

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Aidas Indriejaitis

KOGENERACINĖS ELEKTRINĖS  
DARBO EFEKTYVUMO TYRIMAS

Magistro darbas

Darbo vadovas

doc. dr. L. Buivis

ŠIAULIAI, 2010

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

**TVIRTINU**  
Katedros vedėjas  
lekt. G. Valiulis

2010 05

KOGENERACINĖS ELEKTRINĖS  
DARBO EFEKTYVUMO TYRIMAS

Energetikos inžinerijos magistro darbas

**Darbo vadovas**

doc. dr. L. Buivis

2010 05

**Recenzentas**

lekt. dr. N. Šulčius

2010 06

**Atliko**

EM-8 gr. magistr.  
A. Indriejaitis

2010 05

ŠIAULIAI, 2010

## SUMMARY

Cogeneration is a technologically progressive thermal and electrical production mode. It is especially relevancy in Lithuania, because there is the big production requirement of thermal in Lithuania, there are done the reconstructions of thermal and electrical economy, alternate their juristical regulations, are made the commercial intercourses in Lithuania.

There are quote facts of cogeneration power plant of Siauliai: in the general technological cycle by rates of thermal and electrical power made of production by methodical instructions of uptake fuel supply for making electrical power in the cogeneration power plant of Siauliai in my master work.

The Master work is about cogeneration in Lithuania, separable reglaments for regulating exploitation of the cogeneration power plants. The Energy Ministry has the big hold for action of this power plant, it prescribes the electrical production quota for each cogeneration power plant, and VKEKK, it dictates the thermal and electrical prices.

The biggest economical problem of cogeneration power plant is the input separation for making thermal and electrical power. In this work is practiced cogeneration power plant of Siauliai and alternative thermal hand method. It is noticed, that the alternative thermal hand method would reduce thermal price for users.

Investigated the efficiency of the cogeneration power plant of Siauliai prescribed the general efficiency of power plant, the consumption of conditional fuel, the part of economized fuel, comparing with comparable separate of the thermal and electrical production.

## SANTRAUKA

Kogeneracija – technologiškai pažangus šilumos ir elektros energijos gamybos būdas. Ji ypač aktuali Lietuvoje, nes čia egzistuoja stiprus šilumos gamybos poreikis, yra pertvarkomi šilumos ir elektros ūkiai, keičiasi jų teisinis reglamentavimas, kuriami rinkos santykiai.

Magistro darbe remiamasi Šiaulių kogeneracinės elektrinės duomenimis: „Bendrame technologiniame cikle pagamintos šilumos ir elektros energijos gamybos veiklos rodikliais“, „Šiaulių kogeneracinės elektrinės kuro kiekio sunaudojimo elektros energijos gamybai metodiniais nurodymais“ ir kt.

Visų pirma darbe aptariama kogeneracijos situacija Lietuvoje, išskiriami teisės aktai, reglamentuojantys kogeneracinių elektrinių eksploatavimą. Didelę įtaką tokių elektrinių veiklai turi Energetikos ministerija, kuri kiekvienai kogeneracinei elektrinei nustato elektros gamybos kvotą, bei VKEKK, kuri nustato elektros ir šilumos kainą.

Didžiausia kogeneracinių elektrinių ekonominė problema – sąnaudų šilumos ir elektros energijai gaminti išskyrimas. Darbe taikomi Šiaulių kogeneracinės elektrinės ir Alternatyvaus šilumos šaltinio metodai. Pastebėta, kad Alternatyvaus šilumos šaltinio metodas padėtų sumažinti šilumos kainas vartotojams.

Atlikus Šiaulių kogeneracinės elektrinės efektyvumo tyrimą, nustatytas elektrinės bendrasis efektyvumas, sąlyginio kuro sunaudojimas, sutaupyto kuro dalis, lyginant su atskira palyginamąja šilumos ir elektros energijos gamyba ir pan.

## TURINYS

IVADAS .....	5
1. KOGENERACIJOS SAMPRATA, PROBLEMOS LIETUVOJE .....	7
2. KOGENERACINIŲ ELEKTRINIŲ EKSPLOATAVIMĄ REGULIUOJANTYS TEISĖS AKTAI .....	9
3. ŠIAULIŲ KOGENERACINĖ ELEKTRINĖ .....	12
3.1. KOGENERACINĖS ELEKTRINĖS ATSIKADIMO PRIELAIDOS .....	12
3.2. KOGENERACINĖS ELEKTRINĖS TECHNINIAI DUOMENYS .....	15
3.3. KOGENERACINĖS ELEKTRINĖS SCHEMA .....	20
3.4. ELEKTRINĖS PLĖTROS PLANAI .....	22
4. KOGENERACINĖS ELEKTRINĖS GARO TURBOGENERATORIŲ TYRIMAS .....	24
4.1. ELEKTRINĖS TERMODINAMINIS EFEKTYVUMAS .....	24
4.2. GARO TURBINOS DARBO REŽIMAI .....	35
4.3. GARO TURBINOS EKONOMINIAI RODIKLIAI .....	40
5. KOGENERACINĖS ELEKTRINĖS EFEKTYVUMO SKAIČIAVIMAS .....	43
6. KOGENERACINĖS ELEKTRINĖS BENDRŲJŲ KURO SAŪNAUDŲ PASKIRSTYMAS .....	53
6.1. ŠIAULIŲ KOGENERACINĖS ELEKTRINĖS METODAS .....	53
6.2. ALTERNATYVAUS ŠILUMOS ŠALTINIO METODAS .....	57
6.3. KURO SAŪNAUDŲ ATSKYRIMO METODŲ PALYGINIMAS .....	59
7. DARBO IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS .....	61
ŠALTINIŲ IR LITERATŪROS SĄRAŠAS .....	63
PRIEDAI .....	66
1 PRIEDAS. GARO TURBOGENERATORIAUS Nr. 1 PARAMETRŲ REIKŠMĖS .....	66
2 PRIEDAS. GARO TURBOGENERATORIAUS Nr. 2 PARAMETRŲ REIKŠMĖS .....	67
3 PRIEDAS. TURBOGENERATORIŲ $\Delta s$ NUOSTOLIŲ GRAFIKAS (2010 m. sausio mėn.) .....	68
4 PRIEDAS. TURBOGENERATORIŲ $\Delta s$ NUOSTOLIŲ GRAFIKAS (2010 m. vasario mėn.) .....	69
5 PRIEDAS. TURBOGENERATORIŲ $\Delta s$ NUOSTOLIŲ GRAFIKAS .....	

(2010 m. kovo mėn.) .....	70
6 PRIEDAS. TURBOGENERATORIAUS NR. 1 NAUDINGO VEIKSMO KOEFIICIENTAI IR SĄLYGINIO KURO LYGINAMOJO SUNAUDOJIMO (PAGAMINTAI ELEKTROS ENERGIJAI) PRIKLAUSOMYBĖ NUO APKROVIMO LENTELĖ .....	71
7 PRIEDAS. TURBOGENERATORIAUS NR. 2 NAUDINGO VEIKSMO KOEFIICIENTAI IR SĄLYGINIO KURO LYGINAMOJO SUNAUDOJIMO (PAGAMINTAI ELEKTROS ENERGIJAI) PRIKLAUSOMYBĖ NUO APKROVIMO LENTELĖ .....	72
8 PRIEDAS. PIETINĖS KATILINĖS SCHEMA .....	73
9 PRIEDAS. ELEKTROS ENERGIJOS GAMYBOS EFEKTYVUMO SUDERINTOSIOS ATSKAITINĖS VERTĖS .....	74
10 PRIEDAS. ŠILUMOS ENERGIJOS GAMYBOS EFEKTYVUMO SUDERINTOSIOS ATSKAITINĖS VERTĖS .....	75

## IVADAS

Kogeneracija – tai bendra šilumos ir elektros energijos gamyba, kai vieno technologinio proceso subproduktas naudojamas kitam produktui pagaminti. Kogeneraciją dažniausiai diegia centralizuotos šilumos tiekimo įmonės, taip pat pramonės įmonės, naudojančios šilumos ir elektros energiją.

Lyginant su atskirąja šilumos ir elektros energijos gamyba (kai šilumos energija gaminama vandens šildymo katiluose, o elektros energija – kondensacinėje elektrinėje) kogeneracinė elektrinė yra daug pranašesnis energijos gamybos būdas, nes kombinuotai gaminant energiją sutaupoma pirminio energijos šaltinio – kuro. Esama ir daugiau kogeneracinės elektrinės privalumų. Visų pirma kogeneracinės elektrinės eksploatuojančios įmonės apsirūpina pigesne elektros energija, o gautą pelną už parduotą elektros energiją panaudoja šilumos tarifui sumažinti. Antra, kogeneracija laikoma viena iš priemonių padedančių sumažinti aplinkos užterštumą ir anglies dioksido emisiją.

Efektyvi kogeneracija yra tiesiogiai susijusi su šilumos energijos paklausa. Lietuvoje šilumos energijos paklausą lemia šalies geografinė padėtis. Esant nemažam šilumos poreikiui, valstybė yra suinteresuota domėtis efektyvesnės, naujesnės elektros gamybos įrangos kūrimu, atsinaujinančių energijos išteklių naudojimui. Todėl Lietuvoje modernizuojamos jau esamos ir statomos naujos kogeneracinės elektrinės, kurios didina energijos generavimo efektyvumą ir mažina aplinkos taršą (pvz., 2008 metais atidaryta Panevėžio kombinuoto ciklo kogeneracinė elektrinė).

Šiuo metu Lietuvoje veikia 12 Viešuosius interesus atitinkančių paslaugų (VIAP) fondo remiamų kogeneracinių elektrinių. Jų veiklą Lietuvoje reglamentuoja Energetikos įstatymas, Elektros energetikos įstatymas ir Šilumos ūkio įstatymas.

Pagal šilumos gamybos apimtį Lietuvoje, Šiauliai užima ketvirtąją vietą ir yra priskiriami pirmai šilumos tiekimo įmonių grupei [3]. Mieste kasmet pagaminama apie 450 GWh šilumos energijos, iš jų apie 200 GWh – kogeneracinėje elektrinėje.

Šiaulių kogeneracinėje elektrinėje eksploatuojamos mažo elektrinio naudingumo priešslėginės turbinos su elektros generatoriais. Pagaminta elektros energija skirta technologinėms reikmėms (apie 3 GWh per metus), o dalis atliekinės elektros energijos parduodama skirstomiesiems tinklams (7 GWh per metus). Supirkimo kvotą kiekvienais metais nustato Energetikos ministerija.

Siekiant sumažinti aplinkos taršą ir priklausomybę nuo importinio kuro, iki 2015 metų Šiauliuose planuojama pastatyti naują kogeneracinę elektrinę, kuri naudotų vietinį atsinaujinantį kurą. Naujoji elektrinė, kaip numato verslo planas, per metus pagamins apie 218 GWh šilumos ir apie 63 GWh elektros energijos. Nauja kogeneracinė elektrinė visus metus vartotojams gamins šilumos ir elektros energiją.

Darbe remiamasi Šiaulių kogeneracinės elektrinės duomenimis: „Bendrame technologiniame cikle pagamintos šilumos ir elektros energijos gamybos veiklos rodikliais“, „Šiaulių kogeneracinės elektrinės kuro kiekio sunaudojimo elektros energijos gamybai metodiniais nurodymais“ ir kt. Šiaulių kogeneracinės elektrinės metodas lyginamas su Valstybinės kainų ir energetikos kontrolės komisijos (VKEKK) siūlomu Alternatyvaus šilumos šaltinio metodu.

Magistro darbo **tikslas** – kogeneracinės elektrinės darbo efektyvumo tyrimas.

Šiam tikslui pasiekti keliami tokie uždaviniai:

1. Remiantis Šiaulių kogeneracinės elektrinės duomenimis, išryškinti kogeneracinių elektrinių privalumus.
2. Suformuluoti Šiaulių kogeneracinės elektrinės plėtros galimybes.
3. Ištirti metodikas ir rodiklius, naudojamus kogeneracinių elektrinių darbo efektyvumui įvertinti.
4. Nustatyti kogeneracinėse elektrinėse pagamintos energijos gamybos naudą.

Magistro darbą sudaro įvadas, išvados ir rekomendacijos, šaltinių ir literatūros sąrašas, 10 priedų. 1–2 skyriuose aptariama kogeneracinių elektrinių situacija Lietuvoje. 3 skyriuje pristatoma Šiaulių kogeneracinė elektrinė ir jos plėtros galimybės. 4 skyriuje tiriami garo turbinų darbo režimai. 5–6 skyriuose aptariamos elektrinės darbo efektyvumo metodikos ir rodikliai.



## 1. KOGENERACIJOS SAMPRATA, PROBLEMOS LIETUVOJE

Daugelyje pasaulio šalių, o ypač Europos Sąjungos šalyse, didelis dėmesys skiriamas efektyviai energijos gamybai bei išmetamų teršalų mažinimui. Tuo tikslu plėtojama kombinuota elektros ir šilumos energijos gamyba – kogeneracija. Kogeneracija teoriškai buvo pagrįsta 1930-ais metais. Ji laikoma vienu perspektyviausių būdų taupyti pirminę energiją, nes tuo pačiu metu gaminama šilumos ir elektros energija, o bendros kuro sąnaudos mažesnės negu atskiroje energijos gamyboje (elektros energija kondensacinėje elektrinėje, šilumos energija vandens šildymo katilinėje). Tiriamoje Šiaulių kogeneracinėje elektrinėje, lyginant su atskira energijos gamyba kuro sutaupoma 3,29 %.

Beveik visa kogeneracinėse elektrinėse susidaranti šiluma gali būti panaudojama naudingai (centralizuotam šilumos tiekimui). Elektros gaminama tiek, kiek tuo metu galima suvartoti šilumos. Šiaulių kogeneracinėje elektrinėje net 89,09 % pradinės kuro energijos panaudojama naudingai. Tačiau elektrinė eksploatuoja mažo elektros energijos gamybos naudingumo priešslėgines turbinas ir tik 5,53 % kuro energijos paverčiama elektros energija.

Lietuvoje kogeneraciją reglamentuoja Energetikos įstatymas, Elektros energetikos įstatymas, Šilumos ūkio įstatymas. Kombinuota elektros ir šilumos energijos gamyba pripažįstama kaip viešuosius interesus atitinkanti paslauga. Elektrinės remiamos Energetikos ministerijai nustatant superkamos elektros energijos gamybos apimtis. Šiaulių kogeneracinei elektrinei nustatyta superkamos elektros energijos kvota – 7 mln. kWh metams. Remtina elektros energija superkama Valstybinės kainų ir energetikos kontrolės komisijos (toliau – VKEKK) patvirtintomis kainomis.

Didžiausia ekonominė problema, su kuria susiduriama kogeneracinėse elektrinėse yra sąnaudų šilumos ir elektros energijai gaminti išskyrimas, kainų nustatymas. Kryžminio subsidijavimo panaudojimas gali padidinti energijos kainą šilumos ar elektros sektoriuje. Didele įtaką sąnaudų įvertinimui turi šalyje vykdoma energetikos politika, vietinės aplinkybės. Tiekėjo sąnaudų atskyrimo taisyklės turi būti suderintos su Valstybine kainų ir energetikos kontrolės komisija.

Bendrų gamybos sąnaudų atskyrimui yra sukurtos įvairios metodikos. Taikant vienokią ar kitokią metodiką, galima gauti skirtingas elektros ir šilumos energijos gamybos sąnaudas bei savikainą. Vienus metodus, suderintus su VKEKK, susikuria pačios įmonės, kitus siūlo taikyti VKEKK.

2009 m. liepos 22 d. VKEKK nutarimu NR.03-107 patvirtinta „Kogeneracinių jėgainių šilumos ir elektros energijos sąnaudų atskyrimo metodika“. Pagal šią metodiką bendrame technologiniame cikle susidarančios šiluminės energijos gamybos sąnaudos yra lygios sąnaudoms, kurios susidaro panašios galios tik šilumą generuojančiose katilinėse, naudojant tą pačią kuro rūšį, o likusios sąnaudos priskiriamos elektros energijos gamybos sąnaudoms. Taip nustatoma minimali šilumos gamybos kaštų suma, kurią bet kuriuo atveju turėtų padengti šilumos vartotojai, bet neapmokėtų sąnaudų, susijusių su elektros energijos gamybos rizika. Ši metodika yra privaloma visiems bendrame technologiniame cikle šilumą ir elektros energiją gaminantiems šilumos tiekėjams, jei kitaip nėra suderinta su VKEKK.

Šiaulių kogeneracinės elektrinės taikomas metodas suderintas su VKEKK ir pateiktas Šiaulių kogeneracinės elektrinės kuro kiekio sunaudojimo elektros energijos gamybai metodiniuose nurodymuose. Remiantis šiuo metodu, nustatyta, kad sąlyginio kuro lyginamasis sunaudojimas pagamintai elektros energijai siekia 138,23 kg.n.e./MWh, o šilumos energijai – 95,06 kg.n.e./MWh.

Lyginant esamą situaciją Šiaulių kogeneracinėje elektrinėje su VKEKK, patvirtinta Alternatyvaus šilumos šaltinio metodika, nustatyta, kad šiuo metodu gaunamos mažesnės šilumos gamybos sąnaudos. Sąlyginio kuro lyginamasis sunaudojimas pagamintai elektros energijai siekia 197,47 kg.n.e./MWh, šilumos energijai – 91,11 kg.n.e./MWh. Vadinasi, jeigu įmonė pasirinktų Alternatyvaus šilumos šaltinio metodiką, galėtų sumažinti šilumos kainas vartotojams.

Miestui tiekiamas šiluminės energijos kiekis kasmet mažėja. Šilumos energijos kiekio mažėjimą lemia dideli šilumos energijos tarifai bei vartotojų nenoras mokėti už šilumą, o tai riboja ir efektyvią elektros energijos gamybą. Šilumos vartotojui šiandien naudingiau atsijungti nuo šilumos tinklų ir naudoti alternatyvius šildymo variantus.

## 2. KOGENERACINIŲ ELEKTRINIŲ EKSPLOATAVIMĄ REGULIUOJANTYS TEISĖS AKTAI

Lietuvos geografinė padėtis lemia pakankamai ilgą šildymo sezono trukmę. Šalyje yra gerai išvystytos centralizuoto šilumos tiekimo sistemos. Visa tai turi didelį potencialą kogeneracinių technologijų plėtrai bei efektyviam šių elektrinių naudojimui. Bet tai dar neužtikrina efektyvios kogeneracijos plėtros Lietuvoje. Reikalinga teisinė, administracinė bei ekonominė struktūra, kuri padėtų kogeneracijos vystymuisi. Tokią struktūrą sukuria šią veiklą reglamentuojantys teisiniai aktai.

Šalyje energetikos sektoriaus pagrindinės veiklos kryptys bei jų reguliavimas apibūdinamas LR Energetikos įstatyme (Žin.,2002, Nr.56-2224; 2005, Nr.142-5104) [13]. Visi kiti teisės aktai reglamentuojantys atskirų energetikos sektorių veiklą turi neprieštarauti šiam įstatymui. Šiuo įstatymu numatoma, kad elektros, pagamintos bendros šilumos ir elektros gamybos elektrinėse, supirkimo tvarką nustato LR Vyriausybė ar jos įgaliota institucija. LR Elektros energetikos įstatyme (Žin.,2000, Nr.66-1984; 2004, Nr.107-3964) [14] teigiama, kad *elektros gamyba kogeneracinėse elektrinėse yra viešieji interesai energetikos sektoriuje*. Todėl 2001 metais LR Vyriausybė nutarimu Nr. 1474 „Viešuosius interesus atitinkančios paslaugos elektros energetikos sektoriuje“ įpareigojo visuomeninius ir nepriklausomus elektros tiekėjus bei laisvuosius vartotojus, importuojančius elektrą, supirkti ir parduoti elektrą pagamintą kogeneracinėse elektrinėse, kai jose gaminama šiluma tiekama į miestų centralizuotus šilumos tinklus. Viešuosius interesus atitinkančių paslaugų (VIAP) davimas reglamentuotas Ūkio ministerijos patvirtintose „Įpareigojimų tiekti viešuosius interesus atitinkančias paslaugas davimo taisyklėse“. Šių taisyklių pagrindu Ūkio ministerija patvirtino „Elektros energijos supirkimo iš bendrų šilumos ir elektros energijos gamintojų tvarką“, kurioje reglamentuojamas elektros, superkamos iš kogeneracinių elektrinių, kiekis kiekvienais metais. Superkamos elektros apimtys apskaičiuojamos pagal energijos gamybos įmonių pateiktą informaciją apie naudingai suvartojamos šilumos kiekį, kogeneracinių įrenginių charakteristikas, bei esamas ir prognozuojamas elektros, pagamintos šio tipo elektrinėse, supirkimo apimtis Lietuvoje.

Energetikos vystymosi kryptis dvidešimčiai metų numato kas penkis metus atnaujinamą Nacionalinės energetikos strategiją, kuri buvo patvirtinta 1999 metais, atnaujinta 2002 ir 2007 metais (Žin.,2007, Nr.11-430) [12]. Joje centralizuoto šilumos tiekimo sistemų panaudojimas bendrai šilumos ir elektros gamybai apibūdinamas kaip viena iš energetikos sistemos galimybių.

Teigiama, kad reikia *centralizuoto šilumos tiekimo sektoriaus įmonėse palaipsniui įrengti termofikacines elektrines, galinčias gaminti elektros energiją, kurios kaina būtų konkurencinga kainai atviroje elektros rinkoje. Plačiau panaudoti pramonės įmonių atliekinę šilumą gyvenamiesiems ir visuomeniniams pastatams šildyti. Visiškai įgyvendinti 2004 m. vasario 11 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyvos 2004/8/EB dėl termofikacijos skatinimo, remiantis naudingosios šilumos paklausa vidaus energetikos rinkoje, ir iš dalies keičiančios Direktyvą 92/42/EEB, nuostatas* [12]. Vienas iš energetikos strateginių tikslų – pasiekti, kad iki 2025 m. elektros energijos, pagamintos kogeneracinėse elektrinėse per šildymo sezoną, dalis sudarytų 35 % bendro elektros energijos gamybos balanso. Strategijoje taip pat numatoma nustatyti kogeneracinių elektrinių gaminamos elektros energijos supirkimo tvarką, kuri skatintų bendrą šilumos ir elektros energijos gamybą. Dar numatoma iki 2020 m. pastatyti maždaug 400 MW bendros galios kogeneracines elektrines.

LR Šilumos ūkio įstatymas (Žin.,2003, Nr.51-2254) [15] reglamentuoja šilumos ūkio subjektų veiklą, jų santykius, teises ir pareigas. Pagal šį įstatymą numatoma rengti savivaldybių „Šilumos ūkio specialiuosius planus“, kurių pagrindinis tikslas – neviršijant leidžiamo neigiamo poveikio aplinkai, tenkinti šilumos poreikius vartotojui mažiausiomis sąnaudomis. Tam, kad šie planai atitiktų nacionalinius energetikos tikslus, Šilumos ūkio įstatymas numato LR Vyriausybės tvirtinamas „Šilumos ūkio plėtros kryptis“, kuriomis vadovaujantis ir rengiami specialieji planai. 2008 m. LR Vyriausybės nutarimu Nr. 307 patvirtinta „Šilumos ūkio plėtros kryptis“ [42]. Šiame dokumente numatoma: plėtojant šilumos ūkį išsaugoti esamas centralizuoto šilumos tiekimo sistemas, ten, kur jos yra ekonomiškai pagrįstos; diegti naujas technologijas tuo pačiu diversifikuojant kurą bei mažinant neigiamą poveikį aplinkai. Viena iš aprašomų šio energetikos sektoriaus plėtros krypčių – plėtoti kogeneraciją. Skatinti kogeneracinių elektrinių, kurių veikimas pagrįstas šilumos poreikiu, plėtrą atskira tvarka superkant jose gaminamą elektrą už nustatytą kainą. Taip pat numatyti ir konkretūs veiksmai (kurie atitinka ir Nacionalinėje energetikos strategijoje numatytus veiksmus), įgyvendinant bendros šilumos ir elektros plėtrą bei atsiradus naujų elektros galių poreikiui: modernizuoti didžiausias kogeneracines elektrines. Iki 2015 metų pastatyti šias elektrines didesniuose Lietuvos miestuose. Atnaujinant esamus šilumos gamybos įrenginius ar diegiant naujus nurodoma atsižvelgti į kogeneracijos galimybę. Vienas iš kogeneracinių elektrinių plėtros tikslų šilumos ūkyje – pasiekti, kad 2020 metais šiluma, gaminama jose, sudarytų ne mažiau kaip 75 % bendro centralizuotai tiekiamos šilumos balanso.

