



UAB "TERMO SISTEMŲ PROJEKTAI"
Gedimino g. 47
LT-44242 Kaunas

Kogeneracijos plėtros įtaka šilumos ir elektros energijos kainoms

Darbo ataskaita

Projekto vadovas
N. Rasburskis

2006 m.

**UAB “TERMOSISTEMŲ PROJEKTAI” DOKUMENTO
DUOMENŲ LAPAS**

Leidinio data: 2006 12 29

Užsakymas: 2006 11 Sutarties Nr. 2006.11.06/01

Dokumento tipas Ataskaita	Dokumento saugojimo vieta UAB “Termosistemų projektai”	
Kiti gavėjai:	Užsakovo organizacija Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija	
Darbo pobūdis Taikomasis		
Dokumento antraštė ir paantraštė Kogeneracijos plėtros įtaka šilumos ir elektros energijos kainoms		
Darbo vadovas N. Rasburskis PV, K/A Nr. 17491		
Santrauka Šioje studijoje apžvelgti techniniai ir ekonominiai kogeneracijos technologijų ypatumai. Pateikiami kogeneracijos galių optimizavimo principai ir taikymo pavyzdžiai. Detaliai išnagrinėta energijos gamybos kaštų atskyrimo problematika, pateikiamos įvairio kaštų atskyrimo metodikos ir jų pasirinkimo kriterijai. Pateikiamos kogeneracijos plėtros galimybės ir įtaka šilumos ir elektros energijos kainoms.		
Reikšminiai žodžiai: Kogeneracija, kombinuotas ciklas, elektros energija, šilumos energija, elektros ir šilumos energijų santykis, pirminės energijos sutaupymas, centralizuotas šilumos energijos tiekimas.		
Klasifikavimo sistema ir klasė Neklasifikuota		
Kalba Lietuvių	Lapų (puslapių) skaičius 56	Kopijų sk. 2
Platintojas UAB “Termosistemų projektai”, Tel. 8 (37) 207222, faksas 8 (37) 207137, e-mail: tsp@tsp.lt		
Autorius (bendraautorai):		
Pareigos	V., pavardė, kvalifikacija, K/A Nr.	Parašas
Projektų vadovas	L. Narbutas PDV, K/A Nr. 13690	
Inžinierius-konsultantas	J. Kugelevičius	
Inžinierius-konsultantas	J. Astefjev	

Turinys

Sutartiniai žymėjimai	4
Lentelių sąrašas	5
Paveikslų sąrašas	6
ĮVADAS	7
1 Pasaulyje paplitusių kogeneracijos technologijų apžvalga	8
1.1 Techniniai technologijų ypatumai	8
1.2 Eksploataciniai technologijų ypatumai	12
1.3 Investicijų poreikis.....	16
2 Kogeneracijos galių optimizavimo principai ir taikymo pavyzdžiai	24
2.1 Elektrinės galios parinkimo kriterijai.....	24
3 Naudojami energijos gamybos kaštų atskyrimo metodai ir jų specifika	35
3.1 Kaštų atskyrimo problematika ir metodikos	35
3.2 Tinkamos metodikos pasirinkimo rekomendacijos	45
3.3 Kitose šalyse naudojamos metodikos	48
4 Kogeneracijos plėtros įtaka šilumos ir elektros energijos kainoms	49
4.1 Ribinių elektros ir šilumos energijos gamybos kaštų analizė, investicijų poreikis bei finansinio tikslingumo vertinimo principai.....	49
4.2 Kogeneracijos tikslingumą įtakojantys faktoriai ir jų svarba.....	52
5 DARBO IŠVADOS	55
6 LITERATŪRA	56

Sutartiniai žymėjimai

SA – sisteminė analizė;

GC – gyvavimo ciklas;

CŠT – centralizuotas šilumos energijos tiekimas;

DP – darni plėtra;

PAV – poveikio aplinkai vertinimas;

DLK – didžiausia leistina koncentracija;

CHP – bendra šilumos ir elektros energijos gamyba, kogeneracija;

TE – termofikacijos elektrinė;

ATL – apyvartiniai taršos leidimai;

Pt – žmogaus ekvivalentas.

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Pasaulyje labiausiai paplitusios technologijos, skirtos bendrai gaminti elektros ir šilumos energiją	Error! Bookmark not defined.
1.2 lentelė. Jėginių su vidaus degimo varikliais eksploatavimo sąnaudos (€/MWhel)	14
1.3 lentelė. Termofikacinių elektrinių su dujų turbinomis eksploatacinės sąnaudos	14
1.4 lentelė. Kombinuoto ciklo jėginių kintamų ir pastovių dedamųjų bendros eksploatacijos sąnaudose struktūra.	15
1.5 lentelė. Termofikacijos elektrinių tipinės bendros eksploatacijos sąnaudos	16
1.5 lentelė. Biokuro jėginių su garo turbinomis santykinė investicijų kaina	22
1.6 lentelė. Apibendrintos termofikacinių elektrinių bendros santykinės sąnaudos	23
2.1 lentelė. Lietuvoje veikiančių kogeneracinių sistemų pasiskirstymas pagal elektrinę galią	25
2.2 lentelė. Pasaulyje labiausiai paplitusios technologijos, skirtos bendrai gaminti elektros ir šilumos energiją	29
3.1 lentelė. Sąnaudų atskyrimui taikomų metodų kombinacijos	45
4.1 lentelė. Pagrindinės prielaidos ir finansiniai-ekonominiai kogeneracinių sistemų rodikliai	50

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Kuro energijos transformacija kogeneracijos jėgainėje	8
1.2 pav. Kogeneracijos jėgainės suskirstymas į bendros ir atskiros elektros ir šilumos energijos gamybos procesus	9
1.3 pav. Šilumos energijos gamyba atskirai nuo elektros energijos gamybos.....	10
1.4 pav. Kogeneracijos jėgainės su elektros/mechaninės energijos praradimu bendrame (kogeneracijos) bei atskirame elektros ir šilumos energijos gamybos procese	12
1.5 pav. Nedidelės galios termofikacijos elektrinės įrenginio investicijų pasiskirstymo struktūra	18
1.6 pav. Termofikacinių elektrinių su vidaus degimo varikliais suminės santykinės projektų kainos (faktiniai duomenys paremti UAB „Manfula“ įvykdytais projektais)	19
1.7 pav. Termofikacijos elektrinių blokų su dujų turbinomis suminės santykinės projektų kainos.....	20
1.8 pav. Termofikacinių elektrinių su garo turbinomis suminės santykinės projektų kainos ..	21
1.9 pav. Termofikacinių elektrinių su kombinuoto ciklo sistemomis suminės santykinės projektų kainos.....	22
2.1 pav. Šilumos ir elektros energijos gamybos būdų palyginimas	25
2.2 pav. Faktinis 2003 metų šilumos energijos poreikio grafikas Petrašiūnų mikrorajone, Kaune.....	26
2.3 pav. Metinio šilumos energijos poreikio pasiskirstymas ir tipiniai taškai.....	27
2.4 pav. Centralizuoto šilumos energijos tiekimo sektoriaus pasiskirstymas pagal kuro prieinamumą ir vidutinę šilumos energijos poreikio galią per ne šildymo ir pereinamąjį sezonus.....	28
2.5 pav. Termofikacinės elektrinės blokų darbo režimai	30
2.6 pav. Instaliuotina elektros energijos gamybos galia CŠT sistemoje	31
2.7 pav. Instaliuotina elektros energijos gamybos galia Lietuvos CŠT sektoriuje, nevertinant Vilniaus ir Kauno miestų integruotų sistemų	32
2.8 pav. Instaliuotina šilumos energijos gamybos galia Lietuvos CŠT sektoriuje, nevertinant Vilniaus ir Kauno miestų integruotų sistemų	32
2.9 pav. Metinės elektros energijos gamybos techninis potencialas CŠT sektoriuje, nevertinant Vilniaus ir Kauno miestų integruotų sistemų	33
2.10 pav. Metinės šilumos energijos gamybos techninis potencialas CŠT sektoriuje, nevertinant Vilniaus ir Kauno miestų integruotų sistemų	33
2.11 pav. Metinis kuro suvartojimas, atitinkantis techninį elektros ir šilumos energijos gamybos potencialą, nevertinant Vilniaus ir Kauno miestų integruotų sistemų.....	34
2.12 pav. Techninio bendros šilumos ir elektros energijos gamybos potencialo pasiskirstymas pagal apskritis, nevertinant Vilniaus ir Kauno miestų integruotų sistemų.....	34
3.1 pav. Bendrų sąnaudų pasiskirstymas kogeneracinėse jėgainėse	35
3.2 pav. Sąnaudų atskyrimas taikant naudos ir rizikos skirstymo metodą.....	43
3.3 pav. Kintamų kaštų atskyrimui naudojamų metodikų palyginimas	44
3.4 pav. Šilumos gamybos efektyvumo įtaka sąnaudų paskirstymui.....	46
3.5 pav. Kogeneracinės šilumos kainos priklausomybė nuo elektros energijos kainos.....	47
4.1 pav. Elektros energijos generavimo ilgo laikotarpio ribiniai kaštai	51
4.2 pav. Gautų sutaupymų, gaminant elektros energiją kogeneracinėje sistemoje, paremtoje vidaus degimo varikliais vietoje tradicinės gamybos, esamoji vertė	51
4.3 pav. Techninio bendros šilumos ir elektros energijos gamybos potencialo pasiskirstymas pagal apskritis, nevertinant Vilniaus ir Kauno miestų integruotų sistemų.....	53
4.4 pav. Gautų sutaupymų esamoji vertė.....	54
4.5 pav. Elektros energijos metinė gamyba.....	54

IVADAS

Energetikos rinkos bei jų kitimo tendencijos yra neatsiejama šiandieninės visuomenės apmąstymų, o dažnai ir aštrių diskusijų ar politinio poveikio dalis. Aplinkos įtaka žmonių sergamumui, grėsminga klimato kaita, nenumaldomas energetinių išteklių kainų didėjimas dar paaštrina šias diskusijas. Esant šiai situacijai racionalūs sprendimai, paremti holistiniu požiūriu į energetikos rinkas, yra pirmasis žingsnis darnios plėtros link.

Bendra šilumos ir elektros energijos gamyba – kogeneracija, yra viena iš galimybių, leidžiančių racionaliai naudoti pirminius energijos šaltinius. Technologijos naudingumas energetiniu požiūriu dar negarantuoja jos plėtros rinkos ekonomikos sąlygomis, todėl kogeneracijos plėtra turi būti grindžiama dar ir technologiniu, finansiniu, ekonominiu bei aplinkosauginiu tikslumu. Tai sisteminės analizės uždavinys, turintis apjungti rinkas, jų atskirus elementus ir poveikį aplinkai.

Poveikio aplinkai svarba ypač pabrėžtina ilgo laikotarpio planavime. Gyvavimo ciklo analizės metodas, apimantis poveikį aplinkai nuo žaliavų išgavimo, produkcijos (šilumos ir elektros energijos) gamybos iki atliekų sunaikinimo, geriausiai atspindi žmogaus daromą žalą gamtai, o tuo pačiu ir sau, todėl šiame darbe jis ypač akcentuojamas.

1 Pasaulyje paplitusių kogeneracijos technologijų apžvalga

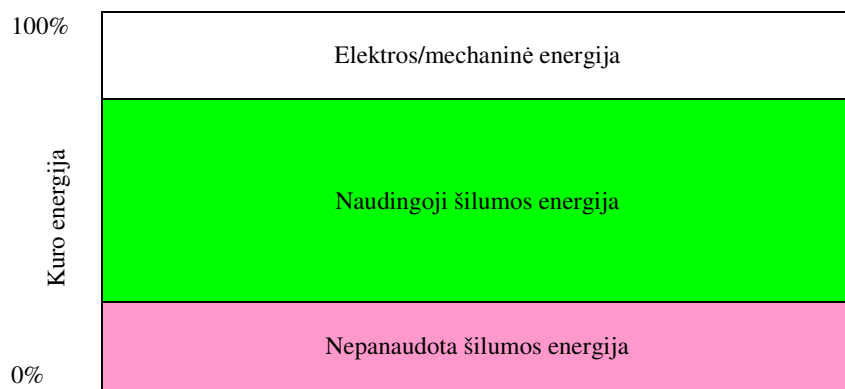
1.1 Techniniai technologijų ypatumai

Kogeneracija (kogeneracijos procesas) – tai viena laikė energijos gamyba, kai bendro proceso metu gaminama naudingoji šilumos bei elektros ir (ar) mechaninė energija. Kogeneracijos procesas visų pirma sietinas su elektros energijos gamyba, tačiau bent dalis „atliekinio“ produkto, šilumos energijos, turi būti tiekiamas naudingai. Žemiau pateiktuose poskyriuose aptarsime kogeneracijos bloko, proceso, elektros/mechaninės ir šiluminės energijos santykio, naudingumą, galios praradimo ir kitus aspektus.

Kogeneracijos blokas

Kogeneracijos blokuose tuo pat metu gaminama elektros/mechaninė ir naudinga šilumos energija (žr. 1.1 pav.). Tačiau ne visa naudinga šilumos ir elektros/mechaninė energija gali būti pagaminama kogeneracijos proceso metu:

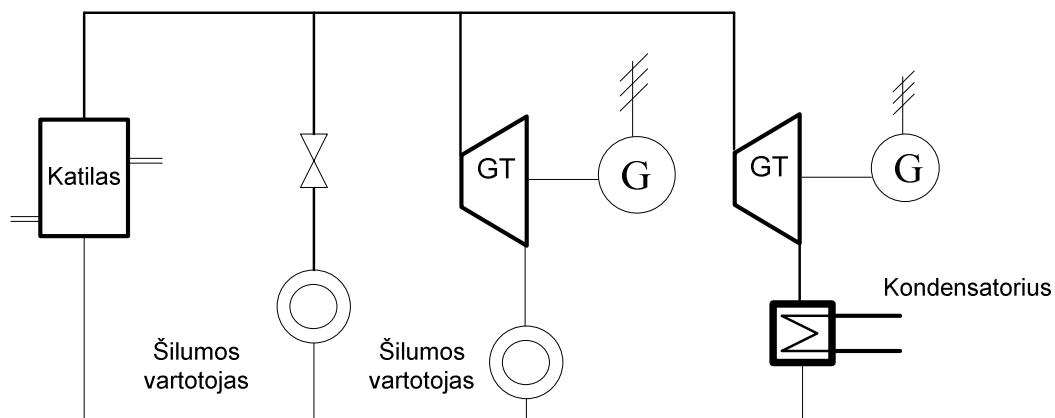
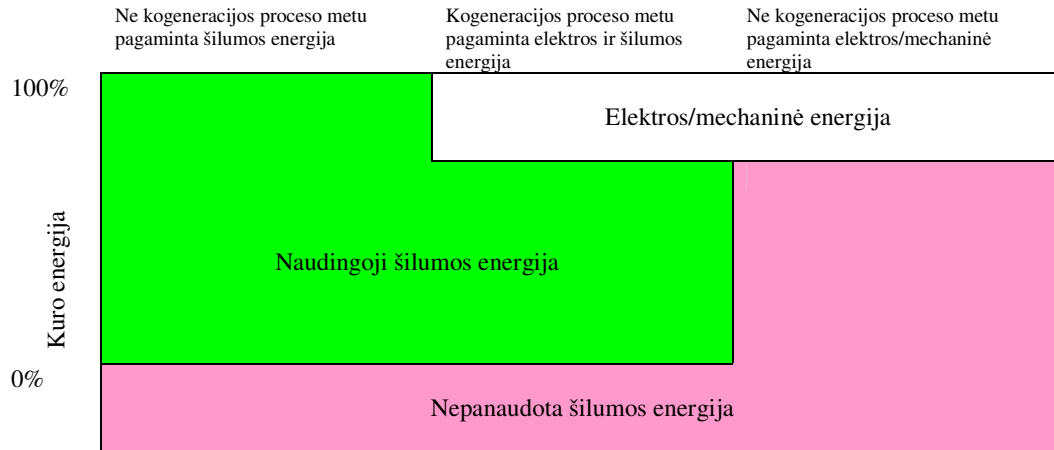
$$p = p_{\text{CHP}} + p_{\text{non-CHP}}$$
$$q = q_{\text{CHP}} + q_{\text{non-CHP}}$$
$$f = f_{\text{CHP}} + f_{\text{non-CHP,p}} + f_{\text{non-CHP,q}}$$



1.1 pav. Kuro energijos transformacija kogeneracijos jėgainėje

Kogeneracijos procesas (bendros elektros ir šilumos energijos gamybos procesas)

Kogeneracijos procese pagaminta elektros/mechaninė energija tiesiogiai siejama su naudingos šilumos energijos gamyba, t.y. su kogeneracijos bloke gaminama naudinga šilumos energija. Kogeneracijos procese gaminama elektros/mechaninė energija kartu su naudinga šilumos energija sudaro bendros elektros ir šilumos energijos gamybą (žr.1.2 pav.).



1.2 pav. Kogeneracijos jėgainės suskirstymas į bendros ir atskiros elektros ir šilumos energijos gamybos procesus

Elektros/mechaninės ir šilumos energijos santykis

Elektros/mechaninės ir šilumos energijos santykis, MWh/MWh

$$\sigma_{\text{CHP}} = p_{\text{CHP}} / q_{\text{CHP}}$$

Kogeneracijos proceso bendras naudingumo koeficientas

Kogeneracijos proceso bendras naudingumo koeficientas ataskaitiniame laikotarpyje apskaičiuojamas sekančiai:

$$\eta_{\text{CHP}} = (p_{\text{CHP}} + q_{\text{CHP}}) / f_{\text{CHP}}, \text{ MWh/MWh}$$

Naudingosios šilumos energijos gamyba atskirai nuo elektros energijos gamybos

Naudingosios šilumos energijos gamyba atskirai nuo elektros energijos gamybos vyksta procesų, kai gaminama naudinga šilumos energija prieš tai nepagaminus elektros/mechaninės energijos (žr. 1.3 pav.) metu, ir taikoma:

- tiesioginio garo nuvedimo atveju (prieš elektros/mechaninės energijos gamybą);

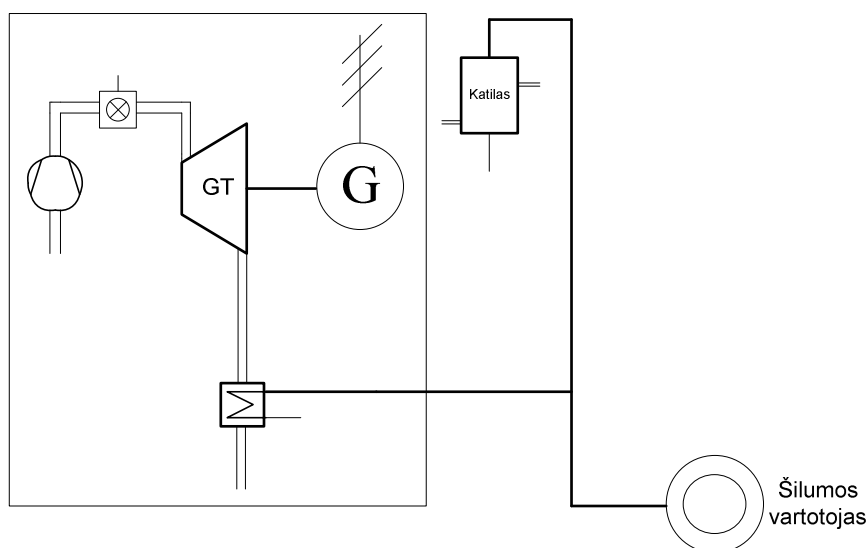
- garo katilams be paskesnių (priešslėginių ar tarpinio garo nuėmimo/kondensacinių) garo turbinų;
- atliekinės šilumos katilams-utilizatoriams su papildomu/pagalbiniu deginimu be paskesnių (priešslėginių ar tarpinio garo nuėmimo/kondensacinių) garo turbinų.

Tačiau atliekinė šiluma (atgauta šiluma), kuri atgaunama tokiuose katiluose iš dujų turbinų išmetamųjų dujų yra neatskiriama kogeneracijos proceso dalis.

Atskiros elektros ir šilumos energijos gamybos procesų šiluminis naudingumo koeficientas apibūdinamas sekančiai:

$\eta_{\text{non-CHP,q}}$ Šilumos energijos gamybos naudingumo koeficientas be elektros energijos gamybos, MWh/MWh

$$\eta_{\text{non-CHP,q}} = q_{\text{non-CHP}}/f_{\text{non-CHP,q}}$$



1.3 pav. Šilumos energijos gamyba atskirai nuo elektros energijos gamybos

Elektros/mechaninės energijos gamyba atskirai nuo šilumos energijos gamybos

Elektros/mechaninės energijos gamyba be naudingosios šilumos energijos gamybos vyksta, kai proceso metu pagaminama nepakankamai naudingosios šilumos energijos ar jos visai nepagaminama, arba procese naudojami šilumos išmetimo į aplinką įrenginiai ir taikoma:

- Kuro elementams, dujų turbinoms ir vidaus degimo varikliams su nepakankamu šilumos atgavimu arba be šilumos atgavimo (šilumos energija nepanaudojama naudingai);
- Garo ciklo elektrinių kondensacinei daliai ir kombinuoto ciklo jėgainėms su tarpinio garo nuėmimo/kondensacinėmis garo turbinomis.

Pažymėtina, kad ypač antruoju atveju šilumos energijos gamybos (naudingos ir nenaudingos) dažniausiai negalima išmatuojama tiesiogiai. Todėl, šiuo atveju procesas dalijamas į kondensacinį (atskiros gamybos) ir priešslėgio (bendros gamybos) segmentus.

Elektros energijos gamybos naudingumo koeficientas atskirai nuo šilumos energijos gamybos apibūdinamas sekančiai:

$$\eta_{\text{non-CHP,p}} = p_{\text{non-CHP}}/f_{\text{non-CHP,p}}, \text{ MWh/MWh}$$

Elektros/mechaninės energijos praradimas

Elektros/mechaninės energijos gamybos naudingumo koeficientas, atskirai nuo šilumos energijos gamybos, naudojamas kogeneracijos jėgainėje pagamintos elektros energijos ir tam sunaudoto kuro kiekio nustatymui. Skaičiavimo metodai skiriasi, priklausomai nuo to, ar, kuro sąnaudoms nekintant, naudingosios šilumos energijos padidėjimą seka elektrinės/mechaninės galios sumažėjimas. Kogeneracijos blokai, kurių patiekama elektrinė/mechaninė galia laikui bėgant nekinta, vadinamos Procesais be elektros/mechaninės galios praradimo (pvz. paprastas garo turbinos ciklas ar kogeneracijos jėgainė su vidaus degimo varikliu). Kogeneracijos blokai, kuriuose naudingosios šilumos energijos padidėjimas įvyksta elektrinės/mechaninės galios gamybos sąskaita, yra vadinamos Procesais su elektros/mechaninės galios praradimu (pvz., kogeneracijos jėgainės su garo turbinomis, kai visas/dalis nuvedamo garo patenka į kondensatorių ir išmetama į aplinką). Tokio tipo kogeneracijos jėgainėse naudingo garo nuvedimo padidėjimas vyksta sumažėjusio debito pro garo turbinos dalį, sąskaita, o tai sukelia išvystomos veleno galios sumažėjimą. Šis sumažėjimas - elektros/mechaninės energijos praradimas. Santykis tarp sumažėjusio elektros/mechaninės energijos pateikimo ir padidėjusio garo energijos nuvedimo išreiškiamas sekančiais:

$$\beta = -\Delta p / \Delta q$$

Procesai be elektros/mechaninės galios praradimo

Tarkime, kad esant pastovioms kuro sąnaudoms, visuose procesuose, kurių metu po šilumos energijos atgavimo nevyksta elektros energijos gamyba, nesusidaro elektros/mechaninės energijos praradimai. Todėl, kogeneracijos jėgainėms be elektros/mechaninės galios praradimo:

$$\beta = -\Delta p / \Delta q = 0$$

Taikytina: kogeneracijos jėgainėms su garo turbinomis be visiško ar dalinio kondensavimo (tarpinio garo nuvedimo) t.y priešslėginėmis, įskaitant dujų turbinas ir vidaus degimo variklius. Esant pastoviam darbo režimui (kuro sąnaudoms), šios jėgainės didėjant naudingos šilumos energijos kiekiui elektros/mechaninės energijos nepraranda (nėra energijos nuostolių).

