

Nedidelės galios kogeneracinių jėgainių šilumos akumuliatorių dydžių paieška

**Vytautas Martinaitis,
Giedrius Šiupšinskas,
Bronislavas Narbutis**

*Vilniaus Gedimino technikos
universitetas,
Šildymo ir vėdinimo katedra,
Saulėtekio al. 11,
LT-10223 Vilnius-40,
el. paštas giedrius@ap.vtu.lt*

Nedidelės galios kogeneracinis įrenginys dažniausiai parenkamas atsižvelgus į šilumos ir elektros poreikius, jų režimo kitimą. Be to, tokio įrenginio veikimą sąlygoja šilumos poreikis, o jis ženkliai kinta ne tik per savaitę, bet ir per parą. Siekiant optimizuoti kogeneracinio įrenginio darbą, sumažinti sistemos šilumos poreikio kaitos įtaką ir prailginti įrenginių darbo trukmę, naudojami šilumos akumuliaciniai bakai.

Šiame darbe nagrinėjamos šilumos akumuliacinių bakų dydžio bei šilumos ir elektros poreikių derinimo galimybės, siekiant minimizuoti investicijas bei naudojimo ir priežiūros sąnaudas. Nustatyta, kad kogeneracinės jėgainės optimaliam akumuliacinio bako dydžiui įtakos turi didžiausių šilumos ir elektros poreikių išsidėstymas laike bei su tuo susijusių kogeneracinio įrenginio įsijungimų skaičiaus įvertinimas. Analizei buvo naudojama realiai veikiančios Palangos reabilitacijos ligoninės kogeneracinės jėgainės galimybių studijos ir monitoringo duomenys.

Raktažodžiai: nedidelės galios kogeneracinė jėgainė, kogeneracinis įrenginys, šilumos akumuliacinis bakas

1. ĮVADAS

Siekiant nacionalinės energetikos tikslų – patikimo, saugaus energijos tiekimo mažiausiomis sąnaudomis [1], atsiranda poreikis naujų technologijų įdiegimui. Viena tokių technologijų – nedidelės galios kogeneracija. Tai efektyvus būdas vienu metu gaminti elektrą ir šilumą [2].

Šiuo metu Lietuvoje nedidelės galios kogeneracinių jėgainių yra tik kelios. Taip yra dėl įvairių priežasčių: santykinai didelių investicijų, neapibrėžtumo dėl pagamintos elektros supirkimo, informacijos ir kvalifikuotų konsultantų trūkumo, neaiškios valstybės pozicijos nedidelės kogeneracijos atžvilgiu. Po Ignalinos atominės elektrinės pirmojo (2005 m.) ir antrojo (2009 m.) blokų uždarymo atsiras papildomas naujų elektros gamybos šaltinių poreikis, tačiau, jei ta linkme nebus pradėta dirbti jau dabar, pereinamasis laikotarpis gali būti labai sudėtingas.

Kogeneracinę jėgainę dažniausiai sudaro visas kompleksas pagrindinių įrenginių: kogeneracinis įrenginys, šilumos akumuliaciniai bakai ir papildomi katilai. Todėl juos parenkant svarbu įvertinti jėgainės darbo bei elektros ir šilumos poreikio režimų tarpusavio sąveiką, atsižvelgti į galimus išorinius neapibrėžtumus.

Šiame darbe nagrinėjamos šilumos akumuliacinių bakų dydžio, šilumos ir elektros poreikių derinimo galimybės, siekiant sumažinti investicijas bei naudojimo ir priežiūros sąnaudas. Naudojamasi autorių at-

likto Palangos reabilitacijos ligoninės 2001 m. įgyvendintos kogeneracinės jėgainės monitoringo duomenimis [3].

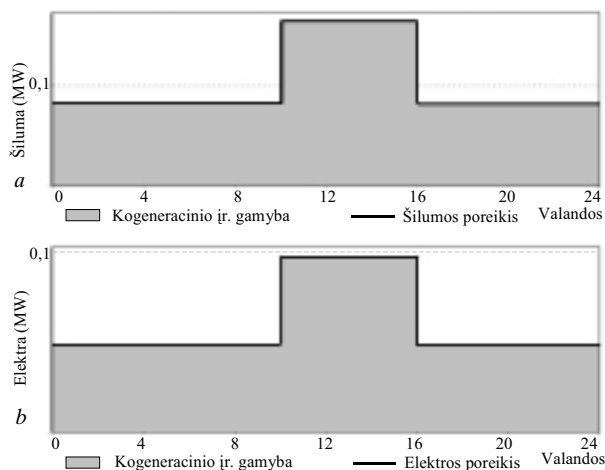
Duomenų analizei ir nuodugniems skaičiavimams panaudotas imitacinis modelis EnergyPro [4].

2. TEORINĖ DALIS

Dažniausiai nedidelės galios kogeneracinis įrenginys parenkamas atsižvelgiant į šilumos ir elektros poreikius, jų kitimą. Tokio įrenginio darbą vasarą sąlygoja šilumos poreikis, o jis priklauso nuo karšto vandens poreikio ir ženkliai kinta ne tik per savaitę, bet ir per parą. Be to, didžiausias elektros poreikis ne visuomet sutampa su šilumos poreikiu. Todėl siekiant sumažinti sistemos šilumos poreikio svyravimų įtaką, prailginti įrenginių naudojimo laiką bei optimizuoti kogeneracinio įrenginio darbą, naudojami šilumos akumuliaciniai bakai. Techninės bei ekonominės poreikių ir gamybos sąlygas atitinkančio akumuliacinio bako parinkimas yra vienas svarbesnių kogeneracinių įrenginių projektavimo uždavinių. Jo dydžio paieška gana sudėtinga ir priklauso nuo daugelio veiksnių.

