ENERGETIKA. 2010. T. 56. Nr. 2. P. 103–109
© Lietuvos mokslų akademija, 2010
© Lietuvos mokslų akademijos leidykla, 2010

Biomasės deginimas mažos bei vidutinės galios katilinėse ir emisijų problemos

Rimvydas Ambrulevičius

Lietuvos žemės ūkio universiteto
Agroinžinerijos institutas,
Raudondvaris,
LT-54132 Kauno rajonas
El. paštas: biurasrimas@mei.lt

Vidutinės galios katilinėse sunaudojama apie 25 % medienos kuro ir matyti aiški didėjimo tendencija. Nepaisant to, kad biomasės deginimas yra neutralus CO_2 emisijų atžvilgiu ir pasižymi mažu SO_2 emisijų lygiu, aplinkos taršos mažinimas yra pakankamai aktualus. Pirmiausia tai kietųjų dalelių emisija. Nenaudojant filtravimo įrenginių neįmanoma užtikrinti aplinkosaugos normų reikalavimų. Emisijų lygis prieš filtrus didesnis kaip 600 mg/m^3. Teršalų koncentracija degimo dujose labai priklauso nuo biomasės savybių ir katilo darbo režimo. Kaip parodė atlikti bandymai, lakiųjų medžiagų emisijos tam pačiam katilui gali skirtis kelis kartus. Didelę taršos dalį sudaro azoto oksidai. Naudojant nekokybišką biomasę jų koncentracija didesnė už leistiną 750 mg/m^3 ribinę vertę. Anglies monoksido emisija dviem katilų tipams buvo didesnė už leistiną 4 000 mg/m^3 arba buvo artima jai. Bendras taršos lygis, palyginus su akmens anglimis, deginant biomasę daug mažesnis.

Raktažodžiai: biomasė, biomasės deginimas, taršos emisijos

1. ĮVADAS

Deginant vis daugiau biomasės ypač aktualūs tampa aplinkosauginiai jos panaudojimo aspektai. Nepaisant to, kad biomasė yra neutralus anglies dvideginio atžvilgiu atsinaujinantis energijos šaltinis, be anglies dvideginio, į aplinką patenka daug nuodingų degimo produktų ir kietųjų dalelių. Biomasės degimo procesas yra daug sudėtingesnis nei dujų ir skystojo kuro, o jo optimizavimą komplikuoja įvairūs fizikiniai ir cheminiai procesai degimo metu, didelis drėgmės, susmulkinimo laipsnio ir kitų savybių kitimo intervalas. Neįvertinant specifinių biomasės savybių ją naudojančios katilinės ir jėgainės vietoje emisijų mažinimo gali tapti didesnės taršos šaltiniais. Todėl skatinant šios kuro rūšies panaudojimą būtina imtis priemonių mažinti aplinką teršiančias emisijas. *Darbo tikslas* – išnagrinėti taikomas biomasės panaudojimo kurui technologijas ir biomasės specifiką aplinkos taršos aspektu bei nustatyti taršos emisijas eksploatuojamuose objektuose.

2. BIOMASĖS KOKYBĖ IR DEGINIMO TECHNOLOGIJOS

Biomasei naudojami įvairūs sparčiai augantys augalai, mediena, žemės ūkio produkcijos bei miško ruošimo ir medienos perdirbimo atliekos. Nuodingos medžiagos į augalus patenka tiek iš dirvos, tiek tiesiogiai iš aplinkos. Į dirvą nuodingi junginiai ir cheminiai elementai patenka iš nuotekų, iš neorganinių ir organinių trąšų, iš aplinkos oro. Visos šios medžiagos vegetacijos metu kaupiasi augaluose. Jų kiekis iš biomasės pagamintame kure reglamentuojamas normomis, iš kurių daugiausia žinoma DIN 51731, galiojanti VFR [1]. Galiojančios normos ONORM M7135 Austrijoje [2], Švedijoje SS 18 71 20 ir Italijoje CTI-R04/5 [3] reglamentuojama tik sieros, azoto ir chloro kiekiai, tai pirmajame dokumente nurodoma ribinės vertės arsenui, kadmiui, chromui, gyvsidabriui, švinui, cinkui, halogenams.

Reikia pripažinti, kad toks biokuro vertinimas aplinkosaugos požiūriu yra priimtinesnis, nepaisant platesnio ribojimo. Jei biomasė auginama žemės ūkio naudmenų plotuose arba gaunama miškuose toli nuo chemijos pramonės ir metalurgijos įmonių, pagaminamo biokuro užterštumo parametrų išlaikymas nesudaro problemų [4, 5]. Energetiniuose augaluose (gluosniai, miskantas ir kt.) sukaupiami didesni kiekiai azoto, fosforo, kalio, kadmio, gerokai didesnis tokios biomasės peleningumas. Azoto ir chloro kiekis biomasėje gali būti sumažintas agrotechninėmis priemonėmis ir optimizuojant tręšimą bei mažiau naudojant cheminių apsaugos priemonių. Ypač daug teršalų energetiniuose augaluose sukaupiama, kai plantacijos yra rekultivuojamuose plotuose, sanitarinėse pramoninėse zonose, nutekamųjų vandenų dumblo sandėliavimo teritorijose. Be minėtų medžiagų, augalai sukaupia sunkiuosius metalus, gyvsidabrį.