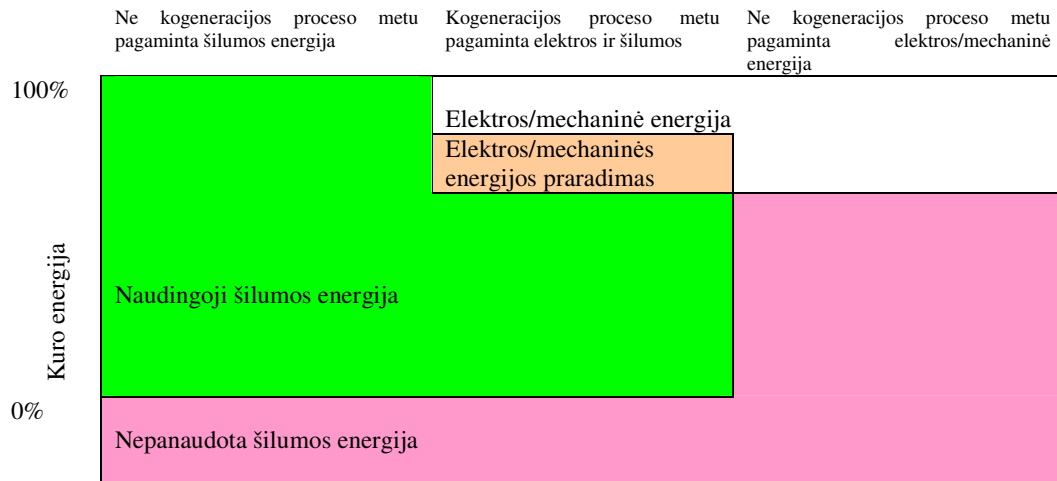
Būdinga: priešslėginėms garo turbinoms, kuro elementams, dujų turbinoms su šilumos energijos atgavimu, vidaus degimo varikliams ir t.t. Norint padidinti naudingosios šilumos energijos gamybą būtinas kuro sąnaudų didinimas (ar šilumos energijos išmetimo sumažinimas). Reikia atkreipti dėmesį, kad garo nuvedimas iš šilumos energijos atgavimo garo generatorių kombinuotame cikle, taip pat gali sukelti elektros/mechaninės galios praradimą, net jei garo turbina yra priešslėginė.

Procesai su elektros/mechaninės galios praradimu

Kogeneracijos jėgainėse su pilno (kondensacinės) ar dalinio garo kondensavimo (tarpinio garo nuvedimo) garo turbinomis, elektros/mechaninės energijos gamyba, esant tam tikram kuro sunaudojimui, mažėja, didėjant iš turbinos nuvedimo garo debitui (naudingos šilumos energijos gamybai). Taigi, tarp didėjančio šiluminės energijos gamybos ir mažėjančio pagaminamos elektros/mechaninės energijos kiekio yra balansas, kai kuro sąnaudos išlieka pastovios.

Ryšys tarp naudingosios šilumos energijos gamybos ir elektrinės/mechaninės galios praradimo ar atvirkščiai, gali būti išreikštas energijos praradimo koeficientu (žr. 1.4 pav.). Elektrinės/mechaninės galios praradimo koeficientas apskaičiuojamas sekančiais:

$\beta = -\Delta p/\Delta q$ elektrinės/mechaninės galios praradimo koeficientas, MWh/MWh



1.4 pav. Kogeneracijos jėgainės su elektros/mechaninės energijos praradimu bendrame (kogeneracijos) bei atskirame elektros ir šilumos energijos gamybos procese

Taigi, esant pastoviai šių kogeneracijos jėgainių apkrovai (kuro suvartojimui) elektrinė/mechaninė galia, didėjant naudingos šilumos energijos poreikiui, neišvengiamai mažėja. Tokio tipo kogeneracijos jėgainės vadinamos jėgainėmis su “elektrinės galios praradimu”, kadangi šilumos energijos poreikio padidėjimas, kuro sąnaudoms išliekant pastovioms, neigiamai įtakoja elektrinės/mechaninės energijos gamybą. Elektrinės/mechaninės galios praradimas pasireiškia kondensacinėse garo turbinose su tarpiniu garo nuvedimu bei priešslėginėse garo turbinose su tarpiniu garo nuvedimu. Galios praradimą sukelia aukštų parametrų darbinio fluideo (garo arba išmetamųjų dujų) nuvedimas iš turbinos (ekspanderio) naudingos šilumos energijos gamybai. Paminėtina, kad garo nuvedimas iš šilumos gamybos garo generatorių kombinuotame cikle taipogi gali sukelti elektrinės/mechaninės galios praradimus, net jei garo turbina - priešslėginė.

1.2 Eksploataciniai technologijų ypatumai

Termofikacijos elektrinių priežiūros ir aptarnavimo kaštai

Priežiūros ir aptarnavimo kaštai žymia dalimi priklauso nuo sprendinių pradinėje stadijoje priėmimo (projektavimo, konstravimo, įrangos tipo/ komplektacijos pasirinkimo). Pagrindinės priežiūros ir aptarnavimo kaštų dedamosios skirstomos taip:

- Darbo jėgos sąnaudos. Priklauso nuo jėgainės dydžio bei automatizavimo lygio. Nedidelės galios diapazone (iki 10 MWel elektrinės galios) termofikacijos elektrinės gali dirbti be pagalbinių personalo pilnai automatizuotu režimu. Vidutinės galios sistemose (10 – 30 MWel) be pagalbinių personalo neapsieinama, paprastai užtenka vieno technologinius procesus stebinčio žmogaus. Didelėse sistemose būtinas dviejų ir daugiau aptarnaujančių žmonių personalas. Kietą kurą deginančiose jėgainėse dėl nuolatinio kuro ruošimo ir tiekimo pagalbinių darbininkų skaičius neišvengiamai padidėja. Termofikacinių elektrinių blokus diegiant jau veikiančiose katilinėse, ši sąnaudų dedamoji, priklausomai nuo susiklostančių aplinkybių gali būti prilyginama nuliui.
- Eksploatacinės išlaidos. Tai yra atsarginių detalių, pagalbinių medžiagų bei remonto (einamųjų ir kapitalinių) išlaidos. Pastarosios priklauso nuo termofikacinės elektrinės

tipo, naudojamo kuro rūšies, koku ciklu dirba jėgainė bei įrenginių eksploatavimo kultūros. Jei elektros ir šilumos energijos gamybai yra naudojamos sunkesnės frakcijos, o tuo pačiu prastesnės kokybės kuras (pvz. mazutas), sistema dažnai stabdoma ir paleidžiama, aptarnavimo ir eksploatacinės išlaidos ženkliai padidėja.

- Draudimas. Taip pat priskiriamas prie eksploatacijos kaštų. Gali būti apsidraudžiama nuo nenumatytų įrenginių gedimo, energijos gamybos ir tiekimo neužtikrinimo, pajamų sumažėjimo ir pan. Ši aptarnavimo sąnaudų dedamoji priklauso nuo termofikacijos elektrinės tipo, projektinių sprendinių bei įrenginių darbo sąlygų ir paprastai sudaro 0,25 – 2% visos įrangos kainos.
- Kitos sąnaudos. Administravimo sąnaudos, aplinkos taršos mokesčiai, paskolos palūkanos ir t.t.

Kaip investicijos, taip ir aptarnavimo bei priežiūros kaštai išreiškiami santykiniais dydžiais - t.y. sąnaudomis, tenkančiomis instaliuotai galiai (1 kWel) per tam tikrą laikotarpį. Dažnai termofikacijos elektrinių įrenginių eksploatavimo metu susidarančios priežiūros ir aptarnavimo sąnaudos apibūdinamos dviem dedamosiomis - t.y. kintama ir pastoviaja dalimis. Kintama išreiškiama pinigėmis sąnaudomis, tenkančiomis vienam pagamintam elektros energijos vienetui (ct/kWh). Pastovioji dalis taip pat gali būti perskaičiuojama vienam energijos vienetui, nurodant darbo valandų skaičių ir vidutinį įrenginių apkrovimą.

Į pastoviają sąnaudų dedamąją įtraukiamos visos sąnaudos, nepriklausančios nuo jėgainės apkrovimo ir darbo laiko - t.y. darbo užmokestis administracijai bei aptarnaujančiam personalui, turto mokesčiai, įmokos draudimui ir t.t. Pastoviojoje sąnaudų dedamojoje dominuoja užmokesčio už darbą sąnaudos.

Į kintamų sąnaudų dedamąją įtraukiamos sąnaudos už einamuosius ir kapitalinius remontus, papildomoms žaliavoms įsigyti (vandeniui, alyvoms, kuro priedams), įvairių sistemos dalių remontui, keitimui ir priežiūrai. Pažymėtina, jog šios sąnaudos nėra pastovios, priklauso nuo įrenginio eksploatavimo laiko, todėl pateikiamos eksploatacijos sąnaudų reikšmės įrenginio tarnavimo laikotarpyje yra vidutinės. *Sąnaudos kuru į eksploatacijos sąnaudas netraukiamos.*

Termofikacijos elektrinės su vidaus degimo varikliais

Priežiūros ir aptarnavimo kaštai kinta priklausomai nuo vidaus degimo variklio tipo, alkūninio veleno sukimosi greičio (dažnio), išvystomos elektrinės galios bei variklio cilindru skaičiaus. Įprastai į šio tipo sąnaudas įeina:

- Eksploatacinės sąnaudos - variklio dalių pakeitimas ir kitų papildomų medžiagų atnaujinimas, t.y kuro ir oro filtrų, žvakių, tarpinių, vožtuvų, stūmoklio žiedų, elektroninių dalių, tepalo ir t.t. keitimas;
- Einamieji ir kapitaliniai remontai;

Darbai gali būti atliekami arba įmonės personalo, arba sudarius sutartis su atitinkama veikla užsiimančiomis įmonėmis. Rekomenduojama, kad kas 1000 darbo valandų būtų vykdomi trumpalaikiai priežiūros darbai (tepalų ir oro filtrų, aušinamojo skysčio ir žvakių keitimas). Skaičiuotinas resursas iki cilindru galvutės ir turbokompresoriaus remonto sudaro nuo 2000 iki 10000 darbo valandų. Kas 20000 – 40000 darbo val. atliekamas kapitalinis remontas, apimantis stūmoklio ir žiedų, įvorių, alkūninio veleno guolių bei tarpinių keitimą. Nors vidaus degimo variklių eksploatacija reikalauja nuolatinės priežiūros, variklio tepalo sudėties analizė geriausiai parodo įrenginio nusidėvėjimo laipsnį. Didesnės elektrinės galios vidaus degimo variklių santykinės eksploatacijos sąnaudos yra mažesnės nei mažesnės galios įrenginių, 1.2 lentelė [3].

1.1 lentelė. Jėginių su vidaus degimo varikliais eksploatavimo sąnaudos (€/MWh_{el})

€/MWh _{el}	Elektrinė galia, MW _{el}				
	0,1	0,3	0,8	3	5
Pastovioji dalis	0,9	0,7	0,4	0,1	0,1
Kintama dalis	11,2	9,8	8,7	7,4	7,0
Bendros sąnaudos	12,1	10,5	9,1	7,5	7,1

*Pastaba. priimtas įrengimų darbo laikas – 8000 val./metus.

Pagal [2] literatūros šaltinį 1 – 5 MW_{el} galios įrenginių tipinės eksploatacijos sąnaudos remontams sudaro nuo 6 iki 9 €/MWh. Paminėtina, kad šios reikšmės apytiksliai sutampa su [1] literatūra. Prognozuojama, kad 1 – 5 MW_{el} galios termofikacijos jėginių su vidaus degimo varikliais santykinės eksploatacijos sąnaudos 2004 – 2030 laikotarpyje išliks pastovios. Apibendrinti duomenys pateikti 1.5 lentelėje.

Termofikacijos elektrinės su dujų turbinomis

Einamieji priežiūros ir aptarnavimo darbai apima nuolatinės apžiūros, testavimo, virpesių monitoringo, prognozuojamos priežiūros bei profilaktinių patikrinimų procedūras. Rekomenduojama, kad profilaktiniai patikrinimai būtų vykdomi kas 4000 valandų, atliekant vibracijų monitoringo, rotoriaus, guolių ir turbinos mentelių apžiūros darbus. Kas 12000 – 50000 darbo valandų vykdomas kapitalinis remontas. Tipinio kapitalinio remonto metu keičiamas rotorius, atliekami turbinos elementų atnaujinimo darbai (atraminių bei veleno guolių keitimas), keičiamos sudilusios turbinos mentelės ir t.t.

Pažymėtina, kad eksploatacinės sąnaudos, priklausomai nuo dujų turbinos darbo sąlygų, linkusios ženkliai kisti. Perkraunant turbiną ir viršijant nustatytą projekcinę elektrinę galią, deginant daug priemaišų turintį skystą kurą žymiai padidėja ne tik einamųjų, bet ir kapitalinių remontų tikimybė.

Didesnės elektrinės galios dujų turbinų santykinės eksploatacijos sąnaudos yra mažesnės nei mažesnės galios įrenginių. Apibendrinti eksploatacijos sąnaudų rodikliai pateikiami 1.3 lentelėje.

1.2 lentelė. Termofikacinių elektrinių su dujų turbinomis eksploatacinės sąnaudos

Eil. Nr.	Literatūros šaltinis	Santykinės/pastovios*/kintamos sąnaudos, €/MWh _{el}	Galios, MW _{el}					
			1	5	10	40	100	125
1.	[4]	Kintamų sąnaudų dedamoji	3,9	3,9	3,9	3,0	-	-
		Pastovių sąnaudų dedamoji	4,2	1,1	0,8	0,5	-	-
		Suminės eksploatacijos sąnaudos	8,1	5,0	4,7	3,5	-	-
2.	[5]	Kintamų sąnaudų dedamoji	-	8,0	-	2,8	-	2,0
		Pastovių sąnaudų dedamoji	-	1,0	-	1,0	-	0,8
		Suminės eksploatacijos sąnaudos	>7	9,0	-	3,8	-	2,8
3.	[6]	Suminės eksploatacijos sąnaudos	<5,4	-	-	-	4,6	-

Vidutinės reikšmės	7,7	7,0	4,7	3,7	-	2,8
--------------------	-----	-----	-----	-----	---	-----

*Pastaba. priimtas įrengimų darbo laikas – 8000 val./metus.

Kaip matome, priežiūros ir aptarnavimo sąnaudos pagal skirtingų šalių pateikiamus duomenis, įtraukiant tas pačias sąnaudų dedamąsias, vidutiniškai skiriasi 30 %. Apibendrinant galima teigti, kad bendros eksploatacinės sąnaudos 1 - 125 MW_{el} galios turbinai dirbant gamtinėmis dujomis sudaro nuo 3 iki 8 €/MWh. Prognozuojama, kad 0,1 – 5 MW_{el} galios dujų turbinų eksploatacinės sąnaudos 2010 -2030 metais ženkliai sumažės, o 5 MW_{el} galios kintama sąnaudų dalis sudarys iki 4 €/MWh. Apibendrinti duomenys pateikti 1.5 lentelėje.

Termofikacinės elektrinės su garo turbinomis

Garų turbinos pasižymi patvarumu ir tarnavimo laikas gali siekti net 50 metų. Aptarnavimas ir priežiūra pasižymi paprastumu, tačiau būtinas nepertraukiamas garo, tiekiamo į turbiną bei turbinos guolių tepalo užsiteršimo nuo įvairių priemaišų, kiekio ir temperatūros stebėjimas. Į priežiūrą taip pat įeina tepalo siurblių, aušintuvų, tepalo filtrų bei garo turbinos perkrovimo prietaisų stebėjimas.

Dėl garo vamzdyne darbo/nedarbo metu atsirandančių šiluminių įtempimų eksploatacinės sąnaudos gali ženkliai išaugti. Tikslu sumažinti šiluminių įtempimų poveikį ir galimai sumažinti įrenginių nusidėvėjimą būtinas ilgas sistemos paleidimo laikotarpis.

Didinant į turbiną tiekiamo garo parametrus (slėgį, temperatūrą) neišvengiamai didėja ne tik kapitaliniai, bet ir aptarnavimo kaštai.

Suminės metinės eksploatacijos sąnaudos 0,6 – 4,3 MW_{el} įrenginiuose sudaro nuo 3 iki 4 % kapitalinių sąnaudų, iš jų 2 % tenka pastoviai eksploatacijos sąnaudų dedamajai. Kintamų sąnaudų dedamoji sudaro 7,1 €/MWh. Didelio galingumo sistemų (>100 MW_{el}) suminės eksploatacijos sąnaudos 1MW_{el} gali būti daugiau kaip 50 % mažesnės [2, 7]. Apibendrinti duomenys pateikti 1.5 lentelėje.

Termofikacinės elektrinės su kombinuoto ciklo sistemomis

Kadangi smulki termofikacinių elektrinių su garo ir dujų turbinomis eksploatacinių sąnaudų apžvalga buvo pateikta ankstesniuose skyriuose, detalesnė kombinuoto ciklo jėgainių priežiūros ir aptarnavimo sąnaudų analizė nebepateikiama.

Dėl didelio elektros energijos generavimo naudingumo kombinuoto ciklo jėgainių eksploatacinės sąnaudos, lyginant su vidaus degimo variklių, dujų ir garo turbinų sąnaudomis yra vienos mažiausių.

Įvairiuose šaltiniuose pateikiamų suminių santykinų eksploatacijos sąnaudų kombinuoto ciklo termofikacinėms elektrinėms skiriasi net iki 40 %. Ypač didelis eksploatacijos sąnaudų rodiklių skirtumas pastebimas tarp JAV ir ES šalių. Tipinės priežiūros ir aptarnavimo sąnaudos 4 – 100 MW_{el} galios kombinuoto ciklo termofikacinių elektrinių sistemoms ES šalyse svyruoja nuo 3,25 iki 5,4 €/MWh, [11, 14]. Paminėtina, kad instaliuotai elektrinei galiai didėjant, kintamų eksploatacijos sąnaudų dedamoji mažėja, o pastovių – didėja, 1.4 lentelė. [2].

1.3 lentelė. Kombinuoto ciklo jėgainių kintamų ir pastovių dedamųjų bendrosiose eksploatacijos sąnaudose struktūra.

Eil. Nr.	Santykinės/pastovios*/kintamos sąnaudos, €/MWh _{el}	MW _{el}		
		10	100	400
1.	Kintamų sąnaudų dedamoji	3,5	1,75	1,50
	Pastovių sąnaudų dedamoji	1,25	1,50	1,75
	Suminės eksploatacijos sąnaudos	4,75	3,25	3,25

*Pastaba. priimtas įrengimų darbo laikas – 8000 val./metus.

Apibendrinti duomenys pateikti 1.5 lentelėje.

Termofikacijos elektrinių priežiūros ir aptarnavimo kaštų apibendrinimas

Termofikacijos elektrinių su vidaus degimo varikliais, dujų, garo turbinomis ir kombinuotame cikle apibendrintos bendros eksploatacijos sąnaudos pateikiamos 1.5 lentelėje.

1.4 lentelė. Termofikacijos elektrinių tipinės bendros eksploatacijos sąnaudos

Eil. Nr.	Termofikacinės elektrinės pagrindinio įrenginio tipas	Instaliuota galia, MW _{el}	Eksploatacijos sąnaudos, €/MWh _{el}	Sąnaudų reikšmė, naudojama analizėje, €/MWh _{el}
1.	Vidaus degimo variklis	0,5 – 5,0	6 -11	8,5
2.	Dujų turbina	5,0 – 40,0	4 - 8	6
3.	Garų turbina	0,6 – 50	2 – 4 % nuo investicijų/metus	14,2*
4.	Kombinuotas ciklas	10,0 – 100,0	3,25 – 5,4	4,3

*Pastaba. priimtas įrengimų darbo laikas – 8000 val./metus.

Informacija pateikta 1.5 lentelėje parodo, kad termofikacinių elektrinių tipinės bendros eksploatacijos sąnaudos galimame galių diapazone gan žymiai skiriasi. Tai priklauso nuo daugelio faktorių (technologijos automatizavimo lygio, techninio naujumo ir pan.), kurie kiekvienu atveju turi būti nagrinėjami individualiai, pagal vietos specifinius reikalavimus. Bendro šilumos ir elektros energijos gamybos potencialo ekonominiame vertinime bus naudojamos vidutinės atskiros technologijos eksploatacijos sąnaudos.

1.3 Investicijų poreikis

Termofikacinių elektrinių įrengimo kaštai

Visi projekto įgyvendinimui reikalingi kaštai susideda iš įrangos įsigijimo, instaliavimo, projekto parengimo ir vykdymo sąnaudų.

Įrangos įsigijimo sąnaudos.

Jos apima įrangos įsigijimo, transportavimo ir susidarantių mokesčių sąnaudas, žymia dalimi priklausančių nuo įrangos komplektacijos bei techninių rodiklių. Išskiriami šie pagrindiniai termofikacijos elektrinių modulių elementai bei juos charakterizuojantys techniniai parametrai:

- Pirminis energijos šaltinis (šiluminis variklis) ir elektros generatorius. Prie pagrindinių techninių rodiklių priskiriami tokie parametrai, kaip: šiluminio variklio tipas, elektrinė (mechaninė), šiluminė galia, naudojama kuro rūšis bei alternatyvaus kuro panaudojimo galimybė ir pan.;
- Šilumos nuvedimo ir atgavimo įrenginiai (oru, garu ar termofikaciniu vandeniu, tiekiamo srauto parametrai – slėgis, temperatūra);
- Papildomi šilumos energijos gamybos šaltiniai (naudojamas kuras, reikiama papildoma galia). Rezultatas – galimybė gaminti aukštesnio potencialo šilumos energiją arba padengti pikinius šilumos energijos poreikius;
- Į aplinką nuvedamų degimo produktų sistema (nuvedamų degimo produktų temperatūra, teršalų emisijų mažinimo/monitoringo įrenginiai);

-
- Kuro tiekimo sistema (kieto kuro atveju - sandėliavimo talpa, gamtinių dujų atveju – kompresorius, jei gamtinių dujų slėgį reikalinga padidinti, kitų kuro rūšių (rezervinių) talpos, pajungimas prie kuro tiekimo linijos, kuro apskaita ir pan.);
 - Valdymo pultas (pageidaujamas automatizavimo lygis - sinchronizavimas su tinklu, galios paskirstymas tarp modulių ir t.t.);
 - Prisijungimas prie elektros perdavimo tinklų (prisijungimo linija, matavimo ir apsaugos prietaisai);
 - Vamzdynas, užtikrinantis vandens, garo ir suspausto oro (jei reikalinga) tiekimą ar cirkuliaciją;
 - Ventiliacijos ir degimui tiekiamo oro sistemos (ortakiai, filtrai, triukšmo mažinimo sistemos);
 - Papildoma įranga (vandens paruošimo įrenginiai, akumuliaciniai bakai ir t.t.);
 - Įrangos transportavimas, importo, muitų mokesčiai.

Įrengimo sąnaudos susideda iš:

- Išlaidų, susidarantių išduodant statybos leidimus;
- Sklypo įsigijimo ir paruošimo darbų;
- Reikiamų patalpų statybos darbų;
- Įrangos instaliavimo/prijungimo prie išorinių tinklų sąnaudų;
- Būtinės dokumentacijos paruošimo.

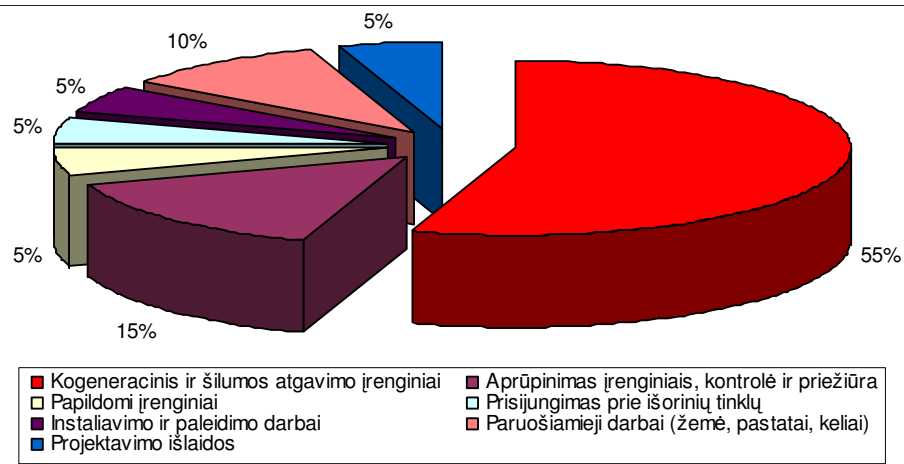
Tuo atveju, kai termofikacinės elektrinės įrenginys statomas jau eksploatuojamoje katilinėje kai kurios minėtos sąnaudų dedamosios į instaliavimo sąnaudas neįtraukiamos.

Projekto parengimo ir vykdymo sąnaudos.

Apima galimų alternatyvų analizę su techniniu – ekonominiu pagrindu, aplinkosauginės studijos, techninio projekto parengimas, organizavimo, valdymo darbai bei papildomos konsultacijos ir personalo apmokymas. Įprastai šių sąnaudų dedamoji sudaro 15 – 30 % pagrindinės įrangos ir instaliavimo darbų kainos [1, 8].

Paminėtina, kad priklausomai nuo sudaromų sutarčių tipo į projekto parengimo ir vykdymo sąnaudas yra įtraukiama nenumatytų atvejų sąnaudų dedamoji (dėl didesnių nei numatyta paskolos palūkanų, projekto draudimo ir kitų sąnaudų). Pradinėje projektavimo stadijoje nenumatyti atvejai gali sudaryti nuo 15 iki 20% kapitalinių sąnaudų, tuo tarpu projekto baigimo stadijoje – iki 5%.

