



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
ŠILDYMO IR VĖDINIMO KATEDRA

Epm-2 gr. studentė Erika Žvingilaitė

**KOGENERACIJOS DIEGIMO GALIMYBĖS MAŽUOSE
LIETUVOS ŠILUMOS ŪKIUOSE**
**COGENERATION IMPLEMENTATION POSSIBILITIES IN
LITHUANIA'S SMALL-SCALE DISTRICT HEATING
COMPANIES**

Baigiamasis magistro darbas

Energetika ir termoinžinerija

Energetika ir termoinžinerija

Vadovas: prof. V. Martinaitis

Vilnius, 2004

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Šildymo ir vėdinimo katedra

ISBN ISSN
Egz. sk. 2
Data 2004 06 09

Magistrantūros baigiamasis darbas (tezės)
Kogeneracijos diegimo galimybės mažuose Lietuvos šilumos ūkiuose

Epm-2 gr. studentė Erika Žvingilaitė

Kalba

☒ X

Lietuvių

Nutraukus Ignalinos AE darbą didžiąją dalį elektros energijos numatoma gaminti didžiosiose Lietuvos elektrinėse, vartojančiose įvežtinį, aplinką teršiantį kurą. Taip šalies energetikos sistema gali tapti vis labiau priklausoma nuo pirminės energijos išteklių tiekimo iš užsienio, bei didėti aplinkos tarša. Tuo tarpu kai kurių rajoninių šilumos tiekimo įmonių kainos yra labai aukštos, įmonės kenčia nuo vartotojų skolų. Vidutiniškai šiluma rajonuose yra 30 % brangesnė už didelių miestų gyventojams tiekiamą šilumą. Dalį elektros poreikių padengti bei šilumos kainas rajonuose mažinti siūloma diegiant kogeneracines jėgaines mažuose Lietuvos šilumos ūkiuose.

Šiame darbe apžvelgtos kogeneracinės technologijos, jų privalumai bei trūkumai. Išnagrinėtos jų diegimo galimybės bei kliūtys Lietuvoje. Apskaičiuotas skirtingų technologijų įrengimo techninis bei ekonominis pagrįstumas pasirinktoje rajoninėje šilumos tiekimo įmonėje. Išanalizuota gaunama nauda gaminant elektrą ~ 90 % efektyvumo kogeneracinėje, o ne ~ 40 % efektyvumo kondensacinėje jėgainėje. Atlikta nagrinėjamų scenarijų ekonomiškumo bei šilumos kainų jautrumo analizė esant skirtingoms superkamos elektros kainoms. Nustatyti techniniu bei ekonominiu požiūriu patraukliausi scenarijai. Padarytos išvados apie kogeneracijos diegimo rajonuose pagrįstumą bei rėmimo efektyvumą Lietuvoje.

Reikšminiai žodžiai: Energetikos sistema, centralizuotas šilumos tiekimas, kogeneracija, šilumos ir elektros kainos

Vilnius Gediminas technical university
Environmental Engineering faculty
Department of heating and ventilation

ISBN ISSN
No. of prints. 2
Date 2004 06 09

Master final report (thesis)
Cogeneration implementation possibilities in Lithuania's small-scale district heating companies

Epm-2 gr. student Erika Žvingilaitė

Language

☒ X

English

After closure of Ignalina nuclear power plant its capacity is going to be replaced by large-scale Lithuania's power plants burning imported fossil fuel. This can lead to high energy system dependency from foreign countries, supplying mostly gas, and to the increase of environmental pollution. Meanwhile, some of small Lithuanian district heating companies suffer from high heat prices and consumers debts. Heat prices for consumers in small districts are by approximately 30 % higher, than for consumers in large cities. Needed electricity capacity could be partially replaced and district heating prices could be reduced by introducing small-scale cogeneration.

This report is dealing with cogeneration technologies, their advantages and drawbacks. The possibilities and obstacles for implementation of these technologies in Lithuania are examined. The benefits from introduction of these technologies versus condensing power plants are analyzed. These issues have been assessed by simulating combined heat and power production in selected district heating company. There is evaluated the impact of electricity prices on the economy of different scenarios and heat prices. Finally, the conclusions about the feasibility of cogeneration implementation and the sufficiency of support schemes are made.

Keywords: Lithuania, energy system, cogeneration, district heating, electricity and heat prices

Turinys

1. Paveikslų sąrašas	6
2. Lentelių sąrašas	8
3. Santrumpos	8
4. Įvadas	9
5. Tiriamojo darbo struktūra	12
6. Lietuvos energetikos sistema	14
6.1. Energijos išteklių sistema	14
6.1.1. Pirminės energijos sąnaudos šilumos gamyboje	16
6.1.2. Pirminės energijos sąnaudos elektros gamyboje	17
6.1.3. Vietiniai, atsinaujinantys energijos ištekliai	17
6.2. Energijos transformavimo ir transportavimo sistema	19
6.2.1. Šilumos sektorius	19
6.2.2. Elektros sektorius	20
6.3. Energijos vartojimo sistema	22
6.3.1. Šilumos vartojimas	22
6.3.2. Elektros vartojimas	24
6.4. Energetikos sistemos įvertinimas	25
7. Problema ir jos sprendimo būdai	26
8. Bendra šilumos ir elektros gamyba (kogeneracija)	28
8.1. Kodėl reikia skatinti ir remti kogeneraciją? (Kogeneracinių jėgainių privalumai ir trūkumai)	29
8.2. Kogeneracijos naudojimą reglamentuojantys teisės aktai	31
8.3. Kogeneracinės technologijos	34
8.3.1. Garo turbinos	35
8.3.2. Vidaus degimo varikliai (VDV)	41
8.3.3. Dujų turbinos	46

8.4. Kieto kuro dujofikavimas.....	51
8.4.1. Dujofikavimo procesas.....	52
8.4.2. Dujofikavimo technologijos.....	55
8.4.3. Generatorinių dujų valymas	59
9. Nagrinėjamo atvejo tyrimas	61
9.1. Bendra Tauragės rajono ekonominės ir socialinės situacijos apžvalga.....	61
9.2. Rajono energetikos sektoriaus apžvalga.....	63
9.3. Atvejo nagrinėjimo metodika.....	67
9.4. Naudojama kompiuterinė programa.....	69
9.5. Beržės katilinės aprašymas.....	72
9.6. Nagrinėtinų variantų apibūdinimas.....	73
9.7. Ekonominių skaičiavimų metodika ir prielaidos.....	76
9.8. Rezultatai.....	78
9.8.1. Techniniai rezultatai.....	78
9.8.2. Ekonominiai rezultatai	82
10. Išvados ir pasiūlymai.....	90
11. Literatūros sąrašas	93
12. Priedai.....	97

1. Paveikslų sąrašas

1 pav. Tiriamojo darbo struktūra.....	13
2 pav. Energijos išteklių, suvartotų 2001 metais, struktūra	15
3 pav. Energijos išteklių sąnaudos šilumos gamyboje 2001 metais	16
4 pav. Energijos išteklių sąnaudos elektros gamyboje 2001 metais	17
5 pav. Vietinių ir atsinaujinančių energijos išteklių potencialas Lietuvoje	18
6 pav. Centralizuotos šilumos gamybos struktūra 2001 metais	20
7 pav. Elektros gamybos struktūra 2001 metais	21
8 pav. Šilumos vartojimas 2001 metais pagal sektorių.....	22
9 pav. 2001 metais gyvenamajame sektoriuje suvartotos šilumos struktūra pagal šaltinį.....	23
10 pav. 2001 metais suvartotos elektros pasiskirstymas pagal vartotojus	24
11 pav. Aukštų šilumos kainų problemos sprendimo būdai	28
12 pav. Jėgainės su garo turbina principinė schema	35
13 pav. Garo turbinos veikimo schema.....	36
14 pav. Renkino ciklas $p-v$ ir $T-s$ diagramose.....	37
15 pav. Priešslėgio garo turbina.....	39
16 pav. Garo turbina su tarpiniu garo paėmimu.....	39
17 pav. Jėgainės su vidaus degimo variklio principinė schema.....	41
18 pav. Vidaus degimo variklio veikimo schema	42
19 pav. Greitojo degimo variklio ciklas $p-v$ ir $T-s$ diagramose.....	43
20 pav. Lėtojo degimo variklio ciklas $p-v$ ir $T-s$ diagramose.....	44
21 pav. Mišrusis ciklas $p-v$ ir $T-s$ diagramose.....	44
22 pav. Jėgainės su dujų turbina principinė schema	47
23 pav. Izobarinio degimo dujų turbinos ciklas $p-v$ ir $T-s$ diagramose.....	48
24 pav. Generatorinių dujų iš 20 % drėgnumo medienos tūrinė sudėtis.....	54

25 pav. Dujofikatoriai su nejudamu kuro sluoksniu.....	55
26 pav. Dujofikatorius, kai oras tiekiamas iš viršaus su V formos anga ir dvigubomis sienelėmis	57
27 pav. Dujofikatorius su judančiu kuro sluoksniu.....	58
28 pav. Tauragės rajonas Lietuvoje	61
29 pav. Tauragės rajono žemėlapis	62
30 pav. Energijos sąnaudų Tauragės rajone struktūra.....	63
31 pav. Vakarų skirstomieji tinklai	65
32 pav. Energijos, medžiagų ir pinigų srautai katilinėje kai gaminama tik šiluma	67
33 pav. Energijos, medžiagų ir pinigų srautai katilinėje kai diegiama kogeneracija.....	68
34 pav. Kuro suvartojimas nagrinėjamuose scenarijuose	78
35 pav. Išmetami CO ₂ dujų kiekiai nagrinėjamuose scenarijuose	79
36 pav. Elektros gamybos efektyvumas kogeneracinėje bei kondensacinėje jėgainėse	80
37 pav. CO ₂ dujų „sutaupymai“ pagal scenarijuose gaminamos elektros kiekį.....	81
38 pav. Investicijų į garo turbinos scenarijus grynosios esamosios vertės priklausomybė nuo elektros....	83
39 pav. Investicijų į dujų turbinos scenarijus grynosios esamosios vertės priklausomybė nuo elektros.....	84
40 pav. Investicijų į vidaus degimo variklio scenarijus grynosios esamosios vertės priklausomybė nuo elektros kainų.....	84
41 pav. Nagrinėjamuose scenarijuose gaminamos šilumos bei elektros dalis.....	86
42 pav. Šilumos kainų priklausomybė nuo elektros kainų naudojant skirtingų galių garo turbiną	87
43 pav. Šilumos kainų priklausomybė nuo elektros kainų naudojant skirtingų galių dujų turbiną	88
44 pav. Šilumos kainų priklausomybė nuo elektros kainų, naudojant skirtingų galių vidaus degimo variklį.....	88
45 pav. Labiausiai ekonomiškai pagrįsti scenarijai	89

2. Lentelių sąrašas

1 lentelė. Energetikos sektoriaus SSGG analizė	25
2 lentelė. Dujofikatorių su nejudamu kuro sluoksniu charakteristikos ir reikalavimai kurui	56
3 lentelė. Dujofikatorių su judamu kuro sluoksniu charakteristikos ir reikalavimai kurui	59
4 lentelė. Informacijos srautai „energyPRO“ programoje	70
5 lentelė. Beržės katilinėje esančių katilų charakteristikos	72
6 lentelė. Nagrinėjami Beržės katilinės scenarijai	74
7 lentelė. Nagrinėjamų kogeneracinių technologijų charakteristikos	74

3. Santrumpos

AE – atominė elektrinė

AB – akcinė bendrovė

CŠT – centralizuotas šilumos tiekimas

DT – dujų turbina

ES – Europos Sąjunga

GT – garo turbina

LR – Lietuvos Respublika

MWe – elektrinė galia

SSGG – stiprybės, silpnybės, galimybės bei grėsmės

tne – tona naftos ekvivalento

UAB – uždara akcinė bendrovė

VDV – vidaus degimo variklis

Žin. – „Valstybės žinios“ LR Seimo leidinys

4. Įvadas

Tarybų sąjungos laikais Lietuvoje buvo gerai išvystyta energijos gamybos bei tiekimo infrastruktūra. Lietuvos elektros sistema buvo (ir yra) įjungta į bendrą Tarybų sąjungos energetikos sistemą, todėl šalyje gaminama elektra buvo vartojama ne tik vietos, bet ir kitų šalių vartotojų. 1990 metais Lietuvai atgavus nepriklausomybę sumažėjo pramonės bei žemės ūkio elektros suvartojimai. Nors elektros sąnaudos nuo 1990 metų sumažėjo mažiausiai, palyginus su kitų rūšių energijos sąnaudomis, Lietuvoje šiuo metu yra apie 2700 MW elektros galios perteklius [1]. Daugiau nei 75 % visos Lietuvoje generuojamos elektros gaminama 2600 MW galios Ignalinos atominėje elektrinėje [2]. Tačiau Nacionalinėje energetikos strategijoje, patikslintoje 2002 metais, numatoma 2009 metais visiškai nutraukti Ignalinos AE darbą. Po 2009 metų elektros energiją numatoma gaminti modernizuotoje Lietuvos elektrinėje bei rekonstruojamose Vilniaus ir Kauno kogeneracinėse jėgainėse. Taip pat, augant elektros poreikiams numatoma pastatyti dar 400 MWe galios kogeneracines elektrines didesniuose Lietuvos miestuose [3].

Lietuvos Respublikos Seimas 2002 metais ratifikavo Kioto protokolą. Jame yra numatyta, kad Lietuva iki 2008-2012 metų laikotarpio sumažins šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimų kiekius 8%, lyginant su išmetimų kiekiais 1990 metais. Pagal dabartines bei prognozuojamas energijos gamybos apimtis Lietuva apytikriai 40 % viršys šiuos reikalavimus [4]. Tačiau tai nesudaro galimybės pagerinti energijos sistemos efektyvumo. Viena iš Lietuvos energetikos sistemų silpnųjų yra priklausymas nuo importuojamo kuro. Apie 86 % suvartojamų pirminės energijos išteklių sudaro įvežtinis kuras: naftos produktai, gamtinės dujos bei branduolinė energija [2]. Daugiausiai elektros poreikių po Ignalinos AE uždarymo numatoma padengti didelėse, įvežtinį bei aplinką teršiančią kurą vartojančiose jėgainėse. Todėl, augant elektros gamybos apimtims didės ir aplinkos tarša. Didžiausią dalį elektros poreikių Lietuvoje padengsiančios, Lietuvos elektrinės kuro vartojimo efektyvumas tesudaro 39 % [4]. Neefektyviai vartojant įvežtinį kurą Lietuvos energetikos sistema tampa vis labiau priklausoma nuo kitų valstybių, nuo bendros situacijos pasaulio energijos išteklių rinkose ir tampa vis labiau pažeidžiama.

Po Tarybų Sąjungos iširimo Lietuvos šilumos ūkis paveldėjo gerai išvystytą centralizuoto šilumos tiekimo sistemą. Daugiau nei 70 % pastatų šildymo sistemų yra prijungta prie centralizuotų šilumos tiekimo tinklų. Tačiau nuo 1990 iki 2001 metų, nutraukus darbą daugeliui pramonės įmonių, šilumos poreikiai sumažėjo apie tris su puse karto [2]. Šiuo metu rajoninės šilumos tiekimo įmonės susiduria su daugeliu techninių bei ekonominių problemų. Pagrindinės techninės problemos yra: pasenę bei susidėvėję gamybos bei tiekimo įrenginiai, jų instaliuota galia smarkiai viršija dabartinius šilumos poreikius, todėl gamybos efektyvumas yra prastas, o tiekimo sistemoje susidaro dideli šilumos nuostoliai. Šiluma rajonuose dažniausiai gaminama katiluose, deginant dujas arba mazutą [5]. Mazutas dažniausiai vartojamas ten, kur neprieinamos gamtinės dujos – tokių šilumos tiekimo įmonių situacija ypač prasta. Įrenginių neefektyvumo rezultatas yra aukštos šilumos kainos vartotojams. Todėl vis daugiau vartotojų atsijungia nuo centralizuotos šilumos tiekimo tinklų. Kyla grėsmė, kad kai kuriuose rajonuose centralizuotas šilumos tiekimas taps neefektyvus ir nepatrauklus. Yra keletas centralizuotos šilumos tiekimo sistemų neefektyvumo gerinimo būdų gamybos, tiekimo, taip pat ir šilumos vartojimo sektoriuose. Siūlomas šios problemos sprendimo būdas gamybos sektoriuje – kogeneracinių technologijų diegimas.

Kogeneracija yra labai efektyvus energijos gamybos būdas. Lyginant su įprastine elektros (kondensacinėse jėgainėse) bei šilumos (katiluose) gamyba, kogeneracinėse jėgainėse kuro vartojimas sumažėja 15-30 nuošimčių [31]. Kuras vartojamas efektyviai jei tuo pačiu metu jėgainėje gaminama elektra bei šiluma. Būtent šia savybe ir pasižymi kogeneracinės technologijos. Mažos galios šio tipo jėgainės gali būti naudojamos decentralizuotai elektros bei centralizuotai šilumos gamybai Lietuvoje. Gerai išvystyta centralizuotos šilumos tiekimo sistema – svarbi sąlyga kogeneracijos diegimui, o įdiegus kogeneracines technologijas galima bent iš dalies išspręsti šilumos tiekimo įmonių problemas (pelną už parduotą elektrą skiriant šilumos kainoms mažinti). Taip pat mažos decentralizuotos bendros šilumos ir elektros gamybos jėgainės suteikia galimybę vartoti vietinį bei atsinaujinantį kurą (šiaudus, medieną ir t.t.). Atsiradus papildomų elektros galių poreikiui po Ignalinos AE darbo nutraukimo, decentralizuota elektros gamyba kogeneracinėse jėgainėse viena iš efektyviausių kuro vartojimo bei aplinkos taršos atžvilgiu.

Nacionalinėje energetikos strategijoje numatytas tikslas, kad elektros, pagaminamos kogeneracijos ciklu veikiančiose jėgainėse, kiekis 2015-2020 metais sudarytų 35-45 % visos šalyje pagamintos elektros. Tuo tarpu šiuo metu elektros gamybos dalis kogeneracinėse elektrinėse (be Lietuvos elektrinės) sudaro tik ~ 13 % [5]. Šilumos sektoriuje energijos gamyba šio tipo jėgainėse 2001 metais sudarė ~ 37 % [30]. Siekiama, kad 2020 metais kogeneracinėse jėgainėse gaminama šiluma sudarytų ne mažiau kaip 75 % bendro centralizuotai tiekiamos šilumos kiekio [6]. Europos Sąjungos komisijos nustatytas tikslas – padvigubinti kogeneracijos dalį elektros gamyboje nuo 9 % iki 18 % iki 2010 metų [32]. Šiems tikslams pasiekti reikalinga atitinkama teisinių, ekonominių bei organizacinių priemonių visuma. Lietuvos energetikos sektoriaus veiklą reglamentuojančiuose teisiniuose aktuose numatyta parama kogeneracijai – nustatyta speciali elektros supirkimo tvarka iš šio tipo jėgainių. Tačiau energetikos strateginius tikslus formuluojančiuose teisiniuose aktuose daugiausiai dėmesio skiriama centralizuotai elektros gamybai didelių miestų kogeneracinėse jėgainėse. Tuo tarpu mažos kogeneracinės jėgainės šalies rajonuose turi nemažai privalumų gaminant elektrą ir gali pagerinti centralizuotos šilumos tiekimo įmonių padėtį.

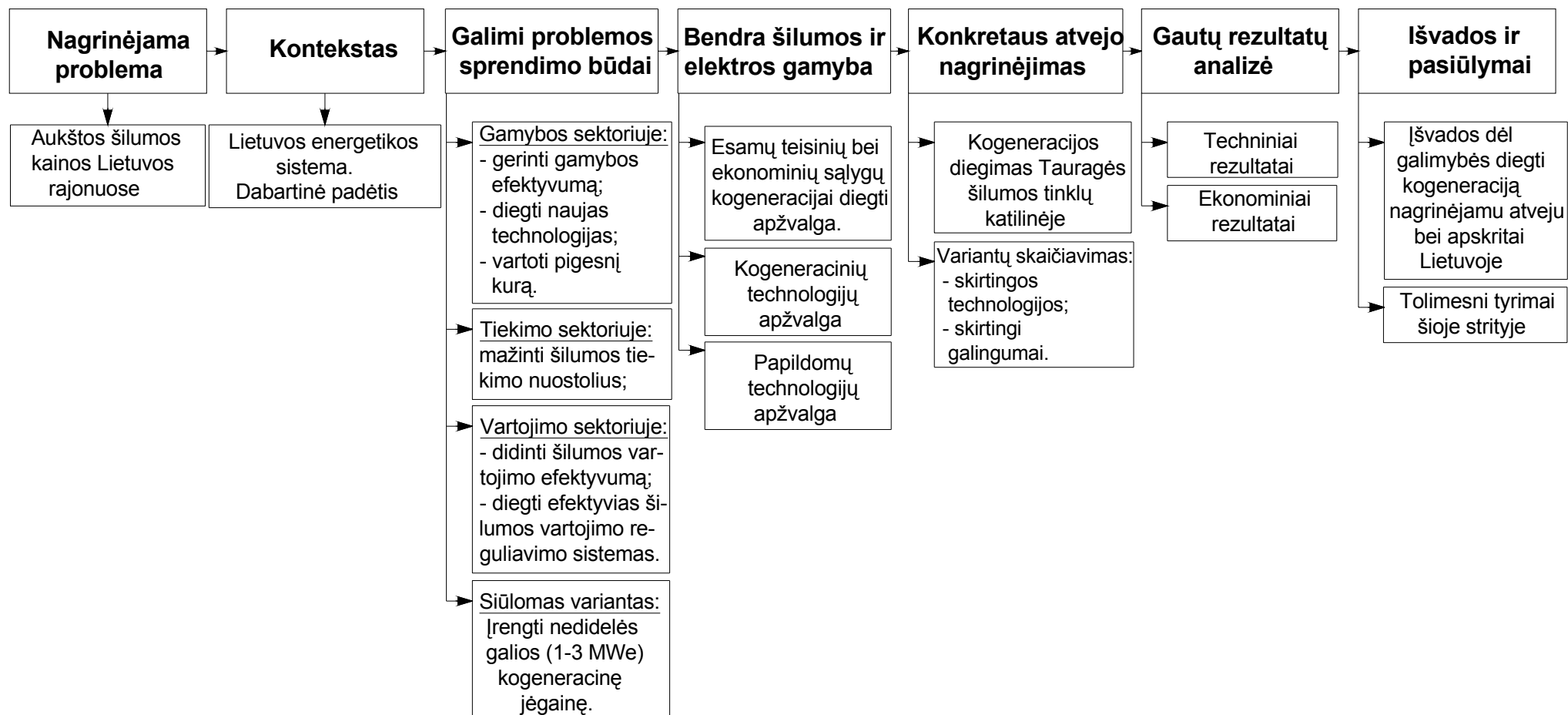
Darbe nagrinėjamos kogeneracijos diegimo galimybės Lietuvos rajonų šilumos ūkiuose. Siekiama įvertinti, kokie yra šių technologijų įrengimo privalumai, trūkumai bei kliūtys. Kogeneracijos diegimas analizuojamas kaip aukštų šilumos kainų Lietuvos rajonų šilumos vartotojams problemos sprendimo būdas. Tikimasi, kad bendra šilumos ir elektros gamyba šilumos tiekimo įmonėse sąlygos pastebimą kainų sumažėjimą. Kogeneracinių technologijų įrengimui skaičiuoti pasirinkta viena iš rajoninių šilumos įmonių, kuriai netiekiamos gamtinės dujos – UAB Tauragės šilumos tinklai. Šias technologijas numatoma įrengti Beržės katilinėje, tiekiančioje šilumą Tauragės miesto gyventojams (~ 30 tūkst. gyventojų). Analizuojamos trys labiausiai paplitusios bei seniausios žinomos technologijos: garo ir dujų turbinos bei vidaus degimo variklis. Siekiama nustatyti, kuri iš šių technologijų (ir kokio galingumo) yra patraukliausia aplinkosauginiu, socialiniu bei ekonominiu požiūriu. Nagrinėjamas kiekvieno scenarijaus ekonomiškumas esant skirtingoms superkamos šilumos kainoms. Remiantis skaičiavimų rezultatais daromos išvados apie kogeneracijos diegimo pagrįstumą nagrinėjamoje šilumos tinklų įmonėje bei kituose Lietuvos rajonuose.

5. Tiriamojo darbo struktūra

Tiriamojo darbo tikslas – išnagrinėti kogeneracinių technologijų įdiegimo galimybes Lietuvos rajonuose. Darbo struktūra pavaizduota 1 paveiksle (13 psl.).

Kadangi kogeneracinės technologijos susijusios ne tik su šilumos, bet ir su elektros gamyba ir gali tapti svarbia Lietuvos energetikos sektoriaus dalimi, pirmiausiai darbe apžvelgiama šalies energetikos sistema. Apžvalgoje siekiama išsiaiškinti energetikos sektoriaus ypatybes bei aplinkybes, kuriomis analizuojamas kogeneracijos diegimas. Apžvelgus visą šalies energetikos ūkį lengviau suprasti ir nagrinėjamą problemą bei galimus jos sprendimo būdus. Nagrinėjama problema – aukštos centralizuotos šilumos kainos rajonuose dėl neefektyvaus jų šilumos ūkio. Darbe apžvelgiami problemą sukėlusios priežastys ir galimi sprendimo būdai, siūlomas vienas iš sprendimo būdų. Siūloma rajonų šilumos tiekimo įmonėse diegti kogeneraciją. Toliau darbe apžvelgiama bendra šilumos bei energijos gamyba, jos privalumai bei trūkumai, kliūtys ir galimybės vystyti šią technologiją. Apžvelgiamos galimos technologijos bei jų savybės.

Siūlomam esamos problemos sprendimo variantui nagrinėjamas atskiras atvejis. Atskiras atvejis – tai šilumos įmonė, centralizuotai tiekianti šilumą. Analizei pasirenkami keli skaičiuotini variantai – taikomos skirtingos technologijos bei jų galingumai. Analizuojamos energetinės sistemos modeliui sukurti bei technologinių įrenginių parinkimui ir duomenų skaičiavimui naudojama kompiuterinė programa „energyPRO“. Analizuojami gauti ekonominiai bei techniniai rezultatai, išrenkami patraukliausi variantai. Remiantis rezultatų analize bei darbe atliktomis apžvalgomis daromos išvados, siūlomos tolimesnių tyrimų kryptys.



1 pav. Tiriamojo darbo struktūra

6. Lietuvos energetikos sistema

Bet kurios šalies energetikos tikslas – patenkinti vartotojų energijos poreikius. Energetikos dėka žmogui sukuriamas komfortas bei mobilumas, gali klestėti pramonė ir prekyba.

Taigi, kad būtų patenkinti vartotojų poreikiai šalyje kuriama energetikos sistema. Šią sistemą sudaro trys posistemės:

- ♦ Energijos išteklių sistema (pirminė energija);
- ♦ Energijos transformavimo ir transportavimo sistema;
- ♦ Energijos vartojimo sistema (galutiniai vartotojai).

Kiekviena iš minėtų posistemų turi didžiulę įtaką kitoms posistemėms. Tam, kad galutiniai vartotojai būtų aprūpinti reikiamu energijos kiekiu energijos transformavimas ir transportavimas turi būti techniškai patikimas ir lankstus. Tai reiškia, kad energijos gamyba bei tiekimas turi veikti nepertraukiamai, be didelių gedimų bei nuostolių energijos perdavimo tinkluose. Tačiau energijos transformavimo bei transportavimo sistemos patikimas ir nepertraukiamas darbas priklauso nuo energijos išteklių tiekimo patikimumo. Jei kuro tiekimas yra nepatikimas ar iš viso nutraukiamas, patikima energijos gamybos bei transportavimo sistema negalės tiekti vartotojams reikalingo energijos kiekio. Taip pat suvartojamos energijos kiekis priklauso nuo šilumos bei elektros gamybos bei tiekimo kainų, paprastai – kuo žemesnės kainos, tuo didesnis energijos suvartojimas.

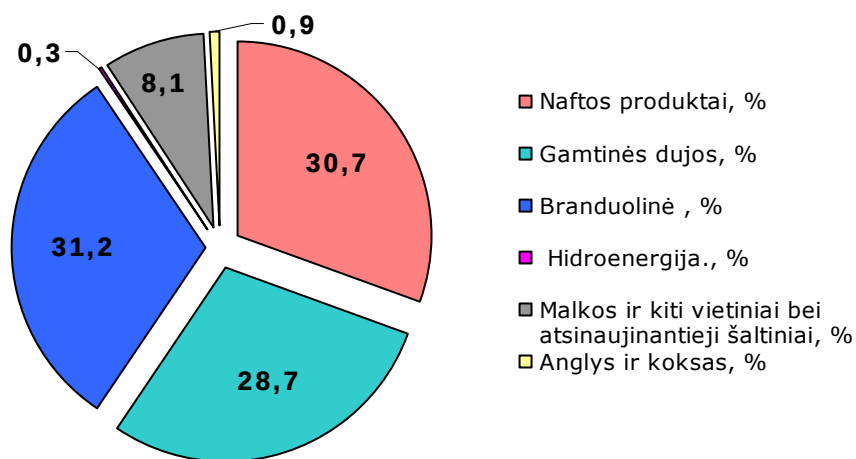
Atskirų šalių energetikos sistemos yra skirtingos. Išnagrinėjus šalies energetikos sistemą, jos posistemius, bei veiksnius, lemiančius sistemos būklę, lengviau suprasti svarbiausias energetikos sektoriaus problemas, jų priežastis bei tinkamą sprendimo būdą. Todėl šiame skyriuje nagrinėjama Lietuvos energetikos sistema.

6.1. Energijos išteklių sistema

Energijos ištekliai – tai ištekliai, kurie vartojami energijai gaminti. Tai gamtiniai ištekliai: organinis (anglys, nafta, gamtinės dujos) bei branduolinis kuras, atsinaujinantys energijos ištekliai - vandens

potencinė, saulės, vėjo, biomasės, atliekinė, žemės gelmių šilumos (geoterminė) energija, kurios atsiradimą ir atsinaujinimą sąlygoja gamtos ar žmogaus sukurti procesai ir kurią galima naudoti vartojimui arba energijos gavybai. Atliekiniai energijos šaltiniai – tai bet kokio technologinio proceso metu gaunama energija transformuojant pirminę energiją arba kitą energiją, kuri nepanaudojama tam technologiniam procesui.

Lietuvoje labiausiai paplitęs organinis bei branduolinis kuras. Šalyje 2001 m. buvo suvartota 8,40 tūkst. ktne pirminės energijos. Energijos išteklių struktūroje atominė energija sudarė 2,65 tūkst. ktne, naftos produktai – 2,58 tūkst. ktne, gamtinės dujos – 2,41 tūkst. ktne, malkos ir kiti atsinaujinantieji šaltiniai – 0,67 tūkst. ktne, anglis ir koksas – 79 ktne bei 11 ktne sudarė durpės (2 pav.) [2]. Minėti energijos ištekliai suvartoti kaip kuras šilumos bei elektros gamybai bei kaip galutinė energija įrenginiuose (automobilių varikliuose, pramonės įmonių gamybos procesuose ir pan.).



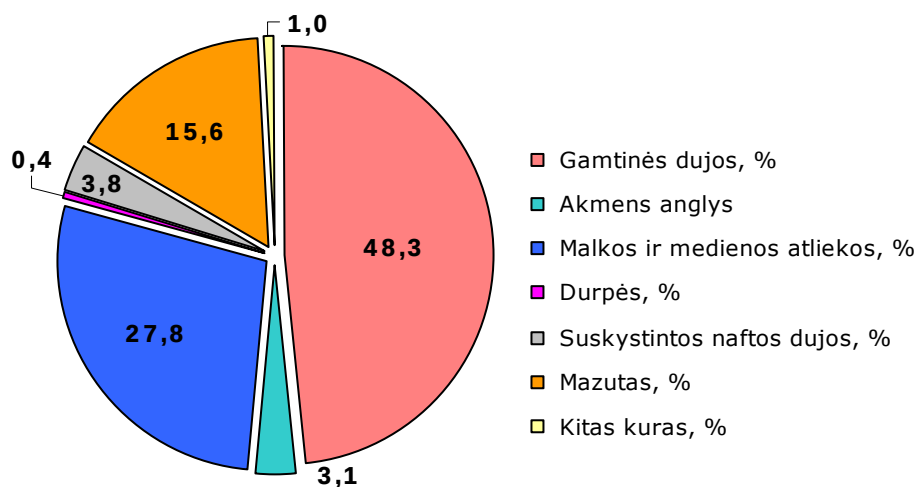
2 pav. Energijos išteklių, suvartotų 2001 metais, struktūra

Lietuva skurdi energijos ištekliais – apie 86% šalyje suvartojamų energijos išteklių yra įvežami iš kitų šalių. Gamtinės dujos į Lietuvą tiekiamos iš vienintelio šaltinio – Rusijos dujų verslovių. 2001 metais šalyje buvo išgauta 474 ktne naftos, tai sudaro 18% visų naftos sąnaudų. Likusi (82%) šių energijos išteklių dalis importuojama iš Rusijos [2]. Į Lietuvą taip pat importuojamos anglis ir koksas bei branduolinis kuras.

6.1.1. Pirminės energijos sąnaudos šilumos gamyboje

Šilumos ūkyje vyrauja įvežtinis kuras. Pusė visos pirminės energijos, suvartojamos šilumai gaminti, sudaro dujos. Gamtinės dujos sudaro apie 70, o mazutas – apie 25 nuošimčius centralizuotos šilumos gamyboje vartojamo kuro [7]. Gamtinės dujos bei mazutas vartojamas didžiųjų miestų katilinėse ir kogeneracinėse elektrinėse bei rajonų, kuriuose nutiestas dujotiekis katilinėse. Šilumos tiekimo įmonėse, kurioms tiekti dujų nėra galimybių dažniausiai vartojamas mazutas, rečiau – vietiniai bei atsinaujinantys energijos ištekliai.

Visame Lietuvos šilumos sektoriuje gamybai vartojamų energijos išteklių rūšys pavaizduotos 3 paveiksle [7]:

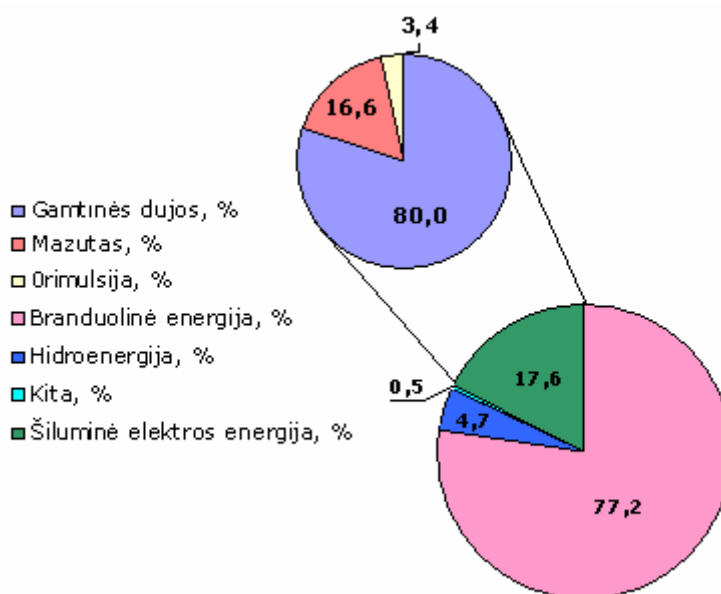


3 pav. Energijos išteklių sąnaudos šilumos gamyboje 2001 metais

Nemažą (apie 30%) suvartojamų energijos išteklių dalį 2001 metais sudarė vietinis atsinaujinantis kuras – mediena. Decentralizuotoje šilumos gamyboje didžiausią dalį sudaro biokuras (apie 65 %) – daugiausiai malkos bei medienos atliekos, taip pat vartojamos suskystintos dujos bei akmens anglis.

