

Kogeneracija, „termofikacija“ ir mikroturbinos

Kazys Marcinauskas,

Irena Korsakienė

*Lietuvos energetikos institutas,
Efektyvaus energijos naudojimo
tyrimų ir informacijos centras,
Breslaujos g. 3, LT-44403 Kaunas
El. paštas: korsak@mail.lei.lt*

Algis Tumosa

*Lietuvos energetikos institutas,
Informacijos skyrius,
Breslaujos g. 3, LT-44403 Kaunas
El. paštas: tumosa@mail.lei.lt*

Petras Kuzmickas

*UAB „Germeda“, Lakūnų pl. 77,
LT-46294 Kaunas
El. paštas: p.kuzmickas@germeda.lt*

Nagrinėjami atskirtosios ir kombinuotosios šilumos ir elektros energijos gamybos variantai, pateikiami jų energetinio naudingumo palyginimo duomenys.

Parodyta, kad Europos Parlamento ir Tarybos 2004 m. vasario 11 d. priimtos Direktyvos 2004/8/EC oficialiame vertime į lietuvių kalbą, verčiant sąvoką „cogeneration“, vietoj sąvokos „kogeneracija“ klaidingai panaudota sąvoka „termofikacija“. Parodytos šios Direktyvos I priede minimų kogeneracinių technologijų taikymo galimybės „elektrinės galios–elektrinio naudingumo“ koordinatėse.

Pateikiama duomenų apie mikroturbinas gaminančias firmas, aptariamias mikroturbinų naudojimo įvairiose ūkinės veiklos srityse galimybės.

Raktažodžiai: atskirtoji ir kombinuotoji šilumos ir elektros energijos gamyba, kogeneracinės jėgainės, mikroturbinos

1. ĮVADAS

Lietuvoje, kaip ir daugelyje kitų valstybių, elektros energija gaminama stambiose šiluminėse (kondensacinėse ir termofikacinėse) elektrinėse, hidroelektrinėse bei atominėje elektrinėje ir centralizuotai tiekiami vartotojams. Didžioji (iki 75%) šiluminės energijos (toliau – šiluma) dalis vartotojams taip pat centralizuotai tiekiami iš termofikacinių elektrinių ir katilinių.

Atvejis, kai elektrinėse gaminama tik elektros energija, o šiluma – katilinėse, vadinamas atskirtąja šilumos ir elektros energijos gamyba.

Atvejis, kai šiluma ir elektros energija gaminama toje pačioje šiluminėje (termofikacinėje) elektrinėje, vadinamas kombinuotąja šilumos ir elektros energijos gamyba. Termofikacinėse elektrinėse įgyvendinamas kogeneracijos principas – viena laikė, to paties proceso metu, šilumos ir elektros energijos gamyba.

Centralizuotas vartotojų aprūpinimas šiluma ir elektros energija turi privalumų ir trūkumų. Centralizuotai gaminant bei tiekiant šilumą ir elektros energiją pagerėja sanitarinės sąlygos miestuose, galima naudoti įvairių alternatyvių rūšių kurą, suvartojama mažiau kuro, nes šiluma ir elektros energija gaminama didelės galios efektyviuose įrengimuose. Tačiau centralizuotas šilumos ir elektros energijos perdavimas šilumos ir elektros tinklais neišvengiamai susijęs su šilumos ir

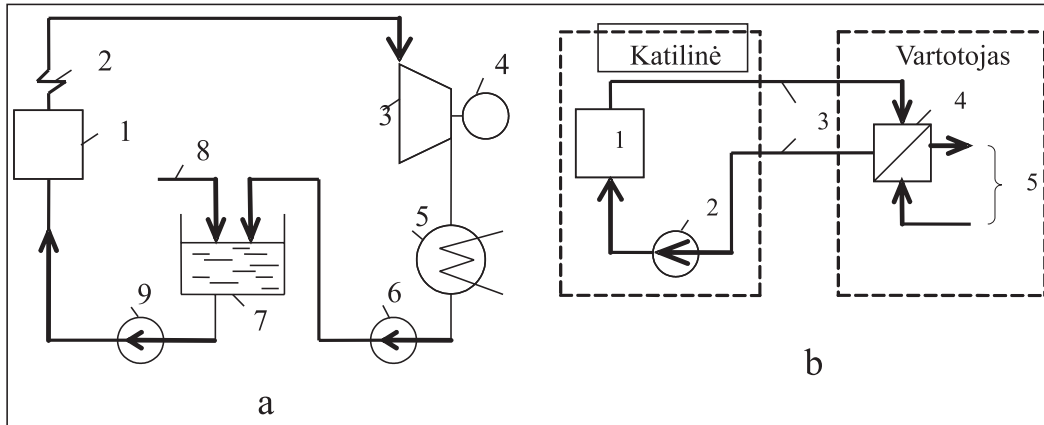
elektros energijos nuostoliais tuose perdavimo tinkluose. Be to, avarių atveju (ypač perdavimo tinkluose) vartotojai, nutrūkus šilumos ar elektros energijos tiekimui, patiria daug nuostolių.

Nepaliaujamai didėjančios kuro kainos, gresiantis pasaulinis klimato atšilimas (gerokai dėl atmosferos teršimo CO₂ dujomis, kurios išsiskiria šilumos ir elektros energijos gamybos procese) bei kitos priežastys lėmė tai, kad pastaraisiais dešimtmečiais užsienio valstybėse daug dėmesio ir milžiniškos lėšos skiriamos efektyvesnei ar iš principo naujai elektros energijos bei šilumos gamybos įrangai kurti, atsinaujinantiesiems energijos ištekliams naudoti. Ypač daug dėmesio skiriama paskirstytosios kogeneracijos įrenginiams (statomiems šalia šilumos ir elektros energijos vartotojų) diegti. Tokie kogeneraciniai įrenginiai vadinami kogeneracinėmis jėgainėmis.

2. ATSKIRTOSIOS IR KOMBINUOTOSIOS ŠILUMOS IR ELEKTROS ENERGIJOS GAMYBOS Palyginimas

1 pav. pavaizduota atskirtosios šilumos ir elektros energijos gamybos ir tiekimo principinė schema.

Kondensacinėje elektrinėje, deginant kurą, gaminama tik elektros energija, o garo kondensacijos šiluma iš kondensato-



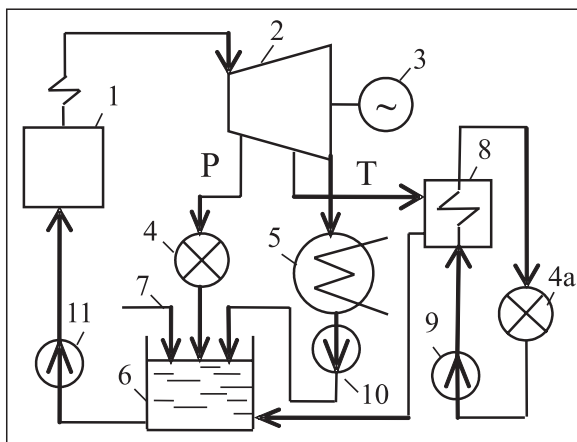
1 pav. Atskirtosios šilumos ir elektros energijos gamybos ir tiekimo principinė schema.

a – elektros energijos gamyba kondensacinėje katilinėje: 1 – garo katilas, 2 – garo perkaitintuvas, 3 – garo turbina, 4 – elektros generatorius, 5 – kondensatorius, 6 – kondensato siurblys, 7 – maitinimo bakas, 8 – papildymas chemiškai valytu vandeniu, 9 – maitinimo siurblys;

b – šilumos gamyba katilinėje: 1 – vandens šildymo katilas, 2 – cirkuliacinis vandens siurblys, 3 – lauko šilumos tinklai, 4 – šilumokaitis, 5 – vartotojų vidaus šilumos tinklai

rius (5) šalinama į aplinką: orą, ežerą ar upę. Katilinėje, deginant kurą, gaminama tik šiluma, kuri tiekama vartotojams.

