

B priedas. Techninės ir ekonominės prielaidos rentabiliam *P.moriformis* biomasės auginimui ir perdirbimui

Nuolatiniam elektros ir šilumos energijos poreikiams tenkinti šaltuoju metų laiku, Lietuvoje instaliuota daug kogeneracinio ciklo elektrinių. 2015 metais buvo svarstoma 400 mln. Eur. galima investicija į Kauno termofikacinės elektrinės modernizavimą. Svarstytas naujos, iškastiniu kuru kūrenamos 350 MW galios kogeneracinės jėgainės, potencialiai galėsiančios pagaminti apie 20 % Lietuvai reikalingos elektros energijos, įrengimo scenarijus. Ekspertų teigimu, deginant iškastinį kurą, į atmosferą išmetamos CO₂ dujos, tačiau azoto ir sieros junginiai bei kietosios dalelės išgaudomos reguliuojant degimo procesą bei panaudojant filtraavimo ir kitus įrenginius. Investuotojai planavo jėgainės išmetamą CO₂ panaudoti mikrodumblių auginimui bei tolimesniam jų perdirbimui į biodegalus skirtus transportui.

Energetinis balansas apskaičiuotas įvertinus penkis scenarijus:

1. iš mikrodumblių išgaunama viena tona sausos biomasės per dieną;
2. panaudojama visa perteklinė šiluminė energija, susidaranti kogeneracinėje elektrinėje;
3. sugaudoamas visas CO₂ išmetamuosiuose dūmuose;
4. panaudojama visa kogeneracinėje elektrinėje sugeneruojama šiluminė energija;
5. panaudojama visa kogeneracinėje elektrinėje pagaminama elektros energija

Mikrodumblių auginimą Lietuvoje apsinkina specifinės klimatinės sąlygos: pakankamai žema saulės spinduliuotė 1900 kWh/m² (pietiniuose pasaulio regionuose apie 3000 kWh/m²), žema oro metinė temperatūra 6 °C ir didelis iškrentančių kritulių kiekis. Įvertinus šiuos veiksnius mikrodumblių auginimui pasirinkta uždaro tipo (baseino) sistema, kuri instaliuota į kogeneracinę jėgainę kaip CO₂ gaudyklė. Matematiniam energetinio balanso skaičiavimams atlikti pasirinkta 50 MW galingumo kogeneracinė jėgainė, deginanti iškastinį kurą. Tokio tipo elektrinės diegimas buvo planuotas 2016 metais Kauno mieste, o techniniai duomenys pateikti (B priede B.1 lentelėje). Priimama, kad energijos gamybai naudojamo iškastinio kuro cheminė elementinė sudėtis yra: C – 62,2 %, H – 4,2 %, S – 3,3 %, O – 6,4 %, N – 1,2 %, pelenai – 15,8 %, drėgnumas – 7,0 % (% nuo bendro svorio). Sudeginus šį kurą teoriškai su išmetamaisiais dūmais

išsiskirs: CO_2 – 18,7 %, N_2 – 74,4 %, SO_2 – 0,04 %, NO_x – 0,01 %, O_2 – 6,41 % (% nuo bendro svorio). Remiantis Europos Parlamento ir Tarybos Direktyva 2010/75/EU, dėl pramoninių išmetamų teršalų (taršos integruotos prevencijos ir kontrolės), turi būti prižiūrimas ir užtikrinamas išmetamų teršalų kiekis dūmuose, kuris neviršytų nustatytų normų, o O_2 sudarytų 6 % bendro tūrio, kas yra įprasta jėgainėms kūrenamoms iškastiniu kuru (Van Den Hende *et al.* 2015). Nagrinėtu atveju deguonies sudarytų 6,41 % ir tenkintų sąlygas.