6.1.2. Pirminės energijos sąnaudos elektros gamyboje

Elektra Lietuvoje gaminama taikant skirtingas elektros gamybos technologijas ir naudojant įvairų kurą (4 pav.). Pagrindinis elektros gamintojas Lietuvoje – Ignalinos atominė elektrinė pagamina apie tris ketvirtadalius visos elektros energijos [2].



4 pav. Energijos išteklių sąnaudos elektros gamyboje 2001 metais

2001 metais elektros gamybos struktūra buvo tokia: 77,2% visos generuojamos elektros buvo pagaminta atominėje elektrinėje, 17,6% - šiluminės elektrinėje, 4,7% - hidroelektrinėje ir 0,5% kitose elektrinėse. Šiluminės elektrinėje elektra gaminama vartojant gamtines dujas (~80 %) bei skystą kurą (~20 %).

6.1.3. Vietiniai, atsinaujinantys energijos ištekliai

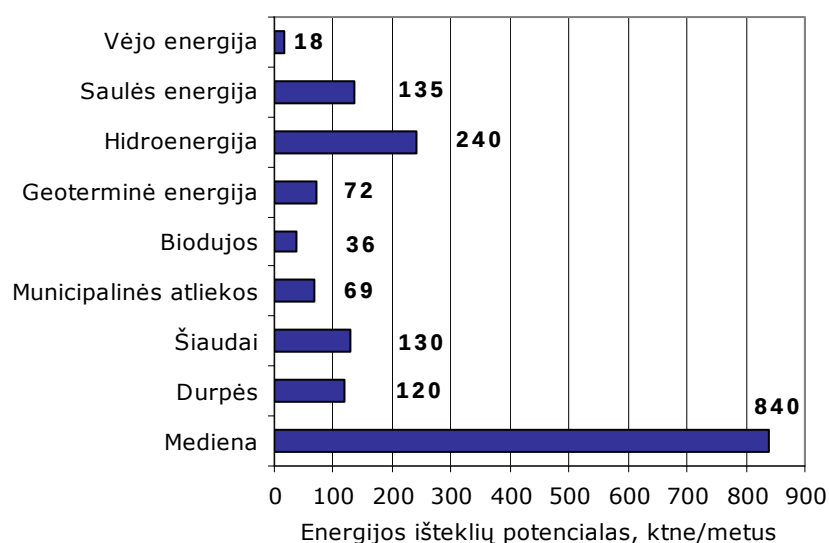
2001 metais vietiniai ir atsinaujinantys ištekliai energijos balanse sudarė apie 9 % [2]. Pagrindinė dalis tenka biomasei – medienos kurui, šio kuro daugiau suvartojama pradėjus įgyvendinti Nacionalinę energijos vartojimo programą. Taip pat vartojamos durpės (1,3 % suvartotų energijos išteklių 2001 metais), šiaudai, biodujos. Hidroenergija 2001 metais sudarė 0,3% šalies energijos išteklių balanse.

Medienos ištekliai sudaro 0,84 tūkst. ktne per metus. Gali būti vartojama ne tik malkinė mediena, bet ir miško kirtimo, rentimo, medžio apdirbimo įmonių atliekos, plantacijose auginamų greitai augančių krūmų ir medžių biomasė. Taip pat per metus galima suvartoti 0,12 tūkst. ktne durpių, 0,13 tūkst. ktne šiaudų. Energijos gamybai Lietuvoje gali būti vartojamos ir municipalinės arba komunalinės atliekos. Galimi energijos ištekliai vartojant municipalines atliekas sudaro 68,8 ktne per metus. Žemės ūkio įmonėse ir vandens valymo įrenginiuose per metus susikaupia organinių medžiagų iš kurių gali būti gaunamos biologinės dujos, šie ištekliai per metus sudaro 36 ktne. Nemažas potencialas energijos ištekliais papildyti yra atleikinė energija – 36 ktne per metus. Šiuo metu įmonėse per metus suvartojama apie 20% visos į aplinką šalinamos šilumos. Taip pat galima naudoti atliekinius energijos išteklius, kurie šalinami su šiltu vandeniu į kanalizaciją miestų vandens valymo stotyse.

Vienas iš didžiausių vartojamų atsinaujinančių energijos išteklių yra hidroenergija. Hidroenergijos potencialas Lietuvoje yra 0,24 tūkst. ktne per metus. Kitas atsinaujinantis energijos šaltinis yra geoterminė energija. Vartotini geoterminės energijos ištekliai per metus sudaro 72 ktne. Didžiausias vėjo potencialas yra Vakarų bei Šiaurės vakarų Lietuvoje ir sudaro 18 ktne per metus. Energijai gaminti galima vartoti ir saulės energiją, kurios potencialas per metus sudaro 135 tūkst. ktne [8].

Vietinių bei atsinaujinančių energijos išteklių potencialas pagal energijos rūšį pavaizduotas

5 paveiksle:



5 pav. Vietinių ir atsinaujinančių energijos išteklių potencialas Lietuvoje

Vartojant vietinius, atsinaujinančius ir atliekinius energijos išteklius taupomi atvežtiniai ištekliai. Apie 15% vartojamų pirminių energijos išteklių galima pakeisti vietiniais, atsinaujinančiais bei atliekiniais energijos ištekliais [8]. Šiuo metu vienas perspektyviausių atsinaujinančių energijos šaltinių yra įvairių rūšių biokuras. Didžiausi ir perspektyviausi yra medienos ištekliai (5 pav.).

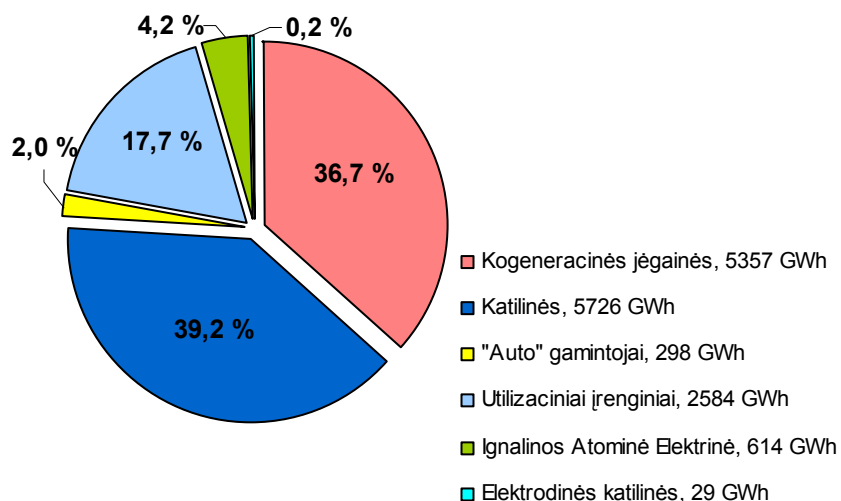
6.2. Energijos transformavimo ir transportavimo sistema

Energijos transformavimo sistemos naudojamos kurui (cheminei energijai) paversti šiluma arba elektra. Vėliau pagaminta energija tiekama į vartojimo sektorių. Energijos transportavimo sistema čia: šilumos tiekimo tinklai, elektros perdavimo bei skirstymo linijos.

6.2.1. Šilumos sektorius

Lietuvos šilumos ūkis pasižymi gerai išvystyta centralizuoto šilumos tiekimo sistema. Apie 45 nuošimčiai gyventojų šiluma tiekama centralizuotai. Kiekviename mieste bei daugelyje gyvenviečių yra įrengtos centralizuotos šilumos tiekimo sistemos. Miestuose 73 nuošimčiai pastatų šildymo sistemų yra prijungtos prie centralizuotų šilumos tinklų, tuo tarpu kaimuose – tik 1 %. 2003 metais šalyje veikė 47 centralizuoto šilumos tiekimo įmonės, iš jų 67 % nuosavybės teisėmis priklauso rajonų savivaldybėms, o 33 % – išnuomos [30].

2001 metais Lietuvoje buvo pagaminta apie 20 TWh šilumos, iš jų apie 15 TWh – centralizuoto šilumos tiekimo įmonėse [7]. 2001 metais buvo suvartota virš 10 TWh šilumos, apie 5 TWh sudarė nuostoliai šilumos tiekimo tinkluose. Į centralizuotus tinklus šilumą tiekiančių šaltinių pasiskirstymas pagal gamybą pavaizduotas 6 paveiksle, jų instaliuota šiluminė galia sudarė daugiau nei 17 GW [30].



6 pav. Centralizuotos šilumos gamybos struktūra 2001 metais

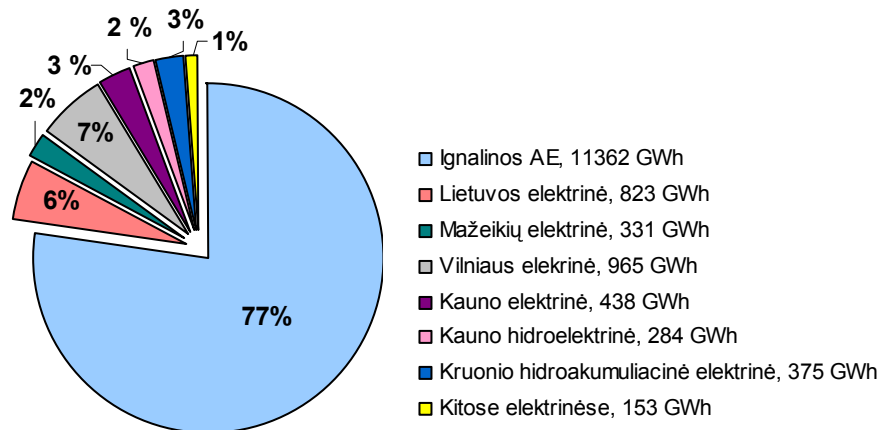
Didžioji dalis centralizuotai tiekiamos šilumos gaminama rajoninėse katilinėse bei kogeneracinėse elektrinėse. Kogeneracinės jėgainės – tai daugiausiai galingos didiesiems miestams šilumą tiekiančios jėgainės – Vilniaus, Kauno, Klaipėdos, Panevėžio ir kitos elektrinės. Mažuose Lietuvos rajonuose šiluma gaminama kurą (daugiausiai gamtines dujas bei mazutą) deginant dažniausiai senuose rusiškuose katiluose.

Per 12 metų – nuo 1990 iki 2002 metų centralizuotos šilumos gamyba sumažėjo nuo ~ 40 TWh iki ~ 15 TWh (apie 60 %) [30]. Šį sumažėjimą sąlygojo po šalies nepriklausomybės atkūrimo sumažėjęs šilumos poreikis. Daugelis šilumos tiekimo įmonių įrenginių (katilai, siurbliai ir pan.) tapo per didelės galios dabartiniam apkrovimui, o vamzdynai – per didelio pralaidumo. Vis populiariesnis tampa šiuo metu efektyvesnis – individualus šildymo būdas. Tačiau centralizuotas šilumos tiekimo būdas turi daug privalumų, dėl kurių verta jį išsaugoti kaip pagrindinį šildymo būdą šalyje.

6.2.2. Elektros sektorius

Lietuvos elektrinių instaliuota galia sudaro daugiau nei 6000 MW. Didžiausią dalį sudaro atominė elektrinė (42 %) bei šiluminės jėgainės (43 %). Likusią dalį daugiausiai sudaro hidroelektrinės. Tačiau didžiausia pareikalaujama elektros galia 2001 metais buvo 1916 MW, o reikalingas galios rezervas sudaro 1300 MW. Taigi, Lietuvoje elektros galių balansas 2001 metais buvo perteklinis – susidarė 2786 MW

galios perteklius. Tais metais elektros gamyba sudarė apie 15 TWh. Didžioji dalis (~77 %) elektros buvo pagaminta Ignalinos atominėje elektrinėje, apie 18 % - didžiųjų miestų šiluminėse elektrinėse, o likusi dalis buvo gaminama hidroelektrinėse bei mažose elektrinėse (7 pav.) [1].



7 pav. Elektros gamybos struktūra 2001 metais

Elektros energijos, pagamintos kogeneracijos būdu dalis 2001 metais sudarė apie 13 % (~ 1,9 TWh) [5]. Daugiau nei 90 % šios energijos gaminama didžiosiose – Vilniaus, Kauno ir kitose kogeneracinėse jėgainėse.

2005 metais žadama uždaryti pirmąjį 1300 MW galios Ignalinos AE bloką, netrukus, 2009 metais planuojama nutraukti ir antrojo tos pačios galios elektrinės bloko darbą. Dabartinė atominės elektrinės apkrova teks 1200 MW galios Lietuvos elektrinei ir atnaujintoms bei naujai pastatytoms šiluminėms elektrinėms, iš viso – 400 MW [3]. Taigi nuo 2010 metų pagrindinis vaidmuo šalies elektros sektoriuje teks didžiosioms šiluminėms elektrinėms.

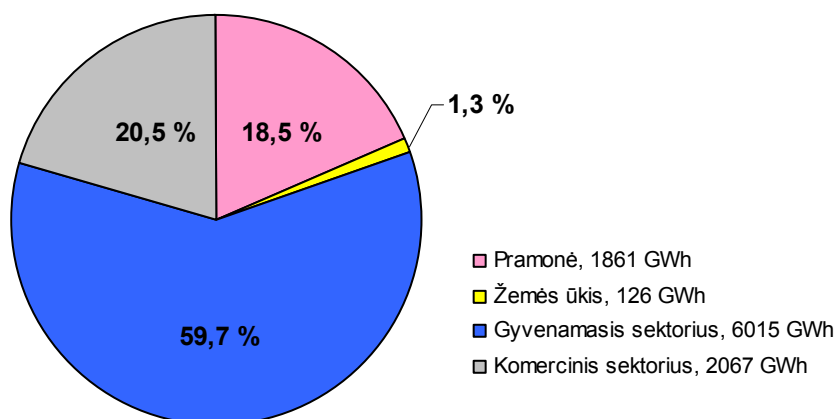
Lietuvoje gerai išvystyta elektros perdavimo (330/110 kV) bei skirstymo (35/10/6/0,4 kV) tinklų infrastruktūra. Tačiau daugelis perdavimo bei skirstymo tinklų linijų buvo tiesiamos 7-ame bei 8-ame dešimtmečiuose, todėl šiuo metu yra pasenusios bei nusidėvėjusios, jas reikia atnaujinti. Šalies elektros perdavimo tinklas pakankamai gerai integruotas su kaimyninėmis energetikos sistemomis. Lietuvos elektros sistemą su Latvijos, Kaliningrado bei Baltarusijos sistemomis jungia ne viena 330 kV bei 110 kV linijos. Ryšio su kaimynine Lenkijos elektros sistema, kuris sudarytų galimybę integruotis į Vakarų Europos elektros energijos rinką ir padidinti energijos tiekimo patikimumą, dar nėra [1].

6.3. Energijos vartojimo sistema

Energijos vartojimo sistema yra trečioji energetikos sektoriaus dalis. Tai gyventojai, pramonės ir kt. įmonės, valstybinės įstaigos ir pan., vartojančios šilumą bei elektrą. Energijos vartojimo sistema sukuria energijos poreikius, kuriuos transformavimo bei transportavimo sistema turi patenkinti.

6.3.1. Šilumos vartojimas

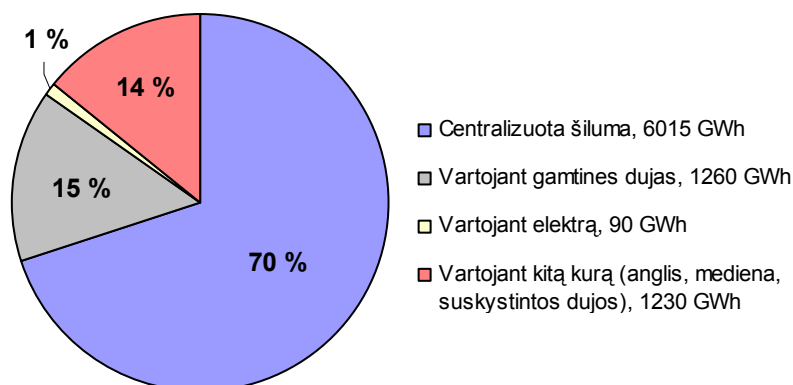
Prie šilumos tinklų, kurių bendras ilgis šalyje sudaro 2863 km, prisijungę daugiau nei 500 tūkst. vartotojų. Centralizuotai tiekiamos šilumos suvartojimas 2001 metais sudarė 10069 GWh. Nuo 1990 metų šilumos poreikiai sumažėjo apie tris su puse karto (1990 metais šilumos poreikis sudarė apie 36 TWh) [2]. Daugiausiai centralizuotos šilumos suvartota gyvenamajame sektoriuje (8 pav.) [30].



8 pav. Šilumos vartojimas 2001 metais pagal sektorių

Daugelis Tarybų Sąjungos metu pastatyti namų pasižymi prasta šilumine izoliacija, taigi patalpoms šildyti suvartojama daug energijos. Vidutinė šeima per metus būsto apšildymui suvartoja apie 10,8 MWh šilumos [30]. Iširus Tarybų Sąjungai šilumos kainos labai išaugo. 1999 metais išlaidos patalpų šildymui sudarė didžiausią – 30 % dalį [33]. Daugelis vartotojų atsijungė nuo centralizuotos šilumos tinklų ir pasirinko individualų šildymo būdą. Šilumos suvartojimas gyvenamajame sektoriuje sumažėjo nuo ~9500 GWh 1995 metais [34] iki ~ 6000 GWh 2001 metais [30] – apie 37 %.

Gyvenamajame sektoriuje 2001 metais suvartotos šilumos pasiskirstymas pagal šaltinį pavaizduotas 9 paveiksle [30]:



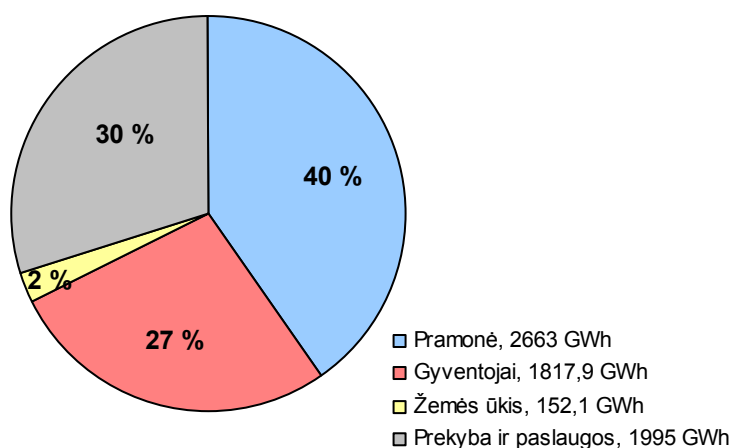
9 pav. 2001 metais gyvenamajame sektoriuje suvartotos šilumos struktūra pagal šaltinį

Šilumos kainos atskiruose Lietuvos rajonuose 2003 metais siekė nuo 4 ct/kWh Visagino mieste iki 28 ct/kWh Neringoje [30]. Šilumos kainų pasiskirstymas Lietuvos rajonuose pateiktas 1 priede. Pigiausiai šiluma kainuoja didžiuosiuose Lietuvos miestuose. Nors vidutinė šilumos kaina 2003 metais buvo 11,5 ct/kWh, ši kaina neatspindi tikrosios padėties mažuose šalies rajonuose, kur šiluma yra brangi – vidutinė šilumos kaina rajonuose – 13,02 ct/kWh [9]. Daugelis vartotojų neišgali susimokėti už tiekiamą šilumą, o šilumos tiekimo įmonės kenčia nuo vartotojų skolų. Dažnai dėl pastatų šildymo specifikos nutraukti šilumos teikimą atskiriems vartotojams yra neįmanoma. Todėl daugelis šilumos tiekimo įmonių padengia nemokių klientų šildymo išlaidas. Mažas pajamas gaunančius šilumos vartotojus remia valstybė ir kompensuoja dalį išlaidų šildymui [33].

Šildymo sektoriuje vis dar išlieka perėjimo prie individualaus šildymo tendencija. Norint išsaugoti centralizuotą šilumos tiekimo sistemą reikia ieškoti būdų daryti centralizuotą šildymo būdą patrauklesnį bei mažinti tiekiamos šilumos kainas vartotojams.

6.3.2. Elektros vartojimas

Lietuvoje pagaminta elektra suvartojama vietinių vartotojų bei eksportuojama į kaimynines šalis. Lietuvoje 2001 metais buvo suvartota apie 7 TWh, o elektros pardavimai užsieniui sudarė apie 4 TWh. Importuojami apie 3 % šalyje suvartojamos energijos. Elektros vartotojai bei jų suvartotos energijos dalis 2001 metais pavaizduotas 10 paveiksle [1]:



10 pav. 2001 metais suvartotos elektros pasiskirstymas pagal vartotojus

Paveiksle matyti, kad didžiausia dalis elektros – apie 40 % suvartojama pramonės sektoriuje. Gyventojai suvartoja apie trečdalį visos elektros. Smulkiųjų vartotojų (gyventojų ir kt.) skaičius 2003 metais padidėjo 3,7 % [9].

Visuomeniniai tiekėjai (AB „Rytų skirstomieji tinklai“ ir AB „Vakarų skirstomieji tinklai“) elektrą už nustatyta tvarka patvirtintą kainą tiekia vartotojams, kurie neturi galimybės arba nenori pasirinkti tiekėjo. Elektros kaina šiems vartotojams sudaryta iš elektros gamybos kainos, energijos perdavimo, tiekimo bei skirstymo paslaugų kainų. 2004 metais elektros kaina vartotojams, prisijungusiems prie žemiausios įtampos (0,4 kV) skirstymo tinklų yra reguliuojama ir sudaro apie 25 ct/MWh. Laisviesiems vartotojams, kurių šiuo metu yra paskelbta 28 (suvartojantys ne mažiau nei 3 GWh per metus), elektrą sutartine kaina tiekia nepriklausomi tiekėjai. 2003 metais buvo 25 laisvieji vartotojai, o jų elektros poreikiai sudarė apie 23 % suvartojamos Lietuvoje elektros [9].

Prognozuojama, kad iki 2010 metų energijos poreikiai ūkio šakose kasmet padidės apie 4,3 %.

Tuomet 2020 metais elektros būtų suvartojama 10 % daugiau nei 1990 metais [3].

6.4. Energetikos sistemos įvertinimas

Apžvelgto energetikos sektoriaus silpnybės, stiprybės, galimybės bei grėsmės pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė. Energetikos sektoriaus SSGG analizė

Kriterijus	Energijos išteklių sistema	Energijos transformavimo ir transportavimo sistema	Energijos vartojimo sistema
Stiprybės	Naudojamo kuro įvairovė; Nemažas vietinių ir atsinaujinančių išteklių vartojimo potencialas.	Pakankamas energijos galių rezervas; gerai išvystyta energijos gamybos bei tiekimo infrastruktūra.	Didelė dalis gyventojų prisijungę prie centralizuotų šilumos tiekimo tinklų;
Silpnybės	Didelė dalis neatsinaujinančio ir įvežtinio kuro energijos išteklių balanse; Nevisiškai išnaudojamas vietinių ir atsinaujinančių išteklių potencialas.	Per didelės galios energijos gamybos įrenginiai bei transportavimo infrastruktūros pralaidumas sąlygoja didelius gamybos bei tiekimo nuostolius; Naudojamos senos, nusidėvėjusios technologijos mažina energijos gamybos efektyvumą;	Neefektyvus šilumos ir elektros vartojimas: prastos kokybės elektros vartojimo įrenginiai, dideli šildomų patalpų šilumos nuostoliai; Šilumos vartojimo reguliavimo priemonių nebuvimas, efektyviam šilumos vartojimui netinkančios senos šildymo sistemos; Išaugusios kai kurių vartotojų elektros sąnaudos viršija tinklų pralaidumą.
Galimybės	Geras šilumos gamybos infrastruktūros visoje šalyje (taip pat ir rajonuose) buvimas suteikia galimybę intensyviau naudoti vietinius ir atsinaujinančius išteklius.	Nutraukus Ignalinos atominės jėgainės darbą atsiras galimybė didinti elektros gamybą šiluminėse jėgainėse ir iš jų tiekti pigesnę šilumą vartotojams. Gerai išvystyta centralizuotos šilumos tiekimo infrastruktūra suteikia galimybę diegti pažangią bendrą šilumos ir energijos gamybą; Esami energijos įrenginiai gali būti nesunkiai rekonstruojami atsinaujinančių energijos išteklių vartojimui;	Pasinaudojus ES fondų bei šalių donorų parama pagerinti pastatų bei šildymo sistemų būklę – sumažinti jų šildymui suvartojamos energijos kieki; Vartojant šiuo metu pigiausias vietinius ir atsinaujinančius energijos šaltinius galima sumažinti gaminamos energijos kainą; Naudojant efektyvius elektrą vartojančius prietaisus gali būti sumažintas suvartotos elektros kiekis.
Grėsmės	Didelės energetikos sektoriaus dalies priklausomybė nuo įvežtinio kuro kelia grėsmę energijos tiekimo patikimumui; Sparčiai augant energijos poreikiams ir vartojant aplinką teršiantį kurą auga aplinkos užteršimas.	Neefektyvi ir brangi šilumos gamyba bei tiekimas sąlygoja vartotojų atsijungimų nuo centrinių šilumos tinklų didėjimą. Neatnaujinus gamybos įrenginių neefektyvi energijos gamyba sąlygos vis didesnį kuro suvartojimą bei didėjančią aplinkos taršą.	Išliekant aukštoms šilumos kainoms auga vartotojų skolos šilumos tiekimo įmonėms; Nesumažinus šilumos kainų vis daugiau vartotojų gali atsijungti nuo centralizuotos šilumos tiekimo tinklų.

Nustačius šias savybes yra įvertinama kiekviena šalies energetikos sektoriaus sistema. Pagal SSGG analizę planuojamas tolimesnis energetikos sektoriaus vystymasis, nustatomos prioritetinės kryptys.

7. Problema ir jos sprendimo būdai

Lietuvoje vyrauja pažangus centralizuoto šilumos tiekimo būdas, tačiau dėl įvairių ekonominių, techninių ir socialinių priežasčių jis yra nepakankamai efektyvus. Viena didžiausių problemų yra aukštos šilumos kainos mažuose šalies miestuose bei rajonuose. Esant aukštomis centralizuotos šilumos kainoms vis patrauklesnis tampa individualus šilumos gamybos būdas. Vis daugiau įmonių bei namų vartotojų atsisako centralizuotos šilumos tiekėjų paslaugų ir taip padidina mokesčių už šilumą našta gyventojams. Mažėjant šilumos tiekimo apimtims auga tiekiamos šilumos savikaina likusiems vartotojams.

Pagrindiniai šilumos vartotojų interesai yra nedidelėmis kainomis užtikrinti savo būsto patikimą ir nepertraukiamą šildymą. Šiuo metu mažesnių rajonų vartotojų interesai nėra užtikrinami, o šilumos tiekimo įmonės negali konkuruoti su vis patrauklesniu tampančiu individualiu šildymo būdu. Mažas pajamas gaunantys gyventojai negali sumokėti už tiekiamą šilumą. Šilumos gamybos įmonės patiria didelius nuostolius. Nors šilumos kainos vartotojams yra aukštos, šilumos įmonių pajamos ne visada padengia gamybos išlaidas. Taigi šilumos tiekimo įmonės priverstos imti paskolas ir mokėti palūkanas, o tai dar labiau pablogina jų finansinę padėtį.

Šilumos ūkis Lietuvoje, kaip ir visose buvusiose Tarybų Sąjungos šalyse, buvo gerai išvystytas. Kiekviename mieste buvo įdiegta centralizuotos šilumos tiekimo sistema. Šilumos kainos buvo žemos ir vienodos visuose miestuose bei rajonuose [33]. Šalies šilumos ūkyje vyravo kryžminės subsidijos, kai didelių miestų šilumos vartotojai (namų ūkiai bei pramonės įmonės) „rėmė“ mažų miestelių šilumos vartotojus, sumokėdami dalį rajonuose pagaminamos šilumos kainos. Iširus Tarybų Sąjungai šilumos kainos ėmė kilti, pagrindinė priežastis buvo išaugusios iki tarptautinio lygio kuro kainos. Gyventojai nebepajėgė sumokėti už tiekiamą šilumą, kainos komerciniams vartotojams nepagrįstai išaugo – jų sąskaita buvo sumokamos namų ūkių skolos. Daugelis komercinių šilumos vartotojų atsijungė nuo centralizuotos šilumos tinklų, o tai dar labiau padidino šilumos kainų našta gyventojams. AB „Lietuvos Energija“ tuo metu valdžiusi Lietuvos energetikos ūkį ėmė patirti vis didesnius nuostolius. 1997 metais ši

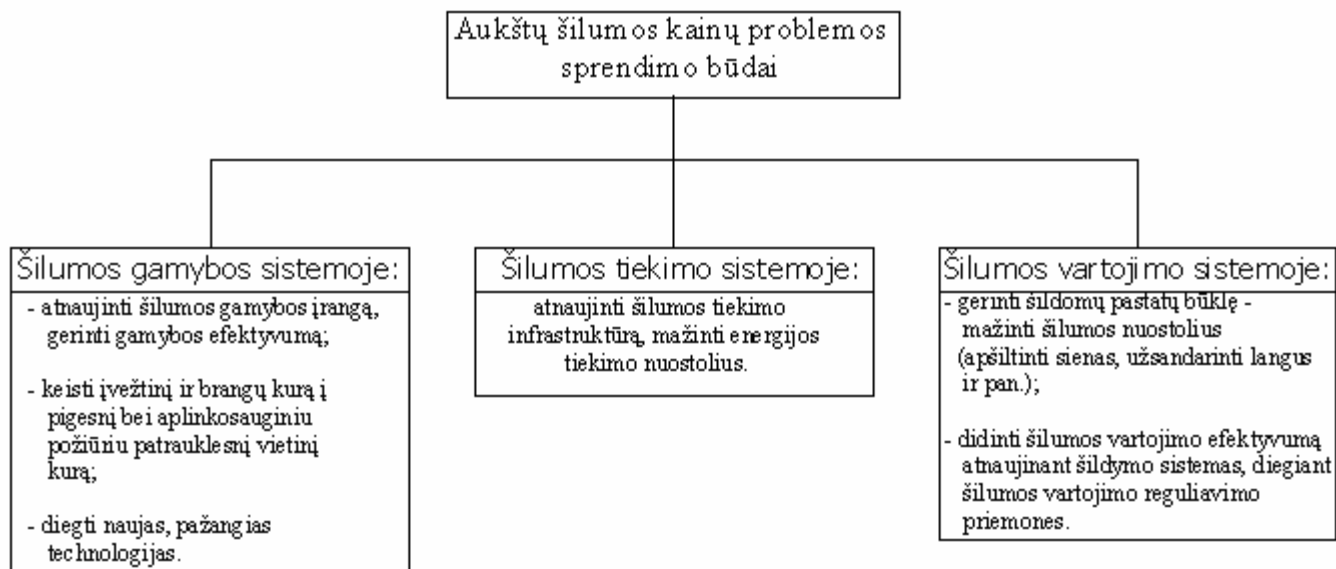
įmonė buvo restruktūrizuota ir buvo įkurtos 6 rajoninės bei 13 savivaldybėms priklausančių šilumos tiekimo įmonių. Antras restruktūrizavimo etapas prasidėjo 1998 metais – visos išskyrus vieną regioninę šilumos tiekimo įmonę buvo padalintos į savivaldybėms priklausančias įmones [33]. Šio padalijimo padarinys – skirtingos šilumos kainos skirtinguose Lietuvos rajonuose. Centralizuotai tiekiamos šilumos kainos išaugo mažuose miestuose bei rajonuose. Tuo tarpu penkiuose didžiausiuose šalies miestuose šilumos kainos nepakito, o kai kur net sumažėjo.

Pagrindinės aukštų šilumos kainų priežastys Lietuvos rajonuose yra šios:

- ◆ Iširus Tarybų Sąjungai daug įmonių, vartojusių centralizuotai tiekiamą šilumą, nutraukė veiklą ir šilumos suvartojimas stipriai sumažėjo. Dėl to daugelyje šilumos tiekimo įmonių katilai, šilumos tiekimo tinklai, siurblinės ir kita įranga tapo per dideli esantiems šilumos poreikiams;
- ◆ Katilinių įranga yra pasenusi ir susidėvėjusi, todėl ir gamybos efektyvumas yra mažesnis, o išlaidos šilumos vienetui pagaminti – didesnės;
- ◆ Pastoviosios gamybos išlaidos (išlaidos, nepriklausančios nuo gamybos apimčių) pagaminamos energijos vienetui yra didesnės mažose šilumos gamybos įmonėse nei didelėse;
- ◆ Daugelyje rajoninių katilinių šilumos gamybai vartojamos gamtinės dujos, o ten, kur nėra dujotiekio – mazutas ar kitas „nešvarus“ kuras. Minėtos kuro rūšys yra brangios, taip pat teršiama aplinka ir mokami didesni aplinkosauginiai mokesčiai.
- ◆ Aplinkosauginių mokesčiai nelygiai paskirstyti tarp energijos gamybos įmonių. Smulkūs šilumos gamintojai (individualiuose, daugiabučiuose namuose įrengtos katilinės) dažniausiai neturi mokėti mokesčių už aplinkos taršą, tuo tarpu daugelis savivaldybių šilumos gamybos įmonių (nuo 50 MW instaliuotos šiluminės galios[10]) šiuos mokesčius moka.

Nuo šilumos tinklų atsijungiant vartotojams šilumos tiekimo įmonei tenka vis didesnė nuostolių našta. Likusiems vartotojams šilumos kaina išauga, nes pastovios šilumos įmonės išlaidos nesumažėja, sumažėjus gaminamos ir tiekiamos energijos kiekiui. Nemokiems rajonų gyventojams pasidaro per brangu mokėti už šildymą – auga vartotojų skolos šilumos tiekėjams. Taigi, problema – aukštos šilumos

kainos Lietuvos rajonų šilumos tiekimo įmonėse – turi pasekmių ir yra nevienalytė. Todėl ir jos sprendimo būdų yra keli – šią problemą galima spręsti gerinant atskirų sistemų būklę (11 pav.):



11 pav. Aukštų šilumos kainų problemos sprendimo būdai

Norint pagerinti šilumos tiekimo įmonių bei vartotojų padėtį rajonuose reikia keisti visas tris – šilumos gamybos, tiekimo bei vartojimo sistemas. Darbe siūlomas ir nagrinėjamas vienas iš šios problemos sprendimo būdų – naujų pažangių technologijų diegimas. Siūlomos diegti kogeneracinės technologijas. Kogeneracijos diegimas atitinka nacionalinės energijos strategijos tikslus [3] bei tvarios plėtros principus. O gerai išvystyta centralizuoto šilumos tiekimo sistema – gera sąlyga decentralizuotai elektros gamybos plėtrai šalyje.

Tolimesniuose skyreliuose pateiktos kogeneracijos technologijų apžvalga, jų privalumai, šių technologijų diegimo sąlygos, bei išnagrinėtas bendros šilumos ir elektros gamybos įrenginio diegimas rajoninėje šilumos tiekimo įmonėje.

