lt ir 6,49 mln. Lt. S1A2 varianto VGN yra didesnis dešimtosiomis, dėl to yra ekonomiškai patraukliausias iš visų nagrinėtų variantų.

Atkreipiant dėmesį į pirmojo scenarijaus variantus, matoma, kad beveik visi projektai tenkinta sąlyga, kad VGN > diskonto norma. Vienintelis variantas su šilumos siurbliu turi 2% VGN. Toks žemas rodiklis yra gaunamas dėl didelių investicijų bei, palyginti su kitais S1 variantais, mažų metinių sutaupymų.

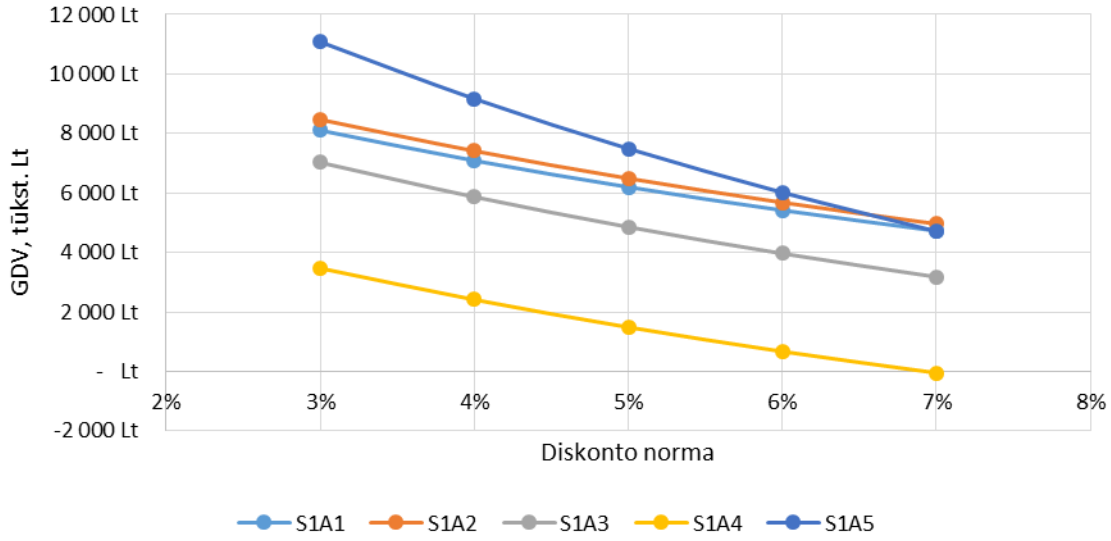
10. Jautrumo analizė

Jautrumo analizė leidžia įvertinti įvesties duomenų įtaką parinktiems naudingų sprendinių ekonominiams rodikliams, kas gali padėti atskleisti investicinio projekto riziką. Atliekant analizę yra vertinami tokie faktoriai kaip investicijų kaina, diskonto norma, projektui skiriamos subsidijos ir projektų vertinimas be kogeneracijos. Analizėje naudojami ekonominiai dydžiai:

- Diskonto norma 3-7%;
- Investicijos: nuo -25% iki +25%;
- ES subsidija biokuro naudojimui: nuo 20% iki 50%.

Subsidijų prielaidos, biokurą naudojančioms technologijoms, yra priimtos remiantis jau suteikto finansavimo, Lietuvoje įgyvendinamiems projektams, statistika. [74] Analizuojant variantus be kogeneracijos, kuriuose yra naudojamas biokuras, yra taip pat taikomos šios priimtos subsidijos.