Iš B.1 lentelėje pateiktą kogeneracinės jėgainės techninių duomenų matyti, kad su išmetamais dūmais į aplinką patenka 462 tonos CO_2 per dieną, kurios prisideda prie šiltnamio efekto didinimo. Mikrodumblių auginimo metu šios dujos yra panaudojamos, o norint išgauti vieną toną sausos biomasės per dieną, teoriškai reikalingas 1,83 t CO_2 kiekis, darant prielaidą, kad anglies junginiai sudaro 50 % visos biomasės. Praktikoje CO_2 sunaudojimas gali išaugti kelis kartus (Slade *et al.* 2013). Todėl priimama, kad norint išauginti 1 t sausos mikrodumblių biomasės, CO_2 sunaudojimo efektyvumas sieks 50% ir išsaugos iki 2,745 t per dieną.

B.1 lentelė. Iškastiniu kuru kūrenamos 50 MW galingumo jėgainės specifikacija

Table B.1. Specification of 50 MW capacity cogeneration plant fired with fossil fuels

Techniniai duomenys	Reikšmės
Instaliuota galia, MW	50 (4320 GJ/dieną)
Instaliuota elektros energijos gamyba, MW	15 (1296 GJ/dieną)
Instaliuota šilumos gamyba, MW	31,6 (2730 GJ/dieną)
Patiriami šilumos nuostoliai su išmetamaisiais dūmais, MW	3,4 (294 GJ/dieną)
Iškastinio kuro sunaudojimas energijos gamybai, t/dieną	194
Išmetamų dūmų kiekis deginant iškastinį kurą, t/dieną	2474
Išmetamuosiuose dūmuose, esantis CO_2 kiekis, t/dieną	462

Į kogeneracinės jėgainės modelį įdiegiama mikrodumblių auginimo uždaro tipo baseino sistema, atliekanti CO_2 gaudymo išmetamosiose dujose funkciją. Uždaro tipo baseino sistemą sudaro specialus 12000 m² dydžio šiltnamio, pagamintas iš polikarbonato stiklo, kuriame įrengtas atviro tipo 667 m³ tūrio vandens baseinas, o rekomenduojamas gylis siekia 0,15 – 0,20 m (Yen *et al.* 2014) ir turėtų užimti apie 0,33 ha plotą. Didesnis vandens baseino gylis prisidėtų prie sumažėjusios šviesos skvarbos ir prastesnį mikrodumblių našumą. Šiltnamyje palaikoma pastovi 25 °C temperatūra ir įdiegta oro cirkuliacija dėl susidarancio vandens garavimo. Įvertinus šiltnamio ir baseino dydį priimama, kad vandens garavimo greitis sieks 0,79 t/h Taip pat atsižvelgiama į vandens vėsimo greitį, kuris sudaro apie 3 °C/h Todėl, siekiant palaikyti pastovią vandens temperatūrą yra panaudojama apie 24 GJ energijos vienai tonai mikrodumblių. Taip pat reikėtų įvertinti šilumos

nuostolius per šiltnamio sienes ir du kartus per valandą pasikeičiantį orą šiltnamyje, kuris sušildomas nuo 6 °C iki 25 °C temperatūros. Įvertinus šiuos veiksnius priimama, kad norint išauginti vieną toną šlapios mikrodumблиų biomasės, reikalinga 41,5 GJ energijos. Sausos biomasės išgavimui prireiktų papildomai apie 10,0 GJ energijos, atliekant terminį ir mechaninį džiovavimo procesus. Sąlyginai mažo intensyvumo saulės spinduliuotė nėra pakankama mikrodumблиų auginimui, todėl pasitelkiama dirbtinė šviesa naudojant LED šviestuvus, kurių dėka pasiekiamas 100–210 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ šviesos intensyvumas. Priimama, kad dirbtinė šviesa bus naudojama 12 h per parą ir sueikvos papildomai 14,4 GJ energijos. CO₂ gaudyklės sistemos įdiegimas bendrai užimtų apie 0,4 ha žemės ploto.