Europos Sąjungos direktyva (2004/8/EC) bei Lietuvos direktyva (2004/8/EB) skatina didelio efektyvumo kogeneraciją [5]. Direktyvose pabrėžiama kogeneracinių technologijų svarba

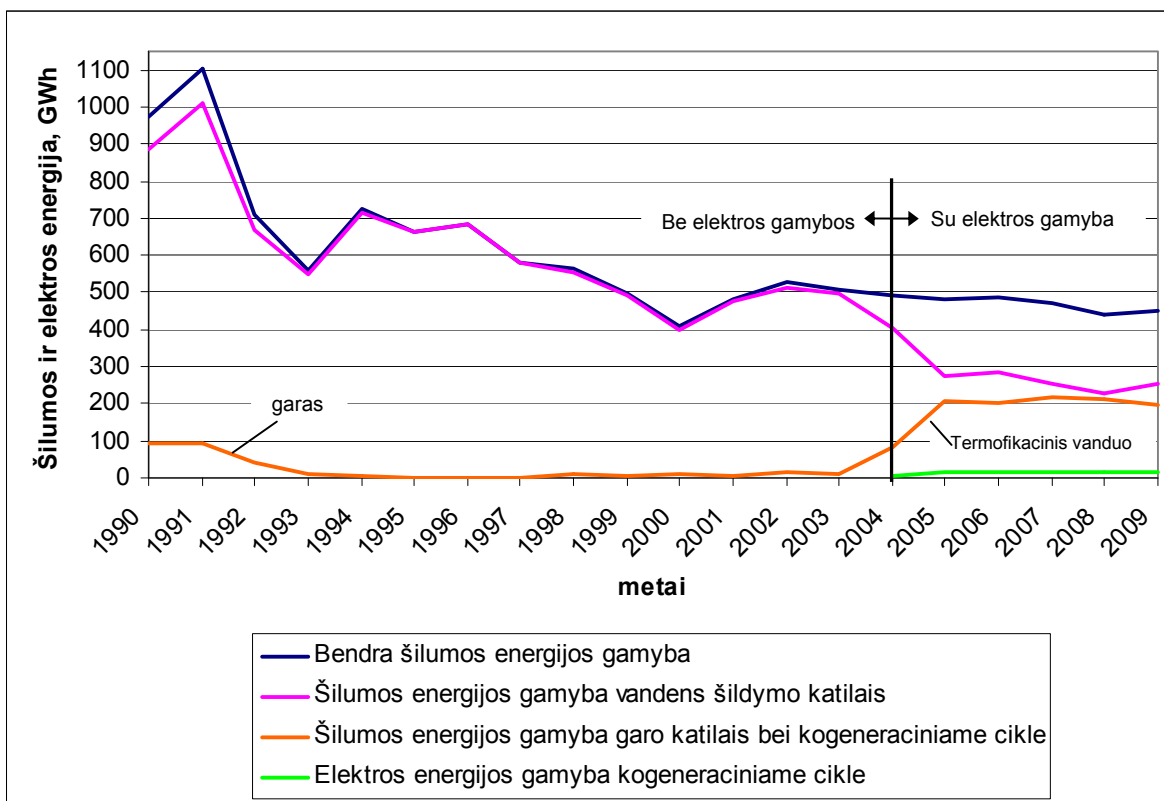
mažinant sunaudojamo kuro kiekį bei anglies dvideginio emisijas. Lietuvos direktyvoje teigiama, kad *efektyvia kogeneracija laikomas toks elektros energijos ir šilumos gamybos būdas, kai sutaupoma 5% pirminių energijos išteklių dabar esančiuose elektrinėse, o naujai planuojamoms elektrinėms šis rodiklis pakeltas iki Europos Sąjungos šalyse naudojamo 10%* [5].

### **3. ŠIAULIŲ KOGENERACINĖ ELEKTRINĖ**

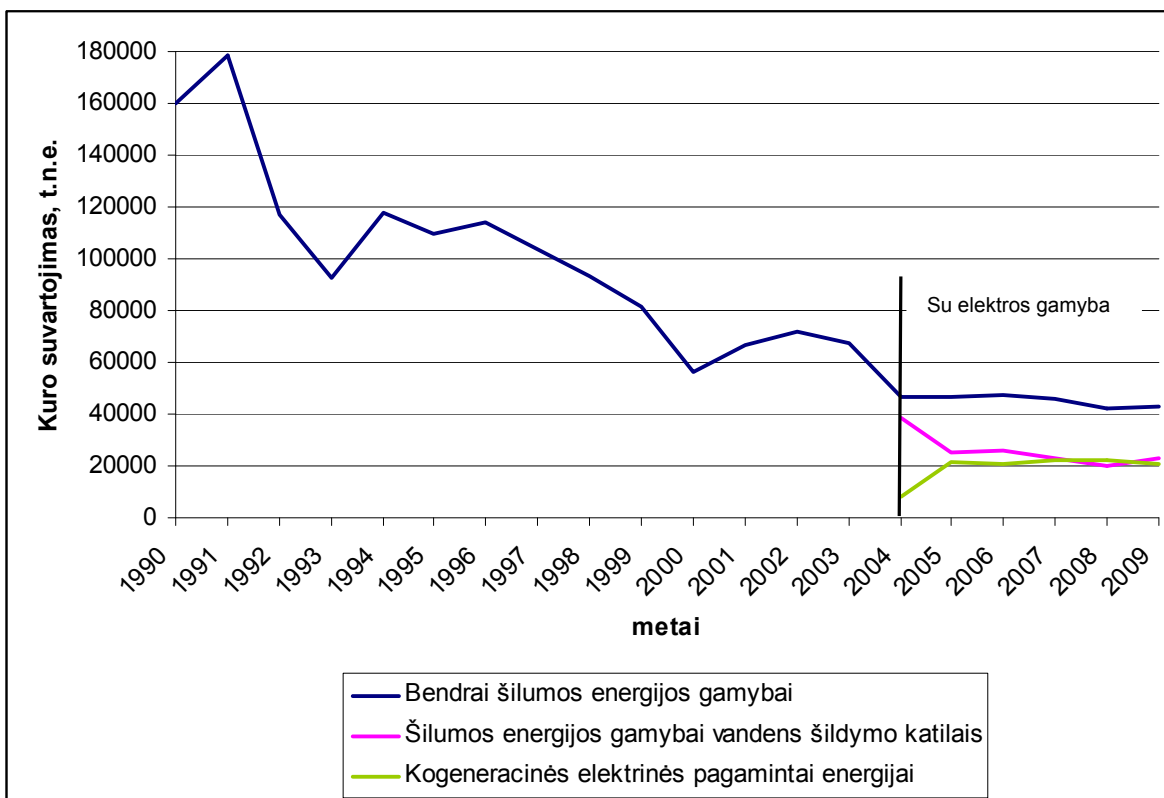
#### **3.1. KOGENERACINĖS ELEKTRINĖS ATSIKADIMO PRIELAIKOS**

1955 metais Šiaulių energetikai, vieni pirmųjų Lietuvoje, atliekinę šilumą panaudojo Rėkyvos gyvenamųjų namų šildymui, o 1963 m., perėmę ir rekonstravę "Elnio" katilinę, pradėjo centralizuotai šildyti Šiaulių miesto centrą. Plečiantis miesto gyvenamiesiems rajonams, pradėta statyti Pietinė katilinė, kurioje 1966 m. paleistas pirmasis 25t/h našumo garo katilas. Garas buvo tiekiamas pramonei. 1992 m., plečiantis Šiaulių miesto Gubernijos pramoniniam rajonui, Šiaurinėje katilinėje paleisti du po 22,5 t/h našumo garo katilai.

Po TSRS iširimo, Lietuvos nepriklausomybės laikais, užsidarinėjant pramonės įmonėms, garo poreikis mažėjo. Katilinėse buvo mažai išnaudojami vandens šildymo bei garo katilai, kita papildoma įranga. Jeigu 1990 m. Pietinėje katilinėje garu patiekta 91,39 GWh šilumos energijos, tai 1993 m. – tik 9,16 GWh šilumos energijos. Brangstant kurui, elektros energijai, didėjo šilumos energijos savikaina. Atsižvelgiant į tai, buvo nutarta Pietinėje katilinėje statyti kogeneracinę elektrinę ir tokiu būdu apsirūpinti pigesne elektra, o elektrinės atidirbto garo šilumą panaudoti termofikaciniui vandeniui šildyti. Numatyta, kad elektrinėje pagamintos šilumos energijos turėtų užtekti vartotojų poreikiams nešildymo sezonu, o šildymo sezonu garo-vandens pašildytuvai turėtų lygiagrečiai dirbti su vandens šildymo katilais (toliau – VŠK) (žr. 8 priedą).

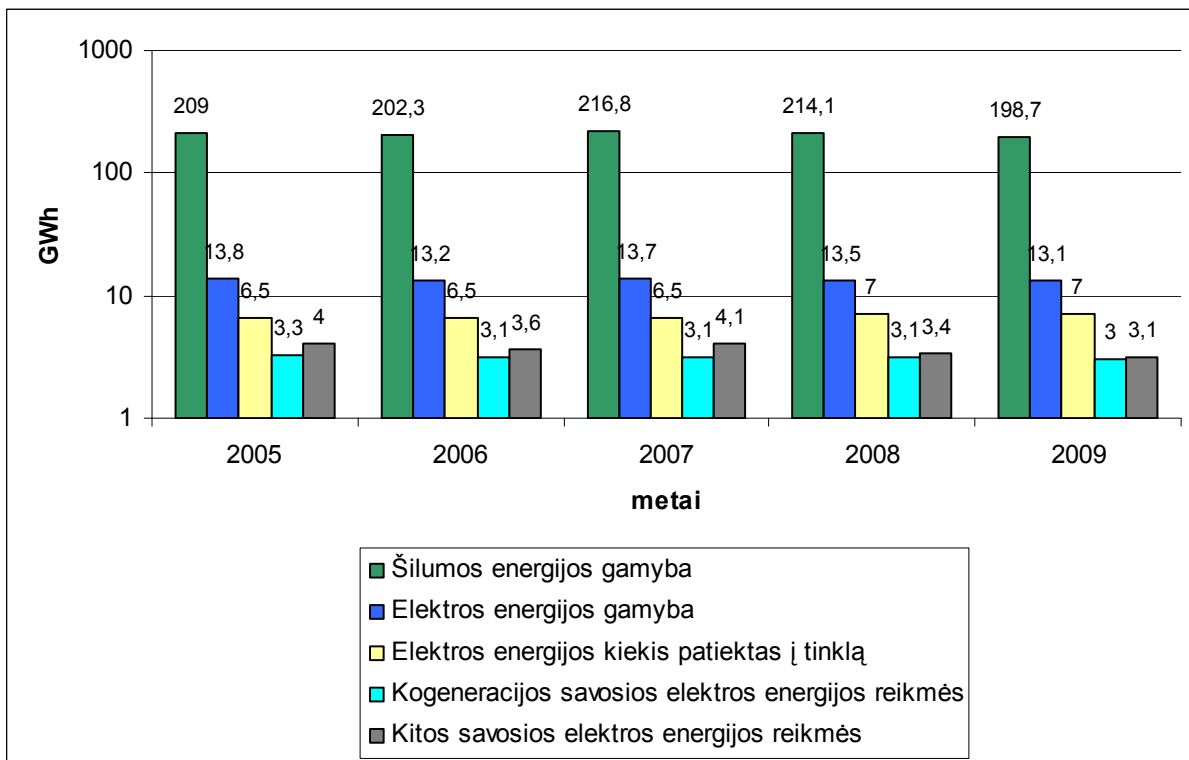


1 pav. Šilumos ir elektros energijos kiekis, patiektas į Šiaulių miesto tinklą nuo 1990 metų



2 pav. Kuro suvartojimas šilumos ir elektros energijos gamybai nuo 1990 metų

2004 metų birželį Šiaulių mieste, Pietinėje katilinėje, pradėjo veikti kogeneracinė elektrinė. Katilinėje, prie esamo garo katilo B-25/15GM, kurio našumas 25 t/h, iš Šiaurinės katilinės atvežti ir sumontuoti du E-25-1,4-225GM – 22,5t/h našumo garo katilai, bei iš Sankt Peterburgo atvežtos dvi priešslėginės garo turbinos GTG-1,5/1,0-0,4-14/2,5, kurios suka du po 1,5 MW galios 380 V įtampos generatorius. Garas, panaudotas turbinose, tiekiamas į keturis garo-vandens pašildytuvus, kurie pašildo vartotojams tiekiamą termofikacinį vandenį.



3 pav. Šiaulių kogeneracinės elektrinės šilumos ir elektros energijos gamyba, pardavimai, savosios reikmės

Kogeneracinėje elektrinėje pagaminta elektros energija skirta technologinėms reikmėms. Dalis atliekinės elektros energijos parduodama skirstomiesiems tinklams. Elektros supirkimo kvotą kiekvienais metais nustato Energetikos ministerija. Iki 2007 m. supirkimo kvota buvo 6,5 GWh elektros energijos, o nuo 2008 m. padidėjo iki 7,0 GWh elektros energijos.



### 3.2. KOGENERACINĖS ELEKTRINĖS TECHNINIAI DUOMENYS

Elektrinėje yra dvi GTG-1,5/1,0-0,4-14/2,5 priešslėginės garo turbinos su generatoriais (žr. 4 pav.). Generatorius aušinamas oru.

Garų turbogeneratorių GTG-1,5/1,0-0,4-14/2,5 techniniai duomenys pateikti 1 lentelėje.

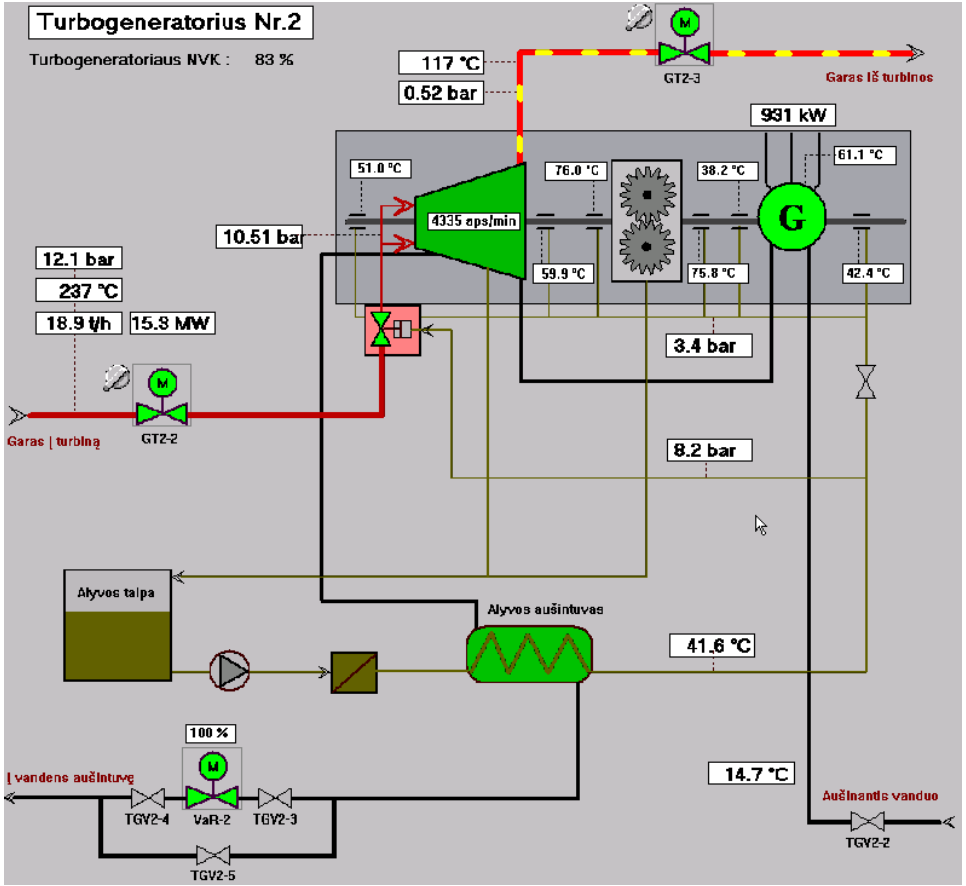
Garų turbogeneratoriaus techniniai duomenys

1 lentelė

Parametrų pavadinimai	Matavimo vnt.	Parametrų dydis
Garų turbogeneratorius Nr.1 aktyvioji galia (TG-1)		
Pirmas laipsnis	kW	1000±50
Antras laipsnis		1500±50
Garų turbogeneratorius Nr.2 aktyvioji galia (TG-1)		
Pirmas laipsnis	kW	500±50
Antras laipsnis		1500±50
Generatoriaus pilnutinė galia	kVA	1875
Generatoriaus statoriaus nominali įtampa	V	400
Generatoriaus statoriaus nominali srovė	A	2700
Generatoriaus nominalus $\cos\phi$	-	0,8
Generatoriaus srovės dažnis	Hz	50
Reduktoriaus perdavimo santykis	-	2,8
Generatoriaus sukimosi dažnumas	aps/min	1500
Turbinos sukimosi dažnumas	aps/min	4184
Garų slėgis prieš užkertamąjį vožtuvą	Mpa (bar)	1,4±0,1 (14±1,0)
Garų slėgis už turbinos	Mpa (bar)	0,15±0,1 (1,5±1,0)
Garų temperatūra prieš turbiną	°C	225-300
Garų sąnaudos turbinai esant nominaliai galiai	t/h	29±2
Turbinos eksploatavimo laikas iki nurašymo	metai	30
Nustatytas turbinos darbo resursas iki kap. remonto	h	120000
Turbinos nepertraukiamas darbo laikas	h	5000
Šiluminė apkrova už turbogeneratoriaus	MW	22
Eksploatacijos pradžia	metai	1994



4 pav. Garo turbogeneratorius Nr.2



5 pav. Garo turbogeneratoriaus Nr.2 vizualizacijos langas

Kogeneracinės elektrinės aptarnaujantis personalas stebi turbogeneratoriaus languose šiuos rodomus parametrus (žr. 5 pav.):

- Tiekimo į turbiną garo slėgį, temperatūrą ir debitą (pakoreguotą pagal slėgį ir temperatūrą), bei paskaičiuotą tiekiamo į turbiną garo šiluminę energiją (MW);
- Turbinos apsukas;
- Garo slėgį prieš turbinos tūtą bei garo slėgį po turbinos;
- Turbinos, reduktoriaus, generatoriaus priekinių ir galinių guolių temperatūras bei oro temperatūrą po generatoriaus gaubtu;
- Tepalo slėgį prieš reguliuojantį įtaisą bei tepalo slėgį guolių tepimui;
- Aušinančio vandens temperatūrą, ataušinto tepalo temperatūrą bei aušinimo reguliuojančio vožtuvo padėtį (%);
- Generatoriaus gaminamą aktyvinę elektrinės galią.

Katilinėje stovi trys natūralios cirkuliacijos garo katilai. Garo katilo B-25/15GM našumas yra 25t/h (žr. 6 pav.), o garo katilo E-25-1,4-225GM – 22,5t/h. Jų techniniai duomenys pateikti 2 lentelėje.

Garo katilų techniniai duomenys

2 lentelė

Parametrų pavadinimai	Matavimo vnt.	Parametrų dydis		
		Garo katilas Nr.1	Garo katilas Nr.2	Garo katilas Nr.3
Šiluminė galia	MW	18,95	17,23	17,23
Maksimalus garo slėgis	bar	14,71	13,0	13,0
Maksimali garo temperatūra	°C	350	225	225
Maksimalus paduodamo į katilų vandens kiekis	m <sup>3</sup> /h	32	32	32
Kuras	-	gamtinės dujos/ mazutas	gamtinės dujos/ mazutas	gamtinės dujos/ mazutas
Vidutinis n.v.k., (gamtinės dujos/mazutas)	%	93,2/92,5	92,0/91,6	91,0/90,8
Degiklio našumas	MW	9,25	18,6	17,5
Degiklių kiekis	vnt.	2	1	1
Eksploatacijos pradžia	metai	1966	1992	1992



6 pav. 25t/h našumo garo katilas Nr.1

Įrengti 4 maitinimo siurbliai MS (kiekvieno našumas po 28 m<sup>3</sup>/h, slėgimas 19,6 bar, perpumpuojamos terpės temperatūra 105 °C), 4 kondensato siurbliai KS (du po 45 m<sup>3</sup>/h, 20 m<sup>3</sup>/h ir 16 m<sup>3</sup>/h, jų slėgimas yra 3,2 bar, perpumpuojamo kondensato temperatūra iki 105 °C).

Taip pat yra 6 tinkliniai vandens siurbliai TS. Vasaros metu dirba ir kogeneracijos ciklui užtikrinti užtenka vieno 800 m<sup>3</sup>/h našumo tinklinio vandens siurblio, kurio parametrai 3 lentelėje.

Tinklinio vandens siurblio parametrai

3 lentelė

Parametų pavadinimai	Matavimo vnt.	Parametų dydis
Darbinė vandens temperatūra	°C	40-70
Maksimali leistina temperatūra	°C	90
Našumas	m <sup>3</sup> /h	800
Slėgis įsiurbime	bar	1,2-2,0
Maksimali elektros variklio galia	kW	315
Maitinimo įtampa	kV	0,4

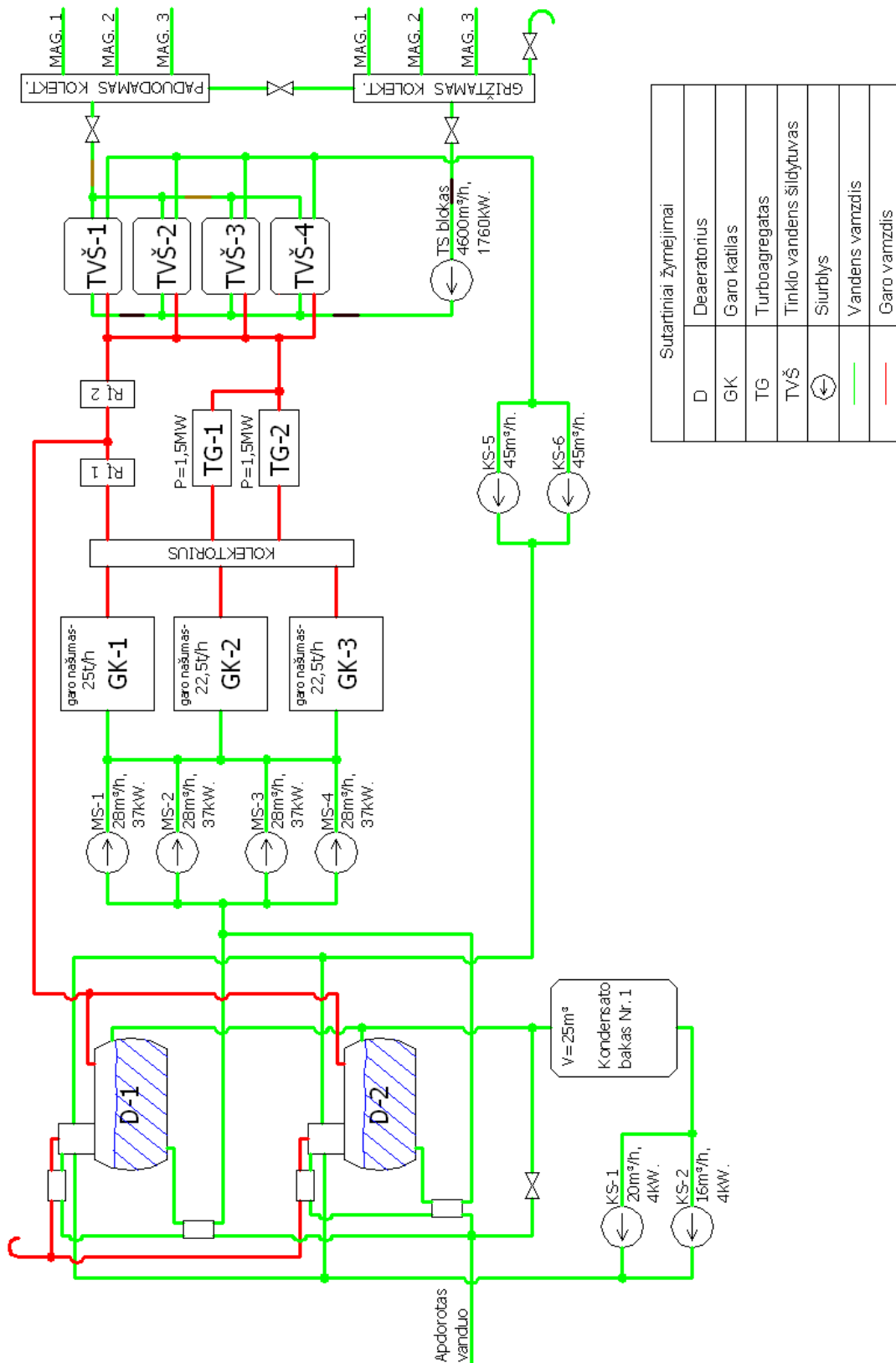
Tinklo vandens pašildytuvų kiekis TVŠ – 4 vnt. Vieno užpildyto pašildytuvo svoris iki 6 tonų. Pašildytuvai yra su įmontuotais kondensato vamzdiniais aušintuvais. Korpuso medžiaga – plienas, vamzdžių medžiaga – žalvaris. Tinklo vandens pašildytuvai parinkti laikantis sąlygų, kad trys pašildytuvai užtikrina dviejų nominalios galios turbogeneratorių darbą. Tinklo vandens pašildytuvų parametrai pateikti 4 lentelėje.