Termofikacinėse elektrinėse šiluma ir elektros energija gaminama kombinuotai. Šiose elektrinėse naudojami priešslėginės garo turbinos, pabloginto vakuomo turbinos arba kondensacinės su tarpiniu garo paėmimu garo turbinos. 2 pav. pavaizduota termofikacinės elektrinės, kurioje yra kondensacinė garo turbina su tarpiniais garo paėmimais, principinė schema.



2 pav. Termofikacinės elektrinės, kurioje yra kondensacinė turbina su tarpiniais garo paėmimais, principinė schema: P – garas technologijai, T – garas šildymo ir buitines reikmėms: 1 – garo katilas, 2 – garo turbina, 3 – elektros generatorius, 4, 4a – šilumos vartotojai, 5 – kondensatorius, 6 – deaeratorius, 7 – papildymas chemiškai valytu vandeniu, 8 – šilumos tinklų vandens šildytuvas, 9 – šilumos tinklų cirkuliacinis vandens siurblys, 10 – kondensato siurblys, 11 – maitinimo siurblys

Iš garo turbinos gautas aukštesnių parametru garas (P) tiekiamas vartotojų (4) technologinėms reikmėms tenkinti, o žemesnių parametru garas (T) šilumokaityje (8) šildo vandenį, kuris centralizuotai šilumos tinklais tiekiamas vartotojų (4a) pastatams šildyti ir buitiniam karštam vandeniui ruošti [1].

Kombinuotosios šilumos ir elektros energijos gamybos (kogeneracijos) principas įgyvendintas daugiau kaip prieš 100 metų.

1882 m. Niujorke T. Edisonas (T. Edison) suprojektavo pirmąją šilumos ir elektros energijos kombinuotosios gamybos

(kogeneracinę) jėgainę. Europoje pirmoji kogeneracinė jėgainė pradėjo veikti 1893 m.

1947 m. Petrašiūnų elektrinė Kaune pirmą kartą Lietuvoje įgyvendino kogeneracijos principą: gamina elektros energiją ir kartu tiekė garą ne tik popieriaus fabriko technologiniams procesams, bet ir buitiniams poreikiams tenkinti.

3 pav. palyginta atskirtosios ir kombinuotosios šilumos ir elektros energijos gamyba ir tiekimas, kai visuose įrenginiuose deginamos gamtinės dujos [2]. Abiem atvejais elektrinėse veikia dujų ir garo turbinos, o katilinėje – vandens šildymo katilai.

Pastaba: šiame paveiksle ne tik pateikti „grynos“ gamybos duomenys, bet ir įvertinami šilumos bei elektros energijos nuostoliai perdavimo tinkluose.

Matyti, kad atskirtosios šilumos ir elektros energijos gamybos atveju visos „gamybos–tiekimo“ sistemos bendras naudingumas yra:

$$(100 + 100) : 310 \times 100 = 64,5\%,$$

$$\text{o tik gamybos bendras naudingumas yra:}$$

$$(102 + 105) : 310 \times 100 = 66,8\%.$$

Kombinuotosios šilumos ir elektros energijos gamybos atveju visos „gamybos–tiekimo“ sistemos bendras naudingumas yra:

$$(100 + 100) : 222 \times 100 = 90,0\%,$$

$$\text{o tik gamybos bendras naudingumas yra:}$$

$$(102 + 105) : 222 \times 100 = 93,2\%.$$

Kombinuotosios šilumos ir elektros energijos gamybos atveju, palyginus su atskirtosios gamybos atveju, pirminės (kuro) energijos taupymas visoje „gamybos–tiekimo“ sistemoje yra:

$$[1 - (222 : 310)] \times 100 = 28,39\%,$$

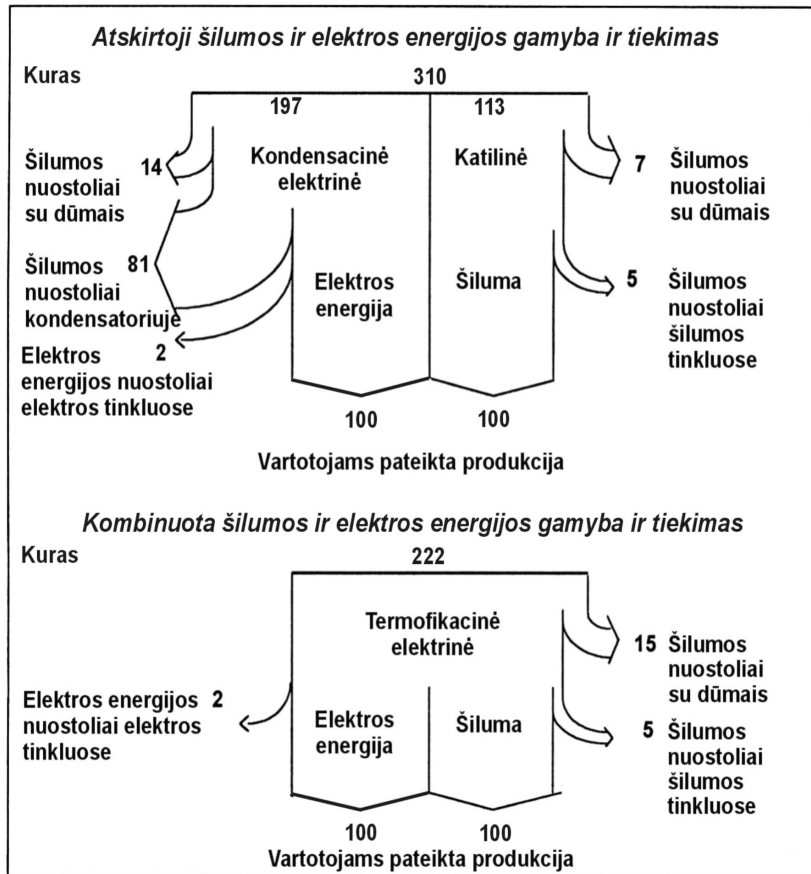
$$\text{o tik gamybos dalyje yra:}$$

$$[1 - (215 : 303)] \times 100 = 29,04\%.$$

Pastaba: Lietuvoje elektros energijos nuostoliai perdavimo tinkluose siekia 10%, o šilumos nuostoliai centralizuotos šilumos tiekimo tinkluose siekia 12–20% ir daugiau.