2.1. Būdingi šilumos ir elektros gamybos atvejai

Idealiu atveju, kai kintamomis apkrovomis dirbantis kogeneracinis įrenginys užtikrina tam tikro pastovaus santykio šilumos ir elektros poreikius (1 pav.), tai akumuliacinis bakas nereikalingas.



1 pav. Įrenginio vienos paros darbas kintamu apkrovimu, esant pastoviam šilumos ir elektros poreikio santykiui. *a* – būdingas šilumos poreikis ir gamyba, *b* – būdingas elektros poreikis ir gamyba

Tačiau praktikoje dažniausiai naudojami kogeneraciniai įrenginiai turi tam tikrą nominalią elektros ir šilumos galią, kuri ne visuomet esant realiems darbo režimams atitinka poreikį. Toks, tik nominaliu režimu veikiantis ir elektros poreikį užtikrinantis įrenginys, esant mažesniai šilumos poreikiui, turės išsijungti arba jo pagaminta šiluma turės būti papildomai suvartota. Galimi du sprendimai. Pirmuoju atveju – kogeneracinis įrenginys išjungiamas, o likusį šilumos poreikį užtikrina katilas ar kitas šilumos šaltinis. Antruoju atveju – kogeneracinis įrenginys veikia nesustodamas, o perteklinė šiluma pašalinama per aušintuvę į aplinką. Abu sprendimai techniškai galimi, tačiau turi trūkumų. Pirmuoju atveju išjungus kogeneracinį įrenginį, katile deginamas kuras išnaudojamas neefektyviai, palyginti su kogeneraciniu įrenginiu, be to, elektra parduodama arba perkama nepalankia kaina. Antruoju atveju – elektra gaminama be pertraukos, tačiau daug šilumos nepanaudojama, iššvaistoma. Abiem atvejais pirminė energija optimaliai neišnaudojama. Tuomet akumuliacinio bako paieška tampa neišvengiama. Kai perteklinė šiluma yra tiekiamą į akumuliacinį baką, galima efektyviau išnaudoti kurą, o kogeneracinis įrenginys gali veikti pageidaujama metu (aukščiausia elektros kaina, didžiausias elektros poreikis ir pan.).

Šilumos atsarga akumuliaciniame bake šilumos vartojimo laikotarpiu kinta nuo didžiausio (Q_{\max}) iki mažiausio (Q_{\min}).

Kai šiluma akumuliuojama esant pastoviai vandens temperatūrai ir kintančiam jo kiekiui, projekcinis akumuliacinio bako tūris V_{ak} (m^3) skaičiuojamas iš lygties [5]

$$V_{ak} = \frac{3600 \cdot Q_{\max}}{\rho \cdot c \cdot (t_{it.vid.} - t_{išt.vid.})}; \quad (1)$$

čia Q_{\max} – akumuliuota šiluma (kWh), ρ – vandens tankis (kg/m^3); c – vandens savitoji šiluma ($kJ/(kg \cdot K)$), $t_{it.vid.}$ – nagrinėjamo laikotarpio įtekančio į akumuliacinį baką šilumnešio vidutinė temperatūra ($^{\circ}C$); $t_{išt.vid.}$ – nagrinėjamo laikotarpio ištekančio iš akumuliacinio bako šilumnešio vidutinė temperatūra ($^{\circ}C$).

Kai šiluma akumuliuojama esant pastoviam vandens tūriui, keičiant šilumnešio temperatūras, tuomet akumuliacinio bako tūris randamas [6]:

$$V_{ak} = \frac{3600 \cdot (Q_{\max} - Q_{\min})}{\rho \cdot c \cdot (t_{\max} - t_{\min})}; \quad (2)$$

čia t_{\max} , t_{\min} – aukščiausia ir žemiausia šilumnešio temperatūra per nagrinėjamą laikotarpį ($^{\circ}C$).

Prieš parenkant akumuliacinio bako tūrį svarbu žinoti, kada ir kiek valandų turi veikti kogeneracinis įrenginys. Bendras šio įrenginio (jei jis dirba pastoviu apkrovimu) darbo laikas $\tau_{bendr.}$ gali būti apskaičiuojamas taip:

$$\tau_{bendr.} = \frac{(Q_{por.} + Q_{nuost.})}{\dot{Q}_{nom.}}; \quad (3)$$

čia $Q_{por.}$ – bendras nagrinėjamo laikotarpio šilumos poreikis (kWh); $Q_{nuost.}$ – bendri nagrinėjamo laikotarpio šilumos nuotoliai sistemoje (kWh); $\dot{Q}_{nom.}$ – kogeneracinio įrenginio nominali šilumos galia (kW).

Bendras suminis kogeneracinio įrenginio darbo laikas ($\tau_{bendr.}$) turi būti ne ilgesnis už nagrinėjamo laikotarpio valandų sumą ($\tau_{laikot.}$).

$$\tau_{bendr.} \leq \tau_{laikot.} \quad (4)$$

Kai ši sąlyga netenkinama, kogeneracinis įrenginys pagamina šilumos mažiau už vartotojo poreikį. Tuomet reikalingas papildomas šilumos šaltinis (katilas, šilumos siurblys ar kt.).

