

# Biomasės ir iškastinio kuro mišinių deginimo ypatumai

Stanislovas Vrubliauskas,

Eugenijus Perednis

*Atsinaujinančių energijos  
šaltinių laboratorija,  
Lietuvos energetikos institutas,  
Breslaujos g. 3, LT-44403 Kaunas  
El. paštas: saule@mail.lei.lt*

Atsinaujinančių energijos šaltinių ir ypač biomasės vartojimas pasaulyje nuolat didėja. Vienas biomasės vartojimo energijai gaminti būdų yra jos ir kitų kuro rūšių mišinių deginimas. Pasaulyje labiausiai paplitęs biomasės ir anglių mišinių deginimas, kurį naudojančių jėgainių skaičius artėja prie 200. Straipsnyje apžvelgtos pagrindinės biomasės mišinių deginimo technologijos – tiesioginis deginimas, netiesioginis deginimas ir lygiagretus deginimas, arba deginimas hibridinėse sistemose, nurodant jų pagrindinius privalumus ir trūkumus. Aptariamos biomasės mišinių deginimo perspektyvos ir globalinio šilumos potencialo mažinimo galimybės. Nagrinėjami biomasės mišinių deginimo ypatumai, susiję su biomasės paruošimu, įtaka katilo efektyvumui, šilumos paviršių užteršimui, šlakavimuisi ir korozijai.

Straipsnyje panaudoti rezultatai, gauti vykdant Europos Komisijos finansuojamą COFITECK projektą.

**Raktažodžiai:** anglis, biomasė, biokuras, iškastinis kuras, jėgainė, katilas, kuro mišiniai

## 1. ĮVADAS

Pagal Tarptautinės energetikos agentūros (IEA – *International Energy Agency*) prognozes, pirminės energijos vartojimas pasaulyje iki 2030 m. padidės daugiau kaip 50 %, palyginti su 2005 m. lygiu. Apie 74 % šio prieaugio teks besivystančioms šalims, iš jų Kinijai ir Indijai – 45 % [1]. Per nagrinėjamą laikotarpį prognozuojamas didžiausias anglies vartojimo didėjimas. Taip išaugus energijos vartojimui CO<sub>2</sub> išlakos į atmosferą padidėtų maždaug 57 %, o tai katastrofiškai spartintų klimato kaitą ir su tuo susijusius neigiamus reiškinius. Priemonių, įgalinančių mažinti šiltnamio efektą skatinančių dujų emisijas į atmosferą, kiekis yra ribotas. Pagrindinės iš jų yra šios:

- efektyvi energijos gamyba ir vartojimas;
- atsinaujinančių energijos šaltinių (AEŠ) intensyvesnis vartojimas;
- branduolinės energijos vartojimas didesniu mastu;
- CO<sub>2</sub> surinkimo ir saugojimo technologijų platesnis taikymas.

AEŠ pasaulio pirminės energijos balanse 2005 m. sudarė 12,7 %, t. y. daugiau kaip 2 kartus viršijo branduolinės energijos vartojimą [2]. Nepaisant sparčiai didėjančio vėjo ir saulės energijos vartojimo, didžiąją AEŠ dalį (apie 79 %) sudarė biomasė ir degiosios atliekos. Ekonominio bendradarbiavimo ir plėtros organizacijos (EBPO) šalys ir ypač Europos Sąjunga skiria vis daugiau dėmesio AEŠ vartojimo didinimui. Naujai

rengiamoje Europos Sąjungos direktyvoje apie AEŠ vartojimo skatinimą numatoma įpareigoti šalis nares pasiekti, kad iki 2020 m. iš AEŠ pagaminta energija sudarytų vidutiniškai 20 % viso energijos vartojimo [3]. Atskiroms šalims šis skaičius yra ženkliai didesnis. Pavyzdžiui, Latvijoje ir Švedijoje AEŠ turės sudaryti atitinkamai 42 ir 49 % nuo energijos vartojimo.

Viena galimybių labiau vartoti AEŠ yra biomasės ir iškastinio kuro mišinių deginimas. Kuro mišinio deginimas – tai specialiai tam tikru santykiu sumaišytų dažniausiai dviejų ar daugiau kuro rūšių mišinio deginimas. Šios sąvokos atitinkamo anglų kalba yra žodis *co-firing*. Kai sakoma *biomass co-firing*, dažniausiai turima galvoje įvairių rūšių biomasės ir iškastinio kuro mišinių deginimą. Biomasė gali būti įvairiausios kilmės ir pavidalo – mediena, šiaudai, pramonės ir komunalinės atliekos, nuotekų dumblas, įvairiausi kuro augalai ir pan. Iš iškastinio kuro rūšių mišiniuose su biomasė dažniausiai deginamos anglis.

## 2. BIOMASĖS MIŠINIŲ DEGINIMO PERSPEKTYVOS

Vykdant IEA projektą „Bioenergetika, Darbas 32 – Biomasės ir biomasės mišinių deginimas“ atlikta analizė, siekiant nustatyti, kaip plačiai paplitęs biomasės mišinių deginimas pasaulyje [4]. Buvo surinkti duomenys apie jėgainių tipą, dydį ir vietovę, kurioje jos yra, taip pat apie naudojamo

antrinio kuro rūšis ir kiekius. Nustatyta, kad 2004 m. daugiau nei 150 anglimis kūrenamų jėgainių turėjo patirties kuro mišinių deginimo srityje. Tyrimas taip pat parodė, kad, siekiant sumažinti CO<sub>2</sub> emisijas į atmosferą ir didinti biomasės naudojimą energijos gamybai, anglimis kūrenamų elektrinių pritaikymas biomasės ir anglių mišinių deginimui yra mažiausiai rizikinga, pigiausia ir efektyviausia pasirinktis.