3. KOGENERACIJA IR „TERMOFIKACIJA“

2004 m. vasario 11 d. Europos Parlamentas ir Taryba priėmė Direktyvą 2004/8/EC, skatinančią kogeneraciją, remiantis naujosiomis šilumos paklausa vidaus energetikos rinkoje [3].



3 pav. Atskirtosios ir kombinuotosios šilumos elektros energijos gamybos ir tiekimo palyginimas

Būtina pažymėti tai, kad oficialiame šios Direktyvos vertime į lietuvių kalbą [4], verčiant iš anglų kalbos sąvoką „cogeneration“, neteisingai pavartota sąvoka „termofikacija“ vietoj „kogeneracija“.

Sąvoka „kogeneracija“ reiškia viena laikę gamybą, kai to paties proceso metu gaminama šiluminė energija bei elektros ir (arba) mechaninė energija [3], o sąvoka „termofikacija“ – centralizuotą šilumos (tik šilumos!) tiekimą iš elektrinės, gaminančios elektrą ir šilumą [5].

Direktyvoje 2004/8/EC (lietuviškai 2004/8/EB) rašoma tik apie bendrą šilumos ir elektros energijos gamybą (kogeneraciją) ir neužsimenama apie centralizuotą šilumos tiekimą (termofikaciją) iš elektrinių, kuriose gaminama šiluma ir elektros energija.

Kogeneracija leidžia taupyti pirminius energijos šaltinius, mažiau šalinti teršalų, visų pirma šiltnamio efektą sukeliančių dujų. Naudojant decentralizuotą (paskirstytą) kogeneraciją išvengiama šilumos bei elektros energijos nuostolių perdavimo tinkluose. Be to, efektyvus energijos panaudojimas, taikant kogeneraciją, gali teigiamai prisidėti užtikrinant energijos tiekimo saugumą bei gerinant Europos Sąjungos ir jos valstybių konkurencinę padėtį.

Minėtosios Direktyvos I priede įvardytos kogeneracinės technologijos, kurioms taikoma ši Direktyva:

- „(a) kombinuotojo ciklo dujų turbina su šilumos atgavimu;
- (b) atgalinio spaudimo garų turbina;
- (c) garų kondensacinė išgavimo turbina;
- (d) dujų turbina su šilumos atgavimu;
- (e) vidaus degimo variklis;
- (f) mikroturbina;

(g) Stirlingo varikliai;

(h) degalų kameros;

(i) garo varikliai;

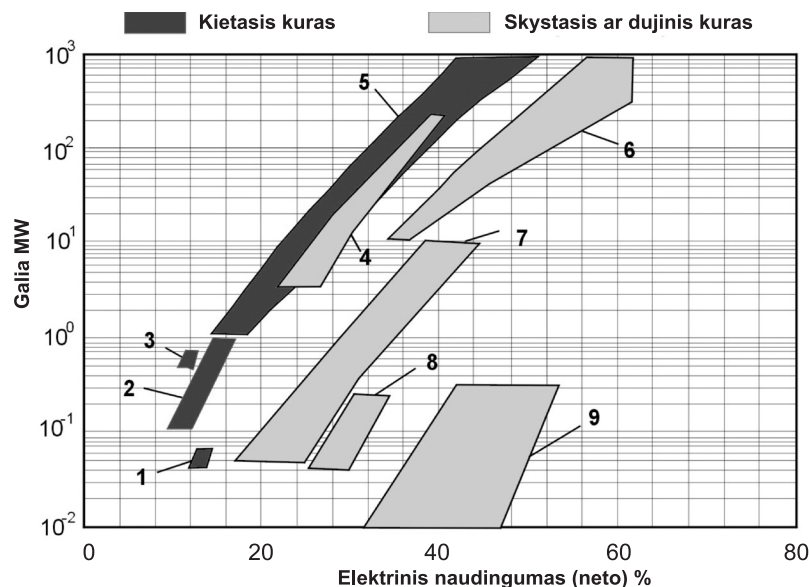
(j) organiniai *Rankine* ciklai;

(k) bet kurio tipo technologijos ar jų deriniai, kuriems taikomas (pastaba: Direktyvos) 3 straipsnio a dalyje pateiktas apibrėžimas“.

Būtina pažymėti, kad Direktyvos I priedo pavadinime pavartotos sąvokos „cogeneration technologies“ (angliškaime tekste) ir „termofikacinės technologijos“ (lietuviškame tekste) netinka įvardyti įvairių technologinę įrangą, minimą šiame priede. Juk atskirai vidaus degimo variklis, Stirlingo variklis, garo variklis ir t. t. – tai ne „kogeneracinė“ (juo labiau ne „termofikacinė“) technologija, o technologinė įranga, kuri gali būti naudojama kogeneracinėje jėgainėje.

Keisčiausia tai, kad šiame priede kaip viena „kogeneracinių“ ar „termofikacinių“ technologijų įvardyti organiniai *Rankine* ciklai – ne įranga, o termofikaciniai ciklai. Juk termodinaminis ciklas – tai darbo agento termodinaminės būklės kitimo termodinaminis procesas, kuriuos įgyvendinant darbo agentas grįžta į pradinę būklę, o šiluminė energija verčiama į mechaninę, arba atvirkščiai, uždara grandinę.

Ką bendro sąvoka „termofikacija“ turi su termodinaminiais ciklais? Juk termofikacijai, t. y. centralizuotam šilumos tiekimui iš kogeneracinių jėgainių, reikia visai kitos įrangos (šilumokaičių, šilumos tinklų vamzdžių, cirkuliacinių vandens siurblių) nei Direktyvos I priede įvardyta technologinė įranga. Termofikacija niekuo nesusijusi su termodinaminiais ciklais: organiniu Renkino (*Rankine*) ciklu (ORC); Renkino (*Rankine*) ci-



4 pav. Elektros energijos gamybai naudojamų technologijų palyginimas: 1 – Stirlingo variklis, 2 – organiniu Renkino ciklu veikianti technologinė įranga, 3 – sraigtinis garo variklis, 4 – dujų turbinos, 5 – garo ciklo elektrinė, 6 – kombinuotojo ciklo elektrinė, 7 – vidaus degimo varikliai, 8 – mikroturbinos, 9 – kuro elementų paketai

klu, kuriuo veikia įprastos šiluminės (termofikacinės) elektrinės, su garo turbinomis (darbo agentas – vandens garai); Braitono (*Brayton*) ciklu, kuriuo veikia elektrinės su dujų turbinomis (darbo agentas – kuro degimo produktai) ir t. t.

Taip pat būtina pažymėti, kad Direktyvos I priedo h punkte įvardyta technologinė įranga (angliškame tekste *fuel cells*, lietuviškame tekste – degalų kameros). Turėtų būti „kuro elementai“ ar tiksliau – „kuro elementų paketai“.

Direktyvos III priede pateikta formulė apskaičiuoti kogeneracinės (ne termofikacinės) gamybos sutaupyta pirminės energijos kiekį, tačiau lietuviškame tekste ši formulė atspausdinta klaidingai, todėl be angliško III priedo teksto šią formulę panaudoti negalima.

