

BIOKURO DŽIOVINIMO PROCESO EFEKTYVUMO TYRIMAI

Osvaldas Šlepikas¹, Audrius Čereška²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹osvaldas.sl@gmail.com; ²audrius.cereska@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjamos biokuro džiovinimo proceso efektyvumo didinimo galimybės. Tyrimams atlikti sukurtas specialus stendas ir sudaryta eksperimento atlikimo metodika. Eksperimentinį stendą sudaro ultragarsinis generatorius, ultragarsinis keitiklis, džiovinimo kamera ir drėgmės, temperatūros matuokliai. Buvo tiriamos medžio granulės. Eksperimento metu jos buvo drėkinamos vandeniu, džiovinamos karštu oru ir papildomai veikiamos skirtingo dažnio ultragarsiniais virpesiais. Atlikus bandymus, rezultatai parodė, kad, veikiant konvekcinio džiovinimo procesą ultragarsiniais virpesiais, džiovinimo laikas sutrumpėja. Tai reiškia teigiamą ultragarso poveikį procesui.

Tyrimais patvirtintas konvekcinio džiovinimo metodo efektyvumo, papildomai veikiant ultragarsiniais virpesiais, padidėjimas.

Reikšminiai žodžiai: medžio granulės, biokuras, konvekcinis džiovinimas, džiovinimo proceso intensifikavimas, ultragarsiniai virpesiai.

Įvadas

Medžiagų higroskopinės savybės apibūdina jų galimybę drėkti, džiūti ir yra priskiriamos prie svarbiausių medžiagų savybių. Džiovinant medieną, reikia įveikti vandens ryšį su sausąja medžiaga, naudojant tam energiją.

Mediena – higroskopinė medžiaga, kuri sugeria drėgmę arba jos netenka, kintant santykiniam aplinkos oro drėgnumui ir temperatūrai (Skaar 1998). Bet kurios rūšies mediena adsorbuoja ir desorbuoja drėgmę iš aplinkos oro, kol pasiekia pusiausvirąjį drėgnį (Simpson 1998).

Medienos gaminiai (baldai, statybinės konstrukcijos, biokuras ir t. t.) turi būti gaminami iš tinkamo drėgnumo medienos. Šis drėgnumo lygmuo priklauso nuo aplinkos mikroklimato, kuriame gaminiai ar statiniai bus eksploatuojami. Nepakankamai išdžiovinus, gali įsiveisti pelėsių ar grybų. Per ilgai džiovinant, be reikalo eikvojama šiluma ir elektros energija, apkraunamos džiovyklos ir jas prižiūrintis personalas. Džiovinimo procesas yra labai svarbi medienos apdirbimo ir dirbinių gamybos ciklo dalis, nes nuo to priklauso dirbinių kokybė ir savikaina (Kajalavičius, Albrektas 2011).

Džiovinimas yra procesas, kai šiluminiu būdu iš medžiagos yra išgarinama drėgmė ir pašalinamas garas. Medžiagai džiūstant, vyksta difuzijos procesas, t. y. drėgmė difunduoja iš vidinių sluoksnių į paviršių, o nuo jo garuoja į aplinką.

Biokuro fizinės savybės

Medienos kuro savybės priklauso nuo laikymo, apdorojimo ir deginimo būdo. Tokios savybės, kaip aukšta šiluminė vertė, mažas drėgmės kiekis, mažas pelenų kiekis, pagerina deginimo efektyvumą ir ekonomiškumą. Biokuras apibūdinamas ir pagal šias fizines savybes: drėgnį, tankį, peleningumą ir šilumingumą. Medienos šilumingumas mažai priklauso nuo medžių rūšies, bet labai priklauso nuo jos drėgnumo. Lakiųjų medžiagų išėiga deginant medieną labai didelė – 85 %, todėl ją lengva uždegti ir deginti (Švenčianas 2003).

Kaitinant kietąjį kurą, skaidosi termiškai nepatvarios organinių junginių molekulės, išskirdamos dujinius produktus, vadinamus lakiosiomis medžiagomis. Šios lakiosios medžiagos susideda iš degių junginių: angliavandenilių, anglies viendeginio ir vandenilio bei nedegusių junginių – anglies dvideginio ir garo.