Tinklo vandens pašildytuvo parametrai

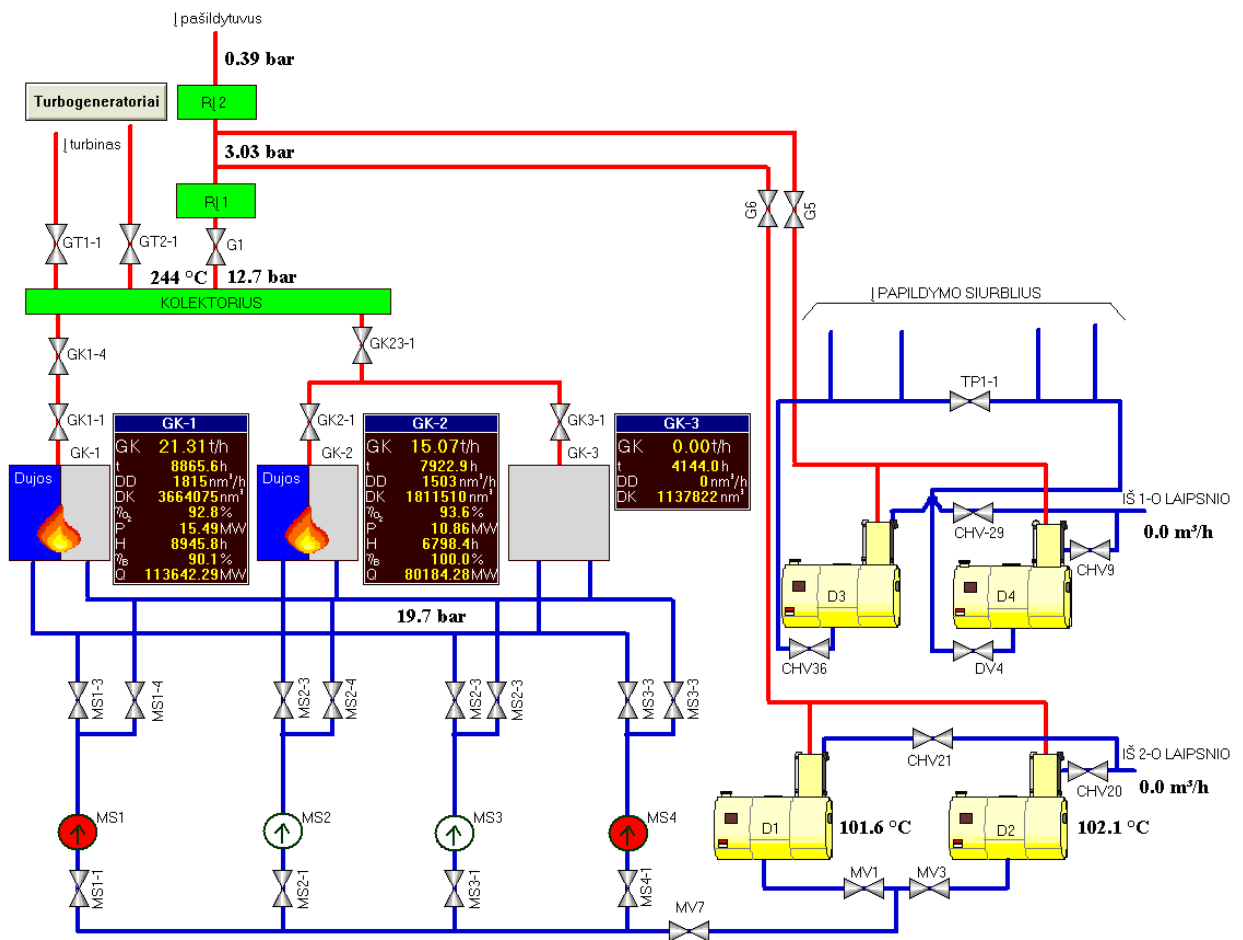
4 lentelė

Parametru pavadinimai	Matavimo vnt.	Parametru dydis
Maksimalus garo darbo slėgis korpuse	bar	16
Maksimali garo temperatūra	°C	250
Tinklo vandens maksimali temperatūra išėjime	°C	150
Tinklo vandens nominalioji temperatūra įėjime	°C	70
Išeinančio kondensato temperatūra ne daugiau kaip	°C	90
Šilumos galia	MW	19

### 3.3. KOGENERACINĖS ELEKTRINĖS SCHEMA



7 pav. Kogeneracinės elektrinės principinė schema



8 pav. Garo katilų vizualizacijos langas

Garų turbinų technologijos veikimo principas pagrįstas teoriniu termodinaminiu Renkino ciklu.

Iš maitinamųjų deaeratorių per maitinamąjį kolektorių vanduo paduodamas į maitinimo siurblių įėjimą. Maitinimo siurbliais iki 19,6 bar slėgio suslegiamas vanduo. Garo katiluose vanduo išgarinamas, o perkaitintuose jo temperatūra pakeliama iki 250 °C. Katiluose atidirbtas garas (slėgiu 12,5 bar) patenka į bendrą paskirstomąjį kolektorių. Iš kolektoriaus garas paduodamas į turbogeneratorius. Priešslėginėje garo turbinoje perkaitintas garas plečiasi. O garo išsiplėtimo turbinoje metu gauta mechaninė energija generatoriumi transformuojama į elektros energiją.

Panaudotas garas (0,5 bar, 115 °C) toliau keliauja į garo-vandens pašildytuvus. Čia jis pašildo tinklo vandens siurblių paduotą termofikacinį vandenį. Iš pašildytuvų karštas termofikacinis vanduo (apie 70 °C) tiekiamas į bendrą katilinės slėgimo kolektorių ir toliau

paskirstomas vartotojams. Pašildytuvuose išskiriamas kondensatas siurbliais paduodamas į katilų maitinimo deaeratorių.

Garas dar naudojamas saviems katilinės poreikiams. Jis per garo kolektorių keliauja į redukcinį įrenginį ir naudojamas deaeracijai, mazuto ūkiui.

### **3.4. ELEKTRINĖS PLĖTROS PLANAI**

Per pastaruosius dvidešimt metų, nuolat brangstant gamtinėms dujoms ir augant šilumos tarifui, tenka dairytis į ketvirtadaliu pigesni vietinį, atsinaujinantį kurą. Nacionalinėje energetikos strategijoje ir dar 2005 m. vasario 24 d. Šiaulių miesto savivaldybės tarybos patvirtintame bendrovės verslo plane buvo numatyta Šiauliuose pastatyti kogeneracinę elektrinę, kuri naudotų vietinį, atsinaujinantį kurą.

Naujoji elektrinė, kaip numato verslo planas, per metus gamins apie 218 GWh šilumos ir 63 GWh elektros energijos. Nors šaltuoju metų laiku miestui prireikia iki 190 MW galios, nustatyta optimali elektrinės šilumos galia – 21 MW. Šios šilumos pakaks karšto vandens paruošimui. Tai leis visus metus maksimaliai išnaudoti naujos kogeneracinės elektrinės instaliuotą galią. Šildymo sezono metu, kai šildymo poreikiai kur kas didesni, naujos kogeneracinės elektrinės šilumos galios neužteks, todėl papildomai veiks garo ir vandens šildymo katilai, naudojantys importinį kurą – gamtines dujas. Pagamintos elektros energijos pardavimas žaliosios energijos supirkimo tarifu bus vienas pagrindinių elektrinės statybai išleistų lėšų kompensavimo šaltinių. Atsinaujinančio kuro naudojimas kombinuotos elektros ir šilumos energijos gamybos procese suteiks galimybę sutaupyti lėšas, kurios buvo skiriamos apyvartiniams taršos leidimams gauti (ekologijos mokesti). Kartu gaminama elektros energija leis nedidinti šilumos tarifo ateityje, nuolat brangstant gamtinėms dujoms bei mazutui. Planuojama, kad po 9 – 10 metų, kai išlaidos elektrinės statybai atsipirks, šiluma taps apie 25 Lt/MWh pigesnė.

Būsimos kogeneracinės elektrinės (KE), kuri turėtų būti pradėta statyti 2010 m. antroje pusėje, gamybos duomenys (kuras – medienos biokuras) pateikti 5 lentelėje.



## Būsimos kogeneracinės elektrinės gamybos duomenys

## 5 lentelė

TE į tinklą galima patiekti šiluma	Vienetas	28,83 MW	24,0 MW	20,0 MW	15,0 MW
Parametrai					
Valandų skaičius per metus kuomet gali būti iš KE tiekiamas šiluma	h	4675,50	1212,0	1829,50	923,0
Bendras KE efektyvumas	%	105,27	105,76	105,32	103,70
Elektrinis efektyvumas atmetus savus KE elektros gamybos poreikius	%	26,62	25,09	25,32	25,80
KE šiluminis efektyvumas neįskaitant savų KE poreikių ir šilumos iš dūmų kondensavimo šilumokaičio	%	84,59	83,02	82,53	80,92
Bendras šiluminis efektyvumas	%	73,38	74,91	74,68	74,20
KE elektros galia neįskaitant KE savų poreikių	MW	7,97	5,90	5,05	3,80
KE šilumos galia neįskaitant KE savų poreikių	MW	21,60	17,61	14,88	10,93
Dūmų kondensavimo šilumokaičio galia	MW	7,23	6,43	5,41	4,13
Bendra šilumos galia be KE savų poreikių	MW	28,83	24,04	20,29	15,06
Metinė šilumos KE gamyba neįskaitant savų KE poreikių	MWh	124206,0	26761,0	33662,8	12737,4
Metinė elektros gamyba neįskaitant savų KE poreikių	MWh	34291,2	6578,7	8493,2	3226,8
Metinis biokuro (medienos) suvartojimas	MWh	150379,0	31522,2	40025,0	15395,3

## 4. KOGENERACINĖS ELEKTRINĖS GARO TURBOGENERATORIŲ TYRIMAS

### 4.1. ELEKTRINĖS TERMODINAMINIS EFEKTYVUMAS

Garų turbogeneratorių (toliau – GTG) termodinaminio efektyvumo nustatymas yra svarbus ir būtinas, ypač vertinant šių įrenginių naudingo veikimo koeficientus (toliau – n.v.k.). Kombinuoto ciklo įrenginių, šiluminių elektrinių termodinaminio efektyvumo skaičiavimai nėra vienareikšmiai apibrėžti.

Darbo metu peržiūrėjus literatūros šaltinius rasta, kad literatūrose [1, 27, 28] nurodomi garų turbogeneratorių šiluminio efektyvumo rodikliai:

- Kombinuotame cikle gaminant elektrą ir šilumą, kuro  $B \cdot q$  panaudojimo efektyvumo koeficientas  $\eta_{bp}$  išreiškiamas:

$$\eta_{bp} = \frac{E + Q_b}{B \cdot q}; \quad (4.1)$$

- Elektros energijos gamybos naudingumo koeficientas:

$$\eta_{eg} = \frac{E}{B \cdot q - Q_b}; \quad (4.2)$$

- Turbogeneratorių naudingumo koeficientas vien tik elektros energijos gamyboje, t.y. kondensacinėje elektrinėje:

$$\eta_{el} = \frac{E_1}{B_1 \cdot q}; \quad (4.3)$$

čia:  $E$  ir  $Q_b$  – elektros ir šilumos energijos kiekis suteiktas vartotojui, kW (kJ);

$B$  – sudeginto kuro kiekis, kg.n.e.;

$q$  – naftos ekvivalento žemutinė sudegimo šiluma;

$E_1$  – elektros energijos kiekis suteiktas vartotojui iš kondensacinės elektrinės, kW (kJ);

$B_1$  – sudeginto kuro kiekis kondensacinėje elektrinėje, kg.n.e.

Kai kurie autoriai savo darbuose [29, 30, 32] teigia, kad koeficientai  $\eta_{bp}$ ,  $\eta_{eg}$ ,  $\eta_{el}$  nėra tikslūs, kadangi jie ne pilnai atspindi įrenginio atlikto darbo efektyvumą. Pvz., darbe [31] pabrėžiama, kad termofikacinėje (kogeneracinėje) elektrinėje kuro fizikinis suskirstymas į

elektrinį ( $\eta_e$ ) ir šiluminį naudingumo koeficientą ( $\eta_b$  lygus katilo n.v.k.) neatspindi realaus termodinaminio efektyvumo.

Taikant formulę [32]  $\eta = \frac{E + Q_b}{B \cdot q}$  gaunamas šilumos energijos kiekio bendras efektyvumo koeficientas  $\eta$ . Pagal šią formulę išeina, kad kai  $Q_s = 0$ , bendras ( $\eta$ ) naudingumo koeficientas analogiškai tampa kondensacinės turbinos naudingumo koeficientu ( $\eta=30-40\%$ ). Kai  $E=0$ , šis koeficientas pavirsta į katilo naudingumo koeficientą ( $\eta=0,85-0,9$ ). Todėl  $\eta$  neįvertina kogeneracinės elektrinės įrenginių tobulumo laipsnio. Kuro sąnaudų skaičiavimai elektros ir šilumos gamybai atliekami sąlyginiais metodais, kurių yra daugiau nei 10.

Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija 2008-02-13 Nr. R2-215 rašte pateikė „Centralizuotos tiekiamos šilumos ir karšto vandens kainų nustatymo metodikos“ pakeitimo projektą. Projekte teigiama, kad *Sąnaudos tarp šilumos ir elektros gamybos paskirstomos taikant alternatyviosios šiluminės energijos gamybos metodą*. Išanalizavus projekte pateiktą informaciją „Dėl elektros energijos, pagamintos didelio efektyvumo kogeneracijos proceso metu, kilmės garantijos pažymėjimų išdavimo taisyklių patvirtinimo“ matoma, kad ji atitinka kitų užsienio šalių metodikas. Pavyzdžiui, *EPA CHP Partnership* (Prieiga per internetą: [www.epa.gov/chp](http://www.epa.gov/chp)) kogeneracijos metu kombinuotos elektros ir šilumos gamybos efektyvumui skaičiuoti naudoja bendrą sistemos efektyvumo koeficiento sąvoką (*total system efficiency*) dažnai vadinamą šiluminio efektyvumo koeficientu:

$$\eta_0 = \frac{W_E + \sum Q_{TH}}{Q_{FUEL}}; \quad (4.4)$$

čia:  $W_E$  – pagaminta elektros energija;  
 $\sum Q_{TH}$  – pagaminta šilumos energija;  
 $Q_{FUEL}$  – sunaudoto kuro kiekis.

Šio koeficiento  $\eta_0$  reikšmės yra 60–85 %. Kitas naudojamas efektyvumo įvertinimo dydis yra elektrinio efektyvumo koeficientas (*effective electric efficiency*):

$$E_{EF} = \frac{W_E}{Q_{FUEL} - \sum \left( \frac{Q_{TH}}{\alpha} \right)}; \quad (4.5)$$

čia:  $W_E$  – naudingas *neto* elektros energijos kiekis;  
 $\alpha$  – katilo naudingumo koeficientas (kai kuras – dujos).

$E_{EF}$  –reikšmės yra 69–84%. Kompanija *EPA CHP Partnership* kogeneracinės elektrinės efektyvumo skaičiavimo metodiką pateikia kataloge „Catalog of CHP Technologies” JAV „U.S. Environmental Protection Agency Combined Heat and Power Partnership”.

Darbe [36] teigiama, kad *kogeneracinės elektrinės rodikliai sąlyginio kuro sąnaudos elektros gamybai  $b_e$  ir šilumos gamybai  $b_s$  pakeisti kitu rodikliu vadinamu kuro šilumos panaudojimo koeficientu ( $\eta_{k.s.p.}$ ), kuris naudojamas fizinio metodo skaičiavimuose. Vakarų Europos šalyse šis metodas netaikomas, o Rusijoje PAO „ЕЭС РОССИИ” nuo 1996 m. taikomas *ORGRES* metodas [37]. Atliekant kuro sąnaudų skaičiavimus fiziniu ir *ORGRES* metodu palyginti rezultatai. Metode *ORGRES*, kai atleidžiama šiluma vartotojams, įvedamas šilumos vertės koeficientas  $\xi$ . Darbo išvadose teigiama, kad kuro šilumos panaudojimo koeficientas ( $\eta_{k.s.p.}$ ) nėra universalus rodiklis, tikslesnis yra, kai naudojamas šilumos vertės koeficientas ( $\xi$ ), pagal kuro sąnaudas artimas ekserginiam.*

Darbe [37] teigiama, kad pagal eksergijos naudingumo koeficientą kogeneracinės elektrinės energetinio efektyvumo įvertinimas iš esmės nesikeičia:

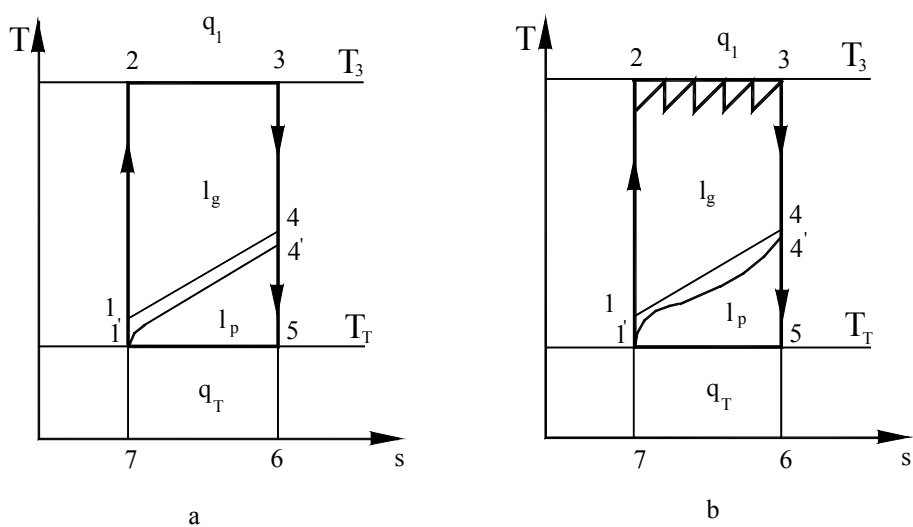
$$\eta_{eks} = \frac{\omega Q + E}{E_{kuro}}; \quad (4.6)$$

čia:  $E_{kuro}$  – sudeginto kuro eksergija;  
 $Q$  – pagamintos šilumos energijos kiekis;  
 $E$  – pagamintos elektros energijos kiekis;  
 $\omega$  – šilumos darbingumo koeficientas.

Šilumos pavertimas darbu garo turbogeneratoriuose yra lydimas eksergijos išskaidymu (disipacija) dėl vidinių turbinoje ir generatoriuje esančių nuostolių. Todėl sumažėjus elektros energijos gamybai ir atitinkamai padidėjus šilumos energijos gamybai, padidėja kogeneracinės elektrinės ekserginis naudingumo koeficientas ( $\eta_{eks}$ ). Didžiausias pasiekiamas naudingumo koeficientas tada, kai kogeneracinė elektrinė pavirsta į katilinę ir gamina tik šilumą. Kuo didesni šilumos parametrai, tuo didesnis  $\eta_{eks}$ . Todėl, kai gaminama mažai elektros energijos ir daug šilumos energijos, kogeneracinės elektrinės efektyvumo įvertinimas tik kuro šilumos panaudojimo koeficientu ( $\eta_{k.s.p.}$ ) arba tik ekserginiu koeficientu ( $\eta_{eks}$ ) yra neteisingas.

Nepriklausomai nuo turbogeneratoriaus tipo ir galios,  $\eta_{bp} = 80\text{--}90\%$ , o  $\eta_{eg.} = 65\text{--}75\%$  [27, 28]. Analogiškai kogeneracinių elektrinių garo turbogeneratoriams (Šiaulių kogeneracijoje elektrinėje 2004 m. sumontuotos dvi priešslėginės garo turbinos su generatoriais: Nr.1 (GTG-

1.5/1.0-0.4-14/2.5), Nr.2 (GTG-1.5/0.5-0.4-14/2.5)), galima pagrįsti koeficientų  $\eta_{bp}$  ir  $\eta_{eg}$  netinkamumą. 9 pav. pateiktuose  $T$ - $S$  diagramose matomas binarinių garo turbogeneratorių su priešslėgiu idealus kombinuotas ciklas (9 pav. a) [2]. Kai šiluma tiekama (2–3) pagal izoterma  $T_3$  ir garo izobare  $1'-4'$ , priartinama prie dujinės izobarės  $1-4$ , o šilumos atidavimas vyksta pagal izoterma  $5-1'$  su temperatūra  $T_T$  (esant priešslėginei turbina), gaunamas idealus binarinis ciklas. Tuomet šilumos kiekis  $q_1$  gautas ciklo metu atitinka plotą 2367, teorinis dujų ciklo darbas  $l_g$  atitinka plotą 1234, teorinis garo ciklo darbas  $l_p$  yra lygus plotui  $1'4'51'$ , o atiduodama turbinos garo šiluma  $q_T$ , esant idealiam ciklui, lygi plotui  $5671'$ .



9 pav.  $T$ - $S$  diagrama (absoliutinės temperatūros ir darbo kūno būsenos funkcija – entropija). Kogeneracijos ciklas

Idealiam ciklui galima užrašyti lygybę:

$$\eta_{bp} = \frac{l_g + l_p + q_T}{q_1} = 1; \quad (4.7)$$

čia:  $q_1 = l_g + l_p + q_T$ .