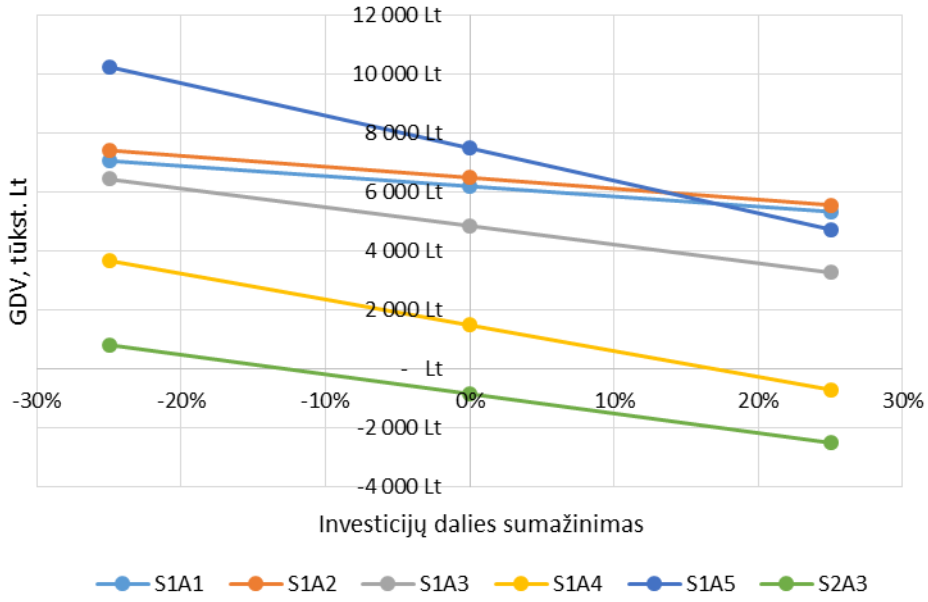
Analizė atliekama visiems nagrinėtiems atvejams, tačiau pateikiami yra tik atvejai, kai yra gaunamas GDV yra teigiamas. Pirmuoju atveju, kai yra keičiama diskonto norma teigiamas GDV rodiklis yra gaunamas tik pirmojo scenarijaus atveju. Rezultatai yra pateikiami 45 paveiksle.



45 pav. Diskonto normos kitimo vertinimas

Atlikus jautrumo analizę keičiant diskonto normą gautos tendencijos, kad mažėjant normai projektų GDV didėja, o didėjant normai GDV mažėja. Didžiausias GDV svyravimas priklausantis nuo diskonto normos dydžio yra gaunamas S1A4 variante su šilumos siurbliu. GDV svyruoja nuo 3,47 mln. Lt iki -47,84 tūkst. Lt. Taip pat didelis pokytis yra pastebimas S1A3 ir S1A5 variantuose. GDV svyruoja atitinkamai nuo 48% iki -37% ir 45% iki -35% nuo GDV esančio prie 5% diskonto normos. Galima teigti, kad projektai reikalaujantys didelių investicijų ir turintys santykinai mažus sutaupymus yra rizikingi, dėl diskonto normos pokyčių.

Atlikus jautrumo analizę keičiant investicijos dydžius į projektus gauti rezultatai yra pateikiami 46 paveiksle.



46 pav. Investicijų dydžio kitimo vertinimas

Atlikus investicijų padidėjimo ir sumažėjimo 25% jautrumo analizę gauti panašios tendencijos į diskonto normos pokyčius. Didžiausias GDV pokytis yra gaunamas S2A3, nuo -2,5 mln. Lt iki 816 tūkst. Lt. Šiuo atveju rodiklis kinta dvigubai nuo pradinės reikšmės. Investicijų dydžio kitimas turi didelę įtaką variantams su didelėmis investicijomis ir palyginamai mažais sutaupymais (S1A4, S1A5 ir S2A3). Mažiausias pokytis yra matomas S1A1 ir S1A2 variantuose po 14%, padidėja ir sumažėja GDV.

10 lentelėje yra pateikiami variantai, kai yra vertinami sistemų aprūpinančių kvartalą šilumine energija be kogeneracijos.

10 lentelė. Jautrumo analizė be kogeneracijos

Variantai	Investicijos	Sutaupymai	GDV	VGN	Pirminės energijos suvartojimas, MWh	CO_2 emisijos, t
Biokuro katilai	4 425 000 Lt	478 975 Lt	1 544 087 Lt	4%	6153,2	0
Medienos dujofikavimas	5 088 750 Lt	408 150 Lt	- 2 299 Lt	0%	7303,9	0
Šilumos siurblys FT	8 462 160 Lt	140 090 Lt	- 6 716 323 Lt	-13%	6411,8	320
Šilumos siurblys NPS	8 462 160 Lt	457 995 Lt	- 2 754 530 Lt	-4%	6411,8	320