Be greitai augančių augalų, kurui naudojami javų ir rapsų šiaudai. Nors jų kaloringumas mažesnis nei medienos, tačiau deginimas mažos ir vidutinės galios katilinėse padeda spręsti jų utilizavimo problemą. Emisijų požiūriu šiaudai nėra idealus kuras. Juose sukaupiama nuo 7 iki 10 kartų daugiau chloro ir nuo 10 iki 12 kartų daugiau azoto, palyginus su mediena, gana daug sieros ir didelis peleningumas [6, 7]. Pažymėtina, kad kai kurie tyrėjai savo publikacijose nurodo labai mažą sieros kiekį šiauduose ir iš jų pagamintuose briketuose, o tai gali būti taikytos auginimo technologijos rezultatas.

Nors biokuro pelenai aplinkosaugos požiūriu daug lengviau utilizuojami, panaudojant juos kaip trąšą, dėl didelio kuro peleningumo didėja kietųjų dalelių emisija, blogiau sudega kuras. Ši problema ypač aktuali plantacijose, tręšiamose nutekamųjų vandenų nuosėdomis [4]. Greitai augantys augalai išnaudoja dumble ir nuosėdose sukauptas maisto medžiagas, bet ir sukaupia didelį kiekį sunkiųjų metalų, nuodingųjų medžiagų. Po deginimo jų koncentracija pelenuose padidėja keliolika kartų.

Medienos perdirbimo atliekos dažnai užterštos technologiniuose procesuose naudojamomis cheminėmis medžiagomis. Daugiausia tai melamino-karbamido-formaldehido dervos, polichlorvinilas, sintetiniai lakai ir dažai. Šios medžiagos, nors ir padidina atliekų kaloringumą bei mažina higroskopiškumą, yra potencialūs nuodingų emisijų šaltiniai. Medienoje taip pat kaupiasi sunkieji ir šarminiai metalai, bet mažesniais kiekiais nei kultūriniuose augaluose [6]. Miško pirminio perdirbimo atliekose randamas palyginus didelis kiekis nedegių medžiagų (smėlis, dirvožemis). Šios balastinės medžiagos ne tik gerokai sumažina kuro šilumingumą, blogina degimo procesą, bet ir didina kietųjų dalelių emisiją į aplinką.

Biomasės deginimas – tai paprasčiausias būdas konvertuoti joje sukauptą energiją. Jos panaudojimą riboja keletas veiksnių – nedidelis tūrinis tankis, palyginus didelis drėgmės kitimo intervalas, didelis kiekis lakiųjų frakcijų, šarminių metalų ir chloro, žema pelenų lydymosi temperatūra, biokuro atsargoms sukaupti reikalingos didelės saugojimo patalpos. Iš vieno hektaro žemės ūkio naudmenų galima paruošti sausos biomasės tik iki 300 kW galios energetiniam objektui eksploatuoti per metus. Didelės galios energetiniams objektams būtinos 3–10 tūkstančių hektarų plantacijos, infrastruktūra biomasei perdirbti ir transportuoti.Visa tai riboja biomasės panaudojimą didelės galios energetiniuose objektuose. Tiesioginiam biomasės deginimui būtinas šiai kuro rūšiai pritaikytas katilas. Didelę reikšmę degimo procesui turi kuro susmulkinimas, veikiantis oro ir degimo produktų cirkuliaciją pakuroje. Granulėms skirti dozatoriai neužtikrina normalaus kapojų tiekimo į pakurą, didelis dulkių ir smulkių dalelių kiekis sukelia sprogiminio degimo pavojų pakuroje, o nesureguliavus pakuros darbo kelis kartus padidėja kietųjų dalelių ir anglies monoksido emisija, mažėja katilo naudingumo koeficientas [8].

Mažos ir vidutinės galios katilinėse biomasė gali būti deginama maišant su iškastiniu kuru. Lengviausia tai atlikti akmens anglimis kūrenamose katilinėse. Tyrimai rodo, jog nuo 1 iki 10 % biomasės priedas nereikalauja didelių technologinių pakeitimų ir finansinių investicijų. Toks nedidelis biomasės priedas leidžia smulkinimui panaudoti esamus katilinėse anglių smulkintuvus ir deginti esamais katilais. Nors drėgna biomasė mažina katilo naudingumo koeficientą [9, 10], bet iš dalies tai kompensuojama ekologine nauda. Be to, tokia technologija daro energijos gamybą mažai priklausomą nuo biokuro tiekimo sutrikimų. Biomasės deginimas kartu su akmens anglimis gali būti taikomas ir BFB tipo katiluose (degimas verdančiame sluoksnyje), ir ardyniniuose katiluose, ribojant biomasės kiekį iki 10 % pagrindinio kuro. Pirmo tipo katilų pranašumai, palyginus su kitų tipų katilais, – tai labai didelis kuro sudeginimo efektyvumas (97–99 %) ir maža NO_x bei SO_2 emisija be papildomų valymo filtrų. Pastaraisiais metais pradėta eksploatuoti katilai su biomasės gazifikavimu verdančiame sluoksnyje esant atmosferos slėgiui. Juose biomasės priedas gali sudaryti net 30 %.

Objektuose, kuriuose naudojamas krosninis kuras, mazutas arba dujos, biomasė gali būti deginama lygiagrečiai atskiruose katiluose. Tokios technologijos papildomas pranašumas tai, kad atskirais sezonais šilumos poreikis gali būti visiškai tenkinamas deginant biomasę, kiekvienas iš katilų dirba jam skirtu kuru optimaliu režimu. Tokią sistemą galima pritaikyti visoms biomasės rūšims, o biomasės kuro pelenų srautas atskirtas nuo anglies šlako. Pagrindinis tokios technologijos trūkumas – dideli kapitaliniai įdėjimai į infrastruktūrą ir technologiją biomasei ruošti bei deginti.

