



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

Tautvydas Puidokas

**KOGENERACINĖS JĖGAINĖS EFEKTYVUMO DIDINIMO ŠILUMOS
AKUMULIAVIMO SISTEMOS PAGALBA ANALIZĖ**

**INVESTIGATION OF COGENERATION POWER PLANT EFFICIENCY
INCREASE BY HEAT ACCUMULATOR SYSTEMS**

Baigiamasis magistro darbas

Energetikos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62406T106

Šilumos inžinerijos specializacija

Energetikos mokslo kryptis

Vilnius, 2011

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Vytautas Martinaitis

(Vardas, pavardė)

(Data)

Tautvydas Puidokas

**KOGENERACINĖS JĖGAINĖS EFEKTYVUMO DIDINIMO ŠILUMOS
AKUMULIAVIMO SISTEMOS PAGALBA ANALIZĖ**

**INVESTIGATION OF COGENERATION POWER PLANT EFFICIENCY
INCREASE BY HEAT ACCUMULATOR SYSTEMS**

Baigiamasis magistro darbas

Energetikos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62406T106

Šilumos inžinerijos specializacija

Energetikos ir termoinžinerijos mokslo kryptis

Vadovas doc.dr. Nijolė Juzefa Vegytė

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas lekt.Regina Žukienė

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2010

UŽDUOTIS

ANOTACIJA

ANOTACIJA

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	7
LENTELIŲ SĄRAŠAS	9
SANTRUMPOS	10
1. ĮVADAS.....	11
2. KOGENERACINIŲ JĖGAINIŲ DARBO REŽIMO ANALIZĖ	14
2.1. Užsienio valstybių miestų šilumos tiekimo režimų apžvalga	14
2.2. Šilumos akumuliacinio talpos – galimos konstrukcijos ir parametrai.....	18
2.3. ŠAT taikymas šilumos tiekimo svyravimams balansuoti	25
2.4. ŠAT pritaikymas pikinės elektros generavimui	28
3. TERMOFIKACINĖS JĖGAINĖS DARBO ANALIZĖ	33
3.1. Esama situacija Mažeikių CŠT sistemoje	34
3.2. Termofikacinės jėgainės darbo režimų modeliavimas	36
3.3. Mažeikių termofikacinių jėgainių režimų modeliavimas pikinės elektros gamybai	45
3.3.1. Žiemos periodas	51
3.3.2. Pereinamasis periodas	53
3.3.3. Vasaros periodas	55
3.3.4. Metinė energijos gamyba	56
3.4. Šilumos akumuliacinio talpų režimų charakteristikų, bei kitų parametų nustatymas	58
4. AKUMULIAVIMO SISTEMŲ EKONOMINIS ĮVERTINIMAS.....	61
4.1. Šilumos akumuliacinio sistemos įrengimo ir eksploataciniai kaštai	61
4.2. Ekonominė nauda gaminant pikinę elektros energiją	63
IŠVADOS	67

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos palyginimas (CO_2 t/1 gyventojui) [3].	11
2 pav. Talino bendrojo šilumos tinklo valandinis apkrovimas 2004 metais [3].	14
3 pav. Danijos šilumos tinklo valandinis apkrovimas 2004 metais [3].	15
4 pav. Vokietijos šilumos tinklo valandinis apkrovimas 2004 metais [3].	16
5 pav. Lenkijos bendrojo šilumos tinklo valandinis apkrovimas 2003 metais [3].	16
6.pav. Didžiosios Britanijos bendrojo šilumos tinklo valandinis apkrovimas 2004 metais [3].	17
7 pav. Vertikalios konstrukcijos šilumos akumuliacinio talpo [9].	19
8 pav. Horizontali šilumos akumuliacinio talpa, įrengta šiltnamių aptarnavimui skirtose kogeneracinėse sistemoje [9].	19
9 pav. Vertikalios šilumos akumuliacinio talpos su centriniu vamzdžiu veikimo principas [9].	20
10 pav. Karšto vandens įleidimo/išleidimo atvamzdžio koncepcija vertikalioje šilumos akumuliacinio talpoje [9].	21
11 pav. Principinė horizontalios cilindrinės šilumos akumuliacinio talpos schema [9].	22
12 pav. Dviejų šilumos akumuliacinio talpų sistema, įrengta dujas deginančioje kogeneracinėje jėgainėje [9].	23
13 pav. Dviejų šilumos akumuliacinio talpų sistema, įrengta dujas deginančioje kogeneracinėje jėgainėje [8].	24
14 pav. Tipinės elektros energijos paros poreikio ir galimo diferencijuoto elektros energijos supirkimo mechanizmo realizavimas.	29
16 pav. 1996 m. Vokietijos elektros energijos suvartojamo galingumo valandinis kitimas [3].	30
17 pav. 2002 m. Lenkijos elektros energijos suvartojamo galingumo valandinis kitimas [3].	31
18 pav. „Krizės“ metu elektros vartojimo paros grafikai Lietuvoje.	32
19 pav. Metinis šilumos patiekimas Mažeikių, Utenos, Tauragės ir Šakių miestų	34
20 pav. Vieno periodo Mažeikių miesto įrenginių darbo režimai ir reikiamas akumuliuot šilumos kiekis.	41
21 pav. Žiemos periodo (vasario mėn.) šilumos generavimo įrenginių darbo režimai	42
22 pav. Žiemos periodo, vasario mėn., ŠAT sistemos charakteristikos	43
23 pav. Vieno periodo įrenginių darbo režimai ir reikiamas akumuliuot šilumos kiekis.	51
24 pav. Žiemos periodo (sausio mėnesio) šilumos generavimo įrenginių darbo režimai	52

25 pav. Pereinamuoju laikotarpiu (balandžio mėn.) Mažeikių ŠT šilumos generavimo įrenginių darbo režimai	54
26 pav. Vasaros laikotarpiu, (gegužės mėn.) šilumos generavimo įrenginių darbo režimai	55
27 pav. Skirtingais režimais galima pagaminti elektros energija, atskirais mėnesiais	57
28 pav. Sausio mėn. ŠAT sistemos charakteristikos	58
29 pav. Spalio mėn. ŠAT sistemos charakteristikos.....	59
30 pav. Gegužės mėn. ŠAT sistemos charakteristikos	60
31 pav. BaltPool elektros gamybos kainos kitimas, priklausomai nuo paros laiko.....	62
32 pav. Galimas pelnas pagal pirmąjį scenarijų	64
33 pav. Galimas pelnas pagal antrąjį scenarijų.....	65
34 pav. Galimas pelnas pagal trečiąjį scenarijų.....	65
35 pav. Galimas pelnas pagal ketvirtąjį scenarijų	66
36 pav. Galimas pelnas pagal penktąjį scenarijų	66

LENTELIŲ SĄRAŠAS

<i>1 lentelė. Europos miestų jėgainės ir ŠAT dydis juose.....</i>	<i>24</i>
<i>2 lentelė. Mažeikių RK esami šilumos gamybos įrenginiai.....</i>	<i>35</i>
<i>3 lentelė. 3 parų periodo skaičiuotė.....</i>	<i>37</i>
<i>4 lentelė. Metinių energijos kiekių, Mažeikių jėgainėse, palyginimas.....</i>	<i>44</i>
<i>5 lentelė. 3 parų periodo skaičiuotė.....</i>	<i>46</i>
<i>6 lentelė. Žiemos laikotarpyje pagamintos, Mažeikių kogeneracinėse jėgainėse, energijos kiekiai, MWh.....</i>	<i>53</i>
<i>7 lentelė. Pereinamuoju laikotarpyje pagamintos, Mažeikių kogeneracinėse jėgainėse, energijos kiekiai, MWh.....</i>	<i>55</i>
<i>8 lentelė. Vasaros laikotarpyje pagamintos, Mažeikių kogeneracinėse jėgainėse, energijos kiekiai, MWh.....</i>	<i>56</i>
<i>9 lentelė. Metinių energijos kiekių palyginimas Mažeikių ŠT</i>	<i>57</i>
<i>10 lentelė. Šilumos akumuliacinio sistemos eksploataciniai kaštai.....</i>	<i>61</i>

SANTRUMPOS

AEI – atsinaujinantys energijos ištekliai

ES – Europos Sąjunga

ŠAT – šilumos akumuliacijos talpos

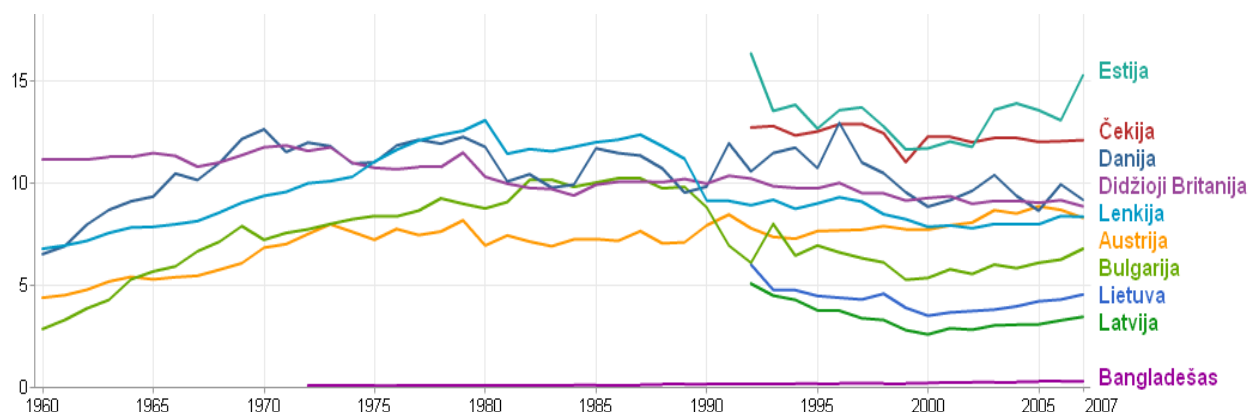
LE – AB „Lietuvos elektrinė“

VŠK – vandens šildymo katilas

ŠT – šilumos tinklai

1. ĮVADAS

Elektros energijos poreikio augimas visame pasaulyje ir su jos gamyba susijusi atmosferos tarša, kai kurių asmenų požiūru, kelia akivaizdžią klimato kaitos grėsmę ir sunkiai prognozuojamus pokyčius. Pagal anglies dvideginio (CO₂) išmetimus – vieną iš pagrindinių šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją – ES užima trečiąją vietą pasaulyje (3900 mln. t) [23], atsilikdama tik nuo Kinijos (daugiau kaip 6000 mln. t) ir JAV (apie 5800 mln. t). Pagrindinis CO₂ emisijos šaltinis yra energijos gamyba, kurios atmosferos tarša yra du kartus didesnė nei transporto. Tarptautinė aplinkos apsaugos agentūra (IEA – International Environmental Agency) prognozuoja, jog nesiimant emisijos mažinimo priemonių, per ateinančius 40 metų vien tik energetikos įrenginių CO₂ emisija išaugs daugiau kaip 60 %. Tačiau, kaip matome 1 pav., CO₂ emisija vienam gyventojui per pastaruosius 30 – 40 metų ne tik nepadidėjo labai smarkiai, bet net ir daugelyje valstybių sumažėjo, net atsižvelgiant į tai, jog vakarų Europoje gyventojų skaičius tragiškai mažėja.



1 pav. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos palyginimas (CO₂ t/1 gyventojui) [3].

Atsižvelgdama į asmenų interesus, kurie vysto „žaliąsias“ technologijas, ES Komisija formuoja savo energetikos politiką iki 2020 metų, kaip vadinamųjų trijų „20 %“ tikslų įgyvendinimą:

- 20 % sumažinti galutinę energijos suvartojimą;
- 20 % sumažinti CO₂ emisiją;
- 20 % energijos gaminti, naudojant atsinaujinančius energijos išteklius (AEI).

Europos Parlamento ir Tarybos direktyvoje „Dėl skatinimo naudoti atsinaujinančių išteklių energiją“ [5] (toliau – Direktyva) pabrėžta, kad didesnis atsinaujinančių energijos išteklių naudojimas yra viena iš svarbių priemonių, galinčių sumažinti šiltnamio efektą atmosferoje sukeliančių dujų

išmetimo kiekį, siekiant įvykdyti Jungtinių Tautų bendrosios klimato kaitos konvencijos Kioto protokolo reikalavimus ir kitus Bendrijos bei tarptautinius įsipareigojimus po 2012 m. Tai yra svarbus veiksnys, skatinantis energijos tiekimo saugumą, „žalių“ technologijų plėtrą. Tokios ES Tarybos išreikštos mintys perša gyventojam nuostatas, kad „žalias“ produktas yra ateities produktas. Nors jis yra ekonomiškai nepagrįstas ir naudingas tik „žaliąsias“ technologijas diegiantiems asmenims. Pasak kai kurių pasaulio ir Lietuvos mokslininkų ir kitų žmonių, dabar vykstantys klimato kaitos procesai nėra tiesiogiai įtakoti nūdienos žmonių veiklos. Šių mokslininkų nuomone, tai – yra natūralus žemės gyvavimo ciklas, kurį gal galimai ir suintensyvina žmogaus veikla.

Tačiau ES Taryba priėmė ne ekonominį (bent jau paprastiems ES piliečiams ekonomiškai nuostolingą) sprendimą, o politinį, kuris priverstinai skatins naujos pramonės šakos vystimąsi paprastų piliečių sąskaita. Direktyvos 3 straipsnyje ES šalims nustatytas planinis privalomasis rodiklis – AEI dalis bendrame galutiniame energijos suvartojime. Lietuvai šis rodiklis nustatytas truputėli didesnis negu bendras turimas vidurkis 2020 metais, tai yra – 23 % galutiniame suvartojime turi būti pagaminta iš atsinaujinančių energijos šaltinių. Šis įsipareigojimas jau priimtas ir jį privaloma vykdyti.

Pastaruoju laikotarpiu yra daug rūpinamasi dėl dviejų Direktyvos užsibrėžtų tikslų, tai – sumažinti CO₂ emisiją ir energiją gaminti, naudojant atsinaujinančius energijos išteklius. Tačiau yra ir kitų rimtų problemų ir tobulėjimo sričių. Viena tokių – neefektyvus pirminės energijos panaudojimas. Šiuo atžvilgiu ES taip pat skatina diegti naujas technologijas, kurios kuo efektyviau panaudotų pirminę energiją. Pagrindinis energijos suvartojimas yra elektros energijos. Ši aukšto potencialo energija yra viena svarbiausių dabartinėje visuomenėje, jos pagaminama daugiausiai. Dar daugeliu atveju ji yra gaminama šiluminėse elektrinėse, kurių naudingumo koeficientas siekia nuo 30 % – 50 %. Lietuvai, turint gerai išvystytus centralizuotus šilumos tiekimo tinklus, yra galimybė beveik dvigubai padidinti tokių šiluminių jėgainių darbą efektyviai panaudojus atliekinę šilumą. Tokių kogeneracinių jėgainių statyba yra remiama ES fondų. Šios jėgainės dažniausiai dirba, deja, šilumos vartotojų poreikių režimu (jėgainės darbas, pagrinde, derinamas prie šilumos poreikio), kai, tuo tarpu, brangesnė ir vertingesnė energija gaminama, kai jos poreikis yra žymiai mažesnis. Šilumos akumuliacinio talpos (ŠAT) galėtų palengvinti jėgainių darbą ir, tuo pačiu, subalansuoti energijos gamybos režimus taip, jog būtų galima maksimaliai dirbti ne žemo potencialo energijos gamybos režimu, o aukšto potencialo energijos poreikio režimu. Darbe nagrinėjama, kokio dydžio turėtų būti ŠAT tūris, kad būtų maksimaliai efektyviai reguliuojamas kogeneracinės jėgainės darbas elektros

gamybos prioritetu. Taip pat modeliuojami galimi darbo režimai, priklausomai nuo užsiduotų prioritetų.

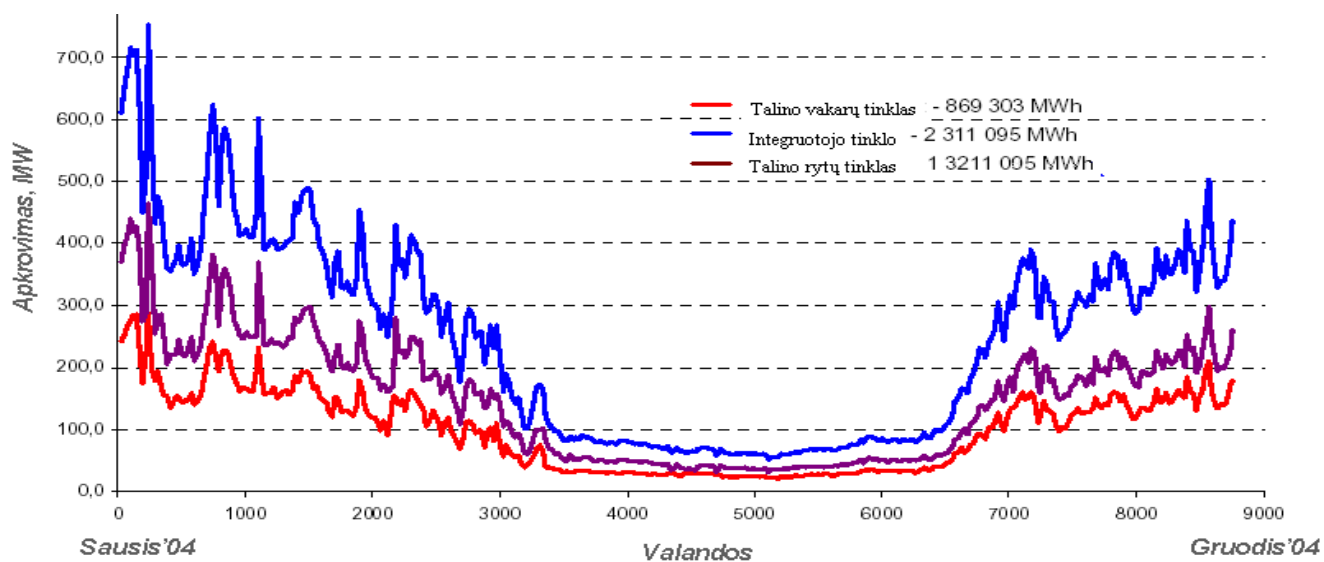
Darbe nagrinėjami du Mažeikių šilumos tinklų (ŠT) šilumos generavimo įrenginių galimi darbo režimai su ŠAT sistema. Pirmas variantas – kai ŠAT sistemos pagalba siekiama maksimaliai suvienodinti šilumos generavimo įrenginių darbinę galią paros ar net poros parų bėgyje. Prioritetas yra – pasirinktą įrenginių šiluminę galią palaikyti pastovia, tinklo šiluminės galios svyravimus balansuoti ŠAT sistemos pagalba. Antrasis nagrinėjamas variantas – ŠAT sistemos panaudojimas maksimaliai Mažeikių ŠT energetinių įrenginių darbą priderinti prie aukšto potencialo energijos Lietuvos poreikių grafiko (šiuo atveju Mažeikių ŠT įrenginių darbas organizuojamas gaminti pikinę elektros energiją).

2. KOGENERACINIŲ JĖGAINIŲ DARBO REŽIMO ANALIZĖ

2.1. Užsienio valstybių miestų šilumos tiekimo režimų apžvalga

Literatūros šaltiniai rodo, kad daugelyje šalių, kur išplėtos centralizuoto šilumos tiekimo sistemos, susiduriama su šilumos vartojimo ir tiekimo režimų suderinimo problemomis. Vakarų Europos šalyse, kur CŠT sistemos plėtotos pagal šilumos vartojimo augimą, šie uždaviniai siejami su CŠT paslaugos kokybės užtikrinimu ir kogeneracinės elektros gamybos poreikiais. Tuo tarpu dalyje Rytų Europos šalių problema kyla dėl to, kad šilumos generavimo šaltiniai pagal galingumus ir eksploatacines savybes nebeatitinka sumažėjusių šilumos vartojimo poreikių ir tenka prisiderinti prie šilumos vartotojų diegiamų modernių sistemų režimų. Norint išlyginti šilumos generavimo ir vartotojų poreikių režimus jėgainėse yra naudojamos šilumos akumuliacijos talpos.

Lyginant didžiųjų Lietuvos miestų šilumos tiekimo režimus su kitų šalių analogais, galima pasitikrinti ir prognozuoti tolimesnį šilumos vartojimo svyravimų kitimų pobūdį. Tai aktualu, nes planuojant šilumos talpas akumuliatorius ar kitas priemones, reikia įvertinti, kad jos bus naudojamos ilgą laikotarpį, o vartotojų pastatai ir šilumos tiekimo sistemos bus modernizuojami iki tokio lygio, koks yra dabar Vakarų Europos šalyse.



2 pav. Talino bendrojo šilumos tinklo valandinis apkrovimas 2004 metais [3].

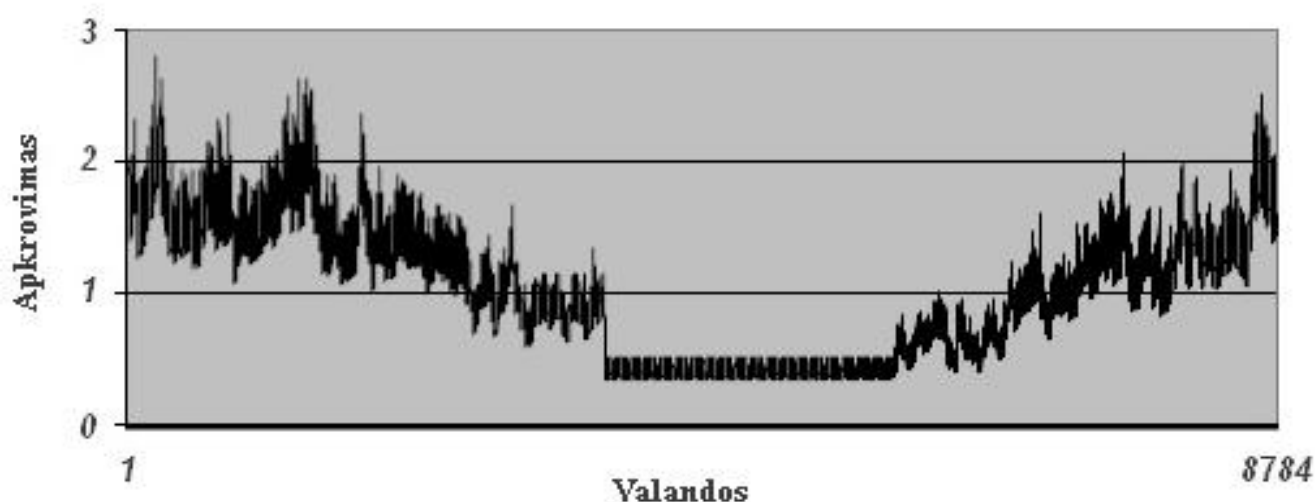
Pagal geografinę padėtį, klimatinės sąlygas, dydį ir t.t., Vilniui gana artimas Talinas. Metinis

šilumos tiekimo grafikas 2.pav. Pagal 2004 metų duomenis matosi, kad šilumos apkrovimo svyravimai yra palyginti lėti ir ilgi - susiję su klimatiniais režimais. Galima spėti, kad mieste dar išlikusios grupinės šilumokaitinės ir mažai yra automatizuotų šilumos punktų.

Vienas iš galios svyravimų indikatorių – tai rodiklis A [4], tai yra nuokrypa nuo paros šiluminės galios vidurkio (į abi puses) – rodo kiek papildomų galingumų reikia paleisti/sustabdyti paros bėgyje, kad prisiderinti prie šilumos vartojimo grafiko.

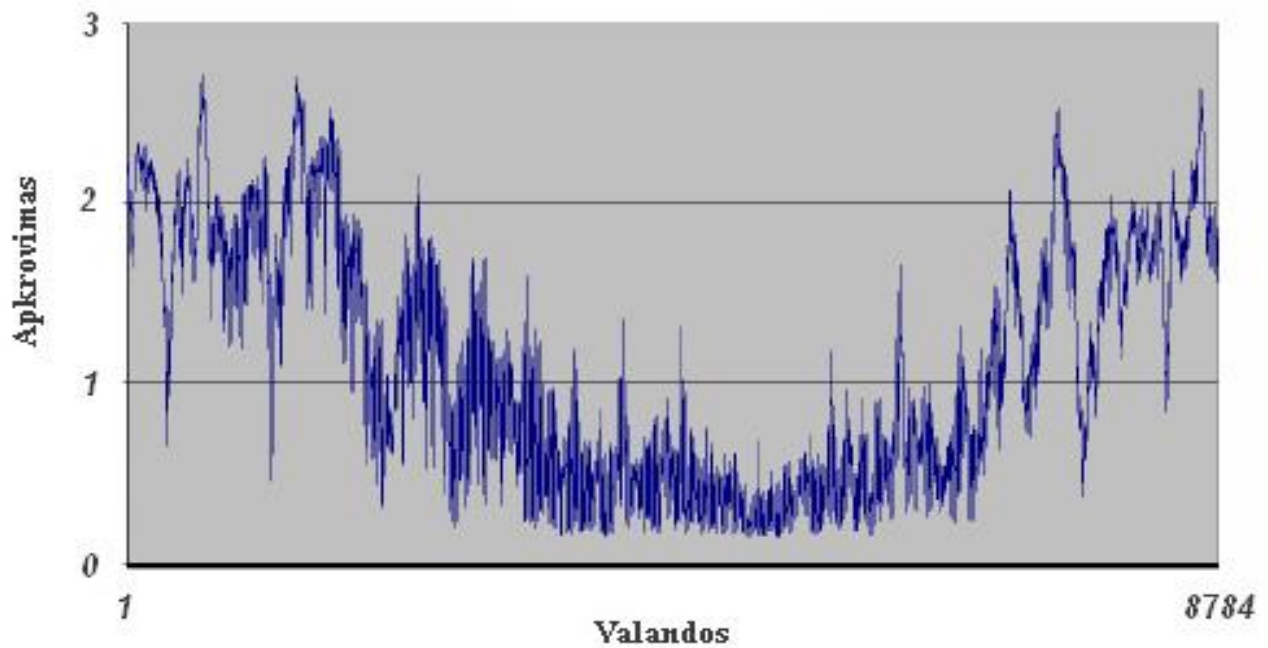
$$A = \frac{\Delta q}{q_{vid}} \cdot 100\%$$

Moderniuose Vakarų Europos miestuose šilumos vartojimo pobūdis kitoks (2-5 pav.). Čia ryškūs trumpalaikiai šiluminės galios svyravimai, kuriuos sukelia reguliavimo sistemos. Danijos tipinės CŠT sistemos (3 pav.) „vasarinės“ galios svyravimo pobūdis labai stabilus. Šildymo sezono galios svyravimų amplitudė gana stabili, o rodiklis A šildymo sezono pabaigoje svyruoja apie 50-70 %.

