

Kenksmingų medžiagų emisijų nustatymas deginant medienos atliekas

Algirdas Jasinskas¹, Ramūnas Mioldažys¹, Algimantas Mioldažys¹, Nerijus Pedišius²,
Tomas Vonžodas²

¹Aleksandro Stulginskio universitetas, ²Lietuvos energetikos institutas

Straipsnyje pateikti medienos atliekų – medienos žievės, lapų ir kitų atliekų paruošimo, perdirbimo ir naudojimo kaip ekologiško vietinio kuro analitinių ir eksperimentinių tyrimų rezultatai. Apžvelgta mokslinė-techninė informacija apie užsienio šalyse ir Lietuvoje auginamos ir energetinėms reikmėms plačiai naudojamos medienos bei jos atliekų paruošimo biokurui ir deginimo technologinius-techninius sprendimus. Pateikti Lietuvoje gerai augančio vieno iš vertingiausių medžių – ažuolo atliekų smulkinimo ir granuliuojamos gamybos tyrimų rezultatai, nustatytas peleningumas, šilumingumas bei įvertintas poveikis aplinkai deginant šių netradicinių atliekų granules. Iširtos ir įvertintos šios kenksmingų dujų emisijos – anglies monoksidas CO, anglies dioksidas CO₂, anglies ir azoto junginiai C_xH_y, azoto oksidai NO_x ir nustatyta dūmų temperatūra degimo metu. Išmetamų teršalų iš kurų deginančių įrenginių ribines vertes reglamentuoja Lietuvos Respublikos aplinkos ministro patvirtintos išmetamų teršalų iš kurų deginančių įrenginių normos (LAND 43-2013), kurios reglamentuoja įvairaus deginamo biokuro – tame tarpe ir medienos bei kitos augalinės biomasės atliekų, teršalų ribines vertes. Tyrimai atlikti naudojant mažos galios (5 kW) kietojo kuro katilą, pritaikytą kurenti malkas, pjuvenų briketus, granules. Nustatytos kenksmingų medžiagų emisijos į aplinką neviršijo leistinų normų.

Medienos atliekos, ažuolo žievė, lapai, granulės, savybės, deginimas, kenksmingos emisijos

Įvadas

Vienas iš svarbiausių ir plačiausiai naudojamų atsinaujinančios energijos šaltinių yra augalinė biomasė, kuri sudaro daugiau kaip pusę suvartojamos Europos Sąjungos atsinaujinančių energijos šaltinių. Europos Sąjungos šalyse numatyta augalinės biomasės energijos kiekį iki 2020 m. padidinti iki 3–3.5 karto, o 2030 m. – 3.5–4.5 karto. Lietuvoje 2020 m. iš atsinaujinančių energijos šaltinių numatoma gauti iki 23 % bendro energijos kiekio (JASINSKAS, SCHOLZ, 2008; ŠATEIKIS, 2006).

Lietuvoje ir kitose Europos šalyse didelis dėmesys skiriamas bandymams granuliuojamos medienos, kurios yra gaminamos iš įvairių rūšių augalinės biomasės. Filbakk ir kitų tyrėjų atlikti bandymai rodo, kad iš medžio žievės pagamintos granules turi santykinai didesnę tankį, pakankamai gerai dega, bet gaunamas didelis pelenų kiekis (FILBAKK ir kt., 2011).

Verma ir kiti mokslininkai tyrinėjo įvairių tipų granuliuojamos medienos degimo efektyvumą ir emisijas (VERMA ir kt., 2012). Gaminant granules iš medienos pasiekiamas didelis jų suslėgimo tankis ir gaunamas aukštas degimo efektyvumas. Plačiausiai paplitę cilindro formos granulės, kurias patogiu transportuoti tolimais atstumais, jos kompaktiškos laikant ir nesudėtinga valdyti jų tiekimą į katilų pakuras (HARTMANN ir kt., 2012).