Principinis bendrų sąnaudų pasiskirstymas skirtingoms dedamosioms pateiktas 1.5 paveiksle [1].



1.5 pav. Nedidelės galios termofikacijos elektrinės įrenginio investicijų pasiskirstymo struktūra

Matome, kad viso projekto kaina priklauso nuo daugelio faktorių. Preliminariam projekto įvertinimui prieš projektinių tyrimų stadijoje naudojamos apibendrintos kainos. Tikslus investicijų dydis nustatomas tik parengus detalų techninį projektą ir parinkus atitinkamus įrenginius.

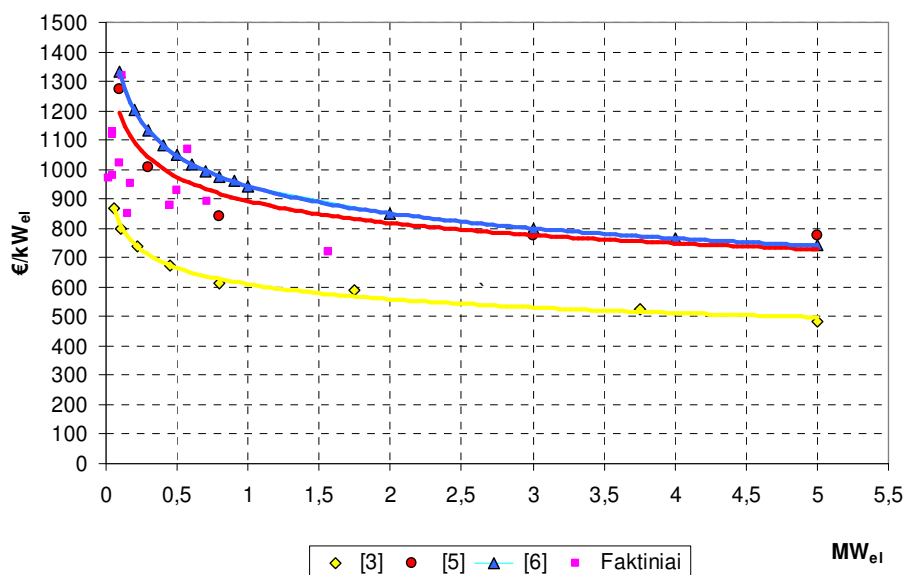
Termofikacijos elektrinės su dujiniais vidaus degimo varikliais

Pagrindinio elektros energijos generavimo įrenginio modulis susideda iš vidaus degimo variklio sujungto su elektros generatoriumi. Į nedidelės galios Otto ciklu dirbančio vidaus degimo variklio komplektą taip pat įeina kuro tiekimo, integruota šilumos utilizavimo (nuvedimo) sistema, elektriniai siurbliai, valdymo pultas su paleidimo sistema, taip pat ir pagrindinis prisijungimo prie elektros sistemos valdymo pultas.

Didelės galios (> 1MWel) ir lėtomis veleno apsukomis pasižyminčių vidaus degimo variklių modulių santykinė kaina galios vienetui didėjant galingumui gali net didėti, o mažesnės galios vidaus degimo variklių moduliai pasižymi mažesnėmis santykinėmis investicijomis. Tai paaiškinama tuo, kad nedidelės galios šio tipo varikliams būdinga gerai išvystyta masinė, dažnai vykdoma kartu su automobilių ar sunkvežimių variklių, gamyba.

Pagrindinio vidaus degimo variklio modulio kaina, įvertinant papildomų įrenginių poreikį (priklausomai nuo konkretaus elektros ir šilumos energijos vartotojo ypatumų bei aplinkosauginių reikalavimų, prisijungimo prie išorinių elektros tinklų būtinumo ir kitų faktorių) sudaro suminius įrangos kaštus. Pastarieji, kartu su numatomais kaštais projektavimui, instaliavimui, projekto valdymui bei papildomoms žaliavoms sudaro sumines projekto investicijas.

Galutinė pagalbinių įrenginių komplekso ir instaliavimo darbų kaina gali sudaryti nuo 50 iki 100 % pagrindinio elektros energijos generavimo įrenginio - modulio kainos [8]. Įvairiuose šaltiniuose pateikiamų suminių santykinų investicijų, termofikacinėms elektrinėms, su dujiniais vidaus degimo varikliais dydžiai pateikiami 1.6 paveiksle.



1.6 pav. Termofikacinių elektrinių su vidaus degimo varikliais suminės santykinės projektų kainos (faktiniai duomenys paremti UAB „Manfula“ įvykdytais projektais)

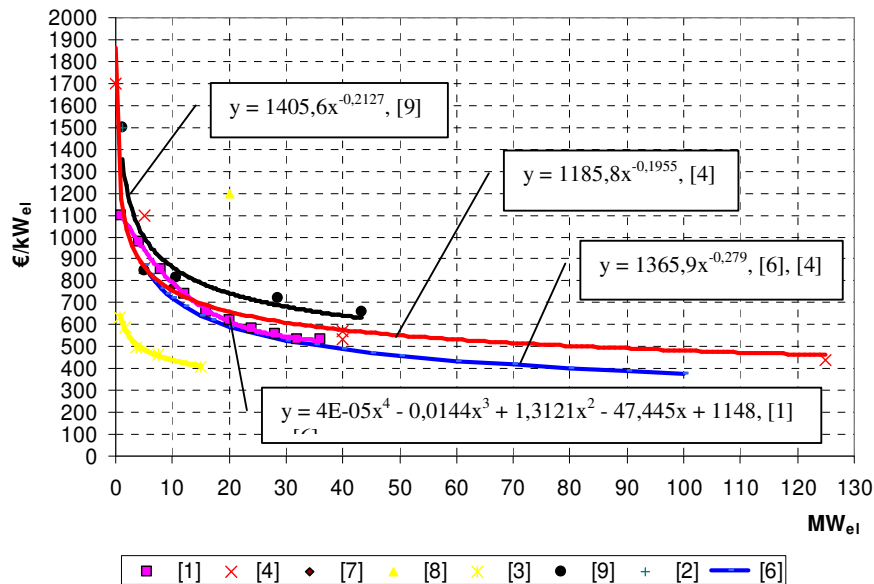
Kaip matome, įvairios galios vidaus degimo variklių investicijų sąnaudos, priklausomai nuo egzistuojančių rinkos sąlygų, jėgainės techniniams ir aplinkosauginiams parametrams keliamų reikalavimų ir kitų faktorių šiek tiek skiriasi. Remiantis mūsų šalyje įgyvendintų projektų faktiniais ekonominiais rodikliais, investicinių kaštų įvertinimui Lietuvoje remiamasi į [9, 10] literatūrose rekomenduojamų ekonominių rodiklių ribas patenkančiais duomenimis.

Kaip minėta, pagrindinio elektros energijos gamybos modulio (šiluminis variklis ir elektros generatorius) kaina didėjant instaliuotai elektrinei galiai didėja, tačiau įvertinant papildomų šilumos energijos utilizavimo įrenginių, elektrinės dalies bei prisijungimo prie išorinių elektros energijos tinklų ir kitas sąnaudas 0,1 – 5 MW_{ei} galios diapazone kinta 700 - 1200 €/kW_{ei} ribose. Prognozuojama, kad 1 – 5 MW_{ei} elektrinės galios termofikacinių elektrinių blokų su vidaus degimo varikliais santykinė kaina 2004 – 2030 metų laikotarpyje išliks pastovi, o mažesnės galios įrenginių kaina turėtų šiek tiek mažėti. Apibendrinti duomenys pateikti 1.7 lentelėje.

Termofikacijos elektrinės su dujų turbinomis

Pagrindinį termofikacijos elektrinių blokų su dujų turbinomis kompleksą sudaro šie elementai: dujų turbina, reduktorius, elektros generatorius, padavimo ir nuvedimo vamzdiniai (kurui, orui, degimo produktams, šilumą perduodantiems fluidams), degimui tiekiamo oro filtrai, tepimo ir aušinimo sistemos, standartinė įrenginio paleidimo sistema bei triukšmo slopintuvai. Dažnai standartinėje komplektacijoje nebūna numatytas į turbiną paduodamo dujinio kuro kompresorius, šilumos utilizavimo ir vandens valymo sistemos, į aplinką išmetamų teršalų emisijų mažinimo bei monitoringo įrenginiai. Pagrindinio dujų turbino modulio kaina, įvertinant papildomų įrenginių poreikį (priklausomai nuo konkretaus elektros ir šilumos energijos vartotojo ypatumų ar aplinkosauginių reikalavimų, prisijungimo prie išorinių elektros tinklų būtinumo ir kitų faktorių) sudaro suminius termofikacijos elektrinės (visos sistemos) kaštus. Pastarieji, kartu su numatomais kaštais projektavimui, instaliavimui, projekto valdymui bei papildomomis žaliavoms sudaro suminės investicijas.

Įvairiuose šaltiniuose pateikiamų suminių santykinų investicijų termofikacijos elektrinėms su dujų turbinomis apibendrinti rezultatai pateikiami 1.7 paveiksle



1.7 pav. Termofikacijos elektrinių blokų su dujų turbinomis suminės santykinės projektų kainos

Matome, kad investicijos į skirtingos galios dujų turbinų sistemas, priklausomai nuo egzistuojančių rinkos sąlygų, jėgainės techniniams bei aplinkosauginiams parametrms keliamų reikalavimų ir kitų faktorių kinta gana plačiose ribose. Remiantis, dviejų šaltinių, t.y. [1] ir [2] duomenys (1.7 pav.) 1 - 20 MW_{el} galios ribose pakankamai gerai sutampa. Pagal 2005 metų duomenis [2] literatūroje santykinės investicijų sąnaudos pateikiamos be sklypo paruošimo, administravimo, konsultavimo, projekto valdymo kaštų. Pagal [1, 8] įvertinus projekto parengimo ir vykdymo darbų sąnaudų dedamąsias, gaunamos suminės santykinės investicijos, kurios yra artimos [10] literatūroje pateiktiems duomenims. Paminėtina, kad pateikiami ekonominiai rodikliai būdingi toms dujų turbinoms, kurių elektros energijos generavimo efektyvumas baziniu apkrovimu svyruoja apie 42 %.

Taigi santykinė investicijų kaina 0,1 – 40 MW_{el} galios įrenginiams svyruoja nuo 650 iki 1950 €/kW_{el} ribose. Pagrindinio dujų turbinos modulio kaina nuo 5 iki 40 MW_{el} galios ribose mažėja nežymiai, tačiau santykinė (€/kW_{el}) pagalbinių įrenginių kaina (t.y šilumos utilizatoriaus, dujų kompresoriaus, vandens valymo įrenginių ir t.t) ženkliai sumažėja, kas sąlygoja kiek mažesnes visos jėgainės santykinės investicijas.

Prognozuojama, kad 5 – 125 MW_{el} galios įrenginių kaina iki 2030 metų išliks pastovi, o 0,1 – 1 MW_{el} galios dujų turbinoms nežymiai sumažės. Apibendrinti duomenys pateikti 1.7 lentelėje.

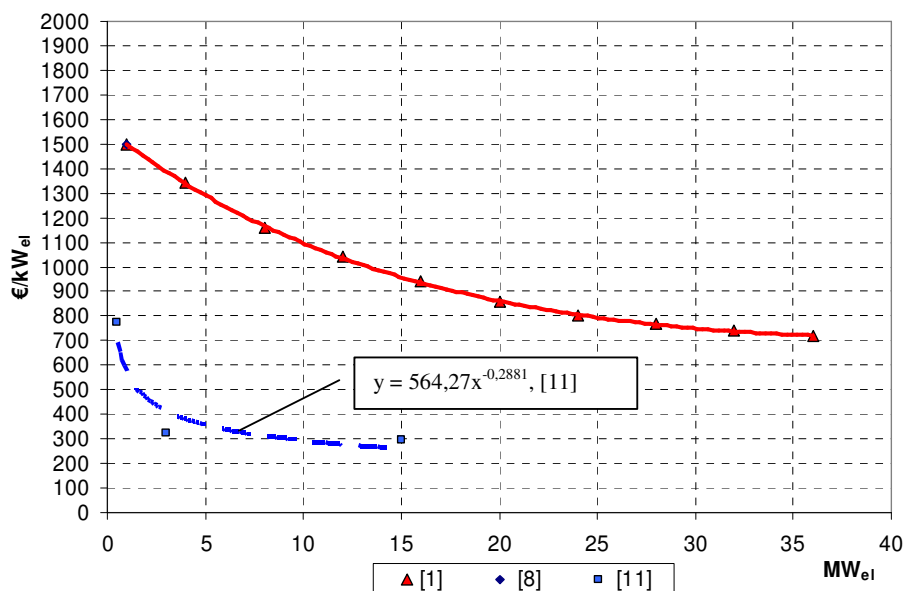
Termofikacijos elektrinės su garo turbinomis

Nedidelio ir vidutinio elektros energijos gamybos naudingumo garo turbinų santykinė įrangos kaina (€/kW_{el}), lyginant su kitais termofikacijos elektrinių moduliais, yra palyginti konkurencinga ir įvairių šalių rinkose kinta 300 - 1000 €/kW_{el} diapazone. Tačiau pilnai sukomplektuotos (katilas + turbina) sistemos santykinės investicijos ženkliai išauga. Tokių įrangos santykinės kainos padidėjimą lemia ne tik didelė aukštų parametrų garų gaminančio katilo kaina, bet ir žema generuojamos elektros ir šilumos energijos kiekių santykio reikšmė, kas sąlygoja palyginti neaukštą sistemos elektros energijos gamybos naudingumą. Pasiekiamas elektros energijos gamybos naudingumas daug mažesnis nei dujų turbinų, kombinuoto ciklo ar vidaus degimo variklių jėgainių ir dažnai tik 6 – 15 % kuro energijos paverčiama elektros energija (mažų garo parametrų sistemos).

Dažnai ekonomiškai tikslinga mažo elektros energijos gamybos naudingumo garo turbinas įrengti į jau eksploatuojamas katilines su garo katilais, pilnai išnaudojant veikiančius garo katilus ir visą papildomą įrangą.

Daugelis pramonės (AB“Pajūrio mediena“, UAB“Arvi cukrus“, AB“Lifosa, AB“Danisco Sugar Panevėžys“, AB“Grigiškės“) ir CŠT įmonių (Druskininkų, Panevėžio, Klaipėdos, Šiaulių) eksploatuoja mažo elektrinio naudingumo nedidelės galios garo turbinas. Esamų katilų darbinis slėgis per mažas efektyviam garo turbinų darbui (psot.<25 bar), o ir garo temperatūra būna artima soties temperatūrai, todėl elektros energijos gamybos naudingumas neviršija 10-15 %. Analizuojant kitų šalių Renkino ciklu dirbančių sistemų pasiekiamus techninius parametrus, mūsų šalyje mažos galios Renkino ciklu dirbančių įrenginių elektrinio efektyvumo padidinimui egzistuoja gana didelis potencialas [11].

Įvairiuose šaltiniuose publikuojamos santykinės įrangos kainos dažniausiai pateikiamos pilnai sukomplektuoto katilo, garo turbinos ir elektros generatoriaus moduliui. Vidutinio ir aukšto efektyvumo garo turbinos sumontavimas prie jau esančių katilų ar kombinuotame cikle kainuoja 300-800 €/kW_{el}, 1.8 paveikslas, punktyrinė linija, [12].



1.8 pav. Termofikacinių elektrinių su garo turbinomis suminės santykinės projektų kainos

Elektros generatoriaus kaina įprastai sudaro nuo 20 iki 40 % viso modulio kainos [8]. Sąnaudos aukštų parametrų garą gaminančio katilo įrengimui sudaro didžiąją kapitalinių sąnaudų dalį (įskaitant kieto kuro atveju būtiną kuro padavimo sistemą, į aplinką išmetamų teršalų emisijų mažinimo technologijas), todėl [1] literatūroje pateikiamų garo jėgainių kaina yra abejotinai maža. Tipinė suminė kietu kuru kūrenamos termofikacinės elektrinės su garo turbina įrangos ir instaliavimo kaina ženkliai viršija 1500 €/kW_{el} ir staigiai didėja mažėjant instaliuotai elektrinei galiai (turima omenyje sistemos, kuriose pasiekiamas el. n.k viršija 15 - 20 %). Remiantis Danijos ekspertų pateikiamais duomenimis apie šiuolaikines technologijas [2] pabrėžiama, kad nedidelės galios (0,6-4,3 MW_{el}) garo turbinos išvysto 25 % elektrinį naudingumą ir tokios galios įrenginiuose naudingumo didinimas nebenumatomas. Reikia, mažos galios įrenginiuose elektrinio naudingumo riba jau pasiekta, o tolimesnis efektyvumo didinimas nebepagrindžiamas ekonomiškai. Jau dabar mažos galios įrenginių santykinė instaliavimo kaina 4 - 6 kartus didesnė nei >400 MW_{el} galios įrenginių. 0,6 - 4,3 MW_{el} galios garo turbinų prognozuojama kainos kaita pateikiama 1.6 lentelėje.

1.5 lentelė. Biokuro jėgainių su garo turbinomis santykinė investicijų kaina

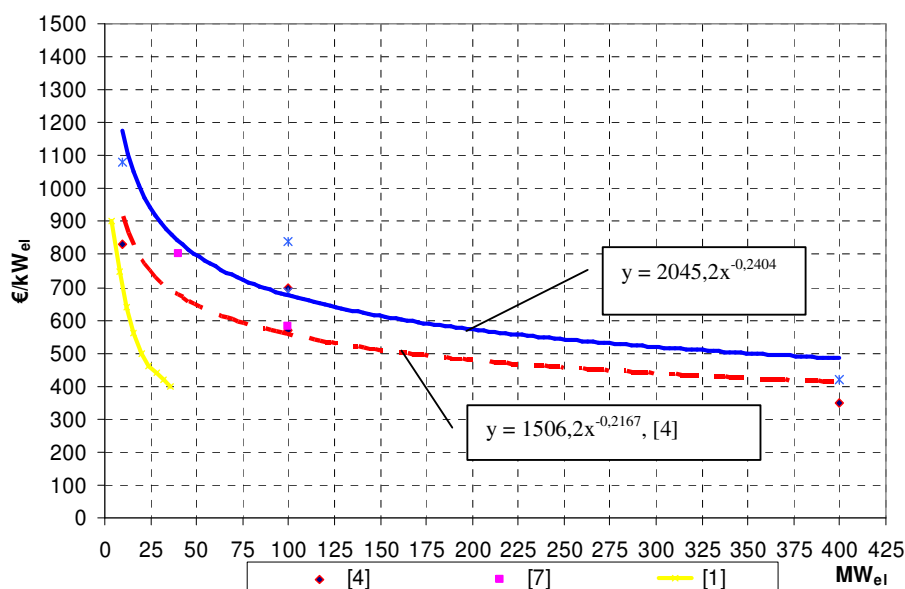
Metai	2004	2010 - 2015	2020 - 2030
Santykinė kaina €/kW*	4200 - 5700	3400 - 4700	2800 - 3800

Apibendrinti duomenys pateikti 1.7 lentelėje.

Termofikacinės elektrinės naudojančios kombinuotą ciklą

Kadangi smulkus termofikacinių elektrinių su garo ir dujų turbinomis aprašymas buvo pateiktas ankstesniuose skyriuose, detalus kombinuoto ciklo aprašymas nebepateikiamas. Principe, kombinuoto ciklo jėgainės charakterizuojamos kaip mažomis santykinėmis investicijomis (mažesnėmis nei garo, dujų turbinų ar vidaus degimo variklių), aukštu elektros energijos generavimo naudingumu pasižyminčios elektrinės.

Termofikacinių elektrinių su kombinuoto ciklo sistemomis santykinės investicijos pateiktos 1.9 pav.



1.9 pav. Termofikacinių elektrinių su kombinuoto ciklo sistemomis suminės santykinės projektų kainos

Atlikus [1, 2, 3] literatūros analizę matome, kad mažesnių nei 200 MW_{el} galios kombinuoto ciklo jėgainių santykinė investicijų kaina, mažėjant instaliuotai elektrinei galiai, smarkiai didėja, [2]. Punktyrine linija pateikiama santykinė instaliavimo kaina yra be projekto parengimo ir vykdymo sąnaudų. Ištinis mėlyna linija pateikiamos bendros, elektrinės galios vienetui tenkančios sąnaudos.

Pateikiamų kombinuoto ciklo jėgainių ekonominiai rodikliai taikytini jėgainėms, kurių elektrinis efektyvumas siekia 46 – 54 %. Prognozuojama, jog 1.9 pav. pateikiamos 10 – 100 MW_{el} galios jėgainių investicinės kainos 2004 – 2030 laikotarpyje išliks pastovios. Apibendrinti duomenys pateikti 1.7 lentelėje.

Termofikacinių elektrinių pagrindinės įrangos ir įrengimo kaštų apibendrinimas

Termofikacinių elektrinių su vidaus degimo varikliais, dujų, garo turbinomis ir kombinuotu ciklu apibendrintos santykinės įrangos ir įrengimo kainos pateikiamos 1.7 lentelėje.

1.6 lentelė. Apibendrintos termofikacinių elektrinių bendros santykinės sąnaudos

Eil. Nr.	Termofikacinės elektrinės pagrindinio įrenginio tipas	Instaliuota galia, MW _{el}	Santykinė projekto kaina, €/kW _{el}	Kaina, naudojama analizėje, €/kW _{el}
1.	Vidaus degimo variklis	0,5 – 5,0	750 - 900	825
2.	Dujų turbina	5,0 – 40,0	650 - 1000	825
3.	Garų turbina + katilas	0,6 – 50	3500 - 5700	4600
4.	Kombinuotas ciklas	10,0 – 100,0	680 - 1180	930

Informacija pateikta 1.7 lentelėje parodo, kad technologijų kainos galimame galių diapazone gan žymiai skiriasi. Tai priklauso nuo daugelio faktorių (technologijos automatizavimo lygio, techninio naujumo ir pan.), kurie kiekvienu atveju turi būti nagrinėjami individualiai, pagal vietos specifinius reikalavimus. Bendro šilumos ir elektros energijos gamybos potencialo ekonominiame vertinime bus naudojamos vidutinės atskirai technologijai reikiamų investicijų kainos.

2 Kogeneracijos galių optimizavimo principai ir taikymo pavyzdžiai

2.1 Elektrinės galios parinkimo kriterijai

Šilumos ir elektros energijos gamybos technologinis bendrumas

Šilumos ir elektros energijos kiekis matuojamas tuo pačiu energijos kiekio matavimo vienetu - džauliu [J]. Tačiau ar tai pakankamas faktorius, galintis patvirtinti šilumos ir elektros energijos gamybos technologinį bendrumą (neatsiejamumą)? Ekserginiu požiūriu šilumos energijos gamyba garo katiluose termodinamiškai neefektyvus procesas, tačiau garo gamybos paplitimą lėmė visa eilė istoriškai ir techniškai susijusių faktų. Garo reikėjo pramonei bei papildymo vandens deaeracijai, todėl daugelis centralizuoto šilumos tiekimo įmonių turėjo bent po vieną garo katilą.

Siekiant aptarti šilumos ir elektros energijos gamybos technologinį bendrumą panagrinėkime šilumos ir elektros energijų gamybas atskirai, o vėliau kartu.