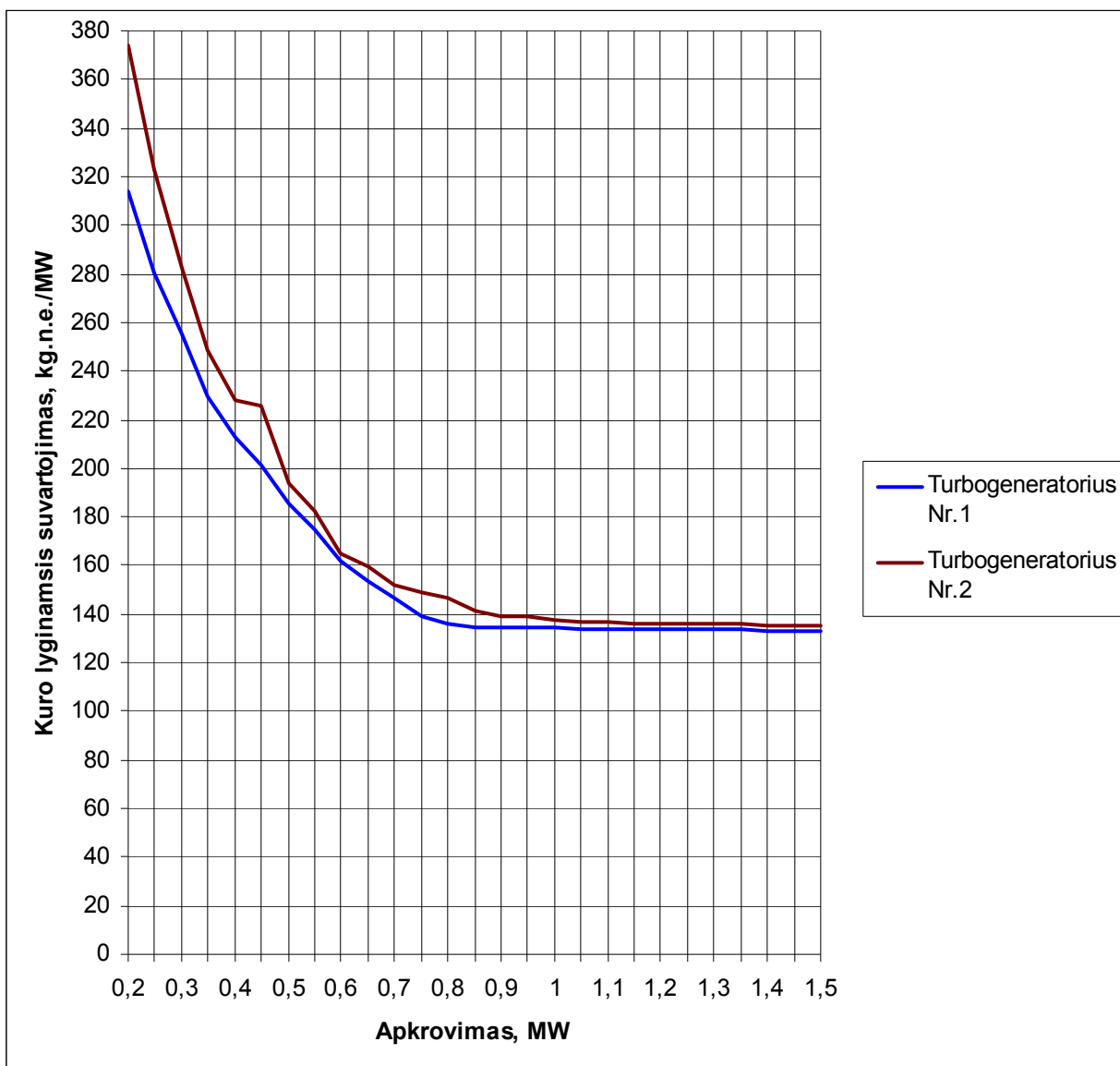
Atitinkamai  $\eta_{el}$ , esant idealiam GTG ciklui, kai turbina priešslėginė taip pat bus lygus vienetai:

$$\eta_{eg} = \frac{l_g + l_p}{q_1 - q_T} = 1, \text{ nes } q_1 - q_T = l_g + l_p. \quad (4.8)$$

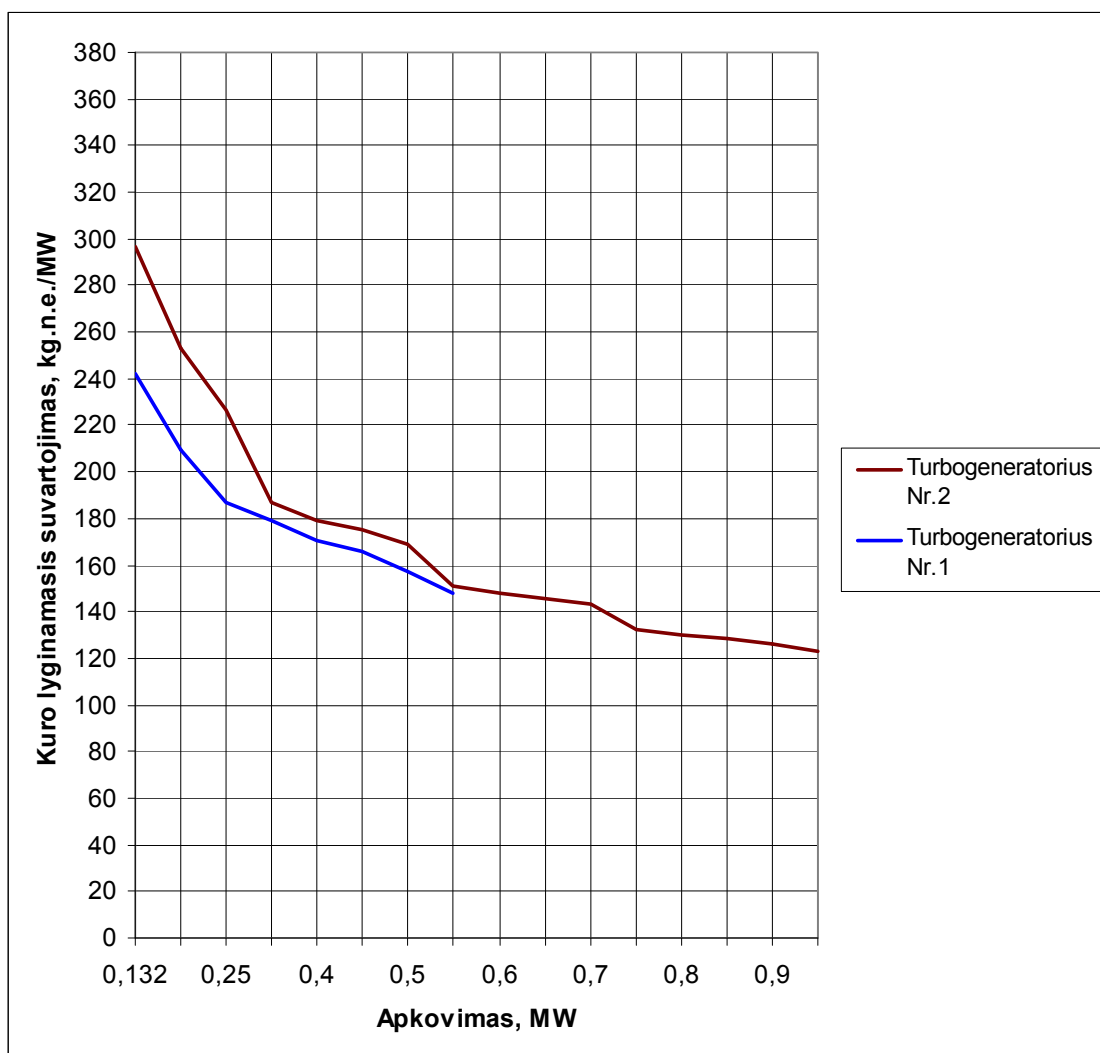
Realus GTG ciklas, kai laikomasi nuostatos, kad turbinoje nėra nuostolių, pateiktas b paveikslėlyje.

Jis sudarytas iš adiabatinio suspaudimo, esant aukštai temperatūrai,  $1-2$ , daugiapakopio šilumos tiekimo  $2-3$  ir garo ciklo  $1'-4'-5$ , kai vyrauja virškritinis pradinis garo slėgis be tarpinio garo perkaitinimo ir šilumos atidavimo iš priešslėginės turbinos pagal  $5-1'$ . Pasinaudojus idealaus binarinio ciklo analogija, galima parodyti, kad koeficientai  $\eta_{\text{tp}}, \eta_{\text{eg}}$  neleidžia tinkamai įvertinti realaus ciklo GTG kogeneracinėje elektrinėje.

Keičiantis garo ciklo pradiniais parametrams, pasikeičiant  $1'-4'$  padėčiai arba persislinkus priešslėginės garo turbinos procesui  $5-1'$ , priešslėginės garo turbinos koeficientų  $\eta_{\text{tp}}, \eta_{\text{eg}}$  reikšmės nesikeičia. Taigi, šie koeficientai netinka realiam GTG ciklų įvertinimui. Tačiau šiuo metu kogeneracijoje grįžtama prie  $\eta_{\text{tp}}, \eta_{\text{eg}}$  rodiklių. Taip pat prie fizinio efektyvumo įvertinimo metodo. Vietoj naudojamo kombinuotų įrenginių įvertinimo metodo *ORGRES*, kuris pagrįstas garo turbinos naudojama energetine verte [32]. Taikant *ORGRES*, atsižvelgiama į įvairius šiluminių schemų pokyčius. Ši metodika yra svarbi, įvertinant kogeneracinių elektrinių ekonomiškumą (žr. 10, 11 ir 12, 13 pav.) [33]. Tyrimai rodo, kad šiluminės vertės koeficientas yra susijęs su garo, paimto iš turbinos tam tikrame taške, „darbingumu“, t. y., šis metodas artimas eksperimentiniam metodui [34].

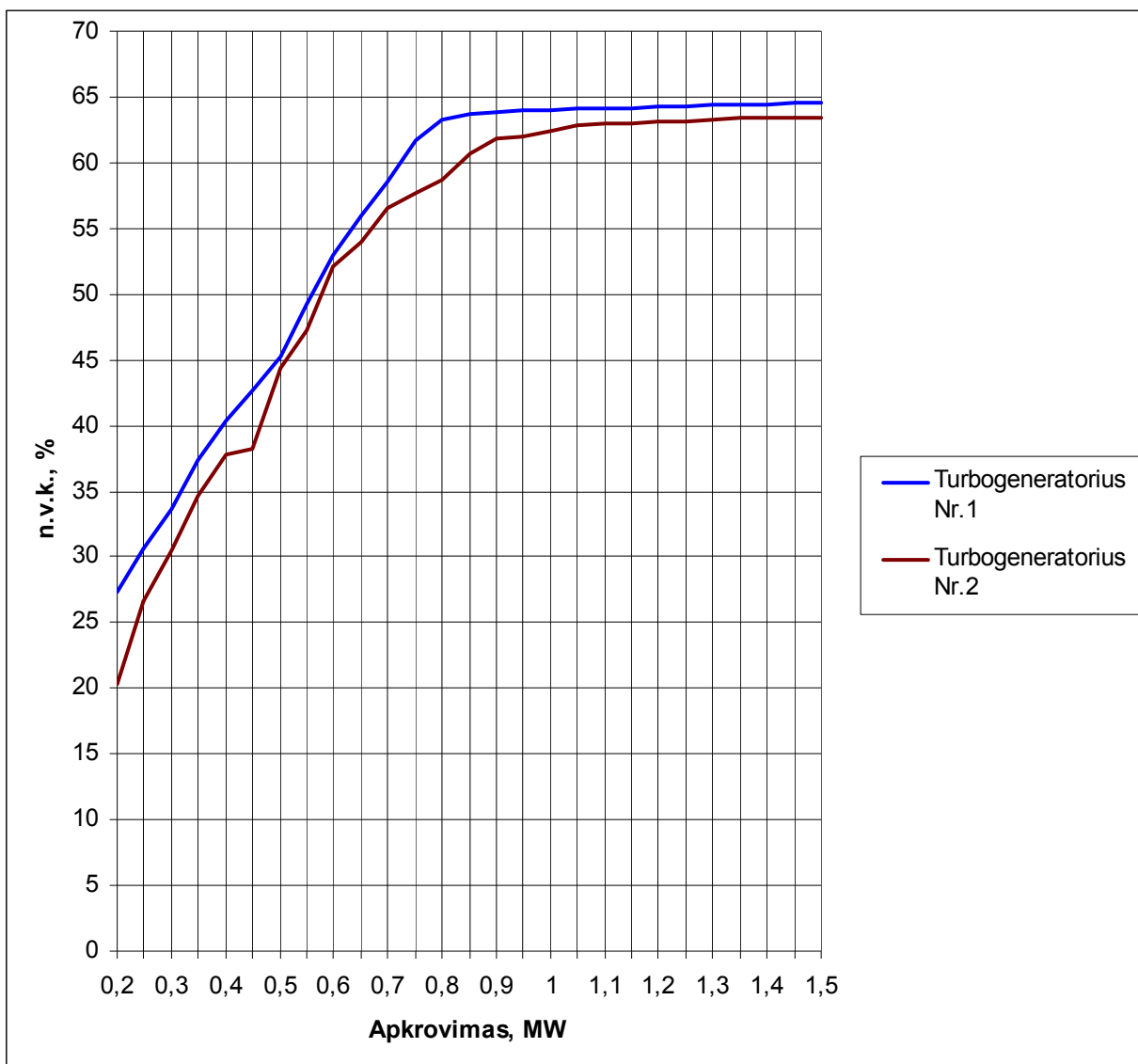


10 pav. Turbogeneratorių Nr. 1 ir Nr. 2 santykinės kuro sunaudojimo priklausomybės nuo apkrovimo grafikas (turbinų Nr. 1 ir Nr. 2 apkrova po 1,5 MW)

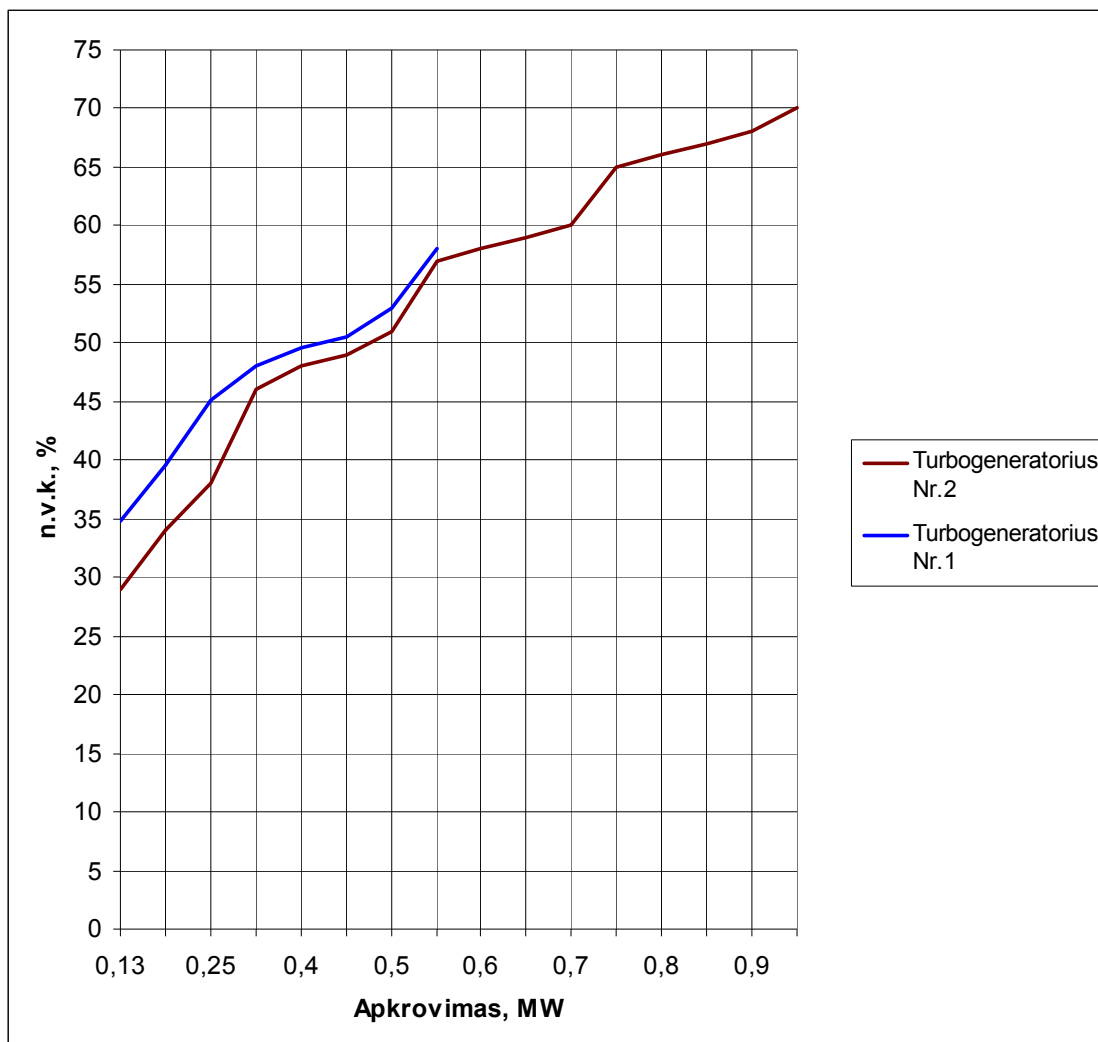


11 pav. Turbogeneratorių Nr. 1 ir Nr. 2 santykinės kuro sunaudojimo priklausomybės nuo apkrovimo grafikas (turbinų Nr. 1 apkrova 0,5 MW ir Nr. 2 apkrova po 1,0 MW)





12 pav. Turbogeneratorių Nr. 1, Nr. 2 n.v.k. priklausomybė nuo apkrovimo grafikas (turbinių Nr. 1 ir Nr. 2 apkrova po 1,5 MW)



13 pav. Turbogeneratorių Nr. 1, Nr. 2 n.v.k. priklausomybė nuo apkrovimo grafikas (turbinių Nr. 1 apkrova 0,5 MW ir Nr. 2 apkrova po 1,0 MW)

Dabartiniu metu pripažįstama, kad atskirai pagal  $\eta_{bp}$  ar  $\eta_{eg}$  įvertinti kogeneracinės elektrinės efektyvumo neįmanoma ir į kuro ekonomijos skaičiavimus įvedami du kogeneracijos funkcijos rodikliai:

- arba  $\eta_{bp}$  ir  $y_T$ ;
- arba  $\eta_{bp}$  ir  $\eta_{el}$ .

Dydis  $y_T$  (santykinis elektros energijos pagaminimas kogeneracijos cikle) neįvertina kondensacinės elektros energijos gamybos kogeneracinėje elektrinėje, o rodiklis  $\eta_{el}$  taikomas elektrinėje tik esant elektros energijos gamybai, kai šiluma netiekama vartotojui. Taigi jei

skaičiavimuose atskirai naudojant rodiklius  $\eta_{bp}$ ,  $\eta_{eg}$ ,  $y_T$ ,  $\eta_{el}$  gaunami netikslumai, tai ir jų funkcijos kuro ekonomijos skaičiavimams duoda paklaidas į didesnę kuro ekonomijos pusę (1,7–2 kartus) [32].

Fizinis metodas ir rodikliai  $\eta_{bp}$ ,  $\eta_{eg}$ ,  $y_T$  kai kurių mokslininkų yra kritikuojamas [29]. Pavyzdžiui, n.v.k. kondensacinių elektrinių bruto galima apskaičiuoti pagal formulę:

$$\eta^{br} = \eta_k \cdot \eta_{T.P.} \cdot \eta_t \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_{elm}; \quad (4.9)$$

čia:  $\eta_k$  – katilo ciklo naudingumo koeficientas;

$\eta_{T.P.}$  – šiluminio srauto naudingumo koeficientas;

$\eta_t$  – garo turbinos terminis naudingumo koeficientas;

$\eta_{oi}$  – vidinis turbinos naudingumo koeficientas;

$\eta_{elm}$  – turboagregato elektromechaninis naudingumo koeficientas.

Jeigu naudojamas fizinis metodas, kai laikomasi nuostatos, kad šilumos atidavimas vartotojams nuo katilo vyksta aplenkiant garo turbiną, tai neįvertinamas ciklo naudingumo koeficientas (t. y.  $\eta_{oi} = 1$ ;  $\eta_t = 1$ ) gauname:

$$\eta_{KE} = \eta_k \cdot \eta_{T.P.} \cdot \eta_{elm}. \quad (4.10)$$

Veikiančioms kondensacinėms elektrinėms taikant (4.9) lygybę, gauname  $\eta = 0,35 \div 0,40$ , t. y., santykinis kuro sunaudojimas  $b_e = 0,351 \div 0,307$  kg.n.e./kWh. Esant įvairiems kogeneracinės elektrinės galingumams (apkrovoms) ir pradiniam garo parametrui, taikant (4.10) lygybę, gaunama  $\eta_{KE} = 0,80 \div 0,85$ , o  $b_e = 0,154 \div 0,145$  kg.n.e./kWh. Ši reikšmė 2 kartus mažesnė, nei kondensacinėje elektrinėje (Šiaulių kogeneracinėje elektrinėje kuro sąnaudos elektros gamybai  $b_e = 0,134$  kg.n.e./kWh, kuro sąnaudos šilumos gamybai  $b_b = 0,094$  kg.n.e./kWh). Tokiu būdu, fizinio metodo taikymas (kai  $\eta_{oi} = 1$ ;  $\eta_t = 1$ ) tik moraline ir fizine prasme pateisina pasenusių mažo galingumo ir žemų garo parametrų kogeneracinės elektrinės eksploataciją.

Fizinio metodo rodikliai  $\eta_{bp}$ ,  $\eta_{eg}$ ,  $\eta_e$ ,  $\eta_b$  neįvertinami veikiančių kogeneracinių elektrinių techniniuose-ekonominiuose skaičiavimuose. Eksploatuojant elektrinę, gaminamai produkcijai naudojami santykiniai kuro sunaudojimo rodikliai: elektros energijai  $b_e$ , kg.n.e./kWh ir šilumai  $b_b$ , kg.n.e./Gcal. Įvertinus pelną, mokesčius, išlaidas transportui, įvairias kitas išmokas, galima gauti rinkoje realizuojamos produkcijos tarifą  $T_E$ , Lt/kWh, ir  $T_\xi$ , Lt/Gcal.

Rodiklių  $\eta_{bp}$ ,  $\eta_{eg}$  naudojimo skeptiškas vertinimas, atsižvelgiant į ekserginį metodą, yra akivaizdus [29, 30]. Skirtingų pagal kokybinius rodiklius, nelygiaverčių energijos rūšių sumavimas (pvz., elektros ir žemos vertės šilumos energijos suma, apskaičiuojant koeficientą  $\eta_{bp}$ , arba žemos vertės šiluminės energijos vartotojams atėmimas iš aukštos cheminės kuro šiluminės vertės, apskaičiuojant  $\eta_{eg}$ ) pažeidžia II termodinamikos dėsnį ir padidina kogeneracijos efektyvumą. Ignoruojant šį dėsnį, kombinuotų įrenginių naudingumo koeficientas gaunamas didesnis nei 100 %, o ekserginis naudingumo koeficientas visiems įrenginiams visada mažesnis nei 100 %.

## 4.2. GARO TURBINOS DARBO REŽIMAI

Gerinant įmonės techninius-ekonominius rodiklius, 2004 m. katilinėje buvo sumontuota mini kogeneracinė elektrinė, kurią sudarė dvi po 1,5 MW galios turbinos. Perteklinio garo slėgio energija panaudojama garo turbogeneratorių darbui.

Garų turbogeneratoriai (GTG-1,5/1,0-0,4-14/2,5) yra dviejų laipsnių galingumo (dviejų tūnų) su priešslėgine turbina.

Pagrindinės turbogeneratorių charakteristikos pateiktos 1 lentelėje.

Gamintojo (ОАО „Пролетарский завод“, Sankt Peterburgas) dokumentacijoje pateikta minimali informacija apie turbogeneratorius. Joje nėra naudingo veiksmo koeficientų (n.v.k.) reikšmių dirbant įvairiais režimais ir kitų parametrų.

2004 m. įmonėje buvo nutarta sudaryti kuro naudojimo priklausomybės nuo apkrovos grafikus (GTG darbo režimų diagramą). Šie grafikai kasmet koreguojami pagal bandymų rezultatus (žr. 10, 11 pav.). Pagal šiuos grafikus, galime išanalizuoti ir įvertinti kitus GTG parametrus.

Priešslėginėje turbinoje ryšys tarp garo kiekio sunaudojimo  $D$  ir galios  $N$  išreiškiamas lygybe [38]:

$$D = D_{x.x.} + aN; \quad (4.11)$$

čia:  $D_{x.x.} = x d_{nom} N_{Nom}$  – turbinos garo kiekio sunaudojimas, esant tuščiai eigai;

$x = \frac{D_{x.x.}}{D_{Nom}}$  – tuščios eigos koeficientas lygus sunaudoto garo kiekiui, kai turbina dirba be apkrovos,  $D_{x.x.}$  santykiui su nominalia apkrova  $D_{Nom}$  (priešslėginei turbina  $x=0,1 \div 0,3$ );

$d_{nom} = \frac{D_{Nom}}{N_{Nom}}$  – santykinis garo sunaudojimas, esant nominaliam galingumui, kg/kWh;

$a=(1-x) d_{nom}$  – santykinio garo sunaudojimo pastovioji dalis tuščiai eigai, kg/kWh.