Dažniausiai kogeneracinio įrenginio darbo valandos nagrinėjamu laikotarpiu išdėstomas pagal svarbumą (prioritetą). Tokie prioritetai gali būti: skirtingi elektros kainų tarifai, didelis šilumos poreikis, įrenginio eksploatacijos reikalavimai ir kt.

Tokiu būdu pagal svarbumą išdėsčius, išskaidžius kogeneracinio įrenginio darbo valandas, galima nustatyti didžiausią reikiamą akumuliuoti šilumos kiekį.

Bendruoju atveju, kai žinoma šilumos poreikio ir gamybos kitimas, jų funkcijos laiko atžvilgiu, didžiausia akumuliuojama šiluma Q_{\max} (kWh) gali būti ieškoma pagal lygtį

$$Q_{\max} = \left(\int_0^{\tau} \dot{Q}_{gam.} d\tau - \int_0^{\tau} \dot{Q}_{por.} d\tau \right) \rightarrow \max; \quad (5)$$

$\dot{Q}_{gam.}$ – nagrinėjamo laikotarpio šilumos gamybos apkrovos funkcinė priklausomybė nuo laiko (kW);

$\dot{Q}_{por.}$ – nagrinėjamo laikotarpio šilumos poreikio apkrovos funkcinė priklausomybė nuo laiko (kW).

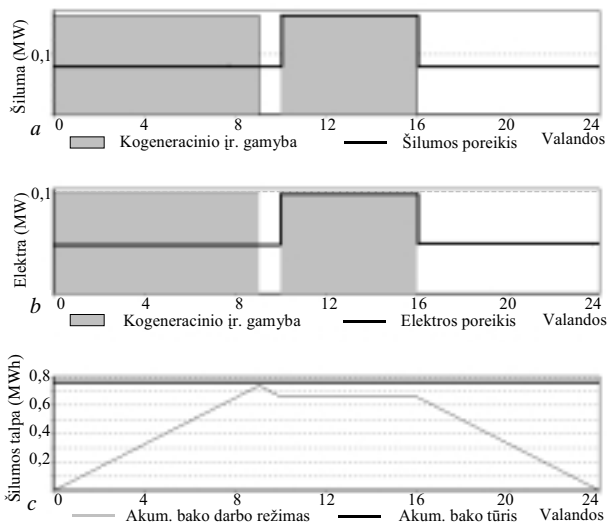
Minėtų funkcijų analitinės išraiškos gali būti nustatytos, bet inžinerinėje praktikoje neaptinkamos. Dažniau poreikio ir gamybos apkrovų reikšmės yra žinomos ar numatomos ir gali būti nusakomos diskretiniais dydžiais. Tuomet (5) bendroji išraiška įgauna tokią pavidalą

$$Q_{\max} = \left(\sum_{i=1}^{\tau} Q_{i.gam.} - \sum_{i=1}^{\tau} Q_{i.por.} \right) \rightarrow \max; \quad (6)$$

$Q_{i.gam.}$ – atskirų laikotarpių pagamintos šilumos kiekis (kWh); $Q_{i.por.}$ – atskirų laikotarpių sunaudotos šilumos kiekis (kWh).

Nustačius didžiausią akumuluojamą šilumos kiekį ir šilumos „užkrovimo“ pobūdį, akumuliacinio bako tūris apskaičiuojamas pagal (1) arba (2) lygtis.

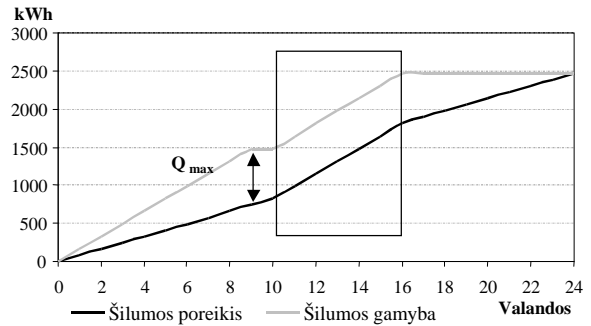
2 pav. pateikiamas vienos paros šilumos ir elektros poreikis bei gamyba kogeneraciniame įrenginyje įvertinus akumuliacinio bako darbą.



2 pav. Vienos paros šilumos ir elektros gamyba kogeneraciniame įrenginyje su akumuliaciniu baku, kai nurodytas įrenginio darbo režimas, o šilumos ir elektros poreikio kitimas sutampa. *a* – šilumos poreikis ir gamyba, *b* – elektros poreikis ir gamyba, *c* – akumuliacinio bako tūris ir darbo režimas

Kogeneracinio įrenginio įsijungimas ir darbo laikas (2 pav.) nustatytas nagrinėjamo paros ciklo pradžioje ir didžiausio elektros poreikio metu (kitu atveju tai gali būti didžiausia elektros pirkimo kaina ar kiti prioritetai). Taip pat numatyta, kad šis įrenginys įsijunginės kuo mažiau kartų. Nagrinėjamo atvejo reikiamas akumuliacinio bako tūris apskaičiuotas pagal (2) lygtį. Gauti skaičiavimai ir jų rezultatai pateikiami 3 pav.