Fizinės, cheminės ir mechaninės medienos granuliuojamos medienos savybės turi įtakos biomasės kuro kokybei. Tai įrodyta Johansson ir kitų tyrėjų atliktuose darbuose, kuriuose pateikti tyrimai įvairių rūšių granuliuojamos medienos savybių: tankio, drėgnio, pelenų kiekio įtaka grynojo šilumingumo vertėms ir išmetamų į aplinką teršalų kiekiams (JOHANSSONA ir kt., 2004). Grynajam šilumingumui ir granuliuojamos medienos tankiui didelę įtaką turi ir biokuro drėgnis (SAMUELSSON ir kt., 2009). Dias ir kitų mokslininkų darbuose teigiama, kad didėjant granuliuojamos medienos skersmeniui gaunamas mažesnis granuliuojamos medienos mechaninis patvarumas ir pastebimas mažesnis katilo efektyvumas (DIAS ir kt., 2004).

Biokuro gamybai ir deginimui gali būti naudojamos įvairių rūšių medienos atliekos – ne tik pramonėje ir baldų

gamybos įmonėse gautos medienos atliekos, bet ir smulkios šakos, medžio žievė, lapai. Vienas iš Lietuvoje gerai augančių ir aukštos kokybės medieną užauginančių medžių yra ažuolas, todėl tikslinga iširti ažuolo atliekų paruošimo ir panaudojimo deginimui galimybes.

Pastaruoju metu vis svarbesne ir aktualesne problema tampa pasaulinė ekologinė problema – kenksmingų dujų emisija į aplinką deginant įvairių kurų. Rekomenduotina naudoti ekologišką augalinės kilmės biokurą, kurio sudėtyje beveik nėra kenksmingų medžiagų, o jį deginant išsiskyręs anglies dioksidas augalų fotosintezės procese paverčiamas deguonimi (JASINSKAS ir kt., 2012).

Įvairiose šalyse energetinėms reikmėms naudojamas skirtingas vietinis ar įvežtinis kuras, dėl to išmetami į aplinką teršalų kiekiai gaunami nevienodi. Lenkijoje, Vokietijoje, Estijoje, Danijoje nustatytas didžiausias CO₂ emisijų intensyvumas, nes šios šalys savo energijos poreikius tenkina vietiniu iškastiniu kuru, o mažiausiai teršalų į aplinką išmeta Skandinavijos šalys, kuriose gausiai naudojami hidro-, bio- ir atominės energijos išteklių (SARI, SOYTAS, 2006).

Išmetamų teršalų iš kurų deginančių įrenginių ribines vertes reglamentuoja Lietuvos Respublikos aplinkos ministro patvirtintos išmetamų teršalų iš kurų deginančių įrenginių normos. Nustatytos biokurą deginančių naujų ir esamų įrenginių, kurių šiluminis našumas 0,12–1,0 MW, išmetamų teršalų ribinės vertės (esant standartinei O₂ = 6 % koncentracijai tūrio proc.) (LAND 43-2013): SO₂ → 2000 mg/Nm³; NO_x → 750 mg/Nm³; CO → nenormuojama; kietųjų dalelių → 800 mg/Nm³.

Sudeginus 1 t žolinių augalų arba šiaudų kūrykloje susidaro 30–40 kg pelenų ir filtruose lieka 5-8 kg dulkių, pelenuose būna apie 0,09 % azoto, 1 % fosforo, 11 % kalio. Be to, pelenuose būna nedidelis kiekis sunkiųjų metalų: vario, cinko, alavo, nikelio, chromo, kadmio ir kitų. Dėl pelenuose esančio fosforo ir kalio pelenus galima vartoti kaip trąšą (VARES ir kt., 2012).

Norint padidinti vietinio kuro vartojimą ir mažiau teršti aplinką, tikslinga energetinėms reikmėms naudoti ne tik miško medieną bei įvairius trumpas rotacijos energetinius augalus, bet tam tikslui reikia stengtis vis

daugiau įsisavinti ir medienos atliekas, tokias kaip smulkios šakos, žievė, o taip pat pabandyti deginimui panaudoti ir lapus.

Tyrimų tikslas – ištirti iš ažuolo medžio atliekų pagamintų biokuro granulių fizikines-mechanines savybes ir nustatyti granulių peleningumą, šilumingumą bei įvertinti kenksmingų medžiagų emisijas jas deginant nedidelės galios buitiniame katile.