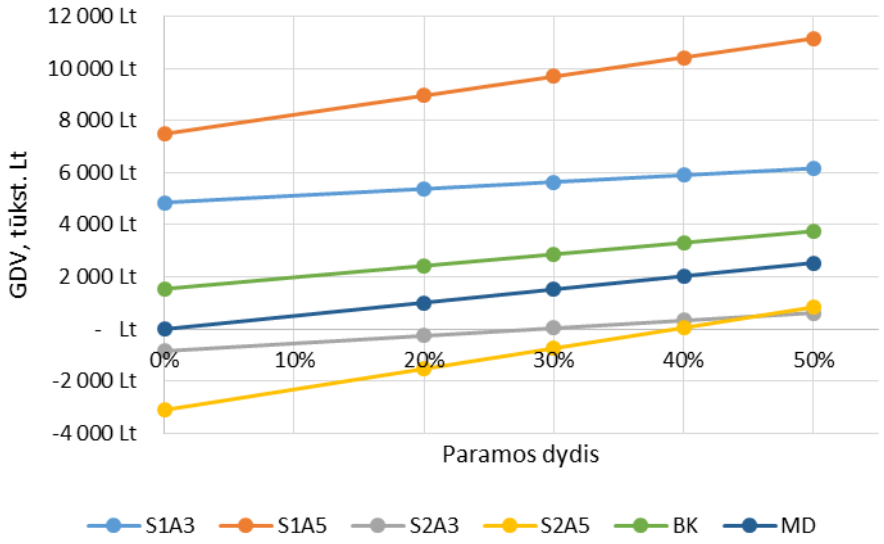
Įvertinus kvartalo aprūpinimą šilumine energija be kogeneracijos gaunama, kad pirminės energijos požiūriu yra tikslinga diegti biokuro katilus (BK). Įdiegus šį variantą gaunama, kad sutaupoma 12% pirminės energijos. Diegiant dujofikavimo reaktorių (MD), gaminantį medienos dujas, kurias degina esami dujiniai vandens šildymo katilai, yra suvartojama 4% daugiau pirminės energijos. Įdiegus šilumos siurblius gaunama, kad sutaupoma 9% pirminės energijos.

Vertinant ekologiniu požiūriu sistemas gaunama, kad biokurą naudojantys variantai CO_2 kiekį sumažina 100%, o šilumos siurblių variantas sumažina 76% CO_2 emisijas.

Vertinant ekonominiu požiūriu šilumos siurbliai buvo vertinti perkant suvartojamą elektros energiją fiksuotais tarifais (FT) ir pagal elektros biržos kainas (NPS).

Įvertinus pinigų srautus per 20 metų gauta, kad geriausias variantas yra įrengti biokuro katilus. Gauta, kad šio varianto GDV siekia 1,54 mln. Lt. Tačiau šio varianto VGN rodiklis yra 4%, kuris yra mažesnis už diskonto norma. Remiantis anksčiau aptartomis ekonominių rodiklių vertinimo taisyklėmis, šis variantas turi būti atmestas.

ES subsidijos buvo vertintos S1A3, S1A5, S2A3, S2A5, BK ir MD variantams. Gauti rezultatai yra pateikiami 47 paveiksle.



47 pav. Subsidijos dydžio kitimo vertinimas

Atlikus subsidijos dydžio vertinimo variantams, gauta, kad didėjant ES dengiamai investicijų daliai didėja visų variantų GDV rodiklis. Variantų veikiančių pagal elektros biržos kainas (S2A3 ir S2A5), su 50% parama, GDV siekia atitinkamai 619 tūkst. Lt ir 841 tūkst. Didžiausias GDV padidėjimas matomas variantuose su MD (S1A5 ir S2A5), atitinkamai 3,66 mln. Lt ir 3,95 mln. Lt.

Vertinant subsidijų įtaką projektų ekonominiam patrauklumui, galima teigti, kad esant 50% paramai daugumą projektų yra pelningi. Parama yra naudinga didelių investicijų reikalaujantiems projektams, tokiems kaip S2A5 variante. Investicijos didelės, tačiau sutaupymai šiame scenarijuje yra taip pat dideli, lyginant su kitomis šio scenarijaus alternatyvomis. Gavus paramą šiam projektui jis tampa ekonomiškai patrauklesnis. Tačiau gaunant 50% paramą ne viso projekto sumai šioje analizėje projekto GDV yra pakankamai mažas, o VGN siekia tik 1% (jautrumo analizėje yra vertinama parama tik biokurą naudojančioms technologijoms, vidaus degimo varikliui parama netaikoma).