Dujomis kūrenamose katilinėse galima naudoti tarpinio deginimo variantą. Biomasė deginama katilo pirminėje kameroje, o degimo produktų entalpija panaudojama pagrindinėje degimo kameroje arba tiesiogiai šilumokaičiuose. Taikomos technologijos, kai biomasė gazifikuojama ir sudeginama pakuroje su dujiniu kuru. Šioms technologijoms reikia didelių investicijų bei stabilių parametrų biomasės tiekimo, todėl jos dar mažai paplitusios. Biomasės gazifikavimas gerai derinasi su biodujų deginimu katilinėse. Šiuo atveju katilo pertvarkymo kaštai minimalūs. Biomasė sėkmingai gali būti naudojama komunalinių, maisto ir perdirbamosios pramonės gyvulinės ir augalinės kilmės atliekoms deginti. Deginama pagal pirmą variantą, o paruoštame kuro mišinyje biomasei tenka pagrindinio kuro vaidmuo. Naudojami variantai, kai biomasė ir deginamos atliekos tiekiama į pakurą atskirais srautais. Pastaroji technologija užtikrina stabilesnį ir mažiau priklausomą nuo atliekų savybių degimo procesą. Kadangi deginant atliekas neišvengiamai išmetama į aplinką daugiau teršalų, šiuose objektuose privaloma įrengti emisijų monitoringo sistemas.

Minėtos technologijos taikomos vidutinės galios katilinėse. Mažos galios katiluose taikoma tiesioginis biomasės deginimas arba degimas su biomasės gazifikavimu. Pirmojo tipo katiluose galima deginti įvairaus smulkinimo ir įvairiarūšę biomasę, o jos drėgmė gali plačiai keistis. Šio tipo katilai gaminami ir su automatizuotu kuro tiekimu į pakurą. Galia reguliuojama keičiant tiekiamo kuro bei oro kiekius. Juose

galima deginti granuliuotą ir briketuotą biomasę. Katilai su biomasės gazifikavimu pasižymi didesniu energetiniu efektyvumu, tačiau reikalavimai kuro kokybei daug aukštesni (maksimali drėgmė 11–14 %, kuras – smulkinta lapuočių mediena arba briketai). Masė gazifikuojama pačiame katile atskiroje zonoje. Šio tipo katilai dirba neefektyviai ir kelis kartus didesnėmis emisijomis mažų apkrovų režimu, todėl juos eksploatuojant būtina sistemoje įrengti akumuliacinę talpą, kad katilo šiluminė galia būtų ne mažesnė kaip 50 %.

3. TERŠALŲ EMISIJA DEGINANT BIOMASĘ

Nepaisant palyginus nedidelės dalies bendrame energetiniame balanse, buitinis-komunalinis sektorius išlieka dideliu aplinkos taršos šaltiniu. Lenkijos emisijų inventorizacijos centro duomenimis, šis sektorius emituoja į aplinką tik apie 10 % anglies dvideginio, bet emituojamas CO kiekis sudaro 52 %, aromatiniai angliavandeniliai – 84 %, kietosios dalelės – 40 %, sunkieji metalai – 40–60 % bendro emisijų balanso. Biomasės deginimas, panaudojant pažangias technologijas komunaliniame-buitiniame sektoriuje, vienas iš kelių gerokai sumažinti aplinkos taršą. Naujausių konstrukcijų katilų naudingumo koeficientas yra gana didelis (per 80 %). Tačiau emisijų problema išlieka pakankamai svarbi. Mažos galios neautomatizuotuose katiluose daugiausia emituojama anglies monoksido ir kietųjų dalelių. Tai pasakytina ir apie automatizuotus katilus, kai naudojamas ne konstrukcijoje numatytas kuras (vietoje kapojų granulės arba briketai, vietoje anglių – biomasė). Didesnes emisijas sąlygoja žema įrenginių eksploatavimo kultūra, nekokybiškas kuras. Dėl savo specifinių savybių biomasės deginimas gali ne tik sumažinti emisijų lygį, bet ir padidinti aplinkos taršą, skatinti šiluminių įrengimų koroziją ir nuosėdų susidarymą katilų paviršiuose.

Kaip minėta, lengviausiai biomasę panaudoti akmens anglimis kūrenamose katilinėse. Kitaip nei akmens anglys, biomasei būdinga didelis lakiųjų medžiagų kiekis (iki 70–80 %) ir mažas sieros kiekis. Biomasėje sukaupti šarminiai metalai ir jų junginiai yra pirolizės proceso ir degimo katalizatoriai. Prie degimo procesą neigiamai veikiančių savybių reikia priskirti didelę drėgmę ir šarminių metalų bei chloro sukeliamą konstrukcijų koroziją. Dėl cheminių procesų degimo metu susidaro junginiai su žema lydymosi temperatūra, nusėdantys ant pakurų ir šilumokaičių paviršių. Šie procesai ypač paspartėja naudojant žemos kokybės akmens anglis bei šiaudus. Įrengimų konstrukcijas veikiantys chloras, šarminiai metalai iš biomasės ir sieros oksidas iš akmens anglių ženkliai sumažina katilo tarnavimo laiką [11]. Visiškai biomase pakeisti akmens anglis dauguma atvejų nėra galimybės dėl techninių ir logistinių-ekonominių sąlygų, tačiau net nedidelis jos priedas (nuo 1 iki 10 %) leidžia sumažinti teršalų emisiją į aplinką. Biomasėje ir jos degimo produktuose esantys šarminiai metalai ir kalcio oksidas redukuoja sieros oksido emisiją [6, 8, 11]. Kita vertus, anglių degimo metu susidarę didesni pelenų kiekiai mažina šarminių metalų koncentraciją juose. Dėl žemos degimo proceso temperatūros azoto oksidai daugiausiai susidaro iš biokure esančio azoto. Kietųjų dalelių emisija deginant akmens anglis su biomasės priedu iki 10 % vidutinės galios katiluose keičiasi matavimo paklaidos ribose ir sąlygojama įrengtų filtrų efektyvumo bei eksploatavimo kultūros. Dėl mažo biomasės priedo mažai keisis emisijų dydžiai deginant biomasę iš rekultivuojamų plotų ir plantacijų didesnės taršos zonose.