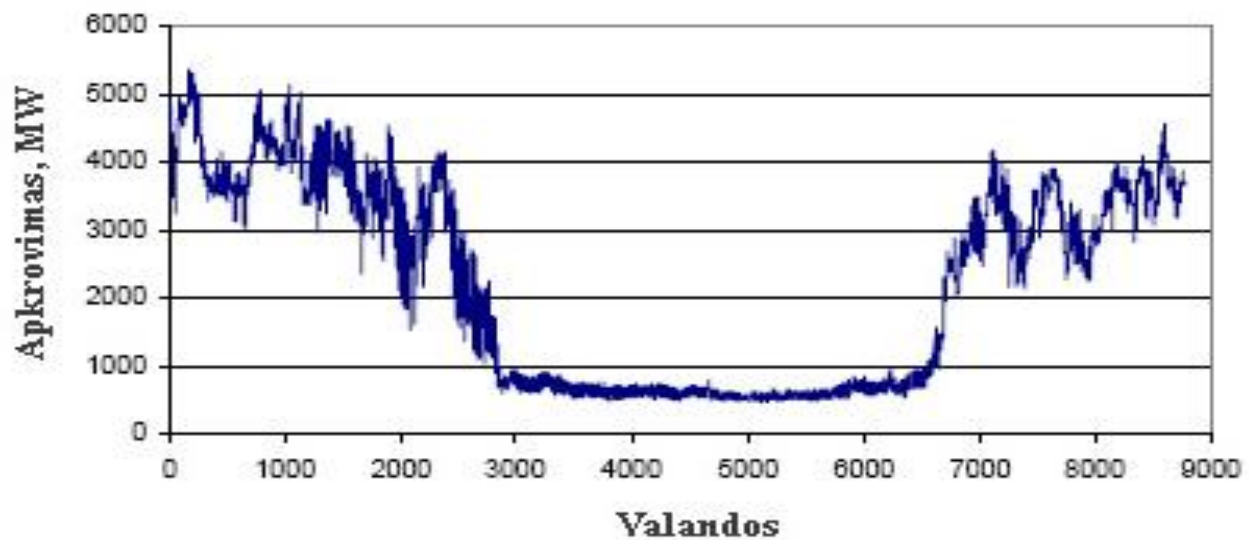


3 pav. Danijos šilumos tinklo valandinis apkrovimas 2004 metais, tūkst. MW [3].

Vokietijos tipinės CŠT sistemos (4 pav.) svyravimai pagal rodiklį A viršytų net 100 % šildymo sezono pabaigoje. Tai galima paaiškinti santykinai nedidele šildymo poreikių proporcija ir mažais šilumos nuostoliais perdavimo vamzdynuose.

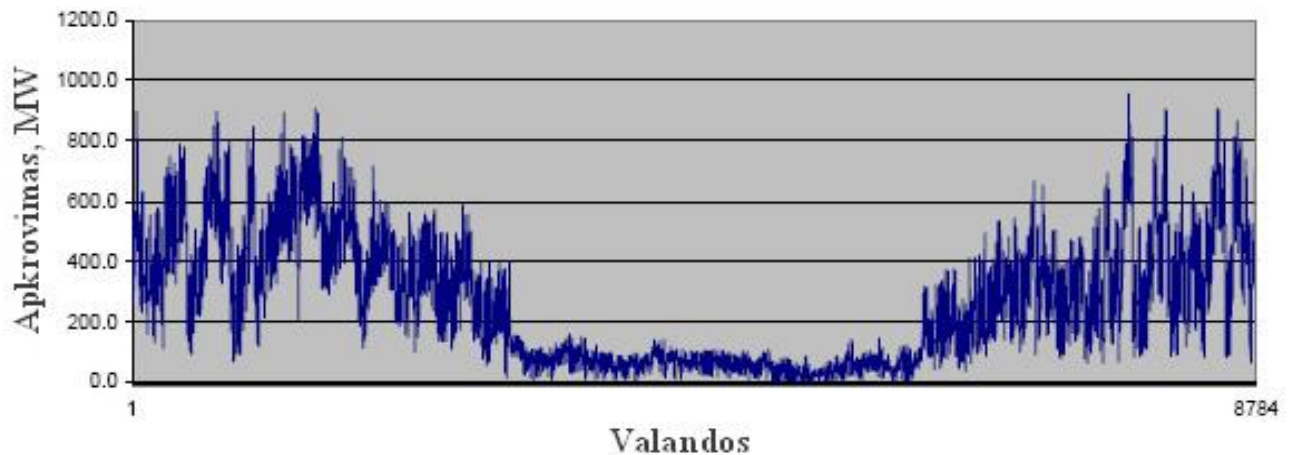


4 pav. Vokietijos šilumos tinklo valandinis apkrovimas 2004 metais, tūkst. MW [3]



5 pav. Lenkijos bendrojo šilumos tinklo valandinis apkrovimas 2003 metais [3].

Gana patikimi integruoti šilumos apkrovimo svyravimai Lenkijoje (4 pav.) rodo, kad galios svyravimas pagal A rodiklį sudaro 30-50 % šildymo sezono pabaigoje. Be to, pavasarį ryškiai didesnis negu rudenį, prasidėjus šildymo sezonui.



6.pav. Didžiosios Britanijos bendrojo šilumos tinklo valandinis apkrovimas 2004 metais [3].

Suminiai Didžiosios Britanijos duomenys (6 pav.) patvirtina pastebėtas tendencijas, kad didžiausia svyravimų amplitudė atsiranda artėjant vasaros sezonui.

Išvertinant anksčiau nurodytas aplinkybes ir kitų šalių patirtį, galima teigti, kad šilumos vartojimo režimus Vilniuje, Kaune, Klaipėdoje, Mažeikiuose ir kituose miestuose ir toliau ateityje įtakos šie faktoriai:

- karšto vandens ruošimo ir patalpų šildymo režimų automatizavimo apimtis;
- senųjų daugiabučių namų renovacijos mastai;
- naujos statybos daugiaaukščių dalis mieste;
- gyventojų gyvenimo lygis ir karšto vandens vartojimo kiekiai;
- vamzdynų keitimo mastas ir šilumos perdavimo nuostolių mažinimas;
- kiti faktoriai, didinantys šilumos karšto vandens ruošimui dalį bendrame į tinklus patiektos šilumos balanse ir atitinkamai mažinantys šilumos poreikius šildymui;

Pagal literatūros šaltinių analizę galima daryti tokias išvadas:

- Lietuvos miestuose vykstantys procesai tik skatins šilumos vartojimo svyravimus, todėl būtina tam ruoštis ir numatyti atitinkamas priemones;
- blogiausias CŠT sistemos apkrovimo svyravimo periodas Lietuvos tiek ir kitų šalių patirtimi šildymo sezono pabaiga (balandžio mėnesio pirmoji pusė Lietuvoje);
- šiluminės galios svyravimų amplitudė pagal rodiklį A gali didėti nuo dabartinio bazinio 40-50% iki 60-70% balandžio mėnesį.

2.2. Šilumos akumulavimo talpos – galimos konstrukcijos ir parametrai

Šilumos akumulavimo talpa (ŠAT) – tai įrenginys, skirtas kaupti ir išlaikyti šilumą esant gamybos ir vartojimo galių nesutapimui paros režime. Tokios talpos galingumas priklauso nuo jos tūrio, šilumnešio šiluminės talpos, fazių skaičiaus bei kitų techninių parametų.

Paprasčiausios ir dažniausiai pasitaikančios ŠAT yra vienfazės, beslėginės, neverdančio vandens talpyklos, tiesiogiai sujungtos su termofikacinės elektrinės sistema. Jau veikiančių ŠAT dydžiai labai įvairūs, nuo 500 iki 50 000 m³. Keletas tokių šilumos akumuliatorių yra ir sudėtingesnės konstrukcijos (temperatūra siekia 120 °C, atskiras prijungimas prie sistemos per siurblius ir reguliavimo vožtuvus). Pavyzdžiui, rezervuarai Kopenhagos sistemoje, turi dvi talpas po 20 000 m³.

Minimalūs šilumos nuostoliai pro sienelės susidaro sferinėje šilumos akumulavimo talpoje, tačiau, įvertinus įrengimo bei aptarnavimo aspektus (mažus greičius įėjimo/išėjimo atvamzdžiuose, sluoksnių nesimaišymą rezervuare), praktikoje dažniausiai pasirenkama šiluminių talpų geometrinė forma yra cilindras.

Didžiausias talpos tūris su mažiausiu talpos paviršiaus plotu yra gaunamas pasirenkant cilindro aukščio bei skersmens santykį (H/D) 1:1. [9] Vėlgi, atsižvelgiant į talpos veikimo principus, aptarnavimą bei išvaizdos patrauklumą, praktikoje rekomenduojamas H/D yra artimesnis santykiui 2:1 [9]. Kadangi skirtingų temperatūrų šilumnešio maišymosi sluoksnis šilumos talpoje paprastai turi fiksuotą aukštį, todėl šis sluoksnis aukštame siaurame bokšte užima mažesnę tūrį lyginant su žemo plataus rezervuaro atveju.

Esant šilumos talpos H/D santykiui 2-2,5, paviršiaus plotas tampa tik 5-10 % didesnis lyginant su tokio pačio tūrio šilumine talpa, kurios H/D santykis lygus 1[9].

Kuomet H/D nelygus vienetui, atsiranda galimybė šilumos akumulavimo talpas statyti arba vertikalias, arba horizontalias. Vertinant talpos šiluminius nuostolius, mažiau šilumos prarandama naudojant vertikaliąją konstrukciją (7 pav.), nes aukščiausią temperatūros gradientą turinčios sienelės užima mažesnę plotą, lyginant su horizontaliai sumontuotu rezervuaru. Nepaisant to, horizontalios talpos taip pat gali būti naudojamos, ypatingai tais atvejais, kuomet statybos reglamentais yra ribojami leistini jų aukščiai (7 pav.)



7 pav. Vertikalios konstrukcijos šilumos akumuliacijos talpa [9].

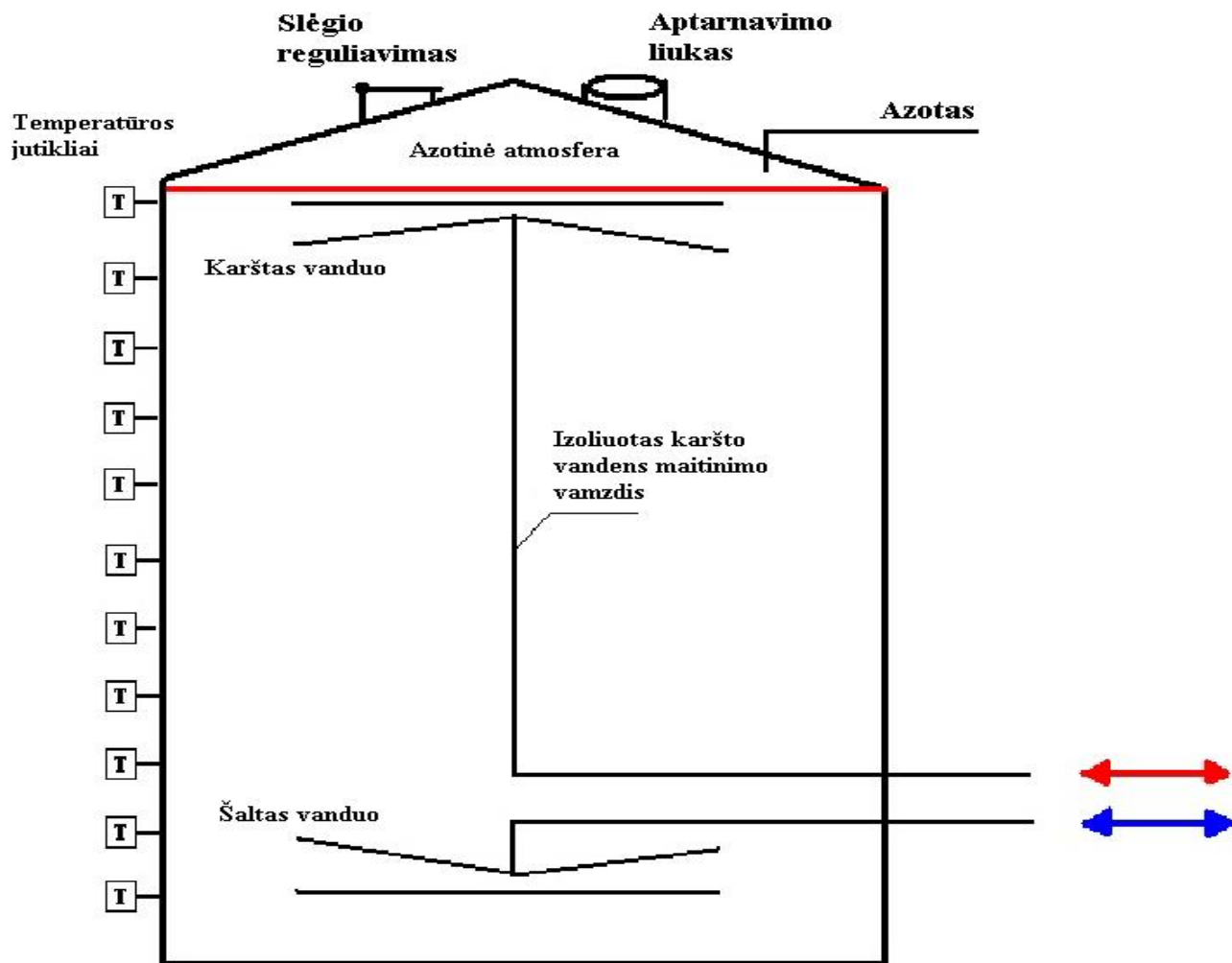


8 pav. Horizontali šilumos akumuliacijos talpa, įrengta šiltnaminių aptarnavimui skirtoje kogeneracinėje sistemoje [9].

Norint pasiekti maksimalią šiluminę talpą, temperatūrų skirtumas tarp akumuliatoriaus viršaus ir apačios turėtų būti kuo didesnis, o besimaišančio vandens sluoksnio storis – kuo mažesnis. Tai gali būti pasiekta [9]:

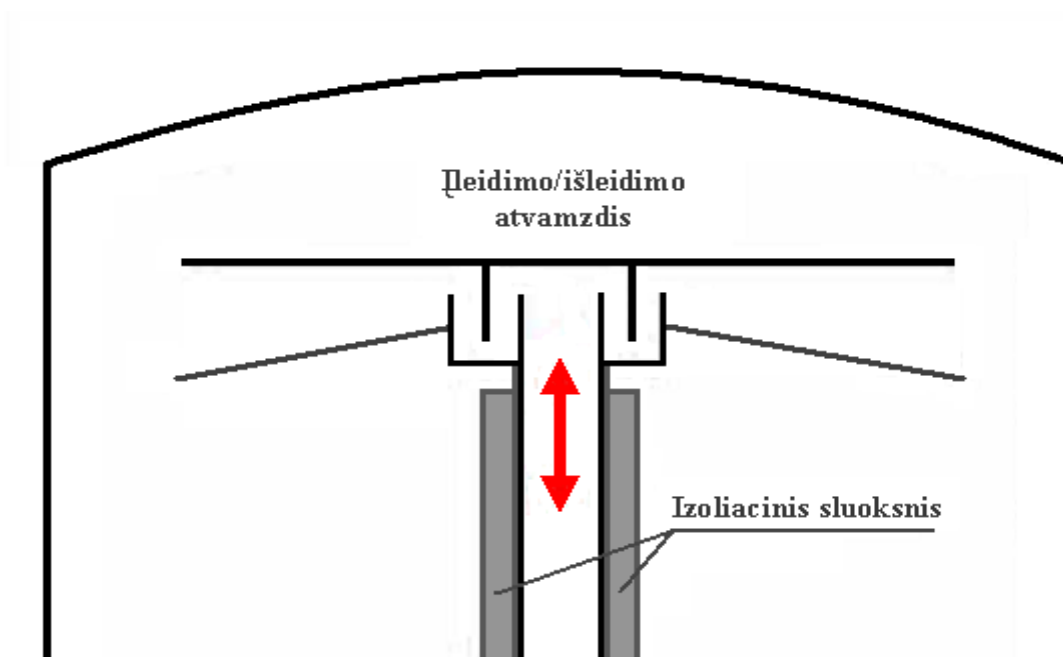
- gaunant žemą, iš tinklo grįžtančio, vandens temperatūrą;
- turint aukštą, tiekiamo į talpą, vandens temperatūrą;
- užtikrinant kuo mažesnę maišymąsi talpos tūryje.

Esant dideliam šilumos kaupimo poreikiui, dažniausiai naudojamos vertikalios akumuliacijos talpos, į kurias karštas vanduo paduodamas pro centrinį, talpos viduje esantį, vamzdį (8 pav.).



9 pav. Vertikalios šilumos akumuliacijos talpos su centriniu vamzdžiu veikimo principas [9].

Tokios konstrukcijos sistemoje, skirtingų temperatūrų fluideo maišymosi išvengiama kruopščiai parinkus bei suprojektavus įleidimo ir išleidimo vamzdžius. Jie turėtų būti sumontuoti taip, kad vanduo šilumos akumuliatorių krautų ar iškrautų kuo simetriškesne bei ramesne srove [9]. Pateiktame 10 paveiksle pavaizduota tokį tekėjimo režimą užtikrinanti konstrukcija.



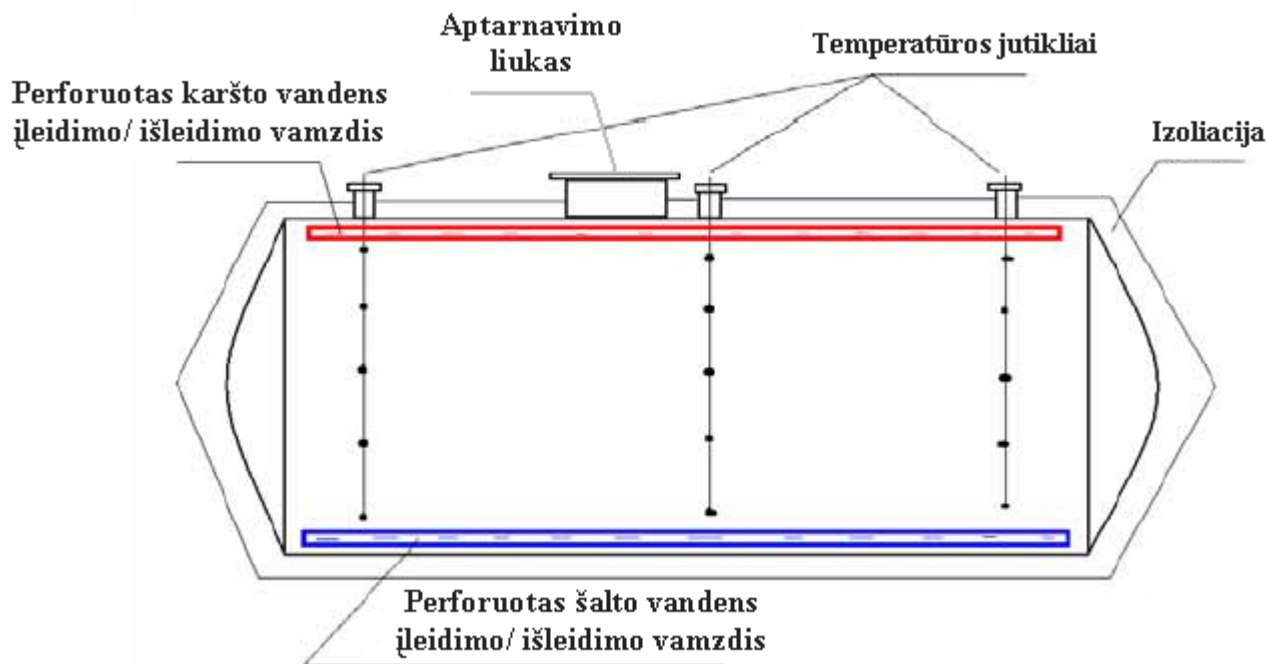
10 pav. Karšto vandens įleidimo/išleidimo atvamzdžio koncepcija vertikalioje šilumos akumuliacinio talpoje [9]

Vengiant šilumos nuostolių pro įėjimo ir išėjimo vamzdžių sujungimus, pastarieji yra įrengiami šalto vandens zonoje, tai yra talpos apačioje. Kadangi tokiu atveju vanduo į talpą teka pro šalto vandens sluoksniuose esantį centrinį vamzdį, jis turi būti izoliuotas taip, kad ties vamzdžio sienelėmis nevyktų šilumos mainai, sukeliantys bereikalingą šiluminių sluoksnių turbulenciją.

Jeigu šilumos akumuliacinio talpa yra montuojama horizontalioje padėtyje, tuomet prie įleidimo ir išleidimo atvamzdžių prijungiami perforuoti vamzdžiai (su pailgomis išpjovomis arba angomis), kaip parodyta 11 paveiksle. Tokių objektų realaus darbo pavyzdžiai bei matavimų programos [9] įrodo, jog horizontalioms talpoms šiuo principu tiekiant ir iš jų paimant vandenį, karštų ir vėsių sluoksnių intensyvaus maišymosi taip pat yra išvengiama.

Tuo atveju, kai talpoje atsiranda žymus skirtingų sluoksnių maišymasis, karšto išleidimo vandens temperatūra tampa per žema vartojimo tinklui, o apačioje esantis vėsus vanduo – “per karštas” šilumos gamintojų įrenginiams aušinti. Tai dažnai sukelia problemų tuo atveju, kai kogeneracijai yra naudojami vidaus degimo varikliai. Katilams bei dujų turbinoms nereikia atskiro aušinimo, todėl tokio “per karšto” vandens papildoma šiluma yra sunaudojama garo ciklo metu. Dėl

šios priežasties, katilai dujų turbinos temperatūrinių sluoksnių maišymąsi talpoje “išvalo” kur kas geriau nei vidaus degimo šiluminės mašinos.



11 pav. Principinė horizontalios cilindrinės šilumos akumuliacijos talpos schema [9].

Kai kogeneracinėje jėgainėje yra montuojamos kelios šilumos akumuliacijos talpos, jos gali būti sujungiamos lygiagrečiai arba nuosekliai. Talpų jungimo būdai yra tokie patys tiek vertikalioms, tiek horizontalioms talpoms. Kaip jau buvo minėta, talpų tipo, pagal geometriją, pasirinkimas priklauso nuo galiojančių statybos reglamentų ir norimo galingumo – didelėms talpoms renkamos tik vertikalios variantas dėl aukščiau minėtų šiluminių nuostolių.

Lygiagrečioje šilumos talpų sistemoje, vandens srautas yra tolygiai paskirstomas tarp atskirų talpų, tad sumažėjęs įkrovimo ir iškrovimo vandens greitis sukelia mažesnę skirtingos temperatūros sluoksnių konvekciją – sumažinamas maišymosi sluoksnio storis.

Jungiant talpas nuosekliai, vandens greitis tokioje sistemoje yra didesnis, lyginant su adekvataus našumo lygiagrečia talpų sistema. Nuoseklios sistemos vienas didesnių privalumų yra tai, jog karštas bei šaltas vanduo maišosi tik viename konvekciniame sluoksnyje.



12 pav. Dviejų šilumos akumuliacijos talpų sistema, įrengta dujas deginančioje kogeneracinėje jėgainėje [9]

Pagal atliktus matavimus šilumos talpų sistemose bei jų darbo rezultatų analizę[2], galima tvirtinti, jog nuoseklus talpų jungimo būdas yra daug pranašesnis už lygiagrečiųjų. Praktikoje yra pakankamai sudėtinga įrengti visiškai lygiagrečiai veikiančią sistemą. Todėl, po tam tikro sistemos darbo periodo, šilumos maišymosi sluoksnių lygiai tampa skirtingi ir sistemos šiluminė talpa pradeda mažėti. Tokiu atveju jau reikalinga papildoma automatizuotos valdymo sistemos operacija, leidžianti grąžinti maišymosi sluoksnių lygius į tą patį aukštį.

Šiluminių nuostolių mažinimui pro talpos sienes paprastai pasirenkamas 150-200 mm storio mineralinės vatos izoliacijos sluoksnis.

Rezervuaro šiluminė talpa tūrio vienetui gali būti labai padidinta, išnaudojant fazinio virsmo energiją, tačiau 2007-iais metais šilumos akumuliacijos talpų rinkai dar nebuvo pristatyta medžiaga su

pakankamai aukštu lydimosi tašku.



13 pav. Dviejų šilumos akumuliacijos talpų sistema, įrengta dujas deginančioje kogeneracinėje jėgainėje [8].

13 paveiksle pateikiamas talpos-akumuliatoriaus architektūrinis sprendimas rodo, kad tinkamai suprojektuota ŠAT ne tik negadina kogeneracinės jėgainės išvaizdos, bet gali tapti natūraliai įsiliejančiu ir išorinį jos apipavidalinimą papildančiu akcentu.

Literatūros analizė parodė, kad vakarų Europoje jau yra nemažai jėgainių, kuriose eksploatuojamos akumuliacinės talpos (1 lentelė).