Išvados

Atlikus tiriamąjį darbą, vertinant įvairius sistemų derinius, siekiant užtikrinti kvartalo šilumos poreikį formuluojamos išvados:

1. Atlikta literatūros analizė parodė, kad kogeneracija be akumuliacinės talpos veikiant įrenginiui pagal elektros poreikį neišnaudoja viso pirminės energijos potencialo, nes įrenginio veikimui, įsijungimui ar veikimui pilna apkrova, trukdo mažas šilumos poreikis;
2. Pastebima, kad kogeneratoriaus veikimas yra labai apribotas „Nord pool spot“ rinkoje. Antrame scenarijuje visos alternatyvos su gamtines dujas naudojančiu vidaus degimo varikliu nepadengia daugiau nei 22,9 % metinio šilumos poreikio. Blogiausias rezultatas gaunamas, kai derinamas VDV su BK, gaunama 2,5 % metinio šilumos poreikio ir derinant VDV su ŠS gaunama 4 % dalis. Kogeneratoriaus veikimą NPS rinkoje apriboja santykinai didelė gamtinių dujų kaina bei maža šiluminės energijos gamybos kaina kartu įrenginio derinamo kartu su VDV;
3. Įrengus akumuliacinę talpą variantuose yra pagaminamas didesnis šilumos kiekis naudojant kogeneracinį įrenginį. Lyginant S1A1, S2A1 variantus su S1A2, S2A2 variantais gaunama atitinkamai 73 % ir 15 %, 76 % ir 23 %. Galima pastebėti, kad didesnę įtaką akumuliacinė talpa kogeneratoriaus veikimui turi realaus laiko elektros biržoje, kurioje gamyba gali vykti visus metus.
4. Didžiausią dalį šilumos poreikio dengia kogeneratorius su dujofikavimo reaktoriumi, tiek pirmojo, tiek antrojo scenarijaus atvejais. Pirmojo scenarijaus atveju yra padengiama 91,4 % viso metinio šilumos poreikio, o antrame scenarijuje padengiama 72 %. Pirmame scenarijuje tokia šilumos poreikio dalis padengiama, nes esant AEI naudojimo skatinimui kogeneratorius gali gaminti ir parduoti elektrą pastoviu tarifu visus metus. Antrojo scenarijaus atveju yra padengiama tokia šilumos poreikio dalis, esant mažai šiluminės energijos savikainai, kuri lemia veikimo valandas NPS rinkoje;
5. Vertinant sistemų derinius pagal pirminės energijos suvartojimo efektyvumą, geriausius rezultatus rodo antrame scenarijuje esantys variantai su BK ir ŠS. Atitinkamai 105 % ir 107 %. Mažiausias efektyvumas yra gaunamas variantuose su medienos dujofikavimo reaktoriais. Pirmame scenarijuje yra gaunamas 84 %, o antrame 86 %;
6. Vertinant pagal pirminės energijos suvartojimą, daugiausia suvartoja S1A5 variantas – 13670 MWh. Mažiausiai yra suvartojama pirminės energijos S2A4 variante su šilumos siurbliu, 6298,5 MWh, ne daug skiriasi S2A3 varianto suvartojimai - 6334,6 MWh. Tuo tarpu, kai bazinio varianto suvartojimas yra 7012,7 MWh;
7. Įvertinus sistemas ekologiniu požiūriu gauta, kad ekologiškiausios sistemos yra naudojančios biokurą. Vertinant dujofikavimo reaktorių rezultatus gaunamos emisijos lygios 0 t, kadangi yra

priimama, kad deginant biomasę išsiskiriantis CO_2 yra neutralus. Blogiausias rezultatas yra pasiekiamas antrojo scenarijaus A1 ir A2 variantuose, atitinkamais emisijų sumažinimas nuo bazinio varianto lygus 2 % ir 4 %. Pastebima, kad vertinant kogeneratoriaus emisijas pagal pagamintos elektros kiekį yra sutaupoma S1A1 ir S1A2 atitinkamai po 12 % ir 13 %. Vertinant variantą (S2A4) su šilumos siurbliu, kuriame jis padengia 96 % metinio šilumos poreikio yra gaunami 75 % emisijų sutaupymai, o S2A3 variante, kuriame 97 % šilumos poreikio padengia biokuro katilai gaunamas 98 % emisijų sutaupymas;