Deginti biomasės mišinius pirmiausia pradėta Skandinavijos šalyse – Suomijoje ir Švedijoje [5]. Buvo deginamos medienos atliekos – žievė, pjuvenos, medienos skiedra iš miško kirtimo atliekų, taip pat celiuliozės ir popieriaus pramonės atliekos – sulfatinės išviros. Pagrindinė biomasės mišinių deginimo priežastis buvo siekis panaudoti atliekas energijos – elektros ir šilumos gamybai. Vėliau biomasės mišiniai dideliu mastu pradėti deginti šalyse, turinčiose gausius anglių išteklius – JAV, Vokietijoje, Olandijoje, Anglijoje, Lenkijoje.

Biomasės ir anglių mišinių deginimas sparčiai plinta. Biomasės mišinius deginančių elektrinių skaičius pasaulyje 2008 m. artėjo prie 200 (lentelė).

Neabejotinas lyderis šioje srityje yra JAV. Iš Europos Sąjungos šalių daugiausia biomasės mišinius deginančių įrenginių buvo Vokietijoje, Lenkijoje ir Anglijoje. Pažymėtina, kad biomasės ir anglių mišinius deginančių elektrinių kaimyninėje Lenkijoje 2005–2008 m. padaugėjo nuo 12 iki 21 ir toliau jų daugės.

Spartų biomasės mišinius deginančių įrenginių skaičiaus didėjimą pasaulyje lemia šie privalumai:

- biomasės mišinių deginimas didina biokuro vartojimą energetikoje ir prisideda prie CO<sub>2</sub> emisijų mažinimo;
- anglių kuro elektrinių pritaikymui biomasės ir anglių mišiniams deginti reikia ženkliai mažesnių investicijų, palyginti su tuo atveju, kai statoma nauja biomasės elektrinė;
- naujos biokuro elektrinės projektavimui, leidimų gavimui, statybai ir įvedimui eksploatacijon reikia ženkliai daugiau laiko ir lėšų, palyginti su esamos, anglis vartojančios, elektrinės pritaikymu kuro mišinių deginimui;
- deginant biomasės ir anglių mišinius didelės galios elektrinėse biomasė sudeginama efektyviau;
- biomasės ir kitų kuro rūšių mišinių deginimas skatina biokuro rinką ir naujų darbo vietų kūrimą.

Elektrinių, naudojančių anglių kurą, katilai yra didelės galios, todėl, pritaikius juos kuro mišinių deginimui, būtų suvartojami didžiuliai biomasės kiekiai, nors pastarosios procentas kuro mišinyje būtų ir nedidelis. Biomasės dalis kuro mišiniuose, deginamuose įvairių tipų katiluose, yra skirtingas. Anglių dulkėmis kūrenamuose katiluose biomasės dalis kinta nuo 3 iki 20 %, o verdančio sluoksnio katiluose siekia iki 80–100 %. Pasaulyje anglimis kūrenamų jėgainių įrengtoji galia sudaro apie 800 GW<sub>e</sub> [5]. Todėl teoriškai kiekviena procentinė anglies dalis, kurią būtų galima pakeisti biomase, visose anglimis kūrenamose jėgainėse atitiktų 8 GW<sub>e</sub> galią, o tai leistų išmetamo į atmosferą CO<sub>2</sub> kiekius sumažinti apytikriai 60 Mt. Esant įprastiniam 5 % biomasės kiekiui kuro mišinyje, tai atitiktų globalinį 40 GW<sub>e</sub> galios potencialą ir įgalintų CO<sub>2</sub> kiekius sumažinti apie 300 Mt per metus. Tam reikėtų suvartoti apie 200 Mt biomasės.

### 3. BIOMASĖS MIŠINIŲ DEGINIMO TECHNOLOGIJOS

Biomasės ir iškastinio kuro mišinių deginimas yra gana kompliktuotas dėl skirtingų biomasės ir iškastinio kuro savybių. Biomasės kurui būdinga:

- didelė drėgmė;
- mažas piltinis tankis;
- higroskopiskumas;
- labai skirtingi kuro dalelių matmenys ir forma;
- didelė trintis;
- mažas šilumingumas;
- didelis lakiųjų medžiagų kiekis;
- mažas peleningumas;
- mažas S bei didelis Cl ir K kiekis.

Dėl didelės biomasės rūšių įvairovės, pradedant sumedėjusiais augalais ir baigiant žoliniais bei kuro plantacijų augalais, apimant ir įvairias biologines kilmės atliekas, jų savybės tarpusavyje ženkliai skiriasi. Pavyzdžiui, peleningumas gali kisti nuo mažiau kaip 1 % iki 10 % ir daugiau, azoto kiekis – nuo maždaug 0,1 % iki daugiau kaip 1 %.

Lyginant tarpusavyje biomasės ir dažniausiai kuro mišiniuose naudojamos iškastinio kuro rūšies – anglių savybes, matyti šie pagrindiniai skirtumai:

- biomasės pirolizė prasideda anksčiau nei akmens anglių;

Lentelė. Biokuro mišinius deginančių elektrinių skaičius įvairiose šalyse 2008 m.