Mikrodumблиų auginimas uždaro tipo baseine reikalauja energijos srautų balanso modelio sukūrimo, siekiant įvertinti energijos poreikį vienai tonai sausos biomasės per dieną. Gauta biomasė vėliau gali būti panaudojama biodegalų gamybai. Skaičiavimams atlikti įvedami duomenys pateikti B.2 lentelėje. Energijos srautų balanso modelis (B.1 pav.) leidžia matyti energijos poreikį, norint išauginti vieną toną sausos mikrodumблиų biomasės per parą. Tokio projekto metu būtų išgaunama apie 23,5 GJ energijos, o sunaudojama 51,5 GJ šiluminės ir 14,4 GJ elektros energijos. Iš B.1 paveikslė pateikto modelio matyti, kad energijos nuostoliai (šiluminė energija) yra panaudojama mikrodumблиų auginimui, tai padidina kogeneracinės elektrinės naudingumą ir sumažina išmetamą anglies dvideginio kiekį. Pastebėta, kad pasirinktas 50 MW pajėgumo termofikacinės elektrinės modelis neteiks didelės energetinės naudos, dėl sąlyginai mažo energijos nuostolio, leisiančio išauginti iki 5,7 tonų sausos mikrodumблиų biomasės per parą. Šilumos energijos trūkumui kompensuoti galima panaudoti visą termofikacinėje elektrinėje pagaminamą elektros energijos kiekį, kuris leistų pasiekti 90 t per parą mikrodumблиų biomasės. Jėgainėje pagaminta šilumos energija taip pat gali būti panaudota mikrodumблиų auginimui, kuri prisidėtų 53 t per parą efektyvumu, tačiau būtų panaudotas tik vienas trečdalis viso CO₂ išmetamosiose dujose. Įvertinus, kad mikrodumблиų auginimui būtų panaudotas visas išmetamuosiuose dūmuose esantis CO₂, nustatyta, kad per parą galima išauginti iki 168,5 t sausos mikrodumблиų biomasės. Tokiam biomasės kiekiui išauginti, šilumos ir elektros energijos poreikis viršys jėgainės pajėgumą. Vienai tonai mikrodumблиų biomasės išauginti prireiks maždaug 2,745 tonos CO₂, 51,5 GJ šilumos ir 14,4 GJ elektros energijos per parą. Mikrodumблиai turės būti auginami 0,33 ha ploto baseine kur bus sugeneruojamas 23,5 GJ mikrodumблиų biomasės per parą.

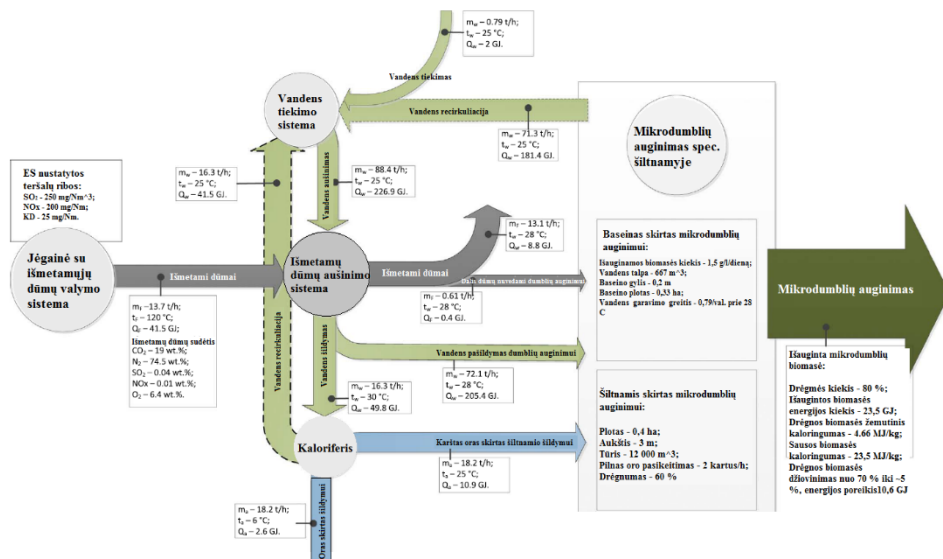
Kito scenarijaus atveju, kai panaudojama visa kogeneracinėje elektrinėje susidariusi perteklinė šiluminė energija – sugeneruojama 134,1 GJ mikrodumблиų biomasės per parą, tačiau atitinkamai išauga baseino ploto poreikis iki 1,9 ha, CO₂ iki 15,7 t/parą ir atitinkamai šilumos ir elektros energijos (293,8 GJ ir 82,1 GJ per parą).