8. Vertinant sistemas ekonominiu požiūriu gauta, kad ekonomiškai patraukliausias variantas yra S1A2. Įdiegus gamtines dujas naudojantį VDV su akumuliacine talpa, gauta, kad GDV yra 6,49 mln. Lt, o VGN 16 %. Šis variantas santykinai turintis mažas investicijas (3,7 mln. Lt) ir sutaupymus (818 tūkst. Lt) atsiperka per 6 metus. Tačiau didžiausias GDV yra gaunamas S1A5 variante, su medienos dujofikavimo reaktoriumi. Šiame variante GDV siekia 7,49 mln. Lt ir 7 % VGN. Pagal keliamus reikalavimus projekto VGN turi būti virš 5 %, ši projektas kaip tik tenkina šią sąlygą. Šis variantas atsiperka per 10 metų. Šio varianto VGN yra mažesnis už S1A2 dėl to, kad yra santykinai didelės investicijos ir palyginti maži sutaupymai. Vertinant antrąjį scenarijų, gauta, kad neatsiperka nei vienas variantas per nagrinėjamus dvidešimties metų laikotarpį;
9. Atlikus jautrumo analizę keičiant diskonto normos dydį bei investicijų dydį gautos panašios tendencijos, kad didėjant diskonto normai mažėja visų variantų GDV ir atvirkščiai. Kintant investicijoms irgi panašios tendencijos, mažėjant investicijų dydžiui didėja varianto GDV ir atvirkščiai. Pastebima, kad mažinant investicijų dydį į teigiamą GDV pusę pasikeičia S2A3 varianto rodiklis. Tačiau žinant, kad šiame variante kogeneratoriaus veikimas yra labai apribotas, reiktų įvertinti variantą be kogeneracijos, nes šiuo atveju yra tiesiog nereikalingos investicijos, kurios prailgina atsipirkimo laiką;
10. Apžvelgus visus rezultatus galima teigti, kad iš visais požiūriais įvertintų sistemų derinių geriausius rezultatus rodo S1A5 variantas, su medienos dujofikavimo reaktoriumi. Pagaminama elektra yra superkama fiksuotu tarifu visus metus bei gaunant paramą iš ES struktūrinių fondų projektas visais rezultatais geriausias. Išskyrus pirminės energijos suvartojimui bei konversijai į antrinę energiją. Biokuro katilai be kogeneracijos, su ES parama, variantas pasiekia geriausius rezultatus energiniu, ekologiniu bei ekonominiu požiūriu. Galima teigti, kad šiame darbe patraukliausia yra diegti biokuro katilus, kurie aprūpins kvartalą šilumine energija;

Literatūros sąrašas

1. Lietuvos statistikos departamentas. Kuro ir energijos balansas 2013. [interaktyvus] [žiūrėta 2013 metų sausio 20 d.] Prieiga per internetą: <http://www.lsta.lt/files/Leidiniai/2012_Kuro_ir_energijos_balansas_2012.pdf> .ISSN 2029-5944
2. Lietuvos statistikos departamentas. Energijos ir kuro sąnaudos Lietuvoje 2011 metais [interaktyvus] [žiūrėta 2013 metų sausio 20 d.] Prieiga per internetą: <http://www.stat.gov.lt/lt/news/view/?id=10060>
3. Eurostat. Energy production and imports. [interaktyvus] [žiūrėta 2013 metų sausio 20 d.] Prieiga per internetą:<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Energy_production_and_imports>
4. Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija LŠTA. Šilumos tiekimo bendrovių 2012 metų ūkinės veiklos apžvalga. Vilnius. 2013
5. Konstantinavičūtė I.. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų nacionalinių emisijų rodiklių energetikos sektoriuje įvertinimas 2012 [interaktyvus]. Kaunas: Lietuvos energetikos institutas [žiūrėta 2013 metų sausio 21 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.am.lt/VI/files/File/Klimato%20kaita/Energetikos_EF_studija.pdf>
6. Europos komisija. Climate change statistics [interaktyvus]. 2012 [žiūrėta 2013 metų sausio 21 d.] . Prieiga per internetą: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Climate_change_statistics>
7. Europos Parlamentas. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2012/27/ES dėl energijos vartojimo efektyvumo. Strasbūras. 2012 10 25
8. Europos Parlamentas. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2010/31/ES dėl energinio naudingumo pastatuose. Strasbūras. 2010 05 19
9. Europos Parlamentas. Europos sąjungos direktyva 2009/28/ES dėl skatinimo naudoti atsinaujinančių išteklių energiją. Strasbūras. 2009
10. Europos Parlamentas. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2009/29/EB dėl patobulinti ir išplėsti Bendrijos šiltnamio efektą sukeliančių dujų apyvartinių taršos leidimų prekybos sistemą. Strasbūras 2009 04 23
11. LR Seimas. Nacionalinė energetikos (energetinės nepriklausomybės) strategija. Vilnius, 2011
12. LitGrid [interaktyvus] 2014 [žiūrėta 2014 metų sausio 18 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.litgrid.eu/index.php/elektros-rinka/elektros-rinka/491>