Šalis	Vnt.	Šalis	Vnt.	Šalis	Vnt.
JAV	41	Australija	8	Danija	1
Vokietija	27	Olandija	6	Italija	1
Lenkija	21	Austrija	5	Norvegija	1
Suomija	18	Ispanija	2	Slovakija	1
Anglija	20	Indonezija	2	Tailandas	1
Švedija	15	Belgija	1	Taivasas	1
Čekija	11	Danija	1		
Vengrija	9	Belgija	1		
<b>Iš viso</b>					<b>194</b>

- lakiųjų medžiagų kiekis biomasėje didesnis nei akmens anglyse;
- iš biomasės lakiųjų medžiagų pagaminama apie 70 % šilumos, o iš anglių – tik 30–40 %;
- biomasės lakiųjų medžiagų šilumingumas yra mažesnis nei anglių;
- biomasės koksas turi daugiau deguonies, yra aktyvesnis ir chemiškai aktyvesnis nei anglių koksas;
- biomasės kuro pelenai yra labiau šarminės prigimties, o tai gali paskatinti nuosėdų formavimąsi;
- biomasės kurui būdingas didelis Cl kiekis bei mažas S kiekis ir peleningumas.

Tai reiškia, kad norint efektyviai sudeginti biomasės mišinį visa elektrinės ar katilinės infrastruktūra turi būti pritaikyta šiam tikslui.

Pastaruoju metu biomasės ir iškastinio kuro mišinių deginimui naudojamos šios pagrindinės technologijos:

- tiesioginis deginimas;
- netiesioginis deginimas;
- lygiagretus deginimas (hibridinės sistemos).

**Tiesioginis deginimas.** Tiesioginis kuro mišinių deginimas yra pigiausias, paprasčiausias ir dažniausiai taikomas būdas. Tiesioginio deginimo atveju biomasė ir iškastinis kuras yra sumaišomi tam tikru santykiu, ir šis mišinys tiekiamas į kūryklą. Ši biomasės mišinių deginimo technologija gali būti realizuojama įvairių tipų sluoksninėse ir erdvinėse kūryklose, kurių galios diapazonas yra nuo kelių dešimčių MW iki GW ir daugiau. Mažiausios galios (iki 50 MW) yra katilai su sluoksninėmis stacionaraus ar judančio ardymo kūryklomis. Galingesni yra katilai su verdančio sluoksnio BFB (*Bubling Fluidized Bed*) (50–100 MW) ir cirkuliuojančio verdančio sluoksnio CFB (*Circulating Fluidized Bed*) kūryklomis (100–300 MW). Galingiausi katilai, kurių galia siekia iki 1 GW ir daugiau, turi erdvinę kūryklą, kuriose deginami biomasės ir anglių mišiniai dulkių pavidalu [6, 7]. Tiesioginio biomasės mišinių deginimo technologija yra labiausiai paplitusi, kadangi jos dėka be didesnių investavimo kaštų deginama biomasės dalis sudaro apie 5–7 % nuo pagaminamos energijos kiekio. Pagrindinė priežastis, dėl kurios biomasės procentas kuro mišiniuose yra palyginti mažas, ypač didelės galios katiluose, naudojančiuose dulkių pavidalo kurą, susijusi su tuo, kad santykinis degimo produktų kiekis energijos vienetui pagaminti, deginant drėgną biomasę, turinčią daug lakiųjų medžiagų, yra ženkliai didesnis nei anglies. Tai reiškia, kad ribojančiu veiksniu tampa dūmtakių skerspjūviai ir dūmsiurblių našumas, be to, norint deginti daugiau biomasės (%) kuro mišinyje, reikalingos ženkliai didesnės investicijos, pritaikant jėgainę biomasės mišinių deginimui [8, 9].

**Netiesioginis deginimas.** Netiesioginio deginimo atveju kietoji biomasė pirmiausia gazifikacijos ar pirolizės reaktoriuje paverčiama į dujinį ar skystąjį kurą, kuris vėliau kartu su anglimis deginamas anglių kuro kūrykloje. Akivaizdu, kad netiesioginis kuro mišinių deginimas yra brangesnis, palyginti su tiesioginiu, kadangi papildomai reikalingas biomasės

gazifikacijos ar pirolizės reaktorius [5, 10]. Pažymėtina, kad netiesioginis biomasės mišinių deginimas, naudojant gazifikacijos procesą, yra pramoninio lygio technologija, naudojama kai kuriose Austrijos, Suomijos ir Olandijos elektrinėse, o biomasės perdirbimas pirolizės proceso metu į alyvą ir tolesnis jos deginimas mišiniuose su iškastiniu kuru yra tik tyrimų ir bandomųjų pavyzdžių stadijoje. Pagrindiniai netiesioginio deginimo privalumai yra tie, kad šiuo atveju biomasės ir anglių srautai yra atskirti. Tai reiškia, kad biomasės mišinių deginimas neturi įtakos anglių pelenų kokybei ir jie gali būti sėkmingai naudojami betono gamyboje. Be to, taikant gazifikaciją, naudojamos įvairesnės biomasės rūšys, taip pat, reikalui esant, gazifikacijos dujos gali būti papildomai valomos, siekiant sumažinti neigiamą poveikį katilo darbui.