Naudojant vandens šildymo katilus tradiciniame (ang. Conventional) šilumos energijos gamybos procese, energija gaminama 90 % ar didesniu naudingumu, vertinant pagal žemesniąją kuro degimo šilumą. Gaminant šilumos energiją garo pavidalu, gamybos naudingumas sumažėja dėl papildomų nuostolių ir šilumos mainų specifika lemiančių faktorių, tokių kaip:

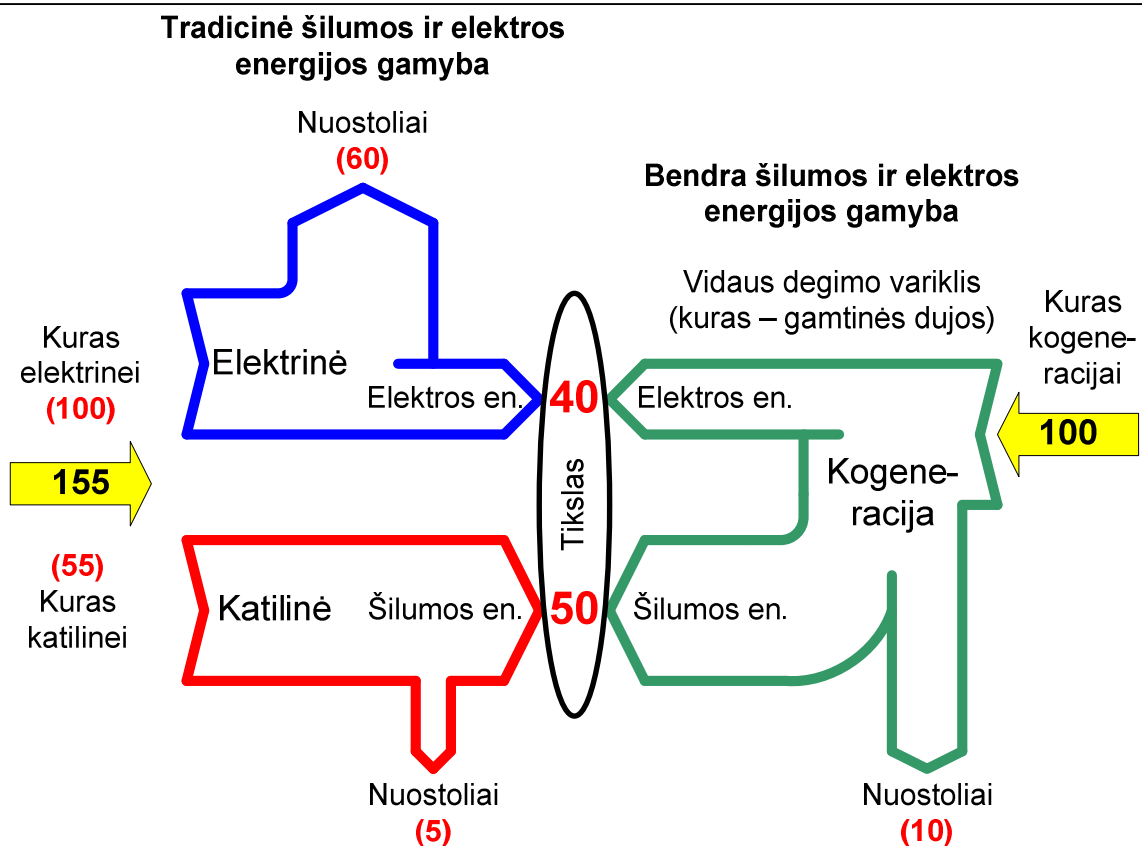
- didesnis įrenginių skaičius, o tuo pačiu ir šilumos energijos nuostoliai nuo įrenginių paviršių bei su šilumnešio pratekėjimais;
- neišvengiamai atsiranda „prapūtimai“ garo katiluose;
- kiti faktoriai susiję su ekonomazerių poreikiu, vandens kokybe ir pan.

Remiantis anksčiau išdėstytomis nuostatomis ir faktoriais, įtakojančiais šilumos energijos gamybos naudingumo sumažėjimą, galima teigti, kad **šilumos energijos gamybai, elektros energijos gamyba nėra tikslinga.**

Ši nuostata galiotų tik tuo atveju, jei rinkoms būtinus elektros energijos kiekius gamintų vėjo, saulės ar hidroenergetikos objektai ir iškastinis kuras visiškai nebūtų naudojamas. Vėjas, saulė ir vanduo nėra prieinami ištisus metus, o ir iš jų gaunamos energijos akumuliacija šiai dienai yra ypač sudėtingas bei brangus. Esant tokiai situacijai iškastinis kuras, įvertinant jo prieinamumą ir sąlyginį pigumą, yra ir bus pagrindinis elektros energijos gamybos šaltinis daugelyje pasaulio šalių, tame tarpe ir Lietuvoje.

Aptarkime tradicinę elektros energijos gamybos schemą. Lietuvos elektrinėje, kuri po Ignalinos AE uždarymo taps pagrindiniu vietiniu elektros energijos gamintoju, instaliuota elektros energijos gamybos galia siekia 1800 MW. Tačiau gamybos naudingumas tesiekia apie 40 – 42 %. Beveik visa technologinio proceso metu gaunama šilumos energija prarandama aušinimo įrenginiuose šildant Elektrėnų marias, kas ir sąlygoja žemą energijos gamybos naudingumą.

Apibendrinant aukščiau pateiktas mintis ir norint paryškinti šilumos ir elektros energijos gamybos technologinį bendrumą per paminamos produkcijos ir pasiekiamo naudingumo prizmę, palyginkime atskirą bei bendrą šilumos ir elektros energijos gamybos procesą. Tradicinio (atskiro) bei bendro šilumos ir elektros energijos gamybos būdų palyginimas, siekiant to paties tikslo t.y. 40 vienetų elektros energijos ir 50 vienetų šilumos energijos gamybos, pateiktas 2.1 paveiksle.



2.1 pav. Šilumos ir elektros energijos gamybos būdų palyginimas

Pateiktame 2.1. paveiksle matome, kad šilumos ir elektros energijos gamyba bendrame technologiniame procese yra beveik 50 % naudingesnė, lyginant su atskira gamyba. Nepaisant akivaizdžios naudos, kogeneracijos paplitimas Lietuvoje vis dar sąstingyje ir verslo ekonomikos (ang. Business economic) lygmenyje šios tendencijos neryškios.

Bendra šilumos ir elektros energijos gamyba planinės ekonomikos rėmuose buvo numatyta tik didžiuosiuose šalies miestuose t.y. Vilniuje, Kaune, Klaipėdoje, Panevėžyje. Tačiau tik Vilniaus ir Kauno miestų kogeneracijos įrenginių šiluminė galia buvo pakankama visiškam miesto šiluminės energijos poreikio tenkinimui. Kituose miestuose esančios sistemos buvo daugiau skirtos „savų“ elektros energijos poreikių tenkinimui ar rezervavimui ir beveik neįtakėjo elektros energijos rinkos.

Šiandieninis (2005 metų) kogeneracijos sistemų pasiskirstymas pagal instaliuotą elektrinę galią pateiktas 2.1 lentelėje [13].

2.1 lentelė. Lietuvoje veikiančių kogeneracinių sistemų pasiskirstymas pagal elektrinę galią

Kogeneracijos įrenginiai pagal nominalią elektrinę galią	Elektrinių skaičius, vnt.	Suminė instaliuota elektrinė galia, MW
Iki 1 MW	15	4,4
nuo 1 MW iki 5 MW	9	21,5
nuo 5 MW iki 50 MW	5	88,5
virš 50 MW	4	2540,0
Viso	33	2654,4

Pastaba. Suskirstymas į kategorijas pagal elektrinę galią atliktas pagal Valstybinės kainų ir energetikos kontrolės komisijos 2004 m. liepos 29 d. nutarimą Nr. O3-84.

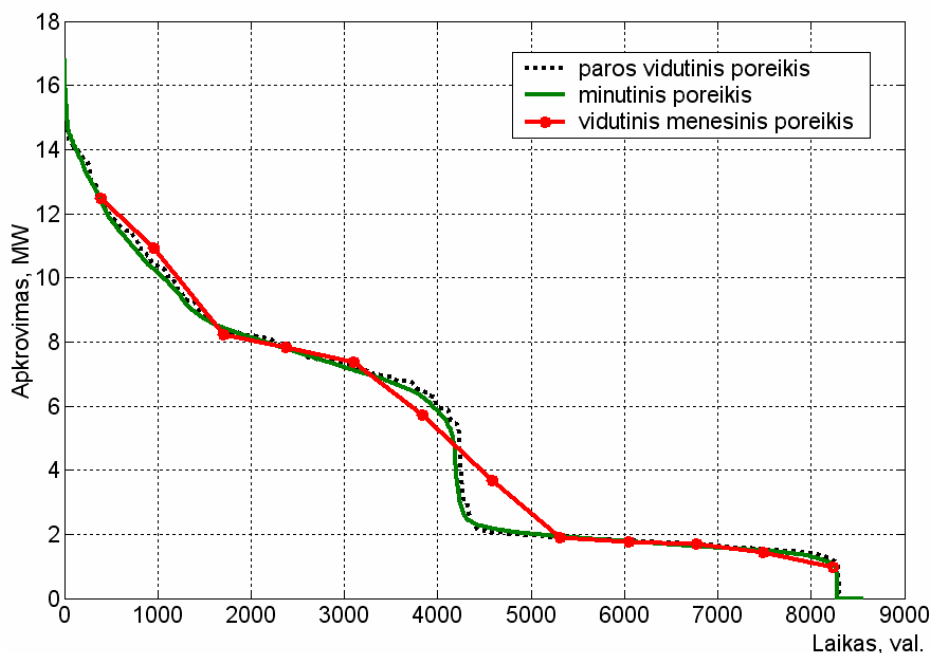
Nevertinant Lietuvos elektrinės, kuri pagal esamą šiluminę schemą gali bet kuriuo energetiniu bloku gaminti šilumos energiją Elektrėnų miesto šilumos poreikių tenkinimui,

centralizuoto šilumos tiekimo sektoriuje yra instaliuota apie 580 MW elektros energijos gamybos pajėgumų, išnaudojančių esamą šilumos energijos poreikį.

Šilumos energijos poreikis ir jo kitimas centralizuotoje šilumos energijos tiekimo sistemoje

Metinis šilumos energijos poreikio grafikas tai vienas pagrindinių rodiklių, lemiančių šilumos energijos gamybos įrenginių galią, jų skaičių ir reikalingas technines charakteristikas, tokias kaip „nusikrovimo“ galimybė ir pan. Šis grafikas yra šilumos energijos poreikio galios kitimo, tam tikro laiko periodo atžvilgiu, funkcija. Dažnai metinis ar mėnesinis šilumos energijos poreikio kitimas gali būti analizuojamas dienolaipsnių metodu, kurio taikymas išsamiai aprašytas [14] literatūroje. Šiame darbe netirsime klimato įtakos galimoms alternatyvoms, todėl dienolaipsnių metodo netaikysime.

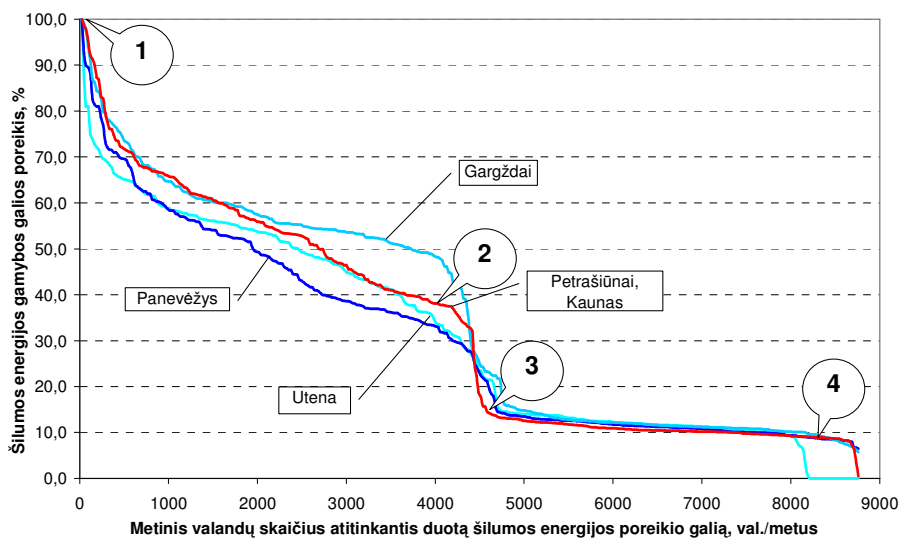
Momentinio šilumos energijos poreikio (MW) išreiškimas laiko atžvilgiu (sekundei) nėra būtinas centralizuoto šilumos energijos tiekimo sistemose dėl energijos vartojimo nevienalaikiškumo faktoriaus. Minutinis (10 min. vidurkis), paros (24 val. vidurkis) ir mėnesinis (mėnesio vidurkis) šilumos energijos poreikio grafikai pateikti 2.2 paveiksle.



2.2 pav. Faktinis 2003 metų šilumos energijos poreikio grafikas Petrašiūnų mikrorajone, Kaune

Iš pateikto paveikslo matome, kad su pakankamu tikslumu galima naudoti šilumos energijos poreikio grafiką išreikštą paros vidurkiu. Santykinė paklaida pasirenkant paros vidurkį vietoje 10 min. šilumos energijos poreikio vidurkio, neviršija 3%, kas yra pakankamas tikslumas šilumos energijos gamybos įrenginių apkrovų režimų optimizavimui.

Bendro šilumos ir elektros energijos gamybos būdo potencialo įvertinimas, analizuojant kiekvieną centralizuoto šilumos tiekimo sistemą, yra labai imlus laikui, o ir daryti tai nėra nebūtina. Kaip pavyzdį 2.3 paveiksle pateikiame keturių šalies miestų, esančių skirtingose apskrityse, šilumos energijos poreikio grafikus, išreikštus paros vidurkiu ir perskaičiuotus norminiams metams.



2.3 pav. Metinio šilumos energijos poreikio pasiskirstymas ir tipiniai taškai

Beveik visų centralizuoto šilumos tiekimo sistemų šilumos energijos poreikio grafikus galime charakterizuoti 4-iais tipiniais taškais:

- **Taškas Nr.1.** Parodo maksimalią šilumos energijos poreikio galią, būnančią tik keletą valandų metuose per taip vadinamą šalčiausią penkiadienį.
- **Taškai Nr.2 ir Nr.3.** Nusako šildymo sezono pradžią ar pabaigą. Taip pat taškas Nr.3 parodo maksimalią nešildymo sezono šilumos energijos poreikio galią susidedančią iš karšto buitinio vandens vartojimo piko, nuostolių energijos perdavimo vamzdynuose ir, jei yra, pramonės poreikio technologinėms reikmėms maksimumo.
- **Taškas Nr.4.** Charakterizuoja minimalią centralizuoto šilumos energijos poreikio galią.

Šildymo sezono metu, ir ypač jam prasidedant, šilumos energijos poreikio grafikai gan žymiai skiriasi dėl paaiškinamų priežasčių, tokių kaip: sistemos dydis, klimato zonos (pajūris ar labiau žemyninė dalis) bei vartotojų specifika. Tačiau nešildymo sezono metu šilumos energijos poreikio grafikai beveik sutampa. Santykinė paklaida neviršija 5 %, kas yra pakankamas argumentas apibendrinto šilumos energijos poreikio apkrovos grafiko taikymui betkuriai šalies centralizuoto šilumos energijos tiekimo sistemai. Ypač tai priimtina norint užtikrinti šilumos energijos gamybos įrenginiui ne trumpesnę kaip 4000-6000 val. darbo laiką per metus. Pateiktų šilumos energijos poreikio grafikų vidurkis, sąlyginai įvertinantis šalies regioninį pasiskirstymą, bus vėliau naudojamas bendro šilumos ir elektros energijos gamybos būdo potencialo analizėje.

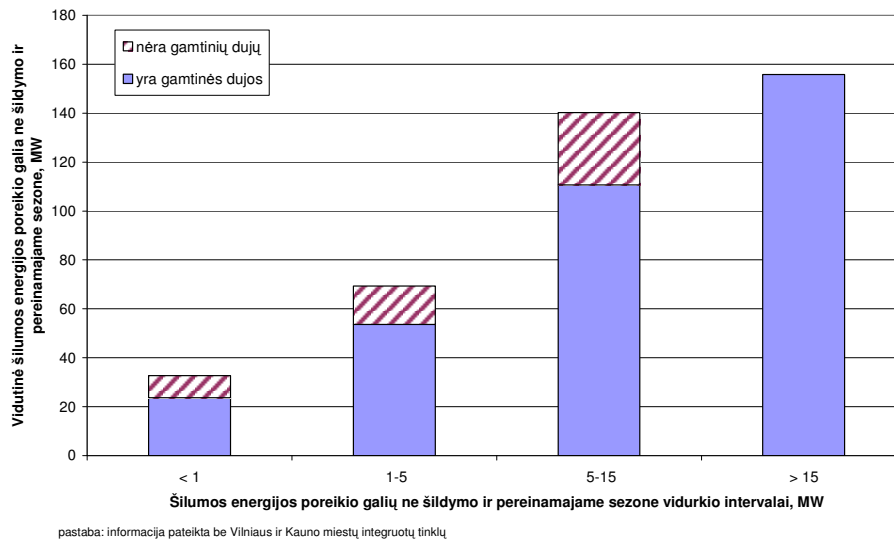
Techninio bendro šilumos ir elektros energijos gamybos būdo potencialo vertinimui yra pasirinktas apibendrintas dydis t.y. vidutinė šilumos energijos poreikio galia atitinkanti šilumos energijos poreikio grafiko taškų Nr. 2, 3 ir 4 aritmetinį vidurkį, nusakantį šilumos energijos poreikio galią per ne šildymo ir pereinamąjį sezonus.

Hidrauliškai nepriklausomų centralizuoto šilumos energijos tiekimo tinklų išskyrimas

Siekiant atlikti techninio bendro šilumos ir elektros energijos gamybos būdo potencialo vertinimą Lietuvos centralizuoto šilumos tiekimo sektoriuje (gamyba >5GWh) buvo išanalizuoti 220 hidrauliškai nepriklausomi termofikacinio vandens tinklai, tiekiantys šilumos energiją gyvenamajam sektoriui, visuomeninėms organizacijoms ir pramonei.

Dalis CŠT tinklų (viso 70 sistemų), kurių maksimalios šilumos energijos poreikio galios vidurkis tik 774 kW, nebuvo vertinami kaip potencialios sistemos. Šių sistemų vartotojams šilumos energija vasaros metu nėra tiekiamas.

Centralizuoto šilumos energijos tiekimo sektoriaus pasiskirstymas pagal kuro prieinamumą ir vidutinę šilumos energijos poreikio galią per ne šildymo ir pereinamąjį sezonus pateiktas 2.4 pav.



2.4 pav. Centralizuoto šilumos energijos tiekimo sektoriaus pasiskirstymas pagal kuro prieinamumą ir vidutinę šilumos energijos poreikio galią per ne šildymo ir pereinamąjį sezonus

Analizėje daroma prielaida, kad būtina vertinti ir tokios CŠT sistemas, kurios esamu momentu disponuoja elektros energiją gaminančiomis jėgainėmis, tačiau instaliuotų galingumų nėra pakankama pilnam šilumos energijos poreikio tenkinimui. Prie tokių sistemų galime priskirti Klaipėdos, Panevėžio, Šiaulių, Marijampolės, Alytaus, Druskininkų ir kitų miestų CŠT sistemas.

Taip pat nevertinama ir nepriklausomo šilumos energijos teikėjo, ypač pramonės įmonių įtaka bendro šilumos ir elektros energijos gamybos būdo potencialui. Geriausias to pavyzdys Klaipėdos miesto CŠT sistema, kurioje gan žymią šilumos energijos gamybos dalį sudaro pramonės įmonių atliekinė ir geoterminė šilumos energija.

Prioritetinių technologijų pasirinkimas ir prielaidų, lemsiančių techninio potencialo dydį, sudarymas

Analizuojant prioritetines elektros energijos gamybos technologijas, buvo remiamasi statistine informacija, kurioje pateikiamas atskirų technologijų paplitimas pasaulyje. Pagal [1,2] literatūroje pateikta informacija, prie labiausiai paplitusių technologijų galima būtų priskirti keturias sistemas su:

- Vidaus degimo varikliais (VDV);
- Dujų turbinomis (DT);
- Garo turbinomis (GT) ir
- Kombinuoto ciklo jėgainės (dujų ir garo turbinos vienoje sistemoje) (KCJ)

Pagrindiniai šių sistemų techniniai rodikliai, priklausomai nuo technologinio lygio pateikti 2.2 lentelėje.

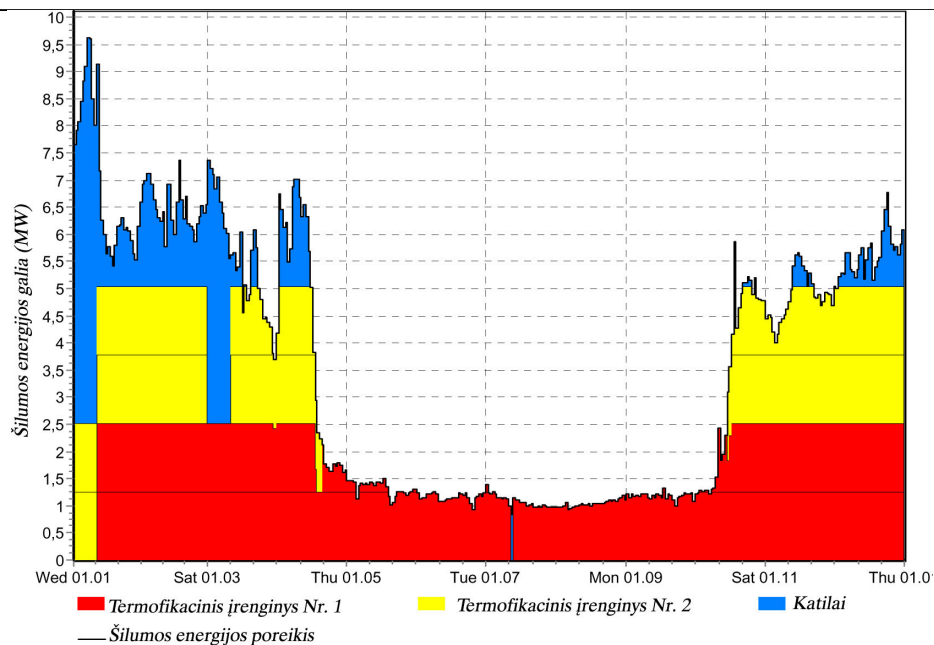
2.2 lentelė. Pasaulyje labiausiai paplitusios technologijos, skirtos bendrai gaminti elektros ir šilumos energiją

Vidaus degimo varikliai					
<i>Didelio elektrinio naudingumo</i>			<i>Mažo elektrinio naudingumo</i>		
<i>Elektrinis nk</i>	<i>Šiluminis nk</i>	<i>Bendras nk</i>	<i>Elektrinis nk</i>	<i>Šiluminis nk</i>	<i>Bendras nk</i>
0,44	0,44	0,88	0,38	0,58	0,96
Dujų turbinos					
<i>Didelio elektrinio naudingumo</i>			<i>Mažo elektrinio naudingumo</i>		
<i>Elektrinis nk</i>	<i>Šiluminis nk</i>	<i>Bendras nk</i>	<i>Elektrinis nk</i>	<i>Šiluminis nk</i>	<i>Bendras nk</i>
0,40	0,40	0,80	0,29	0,62	0,91
Garų turbinos (p>40 bar)					
<i>Didelio elektrinio naudingumo</i>			<i>Mažo elektrinio naudingumo</i>		
<i>Elektrinis nk</i>	<i>Šiluminis nk</i>	<i>Bendras nk</i>	<i>Elektrinis nk</i>	<i>Šiluminis nk</i>	<i>Bendras nk</i>
0,25	0,55	0,80	0,18	0,67	0,85
Kombinuotas ciklas					
<i>Didelio elektrinio naudingumo</i>			<i>Mažo elektrinio naudingumo</i>		
<i>Elektrinis nk</i>	<i>Šiluminis nk</i>	<i>Bendras nk</i>	<i>Elektrinis nk</i>	<i>Šiluminis nk</i>	<i>Bendras nk</i>
0,54	0,31	0,85	0,46	0,43	0,89

Priklausomai nuo tos pačios technologijos gamintojo, įrangos techniniai parametrai gan žymiai skiriasi. Tai lemia atskirų gamintojų investicijų lygis technologijos tobulinimui, o taip pat ir tikslinė paskirtis. Tarkime didelio elektrinio naudingumo vidaus degimo variklio pagalba gaminamas technologinis garas (katile utilizatoriuje) ne visuomet užtikrins technologinius poreikius, dėl mažesnės nei reikia garo temperatūros ar slėgio (Karnot dėsnis). Esant tokiai situacijai pasirenkamas mažesnio elektrinio naudingumo įrenginys, tačiau garantuojantis reikiamų parametru garo gamybą. Atliekant techninio potencialo analizę, priimamas technologinis lygis atitinkantis rinkoje esančių technologijų vidurkį.

Kitas svarbus faktorius, lemiantys techninio potencialo dydį, yra termofikacinėje elektrinėje numatomas instaliuoti atskirų blokų, galinčių nepriklausomai vienas nuo kito gaminti tiek šilumos tiek ir elektros energiją, skaičius. Vertinant techninio potencialo dydį daroma prielaida, kad CŠT sistemoje instaliuojami du blokai, užtikrinantys nepertraukiamą elektros energijos gamybą dėl neišvengiamų eksploatacinių stabdymų (techninės profilaktikos ir pan.).

Dar vienas svarbus faktorius įtakojantis techninio potencialo dydį, yra energijos gamybos įrenginio, atskiro bloko, nusikrovimo lygis t.y. kiek techniškai galima nukrauti įrenginį lyginant su nominalia elektros energijos gamybos galia. Vertinant techninį potencialą daroma prielaida, kad kiekvienas termofikacijos elektrinės blokas gali nusikrauti iki 35 %, nuo nominalios galios, nors ekonomiškai pagrįstas nusikrovimas svyruoja 40-60 % ribose. Priimtas termofikacijos elektrinės blokų darbo režimas pateiktas 2.5 pav.