8. Bendra šilumos ir elektros gamyba (kogeneracija)

Kogeneracija – tai elektros ir šilumos gamyba vienu metu, po elektros gamybos panaudojant perteklinę šilumą. Tai viena iš galimybių pasiekti kompromisą tarp augančių energijos poreikių (energijos gamybos įprastiniu būdu deginant kurą) bei tvarios plėtros siekių. Kogeneracinės technologijos nėra

naujos, jos žinomos jau daugiau kaip 100 metų. Tačiau iki 1972 metų krizės, kai labai išaugo naftos kainos, ši technologija nebuvo paplitusi [35]. Taigi, bendra šilumos ir elektros gamyba yra seniai žinoma technologija, tačiau ji ne visur plačiai naudojama.

Kogeneracinės jėgainės gali būti taikomos įvairiuose sektoriuose. Pramonėje: farmacijos bei chemijos, popieriaus, medžio apdirbimo, statybinių medžiagų, metalurgijoje ir kt. srityse. Gyvenamajame bei aptarnavimo sektoriuje: gyvenamųjų namų kvartaluose, viešbučiuose, ligoninėse, mokymo įstaigose, kalėjimuose, didelėse parduotuvėse, administraciniuose pastatuose, individualiuose gyvenamuose pastatuose it t.t. diegiama vadinamoji mažoji kogeneracija. Kai kuriose šalyse yra nustatyta mažosios kogeneracijos riba: 1 MWe – Didžiojoje Britanijoje, 2 MWe – Olandijoje ir pan. [35]. Taip pat, kai kuriose šalyse (Austrijoje, Vokietijoje, Danijoje, Olandijoje, Suomijoje ir kt.) kogeneracija labai plačiai naudojama centralizuoto šilumos tiekimo sektoriuje – tai galingos didžiųjų miestų elektrinės bei centralizuotą šilumos tiekimą rajonuose užtikrinančios jėgainės (dažniausiai iki 10 MWe). Kadangi kogeneracija efektyvi tuomet, kai yra ne tik elektros, bet ir pastovus šilumos poreikis – mažiausiai 4,5 tūkst. valandų per metus – centralizuoto šilumos tiekimo infrastruktūros buvimas laikomas potencialu kogeneracijai vystyti šalyje [31]. Lietuvoje šildymo sezonas vidutiniškai trunka apie 4,8 tūkst. valandų.

Šiuo metu Lietuvoje didžiausia dalis energijos iš kogeneracijos gaminama didžiųjų miestų šiluminėse elektrinėse, palaipsniui pramonėje bei patarnavimo sektoriuje taip pat pradėta diegti kogeneracija. Šiame darbe nagrinėjamos mažos bei vidutinės kogeneracinės technologijos (1-3 MWe), skirtos decentralizuotai elektros bei centralizuotai šilumos gamybai.

8.1. Kodėl reikia skatinti ir remti kogeneraciją? (Kogeneracinių jėgainių privalumai ir trūkumai)

Įprastinėse kondensacinėse elektrinėse, dažniausiai naudingai suvartojamas tik trečdalis kuro, tuo tarpu mažos kogeneracinės elektrinės efektyvumas gali siekti net 90% (elektros gamybos efektyvumas + šilumos gamybos efektyvumas) [31]. Efektyvumas išauga dėl dviejų pagrindinių priežasčių:

1. Tas pats pirminės energijos (kuro) kiekis panaudojamas ne tik elektros, bet ir šilumos gamybai.

Tai yra, įprastinėse šiluminių elektrinių perteklinė šiluma nėra panaudojama (ji “išmetama”), tuo

tarpu kogeneracinių jėgainių pagaminama šiluma panaudojama gamybos tikslams, patalpų šildymui.

2. Esant centralizuotam elektros tiekimui iš didelės galios šiluminių elektrinių susidaro 5-10% energijos tiekimo tolimiems vartotojams, jos įtampos mažinimo transformatorinėse pastotėse bei paskirstymo nuostoliai [31]. Kogeneracinės elektrinės statomos arti šilumos vartotojo, kuris kartu yra ir elektros vartotojas, todėl elektrą tereikia paskirstyti – todėl tiekimo nuostoliai žymiai mažesni.

Kiti bendros šilumos bei elektros gamybos jėgainių privalumai yra šie:

- ♦ Mažesnė aplinkos tarša šalinamais degimo produktais, nes efektyvesnis kuro vartojimas;
- ♦ Mažose, šalies rajonuose veikiančiose kogeneracinėse jėgainėse geresnė galimybė naudoti vietinį kurą – biomasę, pramoninės, žemės ūkio, buitines atliekas. Tokio kuro naudojimas atitinka tvarios plėtros principus, yra pigesnis, nei didelės galios jėgainėse vartojamos dujos ar mazutas;
- ♦ Efektyvus kuro vartojimas bei galimybė naudoti vietinį kurą sumažina šalies energetikos sektoriaus priklausomybę nuo įvežtinio kuro;
- ♦ Statant nedidelės galios kogeneracines jėgaines kuriamos darbo vietos, mažos bei vidutinės verslo įmonės, vystomi regionai – tai efektyvus būdas socialinėms problemoms spręsti.

Tačiau kogeneracinės jėgainės turi ir trūkumų, dėl kurių šių technologijų plėtra šalies energetikos sistemoje susiduria su kliūtimis:

- ♦ Kuro kainos mažoms elektros gamybos įmonėms kuro kainos yra didesnės nei didelės galios jėgainėms [11];
- ♦ Didesnės nei didelių jėgainių įrengimo investicijos bei aptarnavimo ir priežiūros išlaidos instaliuotos galios vienetui;
- ♦ Viena iš svarbiausių problemų – mažesnis veikimo valandų skaičius per metus, lyginant su įprastinėmis jėgainėmis. Kogeneracinių jėgainių efektyvus darbas susijęs su šilumos

poreikiu ir kartais efektyviau šiltuoju metų laiku jų darbą stabdyti, taigi neišnaudojamas visas gamybos potencialas;

- ♦ Išorinių kaštų neįvertinimas rinkoje perkant elektrą, pagamintą kondensacinėse jėgainėse. Elektros energijos kainose neatsispindi kogeneracinių jėgainių aplinkosauginiai, socialiniai, energijos tiekimo saugumo ir kt. privalumai.

Taigi, pagrindinės kliūtys su kuriomis susiduriama diegiant kogeneracines technologijas yra ekonominės. Decentralizuota elektros gamyba kogeneracinėse jėgainėse yra naujas reiškinys Lietuvoje, mažosios kogeneracinės jėgainės nėra paplitusios ir tik neseniai pradėtos naudoti. Šių technologijų privalumai, bei teikiama aplinkosauginė-socialinė nauda neatsispindi tiesiogiai energijos kainose. Todėl pigesnė ir vartotojams patrauklesnė yra įprastinė elektros energijos gamyba didelės galios elektrinėse, kurių kainos atspindi tik trumpalaikius – gamybos kaštus. Negalima mažinti elektros kainų branginant vartotojams tiekiamą šilumą, nes pagrindinis naujų technologijų diegimo tikslas – sumažinti šilumos kainas Lietuvos rajonuose.

8.2. Kogeneracijos naudojimą reglamentuojantys teisės aktai

Lietuvos energetikos sistema turi didelį potencialą kogeneracinių technologijų plėtrai. Tai efektyviam šio tipo jėgainių naudojimui pakankamai ilgas šildymo sezonas bei gerai išvystyta centralizuoto šilumos tiekimo infrastruktūra. Tačiau vien to nepakanka. Bendros elektros bei šilumos įmonės kaip nauja technologija negali konkuruoti su kitomis, jau seniai veikiančiomis energijos gamybos įmonėmis. Todėl reikalinga tam tikra teisinė, administracinė bei ekonominė struktūra, kuri padėtų įveikti kliūtis mažos kogeneracijos diegimui. Tokią struktūrą ir sukuria šią veiklą reglamentuojantys teisiniai aktai.

Šalies energetikos vystymosi kryptis dvidešimčiai metų numato kas penkis metus atnaujinama *Nacionalinė energetikos strategija*, kuri buvo patvirtinta 1999 ir atnaujinta 2002 metais (Žin., 2002, Nr. 99-4397) [3]. Joje centralizuoto šilumos tiekimo sistemų panaudojimas bendrai šilumos ir elektros gamybai apibūdinamas kaip viena iš energetikos sistemos galimybių. Vienas iš energetikos strateginių tikslų – pasiekti, kad 2015-2020 metais kogeneracinėse jėgainėse gaminamos elektros kiekis sudarytų ne

mažiau kaip 35 % (nuo 35 % iki 45 %) visos elektros gamybos. Taip pat teigiama, kad uždarius Ignalinos Atominę elektrinę, turės būti atnaujinamos esančios kogeneracinės jėgainės, o atsiradus naujų galių poreikiui – pastatytos naujos šio tipo jėgainės didesniuose miestuose (apie 400 MW). Taigi pirmenybė teikiama didesniųjų miestų šilumos panaudojimui kogeneracijai. Tuo tarpu mažos kogeneracinės elektrinės, naudojančios vietinį kurą, būtų įrengiamos tik jei jos galėtų konkuruoti su atnaujintomis didelėmis bendros šilumos ir elektros gamybos jėgainėmis. Strategijoje taip pat numatoma nustatyti atskirą kogeneracinių elektrinių, tiekiančių šilumą į miestų centralizuotos šilumos tiekimo sistemas, elektros supirkimo tvarką.

2003 metais išleistas **LR Šilumos ūkio įstatymas** (Žin., 2003, Nr. 51-2254) reglamentuoja šilumos ūkio subjektų veiklą, jų santykius, teises ir pareigas [12]. Pagal šį įstatymą numatoma rengti savivaldybių „Šilumos ūkio specialiuosius planus“ [13], kurių pagrindinis tikslas – tenkinti vartotojų šilumos poreikius vartotojui mažiausiomis sąnaudomis bei neviršijant leidžiamo neigiamo poveikio aplinkai. Tam, kad šie planai atitiktų nacionalinius energetikos tikslus Šilumos ūkio įstatymas numato LR Vyriausybės tvirtinamas „Šilumos ūkio plėtros kryptis“, kuriomis vadovaujantis ir rengiami specialieji planai. 2004 m. LR Vyriausybė nutarimu Nr. 307 patvirtino Šilumos ūkio plėtros kryptis [6]. Šiame dokumente numatoma: plėtojant šilumos ūkį išsaugoti esamas centralizuoto šilumos tiekimo sistemas, ten, kur jos yra ekonomiškai pagrįstos; diegti naujas technologijas tuo pačiu diversifikuojant kurą bei mažinant neigiamą poveikį aplinkai. Viena iš aprašomų šio energetikos sektoriaus plėtros krypčių – plėtoti kogeneraciją. Skatinti kogeneracinių jėgainių, kurių veikimas pagrįstas šilumos poreikiu, plėtrą atskira tvarka superkant jose gaminamą elektrą už nustatytą kainą. Taip pat numatyti ir konkretūs veiksmai (kurie atitinka ir Nacionalinėje energetikos strategijoje numatytus veiksmus), įgyvendinant bendros šilumos ir elektros plėtrą bei atsiradus naujų elektros galių poreikiui: modernizuoti didžiąsias kogeneracines elektrines; iki 2015 metų pastatyti šio tipo jėgaines didesniuose Lietuvos miestuose. Atnaujinant esamus šilumos gamybos įrenginius ar diegiant naujus nurodoma atsižvelgti į kogeneracijos galimybę. Skatinant energijos vartojimą iš vietinių, atsinaujinančių bei atliekinių energijos šaltinių siekiama iki 2002 metų būtų pastatytos 2 ar 3 mažos kogeneracinės elektrinės, deginančios vietinius bei atsinaujinančius išteklius.

Vienas iš kogeneracinių elektrinių plėtros tikslų šilumos ūkyje – pasiekti, kad 2020 metais šiluma, gaminama jose, sudarytų ne mažiau kaip 75 % bendro centralizuotai tiekiamos šilumos balanso.

Pagrindinės Lietuvos energetikos sektoriaus veiklos kryptys bei jų reguliavimas apibūdinamas **LR Energetikos įstatymas** (Žin.,2002, Nr.56-2224) [14]. Visi kiti teisės aktai reglamentuojantys atskirų energetikos sektorių veiklą galioja tiek, kiek neprieštarauja šiam įstatymui. Šiuo įstatymu numatoma, kad elektros, pagamintos bendros šilumos ir elektros gamybos jėgainėse, supirkimo tvarką nustato LR Vyriausybė ar jos įgaliota institucija. **LR Elektros energetikos įstatyme** (Žin.,2000, Nr.66-1984) teigiama, kad elektros gamyba kogeneracinėse elektrinėse yra viešieji interesai energetikos sektoriuje [15]. Todėl 2001 metais LR Vyriausybė nutarimu Nr. 1474 „*Viešuosius interesus atitinkančios paslaugos elektros energetikos sektoriuje*“ įpareigojo visuomeninius ir nepriklausomus elektros tiekėjus bei laisvuosius vartotojus, importuojančius elektrą, supirkti ir parduoti elektrą pagamintą kogeneracinėse jėgainėse, kai jose gaminama šiluma tiekama į miestų centralizuotus šilumos tinklus [16]. Viešuosius interesus atitinkančių paslaugų davimas reglamentuotas Ūkio ministerijos patvirtintose „*Įpareigojimų tiekti viešuosius interesus atitinkančias paslaugas davimo taisyklės*“ [17]. Šių taisyklių pagrindu Ūkio ministerija patvirtino „*Elektros energijos supirkimo iš bendrų šilumos ir elektros energijos gamintojų tvarką*“, kurioje reglamentuojamas elektros, superkamos iš kogeneracinių jėgainių, kiekis kiekvienais metais [20]. Superkamos elektros apimtys apskaičiuojamos pagal energijos gamybos įmonių pateiktą informaciją apie naudingai suvartojamos šilumos kiekį, kogeneracinių įrenginių charakteristikas, bei esamas ir prognozuojamas elektros, pagamintos šio tipo jėgainėse supirkimo apimtis šalyje. Pastarosios nustatomos remiantis Nacionalinės energetikos strategijos nuostatomis bei prielaida, kad iki Ignalinos AE I-ojo bloko sustabdymo 2005 m. elektros, gaminamos kogeneracinėse elektrinėse kiekis kiekvienais metais išaugs 35 GWh. Sustabdžius I-ąjį bloką – nuo 2006 metų iki II-ojo bloko stabdymo 2010m. elektros iš kogeneracijos kiekio kasmetinis augimas bus 100 GWh [20].

Viešuosius interesus atitinkančių paslaugų elektros energetikos sektoriuje kainas nustato Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija (komisija). 2003 metais, nutarimu „*Dėl viešuosius interesus atitinkančių paslaugų elektros energetikos sektoriuje kainų 2004 metams*“ komisija nustatė elektros, pagamintos kogeneracinėse jėgainėse, kai šios jėgainės tiekia šilumą į miestų centralizuotus šilumos

tiekimo tinklus supirkimo kainas [18]. Skirtingoms jėgainėms buvo nustatytos skirtingos kainos (nuo apytiksliai 80 Lt/MWh iki 140 Lt/MWh), tačiau jų vidurkis yra ~ 100 Lt/MWh. Jėgainėms, kuriose vartojamas biokuras 2002 metais kainų komisijos nustatyta elektros supirkimo kaina lygi 200 Lt/MWh [19]. Taigi, ir kogeneracinėms jėgainėms, deginančioms medieną, šiaudus ir kt. galioja ši kaina.

Apžvelgus teisės aktus, apibūdinančius kogeneracijos statusą Lietuvos energetikos sistemoje bei jos plėtrą skatinančias priemones matyti, kad bent jau dalis kliūčių šios technologijos plėtrai yra panaikintos. Ar šių priemonių pakanka – priklauso nuo atskiros atvejo. Taip pat matyti, kad netolimoje ateityje labiau skatintinos yra didesnių miestų atnaujinamos arba naujai statomos jėgainės. Nedidelės bei vidutinės galios kogeneracinės elektrinės nėra diskriminuojamos, tačiau nacionaliniai energetikos tikslai pirmenybę teikia didelių miestų jėgainių plėtrai.

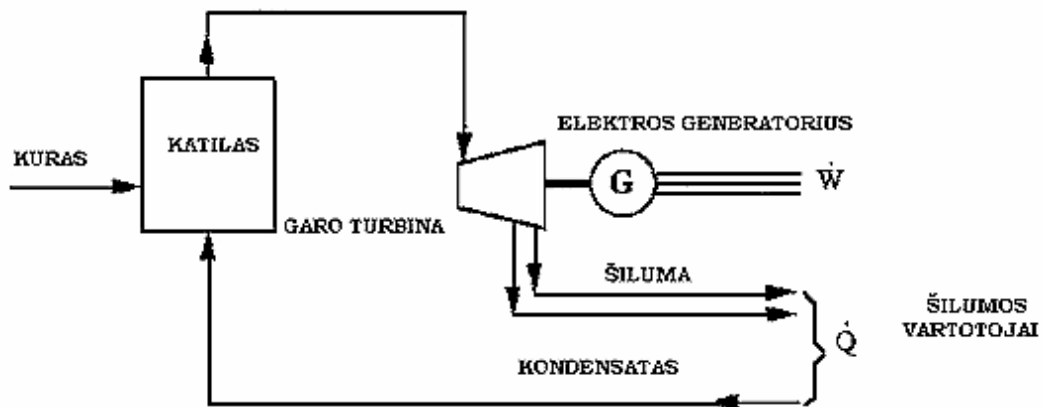
Kogeneracinių technologijų svarbą pabrėžia ir Europos Sąjungos direktyva (2004/8/EC), skatinanti didelio efektyvumo kogeneraciją vidinėje energijos gamybos rinkoje [36]. Vykdamas šios direktyvos reikalavimus šalis narė turės įvertinti kogeneracijos plėtros potencialą šalyje. Ši direktyva nustato vieningą visoms šalims kogeneracijos bei jos efektyvumo apibrėžimą. Direktyva nereglamentuoja bendros šilumos ir elektros gamybos skatinimo būdų, tik nurodo, kad valstybės narės pačios turi pritaikyti šio tipo jėgainių remimo bei investicijų į jas skatinimo mechanizmus. Europos Komisija čia atlieka prižiūrimąją rolę. Taigi, tikėtina, kad šios direktyvos vykdymas paspartins kogeneracijos galimybių įvertinimą bei šių technologijų paplitimą Lietuvoje.

8.3. Kogeneracinės technologijos

Yra įvairių kogeneracinių technologijų. Vienos iš jų senos ir gerai žinomos, kitos – dar tik inovacijos stadijoje ir todėl plačiai nenaudojamos. Stirlingo varikliai, mikroturbinos, kuro elementai bei kitos technologijos yra besivystančios ir dar nepaplitusios, todėl ganėtinai brangios ir šiuo metu Lietuvoje diegti nesiūlomos. Šiuo metu pasaulyje labiausiai paplitusios yra garo turbinos, dujų turbinos bei vidaus degimo (stūmokliniai) varikliai. Todėl darbe ir nagrinėjami šio tipo šiluminiai varikliai.

8.3.1. Garo turbinos

Garo turbinos yra vienos labiausiai paplitusių bei seniausių šiluminių variklių. Jos jau apie 100 metų naudojamos energijos gamybai. Garo turbinų galia siekia nuo keliasdešimt kilovatų iki kelių šimtų megavatų. Garo turbina pagrįstose jėgainėse kuro energija nėra tiesiogiai verčiama į elektros energiją. Pirmiausiai kuras deginamas katile – gaminamas garas, o vėliau garas verčia sukintis turbiną – gaminama elektra (12 pav.). Ši savybė įgalina tokiose jėgainėse vartoti labai įvairių rūšių kurą: dujas, skystą bei kietą kurą. Kogeneracinėse jėgainėse iš garo turbinų ne visai išsiplėtęs garas ir vartojamas šilumos poreikiams tenkinti. Dažniausiai šio tipo kogeneracinėse jėgainėse gaminama šiluma (garas) yra pagrindinis produktas, o elektra – šalutinis [38].



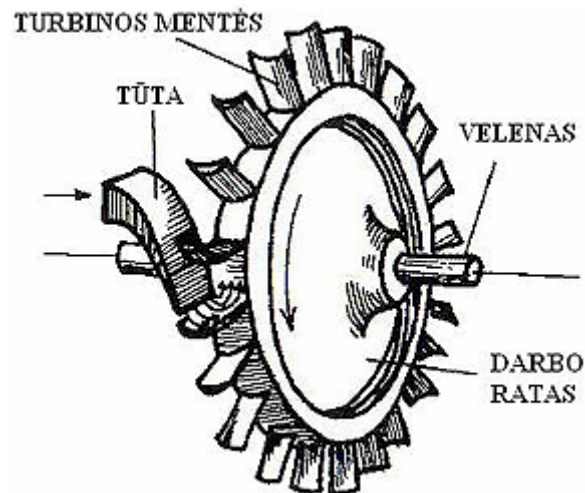
12 pav. Jėgainės su garo turbina principinė schema

Paprasčiausios jėgainės su garo turbina pagrindiniai elementai yra šie: garo katilas, turbina, elektros generatorius kondensatorius bei maitinimo siurblys. Pagrindinis tokio tipo jėgainės elementas – garo turbina. Tai toks šiluminis variklis, kuriame garo potencinė energija iš pradžių paverčiama kinetine, o paskui – mechanine. Pagal į garo turbiną tiekiamo fluideo slėgį skiriamos žemo slėgio (12-200 kPa), vidutinio slėgio (iki 4 MPa), aukšto slėgio (4-14 MPa) bei labai aukšto slėgio (daugiau nei 14 MPa) garo turbinos [22]. Garo turbinos veikimo principas pagrįstas pagrindine tekančio dujų srauto savybe (1) [22]:

$$cdc = -vdp. \quad (1)$$

Čia: c – dujų srauto greitis, m/s; p – slėgis, Pa.

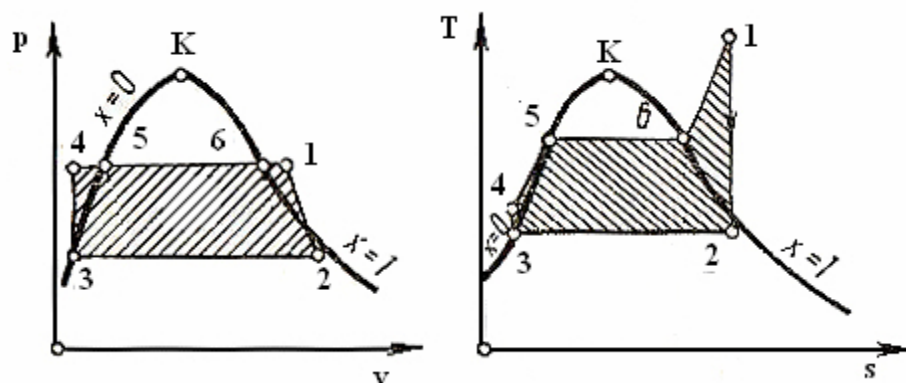
Iš lygties matyti, kad diferencialų dc ir dp ženklai visada yra priešingi – kai dujų slėgis mažėja, jų greitis didėja ir atvirkščiai.



13 pav. Garo turbinos veikimo schema

Garų turbinoje sumontuotomis tūtomis (13 pav.) tekėdamas garas plečiasi ir jo potencinė energija paverčiama garų srauto kinetine energija. Iš tūtos ištekančias garų srautas nukreipiamas į turbinos darbo mentes. Šis srautas, apiplaudamas mentes keičia savo kryptį ir greitį, todėl atsiranda mentes veikianti slėgio jėga, kuri verčia sukis darbo ratą ir veleną. Taip garų srauto kinetinė energija paverčiama darbo rato mechanine energija. Tūtų grupė ir jas atitinkančios darbo mentės sudaro vieną turbinos pakopą, todėl paprasčiausia turbina vadinama **vienpakope**. Kelios pakopos sudaro **daugiapakopę** turbiną. Garų turbinos detalės gaubia **korpusas**, turbinos gali būti **vieno**, **dviejų** ir **trijų korpusų**. Korpusai gali būti sumontuoti nuosekliai ir turėti **vieną** bendrą **veleną**, arba turbinos korpusai gali būti sumontuoti lygiagrečiai ir turėti **du velenus** [22].

Nors termodinaminio požiūriu ekonomiškiausias yra **Karno ciklas**, garų turbina veikia pagal **Renkino ciklą**, nes pastarasis yra efektyvesnis praktiškai. Renkino ciklą sudaro adiabatė, dvi izobarės bei izochorė (14 pav.) [21].



14 pav. Renkino ciklas p - v ir T - s diagramose

Procesas 1-2. Perkaitintas garas adiabiškai plečiasi garo turbinoje ir suka jos rotorius. Šiluminė energija verčiama mechanine energija, kuri elektros generatoriuje verčiama elektra. Garo būsenos parametrai iš p_1, t_1, h_1 keičiasi į p_2, t_2, h_2 .

Procesas 2-3. Iš turbinos išėjęs drėgnasis garas izobariškai-izotermiškai kondensuojasi kondensatoriuje, $p_2 = p_3, t_2 = t_3$, garo entalpija šio proceso pabaigoje – h_3 , į aplinką atiduodamas šilumos kiekis Q_c .

Procesas 3-4. Izochorinis kondensato pumpavimas siurbliu į garo katilą. Garo parametrai 4-ame taške: p_4, t_4, h_4 .

Procesas 4-5. Esant pastoviam slėgiui vanduo kaitinamas iki virimo temperatūros t_5 , garo entalpija pakyla iki h_5 .

Procesas 5-6. Toliau katile vyksta izoterminis-izobarinis vandens garinimas. Šio proceso pabaigoje gaunamas sausas sotusis garas, kurio parametrai: $p_4 = p_5 = p_6, t_5 = t_6$ ir h_6 .

Procesas 6-1. Perkaitintuve vyksta izobarinis garo perkaitinimas. Perkaitinto garo slėgis $p_6 = p_1, t_1, h_1$. Toliau ciklas kartojamas iš pradžių.

Garų turbino darbo naudingumo koeficientas – tai turbinoje garo atliekamo darbo W_g bei garui pagaminti sunaudojamos energijos Q_0 santykis (2):

$$\eta_t = \frac{W_g}{Q_0} = \frac{Q_0 - Q_c}{Q_0} = \frac{h_1 - h_4 - h_2 + h_3}{h_1 - h_4} \approx \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_4} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_2'}. \quad (2)$$

Vandens entalpija maitinimo siurblyje padidėja nežymiai, todėl šis pokytis nepaisomas, $h_3 = h_4$. Čia h_2 – į garo katilą tiekiamo vandens entalpija [21].

Kai $p_1 = 23$ MPa, $t_1 = 545$ °C, $p_2 = 3$ kPa, idealaus Renkino ciklo $\eta_t = 0,46$ [21]. Tai reiškia, kad realioje garo turbinoje tik apie 40 % kuro energijos paverčiama elektros energija. Dėl šios priežasties ieškoma būdų padidinti garo turbinos ciklo naudingumo koeficientą.

Iš galutinės η_t išraiškos matyti, kad garo turbinos veikimo efektyvumą galima gerinti keliais būdais:

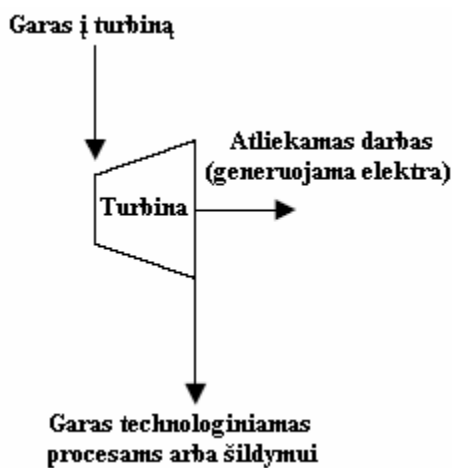
- 1) Didinant į turbiną įeinančio garo entalpiją h_1 . Entalpija priklauso nuo garo slėgio p_1 bei temperatūros t_1 , todėl garo turbinos efektyvumas didinamas keliant šiuos du parametrus. Tačiau tuomet didėja vandeniui maitinimo siurblyje bei katilė suteikiamos energijos kiekis. Taip pat p_1 ir t_1 didinimą riboja medžiagų, iš kurių pagaminti garo katilai bei turbinos, atsparumas aukštomis temperatūroms. Garui, kurio temperatūra aukštesnė nei 580°C reikia naudoti brangias medžiagas [021].
- 2) Apie 60 % suvartojamo kuro energijos išmetama su kondensatorių aušinančiu vandeniu. Tai šilumos kiekis Q_c – energijos nuostoliai bei potencialas tokio tipo jėgainėse gaminti ne tik elektrą, bet ir šilumą.

Išeinantis iš turbinos garas ($t_2 = 30$ °C, $p_2 = 3 - 5$ kPa) aušinamas 10-15 °C vandeniu. Kondensatoriuje šis vanduo pašildomas iki 20-25 °C, tokios temperatūros vanduo negali būti naudojamas nei šildymo nei technologijos reikmėms [021]. Dėl to, gaminant ne tik elektrą, bet ir šilumą iš turbinos ištekantį garo temperatūra ir slėgis aukštesni, nei kondensacinėse jėgainėse pvz.: jei iš turbinos į kondensatorių patenka 100-120 kPa slėgio bei aukštesnės nei 100 °C temperatūros garas, tai vanduo kondensatoriuje pašyla iki 80-90 °C. Tačiau tuomet pagaminamas mažesnis elektros kiekis: 1 MWe galios jėgainėje elektra paverčiama apie 10-20 nuošimčių kuro energijos, 60-70 nuošimčių šios energijos paverčiama šiluma, naudingai suvartojama apie 80-85 % kuro energijos [37].

Kogeneracinėse jėgainėse naudojamos dviejų pagrindinių tipų garo turbinos: *priešslėgio* arba *mažesnio vakuumo* turbinos bei turbinos *su tarpiniu garo paėmimu*.

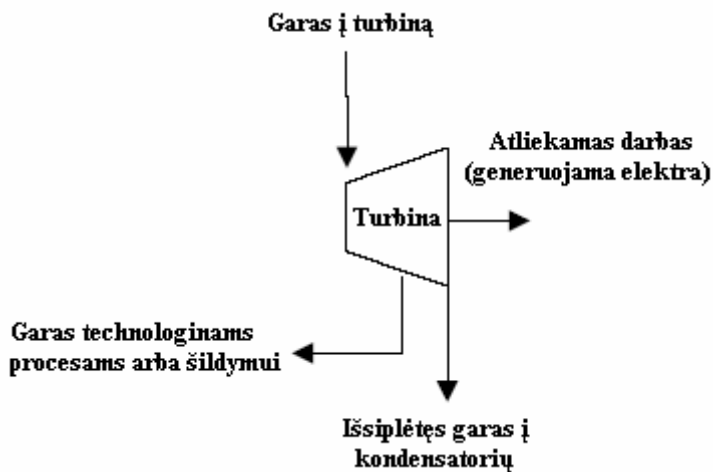
Iš *priešslėgio* turbinų (15 pav.) išeina atmosferinio arba didesnio slėgio garas. Garo slėgis priklauso nuo šilumos poreikių. Garas taip pat yra naudojamas technologinėms arba šildymo reikmėms. Garo

turbinoje pagaminamas elektros kiekis sumažėja dvigubai, jei iš turbinos paimamas apie 0,7 MPa slėgio garas, o tiekiamo į turbiną perkaitinto garo parametrai $p_1 \approx 4,0$ MPa, $t_1 \approx 430$ °C [38]. Priešslėgio garo turbina naudojamos tuomet kai reikalingas pastovus šilumos kiekis.



15 pav. Priešslėgio garo turbina

Garų turbinos *su tarpiniu garo paėmimu* korpuse yra įtaisyta anga jau šiek tiek išsiplėtusiam garui, paimti (16 pav.).



16 pav. Garų turbina su tarpiniu garo paėmimu

Technologiniams poreikiams dažniausiai naudojamas aukštesnio slėgio (0,5-1,2 MPa) garas, į šildymui skirtą vandens šildytuvą tiekiamas žemesnio slėgio (0,07-0,25 MPa) garas [22]. Imamo iš turbinos garo slėgis gali būti automatiškai reguliuojamas. Tuomet kai šilumos poreikiai nedideli atitinkamai mažesnis garo kiekis yra paimamas – daugiau garo teka turbina, gaminama daugiau elektros.

Kai kuriose garo turbinose yra keletas tarpinio garo ėmimo angų [38]. Pro kiekvieną iš jų paimamas skirtingo slėgio bei temperatūros garas – priklausomai nuo šilumos poreikių.

Kai garo, įtekančio į turbiną ir ištekančio iš jos, slėgių skirtumas yra didelis, garas turbinoje gali pradėti kondensuotis (virsta drėgnu sočiu garu). Ant turbinos menčių gali pradėti formuotis vandens lašeliai ir pradėti ardyti mentes. Todėl besiplečiantis turbinoje garas kartais yra dar kartą perkaitinamas esant pastoviam slėgiui į tarpiniame garo perkaitintuve ir grąžinamas į turbiną [38].

Kartais į katilą tiekiamas kondensatas pašildomas garu, tiekiamu iš tarpinių garo turbinos pakopų. Kondensatas šildomas regeneraciniame šildytuve jau šiek tiek išsiplėtusiu garu. Maitinamojo vandens, ištekančio iš kondensatoriaus, pradinė temperatūra yra apie 20-25 °C, o galinė jo temperatūra regeneraciniame šildytuve pakeliama iki ~ 200 °C [21]. Tiekiant į jau pašildytą kondensatą, garo katilė sunaudojama mažiau energijos perkaitintam garui paruošti. Tarpinis garo paėmimas iš turbinos mažina elektros gamybą joje, tačiau jėgainės su regeneraciniu ciklu efektyvumas yra didesnis, nei be regeneracijos.

Mažos bei vidutinės galios (1-10 MWe) kogeneracinėse jėgainėse į turbiną įeinančio garo temperatūra yra apie 400-500 °C, slėgis – 3-7 MPa [41]. Šio tipo kogeneracinėse jėgainėse gaminamos elektros ir šilumos santykis yra mažas – 0,05-0,3 [38]. Taip yra, todėl, kad jėgainėje gaminama elektra yra šalutinis produktas ir priklauso nuo šilumos poreikio nagrinėjamu laikotarpiu. Pagrindiniai garo turbinos trūkumai bei privalumai yra šie:

Privalumai:

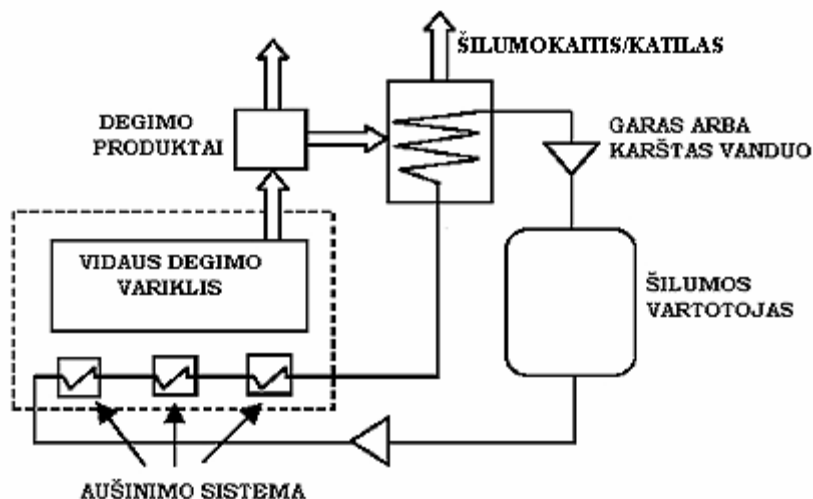
- ♦ Gali būti vartojamas įvairių rūšių kuras, nes kuro energija nėra tiesiogiai verčiama elektros energija. Naudojamas tarpinis šilumnešis – garas;
- ♦ Plačios garo turbinos galių ribos. Instaliuota galia gali siekti nuo keliasdešimt kilovatų iki kelių šimtų megavatų;
- ♦ Garo turbina – tai ilgaamžė technologija. Tinkamai prižiūrimos garo turbinos gali patikimai dirbti daugiau nei 30 metų [38].