Biomasės degimo procesas yra sudėtingas. Ekologiniai reikalavimai emisijų dydžiui įveda ekologinio degimo sąvoką. Jie apibūdina patį degimo procesą su minimaliomis emisijomis, bet ne visą technologinę grandinę, kurioje gali būti degimo produktų filtravimo įrenginys. Susmulkintos biomasės degimas skirstomas į keletą fazių. Pirmas – tai dalelių įkaitinimo ir džiovinimo etapas. Šiame etape išgarinant drėgmę dalelių temperatūra stabili, o trukmė, atsižvelgiant į didelę biomasės drėgmę, palyginus su kitomis kuro rūšimis, gana didelė. Toliau kylant temperatūrai išsiskiria ir sudega lakiosios frakcijos. Lakiosios frakcijos, patekusios į dujų srautą su dideliu vandens garų ir nedideliu deguonies kiekiu, gali būti išneštos iš degimo zonos ir tapti aplinką teršiančiu šaltiniu. Ypač svarbu optimalus deguonies paskirstymas degimo zonoje.

Naudojant kurą su mažu šilumos laidumu, mažu lakiųjų frakcijų kiekiu ir trumpu buvimu degimo zonoje, degimo procesas tampa nepilnas. To pasekmė – padidinta kietųjų dalelių, anglies monoksido emisija į aplinką.

Papildoma tarša atsiranda deginant biomasę iš rekultivuojamų plantacijų, nutekamųjų vandenų filtravimo zonų. Iš tokios biomasės pagamintas kuras pasižymi padidintu peleningumu [4]. Biomasėje sukaupti teršalai degimo proceso metu gali sudaryti lakias degias ir nedegias medžiagas. Dėl mažos degimo temperatūros dalis teršalų nesudaro stabilių junginių bei oksidų ir išmetami su degimo produktais į aplinką. Dalis organinės kilmės teršalų adsorbuojami ant kietųjų dalelių ir taip pat išnešami į aplinką. Biomasėje iš energetinių augalų plantacijų taip pat sukaupiamos medžiagos, teršiančios aplinką deginimo metu. Paprastai tai įvairūs metalai, chloras, azotas iš tręšimui ir augalų apsaugai naudojamų medžiagų. Kai kurių elementų koncentracija gali būti kelis kartus didesnė nei nurodyta normoje DIN 51731 [1].

Mažos ir vidutinės galios biomasės katiluose išskiriame kelias pakurų rūšis. Žaizdrinė pakura taikoma sausai, gerai susmulkintai ir nedidelio peleningumo biomasei deginti iki 5 MW galios objektuose. Siekiant išvengti sprogiminio masės degimo, tokio tipo pakurose ribojama pjuvenų bei smulkios masės dalis biomasėje (ne daugiau kaip 50 %). Ardyninės pakuros taikomos vidutinės ir didelės galios katiluose. Tai universaliausia konstrukcija biomasės ir medienos atliekų deginimui. Kuras randasi ilgą laiką degimo zonoje, degimas vyksta aukštoje temperatūroje. Todėl galima naudoti mažai smulkintą ir drėgną biomasę. Yra įvairių konstrukcijų ardynai: transporteriniai, sietiniai, kombinuoti.

Dulkių deginimo pakuros daugiausia naudojamos vidutinės galios (2–8 MW) katiluose. Tokios pakuros lengvai aptarnaujamos ir automatizuojamos, užtikrina stabilų ir nedidelį

emisijų lygį. Tačiau reikalavimai kuro homogeniškumui ir susmulkinimui labai aukšti. Kuro dalelės turi būti ne didesnės kaip 5–10 mm, o biomasės drėgmė ne didesnė kaip 50 %. Šių pakurų konstrukcinis variantas naudojamas granuliuotos biomasės, grūdų deginimui. Dėl didelės kainos granuliuota mediena naudojama tik mažos galios katiluose.