3 pav. matyti pagal (6) formulę apskaičiuotas integralinis nagrinėjamo varianto šilumos poreikio ir



3 pav. Nagrinėjamo varianto kogeneracinio įrenginio darbas, šilumos poreikis ir didžiausias akumuluotos šilumos kiekis

jų gamybos kogeneraciniame įrenginyje pagal norimą režimą grafikas.

Sudarant integralinį grafiką, ordinačių ašyje atidedamas reikiamas šilumos kiekis per tam tikrą laiką $Q_{i.por.} \cdot \tau_i$, o abscisų ašyje – to laikotarpio trukmė τ_i . Nuosekliai sudedant vėlesnių paros laikotarpių šilumos poreikius prie ankstesniųjų, gaunama lauztė (3 pav.), vaizduojanti reikiamą šilumos kiekį bet kuriuo paros momentu, skaičiuojant nuo jos pradžios [6]. Tokiu pat principu integraliniame grafike vaizduojama šilumos gamybos kreivė. Gamybos kreivė negali kirsti šilumos poreikio kreivės, nes tai rodytų, kad šilumos sunaudota daugiau nei pateikta.

Šio grafiko kiekviena kreivės reikšmė atspindi šilumos gamybą bei vartojimą per nagrinėjamą laikotarpį, o apibrėžtas plotas (nuo 10:00 iki 16:00) vaizduoja didžiausio prioriteto laikotarpį (šiuo atveju didžiausia elektros pirkimo kaina), kai kogeneracinis įrenginys turėtų veikti ir gaminti elektrą.

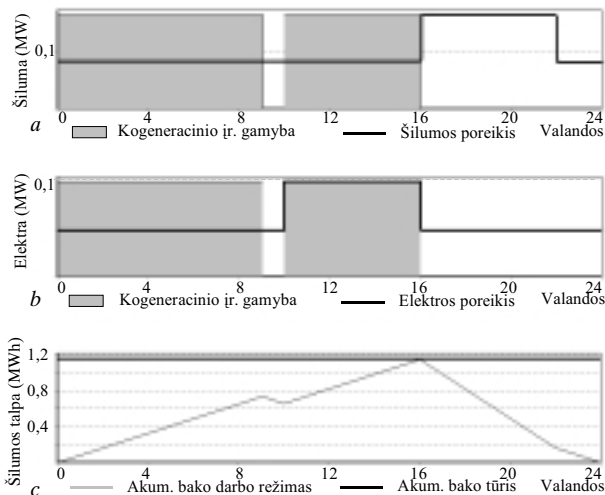
Didžiausias atstumas tarp pateiktų kreivių (Q_{\max}) parodo didžiausią, reikiamą akumuluoti, šilumos kiekį, kuris būtinas norint, kad kogeneracinis įrenginys dirbtų numatytu grafiku.

Jei bus pasirinktas akumuliacinis bakas, kuris gali sukaupti didesnę pagamintos šilumos perteklių, tuomet kogeneracinis įrenginys, dirbdamas numatytu režimu, neužpildys akumuliacinio bako. Dalis bako tūrio bus neišnaudojama.

Kitu atveju – kai akumuliacinio bako tūris parenkamas mažesnis, kogeneracinis įrenginys negalės dirbti numatytu režimu, padidės įsijungimų skaičius.

Nagrinėtame pavyzdyje (2 pav.) šilumos poreikis sutampa su elektros poreikio kitimu. Toliau nagrinėjamas variantas, kai šilumos poreikio ir elektros poreikio didžiausios reikšmės laike nesutampa. Šiuo konkrečiu atveju kogeneracinio įrenginio prioritetas yra elektros gamyba didžiausios elektros kainos metu (nuo 10:00 iki 16:00). Vienos nagrinėjamos paros šilumos ir elektros poreikis bei gamyba kogeneraciniame įrenginyje parodyta 4 pav.

Analizuojant nagrinėtų pavyzdžių skaičiavimo rezultatus pastebėta, kad akumuliacinio bako tūrio dy-



4 pav. Vienos paros šilumos ir elektros gamyba kogeneraciniame jėgainėje su akumuliaciniu baku, kai nurodytas įrenginio darbo režimas, o šilumos ir elektros poreikio kitimas nesutampa. *a* – šilumos poreikis ir gamyba, *b* – elektros poreikis ir gamyba, *c* – akumuliacinio bako tūris ir darbo režimas

džiui įtakos turi didžiausių šilumos ir elektros poreikių išsidėstymo eiliškumas nagrinėjamu laikotarpiu.

Tuomet, kai šilumos poreikio pikas yra prieš didžiausią elektros poreikį, o kogeneracinio įrenginio prioritetas yra elektros gamyba, reikiamas akumuliacinio bako tūris yra mažesnis nei tuo atveju, kai šilumos poreikio pikas seka po didžiausio elektros poreikio.

Šis dėsniumas pastebimas palyginus šilumos, elektros poreikius ir gamybą 4 ir 2 pav. 4 pav. parodytas atvejis, kai didžiausias šilumos poreikis pagal prioritetą nėra svarbiausias, ir jis seka po didžiausio elektros poreikio, todėl papildomas šilumos poreikis užtikrinamas didesniu akumuliuotos šilumos kiekiu nei to reikia 2 pav. pateikto pavyzdžio atveju.