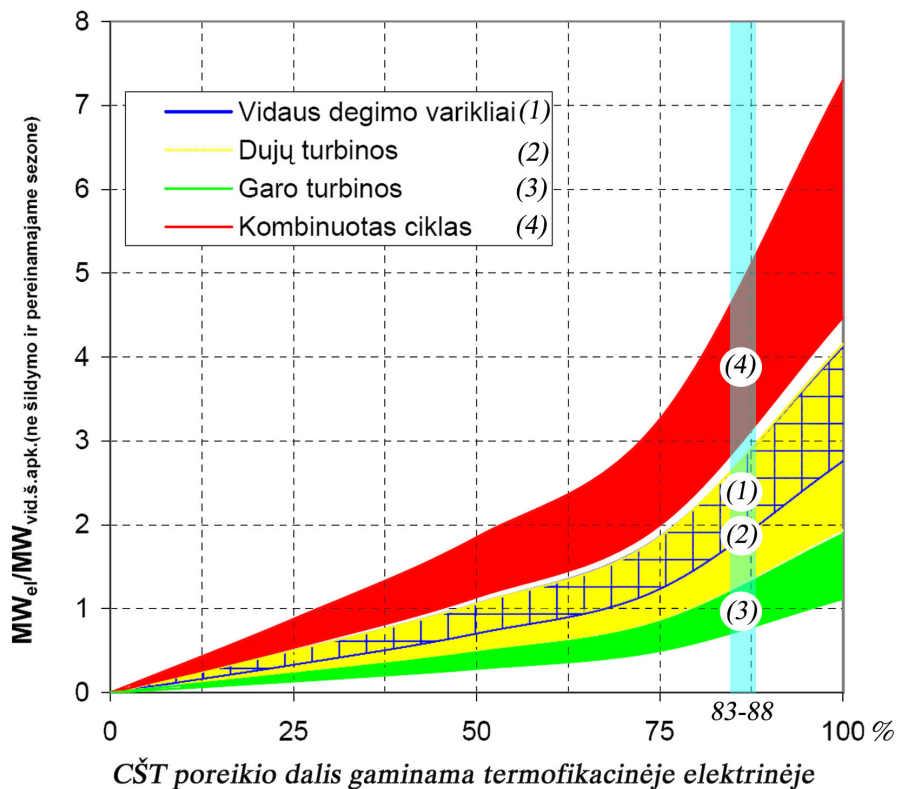


2.5 pav. Termofikacinės elektrinės blokų darbo režimai

Atlikus skaičiavimus nustatyta, kad tik apie 15 % elektros energijos būtų gaminama nusikrovimo intervale tarp 35 % ir 50 %, todėl techninio potencialo vertinime 35 % nusikrovimo riba yra priimtina.

Pagal [2] literatūroje pateiktą informaciją vidaus degimo varikliams techninė profilaktika užtrunka apie 5 % teoriškai galimo darbo laiko (8760 h/metus). Siekiant tai įvertinti 2.5 pav. priėmėme pusę techninei profilaktikai reikiamo laiko šildymo sezono metu. Nešildymo sezono metu techninė profilaktika gali būti atliekama bet kuriuo laiko momentu vienam iš termofikacinės elektrinės blokų, kadangi antrajame instaliuota šilumos energijos gamybos galia yra pilnai pakankama CŠT sistemos poreikio tenkinimui.

Įvertinus anksčiau aprašytas prielaidas buvo gautos termofikacinės elektrinės blokų instaliuotinos elektros energijos gamybos galios pagal kiekvieną iš nagrinėjamų technologijų, atitinkančios vidutinę šilumos energijos poreikio galią per ne šildymo ir pereinamąjį sezonus. Gauti rezultatai pateikti 2.6 pav.



2.6 pav. Instaliuotina elektros energijos gamybos galia CŠT sistemoje

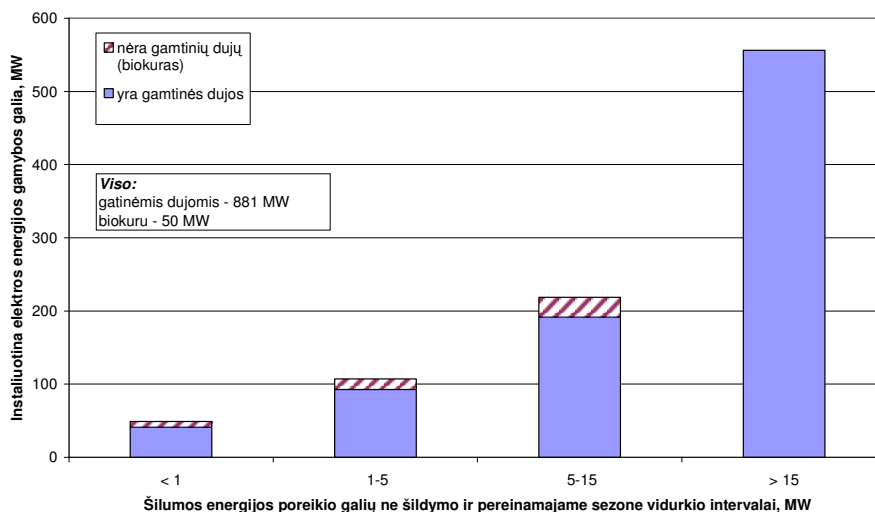
Pagal atliktus skaičiavimus, termofikacijos elektrinių techninis šilumos energijos gamybos potencialas sudarytų apie 83 % - 88 % bendro šilumos energijos poreikio CŠT sistemose. Priklausomai nuo technologijos instaliuotina elektros energijos gamybos galia svyruoja tarp 1 MW ir 4 MW vidutinei šilumos energijos poreikio galiai per ne šildymo ir pereinamąjį sezonus.

Bendro šilumos ir elektros energijos gamybos būdo techninio potencialo vertinimas, parenkant technologijas priklausomai nuo CŠT sistemos specifikos ir kuro prieinamumo

Parenkant atitinkamas technologijas buvo daroma prielaida, kad nesant gamtinėms dujoms, priimtinausia technologija būtų garo turbinos. Esant gamtinėms dujoms pagal ne šildymo ir pereinamojo sezono vidutinę galią technologijos pasiskirstytų taip:

- Iki 1MW – vidaus degimo varikliai;
- 1 – 5 MW – vidaus degimo varikliai;
- 5 – 15 MW – vidaus degimo variklių ir dujų turbinų kombinacija;
- Virš 15 MW – kombinuotas ciklas.

Bendro šilumos ir elektros energijos gamybos būdo techninis potencialas pagal instaliuotinas elektros energijos gamybos galias pateiktas 2.7 pav.

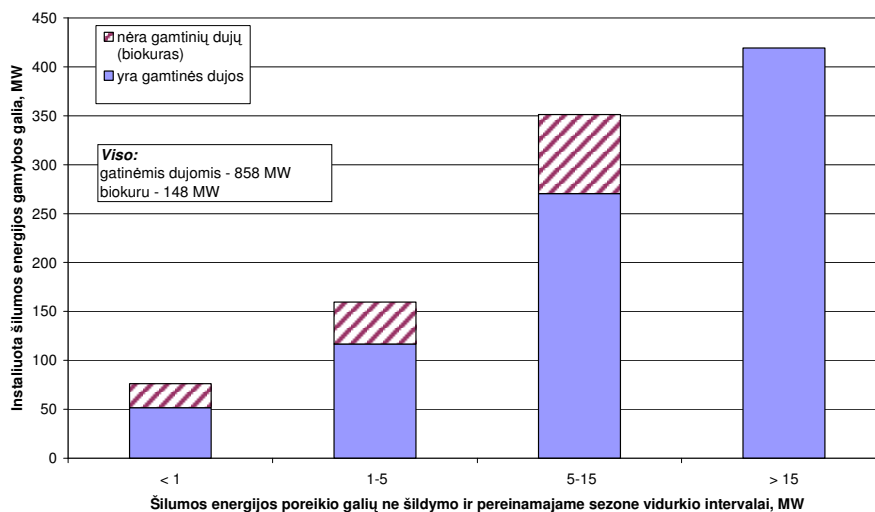


2.7 pav. Instaliuotina elektros energijos gamybos galia Lietuvos CŠT sektoriuje, nevertinant Vilniaus ir Kauno miestų integruotų sistemų

Didžiausias elektros energijos gamybos potencialas sukonzentruotas didžiuosiuose šalies miestuose, tokiuose kaip, Klaipėda (246 MW), Šiauliai (108 MW), Alytus (106 MW) ir Panevėžys (96 MW).

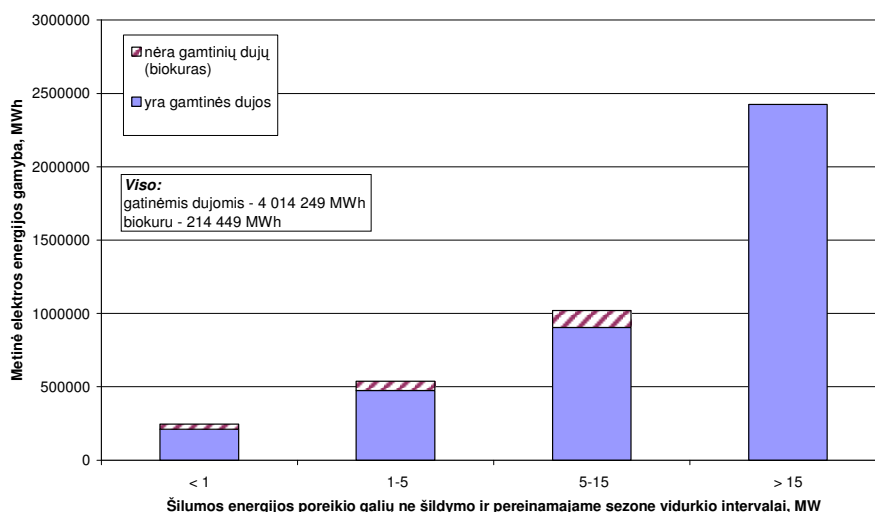
Atliekant ekonominį bendro šilumos ir elektros energijos gamybos būdo potencialo vertinimą papildomos instaliuotinos galios jūtamai sumažės, visų pirma dėl jau veikiančių termifikacijos elektrinių blokų, pagrinde mažo elektrinio naudingumo garo turbinų pagrindu. Taip pat Klaipėdos sistemos pavyzdžiu, instaliuotinas elektros energijos gamybos potencialas sumažės ir dėl esamų ne nepriklausomų šilumos gamintojų (AB „Pajūrio mediena“) ir geoterminės šilumos energijos privalomo supirkimo.

Instaliuotinas šilumos energijos gamybos techninis potencialas pateiktas 2.8 pav.



2.8 pav. Instaliuotina šilumos energijos gamybos galia Lietuvos CŠT sektoriuje, nevertinant Vilniaus ir Kauno miestų integruotų sistemų

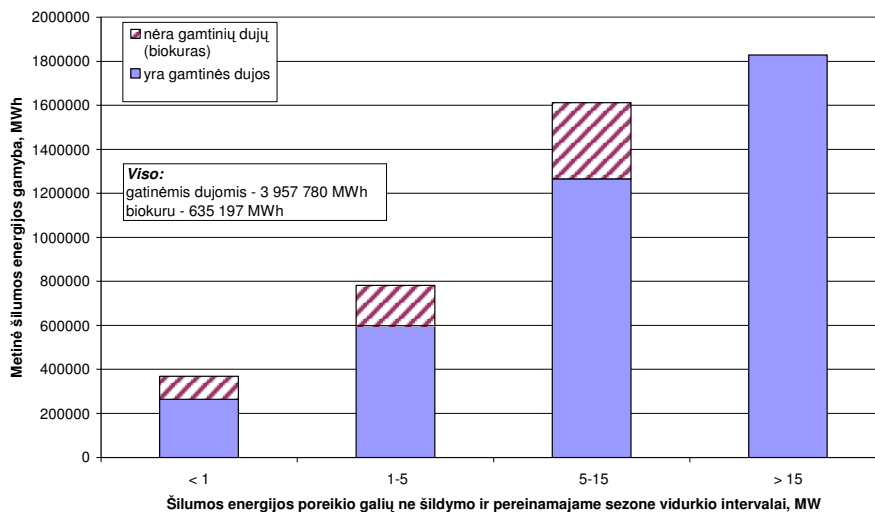
Metinės elektros energijos gamybos techninis potencialas CŠT sektoriuje pateiktas 2.9 pav.



2.9 pav. Metinės elektros energijos gamybos techninis potencialas CŠT sektoriuje, nevertinant Vilniaus ir Kauno miestų integruotų sistemų

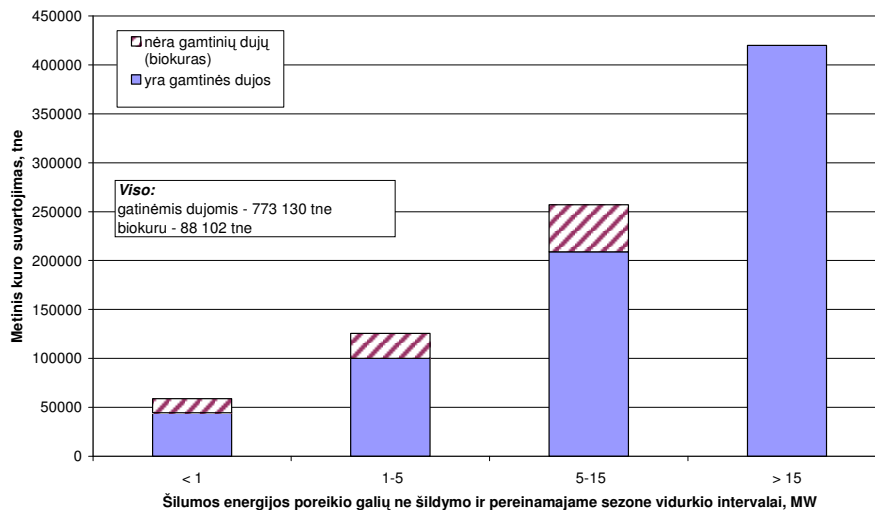
Įvertinant Vilniaus ir Kauno miestų integruotų sistemų 2004 metų faktinius elektros energijos gamybos kiekius ir papildomą techninį potencialą likusiame CŠT sektoriuje, per metus galima būtų pagaminti apie 6 TWh elektros energijos. Tuo atveju jei ekonomiškai būtų tikslinga Vilniaus ir Kauno miestų CŠT sistemose esamas garo turbinas pakeisti į kombinuoto ciklo technologijas, atitinkamai instaliuojant 553 MWel ir 286 MWel elektrines galias, metinis elektros energijos gamybos potencialas CŠT sektoriuje padidėtų iki 7,8 TWh.

Metinis šilumos energijos gamybos techninis potencialas pateiktas 2.10 pav.



2.10 pav. Metinės šilumos energijos gamybos techninis potencialas CŠT sektoriuje, nevertinant Vilniaus ir Kauno miestų integruotų sistemų

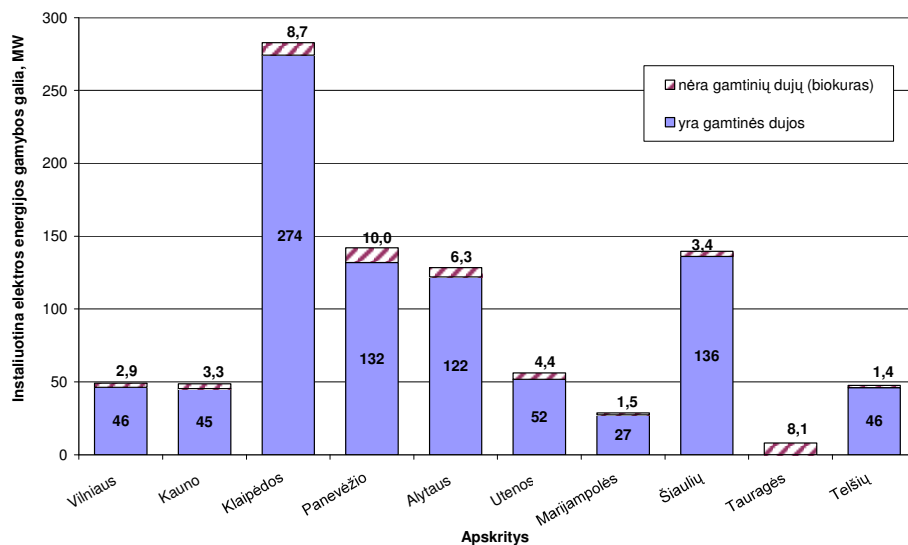
Metinis kuro suvartojimas, atitinkantis techninį elektros ir šilumos energijos gamybos potencialą pateiktas 2.11 pav.



2.11 pav. Metinis kuro suvartojimas, atitinkantis techninį elektros ir šilumos energijos gamybos potencialą, nevertinant Vilniaus ir Kauno miestų integruotų sistemų

Vertinant organinio kuro sąnaudas, atitinkančias techninį elektros ir šilumos energijos gamybos potencialą, buvo priimta, kad gamtinių dujų kaloringumas $9,3 \text{ MWh}/1000 \text{ Nm}^3$, o biokuro – $2,0 \text{ MWh}/\text{t}$ (CŠT įmonių vidurkis).

Geografinis bendro šilumos ir elektros energijos gamybos būdo techninio potencialo pasiskirstymas buvo atliktas apskričių pagrindu. Analizės rezultatai pateikti 2.12 pav.



2.12 pav. Techninio bendros šilumos ir elektros energijos gamybos potencialo pasiskirstymas pagal apskritis, nevertinant Vilniaus ir Kauno miestų integruotų sistemų

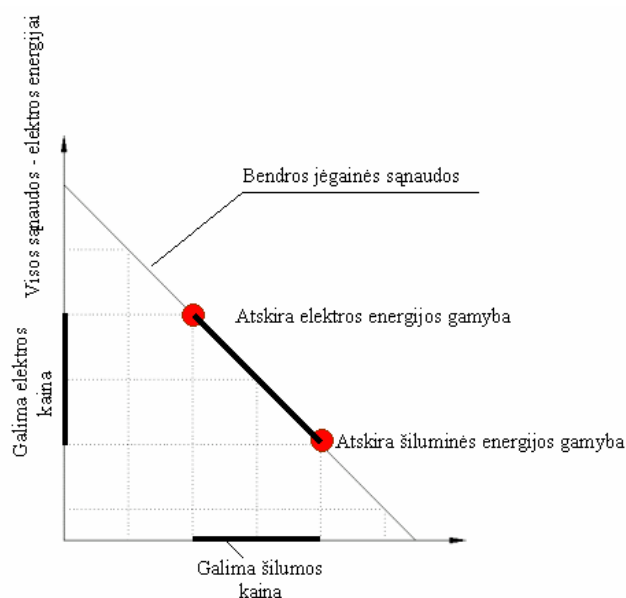
Pateiktame 2.12 pav. matome, kad geografinis pasiskirstymas labiausia priklauso nuo didžiuosiuose miestuose disponuojamo techninio potencialo, todėl perspektyviniai termofikacinių elektrinių blokai visų pirma turėtų atsirasti šiose CŠT sistemose.

3 Naudojami energijos gamybos kaštų atskyrimo metodai ir jų specifiška

3.1 Kaštų atskyrimo problematika ir metodikos

Bendrų elektros ir šilumos gamybos sąnaudų atskyrimas sudaro pagrindą šilumos ir elektros energijos kainų nustatymui. Tai yra gana kompliktuotas uždavinys. Kogeneracinėje jėgainėje pagaminamos elektros energijos kaina turi būti konkurencinga toje pačioje vietovėje iš tinklo tiekiamai elektros kainai, o šilumos kaina - alternatyviems šilumos gamybos būdams. Bendrų gamybos sąnaudų atskyrimui yra sukurtos įvairios metodikos. Taikant vienokią ar kitokią pasirinktą metodiką, galima gauti skirtingas elektros energijos gamybos sąnaudas, o tuo pačiu ir savikainą. Tas pats liečia ir šilumos sąnaudas bei kainą. Skirtingų metodikų taikymas glaudžiai susijęs su kainų reguliavimo politika bei pelno tarp elektros ir šilumos gamybos veiklų paskirstymu, kuris turi būti lankstus. Pavyzdžiui, jei įmonės investicijos susijusios su kogeneracinių įrengimų diegimu ar modernizacija, tai didesnė pelno dalis turi būti priskiriama elektros gamybos veiklai, o jei investicijos susiję su tinklų renovacija, tai pelnas turi būti priskiriamas šilumos gamybos veiklai.

Bendrame technologiniame cikle susidarančių sąnaudų paskirstymo elektros ir šilumos energijos gamybai bei kainų nustatymo principas pavaizduotas 3.1 pav.



3.1 pav. Bendrų sąnaudų pasiskirstymas kogeneracinėse jėgainėse

Grafikas rodo bendrų sąnaudų atskyrimo problematiką ir galimus sprendimus. Susidarančios sąnaudos gali būti paskirstomos abiem kombinuoto ciklo gamybos produktams įvairiu santykiu (punktyrinės linijos), bendriems energijos gamybos kaštams nekintant (paryškinta linija). Teoriškai galima teigti, jog didesnės elektros energijos sąnaudos sąlygoja mažesnes šiluminės energijos gamybos sąnaudas, t.y elektros energijos sąnaudos dalinai padengia šilumos gamybos sąnaudas ir atvirkščiai. Esant aukštai elektros energijos kainai, šiluminė energija gali būti traktuojama kaip atliekinė, nieko nekainuojanti produkcija.

Su konkurencine rinka susiję įstatymai draudžia energetikos įmonėms piktnaudžiauti dominuojančia padėtimi. Viena iš piktnaudžiavimo dominuojančia padėtimi įgyvendinamų formų gali būti kryžminio subsidijavimo (cross subsidy) panaudojimas, pvz. kai gamybos produktas yra parduodamas žemesne kaina nei jo savikaina, o sąnaudų trūkumas yra dengiamas padidėjusia kito gaminio kaina, tuo metu dominuojančiu šalies rinkoje.

Liberalizuotos rinkos sąlygomis energijos kainų nustatymas tampa daug pairesnis, nes elektros energija yra tiekama į konkurencinę, o tuo tarpu šiluminė energija į reguliuojamą (arba dalinai reguliuojamą) rinką. Jei kogeneracinės jėgainės gamina ir tiekia elektros energiją į liberalizuotą elektros rinką, o šiluminę energiją į monopolistinę šilumos rinką, kryžminio subsidijavimo panaudojimas gali būti vienu iš piktnaudžiavimo variantų. Padidinant energijos kainą šilumos sektoriuje (tuo pačiu pažeminant elektros energijos kainą) gali būti nepagrįstai padidinamas elektros energijos konkurencingumas liberalizuotoje šalies rinkoje.

Galimas atvejis, kai elektros energija, gaminama kombinuotame cikle, subsidijuoja šiluminės energijos kainą. Pavyzdžiui, kai kuriose buvusiose ES šalyse – kandidatėse, centralizuotai tiekiamos šilumos kaina buvo tikslingai pažeminta, siekiu sutvirtinti CŠT sistemos poziciją, neteisingai konkuruojančios su namų sektoriuje įdiegtais nedidelės galios gamtinėmis dujomis kūrenamais katilais. Šiose šalyse didžioji dalis susidarantių gamybos kaštų buvo priskiriama elektros energijos sąnaudoms, išlaikant žemesnį šilumos tarifą. Akivaizdu, jog susiklosčiusi situacija buvo įmanoma tikrai neliberalizuotos elektros rinkos sąlygomis. Vakarų Europos šalyse šio reiškinio pasisekė išvengti.

Galimybė išvengti mokesčių taip pat gali būti pasiekta sulyginant pajamas ir sąnaudas iš atskirų veiklos rūšių. Europos sąjungos elektros rinkos direktyva siekė užkirsti kelią tokio tipo dotavimui reikalaujama skaidyti ar atskirti skirtingą komercinę veiklą ir apskaitą. Tačiau, nei elektros rinkos direktyva, nei vėliau išėję įstatymai nenurodo aiškių sąnaudų, susidarantių bendrame technologiniame cikle, atskyrimo metodikų. ES energetikos sektorių reglamentuojančios direktyvos draudžia kryžminį subsidijavimą, tačiau nepateikia rekomendacijų, kaip bendrame technologiniame procese susidarantią bendrą sąnaudą paskirstyti elektros ir šilumos energijai, kad kryžminio subsidijavimo tarp elektros ir šilumos energijos būtų išvengta. Todėl nenuostabu, kad šiuo metu ES sąjungos šalyse skirtingose įmonėse taikomi individualūs sąnaudų atskyrimo metodai.

Sąnaudų atskyrimo teorinių metodų apžvalga

Vienos ar kitos metodikos pasirinkimas ir toliau lieka vienu iš diskutuotinų klausimų energetinėms įmonėms, tiekiančioms šilumą į centralizuotą šilumos tiekimo, o elektros energiją į elektros tinką. Šiai dienai yra išvestos įvairios metodikos bei jų modifikacijos. Pagrindines metodikas apžvelgsime šiame skyriuje. Pateiksime teorinius metodikų pagrindus, pritaikymo galimybes, išskirsime privalumus ir trūkumus.