Kiekviena pakuros konstrukcija yra optimizuota numatytai kuro rūšiai. Svarbu ir technologinė disciplina ruošiant biomasę ir eksploatuojant katilines. Vien pakeitus kuro dozatorius neužtikrinama optimalaus degimo proceso ir nedidelių emisijų. Lakiųjų produktų emisijų mažinimui galima taikyti agrochemines ir technologines biomasės paruošimo priemones bei degimo proceso optimizavimą ir kuro mišinių naudojimą, tuo tarpu kietųjų dalelių emisijai riboti dažniausiai naudojama filtrai – cikloniniai, elektriniai, šlapio valymo ir kiti. Nedidelės galios katilinėse šie įrenginiai praktiškai nenaudojami. Siekiant sumažinti kietųjų dalelių emisiją katiluose kartais taikomi srauto lėtintuvai ir turbulizatoriai, o išmetamų dujų kanale įrengiama srautą lėtinančios kameros, kuriose iškrenta daug kietųjų dalelių. Vidutinės galios katilinėse naudojamais cikloniniais filtrais išmetamas dujas galima išvalyti iki 100–150 mg/m^3. Elektros filtrai daug sudėtingesni ir brangesni. Jais galima pasiekti ne daugiau kaip 20 mg/m^3 kietųjų dalelių išmetamose dujose.

Kadangi deginamos biomasės drėgmė vidutinės galios katiluose gana didelė ir gali siekti net 50 %, katilo energetiniam efektyvumui padidinti gali būti naudojama kondensaciniai šilumokaičiai išmetamų dujų kanale. Nors jų panaudojimas biomasės deginimo katiluose yra dar tik pradinių tyrimų stadijoje, bet galima tikėtis teigiamo rezultato mažinant kietųjų dalelių ir lakiųjų medžiagų emisijas susidarant kondensatui šilumokaityje.

Atlikti gaminamų mažų katilų bandymai rodo, jog stacionariu režimu užtikrinti normose numatytus parametrus naujos konstrukcijos katilais deginant medieną galima su pakankama atsarga [12, 13].

Kaip matyti iš 1 lentelėje pateiktų duomenų, senos konstrukcijos katilų modernizavimas parametrų pagerinimui esminės įtakos neturėjo. Mažiausios emisijos galimos katiluose su specialiu degikliu, įgalinančiu optimaliai reguliuoti tiekiamą kurą ir degimo procesui reikalingo oro kiekį. Pažymėtina, kad didžiausios teršalų emisijos būna katilams dirbant mažos galios režimu bei pakraunant kurą.

Mažos galios katilams pagal normatyvinius dokumentus [16] nustatyta emisijų normos SO_2, NO_x ir kietosioms dalelėms. Tokiuose katiluose deginamas daug kokybiškesnis kuras, ir minėtų reikalavimų įvykdymas nesudaro sunkumų. Sudėtingesnė padėtis yra eksploatuojant vidutinės galios katilus centralizuoto šilumos tiekimo sistemose. Kurui naudojama užteršta, su dideliu kiekiu azoto ir mažiau kokybiška mediena. Šiame sektoriuje kylant naftos kainoms biomasės suvartojimo augimas pastaraisiais metais buvo didžiausias. Perspektyvoje prognozuojama dar daugiau panaudoti biomasės. Todėl išmetamų teršalų kiekių ir jų sudėties tyrimai yra aktuali problema. *Eksperimentinių tyrimų tikslas* – gamybinėmis sąlygomis nustatyti norminiais dokumentais reglamentuojamų kenksmingų dujų bei kietųjų dalelių emisijas biokurą naudojančiose vidutinės galios katilinėse.

4. EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ METODIKA

Mažos galios katilų emisijų tyrimus eksploatacijos sąlygomis apsunkina tai, jog įrengiant dūmų nuvedimo kanalus nenumatyta galimybė prijungti matavimo įrangą apskritai arba galimose prijungimo vietose neišpildomi normatyviniuose dokumentuose numatyti matavimų atlikimo reikalavimai (atstumai iki alkūnių bei katilo, nesūkurinis srauto tekėjimas, izokinetiškumo išlaikymas imant mėginius ir kt.). Katiluose su nedidelio tūrio pakura ir rankiniu kuro tiekimu neįmanoma užtikrinti pastovų katilo darbo režimą visą bandinių paėmimo laiką (ne mažiau kaip 0,5 val.). Ypač tai aktualu nustatinėjant kietųjų dalelių emisiją. Atsižvelgiant į tai praktinių tyrimų objektu pasirinkta medienos perdirbimo atliekomis kūrenami vidutinės galios katilai su automatizuotu kuro tiekimu ir darbo režimo reguliavimu. Paprastai šių katilų darbo kontrolei įrengiama zondų prijungimo jungtys pagal normatyvinių dokumentų reikalavimus kontroliniams matavimams eksploatacijos laiku. Teršalų emisijų ribinės reikšmės pateiktos 2 lentelėje. Standartinė deguonies koncentracija 6 % tūrio. Degimo dujų ir kietųjų dalelių emisijų tyrimą reglamentuoja keletas normatyvinių dokumentų. Kietųjų dalelių kiekio mėginių paėmimas kietų dujų sraute gravimetriniams tyrimams grindžiamas izokinetiškumo principu. Matavimo įrangos parinkimas, pavyzdžių paėmimas ir rezultatų apdorojimas detaliai aprašyta normatyviniuose dokumentuose [14, 15]. Matavimų metu buvo

1 lentelė. **Mažos galios centrinio šildymo katilų emisijos deginant biomasę [12, 13]**

Parametras	Su gazifikavimo moduliu	Su gazifikavimo moduliu	Retortinis	Su specialiu degikliu	Kamerinis su tiesioginiu degimu	Kamerinis naujos konstrukcijos
Kuras	kapojai	pjuvenos	granulės	granulės	mediena	mediena
CO g/GJ	900	900	4 700	200	3 400	3 000
NO_x g/GJ	140	100	120	110	70	130
Kietosios dalelės g/GJ	25	65	10	10	70	70
Aromatiniai angliavandeniliai g/GJ	75	150	35	30	1600	650
Benzopirenai g/GJ	10	35	5	5	200	65
Organiniai teršalai g/GJ	45	150	10	10	1 600	650
Naudingumo koeficientas %	79,6	78,5	85,2	89,3	73,20	76,4