Parentant kogeneracinės jėgainės įrangą būtina atsižvelgti į nagrinėtus režiminius (fiziniais, technologiniais) parametrus formuojamus dėsniumus. Jei įmanoma, pakoreguoti kogeneracinio įrenginio darbo laiką, tokiu būdu optimizuojant darbo režimą ir išvengiant papildomų investicijų akumuliaciniams bakams. Tačiau naudojant kogeneracinį įrenginį reikia siekti nepertraukiamo jo darbo, nes kiekvienas išjungimas ir įjungimas padidina šilumos ir elektros gamybos nuostolius, sutrumpina įrenginio gyvavimo laiką, didina jo priežiūros išlaidas. Atlikti tyrimai parodė, kad junginėjant elektros lemputę kas tris valandas jos gyvavimo laikas sutrumpėja beveik dvigubai, palyginti su tuo atveju, kai lemputė visiškai nejunginėjama [7]. Kogeneracinio įrenginio išjungimų skaičiaus ir jo gyvavimo laiko ryšys yra panašaus pobūdžio. Todėl parentant įrenginio darbo grafiką ir akumuliacinio bako dydį būtina į šį dėsniumą atsižvelgti. Kogeneracinio įrenginio išjungimų skai-

čius didėja, kai akumuliaciniai bakai yra mažesni, nei nustatyta jau išdėstyto būdu. Optimalus akumuliacinių bakų dydis – tai ekonominis kompromisas tarp investicijų akumuliaciniams bakams, nuo išjungimų skaičiaus priklausančių įrenginio priežiūros sąnaudų ir jo eksploatacijos trukmės bei pajamų už parduotą elektrą. Šių veiksnių analizei būtina skirti dėmesį projektuojant kogeneracinius įrenginius.

3. OPTIMALAUS AKUMULIACINIO BAKO TŪRIO PATIKRA PALANGOS REABILITACIJOS LIGONINĖJE

3.1. Nagrinėjamas objektas

Šioje dalyje pateikiami pirmosios Lietuvoje mažos kogeneracinės jėgainės Palangos rehabilitacijos ligoninėje monitoringo metu gauti rezultatai ir optimalaus akumuliacinio bako tūrio patikra.

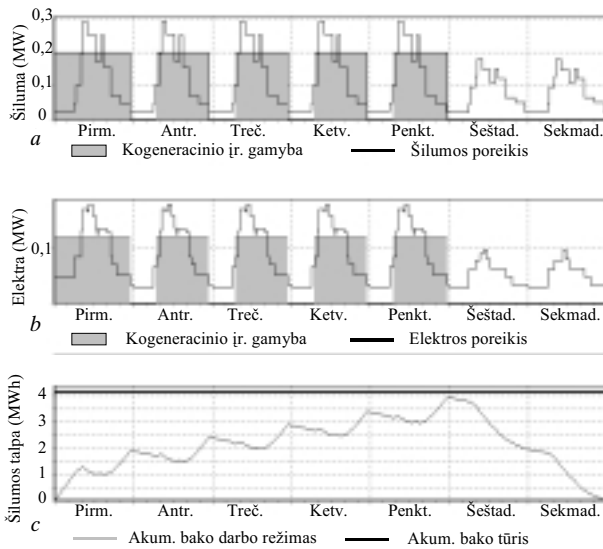
Palangos rehabilitacijos ligoninės visas šilumos pastatų šildymui, karšto vandens ruošimui ir baseinų šildymui poreikis esant norminėms sąlygoms yra apie 2650 MWh. Būdingas metinis elektros poreikis apie 600 MWh. Ligoninėje per pastaruosius 7 metus buvo atliktas platus energijos vandens ir kitų išteklių mažinimas. Viena pagrindinių priemonių buvo papildomos elektros ir šilumos šaltinių kogeneracinės jėgainės įrengimas 2001 m. pradžioje [8]. Šiuo metu ligoninėje pastatytas 200 kW šilumos ir 120 kWe elektros galios kogeneracinis įrenginys, du dujiniai katilai (690 kW ir 530 kW galios) ir keturi (kiekvieno talpa 5 m³) nuosekliai sujungti akumuliaciniai bakai, kurių bendras tūris 20 m³ [9]. Kogeneracinio įrenginio galia šiek tiek didesnė nei buvo numatyta projekto galimybių studijoje, o akumuliacinių bakų dydis paliktas toks, koks numatytas galimybių studijoje.

3.2. Monitoringo rezultatai

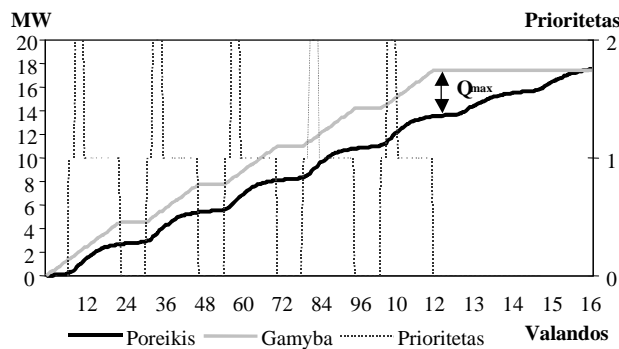
Monitoringo metu buvo fiksuota didžiausių šilumos ir elektros vartotojų poreikis ir jo kitimas. Pagal šiuos faktinius duomenis nustatyti būdingi paros, savaitės ir šiltojo bei šaltojo metų laikotarpių poreikiai.