13. Streckienė G., Martinaitis V., Andersen N. A., Katz J. 2009. Feasibility of CHP-plants with thermal stores in the German spot market, Journal of Applied Energy 86 (2009) 2308–2316
14. Arnoldas Vaičaitis. Daugiabučių namų modernizavimo galimybių panaudojant saulės energiją įvertinimas. Baigiamasis magistrinis darbas, VGTU, Vilnius. 2012
15. Andrius Reklys. Gyvenvietės autonomiškumo aprūpinimo energija alternatyvų techninis ir socio-ekonominis įvertinimas. Baigiamasis magistrinis darbas, VGTU, Vilnius. 2012
16. Evelina Trutnevytė. Integruoto urbanistinio modulio aprūpinimo energija sistemų tyrimai. Baigiamasis magistrinis darbas, VGTU, Vilnius. 2008
17. Arminas Grigalis. Nuotekų valyklos biodujų įrenginių analizė. Baigiamasis magistrinis darbas, VGTU, Vilnius. 2013
18. Salomėja Bagdonaitė. Ekonominė ir ekologinė saulės energijos panaudojimo individualių pastatų mikrorajone analizė. Baigiamasis magistrinis darbas, VGTU, Vilnius. 2012
19. Martynas Matuzas. Daugiabučio namo aprūpinimo energija technologinių sprendinių daugiakriterinė analizė. Baigiamasis magistrinis darbas, VGTU, Vilnius. 2013
20. Hebenstreit B., Schnetzinger R., Ohnmacht R., Hoftberger E., Lundgren J., Haslinger W., Toffolo A. 2014. Techno-economic study of a heat pump enhanced flue gas heat recovery for biomass boilers, Journal of Biomass and bioenergy (2014)
21. Puig-Arnavat M., Bruno C. J., Coronas A. 2014 Modeling of trigerneration configurations based on biomass gasification and comparison of performance, Journal of Applied Energy 114 (2014) 845–856
22. Difs K., Wetterlund E., Trygg L., Soderstrom M. 2010 Biomass gasification opportunities in a district heating system, Journal of biomass and bioenergy 34 (2010) 637 – 651
23. Noussan M., Abdin C. G., Poggio A., Roberto R. 2013 Biomass-fired CHP and heat storage system simulations in existing district heating systems, Journal of Applied Thermal Engineering (2013) 1-7
24. Sartor K., Qouilin S., Dewallef P. 2014 Simulation and optimization of a CHP biomass plant and district heating network, Journal of Applied Energy (2014)
25. Blarke M. B, Dotzauer E. 2011 Intermittency-friendly and high-efficiency cogeneration: Operational optimisation of cogeneration with compression heat pump, flue gas heat recovery, and intermediate cold storage, Journal of Energy 36 (2011) 6867-6878
26. Blarke M. B. 2011 Towards an intermittency-friendly energy system: Comparing electric boilers and heat pumps in distributed cogeneration, Journal of Applied energy 91 (2012) 349–365
27. AB Litgrid [interaktyvus] 2014 [žiūrėta 2014 metų sausio 18 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.litgrid.eu/index.php/elektros-rinka/elektros-rinka/491>