1 lentelė. Europos miestų jėgainės ir ŠAT dydis juose

Eil. Nr.	CHP pavadinimas	Įrengta galia		Akumuliacija			Tinklo poreikis, MWh/metų	Investuota, EUR
		Elektros, MWe	Šilumos, MW	Tūris, m ³	Talpa, MWh	τ , h		
.	Avedore	250 560	330 520	22000 22000	2222	2,6	7800000	5500000
.	Fyn	285 400	325 450	73000	3750	4,8	2.1E+07	5500000

Eil. Nr.	CHP pavadinimas	Elektros, MW	Šilumos, MW	Tūris, m ³	Talpa, MWh	τ , h	Tinklo poreikis, MWh/metus	Investuota, EUR
.	Maribo-saks.	9,8	20,2	6000	316	15,6	555555	550500
	Asnes	125	100	20000	833	3,3	250000	3000000
		640	150					
	Maabjerg	28	67	5000	250	3,7	442500	
	Viborg	57	56	20000	1000	17,8	289425	
	Haslev	5	13	3500	175	3,7	63333	
	Masnedo	9	23	5000	174,2	7,5	98889	
	Ringkobing	2,3	7,5	2500	125	16,6	42080	
	Skagen	4,3	5,4	4750	250	46,2	72000	
	Hvide Sande	3,8	4,9	2000	130	26,5	41100	
	DTU	39	31	7000	243,9	7,9		
	Helsingor	60	60	16000	557,23	9,3		
	Hillerod	77	78	16000	557,23	7,1		
	Hundested	3,4	4,6	750	26,11	5,6		
	Naestved	38	49	6000	208	4,2		
	Ringsted	11	13,2	3400	118,3	8,9		
	Slagelse	12	28	3500	121,9	4,3		
	Helsinge	6	7,6	1350	46,9	10,1		
	Praesto	5,6	6,2	1050	36,7	5,91		
	Soro	5,6	6,2	1050	36,7	5,91		
	Vejen	2,5	9,0	1500	52,2	5,8		
	Herning	89	174	35000	1219	7,0		
	Horsens	35	43	8000	278,6	6,4		
	Amagen	438	747	23000	1150	1,5		

Kaip matyti (1 lent.), Vakarų Europos miestų CŠT sistemose, jau eksploatuojamos kogeneracinės jėgainės yra su akumuliacinėmis talpyklomis.

2.3. ŠAT taikymas šilumos tiekimo svyravimams balansuoti

Šiluminės galios trumpalaikiai svyravimai jėgainėse dabartiniu metu paprastai padengiami reguliuojant elektrinėje eksploatuojamais vandens šildymo katilais, įjungiant reikiamą jų kiekį, kai svyravimai išeina iš reguliavimo diapazono ribų. Pagal savo konstrukcines ir eksploatacines savybes

vandens šildymo katilai (VŠK) nėra pritaikyti trumpalaikiam (kelių valandų) darbui su dažnais stabdymo ir paleidimo režimais. Pagrindinės priežastys ir pasekmės:

- katilų ekraniniai vamzdžiai nevientisi, degikliai su mūrinėmis ambrazūromis, daug papildomų ir konstrukcinių elementų katilo konvekciniame dalyje, todėl užkūrus katilą reikia daug šiluminės energijos, kad visa tai įšildyti iki darbinės būklės;
- sustabdžius katilą, reikia jį aušinti, o šilumą „išteka“ per kaminą;
- laikant katilą budėjimo režime, per jį cirkuliuojant termofikaciniam vandeniui, nuo vidinių paviršių sklindanti šiluma „išteka“ per kaminus, nes jų didelė trauka, o sandarumą užtikrinančių įrenginių nėra;
- dalis katilų leidžiama ir stabdoma rankiniu būdu;
- dirbant minimalia šilumine galia, per katilą reikia recirkuliuoti didelį termofikacinio vandens debitą;
- šylant ir vėstant katilams, dėl temperatūrinio plėtimosi trūkinėja sienos, vamzdynų įvadai ir todėl didėja perteklinio oro prisiurbimai, ir krenta naudingumo koeficientas.

Šios ir kitos priežastys didina katilinių darbo sąnaudas ir trumpina vandens šildymo katilų darbo resursą dirbant dažno stabdymo ir paleidimo režimu. Viena iš labiausiai paplitusių techninių priemonių trumpalaikiams šilumos vartojimo pikams dengti yra šilumos akumuliacijos sistemos. Iš jų plačiausiai paplitę talpos-akumuliatoriai, kuriuose kaupiamas karštas vanduo, kai yra šiluminės galios perteklius ir paimamas į sistemą, kai poreikis viršija dirbančių įrenginių galią, kad nereikėtų jungti papildomų šilumos generavimo įrenginių.

ŠAT populiarumą lemia tai, kad talpose sukaupiamas termofikacinis vanduo ir atitinkamas šilumos kiekis gali būti panaudojamas ne tik šilumos vartojimo pikams dengti, bet ir spręsti įvairius kitus technologinius uždavinius. Talpos akumuliatoriai plačiai naudojami Skandinavijos šalyse, kur kogeneracinės jėgainės dirba komplekse su centralizuoto šilumos tiekimo sistemomis. Pagrindinės funkcijos, kurias atlieka tokios ŠAT sistemos:

- padengia šilumos vartojimo pikus, nejungiant papildomų šilumos generavimo įrenginių;
- pagerina dirbančių katilų charakteristikas, koreguojant jų reguliacinius režimus;

- sumažina bendrą katilinės instaliuotos galios dydį;
- sprendžia pikinio gamtinių dujų vartojimo ir dujotiekio pralaidumo problemas;
- bakai-akumulatoriai gali būti naudojami statiniam slėgiui vamzdynuose palaikyti;
- sukauptas bakuose paruoštas vanduo gali būti naudojamas tinklų papildymui, ypač avarinių plyšimų atvejais;
- ŠAT leidžia visiškai išjungti katilus minimalaus apkrovimo laikotarpiais (pavyzdžiui, vasaros savaitgaliui);
- plačiausiai ŠAT naudojami pikinės elektros gamybai;
- dideli bakai-akumulatoriai, naudojami regioninių elektros sistemų reguliavimo ir akumuliavimo režiminėms charakteristikoms gerinti.

Šilumos akumuliavimo ir šilumos atidavimo procesai yra įjungiami, pakeičiant termofikacinio vandens tekėjimo per ŠAT kryptį. Tai leidžia labai operatyviai keisti režimus ir gauti norimą rezultatą. Du svarbiausi parametrai lemia techninius sprendimus: reikalingas akumuliavimui šilumos kiekis ir momentinė šilumos atidavimo galia.

Kadangi ŠAT tūris yra gana didelis, viršutinėje ŠAT dalyje dėl talpos mechaninio atsparumo negali būti palaikomas didelis slėgis. Termofikacinio vandens apsaugai nuo kontakto su atmosferos oru numatoma garo pagalvė, palaikant perteklinį slėgį virš vandens $0.2 \div 0.5$ bar. Garo slėgis reguliuojamas vožtuvu ŠAT-5. Nesant elektrinėje garo ($1 \div 2$ savaitės per metus), vandens apsaugai nuo sąlyčio su oru gali būti numatytas mažo našumo garo generatorius arba katilas, dirbantis skystu ar dujiniu kuru arba elektrinis. Taip pat gali būti panaudotas alternatyvus variantas – sandarinimo sluoksnio suformavimas specialiais skystais hermetikais.

Palaikant talpoje perteklinį slėgį $0.2 \div 0.5$ bar, reikia riboti vandens viršutinėje talpos dalyje temperatūrą – ji negali pasiekti vandens virimo temperatūros, esant palaikomam slėgiui. Padidėjus vandens temperatūrai virš nustatytos leistinos, siurblio pagalba iš šalto vandens zonos (talpos apatinės dalies) į viršų paduodamas šaltas vanduo, kuris sumažina vandens temperatūrą viršutinėje dalyje ir apsaugo viršutinį vandens sluoksnį nuo užvirimo. Siurblys įsijungia/išsijungia pagal vandens temperatūros daviklius, įrengtus viršutinėje talpos dalyje.

Įkrovimas prasideda, kai dirbant vandens šildymo katilams, pradeda mažėti į tinklus atiduodamos šilumos poreikis. Palaikant į tinklus paduodamo termofikacinio vandens temperatūrą pagal temperatūrinį šildymo grafiką, paduodamo vandens temperatūra lieka pastovi, o mažėjant

vartotojų šilumos poreikiui, pradeda mažėti tinkluose cirkuliuojančio termofikacinio vandens debitas – didėja į tinklus paduodamo vandens slėgis. Kadangi cirkuliaciniai tinklo siurbliai dirba palaikydami užduotą į tinklus paduodamo vandens slėgį, pradeda mažėti debitas. Todėl tuo metu, nemažinant dirbančių katilų apkrovimo, pilnai atidaromas reguliatorius, o pamažu atidarant reguliatorius termofikacinis vanduo po katilų paduodamas į ŠAT viršutinę dalį, o tuo pačiu iš apatinės dalies grąžinamas į katilus. Jei po VŠK vandens temperatūra didesnė negu užduota maksimali ŠAT viršutinėje dalyje, tai reguliatoriumi, esančiu po cirkuliacinių tinklo siurblių, į ŠAT padavimo liniją pamaišoma iš ŠAT ir miesto tinklų grįžtančio šalto vandens. Kartu su akumuliacine talpa dirbama ir į miesto tinklus, užtikrinant vartotojų šilumos poreikius. ŠAT apatinėje dalyje vandens temperatūrai pasiekus paduodamo į ŠAT vandens temperatūrą, įkrovimo procesas stabdomas. Esant reikalui pradedamas mažinti VŠK apkrovimas. Tačiau pakankamai tiksliai parinkus ŠAT tūrį ir atitinkamai sumodeliavus katilų darbą, katilų stabdyti nereikia – prasideda šilumos vartojimo padidėjimas ir daugiau šilumos atiduodama į tinklus.

Padidėjus poreikiui vartotojams šiluma tiekama iš ŠAT. Padidėjus vartotojams tiekiamos šilumos poreikiui, padidėja į trasas paduodamo termofikacinio vandens debitas ir tuo pačiu padavimo magistralėse krenta slėgis. Cirkuliaciniai tinklo siurbliai didindami debitą stengiasi užtikrinti slėgį. Kadangi didėjant debitui nepakanka dirbančių katilų galios ir kyla pavojus neužtikrinti temperatūrinio grafiko, šilumos tiekimas vykdomas iš ŠAT: pilnai uždaroma armatūra, kartu atidaromi reguliatoriai ir ŠAT iškrovimo siurblių pagalba karštas termofikacinis vanduo tiekiamas iš talpos į tinklus. Jei talpoje sukaupto vandens temperatūra per žema, temperatūrinio grafiko palaikymui daugiau pamaišoma vandens po katilų. Iš talpos dirbama tol, kol sumažėja šilumos poreikis tiek, kad jį patenkintų baziniu apkrovimu dirbantys katilai.

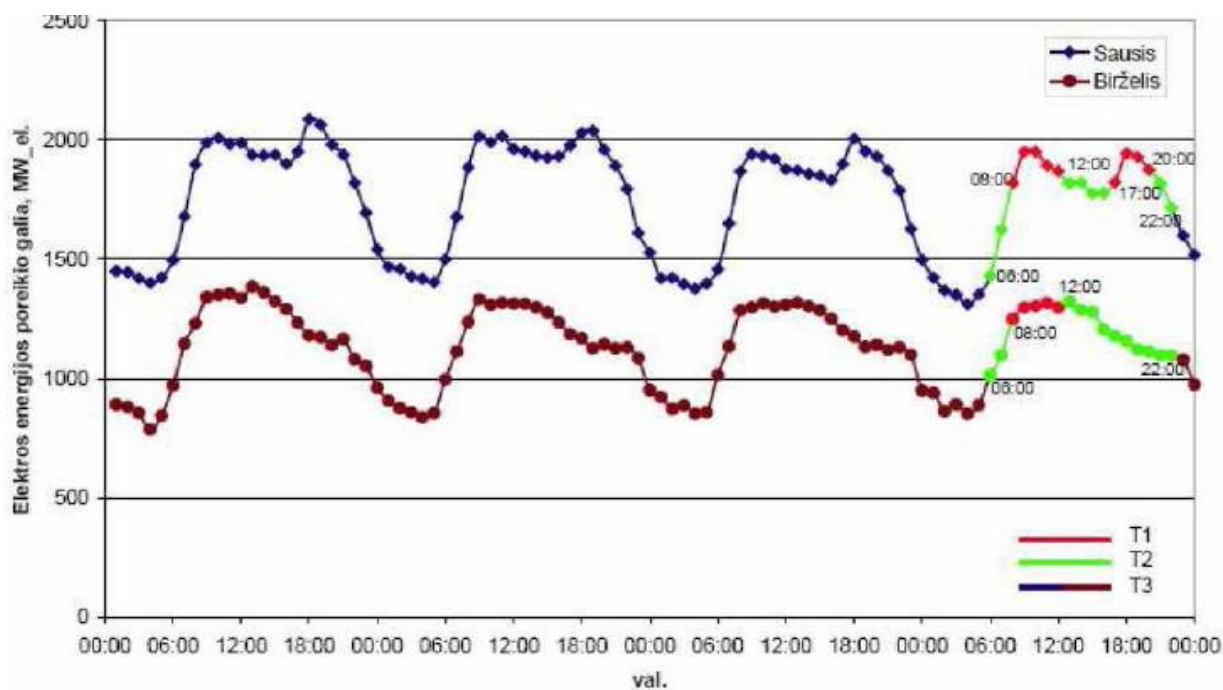
2.4. ŠAT pritaikymas pikinės elektros generavimui

Šilumos poreikio pikai būna du: nuo 5.00 iki 9.00 ir nuo 18.00 iki 00.00. Kaip matome iš žemiau pateikto 13 pav., elektros energijos poreikio pikai yra tarp 7.00 – 12.00 ir 16.30 – 22.00. Gaminant abiejų elektros pikų energiją, šilumos akumuliacinė talpa būtų įkraunama, o vakariniam bei rytiniam šilumos pikams dengti ji būtų iškraunama, nejungiant elektrinės pikinį vandens šildymo katilų. Toks režimas reikalautų didelio talpos tūrio, jei būtų norima didžiąją rytinės pikinės elektros

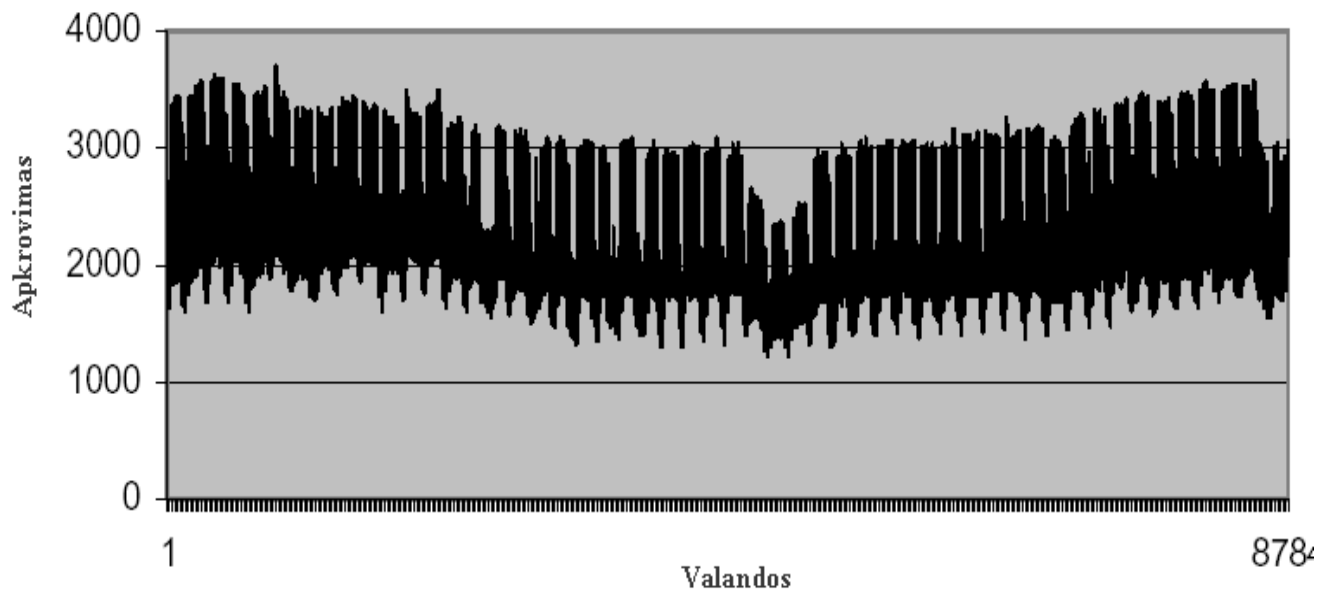
energijos gamybos metu gautą šilumos energiją panaudoti vakariniam ir rytiniam šilumos piko dengimui.

Sunku prognozuoti pikinės elektros kainas liberalizuotoje elektros rinkoje, tačiau svarbu prognozuoti pikinės elektros energijos poreikį, kuris yra pirmas indikatorius techniniams ir ekonominiams sprendimams daryti (14 pav.). 14. pav. pateikti 2007 m. trijų didžiausio elektros vartojimo parų ir atitinkamai mažiausio vartojimo valandiniai grafikai. Galios skirtumai paroje tarp minimalaus ir maksimalaus poreikio gana stabilūs ir vasarą siekia apie 500 MW, o žiemą 700 MW. Rodiklis A tiek vasarą tiek ir žiemą svyruoja apie 40%.

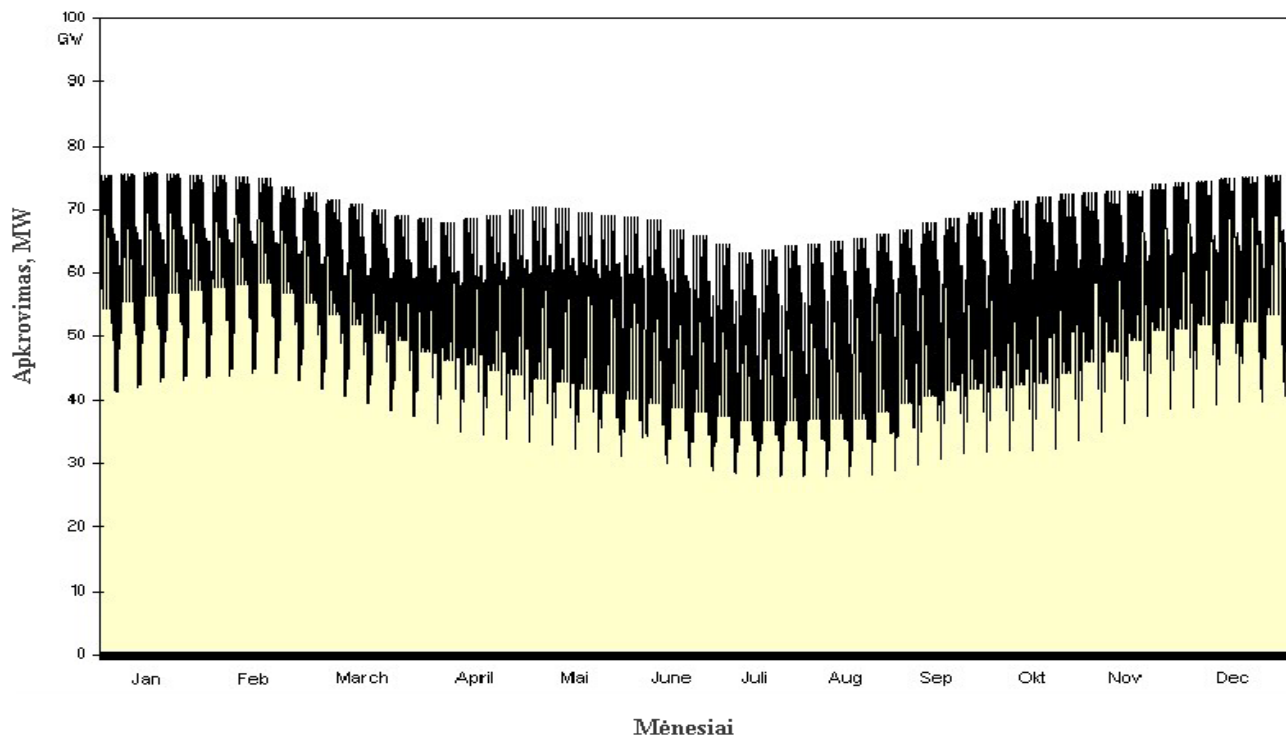
Planuojant tolimesnės perspektyvos pikinės elektros poreikius galima pasiremti labiau ekonomiškai pažengusių šalių analogiškais duomenimis. 15 pav. Danijos elektros rinkos duomenys rodo, kad galios svyravimai paroje siekia 1500 MW, o rodiklis A artimas 65 %. Dar didesni elektros vartojimo svyravimai yra Vokietijoje ir Lenkijoje (16, 17 pav.). Tai indikuoja, kad jeigu atsirastų elektros perdavimo tiltai į Lenkiją (Vokietiją), į Švediją (Daniją) pikinės elektros paklausa Skandinavijos-Baltijos šalių rinkoje bus didelė ir poreikis tik augs. Stambios termofikacinės elektrinės, galinčios patiekti didelius ir lyginant su kondensacinėmis šiluminėmis elektrinėmis pigius pikinės elektros kiekius turės komercinį pranašumą elektros rinkoje.



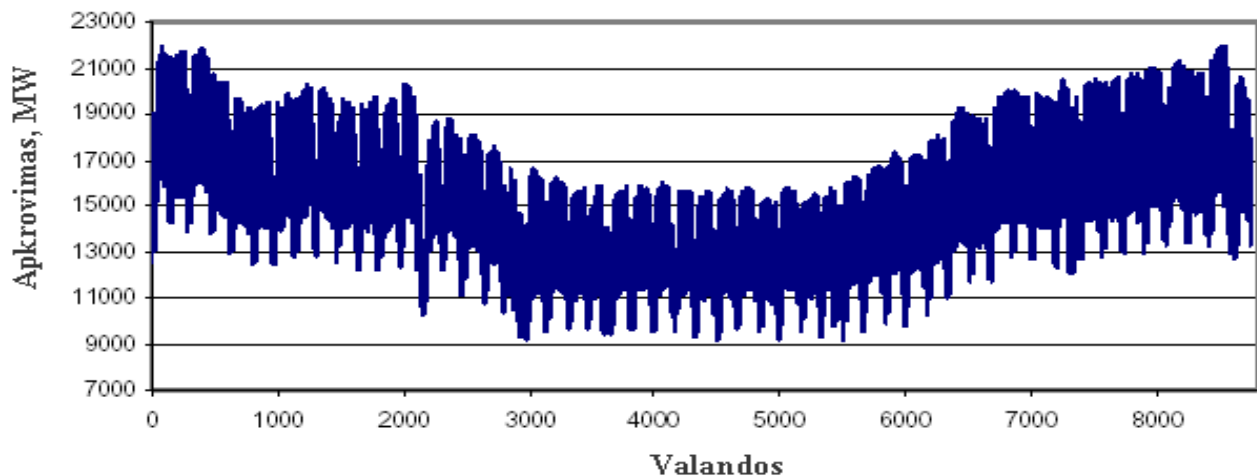
14 pav. Tipinės elektros energijos paros poreikio ir galimo diferencijuoto elektros energijos supirkimo mechanizmo realizavimas.



15 pav. 2004 m. Danijos elektros energijos suvartojamo galingumo valandinis kitimas, MW [3].



16 pav. 1996 m. Vokietijos elektros energijos suvartojamo galingumo valandinis kitimas [3].