Akumuliacinio bako optimaliam tūriui patikslinti buvo pasirinktas Palangos rehabilitacijos ligoninės būdingas vienos vasaros savaitės elektros ir šilumos poreikio grafikas. Kogeneracinio įrenginio darbo laikas buvo išskirstytas pagal elektros kainos ir poreikio prioritetus, sumažinus įrenginio išjungimų skaičių iki mažiausiai galimo (5 pav.).

Toliau (6 pav.) pateikiamas nagrinėjamo objekto vienos būdingos vasaros savaitės šilumos gamybos ir poreikio integralinis grafikas. Prioritetinį darbo režimą sąlygoja elektros pirkimo ir pardavimo kainos dydžiai per parą ir savaitę.



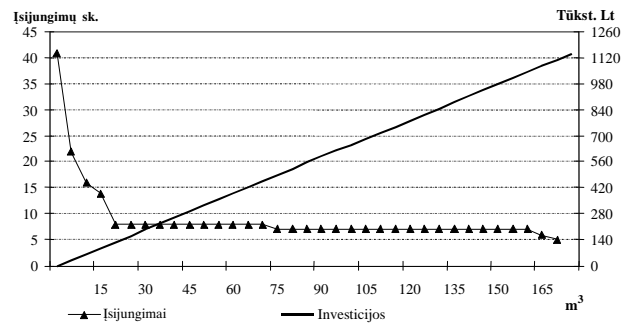
5 pav. Palangos reabilitacijos ligoninės būdingos vasaros savaitės šilumos ir elektros poreikio bei gamybos grafikas. *a* – šilumos poreikis ir gamyba, *b* – elektros poreikis ir gamyba, *c* – akumuliacinio bako tūris ir darbo režimas



6 pav. Palangos reabilitacijos ligoninės būdingos savaitės šilumos poreikio ir gamybos integralinis grafikas

Dirbant šiuo režimu mažiausias įrenginio išjungimų skaičius gali būti pasiektas, kai didžiausia akumuluojama šiluma akumuliaciniame bake yra Q_{max} (apie 4 MWh). Jei vandens temperatūrų skirtumas akumuliaciniame bake bus 20°C , tuomet akumuliacinio bako tūris pagal (2) sieks 175 m^3 . Vertinant tai, kad 1 m^3 akumuliacinio bako su įrengimu kaina yra apie 6500 Lt, tai investicijos tik bakams sudarytų 1,140 mln. Lt. Tuo tarpu visos šiuo metu įgyvendinto projekto investicijos sudarė apie 1,1 mln. Lt. Pagal ekonominius kriterijus 175 m^3 tūrio akumuliacinis bakas tikrai nėra optimalus sprendimas.

Anksčiau minėta akumuliacinio bako dydžio ir išjungimų skaičiaus priklausomybė yra netiesinė. Atliekant tolimesnę būdingo savaitinio šilumos ir elektros poreikio bei gamybos grafiko analizę EnergyPRO modeliu buvo keičiamas akumuliacinio bako tūris ir fiksuojamas kogeneracinio įrenginio išjungimų skaičius. Taip pat buvo apskaičiuotos investici-



7 pav. Kogeneracinio įrenginio išjungimų skaičiaus ir investicijų dydžio priklausomybė nuo akumuliacinio bako tūrio

jos, skirtos akumuliaciniame bakui. Gauti rezultatai bei nagrinėjamų dydžių priklausomybė pateikiama 7 pav.

Tuo atveju (7 pav.), kai akumuliacinio bako tūris kinta nuo 20 iki 175 m^3 , išjungimų skaičius per savaitę padidėja labai nedaug – nuo 5 iki 8 kartų, tuo tarpu investicijos išauga beveik 10 kartų. Tai rodo, kad nepakanka vadovautis vien fiziniu, režiminiu akumuliacinių bakų dydžio nustatymu. Kiekvienu atveju turi būti atidžiai peržvelgti kogeneracinio įrenginio prioritetai ir atitinkamai įvertinta įrenginio išjungimų skaičiaus įtaka naudojimo ir priežiūros išlaidų didėjimui bei pajamoms už parduodamą (arba nenupirtą – gaminant ją sau) elektrą.

4. OPTIMALAUS AKUMULIACINIO BAKO TŪRIO PAIEŠKA PAGAL EKONOMINIUS KRITERIJUS

4.1. Akumuliacinio bako tūrio optimizavimas neįvertinus kogeneracinio įrenginio išjungimo kainos

Ieškant optimalaus akumuliacinio bako dydžio pagal pagrindinius ekonominius kriterijus (paprastą atsipirkimo laiką, grynąją esamąją vertę ir vidinę pelno normą) buvo nagrinėjami penki akumuliacinio bako tūrių variantai. Gauta ekonominė nauda buvo lyginama su baziniu variantu, kai kogeneracinė jėgainė Palangos reabilitacijos ligoninėje nstatoma, o šiluma ir elektra perkama iš tinklų pagal esamą kainą.

