

# Kietojo biokuro naudojimas Lietuvos šilumos gamybos sektoriuje, tolesnės perspektyvos ir poveikis aplinkai

**Darius Verbickas,**

**Romualdas Juknys,**

**Arūnas Kleišmantas**

*Vytauto Didžiojo universitetas,  
Gamtos mokslų fakultetas,  
Aplinkotyros katedra,  
Vileikos g. 8, LT-44404 Kaunas  
El. paštas: d.verbickas@gmf.vdu.lt;  
r.juknys@gmf.vdu.lt;  
a.kleismantas@gmf.vdu.lt*

Straipsnyje analizuojama kietojo biokuro, naudojamo Lietuvoje, būklė, plėtros galimybės ir poveikis aplinkai bei indėlis į klimato kaitą. Nustatyta, kad kietojo biokuro potencialas 2011 m. buvo 1 442 ktne ir jo panaudojimas šilumos sektoriuje siekė 50,8 %. Iki 2020 m. potencialas turėtų padidėti 14,6 % ir pasiekti 1 648 ktne, o kietojo biokuro potencialo panaudojimas šilumos sektoriuje turėtų išaugti iki 67 %. Įgyvendinus Lietuvos strateginiuose dokumentuose numatytą kietojo biokuro naudojimo šilumos gamybai plėtrą, būtų sudaryta galimybė iki 2020 m. šalyje šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją sumažinti 6 %. Pagrindinių orą teršiančių medžiagų emisija pakistų skirtingai. SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ir KD emisijos sumažėtų atitinkamai 13,1, 3,2 ir 28,4 %, tačiau LOJ ir CO emisijos padidėtų atitinkamai 1,3 ir 8,2 %.

**Raktažodžiai:** kietasis biokuras, šildymas, potencialas, poveikis aplinkai, klimato kaita

## ĮVADAS

Brangstant ir senkant tradicinio iškastinio kuro ištekliams bei didėjant susirūpinimui klimato kaita, vis daugiau dėmesio yra skiriama atsinaujinančių išteklių energetikai ir jos plėtrai. Pasaulyje energijos gamybai vis plačiau naudojami atsinaujinantys energijos ištekliai (AEI) ir ypač biokuras [1, 2]. Europos Sąjungoje atsinaujinančių išteklių energetikos plėtrai skiriamas ypatingas dėmesys ir 2011 m. ES-27 šalyse galutinio energijos sunaudojimo AEI dalis sudarė 13 %. Šis rodiklis iki 2020 m. turės padidėti ne mažiau kaip iki 20 % [3].

Kietojo biokuro svarbą rodo EUROSTAT'o duomenys, pagal kuriuos 2011 m. kietasis biokuras ES-27 šalyse sudarė 74,3 % viso atsinaujinančių energijos išteklių energijos kiekio [4, 5]. Lietuvoje 2011 m. galutinio energijos sunaudojimo AEI dalis buvo 20,4 % [6]. Pagrindinę AEI dalį sudarė taip pat biokuras, kurio kiekis buvo artimas ES-27 vidurkiui ir siekė 86 %.

Lietuvos Respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatyme [7] ir Nacionalinėje energetinės nepriklausomybės strategijoje [8] numatyta, kad centralizuotai tiekiamos šilumos energijos dalį, pagamintą iš atsinaujinančių energijos išteklių, iki 2020 m. numatoma padidinti ne mažiau kaip iki 60 %, o namų ūkiuose – ne mažiau kaip iki 80 %. Mokslininkų vertinama racionali biokuro dalis 2020 m. galėtų siekti 53–62 % [9]. Įgyvendinant šiuos tikslus didžiausias dėmesys skiriamas kietajam biokurui, tad svarbu išsiaiškinti šio atsinaujinančio energijos išteklių potencialą ir tolesnes perspektyvas nepamirštant ir aplinkosauginių reikalavimų.

## METODIKA IR DUOMENYS

Siekiant įvertinti kietojo biokuro potencialą ir jo panaudojimo perspektyvas buvo remtasi Valstybinės miškų tarnybos *Lietuvos miškų ūkio statistika 2012* [10], *Ilgalaikėmis (iki 2030 m.) medienos išteklių naudojimo prognozėmis*

[11] bei Lietuvos energetikos instituto *Energijos gamybos iš atsinaujinančių energijos išteklių 2008–2015 m. studija* [12], *Nacionaline atsinaujinančių energijos išteklių plėtros strategija* [13], *Nacionaline energetinės nepriklausomybės strategija* [8], *Lietuvos atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo skatinimo veiksmų planu 2010–2020 m.* [14], Lietuvos statistikos departamento leidiniu *Kuro ir energijos balansas 2011* [15].

Vertinant kietojo biokuro įtaką klimato kaitai remtasi mokslinių tyrimų rezultatais apie skirtingų energijos išteklių poveikį aplinkai per visą gyvavimo ciklą [16–19] bei Aplinkos apsaugos agentūros [20] ir Aplinkos ministerijos [21] duomenimis apie šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją į orą. Tokiu būdu buvo įvertintas kietojo biokuro naudojimo šilumos sektoriuje poveikis klimato kaitai.

Vertinant kietojo biokuro deginimo sąlygojamas pagrindinių teršiančių medžiagų – SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, LOJ, CO, KD – emisijas į orą, remtasi mokslinių studijų ir tarptautinių energetikos organizacijų duomenimis apie oro teršalų emisijų rodiklius deginant skirtingas kuro rūšis [16, 22–29] bei Aplinkos apsaugos agentūros duomenimis apie šių teršalų metines emisijas į orą [20].