Trūkumai:

- ♦ Jėgainė su garo turbina – daug vietos užimanti ir brangi technologija, nes reikalinga ne tik pati turbina, bet ir garo katilas perkaitintam garui paruošti;
- ♦ Mažas jėgainės elektrinis efektyvumas. Jį padidinti galima keliant į turbiną įeinančio garo temperatūrą bei slėgį. Tačiau šių parametru dydį riboja fizikinės bei mechaninės metalų iš kurių gaminami garo katilai savybės;
- ♦ Lėtas garo turbinos paleidimas. Garo turbinos korpusas yra gaminamas iš storo metalo sluoksnio ir dėl to pasižymi dideliu šiluminiu inertiškumu. Tam, kad būtų išvengta skirtingo atskirų turbinos dalių šiluminio plėtimosi, garo turbinos turi būti sušildomos ir atvėsintos iš lėto.

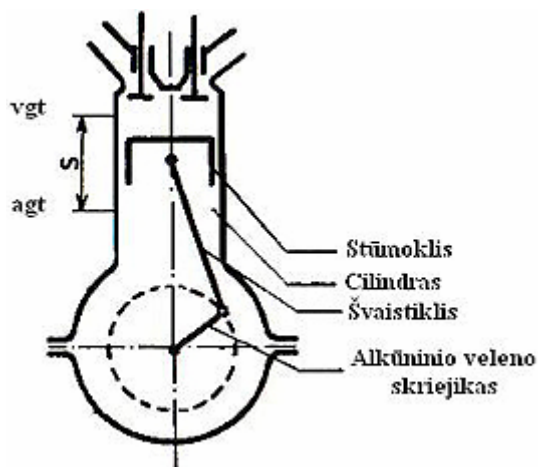
8.3.2. Vidaus degimo varikliai (VDV)

Vidaus degimo varikliai – tai stūmokliniai šiluminiai varikliai, kuriuose kuras sudega cilindro viduje. Šio tipo jėgainėse kuro energija yra tiesiogiai verčiama mechanine energija. VDV galios ribos siekia nuo kelių kilovatų iki 5 MWe ir daugiau [40]. Kogeneracinėse jėgainėse su vidaus degimo varikliais (17 pav.) galima ruošti karštą vandenį arba žemo slėgio garą šilumos poreikiams patenkinti.



17 pav. Jėgainės su vidaus degimo varikliu principinė schema

Pagrindiniai vidaus degimo variklių, naudojamų nuolatinei elektros gamybai, tipai yra **greitojo degimo ciklu (Otto ciklu)** veikiantis VDV bei **lėtojo degimo ciklu (Dyzelio ciklu)** veikiantis variklis [40]. Pagrindiniai abiejų tipų variklių elementai yra tokie patys (18 pav.).

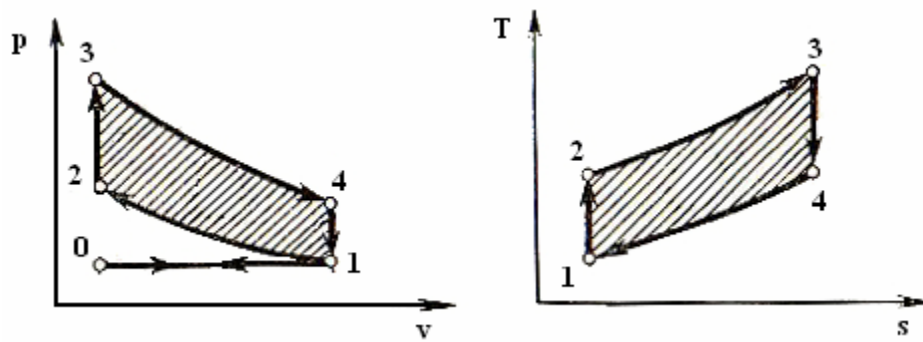


18 pav. Vidaus degimo variklio veikimo schema

Tiek Otto tiek Dyzelio varikliai turi cilindrą, kuriuose dega kuras ir degimo produktai plėsdamiesi atlieka darbą – stumia stūmoklį. Cilindre įtaisytas stūmoklis slankioja tarp dviejų padėčių: viršutinio galinio taško (vgt.) ir apatinio galinio taško (agt.) [22]. Stūmokliui slenkant virš jo kinta cilindro tūris. Alkūninio veleno skriejikas sukasi apskritimu. Stūmokliui nuėjus nuo vgt. iki agt. alkūninio veleno skriejikas pasisuka 180° kampu. Vidaus degimo varikliai skirstomi į **keturtakčius** ir **dvitakčius**. Keturtakčiame variklyje vienas ciklas įvyksta per du alkūninio veleno apsisukimus, o dvitakčiame – per vieną apsisukimą [21].

VD variklyje vykstantys procesai yra sudėtingi, todėl nagrinėjant jie yra supaprastinami [22]. Daromos prielaidos, kad besiplečiantys degimo produktai yra idealiosios dujos, ir jų sudėtis bei kiekis nesikeičia; tariama, kad kuro degimas – tai šilumos tiekimas dujoms, o degimo produktų išmetimas – šilumos nuvedimas. Dujų suslėgimo bei išsiplėtimo procesai laikomi adiabatiniiais. Otto ciklo metu šiluma dujoms tiekama, esant pastoviam tūriui, o Dyzelio ciklo metu – esant pastoviam slėgiui.

Greitojo degimo ciklas. Šiuo ciklu veikiančiuose varikliuose vartojamas dujinis arba lengvas skystasis kuras. Degusis mišinys iš skysto kuro ir oro paruošiamas specialiame maišymo įtaise. Variklio veikimo teorinis ciklas pavaizduotas 19 paveiksle [21].

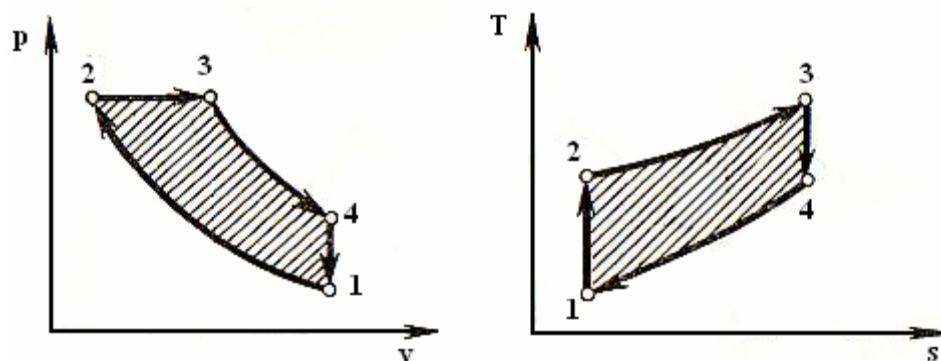


19 pav. Greitojo degimo variklio ciklas p - v ir T - s diagramose

Proceso 0-1 metu degusis mišinys stūmokliui judant į dešinę išsiurbiamas į cilindrą, stūmokliui grįžtant atgal (procesas 1-2) degusis mišinys adiabiatiškai suslegiamas. Degiojo mišinio suslėgimą riboja jo savaiminio užsidegimo temperatūra, nes kylant mišinio slėgiui kyla ir jo temperatūra. Todėl suslėgto mišinio temperatūra 2 taške turi būti žemesnė už mišinio užsidegimo temperatūrą. Suslėgus mišinį jis uždegamas kibirkštimi. Dujos dega labai greitai (procesas 2-3), o slėgis cilindre didėja nesikeičiant jų tūriui. Šio proceso metu dujos gauna šilumos kiekį q_1 . Plėsdamiesi karšti degimo produktai stumia stūmoklį, proceso 3-4 metu atliekamas darbas. Proceso 4-1 metu atsidaro išmetimo vožtuvas ir degimo produktai, išnešdami šilumą q_2 , išteka iš cilindro.

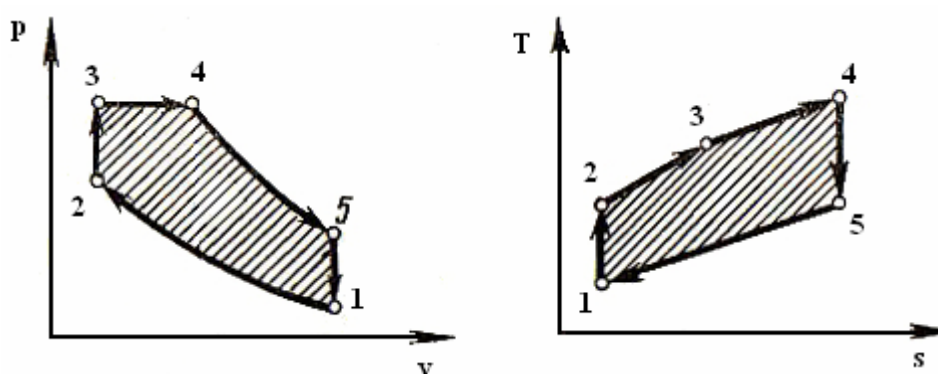
Otto vidaus degimo variklio naudingumas priklauso nuo degiojo mišinio suslėgimo laipsnio ε – dujų pradinio tūrio (v_1) ir suslėgtų dujų tūrio (v_2) santykio. Kuo didesnis suslėgimo laipsnis, tuo didesnis variklio terminis naudingumo koeficientas. Tobulinant šio tipo vidaus degimo variklius siekiama padidinti degiojo mišinio suslėgimo laipsnį. Tačiau, kaip jau buvo minėta suslėgimo laipsnį riboja degiojo mišinio savaiminio užsidegimo temperatūra.

Lėtojo degimo ciklas. Lėtojo degimo ciklo varikliuose vartojamas aukštos kokybės (be priemaišų ir pasižymintis gerom degimo savybėmis) skystas kuras. Kartais kaip pagrindinis vartojamas kuras yra dujos, o skystas kuras naudojamas tik degimo pradžioje (užsidegimo metu) [40]. Šiuo ciklu (20 pav.) veikiančiuose varikliuose suslėgimo laipsnis yra didesnis nei greitojo degimo varikliuose, nes 1-2 proceso metu slegiamas tik oras [21].



20 pav. Lėtojo degimo variklio ciklas p - v ir T - s diagramose

Kuras įpurškiamas suslėgus orą iki tokio laipsnio, kad jo temperatūra pasidaro didesnė už kuro savaiminio užsiliepsnojimo temperatūrą. Įpurškstas į cilindrą kuras iš karto užsidega savaime, todėl bereikalinga oro ir kuro mišinio užsidegimo sistema. Per tą laiką, kai į cilindrą purškiamas kuras, kai jis maišosi su oru bei dega stūmoklis slenka į dešinę, didindamas cilindro tūrį. Mišinio degimas vyksta esant pastoviam slėgiui (procesas 2-3). Vėliau karšti degimo produktai cilindre adiabiatiškai plečiasi proceso 3-4 metu. Stūmoklis stumiamas – atliekamas darbas procesų 2-3 ir 3-4 metu. Atsidarius išmetimo vožtuvui degimo produktai išteka iš cilindro (procesas 4-1). Šio tipo varikliuose kuras įpurškiamas suspaustu oru, kuris paruošiamas kompresoriuje. Dyzelinių variklių pagrindinis trūkumas – jiems reikia kompresoriaus ir gana sudėtingo kuro purkštuvo.



21 pav. Mišrusis ciklas p - v ir T - s diagramose

Buvo ieškoma galimybių atsisakyti kompresoriaus. Todėl buvo pasiūlytas *mišrusis (Trinklerio) ciklas* (21 pav.)[21], kurio metu oras suspaudžiamas cilindre (1-2 procesas), o siurblyje suspaustas kuras išpurškiamas specialiaame prieškameryje, įrengtame cilindro viršuje. Šis prieškameris sujungtas su

cilindru vienu arba dviem kanalais. Spaudžiamas stūmokliu oras cilindre per kanalus veržiasi į prieškamerį ir oro bei kuro mišinys užsidega (izochorinis degimo procesas 2-3). Iš prieškamero degimo produktai teka į cilindrą, kur vyksta procesas 3-4 – izobarinis degimas. Vėliau vyksta procesai 4-5 – adiabatinis dujų išsiplėtimas bei 5-1 – izochorinis šilumos išmetimas. Daugelis šiuolaikinių Dyzelinių variklių dirba mišriuoju ciklu.

Efektyviam vidaus degimo variklio darbui sunaudojama tik apie 20-40 % kuro degimo šilumos. Didelę dalį suteikiamos ciklui šilumos sudaro įvairūs nuostoliai. Vidaus degimo variklio šilumos balansas išreiškiamas (3) formule [22]:

$$Q = Q_e + Q_d + Q_a + Q_k \quad (3)$$

Čia: Q – šiluma, suteikiama variklio darbo ciklui deginant kurą, kJ/s; Q_e – variklio naudingą darbą atitinkanti šiluma, kJ/s; Q_d – šiluma, išmetama su šalinamais degimo produktais, kJ/s; Q_a – šiluma, šalinama su variklį aušinančiu skysčiu, kJ/s; Q_k – kiti šilumos nuostoliai (aušinant tepalą ir pan.), kJ/s.

Kartu su degimo produktais pašalinama apie 30-50 % šilumos, aušinant variklį šilumos nuostoliai sudaro dar apie 15-30 % kuro degimo šilumos, kiti nuostoliai – apie 10% [22]. Aušinat variklį galima paruošti 90-100 °C karštą vandenį, kurį galima naudoti patalpų šildymui [40]. Kai kurių variklių aukšto slėgio aušinimo sistemose vandens temperatūra gali pakilti iki 130 °C. Išmetamų degimo produktų temperatūra dažniausiai siekia 450-650 °C. Išmetamais degimo produktais galima paruošti karštą vandenį iki 110 °C arba žemo slėgio (~0,80 MPa) garą. Panaudojant vidaus degimo variklį aušinimo metu bei su degimo produktais šalinamą šilumą apie 70-80 % šilumos panaudojama naudingai.

Variklį aušinančio skysčio tekėjimą aušinimo sistema lemia dirbtinė arba natūrali cirkuliacija [40]. Dirbtinės cirkuliacijos aušinimo sistemose aušinimo skystį tekėti verčia cirkuliacinis siurblys. Į natūralios cirkuliacijos aušinimo sistemą aušinimo skystis įteka variklio apačioje, gaudamas šilumą nuo variklio sienelių užverda ir sumažėjus tankiui kyla į variklio viršų. Įtekantis į tokią aušinimo sistemą skysčio temperatūra yra 1-2 °C žemesnė už prisotinto garo temperatūrą. Iš aušinimo sistemos išteka sotusis garas. Kuo pastovesnė temperatūra variklio aušinimo sistemoje, tuo ilgesnis variklio gyvavimo laikas. Šalinamų

degimo produktų šilumos atgavimo sistema būna atskira arba sujungta su variklio aušinimo sistema. Dažnai karštas vanduo iš variklio aušinimo sistemos tiekiamas į degimo produktų šilumokaitį.

Vidaus degimo varikliai yra suprojektuoti pagal ISO sąlygas: oro temperatūrą 25 °C ir atmosferinį slėgį – 101,325 kPa [40]. VDV gaminamos energijos kiekis ir efektyvumas mažėja didėjant aplinkos temperatūrai. Variklių efektyvumas mažėja 1 %, aplinkos temperatūrai kylant vienu laipsniu aukščiau 25 °C.

Vidaus degimo variklių privalumai:

- ◆ Tai greitai paleidžiami šiluminiai varikliai. VDV gali pradėti gaminti elektros energiją per 10-15 sekundžių [37]. Todėl šio tipo varikliai labai tinka esant pikinėms apkrovoms arba kaip atsarginis elektros šaltinis;
- ◆ Vidaus degimo variklio darbo pradžia reikia labai nedaug energijos;
- ◆ Didelis elektros gamybos efektyvumas lyginant su kitomis technologijomis.

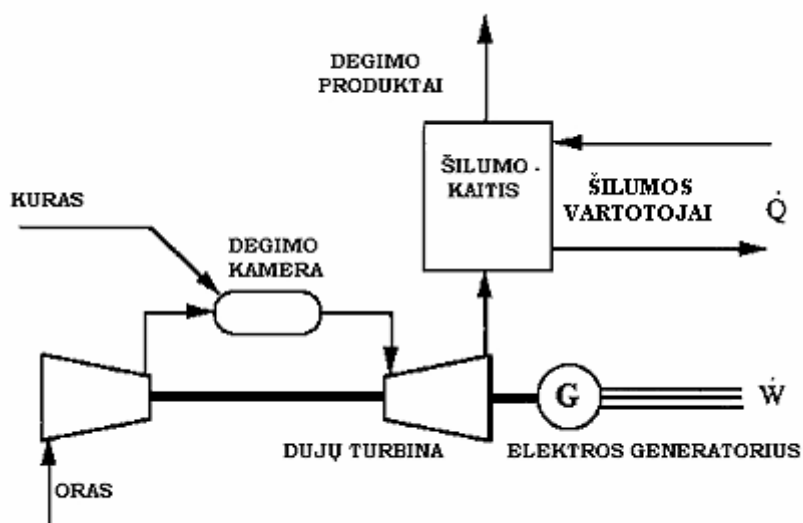
Vidaus degimo variklių trūkumai:

- ◆ Daug judančių detalių, kurios greitai dėvisi, o tai trumpina variklio gyvavimo laiką [37];
- ◆ Sunku visiškai atgauti „išmetamą“ šilumą;
- ◆ Dirbdamas vidaus degimo variklis skleidžia didelį triukšmą, stipriai vibruoja. Reikalingas specialus vibraciją ir triukšmą slopinantis pagrindas [23].

8.3.3. Dujų turbinos

Dujų turbinose (22 pav.) [39] kaip ir vidaus degimo varikliuose darbo agentas yra kuro degimo produktai. Vidaus degimo variklių stūmoklio slankiojamasis judesys pakeistas sukamuoju rotoriaus judesiu dujų turbinose. Dujų turbinose gali būti vartojamos gamtinės ar generatorinės dujos bei įvairių rūšių skystas kuras. Šio tipo šiluminiuose varikliuose gali būti gaminama vien tik elektra, o degimo produktai šalinami. Tačiau iš turbinos išeinantys degimo produktai gali būti naudojami ruošiant karštą vandenį ar garą patalpų šildymui. Taip pat paruoštas garas gali būti vartojamas papildomai elektros

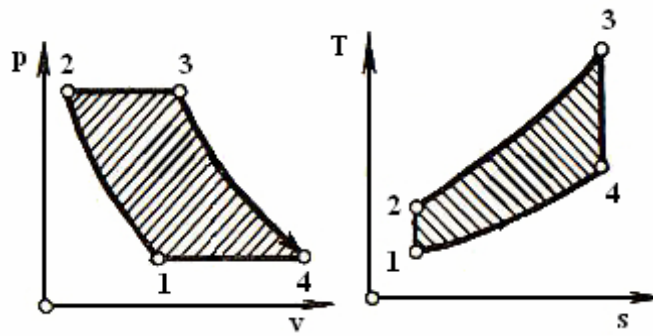
gamybai garo turbinoje, o išėjęs iš jos – šilumos gamybai. Dujų turbinų elektrinis galingumas galimas nuo kelių šimtų kilovatų iki kelių šimtų megavatų [39].



22 pav. Jėgainės su dujų turbina principinė schema

Kaip ir vidaus degimo varikliuose dujų turbinose galimas *izobarinis* arba *izochorinis* kuro degimas. Populiariesnis yra degimas esant pastoviam slėgiui. Į degimo kamerą tiekiamas kompresoriuje suslėgtas oras bei purkštuvu įpurškiamas siurbliu tiekiamas kuras. Tiekiamo į degimo kamerą oro temperatūra yra aukštesnė už kuro savaiminio užsidegimo temperatūrą – degusis mišinys užsiliepsnoja. Degimas vyksta esant pastoviam slėgiui, aukšto slėgio degimo produktai plečiasi tūtoje, jungiančioje degimo kamerą ir turbinos darbo ratą. Iš tūtos ištekančys degimo produktai apiplauna darbo mentes ir jas pastumia – taip sukamas rotorius ir atliekamas mechaninis darbas. Dalis dujų turbinoje gaminamos energijos suvartojama oro kompresoriuje bei kuro siurblyje, todėl jėgainėje naudingai gaminamos energijos kiekis – tai turbinoje generuojamos ir minėtuose įrenginiuose suvartojamos energijų skirtumas [22].

Dujų turbina dirba pagal **Braitono ciklą**. Nagrinėjant teorinį dujų turbinų ciklą daromos tos pačios prielaidos kaip ir VDV ciklui. Taria, kad besiplečiantys degimo produktai yra idealiosios dujos, ir jų sudėtis bei kiekis nesikeičia, kuro degimas – tai šilumos tiekimas dujoms, o degimo produktų išmetimas – šilumos nuvedimas. Dujos slegiamos bei plečiasi adiabatinį procesų metu. Dujų turbina darbo ciklas pavaizduotas 23 paveiksle [21].



23 pav. Izobarinio degimo dujų turbinos ciklas p - v ir T - s diagramose

Izobarinio degimo ciklą sudaro šie procesai:

Procesas 1-2. Šio proceso metu oras adiabiškai suslegiamas kompresoriuje. Oro suslėgimui sunaudojamas darbas, kuris atitinka plotą 2156.

Procesas 2-3. Tai izobarinio kuro ir oro mišinio degimo procesas. Jo metu darbo agentui suteikiama šiluma q_1 .

Procesas 3-4. Aukšto slėgio degimo produktai adiabiškai plečiasi ir suka turbinos rotorių – atliekamas darbas. Sukuriamas techninis darbas vaizduojamas plotu 3456.

Procesas 4-1. Degimo produktai iš dujų turbinos šalinami į aplinką – vyksta izobarinis šilumos atidavimas. Atiduodamas šilumos kiekis q_2 .

Dujų turbinos terminis naudingumo koeficientas išreiškiamas formule (4) [21]:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{c_p (t_4 - t_1)}{c_p (t_3 - t_2)} = 1 - \frac{t_4 - t_1}{t_3 - t_2}. \quad (4)$$

Čia: t_1, t_2, t_3, t_4 – darbo agento temperatūros atitinkančios ciklo taškus, °C; c_p – darbo agento savitoji šiluma, kJ/kg.

Matyti, kad dujų turbinos terminis naudingumas yra tuo didesnis kuo aukštesnė dujų temperatūra prieš turbiną ir kuo žemesnė – už turbinos. Dujų turbinos veikia tuo efektyviau, kuo aukštesnė degimo produktų temperatūra turbinoje ir kuo žemesnė oro, tiekiamo į kompresorių temperatūra (nes tuomet kompresorius sunaudoja mažiau energijos orui suslėgti). Terminis naudingumas priklauso ir nuo degimo mišinio suslėgimo laipsnio (šiuo atveju oro suslėgimo laipsnio kompresoriuje). Todėl dujų turbinų

vystymasis vyksta keliant darbinę temperatūrą bei slėgį, kuriuos riboja medžiagų, iš kurių gaminamos turbinos mechaninės savybės.

Kuro suvartojimas mažinamas pašildant kompresoriuje suspaustą orą išeinančiais iš turbinos degimo produktais. Kompresoriaus darbas sumažinamas atvėsinant į kompresorių tiekiamą orą arba tarpiniame slėgimo etape [39].

Šiluma q_2 – tai potencialas dujų turbina pagrįstose jėgainėse gaminti ne tik elektrą, bet ir šilumą – taikyti kogeneracijos principą. Iš garo turbinos išeinantys degimo produktai sudaro apie 60-70 % vartojamo kuro šilumos. Jie gali būti naudojami ruošiant šilumnešį patalpų šildymui arba garą elektrai gaminti garo turbinose. Pati paprasčiausia šalinamos šilumos atgavimo sistema – tai šilumokaitis, į kurį tiekiamas vanduo pašildomas iš turbinos išeinančiais degimo produktais. Šilumokaityje be papildomo degimo galima paruošti garą, kurio slėgis nuo 0,8 nuo 6,4 MPa bei atgauti iki 95 % šalinamos į aplinką šilumos [39].

Kogeneracinių jėgainių su dujų turbina efektyvumas priklauso nuo naudingai suvartojamos šalinamų degimo produktų šilumos. Atgaunamos šilumos kiekis priklauso nuo dviejų pagrindinių veiksnių: degimo produktų temperatūros už turbinos bei į aplinką iš šilumos atgavimo įrenginio šalinamų degimo produktų temperatūros. Kuo aukštesnė degimo produktų temperatūra dujų turbinoje, tuo efektyvesnis ir pačios dujų turbinos darbas ir šilumos atgavimas už turbinos, nes aukštesnė šalinamų dujų temperatūra. Tačiau metalai negali ilgai dirbti aukštoje temperatūroje, todėl norint, kad dujų turbinų gyvavimo laikas būtų ilgesnis darbo agento temperatūra ribojama ir būna apie 650-800 °C, šalinamų degimo produktų temperatūra tuomet – 400-500 °C [39]. Mažinant degimo produktų šalinamą į atmosferą temperatūrą didėja atgaunamos šilumos kiekis bei kogeneracinės jėgainės efektyvumas. Šalinamų degimo produktų temperatūra priklauso nuo vartojamo kuro: vartojant sieringą kurą rekomenduojama šalinamų dujų temperatūra – apie 150 °C [39].

Degimo proceso metu dujų turbinoje suvartojamas ne visas deguonis, todėl galimas šalinamų dujų deginimas vartojant papildomą kurą. Papildomai deginamų degimo produktų temperatūra pakyla iki ~ 980 °C, o gaminamo garo kiekis padvigubėja[39]. Paprastos šilumos atgavimo sistemos - tai dažniausiai konvekciniai šilumokaičiai, kuriuose karšto vandens ar garo ruošimas priklauso nuo šalinamų degimo

produktų ir yra sunkiai reguliuojamas. Naudojant papildomą deginimą galima valdyti šilumnešio ruošimo procesą keičiant degimo produktų parametrus.

Dujų turbinų darbo efektyvumas siekia ~ 40 %, kai degimo produktai naudojami tik elektros gamybai turbinoje. Kombinuoto ciklo jėgainėse, kai šalinami degimo produktai naudojami garui gaminti, o pastarasis suka garo turbiną, efektyviai vartojama kuro energija sudaro apie 60 %. Taikant kogeneracijos principą dujų turbinose bendras jėgainės efektyvumas (elektrinis ir šiluminis) siekia apie 80-90 % [39].

Gaminamos energijos kiekis bei dujų turbinų efektyvumas labai priklauso nuo aplinkos, kurioje veikia turbina, sąlygų. Kylant aplinkos temperatūrai mažėja dujų turbinos galia ir efektyvumas. aukštesnės temperatūros oro tankis mažesnis ir kompresorius suvartoja daugiau energijos tam pačiam kiekiui oro suslėgti. Aplinkos temperatūrai pakilus iki ~ 40 °C instaliuota turbinos galia sumažėja iki 90 nuošimčių, o temperatūrai nukritus iki 5-10 °C – pakyla iki 105 % instaliuotos galios [39].

Dujų turbinų privalumai ir trūkumai yra šie:

Privalumai:

- ♦ Lyginant su vidaus degimo varikliais dujų turbinos yra mažų gabaritų, bet galingos [23];
- ♦ Šio tipo šiluminių variklių įrenginiai yra daug paprastesni nei garo turbinos;
- ♦ Dujų turbinose atgaunant šalinamų degimo produktų šilumą galima paruošti aukštų parametrų šilumnešį.

Trūkumai:

- ♦ Nors galima vartoti įvairių rūšių kūrą, tačiau kurui keliami labai aukšti reikalavimai – jis turi būti labai švarus, be priemaišų;
- ♦ Dujų turbinų mentės visą laiką yra aukštoje temperatūroje, dėl to sparčiai trumpėja jų gyvavimo laikas. Mažinant darbo agento temperatūrą, mažėja turbinos ekonomiškumas.

8.4. Kieto kuro dujifikavimas

Dujų turbinoje bei vidaus degimo variklyje galima vartoti tik dujas arba labai švarų skystą kurą, o kai kuriais atvejais šis kuras yra neprieinamas arba per brangus. Kieto kuro dujifikavimas suteikia galimybę naudoti šių tipų šiluminius variklius, jei jiems tinkamas įprastinis kuras (pvz.: gamtinės dujos) yra neprieinamas. Taip pat dujifikavimo technologijos įgalina intensyviau vartoti biomasę. Todėl šiame skyriuje apžvelgiamos kieto kuro dujifikavimo technologijos.

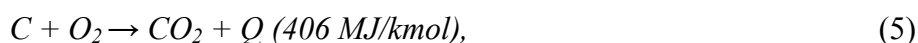
Degiųjų dujų gamyba iš anglies turinčių medžiagų – tai sena technologija. Biomasės dujifikavimas žinomas nuo XVIII a. pabaigos. *Sausoji distiliacija*, arba *pirolizė*, kai kietas kuras, kaitinimas be deguonies, termiškai suyra, pirmą kartą komerciniams tikslams buvo panaudota 1812 metais Londone. Pirmasis dujų generatorius vartojant kietą kurą buvo įrengtas 1839 metais [42]. Daugelio Londono gatvių apšvietimu 1850 metais buvo naudojamos generatorinės dujos [43]. Vėliau kuro dujifikavimo technologija buvo sparčiai vystoma bei tobulinama ir labai paplito elektros ir šilumos gamyboje. Pirmasis vidaus degimo variklis deginantis generatorines dujas buvo išbandytas 1881 metais [43]. Biomasės dujifikavimas, panaudojant generatorines dujas kaip kurą transporte, 1920 metais paplito Europoje, ir tapo labai svarbia technologija II Pasaulinio karo metu, kai trūko skysto kuro. Po Antrojo Pasaulinio karo, atpigus skystajam kurui, generatorinės dujos tapo nebepopuliarios. Tačiau susidomėjimą dujifikavimo technologijomis sugrąžino 1972 metų naftos krizė, kai visą pasaulį sukrėtė aukštos naftos kainos. Biomasės dujifikavimo technologijos toliau tobulinamos ir generatorinės dujos populiarėja energetikos sektoriuje kaip alternatyva gamtinėms dujoms bei skystam kurui.

Dujifikavimo procesas yra labai sudėtingas ir nėra iki galo ištirtas. Skirtinga dujifikuojamo kuro sudėtis neleidžia numatyti visų procesų, vykstančių dujų generatoriuje. Vykstančiose cheminėse reakcijose dalyvauja daugybė elementų bei junginių, reakcijų intensyvumas labai didelis. Dėl šių priežasčių kieto kuro dujifikavimas yra sunkiai valdomas ir sunku atrasti optimalų generatorinių dujų gamybos būdą.

8.4.1. Dujifikavimo procesas

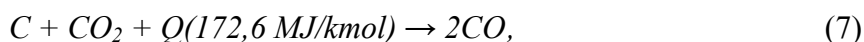
Kieto kuro *dujifikavimas* – tai terminis procesas, kurio metu organinei kuro daliai sąveikaujant su oru, vandens garu ar anglies dvideginiu bei esant aukštai temperatūrai, gaminamos degiosios dujos. Šios dujos vadinamos *generatorinėmis dujomis*. Generatorinės dujos gaminamos *dujų generatoriuose* – šachtose, į kurias tiekiamas kuras bei oras (vandens garas, deguonis ar H_2 ir CO_2 [43]), gaunamos dujos ir šalinami pelenai. Gaminant dujas generatoriuose susidaro keturios zonos: *degimo zona, atsistatymo zona, sausos distiliacijos (pirolizės) zona* bei *kuro džiovinimo zona* [24].

Kuro dujifikavimui reikalinga šiluma. Ji gaunama į dujų generatorių tiekiant pašildytą orą bei degimo zonoje degant daliai tiekiamo kuro. Kuras dega esant 700-2000 °C temperatūrai. Degimas – tai egzoterminis procesas, aprašomas tokiomis cheminėmis lygtimis (5) ir (6) [44]:

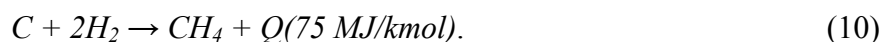
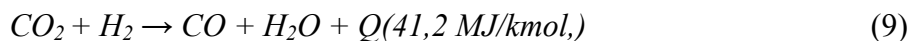


Šiose reakcijose dalyvaujantys anglis bei vandenilis – kietojo kuro elementai. Jų oksidacijos metu suvartojamas visas laisvas deguonis. Degimo zonoje susidaro anglies dvideginis, vanduo bei pelenai – nedegūs neorganiniai (mineraliniai) kure esantys junginiai. Vėliau, atsistatymo zonoje, anglies dvideginis bei vanduo jungiasi su nesudegusio kuro anglimi. Medžiagos atsistatymo zonoje reaguoja esant 800-1100 °C temperatūrai.

Endoterminių reakcijų metu gaunamas anglies viendeginis ir vandenilis – (7) ir (8) lygtys [44]:



Atsistatymo zonoje vyksta ir kitos reakcijos (9) ir (10), jų metu taip pat gaunamos degiosios dujos bei išskiriama šiluma, tai [44]:



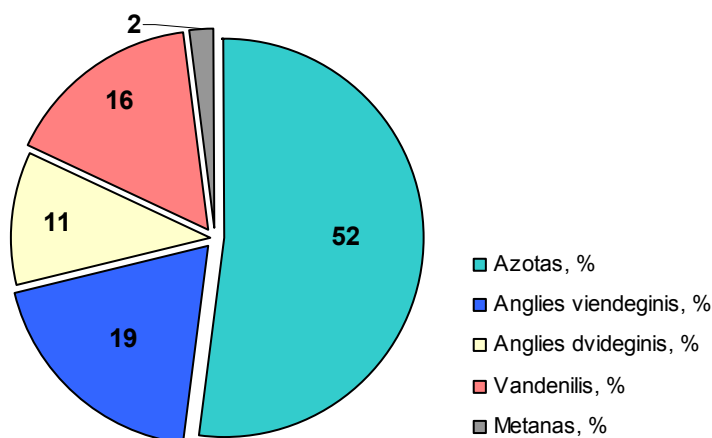
Kadangi šių reakcijų metu suvartojama daugiau šilumos nei jos išskiriama, temperatūra atsistatymo zonoje mažėja. Taigi, atstatymo zonoje vykstančių reakcijų produktai yra degiosios dujos, vandens garas, bei ne visiškai sureagavimo produktai – koksas.

Virš atsistatymo zonos yra sausos distiliacijos (pirolizės) zona. Šioje zonoje vyksta kieto kuro skaidymas kurio metu susidaro medžio anglis arba koksas, išsiskiria dervos, drėgmė (vandens garas), anglies dvideginis bei degios dujos (CH_4 , CO , H_2 ir kt.). Pirolizė prasideda temperatūrai generatoriuje pasiekus apie 150-200 °C [45]. Tačiau medienos kuras yra drėgnas ir jo temperatūra nepakyla aukščiau 100 °C, kol kuras visiškai neišdžiūna. Todėl į dujų generatorių tiekiamas kuras pirmiausiai patenka į džiovinimo zoną. Džiovinimui vartojama šiluma, gaunama reakcijų degimo zonoje metu.