(4.11) lygtį galima parašyti ir taip:

$$D = x d_{nom} N_{Nom} + (1-x) d_{nom} N = x d_{nom} N_{Nom} + aN. \quad (4.12)$$

Jeigu  $a = \text{const}$ , tai lygtis (4.12) grafiškai bus pavaizduota tiese (gausime priešslėginės turbinos režimų diagramą). Įvertinus gamyklinius duomenis, turbinos garų kiekis, esant tuščiai

eigai (GTG Nr. 1 arba GTG Nr. 2 darbas be apkrovos) ir nominaliai galiai 1500 kW, apskaičiuojamas taip:

$$D_{xx} = (0,1 \div 0,3) \cdot \left( \frac{29000}{1500} \right) \cdot 1500 = 5800 \text{ kg/h};$$

Kai  $x = 0,2$ ,  $D_{xx} = 5800 \text{ kg/h}$ .

Santykinis garo sunaudojimas turbinoje esant  $N_{Nom} = 1500 \text{ kW}$ :

$$d_{nom} = \frac{29000}{1500} = 19,3 \text{ kg/kWh}.$$

Viršutinis režimų diagramos taškas, kai  $x = 0,2$  :

$$D_{Nom} = 5800 + (1 - 0,2) \cdot 19,3 \cdot 1500 = 28960 \text{ kg/h}.$$

Norint sudaryti tikslią turbinų darbo režimų diagramą (be papildomo garo ėmimo pvz., mazuto pašildymui, deaeratoriams) reikalingos dvi charakteristikos:

- $D_{xx}$  (šiuo atveju 5800 kg/h);
- $d_{nom}$  (19,3 kg/kWh).

Gamyklinėje techninėje dokumentacijoje pateikiami teoriniai duomenys, kad esant nominaliai galiai, garų sąnaudos yra  $29 \pm 2 \text{ t/h}$ , garo temperatūra prieš turbiną  $225\text{--}300 \text{ }^\circ\text{C}$ , garų slėgis už turbinos  $1,5 \pm 1 \text{ bar}$ . Ribos nurodomos ženklų  $\pm$ . Šiaulių kogeneracinėje elektrinėje garų slėgis už turbinos  $0,5\text{--}0,8 \text{ bar}$ , garo temperatūra prieš turbiną  $218\text{--}250 \text{ }^\circ\text{C}$ . Kai kurių autorių darbuose [39] teigiama, kad yra tiesioginis ryšys tarp garų slėgio už turbinos ir nominalaus jos galingumo. Šiaulių kogeneracinės elektrinės faktiškas garų slėgis už turbinos –  $0,5\text{--}0,8 \text{ bar}$ , o garų sąnaudos, kai turbinos apkrova nominali ( $29 \pm 2 \text{ t/h}$ ) gali svyruoti tam tikrose ribose. Įvertinus tai, turbinos priešslėgis turi įtakos turbinai tiekiamam garų kiekiui, užtikrinančiam jos nominalią galią. Esant įvairiems darbo režimams praktiškai galima sudaryti ir naudoti universalų garų kiekio tiekimo priešslėginei turbinai grafiką.

Garų kiekio  $D$  ir apkrovos  $N$  grafikas sudaromas naudojant (4.12) lygybę. Šiuo atveju, turbinos apkrova didinama kas 200 kW [40]:

$$D_{200} = 5800 + (1 - 0,2) \cdot 19,3 \cdot 200 = 8888 \text{ kg/h};$$

$$D_{400} = 5800 + (1 - 0,2) \cdot 19,3 \cdot 400 = 11976 \text{ kg/h};$$

$$D_{600} = 5800 + (1 - 0,2) \cdot 19,3 \cdot 600 = 15064 \text{ kg/h};$$

$$D_{800} = 5800 + (1 - 0,2) \cdot 19,3 \cdot 800 = 18152 \text{ kg/h};$$

$$D_{1000} = 5800 + (1 - 0,2) \cdot 19,3 \cdot 1000 = 21240 \text{ kg/h};$$

$$D_{1200} = 5800 + (1 - 0,2) \cdot 19,3 \cdot 1200 = 24328 \text{ kg/h};$$

$$D_{1400} = 5800 + (1 - 0,2) \cdot 19,3 \cdot 1400 = 27416 \text{ kg/h};$$

$$D_{1500} = 5800 + (1 - 0,2) \cdot 19,3 \cdot 1500 = 28960 \text{ kg/h}.$$

Turbinos apkrovų diagramos, abscisių ašyje atidedamos galingumų reikšmės, o ordinačių ašyje – garų kiekio reikšmės. Per gautus taškus išvedama tiesė (remiantis mažiausių kvadratų metodu). Gautos tiesės atkarpą  $l-2$  (žr. 14 pav.), esant įvairioms apkrovos reikšmėms, galima naudoti turbinos garų poreikio įvertinimui. Ordinačių ašyje (t. y., kai  $N=0$ ) gaunama atkarpa  $0-l$ , pagal kurią galima išmatuoti turbinos garų poreikį esant tuščiai eigai. Garų poreikis išreiškiamas garo dalimi  $x$  esant nominaliai apkrovai, t. y., jis lygus:

$$D_{x,x} = x d_{nom} \cdot N_{Nom} . \quad (4.13)$$

Garų poreikis, esant turbinos tuščiai eigai, yra vienodas bet kokiai apkrovai. Jį galima pavaizduoti tiesia linija  $l-3$ . Kaip matyti iš grafiko, garų kiekis apkrovai  $N_{Nom}$  įvertinamas tiesės atkarpa  $2-4$ : šis garų poreikis nustatomas kaip tuščios eigos garų kiekio (linija  $4-3$ ) ir garų kiekio sunaudoto elektros energijos gamybai (linija  $2-3$ ) suma. Tai galima užrašyti tokia lygybe:

$$atkarpa\ 2-3 = atkarpa\ 4-2 + atkarpa\ 4-3 = d_{nom} N_{Nom} - x d_{nom} N_{Nom} = (1-x) d_{nom} N_{Nom} . \quad (4.14)$$

Taigi garų poreikis  $D_{Nom}$  apskaičiuojamas pagal tokią lygybę:

$$D_{Nom} = x d_{nom} N_{Nom} + (1 - x) d_{nom} N_{Nom} . \quad (4.15)$$

Šioje lygybėje pirmasis narys ( $x d_{nom} N_{Nom}$ ) nesikeičia, kadangi turbinos darbas vyksta tuščia eiga ir nuo apkrovos nepriklauso. Garų kiekis  $D$  pavaizduotas linija  $5-7$ :

$$linija\ 5-7 = linija\ 5-6 + linija\ 6-7.$$

Naudojant (4.15) lygybę, galima nustatyti reikalingą elektrinę apkrovą (iš bendro elektros tinklo), kurios pakaktų velenui sukurti nominaliu sukimosi dažniu ( $n = 1500$  aps/min), nenaudojant garo. Tuo tikslu, (4.15) lygybėje reikia apkrovą  $D$  prilyginti 0. Tada  $N = N_{xx}$ ;  $N_{xx}$  – tuščios eigos elektrinis galingumas. Gauname:

$$x d_{nom} N_{Nom} = (1 - x) d_{nom} N_{Nom} ;$$

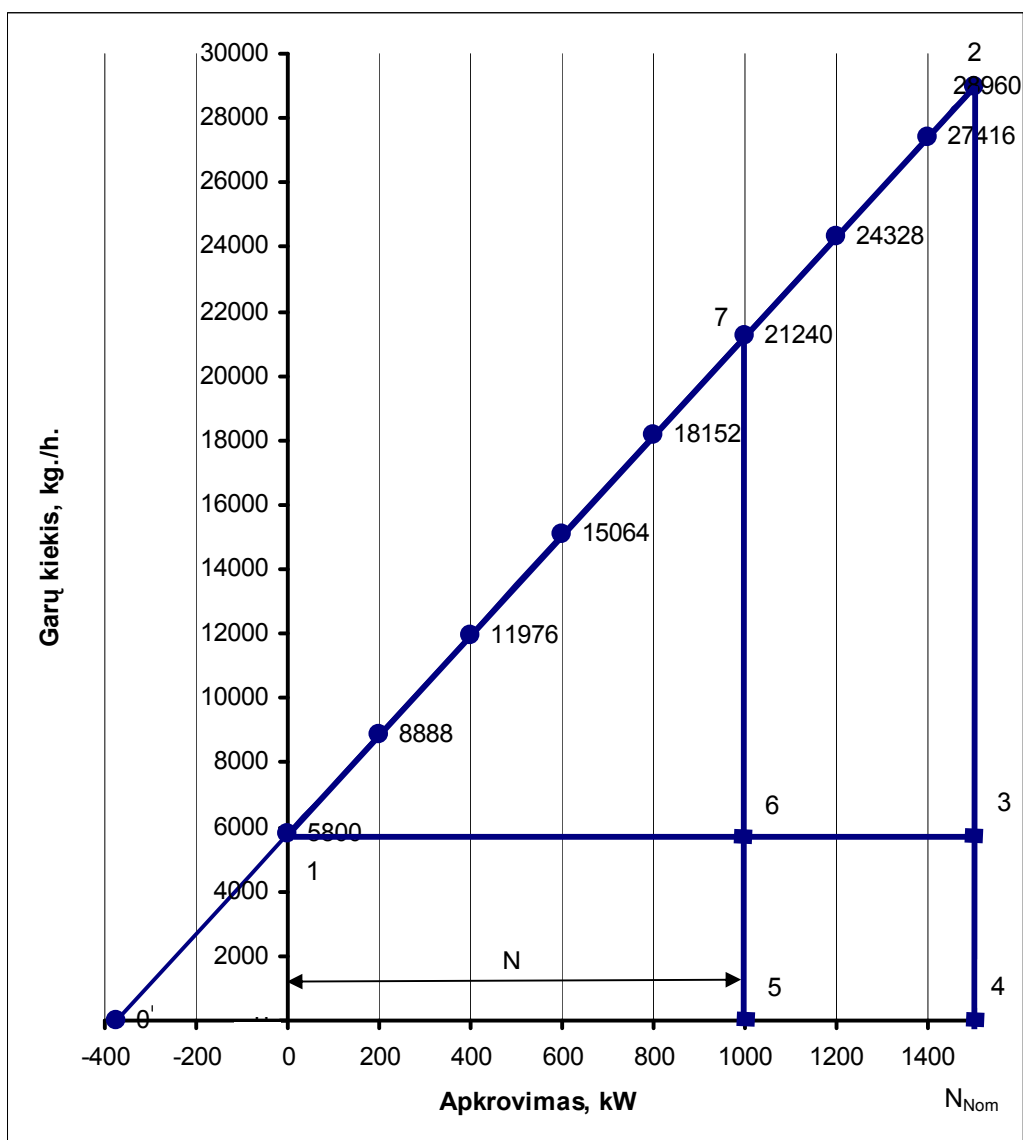
Iš čia gauname:

$$N_{xx} = \frac{x}{x-1} N_{Nom}; \quad (4.16)$$

kadangi  $x < 1$ , o  $N_{xx}$  – neigiamas dydis. Tai rodo, kad galingumas  $N_{xx}$  ne gaunamas iš turbinos, o jai suteikiamas.

$$N_{xx} = \frac{0,2}{0,2-1} \cdot 1500 = -375 \text{ kW.}$$

Jeigu pavaizduotą tiesės atkarpą  $1-2$  pratęstume iki susikirtimo su abscisės ašimi, tai ji sudartų atkarpą  $0'-0$ , atitinkančią galingumą  $N_{xx}$ . Galima teigti, kad (4.12) lygybė yra turbinos darbo režimų lygybė ir ją galima naudoti praktiniams tikslams.



14 pav. Turbogeneratoriaus Nr. 2 darbo režimų diagrama



Žinoma, kad bet kuri turbina dirba kaip šiluminis variklis, kurio efektyvumas įvertinamas vidiniu santykinu naudingumo koeficientu  $\eta_0$ , kuris apskaičiuojamas pagal tokią lygybę [41]:

$$\eta_0 = \frac{N_i}{N_0} = 0,7 \div 0,88 ; \quad (4.17)$$

čia:  $N_i$  – turbinos vidinis galingumas;  
 $N_0$  – idealios turbinos galingumas.

Naudojant žinoma lygybę, galima įvertinti turbogeneratorių  $\eta_0$  reikšmę:

$$N = \frac{D\Delta h\eta_0}{860}, \text{ MWh}; \quad (4.18)$$

čia:  $\Delta h = 59$  kcal/kg – šilumos kritimas turbinoje, kai garo išsiplėtimo procesas turbinoje artimas adiabatiniam.

Iš šios formulės apskaičiuojamas  $\eta_0$ :

$$\eta_0 = \frac{N860}{D\Delta h} = \frac{1,5 \cdot 860}{29 \cdot 59} = 0,754 .$$

Galime teigti, kad gautas Šiaulių kogeneracinės elektrinės turboagregatų n.v.k. yra artimas minimalioms  $\eta_0$  reikšmėms.

### 4.3. GARO TURBINOS EKONOMINIAI RODIKLIAI

*Entropija – tai šilumos vertės, jos darbingumo ir technologinio efektyvumo matas [1].*

Entropija – tai matematinė sąvoka, jos negalima išmatuoti ar pademonstruoti fizikine prasme. Pvz., kuo aukštesnė šilumnešio temperatūra, esant tam pačiam šilumos kiekiui, arba kuo mažesnė entropija  $s = q/T$ , tuo šiluma yra vertingesnė, nes ji ne tik gali būti paversta darbu, bet ir naudojama technologijos reikmėms. Jei šilumnešis yra aplinkos temperatūros, t. y., jei jo entropija yra maksimali, tai tokios šilumos negalima panaudoti, ji yra bevertė. Taigi entropija yra darbo nuostolių arba realių procesų negrįžtamumo matas. Jei iš aušinamo dujinio kūno atimama šiluma, tai jo entropija yra mažinama. Auštančio kūno dalelių chaotiškas šiluminis judėjimas mažėja [2]. Todėl galima teigti, kad entropija – netvarkingumo, chaotiškumo matas. Visi realūs procesai yra negrįžtami ir, remiantis antruoju termodinamikos dėsniu, jiems vykstant susidaro energijos nuostolių, t. y. didėja entropija.

Garų turbogeneratorių termodinaminiai procesai vertinami darbo kūno kaloriniais parametrais – *entalpija* ir *entropija*. Todėl vandens garo parametrus skaičiuoti naudojama *i-s* (kitų autorių naudojamas kitas žymėjimas *h-s*) diagramą, sudarytą pagal lentelių duomenis (žr. 3, 4, 5 priedų *i-s* diagramas). Garo plėtimosi procesas turbinose nevaizduojamas kairėje pusėje, nes čia garas labai drėgnas, todėl koordinatės perkeliamos į dešinę pusę. Atliekant įrenginių darbo analizę naudojamosi tik šia diagramos dalimi ( $x > 0,7$ ). Naudojant šią diagramą, šilumos kiekis joje vaizduojamas ne plotu, o tiesės atkarpomis (entalpijomis). Entalpijų skirtumas rodo sukurtą mechaninį darbą. Tiriant garo turbogeneratorių darbą, pasinaudojant *i-s* diagrama, nustatytas kiekvieno GTG entropijų skirtumas  $\Delta s$ . Kuo didesnė entropija, tuo nuostoliai didesni; kuo entropija mažesnė – tuo mažesni ir nuostoliai.

Vidutinės GTG Nr. 1 ir Nr. 2 nuostolių  $\Delta s$  reikšmės 2009 m. ir 2010 m. 01–03 mėn. pateiktos 6 lentelėje. Kiti garo turbogeneratorių darbo ekonominiai rodikliai pateikti 1–5 prieduose (2010 m. 01–03 mėn.).

Eil. Nr.	Data		$\Delta s$ , kcal/(kg <sup>o</sup> C)	
	Metai	Mėnuo	GTG Nr. 1	GTG Nr. 2
1.	2009	Sausis	0,190	0,196
2.	2009	Vasaris	0,191	0,201
3.	2009	Kovas	0,206	0,195
4.	2009	Balandis	0,199	0,195**
5.	2009	Gegužė	0,172	–*
6.	2009	Birželis	0,185	–*
7.	2009	Liepa	0,180	–*
8.	2009	Rugpjūtis	0,169**	0,163**
9.	2009	Rugsėjis	0,194	–*
10.	2009	Spalis	0,190	0,202**
11.	2009	Lapkritis	0,171	0,177
12.	2009	Gruodis	0,195	0,201
13.	2010	Sausis	0,192	0,197
14.	2010	Vasaris	0,176	0,156
15.	2010	Kovas	0,161	0,175

\* GTG nenaudotas.

\*\* GTG naudotas ne visą laiką.

### Išvados:

1. Atlikus įvairių šalių ir autorių siūlomas bendrame technologiniame šilumos ir elektros energijos gamybos cikle susidarančių sąnaudų apskaičiavimo metodikas, matoma, kad yra didelė įvairovė, šalys naudoja skirtingas metodikas, nėra vieningos, universalios tinkamos tiriamai Šiaulių kogeneracinei elektrinei.

2. Kogeneracinėje elektrinėje sąnaudų atskyrimas sudaro pagrindą šilumos ir elektros energijos kainų nustatymui. Bendrų gamybos sąnaudų atskyrimui yra sukurtos įvairios metodikos. Taikant vienokią ar kitokią pasirinktą metodiką, galima gauti skirtingas elektros ir šilumos energijos gamybos sąnaudas, o tuo pačiu ir savikainas.

3. Dabartiniu metu gaminant elektros energiją kogeneracinėje elektrinėje yra svarbus turbogeneratorių efektyvumas. Jų automatinis elektros energijos gamybos valdymas perskirstant

garų kiekius, įvertinus turbogeneratorių darbo režimų galimybes. Atliekant elektros gamybos sistemos sureguliovimą, būtina naudoti turboagregatų darbo režimų diagramą ir santykinės kuro lyginamojo sunaudojimo priklausomybes nuo apkrovimo grafikus.

4. Sudarant priešslėginių turbinų darbo režimų diagramas, tuščios eigos koeficientą galima prilyginti 0,2. Ši reikšmė skaičiavimuose atitinka gamyklos techninius duomenis. Vidinis naudingumo koeficientas atitinka rekomenduojamas reikšmes.

5. Palyginę garo turbogeneratorių nuostolių rezultatus, matome, kad didžiausi garo turbogeneratoriaus Nr. 1 darbo nuostoliai buvo 2009 m. kovo mėnesį. Rekomenduojama į tai atsižvelgti kogeneracinės elektrinės aptarnaujančiam personalui. Numatyti garo turbogeneratorių Nr. 1 ir Nr.2 galimybes dirbti įvairiais režimais, derinant pasirinktą galią (1500 kW, 1000 kW ar 500 kW).

6. Užtikrinant aukštus garo turbogeneratorių darbo naudingumo koeficientus, būtina į turbinas tiekti reikalingų parametrų garą (T, P).

## 5. KOGENERACINĖS ELEKTRINĖS EFEKTYVUMO SKAIČIAVIMAS

Kogeneracinių elektrinių šiluminis ekonomiškumas apibūdinamas naudingo veiksmo koeficientais arba specifiniu sąlyginio kuro sunaudojimu kg.n.e./kWh (kg.n.e./MWh). Ekonomiškumą pinigais išreiškia energijos gamybos savikaina.

Elektrinėse nustatomas *bruto* ir *neto* n.v.k. [1, 2, 25]. *Bruto* n.v.k. išreiškiamas santykiu pagamintos energijos su jai suvartota kuro šiluma (žr. 5.6 ir 5.7 formules). Dalis energijos sunaudojama savo reikmėms – garo katilų traukos, pūtimo ventiliatoriams, tinklinio vandens siurbliams, kondensato, maitinimo siurbliams, apšvietimui. Todėl elektros energijos iš elektrinės atiduodama mažiau  $E_{atid}$  (MWh), negu pagaminama:

$$E_{atid.} = E - E_{s.r.} \quad (5.1)$$

čia:  $E$  – pagamintas elektros energijos kiekis, MWh;

$E_{s.r.}$  – elektros energijos kiekis sunaudojamas savo reikmėms, MWh.

Skaičiavimuose naudojami Šiaulių kogeneracinės elektrinės 2009 m. apskaitos prietaisų užfiksuoti rodikliai (žr. 8 ir 9 lentelę).

$$E_{atid.} = 13135,32 - 2980,0 = 10155,32 \text{ MWh.}$$

Elektrinėse energijos sunaudojimas savo reikalams  $E_{s.r.}$  apibūdinamas santykinio dydžiu – savo reikalų koeficientu:

$$k_{s.r.} = \frac{E_{s.r.}}{E}; \quad (5.2)$$

$$k_{s.r.} = \frac{2980,0}{13135,32} = 0,227 \text{ MWh/MWh.}$$

Literatūrose [1, 2] šis koeficientas nurodomas  $k_{s.r.} = 0,06 - 0,11$ . Šiaulių kogeneracinės elektrinės –  $k_{s.r.} = 0,227$ . Aukštą koeficientą lemia elektrinės eksploatuojami mažo elektrinio naudingumo turbogeneratoriai. Elektrinės pagamintos elektros ir šilumos santykis  $C=0,07$  MWh/MWh (žr. 5.5 formulę).

Remiantis 5.1 ir 5.2 formulėmis, atiduotas iš elektrinės energijos kiekis išreiškiamas:

$$E_{atid.} = E(1 - k_{s.r.}); \quad (5.3)$$

$$E_{atid.} = 13135,32 \cdot (1 - 0,227) = 10155,32 \text{ MWh.}$$

Kogeneracinės elektrinės atiduotas energijos santykis su jai suvartoto kuro šiluma vadinamas elektrinės *neto* n.v.k.:

$$\eta^{neto} = \frac{E_{atid.} + Q}{B \cdot q} \cdot 100\%; \quad (5.4)$$

čia:  $E_{atid.}$  – elektros energijos kiekis atiduodamas iš elektrinės, MWh;

$Q$  – naudingosios šilumos energijos kiekis, MWh;

$B$  – sunaudoto kuro kiekis, kg.n.e.;

$q$  – kuro šiluminė geba, MWh.

$$\eta^{neto} = \frac{10155,32 + 198326,14}{20412,63 \cdot 11,628} \cdot 100\% = 87,83\%$$

Kogeneracijos procese gaminama elektros / mechaninė energija kartu su naudinga šilumos energija sudaro kogeneracijos bloko (toliau – KB) bendrą gamybą [6].