4 pav. palygintos įvairios technologijos, naudojamos elektros energijai gaminti [6]. Panaudodami iš šių įrenginių šalinamų degimo produktų šilumą turėsime kogeneracines jėgaines (pastaba: kuro elementų paketų atveju panaudojama juose vykstančių cheminių reakcijų išskiriama šiluma).

Darbe [7] atliktas išsamus garo turbinų, dujų turbinų, vidaus degimo variklių, mikroturbinų ir kuro elementų paketų, gaminant elektros energiją ir naudojant įvairias galimas kuro rūšis, palyginimas. Aptarta šių technologijų vystymosi istorija, veikimo principai, efektyvumas, tarša bei būtinos investicijos ir aptarnavimo išlaidos naudojant įvairias galimas kuro rūšis.

Vakarų šalyse pastaraisiais dešimtmečiais daug dėmesio skirta nedidelės elektrinės galios (nuo kelių kW iki kelių MW) kogeneracinėms jėgainėms kurti, tobulinti ir diegti.

Pirmoji Lietuvoje nedidelės elektrinės galios (112 kW) kogeneracinė jėgainė sumontuota 2001 m. *VĮ Palangos reabilitacijos ligoninė*. Joje panaudotas vidaus degimo variklis, pritaikytas deginti gamtines dujas. Šiuo metu Lietuvoje jau veikia keliasdešimt kogeneracinių jėgainių su vidaus degimo varikliais, kuriuose deginamos gamtinės dujos arba biodujos. Lietuvoje kogeneracines jėgaines su vidaus degimo varikliais stato šios firmos: *UAB Manfula*, *UAB Gilius* ir *Ko*, *UAB Viessmann* ir kt.

Straipsnyje [8] nagrinėjamos kogeneracinių jėgainių plėtros Lietuvoje, naudojant gamtines dujas ir biodujas, perspektyvos. Pateiktas išsamus kogeneracinių jėgainių plėtros galimybių dviejose vartotojų grupėse – gydymo įstaigose ir vandenvals įmonėse – aprašymas.

4. MIKROTURBINOS IR JŲ GAMINTOJAI

Mikroturbinos – tai nedidelės dujų turbinos, kurių elektrinė galia nuo 25 iki 500 kW. Karo pramonėje mikroturbinos naudotos jau kelis dešimtmečius, o jų pritaikymu civilinių pramonės ir visuomeninės paskirties objektų energetiniams poreikiams tenkinti susidomėta XX a. paskutiniame dešimtmetyje.

Straipsnyje [9] pateiktos techninės charakteristikos mikroturbinų, kurias gamina įvairios kompanijos: JAV – *Honeywell Power Systems*, *Ingersoll Rand Energy Systems*, *Capstone Turbine Corporation*, *Elliot Energy Systems*; Vokietijos – *Bowman Power Systems*; Švedijos – *Turbec AB*. Šiame straipsnyje nurodyta, kad stambiausioje Rusijos aviacijos gamykloje (завод им. В. Я. Климова) apie 2004–2005 m. vykdyti darbai, siekiant sukurti 100 kW elektrinės galios mikroturbiną su „oriniais“ guoliais, kurios planuotas elektrinis naudingumas turėjo siekti 35,5%. Deja, įmonės interneto tinklalapyje nėra jokių duomenų apie šiuos vykdytus darbus.

Po 1990 m. JAV firma *AlliedSignal Aerospace Systems* pagamino kompaktišką 17 kW elektrinės galios turbogeneratorių, kuris, kaip pagalbinis elektros energijos šaltinis, buvo sumontuotas M1A1 Abrams tankuose. Įgyta patirtis įgalino 1997 m. sukurti 75 kW elektrinės galios turbogeneratorių „TurboGenerator A™“. 1999 m. Pietų Afrikos firma *Honeywell SA* susijungė su firma *AlliedSignal* ir sukūrė padalinį *Honeywell Power Systems Inc.*, kuris ėmė prekiauti mikroturbinomis „Parallon 75 A™“. Buvo pagaminta keliolika šių mikroturbinų, tačiau nuo 2001 m. jos nebegaminamos.

Švedijos firma *Turbec AB* gamino 100 kW elektrinės galios mikroturbinas. 2003 m. gruodžio 30 d. šios firmos akcijas įsigijo Italijos firma *API Com srl*, o nuo 2005 m. balandžio 1 d. *Turbec AB* transformuota į Italijoje veikiančią firmą *Turbec Spa*. Švedijoje liko tik padalinys *Turbec R & D AB*.

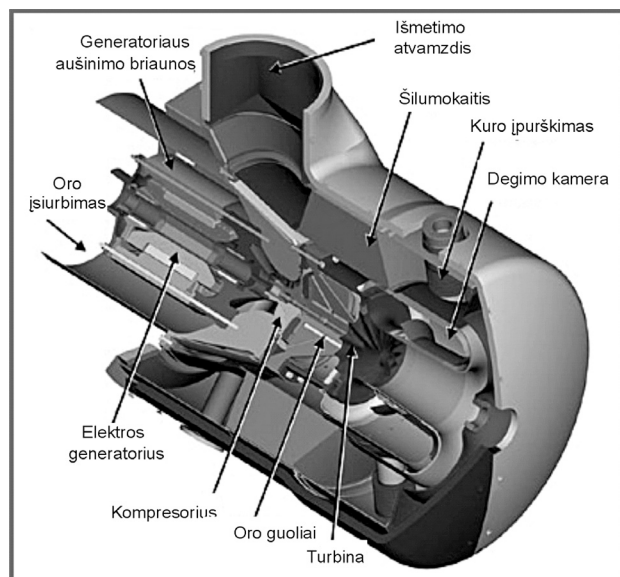
Vokietijos firma *Bowman Power Systems* gamino 80 kW elektrinės galios mikroturbinas, tačiau 2004 m. nutraukė jų gamybą.

Darbe [10] pateikta išsami informacija apie įvairių firmų gaminamas mikroturbinas, nagrinėjamos galimybės panaudoti mikroturbinose biodujas, aptartos mikroturbinų diegimo ir prekybos perspektyvos.

Šiuo metu pasaulinės lyderės mikroturbinų gamyboje yra JAV firmos *Ingersoll Rand Energy Systems*, gaminanti 75 kW ir 250 kW elektrinės galios mikroturbinas, bei, *Elliot Energy Systems* (pastaba: šiuo metu ji priklauso Japonijos korporacijai *Ebara Groups*), gaminanti 100 kW elektrinės galios mikroturbinas. Šių dviejų firmų gaminamose mikroturbinose naudojami tepaliniai guoliai.

Tačiau didžiausia mikroturbinų gamintoja yra JAV firma *Capstone Turbine Corporation*. Dabar įvairiose šalyse veikia per 4000 šios firmos pagamintų mikroturbinų. Pirmąją mikroturbiną rinkai firma patiekė 1998 m. pabaigoje. Keletą metų gamintos 30 ir 60 kW elektrinės galios mikroturbinos. Nuo 2006 m. sausio 1 d. vietoj C60 modelio gaminamos C65 modelio mikroturbinos. 2004 m. balandžio 26 d. į rinką pateikta pirmoji 200 kW elektrinės galios mikroturbina C200, kurios vidutinis elektrinis naudingumas 33,5%.