Metodikos pasirinkimas nepriklauso nuo įmonės nuosavybės tipo. Tiek savivaldybėms, tiek ir privatiems asmenims priklausančiose energijos gamybos įmonėse gali būti naudojamos tos pačios kaštų atskyrimo metodikos. Kaip minėta, bet kuriuo atveju panaudojant vienokią ar kitokią kaštų atskyrimo metodiką kryžminis subsidijavimas tarp elektros ir šilumos energijos turi būti išvengtas.

Kaštų atskyrimo metodikos įvertina pastovius ir kintamus kaštus atskirai, todėl atskiriant bendrame technologiniame cikle susidarantią sąnaudą šilumos ir elektros energijos gamybai, nepriklausomai nuo pasirinkto metodo rūšies, būtina išskirti kintamas ir pastovias sąnaudas. Pastoviams kaštams priskiriamos materialinės, nusidėvėjimo, darbo užmokesčio, mokesčių ir kitos sąnaudos. Tuo tarpu kintamųjų kaštų pagrindinę dedamąją sudaro išlaidos kurui bei kitos sąnaudos, priklausančios nuo pagaminto energijos kiekio. Paminėtina, jog kuro indėlis kintamųjų kaštų balanse sudaro nuo 50 iki 80 %.

Kintamųjų kaštų (VC) atskyrimui naudojamos sekančios metodikos:

1. Termodinaminiai metodai:
 - a) Energetinis metodas;
 - b) Darbo metodas;
 - c) Ekserginis metodas.
2. Alternatyvios energijos gamybos metodai:
 - a) Alternatyvios šiluminės energijos gamybos metodas;

-
- b) Alternatyvios elektros energijos gamybos metodas.
 - 3. Proporcinis metodas.
 - 4. Naudos paskirstymo metodas.

Pastovių sąnaudų (FC) atskyrimui naudojamos sekančios metodikos:

- 1. Alternatyvios energijos gamybos metodai:
 - a) Alternatyvios šiluminės energijos gamybos metodas;
 - b) Alternatyvios elektros energijos gamybos metodas.
- 2. Naudos paskirstymo metodas.
- 3. Galių santykio metodas.

Matome, kad taikant alternatyvios energijos gamybos bei pelno (naudos) paskirstymo metodus galima atskirti tiek kintamas, tiek ir pastovias sąnaudas. Kiti metodai taikomi tik tam tikroms sąnaudoms atskirti, todėl skirtingi pastovių bei kintamų kaštų atskyrimo metodai gali būti kombinuojami vienas su kitu.

Sekančiuose skyreliuose pateikiami bendrame technologiniame cikle susidarančių sąnaudų atskyrimo metodikų paaiškinimai. Informacija, susijusi su sąnaudų atskyrimu nėra gausi, todėl šiame darbe pagrįdė remiamasi pasaulio banko 2003 metais atliktos apžvalginės – tiriamosios studijos duomenimis [15].

Energetinis metodas (kintami kaštai)

Užsienio šalių literatūroje dar minimas kaip „fizikinis metodas“. Kogeneraciniu režimu dirbančiose jėgainėse kintami kaštai atskiriami remiantis pagamintos elektros ir šilumos energijos santykiu. Šiluminės energijos vienetas (1 MWh) skaitine reikšme priimamas lygus elektros energijos vienetai.

Kintami kaštai, susiję su elektros energijos gamyba apskaičiuojami sekančiais:

$$VC_e = \frac{E}{E + H} \cdot VC;$$

Atitinkamai, kintami kaštai priskiriami šiluminės energijos gamybai:

$$VC_h = \frac{H}{E + H} \cdot VC;$$

- Čia:
- E – kogeneracinėje jėgainėje pagamintas elektros energijos kiekis;
 - H – kogeneracinėje jėgainėje pagamintas šiluminės energijos kiekis;
 - VC – kintamųjų sąnaudų dedamoji (bendra);
 - VC_e – kintamųjų sąnaudų dedamoji priskiriama elektros gamybai;
 - VC_h – kintamųjų sąnaudų dedamoji priskiriama šilumos gamybai.

Energetinio metodo privalumas yra tas, kad tai yra gana paprastas, lengvai praktikoje pritaikomas metodas. Esminis trūkumas - metodo taikymas sąlygoja aukštesnes šiluminės energijos kintamas sąnaudas, o tuo pačiu ir savikainą kogeneracinėje jėgainėje, lyginant su atskira šilumos energijos gamyba katilinėse, esant aukštesniam šiluminės energijos generavimo efektyvumui. Gaunama nauda arba pelnas yra priskiriamas elektros gamybos veiklai.

Buvusioje SSSR sąnaudų atskyrimui buvo išvystytas teorinis fizikinis metodas. Detalus aprašymas išdėstytas [16] literatūroje. Remiantis minėta literatūra, žemiau pateikiamas skaičiavimo pavyzdžio santrauka.

Termofikacinėms elektrinėms, bendrame technologiniame cikle gaminančioms tiek elektros tiek šiluminę energiją, kuro sąnaudos (kintamų sąnaudų dalis) apskaičiuojama sekančiais:

Kuro sąnaudos šilumos energijos gamybai:

$$B_{T3} = B - B_{IIBK} - B_3;$$

Kuro sąnaudos elektros energijos gamybai:

$$B_3 = (B - B_{\text{ПБК}}) \times \left[1 - \frac{Q^{OT} \cdot (100 - \alpha_{\text{ПБК}}) + Q_{\text{ПОТ}}^{OT} \cdot 10^2}{(Q_K^{\text{Ф}} - Q_K^{\text{CH}} - Q_{\text{KФ}}) \cdot \eta_{\text{ПТ}}} \right] \times \frac{\varepsilon^{OT}}{\varepsilon^{OT} \cdot \varepsilon_{\text{ТЭ}}^{\text{CH}}};$$

Kur: B_{T3} - kuro sąnaudos šilumos energijos gamybai, [t];

B – bendros kuro sąnaudos, [t];

$B_{\text{ПБК}}$ – kuro sąnaudos vandens šildymo katiluose, [t];

B_3 – kuro sąnaudos elektros energijos gamybai, [t];

Q^{OT} - šiluminės energijos atleidimas nagrinėjamu laikotarpiu, [Gcal]. Šis dydis nustatomas įvertinus įvairius šilumos srautus: iš VŠK atleidžiamą šiluminės energijos kiekį, tarpiniuose garo nuėmimuose, garo iš po turbinos perduodamą šiluminės energijos kiekį, grįžtančio termofikacinio vandens ir garo kondensato bei maitinimo vandens sukauptą šilumą;

$\alpha_{\text{ПБК}}$ - šilumos energijos, atleidžiamos pikiniais VŠK katilais santykis su bendra šilumos energijos gamyba, [%];

$Q_{\text{ПОТ}}^{OT}$ - šilumos energijos nuostoliai energetiniuose katiluose, [Gcal]. Šis dydis nustatomas atvirkštiniu metodu, įvertinant bei apskaičiuojant susidarancių nuostolių dedamąsias visuose energetiniuose įrenginiuose;

ε^{OT} - atleistas elektros energijos kiekis, [tūkst. MWh];

$\varepsilon_{\text{ТЭ}}^{\text{CH}}$ - elektros energijos kiekis šiluminės energijos gamybai energetiniuose katiluose, [tūkst. MWh]. Išėities duomenys parametro nustatymui: elektros energijos sąnaudos, šilumos energijos gamyba (bruto), šilumos kiekio pareikalavimas kaloriferiuose, VŠK atleidžiamas šiluminės energijos kiekis, šilumos energijos nuostoliai energetiniuose katiluose ir t.t.

$Q_K^{\text{Ф}}$ - šilumos energijos gamyba (bruto) šiluminėje elektrinėje, [Gcal]. Išėities duomenys: pagaminto, per tarpinį perkaitintuvą einančio garo debitai, entalpijos (prieš ir po), prapūtimams suvartojamo vandens temperatūros ir šiam tikslui suvartojami vandens kiekiai, maitinimo vandens entalpija.

Q_K^{CH} - šilumos energijos sunaudojimas energetinėje jėgainėje saviems poreikiams, įskaitant šilumos nuostolius prapūtimų metu, [Gcal];

$Q_{\text{KФ}}$ - šilumos energijos pareikalavimas kaloriferiuose, [Gcal];

$\eta_{\text{ПТ}}$ - šilumos srautų nuostolius įvertinantis koeficientas, [%]. Išėities duomenys: šilumos energijos sąnaudos elektros energijos gamybai, šilumos energijos pareikalavimas saviems poreikiams, t.y įvertinant visas šilumos energijos sunaudojimo dedamąsias ir energijos gamybą (bruto).

Kaip matome iš pateikto pavyzdžio, šis metodas yra gana sudėtingas ir reikalauja nemažai energetinių parametrų, kas yra daugeliu atveju problemiška, ypač mažesnėse termofikacinėse elektrinėse. Todėl ši metodika yra supaprastinta ir sąnaudos paskirstomos proporcingai pagal iš elektrinės atleistos elektros ir šilumos energijos kiekių santykius, kaip tai buvo paaiškinta anksčiau.

Energetinis (fizikinis) sąnaudų atskyrimo metodas taikomas tik kintamų sąnaudų (kuro sąnaudų dedamosios) įvertinimui, o pastovių sąnaudų atskyrimui nėra visiškai tinkamas, kadangi neatspindi realių sąnaudų, tenkančių atskiroms gamybos rūšims. Pavyzdžiui, įrenginių amortizacija, darbo užmokestis ir t.t. praktiškai nepriklauso nuo skirtingų energijų rūšių gamybos apimčių.

Darbo metodas (kintami kaštai)

Taikomas kogeneracinėms jėgainėms su garo turbinomis, kurios gali dirbti ir kondensaciniu režimu. Bendrame technologiniame cikle yra gaminama elektros ir šilumos

energija. Jėgainei dirbant dalinai kondensaciniu režimu atliekinė žemo potencialo šiluma daugumoje atvejų šildymo poreikiams netinka, tačiau iš turbinos nuvedant žemesnių parametrų garą padidėja elektros energijos gamybos efektyvumas.

Metodo esmė – suvartotas kuras, priskiriamas šiluminės energijos gamybai kogeneracinėje jėgainėje yra grindžiamas elektros energijos generavimo nuostoliais, susidaranciais jėgainei dirbant kogeneraciniame režime, lyginant su gamyba kondensaciniame režime. Suvartoto kuro dalis šiluminės energijos gamybai kogeneracinėje jėgainėje yra išskiriama pagal papildomos elektros energijos, gaminamos kondensaciniame režime ir visos elektros energijos, pagamintos kondensaciniame režime, kiekio santykį.

Darbo metodas pasižymi sudėtingumu, o jo panaudojimas reikalauja turėti procesus atspindinčius termodinaminius duomenis. Be to, šio metodo taikymas gali sąlygoti aukštesnes elektros energijos gamybos sąnaudas nei kondensaciniu režimu dirbančiose jėgainėse, nes didžiąja dalimi nauda arba pelnas yra priskiriamas šilumos gamybai.

Ekserginis metodas (kintami kaštai)

Kaštų atskyrimas elektros ir šilumos energijai panaudojant ekserginį metodą yra pagrįstas šilumos ir elektros energijos ekserginiais srautais. Termodinaminiu požiūriu eksergija apibūdina energijos kokybę. Technologiniame procese panaudojant vienos ar kitos rūšies energiją, ji praranda kokybę ir jos eksergija mažėja. Energetinių srautų eksergija apskaičiuojama žinant būdingus termodinaminius parametrus. Kaip žinia, elektros energija gali būti 100 % priskirta eksergijai, o šiluminė energija tik dalinai, kuri apytikriai paskaičiuojama pagal formulę:

$$H_{ex} = H \cdot \left(1 - \frac{T_o}{T_{out}} \right)$$

Kur: H_{ex} – šiluminio srauto eksergija [MWh];
 H – šiluminės energijos kiekis [MWh];
 T_o – aplinkos temperatūra [K];
 T_{out} – išeinančio šiluminio srauto temperatūra [K].

Matome, kad jeigu išorės temperatūrą priimam lygią 0 °C (273K), o išeinančio srauto (garo) temperatūrą 180 °C (453K), tuomet eksergija sudarys 40 % šiluminės energijos. Dalinant sąnaudas proporcingai pagal skirtingų rūšių eksergijų kiekius, šilumai tenka santykinai nedidelė bendrų sąnaudų dalis, kai tuo tarpu elektrai tenka gana didelė bendrų sąnaudų dalis. Tokiu būdu šilumos kaina dirbtinai sumažinama, o elektros – padidinama.

Šio metodo pritaikomumą pagrinde riboja jo sudėtingumas, kuris reikalauja gilių termodinamikos žinių, bei nemažai proceso fizikinių parametrų, ypač kai gamyboje yra nemažai skirtingų parametrų srautų. Paminėtina, jog termodinaminiu požiūriu ekserginis metodas yra teisingiausias palyginant skirtingų rūšių energijas, tačiau gali būti taikomas tik kintamiems kaštams atskirti.

Alternatyvios šiluminės energijos gamybos metodas (kintami + pastovūs kaštai)

Bendrame technologiniame cikle susidarancio šiluminės energijos gamybos sąnaudos prilyginamos kaštams, kurie susidaro tą patį šiluminės energijos kiekį gaminant panašios galios tik šilumą generuojančiuose įrenginiuose (katilinėse), naudojant tą pačią kuro rūšį. Likusios bendrame technologiniame cikle susidarancio sąnaudos priskiriamos elektros energijos gamybos sąnaudoms. Todėl bendrame technologiniame cikle gaminamos šiluminės energijos gamybos kintamos sąnaudos (VC_h) yra lygios kintamoms sąnaudoms, susidarantioms vien tik šilumą generuojančiuose įrenginiuose ($VC_{a,h}$), t.y:

$$VC_h = VC_{a,h}.$$

Susidarančios sąnaudos elektros energijos gamybai apskaičiuojamos sekančiai:

$$VC_e = VC - VC_h,$$

Kur: VC – kogeneracinėje jėgainėje susidarančios bendros kintamos sąnaudos;

$VC_{a,h}$ – alternatyvios šilumos gamybos kintamos sąnaudos;

VC_e - kogeneracinėje jėgainėje išskirtos kintamos sąnaudos elektrai;

VC_h - kogeneracinėje jėgainėje išskirtos kintamos sąnaudos šilumai.

Pastovios sąnaudos (analogiškai kintamoms) atskiriamos, remiantis alternatyvios energijos gamybos sistemose (vien tik šilumą generuojančiuose katilinėse) susidarančiomis sąnaudomis.

Metodo trūkumas tas, kad skaičiavimai atliekami palyginamuoju metodu, todėl reikalauja nemažai statistinių duomenų apie sąnaudas, susidarančias vien tik šilumą generuojančiuose katilinėse. Be to, statistiniu metodu įvertintos sąnaudos gali būti taikomos tam tikrą laiko tarpą. Tai reikalauja nuolat atnaujinti statistinius rodiklius arba sukurti kainų kitimo indeksus, atsižvelgiant į infliaciją bei kitus faktorius.

Remiantis atlikta studija [17], šio metodo taikymas turi eilę privalumų:

- sukuriama konkurencija tarp skirtingų šilumos gamybos formų, o tai atitinka šilumos ūkio įstatymo [18] 3 straipsnio nuostatas „Konkurencija šilumos ūkyje“. Tokiu būdu į termofikacinį sektorių įvedama efektyvi varomoji priemonė;
- įvedamas aiškumas ir skaidrumas šilumos kainodaros sistemoje, nustatomas šiluminės energijos valstybinis tarifas.

„Ši metodika, taikoma kai kuriose ES šalyse, nors ir nėra bendrai reglamentuota, tačiau atitinka ES kogeneracijos direktyvos nurodymus, kurioje termofikaciniai įrenginiai vertinami kaip efektyvesnė alternatyva atskirai šilumos ir elektros gamybai. Principas yra aiškus: jeigu termofikacinės elektrinės tampa efektyvesnės negu atskira šilumos ir elektros gamyba, tuomet šios elektrinės įgauna ekonominį pranašumą“ [17].

Alternatyvios elektros energijos gamybos metodas (kintami + pastovūs kaštai)

Bendrame technologiniame cikle susidarančios elektros energijos gamybos sąnaudos prilyginamos kaštams, susidarantiems vien tik elektros energiją gaminančiuose įrenginiuose - kondensacinio tipo jėgainėse, turinčiuose tokią pačią instaliuotą elektrinę galią bei naudojančiuose tą patį kurą. Likusios bendrame technologiniame cikle susidarančios sąnaudos priskiriamos šiluminės energijos sąnaudoms. Kintamos sąnaudos elektros energijos gamybai bendrame technologiniame cikle (VC_e) lygios atskirame elektros energijos įrenginyje (kondensacinio tipo jėgainėje) susidarančioms kintamoms sąnaudoms ($VC_{a,e}$) t.y:

$$VC_e = VC_{a,e}.$$

Šilumos gamybos metu susidarančios sąnaudos apskaičiuojamos sekančiai:

$$VC_h = VC - VC_e,$$

Kur: VC – kogeneracinėje jėgainėje susidarančios bendros kintamos sąnaudos.

$VC_{a,e}$ – alternatyvios elektros gamybos kintamos sąnaudos;

VC_e - kogeneracinėje jėgainėje išskirtos kintamos sąnaudos elektrai;

VC_h - kogeneracinėje jėgainėje išskirtos kintamos sąnaudos šilumai.

Pastovūs kaštai atskiriami (analogiškai kintamiems), remiantis alternatyvaus energijos gamybos sistemose (kondensacinėse elektrinėse) susidarančiomis pastoviomis sąnaudomis.

Taikant šį metodą, didesnė sąnaudų dalis priskiriama elektros energijos gamybai, kadangi bendras kondensacinės jėgainės efektyvumas yra mažesnis nei kogeneracinės jėgainės, o tai iškelia elektros energijos kainą. Taikant šį metodą, pelnas (nauda) priskiriamas šilumos energijos gamybai, kadangi pastarosios kaina gaunama žemesnė.

Metodo trūkumas tas, kad skaičiavimai atliekami palyginamuoju metodu, todėl reikalauja nemažai statistinių duomenų apie sąnaudas, susidarančias vien tik elektrą generuojančiose šiluminėse elektrinėse. Tai yra problematiška, kadangi tokių elektrinių nėra daug. Pavyzdžiui, Lietuvoje – tik Elektrėnuose esanti Lietuvos elektrinė. Be to, statistiniu metodu įvertintos sąnaudos gali būti taikomos tam tikrą laiko tarpą. Tai reikalauja nuolat atnaujinti statistinius rodiklius arba sukurti kainų kitimo indeksus, atsižvelgiant į infliaciją bei kitus faktorius.

Proporcinis metodas (kintamiems kaštams)

Kintamų kaštų šilumos ir elektros energijai atskyrimas pagrįstas kuro suvartojimo, esant skirtingiems gamybos būdams, koeficientais, įskaitant ir atskirą elektros energijos gamybą kondensacinio tipo jėgainėse. Teorinis kuro poreikis skirtingoms energijos rūšims apskaičiuojamas atsižvelgiant į šiuos kuro suvartojimo koeficientus. Esant būtinybei, teorinis kuro suvartojimas gali būti koreguojamas įvedant pataisos koeficientą, tikslu priartinti prie faktinio kuro suvartojimo.

Kuro suvartojimo koeficientas šilumos energijai k_h apskaičiuojamas sekančiai:

$$k_h = \frac{1}{\eta_h};$$

Kur: k_h – kuro suvartojimo koeficientas;

η_h - vien tik šilumą generuojančio katilo naudingumo koeficientas;

Tuomet, kuro suvartojimo koeficientas elektros energijai k_e randamas pagal formulę:

$$k_e = \frac{E + H - \eta \cdot k_h \cdot H}{\eta \cdot E} = \frac{F}{E} - k_h \cdot \frac{H}{E};$$

Kur: F – kuro sąnaudos kogeneracinėje jėgainėje;

E – kogeneracinėje jėgainėje pagamintas elektros energijos kiekis;

H – kogeneracinėje jėgainėje pagamintas šiluminės energijos kiekis;

η - bendras kogeneracinės jėgainės naudingumo koeficientas;

Kintamos sąnaudos elektros energijai VC_e apskaičiuojamos sekančiai:

$$VC_e = VC \cdot k_e \cdot \frac{E}{F}.$$

Tuomet kintamos sąnaudos šiluminės energijos gamybai išskiriamos pagal žemiau pateiktą formulę:

$$VC_h = VC \cdot k_h \cdot \frac{H}{F}.$$

Taikant šį metodą, didesnė nauda priskiriama elektros energijos gamybai – t.y. šilumos kaina gaunama šiek tiek aukštesnė, o elektros – atitinkamai žemesnė.

Trūkumas yra tas, kad proporcinis atskyrimo metodas taikomas tik kintamų sąnaudų (pagrindė kuro sąnaudų dedamosios) įvertinimui, o pastovių sąnaudų atskyrimui nėra visiškai tinkamas, kadangi neatspindi realių sąnaudų, tenkančių atskiroms gamybos rūšims. Pavyzdžiui, įrenginių amortizacija, darbo užmokestis ir t.t. praktiškai nepriklauso nuo energijų rūšių gamybos apimčių bei jų proporcinio pasiskirstymo.

Naudos paskirstymo metodas (kintami + pastovūs kaštai)

Tai - pakankamai naujas metodas bendrame technologiniame cikle gaminamos elektros ir šilumos energijos gamybos sąnaudoms atskirti. Kuro sąnaudos šilumos ir elektros energijai yra įvertinamos, remiantis alternatyviais energijos gamybos metodais tiek šilumos, tiek elektros energijai.

Dažniausiai pasirenkamos alternatyvaus tiekimo formos – kondensacinio tipo jėgainės bei vien tik šilumą generuojantys katilai, kuriems būdingas toks pats pagaminamas šilumos bei elektros energijos kiekis bei kuro suvartojimas kaip ir kogeneracinėje jėgainėje. Alternatyvaus energijos tiekimo atveju kuro suvartojimas elektros (F'_e) bei šilumos energijos gamybai (F'_s) apskaičiuojami sekančiai:

$$F'_e = \frac{E}{\eta_e};$$

$$F'_h = \frac{H}{\eta_h};$$

Kur: E – kogeneracinėje jėgainėje pagaminamas elektros energijos kiekis;
 η_e - alternatyvios elektros energijos gamybos (kondensacinio tipo jėgainės) efektyvumas;
 H – kogeneracinėje jėgainėje pagaminamas šiluminės energijos kiekis;
 η_h - alternatyvios šiluminės energijos gamybos (vien tik šilumą generuojančio įrenginio) efektyvumas;

Kogeneracinėje jėgainėje šilumos ir elektros energijos gamybai reikalingo kuro suvartojimas apskaičiuojamas atitinkamai:

$$F_e = \frac{F'_e}{F'_e + F'_h} \cdot F;$$

$$F_h = \frac{F'_h}{F'_e + F'_h} \cdot F;$$

Pastovių kaštų atskyrimas taikant šį metodą gali būti atliekamas tokiu pačiu būdu kaip ir kintamų sąnaudų atskyrimo – remiantis alternatyvios energijos gamybos sistemose susidarančiais pastoviais kaštais.

Taikant naudos paskirstymo metodą kogeneracijos nauda paskirstoma abiem gamybos produktams proporcingai, palyginus su kuriuo nors atskiros energijos gamybos būdu. Privalumas – metodas palyginti nesudėtingas.

Metodo trūkumas tas, kad skaičiavimai atliekami palyginamuoju metodu, todėl reikalauja nemažai statistinių duomenų apie sąnaudas, susidarančias tiek katilinėse, tiek elektrą generuojančiose šiluminėse elektrinėse. Be to, statistiniu metodu įvertintos sąnaudos gali būti taikomos tik tam tikrą laiko tarpą. Tai reikalauja nuolat atnaujinti statistinius rodiklius arba sukurti kainų kitimo indeksus, atsižvelgiant į infliaciją bei kitus faktorius.