## KIETOJO BIOKURO POTENCIALAS IR JO PANAUDOJIMAS

Valstybinės miškų tarnybos duomenimis, malkinė mediena visų rūšių kirtimuose sudaro 11 % stiebų tūrio. Be malkinės medienos, iš stiebų gaunamos medienos kuriai gali būti panaudota padarinės medienos žievė (8 %), antžeminė kelmų dalis (2 %), viršūnės (1 %). Taip pat nemažą kiekį nuo bendro žaliųjų medžių stiebų tūrio tarpiniuose ir pagrindiniuose kirtimuose sudaro sausuolių medžių stiebų mediena, dažniausiai tinkanti tik kurui. Be stiebų medienos, nemažą kiekį sudaro šakų (15 %) ir požeminio kelmo bei šaknų mediena (21 %) [30]. Šiame straipsnyje nebus analizuojamas kelmų ir šaknų potencialas. Remiantis Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro filialo, Miškų instituto, mokslininkų atlikto tyrimo rezultatais, kelmų ruošos savikaina Lietuvoje gali siekti apie 114,1–156 Lt/m<sup>3</sup>. Esant dabartinėms skiedrų kainoms jų ruošą iš kelmų medienos net ir geriausiomis gamybos sąlygomis būtų

nuostolinga. Taip pat paėmus visą medžių biomasaę, būtų pernelyg nuskurdinama miško ekosistema ir sumažėtų miškų produktyvumas bei biologinė įvairovė. Tad siūloma pirmiausia naudoti kirtimo atliekų (šakos, viršūnės) išteklius, kartu atlikti mokslinius tyrimus naudojant labai ribotos apimties kelmus [31].

Remiantis Lietuvos miškų naudojimo XXI a. prognozėmis [11], miško kirtimai 2011–2020 m. turėtų padidėti 15 % ir likvidinės medienos kiekis turėtų pasiekti 7,5 mln. m<sup>3</sup>/metus, kai 2001–2010 m. miško kirtimų apimtys sudarė 6,5 mln. m<sup>3</sup>/metus, o 2011 m. jau siekė 7,3 mln. m<sup>3</sup>/metus [10]. Nuo 2011–2020 m. iki 2021–2030 m. miško kirtimai turėtų padidėti dar 10 %, o išskirtos likvidinės medienos kiekis turėtų jau siekti 8,3 mln. m<sup>3</sup>/metus. Tokia kirtimų apimtis neturėtų kelti grėsmės miško ekosistemų stabilumui, nes, Valstybinės miškų tarnybos duomenimis, metinis medienos prieaugis Lietuvoje sudaro 17,17 mln. m<sup>3</sup> medienos, iš kurio galima panaudoti 9,6 mln. m<sup>3</sup>/metus [10].

Atsižvelgiant į miško kirtimų prognozes, kuriomis miško kirtimų apimtys 2011–2020 m. turėtų padidėti 15 % [11], mūsų vertinimu, malkinės medienos ir kirtimo atliekų kiekis, naudojamas energetinėms reikmėms, iki 2020 m. taip pat padidės 15 %.

Didžioji dalis medienos apdirbimo pramonės atliekų susidaro lentpjūvėse ir gaminant fanerą. Pažymėtina, kad dalis medienos apdirbimo pramonės atliekų suvartojama presuoto kuro (briketų ir granulių) gamybai. Tačiau didžioji dalis šios produkcijos (80 % briketų ir 95 % granulių) yra eksportuojama į užsienio šalis [32]. Šiame tyrime remiamasi Valstybinės miškų tarnybos [30] duomenimis apie medienos apdirbimo pramonėje susidarančių atliekų kiekį, galimą panaudoti energetinėms reikmėms, kuris siekia 1,5 mln. m<sup>3</sup> arba 310 ktne (1 lentelė).

Kitas galimas kietojo biokuro išteklius yra energetinės plantacijos. Nacionalinės mokėjimo agentūros duomenimis, 2011 m. Lietuvoje sumedėjusiais energetiniais augalais apšodinta 1 000 ha plotas. Toks rodiklis yra tikrai menkas, kadangi Statistikos departamento duomenimis, 2010 m. ariama žemė sudarė 2,13 mln. ha iš 2,77 mln. ha naudojamų žemės ūkio naudmenų ploto, o visas žemės ūkio naudmenų plotas (Nacionalinės žemės tarnybos duomenimis) 2011 m.

1 lentelė. Kietojo biokuro potencialas 2011 m. ir procentinis potencialo sunaudojimas šilumos sektoriuje (sudaryta pagal Statistikos departamento ir Valstybinės miškų tarnybos duomenis)

Kietojo biokuro rūšys	2011 m. kiekis ktne	Procentinis 2011 m. potencialo sunaudojimas šilumos sektoriuje
Malkinė mediena	509	100
Kirtimo atliekos	177	10
Medienos apdirbimo pramonės atliekos	310	100
Energetinės plantacijos	5	100
Šiaudai	441	1,1
Iš viso	1 442	50,8

sudarė 3,1 mln. ha. Vadinasi, Lietuvoje nepanaudojama 0,4 mln. ha. žemės naudmenų, dalyje jų galėtų būti auginamos sumedėjusios energetinės kultūros. Nors buvo planuojama, kad jau 2015 m. Lietuvoje bus įveista 11,5 tūkst. ha energetinių plantacijų, o iš jų pagaminama 45 ktne energijos [12], tačiau plantacijų kūrimo tempai yra gerokai lėtesni nei tikėtasi. Esant tokiems plėtros tempams galima prognozuoti, jog 2020 m. energetinių plantacijų plotai geriausiu atveju pasieks 8 000 ha. Tinkamai auginant iš 1 ha žilvičių plantacijos kasmet galima gauti apie 11 t sausos medienos, kuri būtų panaudojama energijai gaminti [33]. Tad iš 1 000 ha ploto gaunamas medienos kiekis prilygsta 5 ktne.

Daugiausiai diskutijų keliantis ir sunkiausiai įvertinamas yra šiaudų energetinis potencialas. Lietuvoje kasmet susidaro apie 4 mln. t šiaudų [33]. Tačiau viso šio šiaudų kiekio negalima panaudoti energetinėms reikmėms, nes dalis yra sunaudojama gyvulių kraikui, ne visą šiaudų derlių įmanoma surinkti dėl gamtinių sąlygų. Taip pat ūkininkai dalį šiaudų susmulkina ir įterpia atgal į dirvą. Mūsų vertinimu, atsižvelgiant į aplinkosaugines sąlygas, energetinėms reikmėms yra tikslinga panaudoti trečdalią šiaudų kiekio, o tai yra 1,32 mln. t. Iš šio kiekio būtų gaunama 441 ktne energijos. Remiantis Statistikos departamento duomenimis, auginamų javų derlius vis didėja, tuo pačiu didėja ir užauginamų šiaudų kiekiai. Tad iki 2020 m. galimas energetinėms reikmėms panaudoti šiaudų kiekis padidėtų apie 15 %, t. y. iki 1,52 mln. t ir prilygtų 508 ktne energijos.