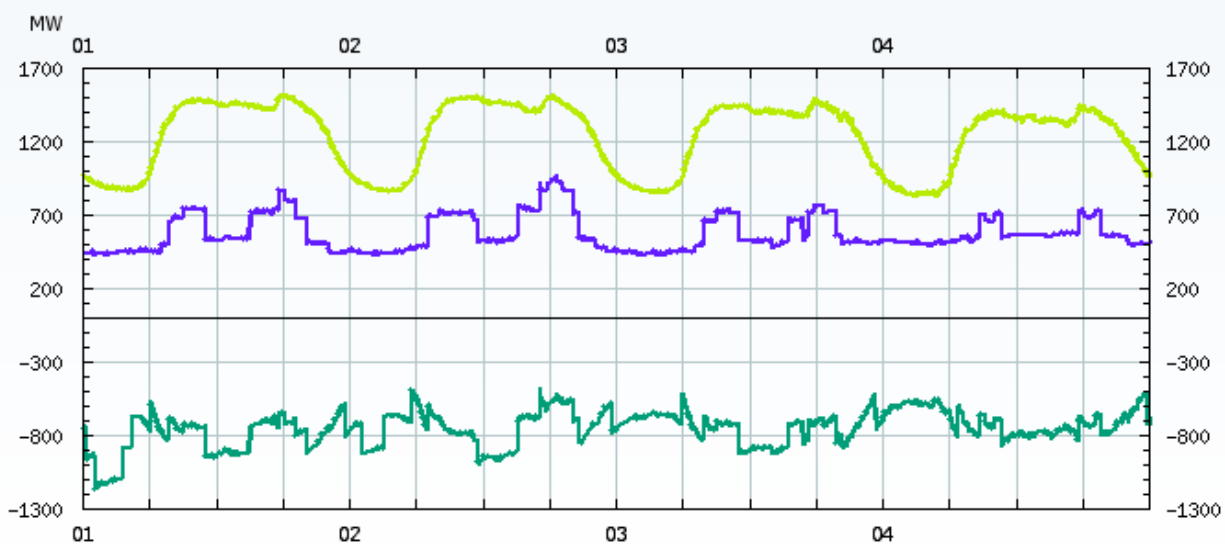
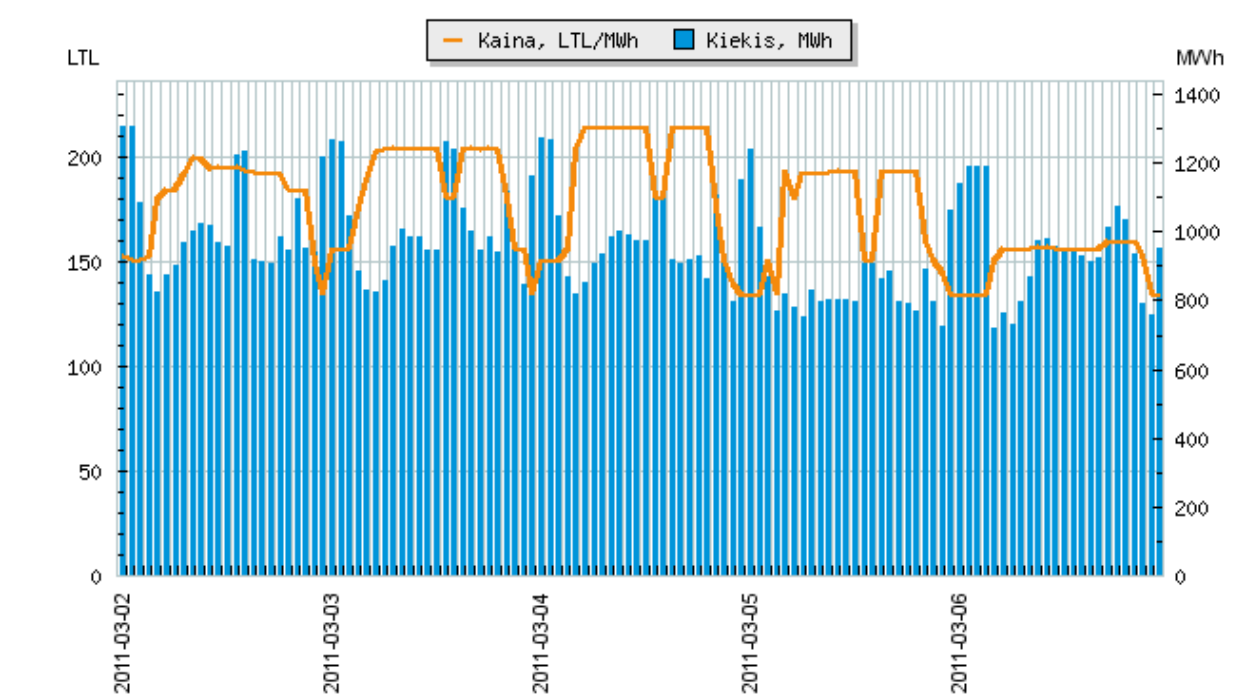


17 pav. 2002 m. Lenkijos elektros energijos suvartojamo galingumo valandinis kitimas [3].

Pikinė elektros gamyba kogeneracinėse jėgainėse turi privalumą prieš kondensacines šiluminės elektrines (AB „Lietuvos elektrinė“ pagrindinis elektros generatorius, uždarius Ignalinos AE), tik tuo atveju jeigu jos generavimo metu šiluma neišmetama į aplinką, bet panaudojama termofikacinio vandens šildymui.

Pagal dabartinę situaciją Vilniuje, gaminant elektros energiją visu galingumu susidarytų iki 704 MW „termofikacinės“ šilumos iš abiejų elektrinių garo katilų. Tokį kiekį į tinklus be akumuliacijos galima tiekti 70-90 dienų per metus. Visu kitu laiku šilumos perteklių elektros piko metu reikia „pasidėti“ į talpą ir iškrauti į šilumos tinklus iki kito pikinės elektros generavimo laikotarpio. Šiuo požiūriu ŠAT yra patogus instrumentas, kadangi elektros pikai būna dieną, o šilumos vartojimo pikai anksti ryte ir vėlai vakare – tai yra nesutampa laike. Analogiška situacija yra susiklosčiusi ir Kauno mieste. Esant pastatytai Panevėžyje, statant kogeneracines jėgaines Šiauliuose, Alytuje, papildoma Marijampolėje, Utenoje visi šie miestai susidurs su panašiomis problemomis, kai negalės per parą po keletą valandų atiduoti visos atleidžiamos šiluminės energijos, nes jos niekas negalės suvartoti.

Šilumos akumuliacijos poreikis, dirbant jėgainėms įvairiais režimais, yra skirtingas. Jo nustatymas yra optimalaus tūrio talpyklos skaičiavimo rezultatas. Technologinė ŠAT prijungimo schema leidžia paprastai perjungti vandens (tuo pačiu šilumos) tekėjimo kryptį ir operatyviai pereiti nuo akumuliacijos režimo į šilumos paėmimo ir priešingai.



18 pav. „Krizės“ metu elektros vartojimo paros grafikai Lietuvoje

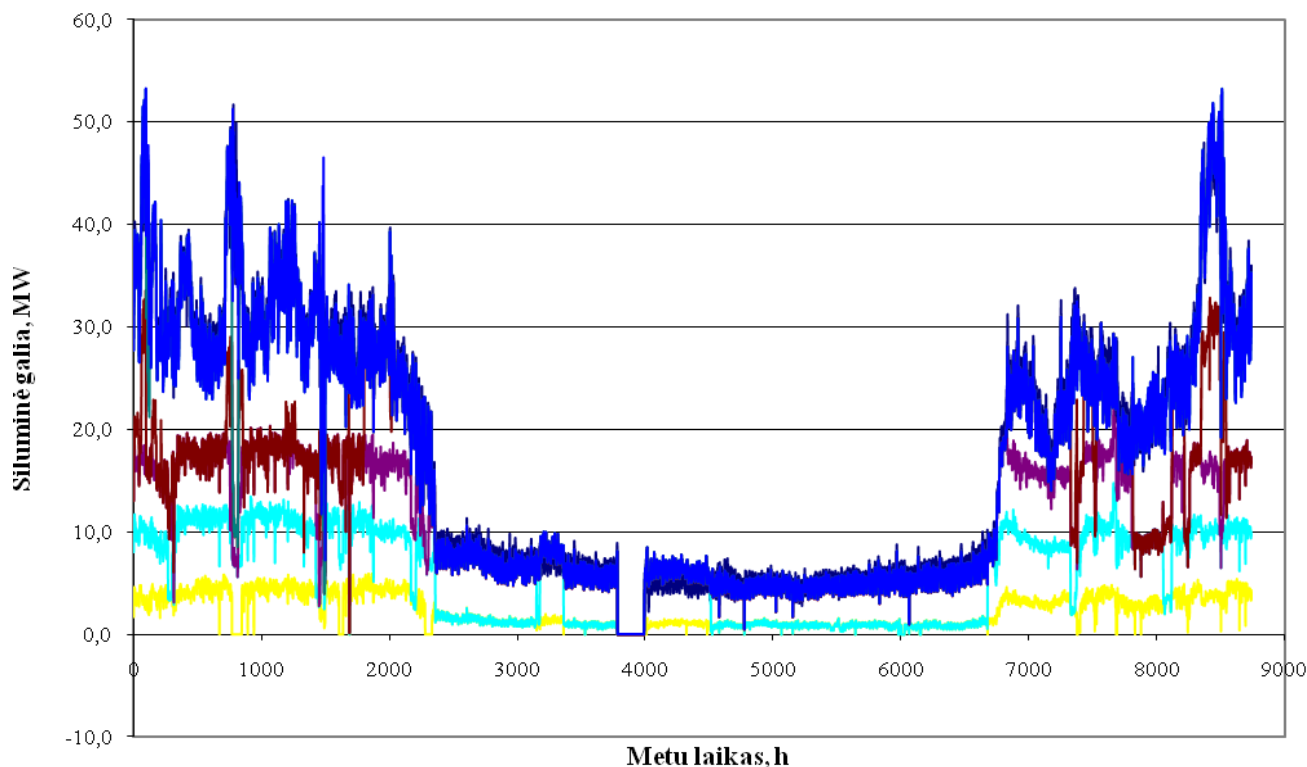
18 pav. pateikti elektros energijos vartojimo Lietuvoje grafikai rodo, kad didžiausias elektros vartojimo pikas žiemos metu yra 8–12 val. bei 17–20 val., o vasarą tarp 12 ir 14 val. Tai atitinka kaimyninių šalių rodiklius. Krizės metu elektros vartojimas per parą sumažėjęs, bet ekonomikai atsigavus, elektros vartojimas turėtų grįžti į prieš krizę buvusį lygį ir bendras elektros vartojimas turėtų augti kartu su ekonomikos augimu. Minėtomis valandomis gaminama elektros energija galėtų būti parduota pikinės elektros rinkoje.

3. TERMOFIKACINĖS JĖGAINĖS DARBO ANALIZĖ

Didžiausias Lietuvoje elektros generavimo šaltinis yra AB „Lietuvos elektrinė“(LE) (instaliuotoji galia 1800 MW elektros ir statomas 440 MW kombinuoto ciklo energoblokas), galinti iš esmės užtikrinti visą energetikos sistemos dabartinį Lietuvos poreikį. Beveik visa šios elektrinės generuojama elektra gaminama kondensaciniu režimu. Senosios dalies elektros generavimo efektyvumas yra 35–42 %, o naujojo bloko planuojamas apie 52 %. Antrasis pagal dydį elektros generavimo objektas Lietuvoje yra Vilniaus elektrinė (TE). Nors TE kondensaciniu režimu elektrą gamina žymiai mažesniu efektyvumu, tačiau naudingai panaudojus šilumą (termofikacinę) ir pagal alternatyvaus šilumos šaltinio principą atskyrus sąnaudas, elektros energijos savikainos požiūriu turėtų didelį konkurencinį pranašumą prieš LE. Trečias pagal dydį elektros generavimo objektas yra Kauno elektrinė. Paskui rikiuojasi esamos arba statomos kogeneracinės elektrinės didžiuosiuose Lietuvos miestuose šilumos tiekimo įmonėse. Visų šilumos tiekimo įmonių, galinčių reikšmingai prisidėti prie didelio efektyvumo kogeneracinių elektrinių plėtojimo, pagrindiniai plėtros planai turi būti būtent savo infrastruktūros pritaikymui efektyviai veiklai. Elektrinių modernizavimo ir plėtros planai turėtų būti nukreipti maksimaliam termofikacinės elektros kiekiui generuoti.

Didžiųjų miestų elektrinių galimas pagaminti kogeneracinės elektros kiekis tiesiogiai priklauso nuo šilumos poreikio tuose miestuose.

Vilniaus miesto CŠT sistemos poreikius galima suskirstyti į tris būdingus šiluminius laikotarpius. Pirmasis laikotarpis – žiemos, lapkričio-kovo mėnesiai, kai poreikis viršija 400 MW. Šiuo laikotarpiu įjungiami visi TE termofikaciniai įrenginiai. Šį laikotarpį sistemos šilumos poreikis viršija maksimaliai galimą pagaminti kogeneracinės šilumos galią ir, jei sistemos poreikis viršija 700 MW, reikia papildomai įjungti vandens šildymo katilus. Analogiškai galima matyti panašias tendencijas ir vidutinio ar mažo dydžio miestuose. Mažeikiuose pagrindinis žiemos periodo apkrovimas svyruoja ties 25–35 MW. Tik keleta kartų per metus šilumos poreikis perkopia 40 MW ribą, o didžiausią maksimalią šiluminio apkrovimo ribą 50–52 MW pasiekia vos keliolika valandų.



19 pav. Metinis šilumos patiekimas Mažeikių, Utenos, Tauragės ir Šakių miestų

Pereinamasis laikotarpis – balandis ir spalio. Šiuo laiku Vilniaus miesto integruotame CŠT tinkle sistemos poreikis nukrinta žemiau 400 MW, bet būna aukštesnis už 150 MW. Mažeikiuose šiuo periodo metu šilumos poreikis krinta ties 20 MW ir žemiau iki 12 MW. Šiuo laikotarpiu prasideda ir baigiasi šildymo sezonas.

Pasibaigus šildymo sezonui, Vilniaus miesto CŠT poreikis nukrinta iki 150 MW ir žemiau – vasaros laikotarpis – gegužės-rugsėjo mėnesiai. Mažeikiuose vasaros metu šilumos poreikis yra ties 9–7 MW.

3.1. Esama situacija Mažeikių CŠT sistemoje

UAB „Mažeikių šilumos tinklai“ tai centralizuoto šilumos tiekimo įmonė, veikianti Mažeikių rajone. Įmonė vykdo šilumos gamybos, perdavimo ir pardavimo veiklas bei karšto vandens tiekimo funkciją Mažeikių rajono gyventojams, įmonėms bei viešoms įstaigoms.

Įmonė eksploatuoja keturias katilines, o iš jų didžiausia yra Mažeikių rajoninė katilinė (RK). Katilinėje yra 6 šilumos gamybos įrenginiai (2 lentelė) ir kondensacinis ekonomizeris. Bendra

instaliuota katilinės šilumos generavimo įrenginių (ŠGI) galia siekia 138,15 MW, tačiau dėl įrenginių susidėvėjimo faktinė ŠGI galia yra 98,56 MW (žr. 2 Lentelė). Įmonė naudoja kelių rūšių kurą: medienos skiedras (čipsus), mazutą ir gamtines dujas. Mažeikių RK naudojamas rezervinis kuras – mazutas. Maksimalus faktinis šiluminės galios poreikis 2010/2011 metų šildymo sezonu siekė 65 MW, o vasaros laikotarpiu nukrenta iki 5 MW. Per pastaruosius trejus metus į tinklus vidutiniškai įmonė atleisdavo apie 160,58 tūkst. MWh šiluminės energijos. 2010 m., dėl šaltos žiemos, šis rodiklis padidėjo iki 180 GWh.

UAB „Mažeikių šilumos tinklai“, pagal dydį, priklauso antrai šilumos tiekėjų grupei, kartu su Marijampolės, Utenos, Jonavos ir Druskininkų šilumos tiekimo įmonėmis.

2 Lentelė. Mažeikių RK esami šilumos gamybos įrenginiai.

Nr.	ŠGI	Tipas	Kuras	Nominali galia, MW	Faktinė galia, MW
Nr.2	Thermax	VŠK	Dujos/mazutas	16,0	15,82
Nr.3	Komfort AK-8000P	GK	Medžio čipsai	8,0	8,2
Nr.4	DE 25/13	GK	Biokuras	10,0	9,01
Nr.5	Thermax	VŠK	Dujos/mazutas	30,0	26,33
Nr.6	KVGM 50	VŠK	Mazutas	58,15	24,4
Nr.7	DE 25/13	VŠK	Biokuras	10,0	8,80
	Kond. ekonomaizeris	KE		6,00	6,00
Suminė galia:				138,15	98,56

Katilinės teritorijoje stovi du veikiantys dūmų šalinimo įrenginiai: 80 m aukščio, 3 m skersmens mūrinis kaminas bei 35 m aukščio, 1,15 m skersmens plieninis kaminas. Bazinis kaminas yra plieninis (2006 metų statybos), ant kurio dūmų trakto pastatytas 6 MW galios dūmų kondensacinis ekonomaizeris. Prieš kondensacinį ekonomaizerį per kolektorius yra surenkami biokuru ir dujomis kūrenamų katilų dūmai, kurie yra vėsunami grįžtančiu termofikaciniu vandeniu.

Maksimalus vidutinis paros šiluminės galios poreikis 2010 metais buvo 55,1 MW, o minimalus 3,5 MW, tuo tarpu 2009 m. atitinkamai 48 MW ir 3,4 MW.

Kaip matyti iš 19 paveiksle pateiktos informacijos, minimalus vidutinis paros šilumos poreikis vartotojams nešildymo sezono metu sudaro apie 5 MW. Numatant Mažeikių RK įrengti biokurą naudojančią kogeneracinę elektrinę, yra tikslinga įvertinti minimalų šilumos gamybos poreikį Mažeikių RK.

Mažeikių RK dirba dviem režimais: šildymo ir nešildymo laikotarpiais. Nešildymo periodo metu šilumos tiekimas vykdomas tokiais šilumnešio parametrais: paduodamas slėgis (2009 metais) 5,3 bar, (2010 metais) 4,2 bar, temperatūra $\geq 70^{\circ}\text{C}$; grįžtamas slėgis 2009 metais 4,1 bar, 2010 metais apie

3 bar, temperatūra $\geq 40^{\circ}\text{C}$. Tuo tarpu šildymo laikotarpiu paduodamo termofikacinio vandens slėgis būna 6,8 bar, grįžtamo termofikacinio vandens slėgis – apie 3 bar. Šildymo sezono metu paduodamo ir grįžtamo termofikacinio vandens temperatūros tiesiogiai priklauso nuo lauko oro temperatūros. Paduodamo termofikacinio vandens kiekis į tinklus priklauso nuo lauko temperatūros, tačiau bendru atveju šalčiausiu periodu paduodama apie 700÷900 t/val. termofikato, šilčiausiu 150÷300 t/val.

3.2. Termofikacinės jėgainės darbo režimų modeliavimas

Vienas iš galimų šilumos akumuliacijos privalumų yra suvienodinimas šilumos generavimo įrenginių darbas paros, savaitės ar net viso mėnesio laikotarpiu. Modeliuojami galimi darbo režimai, kai įrenginiai dirba pastovia galia kiek įmanoma ilgiau, o akumuliacijos bakas iškraunamas per 3 paras. Tokio darbo režimo esmė yra ta, jog pastovus įrenginių darbas tokia pačia galia yra daug efektyvesnis ir pailginantis įrenginių darbo resursą. Šio modeliavimo esmė – kuo rečiau keisti įrenginių galią ir dirbti kuo pastovesniu režimu. Modeliuojant kiekvienas mėnėsis yra suskaidomas į 3 parų periodus. Periodo esmė – per jį bake esantis šilumos kiekis turi pasikeisti bent vieną kartą arba turi būti visiškai iškrautas. Tolesniuose modeliavimuose yra įvertinta:

- pirmasis šilumos generavimo įrenginys (ŠGĮ) yra biokogeneracinė elektrinė 16 MW šiluminės galios,
- antrasis ŠGĮ yra biokogeneracinė elektrinė 20 MW šiluminės galios,
- trečiasis ŠGĮ yra vandens šildymo katilas (dujinis) 15 MW,
- ketvirtasis ŠGĮ yra vandens šildymo katilas (dujinis) 5 MW.
- Šilumos akumuliacijos talpa yra neribotos talpos (nustatinėjamas jos tūris).

Dirbant pastoviu režimu, yra planuojama gamyba pagal prognozuojamą išorės lauko oro temperatūrą. Prognozuojant išorės temperatūrą (jei yra laukiamas staigus atšalimas ilgesniam laiko tarpui) įrenginių galia yra padidinama, jei prognozuojamas atšalimas trumpam laikotarpiui (vienai parai, nakčiai, ar keliolikai valandų). Įrenginių galia didinama labai nedaug arba visiškai nedidinama, nes reikiamą šilumos kiekį bus galima „paimti“ iš šilumos akumuliatoriaus.

3 lentelė. 3 parų periodo skaičiuotė

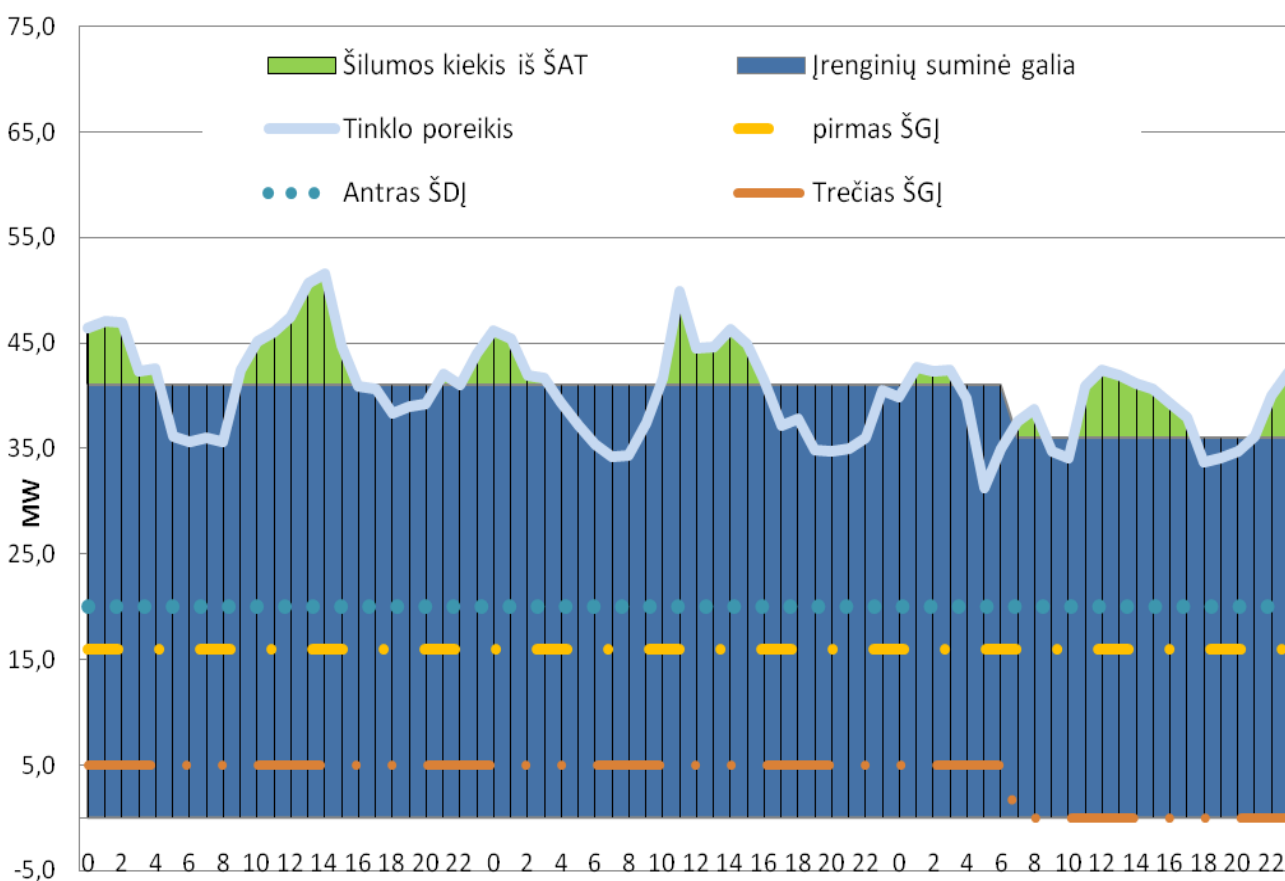
Data, laikas	Tinklo Valandinis šilumos poreikis	Vidutinė paros galia, MW	Maksimali paros galia, MW	Minimali paros galia, MW	Darbo galia	Iškraut, MW	Iškraut, MW	Pirmas ŠGI	Antras ŠGI	Trečias ŠGI	Ketvirtas ŠGI	Suminė galia, MW	ŠAT galia, MW	Esantis talpoje šilumos kiekis, MWh
2008.02.02 00:00:00.000	46,4	42,6	51,6	35,6	41	0	5,4	16	20	5	0	41	-5,4	76,8
2009.02.02 01:00:00.000	47,0				41	0	6	16	20	5	0	41	-6,0	70,8
2008.02.02 02:00:00.000	46,9				41	0	5,9	16	20	5	0	41	-5,9	64,9
2008.02.02 03:00:00.000	42,3				41	0	1,3	16	20	5	0	41	-1,3	63,6
2008.02.02 04:00:00.000	42,6				41	0	1,6	16	20	5	0	41	-1,6	62,0
2008.02.02 05:00:00.000	36,2				41	4,8	0	16	20	5	0	41	4,8	66,8
2008.02.02 06:00:00.000	35,6				41	5,4	0	16	20	5	0	41	5,4	72,2
2008.02.02 07:00:00.000	36,0				41	5	0	16	20	5	0	41	5,0	77,2
2008.02.02 08:00:00.000	35,6				41	5,4	0	16	20	5	0	41	5,4	82,6
2008.02.02 09:00:00.000	42,4				41	0	1,4	16	20	5	0	41	-1,4	81,2
2008.02.02 10:00:00.000	45,1				41	0	4,1	16	20	5	0	41	-4,1	77,1
2008.02.02 11:00:00.000	46,0				41	0	5	16	20	5	0	41	-5,0	72,1
2008.02.02 12:00:00.000	47,4				41	0	6,4	16	20	5	0	41	-6,4	65,7
2008.02.02 13:00:00.000	50,6				41	0	9,6	16	20	5	0	41	-9,6	56,1
2008.02.02 14:00:00.000	51,6				41	0	10,6	16	20	5	0	41	-10,6	45,5
2008.02.02 15:00:00.000	44,8				41	0	3,8	16	20	5	0	41	-3,8	41,7
2008.02.02 16:00:00.000	40,9				41	0,1	0	16	20	5	0	41	0,1	41,8
2008.02.02 17:00:00.000	40,7				41	0,3	0	16	20	5	0	41	0,3	42,1