28. AB Litgrid [interaktyvus] 2014 [žiūrėta 2014 metų sausio 19 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.litgrid.eu/index.php/paslaugos/viesuosius-interesus-atitinkancios-paslaugos/525>
29. Baltpool [interaktyvus] 2014 [žiūrėta 2014 metų sausio 23 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.baltpool.lt/lt/pradzia-514/viap-lietuvoje>
30. LR Seimas [interaktyvus] 2014 [žiūrėta 2014 metų sausio 25 d.]. Prieiga per internetą: <http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=460438&p_tr2=2>
31. Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija [interaktyvus] 2014 [žiūrėta 2014 metų sausio 25 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.regula.lt/atsinaujinantys-istekliai/Puslapiai/tarifai.aspx>
32. AB Litgrid [interaktyvus] 2014 [žiūrėta 2014 metų vasario 19 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.litgrid.eu/index.php/elektros-rinka/rinkos-pletra/bendra-europos-elektros-rinka/495>
33. AB Litgrid [interaktyvus] 2014 [žiūrėta 2014 metų vasario 19 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.litgrid.eu/index.php/elektros-rinka/rinkos-pletra/nord-pool-spot-lietuva-/496>
34. AB Litgrid [interaktyvus] 2014 [žiūrėta 2014 metų vasario 23 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.litgrid.eu/index.php/elektros-rinka/rinkos-apzvalgos/798>
35. AB Klaipėdos nafta [interaktyvus] 2014 [žiūrėta 2014 metų kovo 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.sgd.lt/index.php?id=429>
36. Energetikos ministerija [interaktyvus] 2014 [žiūrėta 2014 metų kovo 20 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.enmin.lt/lt/activity/veiklos_kryptys/strateginiai_projektai/SGD_terminalas.php>
37. Gudzinskas J., Lukoševičius V., Martinaitis V., Tuomas E. 2011 Šilumos vartotojo vadovas. 2011, Vilnius.
38. Kytra S. 2006. Atsinaujinantys energijos šaltiniai. Kaunas, 301 p.
39. Lietuvos energetikos institutas[interaktyvus] 2014 [žiūrėta 2014 metų kovo 22 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.lei.lt/_img/_up/File/atvir/bioenerlt/index_files/Darni_bioenergetika-S.pdf>
40. Lietuvos energetikos institutas. [interaktyvus] 2014 [žiūrėta 2014 metų kovo 22 d.]. Prieiga per internetą:<http://www.leka.lt/sites/default/files/dokumentai/kietojim_biomase_lietuvos_energetikos_institutas.pdf>
41. Katinas V. Energijos gamybos apimčių iš atsinaujinančių energijos išteklių 2008-2025 studijos parengimas. Galutinė ataskaita. Lietuvos energetikos institutas, 2008
42. Lietuvos atsinaujinančių išteklių energetikos konfederacija [interaktyvus] 2014 [žiūrėta 2014 metų gegužės 3 d.]. Prieiga per internetą: < http://www.ateitiesenergija.lt/LT/geotermine-energija/>

43. Rasburskis N., Puodžius R., Urbonas P., Prieskienis Š., 2011 Kogeneracijos plėtros perspektyvų analizė po Ignalinos atominės elektrinės uždarymo. Energetika. 2011. t. 57. nr. 2. P. 101–114
44. Streckienė G. 2011. Kogeneracinės jėgainės šilumos akumuliacinės talpos veikimo režimų tyrimai. Daktaro disertacija, Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius: Technika. 144 p.
45. Kilaitė L., Puodžius R. Įvairių kogeneracijos technologijų įrengimo galimybių ir sąnaudų studijos bei rekomendacijų dėl šių technologijų diegimo parengimas. Ataskaita, LR ūkio ministerija, Vilnius. 2007
46. Danijos energetikos agentūra, energinet.dk. Technology data for energy plants. 2012 [interaktyvus]. [žiūrėta 2014 metų sausio 20 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Danske%20dokumenter/Forskning/Technology_data_for_energy_plants.pdf>
47. UAB „Vilniaus energija“ 2014 [interaktyvus]. [žiūrėta 2014 metų gegužės 20 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.vilniaus-energija.lt/content/techniniai-pajegumai>
48. Skagen CŠT sistemos realaus laiko duomenys 2014. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014 metų gegužės 25 d.]. Prieiga per internetą: <http://www2.emd.dk/plants/skagen/>
49. Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija [interaktyvus] 2014 [žiūrėta 2014 metų sausio 25 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.regula.lt/elektra/Puslapiai/viesuosius-interesus-elektros-energetikos-sektoriuje-atitinkancios-paslaugos.aspx>
50. Villu V., Ulo K., Peeter M., Tonu P., Sulev S. Biokuro naudotojo žinynas. Vilnius, 2007
51. Loo S., Koppejan J. The handbook of biomass combustion & co-firing. Londonas, Vašingtonas, 2009
52. UAB „Enerstena“ [interaktyvus] 2014 [žiūrėta 2014 kovo 5 d.] Prieiga per internetą: <http://www.enerstena.lt/lt/gamyba.htm>
53. Konsultacijos el. paštu su UAB „Enerstena“ pardavimų vadybininku Egidijumi Černiausku
54. Mathiesen B., Blarke M. B., Hansen K., Connolly D. The role of large-scale heat pumps for short term integration of renewable energy, case study of Denmark towards 50 % wind power in 2020 and technology data for large-scale heat pumps. Aalborgo universitetas, 2011.
55. R744 diagrama. [interaktyvus] 2014 [žiūrėta 2014 metų gegužės 18 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.ohio.edu/mechanical/thermo/Applied/Chapt.7_11/Chapter9.html>
56. Harboøre kogeneracinė jėgainė. [interaktyvus] 2014 [žiūrėta 2014 metų gegužės 18 d.]. Prieiga per internetą: < http://www.jfe-eng.co.jp/en/news/2003/20031210.html>
57. TRNSYS 16 documentation
58. EMD International A/S. *energyPRO User's Guide.*