B.2 lentelė. Įvedami duomenys energijos balanso skaičiavimui (Dalrymple *et al.* 2013, Kyriakopoulos *et al.* 2015, Guo *et al.* 2013)

Table B.2. Input parameters for the build-up of energy and carbon balance (Dalrymple *et al.* 2013, Kyriakopoulos *et al.* 2015, Guo *et al.* 2013)

Duomenys	Įvedamos reikšmės
Teritorija reikalinga šiltnamiui įrengti, ha	0,4
Uždaro šiltnamio plotas, m ²	12 000
Uždaro tipo šiltnamio aukštis, m	3
Uždaro tipo šiltnamio tūris ir oro kiekis, m ³	24 000
Uždaro tipo šiltnamio stogo plotas, m ²	9073,313
Vandens garų slėgis esant 25 °C, Pa	3130
Drėgmės lygis šiltnamyje, kg/kg	0,019826
Vandens garų slėgis esant 25 °C (2), kg/kg	0,011746
Oro srauto greitis virš vandens paviršiaus, m/s	0,5
Garavimo koeficientas, kg/m ² h	29,5
Vandens garavimo greitis, kg/s	0,441412
Polikarbonato stiklo šilumos atidavimo koeficientas, W/m ² K	3
Šilumos nuostoliai per šiltnamio sienas, kWh	57,46
Oro pasikeitimas šiltnamyje, kartai/h	2
Reikalingas energijos kiekis orui šiltnamyje sušildyti nuo 6 iki 25 °C, kWh	253,3333
Mikrodumplių biomasės išaugintas kiekis, g/m ² /dieną	40
CO ₂ sunaudojimas mikrodumplių auginimo metu, kg/kg	2,61
Vandens išgaravimas, l/m ² /dieną	0,5
Energijos sąnaudos maišant vandenį, W/m ²	50
Darbo jėgos poreikis, darbininko/h	0,36
Mikrodumplių auginimo trukmė, dienų	300
CO ₂ sunaudojimo efektyvumas	0,69
Vandens atnaujinimas, l/dieną	0,4
Mikrodumplių tūris, m ³	7000
Mikrodumplių biomasės metinis išauginimas, t/ha/metus	120
CO ₂ metinis sunaudojimas, t/ha/metus	313,2
Metinis vandens išgaravimas, t/ha/metus	1500
Elektros energijos kaina, €/kWh	0,05
Energijos sąnaudos dumplių auginimo metu, kWh/m ³ /ciklą	1

Norint sugaudyti visą CO₂ išmetamuosiuose dūmuose prireiks labai didelio šilumos ir energijos kiekio 8676 GJ ir 2425,9 GJ per parą atitinkamai, o baseino plotas užims 55,6 ha. Visos šilumos panaudojimo atveju būtų sunaudojama 145,5 tonos per parą CO₂ ir prireiktų apie 17,5 ha ploto baseino.



B.1 pav. Energijos srautų pasiskirstymas išauginant 1 toną sausos mikrodumblų biomasės per parą, kai iš iškastinių kuru kūrenamos jėgainės sugaudomas išsiskiriantis CO₂

Fig. B.1. Energy flow chart for cultivation of 1 t/day dry microalgae by capturing CO₂ from fossil fuel combustion power plant

Kogeneracinėje elektrinėje panaudojus visą pagamintą elektros energiją mikrodumblų gamybai, prireiktų 29,7 ha ploto vandens baseino kur būtų pagaminta apie 2115 GJ mikrodumblų biomasės per parą. CO₂ suvartojimas išaugtų beveik du kartus iki 247,1 t/parą, lyginant su prieš tai minėtu atveju. Atitinkamai maždaug du kartus išaugtų šilumos ir elektros energijos poreikis iki 4635 GJ ir 1296 GJ per parą atitinkamai. Energetinio balanso skaičiavimai ir CO₂ sunaudojimas mikrodumblų auginimo atveju pateiktas 3.1 lentelėje. Atlikta analizė parodė, kad mikrodumblų auginimas nėra energetiškai efektyvus ir reikalauja daugiau sinergijos.