Iš 1 lentelėje pateiktų kietojo biokuro energetinio potencialo duomenų matyti, kad malkinė mediena, kirtimo ir medienos apdirbimo pramonės atliekos 2011 m. sudarė didžiąją kietojo biokuro potencialo dalį – 69 %. Bendrai kietojo biokuro potencialas, mūsų vertinimu, iki 2020 m. padidės 14,6 %. 2011 m. centralizuotos šilumos gamyboje kietojo biokuro dalis siekė 22,4 % (173,7 ktne), o namų ūkiuose – 61 % (558,6 ktne). Taigi jau dabar šilumos gamybai panaudojama 50,8 % kietojo biokuro potencialo.

Būtina pažymėti, kad dabar malkinės medienos, medienos apdirbimo pramonės atliekų ir sumedėjusių energetinių plantacijų sektoriuose paruošiamo biokuro kiekis

šilumos gamybai yra išnaudojamas 100 %. Tad būtina sparčiau plėsti energetines plantacijas, orientuojantis ne tik į sumedėjusius, bet ir į daugiamečius žolinius augalus bei efektyviau panaudoti kirtimų atliekas. Vienas didžiausių rezervų – šiaudų potencialas, kur galėtų sėkmingai prisidėti prie didesnio vietinio atsinaujinančio kuro panaudojimo šilumos sektoriuje. Tik būtina išspręsti kai kurias su šiaudų deginimu susijusias technologines problemas, kadangi šiauduose, palyginti su mediena, sukaupiama 7–10 kartų daugiau chloro ir 10–12 kartų daugiau azoto, taip pat gana daug sieros. Šios medžiagos skatina įrenginių koroziją, o dėl didelio peleningumo ir žemos lydymosi temperatūros padidėja katilų apsinešimo tikimybė [24].

Norint įgyvendinti nacionalinius tikslus namų ūkio sektoriuje, kietojo biokuro sunaudojimą reikės padidinti 24 %, t. y. 174 ktne ir jo poreikis 2020 m. turės pasiekti 732,6 ktne. Šiame tyrime vertinant kietojo biokuro sunaudojimo pokytį centralizuotai gaminamos šilumos sektoriuje, įvertintas galimas renovacijos poveikis. Daugiabučių renovacija iki 2020 m. planuojama sumažinti šiluminės energijos suvartojimą ne mažiau kaip 20 % [34]. Tačiau centralizuoto šilumos tiekimo sektoriuje kietojo biokuro dalis vis tiek turės padidėti daugiau nei 2 kartus ir 2020 m. reikės sunaudoti 372,2 ktne kietojo biokuro. Bendras kietojo biokuro poreikis šilumos energijos gamybai sieks 1104,8 ktne, arba 67 % jo bendro prognozuojamo potencialo (2 lentelė).

Tikėtina, kad ir toliau bus maksimaliai naudojamas malkinės medienos potencialas. Sumedėjusios energetinės plantacijos taip pat turėtų būti išnaudojamos 100 %, kadangi jos būtent šiuo tikslu ir auginamos. Mūsų vertinimu, atsižvelgiant į aplinkosauginius aspektus, kirtimo atliekų galėtų būti išnaudojama 35 % potencialo ir toks kiekis labai prisidėtų (73,5 ktne) prie šilumos gamybos iš kietojo biokuro, tuo pačiu nedarytų žalos miško ekosistemai. Šiaudų 2011 m. išnaudota tik 1,1 % jų potencialo. Norint įgyvendinti nacionalinius tikslus 2020 m. ši kietojo biokuro dalis turės pasiekti 20 %. Kogeneracijos metu iš kietojo biokuro gaminama ne tik elektra, bet ir šiluma [33]. Tad kietojo biokuro naudojimas kogeneracinėse jėgainėse duotų dvigubą naudą, gamintų elektros ir šilumos energiją.

2 lentelė. Kietojo biokuro rūšių potencialo prognozė ir planuojamas sunaudojimas šilumos sektoriuje 2020 m. (sudaryta pagal Valstybinės miškų tarnybos ir Ilgalaiškės (iki 2030 m.) medienos išteklių naudojimo prognozės duomenis)

Kietojo biokuro rūšys	Kietojo biokuro potencialas ktne	Kietojo biokuro planuojamas sunaudojimas ktne	Kietojo biokuro potencialo planuojama sunaudoti dalis %
Malkinė mediena	588	588	100
Kirtimo atliekos	210	73,5	35
Medienos apdirbimo pramonės atliekos	310	310	100
Energetinės plantacijos	32	32	100
Šiaudai	508	101,3	20
Iš viso	1 648	1 104,8	67

Tačiau kogeneracinių jėgainių, kuriose kaip žaliava būtų naudojamas kietasis biokuras, galia yra ribota. Viena priežasčių, kad vasaros metu kiltų problemų dėl perteklinės šilumos realizacijos.

## NAUDOJAMO KIETOJO BIOKURO POVEIKIS APLINKAI

Kietojo biokuro deginimo indėlis klimato kaitai laikomas neutraliu procesu [22, 35], t. y. biokuro degimo metu išsiskyręs CO<sub>2</sub> kiekis yra pasisavinamas aplinkoje augančios augalijos. Ir nors aplinkosauginiu požiūriu tai yra teigiama savybė, tačiau koncentruotis vien į šį rodiklį nėra tikslinga ir objektyvu. Lietuvoje gana daug kalbama, kad reiktų labiau skatinti monokultūrų – greitai augančių sumedėjusių energetinių želdinių – auginimą, juolab kad Lietuvoje nepanaudojama 0,4 mln. ha žemės naudmenų. Tačiau priverstina skatinti energetinių plantacijų plėtros, matyt, nevertėtų, juolab neįvertinus galimo poveikio aplinkai, kadangi greitai augančių želdinių auginimas sumažina biologinę įvairovę [36]; dėl 2–3 kartus didesnio plantacijų tankumo, palyginti su natūraliais miškais, iškyla didesnė kenkėjų grėsmė [37]; šios kultūros yra mažiau stabilios nei įprasti miškai ir siekiant išlaikyti aukštą energetinių plantacijų produktyvumą reikia didinti energijos sąnaudas, t. y. naudoti pesticidus ir trąšas [38]. Energetinių augalų auginimas keičia laukinės gamtos buveines ir mažina maisto šaltinius bei didina aplinkoje azoto junginių kiekį, tačiau natūralių miškų naudojimas kurui kelia pastarųjų išekvojimo riziką [39].