Drėgnis yra labai svarbi medienos ir biokuro savybė, veikianti biomasės degimą ir naudingosios šilumos išsiskyrimą. Tam tikra energijos dalis sunaudojama vandens išgarinimo procese, todėl, naudojant drėgnesnį kurą, išgaunamas mažesnis kiekis energijos (Pilipavičius, Navickas 2008).

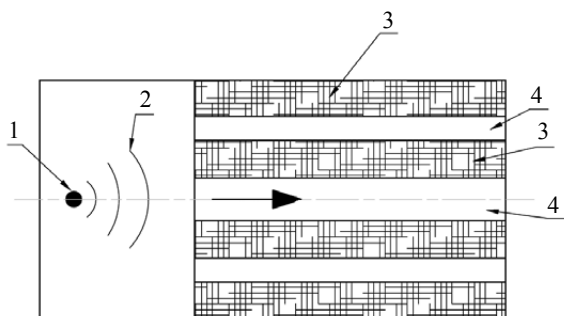
Kuro drėgnis yra svarbus kuro kokybės rodiklis. Todėl jo nustatymas yra svarbi procedūra, kuri turi būti atliekama prieš priimant kurą iš tiekėjo (Krivickas 2007). Augančio medžio drėgnis paprastai būna nuo 40 % iki 60 %. Jis svyruoja priklausomai nuo medžio rūšies, augavietės, metų laiko (Komarov, Sandakov 1999; Vares *et al.* 2007).

Konvekcinio džiovinimo proceso intensifikavimas ultragarsiniais virpesiais

Labiausiai paplitęs ir dažniausiai naudojamas yra šiluminis džiovinimas. Šis procesas tiesiogiai priklauso nuo džiovinamos medžiagos temperatūros kitimo. Sumažinus džiovinimo agento temperatūrą, proceso laikas gerokai pailgėja.

Konvekcinio džiovinimo galimas pagerinimo variantas – džiovinimas aukšto intensyvumo akustiniuose laukuose. Tokiu būdu galima:

- suintensyvinti procesą;
- užtikrinti kokybišką ir efektyvų džiovinimą net esant žemoms temperatūroms.



1 pav. Principinė akustinio džiovinimo schema: 1 – garso šaltinis; 2 – ultragarsas; 3 – džiovinamos medžiagos kasetės; 4 – garso kanalai

Fig. 1. Principal acoustic drying scheme: 1 – source of sound; 2 – ultrasound; 3 – cassettes of drying material; 4 – sound channels

Ijungus ultragarso šaltinį 1, ultragarsas 2 ekstrahuoja drėgmę iš džiovinamos medžiagos (1 pav.). Technologijos konstrukcija priklauso nuo džiovinamos medžiagos charakteristikų.

Klasikinė džiovinimo teorija grindžiama tuo, kad procesą sudaro du pagrindiniai etapai: pirmasis etapas, arba pastovaus greičio etapas, ir antrasis – krintančio džiovinimo greičio etapas.

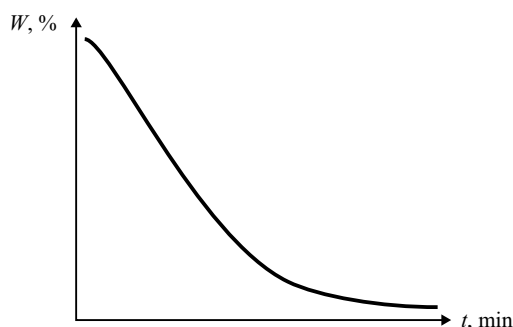
Pirmojo etapo procesas apibūdinamas linijiniu drėgmės tūrio pokyčiu džiovinamoje medžiagoje priklausomai nuo laiko (2 pav.). Džiovinimo procesas pirmajame etape ekvivalentiškas drėgmės išgarinimui nuo laisvojo paviršiaus ir apibūdinamas tik pagal veikiančius išorinius veiksnius:

- temperatūrą;
- aplinkos oro judėjimo greitį;
- aplinkos oro drėgnumą.