2 lentelė. **Teršalų išmetimo normos kietąjį kurą deginantiems įrenginiams [16]**

Galia	Išmetamo teršalo iš kurą deginančių įrenginių ribinė vertė mg/m³							
	SO_2		NO_x		CO		Kietosios dalelės	
	esamas įrenginys	naujas įrenginys	esamas įrenginys	naujas įrenginys	esamas įrenginys	naujas įrenginys	esamas įrenginys	naujas įrenginys
1< MW <20 biomasė	2 000	2 000	650 750	650 750	2 000 4 000	1 000 4 000	700	400
20< MW <50 biomasė	2 000	2 000	650 750	650 750	1 500	1 000	500	300

registruojami dujų srauto parametrai, o nustatytos emisijų vertės perskaičiuotos normalioms sąlygoms (T = 273 K; P = 1 013 hPa) sausoms dujoms ir 6 % deguonies kiekiui. Matavimai atlikti automatiniu gravimetriniu analizatoriumi EMIOTEST 2598.

Filtravimui naudoti gilziniai WOTMANN filtrai. Lakiųjų medžiagų emisijos matuotos daugiakanaliu analizatoriumi HORIBA 250. Matavimo metodas SO_2; CO ir CO_2 pagal NDIR (spindulių absorbcija IR diapazone), NO_x – cheminės liuminescencijos, o O_2 – paramagnetiniu metodu. Minimalios nustatomos koncentracijos: SO_2 – 26 mg/m³; NO_x – 1 mg/m³; CO – 5 mg/m³. Šių dujų emisijų dydis reglamentuotas norminiu dokumentu [17]. Papildomi kontroliniai matavimai atlikti daugiakanaliu analizatoriumi IMR 3000. Dujų srautas kanaluose matuotas slėgiminiu greičio zondu, o dujų drėgmė – talpiniu psichrometru. Kiekvienam matavimui atlikti du pakartojimai ne mažesnės kaip 30 minučių trukmės su visų parametrų registravimu. Visų atliktų matavimų metų katilai dirbo su pastovia ir ne mažesne kaip 50 % vardinės galios apkrova.

5. TYRIMŲ REZULTATAI

Tyrimai buvo atlikti katilams, kurių vardinė galia nuo 1,1 iki 5,51 MW. Katilo apkrova bandymų metu buvo ne mažesnė kaip 50 % vardinės galios. Trečioje lentelėje pateikti teršalų koncentracijos suvestiniai duomenys. Biomasės deginimui būdingos nedidelės sieros oksido emisijos. Palyginus su bandytais anglimis kūrenamais katilais, jo koncentracija 8–16 kartų mažesnė. Atskiruose matavimuose nustatyta didesnė nei 70 mg/m³ koncentracija gali būti paaiškinta užterštos medienos atliekų priemaiša biokure (klijuotos konstrukcijos, fanera, drožlių plokštės). Tai patvirtinti galima tik analizatoriumi nustačius aromatinių angliavandenilių koncentraciją degimo dujose. Sudėtingesnė padėtis su azoto oksidų kiekiu. Atsižvelgiant į biokuro specifiką yra nustatyta 750 mg/m³ ribinė reikšmė [18]. Dauguma bandytų įrenginių išpildo šį reikalavimą su pakankama atsarga. BICOMB ir CLAUGHAN katilams nustatyta 1,5 karto didesnė azoto oksidų koncentracija gali būti paaiškinta didesniu azoto kiekiu biomasėje, iš kurio degimo metu ir susidaro azoto oksidai. Dideli azoto kiekiai sukaupiami smulkiose šakose, augalų

3 lentelė. **Teršalų koncentracija degimo dujose**

Katilas	Vardinė galia MW	SO_2 mg/m³	NO_2 mg/m³	CO mg/m³	Kietosios dalelės mg/m³
POLITECHNIK	4,74	34	389	8	29,60
		21	192	92	26,00
		21	159	551	77,00
		22	372	21	14,00
POLITECHNIK	2,37	80	234	322	36,70
		86	205	512	86,20
UNIWEX	1,17	42	297	799	284,00
		70	183	859	67,30
BIOTHERM	4,7	79	247	1 222	230,00
		59	274	387	94,60
		55	340	295	98,10
BINDER	1,17	73	259	1 590	90,00
		103	249	3 719	96,60
BICOMB	5,51	44	1 159	341	135,00
		51	1 203	1 392	25,80
		34	1 186	604	162,00
		47	817	96	19,50
CLAUGHAN	3,85	55	1 133	3 378	597,00
		85	1 263	4 178	668,00
WR-5 (anglinis)	5	427	377	461	340,00
WR-2,5 (anglinis)	2,5	667	537	2 378	168,00
		359	450	1 236	141,00