Analizuojant miško išteklių naudojimą galima pastebėti, kad pačios medienos išteklių paėmimas nesukelia didesnių neigiamų pasekmių aplinkos komponentams ar jų kokybei. Žinoma, pats medienos paruošimo procesas turi vykti pagal numatytus standartus ir aplinkosauginius reikalavimus. Tačiau iš miško paimant ne tik medieną, bet ir susidarantį kirtimų atliekas (kelmus, šakas) gali būti sutrikdytas natūralus medžiagų apykaitos ciklas [40], paveikta natūrali biota, sumažėti biologinė įvairovė, prasidėti dirvožemio degradacija, erozijos procesai [41] bei sumažėti paukščių įvairovė [42]. Konkrečiai kelmų rovimas sukelia mechaninius dirvožemio pažeidimus ir pagreitina organinės medžiagos skaidymą [43, 44]. Jei yra raunami kelmai, gyvoji dirvožemio danga sunaikinama beveik 70 % kirtavietės ploto [31]. J. D. Walmsley ir D. L. Godbold [45], analizuodami kelmų rovimo pasekmes miškui, nurodo, kad pašalinus kelmus, atsiranda laisva niša ne miško augalijos plitimui, dėl to didėja herbicidų naudojimo poreikis. T. Nisbet ir kt. [46] teigia, kad tokia veikla netgi keičia kraštovaizdį.

Surinkus miško kirtimo atliekas, ne tik mažėja organinės medžiagos kiekis, reikalingas normalios dirvožemio struktūros palaikymui, bet ir keičiasi drėgmės

režimas, dirvožemio biota, šaknų augimas. Intensyvus dirvožemio pažeidimas ir organinės medžiagos skaidymas skatina maisto medžiagų išplovimą bei eutrofikacijos procesus. Priešingai, iš derlingų augaviečių išvežant maisto medžiagomis turtingas miško kirtimo atliekas, gali sumažėti maisto medžiagų išplovimas [47]. Nors kietojo biokuro paėmimas turi neigiamų aspektų, tačiau juos galima minimizuoti taikant tinkamas technologijas [31, 48].

Vertinant energijos gamybos sistemų kompleksinį indėlį į klimato kaitą dažniausiai taikomas gyvavimo ciklo analizės metodas (angl. *life cycle assessment*) [18, 49]. Kompleksinis poveikis aplinkai apima kuro deginimą, žaliavų išgavimą ir medžiagų sąnaudas, įrenginių statybos, demontavimo, perdirbimo bei grąžinimo pakartotiniam naudojimui darbus, kurių metu į aplinką išskiriami teršalai. Kad būtų aiškus galutinis įvertis, daugelyje mokslinių tyrimų šis kompleksinis vertinimas išreiškiamas šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų kiekiu (gramais) energijos vienetui pagaminti, t. y. gCO<sub>2</sub>/kWh [50].

3 lentelėje nurodytos skirtingų autorių pateikiamos vidutinės reikšmės. Remiamasi keletu autorių siekiant gauti kuo objektyvesnes reikšmes. Tačiau siekiant gauti vidutinės reikšmes, kurios būtų kuo labiau artimos Lietuvos sąlygoms, pagrindinis duomenų šaltinis buvo Tarptautinė energetikos agentūra (IEA) [19]. Mūsų apskaičiuotos vidutinės reikšmės mažai skyrėsi nuo IEA pateikiamų rezultatų. Iš 3 lentelėje pateiktų apibendrintų įvairių autorių atliktų tyrimų duomenų matyti, kad kietasis biokuras, palyginti su tradiciniu organiniu kuru, pavyzdžiui, akmens anglimis, per visą gyvavimo ciklą pagamintam energijos vienetui išskiria vidutiniškai 16,7 kartus mažiau šiltnamio dujų (CO<sub>2</sub> ekvivalentu). Tarp kietojo biokuro ir naftos naudojimo CO<sub>2</sub> ekvivalento emisijos skirtumas siekia 14,6, o tarp dujų ir kietojo biokuro – 10,7 kartus.

Remiantis 3 lentelėje pateiktais gyvavimo ciklo analizės rezultatais bei Aplinkos apsaugos agentūros ir Aplinkos ministerijos duomenimis apie šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas, buvo nustatyta, kiek šiltnamio dujų emisijos sumažėtų įgyvendinus nacionalinius atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo plėtros planus bei dėl numatomos renovacijos sutaupytos šilumos energijos kiekio. Dėl daugiabučių namų renovacijos iki 2020 m. planuojama sumažinti šiluminės energijos suvartojimą ne mažiau kaip 20 % [34]. Todėl atliekant skaičiavimus cent-

3 lentelė. Įvairių kuro rūšių šiltnamio dujų emisijų per gyvavimo ciklą (gCO<sub>2</sub>/kWh) palyginimas [16–19]

Kuro rūšis	gCO <sub>2</sub> /kWh
Akmens anglis	951,9
Naftos produktai	832,7
Gamtinės dujos	607,6
Kietasis biokuras	56,9

4 lentelė. Potencialus kietojo biokuro indėlis mažinant šiltnamio dujų emisijas [15, 21]