Drėgmės garavimo procesas nuo laisvojo paviršiaus izoterminėmis sąlygomis vyksta pagal Daltono dėsnį:

$$\frac{dm}{d\tau} = KS \frac{P_0 - P_\infty}{P_\delta}, \quad (1)$$

čia m – išgarinamos drėgmės masė; τ – laikas; K – koeficientas, įvertinantis hidrodinamines paviršiaus savybes;



2 pav. Džiovinimo proceso greičio priklausomybė nuo laiko
Fig. 2. Drying process speed dependence on time

S – išgarinamos medžiagos paviršiaus plotas; P_0 – garų slėgis ant medžiagos paviršiaus (veikiant paviršiaus temperatūrai); P_∞ – parcialinis garų slėgis aplinkoje; P_δ – barometrinis aplinkos slėgis.

Mažėjant drėgmės kiekiui, džiovinamoje medžiagoje pasiekiamas momentas, kai drėgmės išsiskyrimas į medžiagos paviršių tampa nepakankamas, o džiovinimo greitis pradeda lėtėti. Drėgmė, kurią pasiekus džiovinimo proceso greitis pradeda lėtėti, vadinama kritiniu drėgniu. Pasiekus kritinį drėgnį, prasideda antrasis džiovinimo etapas.

Antrajame etape džiovinimo greitis nusakomas skystos ir dujinės fazių judėjimu medžiagos viduje ir priklauso nuo jos viduje esančių sąlygų.

Bendrasis drėgmės srautas medžiagos viduje gali būti išreikštas tokia lygtimi:

$$\frac{dm}{d\tau} = a_m \rho_0 \nabla U - a_m^T \rho_0 \nabla T - K_p \nabla P, \quad (2)$$

čia a_m – drėgmės difuzijos koeficientas; ∇U – drėgmės gradientas; a_m^T – termodifuzijos koeficientas; ρ_0 – sausos medžiagos tankis; ∇T – temperatūros gradientas; K_p – molinio perdavimo koeficientas, veikiant slėgio gradientui; ∇P – slėgio gradientas.

Džiovinimo procesas tęsiasi, kol medžiagos drėgmė pasiekia pusiausvyros reikšmę, tuomet procesas sustoja.

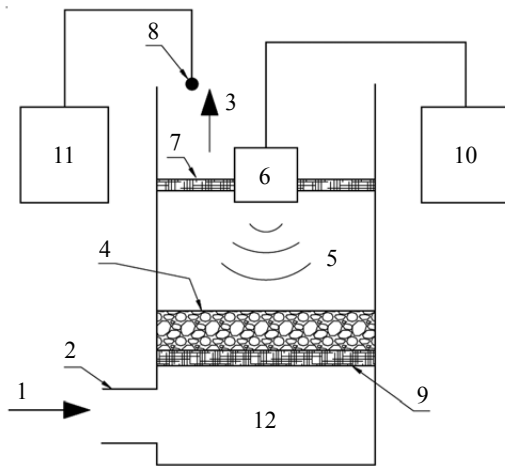
Intensifikuojantį ultragarso poveikį galima naudoti tiek pirmajame, tiek antrajame džiovinimo proceso etape. Intensifikuojantiems veiksniams, veikiant džiovinamą objektą ultragarsu, priskiriama:

- ribojančiojo difuzinio paviršiaus sluoksnio suplonėjimas;
- drėgmės klamos sumažėjimas, veikiant ultragarsu; tai pagreitina drėgmės išsiskyrimą iš medžiagos gelmių į jos paviršių;
- ultragarsiniai virpesiai, virpinantys skystį ir išstumiantys drėgmę iš medžiagos susidariusiais dujų burbuliukais;
- radiacinis slėgis, išstumiantis iš medžiagos drėgmę.

Eksperimentiniai biokuro džiovinimo proceso efektyvumo didinimo tyrimai

Tiriant medienos džiovinimo problemą, buvo taikomas labai paplitęs konvekcinis medienos džiovinimo būdas. Jo efektyvumui padidinti procesas buvo intensifikuojamas ultragarsiniais virpesiais. Medžio granulės buvo džiovinamos pastoviais šilto oro srautais, papildomai veikiant džiovinimo procesą ultragarsiniais virpesiais. Norint įrodyti teigiamą konvekcinio džiovinimo proceso intensifikavimo ultragarsiniais virpesiais efektą, buvo sukurtas eksperimentinis stendas ir atlikti bandymai, džiovinant medžio granules su dviem skirtingais oro srauto režimais ir džiovinimo procesą papildomai veikiant skirtingo dažnio ultragarsu.