4 lentelė. **Aplinkos taršos intensyvumas katilinėse**

Emisijų rūšis / Katilo tipas	SO_2		NO_2		CO		Kietosios dalelės	
	kg/h	kg/hMW	kg/h	kg/hMW	kg/h	kg/hMW	kg/h	kg/hMW
POLITECHNIK 4,7	0,163	0,034	1,820	0,384	1,391	0,293	0,220	0,046
POLITECHNIK 2,3	0,125	0,0527	0,328	0,14	0,523	0,220	0,091	0,0386
UNIWEX	0,012	0,0102	0,064	0,055	0,195	0,166	0,009	0,007
BIOTHERM	0,212	0,045	1,018	0,216	1,973	0,420	0,456	0,097
BINDER	0,590	0,050	0,180	0,154	1,730	1,478	0,064	0,055
BICOMB	0,225	0,182	5,132	0,931	2,902	0,526	0,441	0,080
CLAUGHAN	0,160	0,041	2,805	0,728	8,790	2,283	1,483	0,385
WR-5	1,930	0,386	1,700	0,340	2,150	0,430	1,530	0,306
WR-2,5	3,397	1,359	1,116	0,446	3,530	1,412	1,152	0,461

žievėje. Cheminėmis medžiagomis užterštos medienos deginimas mažai tikėtinas, išskyrus kelis atvejus, nes sieros junginių koncentracija nėra didelė. Jai viršijus 50 mg/m^3 ribą turėtų būti kontroliuojama biomasės kokybė.

Atlikti matavimai taip pat leidžia prognozuoti, jog deginant biomasę iš sparčiai augančių augalų plantacijų azoto oksidų emisija gali būti didesnė už nustatytą maksimalią reikšmę.

Anglies monoksido emisijos tirtuose katiluose buvo žemo lygio. Pastebimi dideli skirtumai atskiruose matavimuose tam pačiam katilo tipui ir net tam pačiam katilui gali būti paaiškinta tiek eksploatavimo kultūra, tiek iš dalies ir deginto kuro savybėmis. BINDER firmos katilui esant kitoms emisijoms tame pačiame lygyje CO emisijos skyrėsi daugiau nei du kartus, o POLITECHNIK 4,74 MW galios katilui – daugiau nei 5 kartus. Išimtimi tarp tirtų katilų yra CLAUGHANN katilas su didžiausiomis emisijomis. Anglies monoksido koncentracija šio tipo katilams artima ribinei arba už ją didesnė visų atliktų matavimų metu. Didelė CO koncentracija nustatyta ir BINDER katilui. Didelis skirtumas tarp atskirų matavimų (per 2 000 mg/m^3) rodo blogą katilo reguliavimą.

Visi tirti katilai turėjo cikloninius filtrus su efektyvumo koeficientu 85–95 %. Nustatytos kietųjų dalelių emisijos kur kas mažesnės už leistiną ribą naujos konstrukcijos katilams (400 mg/m^3). Išimtis šiuo požiūriu CLOUGHAN katilai, kurių emisijos didesnės ir už anglimis kūrenamus katilus 2–3 kartus. Turint omenyje realiai mažesnį sumontuotų filtrų efektyvumą (75–80 %), be šių įrenginių įvykdyti aplinkosaugines emisijų normas kietųjų dalelių emisijai nėra įmanoma. BIOTHERM katilui kietųjų dalelių koncentracija kanale prieš cikloninį filtrą buvo didesnė nei 600 mg/m^3.

Ketvirtoje lentelėje pateikta į aplinką išmetamų teršalų kiekiai bei jų kiekis instaliuotos galios megavatui. Kaip matyti, biomasės deginimas, palyginus su akmens anglimis, tinkamai eksploatuojamose katilinėse leidžia sumažinti nuo 5 iki 10 kartų aplinkos taršą kietosiomis dalelėmis, o sieros oksido tarša yra arti naudotos aparatūros jautrumo ribos. Tarša azoto oksidais yra ne didesnė už leistinas ribas naudojant kokybišką biomasę.

Aplinkos taršos anglies monoksidu intensyvumas apskritai mažesnis. Didesnius išskiriamo CO kiekius sąlygoja didelis biomasės kokybės parametrų netolygumas (drėgmė, šilumingumas) bei blogai nustatytas katilo darbo režimas.

6. IŠVADOS

1. Biomasės panaudojimas vietoje akmens anglių vidutinės galios katiluose leidžia sumažinti kietųjų dalelių emisiją iki 10 kartų. Norminiuose dokumentuose nurodytos ribinės reikšmės neviršijamos tik naudojant filtravimo įrangą dujų šalinimo kanaluose. CLAUGHAN tipo katilams kietųjų dalelių koncentracija buvo didesnė už leistiną 400 mg/m^3.

2. Aplinkos taršos sieros oksidais intensyvumas deginant neužterštą biomasę sudaro nuo 0,01 iki 0,0527 kg/hMW. Maksimali nustatyta reikšmė biomasei sudarė 0,182 kg/h vienam MW instaliuotos galios. Visais tirtais atvejais koncentracija buvo ne didesnė už leistinas reikšmes. Didesnė nei 50 mg/m^3 SO_2 koncentracija yra pirmas užterštos biomasės deginimo požymis.

3. Didžiausią taršos dalį deginant biomasę sudaro azoto oksidai. Jų kiekis priklauso nuo biomasės savybių. Didžiausia koncentracija, nustatyta BICOMB ir CLAUGHAN katilams, buvo didesnė kaip 1 200 mg/m^3. Maksimalus aplinkos taršos intensyvumas azoto oksidų emisija 0,73–0,93 kg/h vienam MW instaliuotos galios.

4. Bendras emisijų lygis biomasę naudojantiems katilams labai priklauso nuo katilo reguliavimo ir kuro kokybės. Nustatyti skirtumai to paties tipo katilo kai kurioms komponentėms sudarė nuo 2 iki 10 kartų.