59. Euroheat & Power, CŠT sistemų statistika. [interaktyvus] 2014 [žiūrėta 2014 metų gegužės 16 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.euroheat.org/Admin/Public/DWSDownload.aspx?File=%2fFiles%2fFiler%2fdocuments%2fDistrict+Heating%2f2013_Country_by_country_STATISTICS.pdf>
60. Lukoševičius V., Martinaitis V. 2014. Šilumos gamyba deginant kurą. Vilnius, 233 p.
61. Trakų Vokės oficialus tinklapis [interaktyvus] 2014 [žiūrėta 2014 metų sausio 18 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.trakuvoke.lt/apie.htm>
62. RSN 156-94. Statybinė klimatologija. Žin., 1994, Nr. 24-394. Vilnius, 1994
63. Būsto energijos taupymo agentūra. Atnaujink Būstą [interaktyvus] 2014 [žiūrėta 2014 sausio 4 d.] <http://www.atnaujinkbusta.lt/public/gallery/studijos_dokumentai/1priedas.pdf.>
64. Pastatų karšto vandens sistemų įrengimo taisyklės. Valstybės žinios, 2005-07-14, Nr. 85-3175
65. UAB „Vilniaus energija“ vidaus dokumentai
66. UAB „Bionovus“, [interaktyvus] 2014 [žiūrėta 2014 sausio 4 d.] Prieiga per internetą: <http://www.bionovus.lt/uploads/File/Bionovus%20LT.pdf>
67. Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija [interaktyvus]. [žiūrėta 2014 metų balandžio 10 d.] Prieiga per internetą: <http://www.regula.lt/siluma/Puslapiai/kuro-ir-perkamos-silumos-kainos/vidutine-salies-kuro-zaliavos-kaina.aspx>
68. AB LESTO [interaktyvus]. [žiūrėta 2014 metų balandžio 10 d.] Prieiga per internetą: <http://www.regula.lt/elektra/Puslapiai/tarifai/visuomeniniai-tarifai-ab-lesto-2014-metai.aspx>
69. UAB „Vilniaus energija“ [interaktyvus]. [žiūrėta 2014 metų balandžio 10 d.] Prieiga per internetą: <http://www.vilniaus-energija.lt/content/silumos-ir-karsto-vandens-kainos-vilniaus-gyventojams-2014-m-balandzio-men>
70. Šuksteris V., Jonynas R. Šilumos siurblio panaudojimo Alytaus daugiabučiame name analizė. 2011
71. Covenant of Mayors [interaktyvus]. [žiūrėta 2014 metų balandžio 28 d.] Prieiga per internetą: <http://www.covenantofmayors.eu/IMG/pdf/technical_annex_en.pdf>
72. Aplinkos ministerija [interaktyvus]. [žiūrėta 2014 metų balandžio 28 d.] Prieiga per internetą: <http://www.am.lt/VI/article.php3?article_id=14347>
73. Europos sąjungos komisija. Guide to cost-benefit analysis of investment projects. [interaktyvus] [žiūrėta 2014 metų gegužės 1 d.] Prieiga per internetą: <http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/guides/cost/guide2008_en.pdf>
74. ES struktūrinė parama. [interaktyvus] [žiūrėta 2014 metų gegužės 3 d.] Prieiga per internetą: <http://www.esparama.lt/es_parama_pletra/failai/um/failai/20131002_Nr_4-871.pdf>