Eksperimentinio stendo principinė schema pateikta 3 pav., nuotrauka – 4 pav.



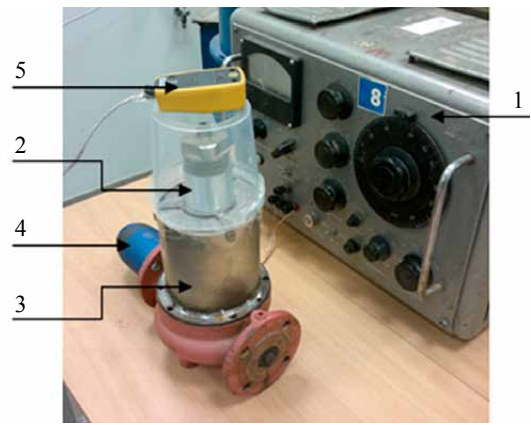
3 pav. Eksperimentinio stendo schema: 1 – šilto oro tiekimo šaltinis; 2 – oro įėjimo anga; 3 – šilto oro išleidimo kryptis; 4 – medžio granulės; 5 – ultragarsinės bangos; 6 – ultragarsinis keitiklis; 7 – grotelės; 8 – drėgmės ir temperatūros matuoklis; 9 – perforuotoji skarda; 10 – ultragarsinis generatorius; 11 – duomenų kaupiklis; 12 – apatinė džiovinimo kamera

Fig. 3. Experiment stand scheme: 1 – warm air supply source; 2 – inlet of air; 3 – warm air outlet direction; 4 – pellets of wood; 5 – waves of ultrasound; 6 – ultrasonic transducer; 7 – grating; 8 – meter of moisture and temperature; 9 – perforated tin-plate; 10 – ultrasonic generator; 11 – data logger; 12 – secondary drying chamber

Tyrimų metodika ir rezultatai

Eksperimentiniai tyrimai buvo atlikti dviem etapais.

Pirmajame eksperimento etape elektroninėmis svarstyklėmis pasvertos sausos medžio granulės 4 ir supiltos ant perforuotos skardos 9. Tiekiant šiltą oro srautą šaltiniu 1 į apatinę talpą 12, slėgio matuokliu matuotas oro srauto, išeinančio iš džiovinamų granulių 4, greitis. Matuota vamzdžio taškuose, kurių išdėstymas parodytas 5 pav. Slėgio ma-

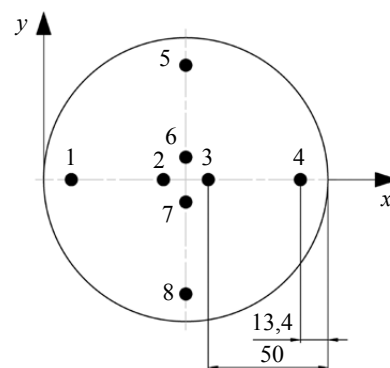


4 pav. Eksperimentinis stendas: 1 – ultragarsinis generatorius; 2 – ultragarsinis keitiklis; 3 – plastikinių granulių džiovinimo kamera; 4 – karšto oro tiekimo anga; 5 – drėgmės ir temperatūros matuoklis

Fig. 4. Experimental stand: 1 – ultrasonic generator; 2 – ultrasonic transducer; 3 – plastics pellets drying chamber; 4 – warm air inlet; 5 – humidity and temperature gauge