Tyrimų metodika

Ažuolo atliekų miltų ir granulių fizikinių-mechaninių savybių nustatymo metodika

Granulių gamybos technologija bei įranga priklauso nuo žaliavos, žaliavos frakcinės sudėties ir jos drėgnio. Šio darbo tyrimams atlikti naudojami Lietuvos miškuose auginamų ažuolų atliekos – žievė ir lapai. Šių energetinėms reikmėms naudojamų augalų stiebams smulkinti naudotas plaktukinis malūnas, o granuliuoti – nedidelio našumo ($100\text{--}120\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$) granulatorius su horizontalia matrica (JASINSKAS ir kt., 2014).

Pagamintų granulių skersmuo 6 mm. Matuojant ir sveriant nustatytos supresuotų granulių biometrinės savybės – matmenys, drėgnis, tūris ir tankis (GRANULIŲ STANDARTAI, 2009). Žinant granulių drėgnį, apskaičiuojamas kiekvienos granulės ir vidutinis tirtų granulių tankis sausosiomis medžiagomis (s.m.). Granulių drėgnis nustatomas laboratorijoje naudojantis standartine metodika (CEN/TC 14774-1:2005. Solid biofuels).

Pagamintų ažuolo atliekų granulių peleningumo ir šilumingumo (kalingumo) tyrimai atlikti Lietuvos energetikos instituto (LEI) Šiluminių įrengimų tyrimo ir bandymų laboratorijoje pagal Lietuvoje ir Europos šalyse galiojančią standartinę metodiką:

- peleningumo bandymo įrenginyje Nr. 8B/5 pagal LST EN 14775:2010 standarto reikalavimus;

- šilumingumo bandymo įrenginyje Nr. 8B/2 pagal LST EN 14918:2010 standarto reikalavimus.

Vienas iš pagrindinių granulių kokybės rodiklių yra granulių šilumingumas. Šiam rodikliui nustatyti buvo naudojamas kalorimetras „IKA C5000“ (BS EN 14918:2009. Solid biofuels). Kad tyrimai būtų tikslesni, pirmiausia granulių mėginiai buvo išdžiovinti. Bandymas kartojamas tris kartus, su kiekvienos rūšies granulėmis. Matavimų paklaida 0,02 %.

Kenksmingų dujų emisijų nustatymas deginant ažuolo atliekas

Katiluose, kūrenamuose kietuoju biokuru, kuro sudegimas ir išmetamų teršalų koncentracijos priklauso nuo kuro rūšies, kokybės bei kuro pavidalo. Šie kuro parametrai yra labai svarbūs projektuojant naujus kuro tiekimo ir deginimo įrenginius. Siekiant išsiaiškinti šių parametru įtaką teršalų susidarymui buvo atlikti paieškomieji tyrimai mažos galios (5 kW) kietojo kuro katile, pritaikytame kūrenti stambios frakcijos kurą: malkas, pjuvenų briketus, granules. Šis katilas pasirinktas dėl to, nes jį naudojant ir su juo atliekant tyrimus reikalingas nedidelis kiekis granulių. Tyrimai buvo atliekami Lietuvos energetikos institute, Šiluminių įrengimų tyrimo ir bandymų laboratorijoje. Degimo metu susidarę teršalai buvo matuojami degimo produktų analizatoriais: Datatest 400CEM, analizatoriumi VE7. Visuminio anglies, vandenilio, azoto, sieros ir deguonies kiekiai buvo nustatomi įrenginyje Nr. 8B/3 pagal 15104:2010 standarto reikalavimus.

Deginant ažuolo atliekų granules buvo užfiksuota dūmų temperatūra ir nustatytos kenksmingų teršalų emisijos – anglies dioksidas CO_2 , anglies monoksidas CO , sieros dioksidas SO_2 , azoto oksidai NO_x ir nesudegę angliavandeniliai C_xH_y . Nustačius kenksmingų medžiagų emisijas į aplinką, jos buvo palygintos deginant skirtingų rūšių granuliuotą biokurą pagamintą iš ažuolo atliekų: žievės, lapų ir jų mišinių (1:1). Susmulkintų augalų stiebų pavyzdžiai (po 5 kg) buvo pristatomi į tyrimų laboratoriją, kur buvo atliekami deginimo ir emisijų tyrimai. Kiekvieno pavyzdžio deginimo trukmė – 8–10 min.