Data, laikas	Tinklo Valandinis šilumos poreikis	Vidutinė paros galia, MW	Maksimali paros galia, MW	Minimali paros galia, MW	Darbo galia	Įkraut, MW	Iškraut, MW	Pirmas ŠGĮ	Antras ŠGĮ	Trečias ŠGĮ	Ketvirtas ŠGĮ	Suminė galia, MW	ŠAT galia, MW	Esantis talpoje šilumos kiekis, MWh
2008.02.02 18:00:00.000	38,3				41	2,7	0	16	20	5	0	41	2,7	44,8
2008.02.02 19:00:00.000	39,0				41	2	0	16	20	5	0	41	2,0	46,8
2008.02.02 20:00:00.000	39,2				41	1,8	0	16	20	5	0	41	1,8	48,6
2009.02.02 21:00:00.000	42,0				41	0	1	16	20	5	0	41	-1,0	47,6
2008.02.02 22:00:00.000	41,0				41	0	0	16	20	5	0	41	0,0	47,6
2008.02.02 23:00:00.000	44,0				41	0	3	16	20	5	0	41	-3,0	44,6
2008.02.03 00:00:00.000	46,1	40,1	49,9	34,2	41	0	5,1	16	20	5	0	41	-5,1	39,5
2008.02.03 01:00:00.000	45,4				41	0	4,4	16	20	5	0	41	-4,4	35,1
2008.02.03 02:00:00.000	41,9				41	0	0,9	16	20	5	0	41	-0,9	34,2
2008.02.03 03:00:00.000	41,7				41	0	0,7	16	20	5	0	41	-0,7	33,5
2008.02.03 04:00:00.000	39,4				41	1,6	0	16	20	5	0	41	1,6	35,1
2008.02.03 05:00:00.000	37,2				41	3,8	0	16	20	5	0	41	3,8	38,9
2008.02.03 06:00:00.000	35,4				41	5,6	0	16	20	5	0	41	5,6	44,5
2008.02.03 07:00:00.000	34,2				41	6,8	0	16	20	5	0	41	6,8	51,3
2008.02.03 08:00:00.000	34,3				41	6,7	0	16	20	5	0	41	6,7	58,0
2008.02.03 09:00:00.000	37,4				41	3,6	0	16	20	5	0	41	3,6	61,6
2008.02.03 10:00:00.000	41,7				41	0	0,7	16	20	5	0	41	-0,7	60,9
2008.02.03 11:00:00.000	49,9				41	0	8,9	16	20	5	0	41	-8,9	52,0
2008.02.03	44,5				41	0	3,5	16	20	5	0	41	-3,5	48,5

Data, laikas	Tinklo Valandinis šilumos poreikis	Vidutinė paros galia, MW	Maksimali paros galia, MW	Minimali paros galia, MW	Darbo galia	Iškraut, MW	Iškraut, MW	Pirmas ŠGI	Antras ŠGI	Trečias ŠGI	Ketvirtas ŠGI	Suminė galia, MW	ŠAT galia, MW	Esantis talpoje šilumos kiekis, MWh
12:00:00.000		38,5	42,7	31,3										
2008.02.03 13:00:00.000	44,6				41	0	3,6	16	20	5	0	41	-3,6	44,9
2008.02.03 14:00:00.000	46,3				41	0	5,3	16	20	5	0	41	-5,3	39,6
2008.02.03 15:00:00.000	44,9				41	0	3,9	16	20	5	0	41	-3,9	35,7
2008.02.03 16:00:00.000	41,6				41	0	0,6	16	20	5	0	41	-0,6	35,1
2008.02.03 17:00:00.000	37,2				41	3,8	0	16	20	5	0	41	3,8	38,9
2008.02.03 18:00:00.000	37,8				41	3,2	0	16	20	5	0	41	3,2	42,1
2008.02.03 19:00:00.000	34,8				41	6,2	0	16	20	5	0	41	6,2	48,3
2008.02.03 20:00:00.000	34,7				41	6,3	0	16	20	5	0	41	6,3	54,6
2008.02.03 21:00:00.000	35,0				41	6	0	16	20	5	0	41	6,0	60,6
2008.02.03 22:00:00.000	36,0				41	5	0	16	20	5	0	41	5,0	65,6
2008.02.03 23:00:00.000	40,5				41	0,5	0	16	20	5	0	41	0,5	66,1
2008.02.04 00:00:00.000	39,9	38,5	42,7	31,3	41	1,1	0	16	20	5	0	41	1,1	67,2
2008.02.04 01:00:00.000	42,7				41	0	1,7	16	20	5	0	41	-1,7	65,5
2008.02.04 02:00:00.000	42,3				41	0	1,3	16	20	5	0	41	-1,3	64,2
2008.02.04 03:00:00.000	42,4				41	0	1,4	16	20	5	0	41	-1,4	62,8
2008.02.04 04:00:00.000	39,7				41	1,3	0	16	20	5	0	41	1,3	64,1
2008.02.04 05:00:00.000	31,3				41	9,7	0	16	20	5	0	41	9,7	73,8
2008.02.04 06:00:00.000	35,0				41	6	0	16	20	5	0	41	6,0	79,8

Data, laikas	Tinklo Valandinis šilumos poreikis	Vidutinė paros galia, MW	Maksimali paros galia, MW	Minimali paros galia, MW	Darbo galia	Iškraut, MW	Iškraut, MW	Pirmas ŠGI	Antras ŠGI	Trečias ŠGI	Ketvirtas ŠGI	Suminė galia, MW	ŠAT galia, MW	Esantis talpoje šilumos kiekis, MWh
2008.02.04 07:00:00.000	37,6				36	0	1,6	16	20	0	0	36	-1,6	78,2
2008.02.04 08:00:00.000	38,7				36	0	2,7	16	20	0	0	36	-2,7	75,5
2008.02.04 09:00:00.000	34,7				36	1,3	0	16	20	0	0	36	1,3	76,8
2008.02.04 10:00:00.000	34,1				36	1,9	0	16	20	0	0	36	1,9	78,7
2008.02.04 11:00:00.000	40,9				36	0	4,9	16	20	0	0	36	-4,9	73,8
2008.02.04 12:00:00.000	42,5				36	0	6,5	16	20	0	0	36	-6,5	67,3
2008.02.04 13:00:00.000	41,9				36	0	5,9	16	20	0	0	36	-5,9	61,4
2008.02.04 14:00:00.000	41,2				36	0	5,2	16	20	0	0	36	-5,2	56,2
2008.02.04 15:00:00.000	40,7				36	0	4,7	16	20	0	0	36	-4,7	51,5
2008.02.04 16:00:00.000	39,2				36	0	3,2	16	20	0	0	36	-3,2	48,3
2008.02.04 17:00:00.000	37,9				36	0	1,9	16	20	0	0	36	-1,9	46,4
2008.02.04 18:00:00.000	33,7				36	2,3	0	16	20	0	0	36	2,3	48,7
2008.02.04 19:00:00.000	34,1				36	1,9	0	16	20	0	0	36	1,9	50,6
2008.02.04 20:00:00.000	34,7				36	1,3	0	16	20	0	0	36	1,3	51,9
2008.02.04 21:00:00.000	36,2				36	0	0,2	16	20	0	0	36	-0,2	51,7
2008.02.04 22:00:00.000	40,0				36	0	4	16	20	0	0	36	-4,0	47,7
2008.02.04 23:00:00.000	42,2				36	0	6,2	16	20	0	0	36	-6,2	41,5

Skaiciavimams atlikti sukurta atskira skaičiuotė Microsoft Excel programos pagalba. Skaiciuotė atliekama modeliuojant pagal iš Mažeikių ŠT gautus 2008 metų valandinius poreikius. Modelavimo programa automatiškai parenka, tokias įrenginių galias kurios atitiktų šiuos prioritetus: maksimaliai apkraunama biokogeneracinė jėgainė (16 MW), kadangi CŠT tinklo šiluminis valandinis poreikis svyruoja ties 35-52 MW, antoji biokogeneracinė jėgainė irgi dirba pilnu pajėgumu – 20 MW (jei nebūtų ŠAT sistemos jėgainė dirbtu nepastove galia kas valanda keičiant ją), kadangi pirmas dvi paras vidutinė galia siekia 41 MW, tai trečiasis ŠGI dirba 5 MW gali, sumažėjus tinklo poreikiui trečiasis ŠGI išjungiamas (skaičiuotės duomenys pateikti 3 lent.). Dirbant be ŠAT sistemos tektu arba mažinti kogeneracinių jėgainių galias, kad ištisai galėtų dirbti trečiasis ŠGI, arba ištisai maksimaliai apkrauti kogeneracines jėgaines, o esant didesniai šilumos poreikiui užkurti VŠK ir sumažėjus poreikiui jį vėl užgesinti.

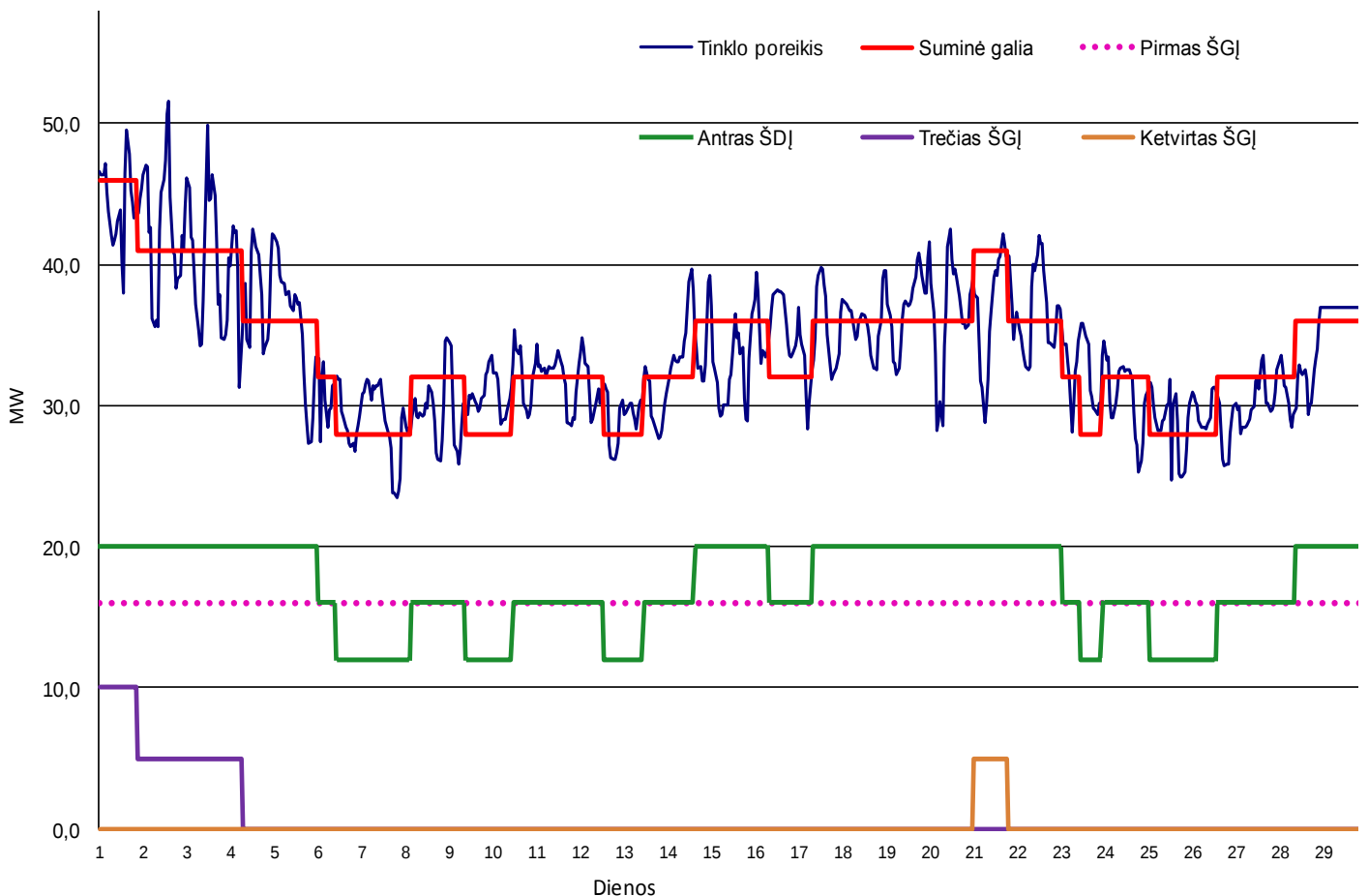


20 pav. Vieno periodo Mažeikių miesto įrenginių darbo režimai ir reikiamas akumuliuot šilumos kiekis

Modeliuojant darbo režimus šiuo aspektu, metų laikas nėra labai reikšmingas, nes visais laikotarpiais maksimalios galios yra pakankamas, o ir svyravimas per parą nėra labai didelis. Gal didesnė išimtis galėtų būti laikotarpis, kai prasideda ir baigiasi šildymo sezonas, nes tuo laikotarpiu yra didžiausias paros svyravimas ir skirtumas tarp skirtingų parų.

Kaip matyti 21 pav., dirbant pastovaus darbo režimu, šilumos generavimo įrenginių galia kinta šuoliais. Pakitus vieno iš ŠGĮ galiai, ji nekeičiama bent 24 valandas. Toks galios kitimas sąlygoja katilų ilgaamžiškumą.

Taip pat palengvina katilinės operatorių darbą ir mažina šilumos nuostolius keičiant katilų galią. Mažeikių CŠT sistemos tinklo šiluminės energijos poreikis vasario mėnesį svyruoja nuo 25 MW mėnesio viduryje iki 51 MW, mėnesio pradžioje.



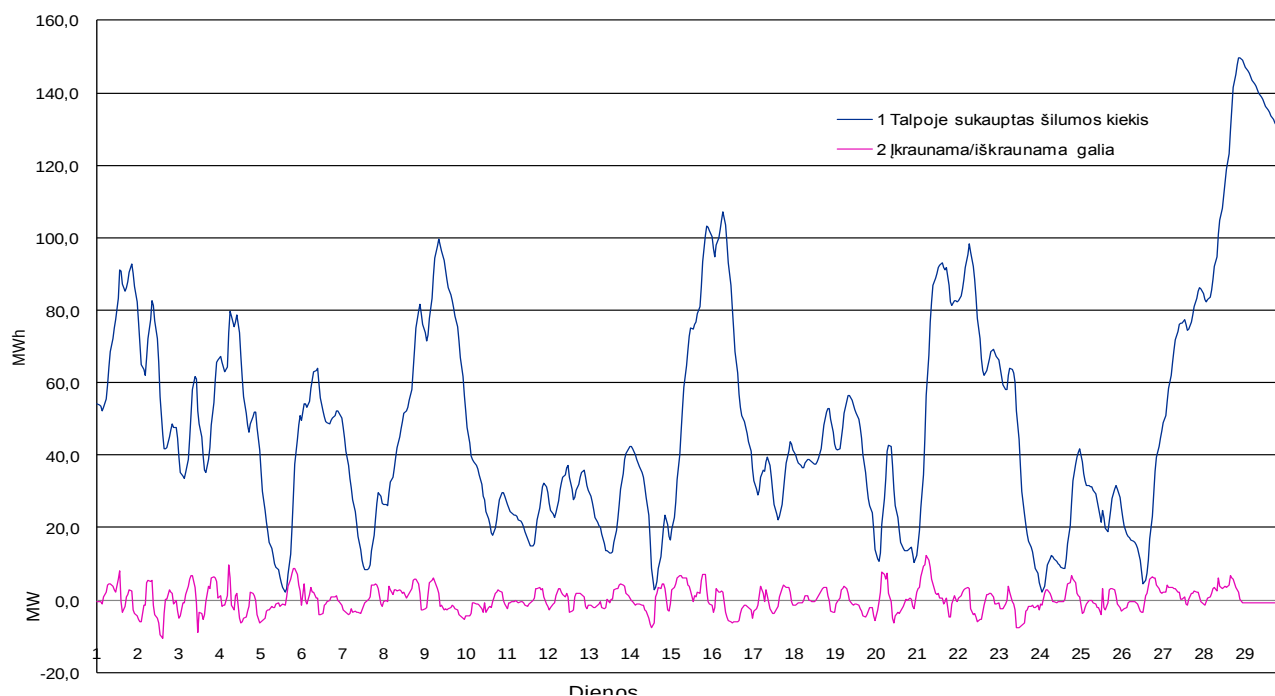
21 pav. Žiemos periodo (vasario mėn.) šilumos generavimo įrenginių darbo režimai

Šilumos poreikis per pirmas 15 mėnesio dienų pakinta dvigubai, tokie svyravimai neesant ŠAT sistemai sąlygotų pastovų (kas keles paras) papildomo VŠK užkūrimą padidėjus šilumos suvartojimui ir stabdymą, sumažėjus šilumos suvartojimui. ŠAT sistemos įdiegimas, vien vasario

mėnesį, sumažinę papildomo katilo užkurimo skaičių iki 2, tai yra ŠAT pakeičia trečiąjį arba ketvirtąjį VŠK, taip didindamas visos sistemos bendrą energetinį efektyvumą.

Ištisus metus ŠAT sistemos apkrovimo charakteristikos kinta labai panašiai. Beveik visada bake esantis šilumos kiekis (MWh) kinta pakankamai chaotiškai. Šis kitimas tiesiogiai priklauso nuo CŠT tinklo poreikio skirtingu paros metu. Sausio – vasario mėnesiais yra didžiausias ŠAT sistemos panaudojimas (sukaupiama daugiausiai šilumos). Tai nutinka todėl, kad tai yra šalčiausi mėnesiai ir didžiąją laiko dalį kogeneracijos įrenginiai dirba beveik visu pajėgumu.

Kitais žiemos laikotarpio mėnesiais akumuliacinės talpos darbo režimai labai panašūs. Talpoje pastoviai yra tam tikras kiekis šiluminės energijos ir, nespėjus jos iškrauti, jis dar papildomas.



22 pav. Žiemos periodo, vasario mėn., ŠAT sistemos charakteristikos

ŠAT visiškai iškraunama tik labiau padidėjus šilumos poreikiui tinkle, arba jei šilumos poreikis nepadidėja per tris paras – tada sumažinamas generuojamos kogeneracinės šilumos kiekis nakties metu, kad būtų pilnai iškraunamas bakas-akumuliatorius.

22 paveiksle antroji kreivė rodo, kokia turi būti įkrovimo/iškrovimo šiluminė galia (MW). Įvertinant temperatūrą akumuliacinėje talpoje ir grįžtančiojo termofikato temperatūrą, pagal šią galią parenkami vamzdynai, armatūra, siurbliai ir kiti įrenginiai. 2008 metų duomenimis,

maksimali dažniausiai pasikartojanti šilumos įkrovimo galia buvo apie 9 MW. Absoliučiai didžiausia buvo 12 MW galia.

4 lentelė. Metinių energijos kiekių, Mažeikių jėgainėse, palyginimas

Eil. Nr.	Parametras	Pagamintos energijos kiekis be ŠAT, GWh	Pagamintos energijos kiekis su ŠAT, GWh	Pokyčiai, GWh
1	Bendroji šiluma	180	180	0
1.1	šiluma pagaminta naudojant biokurą	171	172	1,2
1.2	šiluma pagaminta dujiniu kuru	9	8	-1,2
2	Pagaminta elektros	75	76	1

Šilumos akumuliacija, naudojant kaip pagalbinę sistemą išlyginti paros/savaitės šiluminės energijos poreikius, labai nežymiai gali padidinti „žalios“ šilumos ir elektros gamybą. Taip pat tokiu rakursu naudojant ŠAT sistemą, ji negeneruoja pakankamo energetinio sutaupymo, kad galėtų padengti atsirandančius papildomus eksploatacijos kaštus (šilumos nuostolius, elektros sąnaudos papildomiems siurbliams).

Metiniai energijos gamybos balansai Mažeikių ŠT sistemoje nekinta, pakinta tik atskirų komponentų vertės. ŠAT sistema suteikia galimybę plačiau panaudoti kogeneracinius įrenginius, kurie gamina pagrindinį produktą, elektros energiją (4 lentelė). Elektros energija šiuo metu yra žyme vertingesnis produktas energetiniu aspektu.

Šilumos akumuliacija, naudojama sistemos patikimumui užtikrinti ir pailginti katilų darbo laikui, nėra tiesiogiai ekonomiškai atsiperkantis sprendimas. Tačiau vertinant, jog atsiradus akumuliacinei talpai, galima išvengti iki 12 kartų katilų stabdymo, pastovaus katilų našumo reguliavimo, greito ir dažno katilo galios keitimo (tai ypač aktualu biokuro katilams, kurie yra labai inertiški), turima papildoma rezervinio termofikato atsarga, kuris tinkamas avarijos atveju operatyviai pildyti tinklus. Techniniu aspektu tokios talpos yra didelis privalumas, suteikiantis „lankstumo“ katilinės darbui.

3.3.Mažeikių termofikacinių jėgainių režimų modeliavimas pikinės elektros gamybai

Siekiant nustatyti šilumos akumuliacinio poreikio įvairiais metų laikotarpiais, modeliuojant naudojamas neapriboto talpumo šilumos akumuliacinio talpos variantas.

Modeliuojant termofikacijos įrenginių darbo režimus, pirminiu prioritetu laikomas maksimalus elektros energijos pikinėmis valandomis (8–12 ir 17–20 val.) gaminimas. Kitomis valandomis termofikacijos įrenginių galia sumažinama tiek, kad šilumos akumuliacinio talpa (-os) būtų iškrauta (-os) per 3 paras. Bendras įrenginių gaminamas šilumos kiekis per trijų parų periodą turi patenkinti šio periodo miesto CŠT poreikius (23 pav.). Piko valandomis papildomai pagamintas šilumos kiekis turi būti „pasidėtas“ į akumuliacinio talpą. Šis šilumos kiekis skaičiuojamas analitiniu būdu. Jis nustatomas iš gaminamo šilumos kiekio atimant į CŠ tinklą pateikti reikalingą šilumos kiekį. Taip, sudėjus per vieną parą gautus šilumos kiekius, apskaičiuojamas šilumos akumuliacinio paros balansas. Pagal priimtą prielaidą, kad akumuliacinio talpoje sukauptą šiluminę energiją galima saugoti iki 3 parų, kas tris paras akumuliacinio talpa turi būti „iškrauta“. Laikantis šių sąlygų, pagrindiniu kriterijumi tampa 3 parų šilumos balansas, vienas periodas pavaizduotas 23 paveiksle. Visas nagrinėjamas laikotarpis (2008 metai) padalijamas į trijų parų periodus. Tenkinantis vieno periodo šilumos balanso šiluminis nuokrypis yra 10 %. Kiekvienam periodui įrenginių darbo režimai yra modeliuojami atskirai. Nagrinėjant periodą ir parenkant įrenginių darbo režimus būtina siekti, kad balanso nuokrypis ne tik neviršytų užsibrėžtų reikšmių (10 %), bet kad ir per tą laikotarpį galimas sukaupti šilumos kiekis talpoje nesiektų neigiamų reikšmių, nes tada nebus įmanoma vartotojams užtikrinti reikiamų šiluminių parametrų.