Pirolizė vyksta apytiksliai 150-700 °C ribose [44], jos metu susidaręs koksas besileisdamas žemyn susiduria su oru, kylančiu į viršų. Dalis jo sudega – gaminama šiluma tiekiamo kuro dujofikavimo procesui. Kita dalis kokso likučio dujofikuojama atsistatymo zonoje. Kokso paversti dujomis reikalinga aukšta temperatūra – aukštesnė nei 800 °C. Kokso degimo bei dujofikavimo likutis sudaro 1-2 % sausos tiekiamo kuro masės – nedebugūs neorganiniai junginiai [46]. Tačiau tai teorinis visiškai sureagavusio kuro likutis. Realiose dujofikavimo procesuose sureaguoja ne visas kuras dėl to atliekų (šlako) kiekis yra didesnis.

Atsistatymo arba dujofikavimo zonoje susidarančios dujos kyla į sausos distiliacijos zoną, susimaišo su pastarojo proceso metu išsiskiriančiom dujom (H_2 , CH_4 ir kiti angliavandeniliais) be iš kuro išsiskiriančia drėgme ir išteka iš dujų generatoriaus. Į generatorines dujas taip pat įsimaišo dervos (garo pavidalu) bei suodžiai, kuriuos vėliau būtina pašalinti iš dujų tam, kad neužsiterštų jas vartojantys įrenginiai. Didžioji dalis susidarančių dervų gali būti transformuotos į dujas, jei jos patenka į atsistatymo zoną ir jei temperatūra joje siekia 900-1200 °C [45].

Medienos kuro dujofikavimo metu gaunamų dujų energetinė vertė yra žymiai mažesnė nei gamtinių dujų. Degieji generatorinių dujų komponentai dažniausiai sudaro apie 40 % gaunamų dujų tūrio – tai anglies viendeginis, vandenilis bei nedidelis kiekis metano[45]. Pavyzdžiui, 20 % drėgnumo medienos kuro dujofikavimo (kai tiekiamas oras) produktas yra generatorinės dujos, kurių galima tūrinė sudėtis pavaizduota (24 pav.)[42].



24 pav. Generatorinių dujų iš 20 % drėgnumo medienos tūrinė sudėtis

Generatorinių dujų, gaunamų dujofikuojant 20 % drėgnumo medieną, energetinė vertė (žemutinė degimo šiluma) apskaičiuojama pagal (11) formulę [47]:

$$H_{md} = 10768[H_2] + 12696[CO] + 35866[CH_4] + 83800[C_nH_m]. \quad (11)$$

Taigi nagrinėjamų dujų energetinė vertė yra:

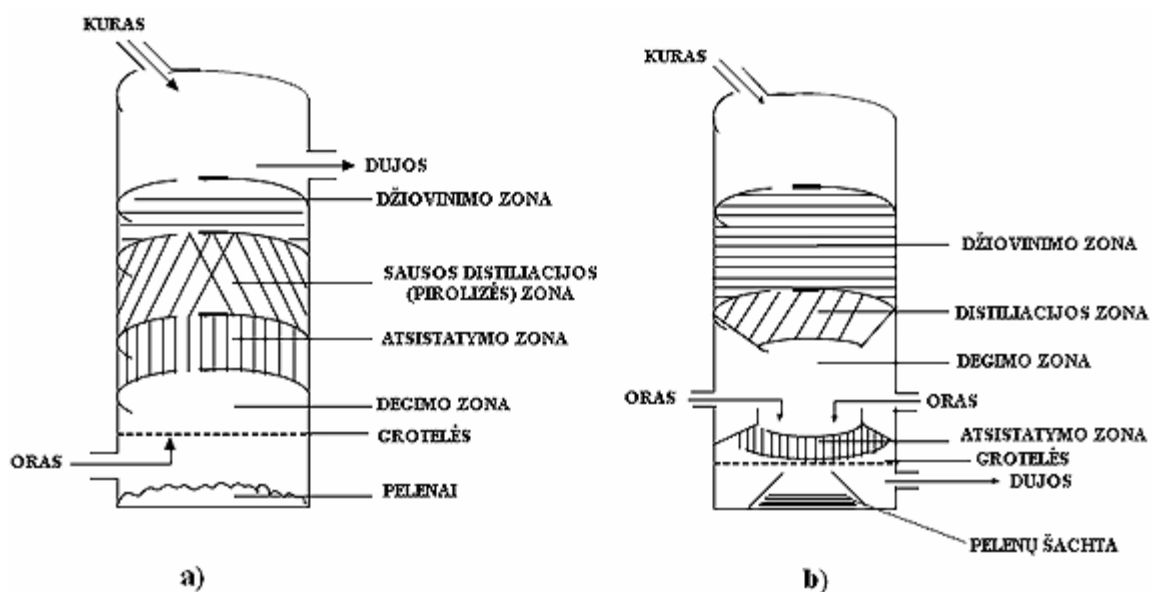
$$H_{md} = \frac{10768 \cdot 16}{100} + \frac{12696 \cdot 19}{100} + \frac{35866 \cdot 2}{100} = 4852 \text{ kJ} / \text{m}^3.$$

Dažniausiai biomasės dujofikavimo produktas – 4,5-6,0 MJ/m³ dujos. Į dujofikavimo įrenginį paprastai tiekiamas oras. Ore esantis deguonis sudaro tik 21 %, tuo tarpu azotas - 79 % tūrio. Todėl dujofikavimui naudojant orą, gaunamos daug azoto turinčios dujos, kurių kaloringumas yra mažas. Kai į dujų generatorių tiekiamas grynas deguonis – gaunamų dujų šiluminė vertė didesnė, tačiau toks gamybos būdas yra brangus. Taip pat generatorinių dujų šiluminė vertė priklauso ir nuo dujofikavimo technologijos.

8.4.2. Dujifikavimo technologijos

Daug skirtingų tipų kieto kuro dujifikavimo technologijų buvo vystoma apie 100 metų. Dažniausiai dujų generatorių tipai išskiriami pagal kuro bei oro tiekimo schemą, bei jų judėjimą vienas kito atžvilgiu.

Paprasčiausiais dujų generatoriaus su *nejudančiu kuro sluoksniu* tipas yra kai kuras tiekiamas iš viršaus, o *oras tiekiamas iš apačios* (25 pav., a) [48]. Kuras generatoriaus šachtoje judėdamas iš viršaus į apačią pereina visas keturias transformavimo zonas, virsta pelenais ir yra pašalinamas. Generatorinės dujos iš atstatymo zonos kyla aukštyn, susimaišo su pirolizės dujiniais produktais ir išteka šachtos viršuje. Dujifikuojamas kuras ir reakcijų metu gaunamos dujos bei tiekiamas oras juda skirtingomis kryptimis. Pagrindiniai šio tipo dujifikatoriaus privalumai yra aukštas kure esančios anglies sudegimo laipsnis bei intensyvūs šilumos mainai dujų generatoriaus šachtoje. Tiekiamas į šachtą drėgnas kuras gerai išdžiūna – todėl galima dujifikuoti iki 60 % drėgnumo medieną [48]. Dėl intensyvių šilumos mainų generatoriuje ištekančių generatorinių dujų temperatūra nėra aukšta (200-400 °C) [48]. Kuo žemesnė generatorinių dujų temperatūra, tuo geresni šilumos mainai dujifikatoriuje ir tuo aukštesnis dujifikavimo proceso terminis efektyvumas. Tačiau tokiu būdu gaminamose dujose yra didelis kiekis dervų, nes jos nepatenka į oksidacijos bei aukštos temperatūros zonas, todėl nėra paverčiamos dujomis. Jei dujos vartojamos šilumos gamybai, dervos tiesiog sudega ir įrangai stipriai nekenkia. Tačiau iš dujos, skirtos vartoti šiluminiuose varikliuose turi būti gerai išvalytos.



25 pav. Dujifikatoriai su nejudamu kuro sluoksniu:
kai oras tiekiamas iš apačios – a, kai oras tiekiamas iš viršaus – b

Į kito tipo dujų generatoriaus šachtą *oras tiekiamas iš viršaus* arba iš šonų, o generatorinės dujos išteka apačioje (25 pav., b). Taigi generatorinės dujos bei kuras juda ta pačia kryptimi. Šio tipo dujofikatoriuose susidaro visos keturios kuro transformavimosi zonos, tačiau jų eilės tvarka šiek tiek kitokia nei ankščiau aprašytame įrenginyje. Kuras, tiekiamas į šachtą iš viršaus, išdžiūna ir yra suskaidomas sausos distiliacijos zonoje. Šiluma į šias zonas spinduliavimu (ir iš dalies konvekcija) tiekama iš degimo zonos [48]. Pirolizės metu gaunamos dujos taip pat kaip ir koksas patenka į degimo zoną, kur sudega. Degimo produktai bei nesudegęs anglies likutis atsistatymo zonoje reaguoja ir susidaro anglies viendeginis bei vandenilis – degieji dujų komponentai. Kadangi pirolizės produktai patenka į oksidacijos ir aukštos temperatūros atsistatymo zonas iš šio tipo generatorių išteka dujos su labai maža dervų koncentracija. Tačiau dujų generatoriai, kai oras tiekiamas iš viršaus turi ir trūkumų:

- ♦ Didelis kiekis pelenų bei dulkių generatorinėse dujose, nes pirolizės dujos patenka į degimo zoną ir surenka smulkias dulkių ir pelenų daleles;
- ♦ Dujofikuojamas tik mažą drėgmės kiekį (< 25 %) turintis kuras [48];
- ♦ Aukšta ištekančių iš generatoriaus dujų temperatūra, dėl to nedidelis proceso terminis efektyvumas.

Pagrindinės aprašytų dujofikavimo technologijų charakteristikos pateiktos 2 lentelėje [48]:

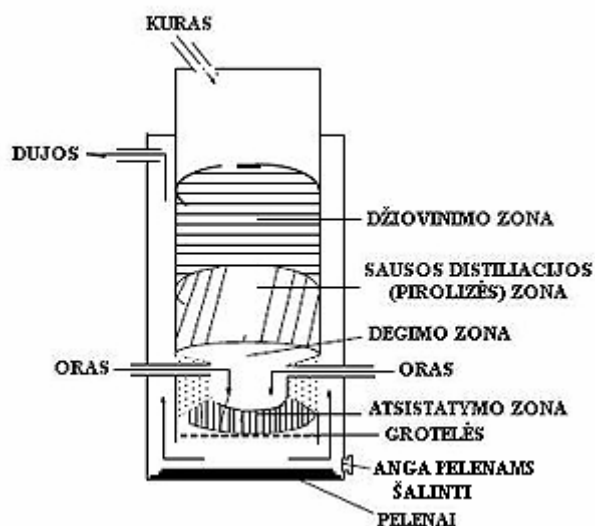
2 lentelė. Dujofikatorių su nejudamu kuro sluoksniu charakteristikos ir reikalavimai kurui

	Kai oras tiekiamas iš viršaus	Kai oras tiekiamas iš apačios
Reikalavimai kurui (mediena):		
Kuro drėgnumas, % drėgnos masės	12 (≤ 25)	43 (≤ 60)
Kuro peleningumas (nedegių komponentų koncentracija), % sausos masės	0,5 (≤ 6)	1,4 (≤ 25)
Kuro dalelių dydis, mm	20-100	5-100
Ištekančių dujų temperatūra, °C	~700	200-400
Dervų kiekis dujose, g/m³	0,015-0,50	30-150
Generatorinių dujų energetinė vertė (žemutinė degimo šiluma), kJ/m³	4,5-5,0	5,0-6,0
Generatoriaus efektyvumas, %	85-90	90-95

Šiuo metu pasaulyje veikia tik keli dujų generatoriai kai oras tiekiamas iš apačios, visi jie įrengti Pietų Afrikoje [48]. Praeito amžiaus viduryje veikė nemažas skaičius šio tipo dujofikatorių vartojančių medžio

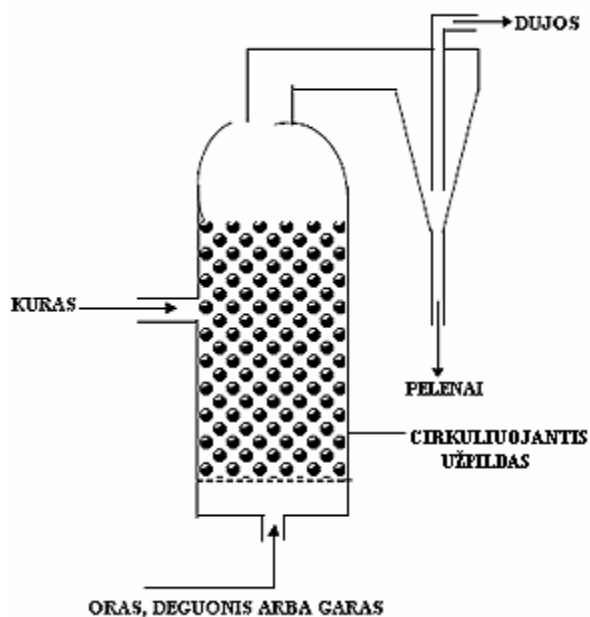
bei žemės ūkio atliekas. Tačiau vėliau visų jų veikimas buvo nutrauktas – daugiausiai dėl aplinkosauginių priežasčių (šalinant dervas iš generatorinių dujų buvo teršiamas vanduo). Taigi populiariausi šiuolaikiniai dujų generatoriai su nejudančiu kuro sluoksniu kai oras tiekiamas iš viršaus.

Daugelis dujofikatorių, kai oras tiekiamas iš viršaus turi taip vadinamą „V“ formos angą, kurios siauriausioje dalyje yra degimo zona (26 pav.) [48]. Oras tiesiai į šią zoną tiekiamas per antgalius, įtaisytus generatoriaus sienelėse. „V“ formos angos paskirtis sukurti koncentruotą aukštos temperatūros zoną, per kurią tekėdamos dervuotos pirolizės dujos degtų ir taip būtų pašalintos dervos. Taip pat šio tipo dujų generatoriai gaminami su dvigubomis sienelėmis. Generuojamos dujos teka tarpu tarp sienelių – taip ištekanti dujos dalį šilumos atiduoda kuro džiovinimo bei pirolizės procesams. Ištekantių iš generatoriaus dujų temperatūra mažėja, o terminis proceso efektyvumas didėja.



26 pav. Dujofikatorius, kai oras tiekiamas iš viršaus su V formos anga ir dvigubomis sienelėmis

Kitas dujofikavimo technologijų tipas yra dujų generatorius su *judančiu kuro sluoksniu* (27 pav.) [48]. Ši technologija naudojama didesnių galių dujofikatoriuose (> 10 MW šilumos).



27 pav. Dujofikatorius su judančiu kuro sluoksniu

Generatoriaus šachtoje yra sluoksnis karšto užpildo (smėlio), kuris burbuliuoja arba tiesiog nuolat cirkuliuoja. Šis užpildas pasižymi didele turbuletiškumu, todėl tiekiamas į dujofikatorių kuras greitai su juo susimaišo, išdžiūna ir yra išskaidomas pirolizės metu. Tačiau tokiu būdu paruoštos generatorinėse dujose yra daug dervų, nes procesai vyksta žemesnėje temperatūroje ($\sim 750\text{--}900$ °C) nei generatoriuose su nejudančiu kuro sluoksniu (~ 1200 °C degimo zonoje) [48].

Pagrindiniai dujofikatorių su judančiu kuro sluoksniu privalumai ir trūkumai yra šie:

Privalumai:

- ♦ Vyksta intensyvūs šilumos mainai bei cheminės reakcijos, o dujofikavimo įrenginys nedidelių išmatavimų;
- ♦ Tuo pačiu įrenginiu galima dujofikuoti įvairių parametrų (drėgmės, peleningumo, frakcijų) kurą, tuo tarpu, kai įrenginiuose su nejudančiu kuro sluoksniu reikalavimai kurui gana griežti.

Trūkumai:

- ♦ Didelės dulkių bei dervų koncentracijos generatorinėse dujose;
- ♦ Aukšta ištekančių dujų temperatūra;

- ♦ Didelis nesudegusios anglies kiekis;
- ♦ Sudėtingas valdymas, nes reikia reguliuoti ne tik oro bet ir užpildo padavimą.

Pagrindinės šio tipo dujofikatorių charakteristikos pateiktos 3 lentelėje.

3 lentelė. Dujofikatorių su judamu kuro sluoksniu charakteristikos ir reikalavimai kurui

	Dujofikatorius su judančiu kuro sluoksniu
Reikalavimai kurui (mediena):	
Kuro peleningumas, % sausos masės	< 25
Kuro dalelių dydis, mm	0-20
Temperatūra generatoriuje, °C	750-900
Dervų kiekis dujose, g/m	< 5
Generatorinių dujų energetinė vertė (žemutinė degimo šiluma), kJ/m	~5,1

Pagal tai ar pirolizė, dujofikavimas (atsistatymo zonoje) bei oksidacija (degimas) vyksta vienoje šachtoje ar ne dujų generatoriai skirstomi į *tiesioginius* ir *netiesioginius* [49]. Tiesioginiuose dujofikatoriuose visi minėti procesai vyksta vienoje šachtoje (inde) ir gali vykti esant atmosferiniam ar aukštesniam slėgiui (minėti anksčiau dujofikatoriai). Netiesioginis dujofikatorius sudarytas iš dviejų indų. Viename iš indų vyksta kuro bei kokso degimas, kuriame yra įkaitinamas užpildas (smėlis). Įkaitęs užpildas kokso degimo šilumą perneša į kitą indą, kuriame šios šilumos dėka vyksta tiekiamo kieto kuro pirolizė ir dujofikavimas. Susidaręs anglies likutis kartu su užpildu grąžinamas į pirmąjį (degimo) indą. Kadangi netiesioginiame dujofikatoriuje dujų gamyba (pirolizė bei atsistatymo reakcijos) vyksta be oro, tai gaunamose dujose azoto nėra ir jų degimo šiluma siekia net $\sim 16 \text{ MJ/m}^3$ [49].

8.4.3. Generatorinių dujų valymas

Šiuo metu generatorinės dujos dažniausiai vartojamos šilumos gamybai katiluose bei elektros gamybai vidaus degimo varikliuose ir dujų turbinose. Prieš vartojant šiluminiuose varikliuose dujos turi būti atvėsintos bei išvalytos. Generatorinių dujų sudėtyje esančios dervos gali susikondensuoti ant variklių vožtuvų bei kitos armatūros ir taip trikdyti variklių darbą. Dulkės, šarminiai metalai ir dervos taip pat gali sukelti atskirų variklių dalių koroziją. Jei generatorinės dujos vartojamos šilumos gamybai katiluose reikalavimai dujų kokybei nėra griežti. Nes dujos dažniausiai nėra atvėsinaamos prieš tiekiant į katilą, na, o pastarajame esant aukštai temperatūrai dervos sudega.

Dervų šalinimas. Pats paprasčiausias būdas pašalinti dervas – atvėsinti dujas, nes tuomet dervos kondensuojasi. Dervų kondensatorius gali būti didelio skersmens vamzdis, kurio sienelės iš išorės apiplauna aplinkos oras. Dervos kondensuojasi ant vidinių sienelių, nuteka į vamzdžio apačią, surenkamos bei pašalinamos iš jo. Tačiau tokio tipo dervų kondensatorius užima daug vietos ir todėl netinka dideliems generatorinių dujų kiekiams valyti. Dervas galima šalinti ir purškiant vandenį į dujų srautą. Tuomet dervos kondensuojasi ant vandens lašelių ir yra šalinamos kartu su vandeniu. Naudojant šią technologiją kartu su dervomis iš dujų šalinamos dulkės, sieros oksidai, druskos rūgštis ir šarminiai metalai. Pagrindinis šio dervų šalinimo būdo trūkumas – šalinamos dervomis užterštos nuotekos, kurias prieš išleidžiant reikia išvalyti (pašalinti dervas). Daroma didelė žala aplinkai, jei išleidžiamos neišvalytos nuotekos. Todėl pastaruoju metu imta ieškoti kitų būdų šalinti dervas. Tačiau pažangesni dujų valymo būdai – tai dar besivystančios technologijos, praktiškai jos netaikomos.

Dulkių šalinimas. Dulkės iš dujų šalinamos ciklonuose, taip pat rankoviniais filtrais ir elektrostatiniais dulkių nusodintuvais. Tačiau rankoviniai filtrai gana greitai užsikemša dujose esančiomis dervomis ir juos dažnai reikia keisti. Todėl vietoj jų kartais naudojami keraminiai filtrai kurie yra atsparūs aukštomis temperatūroms bei cheminiam poveikiui. Taip pat naudojami filtrai su užpildais (smėliu, pjuvenomis, ryžių lukštais), jų efektyvumas yra toks pats kaip ir rankovinių filtrų. Generatorinių dujų valymo grandinė dažniausiai yra tokia: ciklonas, dervų kondensatorius, dujų filtras su užpildu bei rankovinis filtras [49].

9. Nagrinėjamo atvejo tyrimas

Aprašytų technologijų taikymo mažuose Lietuvos rajonuose techniniam bei ekonominiam efektyvumui išanalizuoti skaičiuojamas atskiras atvejis. Pasirenkama Rajoninė šilumos tinklų įmonė – SP UAB Tauragės šilumos tinklai. Šiame skyriuje skaičiuojamos įvairių skirtingo galingumo technologijų diegimas šioje įmonėje diegimo galimybės.

9.1. Bendra Tauragės rajono ekonominės ir socialinės situacijos apžvalga

Bendra Tauragės rajono ekonominė bei socialinė situacija aprašoma remiantis Tauragės rajono strateginis plėtros planu 2004-2010 metams [25].

Tauragės rajonas – tai pagal plotą ir gyventojų skaičių vidutinis Lietuvos rajonas, esantis šalies pietvakariuose netoli nuo sienos su Rusijos Federacijos Kaliningrado sritimi (28 ir 29 pav.). Statistikos departamento duomenimis, 2003 m. rajone gyveno 52711 gyventojų. Rajono teritorijos plotas – 1179 km². Tauragės miestas yra Tauragės apskrities administracinis centras.



28 pav. Tauragės rajonas Lietuvoje



29 pav. Tauragės rajono žemėlapis

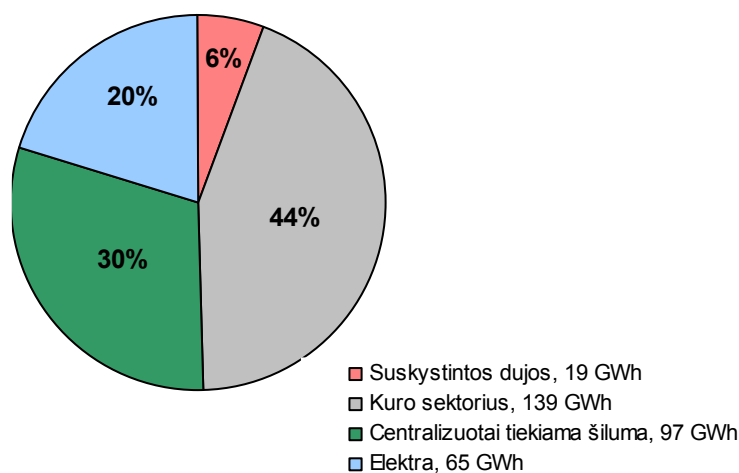
Sovietmečiu Tauragės rajone buvo intensyviai plėtojamos įvairios pramonės šakos. Lietuvai atgavus nepriklausomybę 1990 m., dauguma didžiųjų pramonės įmonių nesugebėjo prisitaikyti prie naujų rinkos sąlygų. Prasidėjęs ekonomikos restruktūrizavimo, liberalizavimo, privatizavimo procesas buvo gana sudėtingas: išaugo nedarbas, sumažėjo gyventojų pajamos bei socialinio aprūpinimo lygis, daugeliui dirbančiųjų teko pakeisti kvalifikaciją ir darbo pobūdį.

Tauragės rajonas yra pagrindinis Tauragės apskrities ekonominės plėtros centras. Šiame rajone yra įsikūrusios didžiausios apskrities įmonės. Žemės ūkis Tauragės rajone yra tradiciškai labai svarbi ūkio šaka. Rajone neblogai išvystytos žemės ūkio produktų perdirbimo bei tekstilės gamybos pramonės šakos, gana didelis prekybos įmonių skaičius. Tačiau šis rajonas yra vienas iš silpnesnių šalyje. 2003 m. Tauragės rajonas atsiliko nuo Lietuvos vidurkio pagal daugelį ekonominio ir socialinio išsivystymo rodiklių. Sukuriamas bendrasis vidaus produktas bei investicijos, tenkančios vienam gyventojui, yra ženkliai mažesni negu vidutiniškai Lietuvoje, rajone gana žemas užimtumo lygis. Nedarbo lygis 2003 m. rugsėjo 1 d. siekė 12,6 proc. Atlyginimai ne tik nedidėja, bet net mažėja, gyventojų pajamos mažos, todėl ir jų perkamoji galia yra maža.

9.2. Rajono energetikos sektoriaus apžvalga

Informacija apie Tauragės rajono energetikos skyrių gauta naudojantis Tauragės rajono strateginis plėtros planu 2004-2010 metams [25].

Bendri energijos poreikiai Tauragės rajone sudaro apie 320 GWh/metus. Valgio bei iš dalies karšto vandens ruošai Tauragės rajone per metus suvartojama apie 19 GWh suskystintų dujų. Kuro vartojimas individualiose Tauragės bei kitų gyvenviečių bei kaimo vietovių pastatų šildymo sistemose siekia apie 44 nuošimčius visų energijos sąnaudų rajone (30 pav.).



30 pav. Energijos sąnaudų Tauragės rajone struktūra

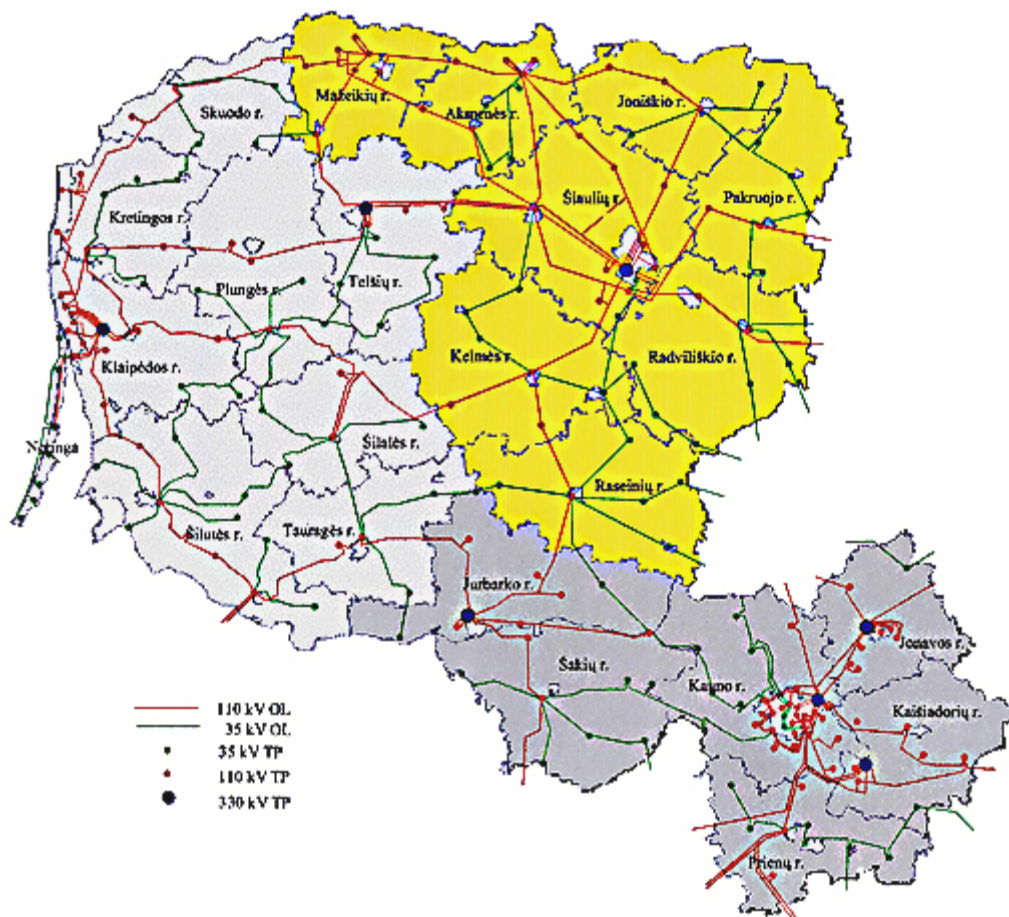
Šilumos ūkis. Apie 41% gyvenamojo ploto Tauragės rajone šildoma centralizuotai. Centralizuotai šilumą tiekia UAB Tauragės šilumos tinklai, kurios pelningumas yra mažas ir gautas pelnas neužtikrina įmonės rentabilumo. Šilumos tiekimo įmonei priklauso Tauragės rajoninė, Beržės rajoninė, Aerodromo bei Eičių gyvenvietės katilinės. Bendra instaliuota šiluminė galia Tauragės šilumos tinklų įmonėje yra apie 180MW. Tuo tarpu šilumos tinklų, kurių bendras ilgis rajone sudaro apie 37 km, pralaidumas – 170 MW. Centralizuotai tiekiamos šilumos vartotojų sistemų instaliuota galia siekia tik 54,4 MW. Taigi Tauragės šilumos tinklų pralaidumas stipriai viršija poreikius. Perteklinis tinklų pralaidumas yra pagrindinė didelių šilumos tiekimo nuostolių (apie 30 proc. nuo pateiktos į tinklus šilumos) priežastis.

Centralizuotai tiekiamos šilumos gamybai rajone vartojamas mazutas, durpės bei mediena. Eičių gyvenvietės CŠT sistemoje vartojamas durpių kuras, Tauragės CŠT vartotojams mazutas, Beržės

rajoninėje katilinėje 2003 metais pradėta vartoti mediena. Kurui vartojamas mazutas atvežamas geležinkeliu ir saugomas keturiuose antžeminiuose 2000 t talpos rezervuaruose, iš kurių autocisternomis tiekiamas katilinėms. Autonominėse pastatų šildymo sistemose daugiausiai vartojami vietiniai energijos ištekliai.

Centralizuotai šiluma tiekama Tauragės miesto ir Eičių gyvenvietės vartotojams. Gyventojai 2002 metais suvartojo apie 75 % centralizuotai tiekiamos šilumos. Nemaža šios šilumos suvartojimo dalis (~ 16 %) teko administraciniams bei kultūros, švietimo ir sveikatos apsaugos įstaigų pastatams, kurie priklauso savivaldybei. Aktuali problema šilumos vartotojams yra aukštos centralizuotai tiekiamos šilumos kainos (2003 metais - 13,7 ct/kWh) lyginant su gyventojų pajamomis. Didžioji dalis sovietiniais metais statytų daugiabučių gyvenamųjų namų yra susidėvėję ir žemos kokybės. Šių namų šiluminė izoliacija yra bloga, o santechninė įranga – pasenusi. Per pastaruosius 4 metus iki 2003 m. santykinės šilumos sąnaudos Tauragėje mažai kito ir sudarė apie 151 kWh/m² per metus. Prastas gyvenamųjų namų energetinis efektyvumas sunkina ir taip gana sudėtingą gyventojų finansinę situaciją (mažos pajamos, nedarbas ir pan.) – tai liudija ir didelės rajono vartotojų skolos energetikams. 2002 m. vartotojų skolos šilumos tiekėjams sudarė apie 39 % nuo pateiktos šilumos, o įsiskolinusių vartotojų skaičius 2003 m. sausio 1 d. pasiekė 34 % (Lietuvos vidurkis – apie 27 %).

Elektros tiekimas. Elektra Tauragės rajone tiekama 110 kV elektros linijomis bei šalia rajono praeinančia 330 kV linija, kuri jungia Lietuvą su Kaliningrado sritimi. Tauragės rajono skirstomuosius elektros tinklus aptarnauja AB „Vakarų skirstomieji tinklai“ (31 pav.). 1999 m. Tauragės rajone buvo apie 19000 elektros tinklų abonentų.



31 pav. Vakarų skirstomieji tinklai

Elektros paskirstymo išlaidos vienam abonentui sudarė apie 118 Lt/metus, o tai – labai geras rodiklis lyginant su kitais šalies rajonais, rodantis aukštą rajono skirstomųjų elektros tinklų veiklos efektyvumą.

Energijos ištekliai. Tauragės rajonas yra toli nuo magistralinių dujotiekių, todėl gamtinės dujos rajono energetikos sektoriuje nevartojamos. Šiuo metu rajone plačiai vartojamas įvežtinis kuras – mazutas. Metinės išlaidos mazuto pirkimui sudaro 4,5 mln. litų. Vietiniai ištekliai Tauragės rajone yra ne maži, tačiau jie nėra pakankamai išnaudojami. Rajoną kertančios Jūros ir Ančios upės priskiriamos prie potencialių hidroenergijos šaltinių. Tauragės regiono miškingumas yra apie 26,4 %. Susidarančių miško ruošos atliekų metinis atliekų kiekis siekia apie 55 tūkst. m³, o energetinė vertė sudaro 108 GWh. Pagrindinė šių išteklių dalis naudojama individualiam patalpų šildymui, karšto vandens bei valgio ruošimui, tačiau didelė miško ruošos atliekų dalis lieka nepanaudota. Rajone taip pat yra 153 TWh energetinės vertės durpių ištekliai. Suvartojus šiuos išteklius, durpynuose galima būtų auginti greitai augančius želdinius, kurie galėtų būti vartojami kaip kuras energijos gamybai.

Pateikiama Tauragės rajono energetikos sektoriaus SSGG analizė.

Stiprybės:

- ♦ Gerai išvystyta centralizuoto šilumos tiekimo sistema, kurioje galima naudoti įvairių rūšių kurą bei diegti kogeneraciją;
- ♦ Didesnis nei vidutinis rajono miškų produktyvumas;
- ♦ Dideli durpių ištekliai;
- ♦ Gerai išvystyta elektros tiekimo infrastruktūra.

Silpnybės:

- ♦ Aukštos centralizuotai tiekiamos šilumos kainos bei dėl žemo mokumo susikaupusios vartotojų skolos šilumos tiekėjams;
- ♦ Nepakankamai išnaudojami rajone esantys vietiniai bei atsinaujinantys (ypač medienos atliekų) ištekliai;
- ♦ Dideli šilumos tiekimo nuostoliai;
- ♦ Gamtinių dujų struktūros nebuvimas, bei įvežtinio kuro – mazuto vartojimas.

Galimybės:

- ♦ Dėl griežtesnių ES aplinkosaugos reikalavimų bei aiškių energetikos sektoriaus vizijų – palankesnės galimybės atsinaujinančių energijos išteklių vartojimui, efektyvesnių (nors ir brangesnių) technologijų diegimui.