**Lygiagretus deginimas (hibridinės sistemos).** Lygiagretus deginimas, kuris dar vadinamas deginimu hibridinėse sistemose, būdingas tuo, kad biomasė ir iškastinis kuras yra deginami atskiruose katiluose, o pagamintas garas tiekiamas į bendrą garotiekį. Pažymėtina, kad, naudojant šią biomasės mišinių deginimo technologiją, išvengiama didesnio šlakavimo ir šilumos mainų paviršių užteršimo pavojaus, susijusio su specifinėmis biomasės pelenų savybėmis – dideliu šarminių metalų kiekiu ir žema lydymosi temperatūra [10]. Dažnai naudojama schema, kai garas, pagamintas biomasę deginančiame katile, tiekiamas į anglimis kūrenamo katilo perkaitintuvą, kuriame garo parametrai pakeliami iki norimų. Šitai išvengiama aukštatemperatūros korozijos biomasę deginančiame katile, susijusios su dideliais kalio ir chloro kiekiais, būdingais žolinei biomasei.

Lygiagretus kuro mišinių deginimas buvo populiariausias celiuliozės ir popieriaus apdirbimo įmonėse, kai biomasės katilai buvo naudojami medžio žievės ir medienos atliekų utilizavimui. Toks kuras buvo deginamas atskirame katile, sujungiant garo liniją su įmonės garo sistema. „Ostroleka“ ir „Saturn“ termofikacinės elektrinės (Lenkija) gali būti pavyzdžiai, kaip energijos gamintojai tiekia elektrą ir šilumą į šalia esančius celiuliozės ir popieriaus fabrikus kartu su šių fabrikų biokuro atliekas ir antrinius produktus naudodamos kurui [5].

Modifikuojant esamą jėgainę, įrengiant papildomą biomasės katilą, reikėtų nepamiršti, kad esamos garo turbinos panaudojimas yra ribojantis veiksnys tokiems katilų dydžiams. Norint naują katilą pritaikyti esamai sistemai yra galimi tokie variantai: įvertinti katilo našumą ir deginamos biomasės kiekį, siekiant apskaičiuoti, ar yra turbinos galios perteklinis pajėgumas, kad prirėkus papildomas garo kiekis būtų paimtas iš naujo katilo, arba priderinti sistemos naują režimą esamai turbina, arba pakeisti esamą turbiną galingesne.

Lygiagretaus deginimo įrenginių statyba reikalauja ženkliai didesnių investicijų nei tiesioginio deginimo atveju. Privalumai – galimybė naudoti santykinai komplikuoatas kuro rūšis su dideliu chloro ir šarmų kiekiu ir atskirų kuro rūšių pelenų atskyrimas – yra priežastys, pateisinančios lygiagretaus deginimo jėgainių statybą.

#### 4. BIOMASĖS MIŠINIŲ PARUOŠIMO IR DEGINIMO YPATUMAI

**Biomasės paruošimas.** Biomasės šilumingumas ir dalelių tankis yra apytikriai perpus mažesnis nei anglių, o piltinis tankis mažesnis apie 5 kartus. Dėl šių priežasčių biomasės santykinis energijos kiekis tūrio vienetui yra apie 10 kartų mažesnis, palyginti su anglimis. Todėl, deginant mišinius, kuriuose biomasė sudaro 10 % pagal šilumos kiekį, biomasės ir anglių tūriniai srautai bus panašaus dydžio. Tai reiškia, kad biomasės priėmimui, sandėliavimui ir tvarkymui reikės didelės erdvės [7].

Kiekvienai pasirinktai biomasės mišinių deginimo technologijai būtini tam tikri kuro paruošimo, tvarkymo ir tiekimo į kūrį metodai. Biokuro tvarkymo ir takumo savybės yra dažniausiai prastos dėl skirtingo dalelių dydžio, didelės pluošto dalies ir per didelio dalelių, viršijančių maksimalius matmenis, kiekio. Be to, kuro masės dalelių kibumas, korozinės ir netgi abrazyvinės savybės lemia aukštą biokuro vidinės ir išorinės trinties lygį. Dėl šių priežasčių kuro tvarkymo ir transportavimo sistemos turi būti suprojektuotos pagal kuro savybes. Dėl neapibrėžtų kuro dalelių matmenų ir fakto, kad kelių rūšių kuras turi būti tiekiamas į katilą per tuos pačius ar atskirus kanalus (tai priklauso nuo konkretaus atvejo), investicijos, įdiegiant biomasės mišinių deginimą, tampa didesnėmis, o jėgainės sistema sudėtingesnė.

Kadangi biomasės kuras yra higroskopinis, mažo tankio ir netaisyklingų formų, jis turi būti paruošiamas ir transportuojamas įrengimais, sukonstruotais specialiai šiam tikslui. Kai kuriais atvejais yra įmanoma naudoti jau esamą įrangą, pavyzdžiui, akmens anglių juostinius transporterius, tačiau būtina skirti ypatingą dėmesį, siekiant išvengti praslydimo, kimšimosi ir pan. smulkintuvuose, bunkeriuose ir vamzdynų alkūnėse.

Biomasei būdingas didelis drėgmės kiekis, todėl kai kada ji iš anksto džiovinama. Džiovinimui galima naudoti garo džiovintuvus, darančius menką poveikį aplinkai. Garo džiovintuvai efektyviai veikia, ypač termofikacinėse elektrinėse, kadangi džiovinimo energija gali būti visiškai regeneruojama ir panaudojama šildymui. Tačiau jie retai būna ekonomiškai patrauklūs.