5. Anglies monoksido koncentracija degimo dujose dviem katilų tipams buvo didesnė už nustatytą 4 000 mg/m^3 reikšmę arba buvo artima jai.

Gauta 2010 02 01
Priimta 2010 03 25

Literatūra

1. DIN 51731, 1996-10. Anforderungen an Preslinge aus naturbelassener Holz.
2. ONORM M7135, 19980-5. Presslinge aus naturbelassenem Holz oder naturbelassener Rinde – Pellets und Briketts – Anforderungen und Prüfbestimmungen.
3. Wach E. Właściwości granulatu drzewnego. *Czysta energia*. 2005. N 6. P. 33–35.
4. Borkowska H., Wardzinska K. Rekultywcja osadu ściekowego przez uprawe ślazawca pensylwanskiego na cele ener-

getyczne. *II międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna* „Rekultywacja terenow zdegradowanych", Szczecin, Wydawnictwo naukowe uniwersytetu Szczecinskiego, 2003. P. 16–19.
5. Larson S. Kilka lat z wierzbą energetyczną w Szwecji. *Czysta energia.* 2005. N 1. P. 12–13.
6. Wandrasz J. W., Wandrasz A. J. *Paliwa formowane, 2006, „Seidel-Przywecki".* Warszawa, 2006. 466 p.
7. Janowicz L. Energia ze słomy. *Agroenergetyka.* 2006. N 3. P. 29–33.
8. Kruczek St., Skrzypczak G., Muraszkowski R. Spalanie i współspalanie biomasy. *Czysta energia.* 2007. N 6. P. 23–26.
9. Kobylecki R., Bis Z., Nowak W. Paliwo z biomasy i paliw alternatywnych. *Czysta energia.* 2005. N 3. P. 23–25.
10. Pronobis M. Evaluation of the influence of biomass co-combustion on boiler furnace slagging by means of fusibility correlations. *Biomass & Bioenergy.* 2005. Vol. 28. Issue 4. P. 28–33.
11. Kruczek S. Spalanie i wspolspalanie biomasy z paliwami kopalnianymi. *Agroenergetyka.* 2007. N 6. P. 32–35.
12. Matuszek M. Najlepsze na pelety. *Agroenergetyka.* 2005. N 4(14). P. 34–35.
13. Zawiztowski J. *Kriteria energetyczno-emisyjne ICHPW na „Znak biezpieczenstwa ekologycznego".* Referat. ICHPW, 2006. 10 p.
14. ISO 9096: 2003. Stationary source emissions – manual determination of mass concentration of particulate matter.
15. LST EN 13284-1-2006. Stacionarių šaltinių išmetamieji teršalai. Mažos masės dulkių koncentracijos nustatymas. 1 dalis. Rankinis gravimetrinis metodas.
16. LAND 43-2001. Išmetamų teršalų iš kurą deginančių įrenginių normos.

Rimvydas Ambrulevičius

BURNING OF BIOMASS IN SMALL AND AVERAGE BOILER-HOUSES AND EMISSION PROBLEMS

Summary

Middle-sized boiler plants use approximately 25% of wood fuel with a clear tendency toward increase. Despite the fact that biomass burning is neutral in terms of CO_2 emission and has a low level of SO_2 emission, reducing environmental pollution is a fairly urgent issue, foremostly because of the emission of solid particles. It is impossible to ensure adherence to the environmental rules without the use of filtering devices. The emission level before the filters is in excess of 600 mg/m^3. The concentration of pollutants in burning gases heavily depends on the characteristics of biomass and the operating mode of the boiler. The tests show that the emission of volatile materials for the same boiler can differ several times. Using the biomass of a poor quality, the concentration exceeds the permissible level of 750 mg/m^3. The emission of carbon monoxide for the two types of boilers is close to or exceeds the permissible 4 000 mg/m^3. The total level of pollution while burning biomass is much lower as compared to that of burning coal.

Key words: biomass, burning of biomas, emission problems

Римвидас Амбрулявичюс

СЖИГАНИЕ БИОМАССЫ В КОТЕЛЬНЫХ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ И ПРОБЛЕМЫ ЭМИССИЙ

Резюме

В котельных средней мощности древесина для топлива составляет около 25 % и наблюдается тенденция увеличения её объема. В котельных малой мощности её удел ещё больше. Несмотря на то, что сжигание древесины неутрально по отношению к эмиссии CO_2 и отличается очень малым выбросом SO_2, проблема уменьшения загрязнения окружающей среды достаточно актуальна. В первую очередь, это эмиссия твёрдых частиц. Без применения фильтрационных устройств невозможно выполнить требования норм по допустимым эмиссиям выбросов загрязнений. Содержание твёрдых частиц в выхлопных газах перед фильтром превышает 600 мг/м^3. Концентрация загрязняющих веществ в выхлопных газах сильно зависит от свойств биомассы и режима работы котла. Как показали проведённые исследования, содержание летучих веществ для одного типа котла может различаться в несколько раз. Большу́ю часть при том составляют окислы азота. При некачественной биомассе их содержание превышает предельную концентрацию в 750 мг/м^3. Для двух типов котлов содержание CO при замерах было близко предельной величине 4 000 мг/м^3 и даже больше. Общий уровень загрязнения по сравнению с каменным углём при сжигании биомассы значительно ниже.

Ключевые слова: биомасса, сжигание биомассы, проблемы эмиссий при сжигании