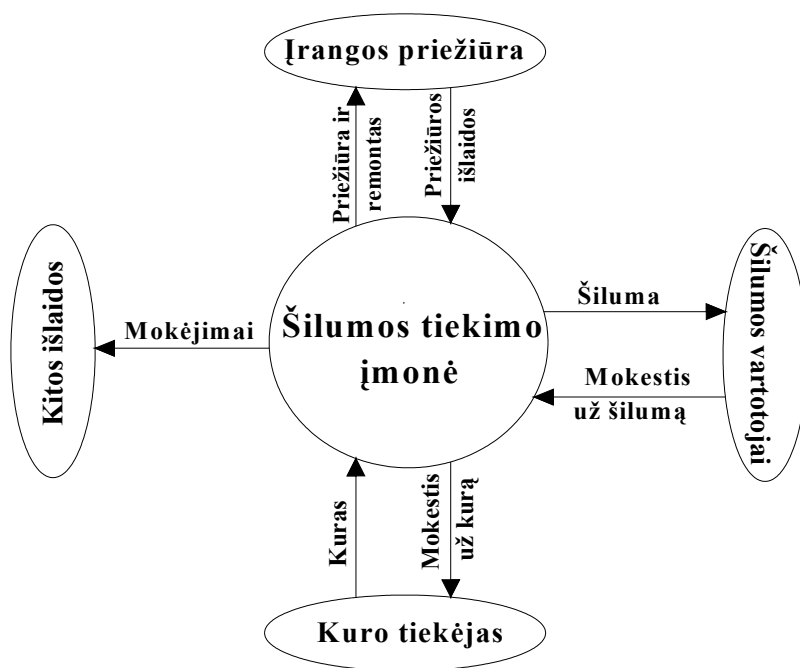
Grėsmės:

- ♦ Vartotojų skolų šilumos tiekėjams augimas bei jų atsijungimas nuo šilumos tinklų;
- ♦ Lietuvos įsipareigojimai ES dėl aukšto sieringumo mazuto deginimo.

9.3. Atvejo nagrinėjimo metodika

Pagrindinė Tauragės rajono šilumos ūkio problema yra aukštos centralizuotai tiekiamos šilumos kainos bei augančios nemokių šilumos vartotojų skolos. Kyla grėsmė, kad nuo šilumos tinklų atsijungs vis daugiau vartotojų, pasirinkę šiuo metu pigesnę individualų šildymo būdą. Šią problemą sąlygoja keletas faktorių: brangaus ir aplinką teršiančio kuro vartojimas, dideli nuostoliai tiekiant šilumą, neefektyvus šilumos vartojimas ir t.t. Nagrinėjamas vienas iš minėtos problemos sprendimo būdų – kogeneracijos įdiegimas šilumos gamyboje. Šios technologijos įrengimas yra ne tik galimas problemos sprendimo būdas, bet ir viena iš prioritetinių bei skatintinų šalies energetikos sektoriaus strategijos kryptių. Todėl nagrinėjamos kogeneracijos diegimo galimybės.

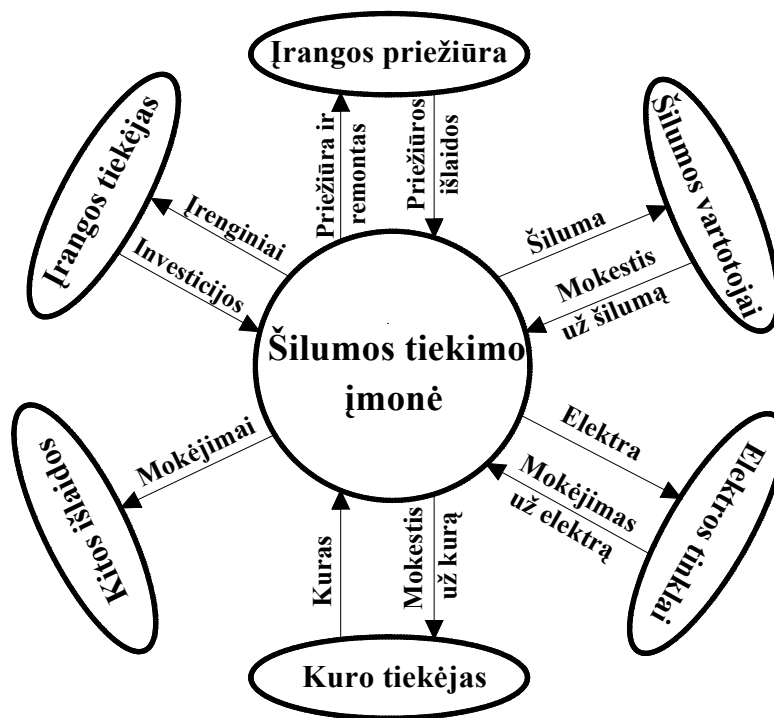
Gaminant vien tik šilumą katilinėje susidaro tokie srautai (32 pav.):



32 pav. Energijos, medžiagų ir pinigų srautai katilinėje kai gaminama tik šiluma

Schemoje matyti, kad vartotojams tiekiamo šilumos kaina priklauso nuo daugelio faktorių. Bendros šilumos gamybos įmonės išlaidos sudarytos iš daug dalių, tuo tarpu pajamas sudaro tik vartotojų atsiskaitymai už tiekiamą šilumą. Jei vartotojai yra nemokūs, susikaupia skolos šilumos gamintojams, o pastarieji negauna įplaukų už parduotą šilumą. Įrengus šiluminį variklį gaunamos įplaukos ne tik už tiekiamą šilumą, bet ir už elektrą, kurios gali būti naudojamos šilumos kainoms mažinti.

Įdiegus kogeneracinę technologiją šilumos gamybos įmonėje susidaro tokie srautai (33 pav.):



33 pav. Energijos, medžiagų ir pinigų srautai katilinėje kai diegiama kogeneracija

Vienas iš pagrindinių veiksnių, lemiančių potencialo mažinti šilumos kainas – pajamų už tiekiamą elektrą – dydį yra elektros kainos. Siekiama nustatyti, kokia turi būti elektros pardavimo kaina, kad pajamų užtektų sumažinti šilumos kainą vartotojams bei pagerinti šilumos ūkio padėtį rajone. Šilumos bei elektros kainų priklausomybė išreiškiama (12) formule:

$$K_S = \frac{I + L - E \cdot K_E}{S}. \quad (12)$$

Čia: I – investicijų išlaidos, Lt, K_S – šilumos kaina, Lt/MWh, L – gamybos bei eksploatacijos (pastovios bei kintamos) išlaidos, Lt, E – tiekiamas į elektros tinklus elektros kiekis, MWh, K_E – elektros kaina, Lt/MWh, S – vartotojams tiekiamos šilumos kiekis.

Kogeneracinės jėgainės įdiegimas sąlygoja ne tik papildomas pajamas už parduodamą elektrą, bet ir išlaidas investicijoms ir šios technologijos darbo priežiūrai bei aptarnavimui. Todėl nagrinėjami skirtingi šiluminių variklių tipai. Siekiama nustatyti labiausiai tinkančią konkrečiam atvejui technologiją bei optimalų variklio galingumą. Analizei pasirenkamos labiausiai paplitusios bei išsivysčiusios (ir todėl -

pigiausios) kogeneracinės technologijos. Vienas iš pagrindinių kogeneracinių technologijų vertinimo kriterijų šiame darbe – ne per didelės išlaidos investicijoms bei priežiūrai. Bent dalis pajamų už elektrą turi būti skiriama tiekiamos šilumos kainai sumažinti. Jei instaliuota elektrinė šiluminio variklio galia yra maža – nedidelės investicinės bei eksploatacinės išlaidos. Tačiau tuomet generuojamas elektros kiekis gali būti per mažas, kad gautos už elektrą pajamos įtakotų šilumos kainą vartotojams.

Analizuojant skirtingus variantus dėmesys kreipiamas ne tik į ekonominius rodiklius, bet ir į techninius energijos generavimo aspektus – vartojamo kuro rūšis bei kiekis, aplinkos tarša, bendras šilumos gamybos efektyvumas ir pan. Analizuojant techninius scenarijų rodiklius nustatomi labiausiai šalies energetikos strategiją bei prioritetines kryptis atitinkantys variantai. Ekonominiai rezultatai ne visada atspindi labiausiai viešuosius interesus atitinkančius sprendimus bei atnešamą naudą visuomenei, aplinkai bei ekonominiam šalies tvirtumui.

9.4. Naudojama kompiuterinė programa

Nagrinėjamo atvejo analizei naudojama programa „energyPRO“. Šia programa kuriami esamos energetinės sistemos situacijos bei nagrinėjamų scenarijų modeliai. „energyPRO“ – tai programa, skirta optimizuoti energijos gamybą įvairiose energetinėse sistemose [50].

Naudojant „energyPRO“ atliekama nagrinėjamų energetinių sistemų techninė bei ekonominė analizė. Todėl šioje programoje galimi trys moduliai:

PROJEKTAS – tai pagrindinis programos modulis, skirtas vienerių metų energijos gamybos planavimui bei analizei. Šiuo moduliui nustatomi pagrindiniai techniniai rodikliai, parenkamas optimalaus energetinės sistemos bei energijos gamybos variantas.

FINANSAI – tai energetinės sistemos finansinės analizės modulis. Šiuo moduliui skaičiuojami ilgo (iki 20 metų) planuojamo laikotarpio ekonominiai rodikliai. Tai įrankis investicijų ekonominiam įvykdymui įvertinti.

SĄSKAITOS – tai skaičiavimo modulis, pateikiantis smulkmenišką buhalterinę apskaitą. Šiame darbe šis modulis nenaudojamas.

Informacijos šaltiniai naudojant „energyPRO“ programą pavaizduoti 4 lentelėje:

4 lentelė. Informacijos šaltiniai „energyPRO“ programoje

Moduliai	Į programą įvedama informacija	„energyPRO“ gaunami rezultatai
PROJEKTAS	Duomenys apie energijos poreikius bei vartojimą; Informacija apie energijos gamybos įrenginius (katilus, elektros variklius ir kt.); Vartojamų energijos išteklių savybės; Einamosios eksploatacijos bei gamybos išlaidos. Duomenys apie pirkimus bei pardavimus.	Energijos poreikius bei vartojimą apibendrinanti informacija. Techniniai energijos gamybos duomenys. Pagrindiniai veiklos ekonominiai rodikliai.
FINANSAI	Pradinė informacija apie finansinę veiklą planuojamu laikotarpiu, bei pagrindiniai ją įtakojantys veiksniai.	Ekonominiai rodikliai, padedantys įvertinti investicijų ar kitos finansinės veiklos pagrįstumą.

Į programą įvedama informacija apie energijos poreikius – tai metinis suvartojamas energijos kiekis planuojamoje teritorijoje, dydžiai, paršantys šių poreikių dinamiką. Nagrinėjamu atveju – tai: Tauragės miesto metiniai šilumos poreikiai patalpų šildymui, standartinių metų kiekvienos dienos temperatūros, nulemiančios šilumos poreikių pasiskirstymą metų bėgyje, šilumos poreikiai karšto vandens ruošimui, karšto vandens vartojimo dinamika bei šilumos nuostoliai. Taip pat įvedami duomenys apie esamus bei planuojamus įrengti energetinius įrenginius: jų galingumai bei naudingumo koeficientai, įrenginyje vartojamo kuro rūšis. Informacija apie vartojamus energijos išteklius – tai kuro matavimo vienetai (m^3 , nm^3 , t ir pan.) bei kuro šiluminė vertė.

Planuojant energijos gamybą visiems metams yra nurodomi atskirų įrenginių neveikimo laikotarpiai (pvz.: apžiūrai ar remontui) bei jų įjungimo prioritentinė eilės tvarka. Energetinių įrenginių veikimo prioritetiškumo eilė dažniausiai nustatoma pagal įrenginių efektyvumą, naudojamą prioritetinę technologiją ar kurą ir pan. Įrenginiui, kuriam suteikiamas aukščiausias prioritetas suteikiama pirmenybė padengti energijos poreikius. Jei jame generuojamos energijos nepakanka, tuomet pradedamas antro pagal prioritetinę eilę įrenginio darbas.

Techniniai skaičiavimų rezultatai – tai pagamintos energijos kiekis, suvartoto kiekvienos kuro rūšies kiekis bei kuro pavidalu suteiktas energijos kiekis. Nustatytas atskirų energetinių įrenginių darbo valandų

skaičius per metus padeda nustatyti kurie įrenginiai veikia intensyviai, o kurie mažai ar visai neveikia. Taip pat gaunamas visų metų gamybos grafika – kada ir kokia dalis energetinės sistemos disponuojamos galios naudojama ir kurie energetiniai įrenginiai tuo metu veikia.

Ekonominiams energetinės sistemos veiklos rezultatams PROJEKTAS modulyje gauti nurodomos vartojamo kuro kainos, aplinkosauginiai mokesčiai, išlaidos kitoms gamybos žaliavoms (vandeniui ir pan.), įrenginių priežiūrai bei remontui bei pastovios energetinės sistemos gamybos išlaidos. Pagal tiekiamos vartotojams energijos kiekį bei nustatytas energijos kainas suskaičiuojamos pajamos. Pagal nurodytas išlaidas bei suskaičiuotas pajamas pateikiamos eksploatacijos išlaidos bei mėnesiniai grynujų srautai.

Skaičiavimams atlikti FINANSAI modulyje reikia įvesti išorines ekonomines sąlygas – infliaciją bei diskonto normą, nes dažniausiai skaičiuojamas ilgas planuojamas laikotarpis. Taip pat įvedami finansinės veiklos rodikliai – investicijos, finansavimas ir t.t. Nurodžius planuojamą periodą, gaunami rezultatai: investicijų atsipirkimo laikas, grynoji esamoji eksploatacijos įplaukų vertė per tą laikotarpį ir viso laikotarpio mėnesiniai grynujų srautai, kurie taip pat pavaizduojami grafiškai.

„energyPRO“ suteikia galimybę nustatyti ar nagrinėjama energetinė sistema yra efektyvi, ar apsimoka investuoti į skirtingas technologijas ir pan. Tačiau šia programa nėra galimybių nagrinėti kelis variantus vienu metu, programa neparenka optimaliausio investicijų varianto nei techniniu nei ekonominiu atžvilgiu – kiekvieną scenarijų reikia įvertinti atskirai. Todėl nagrinėjant daug scenarijų skaičiavimus reikia atlikti daug kartų, o tai užima daug laiko ir yra neefektyvu. Taip pat neįmanoma nustatyti, kokia turi būti tiekiamos energijos ar perkamo kuro kainos, kokios optimaliausios investicijų išlaidos ar pan. – tai darbe skaičiuojama kitomis priemonėmis. Taip yra, todėl, kad programa skirta komercinių projektų vertinimui, ar esamos situacijos optimizavimui. Tuo tarpu darbe analizuojama, kokią naudą investicijos į kogeneracines technologijas atneš šilumos vartotojams.

Taigi, programa „energyPRO“ analizuojami pasirinkti scenarijai šilumos kainoms mažinti. Gaunami rezultatai naudojami geriausiam nagrinėjamam variantui nustatyti bei išvadoms daryti.

9.5. Beržės katilinės aprašymas

Informacija apie Beržės katilinę gauta apsilankymo Tauragės šilumos tinklų įmonėje metu [26].

Beržės katilinė pasirinkta nagrinėti kogeneracijos diegimo galimybes mažuose Lietuvos rajonuose. Tai pagrindinė, apie 65 % centralizuotos šilumos Tauragės rajonui tiekianti katilinė.

Iki 2004 metų Beržės ir Tauragės katilinėse gaminama šiluma buvo tiekama Tauragės miesto vartotojams. Tačiau nuo 2004 metų Tauragės katilinės, kurioje šiluma buvo gaminama vartojant vien tik mazutą, veikimas nutrauktas. Šiuo metu miestui šiluma tiekama tik iš Beržės katilinės, kurioje nuo 2003 metų rugpjūčio mėnesio pradėtas vartoti vietinis kuras – įrengtas 9,5 MW medieną deginantis katilas. Iki šiol ir Beržės katilinėje šiluma buvo gaminama deginant vien tik mazutą. 2003 metais Tauragės miestui iš Beržės bei Tauragės katilinių buvo patiekta apie 63 GWh šilumos (esant skaičiuojamajai patalpų temperatūrai – 16 °C). Nuostoliai šilumos tiekimo tinkluose sudaro apie 25 %, taigi katilinėje buvo pagaminta apie 85 GWh šilumos. Energijos gamybai 2003 metais buvo suvartota apie 3 tūkst. tne (~ 20 %) medienos bei apie 9 tūkst. tne (~ 80 %) mazuto. 2003 metais vidutinis tarifas gyventojams bei kitiems vartotojams buvo 13,7 ct/kWh, 2004 metams nustatyta 133,4 Lt/MWh šilumos kaina [9].

Nagrinėjamoje Beržės katilinėje įrengti penki katilai (5 lentelė) kurių bendras galingumas sudaro 82 MW. Katilų darbą prižiūri 35 darbuotojai.

5 lentelė. Beržės katilinėje esančių katilų charakteristikos

Katilo tipas	Pagaminimo metai	Slėgis (atm)	Šiluminė galia (MW)	Naudingumas (%)	Gaminamas šilumnešis ir jo temperatūra, °C	Kuro rūšis	Darbo valandos 2003 metais (val.)
DKVR 20-13	1974	13	13,4	90	250 (garas)	mazutas	647
DKVR 20-13	1975	13	13,4	90	250 (garas)	mazutas	3372
DE 25-14 GM	1978	14	16,75	91	garas	mazutas	273
KVGM-50-150M	1991	25	29	60	150 (vanduo)	mazutas	1703
DEV 16-14GM	1991	13	9,5	85	150 (vanduo)	medžio atliekos	3601

Tik ~ 40 % katilų galingumo panaudojama šilumos poreikiams patenkinti. Iš duomenų lentelėje matyt, kad išnaudojamas ne visas šilumos gamybos potencialas – du iš penkių katilų veikia labai trumpai.

Beržės katilinės modelis tolimesniems skaičiavimams sukurtas programa „energyPRO“. Turimi duomenys tik apie 2003 metų Beržės bei Tauragės katilinių veikimą kartu, o medienos katilas pradėtas naudoti tik trečiame metų ketvirtyje. Esamai katilinės būklei įvertinti kuriami dirbtiniai metai, darant tokias prielaidas:

- ◆ Šiluma Tauragės vartotojams tiekama tik iš Beržės katilinės, Tauragės katilinė neveikia;
- ◆ Vartotojams tiekiamos šilumos kiekis šildomose patalpose užtikrina tik 16 °C, tačiau minimali norminė patalpų temperatūra – 18 °C. Todėl skaičiuojamasis šilumos kiekis perskaičiuojamas pagal normines sąlygas [27];
- ◆ Šilumos nuostoliai sudaro 25 % gaminamos šilumos;
- ◆ Mėnesinis šilumos poreikis karštam vandeniui ruošti lygus vasaros mėnesių šilumos poreikių vidurkiui. Laikoma, kad šis šilumos kiekis nekinta per visus metus;
- ◆ Pagal duomenis apie katilų darbo trukmę 2003 metais sudaroma prioritetinga katilų įjungimo eilės tvarka – pirmenybė teikiama daugiausiai valandų dirbusiems katilams.

Taigi dirbtiniais metais šilumos poreikis šildymui sudaro 57959 MWh, o karšto vandens ruošimui suvartojama 15300 MWh. Nuostoliams tiekimo tinkluose padengti suvartota 10537 MWh. Iš viso katilinėje pagaminta 93769 MWh, o didžiausia šiluminė apkrova yra 39 MW (2 priedas). Dirbtiniais metais apie 57 GWh (~ 60 %) šilumos pagaminta medienos katile, likę 37 GWh (~ 40 %) – deginant mazutą. Iš viso suvartota apie 110 GWh kuro.

9.6. Nagrinėtinų variantų apibūdinimas

Vienas iš galimų aukštų šilumos kainų problemos sprendimo būdų – kogeneracijos diegimas. Tai ypač efektyvus šilumos ir elektros generavimo būdas. Tikimasi, kad įplaukos už parduodamą elektros energiją sumažins vartotojams tiekiamos šilumos savikainą. Taigi nagrinėjamos galimybės įrengti šiluminį variklį Beržės katilinėje.

Kogeneracijos diegimo galimybėms įvertinti bei jos įtakai tiekiamos šilumos kainai nustatyti nagrinėjama keletas skirtingų technologijų. Siekiant nustatyti optimalią kiekvienos diegiamos technologijos galią, nagrinėjami skirtingų galingumų šiluminiai varikliai (6 lentelė).

6 lentelė. Nagrinėjami Beržės katilinės scenarijai

Scenarijus	Galia, MWe	Technologija	Kuras	Papildoma technologija
GT 1,0	1,0	Garų turbina	Medienos atliekos	-
DT 1,0		Dujų turbina	Generatorinės dujos	Medžio skiedrų dujofikatorius
VDV 1,0		Vidaus degimo variklis		
GT 1,5	1,5	Garų turbina	Medienos atliekos	-
DT 1,5		Dujų turbina	Generatorinės dujos	Medžio skiedrų dujofikatorius
VDV 1,5		Vidaus degimo variklis		
GT 2,0	2,0	Garų turbina	Medienos atliekos	-
DT 2,0		Dujų turbina	Generatorinės dujos	Medžio skiedrų dujofikatorius
VDV 2,0		Vidaus degimo variklis		
GT 2,5	2,5	Garų turbina	Medienos atliekos	-
DT 2,5		Dujų turbina	Generatorinės dujos	Medžio skiedrų dujofikatorius
VDV 2,5		Vidaus degimo variklis		

Nagrinėjamos trys labiausiai išsivysčiusios bei paplitusios kogeneracinės technologijos (7 lentelė) [51].

7 lentelė. Nagrinėjamų kogeneracinių technologijų charakteristikos

Rodiklis	Garų turbina	Dujų turbina	Vidaus degimo variklis	Medienos dujofikatorius
Bendras efektyvumas, %	85	90	90	83 (90)*
Elektrinis efektyvumas, %	15	30	40	-
Gaminamos šilumos ir elektros santykis	4,6 : 1	2: 1	1,25 : 1	-
Gyvavimo laikas, metai	25	20	20	18
Pastabos	lėtas, brangus paleidimas	aukšti reikalavimai vartojamo kuro švarumui	reikalinga intensyvi priežiūra, aptarnavimas	brangi eksploatacija - reikalingas intensyvus generuojamų dujų valymas

*efektyvumas lygus 83 %, kai galia tarp 0,2-5 MW_{kuro}; 90% - kai galia tarp 2-50 MW_{kuro}

Garų turbina siūloma, nes garų ruošimo katile galima vartoti tiek skystą, tiek dujinį ar kietą kurą – tai svarbu, kai ne visos kuro rūšys prieinamos. Šio tipo šiluminiame variklyje gaminama didelė dalis šilumos gali iš dalies atstoti gamybą mazuto katiluose. Tačiau dujų turbinos bei vidaus degimo variklio paleidimas

yra žymiai greitesnis nei garo turbinos. Dėl šios priežasties pastarosios technologijos yra patrauklesnės. Taip pat jose gaminama didesnė elektros energijos nei garo turbinoje, kurią pardavus gaunamos didesnės įplaukos, naudojamos šilumos kainai vartotojams sumažinti.

Visuose nagrinėjamuose variantuose vartojamas kuras – mediena (medžio skiedros arba atliekos). Kadangi Tauragės rajone dujų tiekimo infrastruktūros nėra, šiame rajone prieinamas įvežtinis kuras – mazutas, bei vietiniai energijos ištekliai – mediena, durpės, žemės ūkio atliekos (pvz.: šiaudai) ir t.t. Šiame darbe pasirinktas kuras – mediena, todėl, kad tai vietinis ir atsinaujinantis kuras – prioritetinis kuras Lietuvos energetikos strategijoje. Medienos vartojimas turi nemažai privalumų: mažėja įvežtinio kuro dalis energijos balanse (didėja energijos tiekimo saugumas), kuriamos papildomos darbo vietos, sąlygojamas vidaus produkto augimas ir t.t. Tauragės rajone yra dideli medienos ištekliai – tai nesunkiai prieinamas kuras šiame rajone. I garo turbiną tiekiamas garas ruošiamas katile, kuriame galima vartoti bet kokį kurą, taigi, ir medienos atliekas. Dujų turbinoje bei vidaus degimo variklyje galima vartoti tik dujas bei skystą kurą, tačiau skystas kuras turi būti labai švarus, be priemaišų, todėl mazutas netinka. Taigi dujos, vartojamos vidaus degimo variklyje bei dujų turbinoje, gaminamos iš medžio skiedrų. Todėl pastarosioms dviem technologijoms reikalinga papildomas – medienos dujofikavimo – įrenginys. Medžio skiedros dujų generavimui turi būti vienodo, tam tikro dydžio, be priemaišų. Garo turbinos katile galima deginti bet kokios frakcijos kurą, tinka ir medienos atliekos su priemaišom (spygliais ir pan.). Todėl medienos dujofikatoriuje numatoma vartoti švarias, be priemaišų, tam tikro dydžio medžio skiedras, o garo turbinoje – medienos perdirbimo bei miško tvarkymo atliekas.

Aprašytiems variantams nagrinėti padarytos tokios prielaidos:

- ◆ Šiluminiais varikliais dalinė apkrova neleidžiama, nes esant dalinei apkrovai labai sumažėja jų efektyvumas. Katilams dalinė pakrova leidžiama;
- ◆ Kiekvienais metais, vasarą, šiluminiam varikliui bei katilams apžiūros bei profilaktinio remonto savaitė;
- ◆ Į dujofikatorių tiekiamų medžio skiedrų drėgnumas neviršija 25 %, o dalelių dydis yra apie 20-100 mm [48];

- ♦ Esant šilumos poreikiui pirmenybė šilumos gamybai teikiama šiluminiam varikliui, po jo darbą pradeda medieną deginantis katilas ir tik po to, yra įjungiami mazuto katilai;
- ♦ Dalis šiluminiame variklyje gaminamos elektros suvartojama savoms katilinės reikmėms.

9.7. Ekonominių skaičiavimų metodika ir prielaidos

Nagrinėjant skirtingų kogeneracinių technologijų įdiegimo Beržės katilinėje pagrįstumą bei siekiant nustatyti elektros kainų įtaką šilumos kainoms, darbe skaičiuojami ekonominiai scenarijų rodikliai. Skaičiuojant šiuos rodiklius daromos tokios prielaidos:

- ♦ Planavimo ir scenarijų nagrinėjimo laikotarpis – 15 metų;
- ♦ Investicinės išlaidos į kogeneracines bei medžio dujifikavimo technologijas lygios šių technologijų kainoms Danijoje 2000 metais [51];
- ♦ Kadangi šiuo metu katilinėje instaliuota šiluminė galia dvigubai viršija katilinės apkrovimą, 2 katilai yra nenaudojami. Todėl laikoma, kad beveik visos diegiamų technologijų eksploatacinės išlaidos bus padengiamos šių dviejų katilų priežiūrai skirtomis lėšomis. Aptarnavimo išlaidos padidėja 0,5 % nuo investicijų į įrengimus;
- ♦ Garo turbinoje bei medienos katile vartojamos medienos atliekos, kurių kaina yra 103 Lt/t. Tuo tarpu medienos dujifikatoriuje vartojamos medžio skiedros, kainuojančios 135,6 Lt/t [26] (kaina, lygi eksportuojamų medžio skiedrų kainai);
- ♦ Mazuto kaina lygi kainai, kurią 2003 metais mokėjo Tauragės šilumos tinklai – 513 Lt/t [26];
- ♦ Kasmetinė infliacija nagrinėjamu laikotarpiu lygi 1,2 %;
- ♦ Laikoma, kad palūkanų norma šalyje lygi 5 %.

Pagrindinis kriterijus vertinant nagrinėjamus scenarijus – atskiro investicijų varianto *grynoji esamoji vertė* (GEV). Skaičiuojant GEV yra įvertinamas pinigų vertės mažėjimas laikui bėgant.

Pinigų vertės mažėjimo intensyvumas yra įvertinamas *diskontu*, kuris skaičiuojamas pagal (13) formulę [28]:

$$d = \frac{1+p}{1+i} - 1. \quad (13)$$

Čia: d – diskontas, %; p – palūkanų norma, %; i – infliacija, %.

Taigi, nagrinėjamu atveju diskontas yra lygus:

$$d = \frac{1+6}{1+1,2} - 1 = 4,7 \approx 5,0 \text{ \%}.$$

Visų planuojamo laikotarpio pajamų bei išlaidų esamoji vertė skaičiuojama naudojantis (14) formule [52]:

$$EV = KM \cdot \frac{(1-(1+d)^n)}{d}. \quad (14)$$

Čia: VE – kasmetinių mokėjimų esamoji vertė, Lt; KM – kasmetiniai mokėjimai, Lt.

Darbe nagrinėjama elektros kainų įtaka atskirų variantų GEV. Analizuojamų scenarijų grynoji esamoji vertė skaičiuojama pagal (15) formulę:

$$GEV = (E \cdot K_E + S \cdot K_S) \cdot \frac{(1-(1+d)^n)}{d} - I - L \cdot \frac{(1-(1+d)^n)}{d}. \quad (15)$$

Čia: I – investicijų išlaidos, Lt; K_S – šilumos kaina, Lt/MWh; L – gamybos bei eksploatacijos (pastovios bei kintamos) išlaidos, Lt; E – tiekiamas į elektros tinklus elektros kiekis, MWh; K_E – elektros kaina, Lt/MWh; S – vartotojams tiekiamos šilumos kiekis.

Investicijos laikomos ekonomiškai pagrįstos, kai planuojamo laikotarpio pajamų bei išlaidų grynoji esamoji vertė yra teigiama ($GEV \geq 0$). Skaičiuojant į elektros tinklus tiekiamos elektros energijos kainos įtaką šilumos kainos mažėjimui laikoma, kad nagrinėjamo varianto grynoji esamoji vertė lygi nuliui, t.y. visa investicijos teikiama nauda skiriama šilumos kainoms mažinti.

9.8. Rezultatai

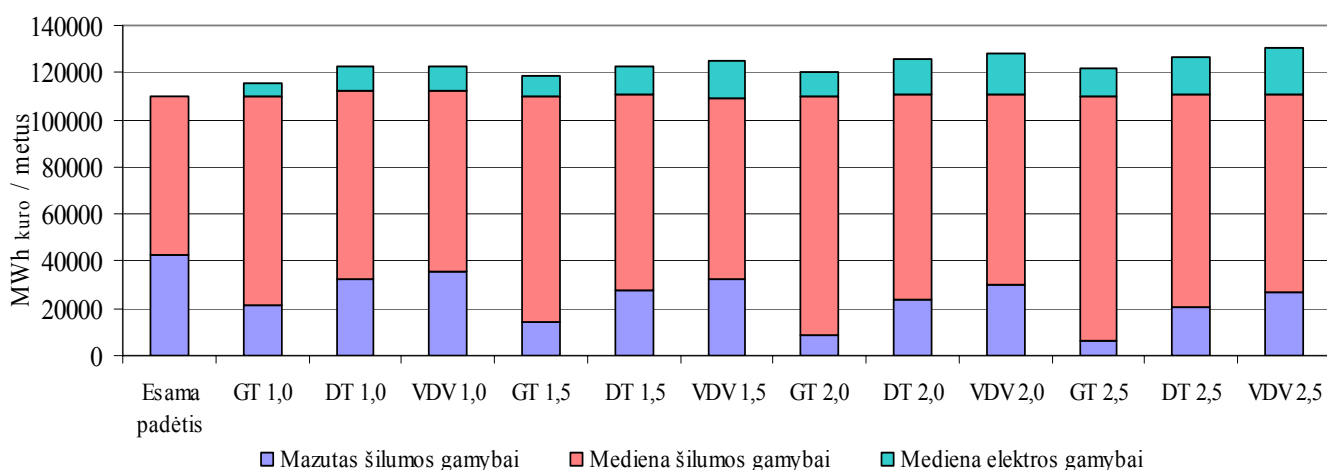
Kiekviena energetinė sistema turi atitikti tvarios energetikos plėtros principą: energijos gamyba ir vartojimas turi užtikrinti ilgalaikius žmonijos plėtros tikslus visais socialiniais, ekonominiais ir aplinkosauginiais aspektais. Tai reiškia, kad diegiamos technologijos turi būti ekonomiškai pagrįstos, turi užtikrinti energijos tiekimą visiems vartotojams, darant kiek galima mažesnę įtaką aplinkai. Todėl nagrinėjant kogeneracijos diegimo galimybę Tauragės šilumos tinklų Beržės katilinėje analizuojami techniniai bei ekonominiai kiekvieno varianto rodikliai.

9.8.1. Techniniai rezultatai

Ekonominiai scenarijų rodikliai ne visada įvertina įvairių technologijų bei vartojamo kuro rūšių atnešamą naudą visuomenei bei valstybės gerovei. Todėl analizuojant skaičiavimų rezultatus buvo nagrinėjamas gaminamos energijos kiekis, gamybos efektyvumas, kuro suvartojimas energijos gamyboje, kiekvieno scenarijaus daroma įtaka aplinkai ir t.t.

Pagrindiniai nagrinėjamų variantų techniniai rodikliai pateikti 3 priede.

Visuose nagrinėjamuose kogeneracijos technologijų diegimo scenarijuose numatomas vartoti kuras – mediena. Šalies energetikos strategijoje mediena yra prioritetinis kuras. Šiuo metu Beržės katilinėje apie 60 % vartojamo kuro sudaro medienos atliekos, kita dalis – mazutas. 34 paveiksle matyti, kad įdiegus kogeneraciją, išauga medienos dalis šilumos gamyboje bei mažėja suvartojamo mazuto kiekis:



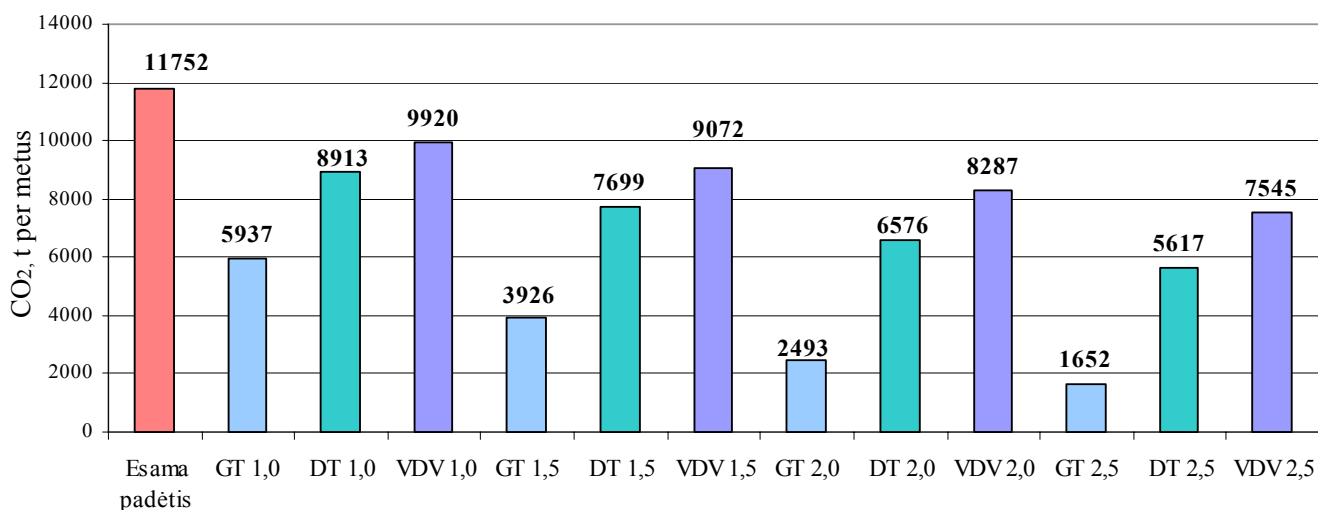
34 pav. Kuro suvartojimas nagrinėjamuose scenarijuose

Didžiausia medienos dalis šilumos gamyboje vartojama naudojant garo turbinos technologiją. Garo turbinoje gaminamos šilumos kiekis 2-3 kartus viršija šilumos gamybą to paties elektros galingumo dujų turbinoje ar vidaus degimo variklyje. Taip pat kuo didesnės galios šiluminiai varikliai, tuo daugiau šilumos vartojant medieną juose pagaminama. Todėl medienos dalis šilumos gamyboje naudojant garo turbiną padidėja iki ~ 95 % (esant 2,5 MWe), tuo tarpu naudojant tos pačios galios dujų turbiną medienos kiekis sudaro ~ 80 %, o vidaus degimo variklį - ~ 75 %. Kuro rūšies vartojimo atžvilgiu palankiausias GT 2,5 scenarijus.