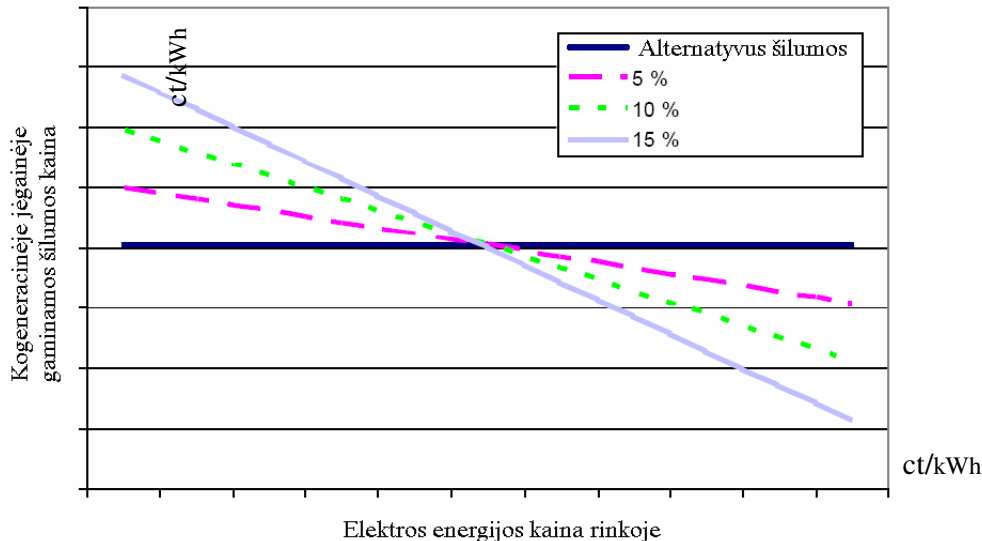
Galios proporcijų metodas (pastovūs kaštai)

Jėgainėje susidarantys pastovūs gamybos kaštai yra atskiriami pagal instaliuotą šiluminę ir elektrinę galias. Tuo atveju, kai pikiniu darbo režimu dirbančios jėgainės metinis generavimo valandų skaičius abiem energijos rūšims yra vienodas, skaičiavimo rezultatai gerai sutampa su energetinio metodo, taikomo kintamų kaštų atskyrimui, rezultatais.

Metodo trūkumas tas, kad jis netinka įvertinti kintamų kaštų, todėl turi būti kombinuojamas su kitais metodais, kas apsunkina skaičiuotę.

Naudos ir rizikos paskirstymo metodas

Atsižvelgiant ne tik į naudą (pelną), bet ir į galimą kogeneracinių jėgainių riziką liberalizuotoje šalies elektros rinkoje buvo sukurtas naujas kaštų atskyrimo – naudos ir rizikos paskirstymo metodas [Suomijos energetikos konsultavimo įmonė Electrowatt – Ekono]. Taikant šį metodą energijos gamybos sąnaudos yra įvertinamos kaip alternatyvaus šiluminės energijos gamybos metodo atveju, tačiau papildomai apibrėžiama, kokią naudos (rizikos) dalį priskirti kogeneracijos metu gaminamai šilumai. Tai pasiekama dalį įvertintų elektros energijos gamybos sąnaudų priskiriant šilumos gamybos kaštams (priskiriama dalis nurodoma procentiškai). Tuomet pajamų dalis, gauta už elektros energiją (tokia pati kaip ir procentinė elektros sąnaudų dalis, kuri priskiriama šilumos energijos gamybos sąnaudoms) yra priskiriama šilumai.



3.2 pav. Sąnaudų atskyrimas taikant naudos ir rizikos skirstymo metodą

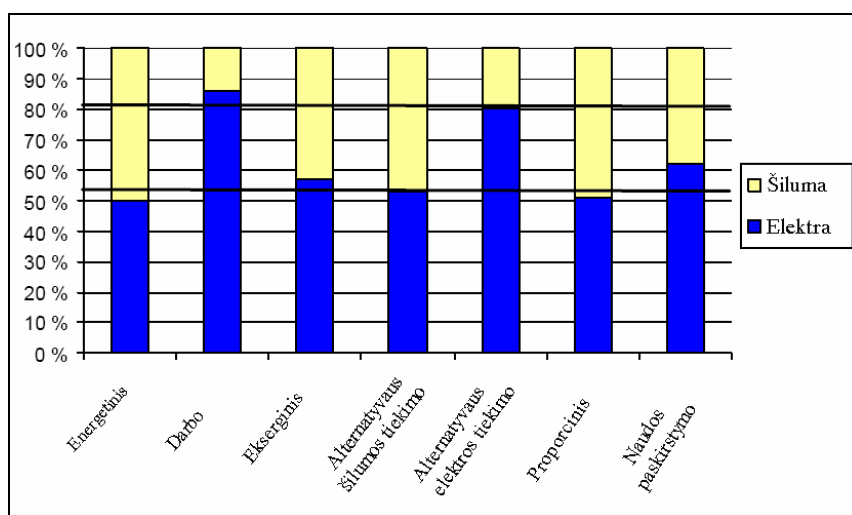
Tuo atveju, kai bendrame technologiniame cikle pagamintos šilumos kaina nepriklauso nuo elektros energijos kainos rinkoje, tuomet šilumos kaina lygi alternatyvios šilumos gamybos kainai. Taikant šį metodą, yra įvedama šilumos energijos kainos priklausomybė nuo elektros energijos kainos rinkoje. Paveiksle 3.2 pavaizduota tokia priklausomybė, kai užsiduodami skirtingi sąnaudų bei pelno paskirstymo rodikliai (5, 10, 15%), arba kitaip vadinami pelno bei rizikos paskirstymo rodikliai. Ši sąsaja yra kontroliuojama ir netgi ženklus elektros energijos rinkos nepastovumas gali nežymiai nulemti

šiluminės energijos kainą. Nustatoma naudos ir rizikos procentinė dalis turi būti nekintanti ir taikoma nustatytam periodui.

Apibendrinant galima teigti, jog liberalizuotos rinkos sąlygomis yra taikytinas naudos ir rizikos paskirstymo (taikant nežymią procentinę naudos ir rizikos dalį šilumai) metodas, tikslu padidinti termofikacinių elektrinių (ypač naujų) konkurencingumą. Iš principo tai yra modifikuotas alternatyvios šiluminės energijos metodas, todėl aukščiau (žr. 1.1.4. sk.) įvardinti privalumai ir trūkumai priskiriami ir šiam metodui.

Sąnaudų atskyrimo metodikų palyginimas

Kintamų kaštų atskyrimui naudojamų pagrindinių metodų palyginimui yra pateikti sąnaudų atskyrimo skaičiavimo rezultatai (3.3 pav.). Skaičiavimai atlikti kogeneracinei kombinuoto ciklo jėgainei su dujų turbina ir detaliam aprašomi literatūroje [14].



3.3 pav. Kintamų kaštų atskyrimui naudojamų metodikų palyginimas

Paveiksle pavaizduotos 2 horizontalios linijos apibrėžia viršutinę bei apatinę naudos paskirstymo tarp elektros ir šilumos ribą. Viršutinės ribos reikšmė lygi alternatyvaus elektros energijos tiekimo metodu nustatytoms elektros energijos sąnaudoms, visą kogeneracinės jėgainės naudą priskiriant šilumai ir užkeliant elektros energijos kainą. Apatinės ribos reikšmė nustatoma alternatyvaus šilumos energijos tiekimo metodu. Ekserginis bei naudos paskirstymo metodai paskirsto naudą abiem gamybos produktams pagal atitinkamas proporcijas, kurios patenka tarp ribinių linijų. Energetinis, darbo bei proporcinis metodai kintamas sąnaudas labiau priskiria vienam arba kitam gamybos produktui, lyginant su atskira energijos gamyba. Tačiau šiuo atveju kryžminio subsidijavimo neišvengiama – t.y. kažkuri energijos dalis iš dalies dengia kitos energijos rūšies gamybos sąnaudas, o tai iškreipia aiškia kainodarą.

Ne visi metodai yra tinkami pastovių kaštų atskyrimui, todėl jie turi būti kombinuojami su kitais metodais, tinkamais pastovių kaštų atskyrimui. 3.1 lentelėje pateikiamos tipinės kaštų atskyrimui taikomų metodų galimos kombinacijos.

Dažniausiai praktikoje pastovūs kaštai elektros ir šilumos energijos gamybai yra išskiriami alternatyvaus šilumos arba elektros energijos gamybos bei naudos paskirstymo metodais. Įprasta, jog galios proporcijų metodas pastoviams kaštams yra naudojamas kartu su termodinaminiais kintamų kaštų atskyrimo metodais.

3.1 lentelė. Sąnaudų atskyrimui taikomų metodų kombinacijos

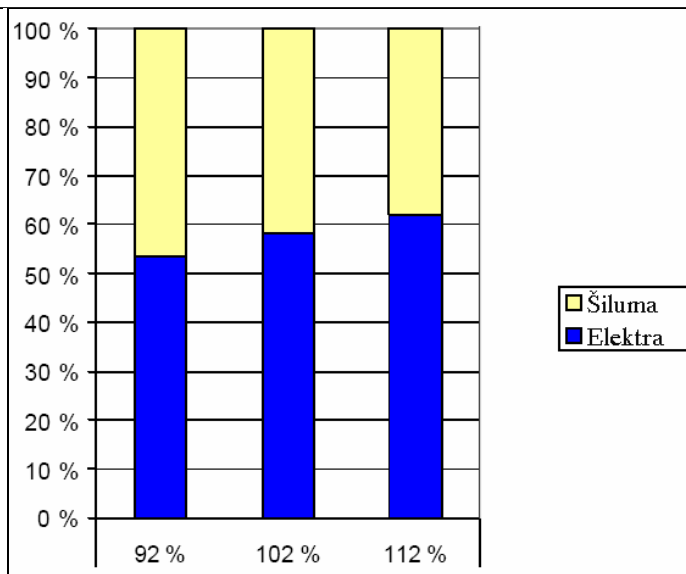
Kintamos sąnaudos	Pastovios sąnaudos		
	Alternatyvaus energijos gamybos metodas	Naudos paskirstymo metodas	Galios proporcijų metodas
Energetinis metodas			X
Darbo metodas			X
Ekserginis metodas			X
Alternatyvaus energijos gamybos metodas	X		
Proporcinis metodas	X		X
Naudos paskirstymo metodas		X	

3.2 Tinkamos metodikos pasirinkimo rekomendacijos

Vienas iš plačiausiai naudojamų kaštų atskyrimo metodikų ES šalyse yra alternatyvaus šilumos energijos tiekimo bei įvairios naudos (pelno) paskirstymo metodo versijos. Rinkos tipas turi svarbią reikšmę naudotinos metodikos pasirinkimui.

Pereinamosios rinkos tipo šalys

Šiose šalyse (buvusios ES narės kandidatės, buvusios Sovietų sąjungos šalys ir pan.) sąnaudų atskyrimo metodikos pasirinkimas vaidina itin svarbią reikšmę kainų reguliavimui. Pažymėtina, kad šiose šalyse centralizuotai tiekiamos šilumos kaina yra reguliuojama valstybinių institucijų. Dėl pigesnio autonominio apšildymo gamtinėmis dujomis daugelis vartotojų linkę atsijungti nuo centralizuotų šilumos tiekimo sistemų, todėl svarbu užtikrinti konkurencingą centralizuotai tiekiamos šilumos kainą lyginant su individualiu apšildymu gamtinėmis dujomis kūrenamais katilais. Dėl to pereinamos rinkos tipo šalyse siūlytini alternatyvaus šilumos gamybos bei naudos paskirstymo metodai [14]. Kai kurie kaštų atskyrimo metodai, teoriškai teisingi esant normalioms rinkos sąlygoms, gali būti modifikuojami naudojimui pereinamojoje rinkoje. Pavyzdžiui, sisteminis priartėjimas gali būti pasiektas didinant alternatyvaus šilumos tiekimo metodikoje naudojamą faktinę efektyvumo reikšmę ir palaipsniui likviduojant kryžminį subsidijavimą. Pasirenkamo naudingumo koeficiento reikšmė gali viršyti 100 % (žr. 3.4 pav.).



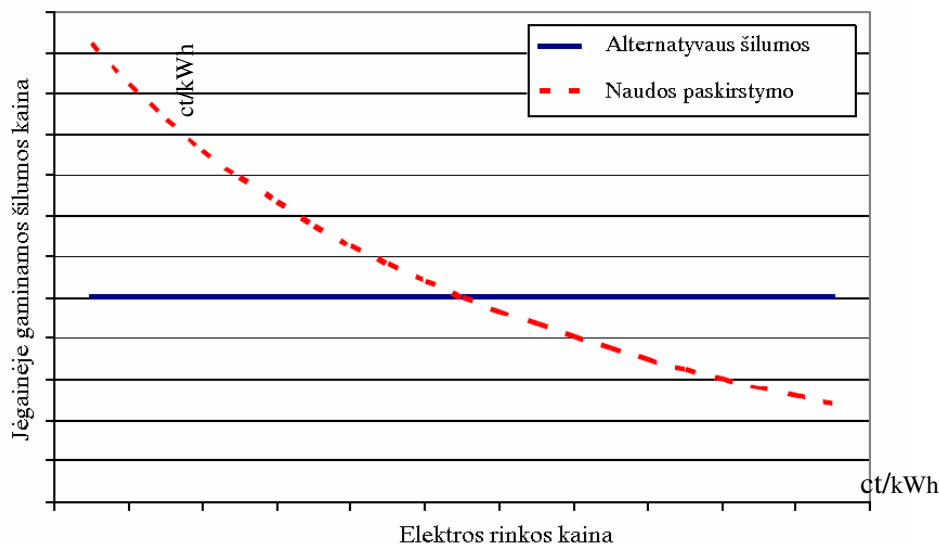
3.4 pav. Šilumos gamybos efektyvumo įtaka sąnaudų paskirstymui

Nagrinėjamu atveju alternatyvaus šilumos tiekimo gamybos efektyvumo reikšmė kinta nuo 92 iki 112%. Efektyvumui esant lygiam 112%, kintamų sąnaudų dalis šilumai sudaro apie 38 % (elektrai 62%). Efektyvumo reikšmei nukritus iki 92 %, kintamų sąnaudų dalis šilumai sudaro apie 47 % (elektrai 53%). Akivaizdu, jog didesnę bendrame technologiniame cikle susidarančių sąnaudų dalį galima priskirti elektros energijos gamybai taip, kad kogeneracijos metu pagamintos šilumos kaina būtų konkurencinga lyginant su individualiu apšildymu. Paminėtina, jog parenkant alternatyvaus šilumos tiekimo generavimo efektyvumą, turi būti atsižvelgiama ir į elektros energijos kainą, kuri būtų konkurencinga šalies elektros rinkoje. Taigi, panaudojant alternatyvios šilumos gamybos metodą, atskiro šilumos gamybos generavimo efektyvumo faktoriaus parinkimas ženkliai įtakoja galutinius skaičiavimo rezultatus.

Liberalizuotos rinkos tipo šalys

Liberalizuotos rinkos sąlygomis (ES šalys), elektros energija yra tiekama į konkurencinę elektros energijos rinką. Liberalizuojant elektros energetikos sektorių būdinga, jog elektros energijos kaina dėl padidėjusios konkurencijos sumažėja, tuo pačiu metu pakeliant šiluminės energijos kainą.

Naudos paskirstymo, kaip ir alternatyvaus šilumos gamybos metodai yra rekomenduojami naudojimui liberalizuotos rinkos sąlygomis. Viena iš pagrindinių problemų yra alternatyvaus elektros energijos gamybos būdo charakterizavimas. Tuo atveju, kai alternatyvaus elektros energijos gamybos būdas yra apibrėžiamas kaip vyraujanti elektros energijos kaina šalies rinkoje, šilumos kaina tampa itin jautri elektros energijos kainai (žr. 3.5 pav.)



3.5 pav. Kogeneracinės šilumos kainos priklausomybė nuo elektros energijos kainos

Tuo tarpu, taikant alternatyvaus šilumos tiekimo sąnaudų atskyrimo metodą kogeneracinėje jėgainėje gaminamos šilumos kaina nepriklauso nuo elektros energijos kainos. Kaštų atskyrimui naudojant naudos paskirstymo metodą bei priėmus, jog alternatyvios elektros energijos gamybos kaina lygi šalies rinkos kainai, kogeneracinėje jėgainėje gaminamos šilumos kaina kinta netiesiškai. Tuo atveju, kai elektros energijos kaina šalies rinkoje yra pakankamai žema, taikant šį metodą, sąnaudos šiluminės energijos gamybai bei jos generavimo kaina bus didesnė lyginant su atskiru šilumos generavimu.

Bendros rekomendacijos pasirenkant metodiką

Remiantis pasaulio banko studija [14], pagrindinės rekomendacijos bendrame technologiniame cikle gaminamos šilumos ir elektros energijos sąnaudoms atskirti yra sekančios:

- Didžioji gamybos sąnaudų dalis gali būti priskirta tiek elektros, tiek šilumos energijai, arba paskirstyta abiem gamybos produktams proporcingai, tačiau kryžminio subsidijavimo pasireiškimo turi būti išvengta.
- Kainų reguliavimo organizacijos turėtų užtikrinti, kad tiek elektros, tiek ir šilumos energijos gamyba būtų pelninga, o kainos konkurencingos šalies rinkoje.
- Reguliavimo organizacijos turėtų užtikrinti, jog kryžminis subsidijavimas energijos kainų struktūroje (įskaitant dujų, elektros, šilumos bei kitų energijos formų) kaip galima greičiau būtų eliminuojamas, sukuriant vienodas sąlygas tarp konkuruojančių energijos formų.
- Naujų kogeneracinių jėgainių plėtros skatinimui energijos kainos turėtų būti aiškios ilgesniam nei vienerių metų laikotarpiui, naudojimui apibrėžiant vienokį ar kitokį sąnaudų atskyrimo metodą arba kryptį. Jei numatomi laipsniški pasikeitimai, tai užtikrinti, kad kreditoriai, investuotojai, gamintojai ir vartotojai iš anksto žinotų apie numatomus pakeitimus ateityje.
- Liberalizuotos rinkos sąlygomis rekomenduojama, jog reguliavimo organizacijos teiktų rekomendacijas sąnaudų atskyrimo klausimais, tačiau energijos gamintojai patys nuspręstų, kokį sąnaudų atskyrimo metodą panaudoti, atsižvelgiant į pajamas, poreikius bei kitas rinkos sąlygas.

3.3 Kitose šalyse naudojamų metodikų

Remiantis [19] literatūra, šiame skyriuje pateikiama informacija apie kaštų atskyrimo metodikų taikymą įvairiose Europos bei buvusiose sovietų sąjungos šalyse.

Armėnija. Elektros ir šilumos energijos sąnaudų išskyrimui naudojamas fizikinis (jau minėtas energetinis) metodas, mažesnę bendrą sąnaudų dalį priskiriant elektros energijos kaštams.

Šio metodo taikymas neatitinka rinkos reikalavimų. Šilumos ir elektros energijos sąnaudų atskyrimui turėtų būti taikomas proporcinis metodas, įvertinantis tiek visuomeninius tiek ekonominius veiksnius.

Bulgarija. Nuo 2002 metų šiluminės energijos kaina nustatoma sekančiu principu: iš gamintojų perkamos elektros energijos kaina nustatoma dviejų kogeneracinių jėgainių kategorijoms. Gamintojai priskiriami pagal vykdomą pagrindinę energijos gamybą prie šilumos arba elektros energijos gamybos kategorijų - elektros energija yra pagrindinis produktas. Šiluminė energija yra antrinis gamybos produktas.

Vengrija. Vyrauja ekonominis (proporcinis) bei visuomeninis sąnaudų paskirstymo metodai.

Belgija. Naudojamas proporcinis kaštų atskyrimo metodas.

Lenkija. Taikomas alternatyvus elektros energijos tiekimo metodas.

Latvija. Naudojamas alternatyvus šilumos tiekimo metodas.

Estija. Patvirtintos metodikos, rekomenduojamos sąnaudų atskyrimui kogeneracinėse jėgainėse, nėra. Vyrauja energetinis sąnaudų atskyrimo metodas.

Moldavija. Sąnaudų atskyrimui naudojamas proporcinis kaštų atskyrimo metodas.

Rumunija. Naudojamas ekonominis (proporcinis) metodas. Skaičiavimai pagrįsti sąnaudų, susidarantių atskirai gaminant elektros ir šilumos energiją, duomenimis. Sąnaudos yra išskirstomos į atskiras kategorijas kuriai, investicijoms bei kt. Į kiekvieną kategoriją patenkančios sąnaudos yra atskiriamos abiem gamybos produktams, užtikrinant kogeneracinės jėgainės rentabilumą abiejų energijos formų atžvilgiu.

Ukraina. Pastovių šilumos ir elektros gamybos sąnaudų nustatymui naudojamas energetinis metodas.

Rusija. Šilumos ir elektros energijos sąnaudų atskyrimui pagrįste naudojamas energetinis metodas. Kai kuriuose individualių namų regionuose taikomas dalinai ekonominis (proporcinis) kaštų atskyrimo metodas, tikslu padidinti šilumos energijos kainos konkurencingumą lyginant su individualiu šildymo būdu.

Kitose Europos Sąjungos šalyse taikomos įvairios sąnaudų paskirstymo metodikų modifikacijos. Principe, turėtų būti įmonių vidaus reikalas, kaip paskirstyti sąnaudas, kadangi liberalizuotose rinkose veikia konkurencijos mechanizmas, kuris neleidžia nepagrįstai užkelti vieno ar kito gaminamo produkto kainos.

4 Kogeneracijos plėtros įtaka šilumos ir elektros energijos kainoms

4.1 Ribinių elektros ir šilumos energijos gamybos kaštų analizė, investicijų poreikis bei finansinio tikslingumo vertinimo principai

Siekiant įvertinti kogeneracijos tikslingumą centralizuoto šilumos tiekimo sektoriuje pasirenkame 4-ias labiausiai paplitusias technologijas (4.1 lentelė) ir palyginame jas su kombinuoto ciklo sistema, dirbančia kondensaciniame cikle.

Vertinant vienos technologijos pranašumą prieš kitą(as), ypač didelę reikšmę turi diskonto normos pasirinkimas. Pasirenkant diskonto normą šioje analizėje buvo remtasi specialiosios B-2 formos, suderintos Lietuvos Respublikos ūkio ministerijos 2004 m. birželio 28 d. raštu Nr.(19.12-14)-3-3380 ir skirtos paraiškų Europos Sąjungos struktūrinių fondų finansinei paramai gauti 76 punkte pateiktai rekomendacijai: „*Apskaičiuojant numatomų gauti grynujų pajamų grynąją dabartinę vertę, taikoma Lietuvos banko skelbiama paskutiniųjų 12 mėnesių iki paraiškos pateikimo dienos vidutinės (1-5 metų) trukmės paskolų litais vidutinės metų palūkanų normos dydžio diskonto norma*“.

Šioje analizėje daroma prielaida, kad projektų finansavimas bus atliekamas eurais, o ne litais. Nors paskolos palūkanų normos eurais yra šiek tiek mažesnės už paskolų litais, tačiau skolinimosi periodas ilgesnis nei pateikta rekomendacijoje. Būtent dėl šio faktoriaus sunku prognozuoti kokią įtaką bankų palūkanų normai turės visa eilė išorinių faktorių. Todėl vidutinę metinę palūkanų normą eurais, 20 metų laikotarpiui, priimame lygią rekomenduojamai palūkanų normai investiciniams projektams iki 10 metų litais.

Pagrindinės prielaidos ir atskirų sistemų ekonominiai rodikliai pateikti 4.1 lentelėje.

Atliekant tyrimus pasirenkamas ribinių kaštų analizės principas.

Analizuojant atskirų technologijų elektros energijos generavimo ilgo laikotarpio ribinius kaštus daroma prielaida, kad pajamos už pagamintą šilumos energiją prilyginamos trumpo laikotarpio ribiniams šilumos gamybos kaštams (sąlyginai tik kuro dedamajai), gaminant šilumą ta pačia kuro rūšimi tradicinėje katilinėje. Ribinių kaštų apskaičiavimui buvo taip pat daroma prielaida, kad investicijos atsipirkimo laikas turi būti lygus įrangos gyvavimo laikui t.y. 20 metų. Analizuojant kogeneracinių sistemų metinį apkrovimą, o tuo pačiu ir elektros energijos generavimo kiekius, CŠT įmonių metinis šilumos poreikis buvo padalintas į: 25% karšto buitinio vandens ruošimui, 15% šilumos nuostoliai, likusi dalis – šildymui ir vėdinimui (60%).

Siekiant galimai tiksliau įvertinti ekonomiškai pagrįstą kogeneracijos potencialą CŠT sektoriuje buvo pasirinktas 50 - 200 tūkst. MWh metinis šilumos energijos gamybos intervalas. Optimizavimo skaičiavimai buvo atliekami 4-iems metiniams šilumos poreikiams, pasirinktą intervalą suskaidant kas 50 tūkst. MWh. Analizuojant visos šalies galimą potencialą, pagal atskirų CŠT įmonių metinę šilumos gamybą, buvo naudojamas laipsninės interpoliacijos metodas.

Ribinių kaštų analizė buvo atliekama specializuota programa – EnergyPRO, kuri skirta energetinių sistemų techninei – ekonominei analizei atlikti.

Ilgo laikotarpio ribinių kaštų palyginimas, tarp atskirų technologijų, o tuo pačių ir kombinuoto ciklo kondensacinėje sistemoje, pateiktas 4.1 pav.