Sektorius	Kuro rūšis	Sunaudoto kuro kiekis 2011 m. ktne	Sunaudoto kuro kiekis 2020 m. ktne	Šiltnamio dujų emisijų sumažėjimas šilumos sektoriuje 2020 m.		Bendras šiltnamio dujų emisijų sumažėjimas 2020 m.
				mln. t. CO <sub>2</sub> ekvivalentu	%	
Centralizuotai tiekiamas šiluma	Mazutas	21	–	1	28,8	4,9
	Gamtinės dujos	566,9	248,4			
	Kietasis biokuras	173,7	372,2			
Namų ūkiai	Akmens anglis	51,7	–	0,2	6,7	1,1
	Gamtinės dujos	145	142,7			
	Kietasis biokuras	558,6	732,6			

ralizuotai tiekiamos šilumos poreikis sumažintas 20 %. Jei kietasis biokuras centralizuotoje šilumos gamyboje 2020 m. sudarys 60 %, jo prireiks 372,2 ktne (4 lentelė). Siekiant kuo didesnio aplinkosauginio efekto kietasis biokuras turėtų pakeisti visą šiuo metu centralizuotai šilumos gamybai naudojamą mazutą ir 55 % gamtinių dujų kiekio. Jei namų ūkių šilumos gamyboje biokuras sudarys 80 %, tam reikės 732,6 ktne kiekio, kuris visiškai pakeistų dabar naudojamas akmens anglis ir 40 % gamtinių dujų. Įgyvendinus šiuos planus, kietojo biokuro naudojimas centralizuotai tiekiamos šilumos sektoriuje leistų sumažinti šiltnamio dujų kiekį 1 mln. t. CO<sub>2</sub> ekvivalentu, o namų ūkių sektoriuje – 0,2 mln. t. CO<sub>2</sub> ekvivalentu, t. y. atitinkamai 28,8 ir 6,7 %. Atliekant šiuos skaičiavimus buvo remtasi Aplinkos apsaugos agentūros [20] ir Aplinkos ministerijos duomenimis [21] apie šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas energetikos sektoriuje. Energetikos sektorius apima šilumos ir elektros gamybą, todėl atitinkamai įvertinta šilumos energijos dalis, kuri yra 15 % didesnė už elektros energijos sektoriaus dalį. Taip pat remtasi Statistikos departamento duomenimis apie sunaudoto kuro rūšių kiekį 2011 m. [15] bei atsižvelgta į Energijos sunaudojimo namų ūkiuose 2009 m. tyrimo rezultatus [51].

Išaugęs kietojo biokuro naudojimas centralizuotai gaminamos šilumos sektoriuje leistų sumažinti 4,9 % viso šalyje susidarančio šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio, o namų ūkių sektoriaus indėlis siektų 1,1 %. Tad bendras šiltnamio dujų emisijų sumažėjimas sudarytų 6 %, o atskirai šilumos sektoriuje net 35,5 %.

5 lentelėje pateikti apibendrinti mokslinių studijų ir tarptautinių energetikos organizacijų duomenys apie oro teršalų emisijų rodiklius (g/kWh) deginant skirtingas kuro rūšis. Nors didžioji dalis tyrimų buvo atlikta Europos šalyse,

tačiau pastebėta, kad oro teršalų emisijos tai pačiai kuro rūšiai kinta. Tyrimų autoriai nurodo, kad tokių pokyčių priežastys dažniausiai atsiranda dėl taikomų skirtingų technologinių bei inžinerinių ir teršalų sugavimo, skirtingų katilo reguliavimo sprendimų bei biokuro žaliavos kokybės, jos drėgnumo, šilumingumo [25, 31]. Šiuo atveju duomenų šaltinių yra nemažai dėl skirtingų autorių analizuojamos konkrečios kuro rūšies ir oro teršalų emisijos (g/kWh). Pagrindinis duomenų šaltinis, kuriuo remtasi apskaičiuojant vidutines reikšmes siekiant kuo artimesnių Lietuvai sąlygų, buvo Europos aplinkos agentūra (EEI) [25].

Remiantis Aplinkos apsaugos agentūros ir Aplinkos ministerijos duomenimis [20, 21], buvo atlikti papildomi skaičiavimai, kuriais siekta išsiaiškinti, kaip kistų pagrindinių oro teršalų, t. y. SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, LOJ, CO, KD emisijos, įgyvendinus kietojo biokuro naudojimo plėtros planus. Buvo nustatytas teršalų emisijų pokytis šilumos gamybos sektoriuje ir bendrame šalies teršalų balanse atsižvelgiant į tai, kad dėl daugiabučių namų renovacijos iki 2020 m. planuojama sumažinti šiluminės energijos suvartojimą ne mažiau kaip 20 % [34] ir į prognozuojamą sunaudoti kuro rūšių kiekį šilumos gamybai 2020 m. (6 lentelė).

Remiantis gautais rezultatais, SO<sub>2</sub> emisijos labiau sumažėtų namų ūkiuose (NŪ) – 7,2 % nei centralizuotai tiekiamos šilumos (CŠT) gamyboje – 5,9 %, nors kietojo biokuro naudojimo augimas namų ūkiuose nenumatomas itin didelis. Teigiamą aplinkosauginį efektą duotų visiškai akmens anglių pakeitimas kietuoju biokuru namų ūkiuose, o centralizuotai gaminamos šilumos sektoriuje – mazuto atsisakymas.

Kietojo biokuro naudojimas leistų sumažinti NO<sub>x</sub> emisijas 3,2 % nuo viso šalyje susidarančio NO<sub>x</sub> kiekio. Šiuo atveju skirtumas yra mažesnis nei SO<sub>2</sub> emisijų atveju dėl

5 lentelė. Oro teršalų emisijos (g/kWh) deginant skirtingas kuro rūšis [16, 22–29]

Oro teršalai	Akmens anglis	Mazutas	Gamtinės dujos	Kietasis biokuras
SO <sub>2</sub>	13,231	22,845	0,674	0,685
NO <sub>x</sub>	4,636	3,616	1,374	0,819
LOJ	0,149	0,136	0,035	0,085
CO	1,265	0,267	0,261	1,234
KD	19,531	0,345	0,003	0,234

6 lentelė. Potencialus kietojo biokuro indėlis mažinant orą teršiančių medžiagų emisijas (sudaryta pagal Aplinkos ministerijos duomenis)