Taip pat matyti, kad įdiegus kogeneraciją šilumai gaminti suvartojama šiek tiek daugiau kuro. Labiausiai kuro vartojamas išauga 2 % - 1,0 MWe galios vidaus degimo variklyje (GT 1,0 scenarijus). Šilumos gamybos efektyvumas šiluminiame variklyje yra mažesnis, nei vidutinis katilų efektyvumas. Taip yra, todėl, kad dalis kuro energijos prarandama ruošiant generatorines dujas, o vėliau ir kogeneraciniame įrenginyje.

Suvartojus 1 t mazuto į aplinką išmetama 3,1 t CO₂ dujų, tuo tarpu laikoma, kad deginant medieną nesusidaro aplinkai kenkiančių šių dujų [29]. Taip yra, todėl, kad augalai dalyvauja taip vadinamame anglies dvideginio cikle. Deginant medieną susidaro toks pat CO₂ kiekis, kokį augantys medžiai suvartoja fotosintezės metu. Nors medienos paruošimui bei transportavimui suvartojama energija lemia anglies dvideginio išmetimą į aplinką, tačiau šis kiekis nėra didelis.

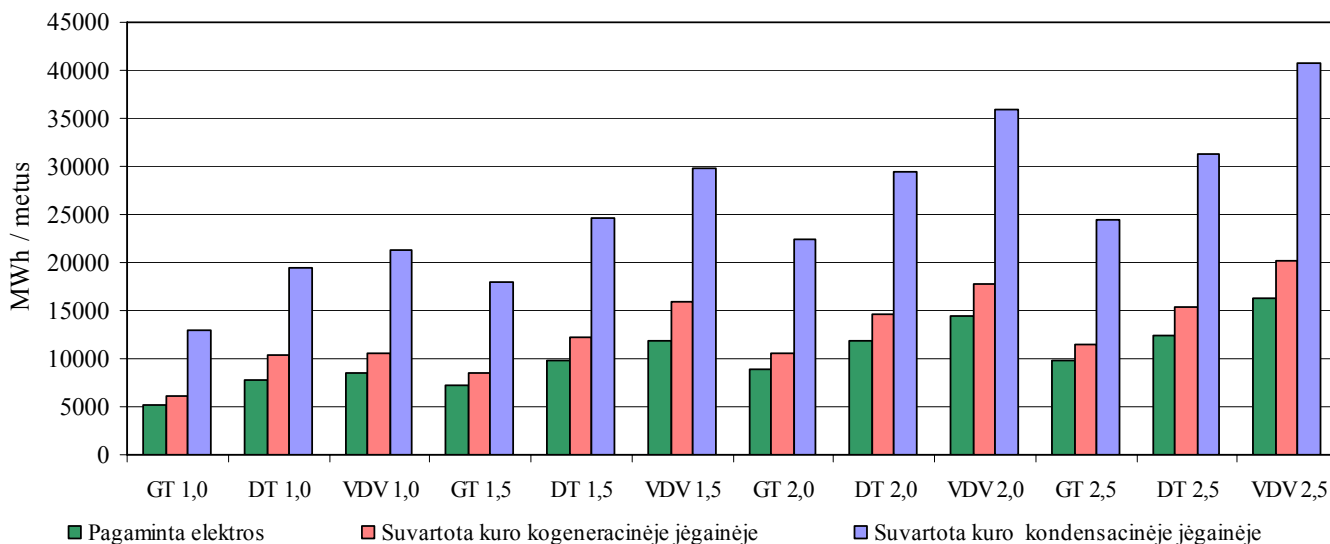
Nagrinėjamų variantų išmetamų CO₂ dujų kiekio analizė pateikiama 35 paveiksle:



35 pav. Išmetami CO₂ dujų kiekiai nagrinėjamuose scenarijuose

Pateiktame grafike matyti, kad į aplinką išmetamo anglies dioksido kiekis skirtinguose Beržės katilinėje tuo mažesnis, kuo didesnė medienos dalis šilumos gamyboje, t.y., kuo daugiau medienos vartojama vietoj mazuto. Išmetamų CO₂ dujų kiekis visuose nagrinėjamuose variantuose yra mažesnis, nei esamoje situacijoje. Tačiau patraukliausia šiuo atžvilgiu garo turbinos technologija. Naudojant šį šiluminį variklį su degimo produktais šalinamo anglies dvideginio kiekis sumažėja nuo 50 % (esant 1,0 MWe) iki 86 % (esant 2,5 MWe). Tuo tarpu naudojant vidaus degimo variklį CO₂ kiekis sumažėja atitinkamai tik nuo 16 % iki 36 %. Taip pat akivaizdu, kad kuo didesnė kogeneracinių įrenginių galia, tuo išmetamo anglies dvideginio kiekis mažesnis.

Kogeneracinėse jėgainėse gaminama elektra pirmiausiai naudojama saviems poreikiams patenkinti. Likęs energijos kiekis tiekiamas į elektros tinklus – parduodamas. 36 paveiksle pavaizduotas kiekvienu nagrinėjamu variantu gaminamas elektros kiekis, gamybai suvartojama kuro energija, bei kuro energijos kiekis kuris būtų suvartojamas, jei tas pats energijos kiekis būtų gaminamas kondensacinėje jėgainėje. Laikoma, kad visų trijų tipų šiluminių variklių efektyvumas, kai atliekinė šiluma šalinama į aplinką yra 40 %.

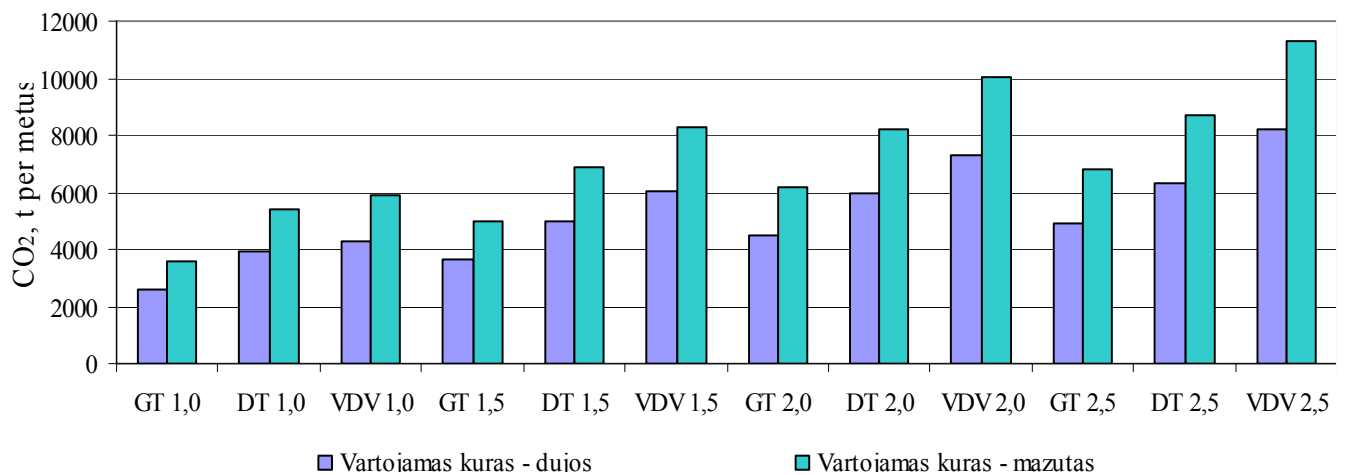


36 pav. Elektros gamybos efektyvumas kogeneracinėje bei kondensacinėje jėgainėse

Elektros gamyba kogeneraciniu ciklu veikiančiuose šiluminiuose varikliuose yra žymiai efektyvesnė nei kondensacinėse jėgainėse. 36 paveiksle pavaizduotas kogeneraciniame įrenginyje elektros gamybai suvartota tik dalis bendro šiame įrenginyje suvartoto energijos kiekio. Likusi kuro dalis priskiriama

šilumos gamybai šiluminiame variklyje. Tuo tarpu, kondensacinėse jėgainėse visas suvartotas kuras priskiriamas tik elektros gamybai. Todėl pastarojo tipo jėgainėse suvartojama apie 50 % daugiau kuro energijos nei kogeneracinėse. Gaminant grafike pavaizduotą elektros kiekį kogeneracinėje jėgainėje, įrengtoje Beržės katilinėje, šis elektros kiekis negaminamas kitose, pavyzdžiui kondensacinėse elektrinėse. Pastarosiose dažniausiai vartojamas įvežtinis kuras – mazutas ar dujos, taigi sutaupomas atitinkamas įvežtinio kuro kiekis.

Kaip jau buvo minėta vartojant medieną neišmetama aplinkai kenkiančių CO₂ dujų, tačiau vartojant mazutą arba dujas, į atmosferą išmetamas tam tikras šių dujų kiekis. 37 paveiksle pavaizduotas anglies dvideginio kiekis, kuris nepatenka į aplinką gaminant elektrą kogeneraciniu ciklu vietoj kondensacinio.



37 pav. CO₂ dujų „sutaupymai“ pagal scenarijuose gaminamos elektros kiekį

Grafike matyti, kad gaminant tą patį elektros kiekį daugiau CO₂ išskiriama vartojant mazutą. Kuo didesnis kogeneracinėje jėgainėje gaminamos elektros kiekis, tuo daugiau įvežtinio kuro „sutaupoma“, bei tuo daugiau CO₂ nešalinama į aplinką. Tarp tos pačios galios kogeneracinių įrenginių daugiausiai elektros energijos per metus pagaminama vidaus degimo variklyje, mažiausiai – garo turbinoje. Taigi, pagal šį rodiklį geriausias scenarijus yra VDV 2,5: pagaminama 16295 MWh elektros, „sutaupoma“ 1468 tūkst. nm³ gamtinių dujų (1455 t mazuto), neišmetama į aplinką 8229 t anglies dvideginio deginant dujas (11325 t CO₂ vartojant mazutą).

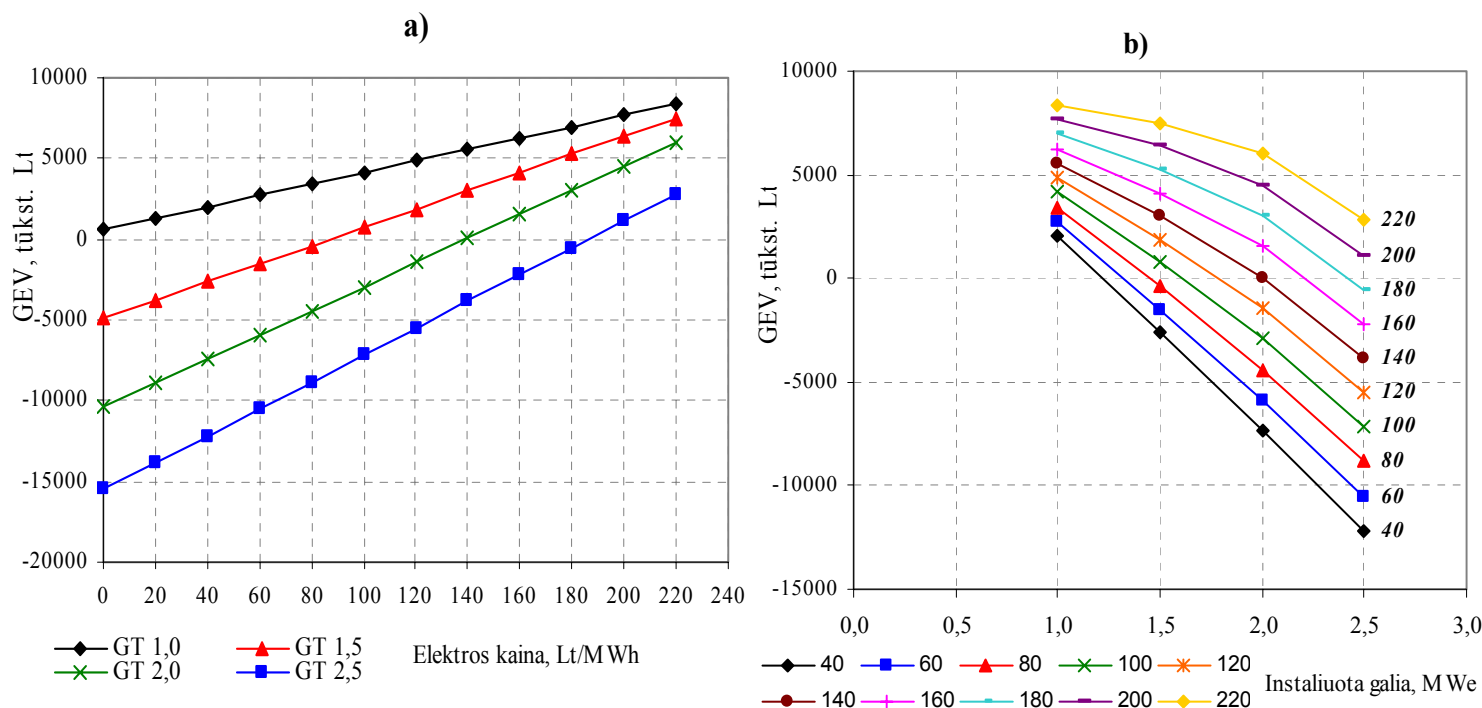
Taigi, neatsižvelgiant į ekonominius rodiklius medieną vartojančių kogeneracinių technologijų įdiegimas Beržės katilinėje turi nemažai privalumų – tai vietinio kuro vartojimas, įvežtinio kuro vartojimo

bei CO₂ emisijų mažinimas. Šie privalumai atitinka visuomenės bei valstybės interesus: aplinkos taršos mažėjimas, papildomų darbo vietų kūrimas provincijoje, bendro vidaus produkto didinimas, pirminės energijos importo mažinimas, energijos tiekimo saugumo didinimas ir kt. Tačiau minėti privalumai ne visada atspindi ekonominiuose rodikliuose ir daug privalumų turinčios technologijos būna ekonomiškai neįmanomos.

9.8.2. Ekonominiai rezultatai

Nagrinėjamos kogeneracinės bei dujofikavimo technologijos turi daug privalumų kuro vartojimo, aplinkosaugos, energijos tiekimo saugumo ir kitais atžvilgiais. Tačiau diegiamos technologijos turi būti ne tik techniškai efektyvios, bet ir ekonomiškai pagrįstos. Todėl analizuojamas siūlomų scenarijų ekonominis pagrįstumas bei investicijų į kogeneracines technologijas atnešama ekonominė nauda.

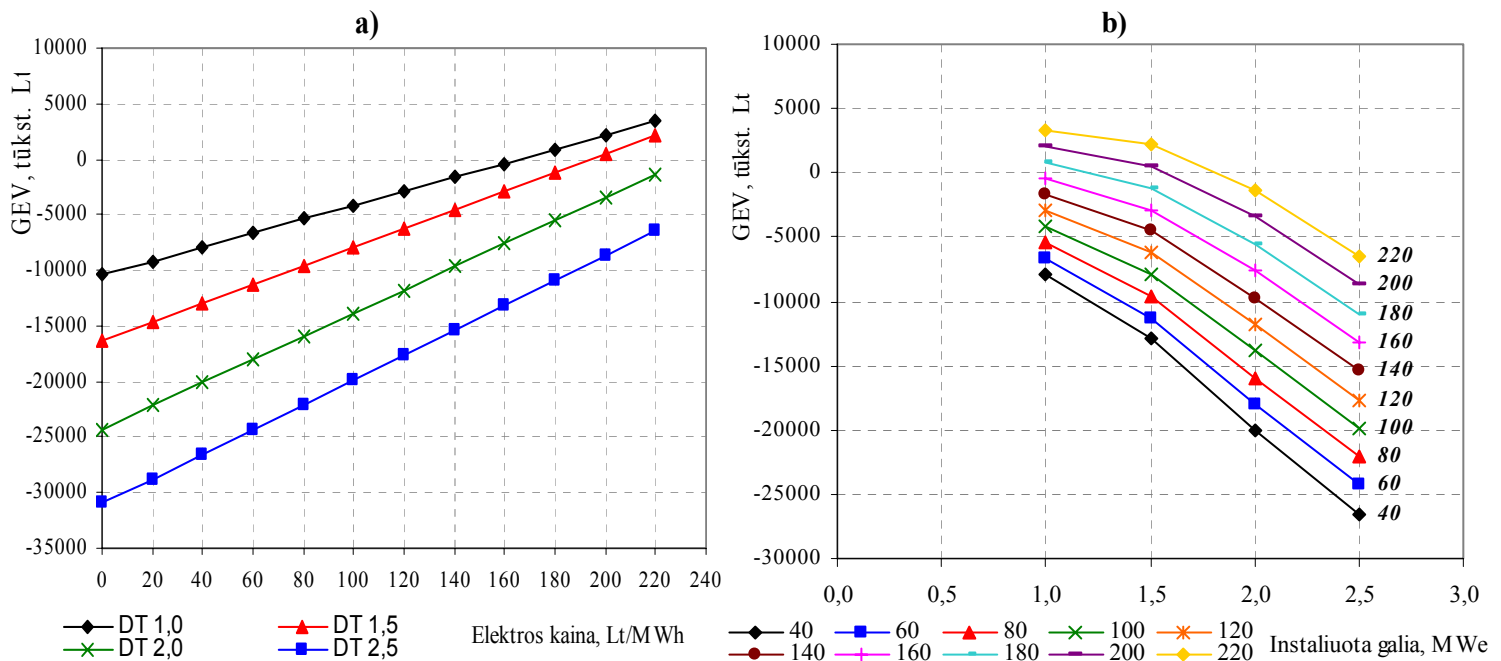
Investicijų į skirtingų galingumų garo turbiną grynosios esamosios vertės po 15 metų priklausomybė nuo parduodamos elektros kainų pateikta 38 paveiksle (a ir b). Grafikuose vaizduojami duomenys pateikti 4 priede. Matyti, kad pelningiausias yra GT 1,0 scenarijus – net elektros kainai esant lygiai nuliui investicija atsiperka anksčiau nei per 15 metų. Tai scenarijus, kai įrengiama mažiausios nagrinėjamos galios (1 MWe) garo turbina. Didėjant garo turbinos galiai, grynoji esamoji vertė mažėja. Investicijos į 1,5 MWe, 2,0 MWe bei 2,5 MWe atsiperka elektros pardavimo kainai esant atitinkamai 87 Lt/MWh, 139 Lt/MWh ir 186 Lt/MWh. Taip yra, todėl, kad didėjant instaliuotai galiai, didėja investicinės bei eksploatacinės išlaidos, o didesnis parduodamos energijos kiekis neužtikrina žymiai didesnių pajamų. Didėjant elektros kainai, pajamos už elektrą didėja ir skirtumas tarp scenarijų GEV mažėja.



38 pav. Investicijų į garo turbinos scenarijus grynosios esamosios vertės priklausomybė nuo elektros kainų – a; optimali garo turbinos galia kai esant skirtingoms elektros kainoms (nuo 40 iki 220 Lt/MWh) – b

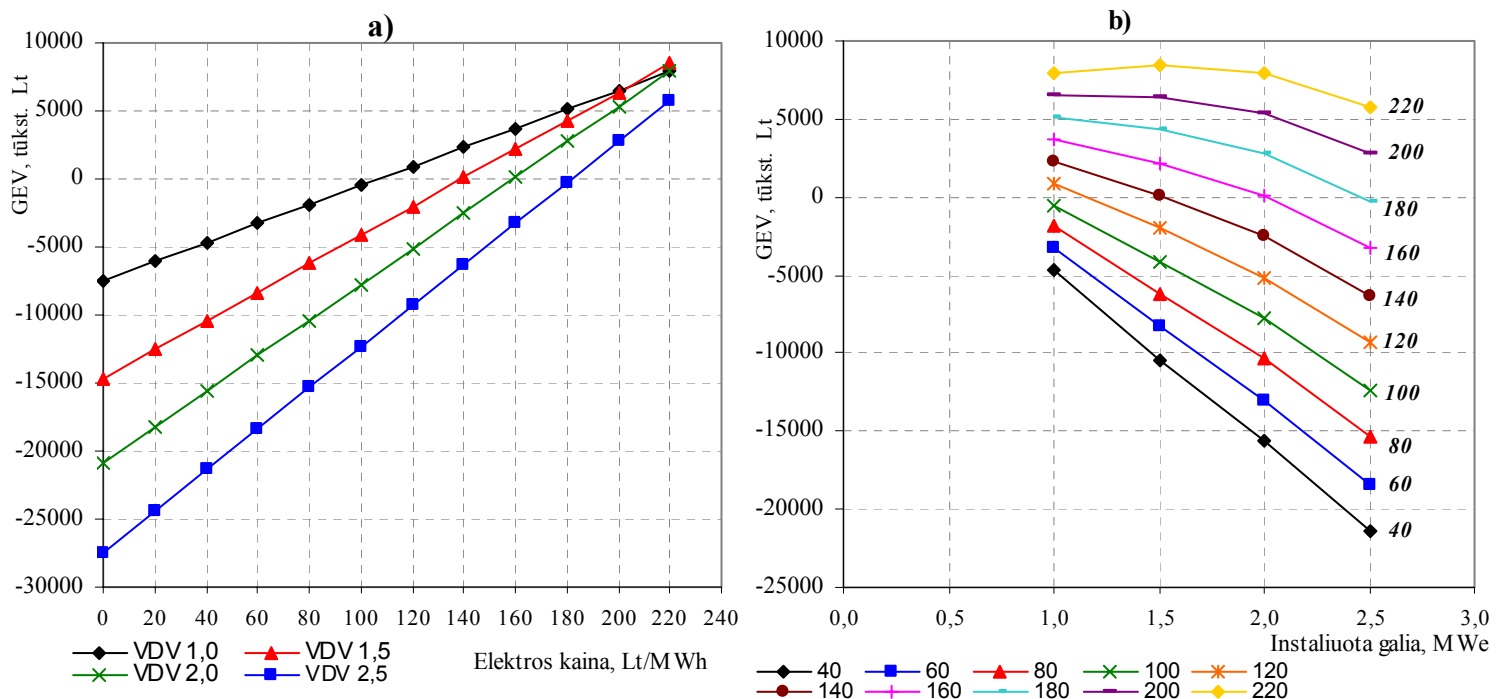
Garų turbina yra brangiausia tarp nagrinėjamų šiluminių variklių. Tačiau nagrinėjamuose variantuose kartu su dujų turbina bei vidaus degimo varikliu įrengiamas medienos dujofikatorius. Biomasės dujofikavimas – tai vis dar besivystanti technologija, kuri naudojama tik tuomet, kai neprieinamas skystas ar dujinis kuras. Šios technologijos investicinės bei priežiūros išlaidos yra didelės. Todėl bendros vidaus degimo variklio bei dujų turbinos scenarijų išlaidos didesnės nei garo turbinos.

Dujų turbinos scenarijų GEV kitimo pobūdis kintant elektros kainoms yra toks pat kaip ir garo turbinos. Duomenys, pagal kuriuos braižyti grafikai pateikti 5 priede. Tačiau šie scenarijai yra mažiau pelningi, nors gaminamos elektros kiekis yra didesnis nei garo turbinoje. 39 paveiksle matyti, kad, elektros kainoms kintant nuo 0 iki 220 Lt/MWh, investicijos pelningos tik į 1,0 bei 1,5 MWe galios dujų turbiną (bei medienos dujofikatorių). Scenarijaus DT 1,0 investicija atsiperka, kai elektros kaina yra lygi 166 Lt/MWh, o scenarijaus DT 1,5 – kai ši kaina pasiekia 194 Lt/MWh. Taigi, investicijos į didesnės nei 1,5 - 1,7 MWe galios turbiną nagrinėjamu atveju yra ekonomiškai nepagrįstos.



39 pav. Investicijų į dujų turbinos scenarijus grynosios esamosios vertės priklausomybė nuo elektros kainų – a; optimali garo turbinos galia kai esant skirtingoms elektros kainoms (nuo 40 iki 220 Lt/MWh) – b

Investicijų į įvairios galios vidaus degimo variklius grynosios esamosios vertės priklausomybė nuo elektros kainų pavaizduota 40 paveiksle. Jame vaizduojami duomenys pateikti 6 priede.



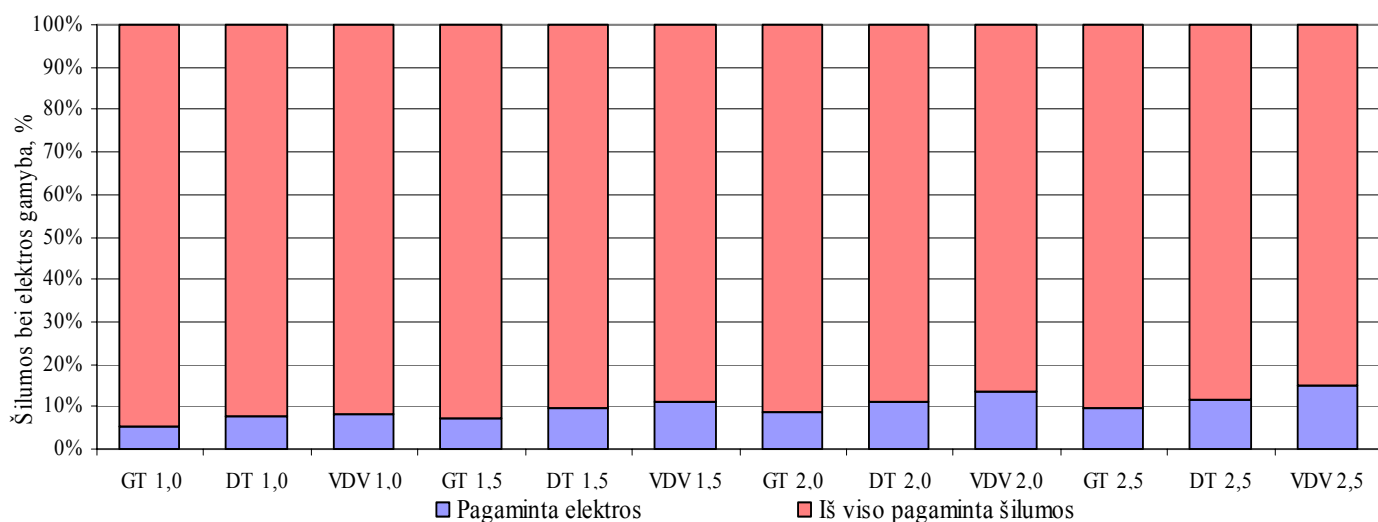
40 pav. Investicijų į vidaus degimo variklio scenarijus grynosios esamosios vertės priklausomybė nuo elektros kainų – a; optimali garo turbinos galia kai esant skirtingoms elektros kainoms (nuo 40 iki 220 Lt/MWh) – b

Matyti, kad kylant elektros kainai skirtumas tarp atskirų vidaus degimo variklio scenarijų GEV mažėja žymiai sparčiau nei kituose scenarijuose. Galingumams esant didesniems nei 1,5 MWe, o elektros kainoms aukštesnėms nei >180 Lt/MWh, vidaus degimo variklis tampa pelningiausia iš nagrinėjamų technologijų. Taip yra, todėl, kad šio tipo šiluminiame variklyje generuojamas elektros kiekis yra didžiausias. Didelis generuojamos elektros kiekis lemia ir tai, kad VDV1,5 bei VDV 2,0 scenarijų grynosios esamosios vertės yra didesnės, nei mažesnės galios (ir pigesnio) VDV 1,0 scenarijaus. Tačiau pastarojo scenarijaus investicijos atsiperka esant mažiausiai, 107 Lt/MWh kainai. Investicijos į 1,5 MWe, 2,0 MWe bei 2,5 MWe atsiperka elektros kainai esant atitinkamai 139 Lt/MWh, 159 Lt/MWh bei 187 Lt/MWh.

Taigi, elektros kainai esant apytiksliai lygiai iš kogeneracinių elektrinių šiuo metu superkamos elektros kainai (~100 Lt/MWh) ekonomiškai pagrįsti tik trys iš nagrinėjamų scenarijų – GT 1,0, GT 1,5 bei VDV 1,0. Tačiau elektra pagaminta naudojant biokurą superkama už 200 Lt/MWh. Tuomet ekonomiškai pasiteisina investicijos į visų nagrinėjamų galingumų garo turbiną ir vidaus degimo variklį, bei į 1,0 ir 1,5 MWe galios dujų turbiną.

Šiuo metu didelė dalis energijos iš kogeneracijos gaminama didiesiems miestams (Vilniui, Kaunui, Panevėžiui ir kt.) šilumą tiekiančiose jėgainėse. Šilumos kaina mažiausia taip pat didžiuosiuose miestuose, tuo tarpu, kai Lietuvos rajonuose auga vartotojų skolos už šilumą. Vidutinė šilumos tiekimo įmonių parduodamos energijos kaina 2003 metais buvo 115 Lt/MWh [9]. Tačiau daugelyje Lietuvos rajonų ši kaina žymiai didesnė už vidurkį visoje šalyje – vidutinė šilumos kaina rajonuose – 130,2 Lt/MWh. Šiuo metu Valstybinės kainų ir energetikos kontrolės komisijos nustatyta šilumos kaina Tauragės šilumos tinklų įmonei – 133,4 Lt/MWh [9]. Todėl vienas iš pagrindinių kogeneracijos diegimo Tauragės šilumos tinklų katilinėje tikslų – galimybė sumažinti šilumos kainas. Technologija, kurios investicijos atsiperka esant mažiausiai elektros kainai turi didžiausią potencialą šilumos kainai mažinti. Tai 1,0 MWe bei 1,5 MWe garo turbina bei 1,0 MWe vidaus degimo variklis. Tačiau, jei šiluminiame variklyje gaminamos elektros kiekis yra mažas, palyginus su generuojamos šilumos kiekiu, šilumos kainos gali būti nejautrios elektros kainų kitimui.

41 paveiksle matyti, kad šiluminiuose varikliuose gaminamos elektros kiekis vidutiniškai sudaro apie 10 % visos katilinėje gaminamos energijos. Daugiausiai elektros generuojama vidaus degimo variklyje (lyginant vienodos galios technologijas). Todėl VDV scenarijų parduodamos elektros kainos turėtų labiausiai įtakoti elektros kainas.

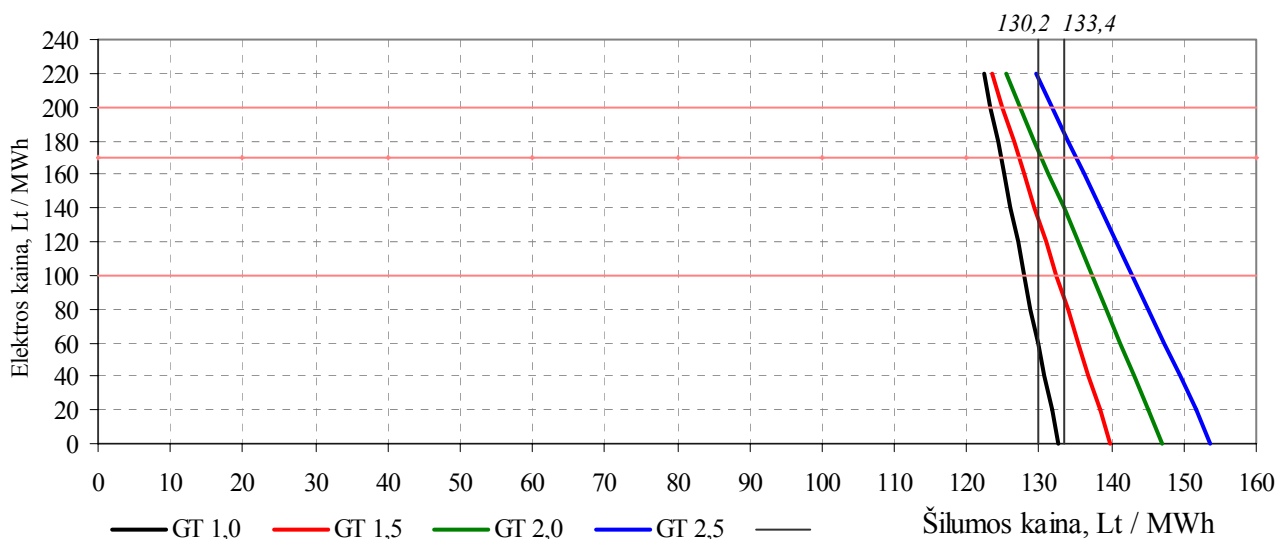


41 pav. Nagrinėjamuose scenarijuose gaminamos šilumos bei elektros dalis

Analizuojant šilumos kainų pokytį, įdiegus kogeneraciją, buvo nustatyti trys pagrindiniai elektros kainų lygiai:

- ♦ Vidutinė elektros kaina, nustatyta kogeneraciniu ciklu veikiančioms jėgainėms 2004 metams - ~ 100 Lt/MWh [18];
- ♦ Vartotojams tiekiamos elektros kaina sudaryta iš tokių dedamųjų: gamybos kainos (vidutinė kaina – 82,5 Lt/MWh), perdavimo (bei tiekimo) paslaugos kainos (40,1 Lt/MWh) bei elektros skirstymo 35-6 kV ir 4 kV įtampų tinklais kainų (atitinkamai – 46,1 ir 80,1 Lt/MWh). Darant prielaidą, kad iš nedidelės galios kogeneracinių jėgainių elektra superkama į 4 kV įtampų tinklą, sutaupomos išlaidos perdavimo bei skirstymo 35-6 kV įtampų tinklais. Todėl, net nesubsidijuojant elektros, superkamos iš kogeneracinių jėgainių, kainos, ją galima pirkti už ~ 170 (82,5+40,1+46,1) Lt/MWh [9];
- ♦ Elektros supirkimo kaina, nustatyta jėgainėms, vartojančioms biokurą, yra lygi 200 Lt/MWh [19].

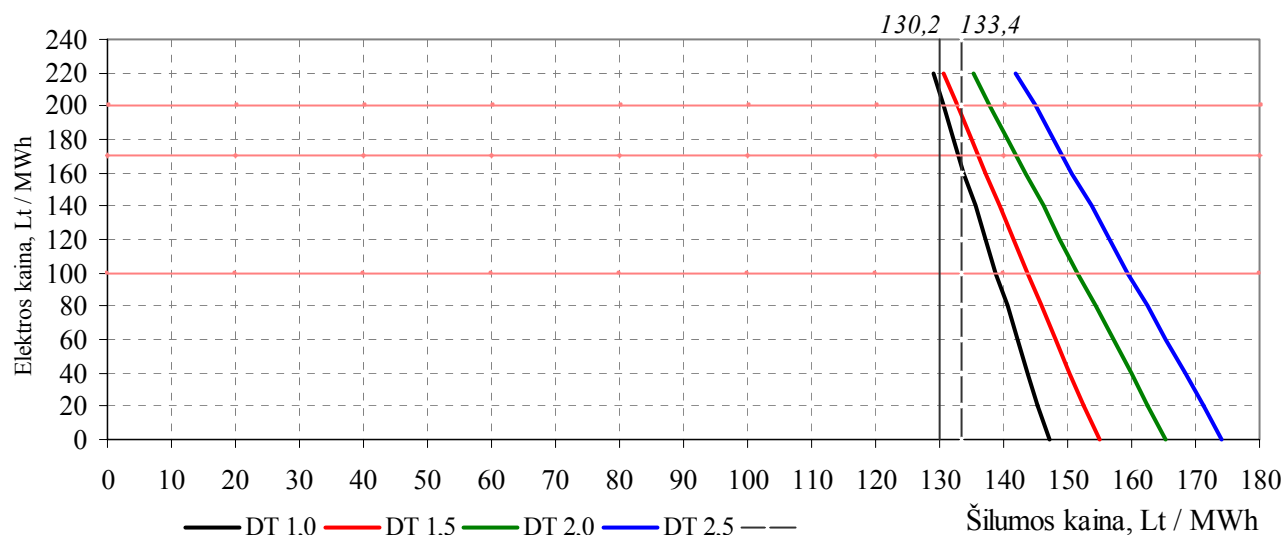
Šilumos tiekimo kainų kitimas priklausomai nuo elektros kainų, naudojant garo turbiną pavaizduotas 42 paveiksle (konkretūs duomenys – 7 priede).