Kitas taikomas metodas – džiovinimas degimo produktais, kurie, prieš patekdami į kaminą, yra nukreipiami į biomasės džiovyklą. Šio metodo trūkumas – organinių emisijų (vaškas ir aromatiniai junginiai) susidarymas. Vaškas geba prilipti prie degimo produktų kanalų, sukurdamas potencialią ugnies grėsmę. Aromatiniai junginiai skleidžia nemalonų kvapą ir kelia vietinių gyventojų nepasitenkinimą.

Šiaudų kuro mišinių deginimo atveju nebūtinai papildomas džiovinimas, pakanka natūralaus džiovinimo laukuose. Šiaudų deginimo jėgainėse džiovinimo technologijos beveik nenaudojamos. Po derliaus nuėmimo kurį laiką yra naudinga palaikyti šiaudus laukuose. Netgi vienkartinis lietus išplaua iš šiaudų vandenyje tirpius šarmus. Šie šarmai deginimo metu yra kenksmingi dėl jų įtakos pelenų lydymosi temperatūrai ir perkaitintuvų korozijos greičiui.

Siekiant pagerinti biomasės savybes, kai kada ji iš anksto granuliuojama. Malant biokuro granules kartu su anglimis anglių malūnuose gaunama gera malimo kokybė, nes granulės pagamintos iš smulkintos ir džiovintos biomasės. Naudojant granules biomasės kiekis kuro mišinyje gali siekti iki 20–30 % pagal energijos kiekį. Dar didesnis biomasės kiekis (iki 70–75 %) kuro mišinyje galimas tik naudojant specialius degiklius, pritaikytus įvairių rūšių kurui deginti.

Esminiai pagerinti biomasės savybes galima ją iškaitinant [11, 12]. Angliškai šis procesas vadinamas *torrefaction*. Iškaitinimo metu biomasės temperatūra pakeliama iki 200–300 °C ir išlaikoma tam tikrą laiką. Veikiant šiai temperatūrai iš kietosios biomasės pašalinamas vanduo ir dalis lakiųjų medžiagų. Gaunamas kietas produktas – iškaitinta biomasė. Palyginus su pradine būseną, iškaitintos biomasės masė yra mažesnė 30 %, o energetinė vertė sumažėja tik 10 %. Iškaitinta biomasė yra ruda ir trapi. Jos šilumingumas padidėja iki 19–22 MJ/kg, t. y. apytikriai du kartus, palyginti su drėgna mediena. Be to, iškaitinta biomasė vietoje higroskopinės pasidaro hidrofobine ir nebesudrėksta laikoma drėgnoje aplinkoje. Iškaitinta biomasė ar jos granulės labai gerai smulkinama anglių malūnuose. Deja, biomasės iškaitinimo technologija yra tik bandymų stadijoje. Daugiausia šioje srityje pasiekta Olandijoje.

Daugiausia biomasės mišiniuose sudeginama didelės galios erdvinėse kūrėklose, naudojančiose dulkių pavidalo kurą. Pritaikant jėgaines su tokiomis kūrėklomis biomasės mišinių tiesioginiam deginimui galimi trys skirtingi būdai smulkinti biomasę ir anglis. Pirmuoju atveju biomasė kartu su anglimis smulkinama anglių malūne. Tai paprasčiausias ir pigiausias atvejis, tačiau jis tinkamas tik tam tikroms biomasės rūšims ir esant ribotam biomasės procentui kuro mišinyje (~5 %).

Antruoju atveju biomasė smulkinama atskirame įrenginyje ir tiekiami į anglių tiekimo vamzdį (po malūno). Šis atvejis yra brangesnis, palyginti su pirmuoju, tačiau leidžia naudoti įvairesnes biomasės rūšis. Rekonstruojant jėgainę pagal šį variantą, reikia erdvės smulkintuvui pastatyti ir katilo darbas tam tikram laikui turi būti sustabdytas.

Trečiuoju atveju biomasė smulkinama atskiruose įrenginiuose ir tiekiami į specialius biomasės degiklius. Šiuo atveju reikia didžiausių investicijų, tačiau galima optimizuoti degiklio veikimą, atsižvelgus į biomasės savybes, ir nėra jokios įtakos anglių smulkinimo ir degimo procesui.

Lenkijoje Dolna Odra elektrinėje Nowe Czarnowo mieste buvo atlikti visos apimties pramoninių kuro mišinių iš anglių ir parinktų biomasės rūšių (miško atliekos ir žilvyčiai) malimo bandymai [13]. Biomasė visų bandymų metu sudarė 6 % abiejuose kuro mišinių tipuose – su miško atliekomis ir žilvyčiais. Bandymuose naudotų anglių ir biomasės parametrai buvo atitinkamai:

- anglys – apatinis šilumingumas 23 MJ/kg, drėgmė 10,5 %;
- miško atliekos – apatinis šilumingumas 6,5 MJ/kg, drėgmė 56,2 %;
- žilvyčiai – apatinis šilumingumas 8,6 MJ/kg, drėgmė 45,3 %.