KB elektros ir šilumos energijos santykis  $C$  apskaičiuojamas pagal formulę, MWh/MWh:

$$C = \frac{E}{Q}; \quad (5.5)$$

čia:  $E$  – pagamintas elektros energijos kiekis, MWh;

$Q$  – naudingosios šilumos energijos kiekis, MWh;

$$C = \frac{13135,32}{198326,14} = 0,07 \text{ MWh/MWh.}$$

Ataskaitinio laikotarpio KB bendrasis kuro suvartojimo efektyvumas apskaičiuojamas pagal formulę [1, 6, 27, 28, 32]:

$$\eta = \frac{E + Q}{B \cdot q}; \quad (5.6)$$

čia:  $B$  – sunaudoto kuro kiekis, kg.n.e.;

$q$  – kuro šiluminė geba, MWh.

$$\eta = \frac{13135,32 + 198326,14}{20412,63 \cdot 11,628} = 0,89 \text{ MWh/MWh.}$$

$\eta$  - apibendrintas energijos gamybos proceso naudingo veikimo koeficientas, nurodomas LR ūkio ministerijos įsakymu 4-206. Jo esmė yra parodyti, kiek kWh (šiluma + elektra) galima pagaminti sunaudojant kogeneraciniame cikle 1 kWh kuro. Nustatant šį rodiklį galima palyginti

energijos gamybos įmonių darbo efektyvumą, pvz., Šiaulių, Panevėžio elektrinių ir kt. Pavertus šį rodiklį procentais, gausime KB bendrąjį efektyvumo koeficientą, %:

$$\eta = \frac{E + Q}{B \cdot q} \cdot 100\%; \quad (5.7)$$

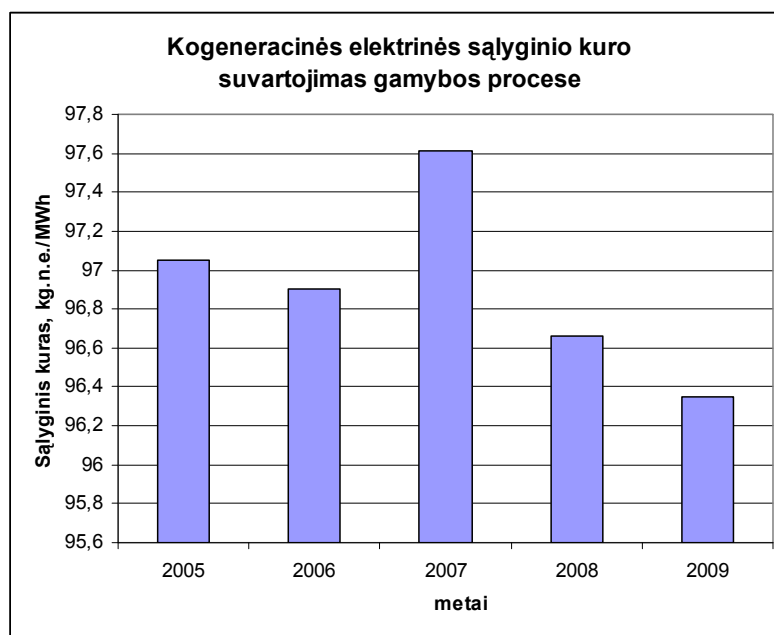
$$\eta = \frac{13135,32 + 198326,14}{20412,63 \cdot 11,628} \cdot 100\% = 89,09\% .$$

Kitas efektyvumo rodiklis  $b$ , kg.n.e./kWh. Apskaičiuojamas pagal formulę:

$$b = \frac{B}{E + Q}; \quad (5.8)$$

$b$  – sąlyginio kuro suvartojimas 1 kWh (šiluma + elektra) pagaminti, šis rodiklis plačiau naudojamas energetikoje, siekiant įvertinti energijos gamybos proceso efektyvumą, pvz., „Lietuvos energijos“ elektrinėje ir kt.

$$b = \frac{20412,63}{13135,32 + 198326,14} = 0,096 \text{ kg.n.e./kWh arba } 96,35 \text{ kg.n.e./MWh.}$$



15 pav. Šiaulių kogeneracinės elektrinės 2009 m. sąlyginio kuro suvartojimas gamybos procese

Dar vienas efektyvumo rodiklis, tai  $\lambda$ , kWh/kg.n.e. Apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\lambda = \frac{E + Q}{B}; \quad (5.9)$$

$\lambda$  – energijos kiekis (šiluma + elektra) gaunamas sudeginant 1 kg arba 1 toną sąlyginio kuro.

$$\lambda = \frac{13135,32 + 198326,14}{20412,63} = 10,36 \text{ kWh/kg.n.e.}$$

$b$  ir  $\lambda$  rodikliai tarpusavyje susiję tokia priklausomybe:

$$b = \frac{1}{\lambda}; \quad (5.10)$$

$\eta$  rodiklį galime išreikšti tokia priklausomybe:

$$\eta = \frac{B}{b \cdot B \cdot q} = \frac{1}{b \cdot q} = \frac{\lambda \cdot B}{B \cdot q} = \frac{\lambda}{q}. \quad (5.11)$$

Šiaulių kogeneracinės elektrinės bendrojo kuro suvartojimo efektyvumo rodikliai 2009 m. pateikti 7 lentelėje.

7 lentelė

$\eta, \%$	89,09
$\eta, \frac{kWh \text{ (produktas)}}{kWh \text{ (kuro haliava)}}$	0,89
$\lambda, \frac{kWh}{kg.n.e.}$	10,36
$b, \frac{kg.n.e. \left( \frac{kg.n.e.}{MWh} \right)}{kWh}$	0,096 (96,35)
$b_{V\check{S}K} \frac{kg.n.e. \left( \frac{kg.n.e.}{MWh} \right)}{kWh}$	0,091 (91,11)

$b_{V\check{S}K}$  – 2009 m. Pietinės katilinės vandens šildymo katilų vidutinės lyginamosios sąlyginio kuro sąnaudos.



Kiti svarbūs rodikliai – kogeneracijos proceso metu pagamintos šilumos energijos efektyvumo koeficientas  $\eta_Q$  ir kogeneracijos proceso metu pagamintos elektros energijos efektyvumo koeficientas  $\eta_E$ . Šie koeficientai yra reikalingi apskaičiuojant kogeneracijos proceso metu sutaupyto kuro dalį  $KS_d$  (%) (žr. 5.16 formulę).

Kogeneracijos proceso metu pagamintos šilumos energijos efektyvumo koeficientas  $\eta_Q$  (%) apskaičiuojamas pagal 5.12 formulę.

$$\eta_Q = \frac{Q}{B \cdot q} \cdot 100\%; \quad (5.12)$$

$$\eta_Q = \frac{198326,14}{20412,63 \cdot 11,628} \cdot 100\% = 83,56\%;$$

Kogeneracijos proceso metu pagamintos elektros energijos efektyvumo koeficientas  $\eta_E$  (%) apskaičiuojamas pagal 5.13 formulę.

$$\eta_E = \frac{E}{B \cdot q} \cdot 100\%; \quad (5.13)$$

$$\eta_E = \frac{13135,32}{20412,63 \cdot 11,628} \cdot 100\% = 5,53\%.$$

Turbogeneratoriaus vidutinis apkrovimas  $P_{vid.}$  (MW) apskaičiuojamas pagal formulę:

$$P_{vid.} = \frac{E}{t}; \quad (5.14)$$

čia:  $t$  - turbogeneratoriaus darbo trukmė skaičiuojamu laikotarpiu, val.

$$P_{vid.} = \frac{13135,32}{8760} = 1,50 \text{ MW}.$$

Vidutinė šilumos galia  $Q_{vid.}$  (MW) apskaičiuojama pagal formulę:

$$Q_{vid.} = \frac{Q}{t}; \quad (5.15)$$

$$Q_{vid.} = \frac{198326,14}{8760} = 22,64 \text{ MW}.$$

Kiti Šiaulių kogeneracinės elektrinės gamybos rodikliai 2009 m. 1–12 mėn. pateikti 8 ir 9 lentelėse.

## Kogeneracinės elektrinės gamybos rodikliai 2009 m. 1-12 mėn.

8 lentelė

Mėnuo	Elektros energijos gamyba, MWh	Elektros energijos kiekis patiektas į tinklą, MWh	Kogeneracijos savosios elektros energijos reikmės, MWh	Vidutinė elektros galia, MW	Šilumos energijos gamyba, MWh	Vidutinė šilumos galia, MW
Sausis	1 333	440,59	308,20	1,79	20 827	28,0
Vasaris	1 184	354,71	280,10	1,76	17 847	26,56
Kovas	1 865	986,03	381,0	2,51	26 126	35,12
Balandis	1 044	724,73	230,40	1,45	14 773	20,52
Gegužis	629	426,07	168,80	0,85	9 393	12,63
Birželis	802	574,92	200,30	1,11	13 032	18,10
Liepa	809	616,0	185,0	1,09	12 771	17,17
Rugpjūtis	791	614,40	170,60	1,06	12 767	17,16
Rugsėjis	791	596,85	184,20	1,10	13 174	17,71
Spalis	1 184	599,70	274,50	1,59	17 197	23,11
Lapkritis	1 372	644,40	308,20	1,90	20 479	27,53
Gruodis	1 331	421,58	288,70	1,79	19 960	26,83
Iš viso:	13 135	7000,0	2980,0	1,50	198 326	22,64

Kogeneracinės elektrinės pagaminta elektros energija, be elektrinės savųjų elektros energijos reikmių, dar naudojama kitoms Pietinės katilinės reikmėms, pvz., vandens šildymo katilų darbui ir kitiems katilinės poreikiams.

Kogeneracinės elektrinės kuro suvartojimas 2009 m. 1-12 mėn.

9 lentelė

Mėnuo	Kuro suvartojimas, t.n.e.	Lyginamasis kuro suvartojimas, kg.n.e./MWh	Bendrasis efektyvumo koeficientas, %
Sausis	2149,53	97,0	88,66
Vasaris	1858,29	97,64	88,07
Kovas	2789,94	99,67	86,28
Balandis	1537,98	97,23	88,44
Gegužis	942,17	94,01	91,48
Birželis	1326,81	95,91	89,67
Liepa	1283,99	94,55	90,95
Rugpjūtis	1259,97	92,93	92,54
Rugsėjis	1344,56	96,28	89,32
Spalis	1775,88	96,61	89,01
Lapkritis	2062,12	94,37	91,13
Gruodis	2081,39	97,76	87,96
Iš viso:	20412,63	96,35	89,09

Šiaulių kogeneracinės elektrinės rodikliai nuo eksploataavimo pradžios, pateikti 10 ir 11 lentelėse.

Kogeneracinės elektrinės gamybos rodikliai 2005 m. – 2009 m.

10 lentelė

Metai	Elektros energijos gamyba, GWh	Elektros energijos kiekis patiektas į tinklą, GWh	Kogeneracijos savosios elektros energijos reikmės, GWh	Vidutinė elektros galia, MW	Šilumos energijos gamyba, GWh	Vidutinė šilumos galia, MW
2005	13,80	6,50	3,26	1,57	209,02	23,86
2006	13,19	6,50	3,05	1,51	202,39	23,10
2007	13,68	6,50	3,13	1,56	216,80	24,75
2008	13,52	7,00	3,09	1,54	214,15	24,45
2009	13,13	7,00	2,98	1,50	198,72	22,68

Metai	Kuro suvartojimas, t.n.e.	Lyginamasis kuro suvartojimas, kg.n.e./MWh	Bendrasis efektyvumo koeficientas, %
2005	21624,0	97,05	88,61
2006	20889,80	96,90	88,75
2007	22496,96	97,61	88,11
2008	22006,12	96,66	88,97
2009	20412,63	96,35	89,09

LR Ūkio ministerijos įsakymu 4-206 nurodoma metodika sutaupyti kurui apskaičiuoti. Pagal šią metodiką didelio efektyvumo kogeneracijos procesas turi atitikti šiuos reikalavimus:

- *pasiiekti ne mažiau kaip 10% sutaupyto kuro, palyginti su atskira palyginamąja šilumos ir elektros energijos gamyba;*
- *pasiiekti ne mažiau kaip 0% sutaupyto kuro mažesnės nei 1 MW elektrinės galios KB.*

Lyginant su atskira palyginamąja šilumos ir elektros energijos gamyba, 5.16 ir 5.17 formulėmis galima paskaičiuoti, kiek per 2009 m. sutaupyta kuro Šiaulių kogeneracinėje elektrinėje.

Kogeneracijos proceso metu sutaupyto kuro dalis  $KS_d$  (%) apskaičiuojama pagal formulę:

$$KS_d = \left(1 - \frac{1}{\frac{\eta_Q}{\eta_{Qats}} + \frac{\eta_E}{\eta_{Eats}}}\right) \cdot 100\%; \quad (5.16)$$

čia:  $\eta_Q$  – naudingosios šilumos energijos efektyvumo koeficientas, %;

$\eta_{Qats}$  – šilumos energijos gamybos efektyvumo suderintoji atskaitinė vertė, % (žr. 10 priedą);

$\eta_E$  – kogeneracijos proceso metu pagamintos elektros energijos efektyvumo koeficientas, %;

$\eta_{Eats}$  – elektros energijos gamybos efektyvumo suderintoji atskaitinė vertė, % (žr. 9 priedą).

$$KS_d = \left(1 - \frac{1}{\frac{83,56}{90} + \frac{5,53}{52,3}}\right) \cdot 100\% = 3,29\%.$$

Komentaras: pagal LR ūkio ministerijos įsakymu 4-206 nurodytą metodiką sutaupytam kurui apskaičiuoti, lentelėse (žr. 9 ir 10 priedą) nurodytos elektros  $\eta_{Eats}$ , šilumos  $\eta_{Qats}$  energijos gamybos efektyvumo suderintosios atskaitinės vertės. Pastebėta, kad nurodytas  $\eta_{Eats}$  rodiklis labai aukštas, paprastai kondensacinių elektrinių efektyvumas (žr. 4.1 skyriuje) tesiekia 30–40 %. Jei nurodytas  $\eta_{Eats}$  rodiklis būtų mažesnis 30–40 %, tai pagal 5.16 formulę paskaičiuotas kogeneracijos proceso metu sutaupyto kuro dalis  $KS_d$  būtų apie 8-9 %.

Kogeneracijos proceso metu kuro sutaupymas  $KS$  (MWh) apskaičiuojamas pagal formulę:

$$KS = \left( \frac{B \cdot q}{1 - KS_d} \right) - B \cdot q; \quad (5.17)$$

čia:  $KS_d$  – kogeneracijos proceso metu sutaupyto kuro dalis, %.

$$KS = \left( \frac{20412,63 \cdot 11,628}{1 - 0,0329} \right) - 20412,63 \cdot 11,628 = 8074,74 \text{ MWh};$$

$$\text{Arba } KS = \left( \frac{20412,63}{1 - 0,0329} \right) - 20412,63 = 694,42 \text{ t.n.e.}$$

Lyginant su atskira palyginamąja šilumos ir elektros energijos gamyba (kai šilumos energija gaminama vandens šildymo katiluose, o elektros energija – kondensacinėje elektrinėje), Šiaulių kogeneracinėje elektrinėje sąlyginio kuro per metus sutaupoma 3,29 % arba 694,42 t.n.e. Vadinasi, elektrinė efektyvesnė, negu atskira šilumos ir elektros energijos gamyba.

Kogeneracinėje elektrinėje ekonomiškumą pinigais išreiškia energijos gamybos savikaina. Savikaina nustatoma, dalijant išlaidas energijos gamybai iš vartotojams atiduoto energijos kiekio. Didžiausios yra kuro išlaidos. Jos kinta proporcingai nuo pagaminamo energijos kiekio. Atlyginimai, įrengimų amortizacija, išlaidos remontui ir daug kitų išlaidų nuo pagaminamo energijos kiekio beveik nepriklauso. Taigi didėjant gamybai, t. y. geriau išnaudojant agregatus ir keliant jų šiluminį ekonomiškumą, savikaina mažėja. Šiaulių kogeneracinės elektrinės pagamintos elektros energijos savikaina 2009 m. buvo 0,214 Lt/kWh. Lyginant su 2008 m. (0,249 Lt/kWh), pagamintos elektros energijos savikaina sumažėjo. Elektrinė geriau išnaudoja agregatus, gamina aukštesnių parametrų garą. Savikainai taip pat didelę įtaką daro kuro kaina.

## **Išvados:**

1. Kogeneracinės elektrinės energetinį efektyvumą nustatyti sunku, nes šiluma ir elektros energija yra nelygiavertės. Elektros energija patogesnė vartojimui, bet jos gamyboje atsiranda papildomi nuostoliai. Mažinant elektros energijos gamybą, didinant šilumos, n.v.k. didėja. Gaminant tik šilumą, n.v.k. išauga ir tampa lygus katilinės naudingumo koeficientui. Kogeneracijos energetinį efektyvumą galima geriau įvertinti pagal kuro sąnaudas atskirai ir kombinuotai gaminant energiją.

2. Atlikus elektros energijos gamybos efektyvumo tyrimą, atmetus šilumos energijos gamybą, nustatyta, kad Šiaulių kogeneracinė elektrinė turi mažo naudingumo priešslėgines turbinas, dėl to tik maža dalis garo turimos energijos paverčiama į elektros energiją. Turbogeneratoriaus veikimo efektyvumą pagerintų į turbiną paduodamo garo slėgio ir temperatūros padidinimas. Tačiau tai realizuoti trukdo techninės ir organizacinės sąlygos.

3. Šilumos gamybos procese fizikinis efektyvumas yra gana didelis, AB „Šiaulių energijos“ duomenimis sudaro apie 94 %. Kogeneracinėje elektrinėje bendras efektyvumas yra 89,1 %, jo sumažėjimą lemia gamybos procese atsirandantys papildomi nuostoliai.

4. Šiaulių kogeneracinės elektrinės bendrasis efektyvumo koeficientas – 89,1 %. Lyginant su atskira šilumos ir elektros energijos gamyba, kombinuota energijos gamyba yra pranašesnė, per metus galima sutaupyti 3,29 % arba 694,42 t.n.e. pirminio energijos šaltinio – kuro. Tai suteikia įmonei ekonominę naudą.

5. Elektrinėje ekonomiškumą pinigais išreiškia energijos gamybos savikaina. Didžiausios yra kuro išlaidos, jos kinta proporcingai pagaminamam energijos kiekiui. Geriau išnaudojant agregatus ir keliant jų šiluminį ekonomiškumą, savikaina mažėja. 2008 m. pagamintos elektros energijos savikaina buvo 0,249 Lt/kWh, o 2009 m. – 0,214 Lt/kWh. 2009 m. pagamintos elektros energijos savikainos sumažėjimą nulėmė geriau išnaudojami agregatai bei sumažėjusi kuro kaina.

## 6. KOGENERACINĖS ELEKTRINĖS BENDRŲJŲ KURO SAŃAUDŲ PASKIRSTYMAS

Bendrųjų kuro sąnaudų paskirstymas dabartiniu metu, yra aktualus kogeneracinę elektrinę eksploatuojančiai įmonei. Nuo to priklauso įmonės ataskaitiniai rodikliai ir elektrinės darbo efektyvumo įvertinimas.

Įmonė yra suderinusi su Valstybine kainų ir energetikos kontrolės komisija savo kuro paskirstymo metodinius nurodymus. Šiam tikslui gali būti naudojamos ir kitos metodikos.

Žemiau pateiktuose skyriuose apžvelgiami du metodai:

1. Šiaulių kogeneracinės elektrinės metodas;
2. Alternatyvaus šilumos šaltinio metodas.

### 6.1. ŠIAULIŲ KOGENERACINĖS ELEKTRINĖS METODAS

Vadovaujantis Šiaulių kogeneracinės elektrinės kuro kiekio sunaudojimo elektros energijos gamybai metodiniais nurodymais, galima apskaičiuoti sąlyginio kuro kiekį elektros energijos gamybai, kg.n.e./MWh:

$$b_e = \frac{1 \cdot 10^6}{1,163 \cdot 10000 \cdot \eta_t}; \quad (6.1)$$

čia: 10000 kcal/kg – sąlyginio kuro kaloringumas;

$\eta_t$  – turbogeneratoriaus naudingo veiksmo koeficiento (n.v.k.) vidutinė reikšmė, esant vidutiniam garo turbogeneratoriaus apkrovimui skaičiuojamuoju laikotarpiu, %;

GTG n.v.k. reikšmės prie konkretaus bandomo apkrovimo apskaičiuojamos pagal atskirą metodiką vieną kartą per metus. Pagal bandymų rezultatus sudaromi n.v.k. priklausomybės nuo apkrovimo bei kuro lyginamojo sunaudojimo priklausomybės nuo apkrovimo grafikai (žr. 10, 11 ir 12, 13 pav.).

Skaičiavimuose naudojami Šiaulių kogeneracinės elektrinės 2009 m. gruodžio mėn. apskaitos prietaisų užfiksuoti rodikliai (žr. 8 ir 12 lentelę).

Sąlyginio kuro lyginamasis sunaudojimas pagamintai elektros energijai apskaičiuojamas pagal 6.1 formulę.

$$b_e = \frac{1 \cdot 10^6}{1,163 \cdot 10000 \cdot 0,622} = 138,23 \text{ kg.n.e./MWh}, \quad \text{kai } \eta_t = 62,20\%.$$

Garų turbogeneratoriaus n.v.k. reikšmės pateiktos 6, 7 priede.

Turbogeneratoriaus vidutinis apkrovimas (MW) apskaičiuojamas pagal formulę:

$$P_{vid.} = \frac{E}{t}; \quad (6.2)$$

čia:  $E$  – pagamintos elektros energijos kiekis skaičiuojamuoju laikotarpiu, MWh;  
 $t$  – turbogeneratoriaus darbo trukmė skaičiuojamuoju laikotarpiu, val.

$$P_{vid.} = \frac{1331,01}{744} = 1,79 \text{ MW.}$$

Sąlyginio kuro sunaudojimas elektros energijos gamybai apskaičiuojamas pagal formulę:

$$B_e = b_e \cdot E; \quad (6.3)$$

$$B_e = 138,23 \cdot 1331,01 = 183984,13 \text{ kg.n.e.}$$

Elektros energijos gamybai naudojamas tik dujinis kuras, todėl:

$$B_e = B_{e \text{ duj.}} \quad (6.4)$$

$$B_{e \text{ duj.}} = 183984,13 \text{ kg.n.e.}$$

Natūralaus kuro – dujų sunaudojimas ( $\text{nm}^3$ ) elektros energijos gamybai apskaičiuojamas taip:

$$B_{e \text{ nat.duj.}} = \frac{B_{e \text{ duj.}} \cdot q_{n.e.}}{q_{duj.}^{vid.}} = \frac{B_{e \text{ duj.}} \cdot 10000 \cdot B_{duj.}}{B_{duj.}^1 \cdot q_{duj.}^1 + \dots + B_{duj.}^n \cdot q_{duj.}^n}; \quad (6.5)$$

čia:  $q_{n.e.} = 10000 \text{ kcal/kg}$  – sąlyginio kuro kaloringumas;

$q_{duj.}^{vid.}$  – dujų vidutinis kaloringumas skaičiuojamuoju laikotarpiu ( $\text{kcal./nm}^3$ )

apskaičiuojamas pagal formulę:

$$q_{duj.}^{vid.} = \frac{B_{duj.}^1 \cdot q_{duj.}^1 + \dots + B_{duj.}^n \cdot q_{duj.}^n}{B_{duj.}}, \quad (6.6)$$

čia:  $q_{duj.}^1, q_{duj.}^n$  – dujų kaloringumo reikšmės skaičiuojamuoju laikotarpiu ( $\text{kcal./nm}^3$ ), kas mėnesį, nurodo dujų tiekimo įmonė;

$B_{duj.}^1, B_{duj.}^n$  – šilumos ir elektros energijos gamybai skaičiuojamuoju laikotarpiu sunaudotų skirtingo kaloringumo dujų kiekiai ( $\text{nm}^3$ ) apskaičiuojami pagal dujų skaitiklių rodmenis;



$B_{duj.}$  – bendras dujų kiekis, sunaudotas šilumos ir elektros gamybai skaičiuojamuoju laikotarpiu ( $\text{nm}^3$ ) apskaičiuojamas pagal formulę:

$$B_{duj.} = B_{duj.}^1 + \dots + B_{duj.}^n. \quad (6.7)$$

Remiantis dujų tiekimo įmonės duomenimis skaičiuojamąjį mėnesį dujų kaloringumas 8020 kcal/kg. Natūralaus kuro – dujų sunaudojimas ( $\text{nm}^3$ ) elektros energijos gamybai apskaičiuojamas pagal 6.5 formulę.

$$B_{e\ nat.\ duj.} = \frac{183984,13 \cdot 10000}{8020} = 229406,64 \text{ nm}^3.$$

Pagal dujų apskaitos skaitiklio rodmenis žinomas bendras faktinis dujų sunaudojimo kiekis ( $\text{nm}^3$ ) šilumos ir elektros energijos gamybai. Atėmus skaičiuotiną kuro kiekį sunaudotą elektros energijos gamybai, gaunamas kuro kiekis sunaudotas šilumos energijos gamybai.

Gruodžio mėnesį pagal dujų apskaitos skaitiklio rodmenis bendras faktinis dujų sunaudojimo kiekis 2595249,37  $\text{nm}^3$ . Faktinis dujų sunaudojimo kiekis ( $\text{nm}^3$ ) šilumos energijos gamybai apskaičiuojamas taip:

$$B_{,b\ nat.\ duj.} = B_{nat.\ duj.} - B_{e\ nat.\ duj.}; \quad (6.8)$$

$$B_{,b\ nat.\ duj.} = 2595249,37 - 229406,64 = 2365842,73 \text{ nm}^3.$$

Sąlyginio kuro sunaudojimas pagamintai šilumos energijai:

$$B_{,s} = B_{,b\ nat.\ duj.} \cdot \frac{q_{duj.}}{10000}; \quad (6.9)$$

$$B_{,s} = 2365842,73 \cdot 0,802 = 1897405,87 \text{ kg.n.e.}$$

Sąlyginio kuro lyginamasis sunaudojimas pagamintai šilumos energijai apskaičiuojamas pagal formulę:

$$b_{,s} = \frac{B_{,s}}{Q}; \quad (6.10)$$

$$b_{,s} = \frac{1897405,87}{19960,02} = 95,06 \text{ kg.n.e./MWh.}$$

$Q$  – pagamintos šilumos energijos kiekis skaičiuojamuoju laikotarpiu, MWh.

Gauti kuro kiekiai atskirai šilumos ir elektros energijos gamybai dauginami iš dujų kainos 1000 nm<sup>3</sup> už einamąjį mėnesį ir gaunamos kuro sąnaudas Lt, t. y. kintamos sąnaudos.