Atliekant ekonominius skaičiavimus padarytos tokios prielaidos:

- nagrinėjamas 10 metų laikotarpis, diskonto norma 7%;
- bazinio varianto atveju perkamos iš šilumos tinklų šilumos kaina 120 Lt/MWh;
- perkamos iš elektros tinklų elektros kaina: minimalių apkrovų yra 184 Lt/MWh, vidutinių apkrovų – 238 Lt/MWh ir didžiausių apkrovų – 375 Lt/MWh;
- gamtinių dujų kainą, vartojant nuo 100 tūkst. iki 1 mln. m^3 , sudaro kintamoji dalis $0,469\text{ Lt/m}^3$ ir pastovioji dalis 158 Lt/metus;

Lentelė. Nagrinėtų akumuliacinio bako tūrių variantų ekonominiai ir techniniai rezultatai kai nevertinama kogeneracinio įrenginio išjungimų skaičiaus įtaka įrenginių naudojimo ir priežiūros sąnaudoms

Variantas	I	II	III	IV	V
Akumuliacinių bakų tūriai (m ³)	0	5	10	20	30
Elektros pirkimas (MWh/metai)	258	165	160	158	160
Elektros gamyba (MWh/metai)	533	673	677	682	683
Elektros pardavimas (MWh/metai)	197	245	244	246	249
Kogeneracinio įrenginio išjungimų skaičius (įs./metai)	226	906	397	219	186
Investicijos į akumuliacinius bakus (tūkst. Lt)	0	32,6	65,2	130,3	195,5
Bendros projekto investicijos (tūkst. Lt)	942,5	975,1	1008	1073	1138
Paprastas atsipirkimo laikas (metai)	3,93	3,75	3,87	4,11	4,35
Grynoji esamoji vertė (tūkst. Lt)	743,8	849,9	819,9	760,5	701,2
Vidinė pelno norma (%)	22,0	23,4	22,4	20,6	19,0

- parduodamos į elektros tinklus elektros kaina 100 Lt/MWh;
- bendros kogeneracinės jėgainės naudojimo ir priežiūros sąnaudos priklausomai nuo varianto sudaro nuo 1,9 iki 2,3% bendrų varianto investicijų;
- kogeneracinio įrenginio išjungimų skaičiaus įtaka įrenginių naudojimo ir priežiūros sąnaudoms nevertinta.

Kaip matyti pateiktoje lentelėje, pagal visus ekonominius rodiklius optimalus akumuliacinio bako tūris yra 5 m³ (didžiausias akumuliuotos šilumos kiekis 114 kWh).

4.2. Akumuliacinio bako tūrio optimizavimas įvertinus kogeneracinio įrenginio išjungimo kainą

Kaip minėta anksčiau, kogeneracinio įrenginio išjungimų skaičius turi įtakos įrenginių naudojimo ir priežiūros sąnaudoms. Todėl optimizuojant akumuliacinio bako tūrį pagal ekonominius rodiklius būtina įvertinti ir šį veiksni.

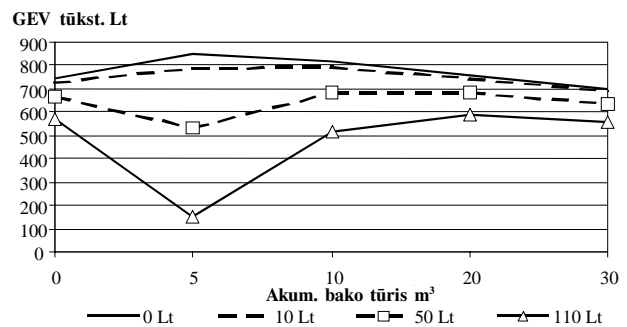
Tikslių duomenų, kaip apskaičiuoti ir įvertinti įrenginių išjungimo skaičiaus kainą, nėra. Ši reikšmė gali būti nustatyta tik kiekvienos kogeneracinės jėgainės konkrečiu atveju ir tik po pakankamai ilgo įrenginio stebėjimo. Todėl nagrinėjant Palangos reabilitacijos ligoninės kogeneracinės jėgainės atvejį buvo tik įvertinta, kokią įtaką galutiniams ekonominiams skaičiavimams gali turėti įvairios įvertintos įrenginių išjungimo kainos.

Palangos reabilitacijos ligoninės atveju kiekvienam variantui apskaičiuota grynoji esamoji vertė (GEV) įvertinus kogeneracinio įrenginio išjungimų kainą. Priimta, kad išjungimo kaina įvertina įrenginio gyvavimo trukmės sutrumpėjimą. Gauti rezultatai matyti 8 pav.

Tuo atveju, kai kiekvienas kogeneracinio įrenginio išjungimas įvertinamas nuo 10 Lt iki 30 Lt, tai

optimalus akumuliacinio bako tūris yra 10 m³ (229 kWh akumuliuotos šilumos). Kai įrenginio išjungimas įvertinamas 50 Lt ir daugiau, geriausias ekonominiu požiūriu yra 20 m³ (458 kWh akumuliuotos šilumos) tūrio akumuliacinis bakas.

Atlikta analizė rodo, kad optimizuojant akumuliacinio bako tūrį labai svarbu atsižvelgti ir įvertinti pagrindinius galutinį rezultatą sąlygojančius veiksnius: kogeneracinio įrenginio darbo laiko prioritetus, išjungimo skaičių ir jų kainos nustatymą.