Rezultatai ir aptarimas

Ažuolo atliekų miltų ir granulių fizikinės-mechaninės savybės

Ruošiant ažuolo atliekas granuliavimui, jos pirmiausia buvo susmulkintos būgniniu smulkintuvu ir sumaltos plaktukiniu malūnu ir buvo nustatytos ažuolo atliekų miltų fizikinės-mechaninės savybės – drėgnis ir tankis. Šios savybės yra svarbios projektuojant ir parenkant susmulkintą augalinės masės tiekimo-transportavimo ir laikymo įrenginius.

Pašarų smulkintuvu *MARAL 125* susmulkintų ir plaktukiniu malūnu *Retsch SM 200* sumaltų ažuolo atliekų – ažuolo žievės, lapų ir jų mišinio (1:1) miltų drėgnis ir tankis pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Ažuolo atliekų miltų ir granulių fizikinės-mechaninės savybės
Table 1. Physical-mechanical properties of oak waste mill and pellets

Ažuolo atliekos <i>Oak waste</i>	Drėgnis, % <i>Moisture content, %</i>		Tankis, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ <i>Density, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$</i>	
	Miltai <i>Mill</i>	Granulės <i>Pellets</i>	Miltai <i>Mill</i>	Granulės <i>Pellets</i>
Žievė	6,1±0,4	8,1±0,1	278,3±4,5 (261,3 s.m.)	1221,1±64,4 (1122,2 s.m.)
Lapai	9,6±0,2	12,5±0,2	214,7±5,2 (194,1 s.m.)	1111,5±42,4 (975,8 s.m.)
Žievės ir lapų mišinys	7,9±0,3	10,6±0,1	246,5±4,8 (227,0 s.m.)	1131,2±91,0 (1011,3 s.m.)

Analizuojant 1 lentelėje pateiktus duomenis matyti, kad ažuolo žievės miltų tankis yra didžiausias – $261,3\text{ kg m}^{-3}$ s.m., o ažuolo lapų miltų tankis yra

mažiausias – $194,1\text{ kg m}^{-3}$ s.m. ir yra beveik 1,3 karto mažesnis už ažuolo žievės miltų tankį.

Visus tirtus ažuolo atliekų produktus galima naudoti energetinėms reikmėms juos tinkamai paruošus. Siekiant šias atliekas toliau naudoti deginimui, jos buvo supresuotos į 8 mm skersmens granules ir buvo nustatytos granulų fizikinės-mechaninės savybės: drėgnis ir tankis (1 lentelė).

Paruoštų granulų drėgnis svyravo nuo 8,1 iki 12,5%. Ažuolo lapų granulų tankis sausosiomis medžiagomis (s.m.) buvo mažiausias – 975,8 kg m⁻³, o ažuolo žievės granulų tankis buvo didžiausias – 1122,2 kg m⁻³.

Sudeginus ažuolo atliekas nustatytas susidariusių pelenų kiekis buvo labai didelis – 10,3–14,7% ir buvo apie 10 kartų didesnis, nei deginant medienos biokurą. Toks didelis susidariusių pelenų kiekis gautas dėl to, kad tirtų ažuolo atliekų granulės nepakankamai gerai sudegė.

Vidutinis šilumingumas deginant ažuolo žievės, lapų ir jų mišinio granules buvo labai panašus – 17,3–17,7 MJkg⁻¹. Gautas ažuolo atliekų granulų šilumingumas buvo gana aukštas, artimas kai kurių medienos rūšių ir nesumedėjusių augalų šilumingumui.