Kiti Šiaulių kogeneracinės elektrinės kuro suvartojimo, lyginamojo kuro suvartojimo paskaičiavimai 2009 m. 1–12 mėn. pateikti 12 lentelėje.

Elektrinės lyginamojo kuro suvartojimas 2009 m. 1-12 mėn.

12 lentelė

Mėnuo	Kuro suvartojimas			Lyginamasis kuro suvartojimas		
	Elektros gamybai, t.n.e.	Šilumos gamybai, t.n.e.	Bendras, t.n.e.	Elektros gamyboje, kg.n.e./ MWh	Šilumos gamyboje, kg.n.e./ MWh	Bendras, kg.n.e./ MWh
Sausis	171,88	1977,65	2149,53	128,91	94,95	97,0
Vasaris	162,28	1696,01	1858,29	137,09	95,03	97,64
Kovas	251,71	2538,23	2789,94	134,90	97,15	99,67
Balandis	140,55	1397,43	1537,98	134,59	94,59	97,23
Gegužis	86,42	855,75	942,17	137,45	91,10	94,01
Birželis	109,57	1217,24	1326,81	136,58	93,40	95,91
Liepa	110,60	1173,39	1283,99	136,63	91,88	94,55
Rugpjūtis	108,20	1151,77	1259,97	136,75	90,21	92,93
Rugsėjis	108,01	1236,55	1344,56	136,58	93,86	96,28
Spalis	161,05	1614,83	1775,88	136,05	93,90	96,61
Lapkritis	177,76	1884,36	2062,12	129,61	92,01	94,37
Gruodis	183,98	1897,41	2081,39	138,23	95,06	97,76
Iš viso:	1772,0	18640,63	20412,63	134,90	93,80	96,35

Kuro suvartojimo, lyginamojo kuro suvartojimo paskaičiavimai nuo Šiaulių kogeneracinės elektrinės eksploatacijos pradžios pateikti 13 lentelėje.

Elektrinės lyginamojo kuro suvartojimas 2005 m. – 2009 m.

13 lentelė

Metai	Kuro suvartojimas			Lyginamasis kuro suvartojimas		
	Elektros gamybai, t.n.e.	Šilumos gamybai, t.n.e.	Bendras, t.n.e.	Elektros gamyboje, kg.n.e./ MWh	Šilumos gamyboje, kg.n.e./ MWh	Bendras, kg.n.e./ MWh
2005	1863,0	19761,0	21624,0	135,01	94,54	97,05
2006	1779,54	19110,26	20889,80	134,90	94,42	96,90
2007	1844,45	20652,51	22496,96	134,82	95,26	97,61
2008	1823,31	20182,81	22006,12	134,84	94,24	96,66
2009	1772,0	18640,63	20412,63	134,90	93,80	96,35

Eksploatuojant Šiaulių kogeneracinę elektrinę naudojami santykiniai kuro sunaudojimo rodikliai gaminamai produkcijai: elektros energijai  $b_e$ , kg.n.e./MWh, ir šilumos energijai  $b_{\xi}$ , kg.n.e./Gcal (kg.n.e./MWh). Įvertinus pelną, mokesčius, išlaidas transportui, įvairias kitas išmokas, galima gauti rinkoje realizuojamos produkcijos tarifą  $T_E$ , Lt/kWh, ir  $T_{\xi}$ , Lt/Gcal.

## 6.2. ALTERNATYVAUS ŠILUMOS ŠALTINIO METODAS

2009 m. liepos 22 d. VKEKK patvirtinta Kogeneracinių jėgainių šilumos ir elektros energijos sąnaudų atskyrimo metodika. Pagal šią metodiką, sąnaudos tarp šilumos ir elektros energijos gamybos atskiriamos taikant Alternatyvaus šilumos šaltinio metodą.

Pagal šį metodą, bendrame technologiniame cikle susidarančios šiluminės energijos gamybos sąnaudos yra lygios sąnaudoms, kurios susidaro panašios galios tik šilumą generuojančiose katilinėse, naudojančiose tą pačią kuro rūšį. Likusios sąnaudos priskiriamos elektros energijos gamybos sąnaudoms.

Sąlyginio kuro (kg.n.e.) sunaudojimas šilumos energijos gamybai apskaičiuojamas pagal formulę [7]:

$$B_{,b} = Q \cdot b_{,b}; \quad (6.11)$$

čia:  $Q$  – šilumos kiekis, planuojamas pagaminti ir patiekti į šilumos tinklą iš kogeneracinės elektrinės, MWh;

$b_{,b}$  – lyginamosios sąlyginio kuro sąnaudos alternatyviame šilumos šaltinyje, kg.n.e./MWh.

2009 m. gruodžio mėn. Pietinėje katilinėje lyginamosios sąlyginio kuro sąnaudos alternatyviame šilumos šaltinyje (vandens šildymo katiluose) buvo – 91,11 kg.n.e. /MWh., tai:

$$B_{,b} = 19960,02 \cdot 91,11 = 1818557,42 \text{ kg.n.e.}$$

Likusios kuro sąnaudos priskiriamos elektros energijos gamybos sąnaudoms, kg.n.e.:

$$B_e = B - B_{,b}; \quad (6.12)$$

čia:  $B$  – bendros kuro sąnaudos, tenkančios šilumos ir elektros energijos gamybai, kg.n.e.

$$B_e = 2081390,10 - 1818557,42 = 262832,68 \text{ kg.n.e.}$$

Sąlyginio kuro lyginamasis sunaudojimas pagamintai elektros energijai apskaičiuojamas pagal formulę:

$$b_e = \frac{B_e}{E}; \quad (6.13)$$

$$b_e = \frac{262832,68}{1331,01} = 197,47 \text{ kg.n.e./MWh.}$$

### 6.3. KURO SAŃAUDŲ ATSKYRIMO METODŲ PALYGINIMAS

Bendrų gamybos sąnaudų atskyrimui yra sukurtos įvairios metodikos. Taikant vienokią ar kitokią pasirinktą metodiką, galima gauti skirtingas elektros ir šilumos energijos gamybos sąnaudas bei savikainą. Palyginus Šiaulių kogeneracinėje elektrinėje taikomą metodą su Alternatyvaus šilumos šaltinio metodu nustatyta, gaunamos skirtingos kuro sąnaudos elektrai ir šilumai pagaminti. Didesnės šilumos energijos sąnaudos sąlygoja mažesnes elektros energijos gamybos sąnaudas, t. y. šilumos energijos sąnaudos dalinai padengia elektros gamybos sąnaudas ir atvirkščiai. Esant aukštai vienai energijos produkcijos kainai, kita energija gali būti traktuojama kaip atliekinė, nieko nekainuojanti produkcija.

Sąlyginio kuro lyginamosios sąnaudos gamybos procese 2009 m. gruodžio mėn. Duomenys pateikti 14 lentelėje.

Elektrinės lyginamosios sąnaudos gamybos procese 2009 m. gruodžio mėn. 14 lentelė

Sąnaudų atskirimo metodas	Sąlyginio kuro lyginamosios sąnaudos gamybos procese		Kuro suvartojimas	
	Elektros energijai, kg.n.e./MWh	Šilumos energijai, kg.n.e./MWh	Elektros gamybai, t.n.e.	Šilumos gamybai, t.n.e.
Esama situacija	138,23	95,06	183,98	1897,41
Alternatyvaus šilumos šaltinio metodas	197,47	91,11	262,83	1818,56

Sąlyginio kuro lyginamosios sąnaudos gamybos procese 2009 metams. Duomenys pateikti 15 lentelėje

Sąnaudų atskirimo metodas	Sąlyginio kuro lyginamosios sąnaudos gamybos procese		Kuro suvartojimas	
	Elektros energijai, kg.n.e./MWh	Šilumos energijai, kg.n.e./MWh	Elektros gamybai, t.n.e.	Šilumos gamybai, t.n.e.
Esama situacija	134,90	93,80	1772,0	18640,63
Alternatyvaus šilumos šaltinio metodas	178,41	91,11	2343,35	18069,28

**Išvados:**

1. Kogeneracinėje elektrinėje sąnaudų atskyrimas sudaro pagrindą šilumos ir elektros energijos kainų nustatymui. Bendrų gamybos sąnaudų atskyrimui yra sukurtos įvairios metodikos. Taikant vienokią ar kitokią pasirinktą metodiką, galima gauti skirtingas elektros ir šilumos energijos gamybos sąnaudas, o tuo pačiu ir savikainas bei rinkoje realizuojamos produkcijos tarifą.

2. Šiaulių kogeneracinėje elektrinėje didesnė kombinuotos elektros ir šilumos energijos gamybos nauda skiriama elektros energijos tiekimui. Elektrinės lyginamasis kuro vartojimas 1 MWh elektros energijai patiektas mažesnis negu kondensacinės elektrinės. Šilumos energijos 1 Gcal (1 MWh) patiektos kuro sąnaudos didesnės už vandens šildymo katilų kuro sąnaudas.

3. Pagal Šiaulių kogeneracinės elektrinės bendrų gamybos sąnaudų atskirimo metodiką, sąlyginio kuro lyginamasis sunaudojimas pagamintai elektros energijai 138,23 kg.n.e./MWh, o šilumos energijai – 95,06 kg.n.e./MWh. Lyginant su Valstybinės kainų ir energetikos kontrolės komisijos patvirtinta Alternatyvaus šilumos šaltinio metodika, sąlyginio kuro lyginamasis sunaudojimas pagamintai elektros energijai 197,47 kg.n.e./MWh, šilumos energijai – 91,11 kg.n.e./MWh. Pastarasis metodas šilumos gamybos sąnaudas kogeneracinėje elektrinėje prilygina šilumos, gaminamos atskiroje katilinėje kaštams, o visas likusias sąnaudas priskiria elektros gamybos veiklai. Tokio metodo pasirinkimas leistų sumažinti rinkoje realizuojamos šilumos energijos tarifą, kurį bet koku atveju turėtų padengti šilumos vartotojai, neapmokant sąnaudų, susijusių su elektros energijos gamyba.

## 7. DARBO IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

1. Visuomeninė kogeneracinių elektrinių nauda negali būti vertinama kaip efektyviausia **elektros** energijos gamyba. Visuomenei svarbu gauti **bendrą** kombinuotos elektros ir šilumos energijos gamybos teigiamą rezultatą (kuro taupymą, mažesnę atmosferos teršimą), lyginant **energijos** gamybos kaštus atskirai iš kondensacinės elektrinės ir iš vandens šildymo katilinės.

2. Energetinis efektyvumas kogeneraciniame cikle priklauso nuo dviejų energijos gamybos technologinių procesų. Kuro, gamybos ir investicinių išlaidų paskirstymas buvo problema jau nuo 30-ųjų praėjusio šimtmečio metų.

3. Gali būti naudojami du šilumos ir elektros gamybos sąnaudų paskirstymo metodai (fizikinis ir ekserginis), plačiausiai paplitęs yra fizikinis metodas. Kuro pagrindu yra sukurtos kelios skaičiavimo metodikos, paskutinė iš jų dabar taikytina Lietuvoje yra Alternatyvaus šilumos šaltinio metodas.

4. Kogeneracinės elektrinės energetinį efektyvumą nustatyti sunku, nes šiluma ir elektros energija yra nelygiavertės. Elektros energija patogesnė vartojimui, bet jos gamyboje atsiranda papildomi nuostoliai. Mažinant elektros energijos gamybą, didinant šilumos, n.v.k. didėja. Gaminant tik šilumą, n.v.k. išauga ir tampa lygus katilinės naudingumo koeficientui. Kogeneracijos energetinį efektyvumą galima geriau įvertinti pagal kuro sąnaudas atskirai ir kombinuotai gaminant energiją.

5. Gaminant elektros energiją kogeneracinėje elektrinėje, yra svarbus turbogeneratorių efektyvumas, kuris didele dalimi priklauso nuo jo darbo režimo. Elektros gamybos sistemos suregulavimas, vykdomas pagal šilumos gamybos poreikį. Tam tikslui naudojami kuro lyginamojo sunaudojimo priklausomybės nuo apkrovimo grafikai.

6. Turbogeneratorių nuostolių analizė parodė, kad būtina sekti jų apkrovimą ir atitinkamai pereiti 1500 kW, 1000 kW arba 500 kW apkrovos režimus.

7. Atlikus elektros energijos gamybos efektyvumo tyrimą, atmetus šilumos energijos gamybą, nustatyta, kad Šiaulių kogeneracinė elektrinė turi mažo naudingumo priešslėgines turbinas, dėl to tik maža dalis garo turimos energijos paverčiama į elektros energiją. Turbogeneratoriaus veikimo efektyvumą pagerintų į turbiną paduodamo garo slėgio ir temperatūros padidinimas. Tačiau tai realizuoti trukdo techninės ir organizacinės sąlygos.

8. Šilumos gamybos procese fizikinis efektyvumas yra gana didelis, AB „Šiaulių energijos“ duomenimis sudaro apie 94 %. Kogeneracinėje elektrinėje bendras efektyvumas yra 89,1 %, jo sumažėjimą lemia gamybos procese atsirandantys papildomi nuostoliai.

9. Šiaulių kogeneracinės elektrinės bendrasis efektyvumo koeficientas – 89,1 %. Lyginant su atskira šilumos ir elektros energijos gamyba, kombinuota energijos gamyba yra pranašesnė, per metus galima sutaupyti 3,29 % arba 694,42 t.n.e. pirminio energijos šaltinio – kuro. Tai suteikia įmonei ekonominę naudą.

10. Pagal Šiaulių kogeneracinės elektrinės bendrą gamybos sąnaudų atskyrimo metodiką, sąlyginio kuro lyginamasis sunaudojimas pagamintai elektros energijai yra 0,138 kg.n.e./kWh, o šilumos energijai – 0,095 kg.n.e./kWh. Lyginant su Valstybinės kainų ir energetikos kontrolės komisijos patvirtinta Alternatyvaus šilumos šaltinio metodika, sąlyginio kuro lyginamasis sunaudojimas pagamintai elektros energijai yra 0,197 kg.n.e./kWh, šilumos energijai – 0,091 kg.n.e./kWh. Pastarasis metodas šilumos gamybos sąnaudas kogeneracinėje elektrinėje prilygina šilumos, gaminamos atskiroje katilinėje kaštams, o visas likusias sąnaudas priskiria elektros gamybos veiklai. Tokio metodo pasirinkimas leistų sumažinti rinkoje realizuojamos šilumos energijos tarifą, kurį bet koku atveju turėtų padengti šilumos vartotojai, neapmokant sąnaudų, susijusių su elektros energijos gamyba.

11. Elektrinėje ekonomiškumą pinigais išreiškia energijos gamybos savikaina. Didžiausios yra kuro išlaidos, jos kinta proporcingai pagaminamam energijos kiekiui. Geriau išnaudojant agregatus ir keliant jų šiluminį ekonomiškumą, savikaina mažėja. 2008 m. pagamintos elektros energijos savikaina buvo 0,249 Lt/kWh, o 2009 m. – 0,214 Lt/kWh. 2009 m. pagamintos elektros energijos savikainos sumažėjimą nulėmė geriau išnaudojami agregatai bei sumažėjusi kuro kaina.



## ŠALTINIŲ IR LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. G. Gimbutis, K.Kajutis, V.Krukoniš. *Šiluminė technika*. Vilnius: Mokslas, 1993.
2. P. Švenčianas, T. Narbutas. *Šiluminė technika*. Kaunas: Technologija, 1997.
3. *Kogeneracijos būdu termofikacinėse elektrinėse pagamintos elektros energijos ir šilumos gamybos sąnaudų paskirstymo metodų įvertinimas ir rekomendacijų dėl jų tobulinimo parengimas*. LR Ūkio ministerijos mokslinių tyrimų ataskaita, 2008. [žiūrėta 2009-05-10]. Prieiga per internetą:  
[http://www.ukmin.lt/lt/veiklos\\_kryptys/energetika/bendrieji\\_dokumentai/doc/Ataskaitos\\_2008/San\\_paskirstym.pdf](http://www.ukmin.lt/lt/veiklos_kryptys/energetika/bendrieji_dokumentai/doc/Ataskaitos_2008/San_paskirstym.pdf)
4. *Įvairių kogeneracijos technologijų įrengimo galimybių ir sąnaudų studijos bei rekomendacijų dėl šių technologijų diegimo parengimas*. LR Ūkio ministerijos ataskaita Nr. 012007, 2007. [žiūrėta 2009-04-15]. Prieiga per internetą:  
<http://www.ena.lt/pdfai/Kogener.pdf>
5. *Kogeneracijos reglamentavimas ir perspektyva Lietuvoje*. Direktyvos 2004/8/EB.
6. LR Ūkio ministro įsakymas *Dėl elektros energijos, pagamintos didelio efektyvumo kogeneracijos proceso metu, kilmės garantijos pažymėjimų išdavimo taisyklių patvirtinimo*. 2008 m. gegužės 19 d. Nr. 4-206.
7. Valstybinės kainų ir energetikos kontrolės komisijos nutarimas *Dėl kogeneracinių jėgainių šilumos ir elektros energijos sąnaudų atskyrimo metodikos*. 2009 m. liepos 22 d. Nr.O3-107.
8. *Centralizuotas šilumos tiekimas ir kogeneracija*. Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija. 2004. [žiūrėta 2009-03-17]. Prieiga per internetą: <http://www.lsta.lt/files/studijos/2-guideline-CHP.doc>
9. Marcinauskas K. ir kt. *Kogeneracija, „termofikacija“ ir mikroturbinos* // Energetika. 2008. Nr.2, p.70–78.
10. *Kombinuoto ciklo jėgainės termoenergetinis įvertinimas*. Kaunas.: Šilumos ir atomo energetikos katedra, 2000.
11. LR Vyriausybė. Nacionalinė energetikos strategija. Patvirtinta LR Seimo 2007 m. sausio 18 d. nutarimu Nr. IX-1046. Vilnius, 2007.
12. LR Seimas. Lietuvos Respublikos energetikos įstatymas (Nr. IX-884). Vilnius, 2002. Įstatymo pakeitimai (Nr. X-387). Vilnius, 2005.

13. LR Seimas. Lietuvos Respublikos elektros energetikos įstatymas (Nr. VIII-1881). Vilnius, 2000. Pakeitimo įstatymas (Nr. IX-2308). Vilnius, 2004.
14. LR Seimas. Lietuvos Respublikos šilumos ūkio įstatymas (Nr. IX-1565). Vilnius, 2003.
15. Киселев Г. П. *О тепловой эффективности теплоэлектроцентралей*. Энергетик. 2006. Nr3.
16. Астахов Н. Л. *О методах распределения расходов топлива ТЭЦ между электроэнергией и теплом*. Энергетик. 2002. Nr.11.
17. Guidelines for Calculating Energy Generation in COMBINED HEAT AND POWER PLANTS April 1999. Protermo Melkonkatu 18 00210 Helsinki Finland (<http://www.protermo.fi>).
18. Dr.Meherwan P.Boyce, P.E. *Handbook for Cogeneration and Combined Cycle Power Plants*. 2002.
19. *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.
20. Strengthening the Energy Market Regulator, Twinning Project LT2001/IB/EY/01.
21. Бродянский В.М., Фратшер В., Михалек К. *Эксергетический метод и его приложения*. Энергоиздат. 1988.
22. *Эксергетический метод термодинамического анализа*. Энергия. Москва. 1973.
23. К. М. Weber. Innovation diffusion and political control of energy technologies. A comparison of combined heat and power generation in the UK and Germany. Heidelberg, Germany: Physica-Verlag, 1999. 487 p.
24. The European Association for the promotion of cogeneration. A guide to cogeneration. Brussels, 2001. 49 p. Prieiga per internetą: <http://www.cogen.org>
25. A.Drobavičius, J.Garbaravičius, G.Gimbutis. *Bendroji šiluminė technika*. Vilnius. 1974.
26. АВ „Šiaulių energijos“ tinklapis. Prieiga per internetą: <http://www.siaulenerg.lt/Apie-bendrove/Istorija>
27. *Теплоэнергетика*. 2006. No.2.
28. *Промышленная энергетика*. 2005. No.2.
29. Гоштейн Д. П. *Современные методы термодинамического анализа энергетических установок*. Москва. Энергия 1969.
30. Бродянский В. М. *Научная конференция*. Ульяновск. YGTU. 2006.

31. Горшков А. С. *Технико-экономические показатели тепловых электростанций*. Москва. Энергоатомиздат. 1984.
32. Хлебалин Ю. М. *Некоторые парадоксы теплофикаций*. *Промышленная энергетика*. 2002. No.4.
33. Рубинштейн Ю. М. и другие. *Расчет влияния изменений в тепловой схеме на экономичность электростанции*. Москва. Энергия. 1969.
34. Киселев Г. П. *О тепловой эффективности теплоэлектростанций*. *Энергетик*. 2006. No3.
35. Астахов Н. Л. *О методах распределения расходов топлива ТЭЦ между электроэнергией и теплом*. *Энергетик*. 2002. No.11.
36. *Энергетик*. 2004. No 3.
37. Соколов Е. Я. *Теплофикация и тепловые сети*. М. МЭИ. 2001.
38. *Теплотехника: Учебник/ А.П.Баскаков и другие – М. Энергоатомиздат. 1982.*
39. *Российские энергосберегающие технологии*. Технологии ТУРБОКОН. Бип.1. – М. Институт исследования статистики и науки России и РАН. 2001.
40. А.М.Литвин. *Основы теплоэнергетики*. Москва. Энергия. 1973.
41. П.Н.Щляхин. *Паровые и газовые турбины*. Москва. Энергия. 1974.
42. LR Vyriausybė. *Nutarimas dėl šilumos ūkio kryptių patvirtinimo*. Vilnius, 2008.

## PRIEDAI

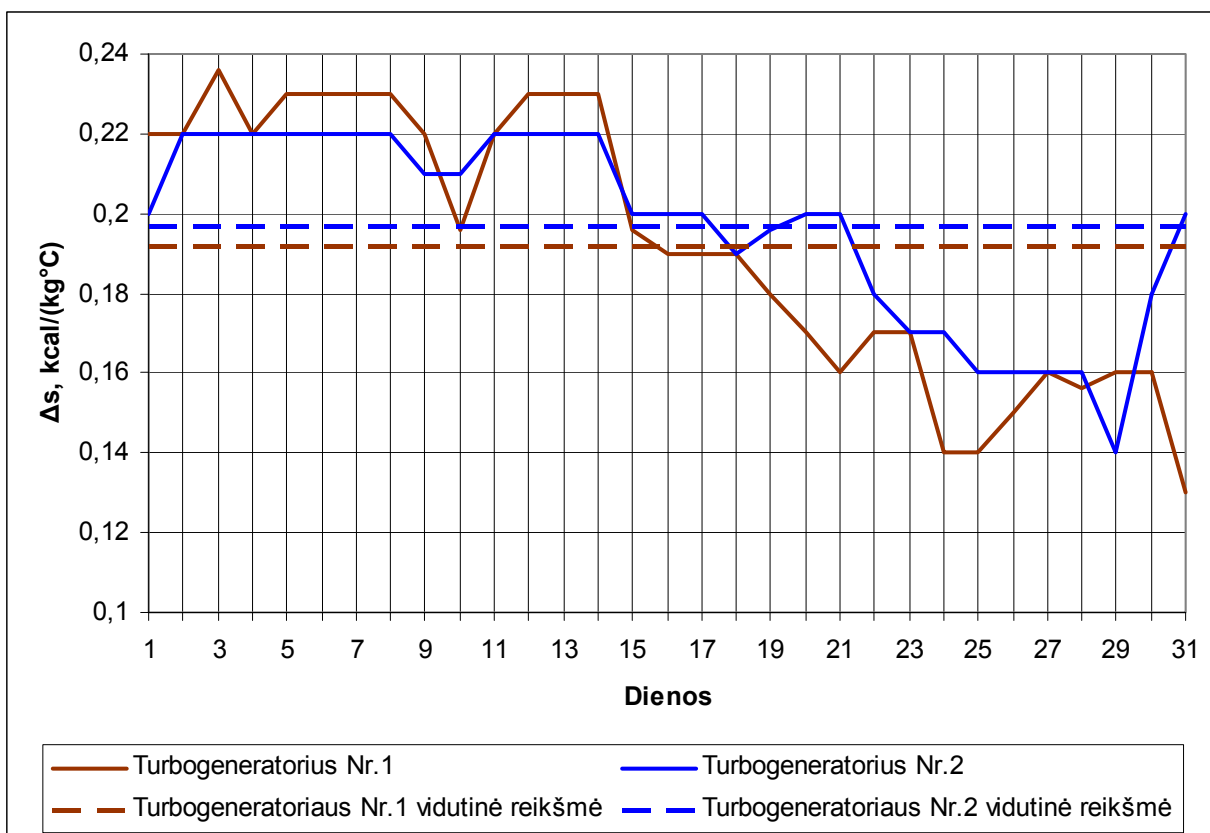
1 priedas. Garo turbogeneratoriaus (GTG-1,5/1,0-0,4-14/2,5) Nr. 1 parametru reikšmės (2010 m. sausio mėn.)