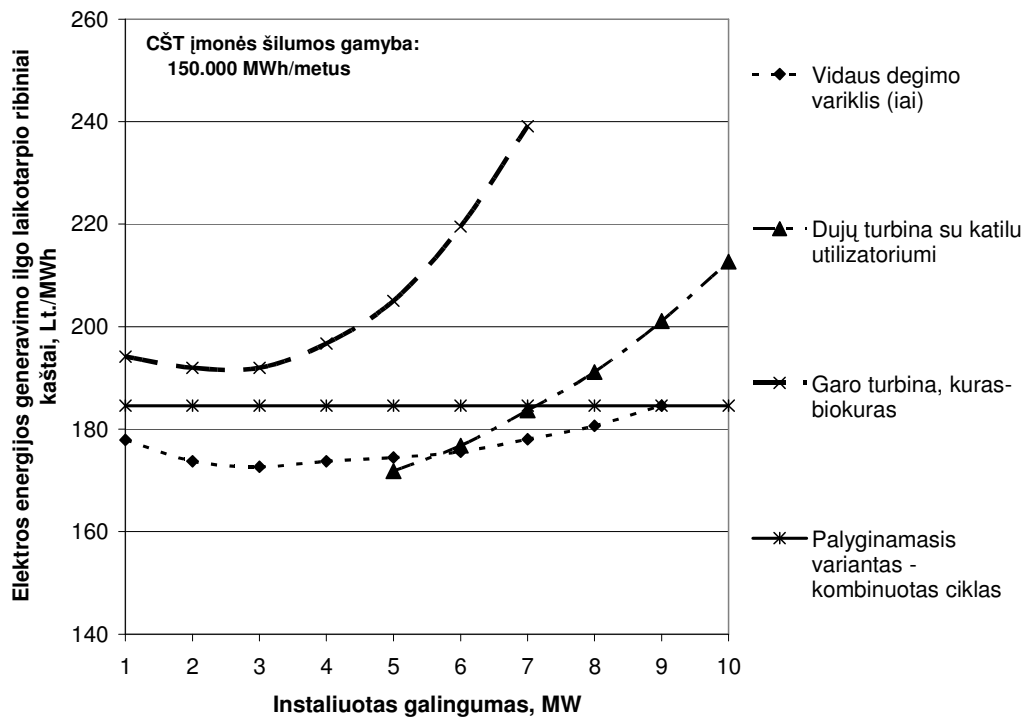
4.1 lentelė. Pagrindinės prielaidos ir finansiniai-ekonominiai kogeneracinių sistemų rodikliai

<i>Rodikliai</i>	<i>Kombinuotas ciklas</i>	<i>Vidaus degimo variklis</i>	<i>Dujų turbina su katilų utilizatoriumi</i>	<i>Garų turbina (biokuras)</i>	<i>Biomosės gazifikacija (nuo 2010 metų)</i>
Paskolos/exploatavimo trukmė	20 metų				
Diskonto norma	5 %				
CO ₂ kaštai (20-ies metų vidurkis)	15 Eurų/t CO ₂				
Gamtinių dujų kaina*, (9,3 kWh/m ³)	(metinis augimas 3%)	(metinis augimas 3%)			
Lt/1000 m ³	662	697			
Lt/t.n.e	829	873			
Biokuro kaina, (2,2 kWh/kg)				(metinis augimas 3 %)	
Lt/m ³ (ktm)				62	
Lt/t.n.e				400	
Investicijos, mln. Eurų/MW	0,53	1,00	0,68	3,05	2,10
Kintami eksploatacijos kaštai, Eurų/MWh	1,50	8,00	3,25	7,10	15,00
Pastovūs eksploatacijos kaštai, Eurų/MW/metus	14000		8000	61000	70000
Eurų/MJ/s/metus			8000		

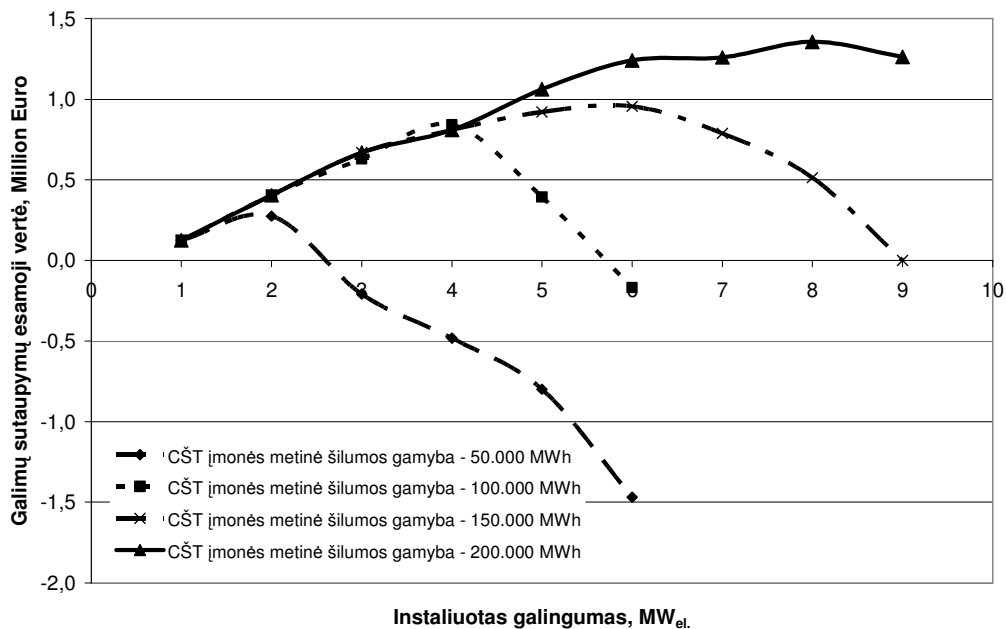
- - gamtinių dujų kaina kombinuoto ciklo sistemai priimta 5% mažesnė dėl vartojimo masto efekto

Pateiktame 4.1 pav. matome, kad elektros energijos generavimo ilgo laikotarpio ribiniai kaštai, esant 150 tūkst. MWh metinei šilumos gamybai, konkuruoti su tradicine elektros energijos gamyba (kondensacinių ciklu) gali tik tokių sistemų, kuriose naudojami vidaus degimo varikliai ar dujų turbinos.

Remiantis 4.1 pav., optimalus sprendimas sistemai su vidaus degimo varikliais būtų 3 MW elektrinės galios jėgainės pasirinkimas. Tačiau ar taip yra iš tikrųjų? Siekiant optimizuoti kogeneracinės sistemos galią, reikia vertinti ne tik ribinius elektros energijos generavimo kaštus, bet ir metinę gamybą. Būtent šio vertinimo rezultatai pateikti 4.2 pav., išreiškiant viso eksploatavimo laikotarpio (20 metų) sutaupymų, gautų gaminant tokį patį elektros energijos kiekį kogeneraciniame sistemoje vietoje tradicinės (kondensacinio ciklo sistemos), esamąją vertę.



4.1 pav. Elektros energijos generavimo ilgo laikotarpio ribiniai kaštai



4.2 pav. Gautų sutaupymų, gaminant elektros energiją kogeneracinėje sistemoje, paremtoje vidaus degimo varikliais vietoje tradicinės gamybos, esamoji vertė

Iš 4.2 pav. matyti, kad vien tik elektros energijos generavimo ilgo laikotarpio ribiniai kaštai neapsprendžia optimalios galios pasirinkimo. Nagrinėjant galimas kogeneracines sistemas su vidaus degimo varikliais ir esant 150 tūkst. MWh metinei šilumos gamybai optimalus pasirinkimas būtų ne 3 MW, remiantis 4.1 pav., bet 6 MW elektrinės galios kogeneracinės sistemos įrengimas. Būtent šis pasirinkimas duotų pačią didžiausią naudą (sutaupymus) per visą eksploataavimo laikotarpį. Naudojantis šiais analizės principais bus atliekamas kogeneracijos potencialo vertinimas visos šalies mastu.

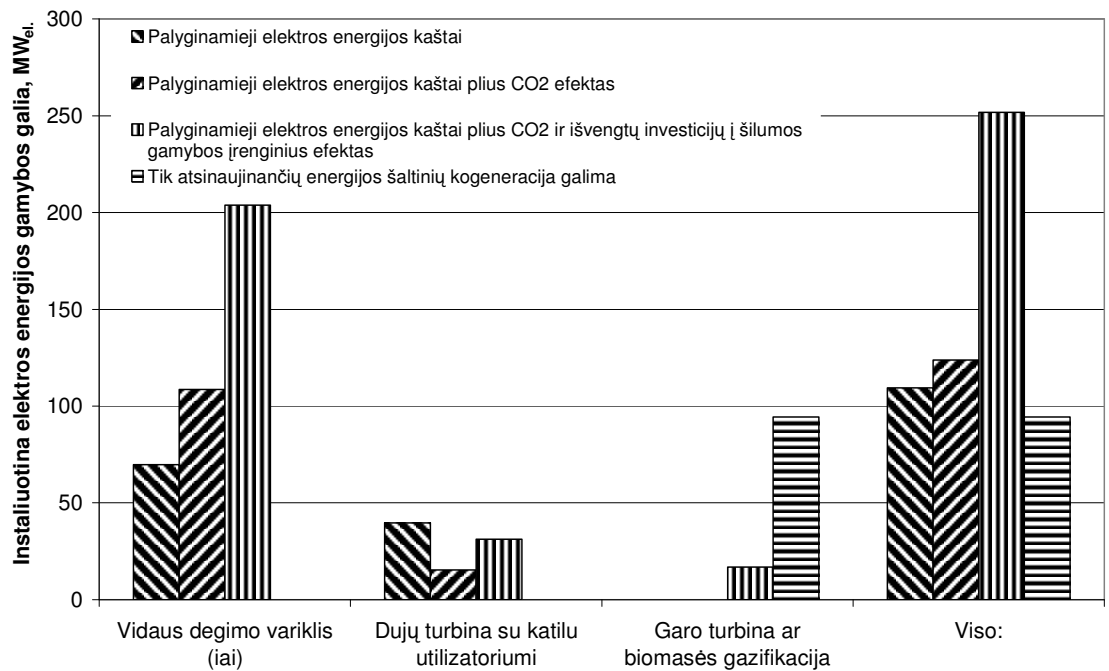
4.2 Kogeneracijos tikslingumą įtakojantys faktoriai ir jų svarba

Remiantis antrame disertacinio darbo skyriuje pateikta metodika, ekonomiškai pagrįsto kogeneracijos potencialo analizei buvo pasirinkti 4 optimizavimo principai:

- *Palyginamųjų elektros energijos generavimo kaštų principas.* Čia galimas kogeneracijos potencialas vertinamas palyginant elektros energijos ilgo laikotarpio ribinius kaštus atskiroje kogeneracinėje sistemoje su kondensacinėje elektrinėje (kombinuotas ciklas) gaunamais gamybos kaštais. Tik tokios sistemos kur ilgo laikotarpio ribiniai kaštai yra mažesni už kondensacinio ciklo, buvo priimtos kaip ekonomiškai pagrįstas kogeneracijos potencialas;
- *Palyginamųjų elektros energijos generavimo kaštų plus CO₂ efekto principas.* Čia galimas kogeneracijos potencialas vertinamas palyginant ilgo laikotarpio ribinių kaštų ir CO₂ duodamą efektą. CO₂ duodamas efektas suprantamas kaip išorinių kaštų už CO₂ emisijas sumažinimas, generuojant elektros energiją kogeneracinėje sistemoje vietoje kondensacinės. CO₂ kaštai naudojant atsinaujinančius energijos šaltinius prilyginami - 0;
- *Palyginamųjų elektros energijos generavimo kaštų plus CO₂ ir išvengtų investicijų katilų renovacijai efekto principas.* Čia galimas kogeneracijos potencialas vertinamas palyginant ilgo laikotarpio ribinių kaštų, CO₂ ir išvengtų investicijų katilų renovacijai duodamą efektą. Išvengtos investicijos katilų renovacijai suprantamos kaip būtinų išlaidų šilumos gamybos įrangos atnaujinimui sutaupymas, įrengiant kogeneracines sistemas;
- *Tik kogeneracinių sistemų, naudojančių atsinaujinančius energijos išteklius (biokurą), plėtra galima.* Šis principas pasirinktas dėl visos eilės Lietuvos prisiimtų įsipareigojimų aplinkosaugos srityje.

Analizuojant ekonomiškai pagrįstą kogeneracijos potencialą centralizuoto šilumos tiekimo sektoriuje 6 didžiausios šilumos tiekimo įmonės (Vilniaus, Kauno, Klaipėdos, Panevėžio, Šiaulių ir Alytaus) nebuvo vertinamos. Šiose įmonėse kombinuoto ciklo technologijos pranašumas prieš tos pačios technologijos naudojimą kondensaciniame cikle neabejotinai didesnis, todėl jų ekonominis tikslingumas de facto prioritetas šalies energetinio ūkio planavimo kontekste.

Esant ekonomiškai pagrįstam dvejų ar daugiau technologijų įdiegimui vienoje CŠT įmonėje vietoje adekvataus elektrinio galingumo tradicinėje elektrinėje, prioritetas yra skiriamas tai technologijai, kurios 20-ies metų sutaupymų (gaunamos naudos) esamoji vertė yra didžiausia. Tose šilumos tiekimo įmonėse, kur nėra gamtinių dujų (prielaida: į Mažeikius gamtinės dujos bus atvestos artimiausiu metu), vertinamas tik atsinaujinančius energijos šaltinius naudojantis ir ekonomiškai pagrįstas kogeneracijos potencialas. Esant skirtingiems optimizavimo principams bei remiantis CŠT įmonių unikaliais duomenimis apie šilumos energijos poreikio galią ir anksčiau aprašyta metodika buvo įvertintas ekonomiškai pagrįstas kogeneracijos potencialas. Analizės rezultatai apimantys instaliuotinos elektros energijos gamybos galias, pateikti 4.3 pav.

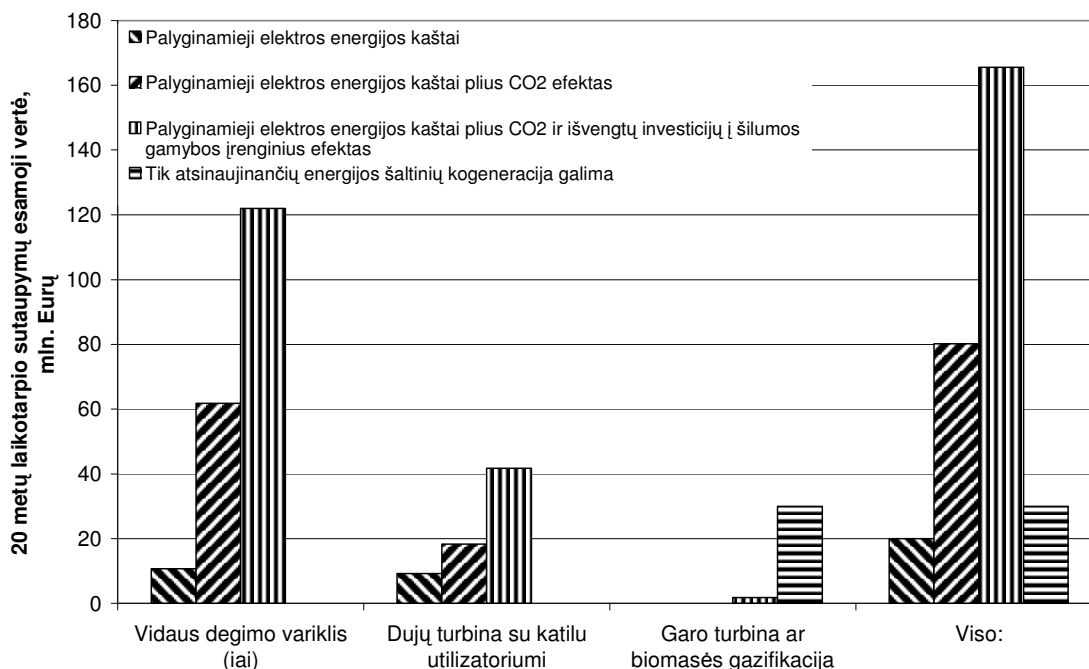


4.3 pav. Techninio bendros šilumos ir elektros energijos gamybos potencialo pasiskirstymas pagal apskritis, nevertinant Vilniaus ir Kauno miestų integruotų sistemų

Esant skirtingam kogeneracijos potencialo vertinimo principui, ekonomiškai pagrįsta instaliuotina galia gali skirtis apie 2,5 karto (4.3 pav.). Išorinių kaštų, tokių kaip CO₂ įtraukimas dar nėra pakankamas atsinaujinančių energijos šaltinių ekonominiam tikslingumui pasiekti. Tuo atveju jei kogeneracinių sistemų tikslingumas būtų vertinamas kaip ir kuro rūšies pakeitimo galimybė (mazutas ar dujos keičiamos į biokurą, kuris šiuo metu yra pigesnis), tuomet biokuro jėgainių tikslingumas būtų šiek tiek didesnis. Tačiau šiame darbe tai nebuvo analizuota dėl biokuro rinkos duomenų trūkumo.

Šioje analizėje akivaizdu, kad išvengtų investicijų į šilumos generavimo įrenginius duodamas efektas yra didžiausias.

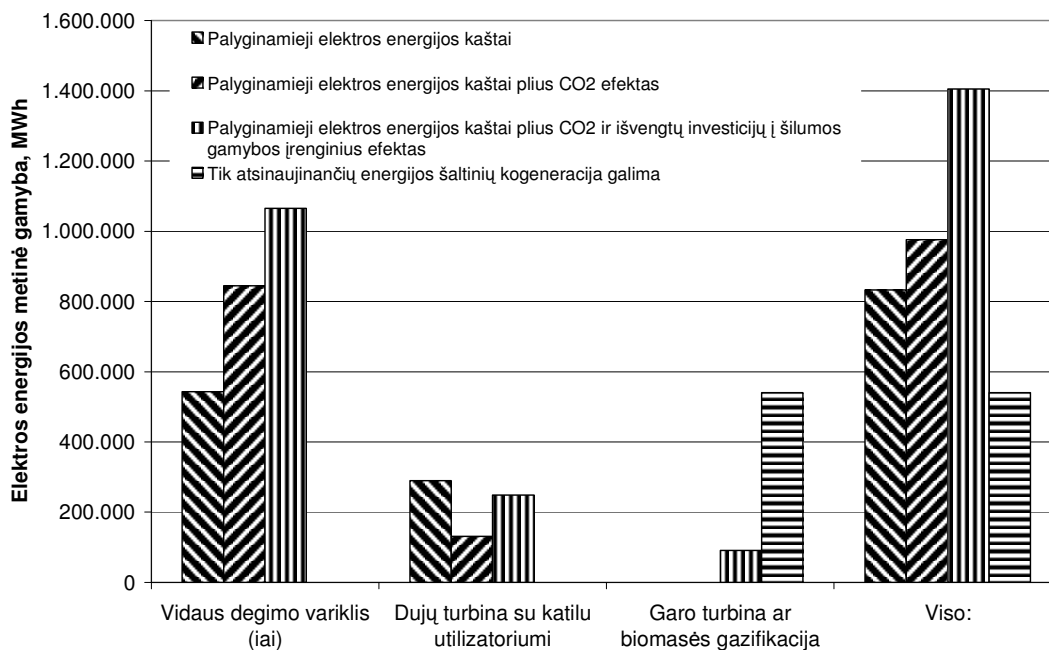
Vertinant ekonomiškai pagrįstos kogeneracijos tikslingumą visos šalies energetinio ūkio planavimo kontekste, gautos ekonomijos (sutaupymų), generuojant elektros energiją kogeneracinėse sistemose vietoje kondensacinių, esamųjų verčių palyginimas pateiktas 4.4 pav.



4.4 pav. Gautų sutaupymų esamoji vertė

Naudojant skirtingus vertinimo principus, gaunamų sutaupymų 20-ties metų esamoji vertė skiriasi daugiau kaip 8 kartus (4.4 pav.). Tai dar kartą parodo, kad ilgo laikotarpio tikslingas ir kruopštus planavimas, o ne tik populiarūs sakiniai įstatyminėje bazėje, gali duoti apčiuopiamą naudą. Tačiau taip atsitiks tik tuomet, kai ekonominė nauda bus matoma ne tik socialinės, bet ir finansinės (biznio) ekonomikos lygmenyje.

Galimas pagaminti elektros energijos kiekis, naudojant skirtingus vertinimo principus, pateiktas 4.5 pav.



4.5 pav. Elektros energijos metinė gamyba

Pateiktame 4.5 pav. matome, kad didžiausias elektros energijos gamybos kiekis būtų pagaminamas esant nuostatai, jog vertinant vienokios ar kitokios technologijos galimą plėtrą būtinas išvengiamų investicijų, į alternatyvius energijos gamybos įrenginius, nustatymas.

5 DARBO IŠVADOS

1. Nustatyta, kad finansinis - ekonominis kogeneracijos tikslingumas turi būti grindžiamas ne mažiausiais ribiniais kaštais, bet didžiausia nauda (sutaupymais) per visą analizuojamąjį laikotarpį. Tarkime nagrinėjant galimas kogeneracines sistemas su vidaus degimo varikliais ir esant 150 tūkst. MWh metinei šilumos energijos gamybai nustatyta, kad optimalus pasirinkimas būtų ne 3 MW, remiantis ribinių kaštų analize, bet 6 MW elektrinės galios kogeneracinės sistemos įrengimas. Būtent šis pasirinkimas duotų pačią didžiausią naudą (sutaupymus esamąja verte) per visą eksploataavimo laikotarpį;
2. Darbe nustatyta, kad atliekant analizę pagal skirtingus finansinio – ekonominio vertinimo principus, įvertinta instaliuotina elektrinė galia vidutinio ir mažo dydžio centralizuoto šilumos energijos tiekimo sistemose gali sumažėti net iki 2,5 karto;
3. Pagrindinė ekonominė problema, su kuria susiduriama kombinuoto šilumos ir elektros energijos gamybos jėgainėse (termofikacinėse elektrinėse) yra sąnaudų šilumos ir elektros energijai gaminti išskyrimas ir jų kainų nustatymas, kai energijų gamyba vykdoma tuose pačiuose įrenginiuose. Teisingas sąnaudų atskyrimas sukuria prielaidas normaliai konkurencijai tiek šilumos, tiek ir elektros rinkose, o taip pat užtikrina sąnaudų ir kainų skaidrumą.
4. Sąnaudų atskyrimui naudojamos įvairios metodikos. Tinkamos metodikos pasirinkimui lemiamos įtakos turi ne tik šalyje vykdoma energetikos politika, bet ir vietinės aplinkybės bei reikalavimai energetikos rinkai. Darbe išanalizuotos įvairios metodikos, kurios taikomos užsienio šalyse tiek liberalizuotos, tiek ir pereinamojo laikotarpio rinkose. Dažniausiai praktikoje naudojami metodai yra alternatyvaus šilumos arba elektros energijos gamybos bei naudos paskirstymo metodai. Taip pat naudojamos metodų kombinacijos atskirai kintamoms ir pastovioms sąnaudoms atskirti.

6 LITERATŪRA

- 1 The European Educational Tools on Cogeneration, 2nd edition, EDUCOGEN. European Commission, 2001
- 2 Technology data for electricity and heat generating plants, Danish Energy Authority, Elkraft System, Eltra, Denmark, 2005.
- 3 Avoiding distribution system upgrade costs using distributed generation, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, 2003
- 4 Prospects for the World Oil Market and Crude Oil Prices for 2005. - Institute of Energy Economics. – January 2005.
- 5 Energy prices & taxes. Quarterly statistics. International Energy Agency. – 1996-2004.
- 6 British Petroleum Statistical Review of World Energy. - June 2005;
- 7 Danish energy Authority, Denmark, 2004
- 8 Distributed Energy Resource guide, California Energy Commission, U.S, 2002
- 9 Cooling, Heating, and Power for Industry: A Market Assessment. Resource Dynamics Corporation, Vienna, 2003.
- 10 Technology Characterization: Reciprocating engines, Energy Nexus Group, U.S, 2002.
- 11 Techno-economic evaluation of selected decentralized CHP applications based on biomass combustion in IEA partner countries final report, Graz, 2004.
- 12 Technology Characterization: Steam turbines, Energy Nexus Group, U.S, 2002
- 13 International Energy Outlook 2004. – Energy Information Administration. – February 2005;
- 14 Oil prices. - Crude oil prices since 1861. - <http://www.bp.com>;
- 15 Regulation of Heat and Electricity produced in Combined Heat and Power Plants, Infrastructure and Energy Department, Europe and Central Asia Region, The World Bank, Washington D.C., 2003;
- 16 Эксергетический метод термодинамического анализа, Энергия, Москва, 1973;
- 17 Strengthening the Energy Market Regulator, Twinning Project LT2001/IB/EY/01
- 18 Šilumos ūkio įstatymas, Lietuvos Respublikos Seimas/Įstatymas/IX-1565/2003 05 20/Įsigalioja nuo 2003 07 01/Žin. 2003 Nr.51-2254;
- 19 Cost Allocation Between Heat and Electric Power in Combined Energy Production at Cogeneration Plants, Energy Regulators Regional Association, Hungary, 2001