5 lentelė. 3 parų periodo skaičiuotė

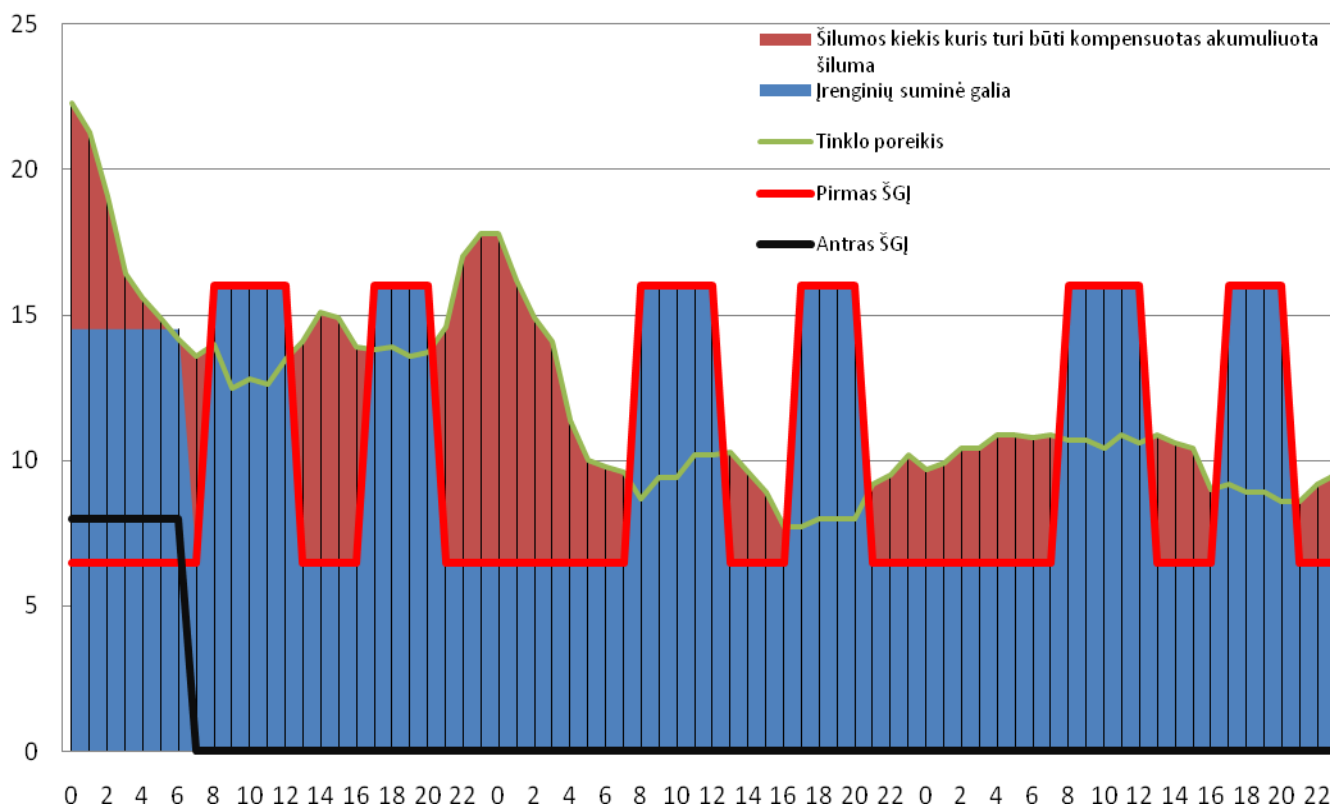
Data, laikas	Tinklo Valandinis šilumos poreikis	Vidutinė paros galia, MW	Maksimali paros galia, MW	Minimali paros galia, MW	Darbo galia	įkraut, MW	iškraut, MW	pirmas ŠGĮ	Antras ŠGĮ	Trečias ŠGĮ	Suminė galia, MW	ŠAT gali, MW	Esantis talpoje šilumos kiekis, MWh
2008.04.08. 0:34:56.287	22,3	14,2	21,3	11,5	14,5	0	7,8	6,5	8	0	14,5	-7,8	117,7
2008.04.08. 1:16:34.193	21,3				14,5	0	6,8	6,5	8	0	14,5	-6,8	110,9
2008.04.08. 2:39:50.000	19,1				14,5	0	4,6	6,5	8	0	14,5	-4,6	106,3
2008.04.08. 3:21:27.903	16,4				14,5	0	1,9	6,5	8	0	14,5	-1,9	104,4
2008.04.08. 4:03:05.807	15,6				14,5	0	1,1	6,5	8	0	14,5	-1,1	103,3
2008.04.08. 5:26:21.617	14,9				14,5	0	0,4	6,5	8	0	14,5	-0,4	102,9
2008.04.08. 6:07:59.520	14,2				14,5	0,3	0	6,5	8	0	14,5	0,3	103,2
2008.04.08. 7:31:15.327	13,6				6,5	0	7,1	6,5	0	0	6,5	-7,1	96,1
2008.04.08. 8:12:53.233	14				16	2	0	16	0	0	16	2,0	98,1
2008.04.08. 9:36:09.040	12,5				16	3,5	0	16	0	0	16	3,5	101,6
2008.04.08. 10:17:46.943	12,8				16	3,2	0	16	0	0	16	3,2	104,8
2008.04.08. 11:41:02.753	12,6				16	3,4	0	16	0	0	16	3,4	108,2
2008.04.08. 12:22:40.657	13,5				16	2,5	0	16	0	0	16	2,5	110,7
2008.04.08. 13:04:18.560	14,1				6,5	0	7,6	6,5	0	0	6,5	-7,6	103,1
2008.04.08. 14:27:34.367	15,1				6,5	0	8,6	6,5	0	0	6,5	-8,6	94,5
2008.04.08. 15:09:12.273	14,9				6,5	0	8,4	6,5	0	0	6,5	-8,4	86,1
2008.04.08.	13,9				6,5	0	7,4	6,5	0	0	6,5	-7,4	78,7

Data, laikas	Tinklo Valandinis šilumos poreikis	Vidutinė paros galia, MW	Maksimali paros galia, MW	Minimali paros galia, MW	Darbo galia	Įkraut, MW	iškraut, MW	pirma s ŠGĮ	Antr as ŠGĮ	Treči as ŠGĮ	Sumin ė galia, MW	ŠAT gali, MW	Esantis talpoje šilumos kiekis, MWh
16:32:28.080													
2008.04.08. 17:14:05.983	13,8				16	2,2	0	16	0	0	16	2,2	80,9
2008.04.08. 18:37:21.793	13,9				16	2,1	0	16	0	0	16	2,1	83,0
2008.04.08. 19:18:59.697	13,6				16	2,4	0	16	0	0	16	2,4	85,4
2008.04.08. 20:00:37.600	13,7				16	2,3	0	16	0	0	16	2,3	87,7
2008.04.08. 21:23:53.407	14,6				6,5	0	8,1	6,5	0	0	6,5	-8,1	79,6
2008.04.08. 22:05:31.313	17				6,5	0	10,5	6,5	0	0	6,5	-10,5	69,1
2008.04.08. 23:28:47.120	17,8				6,5	0	11,3	6,5	0	0	6,5	-11,3	57,8
2008.04.09. 0:10:25.023	17,8	9,4	16,8	6,7	6,5	0	11,3	6,5	0	0	6,5	-11,3	46,5
2008.04.09. 1:33:40.833	16,2				6,5	0	9,7	6,5	0	0	6,5	-9,7	36,8
2008.04.09. 2:15:18.737	14,9				6,5	0	8,4	6,5	0	0	6,5	-8,4	28,4
2008.04.09. 3:38:34.543	14,1				6,5	0	7,6	6,5	0	0	6,5	-7,6	20,8
2008.04.09. 4:20:12.447	11,4				6,5	0	4,9	6,5	0	0	6,5	-4,9	15,9
2008.04.09. 5:01:50.353	10				6,5	0	3,5	6,5	0	0	6,5	-3,5	12,4
2008.04.09. 6:25:06.160	9,8				6,5	0	3,3	6,5	0	0	6,5	-3,3	9,1
2008.04.09. 7:06:44.063	9,6				6,5	0	3,1	6,5	0	0	6,5	-3,1	6,0
2008.04.09. 8:29:59.873	8,7				16	7,3	0	16	0	0	16	7,3	13,3
2008.04.09. 9:11:37.777	9,4				16	6,6	0	16	0	0	16	6,6	19,9

Data, laikas	Tinklo Valandinis šilumos poreikis	Vidutinė paros galia, MW	Maksimali paros galia, MW	Minimali paros galia, MW	Darbo galia	Įkraut, MW	iškraut, MW	pirmas ŠGĮ	Antrasis ŠGĮ	Trečiasis ŠGĮ	Suminė galia, MW	ŠAT gali, MW	Esantis talpoje šilumos kiekis, MWh
2008.04.09. 10:34:53.583	9,4				16	6,6	0	16	0	0	16	6,6	26,5
2008.04.09. 11:16:31.487	10,2				16	5,8	0	16	0	0	16	5,8	32,3
2008.04.09. 12:39:47.297	10,2				16	5,8	0	16	0	0	16	5,8	38,1
2008.04.09. 13:21:25.200	10,3				6,5	0	3,8	6,5	0	0	6,5	-3,8	34,3
2008.04.09. 14:03:03.103	9,6				6,5	0	3,1	6,5	0	0	6,5	-3,1	31,2
2008.04.09. 15:26:18.913	8,9				6,5	0	2,4	6,5	0	0	6,5	-2,4	28,8
2008.04.09. 16:07:56.817	7,7				6,5	0	1,2	6,5	0	0	6,5	-1,2	27,6
2008.04.09. 17:31:12.623	7,7				16	8,3	0	16	0	0	16	8,3	35,9
2008.04.09. 18:12:50.527	8				16	8	0	16	0	0	16	8,0	43,9
2008.04.09. 19:36:06.337	8				16	8	0	16	0	0	16	8,0	51,9
2008.04.09. 20:17:44.240	8				16	8	0	16	0	0	16	8,0	59,9
2008.04.09. 21:41:00.047	9,2				6,5	0	2,7	6,5	0	0	6,5	-2,7	57,2
2008.04.09. 22:22:37.953	9,5				6,5	0	3	6,5	0	0	6,5	-3,0	54,2
2008.04.09. 23:04:15.857	10,2				6,5	0	3,7	6,5	0	0	6,5	-3,7	50,5
2008.04.10. 0:00:00.000	9,7	9,0	9,9	7,6	6,5	0	3,2	6,5	0	0	6,5	-3,2	47,3
2008.04.10. 1:23:26.237	9,9				6,5	0	3,4	6,5	0	0	6,5	-3,4	43,9
2008.04.10. 2:05:09.353	10,4				6,5	0	3,9	6,5	0	0	6,5	-3,9	40,0
2008.04.10.	10,4				6,5	0	3,9	6,5	0	0	6,5	-3,9	36,1

Data, laikas	Tinklo Valandinis šilumos poreikis	Vidutinė paros galia, MW	Maksimali paros galia, MW	Minimali paros galia, MW	Darbo galia	Įkraut, MW	iškraut, MW	pirma s ŠGĮ	Antr as ŠGĮ	Treči as ŠGĮ	Sumin ė galia, MW	ŠAT gali, MW	Esantis talpoje šilumos kiekis, MWh
3:28:35.590													
2008.04.10. 4:10:18.707	10,9				6,5	0	4,4	6,5	0	0	6,5	-4,4	31,7
2008.04.10. 5:33:44.943	10,9				6,5	0	4,4	6,5	0	0	6,5	-4,4	27,3
2008.04.10. 6:15:28.063	10,8				6,5	0	4,3	6,5	0	0	6,5	-4,3	23,0
2008.04.10. 7:38:54.297	10,9				6,5	0	4,4	6,5	0	0	6,5	-4,4	18,6
2008.04.10. 8:20:37.417	10,7				16	5,3	0	16	0	0	16	5,3	23,9
2008.04.10. 9:44:03.653	10,7				16	5,3	0	16	0	0	16	5,3	29,2
2008.04.10. 10:25:46.770	10,4				16	5,6	0	16	0	0	16	5,6	34,8
2008.04.10. 11:07:29.887	10,9				16	5,1	0	16	0	0	16	5,1	39,9
2008.04.10. 12:30:56.123	10,6				16	5,4	0	16	0	0	16	5,4	45,3
2008.04.10. 13:12:39.243	10,9				6,5	0	4,4	6,5	0	0	6,5	-4,4	40,9
2008.04.10. 14:36:05.477	10,6				6,5	0	4,1	6,5	0	0	6,5	-4,1	36,8
2008.04.10. 15:17:48.597	10,4				6,5	0	3,9	6,5	0	0	6,5	-3,9	32,9
2008.04.10. 16:41:14.833	9				6,5	0	2,5	6,5	0	0	6,5	-2,5	30,4
2008.04.10. 17:22:57.950	9,2				16	6,8	0	16	0	0	16	6,8	37,2
2008.04.10. 18:04:41.067	8,9				16	7,1	0	16	0	0	16	7,1	44,3
2008.04.10. 19:28:07.303	8,9				16	7,1	0	16	0	0	16	7,1	51,4
2008.04.10. 20:09:50.423	8,6				16	7,4	0	16	0	0	16	7,4	58,8

Data, laikas	Tinklo Valandinis šilumos poreikis	Vidutinė paros galia, MW	Maksimali paros galia, MW	Minimali paros galia, MW	Darbo galia	Įkraut, MW	iškraut, MW	pirmas ŠGĮ	Antrasis ŠGĮ	Trečias ŠGĮ	Suminė galia, MW	ŠAT gali, MW	Esantis talpoje šilumos kiekis, MWh
2008.04.10. 21:33:16.657	8,6				6,5	0	2,1	6,5	0	0	6,5	-2,1	56,7
2008.04.10. 22:14:59.777	9,2				6,5	0	2,7	6,5	0	0	6,5	-2,7	54,0
2008.04.10. 23:38:26.013	9,5				6,5	0	3	6,5	0	0	6,5	-3,0	51,0

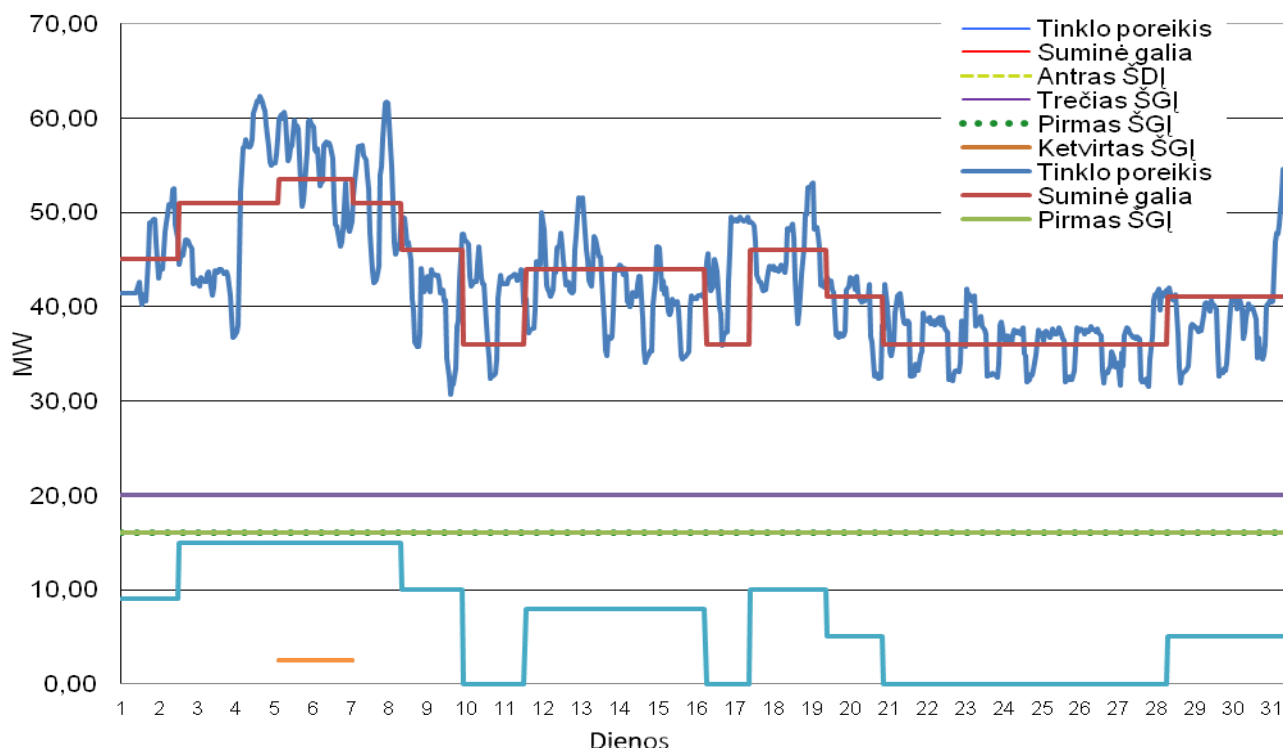


23 pav. Vieno periodo įrenginių darbo režimai ir reikiamas akumuliuot šilumos kiekis

3.3.1. Žiemos periodas

Siekiant nustatyti kogeneracinės elektros gamybos, naudojant šilumos akumuliaciją, padidinimo galimybes, nagrinėjamas kiekvieno laikotarpio (atskirų mėnesių) valandinis šilumos poreikis ir su juo siejamas generuojamas kogeneracinės elektros kiekis. Pvz., 24 pav. pateikiamas sausio mėnesio valandinis šilumos poreikis ir atskirų įrenginių darbo grafikai (skaičiuotės duomenys pateikti 5 lent.). Modeliuojant daroma prielaida, kad talpoje sukaupta šiluma turi būti panaudota kaip galima greičiau – iki kito pikinės elektros poreikio, o šiluminės energijos likutis saugomas ne ilgiau kaip kitas tris paras. Dirbant tokiu režimu ir įrengus pakankamai didelę akumuliacijos talpą, papildomas (pirmasis) vandens šildymo katilas būtų jungtas neištiesai, o papildomas katilas būtų įjungiamas tik 2 paras per sausio mėnesį ir atsitiktinių šalčio pliūpsnių metu.

Šalčiausiuoju metų laiku, pagal visus ŠAT sistemos įrengimo nagrinėjamus variantus, apskaičiuotas kogeneracinės elektros padidėjimas beveik nesiskiria. Kogeneracinių įrenginių darbo režimai visais atvejais panašūs, nes termofikaciniai įrenginiai dirba beveik visu galia ir akumuluotinas šilumos kiekis, palyginti su kitais laikotarpiais, nedidelis. Šiuo laikotarpiu, per naktį nestabdant termofikacijos įrenginių, ŠAT galima „iškrauti“ iki rytinio elektros vartojimo piko.



24 pav. Žiemos periodo, sausio mėnesio, šilumos generavimo įrenginių darbo režimai

24 pav. pavaizduotas atskirų šilumos generavimo įrenginių galios kitimas, suminė galia ir CŠT sistemos šiluminis poreikis. ŠAT sistema padėtų ne tik daugiau gaminti pikinės elektros, bet ir optimizuotų įrenginių darbo režimus – sumažintų VŠK įjungimo/išjungimo skaičių ir dėl to daugiau šilumos ir atitinkamai elektros pagamintų termofikacijos įrenginiai. Siekiant maksimaliai gaminti pikinę elektros energiją kogeneracijos būdu, būtina turėti galimybę tomis valandomis nereikalingą šilumą „padėti“ į ŠAT, o po to ją patiekti į CŠT tinklą per 3–4 paras ne piko valandomis. Kaip matyti 24 paveiksle, gaminama šiluminė suminė galia labai svyruotų ne tik mėnesio, bet ir paros metu. Sausio mėn. pirma bioelektrinė dirba pilnai ir pilnu pajėgumu dirba antroji bioelektrinė. Trečiasis ŠGĮ dirba reguliuojamuoju režimu.. Dar trūkstant šiluminės galios, paleidžiamas vandens šildymo katilas (-ai).

Termofikacinių įrenginių darbo režimai sumodeliuoti visiems žiemos periodo mėnesiams. Žiemos periodu, įdiegus ŠA sistemą, pikinio elektros kiekio (8–12 ir 17–20 val.) galima pagaminti 21557 MWh arba 7,3 % daugiau negu maksimaliai gaminant pikinę elektros energiją be ŠA sistemos.

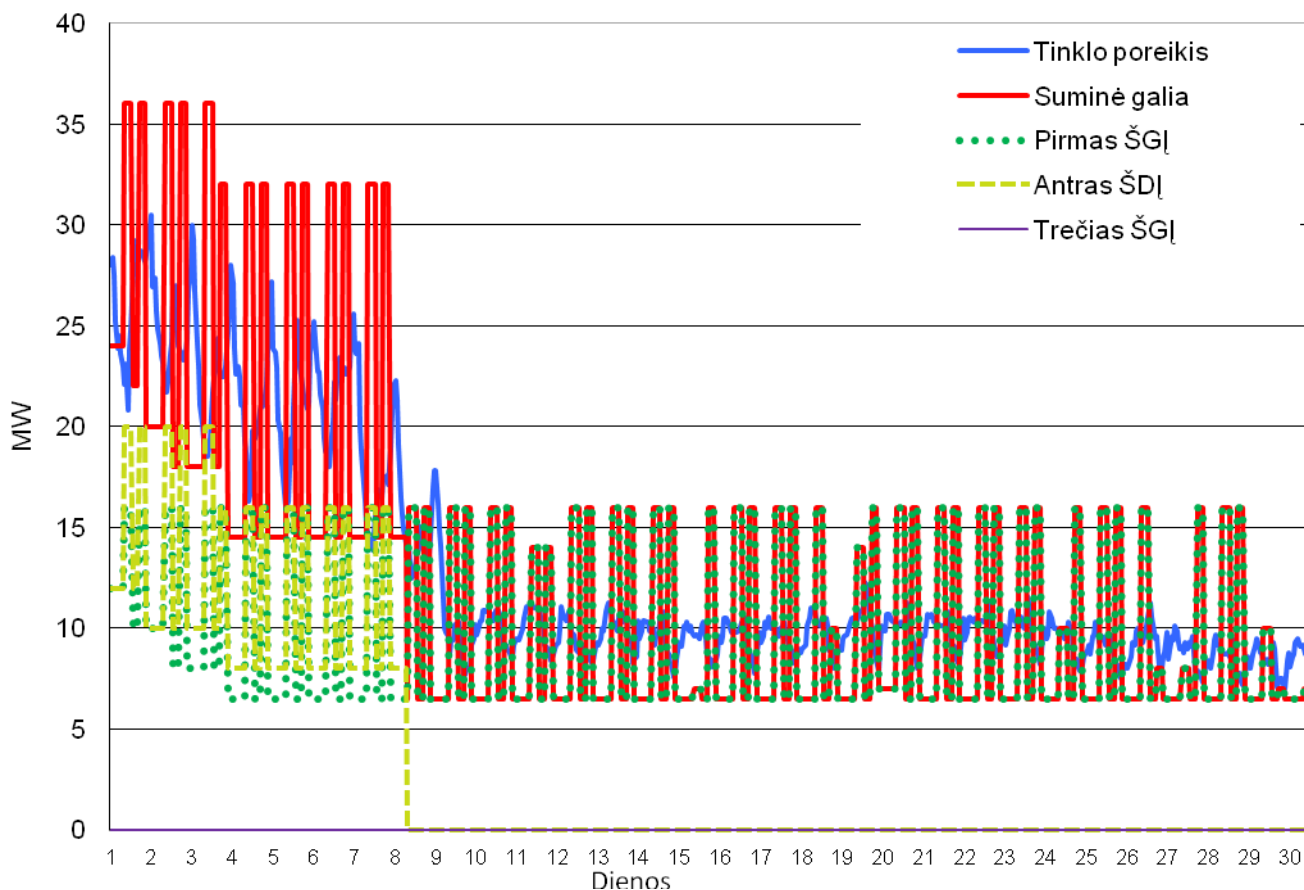
6 lentelė. Žiemos laikotarpiu pagamintos, Mažeikių kogeneracinės jėgainės, energijos kiekiai, MWh.

Mėnesiai	Darbas be ŠAT					Darbas su ŠAT				
	Šiluma	Pirmas ir antras ŠGĮ	Trečias ir ketvirtas ŠGĮ	Elektra	Pikinė elektra	Šiluma	Pirmas ir antras ŠGĮ	Trečias ir ketvirtas ŠGĮ	Elektra	Pikinė elektra
Sausis	31511	26499	5012	11712	4380	31707	26784	4923	11839	4439
Vasaris	23591	22742	848	10052	3732	23663	23068	595	10196	3957
Kovas	24752	24467	286	10814	3991	24640	24640	0	10891	4425
Lapkritis	21064	21016	49	9289	3926	20984	20984	0	9275	4296
Gruodis	27740	24926	2815	11017	4069	27706	25274	2432	11171	4439
	128658	119649	9010	52885	20099	128700	120750	7950	53372	21557

6 lentelėje matyti, kad dirbant su ŠA sistema pagaminama papildomai kogeneracinės šilumos (1 100 MWh arba 0,9 %) bei daugiau kogeneracinės elektros (483 MWh arba 0,9 %), negu dabartinėmis sąlygomis. Dirbant sumodeliuotais režimais, sumažinamas VŠK darbo laikas, todėl pagaminamas papildomas kogeneracinės energijos kiekis. ŠAT įdiegimo efektas šiuo laikotarpiu nedidelis, nes kogeneraciniai įrenginiai ir taip dirba didele galia, o akumuliacijos galimybė nedidelė, nes nedidelis „atliekamos“ šilumos kiekis. Maksimalus akumuliuojamos šilumos kiekis žiemos laikotarpiu dirbant šiais režimais yra apie 300 MWh.

3.3.2. Pereinamasis periodas

Pereinamuoju laikotarpiu (balandžio ir spalio mėn.), kai šilumos poreikis labai svyruoja, akumuliuojant šilumą įmanoma pagaminti daugiau pikinės elektros energijos. Šis laikotarpis yra ypatingas tuo, kad per šiuos mėnesius (pavasariį ir rudenį) prasideda ir baigiasi šildymo sezonas, prisijungia ir atsijungia vartotojai, dienomis žymiai pakyla lauko temperatūra, o naktys dar šaltos – dėl šių priežasčių šilumos vartojimo grafikas gana sudėtingas (10 pav.). Modeliuojant šio laikotarpio darbo režimus, katilų jungimo ir apkrovimo prioriteti išlieka tokie patys kaip ir žiemos periodu.



25 pav. Pereinamuoju laikotarpiu (balandžio mėn.) Mažeikių ŠT šilumos generavimo įrenginių darbo režimai

Kaip matyti iš 25 pav., balandžio mėnesio šilumos vartojimas kinta labai greitai ir intensyviai. Balandžio pirmosiomis dienomis, reikalinga šilumos galia siekia 30 MW, o jau 9 dieną jos reikia apie 10 MW. Toks šilumos galių poreikio svyravimas vyksta visu pereinamuoju laikotarpiu, – pavasarį jis žymiai ryškesnis ir intensyvesnis, o rudenį – tolygesnis. Labai didelį šilumos gamybos svyravimą šiek tiek sumažina ŠAT, tačiau vis tiek būtina. Šiuo periodu naudojant šilumos akumuliavimo sistemą galima išvengti VŠK įjungimų.

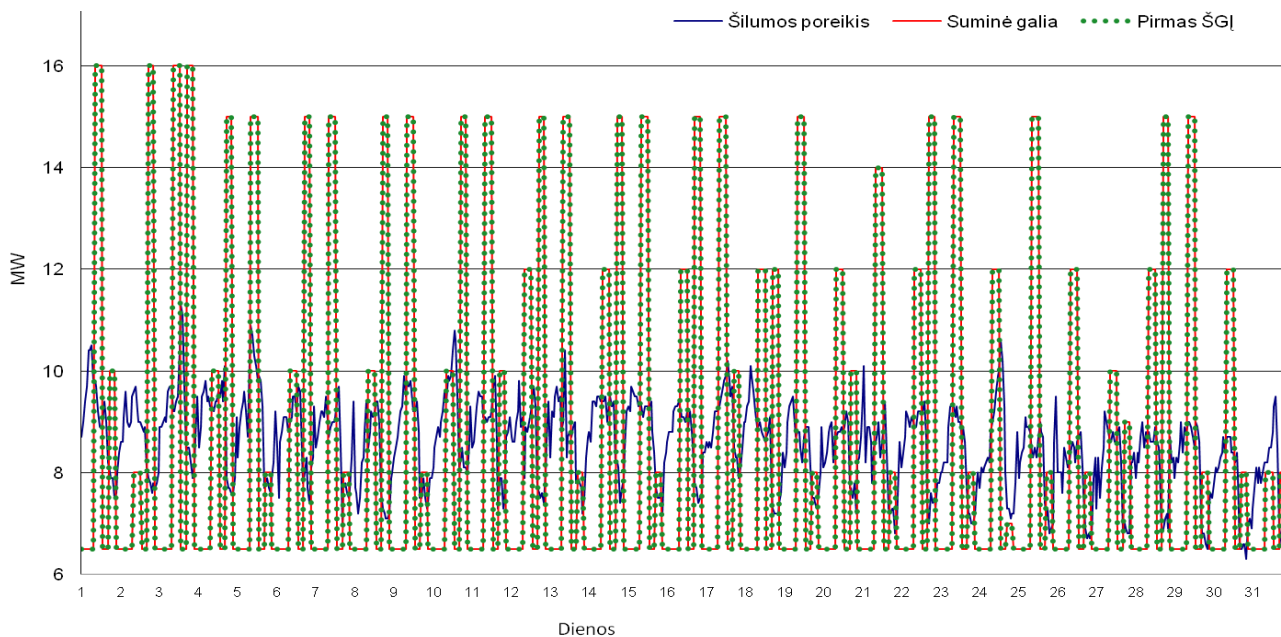
Atsižvelgiant į tai, kad šiuo laikotarpiu CŠT poreikių svyravimas yra didžiausias, ŠAT sistemos nauda yra gana ryški. Padidinus kogeneracinių apkrovimą ir atitinkamai nejungiant dujinio vandens šildymo katilų, įmanoma pagaminti daugiau kogeneracinės šilumos (910 MWh arba 5,8 %) bei daugiau kogeneracinės elektros (240 MWh arba 3,6 %). Pereinamuoju periodu, įdiegus ŠA sistemą, pikinio elektros kiekio galima pagaminti 1685 MWh arba 80 % daugiau negu dirbant dabartiniu režimu (7 lentelė).