42 pav. Šilumos kainų priklausomybė nuo elektros kainų naudojant skirtingų galių garo turbiną

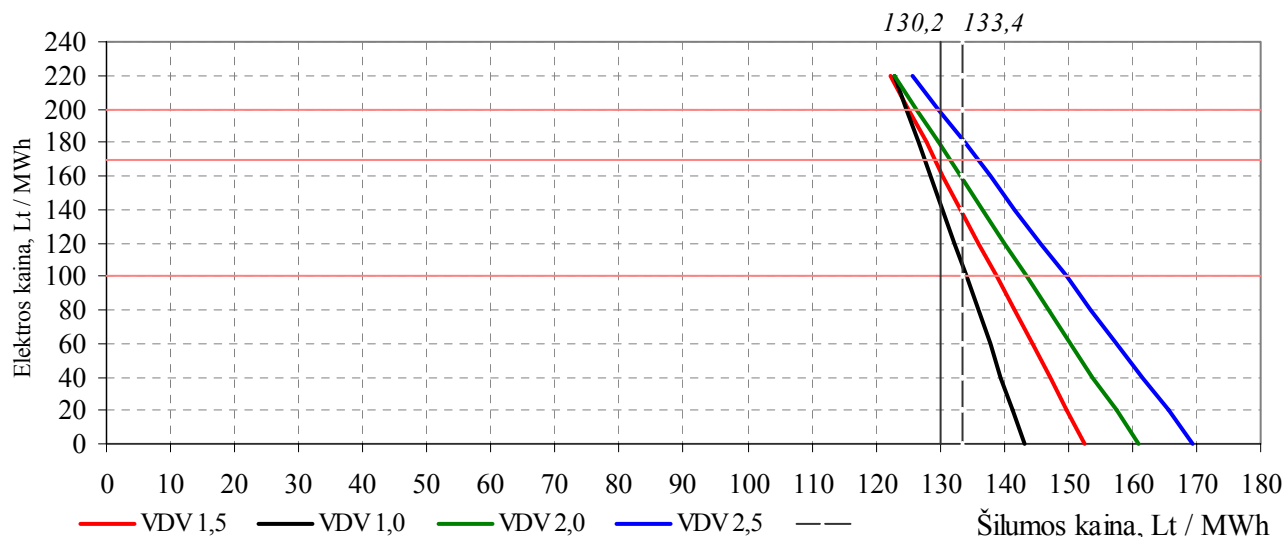
Matyti, kad nei vieno scenarijaus šilumos kainos, net esant aukščiausiai nagrinėjamai elektros kainai nepasiekia vidutinės šilumos kainos. Visi scenarijai pasiteisina t.y. šilumos kainos ne aukštesnės nei esama, kai elektra superkama už 200 Lt/MWh. Tuo tarpu, esant įvairioms elektros kainoms, žemiausią šilumos kainą užtikrina GT 1,0 scenarijus. Jei elektra superkama už 100 Lt/MWh šiluma gali kainuoti 128 Lt/MWh. Tačiau net be subsidijų už 1MWh elektros gali būti mokama 170 Lt, tuomet 1 MWh šilumos vartotojams gali atpigti iki ~125 Lt. Daugiausiai šilumos kaina sumažėja 7 % – iki 123,3 Lt/MWh, kai elektra kainuoja 200 Lt/MWh.

Įvairių galingumų dujų turbinoje gaminamos bei parduodamos elektros kiekio ir kainų įtaka šilumos kainai vartotojams pavaizduota 43 paveiksle. Tikslios šilumos kainų vertės pateiktos 8 priede.



43 pav. Šilumos kainų priklausomybė nuo elektros kainų naudojant skirtingų galių dujų turbiną

Nors dujų turbinoje gaminamas didesnis elektros kiekis nei garo turbinoje, tačiau DT scenarijai nenulemia žymaus elektros kainų sumažėjimo. Investuojant į mažiausios nagrinėjamos galios (1,0 MWe), taigi ir pigiausią dujų turbino technologiją šiluma atpinga tik 2 % kai elektros supirkimo kaina yra aukščiausia – 200 Lt/MWh.



44 pav. Šilumos kainų priklausomybė nuo elektros kainų naudojant skirtingų galių vidaus degimo variklį

Vidaus degimo variklyje gaminamos elektros kiekis yra didžiausias, todėl VDV scenarijų šilumos kainos yra jautriausios skirtingoms elektros kainoms (44 pav.). Duomenys, pagal kuriuos buvo braižytas grafikas pateikti 9 priede. Jei už parduodamos elektros megavatvalandę mokama 100 litų, tuomet nei vienas iš vidaus degimo variklio variantų nepasiteisina. Tačiau jei ši kaina 200 Lt/MWh, tuomet įrengus

Iš gautų rezultatų matyti, kad nei vienu scenarijumi šilumos, tiekiamos iš Beržės katilinės, kaina nesumažėja iki vidutinės vertės šalyje. Nagrinėjamu atveju labai didelę įtaką scenarijų naudingumui turi išlaidos kogeneracinių technologijų įdiegimui. Kuo galingesni diegiami įrenginiai tuo mažiau jie pasiteisina ekonomiškai, nepaisant didesnių pajamų už parduodamą elektrą. Taip pat generuojamos elektros kiekis nedidelis ir pajamos už parduotą elektrą neatperka didelių investicijų. Didžiausios instaliuotos elektrinės galios scenarijuje (VDV 2,5) pagamintas elektros kiekis tesudaro 17 % viso gaminamos energijos kiekio.

Figure 10 is a line graph showing the dependence of electricity price (Lt / MWh) on heat price (Lt / MWh) for different VDV and GT values. The y-axis represents 'Elektros kaina, Lt / MWh' and ranges from 0 to 240. The x-axis represents 'Šilumos kaina, Lt / MWh' and ranges from 0 to 180. There are four lines plotted: VDV 1,5 (red), VDV 1,0 (black), GT 1,0 (green), and GT 1,5 (blue). The lines intersect at points marked with vertical lines and labels 125,0 and 133,4. The VDV 1,5 line is the steepest, followed by VDV 1,0, GT 1,5, and GT 1,0 is the least steep. The lines intersect at points marked with vertical lines and labels 125,0 and 133,4.

Šilumos kaina, Lt / MWh	Elektros kaina, Lt / MWh (VDV 1,5)	Elektros kaina, Lt / MWh (VDV 1,0)	Elektros kaina, Lt / MWh (GT 1,0)	Elektros kaina, Lt / MWh (GT 1,5)
125,0	220	220	220	220
133,4	167	167	0	167
140	133	0	0	0
150	0	0	0	0

45 paveiksle matyti, kad labiausiai ekonomiškai pagrįstos yra investicijos į 1 bei 1,5 MWe garo turbiną bei vidaus degimo variklį. Pagal suvartoto Beržės katilinėje kuro balanso sudėtį patraukliausia yra 1,5 MWe galios garo turbina – šilumai gaminti suvartojama 87 % medienos, o 13 % kuro sudaro mazutas. Anglies dvideginio emisijos tuomet sumažėja 67 nuošimčiais. Pagal pagaminamos elektros kiekį vartojant vietinį bei atsinaujinantį kurą patraukliausias yra VDV 1,5 scenarijus – jo metu pagaminama 12 GWh

elektros, o tai reiškia, kad tiek pat elektros negaminama kondensacinėse jėgainėse vartojant įvežtinį kurą dujas arba mazutą bei neišmetama atitinkamai 6000 arba 8000 tonų CO₂ dujų.

Taip pat buvo apskaičiuota, kad būtų galima sumažinti šilumos kainą iki 125,0 Lt/MWh, jei nebūtų investuojama į naujus įrenginius ir po 15 metų. Tokia pati šilumos kaina galima investavus į 1,0 MWe galios garo turbiną ir kai elektros kaina atspindi sumažėjusias išlaidas už elektros perdavimą bei skirstymą (170 Lt/MWh), t.y., ekonomiškai palankiausio scenarijaus metu. Taigi, nagrinėjamos technologijos nesuteikia didelės ekonominės naudos nagrinėjamu atveju.

10. Išvados ir pasiūlymai

Lietuvos energetikos sektoriaus apžvalga, kogeneracinių jėgainių privalumų išsiaiškinimas bei nagrinėjamo atvejo skaičiavimas parodė, kad yra galimybė diegiant kogeneraciją gerinti rajonuose esančių šilumos tiekimo įmonių padėtį, mažinti jose gaminamos šilumos kainas. Kogeneracijos atnešamos naudos dydis priklauso nuo nagrinėjamo atvejo sąlygų. Taigi, daromos išvados, apimančios nagrinėjamą Tauragės rajoną, bei galimybes kituose Lietuvos rajonuose diegti kogeneraciją:

1. Įdiegus Tauragės šilumos tinklų įmonėje kogeneraciją bei vartojant medieną sumažėjo mazuto vartojimas bei aplinkos tarša. Be to, gaminant elektrą šioje jėgainėje, sumažėja energijos gamyba kitose, centralizuotose (pvz.: kondensacinėse), įvežtinį bei „nešvarų“ kurą deginančiose jėgainėse. Pastarųjų elektrinių išmetami teršalai „sutaupomi“ ne tik dėl to, kad vartojami atsinaujinantys energijos ištekliai. Mažoje kogeneracinėje jėgainėje efektyviau vartojamas kuras, iš jos superkama elektra tiesiai į žemos įtampos elektros linijas – mažesni energijos tiekimo nuostoliai. Taigi, decentralizuotos kogeneracijos diegimas mažuose šilumos ūkiuose, vartojant medieną ar net įvežtinį kurą (pvz.: dujas), turi daug privalumų.

2. Įvertinus decentralizuotos elektros bei centralizuotos šilumos bendros gamybos privalumus superkamos elektros kainomis, ar kita finansine parama, šios technologijos diegimas galėtų būti efektyvus ne tik techniniu, bet ir ekonominiu požiūriu. Atsirastų galimybė labiau mažinti šilumos kainas rajonuose.

3. Tačiau išanalizavus galimybę Tauragės šilumos tinklų Beržės katilinėje diegti kogeneraciją, matyti, kad šiuo atveju ji nėra ekonomiškai efektyvi. Pačiu palankiausiu atveju, kai investicijos mažiausios ir elektros kaina yra didžiausia šilumos kaina sumažėja tik 7 %. Tačiau beveik tiek pat šilumos kainą galima sumažinti jei visai nebūtų investuojama, o gaunamas pelnas skiriamas šilumos kainai mažinti.

4. Palankiausio scenarijaus (GT 1,0) metu ir pagaminamos elektros kiekis yra mažiausias. Taigi matyti, kad palankiausias yra ne tas atvejis, kai pasirinktos technologijos, instaliuotos galios, investicijų bei energijos gamybos derinys yra optimaliausias, o tas, kurio investicinės išlaidos yra mažiausios. Tačiau tuomet generuojamos elektros kiekis yra per mažas šilumos kainoms įtakoti.

5. Nagrinėjamam atvejui siūlomų technologijų investicinės išlaidos užgožia naudą, gaunamą už didesnę nustatytą kainą pardavus efektyviu būdu pagamintą elektrą. Brangių technologijų pasirinkimą sąlygojo dujų infrastruktūros nebuvimas rajone. Naudojama papildoma technologija – kieto kuro (šiuo atveju – medienos) dujofikatorius.

6. Yra galimybė (kuri darbe nebuvo skaičiuojama) atpiginti investicijas į garo turbiną pritaikant vieną iš „perteklinių“ katilų kūryklą medienos deginimui. Tačiau garo turbinose gaminamos elektros dalis yra maža ir jos gali neužtekti, šilumos kainoms mažinti. Todėl daroma išvada, kad pats efektyviausias būdas sumažinti tiekiamos šilumos kainas vartotojams Tauragės rajone, keičiant gamybos sektorių, yra katilų pritaikymas medienos kūrenimui.

7. Šilumos kaina 2004 metams Tauragės šilumos tinklų įmonėje nustatyta 133,4 Lt/MWh ir yra maždaug lygi Lietuvos rajonų šilumos kainų vidurkiui – 130,2 Lt/MWh. Taigi, tai nėra pati blogiausia padėtis, todėl ir kainų sumažėjimas nėra didelis. Rajonuose, kur šilumos kainos yra didesnės, ir vartotojams šiluma labai atpigtų, jei jį pasiektų minėtą kainų vidurkį Lietuvos rajonuose, nagrinėjamos technologijos galėtų būti efektyvesnės. Tokie rajonai, į kuriuos dujos netiekiamos, yra, pvz.: Šilutė, kur šilumos kaina yra 143,0 Lt/MWh, Lazdijai – 14,98 Lt/MWh, Raseiniai – 156,0 Lt/MWh. Taigi, nagrinėjami variantai, būtų labiau apsimokantys rajonuose, kur šilumos kaina yra aukštesnė nei 140,0 Lt/MWh.

8. Remiantis rezultatais, gautais skaičiuojant Tauragės rajono katilinę, daroma išvada, kad tuose Lietuvos rajonuose, kur nėra gamtinių dujų, kogeneracijos diegimas nėra labai efektyvus. Naudojant pigesnes technologijas – dujų turbiną bei vidaus degimo variklį bei vartojant gamtines dujas, kogeneracijos efektas gali būti didesnis. Tam turėtų būti atlikti atskiri skaičiavimai, nes gamtinės dujos yra brangesnės nei mediena, tačiau investicijos bei eksploatacinės išlaidos šiuo atveju būtų mažesnės.

9. Lietuvoje kogeneracija yra remiama – atskirai nustatomos iš jos perkamos elektros kainos, garantuojamas kogeneracijos būdu pagamintos elektros pirkimas. Jei bendros šilumos bei elektros gamybos jėgainėje deginamas biokuras, tuomet nustatyta elektros kaina yra aukšta – 200 Lt/MWh, tačiau jei vartojamas kuras – dujos, elektra perkama tik už apytiksliai 100 Lt/MWh. Esant tokioms elektros kainoms pigesnių, gamtines dujas vartojančių, kogeneracinių įrenginių diegimas taip pat gali nepasiteisinti.

10. Buvo nustatyta, kad jei iš nedidelės galios kogeneracinių jėgainių elektra tiekama į 0,4 kV elektros skirstymo tinklą, tuomet sutaupomos išlaidos šios energijos perdavimui bei skirstymui aukštesnės įtampos tinklais. Todėl įvertinus šį sutaupymą elektrą būtų galima supirkti už 170 Lt/ MWh net nesubsidijuojant.

11. Didžiausias dėmesys šiuo metu kreipiamas į kogeneracinių jėgainių didžiuosiuose miestuose (Kaune, Vilniuje) atnaujinimą bei naujų statybą kituose miestuose. Tuo tarpu investicijos į šiluminius variklius rajoninėse šilumos tiekimo įmonėse laikomos ekonomiškai nepagrįstos, o šilumos kaina šiuose rajonuose išlieka aukšta. Pagal Šilumos ūkio plėtros kryptis iki 2010 metų planuojama pastatyti 2 ar 3 mažos galios kogeneracines jėgaines, vartojančias atsinaujinančius išteklius. Šios jėgainės galėtų būti įrengtos minėtų rajonų, kur netiekiamos dujos, šilumos tiekimo įmonėse, tačiau tam, kad jos būtų ekonomiškai pagrįstos, dalį investicijų turėtų padengti valstybė, paramos fondai ar kt.

12. Tęsiant kogeneracijos diegimo Lietuvos rajonų šilumos ūkiuose galimybių analizę galėtų būti nagrinėjamas šių technologijų diegimas rajonuose su dujų tiekimo infrastruktūra. Vėliau turėtų būti įvertinti decentralizuotos kogeneracijos daugelyje rajoninių šilumos įmonių privalumai.

11. Literatūros sąrašas

1. LR Ūkio ministerija. Tiekimo saugumas Lietuvos elektros energijos rinkoje. Monitorinio ataskaita. Vilnius, 2002. 37 p.
2. Statistikos departamentas. Kuro ir energijos balansai. <http://www.std.lt>.
3. LR Vyriausybė. Nacionalinė energetikos strategija. Patvirtinta LR Seimo 2002 m. spalio 10 d. nutarimu Nr. IX-1130. Vilnius, 2002. 20 p.
4. Lietuvos nacionalinis apyvartinių taršos leidimų paskirstymo 2005-2007 metų laikotarpiui planas. Lietuvos aplinkos apsaugos investicijų fondo Interneto tinklapis: <http://www.laaif.lt>.
5. Kombinuota elektros ir šilumos gamyba (kogeneracija) Lietuvoje. <http://www.energystart.lt>.
6. LR Vyriausybė. Nutarimas dėl šilumos ūkio krypties patvirtinimo. Vilnius, 2004. 3 p.
7. Parama šilumos ūkio reformai. Lietuvos-Danijos projektas. Duomenų bazė „Lietuvos šilumos ūkis“. <http://www.siluma.lt>.
8. LR Ūkio ministerija. Patikslinta ir atnaujinta nacionalinė energijos vartojimo efektyvumo didinimo programa. Vilnius, 2001. 62 p.
9. Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija. Veiklos ataskaita 2003. Vilnius, 2004. 57 p.
10. LR Seimas. Lietuvos Respublikos mokesčio už aplinkos teršimą įstatymas (Nr. VIII-1183). Vilnius, 1999. 5 p.
11. Ekostrategija. Kogeneracijos rėmimas Europos Sąjungos šalyse. <http://www.ekostrategija.lt>.
12. LR Seimas. Lietuvos Respublikos šilumos ūkio įstatymas (Nr. IX-1565). Vilnius, 2003. 17 p.
13. LR Ūkio ministerija ir LR Aplinkos ministerija. Šilumos ūkio specialiųjų planų rengimo taisyklės. Vilnius, 2004. 5 p.
14. LR Seimas. Lietuvos Respublikos energetikos įstatymas (Nr. IX-884). Vilnius, 2002. 13 p.
15. LR Seimas. Lietuvos Respublikos elektros energetikos įstatymas (Nr. VIII-1881). Vilnius, 2000. 9 p.
16. LR Vyriausybė. Viešuosius interesus atitinkančios paslaugos elektros energetikos sektoriuje. Nutarimas Nr. 1474. Vilnius, 2001. 1 p.

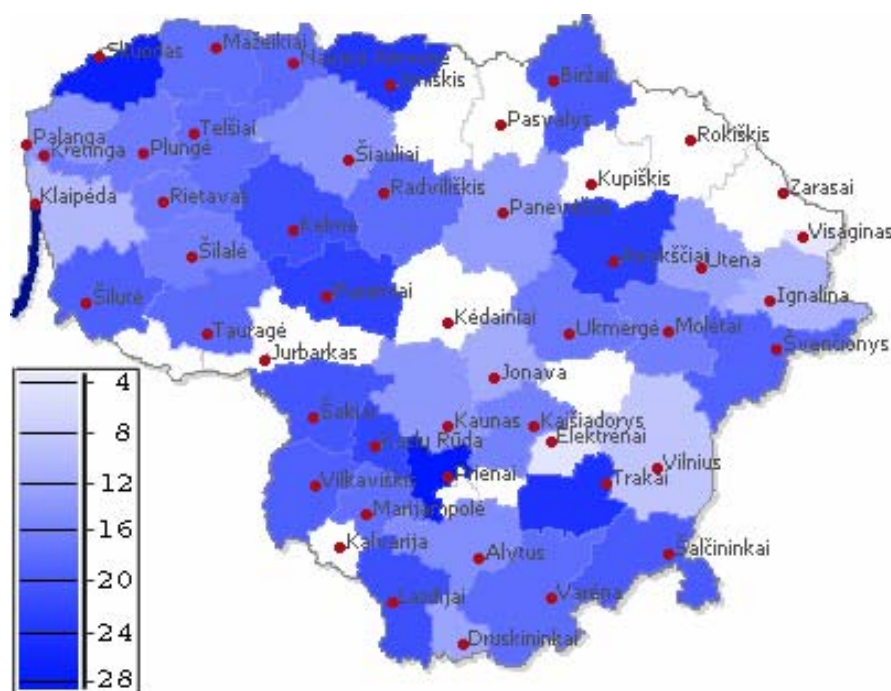
17. LR Ūkio ministerija. Įpareigojimų tiekti viešuosius interesus atitinkančias paslaugas davimo taisyklės. Vilnius, 2001. 5 p.
18. Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija. Nutarimas dėl viešuosius interesus atitinkančių paslaugų elektros energetikos sektoriuje kainų 2004 metams. Nutarimas Nr. O3-63. Vilnius, 2003. 1 p.
19. Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija. Nutarimas dėl viešuosius interesus atitinkančių paslaugų elektros energetikos sektoriuje kainų. Nutarimas Nr. 7. Vilnius, 2002. 2 p.
20. LR Ūkio ministerija. Elektros energijos supirkimo iš bendrų šilumos ir elektros energijos gamintojų tvarka. Vilnius, 2003. 2 p.
21. G. Gimbutis ir kiti. Šiluminė technika. Vilnius: Mokslas, 1993. 334 p.
22. P. Švenčianas, T. Narbutas. Šiluminė technika. Kaunas: Technologija, 1997. 212 p.
23. Ekostrategija. Kogeneracijos įrengimų tipų palyginimas. <http://www.ekostrategija.lt>.
24. B. Narbutis. Dujotiekis. Vilniaus Gedimino technikos universitetas, bakalauro studijos. 2001.
25. Tauragės rajono strateginis plėtros planas 2004-2010 metams. Iš Tauragės rajono internetinio puslapio <http://www.taurage.lt>.
26. Apsilankymo Tauragės tinklų įmonėje metu gauta informacija. Pokalbis su Tauragės šilumos tinklų direktoriumi D. Simaičiu, technikos direktoriumi P. Greviu bei Beržės katilinės viršininku Zigmū Armonu. Tauragė, 2004.
27. Sveikatos apsaugos ministerija. HN 42:1999. Gyvenamųjų ir viešosios paskirties pastatų mikroklimatas. Vilnius, 1999.
28. Ekostrategija. Ekonominis šilumos ūkio projektų vertinimas. <http://www.ekostrategija.lt>.
29. Martynas Nagevičius. Prekyba apyvartiniais taršos leidimais. <http://www.ekostrategija.lt>.
30. Lithuanian energy institute. Development of DH/CHP sectors in the CEEC. Systems phase 1 – district system sector level. Kaunas, 2003. 21 p.
31. The European Association for the promotion of cogeneration. A guide to cogeneration. Brussels, 2001. 49 p. <http://www.cogen.org>.

32. Commission of the European Communities. Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market. Proposal COM (2002) 415 final. Brussels, 2002. 47 p.
33. V. Jankauskas. From state monopoly to private ownership. District heating in Lithuania // Energy regulators regional association (ERRA) publications. <http://www.erranet.org>.
34. E. Kazakevicius et al. Lithuanian energy efficiency project // COWI publications. Denmark, 2002. 7 p.
35. K. M. Weber. Innovation diffusion and political control of energy technologies. A comparison of combined heat and power generation in the UK and Germany. Heidelberg, Germany: Physica-Verlag, 1999. 487 p.
36. European Parliament and Council. Directive 2004/8/EC on the promotion of cogeneration based useful heat demand in the internal energy market. Strasbourg, 2004. 57 p.
37. World alliance for decentralized energy. Guide to decentralized energy technologies. Edinburgh, 2002. 41 p. <http://www.localpower.org>
38. Energy nexus group Technology characterization: Steam turbines. Arlington, Virginia 2002. 20 p. <http://www.epa.gov>
39. Energy nexus group Technology characterization: Gas turbines. Arlington, Virginia 2002. 20 p. <http://www.epa.gov>
40. Energy nexus group Technology characterization: Reciprocating engines. Arlington, Virginia 2002. 20 p. <http://www.epa.gov>
41. Institute for thermal turbo machinery and machine dynamics. Cogeneration (CHP) technology portrait. Vienna, 2002. 79 p. <http://energytech.at>.
42. H. E. M. Stassen and H. E. M. Knoef. Small scale gasification systems. <http://www.gasnet.uk.net>.
43. Biomass gasification for sustainable development. <http://exergy.se>.
44. Biomass gasification. Technology and utilization. <http://members.tripod.com/~cturare/bio.htm>.
45. The centre of biomass technology. Wood for energy production. Technology – environment – economy. Second Edition. Denmark: Trojborg Bogtryk, 1999. 69 p.

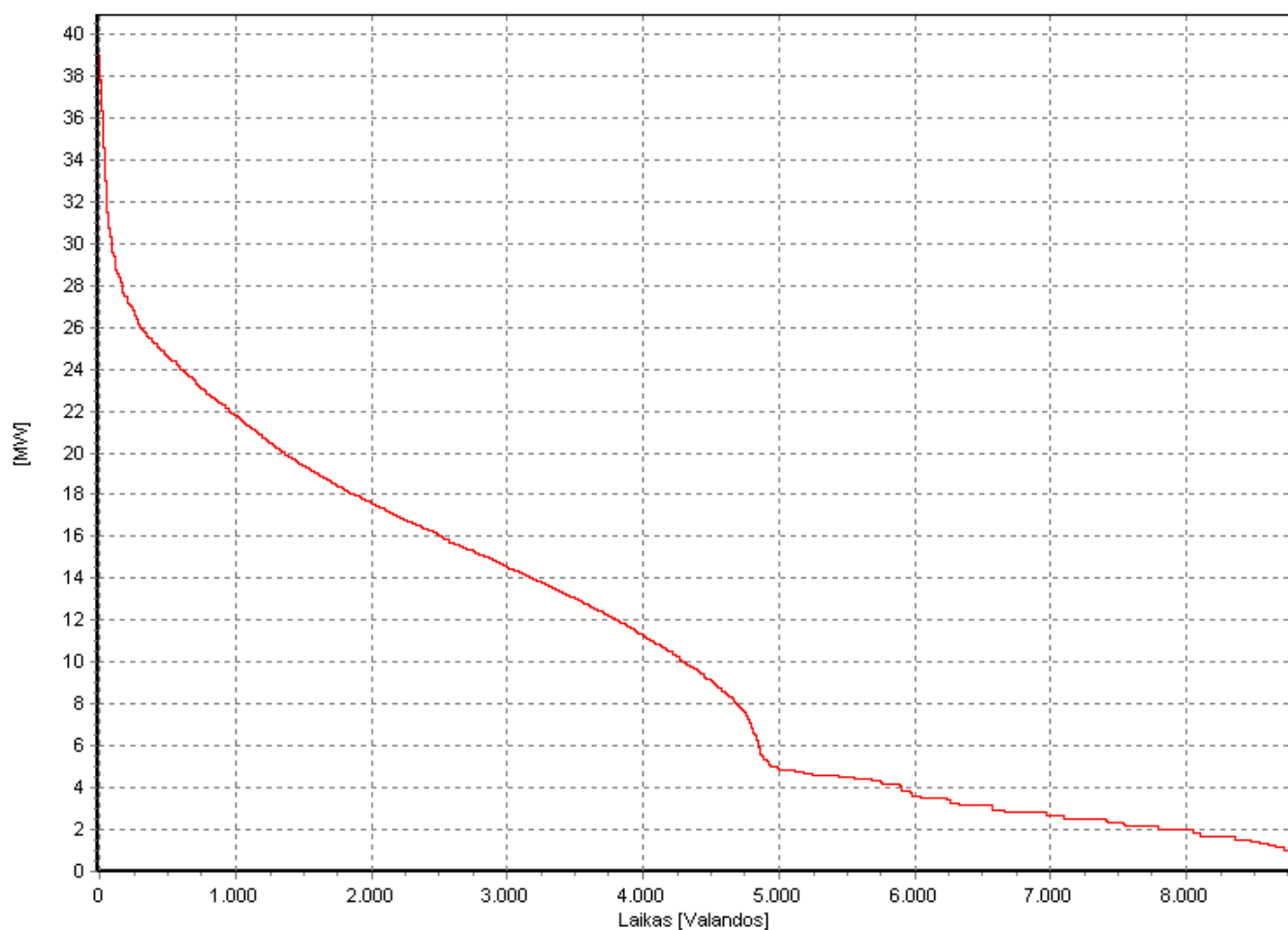
46. Lars Host Johansen. Wood chip based CHP in Estonia – a future advantageous part of the energy system? Aalborg, 1999. 133 p.
47. Hubert E. Stassen and Harrie Knoef. Theoretical and practical aspects on the use of LCV-gas from biomass gasifiers in internal combustion engines. <http://www.gasnet.uk.net>.
48. Gasification systems. <http://www.gasnet.uk.net>.
49. Gasification-based biomass. US Department of energy. Energy efficiency and renewable energy. <http://www.eere.energy.gov>.
50. Henning Maeng et al. energyPRO users guide. Aalborg: Hobro Offset, 2002. 151 p.
51. Ebbe Munster. Energy supply technologies and renewable energy sources. Aalborg university.
52. H. Lund. Fundamental investment theory. Course-material. Aalborg university, 2003. 10 p.

12. Priedai

1 priedas. Centralizuotai tiekiamos šilumos kainos, ct/kWh, Lietuvos rajonuose
(balti plotai reiškia, kad nėra duomenų)



2 priedas. Vartotojų, kuriems šiluma tiekama iš Beržės katilinės metinis šilumos poreikių trukmės grafikas



3 priedas. Pagrindiniai nagrinėjamų scenarijų techniniai rodikliai

[illegible]

4 priedas. Investicijų į garo turbiną grynosios esamosios vertės po 15 metų, esant skirtingoms elektros kainoms

Elektros kaina, Lt/MWh	Grynoji esamoji scenarijų vertė, Lt			
	GT 1,0	GT 1,5	GT 2,0	GT 2,5
0	600552	-4885254	-10365444	-15495030
20	1308839	-3758874	-8879098	-13832852
40	2017126	-2632494	-7392751	-12170674
60	2725413	-1506115	-5906405	-10508497
80	3433700	-379735	-4420059	-8846319
100	4141987	746645	-2933713	-7184141
120	4850274	1873025	-1447366	-5521964
140	5558561	2999404	38980	-3859786
160	6266848	4125784	1525326	-2197608
180	6975136	5252164	3011673	-535431
200	7683423	6378543	4498019	1126747
220	8391710	7504923	5984365	2788925

5 priedas. Investicijų į dujų turbiną grynosios esamosios vertės po 15 metų, esant skirtingoms elektros kainoms

Elektros kaina, Lt/MWh	Grynoji esamoji scenarijų vertė, Lt			
	DT 1,0	DT 1,5	DT 2,0	DT 2,5
0	-10422160	-16311828	-24277162	-30982425
20	-9167488	-14631174	-22193777	-28757670
40	-7912816	-12950521	-20110393	-26532915
60	-6658144	-11269867	-18027009	-24308159
80	-5403471	-9589214	-15943625	-22083404
100	-4148799	-7908560	-13860241	-19858649
120	-2894127	-6227907	-11776856	-17633894
140	-1639454	-4547253	-9693472	-15409139
160	-384782	-2866600	-7610088	-13184384
180	869890	-1185946	-5526704	-10959628
200	2124563	494707	-3443320	-8734873
220	3379235	2175361	-1359935	-6510118

6 priedas. Investicijų į vidaus degimo variklį grynosios esamosios vertės po 15 metų, esant skirtingoms elektros kainoms

Elektros kaina, Lt/MWh	Grynoji esamoji scenarijų vertė, Lt			
	VDV 1,0	VDV 1,5	VDV 2,0	VDV 2,5
0	-7502370	-14647654	-20861190	-27426787
20	-6100721	-12543510	-18238894	-24411102
40	-4699073	-10439367	-15616598	-21395417
60	-3297425	-8335223	-12994302	-18379732
80	-1895776	-6231080	-10372006	-15364047
100	-494128	-4126936	-7749710	-12348362
120	907520	-2022793	-5127414	-9332676
140	2309168	81351	-2505118	-6316991
160	3710817	2185494	117178	-3301306
180	5112465	4289638	2739474	-285621
200	6514113	6393781	5361770	2730064
220	7915761	8497925	7984066	5745749

7 priedas. Garo turbinoje gaminamos bei į tinklus parduodamos elektros kiekio ir kainos įtaka šilumos kainoms Tauragės rajone

Elektros kaina, Lt/MWh	Šilumos kaina Lt/MWh atskirų scenarijų metu			
	GT 1,0	GT 1,5	GT 2,0	GT 2,5
0	132,6	139,8	147,0	153,8
20	131,7	138,3	145,1	151,6
40	130,7	136,9	143,1	149,4
60	129,8	135,4	141,2	147,2
80	128,9	133,9	139,2	145,0
100	128,0	132,4	137,3	142,8
120	127,0	130,9	135,3	140,7
140	126,1	129,5	133,3	138,5
160	125,2	128,0	131,4	136,3
180	124,2	126,5	129,4	134,1
200	123,3	125,0	127,5	131,9
220	122,4	123,5	125,5	129,7

8 priedas. Dujų turbinoje gaminamos bei į tinklus parduodamos elektros kiekio ir kainos įtaka šilumos kainoms Tauragės rajone

Elektros kaina, Lt/MWh	Šilumos kaina Lt/MWh atskirų scenarijų metu			
	DT 1,0	DT 1,5	DT 2,0	DT 2,5
0	147,1	154,9	165,3	174,1
20	145,5	152,6	162,6	171,2
40	143,8	150,4	159,8	168,3
60	142,2	148,2	157,1	165,4
80	140,5	146,0	154,4	162,4
100	138,9	143,8	151,6	159,5
120	137,2	141,6	148,9	156,6
140	135,6	139,4	146,1	153,7
160	133,9	137,2	143,4	150,7
180	132,3	135,0	140,7	147,8
200	130,6	132,7	137,9	144,9
220	129,0	130,5	135,2	142,0

9 priedas. Vidaus degimo variklyje gaminamos bei parduodamos į tinklus elektros kiekio ir kainos įtaka šilumos kainoms Tauragės rajone

Elektros kaina, Lt/MWh	Šilumos kaina Lt/MWh atskirų scenarijų metu			
	VDV 1,0	VDV 1,5	VDV 2,0	VDV 2,5
0	143,3	152,7	160,8	169,5
20	141,4	149,9	157,4	165,5
40	139,6	147,1	153,9	161,5
60	137,7	144,4	150,5	157,6
80	135,9	141,6	147,0	153,6
100	134,0	138,8	143,6	149,6
120	132,2	136,1	140,1	145,7
140	130,4	133,3	136,7	141,7
160	128,5	130,5	133,2	137,7
180	126,7	127,8	129,8	133,8
200	124,8	125,0	126,3	129,8
220	123,0	122,2	122,9	125,8