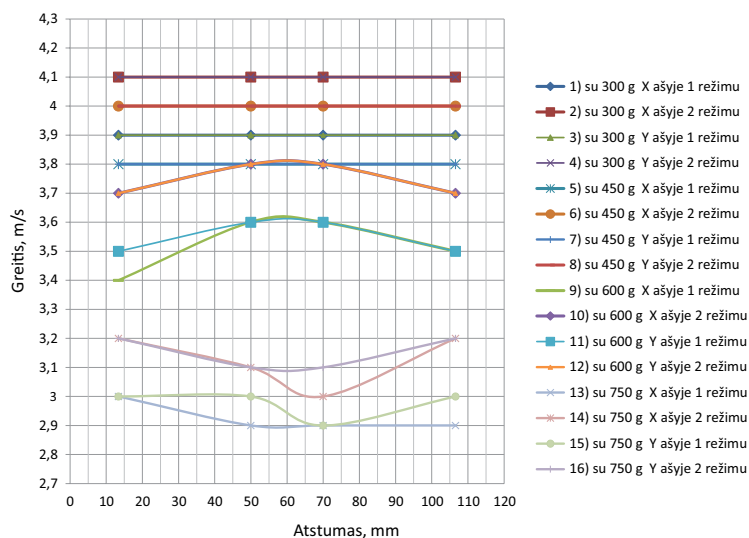
tuokliu oro srauto greičio matavimai kartoti penkis kartus. Tyrimai buvo atlikti su skirtingais medžio granulių kiekiais (300 g, 450 g, 600 g, 750 g) ir dviem skirtingais režimais. Pirmuoju režimu į apatinę granulių džiovinimo talpą 12 buvo tiekiamas 162 m³/h debitas, o oro srauto temperatūra lygi 45 °C. Antruoju režimu – 170 m³/h debitas, o oro srauto temperatūra 55 °C.

Antrajame eksperimento etape pasverta 300 g medžio granulių 4 ir per sietelį tolygiai supilta 10 ml vandens. Pirmiausia nustatyta, per kokį laiką granulės pasiekė pradinį svorį, šildant tik šiltu oru. Vėliau procesas buvo papildomai veikiamas ultragarsiniais virpesiais 5, 10, 25, 50, 100, 200 kHz dažniu. Buvo fiksuojamas išdžiovinimo laikas iki pradinio jų svorio. Eksperimentas kartotas ir su 450 g masės medžio granulėmis.



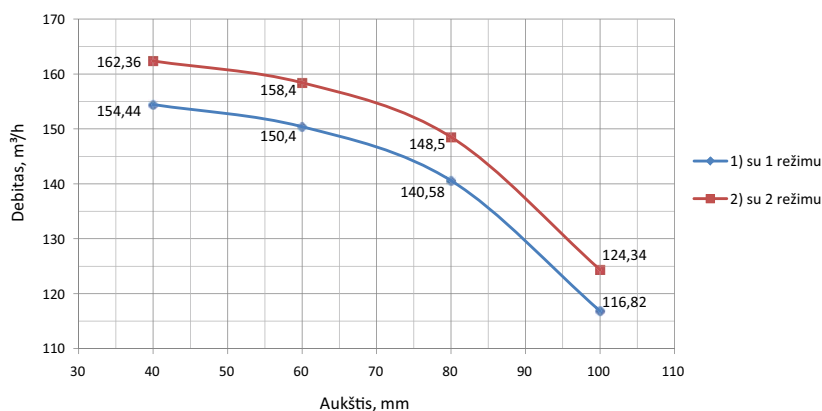
5 pav. Debito ir greičio matavimo taškų koordinatės apskritą skerspjūviu vamzdyje: ●, kai 120 mm (LAND 27-98/M-07, 3 lentelė)

Fig. 5. Debit and velocity measuring coordinates of points in a pipe of round cross-section: ● at 120 mm (LAND 27-98/M-07, Table 3)

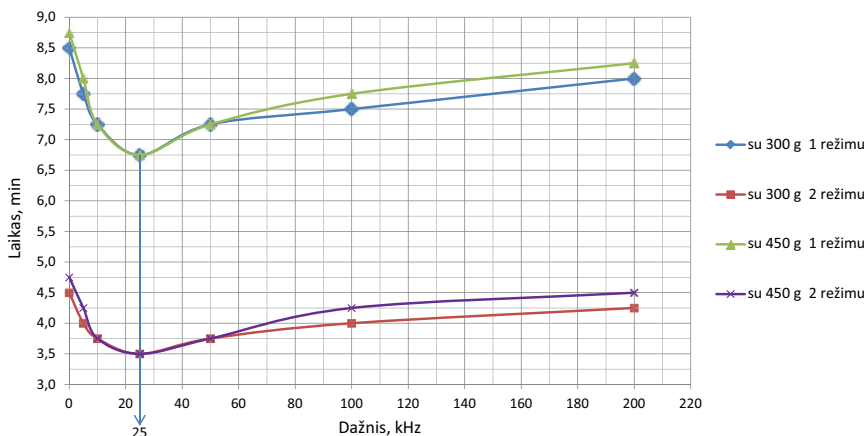


6 pav. Tarp granuliu išeinančio oro srauto greičių matavimai pagal x ir y ašį su skirtingomis granuliu masėmis ir dviem skirtingais režimais