Kenksmingų dujų emisijų tyrimo rezultatai deginant ažuolo atliekas

Deginant ažuolo atliekų granules buvo užfiksuota dūmų temperatūra ir nustatytos kenksmingų teršalų emisijos – anglies dioksidas CO₂, anglies monoksidas CO, sieros dioksidas SO₂, azoto oksidai NO_x ir nesudegę angliavandeniliai C_xH_y. Šių tyrimų rezultatai pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. Kenksmingų emisijų tyrimo rezultatai deginant ažuolo atliekų granules
Table 2. Test results of harmful emissions by burning of oak waste pellets

Biokuro rūšis <i>Type of biofuel</i>	Drėgnis, % <i>Moisture content, %</i>	Dūmų temperatūra, °C <i>Smoke temperature, °C</i>	CO ₂ mg m ⁻³	CO mg m ⁻³	NO _x mg m ⁻³	C _x H _y mg m ⁻³
Ažuolo žievės granules	8,12	197,9	6,1	377,4	202,9	21,1
Ažuolo lapų granules	12,52	187,1	3,0	1187,7	146,5	62,8
Ažuolo žievės ir lapų granules	10,60	189,6	5,0	341,2	188,9	27,8

Remiantis atliktų tyrimų rezultatais matoma bendra tendencija, kad degimo procese, kai deginamų energetinių augalų užkrauta porcija baigia degti (kai sumažėja degimo intensyvumas), visų kenksmingų degimo dujų išmetimas turi tendenciją mažėti.

Nustatyta, kad deginant ažuolo atliekų granules, didžiausia anglies monoksido (CO) koncentracija buvo gauta deginant ažuolo lapus – 1187,7 mg m⁻³, o mažiausia CO koncentracija – deginant ažuolo žievės ir lapų mišinio granules – 341,2 mg m⁻³ (2 lentelė). Deginant ažuolo atliekas, sieros dioksido SO₂ išmetimų nebuvo užfiksuota.

Deginant ažuolo atliekas granules buvo užfiksuotos ir nedidelės anglies dioksido (CO₂) emisijos. Didžiausias anglies dioksido kiekis buvo nustatytas deginant ažuolo žievės granules – 6,1 mg m⁻³, o mažiausias CO₂ kiekis gautas deginant ažuolo lapų granules – 3,0 mg m⁻³.

Tyrimų rezultatai deginant granules ir vertinant azoto oksidų NO_x emisijas rodo, kad jos neviršija leistinų normų. Nustatytos azoto oksido emisijos kito nuo 146,5 mg m⁻³ (ažuolo lapų granulės) iki 202,9 mg m⁻³ (ažuolo žievės granulės). Nustatyti nesudegusių angliavandenilių C_xH_y kiekiai buvo nedideli (21,1–62,8 mg m⁻³) (2 lentelė).

Apibendrinant ažuolo atliekų granulų deginimo ir emisijų tyrimo rezultatus galima teigti, kad ažuolo žievės, lapai bei jų mišiniai gali būti rekomenduojami naudoti biokurui juos granuliuojant, tačiau gali būti reikalingos papildomos energijos sąnaudos masės džiovimui. Tokį biokurą deginant gaunamas pakankamai kokybiškas ir efektyvus degimas ir minimalūs teršalų išmetimai į aplinką.

Išvados

1. Iš ažuolo atliekų ruošiant biokurą, jos buvo supresuotos į 6 mm skersmens granules ir buvo nustatytos

granulų fizikinės-mechaninės savybės. Paruoštų granulų drėgnis svyravo nuo 8,1 iki 12,5%. Ažuolo lapų granulų tankis sausosiomis medžiagomis (s.m.) buvo mažiausias – 975,8 kg m⁻³ s.m., o ažuolo žievės granulų tankis buvo didžiausias – 1122,2 kg m⁻³ s.m.

2. Deginant ažuolo atliekas nustatytas susidariusių pelenų kiekis buvo labai didelis – 10,3–14,7% ir buvo apie 10 kartų didesnis, nei deginant medienos biokurą. Vidutinis šilumingumas deginant ažuolo žievės, lapų ir jų mišinio granules buvo labai panašus – 17,3–17,7 MJ kg⁻¹. Gautas ažuolo atliekų granulų šilumingumas buvo gana aukštas, artimas kai kurių medienos rūšių ir nesumedėjusių augalų šilumingumui.

3. Didžiausia anglies monoksido (CO) koncentracija buvo nustatyta deginant ažuolo lapus – 1187,7 mg m⁻³, o mažiausia – deginant ažuolo žievės ir lapų mišinio granules – 341,2 mg m⁻³. Azoto oksidų NO_x ir kitų kenksmingų dujų emisijų tyrimai parodė, kad jos neviršija leistinų normų.