Bandymų metu nustatyta, kad smulkinant biomasę malūno našumas sumažėjo. Malant žilvyčius energijos suvartojimo indeksas malimo metu padidėjo 16 %, ir energija, sunaudojama malūno ventilatoriaus, padidėjo 1,6 %, palyginti su vien anglių malimu. Smulkinant miško atliekas rezultatai buvo blogesni – energijos suvartojimo indeksas malimo metu padidėjo 35 % ir energija, sunaudojama malūno ventilatoriaus, padidėjo 6,8 %. Tyrimų pagrindu buvo padaryta išvada, kad norint tinkamai sumalti kuro mišinį biomasės maksimali drėgmė turi būti ne didesnė kaip 40 %, o dalelės palaikomos 10–15 mm dydžio.

**Biomasės mišinių deginimo įtaka katilo efektyvumui.** Gausūs biomasės mišinių deginimo tyrimai, atlikti pramoninėmis sąlygomis katiluose su įvairių tipų kūryklomis (stacionaraus sluoksnio, verdančio sluoksnio, cirkuliuojančio verdančio sluoksnio ir erdvinės), parodė, kad biomasės ir anglių mišinių deginimas anglimis kūrenamuose katiluose jų efektyvumo nepaveikė arba nežymiai sumažino, o katilo našumas liko nepakitęs [5, 7, 14–20]. Nedidelis, apie 1 %, katilo efektyvumo sumažėjimas daugiausia priklausė nuo biomasės rūšies, jos procentinio kiekio kuro mišinyje ir deguonies pertekliaus.

**Teršalų emisijos, deginant biomasės mišinius.** Pagrindinės emisijos iš anglimis kūrenamų jėgainių yra kietosios dalelės, sieros dioksidas ir azoto oksidai. Sieros dioksido emisijos yra apytikriai proporcingos sieros kiekiui kure, jeigu jėgainėje nėra papildomų sieros junginių pašalinimo įrenginių. Tokioms kuro rūšims kaip šiaudai ir mediena sieros kiekis yra mažesnis nei anglims, todėl deginant jų ir akmens anglių kuro mišinius sumažėja  $SO_2$  emisijų kiekiai. Biomasės pelenai dažnai turi daug kalcio. Tai taip pat gali turėti įtakos  $SO_2$  emisijų sumažėjimui, kadangi kure esantys kalcio junginiai gali reaguoti su  $SO_2$  ir  $SO_3$  sudarydami kalcio sulfatus. Sieros redukavimo efektyvumas degimo proceso metu priklauso nuo daugelio veiksnių – degimo temperatūros, oro pertekliaus, lakiųjų pelenų recirkuliacijos (CFB kūryklose), kuro tipo, kalkakmenio charakteristikų ir Ca/S santykio. Laboratoriniuose bandymuose, deginant anglių ir medžio žievės mišinius CFB kūryklose, buvo pasiektas sieros pašalinimo efektyvumas nuo 15 % (be žievės) iki 80 % (80 % žievės kuro mišinyje).

Daug sunkiau numatyti biomasės mišinių su anglimis deginimo įtaką azoto oksidų ( $NO_x$ ) emisijoms. Deginant biomasę  $NO_x$  emisijos gali tiek padidėti, tiek sumažėti.  $NO_x$  emisijos negali būti nuspėjamos tik iš azoto kiekio akmens anglyse, kadangi jas labai veikia jėgainės konstrukciniai ypatumai ir eksploatavimo sąlygos. Katilo konfigūracijos keitimas, pritaikant jį biomasės deginimui, gali turėti įtakos  $NO_x$  emisijoms. Tai ypač akivaizdu, kai katilė įrengiami atskiri biomasės degikliai.

Gausūs bandymai parodė, kad, kaip ir tikėtasi, degiklio konstrukcija turi didelės įtakos azoto oksidų formavimuisi, deginant biomasės mišinius. Didelis lakiųjų medžiagų kiekis (dažnai ir mažas azoto kiekis) biomasėje sudaro galimybes riboti  $NO_x$  emisijas. Pavyzdžiui, keletas bandymų parodė, kad  $NO_x$  emisijų lygis, deginant anglių dulkių ir šiaudų mišinį,

buvo sumažintas 30 %, palyginti tik su rusvųjų anglių deginimu. Deginant aukštesnės kokybės akmens anglis  $NO_x$  emisijos sumažėja dar labiau [5]. Norint pasiekti mažesnes  $NO_x$  emisijas į degimo produktų srautą dažnai tiekiami amoniako ar karbamido.

Biomasės kuras laikomas neutraliu  $CO_2$  emisijų atžvilgiu, jei biomasė auginama prisilaikant tvarumo kriterijų, t. y. naujai užauginama augalų masė yra lygi arba didesnė už nuimamo derliaus masę. Kiekviena biomasės tona, sudeginta mišiniuose su iškastiniu kuru, sumažina  $CO_2$  emisijas daugiau kaip tona. Lyginant atvejį, kai biomasės tona sudeginama mišiniuose su iškastiniu kuru, ir atvejį, jei biomasės tona būtų patalpinta sąvartyne, kuriame metanas nesurenkamas ir nesudeginamas, tai  $CO_2$  emisijų ekvivalentinis sumažėjimas atitiktų trims tonoms.