Fig. 6. Air flow exiting from among the pellets velocity measurements on x and y axis with a variety of pellets masses and at two different modes

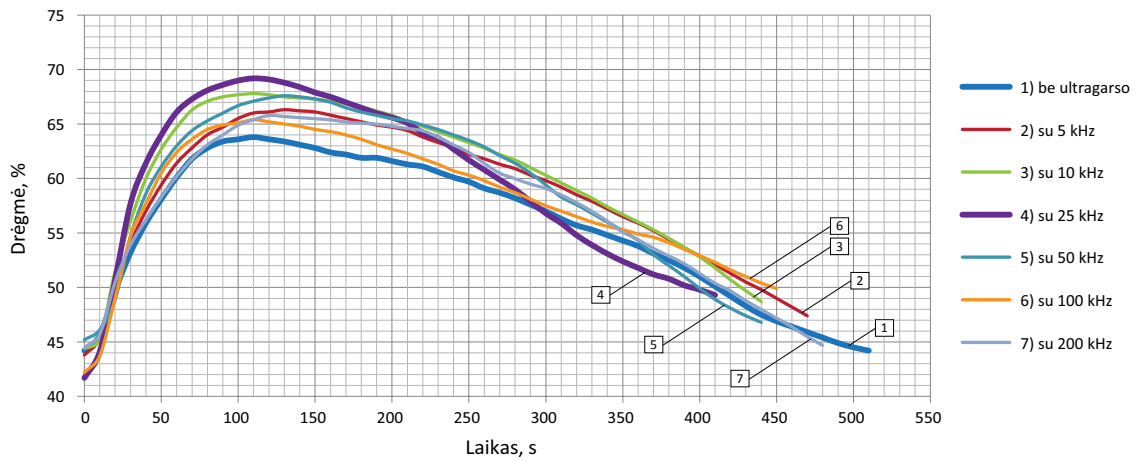


7 pav. Vidutinio debito pokytis nuo granuliu išsidėstymo aukščio, esant skirtingoms granuliu masėms (300, 450, 600, 750 g)
Fig. 7. Mean of flow rate change depending on pellets location height with different pellets masses (300, 450, 600, 750) in grams