7 lentelė. Pereinamuoju laikotarpiu pagamintos, Mažeikių kogeneracinės jėgainės, energijos kiekiai, MWh

Mėnesiai	Darbas be ŠAT					Darbas su ŠAT				
	Šiluma	Pirmas ir antras ŠGĮ	Trečias ir ketvirtas ŠGĮ	Elektra	Pikinė elektra	Šiluma	Pirmas ir antras ŠGĮ	Trečias ir ketvirtas ŠGĮ	Elektra	Pikinė elektra
Balandis	9157	8626	531	3813	1017	9186	9186	0	4060	2259
Spalis	6360	5981	379	2811	1030	6342	6342	0	2803	1477
	15517	14607	910	6624	2046	15528	15528	0	6863	3735

3.3.3. Vasaros periodas

Esant gerai išplėtotiems CŠT tinklams, ir vasaros metu, panaudojant šilumos akumuliacinio sistemos, galima generuoti papildomą energiją. Vasaros bazinis šilumos poreikis svyruoja nuo 6 iki 10 MW. Šiuo periodu dirbtu tik vienas kogeneracijos įrenginys kuris būtų reguliuojamas pagal poreikį. Pirmaisiais vasaros mėnesiais dar ryškiai galima padidinti „pikinės“ elektros gamybos apimtį. Vasaros viduryje kai bendras vartojimas nukrenta žemiau 8 MW papildomas „pikinės“ elektros energijos generavimas yra nebeįmanomas.



26 pav. Vasaros laikotarpiu, gegužės mėn., šilumos generavimo įrenginių darbo režimai

26 pav. parodytas tipinio vasaros mėnesio – rugpjūčio – šilumos poreikis ir termofikacinių įrenginių darbo grafikai. Šiuo laikotarpiu, kai dirbama elektros energijos generavimo grafiku, katilų darbo režimai yra sinchroniški visu vasaros periodu. Taip nutinka, todėl, jog elektros

poreikis ryte ir vakare yra didesnis, tai šiomis valandomis ir jėgainė dirba pilnu pajėgumu, o nakties metu jos galia sumažinama iki minimalios, kad būtų galima panaudoti sukaupta šiluminę energiją.

8 lentelė. Vasaros laikotarpiu pagamintos, Mažeikių kogeneracinėse jėgainėse, energijos kiekiai, MWh

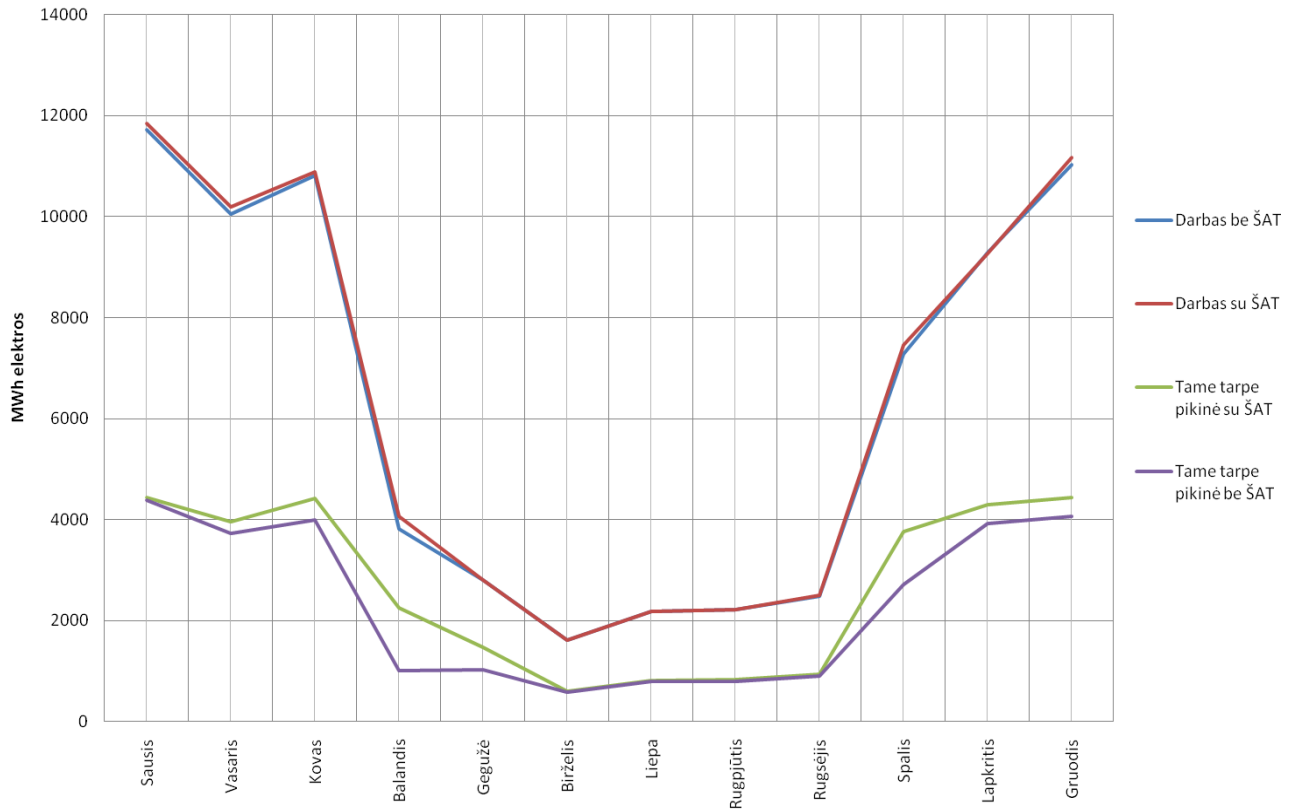
Mėnesiai	Darbas be ŠAT					Darbas su ŠAT				
	Šiluma	Pirmas ir antras ŠGĮ	Trečias ir ketvirtas ŠGĮ	Elektra	Pikinė elektra	Šiluma	Pirmas ir antras ŠGĮ	Trečias ir ketvirtas ŠGĮ	Elektra	Pikinė elektra
Gegužė	6360	6360	0	2811	1017	6342	6342	0	2803	1477
Birželis	3646	3646	0	1612	1030	3637	3637	0	1608	609
Liepa	4957	4957	0	2191	587	4952	4952	0	2189	821
Rugpjūtis	5011	5011	0	2215	792	5016	5016	0	2217	829
Rugsėjis	5605	5605	0	2477	796	5655	5655	0	2499	937
	25579	25579	0	11306	4222	25602	25602	0	11316	4673

Gauti duomenys rodo, kad naudojant ŠAT sistemą galima dirbti nejungiant vandens šildymo katilų. Vasaros periodu nėra didelės galimybės didinti elektros gamybos apimtį (8 lent.). Tačiau per šį laikotarpį „pikinės“ elektros kiekis galima padidinti.

3.3.4. Metinė energijos gamyba

Apibendrinant metinę gamybą galima teigti, kad daugiausiai papildomos kogeneracinės elektros, naudojant ŠAT, būtų pagaminama vasarą ir perinamuoju laikotarpiu, o papildomos pikinės elektros energijos daugiausiai galima pagaminti būtent šaltuoju metų laiku (žiema ir pereinamuoju laikotarpiu), kai CŠT poreikis yra pakankamai didelis ir kogeneracijos įrenginiai dirba nominaliai artima galia. Piko metu maksimaliai gaminama elektra, o perteklinė šiluma tiekama į ŠAT. Atėjus nakčiai sumažinama energijos gamyba ir „iškraunama“ ŠAT. Šitaip daugiausiai pikinės elektros pagaminama kovo, balandis, gegužė ir spalio mėnesiais (27 pav.).

Pažymėtina, kad Mažeikių ŠT su ŠAT sistema ar be jos bendras pagaminamos šiluminės energijos kiekis nekinta. Nes pati ŠAT sistema nėra šilumos generavimo sistema, ji tik padeda subalansuoti skirtingų poreikių grafikus. Jos pagalba galima pagaminti daugiau elektros energijos, nes suteikia galimybę tolygiau dirbti kogeneracinėms jėgainėms.



27 pav. Skirtingais režimais galima pagaminti elektros energija, atskirais mėnesiais

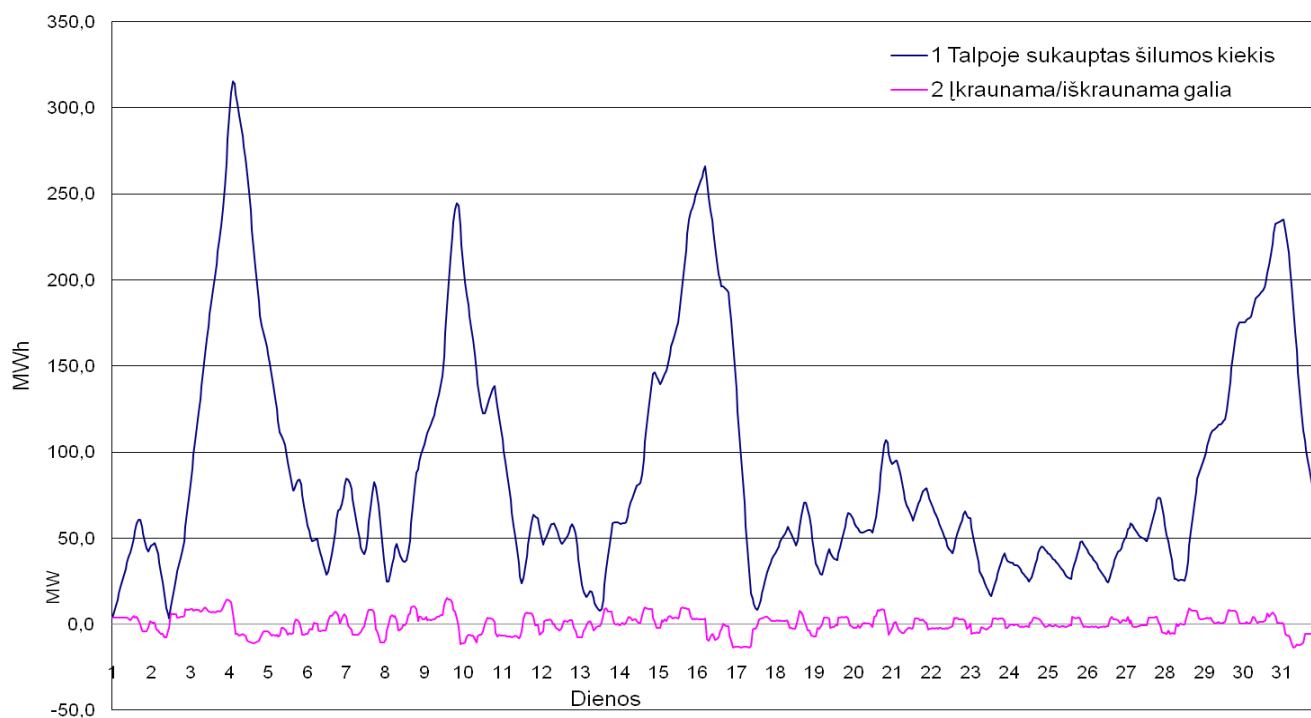
Dirbant sumodeliuotais darbo režimais ir naudojant ŠAT sistemą per metus galima pagaminti 1,2 GWh papildomos kogeneracinės šiluminės energijos (9 lent.). Atitinkamai, pagaminama daugiau elektros energijos – 0,9 GWh tai yra 1 % daugiau negu dabartiniais režimais be šilumos akumuliacijos. Į šį skaičių įskaitomas ir pikinės elektros vartojimo metu gaminamas elektros kiekis 4,3 GWh/m. didesnis 16 %.

9 lentelė. Metinių energijos kiekių palyginimas Mažeikių ŠT

Eil. Nr.	Parametras	Pagamintos energijos kiekis be ŠAT, GWh	Pagamintos energijos kiekis su ŠAT, GWh	Pokyčiai, GWh
1	Bendroji šiluma	180,3	180,3	0,09
1.1	šiluma pagaminta naudojant biokura	171	172	1,2
1.2	šiluma pagaminta dujiniu kuru	9,9	8,0	-2,0
1.3	šiluma pagaminta pikinėmis valandomis	63	73	9,7
2	Pagaminta elektros	75,3	76,2	0,9
2.1	Pagaminta elektros energijos pikinėmis valandomis	27,9	32,2	4,3
2.2	Pagaminta nepikinė elektros energijos	47,3	44,0	-3,4

3.4. Šilumos akumulavimo talpų režimų charakteristikų, bei kitų parametrų nustatymas

Remiantis kitų šalių, naudojančių ŠAT sistemas, patirtimi ir modeliuojamais akumulavimo režimais, daroma prielaida, kad karštas vanduo talpose išbūtų ne ilgiau kaip tris paras. Šilumos nuostoliai per sienelės tuomet yra priimtino lygio. Modeliuojant įrenginių darbo režimus, laikantis šios sąlygos gaunami šilumos akumulavimo poreikiai, kurie parodyti 12 pav. Maksimalus dažniausiai pasitaikantis šilumos kiekis, kurį reikėtų „pasidėti“ į akumulavimo talpą, yra 200 MWh. Šis dydis 2008 metais būtų viršijamas tik 5 kartus – šalčio pliūpsnių metu, jų skaičius atskirais metais gali svyruoti ir todėl į juos nesiorientuojama.

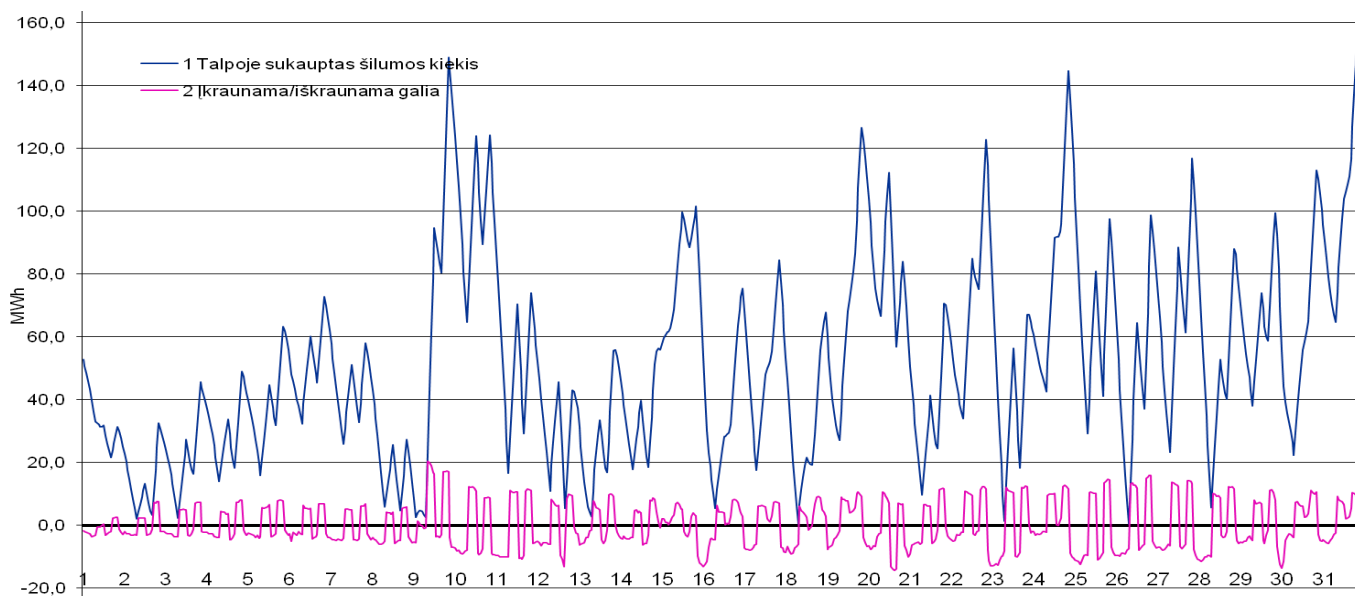


28 pav. Sausio mėn. ŠAT sistemos charakteristikos

Skirtingais laikotarpiais, ŠAT sistemos apkrovimo charakteristikos kinta. Žiemos laikotarpiu, (28 pav.) bake esantis šilumos kiekis (MWh) kinta pakankamai chaotiškai. Šis kitimas tiesiogiai priklauso nuo CŠT tinklo poreikio skirtingu paros metu. Bake akumuliuota šiluma sausio mėnesį pilnai panaudojama 10–12 dienų. Tai nutinka todėl, kad sausis yra šalčiausias mėnuo ir

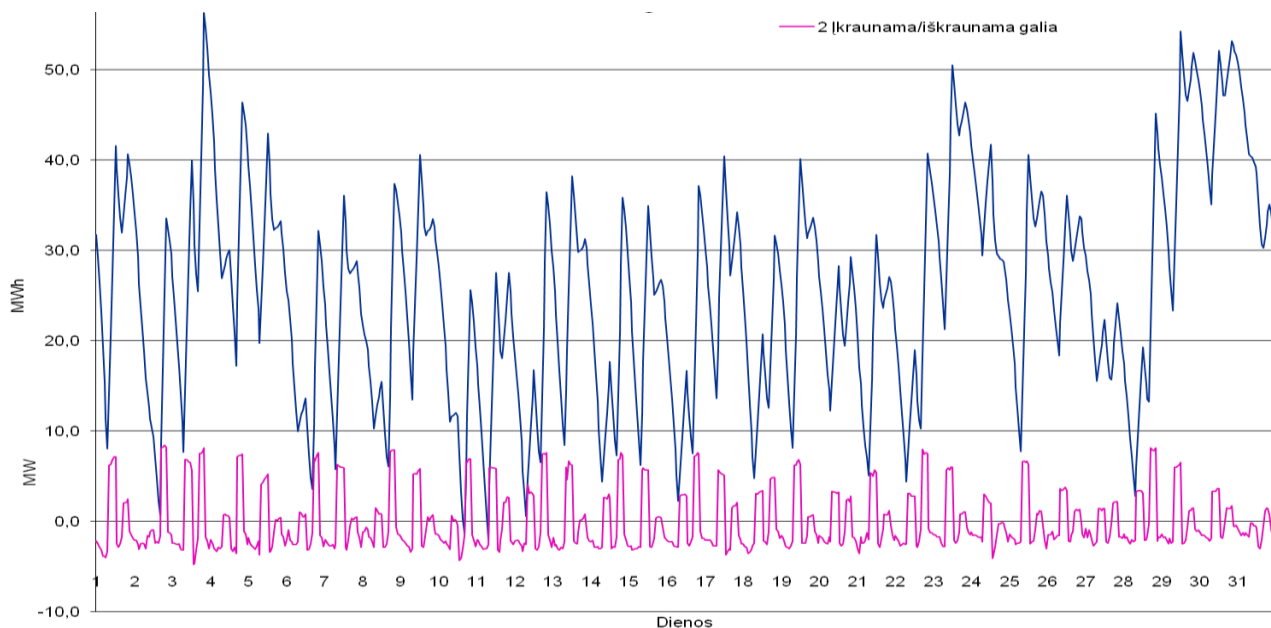
didžiąją laiko dalį kogeneracijos įrenginiai dirba beveik pilnu pajėgumu. Kitais žiemos laikotarpio mėnesiais akumuliacinės talpos darbo režimai labai panašūs (2 priedas). Talpoje pastoviai yra tam tikras kiekis šiluminės energijos ir nespėjus jos iškrauti jis dar papildomas. ŠAT visiškai iškraunama tik labiau padidėjus šilumos poreikiui tinkle, arba jei šilumos poreikis nepadidėja per tris paras – tada sumažinamas generuojamos kogeneracinės šilumos kiekis nakties metu, kad būtų pilnai iškraunamas bakas-akumuliatorius.

28 paveiksle, antroji kreivė rodo kokia turi būti įkrovimo/iškrovimo šiluminė galia (MW). Įvertinant temperatūrą akumuliacinėje talpoje ir grįžtančio termofikato temperatūrą, pagal šią galią parenkami vamzdiniai, armatūra, siurbliai ir kiti įrenginiai. 2008 metų duomenimis maksimali dažniausiai pasikartojanti šilumos įkrovimo galia buvo 17 MW. Šis dydis buvo viršytas tik vieną kartą per metus.



29 pav. Spalio mėn. ŠAT sistemos charakteristikos

Pereinamojo laikotarpio ŠAT sistemos charakteristika yra labai panaši kaip ir žiemos laikotarpio. Bake kaupiamas energijos kiekis kinta nedėsningai ir svyravimai dažnesni negu žiemos laikotarpiu. Šiuo laikotarpiu akumuliacinio poreikio įtakojama tai, kad ŠAT sistema panaudojama ne visu pajėgumu. O šilumos vartojimas Mažeikių mieste sumažėjęs ir labiau svyruojantis dėl didesnio saulėtumo dieną ir pakankamai šaltų naktų. Pereinamuoju laikotarpiu yra pats sudėtingiausias režimas nes pereinama iš vieno režimo tipo į kita.



30 pav. Gegužės mėn. ŠAT sistemos charakteristikos

30 paveiksle, kaip vasaros laikotarpio pavyzdys, parodytas rugpjūčio mėnesio darbo režimas. Vasaros periodu bako-akumulatoriaus įkrovimo/iškrovimo charakteristika yra visiškai skirtinga negu kitais laikotarpiais. Šiuo periodu, šilumos įkrovimo/iškrovimo kiekiai yra dėsningi ir santykinai dideli, nes pikinėmis valandomis pilnu apkrovimu dirba jėgainė, o naktį, kai sumažinama galia, į tinklą papildomai tiekama šiluma iš talpos. Vasaros metu ŠAT sistemos pajėgumas išnaudojamas pilnai. Bakas įkraunamas per pusantros paros, po to per 9–15 valandų jis iškraunamas. Toks periodiškumas tęsiasi visą vasarą. Įkrovimo/iškrovimo galia šiuo laikotarpiu neviršija 17 MW ir todėl tenkina anksčiau parinkti parametrai.

4. AKUMULIAVIMO SISTEMŲ EKONOMINIS ĮVERTINIMAS

4.1. Šilumos akumuliacijos sistemos įrengimo ir eksploataciniai kaštai

Norint pasirinkti tinkamiausią šilumos akumuliacijos įrengimo variantą, būtina atsižvelgti į tai, kad pasirinkto atvejo metiniai eksploataciniai kaštai per daug nepabrangintų gaminamos elektros energijos savikainos.

Šilumos akumuliacijos sistemos eksploatacinius kaštus sudaro:

- amortizacija – skaičiuojama 15 metų;
- pastovieji eksploataciniai kaštai – skaičiuojami kaip 2 proc. nuo investicijų sumos;
- šilumos nuostoliai – apskaičiuoti nuo ŠAT sistemos įdiegimo atsirandančių naujų įrenginių.
- šilumos nuostolių pinigine išraiška – skaičiuojant pinigine išraiška, šilumos kaina laikoma alternatyvaus šilumos šaltinio kaina (vandens šildymo katilo) t.y., 84,7 Lt/MWh;
- elektros sąnaudos, kurias sudaro siurblių elektros poreikis;

Išlaidos elektrai – elektros kaina prilyginama galimai rinkos kainai 214 Lt/MWh, tai AB „Lietuvos elektrinė“ savikaina, kai dujų kaina 800 Lt/t.n.m³, nes nepardavus šio elektros kiekio, prarandama tiek galimų pajamų. Darbo skaičiavimuose keičiant dujų kainas, taip pat atitinkamai keičiamos ir elektros kainos;

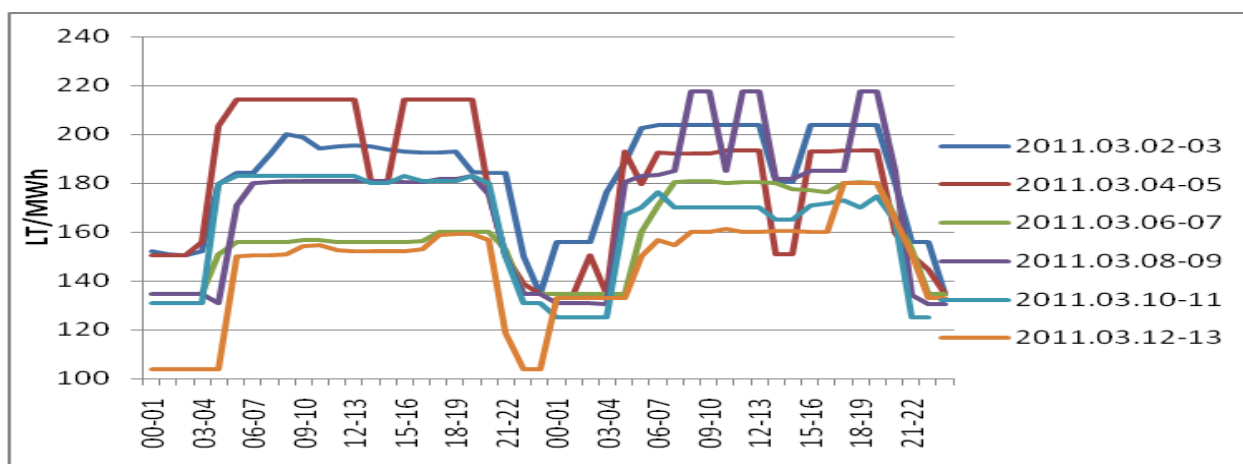
10 lentelė. Šilumos akumuliacijos sistemos eksploataciniai kaštai

Rodiklis	Mat. vnt.	Kiekis
Tūris	t.m ³	4
Akumuluojamas šilumos kiekis	MWh	200
Investicijos	mln. Lt	2,8
Amortizacija	mln. Lt/met.	0,19
Pastovieji eksploataciniai kaštai	mln. Lt/met.	0,056
Šilumos nuostoliai	MWh/met.	745

Rodiklis	Mat. vnt.	Kiekis
Šilumos nuostolių piniginė išraiška	mln. Lt/met.	0,060
Elektros sąnaudos	MWh/met.	567
Išlaidos elektrai	mln. Lt/met.	0,11
Metinės išlaidos ŠAT sistemai	mln. Lt/met.	0,41
Numatomos pagaminti elektros energijos kiekis	MWh/met.	76200
Vienos MWh elektros savikainos padidėjimas	Lt/MWh	5,38

Įvertinus eksploatacinius kaštus, kurie atsiranda įdiegus šią naująją sistemą, vienos pagamintos elektros energijos kilovatvalandės (kWh) kaina padidėja 0,538 cento. Tai nėra žymus pabrangimas įvertinant tai, kad visi įrengimo ir eksploatacijos kaštai yra priskiriami vien tik elektros veiklai. Šilumos kaina dėl atsirandančių naujų įrenginių ne tik, kad nedidėja, bet net ir, tikėtina, jog galėtų sumažėti, nes atsisakoma keliolikos trumpalaikių stabdymo ciklų. Kiekvieno tokio ciklo metu yra sunaudojama papildomas kuro kiekis katilo paviršiams įšildyti. Taip pat kiekvienas ženklus katilo paviršiaus šiluminio įtempio pokytis sąlygoja trumpesnę katilo tarnavimo laiką. Todėl, išvengus trumpalaikių katilo stabdymų, prailginamas jo tarnavimo laikas.