Literatūra

- BS EN 14918:2009. Solid biofuels. Determination of calorific value. 64.
- CEN/TC 14774-1:2005. Solid biofuels – Methods for the determination of moisture content – Oven dry method – Part 1: Total moisture – Reference method. 2005.
- DIAS, J., COSTA, M., AZEVEDO, J.L. Test of a small domestic boiler using different pellets. *Biomass and Bioenergy*, vol. 27, 2004, pp. 531-539.
- FILBAKK, T., JIRJIS, R., NURMI, J., HØIBØ, O. The effect of bark content on quality parameters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) pellets. *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, 2011, pp. 3342-3349.
- GRANULIŲ STANDARTAI. 2009. Semperamas. [Žiūrėta 2014 04 19]. Prieiga per: <<http://www.semperamas.lt/straipsniai/granuliuostandartai.html>>.
- HARTMANN, H., LENZ, V. Biomass energy heat provision in modern small-scale systems. 2012, pp. 1351-1400 (in RA Myers Encyclopedia of Sustainability Science).

7. JASINSKAS, A., SAKALAUSKAS, A., ŠARAUSKIS, E., VAICIUKEVIČIUS, E., KALINAUSKAITĖ, S. Investigation of boiler efficiency and harmful emissions while burning of plant biomass briquettes. Journal of Food, Agriculture & Environment. Helsinki : WFL Publisher. 2012, Vol. 10, No. 3&4, p. 1124-1127.
8. JASINSKAS, A., SCHOLZ, V. Augalų biomasės nuėmimo ir ruošimo kurui technologijos ir jų vertinimas: studija. ISBN 978-9986-732-48-8. Raudondvaris, 2008, 74 p.
9. JASINSKAS, A., ŠARAUSKIS, E., SAKALAUSKAS, A., VAICIUKEVIČIUS, E., ŠIAUDINIS, G., ČEKANAUSKAS, S. Assessment of unconventional tall grasses cultivation and preparation for solid biofuel // Engineering for rural development: 13th international scientific conference: proceedings, May 29-30, 2014. Jelgava, 2014. Vol. 13, p. 253-258.
10. JOHANSSONA, L., LECKNERB, B., GUSTAVSSONA, L., COOPER, D., TULLINA, C., POTTER, A. Emission characteristics of modern and old-type residential boilers fired with wood logs and wood pellets. Atmospheric Environment, vol. 38, 2004, pp. 4183-4195.
11. SAMUELSSON, R., THYREL, M., SJÖSTRÖM, M., LESTANDER, T. A. Effect of biomaterial characteristics on pelletizing properties and biofuel pellet quality. Fuel Processing Technology, vol. 90, 2009, pp. 1129-1134.
12. SARI, R., SOYTAS, U. Are global warming and economic growth compatible? Evidence from five OPEC countries. Appl. Energy, 2006, 86, p. 1887-1893.
13. ŠATEIKIS, I. Potential of plant biomass cultivation and use for solid fuels and priority of research the present problems. Agricultural engineering: IAE LUA and LUA research papers. Raudondvaris, 2006, 38(3), p. 5-21.
14. VARES, V., KASK, U., MUISTE, P., PIHU, T., SOOSAAR, S. Biokuro naudotojų žinytas. Vilnius, Žara, 2007, 168 p.
15. VERMA, V.K., BRAM, S., DELATTIN, F., LAHA, P., VANDENDAEL, I., HUBIN, A., DE RUYCK, J. Agro-pellets for domestic heating boilers: Standard laboratory and real life performance. Applied Energy, vol. 90, 2012, pp. 17-23.