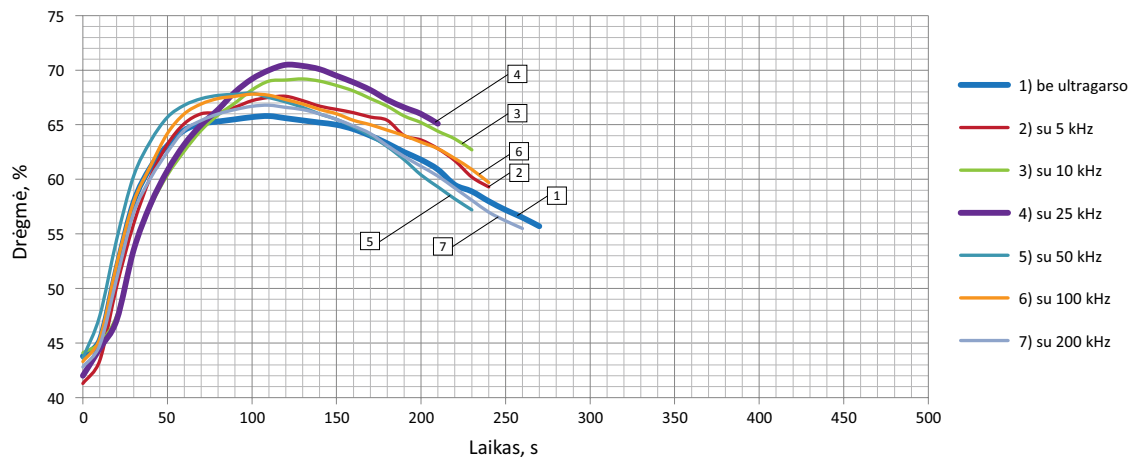


8 pav. Granuliu išdžiūvimo laiko pokytis, esant skirtingiems dažniams

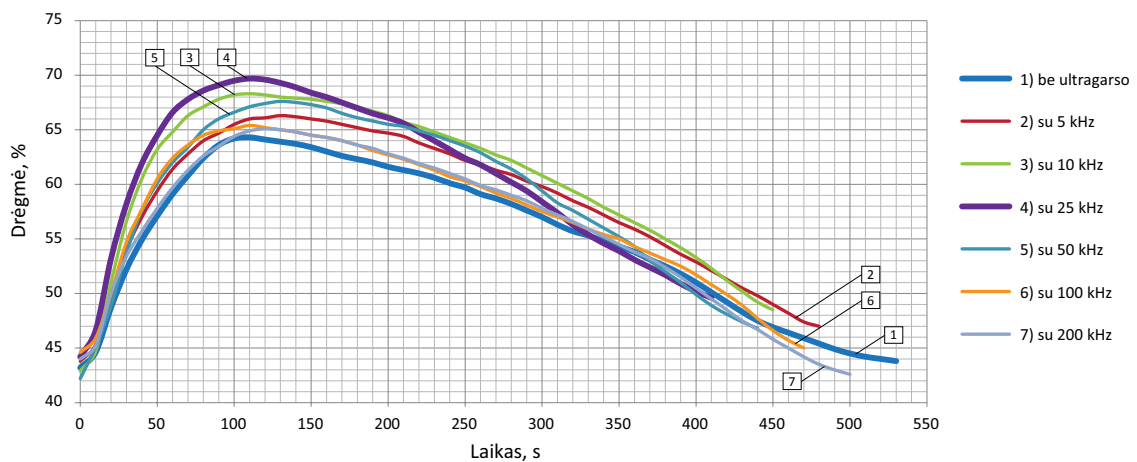
Fig. 8. Time change of drying of pellets at different frequencies



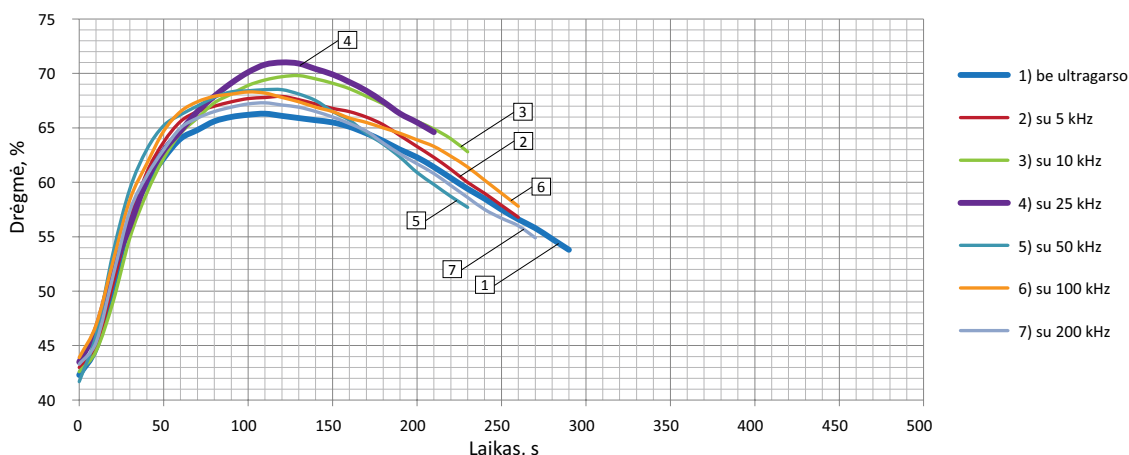
9 pav. Drėgmės pokyčio priklausomybė nuo laiko, džiovinant 300 g drėgnų granulių 1 režimu
 Fig. 9. The change of moisture dependence on time, when drying 300 g wet pellets in mode 1