5 pav. parodytas *Capstone Turbine Corporation* gamintos mikroturbina C60 pjūvis.



5 pav. *Capstone Turbine Corporation* mikroturbina C60

Šios mikroturbina pagrindiniai techniniai duomenys yra tokie:

1) mikroturbinoje C60 tėra viena besisukanti detalė – velenas, ant kurio sumontuoti: elektros generatorius, kompresorius ir pati turbina. Esant nominaliai apkrovai, velenas sukasi 96000 min^{-1} greičiu specialiuose „oriniuose“ guoliuose, kurių nereikia tepti, palyginti su vidaus degimo varikliais ar kai kurių kitų firmų gaminamomis mikroturbinomis;

2) šios 60 kW elektrinės galios mikroturbina elektrinis naudingumas $28(\pm 2)\%$; utilizuojant šalinamą degimo produktų šilumą bendras naudingumas yra 80–85%;

3) elektros generatorius aušinamas iš kompresoriaus į degimo kamerą tiekiamu oru, todėl nereikalinga jo aušinimo skysčių sistema. Jėgainė veikia be vibracijų, o į aplinką, net nenaudojant papildomos apsaugos, tesklinda 75 db triukšmas;

4) mikroturbina C60 degimo kameroje gali būti deginamos gamtinės dujos, suskystintos dujos, dyzelinis kuras. Į aplinką šalinamuose degimo produktuose tėra $<9 \text{ ppmv}$, arba $<16,9 \text{ mg/m}^3$, NO_x ir 40 ppmv CO (duomenys skaičiuoti, degimo produk-

tuose esant 15% O_2) – tai atmosferos tarša, gerokai mažesnė nei leidžia Lietuvoje galiojantys taršos iš stacionarių taršos šaltinių normatyvai;

5) mikroturbina C60 darbo trukmė iki kapitalinio remonto – 60000 h. Po kapitalinio remonto mikroturbina vėl gali dirbti 60000 h;

6) leidžiamas paleidimų / stabdymų kiekis per metus – 1000 kartų. Mikroturbina apkrova reguliuojama tolygiai tarp 0% ir 100%. Pastebimas tik nedidelis mikroturbina naudingumo sumažėjimas esant nedidelėms apkrovoms;

7) mikroturbina C60, palyginti su vidaus degimo varikliais, pasižymi itin mažomis eksploatacijos išlaidomis;

8) mikroturbina gali veikti autonominiu režimu ar drauge su šalies elektros tinklais.

Pastaba. 1. Nuo 2006 m. sausio 1 d. firma *Capstone Turbine Corporation* vietoj mikroturbina C60 pradėjo gaminti mikroturbiną C65 (ir jos variantą C65-ICHIP su integruotu šilumokaičiu), kurios elektrinė galia 65 kW, t. y. 8,33% didesnė nei mikroturbina C60, elektrinis naudingumas $29(\pm 2)\%$; bendras naudingumas padidėjo 4%, o NO_x teršalų kiekis sumažėjo 45% [11].

5. MIKROTURBINŲ PANAUDOJIMO GALIMYBĖS

Mikroturbina naudojamos ne vien atskirtai elektros energijos gamybai ar bendrai šilumos ir elektros energijos gamybai kogeneracinėse jėgainėse. Jų pritaikymo galimybės yra daug platesnės.

5.1. Mikroturbina kogeneracinėse jėgainėse

6 pav. parodyta kogeneracinės jėgainės su mikroturbina principinė schema (pastaba: naudojamas kuras – gamtinės dujos, sąvartynų dujos, suskystintos dujos, dyzelinis kuras) [12].

Pažymėtina, kad mikroturbinų, palyginti su analogiškos galios vidaus degimo varikliais, elektrinis naudingumas keliais procentais mažesnis, nes šiek tiek mikroturbina pagamintos elektros energijos vartojama „savo reikmėms“ gamtinių dujų kompresoriuje.

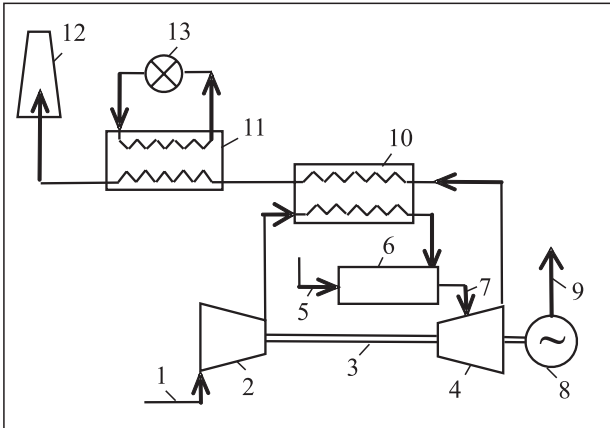
7 pav. parodyta kogeneracinės jėgainės su mikroturbina principinė schema (pastaba: naudojamas kuras – biomasė) [13].

6 ir 7 paveiksluose parodytų schemų principinis skirtumas tai, kad 6 pav. schemoje į turbiną tiekiami kuro degimo produktai, o 7 pav. schemoje – tiekiamas švarus karštas oras.

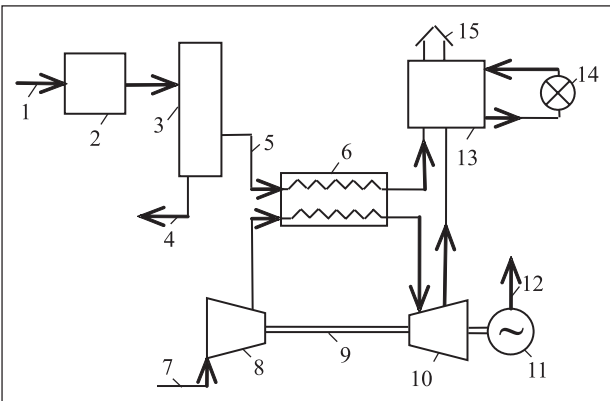
5.2. Mikroturbina trigeneracijos sistemose

Trigeneracija – kai vienu metu gaminama elektros energija, šiluma ir šaltis. Iš mikroturbinų šalinamų degimo produktų šiluma gali būti naudojama ne tik naudingos šilumos gamybai, bet ir šaltio gamybai, panaudojant absorbcines šaldymo mašinas.

8 pav. parodyta JAV kompanijos *UTC Power* gaminama 344 kW elektrinės galios „PureComfort™ 360M“ sistema, kurią sudaro 6 *Capstone Turbine Corporation* mikroturbina C60 ir firmos *Carrier Corporation* gamybos absorbcinė šaldymo mašina [14]. Taip pat gaminamos 229 kW elektrinės galios „PureComfort™ 240M“ (su 4 mikroturbinomis C60) ir 287 kW elektrinės galios „PureComfort™ 300M“ (su 5 mikroturbinomis C60) sistemos.