Oro teršalai	Teršalų emisijų pokytis šilumos sektoriuje				Teršalų emisijų pokytis bendrame šalies teršalų balanse		Bendras teršalų emisijų pokytis
	CŠT dalis		namų ūkio dalis		CŠT dalis %	NŪ dalis %	
	tūkst. t	%	tūkst. t	%			CŠT ir NŪ bendrai
SO <sub>2</sub>	-2,2	-21,6	-2,7	-26,3	-5,9	-7,2	-13,1
NO <sub>x</sub>	-0,9	-11,9	-1,0	-13,3	-1,5	-1,7	-3,2
LOJ	0,8	7,5	0,6	1,5	1,1	0,2	1,3
CO	11,6	12,3	5,8	6,1	5,5	2,7	8,2
KD	0,2	3,4	-4,2	-69,2	1,3	-27,1	-28,4

mažesnio skirtumo tarp mazuto, akmens anglių, gamtinių dujų ir kietojo biokuro degimo metu išskiriamų NO<sub>x</sub> emisijų kiekio. Sumedėjusiuose energetiniuose augaluose, palyginti su miško mediena, sukaupiami didesni kiekiai azoto, fosforo, kalio, kadmio, taip pat didesnis sumedėjusių energetinių augalų medienos peleningumas. Azoto ir chloro kiekis sumedėjusių energetinių augalų biomasėje gali būti sumažintas agrotechninėmis priemonėmis ir optimizuojant tręšimą bei mažiau naudojant cheminių apsaugos priemonių. Ypač daug teršalų energetiniuose augaluose sukaupiami, kai plantacijos auginamos reikultivuojamuose plotuose, sanitarinėse pramoninėse zonose, nutekamųjų vandenų dumblo sandėliavimo teritorijose [22].

Vertinant LOJ (lakiųjų organinių junginių) emisijų numatomus pokyčius galima matyti, jog jų emisijos padidėtų 1,3 % nuo viso šalyje susidarančio LOJ kiekio. Lakiųjų organinių junginių gamtinių dujų degimo metu susidaro 2,4 kartus mažiau nei deginant kietąjį biokurą. Ir nors šis kuras yra šiuo atveju švaresnis nei mazutas ar akmens anglis, bet pastarieji sudaro palyginti nedidelę dalį šildymo sektoriuje, o gamtinių dujų pakeitimas kietuoju biokuru duoda neigiamą LOJ emisijų efektą. LOJ daugiausiai susidaro deginant medienos perdirbimo atliekas, kurios dažnai užterštos technologiniuose procesuose naudojamomis cheminėmis medžiagomis: melalaminu–karbamidu–formaldehido dervomis, polichlorvinilu, sintetiniais lakais ir dažais [52].

Vis dėlto didžiausias neigiamas efektas būtų CO kiekio padidėjimas 8,2 %. Išskiriama CO kiekis sąlygoja biomasės kokybės parametrų netolygumas (drėgmė, šilumingumas) bei blogai nustatytas katilo darbo režimas [22]. Todėl daugiausia (5,5 %) CO emisijos padidėtų centralizuoto šildymo sektoriuje.

Kietųjų dalelių (KD) atveju pastebima gana netipinė šiame tyrime situacija, kadangi kietasis biokuras namų ūkiuose KD emisijų kiekį sumažintų net 27,1 %, o centralizuotos šilumos gamybos sektoriuje padidintų 1,3 %. Namų ūkiuose šildymui naudojamos akmens anglis, kurios yra net 83,5 kartus taršesnės KD atveju nei kietasis biokuras, tad kietojo biokuro naudojimas vietoj šio taršaus kuro duotų labai apčiuopiamą teigiamą efektą. Būtina pastebėti, kad toks didelis teigiamas aplinkosauginis efek-

tas būtų pasiektas tik tokiu atveju, jei akmens anglis namų ūkiuose būtų 100 % pakeistos biokuru. Centralizuotai tiekiamos šilumos atveju situacija yra sudėtingesnė ir dėl mažesnių nei deginant mazutą, bet didesnių nei deginant gamtines dujas KD emisijų. Įgyvendinus biokuro plėtros planus, centralizuotai tiekiamos šilumos sektoriuje KD emisijos padidėtų apie 1,3 %.

Apibendrinant galima teigti, kad įgyvendinus kietojo biokuro naudojimo šilumos sektoriuje planus ne tik padidėtų energetinė šalies nepriklausomybė, bet būtų reikšmingas indėlis stabdant Lietuvos klimato kaitą, mažinant oro taršą.

## IŠVADOS

1. Nustatyta, kad strateginių atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo plėtros planų šilumos sektoriuje įgyvendinimas leistų iki 2020 m. centralizuotai tiekiamos šilumos sektoriuje sumažinti išmetamų šiltnamio dujų kiekį 1 mln. t., o namų ūkių sektoriuje – 0,2 mln. t. CO<sub>2</sub> ekvivalentu. Dėl to bendra Lietuvos šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija sumažėtų 6 %.

2. Įgyvendinus nacionalinius strateginius atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo plėtros planus šilumos sektoriuje ir akmens anglis, mazutą bei dalį gamtinių dujų pakeitus kietuoju biokuru, šiek tiek padidėtų LOJ emisijos – 1,3 % bei CO emisijos – 8,2 %.

3. Dėl platesnio kietojo biokuro naudojimo šilumos gamybos sektoriuje SO<sub>2</sub> emisijos sumažėtų 13,1 %, NO<sub>x</sub> – 3,2 %, o KD – 28,4 %. Tai iš esmės prisidėtų prie svarbiausių miestų oro kokybės problemų (pvz., užterštumo kietosiomis dalelėmis) sprendimo.

Gauta 2013 05 20  
Priimta 2013 07 14

## Literatūra

1. *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21). Renewables 2012. Global Status Report.* 172 p.
2. Vrubliauskas S., Perednis E. Biomasės ir iškastinio kuro mišinių deginimo ypatumai. *Energetika.* 2010. Nr. 56(3–4). P. 247–253.

3. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2009/28/EB „Dėl atsinaujinančių energijos išteklių“, kuri keičia 2001/77/EB ir 2003/30/EB direktyvas. *Europos Sąjungos oficialusis leidinys*, 2009-06-05. 46 p.
4. EUROSTAT. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tsdcc110>
5. EUROSTAT. [http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg\\_1071a&lang=en](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_1071a&lang=en)
6. *Lietuvos energetika 2011*. Lietuvos energetikos institutas, 2012. 20 p. [http://www.lei.lt/\\_img/\\_up/File/atvir/leidiniai/2012/Liet\\_energetika-2011-ST.pdf](http://www.lei.lt/_img/_up/File/atvir/leidiniai/2012/Liet_energetika-2011-ST.pdf)
7. Lietuvos Respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymas, Nr. XI-1375, (Žin., 2011, Nr. 62-2936). *Valstybės žinios*, 2011-05-24.
8. Lietuvos Respublikos nacionalinė energetinės nepriklausomybės strategija, Nr. XI-2133, (Žin., 2012, Nr. 80-4149). *Valstybės žinios*, 2012-07-10.
9. Baublys J., Miškinis V., Morkvėnas A. Lietuvos darna su gamta. *Energetika*. 2011. Nr. 57(2). P. 85–94.
10. *Lietuvos miškų ūkio statistika 2012*. Aplinkos ministerija, Valstybinė miškų tarnyba. Kaunas: Lututė, 2012. 184 p.
11. Deltuvas R. *Ilgalaikės (iki 2030 m.) medienos išteklių naudojimo prognozės*. LŽŪU-Akademija, 2005. 28 p.
12. Katinas V. *Energijos gamybos iš atsinaujinančių energijos išteklių 2008–2015 m. studija*. Lietuvos energetikos instituto Atsinaujinančių energijos šaltinių laboratorija. Kaunas: S/10-943.7.7-G-V:01, 2007. 128 p.
13. Lietuvos Respublikos Vyriausybės nutarimas „Dėl nacionalinės atsinaujinančių energijos išteklių plėtros strategijos patvirtinimo“, Nr. 789, (Žin., Nr. 73-3725). *Valstybės žinios*, 2010-06-23.
14. *Lietuvos atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo skatinimo veiksmų planas 2010–2020 m.* (Taikomasis mokslinis tyrimas). Lietuvos biomasės energetikos asociacijos LITBIOMA galutinė ataskaita. Vilnius, 2008. 215 p.
15. *Kuro ir energijos balansas 2011*. Lietuvos Statistikos departamentas. Vilnius, 2012. 53 p.
16. Nomura N., Inaba A., Tonooka Y., Akai M. Life cycle emission of oxidic gases from power generation systems. *Applied Energy*. 2001. No. 68(2). P. 215–227.
17. Pehnt M. Dynamic life cycle assessment (LCA) of renewable energy technologies. *Renewable Energy*. 2006. No. 31(1). P. 55–71.
18. Varun, Bhat I. K., Prakash R. LCA of renewable energy for electricity generation systems – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009. No. 13. P. 1067–1073.
19. International Energy Agency. *CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion Highlights*. Paris, 2012. 138 p.
20. Aplinkos apsaugos agentūra. *Šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio tendencijos Lietuvoje 1990–2010 m.* <http://klimatas.gamta.lt/files/%C5%A0ESD%20Trendai%20AAA%20svetaine.pdf>
21. Aplinkos ministerija. *Darnaus vystymosi rodikliai*. <http://www.am.lt/VI/files/0.311444001346243913.pdf>
22. Ambrulevičius R. Biomasės deginimas mažos bei vidutinės galios katilinėse ir emisijų problemos. *Energetika*. 2010. Nr. 56(2). P. 103–109.
23. Chakraborty N., Mukherjee I., Santa A. K., Chowdhury S., Chakraborty S., Bhattacharva S., Mitra A. P., Sharma C. Measurement of CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, and NO emissions from coal-based thermal power plants in India. *Atmospheric Environment*. 2008. No. 42. P. 1073–1082.
24. *Energy Information Administration. Natural Gas 1998. Issues and Trends*. EIA Report. Washington, 1999. 260 p.
25. European Environment Agency. *Air pollution from electricity-generating large combustion plants. An assessment of the theoretical emission reduction of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> through implementation of BAT as set in the BREFs*. EEA Technical Report. Copenhagen, 2008. No. 4. 48 p.
26. Heller M. C., Keoleian G. A., Mann M. K., Volk T. A. Life cycle energy and environmental benefits of generating electricity from willow biomass. *Renewable Energy*. 2004. No. 29. P. 1023–1042.
27. Jaramillo P., Griffin W. M., Matthews H. S. Comparative life-cycle air emissions of coal, domestic natural gas, LNG and SNG for electricity generation. *Environmental Science & Technology*. 2007. No. 41. P. 6290–6296.
28. Nazari S., Shahhoseini O., Sohrabi-Kashani A., Davari S., Sahabi H., Rezaeian A. SO<sub>2</sub> pollution of heavy oil-fired steam power plants in Iran. *Energy Policy*. 2012. No. 43. P. 456–465.
29. Nazari S., Shahhoseini O., Sohrabi-Kashani A., Davari S., Paydar R., Delavar-Moghadam Z. Experimental determination and analysis of CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emission factors in Iran's thermal power plants. *Energy*. 2010. No. 35. P. 2992–2998.
30. Kuliešis A. Energetinės medienos išteklių Europos miškų sektoriaus darnaus vystymosi iki 2030 m. kontekste. *Seminaro „Darnios plėtros aspektai rengiant sąvivaldybių atsinaujinančių išteklių energijos naudojimo plėtros veiksmų planus“ medžiaga*. 2013-01-31. 25 p.
31. Sadauskienė L., Aleinikovas M., Armolaitis M., Varnagirytė-Kabašinskiėnė I. *Kelmų panaudojimo biokurui tyrimų atlikimas: išteklių, technologinis, ekonominis ir ekologinis vertinimas*. Ataskaita Aplinkos ministerijai. LAMMC filialas Miškų institutas, 2012. 59 p.
32. *Vėjo energijos prognozavimas ir biomasės išteklių naudojimo plėtros galimybių energetikoje tyrimai*. Lietuvos energetikos institutas. 2011.
33. Dzenajavičienė E. F., Pedišius N., Škėma R. 2011. *Darni bioenergetika*. Kaunas: Lietuvos energetikos institutas. 136 p.