Pažymėtina, kad šiuo metu jau priimtas Lietuvos Respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymas (Žin., 2011 Nr. XI-1375), kurio 20 straipsnio 8 dalyje įtvirtinta nuostata, kad nekintamos skatinimo priemonės taikomos 12 metų nuo leidimo išdavimo.



31 pav. BaltPool elektros gamybos kainos kitimas, priklausomai nuo paros laiko

Taigi, pagal šiuo metu galiojančius teisės aktus ir nustatytus remimo mechanizmus, visa elektros energija pagaminta biokogeneracinėse elektrinėse yra superkama “lengvatiniu” tarifu po 300 Lt/MWh. Šiais metais vidutinė Baltpool pikinės elektros kaina buvo apie 180 Lt/MWh, tuo metu NordPoole pikinės elektros kaina siekė 250 Lt/MWh. Kaip matyti, kol Valstybė remia “žaliuosius” gamintojus, tol ŠAT sistema prie biokogeneracinių jėgainių nėra ekonomiškai pagrįsta. Tačiau, praėjus valstybės remimo laikotarpiui, šiose kogeneracinėse jėgainėse ŠAT sistema būtų tikrai konkurencinga.

4.2. Ekonominė nauda gaminant pikinę elektros energiją

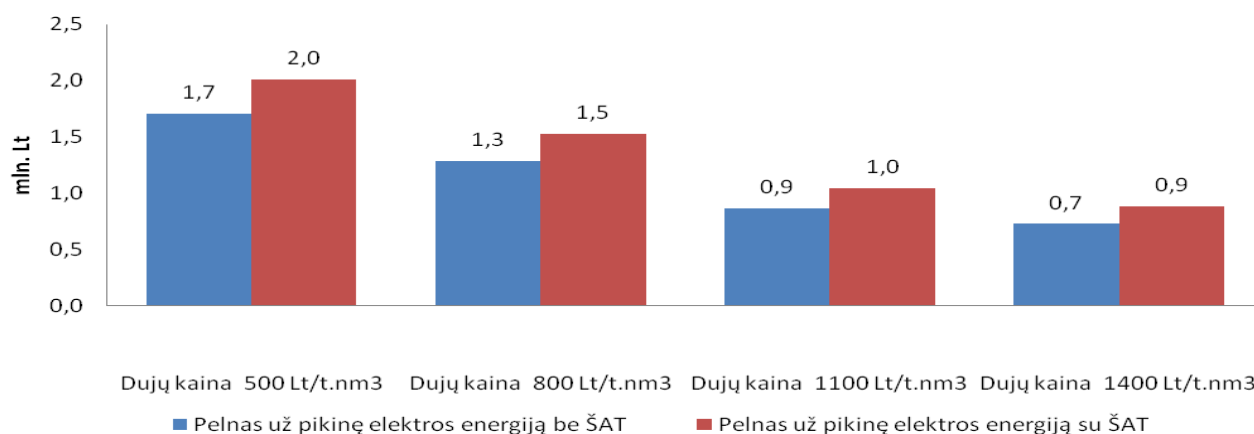
Dujas naudojančiose elektrinėse, didžiąją elektros savikainos dalį sudaro kuro dedamoji. Pastaruoju metu smarkiai kito dujų kainos: nuo 400 Lt/t.nm³ (2004 m.) iki 1 400 Lt/t.nm³ (2008 m.). Nuo dujų kainų kilimo nelabai atsiliko ir biokuro kainos, jos pastoviai kilo išlaikydamos šokią tokią proporciją su dujų kaina. Tolesniuose skaičiavimuose priimta, kad biokuro kaina sudaro

70 proc. dujų kainos. Kintant dujų kainoms, taip pat kinta šilumos ir elektros savikainos. Kogeneracinės elektrinės konkuruodamos pikinės elektros rinkoje su LE ar Kruonio HAE, jei pastaroji „įkrovimui“ naudoja LE naktinę elektros energiją, turėtų didelį pranašumą dėl efektyvesnio kuro panaudojimo. Modeliuojant galimas pikinės elektros kainas, pateikiami keli galimi variantai:

1. Daroma prielaida, kad importuotojų pasiūlyta pikinės elektros energijos kaina – 180 Lt/MWh (Pagal BALTPPOOL vidutinę kainą – 31 pav.);
2. Kogeneracinės elektrinės gali pasiūlyti rinkai 10 % pigiau nei Kruonio HAE, jei ji užsikrovimui naudoja importuotą elektros energiją pridedant 30 % savo nuostolių (pikinės elektros kaina būtų 225 Lt/MWh);
3. Kogeneracinės elektrinės gali pasiūlyti 10 % pigiau nei LE gaminama elektra (pikinės elektros kaina sviruotų, priklausomai nuo kuro kainos, nuo 130 Lt/MWh iki 317 Lt/MWh);
4. Kogeneracinės elektrinės gali pasiūlyti 10 % pigiau nei Kruonio HAE, jei ji užsikrovimui naudoja LE naktį gaminamą elektros energiją pridedant 30 % savo nuostolių (pikinės elektros kaina sviruotų, priklausomai nuo kuro kainos, nuo 153 Lt/MWh iki 371 Lt/MWh).

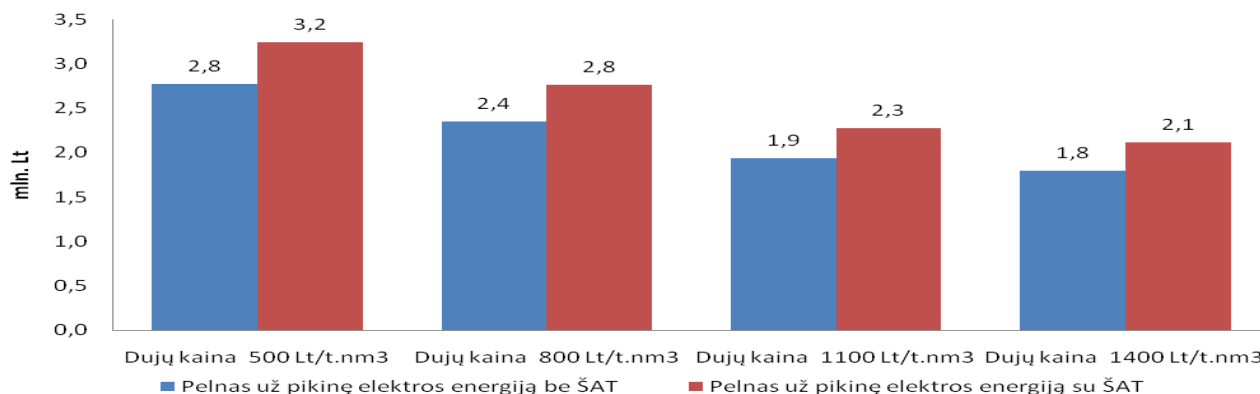
5. Kogeneracinės elektrinės gali pasiūlyti 10 % pigiau negu Kruonio HAE, jei ji užsikrovimui naudoja Kauno, Panevėžio, Klaipėdos ir kitų termofikacinių elektrinių naktinę elektros energiją pridedant 30 % savo nuostolių. Daroma prielaida, kad šių termofikacinių elektrinių pastovieji kaštai tokie pat kaip Mažeikių biokogeneracinės elektrinės (pikinės elektros kaina svyruotų, priklausomai nuo kuro kainos, nuo 192 Lt/MWh iki 232 Lt/MWh).

Pagal šiuos aptariamus scenarijus, metinis pelnas už parduotą pikinę elektros energiją svyruotų nuo -1,0 milijono litų (neigiamas pelningumas), esant mažiausioms kuro kainoms ir 3 variante nurodytai importo kainai, iki 5,6 mln. Lt, esant didžiausiai kuro kainai ir susiklosčius 4 variantui.



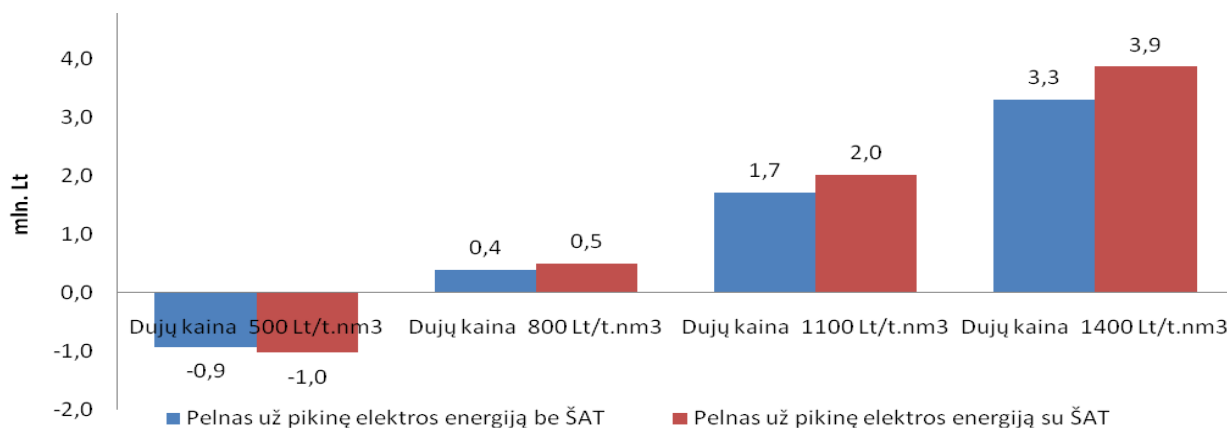
32 pav. Galimas pelnas pagal pirmąjį scenarijų

Pirmasis pikinės elektros scenarijus (galima importuotojo pasiūlyta kaina) kol kas yra mažai tikėtinas: nėra elektros tinklo su Lenkija, elektros kabelis su Švedija dar nenutiestas, Rusijai, didžiausio vartojimo metu, pačiai trūksta elektros energijos. Pagal šį scenarijų galimybė konkurencingai parduoti elektros energiją labiausiai priklauso nuo kuro kainos (7.4 pav.). Esant mažoms kuro kainoms gaminama kogeneracinė elektra yra pigesnė už importuotojo pasiūlytą elektros kainą. Galimas pelnas su ŠAT siektų 2 mln. Lt., o pelnas be ŠAT sistemos būtų 0,3 mln. Lt. mažiau. Didėjant kuro kainoms, kiltų gaminamos elektros energijos savikaina, todėl mažėtų galimas pelnas.



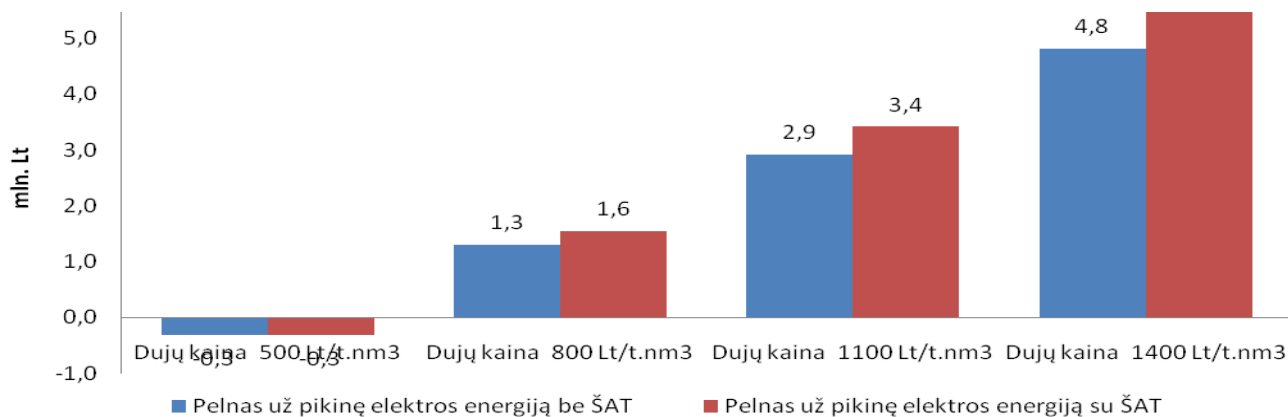
33 pav. Galimas pelnas pagal antrąjį scenarijų

Analizuojant antrąjį galimą pikinės elektros kainos scenarijų, kai Kruonio HAE pirkdama naktinę elektros energiją iš importuotojo, o kogeneracinės jėgainės rinkai pasiūlo 10 % mažesnę kainą, negu Kruonio HAE savikaina, rezultatas gali būti labai panašus į pirmojo scenarijaus. Pelnas su ŠAT sistema, priklausomai nuo kuro kainų, svyruotų nuo 2,1 iki 3,2 mln. Lt. (be ŠA sistemos – 1,8 iki 2,8 mln. Lt). Esant labai aukštoms kuro kainoms (1400 Lt/n.m³ ir daugiau) ŠA sistemos pelningumas sparčiai mažėja ir ties 2000 Lt/n.m³ tampa neigiamas.



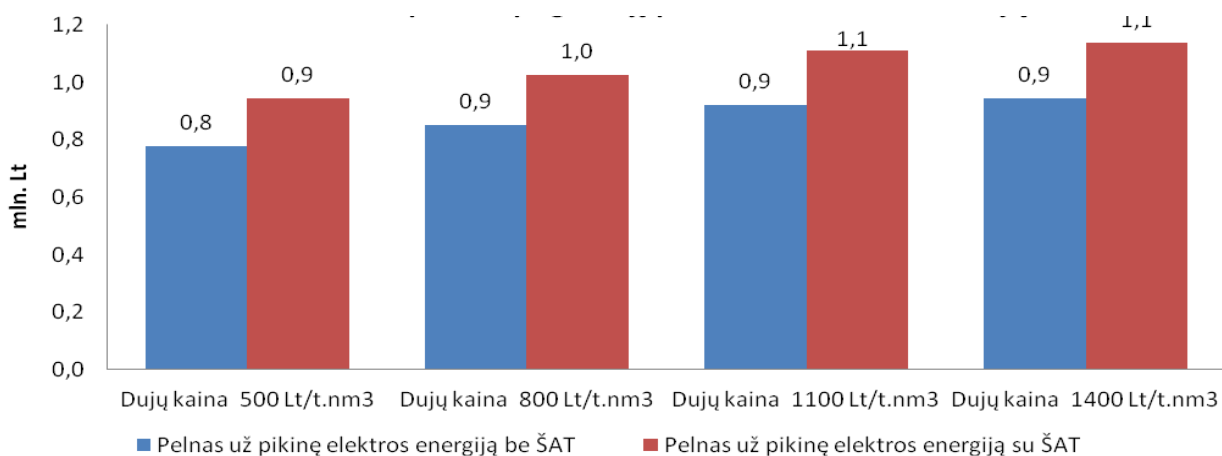
34 pav. Galimas pelnas pagal trečiąjį scenarijų

Trečiojo scenarijaus galimas rezultatas kardinaliai skiriasi nuo pirmųjų dviejų. Prieš tai buvusių scenarijų rezultatų tendencijos – didžiausias pelnas gaunamas esant mažiausiom dujų kainoms, o pakilus kuro kainoms galimi pelnai smarkiai mažėja. Šiuo atveju, kai konkuruojama su AB „Lietuvos elektrinė“ gaminama elektros energija, mažiausias pelnas būtų esant mažoms kuro kainoms. Kainoms pakilus, pakiltų ir galimas pelnas. Šiuo atveju ŠAT sistemos papildomai generuojamas pelnas kinta nuo neigiamo (kai žemos kuro kainos) -1,0 mln Lt iki 3,9 mln. Lt.



35 pav. Galimas pelnas pagal ketvirtąjį scenarijų

Lietuvos pikinės elektros rinkos vystymasis pagal ketvirtąjį scenarijų, suteiktų geriausias sąlygas konkurencinėje rinkoje. Šiuo atveju konkuruotų su Kruonio HAE, kuri „užsikrovimui“ naudotų AB „Lietuvos Elektrinės“ naktį gaminamą elektros energiją. Kaip jau minėta anksčiau, vien kuro suvartojimo atžvilgiu elektros gamyba yra apie 2,1 karto efektyvesnė. Šiuo atveju pelningumas tiesiogiai priklausytų nuo kuro kainos ir kuo didesnė kuro kaina, tuo didesnis galimas pelnas.



36 pav. Galimas pelnas pagal penktąjį scenarijų

36 pav. pavaizduotas galimas pelnas, jei pikinės elektros rinkoje susiklostytų penktasis pikinės kainos scenarijus. Pagal šį scenarijų, konkuruotų su Kruonio HAE, kuri naktinę elektros energiją pirktų iš kitų termofikacinių jėgainių, darant prielaidą, kad jų elektros savikaina tokia pat kaip ir Mažeikių biokogeneracinės jėgainės. Šiuo atveju ŠA sistemos pelningumas visuomet būtų teigiamas, ir galimo pelno dydis nežymiai priklausytų nuo kuro kainos.

IŠVADOS

Literatūros analizė parodė, kad Vakarų Europoje norint išlyginti kogeneracinių jėgainių darbo režimą, efektyviau eksploatuoti įrenginius, yra naudojamos šilumos akumuliacijos talpos. Lietuvoje šilumos akumuliacijos talpos dar nėra naudojamos didesnės galios kogeneracinėse jėgainėse (100 – 1 MW_{el}), jos panaudojamos tik prie mini turbinų ir kitų mažos galios kogeneracinių įrenginių. Naudojant ŠAT sistemą ir dirbant pastovios galios režimu yra prailginamas katilų tarnavimo laikas, padidinamas jų naudingumo koeficientas ir mažinami šilumos nuostoliai staigiai keičiant katilų galią. Visa tai užtikrinama ŠAT sistema panaudojant kaip papildomą šilumos generavimo įrenginį, kuris suteikia galimybę atsisakyti trumpalaikių papildomo katilo užkūrimų. Per metus galima atsisakyti 12 tokių papildomų užkūrimų.

Įvertinus 2008 metų Mažeikių miesto šilumos tinklo šiluminės energijos poreikius ir sumodeliavus prijungtų kogeneracinių įrenginių darbo režimus, nustatytos šilumos akumuliacijos sistemos charakteristikos ir papildomi kogeneracinės energijos kiekiai:

1. Mažeikių jėgainės maksimalus šilumos akumuliacijos poreikis, atsisakant pavienių pikų, 200 MWh, maksimali momentinė įkrovimo/iškrovimo galia 17 MW. Atsižvelgiant į užsiduotas prielaidas ir gautus rezultatus, ŠAT sistemos talpų tūris turėtų būti 4000 m³;
2. Naudojant šilumos akumuliaciją, kogeneracinės elektros kiekį, pagamintą naudojant biokurą, galima padidinti 1,2 GWh/ metus arba 1 % daugiau, lyginant su maksimaliu kogeneracinės elektros gaminiu be ŠAT. Kogeneracinės elektros gamybą piko valandomis galima padidinti iki 4,3 GWh/metus (padidėjimas – 15,9 %);
3. Šilumos akumuliacijos panaudojimas optimizuojant katilų darbo režimus, pastovaus darbo kelių parų intervale, ekonomiškai neatsiperkantis projektas. Tačiau didinantis sistemos lankstumą ir saugumą – patikimumą.
4. Šilumos akumuliacijos talpų sistemos įrengimas pikinės elektros energijos gamybai biokogeneracinėse jėgainėse yra ekonomiškai nenaudingas, kol valstybė skatina atsinaujinančios energijos naudojimą. Pasibaigus skatinimo intervalui (12 metų), ŠAT taptų ekonomiškai pagrįstas pikinės elektros energijos gamybai.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Andersen, A. N. 2007a. CHP-plants with big thermal stores balancing fluctuating production from Wind turbines, DESIRE projec, [interaktyvus] Deliverable 4.1-4.4, 78 p. [žiūrėta 2010 m. balandžio 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://desire2.iset.uni-kassel.de/files/deliverables/del_4.1-4.4.pdf>
2. Danish energy authority „Technology data for electricity and heat generating plants“ 2005 m.
3. „D 1.1 Data for analyzing balancing problems“, dr. Ebbe Münster, PlanEnergi, DESIRE Project, 2005.
4. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2004/8/EB 2004 m. vasario 11 d. dėl termofikacijos skatinimo, remiantis naudingosios šilumos paklausa vidaus energetikos rinkoje, ir iš dalies keičianti Direktyvą 92/42/EE
5. Europos Sąjungos Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2009/28/EB dėl skatinimo naudoti atsinaujinančių išteklių energiją
6. Fragaki, A.; Andersen, A.N.; Toke, D. 2008. Exploration of economical sizing of gas engine and thermal store for combined heat and power plants in the UK, Energy 33(11): 1659–1670.
7. Haeseldonckx, D.; Peeters, L.; Helsen, L.; D’haeseleer, W. 2007. The impact of thermal storage on the operational behaviour of residential CHP facilities and the overall CO2 emissions, Renewable and Sustainable Energy Reviews 11(6): 1227–1243
8. „Heat Accumulators“, Mr. Mogens Kjær Petersen, Mr. Jørgen Aagaard, News from DBDH 1/2004.
9. Heat Storages for CHP Optimization“, Jan de Wit, Danish Gas Technology Centre, Denmark, 2007: www.dgc.dk/publikationer/konference/2007/jdw_pg07_HeatStorage.pdf .
10. Kazragis, Martinaitis, V.; Šiupšinskas, G.; Narbutis, B. 2004. Nedidelės galios kogeneracinių jėgainių šilumos akumuliatorių dydžių paieška, Energetika 2: 47–53. Kester, W. 2004. Analog-digital conversion. Boston.
11. Lietuvos energetikos institutas. Efektyvaus energijos naudojimo tyrimų centras. <http://cyseni.com/main.php?k=1&m=151>

12. Lietuvos šilumos tiekėjų asociacijos prezidento V. Staciūno pranešimas konferencijoje „Atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimas elektros ir šilumos gamybai: biomasė, biodujos, kogeneracija“ 2009-11-17
13. LR Ūkio ministro įsakymas Nr. 206 2008-05-19 “Elektros energijos, pagamintos didelio efektyvumo kogeneracijos proceso metu, kilmės garantijos pažymėjimu išdavimo taisyklės“.
14. LR ūkio ministerija. „Įvairių kogeneracijos technologijų įrengimo galimybių ir sąnaudų studijos bei rekomendacijų dėl šių technologijų diegimo parengimas“. 2007 m.
15. Marcinauskas K., Korsakienė K., Tumsa A., Kuzmickas P. „Kogeneracija, „termofikacija“ ir mikroturbinos“. Energetika. 2008. T. 54. Nr. 2. P. 70–78
16. Mrs. Else Bernsen, Chief Project Manager, COWI A/S “Implementing the CHP Directive” DBDH 4/2004 http://dbdh.dk/images/uploads/pdf-eudir/News_4-2004-art4.pdf
17. „Natural gas-fired CHP gas turbine plant and district heating in Viborg“, CADDET Denmark – NOVA PRO, 2002: lib.kier.re.kr/caddet/ee/R430.pdf .
18. „Пиковые водогрейные котлы большие котлы большой мощности“ Н.И. Жирнов, 1964.
19. „Straw-fired CHP Plant in Rudkøbing – Providing Environmentally-friendly Energy“, CADDET Denmark – NOVA PRO, 1998: lib.kier.re.kr/caddet/retb/no95.pdf .
20. „The World’s First Straw-fired CHP Plant Offers Environmental Benefits“, CADDET Denmark – NOVA PRO, 1998: adl.brs.gov.au/mapserv/biomass/factsheets/CADDETno96.pdf .
21. U. S. Department of Energy Efficiency and Renewable Energy. Distributed Energy Program – Microturbines. www.eere.energy.gov/de/microturbines/tech_basics.html
22. Žukauskas G. Zinevičius F., Mažos galios kogeneracinės jėgainės Lietuvoje. ENERGETIKA. 2007. T. 53. Nr. 2. P. 43–47