6 pav. Kogeneracinės jėgainės su mikroturbina principinė schema (kuras – dujos, dyzelinas): 1 – aplinkos oras, 2 – oro kompresorius, 3 – velenas, 4 – turbina, 5 – kuras, 6 – degimo kamera, 7 – degimo produktai, 8 – generatorius, 9 – elektros energija, 10 – rekuperacinis oro šildytuvas, 11 – atliekinės šilumos pasisavinimo šilumokaitis, 12 – kaminais, 13 – šilumos vartotojai



7 pav. Kogeneracinės jėgainės su mikroturbina principinė schema (kuras – biomasė): 1 – tiekiamą biomasę, 2 – kuro sandėlis, 3 – dujųfikatorius ir degimo kamera, 4 – šalinami pelenai, 5 – degimo produktai, 6 – oro šildytuvas, 7 – aplinkos oras, 8 – oro kompresorius, 9 – velenas, 10 – turbina, 11 – generatorius, 12 – elektros energija, 13 – atliekinės šilumos pasisavinimo šilumokaitis, 14 – šilumos vartotojai, 15 – kaminais

5.3. Tiesioginis iš mikroturbinų šalinamų degimo produktų panaudojimas

Iš mikroturbinų šalinamuose degimo produktuose yra iki 18% deguonies, o šalinamų dūmų temperatūra apie 300°C (jei mikroturbinoje dalis degimo produktų šilumos jau panaudota į mikroturbiną tiekiamam orui pašildyti). Tokius degimo produktus galima tiekti į vandens šildymo katilą, pakeičiant dalį į katilą tiekiamo šalto oro, o katilo šildymo paviršius panaudojant vietoj atskiro šilumokaičio. Tačiau reikalingas patobulintas degiklis, leidžiantis dujų deginimui naudoti tiek mikroturbinos degimo produktus, tiek šaltą aplinkos orą. Tokį degiklį sukūrė firma *Gasunie Engineering & Technology* [15]. 9 pav. parodyta tokio įrenginio principinė schema.

Iš mikroturbinų šalinami degimo produktai gali būti naudojami tiesiogiai plytomis ar medienai džiovinti, šiltnamiams ar paukštininkystės fermoms šildyti. Šiltnamiuose, be degimo produktų šilumos, sunaudojamos ir degimo produktuose esančios CO₂ dujos, kurios būtinos augalams auginti.

5.4. Atliekinės šilumos pasisavinimas naudojant mikroturbinas kogeneracinėse jėgainėse, kurios veikia organiniu Renkino (Rankine) ciklu

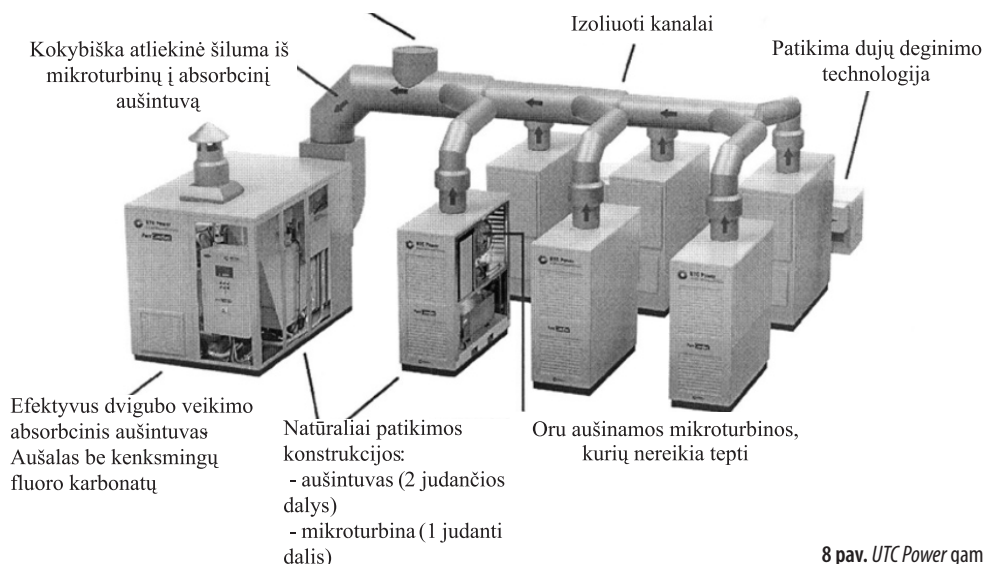
Įprastu Renkino ciklu veikiančiose elektrinėse su garo turbinomis darbo agentas yra perkaitinti vandens garai, būtinos aukštos temperatūros ir slėgis.

Organiniame Renkino cikle naudojami darbo agentai – įvairūs organiniai junginiai – leidžia panaudoti neaukštos temperatūros (nuo kelių šimtų iki 70–80°C temperatūros) šilumos išteklius elektros energijai gaminti. Įrenginių, veikiančių organiniu Renkino ciklu, elektrinis naudingumas siekia nuo 10 iki 20%.

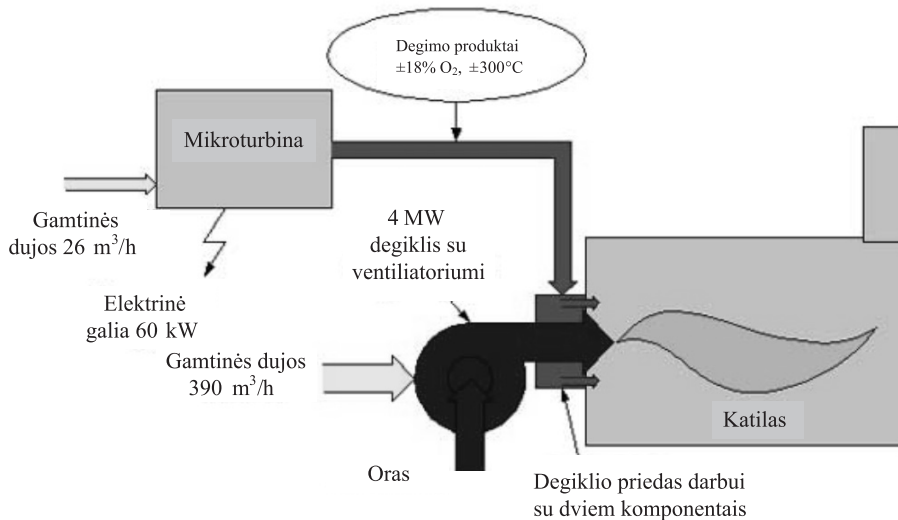
Kompanija *UTC Power* gamina 200 kW elektrinės galios gaminį „PureCycle™ 200“, kuriame mikroturbina veikia organiniu Renkino ciklu (darbo agentas – freonas R245fa) ir panaudojama iš vidaus degimo variklių, dujų turbinų, technologinių procesų šalinama šiluma. 10 pav. parodyta principinė tokio įrenginio schema [14].