Algirdas Jasinskas, Ramūnas Mioldažys, Algimantas Mioldažys, Nerijus Pedišius, Tomas Vonžodas

Determination of Harmful Emissions While Wood Waste Burning

Summary

Results of analytic and experimental research of wood waste (bark, leaves and other wood waste) preparation, processing and usage as ecologic domestic fuel are presented in the article. Scientific-technical information on technological-technical solutions of preparation of wood and its waste for biofuel and its burning in foreign countries and Lithuania is reviewed in the article. Oak (one of the well-growing in Lithuania valuable tree) waste chopping and pellet production research results are presented in the article; also, ash content, calorific value were determined, and effect on environment while burning pellets of this unconventional waste was evaluated. The following harmful gas emissions were researched and evaluated: carbon monoxide CO, carbon dioxide CO₂, carbon and nitrogen combinations CxHy, nitrogen oxides NO_x, and emission temperature while burning was determined. Limit values of the emission from combustion devices are regulated by the confirmed by the Minister of the Environment of the Republic of Lithuania Norms on emissions from fuel combustion devices (LAND 43-2013). These norms regulate limit values of the combusted biofuel, including limit values of wood and other plant biomass waste and pollutants. The research has been performed using low-power (5 kW) solid fuel boiler adjusted for wood, sawdust briquettes and pellets heating. The determined harmful emissions to the environment have not exceeded the permissible norms.

Wood waste, oak bark, leaves, pellets, properties, burning, harmful emissions

Gauta 2015 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2015 m. balandžio mėn.

Algirdas JASINSKAS. Aleksandro Stulginskio universiteto Žemės ūkio inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos instituto vyriausiasis mokslo darbuotojas, docentas, technikos mokslų daktaras. Adresas: Studentų g. 15, LT-53361 Akademija, Kauno raj. Tel 861204002, el. paštas: algirdas.jasinskas@asu.lt

Algirdas JASINSKAS. Chief researcher, assoc. prof. at Institute of Agricultural Engineering and Safety, Faculty of Agricultural Engineering, Aleksandras Stulginskis University, doctor of technical sciences. Address: Studentu 15, LT-53361 Akademija, Kaunas distr. Tel (+370)61204002, e-mail: algirdas.jasinskas@asu.lt

Ramūnas MIELDAŽYS. Aleksandro Stulginskio universiteto Žemės ūkio inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos instituto doktorantas, asistentas. Adresas: Studentų g. 15, LT-53361 Akademija, Kauno raj. Tel 861401137, el. paštas: ramunas.mioldazys@asu.lt

Ramūnas MIELDAŽYS. PhD student, assistant at Institute of Agricultural Engineering and Safety, Faculty of Agricultural Engineering, Aleksandras Stulginskis University. Address: Studentu 15, LT-53361 Akademija, Kaunas distr. Tel (+370) 61401137, e-mail: ramunas.mioldazys@asu.lt

Algimantas MIELDAŽYS. Aleksandro Stulginskio universiteto Žemės ūkio inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos instituto docentas. Adresas: Studentų g. 15, LT-53361 Akademija, Kauno raj. Tel 869918692, el. paštas: algimantas.mioldazys@asu.lt

Algimantas MIELDAŽYS. Assoc. prof. at Institute of Agricultural Engineering and Safety, Faculty of Agricultural Engineering, Aleksandras Stulginskis University. Address: Studentu 15, LT-53361 Akademija, Kaunas distr. Tel (+370) 69918692, e-mail: algimantas.mioldazys@asu.lt

Nerijus PEDIŠIUS. Lietuvos energetikos instituto, Šiluminių įrengimų tyrimo ir bandymų laboratorijos vadovas, technologijos mokslų daktaras. Adresas: Breslaujos g. 3, LT-44403 Kaunas. Tel 8-37-401863, el. paštas: Nerijus.Pedisius@lei.lt

Nerijus PEDIŠIUS. Chief at Laboratory of heat equipment research and testing, Lithuanian Energy institute, doctor of technological sciences. Address: Breslaujos 3, LT-44403 Kaunas. Tel (+370)401863, e-mail: Nerijus.Pedisius@lei.lt

Tomas VONŽODAS. Lietuvos energetikos instituto, Šiluminių įrengimų tyrimo ir bandymų laboratorijos doktorantas, jaunesnysis mokslo darbuotojas. Adresas: Breslaujos g. 3, LT-44403 Kaunas. Tel 8-37-401864, el. paštas: Tomas.Vonzodas@lei.lt

Tomas VONŽODAS. PhD student, Junior researcher at Laboratory of heat equipment research and testing, Lithuanian Energy institute. Address: Breslaujos 3, LT-44403 Kaunas. Tel (+370)401864, e-mail: Tomas.Vonzodas@lei.lt