10 pav. Drėgmės pokytis nuo laiko, džiovinant 300 g drėgnų granulių 2 režimu
 Fig. 10. The change of moisture on the time, by drying 300 g on wet basis granules in mode 2



11 pav. Drėgmės pokyčio priklausomybė nuo laiko, džiovinant 450 g drėgnų granulių 1 režimu
 Fig. 11. The change of moisture dependence on time, when drying 450 g wet pellets in mode 1



12 pav. Drėgmės pokyčio priklausomybė nuo laiko, džiovinant 450 g drėgnų granulių 2 režimu
Fig. 12. The change of moisture dependence on time, when drying 450 g wet pellets in mode 2

Atlikus eksperimentinius tyrimus, pastebėta, jog, džiovinimo procesą papildomai veikiant ultragarsiniais virpesiais, jis suintensyvėja, t. y. pagreitėja drėgmės ekstrahavimas iš drėgnų granulių, ir džiovinimo laikas sutrumpėja.

Džiovinimo laiko sutrumpėjimas, esant skirtingiems režimams (6–12 pav.):

- su 300 g 1 režimu sutrumpėjo 1,26 karto, arba 20,6 %;
- su 300 g 2 režimu sutrumpėjo 1,29 karto, arba 22,2 %;
- su 450 g 1 režimu sutrumpėjo 1,3 karto, arba 22,9 %;
- su 450 g 2 režimu sutrumpėjo 1,36 karto, arba 26,3 %.

Išvados

- Eksperimentiškai buvo nustatyta, kad efektyviausiai medžio granulės džiūvo procesą papildomai veikiant 25 kHz dažnio ultragarso bangomis.
- Džiovinimo procesą veikiant 25 kHz dažnio bangomis, džiovinimo laikas vidutiniškai sutrumpėjo 1,3 karto, arba 23 %, o veikiant 200 kHz dažnio ultragarso bangomis, džiovinimo laikas vidutiniškai trumpėjo 1,2 karto, arba 16 %.

Literatūra

- Skaar, C. 1998. *Wood-water relations*. Berlin: Springer-Verlag. 283 p.
- Simpson, W. T. 1998. *Equilibrium moisture content of wood in outdoor locations in the United States and worldwide*. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest. 11 p.
- Kajalavičius, A.; Albrektas, D. 2011. *Pjautinės medienos kamerinis konvekcinis džiovinimas*. Kaunas: Technologija. 5 p.
- Švenčianas, P. 2003. *Kuro degimo teorijos pagrindai*. Kaunas: Technologija. 102 p.

Pilipavičius, V.; Navickas, K. 2008. *Atsinaujinantys agrariniai išteklių ir atliekų perdirbimas: mokomoji knyga*. LŽUU, Akademija. 142 p.

Krivickas, A. 2007. *Individualaus namo šildymo sistemos katilo degimo proceso kokybės matavimas ir reguliavimas: magistrantūros studijų baigiamasis darbas*. Akademija, Kaunas. 79 p.

Komarov, V. F.; Sandakov, V. A. 1999. Solid fuels, their properties, and application, *Combustion, Explosion, and Shock Waves* 35(2): 139–143. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02674426>

Vares, V.; Kask, U.; Muiste, P.; Pihu, T.; Soosaar, S. 2007. *Biokuro naudotojo žinynas*. Talino technologijos universitetas. 165 p.

BIOFUELS DRYING PROCESS EFFICIENCY RESEARCH

O. Šlepikas, A. Čereška

Abstract

The paper deals with biofuel drying process efficiency opportunities. Research was carried out with a special stand and performing experiments. Experimental rig consists of an ultrasonic generator, ultrasonic transducer, a drying chamber and the humidity, temperature gauge. Tests were used for wood pellets. During the experiment, they were irrigated with water, dried with hot air and additionally exposed to different frequency ultrasonic vibrations. The tests results have showed that the convective drying process is combined with the ultrasonic vibrations, the drying time is reduced, which means a positive impact on the ultrasonic process. Studies have confirmed that the effectiveness of convective drying method combined with operating ultrasonic vibrations increases.

Keywords: wood pellets, biofuels, convection drying, the drying process intensification, ultrasonic vibrations.