8 pav. Nagrinėtų akumuliacinio bako tūrių variantų GEV priklausomybė nuo kogeneracinio įrenginio išjungimo kainos

5. IŠVADOS

1. Analizuojant kogeneracinio įrenginio panaudojimo galimybių alternatyvas kiekvienoje jų turi būti pasirinktas elektros ar šilumos gamybos prioritetas, pasirinktos prioritetingos apkrovos raida per parą ir savaitę. Alternatyvų kiekis ir prielaidos priklauso nuo išorinių (pirmiausia elektros supirkimo kainų) ir vietinių (šilumos ir elektros apkrovos poreikio raidos) sąlygų. Be kitų alternatyvų analizės tikslų, tai svarbu nustatant režiminių rodiklių sąlygojamą akumuliacinių bakų dydį.

2. Projektinis akumuliacinių bakų dydis yra mažesnis už režiminių rodiklių sąlygojamą akumuliacinių bakų dydį. Jis randamas kaip ekonominis optimumas, įvertinant investicijas akumuliaciniams bakams, nuo išjungimų skaičiaus priklausančias įrenginio priežiūros sąnaudas ir jo eksploatacijos trukmę bei pajamas už parduotą ar neparduotą elektrą.

3. Atlikta optimalaus akumuliacinio bako tūrio patikra Palangos reabilitacijos ligoninėje parodė, kad režiminių rodiklių sąlygojamas ir optimalus, projek-

tinis akumuliacinių bakų dydis skiriasi keletą kartų. Aptariamiesiems rodikliams įvertinti projektuojant kogeneracinių jėgainių akumuliacinius batus svarbu kaupti ir analizuoti informaciją apie įsijungimų kainą bei tobulinti tos kainos metodinį naudojimą techniniuose ekonominiuose skaičiavimuose.

Gauta
2004 02 20

Literatūra

1. Nacionalinė energetikos strategija. Valstybės žinios. Nr. 99-4397, 2002.
2. Ионин А. А. Теплоснабжение. Москва, 1982.
3. UAB Eksergija. Palangos reabilitacijos ligoninės katilinės ir kogeneracinės jėgainės detalūs monitoringas. Vilnius, 2003.
4. Maeng H., Andersen K. K., Andersen A. N. EnergyPRO user's guide. Aalborg, 2002.
5. Козин В. Е., Левина Т. А., Марков А. П., Проница И. Б., Слемзин В. А. Теплоснабжение. Москва, 1980.
6. Gedgaudas M., Šležas A., Švedaruskas J., Tuomas E. Šilumos tiekimas. Vilnius, 1992.
7. Advanced Lighting Guidelines: 2003 Edition. New Buildings institute, 2003.
8. Martinaitis V., Šiupšinskas G. Pirmos mažos Lietuvos kogeneracinės jėgainės sprendimas. Tarptautinis seminaras „Finansinės ir teisinės sąlygos termofikacinių elektrinių plėtrai Lietuvoje“. LEI pranešimų rinkinys. Kaunas, 2001 11 16.
9. Šiupšinskas G., Rogoža A., Martinaitienė A. Palangos reabilitacijos ligoninės kogeneracinės jėgainės pirmųjų metų darbo rezultatai. 5-oji tarptautinė konferencija „Pastatų aprūpinimas šiluma“. VGTU pranešimų rinkinys. Vilnius, 2002.

Vytautas Martinaitis, Giedrius Šiupšinskas,
Bronislavas Narbutis

RETRIEVAL OF SIZE OF HEAT ACCUMULATORS IN SMALL SCALE CHPs

S u m m a r y

A small scale combined heat and power (CHP) unit is usually selected according to the heat and electricity demand and their operating variations. Besides, the operation of this unit is defined by heat demand, which considerably varies

not only in the course of week but also in the course of day. To optimize the operation of a CHP unit, to decrease the influence of heat demand variations and to extend the operational and maintenance (O&M) time of the equipment, heat accumulation tanks are applied.

This paper sets out to analyze the possibilities of coordination of heat accumulation tanks' volume and heat and electricity demand with the minimal investments and O&M expenditures. The optimum volume of small scale CHP heat accumulation tanks was found to be influenced by the variation in time of heat and electricity maximal demand and by the estimation of the number of turns-on of the CHP unit. The analysis is based on the feasibility study and monitoring data of the operating small scale CHP plant of the rehabilitation hospital in Palanga.

Key words: CHP unit, CHP plant, heat accumulation tank

Витаутас Мартинайтис, Гедриус Шюпшинкас,
Брониславас Нарбутис

ПОИСК ОБЪЕМА БАКОВ-АККУМУЛЯТОРОВ ТЕПЛА ДЛЯ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЕЙ НЕБОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Р е з ю м е

Теплоэлектростанция небольшой мощности обычно подбирается в зависимости от потребности тепла, электричества и изменения их режима. Кроме того, работу такой установки определяет потребность тепла, которая значительно меняется не только в течение недели, но и в течение суток. В целях оптимизации работы теплоэлектростанции – снижения влияния переменной потребности тепла и увеличения срока эксплуатации оборудования – применяются баки-аккумуляторы тепла.

В работе исследуются возможности согласования потребностей тепла и электричества при использовании баков-аккумуляторов различного объема в целях минимизации инвестиций и эксплуатационных затрат. Установлено, что на оптимальный объем бака-аккумулятора теплоэлектростанции влияют не только распределение по времени максимальных потребностей тепла и электричества, но и оценка числа включений теплоэлектростанции. Для анализа использованы инвестиционный проект и данные мониторинга теплоэлектростанции, действующей в Палангской городской реабилитационной больнице.

Ключевые слова: теплоэлектростанция, теплоэлектростанция, бак-аккумулятор тепла