Italijos firma *Turboden s.r.l.* gamina turbogeneratorius, veikiančius organiniu Renkino ciklu. Šiuose turbogeneratoriuose

Kontroliuojamas šilumos šalinimas
panaudojant valdymo vožtuvą



8 pav. UTC Power gaminama „PureComfort™ 360M“ sistema



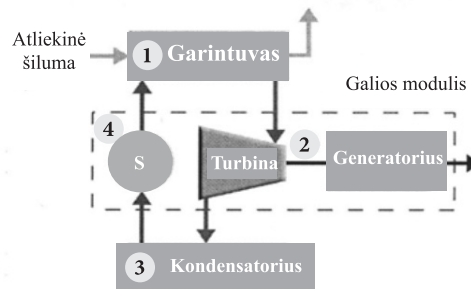
9 pav. Mikroturbos C60 ir vandens šildymo katilo komplekso principinė schema

1 Atliekinė šiluma patenka į garintuvą ir išgarina suslėgtą darbo agentą

2 Galios modulyje karšti garai plečiasi turbinoje, sukandžioje elektros generatorių

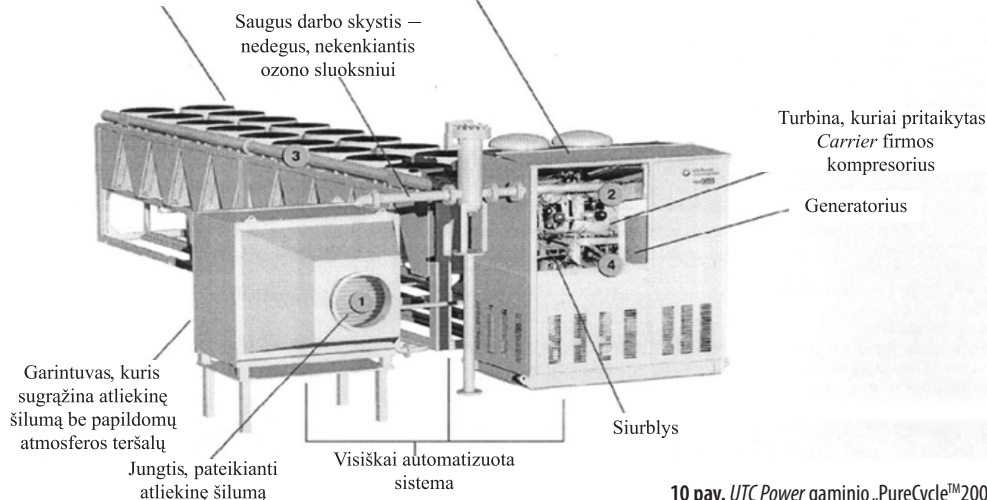
3 Išsiplėtę garai ataušinami ir susikondensuoja kondensatoriuje

4 Siurblys grąžina susikondensavusį darbo agentą į garintuvą



Kondensatorius – paprastos konstrukcijos, standartinis Carrier firmos įrenginys

Galios modulis – po vandeniui nelaidžiu gaubtu



10 pav. UTC Power gaminio „PureCycle™200“ bendras vaizdas ir principinė schema

elektrai gaminti naudojama iš dyzelinių variklių šalinama šiluma, geoterminė energija, saulės energija [16]. Šių turbogeneratorių elektrinė galia siekia nuo keliasdešimties iki kelių šimtų kilovatų.

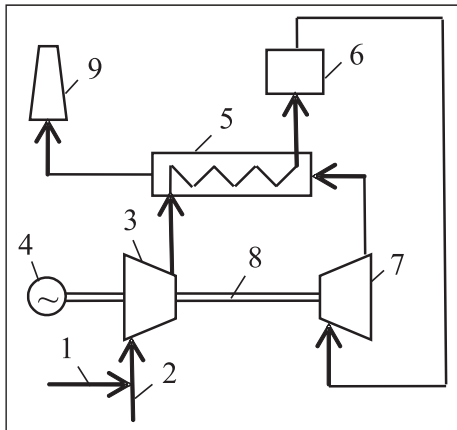
5.5. Oro–metano mišinio (metano koncentracija 1–1,5%) naudojimas mikroturbinoje

Anglies gavybos šachtose su ventiliaciniu oru į aplinką šalinama daug metano dujų, tačiau metano koncentracija šalinamame ore yra labai nedidelė. Yra sukurta įranga, kuri įgalina padidinti metano koncentraciją šalinamame ore iki 20%. Tačiau pastaruoju metu kelios firmos kuria įrangą, kurioje, kaip kurą, būtų galima

naudoti mažos koncentracijos oro–metano mišinį, gaminant elektros energiją.

Firma *Flex Energy*, panaudodama katalitinę degimo kamerą, pritaikė *Capstone Turbine Corporation* gaminamą mikroturbiną C30 naudoti oro–metano mažos koncentracijos (1–1,5%) mišinį. Dabar vykdomi tokio įrenginio pramoniniai bandymai. Firma *Flex Energy* tikisi po dvejų metų pradėti serijinę minėtos įrangos gamybą [17]. Šio įrenginio principinė schema parodyta 11 pav.

Aprašomą techninę įrangą galima naudoti ne tik anglies gavybos šachtose, bet ir naftos verslovėse, nuotekų valymo stotyse, komunalinių atliekų sąvartynuose.



11 pav. „Flex Energy“ mikroturbinos principinė schema: 1 – oro-metano mišinys, 2 – papildomas oras, 3 – kompresorius, 4 – generatorius, 5 – rekuperatorius, 6 – katalitinė degimo kamera, 7 – turbina, 8 – velenas, 9 – kaminas

5.6. Kombinuotojo ciklo saulės jėgainė, naudojanti saulės energiją

Jau daugelį metų užsienio firmos kuria saulės energijos pasisavinimo jėgaines. 12 pav. parodyta kombinuotojo ciklo saulės jėgainės, naudojantios saulės energiją (dieną) ir dujas (naktį), principinė schema. Jėgainėje naudojama 100 kW elektrinės galios mikroturbina „Turbec 100“ [18].

Straipsnyje [19] pateikta labai įdomių duomenų apie įvairių firmų gaminamų dujų turbinų pritaikymo saulės energiją naudojančiose jėgainėse galimybių tyrimus.

P. S. Pastaraisiais metais daugelis užsienio firmų kuria automobilius, kuriuose vietoj įprastų vidaus degimo variklių naudojamos mikroturbinos. Naudojant suslėgtas (suskystintas) dujas, nebereikia papildomo dujų kompresoriaus ir mikroturbinų elektrinis naudingumas siekia iki 40%.

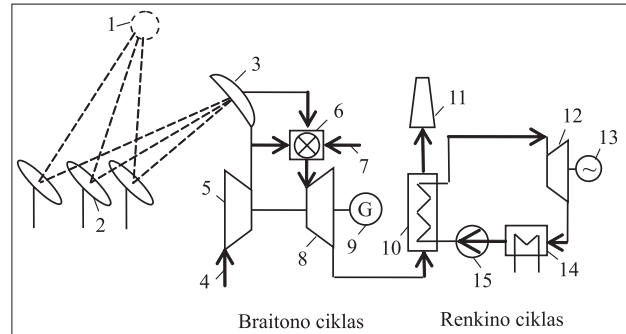
6. IŠVADOS

1. Šilumos ir elektros energijos gamyba kogeneracinėse jėgainėse, palyginti su atskirtąja šilumos ir elektros energijos gamyba elektrinėse ir katilinėse, yra ženkliai efektyvesnė, įgalina taupyti pirminius energijos išteklius, mažina oro taršą CO₂ dujomis.