**Katilo paviršių šlakavimasis ir užteršimas, deginant biomasės mišinius.** Šlakavimasis gali būti apibūdintas kaip lakiųjų pelenų nusėdimas ant šilumos perdavimo paviršių ir ugniai atsparios medžiagos kūryklos erdvėje ir tolesnis jų lydymasis, veikiant šilumos perdavimui, spinduliavimu. Paviršių užteršimas gali būti apibrėžiamas kaip pelenų nuosėdų, ataušusių žemiau jų lydymosi temperatūros, formavimasis ant šilumos mainų paviršių, veikiamas daugiausia konvekcinių šilumos mainų. Medžiagos, kurios išgaravo degimo zonoje, gali kondensuotis ant šilumos mainų paviršių. Šios nuosėdos gali kisti nuo mažo šlakų sukepimo iki visiško išsilydymo. Paviršių užteršimo ir šlakavimosi laipsnis yra nevienodas skirtingose katilo vietose ir priklauso nuo:

- vietinės dujų ir vamzdžių temperatūros;
- temperatūrų skirtumų;
- dujų greičio;
- vamzdžių orientacijos;
- vietinio šilumos srauto į daleles;
- kuro sudėties.

Katilams visada gresia pelenų nusėdimas ant sienelių arba perkaitintuvų paviršių. Šlakavimosi grėsmė daugiausia priklauso nuo naudojamo kuro pelenų savybių, kurios gali būti apibūdintos tipiškomis pelenų lydymosi temperatūromis: pelenų deformacijos temperatūra, pelenų minkštėjimo temperatūra, pelenų pusrutulio lydymosi temperatūra ir pelenų takumo temperatūra. Pelenai, kurių temperatūra aukštesnė už minkštėjimo temperatūrą, pasidaro labai lipnūs, todėl galimas šlakavimasis. Yra pripažinta, kad šarminiai metalai kuro pelenuose turi didelės įtakos, skatinant nuosėdų susidarymą. Mineralinės kilmės kuro priemaišos taip pat yra šlakavimosi, paviršių užteršimo arba korozijos šaltinis. Biomasei, palyginti su anglimis, būdingas didesnis šarminių metalų ir chloro kiekis. Be to, biomasės pelenų lydymosi temperatūra yra žemesnė nei anglių. Dėl šių savybių, deginant biomasės ir anglių kuro mišinius, yra didesnis katilo paviršių užteršimo pelenais ir šlakavimosi pavojus.

**Korozijos pavojus, deginant biomasės mišinius.** Kai kuro mišiniuose yra daug biomasės, ypač šiaudų, pagrindinė problema deginant tokius biomasės mišinius yra pelenų nuosėdų, turinčių daug šarminių chloridų, sukeliama

katilo paviršių (ypač perkaitintuvų, kuriuos apiplauna aukštos temperatūros degimo produktai) korozija [7]. Tačiau analizė parodė, kad korozijos potencialas gali būti sumažintas, jei šarminiai chloridai (iš biomasės) gali sąveikauti su siera (iš anglių) suformuodami šarminius sulfatus. Tokio proceso metu aukštos korozijos šarminiai chloridai ant perkaitintuvų vamzdžių yra paverčiami į HCl ir kitokius dujų fazės produktus, kurie lengviau pasišalina nuo paviršių. Ši nuosėdų ir korozijos sumažinimo technologija naudojama ir Danijos Studstrup elektrinėje, deginančioje šiaudų (10–20 %) ir anglių mišinius [21]. Lygiagrečiau biomasės ir anglių deginimo atveju, siekiant išvengti aukštatemperatūrės perkaitintuvų korozijos biokurą deginančiuose katiluose, juose pagamintas garas tiekiamas į anglimis kūrenamo katilo perkaitintuvą, siekiant pakelti garo parametrus iki reikalingų. Tokia schema naudojama Danijos Avedore elektrinėje, kurioje garas perkaitinamas iki 580 °C, esant 300 barų slėgiui [22].

## 5. IŠVADOS

1. Tyrimai rodo, kad, siekiant sumažinti CO<sub>2</sub> emisijas į atmosferą ir didinti biomasės naudojimą energijos gamybai, anglimis kūrenamų elektrinių pritaikymas biomasės ir anglių mišinių deginimui yra mažiausiai rizikinga, pigiausia ir efektyviausia pasirinktis, ypač tiesioginio mišinių deginimo atveju.

2. Pritaikant veikiančią jėgainę biomasės mišinių deginimui būtina esminiai pertvarkyti kuro priėmimo, sandėliavimo, išankstinio paruošimo ir tiekimo į katilą sistemas.

3. Tiesioginis biomasės mišinių deginimas yra mažiausių investicijų reikalaujantis, paprasčiausias ir dažniausiai taikomas būdas.

4. Biomasės mišinių deginimas yra susijęs su didesniu šlakavimosi, šilumos mainų paviršių užteršimo ir korozijos pavojumi, todėl pritaikant veikiančią jėgainę biomasės mišinių deginimui, būtina tinkamai priderinti jėgainės infrastruktūrai daromus pokyčius.