Diena	Garų temperatūra prieš turbiną $T1, ^\circ\text{C}$	Garų slėgis prieš turbiną $P1, \text{bar}$	Garų temperatūra po turbinos $T2, ^\circ\text{C}$	Garų slėgis po turbinos $P2, \text{bar}$	Entropija $s1, \text{kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C})$	Entropija $s2, \text{kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C})$	Garų katilo nuostoliai
1	242-244	7,7-10,8	139-121	0,5-0,6	1,66	1,88	0,22
2	244	10,8	122	0,6	1,64	1,86	0,22
3	245	10,7	13	0,6	1,624	1,86	0,236
4	243-246	10,7	13-124	0,6	1,64	1,86	0,22
5	245	10,6	124	0,6	1,63	1,86	0,23
6	244	10,4	124	0,6	1,63	1,86	0,23
7	244	10,4	124	0,6	1,63	1,86	0,23
8	245	10,4	124	0,6	1,63	1,86	0,23
9	245	10,4	125	0,7	1,63	1,85	0,22
10	244	10,4	127	0,8-0,7	1,63	1,826	0,196
11	245	10,3	122-128	0,6	1,63	1,85	0,22
12	245	10,1	124	0,6	1,63	1,86	0,23
13	244	10,2	124	0,6	1,63	1,86	0,23
14	245	10,2	124	0,6	1,63	1,86	0,23
15	245-250	9,4-10,2	139-124	0,6	1,664	1,86	0,196
16	250	9,3	139	0,6	1,67	1,86	0,19
17	250	9,4	139	0,6	1,67	1,86	0,19
18	241-250	9,5-10,5	126-139	0,6	1,67	1,86	0,19
19	241	10,5	122-127	0,7	1,66	1,84	0,18
20	241-245	9,1-10,6	122-132	0,7-0,9	1,64	1,81	0,17
21	245-250	8,9-9,1	132-147	0,8	1,67	1,83	0,16
22	250	9	136-146	0,8	1,67	1,84	0,17
23	250	9,2	137	0,8	1,67	1,84	0,17
24	250	8,4-9,3	137-143	0,9	1,68	1,82	0,14
25	250	7,4-8,6	142-151	0,9	1,68	1,82	0,14
26	250	7,7-9,1	136-150	0,8	1,68	1,83	0,15
27	250	8,1-9,2	136-147	0,8	1,67	1,83	0,16
28	250	7,9-8,1	145-148	0,8	1,684	1,84	0,156
29	250	7,3-8,2	140-146	0,7	1,7	1,86	0,16
30	250	7,4-7,9	136-140	0,7	1,7	1,86	0,16
31	250	8,1	135	0,8	1,72	1,85	0,13
Vidutinė reikšmė (GTG Nr. 1)							0,192

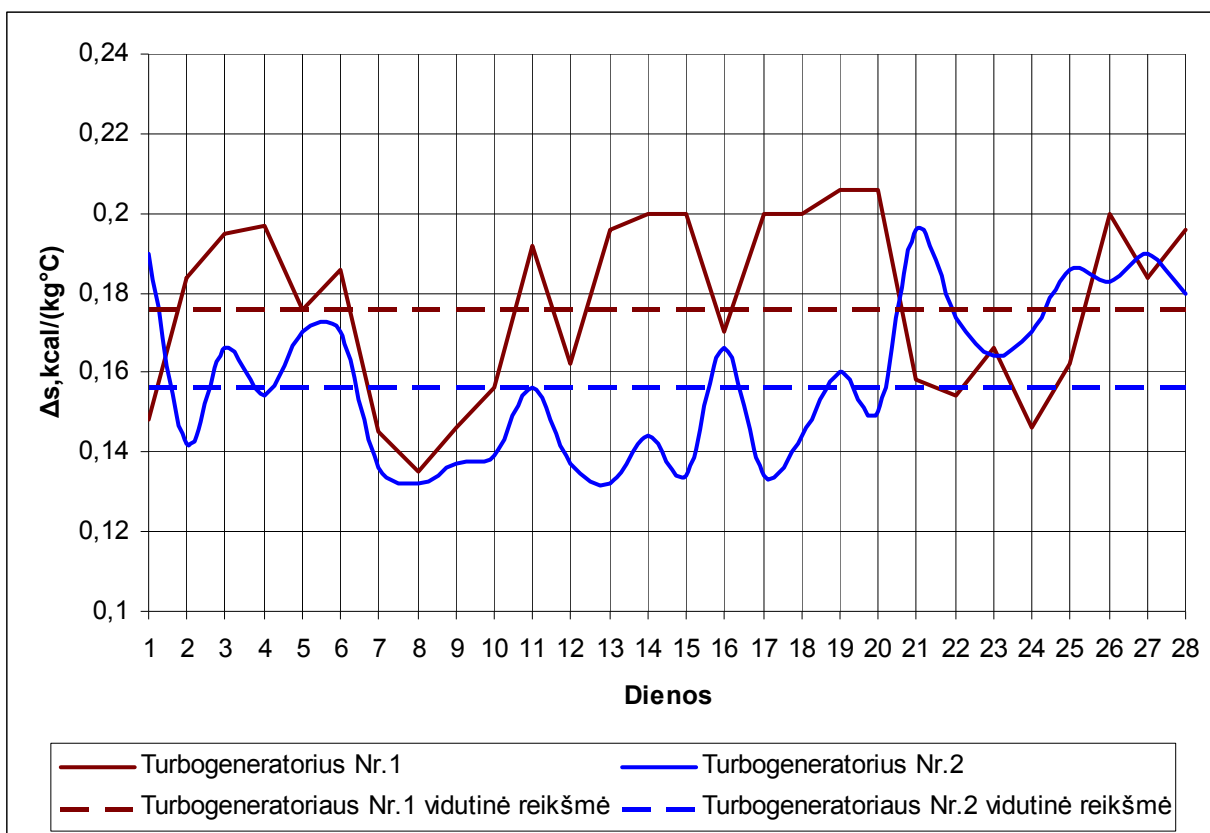
2 priedas. Garo turbogeneratoriaus (GTG-1,5/1,0-0,4-14/2,5) Nr. 2 parametrų reikšmės (2010 m. sausio mėn.)

Diena	Garų temperatūra prieš turbiną $T1$ , °C	Garų slėgis prieš turbiną $P1$ , bar	Garų temperatūra po turbinos $T2$ , °C	Garų slėgis po turbinos $P2$ , bar	Entropija $s1$ , kJ/(kg°C)	Entropija $s2$ , kJ/(kg°C)	Garų katilo nuostoliai
1	242-243	6,3-11,4	139-121,7	0,5-0,7	1,68	1,88	0,2
2	242	11,4	122	0,7	1,64	1,86	0,22
3	243	11,4	123	0,7	1,64	1,86	0,22
4	242-244	11,4	123	0,7	1,64	1,86	0,22
5	243	11,4	124	0,7	1,64	1,86	0,22
6	241	11,4	124	0,7	1,64	1,86	0,22
7	242	11,4	124	0,7	1,64	1,86	0,22
8	243	11,4	124	0,7	1,64	1,86	0,22
9	242	11,4	125	0,8	1,64	1,85	0,21
10	242	11,4	127	0,8	1,64	1,85	0,21
11	243	11,4-11,7	128-122	0,7	1,64	1,86	0,22
12	242	11,5	124	0,7	1,64	1,86	0,22
13	242	11,5	124	0,7	1,64	1,86	0,22
14	243	11,6	124	0,7	1,64	1,86	0,22
15	243-250	11,6-7,8	124-139	0,6	1,66	1,86	0,2
16	250	7,8-8	139	0,6	1,68	1,88	0,2
17	250	8	139	0,6	1,68	1,88	0,2
18	250-240	7,9-10,3	126-138	0,6	1,67	1,86	0,19
19	239	10,6-11,7	127-122	0,8	1,62	1,816	0,196
20	239-242	11,7-10,8	122-132	0,8-0,9	1,62	1,82	0,2
21	242-250	10,8-10,1	132-147	0,8-0,9	1,62	1,82	0,2
22	250-248	10,1	146-136	0,8	1,66	1,84	0,18
23	249	10,2-9,0	137	0,8-0,9	1,66	1,83	0,17
24	250	9,1	137-143	0,9	1,67	1,84	0,17
25	250	9,3-8,3	142-151	0,9	1,68	1,84	0,16
26	250-247	8,5-9,8	136-150	0,9	1,68	1,84	0,16
27	249	8,3-9,8	136-146	0,9	1,68	1,84	0,16
28	250	7,8-9,2	145-148	0,9	1,68	1,84	0,16
29	249	9,3-11,2	146-140	0,8	1,69	1,83	0,14
30	248	11,4	163-140	0,8	1,65	1,83	0,18
31	249	11,7	136	0,8	1,64	1,84	0,2
Vidutinė reikšmė (GTG Nr. 2)							0,197

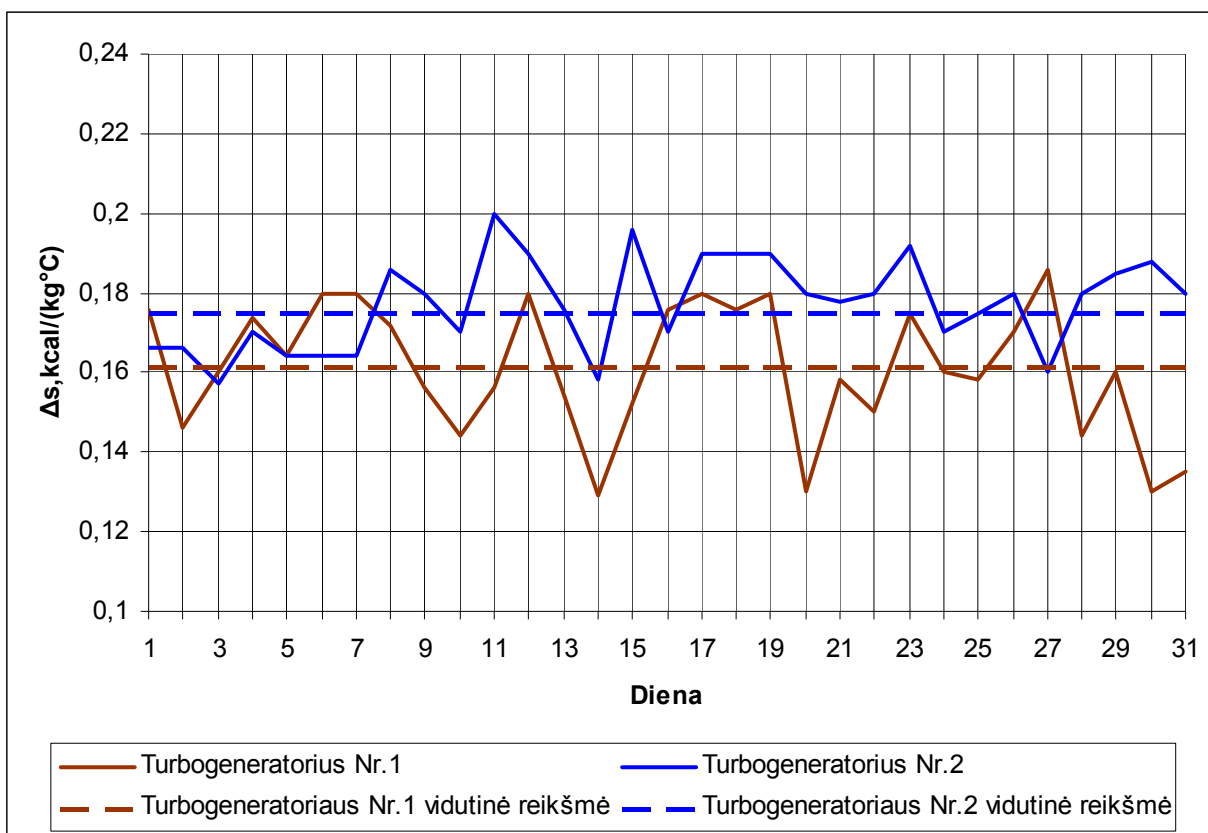
3 priedas. Pagal garo turbogeneratorių parametrų reikšmes, sudarytas  $\Delta s$  nuostolių grafikas (2010 m. sausio mėn.)



4 priedas. Pagal garo turbogeneratorių parametrų reikšmes, sudarytas  $\Delta s$  nuostolių grafikas (2010 m. vasario mėn.)



5 priedas. Pagal garo turbogeneratorių parametrų reikšmes, sudarytas  $\Delta s$  nuostolių grafikas (2010 m. kovo mėn.)





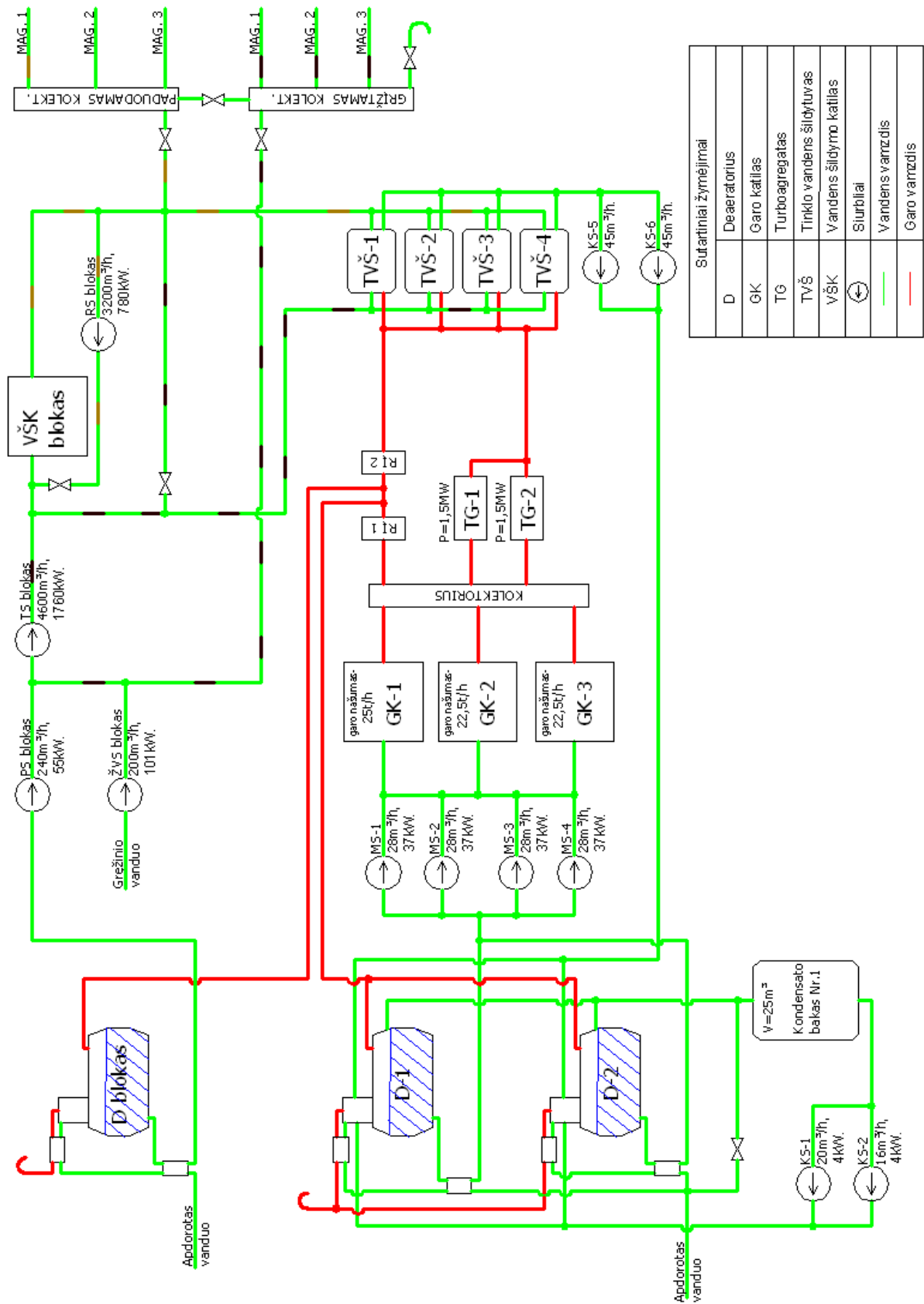
6 priedas. Turbogeneratoriaus (GTG-1,5/1,0-0,4-14/2,5) Nr. 1 naudingo veiksmo koeficientai (n.v.k.) ir sąlyginio kuro lyginamojo sunaudojimo (pagamintai elektros energijai) priklausomybė nuo apkrovimo lentelė

Garo generatorius Nr. 1					
I tūta 1,5 MW	n.v.k. %	kg.n.e./MW	II tūta 0,5 MW	n.v.k. %	kg.n.e./MW
0,20	27,37	314,16	0,198	38,0	226,26
0,25	30,7	280,07	0,25	45,0	191,07
0,30	33,65	255,55	0,28	46,0	186,91
0,35	37,4	229,89	0,316	48,0	179,12
0,40	40,35	213,08	0,35	49,0	175,47
0,45	42,7	201,36	0,40	50,0	171,96
0,50	45,24	185,78	0,45	52,0	165,35
0,55	49,2	174,76	0,535	58,0	148,24
0,60	53,02	162,16	-	-	-
0,65	55,92	153,67	-	-	-
0,70	58,5	146,97	-	-	-
0,75	61,71	139,33	-	-	-
0,80	63,21	136,02	-	-	-
0,85	63,75	134,87	-	-	-
0,90	63,88	134,6	-	-	-
0,95	63,95	134,85	-	-	-
1,0	64,04	134,26	-	-	-
1,05	64,1	134,13	-	-	-
1,10	64,15	134,03	-	-	-
1,15	64,2	133,92	-	-	-
1,20	64,25	133,82	-	-	-
1,25	64,3	133,71	-	-	-
1,30	64,35	133,61	-	-	-
1,35	64,41	133,49	-	-	-
1,40	64,47	133,36	-	-	-
1,45	64,52	133,26	-	-	-
1,50	64,57	133,16	-	-	-

7 priedas. Turbogeneratoriaus (GTG-1,5/1,0-0,4-14/2,5) Nr. 2 naudingo veiksmo koeficientai (n.v.k.) ir sąlyginio kuro lyginamojo sunaudojimo (pagamintai elektros energijai) priklausomybė nuo apkrovimo lentelė

Garo generatorius Nr. 2					
I tūta 1,5 MW	n.v.k. %	kg.n.e./MW	II tūta 1,0 MW	n.v.k. %	kg.n.e./MW
0,20	20,3	373,85	0,132	29,0	296,48
0,25	26,65	322,64	0,20	34,0	252,88
0,30	30,42	282,64	0,25	38,0	226,26
0,35	34,58	248,64	0,377	46,0	186,91
0,40	37,75	227,76	0,40	48,0	179,12
0,45	38,15	225,37	0,45	49,0	175,47
0,50	44,37	193,77	0,50	51,0	168,59
0,55	47,22	182,08	0,542	57,0	150,84
0,60	52,08	165,09	0,60	58,0	148,24
0,65	53,93	159,43	0,65	59,0	145,73
0,70	56,5	152,18	0,70	60,0	143,3
0,75	57,72	148,82	0,74	65,0	132,28
0,80	58,65	146,60	0,80	66,0	130,27
0,85	60,75	141,53	0,85	67,0	128,33
0,90	61,85	139,01	0,90	68,0	126,44
0,95	61,95	138,79	0,964	70,0	122,82
1,0	62,40	137,79	-	-	-
1,05	62,85	136,80	-	-	-
1,10	62,95	136,58	-	-	-
1,15	63,05	136,37	-	-	-
1,20	63,15	136,15	-	-	-
1,25	63,2	136,04	-	-	-
1,30	63,25	135,94	-	-	-
1,35	63,35	135,72	-	-	-
1,40	63,38	135,66	-	-	-
1,45	63,43	135,55	-	-	-
1,50	63,48	135,44	-	-	-

8 priedas. Pietinės katilinės schema, kurios bendra šiluminė galia 539 MW



9 priedas. Elektros energijos gamybos efektyvumo suderintosios atskaitinės vertės, % [6]

Kuro rūšis		Elektros gamybos pradžios metai										
		iki 1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006–2011
Kietasis kuras	Akmens anglis ir koksas	39,7	40,5	41,2	41,8	42,3	42,7	43,1	43,5	43,8	44,0	44,2
	Lignitas (rusvosios anglis) ir lignito briketai	37,3	38,1	38,8	39,4	39,9	40,3	40,7	41,1	41,4	41,6	41,8
	Durpės ir durpių briketai	36,5	36,9	37,2	37,5	37,8	38,1	38,4	38,6	38,8	38,9	39,0
	Mediena	25,0	26,3	27,5	28,5	29,6	30,4	31,1	31,7	32,2	32,6	33,0
	Žemės ūkio biomasė	20,0	21,0	21,6	22,1	22,6	23,1	23,5	24,0	24,4	24,7	25,0
	Biologiškai skaidžios komunalinės atliekos	20,0	21,0	21,6	22,1	22,6	23,1	23,5	24,0	24,4	24,7	25,0
	Komunalinės ir pramoninės neatsinaujinančios atliekos	20,0	21,0	21,6	22,1	22,6	23,1	23,5	24,0	24,4	24,7	25,0
	Degieji skalūnai	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	39,0
Skystasis kuras	Mazutas, krosnių kuras, dyzelinas, suskystintos naftos dujos	39,7	40,5	41,2	41,8	42,3	42,7	43,1	43,5	43,8	44,0	44,2
	Biokuras	39,7	40,5	41,2	41,8	42,3	42,7	43,1	43,5	43,8	44,0	44,2
	Biologiškai skaidžios atliekos	20,0	21,0	21,6	22,1	22,6	23,1	23,5	24,0	24,4	24,7	25,0
	Neatsinaujinančios atliekos	20,0	21,0	21,6	22,1	22,6	23,1	23,5	24,0	24,4	24,7	25,0
Dujinis kuras	Gamtinės dujos	50,0	50,4	50,8	51,1	51,4	51,7	51,9	52,1	52,3	52,4	52,5
	Naftos perdirbimo dujos ir vandenilis	39,7	40,5	41,2	41,8	42,3	42,7	43,1	43,5	43,8	44,0	44,2
	Biodujos	36,7	37,5	38,3	39,0	39,6	40,1	40,6	41,0	41,4	41,7	42,0
	Koksavimo dujos, aukštakrosnių dujos, kitos atliekinės dujos, atgauta atliekinė šiluma	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0

10 priedas. Šilumos energijos gamybos efektyvumo suderintosios atskaitinės vertės, % [6]

Kuro rūšis		Garas arba karštas vanduo	Tiesioginis išmetamųjų dujų panaudojimas*
Kietasis kuras	Akmens anglis ir koksas	88	80
	Lignitas (rusvosios anglis) ir lignito briketai	86	78
	Durpės ir durpių briketai	86	78
	Mediena	86	78
	Žemės ūkio biomasė	80	72
	Biologiškai skaidžios komunalinės atliekos	80	72
	Komunalinės ir pramoninės neatsinaujinančios atliekos	80	72
	Degieji skalūnai	86	78
Skystasis kuras	Mazutas, krosnių kuras, dyzelinas, suskystintos naftos dujos	89	81
	Biokuras	89	81
	Biologiškai skaidžios atliekos	80	72
	Neatsinaujinančios atliekos	80	72
Dujinis kuras	Gamtinės dujos	90	82
	Naftos perdirbimo dujos ir vandenilis	89	81
	Biodujos	70	62
	Koksavimo dujos, aukštakrosnių dujos ir kitos atliekinės dujos	80	72

\* Vertės naudojamos, kai išmetamųjų dūmų temperatūra  $\geq 250^{\circ} \text{C}$ .