2. Paskirstytoji kogeneracija įgalina išvengti šilumos ir elektros energijos nuostolių perdavimo ir skirstomuosiuose elektros tinkluose bei centralizuoto šilumos perdavimo tinkluose. Paskirstytosios kogeneracijos atveju galima diegti įvairių šiuolaikinę technologinę įrangą: mikroturbinas, Stirlingo variklius, kuro elementų paketus ir t. t.

3. Mikroturbinos – nauja technologinė įranga – sukurtos pastarąjį dešimtmetį, palyginti su vidaus degimo varikliais, kurie tobulinami jau daugiau nei 100 metų, iš esmės savo techninėmis charakteristikomis prilygsta vidaus degimo varikliams, tačiau kol kas yra brangesnės, nors mikroturbinų eksploatacijos išlaidos (ypač mikroturbinų su „oriniais“ guoliais) yra keletą kartų mažesnės nei vidaus degimo variklių.

4. Mikroturbinų pranašumai, palyginti su kita technologine įranga, bei plačios panaudojimo galimybės įvairiose ūkinės veiklos srityse leidžia tikėtis, kad netolimoje ateityje jos bus naudojamos ir Lietuvoje. Juk ir šilumos siurbliai, masiškai naudojami užsienio valstybėse, Lietuvoje imti plačiau naudoti tik pastaraisiais metais.



12 pav. Kombinuotojo ciklo saulės jėgainės su „Turbec 100“ mikroturbina, naudojanti saulės energiją, principinė schema: 1 – Saulė, 2 – veidrodžių kompleksas, 3 – oro šildytuvas, 4 – oras iš aplinkos, 5 – mikroturbinos kompresorius, 6 – degimo kamera, 7 – kuras (dujos), 8 – mikroturbinos turbina, 9 – generatorius, 10 – katilas utilizatorius, 11 – kaminas, 12 – garo turbina, 13 – generatorius, 14 – kondensatorius, 15 – maitinimo siurblys

5. Europos Sąjungos dokumentų vertėjai į lietuvių kalbą privalėtų labiau konsultuotis su specialistais, atidžiau atlikti parengtų tekstų korektūrą, nes, vadovaujantis netiksliai, o kartais (kaip parodyta šiame straipsnyje) ir klaidingai išverstais dokumentais, galimi ir neteisingi sprendimai įgyvendinant šių teisės aktų nuostatas.

Gauta 2008 01 16

Priimta 2008 02 28

Literatūra

1. Drobavičius A., Garbaravičius J., Gimbutis G. S. ir kt. Bendroji šiluminė technika. Vilnius: Mintis, 1974. P. 519–522.
2. Institutional Handbook for Combined Heat and Power Production with District Heating, prepared by Arto Nuorkwi for Basrec. 2002. December. 10 p.
3. Directive 2004/8/EC of European Parliament and of the Council of 11 February 2004 on the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market and amending Directive 92/42/EEC // Official Journal of the European Union. 2004.2.21. P. 52–60.
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/EEB. www3.lrs.lt/pls/inter1/dokpaieska.showdoc_l?p_id=46621
5. Švenčianas P., Adomavičius A., Buinevičius K. ir kt. Aiškinamasis šiluminės ir branduolinės technikos terminų žodynas / Kauno technologijos universitetas. Kaunas: Technologija, 2004.
6. Karl J., Brost O., Metz Th., Groll M., Hein D. Decentralized Generation of Heat and Power by Means of the Biomass Heatpipe Reformer. 6 p. www.ltk.mw.tum.de/publikationen/pdffiles/paper_moskau_2001.pdf
7. Distributed energy program report: Combined Heat and Power Market Potential for Opportunity Fuels. Tasks 1 and 2. December 2004. By resource Dynamics Corporation. www.intermountainchp.org/initiative/support/fuelsdraftreport.pdf

8. Žukauskas G., Zinevičius F. Mažos galios kogeneracinės jėgainės Lietuvoje // Energetika. 2007. T. 53. Nr. 2. P. 43–47.
9. Пожидаев В. М. Микротурбинные электроагрегаты – новое направление в малой энергетике // Академия энергетики. Наука и технологии. 2005. № 4. С. 26–33. www.capstone.ru
10. Lymberpoulos N. Microturbines and their application in bio-energy. Centre for Renewable Energy Sources C.R.E.S. 2004. January. 74 p.
11. www.mikroturbine.com
12. U. S. Department of Energy Efficiency and Renewable Energy. Distributed Energy Program – Microturbines. www.eere.energy.gov/de/microturbines/tech_basics.html
13. “Biomass Fueled Microturbine for Combined Heat and Power”. A Renewable Energy Proposal to the Joint Solicitation Offered by the USDA & DOE. NRC5 Proposal # USDA-Grants-031803-001. May 16, 2003. www.sedd.org/Documents/USDA_DOE_Biomass_Fueled_Microturbine.pdf
14. www.utcpower.com
15. Флорис де Грут. Автономная котельная – новый способ использования микротурбин в существующей системе энергоснабжения котельной. www.capstone.ru/news/2006/17-1.htm
16. www.turboden.it
17. www.flexenergy.com
18. www.greth.fr/solhyco/public/solhyco.php
19. Schwarzbözl P., Buck R., Sugarmen Ch., Ring A., Crespo J. M., Altwegg P., Enrile J. Solar gas turbine systems: Design, cost and perspectives // Solar Energy. 2006. N 80. P. 1231–1240. www.greth.fr/solhyco/upload/SolarGasTurbineSystems.pdf

Kazys Marcinauskas, Irena Korsakienė,
Algis Tumosa, Petras Kuzmickas

COGENERATION, “THERMOFICATION” AND MICROTURBINES

Summary

The paper investigates cases of separate and combined heat and power generation, providing data for comparison of their energy efficiency. It was shown that the official translation of the Directive of the European Parliament and of the Council 2004/8/EC from February 11, 2004 into the Lithuanian language has used the incorrect concept of “thermofication” instead of “cogeneration”. The paper shows various possibilities for the use of cogeneration technologies presented in Annex I of the Directive, on the “power capacity vs. electric efficiency” axes.

The paper provides data on companies producing microturbines and discusses possibilities to use microturbines in various fields of economic activity.

Key words: separate and combined heat and power generation, CHP plant, microturbines

Казис Марцинаускас, Ирена Корсакене,
Альгис Тумоса, Пятрас Кузмицкас

КОГЕНЕРАЦИЯ, „ТЕРМОФИКАЦИЯ“ И МИКРОТУРБИНЫ

Резюме

В статье обсуждаются варианты отдельного и совместного производства тепловой и электрической энергии, представлены сравнительные результаты энергетической эффективности этих вариантов.

Указано, что при официальном переводе на литовский язык Директивы 2004.08.ЕС, принятой 11 февраля 2004 г. Европейским Парламентом и Советом, вместо понятия „когенерация“ ошибочно использовано понятие „термофикация“. В координатах „электрическая мощность–электрическая эффективность“ показаны возможности применения когенерационных технологий, указанных в приложении I к данной Директиве.

Представлены данные о производителях микротурбин, обсуждены возможности применения микротурбин в разных областях хозяйственной деятельности.

Ключевые слова: отдельное и совместное производство тепловой и электрической энергии, когенерационные установки, микротурбины