Gauta 2009 08 10

Priimta 2010 09 20

## Literatūra

1. IEA. *World Energy Outlook 2007*. <http://www.iea.org/Textbase/npsum/WEO2007SUM.pdf>
2. IEA. *Key World Energy Statistics 2007*. [http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2007/key\\_stats\\_2007.pdf](http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2007/key_stats_2007.pdf)
3. *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources*. Version 15.4. Brussels, 23.01.2008. 64 p.
4. *IEA Task 32*. <http://www.ieabcc.nl/>
5. *Cofiring Technology S-O-T-A Review Study*. <http://www.cofiteck.eu/images/stories/Downloads/S-o-t-A-final-19.05.2008.pdf>
6. *Database of Biomass Cofiring Initiatives*. <http://www.ieabcc.nl/>
7. Baxter L. Biomass-coal co-combustion: opportunity for affordable renewable energy. *Fuel*. 2005. Vol. 84. Iss. 10. P. 1295–1302.
8. Report of the final seminar held. *1st World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry*. 6 June 2000. Sevilla. P. 16.
9. *First State-of-the-art Report*. 2006. <http://www.netbiocof.net/data/upload/details.php?file=36>
10. *Indirect Cofiring Technologies*. [http://www.aebiom.org/IMG/pdf/CHEUBIO\\_1.4\\_part2.pdf](http://www.aebiom.org/IMG/pdf/CHEUBIO_1.4_part2.pdf)
11. Prins M. J. *Thermodynamic Analysis of Biomass Gasification and Torrefaction*. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2005.
12. Bergman P. C. A., Kiel J. H. A. Torrefaction for biomass upgrading. *Proceedings of 14th European Biomass Conference & Exhibition*. 17–21 October 2005. Paris, France.
13. Nowak W. *Biomass Co-combustion and Gasification*. [http://www.6pr.pl/images/prezentacje/info/energyconf/prezentacje/Wojciech\\_Nowak.pdf](http://www.6pr.pl/images/prezentacje/info/energyconf/prezentacje/Wojciech_Nowak.pdf)
14. Tillman D. A., Hughes E., Gold B. A. Cofiring of biofuels in coal fired boilers: results of case study analysis. *First Biomass Conference of the Americas*. Burlington, VT, 1994. P. 368–381.
15. Baxter L. L., Rumminger M., Lind T., Tillman D., Hughes E. Cofiring biomass in coal boilers: pilot- and utility-scale experiences. *Biomass for Energy and Industry. First World Conference and Technology Exhibition*. 2000. Sevilla, Spain.
16. *Biomass Cofiring Efforts in Florida*. <http://www.treepower.org/cofiring/main.html#lakeland>
17. Hughes E., Battista J., Tillman D. *Biomass Cofiring with Coal at Seward, Pennsylvania*. <http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/611847-v5wMmx/webviewable/611847.pdf>
18. Fernando R. *Fuels for Biomass Cofiring*. London, 2005. 35 p.
19. Harding N. S., Tillman D. A. *U. S. Biomass Cofiring Experience*. <http://www.iea.org/Textbase/work/2004/zets/apec/presentations/harding.pdf>
20. *Coal and Woody Biomass Cofiring Technology*. [http://www.brain-c-jcoal.info/cctinjapan-files/english/2\\_4C4.pdf](http://www.brain-c-jcoal.info/cctinjapan-files/english/2_4C4.pdf)
21. Frandsen R. B., Montgomery M., Larsen O. H. Field test corrosion experiences when co-firing straw and coal: Ten year status within Elsam. *Materials at High Temperatures*. 2007. Vol. 24. Iss. 4. P. 343–349.
22. *Avedore Multi-Fuel Power Plant, Denmark*. <http://www.power-technology.com/projects/avedore/>

Stanislovas Vrubliauskas, Eugenijus Perednis

## PECULIARITIES OF CO-FIRING BIOMASS AND FOSSIL FUEL

### *Summary*

Utilization of renewable energy sources, especially biomass, has been steadily growing in the world. Co-firing of biomass and fossil fuel blends is one of the options to increase biomass usage for energy production. Co-firing of biomass and coal blends is the most widespread technology applied in nearly 200 power plants worldwide. The principal biomass co-firing technologies, such as direct co-firing, indirect co-firing and parallel co-firing or co-firing in hybrid systems, are overviewed in the article, indicating their main advantages and disadvantages. Biomass co-firing perspectives and the possibilities to reduce the global warming potential are discussed. The peculiarities of biomass co-firing related to biomass pre-treatment, influence on boiler efficiency, slagging, fouling and corrosion of heat transfer surfaces are analyzed.

The results obtained during the execution of the COFITECK project, financed by European Commission, have been used preparing the article.

**Key words:** carbon, biomass, biofuel, fossil fuel, power plant, boiler, fossil fuels, co-firing, fuel blends

Станислав Врубляuskас, Эугениус Переднис

## ОСОБЕННОСТИ СЖИГАНИЯ СМЕСЕЙ БИОМАССЫ И ИСКОПАЕМОГО ТОПЛИВА

### *Резюме*

Использование в мире возобновляющихся источников энергии и особенно биомассы постоянно растёт. Одним из возможных способов использования биомассы является сжигание смесей биомассы и других видов топлива. Сжигание смесей биомассы и угля – это наиболее распространенный в мире способ, количество таких электростанций приближается к 200.

В статье представлены основные технологии сжигания смесей биомассы – прямое сжигание, косвенное сжигание и параллельное сжигание, или сжигание в гибридных системах, указывая на главные преимущества и недостатки. Обсуждены перспективы развития сжигания смесей биомассы и возможности уменьшения глобального теплового потенциала. Исследуются особенности сжигания смесей биомассы, связанные с приготовлением биомассы, влиянием эффективности котла, загрязнением тепловых поверхностей, ошлакованием и коррозией.

В статье использованы результаты, полученные при выполнении проекта COFITECK, финансируемого ЕК.

**Ключевые слова:** уголь, биомасса, биотопливо, ископаемое топливо, электростанция, смеси биомассы