34. Lietuvos Respublikos Vyriausybės nutarimas „Dėl daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) programos ir valstybės paramos daugiabučiams namams modernizuoti teikimo ir investicijų projektų energinio efektyvumo nustatymo taisyklių patvirtinimo“, Nr. 1213, (Žin., Nr. 143-5232). 2012-02-23 [http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc\\_l?p\\_id=418701](http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=418701)
35. Sodsai P., Rachdawong P. The current situation on CO<sub>2</sub> emissions from the steel industry in Thailand and mitigation options. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 2012. No. 6. P. 48–55.
36. Hedde M., van Oort F., Renouf E., Thenard J., Lamy I. Dynamics of soil fauna after plantation of perennial energy crops on polluted soils. *Applied Soil Ecology*. 2013. No. 66. P. 29–39.
37. Abbasi S. A., Abbasi N. The likely adverse environmental impacts of renewable energy sources. *Applied Energy*. 2000. No. 65(1–4). P. 121–144.
38. Rowe L., Street R., Taylor G. Identifying potential environmental impacts of large-scale development of dedicated bioenergy crops in the UK. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009. No. 13. P. 271–290.
39. Brandao M., Canals L. M., Clift R. Soil organic carbon changes in the cultivation of energy crops: implications for GHG balances and soil quality for use in LCA. *Biomass and Bioenergy*. 2011. No. 35. P. 2323–2336.
40. Vasiliauskas R., Juska E., Vasiliauskas A., Stenlid J. Community of Aphyllophorales and root rot in stumps of *Picea abies* on clear-felled forest sites in Lithuania. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2002. No. 17(5). P. 398–407.
41. Bhaskara Rao G., Sreenivasulu P., Suresh Babu K., Vijayanand M. Environmental impacts of renewable energy. *International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development*. 2012. No. 4(2). P. 160–164.
42. Riffell A., Verschuyt J., Miller D., Wigley T. B. Biofuel harvests, coarse woody debris, and biodiversity – A meta-analysis. *Forest Ecology and Management*. 2011. No. 261. P. 878–887.
43. Vasaitis R., Stenlid J., Thomsen I. M., Barklund P., Dahlberg A. Stump removal to control root rot in forest stands: a literary study. *Silva Fenn*. 2008. No. 42. P. 457–483.
44. Saarinen V. M. The effects of slash and stump removal on productivity and quality of forest regeneration operations – preliminary results. *Biomass and Bioenergy*. 2006. No. 30. P. 349–356.
45. Walmsley J. D., Godbold D. L. Stump harvesting for bioenergy – A review of the environmental impacts. *Forestry*. 2010. No. 83(1). P. 17–38.
46. Nisbet T., Dutch J., Moffat A. *Whole-tree Harvesting: A Guide to Good Practice*. Forestry Commission Practice Guide. Edinburgh: Forestry Commission, 1997. 19 p. [http://www.forestry.gov.uk/pdf/wth.pdf/\\$file/wth.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/wth.pdf/$file/wth.pdf)
47. Lindholm E. L. *Energy Use and Environmental Impact of Roundwood and Forest Fuel Production in Sweden*. Doctoral Thesis. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences, 2010. 81 p.
48. Abbasi T., Abbasi S. A. Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010. No. 14. P. 919–937.
49. Hondo H. 2005. Life cycle GHG emission analysis of power generation systems: Japanese case. *Energy*. 2005. No. 30. P. 2042–2056.
50. Cherubini F., Bird N. D., Cowie A., Jungmeier G., Schlamadinger B., Woess-Gallasch S. Energy and greenhouse gas based LCA of biofuel and bioenergy systems: Key issues, ranges and recommendations. *Resources, Conservation and Recycling*. 2009. No. 53. P. 434–447.
51. *Energijos sunaudojimas namų ūkiuose 2009*. Vilnius: Lietuvos Statistikos departamentas, 2011. 27 p.
52. Wandrasz J. W., Wandrasz A. J. *Paliwa formowane*. Warszawa: Seidel-Przywecki. 2006. 466 p.

Darius Verbickas, Romualdas Juknys, Arūnas Kleišmantas

#### USE OF SOLID BIOMASS IN LITHUANIAN HEAT SECTOR, DEVELOPMENT AND ENVIRONMENTAL IMPACT

##### Summary

The current use of solid biomass for heating in Lithuania and further development opportunities as well as environmental impact are analyzed in this paper. The solid biomass potential in 2011 made 1 442 ktoe, and 50.8% of this potential was used in the heating sector. The solid biomass potential should increase 14.6% by 2020 and 67% of this potential should be used in order to achieve the national renewable energy targets (60% for district heating and 80% for heating of individual houses). Achievement of national targets would allow to reduce total greenhouse gas emissions by 6%. The changes in the emissions of the main pollutants would be different. SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, solid particles emissions would decrease by 13.1, 3.2% and 28.4%, respectively, however, VOC and CO emissions would increase by 1.3 and 8.2%.

**Key words:** solid biomass, heating, potential, environmental impact, climate change



Дарюс Вербицкас, Ромуалдас Юкнис, Арунас Клейшмантас

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДОГО БИОТОПЛИВА ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ В ЛИТВЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ И ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

### *Резюме*

Проведен анализ нынешнего состояния по использованию твердого биотоплива в Литве, возможностей дальнейшего развития и воздействия на окружающую среду и климат. В 2011 г. потенциал твердого биотоплива, в основном древесины, составляет 1 442 тыс. т э. н. и в секторе теплоснабжения этот потенциал был использован на 50,8 %. К 2020 г. прогнозируется рост потенциала твердого биотоплива на 14,6 %, до 1 648 тыс. т э. н. и для достижения предусмотренных национальных целей (60 % в центральном отоплении и 80 % для индивидуального отопления) потенциал твердого биотоплива будет использован на 67 %. Выполнение национальных планов приведет к сокращению на 6 % общего объема выбросов парниковых газов. Выбросы SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, ТЧ должно быть уменьшены на 13,1, 3,2 и 28,4 %, соответственно а выбросы летучих органических соединений и выбросы CO будут увеличены на 1,3 и 8,2 %.

**Ключевые слова:** твердое биотопливо, отопление, потенциал, воздействие на окружающую среду, потепление климата